Министерство образования и науки Российской Федерации
Челябинский государственный университет»
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН
Уфимский государственный авиационный технический университет»
Уральский федеральный университет»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Труды Шестой Международной научной конференции

Банное, Россия, 1–5 марта 2017 года

Научное электронное издание

Челябинск
Издательство Челябинского государственного университета
2017

ББК 381
И741

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

Челябинский государственный университет

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН

Уфимский государственный авиационный технический университет

Уральский федеральный университет

Подготовлено по решению редакционно-издательского совета
Челябинского государственного университета

И741 **Информационные технологии и системы** [Электронный ресурс] : тр. Шестой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 1–5 марта 2017 г. (ИТиС — 2017) : науч. электрон. изд. (1 файл 28,0 Мб) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2017. 1 опт. диск. Систем. требования : PC не ниже класса Pentium I; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16,5 Mb; Windows не ниже XP; Adobe Acrobat Reader (19,6 Мб); дисковод DVD-ROM; мышь.

ISBN 978-5-7271-1417-9

Тематика конференции ориентирована на прикладные исследования в области информационных технологий и систем с использованием математического моделирования, теории управления, компьютерной лингвистики, интеллектуальных интернет-технологий и семантического web, инженерии знаний, онтологии, управления знаниями, цифровой обработки изображений и сигналов, разработки интеллектуальных и мультиагентных систем, разработки систем поддержки принятия решений, распределенных и облачных вычислений, системного анализа и моделирования бизнес-процессов.

Предназначено для ученых, специалистов и преподавателей, работающих в области информатики и вычислительной техники.

ББК 381я431+397я431

ISBN 978-5-7271-1417-9

© Челябинский государственный университет, 2017

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:

Председатель: Ю. С. Попков, член-корреспондент РАН (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Россия)

Заместитель председателя: А. В. Мельников, профессор (Челябинский государственный университет, Россия).

ЧЛЕНЫ КОМИТЕТА

В. Л. Арлазаров, профессор, член-корреспондент РАН, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Россия;

В. И. Васильев, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия;

В. Э. Вольфенгаген, профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия;

О. Н. Дементьев, профессор, Челябинский государственный университет, Россия;

В. И. Кобер, профессор, Центр научных исследований и высшего образования, Департамент компьютерных наук, Энсенада, Мексика;

Г. Г. Куликов, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия;

А. С. Марков, профессор, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Россия;

В. В. Мартынов, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия;

С. В. Матвеев, профессор, член-корреспондент РАН, академик, Челябинский государственный университет, Россия;

Л. В. Массель, профессор, Институт систем энергетики РАН, Россия;

Г. С. Осипов, профессор, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Россия;

А. В. Панюков, профессор, Южно-Уральский государственный университет, Россия;

А. Б. Петровский, профессор, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Россия;

А. А. Петунин, профессор, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия;

С. А. Петунин, главный специалист Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Л. Духова, Россия;

С. В. Смирнов, профессор, Институт проблем управления сложными системами РАН, Россия;

А. А. Соловьев, профессор, Челябинский государственный университет, Россия;

В. И. Ухоботов, профессор, Челябинский государственный университет, Россия;

Л. Р. Черняховская, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия;

Н. И. Юсупова, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия.

ОРГКОМИТЕТ

Председатель

В. А. Мельников (Челябинский государственный университет), тел. +7 (351) 799 72 88, protei300@gmail.com

Члены оргкомитета:

Н. А. Юрина (Челябинский государственный университет), тел. +7 (351) 799 72 88, una@csu.ru

Н. В. Маркова (Челябинский государственный университет), тел. +7 (351) 799 72 88, markovaiit@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Абакумов Е. М. Повышение операционной эффективности производства за счёт использования систем автоматизации управления 8

Абдалов М. С., Солодовникова А. В. Разработка рекомендательного модуля для CRM-системы агентства недвижимости 13

Барабанов А. В., Марков А. С., Рауткин Ю. В. Тенденции международной оценки соответствия средств защиты информации по линии «общих критериев». 18

Бельтюков А. П. Логико-дедуктивное порождение алгоритмических и информационных объектов. 21

Билиженко И. В., Волхонский В. В. Метод многоканальной обработки в пассивных оптико-электронных инфракрасных извещателях. 25

Боргест Н. М. Критериальный анализ предметной области — ключевая проблема в онтологии проектирования 28

Ботов Д. С., Кленин Ю. Д. Применение алгоритмов автоматического извлечения ключевых слов и моделей векторного представления слов в задаче анализа образовательного контента. 31

Ботов Д. С., Меньшикова Н. В., Портнов И. В. Разработка рекомендательной системы для музыкального сервиса на основе методов контентной и коллаборативной фильтрации 37

Булаев В. В., Шориков А. Ф. Модификация общего рекуррентного алгебраического метода построения областей достижимости линейных дискретных управляемых систем 47

Вишнев К. Е., Молородов Ю. И. Методы и средства визуализации контента по исследованию теплофизических свойств материалов 53

Волхонский В. В., Воробьев П. А. Способ формирования ортогональных диаграмм направленности пассивными оптико-электронными инфракрасными извещателями 58

Волхонский В. В., Малышкин С. Л. Аппроксимация плотности вероятности расстояния обнаружения радиоволновым извещателем 61

Воронцов А. Г., Петунин С. А. Организация однонаправленных каналов передачи информации в условиях защищённой среды 64

Гвоздев В. Е., Блинова Д. В., Давлиева А. С. Онтологический паттерн локализации дефектов кодирования в программных компонентах АПК 70

Гвоздев В. Е., Блинова Д. В., Кириллов К. В. Методика анализа влияния типов дефектов на характеристики качества аппаратно-программных комплексов на стадии эксплуатации. 73

Гергет О. М., Девятых Д. В. О применимости алгоритмов глубокого обучения в решении задач моделирования медицинских явлений. 77

Глимшина К. А., Богданова Д. Р., Яковлева Д. Е. Имитационное моделирование перекрёстка улиц имени Города Галле и Рихарда Зорге города Уфы 80

Головачева М. И., Филиппов Е. Г. Задача о смесях. Оптимальный состав аглошихты 84

Горанов А. Ю., Шориков А. Ф. Модифицированный рекуррентный метод построения области достижимости линейной дискретной динамической системы 87

Горбатова Е. А. , Емельяненко Е. А., Зарецкий М. В. Интеллектуальные методы проектирования технологических процессов переработки минерального сырья 93

Грибова В. В., Иванова А. В. Управление информационными ресурсами в интеллектуальной системе выбора средств защиты информационных систем 96

Дементьев О. Н. Влияние тепловых свойств границ на устойчивость конвективного движения запылённого газа 102

Долгий Ю. Ф., Зайнуллина Э. З., Сесекин А. Н., Ташлыков О. Л. Оптимальное управление наведением механизма перегрузки топливных сборок 105

Загорулько Г. Б., Боровикова О. И. Проблемы разработки онтологии для информационно-аналитического интернет-ресурса по поддержке принятия решений 108

Загорулько Ю. А., Загорулько Г. Б., Шестаков В. К. Подход к разработке информационно-аналитического интернет-ресурса по поддержке принятия решений 113

Захаров А. А., Захарова И. Г. Современные сетевые технологии и развитие компетенций студентов направления «Информационная безопасность» 117

Калёв В. И., Шориков А. Ф. Алгоритм построения точных областей достижимости с использованием зонотопов 122

Кириллова А. Д. Применение экспертной системы поддержки принятия решений в аудите информационной безопасности АСУ ТП 129

Козько А. А. Алгоритм реструктуризации интернет-форума на основе структурно-семантической близости сообщений 132

Колесникова С. И. Управление выводом на заданное многообразие нелинейного объекта в условиях неполного описания 135

Коровин М. Д., Боргест Н. М. Применение суррогатных моделей в системе поддержки проектирования на примере демонстрационного образца «Робот-проектант самолёта» 141

Куликов Г. Г., Бельтюков А. П., Набатов А. Н., Шамиданов Д. Г. Метод формирования метаструктуры контента предметной области в форме локальной распределённой информационной системы 144

Куликов Г. Г., Злобина Т. П., Бабак С. Ф., Шамиданов Д. Г. Системный подход к проектированию сложных интеллектуальных систем на основе категорий диалектики и формальных математических теоретико-множественных методов . . 149

Кутлуев Т. В., Васильев В. И. Разработка программного средства защиты информации в операционной системе Apple IOS 155

Макаровских Т. А., Панюков А. В. Алгоритм построения самонепересекающегося ОЕ-маршрута в плоском графе 157

Малтугуева Г. С., Юрин А. Ю., Дородных Н. О. Система поддержки принятия решений «Выбор» 163

Маслов С. Г. Системная модель триадного интерфейса 167

Массель Л. В. Конвергенция исследований критических инфраструктур, качества жизни и безопасности 170

Мельников В. А., Пашкевич Д. В. Исследование применимости технологий точного выращивания 176

Михеев В. А., Ушаков В. Н. Представление знаний в метапрограммах робототехнических комплексов 182

Надточий И. Л. Лингвистический аспект интеллектуальной технологии проектирования и управления в программной инженерии 188

Нечволода П. П., Пономарчук Ю. В. Анализ протоколов маршрутизации на основе жадной стратегии в сетях связи транспортных средств VANET 194

Никонов А. В., Вульфин А. М., Гаянова М. М. Алгоритмы интеллектуального анализа данных в задаче диагностики сердечной аритмии 200

Нурмухаметов И. А. Концептуальный подход к перспективам развития интеллектуальных систем электронного обучения нового поколения на основе нейронных сетей . . 206

Панюков А. В., Загирова Е. А. Программная реализация максиминной стратегии управления инвестиционной деятельностью предприятия 211

Панюкова А. А., Дударева В. И., Суздальцев В. О. Внедрение элементов профессии инженера-конструктора в техническое творчество в рамках дополнительного образования. 220

Петренко С. А., Бирюков Д. Н., Ломако А. Г. Метод упреждения компьютерных атак на основе свойства антиципации 225

Петренко С. А., Бирюков Д. Н., Ломако А. Г. Модель ассоциативной ресурсной сети для противодействия компьютерным атакам 231

Петунин А. А., Котел Н. С., Тырсин А. Н. О некоторых особенностях изменения структуры научных публикаций у работников высшей школы на примере одной репрезентативной выборки 235

Петунин А. А., Ченцов А. Г., Ченцов П. А. Задача маршрутизации инструмента в машинах резки металла: инженерные ограничения 241

Петунин С. А. Требования к программному обеспечению для классификации и анализа статистики вычислительных заданий суперЭВМ 247

Подлесных М. Ю., Боровский А. С. Расширенная модель Шухарта — Деминга в задачах оптимизации передачи и распределения электроэнергии 253

Сапожникова М. Ю., Гаянова М. М., Вульфин А. М. Нейросетевой фильтр акустических сигналов в нефтедобывающих скважинах 258

Сидорова Е. А., Боровикова О. И. Подход к жанровой классификации текстовых ресурсов . . 264

Симонов И. С., Гвоздев В. Е. Анализ календарных планов производства технических систем ответственного назначения на основе аппарата схем сопряжения. 270

Скрипов С. А. Реализация многопользовательской виртуальной лаборатории на основе облачных технологий 275

Сметанина О. Н., Агадуллина А. И. Моделирование и архитектура системы поддержки принятия решений при управлении экологической эффективностью промышленного предприятия 277

Сметанина О. Н., Рассадникова Е. Ю., Смолина А. С., Грачева Ю. Е. Выбор логистического перевозчика на основе методов многокритериальной оценки в системе управления транспортировкой готовой продукции 282

Смирнов С. В. Модели и методы формирования когнитивных карт при их коллективной разработке 286

Соболев Е. И., Пономарчук Ю. В., Суриц В. В. Сравнительный анализ алгоритмов детектирования пешеходов для интеллектуальной системы «умного города» . . 289

Старостин Н. Д. Базовая вариация алгоритма поуровневого приближения к минимальному маршруту 295

Таваева А. Ф., Петунин А. А. Определение зависимости изменения рабочей скорости инструмента от числа кадров управляющей программы для машины лазерной резки с ЧПУ 303

Тырсин А. Н., Геворгян Г. Г. Энтропийные модели динамики и управления многомерных стохастических систем 311

Федорова Н. И. Информационно-аналитическая поддержка при управлении взаимодействующими процессами 315

Филиппова А. С., Шориков А. Ф. Применение динамического экономико-математического моделирования для разработки методик организации и реализации банковских процессов 319

Ципорин П. И. Методика оптимизации распределения ресурсов для повышения качества деятельности системы образовательных учреждений по обобщённым показателям качества деятельности 325

Челмакин А. Н., Кочержинская Ю. В., Ячиков И. М. Теоретико-информационный анализ криптографических методов защиты компьютерной информации 328

Шилова О. Ю., Мельников А. В. Применение стандартной SIR-модели эпидемии и ее модификаций для имитационного моделирования поведения потенциальных абитуриентов с целью оптимизации плана рекламы и прогнозирования результатов рекламной кампании 331

Шориков А. Ф. Оптимизация гарантированного результата программного терминального управления в двухуровневой иерархической нелинейной дискретной динамической системе 337

Шориков А. Ф., Султанахметов Д. Р. Оптимизация управления проектами в строительстве при наличии нескольких технологий 340

Юсупова Н. И., Галямов А. Ф., Галямов А. Ф. Об одном алгоритме семантического анализа информации в глобально распределённых сетях 347

Юсупова Н. И., Сметанина О. Н., Гаянова М. М. О состоянии и перспективах развития отрасли информационных технологий в контексте подготовки кадров 353

Юсупова Н. И., Сметанина О. Н., Климова А. В. Вопросы использования онтологии в системе образования 359

Юсупова Н. И., Шахмаметова Г. Р., Миронов В. В. О ситуационных моделях для информационной поддержки антикризисного управления 362

Ячиков И. М., Алферьева М. К., Николаев А. А. Математическое и программное обеспечение по выявлению взаимосвязи между контролируемыми диагностическими параметрами при наличии временного лага 367

Ячиков И. М., Кряжев Е. О., Кочержинская Ю. В. Программно-аппаратный комплекс для измерения тепловых параметров системы охлаждения лабораторного высокочастотного индуктора на базе контроллера Arduino 372

ББК У301
УДК 681.5

Е. М. Абакумов

ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Операционная эффективность — залог конкурентоспособности организации. В настоящее время «автаркный» тип производства, используемый предприятиями России, требует новых подходов к повышению эффективности. Поддержание операционных процессов без использования систем автоматизации в производстве становится всё более трудоёмким. Использование систем автоматизации должно способствовать поддержанию максимальной эффективности процессов нижнего уровня. В данной работе рассматриваются методы повышения эффективности процессов нижнего уровня в дискретных производствах.

Введение

Вопросы повышения эффективности производства всегда были актуальны. Методы оценки эффективности автоматизации дискретных производств рассматривались в исследованиях по операционной эффективности. Однако вопросы оценки применения таких систем, как средства повышения эффективности производственного процесса в дискретных производствах, рассмотрены не в полном объёме. Среди алгоритмов, которые недостаточно рассматриваются в литературе, можно отметить алгоритмы обеспечения обратной связи о состоянии производственного процесса, алгоритмы операционного уровня по выдаче заданий на рабочие места, алгоритмы сокращения подготовительно-заключительного времени за счёт уровня автоматизации информационного обеспечения рабочего места. В производствах конвейерного типа самого производственного процесса разработаны алгоритмы планирования различных видов за счёт высокого уровня автоматизации, однако при опытном или мелкосерийном дискретном производстве необходимо использовать другие методы.

Методы получения информации о состоянии производственного процесса описаны недостаточно подробно, а следовательно, и оценка операционных алгоритмов в полном объёме отсутствует. Целью данной работы является разработка методов оценки по обеспечению обратной связи о состоянии изготовления деталей в системах автоматизации управления дискретным производством с применением оборудования с ЧПУ.

1. Основные элементы повышения эффективности систем управления производством

Несомненно, что текущий этап — один из этапов развития информационных систем на предприятиях ОПК России, и уже сейчас очевидно, что отдельные технические решения в области автоматизации управления предприятиям необходимо углублять для решения конкретных задач на отдельных производственных участках, например, в задачах автоматизации управления изготовлением и прослеживаемостью при производстве жгутов или в задачах управления технологическим процессом в гальваническом производстве с учётом цифровой обработки информации, содержащейся в КД. Однако для перехода к решению более детальных задач необходимо обеспечение широкого охвата пользователей и процессов в области автоматизации управления. Здесь на современном этапе необходима выработка ряда технических и программных решений, обеспечивающих повышение эффективности применения информационных технологий.

В российском приборостроительном производстве использование классических алгоритмов оптимизации производственного плана значительно осложняется вследствие сочетания изготовления опытных образцов с мелкой серией. Примером таких сложностей являются учёт взаимозамен в конструкторской документации при расчёте плана поставок, работа с предварительными извещениями и др. Так, при учёте взаимозамен в расчётах потребности под производственный план необходимо решить вычислительно сложную задачу, которая на большой размерности требует значительных вычислительных ресурсов. В таком производстве основной центр тяжести лежит в области получения информации о состоянии изготовления с максимальной дискретностью, и системы класса ERP и MES движутся от транзакционных решений в область систем поддержки принятия решений. Таким образом, одним из важнейших вопросов российских систем автоматизации управления производством является повышение эффективности производственного процесса за счёт методов реализации диспетчирования как метода обеспечения обратной связи.

2. Диспетчирование операций как метод повышения эффективности

Под диспетчированием будем понимать получение информации о состоянии производственного процесса. Особенностью опытного и мелкосерийного

производства является широкая номенклатура деталей и высокий уровень простоев оборудования, связанных с переналадками. В данной работе процесс формирования производственного плана рассматривать не будем. Считаем, что производственный план сформирован, сменное задание разработано и выдано исполнителю. Возникает задача получения отметки в автоматизированной системе о выдаче задания и, при его выполнении,— о завершении работы. Информация может быть введена участниками производственного процесса с рабочих мест, однако дискретность таких действий органично связана с выдачей и получением работы конкретным исполнителем. Классической реализацией является заполнение производственных рапортов, которые затем вводятся централизованно — операторской службой. Очевидно, что в современных условиях запаздывание обратной связи о состоянии изготовления является неоптимальным и напрямую влияет на эффективность управления. Под обратной связью в системе автоматизации понимается получение отметки о состоянии изготовления, которая будет использована в автоматизированной системе планирования в целом. Кроме того, исполнителю может быть назначено несколько заданий, и плановому органу остаётся неизвестным состояние изготовления до момента сдачи работы мастером. Предлагается, при наличии оборудования с ЧПУ, повысить дискретность обратной связи за счёт использования дополнительных информационных связей, встроенных в процесс подготовки производства на конкретном рабочем месте. Это обеспечивается благодаря использованию автоматизированной системы диспетчирования операций, в которой не только выполняются отметки о выдаче работы или сдаче её после изготовления, но и делаются дополнительные отметки между этими двумя событиями с помощью дополнительных технических средств. Алгоритм диспетчирования внутри производственной операции, интегрированный в систему управления производством и разработанный под руководством автора, представлен на рисунке.

Выдача и приём мастером задания, соответствующего данной производственной операции, остаётся за рамками данной иллюстрации, но включены в процесс диспетчерирования.

Основным методом является интеграция системы мониторинга производственного оборудования в систему планирования и диспетчирования, позволяющая повысить эффективность контроля процесса изготовления через повышение дискретности снятия информации, а также достоверности информации за счёт использования технических и программных средств, жёстко определяющих последовательность действий участников процесса изготовления. При этом в системе мониторинга оборудования можно получить информацию о реквизитах производственной партии (заказ, плановое задание, номера извещений об изменении конструкторской и технологической документации) как на экране с онлайн-информацией, так и на экране с ретроспективной информацией об изготовлении. Если такая интеграция не проводится, то информация с системы мониторинга оборудования содержит только состояния станка, не учитывая привязку к производственному плану и не повышает дискретность обратной связи.

Обратную связь с ЧПУ естественно получить с системы ЧПУ без дополнительного оборудования,

Алгоритм диспетчирования в системе мониторинга

однако коды ЧПУ не всегда раскрываются производителем. Таким образом, на станок устанавливается дополнительное оборудование, которое выполняет функции контроля за работой на станке, а также реализует техническую возможность загрузки управляющей программы только после сканирования сопроводительного документа на партию. При этом обеспечивается идентификация сотрудника и закладывается жёсткий алгоритм его действий — «Идентификация сотрудника — идентификация сопроводительного паспорта (СП) через использование штрих-кода из системы производственного планирования и обеспечение загрузки управляющей программы из архива — отметка о начале выполнения операции, время которой подтверждается техническим средством (системой мониторинга системы с ЧПУ) — отметка об окончании выполнения операции с проставлением количества годных деталей вручную, которая подтверждается техническим средством». Этот информационный цикл имеет две особенности:

– он встроен в общую систему диспетчирования, и невозможно начало выполнения операции, если ранее не была такая работа выдана на конкретный участок, как и отметить её выполнение, если управляющая программа на станке не запускалась;

– рабочий обязан ввести причину простоя, если выполнение операции остановилось, в течение пятнадцати минут после останова.

Эти особенности метода обеспечения обратной связи способствуют повышению информационной прозрачности процесса изготовления деталей и дают информационную основу для анализа данных о причинах снижения эффективности выполнения работ на производственных участках.

3. Информационное обеспечение рабочего места производственного персонала как метод повышения эффективности

Широкое применение PDM-систем и систем управления производством является информационной основой для повышения эффективности информационного обеспечения рабочего места.

Наличие плановой, конструкторской и технологической документации в электронном виде создаёт значительный потенциал для использования на рабочих местах производственного персонала. На рабочих местах основных рабочих применение вычислительной техники не повсеместно, бóльшая часть информации передаётся в бумажном виде. Однако при обеспечении рабочего места компьютером становится возможным продемонстрировать рабочему всю необходимую информацию для изготовления в электронном виде и полностью отказаться от бумажных носителей. Даже раздельное использование этой информации даёт возможность значительно уменьшить время её поиска и повысить доступность. Однако отсутствие интеграционных решений значительно снижает потенциальный эффект от применения систем. Решение интеграционной задачи в части совместной работы системы управления производством, системы управления данными об изделии и технологической системы автоматизированного проектирования ((САПР), если она изначально не интегрирована в систему управления данными) позволяет достичь следующих эффектов: обеспечение доступности информации в круглосуточном режиме, обеспечение актуальности информации, отсутствие времени на поиск информации, повышение оперативности информационного обеспечения рабочего места на производстве. Для достижения этих эффектов обеспечивается визуализация информации из технологического и конструкторского САПР по идентификатору сопроводительного документа на изготавливаемую партию с решением интеграционной задачи и задачи визуализации без дополнительного поиска в специализированных системах. Идентификатором может выступать номер сопроводительного документа (например, сопроводительного паспорта), а признаками соответствия документа наименование, обозначение и номер версии изменения конструкторского и технологического документов, содержащегося в системе управления производством. При решении задачи идентификации может быть использована технология штрихкодирования или радиочастотной идентификации. В данном случае рабочий считывает с сопроводительного документа штрих-код и получает на экране монитора изображение чертежа, модели или технологического документа, причём поиск производится не из конкретной системы вручную, а с помощью программных инструментов. Принципиально возможным является отказ от использования сканеров штрихкодов на рабочих местах рабочих. В этом случае задания с использованием штрихкодов назначаются мастером участка, и рабочий выбирает требуемое задание на мониторе из списка — это становится принципиально возможным при небольшом количестве заданий одновременно обрабатываемых каждым рабочим.

4. Практическая реализация

Предложенные методы реализованы в рамках автоматизированной системы «Призма», разработанной во Всероссийском НИИ автоматики им. Духова. Во главу решения поставлен принцип информационной прозрачности процесса производства и приоритетности диспетчирования над оптимизацией и построением производственного расписания. В системе используется несколько уровней управления: план производства верхнего уровня, план цеха, план участка, сменное задание, сопроводительный паспорт, операция и её внутренняя детализация с получением информации о состоянии изготовления с рабочего места с учётом особенностей производственного процесса.

Система обеспечивает решение задач управления мелкосерийным и опытным производством с учётом особенностей различных типов основных и вспомогательных производств. «Призма» учитывает специфику предприятий, выполняющих комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также обеспечивающих производство, ремонт и послегарантийное обслуживание изделий собственного производства с высоким уровнем внутренней локализации составных частей. Внедрение программного обеспечения, использующего предлагаемые алгоритмы, позволило повысить коэффициент использования оборудования с ЧПУ на 15–20 % и сократить подготовительно-заключительное время операции за счёт почти мгновенного обеспечения рабочего места конструкторской и технологической документацией. Снижение числа дефектов, вызванных использованием неактуальной документации, также является косвенным эффектом этого внедрения.

Выводы

В статье предложены методы повышения эффективности управления дискретным опытным и мелкосерийным производством: диспетчирование и информационное обеспечение рабочего места производственного персонала. Диспетчирование как метод обеспечения обратной связи о состоянии производственного процесса способствует повышению информационной прозрачности управления опытным и мелкосерийным производством и отличается использованием информации как с рабочих мест мастеров, так и с рабочих мест рабочих и оборудования. Система диспетчирования операций даёт возможность формирования сменного задания на базе информации о назначенных для исполнения конкретному рабочему производственных заданий. Сменное задание может формироваться автоматически при условии организационного требования по назначению выполняемых заданий перед началом смены, причём также может формироваться задание обеспечивающим службам на подготовку материалов, оснастки, инструмента и документации для выполнения назначенной производственной операции. Таким образом, может быть сокращено подготовительно-заключительное время, требуемое на изготовление партии ДСЕ.

Вторым направлением повышения эффективности за счёт минимизации подготовительно-заключительного времени является электронная подготовка документации для визуализации в системе управления данными об изделии, используемая в рамках информационного обеспечения рабочих мест производственного персонала.

Данные методы использованы во ВНИИА и привели к повышению коэффициента использования оборудования на исследуемом участке на 10 % и сокращению подготовительно-заключительного времени на 30 %.

Библиографический список

1. Питеркин, С. В. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем / С. В. Питеркин, Н. А. Оладов, Д. В. Исаев. М. : Альпина Паблишер, 2002. 368 с.

2. Гаврилов, Д. А. Управление производством на базе стандарта MRP II / Д. А. Гаврилов. 2-е изд. СПб. : Питер, 2008. 416 с.

3. Вожаков, А. В. Автоматизация операционного планирования дискретного производства при нечёткой исходной информации : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Вожаков. Пермь : РГБ, 2009. 130 с.

4. Фролов, Е. Б. Оперативно-календарное планирование и диспетчирование в MES-системах / Е. Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин // Станоч. парк. 2008. № 11 (56). С. 22–27.

5. Ицкович, Э. Л. Особенности систем класса MES производства технологического типа, обеспечивающие необходимую эффективность их функционирования / Э. Л. Ицкович // Автоматизация в промышленности. 2015. № 2. С. 3–10.

6. Воробьев, С. А. Планирование и управление дискретным производством на основе временных сетей Петри с переменной нагрузкой : дис. ... канд. техн. наук / С. А. Воробьев. Красноярск, 1999. 149 с.

7. Степаненко, В. Е. Методы и средства имитационного моделирования систем управления материальными ресурсами дискретного машиностроительного производства на основе сетей Петри : дис. ... канд. техн. наук / В. Е. Степаненко. Комсомольск-на-Амуре, 2013.

8. Абакумов, Е. М. Интеграция автоматизированных систем, участвующих в процессе обеспечения товарно-материальными ценностями предприятия приборостроительного профиля / Е. М. Абакумов, Д. М. Агулова, Н. О. Кожевников // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD2013) : тр. VII Междунар. конф. : в 2 т. / И-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН ; под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. М., 2013. Т. II. С. 20–29.

9. Абакумов, Е. М. Особенности системы управления производством на предприятии приборостроения: опыт собственной разработки системы / Е. М. Абакумов, Н. О. Кожевников // Информационные и математические технологии в науке и управлении : тр. XX Байкал. Всерос. конф. / отв. ред. Л. В. Массель. Иркутск, 2015. С. 51–57.

10. Особенности взаимодействия систем оперативного управления основным и инструментальным производством машиностроительного предприятия / Е. М. Абакумов, С. Б. Казанбеков, И. С. Решетников и др. // Автоматизация в промышленности. 2012. № 10. С. 35–38.

11. Система управления производством на предприятии ЯОК : докл. на XVI Междунар. науч.-практ. конф.

«Информационные технологии в металлургии, машиностроении, ТЭК и химии» ИБММ-2013 (Москва, 4–6 июня 2013 г.) / С. Е. Сбитнев, Е. М. Абакумов, Н. О. Кожевников. М., 2013. 34 с.

Сведения об авторе

Абакумов Евгений Михайлович — кандидат технических наук, доцент, начальник научно-исследовательского отделения, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н. Л. Духова; НИЯУ «МИФИ», Москва. abakumov@vniia.ru

---

E. M. Abakumov

THE INCREASING OF OPERATIONAL EFFICIENCY BY USING INFORMATION SYSTEM

The methods of using information system in production plants are described in this paper. The article includes methods of increasing the operational efficiency by using information system for operational level and gives the practical implementation of the theoretical results.

ББК У22
УДК 332.85

М. С. Абдалов, А. В. Солодовникова

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ CRM-СИСТЕМЫ АГЕНТСТВА НЕДВИЖИМОСТИ

Конкуренция в сфере продаж объектов недвижимости растёт с каждым годом. Каждая компания стремится снизить затрачиваемое время на подбор объектов для клиентов. Решать такую задачу можно с использованием рекомендательных модулей, о разработке которого и пойдёт речь в данной статье.

Введение

Рекомендательные системы полезны для компаний и людей, деятельность которых тесно связана с принятием решений. Использование рекомендательных модулей особенно востребовано в компаниях, занимающихся продажей товаров или объектов, например, в сфере недвижимости. В данной работе будет рассматриваться разработка рекомендательного модуля для агентства недвижимости, занимающегося продажей жилья. Компания — заказчик рекомендательного модуля тратит на поиск и подбор объектов недвижимости до 30 минут на 1 запрос клиента. Использование рекомендательного модуля позволит сократить время на поиск, а занять компании высокие лидерские позиции на рынке, что подчеркивает актуальность исследуемой темы. Компанией, занимающейся разработкой рекомендательных решений, является Google. Используя алгоритмы Content-based, Collaborative, а также рекомендательный продукт Cluster, был разработан облачный сервис для сферы недвижимости, который по запросу рекомендует пользователям объекты недвижимости [1].

В последние годы интерес к теме разработки рекомендательных систем возрос, о чём свидетельствуют новости о проведении конференций и семинаров в данной области, такие как ACM Recommender Systems (RecSys). Конференции, затронувшие темы рекомендательных систем,— это Adaptation and Personalization (UMAP), ACM Special Interest Group on Information Retrieval (SIGIR), Group on Management of Data (SIGMOD), ACM Special Interest, User Modeling. Журналы с тематикой рекомендательных систем — ACM Transactions on Information Systems (2004), International Journal of Computer Science and Applications (2006), IEEE Intelligent Systems (2007), а также AI Communications (2008).

Рекомендательные системы являются новым витком исследований по отношению другим разрабатываемым решениям, например, поисковым системам. В настоящее время большое количество медиакомпаний разрабатывают и внедряют рекомендательные системы как услуги для своих клиентов. Большое количество учёных занимаются построением рекомендаций, например, работа Choon Hui Teo и других учёных, написавших статью «Adaptive, Personalized Diversity for Visual Discovery» (2016) [2], в которой говорится о построении поисковой системы с элементами рекомендательных алгоритмов, предлагающей по запросу рекомендуемые пользователю товары. В основе работы указанных авторов рекомендательного алгоритма используются три составляющие: байесовская модель регрессии, субмодулярная диверсификационная структура, а также персонализированные предпочтения пользователей.

Целью исследования является снижение времени на подбор объекта в CRM-системе, специалистами агентства недвижимости за счёт использования рекомендательного модуля. Объектом исследования является рынок покупок и продаж объектов в сфере недвижимости. Предметом исследования являются методы и алгоритмы в сфере недвижимости рекомендательных модулей в CRM-системах.

Основные задачи исследования:

1. Исследовать методы и алгоритмы рекомендательных модулей CRM-системах.
2. Выбрать методы для разработки рекомендательного модуля.
3. Разработать рекомендательный модуль.
4. Провести экспериментальное испытание выбранных методов.

Обзор методов и моделей реализации рекомендательных систем

При выборе метода, с помощью которого должен быть разработан рекомендательный модуль, необходимо опираться на следующие факторы:

1) поставленная задача;
2) объём и тип исходных данных;
3) наличие экспертных предпочтений;
4) алгоритм построения списка результатов с учётом выбранной модели;
5) определение приоритетных объектов на основе выбранных предпочтений.

Полученные данные могут быть достоверными и правдоподобными. К первым относятся результаты объективных измерений, ко вторым экспертные оценки в терминах вероятности или уверенности, как описывается в статье о построении и постановке требований к модели данных [3].

Для решения поставленной задачи рассматривались следующие методы исследования:

1. Utility based — метод, в основе которого лежит знание об объектах.

2. Knowledge base — метод, основанный на знаниях о потребности клиента, а также данных об объектах.

3. Collaborative filtering — метод построения прогнозов на основе предпочтений пользователей.

В результате были выбраны Utility based, так как для проведения эксперимента было собрано достаточное количество данных об объектах недвижимости, и Knowledge base, для которого специалисты агентства недвижимости на основе знаний о потребностях клиентов сформировали кейсы, обобщающие в себе свойства объектов недвижимости с потребностями клиентов. Метод Collaborative filtering не был выбран для проведения эксперимента из-за недостатка знаний о предпочтениях клиентов, покупавших недвижимость ранее.

Предлагаемый метод формирования рекомендаций для CRM-системы

Введём следующие определения:

1) объект — объект недвижимости, такой как квартира, дом;

2) признак объекта — это параметр объекта недвижимости, такой как цена, стоимость, количество комнат;

3) значение признака — это значение параметра, для стоимости это будет цена квартиры, числовой показатель, например, 1,5 млн р.;

4) категория — значение, используемое в фильтре для указания приоритета задаваемого параметра, используемые значения: высокий, средний, низкий, очень низкий.

Для решения поставленной задачи и проведения эксперимента были определены следующие параметры:

1) число объектов недвижимости — N;

2) число признаков объектов недвижимости — n;

3) число значений признаков — m;

4) категория — b;

5) размерность данных, представленной в виде таблицы $N \cdot n$.

Первый, рассматриваемый метод — Utility based. Для применения метода необходимо указать параметры для поиска, а также категорию для каждого из вводимых параметров. Категории могут быть указаны пользователем по желанию. Схематическое представление работы метода обозначено на рис. 1.

Для формального описания метода Utility based, представим:

$$U(u_1, ..., u_m, p_1, ..., p_m) = \sum_{j=1}^{m} u_j p_j,$$

где U — множество объектов;

$p_1, ..., p_m$ — набор параметров;

$u_1, ..., u_m$ — набор категорий.

Использование алгоритма позволяет выполнять подбор объектов по заданным критериям.

Вторым рассматриваемым методом, основанном на знаниях о клиентах и объектах, является алгоритм Knowledge base. Для систем, использующих данный метод, чаще всего знания добавляются в систему вручную. Есть также возможность разработки программных механизмов для создания базы с автоматическим наполнением в неё знаний.

Добавление данных вручную можно представить в виде кейсов, в которых могут быть сформированы знания о запросах клиентов, алгоритмы подбора менеджерами агентств недвижимости. Кейс — это множество правил, состоящих из параметров и свойств объектов недвижимости.

Схема работы алгоритма представлена на рис. 2.

При применении данного алгоритма использование базы знаний позволяет выбирать требуемый кейс и на основании описанных в нём знаний производить быстрый подбор объектов специалистом.

Для выбора основных параметров, влияющих на отбор объектов, выделяются и неявные признаки объекта, например, с таким параметром, как этажность, необходимо указывать не только номер этажа, но также его свойства: не верхний, не нижний, не крайние (первый и последний). Выделяя такой параметр, как стоимость, необходимо учитывать, что он зависит от других параметров, таких как площадь, количество комнат. При использовании данных взаимосвязей между параметрами будет значительно снижен диапазон поиска.

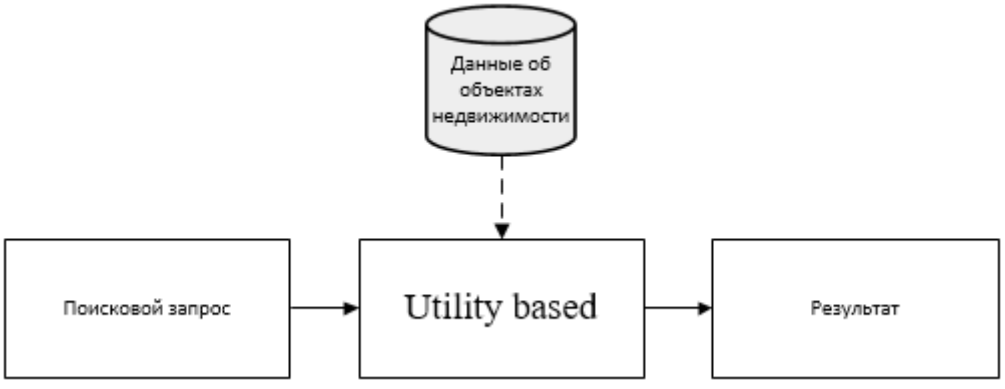


Рис. 1. Схематическое представление работы метода Utility based

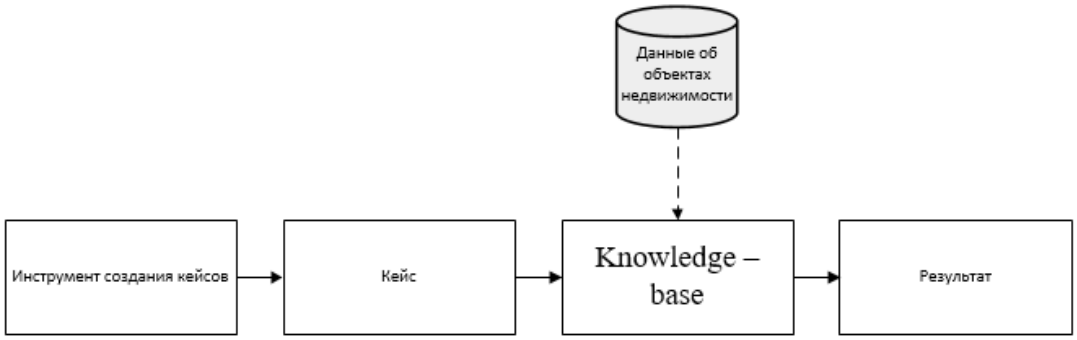


Рис. 2. Схематическое представление работы метода Knowledge base

Проведение эксперимента и получение результатов

Для проведения эксперимента была использована база объектов недвижимости в размере 1 000 объектов. В проведении эксперимента участвовали 10 специалистов-экспертов по подбору объектов недвижимости, на основании оценок которых и были получены результаты.

Для оценивания были выбраны следующие критерии:

1) удобство подбора (Usability);

2) сложность подбора (Complexity);

3) точность результатов (Accuracy).

Оценка для каждого из поставленных параметров выставлялась оценка 0 или 1, где 0 — наихудший результат, 1 — наилучший результат.

Для проведения эксперимента использовались следующие параметры:

• Объект недвижимости: Площадь, Стоимость, Этаж, Этажность, Количество комнат.

• Клиент: Пол, Возраст, Наличие семьи (есть/нет), Наличие автомобиля (есть/нет), Бюджет, Льготы (есть/нет).

Проведение эксперимента с использованием метода Utility based включало в себя параметры «Объект недвижимости», а также категории для каждого из параметров. Для реализации метода был спроектирован поисковый фильтр, в котором был задан набор значений для поиска. Отображение списка результатов происходит по принципу вывода первыми в списке тех значений, категория которых указана в порядке возрастания.

Описание используемых параметров и категорий для каждого параметра указано в табл. 1. В результате эксперимента были получены следующие оценки, приведённые в табл. 2. Общее затраченное время на проведение эксперимента из 5 вариантов подбора — 40 минут, средняя точность результата: $C = 60$ %, $D = 60$ %, $E = 70$ %.

Для проведения эксперимента с использованием метода Knowledge-base был спроектирован и разработан механизм кейсов. Набор параметров для проведения эксперимента указан в табл. 3. В ходе проведения эксперимента были получены следующие результаты, указанные в табл. 4. Общее затраченное время

Таблица 1

Данные для проведения эксперимента с использованием метода Utility based

№ эксперимента	Площадь	Стоимость	Этаж	Этажность	Количество комнат
1	Высокий	Высокий	Средний	Высокий	Высокий
2	Средний	Высокий	Низкий	Средний	Высокий
3	Очень низкий	Низкий	Высокий	Высокий	Средний
4	Высокий	Низкий	Средний	Средний	Низкий
5	Высокий	Низкий	Высокий	Высокий	Высокий

Таблица 2

Результаты эксперимента с использованием метода Utility based

№ эксперимента	Usability, %	Complexity, %	Accuracy, %
1	60	60	80
2	70	70	60
3	60	50	60
4	50	50	70
5	60	70	80

на проведение эксперимента из 5 кейсов — 80 минут, среднее время на заполнение 1 кейса — 16 минут, среднее время на подбор объектов с использованием кейсов в поисковом фильтре — 7 минут, средняя точность результата: $C = 90$ %, $D = 80$ %, $E = 80$ %.

Заключение

В ходе решения поставленной задачи формирования рекомендаций по объектам недвижимости были получены следующие основные результаты:

1. Проведён анализ подходов к разработке рекомендательных систем.

2. Выбраны методы для разработки рекомендательного модуля.

3. Разработан инструментарий для проведения экспериментов.

4. Проведены эксперименты и получены результаты с экспертной оценкой от специалистов агентства недвижимости.

По итогам исследования была достигнута поставленная цель: снижено время на подбор объектов, специалистами агентства недвижимости с 30 минут до 3 минут за счёт использования рекомендательного модуля.

По результатам проведённых экспериментов, по мнению специалистов, можно сделать вывод о том, что использование алгоритма Knowledge base для увеличения скорости подбора объектов даёт лучший результат, чем метод Utility based.

Сводные оценки полученных результатов приведены в табл. 5.

Таблица 3

Входные параметры для проведения эксперимента Knowledge base

	№ эксперимента	1	2	3	4	5
Параметр	Кейс	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
	Площадь	+	–	+	–	+
	Стоимость	+	–	+	–	+
	Этаж	+	–	–	–	+
	Этажность	+	–	+	+	–
	Количество комнат	+	+	+	–	+
	Пол	+	+	–	+	–
	Возраст	+	+	–	–	–
	Наличие семьи	+	+	–	+	+
	Наличие автомобиля	+	–	+	–	–
	Бюджет	+	+	–	+	+
Время (мин)		30	10	15	10	15

Таблица 4

Результаты эксперимента с использованием метода Knowledge base

№ эксперимента	Usability, %	Complexity, %	Accuracy, %
1	90	90	90
2	90	60	70
3	90	90	80
4	90	60	70
5	90	70	80

Таблица 5

Оценка полученных результатов

Метод	Usability, %	Complexity, %	Accuracy, %	Общее время эксперимента, мин	Среднее время на подбор 1 объекта, мин
Utility based	60	60	70	40	8
Knowledge base	90	80	80	80	3

Результаты экспериментов показали, что использование метода Knowledge base, по оценке экспертов, является наиболее приемлемым для достижения поставленной цели. В ходе дальнейшего исследования планируется разработка рекомендательного модуля для CRM-системы с применением метода Collaborative filtering.

Библиографический список

1. Using Machine Learning on Compute Engine to Make Product Recommendations. URL: https://cloud.google.com/solutions/recommendations-using-machine-learning-on-compute-engine

2. Choon Hui Teo. Adaptive, Personalized Diversity for Visual Discovery / Choon Hui Teo [et al.] // RecSys '16 Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems, Boston, USA. New York : ACM, 2016. P. 35–38. Doi: 10.1145/2959100.2959171.

3. Микони, С. В. Логический подход к выбору моделей, удовлетворяющих требованиям задач одного класса / С. В. Микони // Имитационное моделирование. Теория и практика : тр. конф., 21–23 окт. 2015. М. : ИПУ РАН, 2015 Т. 1. С. 132–136.

4. Campos, J. General-to-Specific Modeling: An Overview and Selected Bibliography / J. Campos, N. R. Ericsson, D. F. Hendry // Board of Governors of the Federal Reserve System, International Finance Discussion Papers. 2005. № 838. P. 16–22.

5. Mahmood, T. Improving Recommender Systems with Adaptive Conversational Strategies / T. Mahmood, F. Ricci // Proceedings of the 20th ACM conference on Hypertext and hypermedia. ACM, 2009. P. 73–82.

6. Zhang, X. Study on Recommender Systems for Business-To-Business Electronic Commerce / X. Zhang, H Wang // Recommender Systems for B2B Electronic Commerce : Communications of the IIMA. 2005. Vol. 5, iss. 4. P. 53–62.

7. Resnick, P. Recommender systems. Commun ACM / P. Resnick, H. R. Varian // Communications of the ACM. 1997. Vol. 40, iss. 3. P. 56–58.

Сведения об авторах

Абдалов Максим Сергеевич — магистрант Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. maxim.abdalov@gmail.com

Солодовникова Анастасия Васильевна — магистрант Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. anastasya.solodovnikova@mail.ru

---

M. S. Abdalov, A. V. Solodovnikova

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATION MODULE FOR CRM-REAL ESTATE AGENCY SYSTEM

Abstract: Competition in the field of sales of real estate is growing every year. Spent time on the selection of sites for customers, each company seeks to reduce. To solve such a problem can be with the use of reference modules. On the development of an advisory unit in the field of real estate agents is described in this article.

ББК 3972.13
УДК 004.056.5

А. В. Барабанов, А. С. Марков, Ю. В. Рауткин

ТЕНДЕНЦИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ПО ЛИНИИ «ОБЩИХ КРИТЕРИЕВ»

Приведены результаты анализа текущих тенденций международной системы оценки соответствия средств защиты информации по линии «общих критериев». Представлены результаты прогнозирования изменений, которые в ближайшее время могут быть внесены в документы по линии «общих критериев». Приведены рекомендации по улучшению отечественной системы сертификации.

Методология «общих критериев» (ОК), сформированная в середине 1990-х гг., рассматривается как наиболее перспективная в нашей стране в области оценки соответствия средств защиты информации (СЗИ) [1]. В то же время Технический комитет по стандартизации ISO/IEC JTC 1/SC 27 и участники Соглашения о взаимном признании сертификатов соответствия (Common Criteria Recognition Arrangement, CCRA)* начали работы по кардинальному изменению стандартов и документов методологии ОК. Результатом такой работы должны стать уточнённые документы линейки ОК, а также соответствующие международные стандарты, что создаст нормативный разрыв между международной и отечественной нормативной базой оценки соответствия средств защиты информации (СЗИ).

В результате исследования открытой информации, публикуемой национальными системами сертификации и участниками Соглашения CCRA, были выявлены следующие тенденции:

1. Выделение критичных типов СЗИ и ПО, разработка для них *совместных* профилей защиты (ПЗ).

2. Использование при сертификации СЗИ исключительно совместных ПЗ и отказ от сертификации на соответствие требованиям заданий по безопасности (ЗБ), которые не декларирует соответствие ни одному из утверждённых профилей защиты. Совместные ПЗ разрабатываются совместно представителями различных стран, работающих в рамках международных технических комитетов. В такие международные технические комитеты, как правило, входят представители испытательных лабораторий, органов по сертификации, разработчиков и научных институтов, являющиеся специалистами в определённой области информационных технологий. Основные особенности совместных ПЗ следующие:

– отказ от использования понятия «оценочный уровень доверия» (ОУД) и существенное понижение требований доверия до требований, аналогичных оценочному уровню доверия ОУД-1;

– запрет дополнения или усиления перечня требований из ПЗ в ЗБ.

3. Для каждого разработанного совместного ПЗ международные комитеты создают типовые методики испытаний, предназначенные для испытательных лабораторий и органов по сертификации.

4. Обеспечение детерминированности процедуры анализа уязвимостей, выполняемой в рамках сертификационных испытаний. В совместных ПЗ анализ уязвимостей предлагается выполнять испытательным лабораториям исключительно на основе изучения открытых источников информации. Требования по выполнению анализа уязвимостей, например, на основе анализа исходного кода ПО с использованием методов статического или динамического анализа совместными ПЗ, предъявляются.

5. Отдельные системы сертификации создают программы чёткого отслеживания сроков сертификации (например, Программа системы сертификации США «Сертификация за 90 дней»).

Следует отметить, что новый подход пока не используется повсеместно и не принят всеми участниками соглашения CCRA. Так, французская, голландская и немецкая системы сертификации предполагают в дополнение к сертификации по требованиям совместных ПЗ проводить сертификацию на соответствие повышенным требованиями доверия (так называемая теневая сертификация) [2].

В таблице представлены результаты сравнения отечественной и перспективной зарубежной систем сертификации.

По результатам анализа выполнено прогнозирование изменений в международной системе сертификации по линии ОК [3]. Основные положения представлены далее по тексту.

1. Несмотря на инициативы ряда национальных систем сертификаций, связанные с отказом от использования ОУД, в новых версиях документов данная система должна остаться.

2. Прогнозируется, что номенклатура функциональных требований безопасности будет дополнена требованиями, характерными для современных СЗИ,

* РФ не является участником Соглашения по ОК.

Сравнение отечественной и перспективной зарубежной систем сертификации

Параметр	Система сертификации ФСТЭК России	Системы сертификации соглашения CCRA
Среднее время сертификации	5–6 месяцев	3 месяца
Требования к анализу исходных текстов	в наличии	отсутствует
Типовые методики испытаний	в разработке	в наличии
Уровень требований доверия	сильный	слабый
Типизация СЗИ	от мер	от критичных процессов

например, средствами антивирусной защиты или защиты среды виртуализации.

3. Предполагается интеграция мер разработки безопасного программного обеспечения в номенклатуру требований доверия [4].

4. Действия экспертов испытательных лабораторий, описанные в «Общей методологии оценки», будут уточнены указаниями по выполнению анализа уязвимостей. Мы предполагаем, что будут определены: минимальный перечень методов, используемых для идентификации перечня потенциальных уязвимостей, перечень открытых источников, который должен использоваться для формирования множества потенциальных уязвимостей.

5. Прогнозируются нововведения, ориентированные на поддержку конечных пользователей сертифицированных изделий: опубликование системами сертификации подробных технических отчётов об оценке и руководстве по безопасной настройке сертифицированных продуктов.

В ходе исследования были сформулированы следующие предложения по модернизации отечественной системы сертификации.

1. Поддержка испытательных лабораторий. Уточнение действий испытательных лабораторий при проведении анализа уязвимостей и функционального тестирования с целью повышения эффективности и детерминированности этого процесса:

– разработка типовых методик функционального тестирования и тестирования проникновения;

– уточнение требований к действиям экспертов испытательных лабораторий по использованию специализированных инструментальных средств выявления уязвимостей, связанных с недостатками в реализации продуктов (недостатки исходного кода) [5];

– определение минимального перечня открытых источников информации, анализ которых должен выполнить эксперт испытательной лаборатории при формировании множества потенциальных уязвимостей в сертифицируемом продукте;

– определение перечня инструментальных средств, используемых испытательными лабораториями при выполнении тестирования проникновения и функционального тестирования [6].

2. Поддержка разработчиков/заявителей на сертификацию.

– опубликованные на официальном сайте систем сертификации подробных технических отчетов по результатам сертификационных испытаний с целью доведения информации о методах, используемых при проведении испытаний;

– совместное создание (разработчиком, испытательной лабораторией и органом по сертификации) и публикация руководства по установке и эксплуатации сертифицированного продукта, содержащего детальные инструкции по работе с сертифицированными функциями по безопасности [7];

– разработка методических указаний и шаблонов оформления необходимых свидетельств разработчика [8; 9].

3. Расширение текущей номенклатуры требований доверия требованиями, выполнение которых обеспечит создание разработчиком программного обеспечения с минимальным количеством эксплуатируемых уязвимостей и формирование среды, обеспечивающей оперативное устранение выявленных в ходе эксплуатации ошибок и уязвимостей в сертифицированных продуктах ИТ [10].

Библиографический список

1. Барабанов, А. В. Оценка соответствия средств защиты информации «общим критериям» / А. В. Барабанов, А. С. Марков, В. Л. Цирлов // Информ. технологии. 2015. Т. 21, № 4. С. 264–270.

2. Chuzel, J. Medium and higher assurance evaluations in the European context / J. Chuzel, J. Weber, R. Huisman // Proceedings of the 16th International Common Criteria Conference, London, UK, Sep. 22–24, 2015. ICCC-2015. CESG. URL: https://www.iccc15.org.uk/Programme.aspx.

3. Барабанов, А. В. Международная сертификация в области информационной безопасности / А. В. Барабанов, А. С. Марков, В. Л. Цирлов // Стандарты и качество. 2016. № 7. С. 30–33.

4. Barabanov, A. Synthesis of Secure Software Development Controls / A. Barabanov, A. Markov, A. Fadin, V. Tsirlov, I. Shakhalov // Proceedings of the 8th International Conference on Security of Information and Networks, Sochi, Russian Federation, Sep. 8–10, 2015). SIN'15. ACM New York, 2015. P. 93–97. DOI: 10.1145/2799979.2799998.

5. Markov, A. S. Multilevel Metamodel for Heuristic Search of Vulnerabilities in the Software Source Code / A. S. Markov, A. A. Fadin, V. L. Tsirlov // Intern. J. of Control Theory and Applications. 2016. Vol. 9, № 30. P. 313–320.

6. Веряев, А. С. Формализация требований безопасности информации к средствам анализа защищённости / А. С. Веряев, А. А. Фадин // Вопр. кибербезопасности. 2015. № 4. С. 23–27.

7. Barabanov, A. V. Methodological Framework for Analysis and Synthesis of a Set of Secure Software Development Controls / A. V. Barabanov, A. S. Markov, V. L. Tsirlov // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2016. Vol. 88, № 1. P. 77–88.

8. Марков, А. С. Методический аппарат анализа и синтеза комплекса мер разработки безопасного программного обеспечения / А. С. Марков, В. Л. Цирлов, А. В. Барабанов // Програм. продукты и системы. 2015. № 4. С. 166–174.

9. Барабанов, А. В. 28 магических мер разработки безопасного программного обеспечения / А. В. Барабанов, А. С. Марков, В. Л. Цирлов // Вопр. кибербезопасности. 2015. № 5 (13). С. 2–10.

10. Min-Gyu Lee. A Study on Secure SDLC Specialized in Common Criteria / Min-Gyu Lee, Hyo-jung Sohn, Baek-MinSeong and Jong-Bae Kim // Advanced Science and Technology Letters. 2015. Vol. 93 (Security, Reliability and Safety). P. 19–23.

Сведения об авторах

Барабанов Александр Владимирович — кандидат технических наук, руководитель департамента ЗАО «НПО “Эшелон”», Москва. mail@npo-echelon.ru

Марков Алексей Сергеевич — доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры информационной безопасности, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва. a.markov@bmstu.ru

Рауткин Юрий Владимирович — кандидат технических наук, доцент АНО «Учебный центр “Эшелон”», Москва. mail@cnpo.ru

---

A. V. Barabanov, A. S. Markov, Yu. V. Rautkin

N TRENDS IN COMMON CRITERIA CONFORMITY ASSESSMENT SCHEME

The results of the study of current trends in the number of foreign systems certifications of information technology products for the requirements of information security held in accordance with the Common Criteria methodology are presented. The basic directions of improvement of development of Common Criteria methodology are obtained. Recommendations on the improvement of the Russian Information Security Certification Scheme are presented.

ББК 3973.2
УДК 004.43

А. П. Бельтюков

ЛОГИКО-ДЕДУКТИВНОЕ ПОРОЖДЕНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрен логико-дедуктивный подход к технологической организации производства алгоритмических и информационных объектов. Приведены примеры моделей постановок задач.

Введение

Одна из проблем современного производства программно-информационных систем для компьютеров — надёжность производимого продукта. К сожалению, бóльшая часть программных кодов в настоящее время всё ещё производится кустарным методом: человек-кодер вручную создаёт код, решающий, по его мнению, поставленную задачу. Затем, чтобы уменьшить вероятность ошибок, производится тестирование: запуск созданных систем и их частей в подобранных специальным образом условиях в соответствии с принятыми в данном производстве методами. Как бы тщательно ни производилось тестирование, все ошибки выловить невозможно. Основная ответственность за качество работы ложится на человека, которому свойственно ошибаться. Между тем давно известен метод, позволяющий исключить субъективные ошибки на этапе кодирования.

Хорошо известно, что если некоторая задача построения алгоритма сформулирована в виде конструктивно понимаемого утверждения, то её решение может быть получено с помощью конструктивного логического вывода из этой формулировки: из конструктивного доказательства такого утверждения можно алгоритмически получить код программы решения этой задачи. Это значит, что система конструктивного вывода позволяет решать задачи программирования автоматически. На этом пути есть две основных трудности: во-первых, зачастую такое строгое формулирование задачи, при котором решение из формулировки может быть выведено формально логически, может выглядеть ещё более сложной задачей, чем само программирование. Вторая трудность — задача построения логического вывода может оказаться сколь угодно сложной: проверка выводимости в логике предикатов алгоритмически не разрешима.

Немного облегчить первую трудность может использование языков формулирования постановок задач, с одной стороны, достаточно близких к привычным языкам информатики, с другой стороны, позволяющим выразить задачи на уровне строгости обычных логических языков. Следует заметить, что если мы хотим получать надёжный продукт, то придётся понести определённые затраты для достижения требуемого качества. Поэтому совсем избавиться от трудностей при формулировании задач не удастся. Совсем избавиться от последующего тестирования также не удастся: в самой постановке задачи могут быть ошибки. Однако эти ошибки, скорее всего, будет легче обнаружить: как правило, из неверной формулировки решение вообще не выводится или же выводится такой неадекватный программно-информационный объект, что он терпит полный крах при первом же нетривиальном тесте. Ограничения же сложности работы, ресурсоёмкости, скорости срабатывания и т. п. современными методами нетрудно обеспечить автоматически.

Для преодоления второй трудности следует прежде всего заметить, что мы не собираемся требовать от машины (как и от человека-кодера) решения глубоких теоретических проблем — считаем, что теория проработана заранее и учтена в постановке задачи. Задачи следует ставить так, что их решение не требует длинных цепочек построений, идущих в неизвестных заранее направлениях. В этих условиях возникают определённые ограничения на сложность строящихся логических выводов. Построение циклических и рекурсивных решений логически соответствует использованию схем индукций. На практике структура возможных циклических и рекурсивных построений подчинена небольшому числу типичных схем. Их использование также можно учесть в постановке задачи. Более того, теоретически нетрудно подчинить использование таких схем имеющимся сложностным ограничениям, что в частности избавляет код от ошибок зацикливания [1].

Это означает, что если мы хотим реально решать задачу, то следует ввести некоторые сложностные ограничения, то есть следует решать задачу на построение не сколь угодно сложного логического вывода, а вывода с некоторыми ограничениями. Например, может быть ограничено число шагов, общий размер этого вывода, глубина зависящих друг от друга построений. А если используется рекурсия или цикл, то ограничивается сложность и используемого в этом случае инварианта этого цикла, то есть сложность утверждения, доказываемого с помощью индукции. Вложенность таких циклов также ограничивается.

Таким образом, задача превращается из алгоритмически неразрешимой во вполне практическую. Более сложные задачи следует разбивать на части: мы

не сможем заставить ни машину, ни человека-кодера решать их одним махом.

Пример наглядного способа записи конструктивно понимаемых утверждений

Запись постановки задачи построения алгоритма выглядит так:

$$A => B,$$

где A описывает, что дано, а B — что следует получить. Запись вида x:T означает, что x — имя некоторого объекта типа T. Вертикальная черта | означает «или». Запятая используется для разделения частей аргумента и результата, логически часто соответствует связке «и». Запись «X:Type» означает, что X — тип данных. Более подробно описание подобного языка можно найти, например, в [2].

Примеры постановок задач

В качестве первого примера приведём описание некоторой модельной системы связи. Пусть

N:Type — узлы связи;

$B(n{:}N)$:Type — базовые станции;

$C(m,n{:}N)$:Type — команды прокладки каналов связи;

$E(n{:}N)$:Type — сообщения об ошибках в узлах связи,

тогда может быть решена следующая задача:

$(x{:}N => y{:}N,B(y),C(x,y)|E(x))$

– если для каждого узла можно обнаружить связанную с ним станцию или выявить ошибку,

$(x,y{:}N,B(x),B(y) => C(x,y))$

– если любые базовые станции можно связать между собой,

$(x,y{:}N,C(x,y) => C(y,x))$

– если любой канал связи обратим,

$(x,y,z{:}N,C(x,y),C(y,z) => C(x,z))$

– если каналы связи можно соединять,

=>

$(x,y{:}N => C(x,y)|E(x)|E(y))$

то любые два узла связи можно соединить или выявить ошибку хотя бы в одном из них.

Второй пример описывает последовательное производство, при котором одни продукты могут получаться из других. Поскольку этот пример связан с организацией цикла или рекурсии, то при формулировке используется аксиома индукции. Пусть

I:Type — продукты;

$S(i{:}I)$:Type — возможные стоимости продуктов;

$R(i,j{:}I)$:Type — способы производства одних продуктов из других;

$(x{:}I,(y{:}I,(z{:}I,R(y,z) => S(z)) => S(y)) => S(x))$

– аксиома возвратной индукции, позволяющая организовать цикл по продуктам,

– тогда может быть решена следующая задача:

$(x{:}I => S(x)|y{:}I,R(x,y))$

– если каждый продукт покупной или производится из другого продукта;

$(x,y{:}I,R(x,y),S(y) => S(x))$

– если по стоимости предшествующего продукта можно определить стоимость следующего,

=>

$(x{:}I => S(x))$

– то можно найти стоимость каждого продукта.

Аксиому возвратной индукции можно обобщить до схемы, применимой к различным типам значений:

$$(A(i{:}I){:}\text{Type},x{:}I,(y{:}I,(z{:}I,R(y,z) => A(z)) => A(y)) => A(x)).$$

Здесь в качестве $A(i)$ можно подставлять различные утверждения. О сложностных ограничениях, накладываемых на структуру этих утверждений, см. в [1].

Схема возвратной индукции может быть обобщена до схемы индукции по произвольным транзитивным отношениям на конечных множествах:

(I:Type — если I — конечное множество;

$R(i,j{:}I)$:Type — если R — бинарное отношение на этом множестве;

$(x,y,z{:}I,R(x,y),R(y,z) => R(x,z))$ — если R — транзитивно;

$A(i{:}I)$:Type — если A — решаемая задача;

$x{:}I$ — каков бы ни был x;

($y{:}I$ — если для любого y;

$(z{:}I,R(y,z) => S(z))$

– из того, что задача решена для всех предыдущих z

=>

$S(y)$ — следует, что её можно решить для y, то

)

=>

$S(x)$ — задачу можно решить для x

$|t{:}I,R(t,t)$ — или обнаружить, что отношение R — не строгий порядок.

)

Следующий пример — задача нахождения наиболее общего делителя. Пусть

N:Type — конечный отрезок натурального ряда (от нуля);

$D(x,y,z{:}N)$:Type — «z — остаток от деления x на y»;

$G(x,y,z{:}N)$:Type — «z — наиболее общий делитель y и z»,

$Z(x{:}N)$:Type — «x — нуль».

$(S(i{:}N){:}\text{Type},x{:}N,(y{:}N,(z{:}N,R(y,z) => S(z)) => S(y)) => S(x))$

– схема индукции,

$(x,y{:}N,R(x,y) => Z(y)|z{:}N,D(x,y,z),R(y,z))$

– аксиома деления: «мы умеем находить остаток»,

$(x,y{:}N,Z(y) => G(x,y,x))$

– аксиома НОД: «НОД нуля и любого числа — само это число»,

$(x,y,r,z{:}N,D(x,y,r),G(y,r,z) => G(x,y,z))$

– аксиома НОД: «НОД делителя и остатка – НОД делимого и делителя»;

– тогда можно найти наиболее общий делитель любых чисел:

x,*y*:*N*,*R*(*x*,*y*)=>*z*:*N*,*G*(*x*,*y*,*z*).

Заметим, что эта задача решается конкретизацией *S*(*i*) в схеме индукции:

(*t*:*N*,*R*(*i*,*t*)=>*u*:*N*,*G*(*i*,*t*,*u*)).

Приведём пример порождённого кода с формализованными комментариями (типами получаемых значений после двойных двоеточий):

```
for::(S(i:N):Type,x:N,(y:N,(z:N,R(y,z)=>S(z))=>S(y))=
>S(x)),
dr::(x,y:N,R(x,y)=>Z(y)|z:N,D(x,y,z),R(y,z)),
gz::(x,y:N,Z(y)=>G(x,y,x)),
gd::(x,y,r,z:N,D(x,y,r),G(y,r,z)=>G(x,y,z)),
x,y::N,
rxy::R(x,y),
return::(z:N,G(x,y,z));
for([i->(t:N,R(i,t)=>u:N,G(i,t,u))],
   n,
   {y::N,
    mem::(z:N,R(y,z)=>(t:N,R(z,t)=>u:N,G(z,t,u))),
    continue::(t:N,R(y,t)=>u:N,G(y,t,u));
    continue({t::N,
            ryt::R(y,t),
            return::(u:N,G(y,t,u));
            dr(y,t){zt::Z(t);
                  gz(y,t,zt)gyty::G(y,t,y);
                  return(y,gyty)
                 }
            z::N,
            dytz::D(y,t,z),
            rtz::R(t,z);
            mem(t,ryt)f::(z:N,R(t,z)=>u:N,G(t,z,u));
            f(z,rtz)u::N,
            gtzu::G(t,z,u);
            gd(y,t,z,u,dytz,gtzu)gytu::G(y,t,u);
            return(u,gytu)
           }
          )
   })h::(t:N,R(x,t)=>u:N,G(x,t,u));
h(y,rxy)z::N,
gxyz::G(x,y,z);
return(z,gxyz)
```

Задачу построения наиболее общего делителя можно обобщить, преобразовав её следующим образом с помощью введения новых типов.

Пусть

I:Type,

(*i*:*I*)<=>(*i*=(*x*,*y*:*N*,*R*(*x*,*y*))

– «*i* — упорядоченная пара чисел — редуцируемый объект»,

H(*i*:*I*):Type

– «имеется редукция (наиболее общий делитель) объекта *i*»,

H(*x*,*y*:*N*,*rxy*:*R*(*x*,*y*))<=>(*z*:*N*,*G*(*x*,*y*,*z*)),

C(*i*,*j*:*I*):Type — «*j* — результат упрощения *i*»,

C((*x*,*y*:*N*,*R*(*x*,*y*)),(*y*,*z*:*N*,*R*(*y*,*z*)))<=>*D*(*x*,*y*,*z*)

(*x*:*I*,(*y*:*I*,(*z*:*I*,*C*(*y*,*z*)=>*S*(*z*))=>*S*(*y*))=>*S*(*x*))

– возвратная индукция,

(*i*:*I*=>*H*(*i*)|*j*:*I*,*C*(*i*,*j*))

– шаг упрощения (выводится из аксиом деления и НОД)

– тогда решается следующая задача:

i:*I*=>*H*(*i*)

Мы видим, что здесь произошло сведение к рассмотренной ранее задаче.

Заключение

Из рассмотренного выше следует, что решение задач по стандартным схемам может использовано как метод дедуктивно-логической генерации программного кода. При таком подходе постановка задачи строится таким образом, чтобы, с одной стороны, она соответствовала содержательно решаемой задаче, с другой стороны, масштабы и связи описываемых понятий должны вкладываться в используемую схему.

Библиографический список

1. Beltiukov, A. P. Intuitionistic formal theories with realizability in subrecursive classes / A. P. Beltiukov // Annals of Pure and Applied Logic. 1997. Vol. 89. P. 3–15.

2. Бельтюков, А. П. Малые сложностные классы и автоматический дедуктивный синтез алгоритмов / А. П. Бельтюков // Изв. Ин-та математики и информатики УдГУ. 1995. Вып. 2. С. 3–89.

Сведения об авторе

Бельтюков Анатолий Петрович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ информатики, Удмуртский государственный университет, Ижевск. belt.udsu@mail.ru

A. P. Beltiukov

LOGIC-DEDUCTIVE GENERATION OF ALGORITHMIC AND INFORMATION OBJECTS

Logic-deductive approach to the technology organization of algorithmic and information objects production is considered. Examples of task formulation models are demonstrated.

ББК 3965-044.3
УДК 62-783

И. В. Билиженко, В. В. Волхонский

МЕТОД МНОГОКАНАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ В ПАССИВНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЯХ

Рассматриваются особенности обнаружения нарушителя пассивными инфракрасными оптико-электронными извещателями. Формулируются требования к параметрам диаграммы направленности, позволяющие увеличить вероятность обнаружения. Предлагается метод многоканальной обработки для синтезирования устройства, инвариантного к направлению движения нарушителя.

На сегодняшний день одним из наиболее часто используемых устройств обнаружения в системах охранной сигнализации является пассивный оптико-электронный извещатель. Это обусловливается тем, что данный тип устройств обладает сравнительно высокими функциональными характеристиками при относительно невысокой цене. Однако данный тип извещателей также обладает рядом функциональных особенностей, которые в определённых ситуациях позволяют подготовленному нарушителю значительно снизить вероятность своего обнаружения. Одной из таких особенностей является существенные различия в значениях вероятности обнаружения нарушителя при различных направлениях движения. Рассмотрим данный вопрос более подробно.

Терминология

В первую очередь во избежание дальнейших неточностей определим ряд терминов, связанных с пассивными оптико-электронными инфракрасными извещателями (ПОЭИИ). Под элементарной чувствительной зоной (ЭЧЗ) будем понимать область пространства, создаваемую одним отдельным элементом оптической системы (ОС) и одним чувствительным элементом (ЧЭ) пироэлектрического приёмника (ПЭП), в которой ПОЭИИ способен обнаруживать изменение теплового излучения. При этом совокупность всех ЭЧЗ и промежутков между ними будем называть диаграммой направленности (ДН). В то же время, в силу сегментированности ДН ПОЭИИ, определим также понятие парциальной диаграммы направленности (ПДН) как совокупности ЭЧЗ, формируемых одним сегментом ОС и всеми ЧЭ пироприемника.

Принципы работы

Диаграмма направленности традиционного ПОЭИИ представлена на рис. 1.

В данном случае при последовательном пересечении нарушителем ЭЧЗ на выходе ПЭП возникает сигнал, состоящий из чередующихся положительных и отрицательных импульсов, в результате чего ПОЭИИ выдает сигнал тревоги.

Также определим направление движения на извещатель как продольное (радиальное), движение перпендикулярно осям ЭЧЗ как поперечное (тангенциальное), движение под углом к осям ПДН — как диагональное.

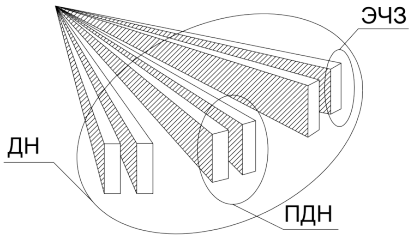


Рис. 1. Диаграмма направленности традиционного извещателя

В традиционных потолочных ПОЭИИ обычно используется двухэлементный ПЭП. ДН такого извещателя представлена на рис. 2.

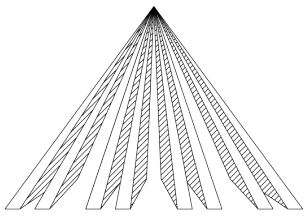


Рис. 2. Диаграмма направленности потолочного извещателя

На рис. 3 показаны проекции сечений ЭЧЗ на горизонтальную плоскость такого потолочного ПОЭИИ, использующего стандартный двухэлементный пироэлектрический приёмник, и основные направления движения нарушителя.

Как показано в работе [1], случай движения в продольном направлении (рис. 3, *а*) будет обеспечивать заметно более низкую вероятность обнаружения. Движение в диагональных направлениях (рис. 3, *в*, *г*) также будет проблематичным с точки зрения обнаружения. И лишь поперечное движение (рис. 3, *б*) обеспечит необходимую вероятность обнаружения нарушителя. Кстати, именно это направление движения и определено в государственном стандарте как основное для проведения испытаний [2].

Таким образом, ПОЭИИ как минимум обеспечивает низкое значение вероятности обнаружения

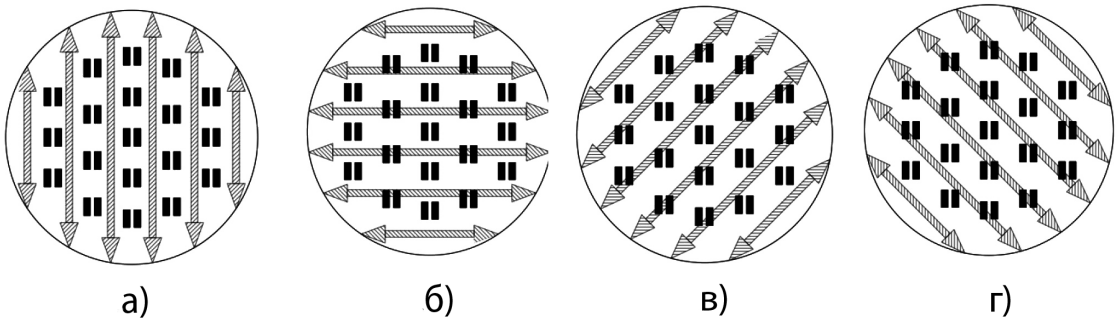


Рис. 3. Различные направления движения относительно извещателя

подготовленного нарушителя, а в худшем случае может иметь место необнаружение нарушителя.

В случае потолочных ПОЭИИ, в силу особенности расположения и формы ДН, проблематичным становится обнаружение движения не только строго по проекции направления на извещатель, совпадающего с осью пироприёмника, но и по параллельным направлениям, не совпадающим с осью пироприёмника (рис. 3, *а*).

Ситуация с движением в поперечных направлениях (рис. 3, *б*) будет наиболее благоприятной (максимально адаптированой к характеру пересекаемых ЭЧЗ), а в продольных будет наихудшей с точки зрения вероятности обнаружения. При диагональных направлениях движения вероятность обнаружения будет принимать промежуточные значения (рис. 3, *в, г*).

Предлагаемый метод

Исходя из принципов работы ПОЭИИ можно сформулировать основные критерии, обеспечивающие максимальную вероятность обнаружения [2]:

1. Полное перекрытие видимой (из точки нахождения извещателя) эффективной излучающей поверхности цели $S_ц$ сечением элементарной чувствительной зоны.

2. Отсутствие взаимного перекрытия видимой поверхности цели соседними элементарными чувствительными зонами, имеющими разную полярность формируемого сигнала.

3. Максимальный размер соответствующей проекции поверхности фрагмента цели $S_ф$ на площадь $S_{эчз}$ сечения элементарной чувствительной зоны.

В традиционных одноканальных ПОЭИИ обеспечить выполнение вышеуказанных критериев для различных, особенно взаимно перпендикулярных направлений оказывается практически невозможным. Также остаётся проблема обнаружения нарушителя в диагональных направлениях.

Для решения данной проблемы предлагается использовать метод многоканальной обработки и устройство, позволяющее осуществить данный подход. Суть метода заключается в том, что для обнаружения нарушителя по каждому из возможных направлений — продольном, поперечном, диагональном) — используется отдельный канал обнаружения. При этом для каждого из направлений формируется отдельная ПДН, адаптированная под каждое конкретное направление [3]. Сечения этих ПДН показаны на рис. 4. На этом рисунке разный фон соответствует группам элементов пироприёмника, формирующим сигналы разной полярности. Формирование таких ПДН может достигаться за счёт использования девятиэлементного ПЭП с независимыми выходами от каждого элемента.

С учётом того факта, что в целом количество ПДН в общей ДН извещателя определяется числом сегментов оптической системы, на рис. 5 представлены проекции сечений ДН и возможные направления движения, к которым эти ДН адаптированы.

Заметим, что наличие одновременно четырёх различных диаграмм направленности достигается использованием только одного пироприёмника и одной оптической системы. Все упомянутые четыре канала обработки работают постоянно. Это

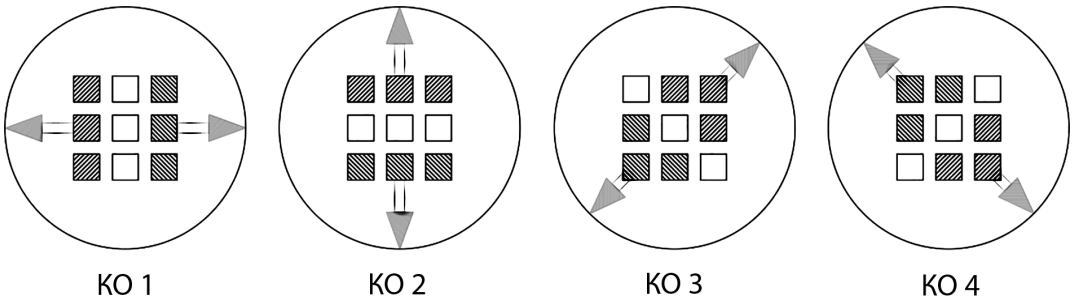


Рис. 4. Сечение парциальных диаграмм направленности

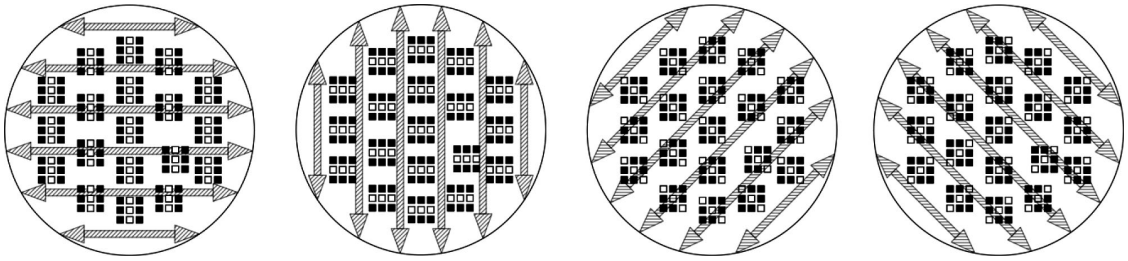


Рис. 5. Проекции сечений ДН на горизонтальную плоскость

обеспечивает то преимущество, что ПОЭИИ на основе предложенного метода непрерывно контролирует изменения теплового излучения нарушителя, двигающегося как поперёк лучей диаграммы направленности или вдоль них, так и в диагональных направлениях, включая параллельные, четырьмя отдельными ДН, каждая из которых адаптирована под соответствующее направление. А это, в свою очередь, обеспечивает инвариантность вероятности обнаружения ПОЭИИ к направлению движения нарушителя.

Предложенный метод ориентирован в первую очередь на извещатели для установки на потолке. Однако он может использоваться и для устройств с настенной установкой. В последнем случае предпочтительнее установка на большей высоте, по сравнению с традиционными ПОЭИИ.

Библиографический список

1. Воробьёв, П. А. Модель и метод анализа вероятности обнаружения нарушителя пассивными инфракрасными извещателями систем физической защиты объектов информатизации : дис. ... канд. техн. наук / П. А. Воробьёв. СПб. : НИУ ИТМО, 2015. 139 с.

2. ГОСТ Р 50777-2014. Извещатели пассивные оптико-электронные инфракрасные для закрытых помещений и открытых площадок. Общие технические требования и методы испытаний. Введ. 11.11.2014. М. : Стандартинформ, 2014. 36 с.

3. Волхонский, В. В. Пассивный оптико-электронный инфракрасный извещатель на основе квазиточечной модели квалифицированного нарушителя / В. В. Волхонский, И. В. Билиженко // Науч.-техн. вест. информац. технологий, механики и оптики. 2016. № 1.

Сведения об авторах

Билиженко Игорь Владимирович — аспирант кафедры световых технологий и оптоэлектроники, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург. jsiso19@gmail.com

Волхонский Владимир Владимирович — доктор технических наук, профессор кафедры световых технологий и оптоэлектроники, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург. volkhonski@mail.ru

---

I. V. Bilizhenko, V. V. Volkhonskiy

MULTI-CHANNEL PROCESSING IN PIR DETECTORS

Review of detection features for PIR sensors. Main requirements on directional patterns for increasing detection probability were given. Multi-channel processing for PIR detectors which provides detection that invariant to the direction of movement was offered.

ББК Ж2-5-05
УДК 001.8

Н. М. Боргест

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ — КЛЮЧЕВАЯ ПРОБЛЕМА В ОНТОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Представлен краткий исторический экскурс поиска меры. Показана важность в онтологии проектирования критериального анализа предметной области, особенно при построении систем, ориентированных на самостоятельное принятие решений, систем искусственного интеллекта. Отмечается, что в основе выработки критериальной стратегии разрабатываемых информационных систем лежат цели и ценности акторов, организации и общества в целом. Рассматриваются содержательные и терминологические проблемы критериального анализа. Приводятся примеры из различных предметных областей.

Экскурс в историю меры*

«Наука начинается там, где начинают измерять». Эти слова великого русского учёного Д. И. Менделеева как лакмусовая бумага определяют и отделяют науку от прочих видов человеческой деятельности. Но задолго до него о мере говорил причисляемый к «семи греческим мудрецам» Клеобул (VI в. до н. э.), которому приписывают изречение: «Мера лучше всего».

Критерий — весь жизненный цикл и «ничего сверх меры». Таков фактический вывод и любимый афоризм другого мудреца — Солона Афинского (640–559 г. до н. э.): «Счастливцем можно назвать только того, кто, прожив жизнь до конца, не познал горя и несчастья. Считать счастливым человека, ещё живущего,— всё равно, что провозглашать победителем воина, ещё не окончившего поединка». Солон впервые вместо принципа аристократического (принадлежность к определённым родам) ввёл имущественный принцип — принцип богатства. Суть реформы Солона — установление имущественного ценза, где за формальный критерий исчисления богатства им был избран медимн — мера сыпучих тел (приблизительно 50–60 л). Это, пожалуй, первая попытка учёного древности формализовать и классифицировать сложные сущности в социуме. Солон не раз рассуждал о счастье, пытался как-то оценить его, связав с жизненным циклом и тем самым отделив его от сиюминутного удовольствия. Он рассматривал удовольствие как имитацию счастья, как иллюзию и утверждал, что «от богатства родится пресыщение, от пресыщения — спесь», и советовал избегать чрезмерных удовольствий. «Забота об излишнем часто соединяется с потерей необходимого»,— говорил он. Многие из его современников отождествляли счастье с полным удовлетворением своих физических и духовных потребностей.

* Подробнее см. статьи «От редакции» в журнале «Онтология проектирования» (№17, 22 и др.). URL: http://agora.guru.ru/display.php?conf=scientific_journal

Быть в тренде, или поймать волну

Пожалуй, первая и самая важная проблема, стоящая в моделировании предметной области, — это выявление, определение, нахождение и формулирование мер, способных адекватно оценить развитие процессов, протекающих в исследуемой области. «Правильно» подобранная группа критериев может обеспечить рост и жизнеспособность систем в будущем. Но выбору критериев и оценки их важности (предпочтений) всегда предшествует ещё более сложно формулируемая цель, которая в свою очередь определяется ценностями. Общее и частное, корпоративное и личное, общественное и индивидуальное, а также наличие объективно присутствующих временной и ресурсной составляющих — вносят в эти процессы почти неразрешимые противоречия, которые в конечном итоге определяют развитие одних систем и существенные потери или гибель других, а также появление новых.

Поэтому важно осуществлять непрерывный мониторинг состояния среды функционирования разрабатываемых и эксплуатируемых информационных систем, сверять их функционал с изменяющимися потребностями, адаптировать под новые задачи [1]. Системы, позиционирующие себя как системы с искусственным интеллектом, должны иметь соответствующие адаптационные возможности [2], подстраиваться под изменяющиеся предпочтения и потребности, учитывать конкурентную, а иногда и враждебную среду. Киберугрозы — это уже реальная практика «жизни» информационных систем (см. например, [3]).

На рис. 1 показана некоторая идеализация векторной оценки «жизненных» траекторий моделируемых «идеальной» и реальной систем. Сформированный набор критериев, механизм их трансформации с учётом происходящих и прогнозируемых изменений позволят поддерживать жизнеспособность системы на длительный период.

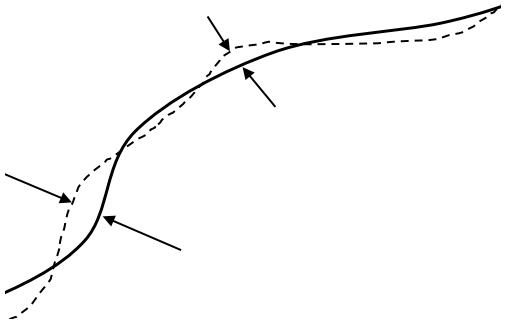


Рис. 1. Геометрическая интерпретация отклонений представлений идеального (сплошная линия) от реального (штриховая линия) поведения (оценки) системы

Понятие критерия

Известно самое краткое определение критерия — мера оценки. Сам термин «критерий» (произошёл от древнегреческого) означает способность различения, средство суждения или мерило и является признаком, основанием, правилом принятия решения по оценке чего-либо на соответствие какой-либо мере. Ключевыми в этом понятии являются: *мера*, то есть то, что можно измерить или вычислить, и *оценка*, то есть возможность сравнить, сопоставить измеренное с другим, ранее измеренным или рассчитанным (прогнозируемым, планируемым значением какого-либо показателя).

Многокритериальность в оценке любого проектируемого объекта или моделируемого процесса соответствует самой природе этих сложных систем [4]. Число измеряемых шкал у таких систем может быть от нескольких десятков до кратных количеству агентов, представляющих моделируемую систему, которые в свою очередь уже могут исчисляться миллионами и более. Место, роль и сам путь трансформации потребности через критерии показаны на рис. 2 [5].

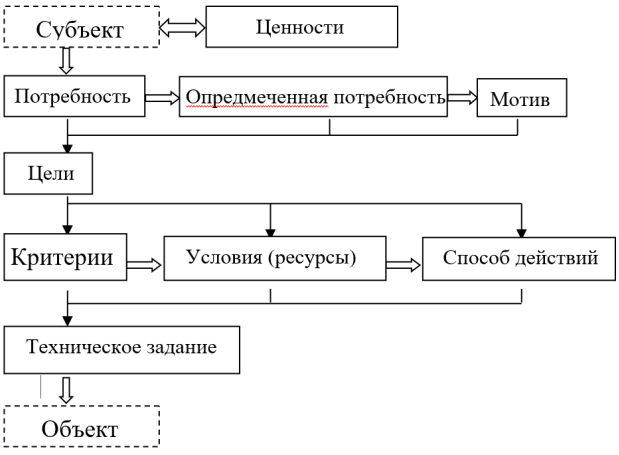


Рис. 2. Путь трансформации потребности и ценностных установок субъекта в техническое задание на проектирование объекта или системы [5]

Целеполагание: ценности и цели

В онтологии принцип конвенциональности, принцип договорённости в экспертном сообществе является определяющим. Этот принцип обеспечивает понимание и единообразное толкование терминов. Для этого согласимся с А. И. Пригожиным, что ценности определяют цели, а не наоборот [6]. Причём ценности — это представления о должном, о лучшем, о самом важном и значимом, это направление движения, недостижимые полностью стремления. То есть ценности — это как предел устремлений. Цель же — то, к чему стремятся, чего желают и могут достичь, это планируемый результат. Цели ставятся людьми, побуждаемыми ценностями. Цели всегда субъектны и субъективны, и их субъектность в рефлексии, в осмыслении ценностных оснований, в саморефлексии.

Ценности связаны с понятием идеала, воображаемым совершенством. И здесь в отличие от рис. 1 оценка реальной системы асимптотически приближается к идеальной, никогда не достигая (не пересекая) её.

Заложенные в человека принципы развития, связанные с возрастающими потребностями, стремлением к новизне, включают также и взаимное сравнение, то есть стремление к подражанию, состязательности, попытки превзойти других [6].

При этом главный инстинкт или потребность выражается в стремлении к приращению, к расширению сферы своего влияния в любом доступном направлении. Реализация доминирования происходит с учётом возможностей среды, в естественной борьбе за выживание как в случае естественного отбора для живых существ, так и в случае «искусственного» отбора свойств и параметров создаваемых артефактов, принятия решений при управлении в обществе и создаваемых социотехнических систем [7]. Ведущая роль в этих процессах принадлежит сознанию.

Сознание как механизм принятия решений

Сознание есть процесс создания модели мира с использованием множества обратных связей по различным параметрам с целью достижения определённых целей. При этом человек может разворачивать свою модель мира во времени как вперёд, так и назад. Сознание сшивается «на живую нитку» из многих отделов мозга, каждый из которых конкурирует с остальными за создание модели окружающего мира. При этом, однако, мы ощущаем сознание как нечто цельное и непрерывное и что всё происходит «под контролем единого центра» [8].

Развивающиеся методы

Разработка формальных методов поиска и выбора альтернатив продолжается [1; 2; 4; 9]. Из новых работ стоит отметить работу профессора С. А. Пиявского, которому удалось повысить обоснованность и простоту использования широко известного метода анализа иерархий Т. Саати. Публикуемые им результаты существенно продвигают объективизацию решения

многокритериальных задач, а разработанные оценки и численные значения соотнесения критериев позволяют надеяться на то, что полученные «золотые сечения» в форме «таблиц Пиявского» вскоре могут стать азбучными (как таблицы Брадиса) [9].

Не менее значима и векторная логика доктора наук Л. В. Аршинского, описавшего путь, который прошёл математический аппарат логики от оперирования парой чисел {0, 1} к работе с достаточно сложными векторными конструкциями [10].

В докладе приведены примеры критериального анализа в различных технических и гуманитарных предметных областях (авиа- и двигателестроение, образование, деятельность организаций и предприятий).

Библиографический список

1. Гладун, А. Я. Репозитории онтологий как средство повторного использования знаний для распознавания информационных объектов / А. Я. Гладун, Ю. В. Рогушина // Онтология проектирования. 2013. № 1 (7). С. 35–50.

2. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг. 2-е изд. М. : Вильямс, 2007. 1408 с.

3. Ворожцова, Т. Н. Онтология как основа для разработки интеллектуальной системы обеспечения кибербезопасности / Т. Н. Ворожцова // Онтология проектирования. 2014. № 4 (14). С. 69–77.

4. Ларичев, О. И. Наука и искусство принятия решений / О. И. Ларичев. М. : Наука, 1979. 200 с.

5. Боргест, Н. М. Научный базис онтологии проектирования / Н. М. Боргест // Онтология проектирования. 2013. № 1 (7). С. 7–25.

6. Пригожин, А. И. Цели и ценности. Новые методы работы с будущим / А. И. Пригожин. М. : Дело АНХ, 2010. 432 с.

7. Боргест, Н. М. Процессы управления в обществе: онтологические доминанты и информационные технологии / Н. М. Боргест // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. XVII Междунар. конф. Самара : СНЦ РАН, 2015. С. 181–191.

8. Каку, М. Будущее разума : пер. с англ./ М. Каку. М. : Альпина нонфикшн, 2015. 502 с.

9. Пиявский, С. А. Как «нумеризовать» понятие «важнее» / С. А. Пиявский // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 4(22). С. 414–435. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-414-435.

10. Аршинский, Л. В. Применение векторного формализма в логике и логико-математическом моделировании / Л. В. Аршинский // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 4 (22). С. 436–451. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-436-451.

Сведения об авторе

Боргест Николай Михайлович — кандидат технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, старший научный сотрудник, Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара. borgest@yandex.ru

---

N. M. Borgest

DOMAIN CRITERION ANALYSIS — A KEY PROBLEM IN ONTOLOGY OF DESIGNING

The article presents a brief outline of the history of establishing of a measure. A significance of domain criterion analysis for ontology of designing, especially for designing of decision-making systems and artificial intelligence applications, is displayed. It is mentioned, that the goals and values of domain's subjects, organizations and society as a whole form the basis for the criterial strategy of aforementioned information systems. Semantic and terminological problems of criterion analysis are considered. Several examples from different domains are shown.

ББК Ч48
УДК 37:004.4

Д. С. Ботов, Ю. Д. Кленин

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ И МОДЕЛЕЙ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СЛОВ В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА

Проведён обзор популярных подходов к извлечению ключевых слов применительно к задаче анализа образовательного контента (рабочих программ дисциплин). В ходе эксперимента по оценке качества работы алгоритмов извлечения ключевых слов, не требующих тренировочной выборки, был предложен подход с использованием модели векторного представления слов word2vec, решающей проблему семантического разрыва при сравнении результата работы алгоритмов с тестовыми наборами, составленными экспертами.

Введение

В условиях увеличения количества доступных вариантов получения высшего профессионального образования с выстраиванием индивидуальных образовательных траекторий наблюдается быстрый прирост объёмов существующего образовательного контента: учебных материалов, образовательных программ, программ курсов, рабочих программ дисциплин, фондов оценочных средств и т. п. Документация по образовательным программам регулярно актуализируется и перерабатывается образовательными организациями в условиях постоянно изменяющихся требований образовательных и профессиональных стандартов, потребностей работодателей.

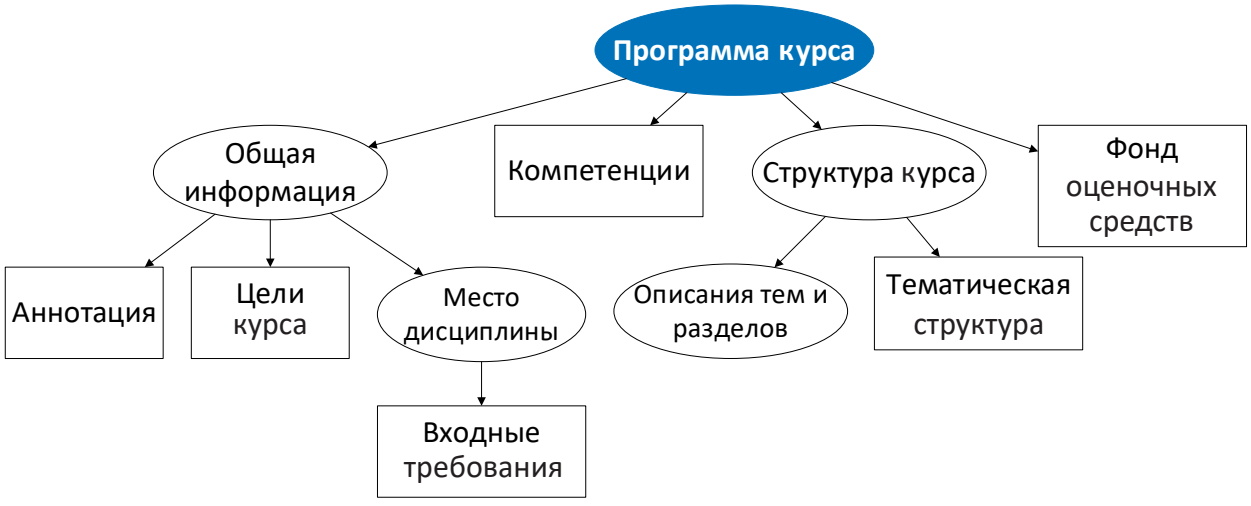
В нашем исследовании мы рассматриваем возможные варианты интеллектуального анализа образовательного контента с целью автоматизации процесса обработки больших массивов слабоструктурированных данных об образовательных программах, что позволило бы значительно уменьшить нагрузку на персонал образовательных организаций, упростить процесс разработки и актуализации образовательного контента и в конечном итоге повысить качество образовательного контента и уровень подготовки выпускников.

В предыдущей работе [1] рассматривались различные форматы представления информации о курсах и образовательных программах в образовательных учреждениях по всему миру и анализировались основные компоненты данных документов. В нашей текущей деятельности мы сфокусировались на проблеме анализа рабочих программ дисциплин (РПД) — официального формата представления данных об образовательных курсах, регулируемого образовательными стандартами, указами и инструкциями Министерства образования и науки РФ.

Анализ структуры и компонентов РПД

После изучения различных программ дисциплин была предложена следующая модель, отражающая структуру программы дисциплины как документа (рисунок).

Более детально рассмотрев программы дисциплин ведущих российских и зарубежных университетов, можно прийти к выводу, что наиболее важная информация, максимально точно отражающая суть описываемого в РПД курса, представлена следующими элементами данной модели: общая



Модель структуры документа рабочей программы дисциплины

информация, компетенции (результаты обучения) и структура курса.

Раздел общей информации содержит укрупнённое описание того, чему курс посвящён, кому его следует проходить, какие общие задачи и результаты преследуются в рамках изучения и как данный курс взаимодействует с предыдущими и последующими курсами в рамках общей образовательной программы.

В разделе компетенций приводится перечень компетенций образовательной программы, частью которой является данный курс, перечень результатов освоения дисциплины в виде конкретизированных знаний, умений и навыков, а также связи между компетенциями образовательного стандарта и конкретными результатами обучения.

Структура курса, как правило, представлена в виде списка разделов и тем в порядке их изложения на лекциях (иногда приводятся также перечни тем рассматриваемых на практиках и в рамках самостоятельной работы студентов), а также более детального описания содержания отдельных тем. Это содержание в подавляющем большинстве случаев имеет вид перечня концептов области знания, изучаемых в рамках каждой отдельной темы.

Поскольку формат РПД достаточно жёстко задаётся нормативными документами и сильно формализован, его структура, в том числе и отдельные формулировки, зачастую остаются неизменными от документа к документу. В текущем исследовании можно исходить из предположения, что каждый такой документ содержит два принципиальных подмножества лексики: первая — общая для всех документов данного типа, содержащая организационную терминологию и терминологию образовательного процесса, а вторая — относящаяся к конкретной области знания, изучаемой в рамках дисциплины.

Общая терминология образовательного процесса имеет, на наш взгляд, низкое значение при сопоставлении семантики различных курсов в сравнении с терминологией, описывающей, что именно будет пройдено в рамках курса с точки зрения изучаемой области знания дисциплины. Эта область знания, как правило, содержит ряд концептов и процессов, которые изучаются каждым конкретным курсом и представлены в рамках РПД конкретными терминами. Более того, в виду специфики этой терминологии можно считать, что эти термины будут употребляться в виде ключевых слов данного документа.

Исходя из данных соображений в данной работе фокус направлен на процесс извлечения ключевых слов из указанных выше разделов РПД.

Обзор алгоритмов извлечения ключевых слов

Существует множество разнообразных методов, связанных с получением набора ключевых слов для документа или коллекции документов. Эти методы и подходы можно условно разбить на несколько категорий: подходы на основе знаний предметной области, подходы на основе лингвистических знаний, подходы на основе простых статистик и подходы на основе машинного обучения и комбинации таковых [2; 3].

Методы, использующие знания конкретной предметной области или даже конкретной анализируемой коллекции, тесно связаны с понятием назначения ключевых слов (keyword assignment), обозначающим процесс выбора ключевых слов из внешней таксономии, онтологии или иной модели предметной области. Например, этот подход может быть применён путём замены потенциальных кандидатов в тексте на дескрипторы из словарей [4; 5]. Хотя такой подход и даёт возможность получить ключевые слова в виде заранее продуманных, качественных терминов, он требует наличия достаточно крупного источника, привязанного к конкретной области знания. В силу обширности областей знания, покрываемых рабочими программами дисциплин, мы не рассматриваем подходы данной группы в рамках настоящей работы.

Лингвистические подходы осуществляют извлечение ключевых слов исходя из лингвистических знаний о языке, используемом в документе. Лингвистический подход часто применяется для извлечения кандидатов в ключевые слова путём отбора только тех, что соответствуют паттернам частей речи [6; 7]. Используемые для этого Part-of-Speech-теги также применяются в качестве свойств кандидатов в методах, основанных на машинном обучении [6–8]. Отдельные исследования также уделяют внимание использованию последовательностей суффиксов в качестве более мелкой меры в сравнении с POS-тегом [9]. Исходя из лингвистических соображений часто производится выделение кандидатов, например, как последовательностей слов, разделённых пунктуацией и стоп-словами [10].

Значительная доля методов использует простые статистические меры при определении ключевых слов. Эти меры зачастую применяются как сами по себе, так и в качестве свойств для методов машинного обучения. В эту группу входит также и самая популярная и известная методика определения ключевых слов — взвешивание по схеме TF-IDF [9]. TF-IDF зарекомендовал себя как простой, быстрый, но при этом достаточно сильный базис в задаче извлечения ключевых слов [11]. Другими такими методами являются частоты слов, совместное употребление или расположение в тексте в рамках выбранного окна [12], дистанции между словами, средние значения и дисперсии этих дистанций, частоты слов в конкретных разделах текста и т. д.

Подходы к извлечению ключевых слов на основе машинного обучения следует далее разделить на подходы «с учителем» и «без учителя» [2; 3]. Подходы «с учителем», как правило, рассматривают задачу извлечения ключевых слов как задачу бинарной классификации кандидатов в ключевые фразы на основе

выбранных характеристик, в то время как подходы «без учителя» на основе данных характеристик производят взвешивание кандидатов априори и определяют ключевые слова как наиболее весомые среди кандидатов.

В качестве признаков классификации, алгоритмы «с учителем», как правило, используют те или иные варианты рассмотренных выше лингвистических и статистических показателей [6; 7; 9].

Алгоритмы «без учителя» также используют рассмотренные выше показатели при выборе кандидатов и определении их веса [8; 10], однако в силу отсутствия корпусов, предоставляющих возможность обучения, данные алгоритмы ищут способы извлечения дополнительной информации непосредственно из самого текста.

Одним из популярных подходов в алгоритмах «без учителя» стал переход от векторного представления текста, в том числе модели «мешка слов» (bag of words), на графовое представление. Графовая модель решает ряд проблем векторных моделей, связанных с потерей структуры текста и чрезмерной независимостью отдельных слов [13]. В задаче извлечения ключевых слов графовая модель позволяет воспользоваться различными методами определения весов каждой вершины на основе связей с другими вершинами. Например, популярный алгоритм TextRank [14], базирующийся на алгоритме ранжирования веб-страниц PageRank [15], а также его многочисленные варианты (например, SingleRank и ExpandRank [16]) строят граф на основе отношения совместного употребления слов в документе, устанавливая связи между словами, в случае если они находятся в таком отношении, а затем слова и фразы «рекомендуют» друг друга, повышая таким образом свой вес и вес связанных слов. Исследования также показали, что простые меры определения веса, такие как степень (degree) и сила (strength), показывают более высокие результаты, чем сложные меры [17].

Другой подход к извлечению дополнительной информации предлагает перед оценкой весов кандидатов произвести их кластеризацию, основываясь на внешних мерах близости слов, что позволило бы сгруппировать термины, связанные с различными аспектами и темами документа, и заменить их одним термином-«экземпляром» [18].

Вследствие разнообразия и обширности тематик курсов, а также отсутствия крупных корпусов на текущем этапе работы предлагается оценить качество извлечения ключевых слов с помощью алгоритмов «без учителя».

Анализируемые алгоритмы извлечения ключевых слов

В рамках данного исследования были выбраны следующие алгоритмы извлечения ключевых слов: TF-IDF, RAKE, TextRank, графовые алгоритмы на основе степени (degree) и силы (strength).

TF-IDF-взвешивание основывается на оценке веса термина исходя из его частоты встречаемости внутри документа (Term Frequency) и величины, обратной частоте встречаемости термина в других документах коллекции (Inverted Document Frequency):

$$TFIDF\,(word_i) = freq\,(word_i) \cdot idf\,(word_i).$$

Несмотря на кажущуюся простоту данного подхода, исследования показали его эффективность в извлечении ключевых слов, даже в сравнении с другими, более сложными методами.

Взяв всю коллекцию документов, мы взвешиваем каждый термин отдельно для каждого документа, а затем упорядочиваем полученные наборы терминов по убыванию, получая списки слов по направлению убывания их значимости. Поскольку, даже произведя изначальную фильтрацию стоп-слов, мы всё ещё получаем список всех возможно значимых слов в документе, имеет смысл выбрать границу значимости, по которой производится отбрасывание малозначащих для коллекции слов. Практически мы приняли решение опираться только на верхние 5 % слов в каждом документе.

RAKE производит отбор кандидатов в ключевые слова и фразы путём разбиения документа вначале на предложения, а затем на отдельные составляющие предложений исходя из знаков пунктуации. Из полученных выражений фразы-кандидаты выбираются путём разбиения этих выражений на более мелкие сочетания с учётом списка стоп-слов, вероятность нахождения которых в ключевых словах крайне мала. Это делает RAKE более зависимым от конкретного языка анализируемых текстов.

Полученные кандидаты затем оцениваются исходя из весов входящих в них слов, которые определяются, в свою очередь, на основе частот их употребления в документах коллекции и на основе их степеней (degree):

$$Score(Keyword) = \sum_{\substack{word_i \\ \in Keyword}} \frac{\deg(word_i)}{freq(word_i)}.$$

По аналогии с предыдущим подходом мы упорядочиваем взвешенные слова-кандидаты по убыванию их веса и берём верхние 5 % получившегося списка в качестве ключевых слов.

TextRank — это графовый алгоритм, опирающийся на создание графовой модели документа — взвешенного графа, содержащего потенциальных кандидатов в ключевые слова. По аналогии с оригинальным PageRank узлы графа взвешиваются исходя из того, насколько авторитетны связанные с ними узлы. Данный процесс связан с алгоритмами блуждания по графу, постоянно изменяющими веса вершин на основе весов их соседей до тех пор, пока эти плавающие веса не сойдутся.

Другие рассматриваемые нами графовые алгоритмы основываются на более простых мерах веса в графах — степени и силе вершин. Данные алгоритмы также требуют составления взвешенного графа документа, однако веса кандидатов в вершинах рассчитываются исходя из степени вершин — числа соседей — и силы вершин — суммы весов входящих в вершину рёбер. Сами веса определяются с учётом количества совместных употреблений кандидатов в вершинах.

Для графовых подходов мы производим автоматическое склеивание кандидатов исходя из их совместных употреблений в тексте документа. Затем, как и в случае с другими подходами, мы сортируем полученный список кандидатов и отбираем верхние 5 % в качестве ключевых слов.

Эксперимент

Для сравнения нескольких выбранных нами алгоритмов был составлен тестовый корпус, состоящий из выбранных элементов рабочих программ дисциплин по 12 различным дисциплинам трёх областей знаний: информационные технологии, математика и экономика. Для документов данного корпуса экспертами — преподавателями вузов были выбраны наборы ключевых слов, определяющих содержание данных дисциплин. Данные наборы были использованы в качестве контрольной выборки.

Для каждого документа определяются элементы, которые наиболее важны для анализа этих документов: вводных частей, описания требований к результатам освоения и описания структуры курса как перечня входящих в него разделов и тем.

Из выбранных фрагментов текста исключаются стоп-слова — междометия, словосочетания, часто употребляемые союзы и предлоги. Оставшийся текст затем очищается от нетекстовых символов, разбивается на слова, которые затем проходят лемматизацию.

Затем для каждого из полученных документов применяются выбранные алгоритмы. Следует отметить, что на практике было принято решение удалить из кандидатов для всех алгоритмов кроме TF-IDF те слова, которые имели слишком низкий вес, избавляясь таким образом от общей лексики, встречающейся во всех документах, а также сокращая общее количество генерируемых ключевых слов приблизительно вдвое. На практике эксперимент проводится с 90 %-м порогом — оставляются только верхние 10 % слов, отранжированных по их TF-IDF-весу.

Таким образом, для каждого документа в коллекции мы получаем взвешенный набор его лемматизированных ключевых слов для всех пяти алгоритмов.

Оценка качества алгоритмов

Для оценки качества в задачах выбора ключевых слов принято использовать метрики точности (precision) и полноты (recall). Традиционно попаданием или достоверным положительным результатом считается наличие ключевого слова из результатов работы оцениваемого алгоритма в наборе ключевых слов, составленных экспертами. Иногда также рассматриваются попадания ключевого слова в аннотацию, составленную экспертом.

На практике в данном эксперименте можно прийти к выводу, что экспертная оценка образовательного контента, как правило, приводит к набору укрупнённых концептов того, что упоминается в документе, в то время как автоматическое извлечение, по меньшей мере в выбранных нами алгоритмах, опирается на конкретные упоминания в тексте документа, не укрупняя их до более общих понятий, а также зачастую, состоит из менее корректно построенных фраз, чем те, что были выбраны экспертом.

Это наблюдение позволяет отметить, что традиционное сопоставление результатов работы алгоритмов и оценки человеком в данном эксперименте трудновыполнимо из-за необходимости сопоставления каждой экспертной фразы с каждой сгенерированной фразой в попытке проследить перекрёстные упоминания терминов. Однако, даже проведя такой анализ, можно столкнуться с проблемой семантического разрыва — выбранные экспертами ключевые фразы могут содержать крайне малое число общих слов с автоматически сгенерированными фразами или не иметь их вовсе.

Примером такой ситуации могут являться следующие ключевые фразы для документа, посвящённого программе курса по базам данных:

– совместное использование данных;
– коллективный доступ;
– разграничение доступа.

Первая из этих ключевых фраз была предложена экспертом, две другие выбраны соответственно алгоритмами TF-IDF и TextRank. И хотя среди сгенерированных фраз не содержится ни одного слова, встречающегося во фразе, выбранной экспертом, они так или иначе имеют один и тот же смысл.

Если проигнорировать данный фактор, а также существенно снизить планку сложности, считая успешным наличие хотя бы одного общего слова между экспертной и сгенерированной фразами, то выбранные алгоритмы показывают схожие результаты с другими работами, оценивающими их качество. Грубо оценённые таким образом алгоритмы показывают достаточно близкие средние значения точности и полноты: $P \approx 0{,}35$ и $R \approx 0{,}4$. Чуть более высокую полноту и точность достигает TF-IDF: $P \approx 0{,}38$ при $R \approx 0{,}43$. RAKE показывает более высокую точность, но теряет в полноте: $P \approx 0{,}5$ при $R \approx 0{,}33$.

Тем не менее такая оценка качества работы алгоритма не вполне корректна, в связи с чем был применён альтернативный подход с использованием векторных представлений слов. Пользуясь моделью языка, мы можем оценить качество как близость между двумя наборами ключевых слов — экспертным

и сгенерированным. Модель Word2vec [19], обученная на корпусе русскоязычной Wikipedia, даёт достаточно большой охват терминологии, чтобы приближённо считать эту векторную модель моделью языка. Таким образом, можно вычислить вектора всех ключевых слов в обоих наборах, объединить их в общий для набора вектор и сравнить их через косинусную меру близости. Этот подход был предложен авторами genism framework [20].

Введём следующие обозначения:

$$\overrightarrow{L2_w} = \frac{\overrightarrow{V_w}}{|\overrightarrow{V_w}|},$$

где $L2$ — норма word2vec вектора слова w;

$$\overrightarrow{m_{ws}} = \frac{\sum_{w_i \in ws} \overrightarrow{L2_{w_i}}}{|ws|},$$

где $L2$ — норма word2vec векторов всех слов в наборе ws.

Близость между наборами ws_1 и ws_2 — это косинус между средними слов в наборах:

$$sim_{wordsets}(ws_1, ws_2) = \cos(\overrightarrow{m_{ws_1}}, \overrightarrow{m_{ws_2}}).$$

Таким образом, близость между документами d_i и d_j может быть вычислена как близость между наборами входящих в них ключевых слов:

$$sim(d_i, d_j) = sim_{wordsets}(Keywords(d_i), Keywords(d_j)).$$

В результате такого подхода к оценке получаются следующие усреднённые по всему корпусу близости наборов ключевых слов:

Алгоритм	$sim_{wordsets}$
TF-IDF	0,96974
TextRank	0,96608
Graph (Strength)	**0,97381**
Graph (Degree)	0,96904
RAKE	0,96478

Полученные данные показывают сравнительную близость данных алгоритмов, которая также отражается в близости самих сгенерированных наборов ключевых слов. Стоит заметить, что использование модели word2vec для оценки близости может потенциально вносить дополнительный элемент погрешности, однако он значительно меньше ошибок, получаемых за счёт допущений в альтернативных подходах к оценке качества.

Заключение

В рамках данного исследования мы рассмотрели укрупнённую структуру рабочих программ дисциплин и выявили наиболее информативные их элементы. Был проведён обзор существующих популярных методов извлечения ключевых слов и осуществлён эксперимент с оценкой качества методов, не требующих тренировочной выборки.

Для оценки качества работы данных методов в рамках рассматриваемой задачи был подготовлен тестовый корпус различных рабочих программ дисциплин и реализован ряд алгоритмов извлечения ключевых слов, результаты работы которых затем были сравнены с наборами слов, выбранными экспертами. Результаты показали близость качества работы выбранных алгоритмов.

Следующими основными шагами исследования являются:

– использование полученных данных для улучшения качества сравнения документов;

– оценка эффективности данных алгоритмов для других видов образовательного контента;

– интеграция структурных мер оценки близости контента с мерами на базе ключевых слов;

– применение методов вероятностного тематического моделирования к задачам анализа образовательного контента.

Библиографический список

1. Ботов, Д. С. Подход к определению меры семантической близости результатов обучения / Д. С. Ботов, Ю. Д. Кленин // Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. С. 76–82.

2. Sifatullah, S. Keyword and Keyphrase Extraction Techniques: A Literature Review / S. Sifatullah, S. Aditi // Intern. J. of Computer Applications. 2015. Vol. 109, № 2. P. 18–23.

3. Beliga, S. Keyword extraction: a review of methods and approaches / S. Beliga / University of Rijeka, Department of Informatics. Rijeka, 2014.

4. Pouliquen, B. Automatic annotation of multilingual text collections with a conceptual thesaurus / B. Pouliquen, R. Steinberger, C. Ignat // Ontologies and Information Extraction : workshop at EUROLAN'2003: The Semantic Web and Language Technology — Its Potential and Practicalities. Bucharest, 28 July — 8 August 2003. arXiv preprint cs/0609059 (2006.9.12).

5. Medelyan, O. Thesaurus based automatic keyphrase indexing / O. Medelyan, I. H. Witten // Proceedings of the 6th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries. New York : ACM Press. 2006. P. 296–297.

6. Hulth, A. Improved automatic keyword extraction given more linguistic knowledge / A. Hulth // Proceedings of the 2003 conference on Empirical methods in natural language processing / Association for Computational Linguistics. Morristown (USA), 2003. P. 216–223.

7. Hong, B. An Extended Keyword Extraction Method / B. Hong, D. Zhen // International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering, Physics Procedia. 2012. Vol. 24, part B. P. 1120–1127.

8. Pudota, N. A New Domain Independent Keyphrase Extraction System / N. Pudota, A. Dattolo, A. Baruzzo, C. Tasso // CCIS. 2010. Vol. 91. P. 67–78.

9. Nguyen, T. D. Keyphrase extraction in scientific publications / T. D. Nguyen, M. Y. Kan [et al.] // ICADL. LNCS. 2007. Vol. 4822. P. 317–326.

10. Rose, S. Automatic keyword extraction from individual documents / S. Rose, D. Engel, N. Cramer, W. Cowley // Text Mining: Applications and Theory. Hoboken : John Wiley & Sons, 2010. P. 1–20.

11. Hasan, K. Conundrums in unsupervised keyphrase extraction: Making sense of the state-of-the-art / K. Hasan, V. Ng // Proceedings of the 23rd International Conference on Computational Linguistics: Posters. Beijing, Chinaб August 23–27, 2010. Stroudsburg (USA), 2010. P. 365–373.

12. Lahiri, S. Keyword and Keyphrase Extraction Using Centrality Measures on Collocation Networks / S. Lahiri, S. R. Choudhury, C. Caragea // arXiv preprint arXiv:1401.6571 (2014)

13. Sonawane, S. S. Graph based Representation and Analysis of Text Document: A Survey of Techniques / S. S. Sonawane, P. A. Kulkarni // Int. Jour. Of Computer Applications. 2014. Vol. 96, № 19. P. 1–8.

14. Mihalcea, R. TextRank: Bringing order into texts / R. Mihalcea, P. Tarau // Empirical Methods in Natural Language : Processing. Barcelona, 2004. P. 404–411.

15. Brin S. The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine / S. Brin, L. Page // Computer Networks and ISDN Systems. 1998. № 30. P. 1–7.

16. Wan, X. Single document keyphrase extraction using neighborhood knowledge / X. Wan, J. Xiao // Proceedings of the 23rd AAAI Conference on Artificial Intelligence. Chicago (Illinois), 2008. P. 855–860.

17. Lahiri, S. Keyword and Keyphrase Extraction Using Centrality Measures on Collocation Networks / S. Lahiri, S. R. Choudhury, C. Caragea // arXiv preprint arXiv:1401.6571 (2014).

18. Liu, Zh. Clustering to find exemplar terms for keyphrase extraction / Zh. Liu, Li Peng, Yabin Zheng, Maosong Sun // Proceedings of the 2009 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. USA, 2009. P. 257–266.

19. Mikolov, T. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality / T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. S. Corrado, J. Dean // Advances in neural information processing systems 26. 2013. P. 3111–3119. URL: http://papers.nips.cc/paper/5021-distributed-representations-of-words-and-phrases-and-their-compositionality.pdf

20. Řehůřek, R. Software Framework for Topic Modelling with Large Corpora / R. Řehůřek, P. Sojka // Proceedings of the LREC 2010 Workshop on New Challenges for NLP Frameworks. Malta, 2010. P. 45–50.

Сведения об авторах

Ботов Дмитрий Сергеевич — старший преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. dmbotov@gmail.com

Кленин Юлий Дмитриевич — магистрант Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. jklen@yandex.ru

---

D. S. Botov, J. D. Klenin

APPLYING KEYWORD EXTRACTION ALGORITHMS AND VECTOR REPRESENTATION OF WORDS IN THE PROBLEM OF EDUCATIONAL CONTENT MINING

The paper presents an overview of keyword extraction algorithms in applied to educational data mining (course description analysis task specifically) and provides a general comparison of algorithms. In the experiment for evaluating of keyword extraction algorithms, it proposed an approach using a model of the vector representation of words (word2vec), solves the problem of the semantic gap by comparing the results of the algorithms with the test set composed by experts.

ББК 3973
УДК 004.415

Д. С. Ботов, Н. В. Меньшикова, И. В. Портнов

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МУЗЫКАЛЬНОГО СЕРВИСА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОНТЕНТНОЙ И КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Произведён сравнительный анализ методов построения систем индивидуальных рекомендаций и обзор систем, рекомендующих аудиоконтент. Предложен алгоритм расчёта матрицы оценок аудиоконтента при использовании неявной обратной связи от пользователей. Приведены результаты эксперимента по оценке качества моделей на основе методов контентной и коллаборативной фильтрации, предложен вариант гибридной модели рекомендательной системы для музыкального сервиса.

Введение

Проблема построения рекомендательных систем на данный момент актуальна для многих областей и является частью таких задач, как предложение товаров в интернет-магазинах, ранжирование результатов выдачи в поисковых системах, поиск подходящего контента в музыкальных, видеосервисах и СМИ. В целом рекомендательные системы в Интернете применяются с целью персонализации контента — его автоматической подстройки под текущие нужды конкретного пользователя. В настоящее время активно ведутся исследования в данной области, что главным образом обусловливается наличием нерешённых проблем в существующих методах.

Рекомендательная система представляет собой программный комплекс, который определяет интересы и предпочтения пользователя и формирует предложения контента в соответствии с ними. Внедрение такой системы позволит автоматически выдавать пользователю релевантные музыкальные рекомендации, а следовательно, повысить вовлечённость и лояльность аудитории мобильного приложения существующего музыкального сервиса. Таким образом, система индивидуальных рекомендаций для мобильного приложения позволяет получить следующие преимущества:

– для пользователя — решает проблему выбора среди большого количества контента;

– для бизнеса — позволяет повысить качество продукта (музыкального сервиса) и не терять аудиторию на высококонкурентном рынке.

На рынке музыкальных сервисов уже существуют десятки решений в сфере персонализированных рекомендаций, однако все они разрабатываются индивидуально для конкретного сервиса, а потому являются коммерческой тайной и не доступны для приобретения. Целью настоящего исследования является улучшение поведенческих факторов пользователей существующего музыкального мобильного приложения за счёт внедрения системы индивидуальных рекомендаций. В рамках данной статьи решены следующие задачи исследования:

1. Исследование методов и алгоритмов построения систем индивидуальных рекомендаций, изучение существующих рекомендательных систем музыкальных сервисов.

2. Разработка моделей рекомендательной системы для музыкального сервиса по методам контентной и коллаборативной фильтрации.

3. Организация эксперимента по оценке качества моделей рекомендательной системы — определение набора входных данных и построение архитектуры для сбора необходимой информации.

4. Исследование моделей рекомендательной системы, построенных на основе методов контентной и коллаборативной фильтрации.

Для решения поставленных задач были исследованы пользователи музыкального сервиса, аудиоконтент, а также процесс потребления контента пользователями, что позволило подобрать методы и алгоритмы построения рекомендательной системы с учётом специфики предметной области. Также в процессе исследования разработан алгоритм расчёта матрицы оценок при использовании неявной обратной связи от пользователей и построена гибридная модель на основе классических методов формирования индивидуальных рекомендаций.

1. Постановка задачи формирования рекомендаций для пользователей музыкального сервиса

Традиционная рекомендательная система имеет дело с двумя видами сущностей: пользователь и объект. Здесь пользователь — получатель рекомендации и источник данных о предпочтениях, а объект — то, что предлагается пользователям в качестве рекомендаций, в данном случае — аудиотреки. И пользователей, и объекты можно описать наборами параметров, которые будут формировать их «профили». Так, профиль пользователя включает:

– прошлое поведение (оценки, рейтинги объектов) пользователя в системе (явное и неявное);

– предпочтения пользователя (явные и неявные);

– социально-демографические данные.

В профиль объекта можно включить такие данные, как:

– оценки пользователей, которые они поставили данному объекту в системе;

– параметры трека, аудиофайла.

В общем виде задачу рекомендательной системы можно сформулировать как «определение объекта, ранее неизвестного пользователю (или неиспользуемого им в течение какого-либо промежутка времени), но полезного или интересного ему в данный момент» [1].

Обозначим:

$u \in U$ — множество пользователей;

$n_{uk} \in N$ — матрица параметров пользователей, $k = \overline{1, K}$, K — количество параметров, которые известны о каждом пользователе;

$n_u = (n_{u1}, ..., n_{uK})$ — вектор признаков u-го пользователя, $u = \overline{1, U}$;

$i \in I$ — множество объектов;

$m_{il} \in M$ — матрица параметров треков, $l = \overline{1, L}$, L — количество параметров, которым описывается каждый объект;

$m_i = (m_{i1}, ..., m_{iL})$ — вектор признаков i-го объекта, $i = \overline{1, I}$;

$(a_{ui}, u, i) \in A$ — множество событий-действий, которые пользователи совершают с объектами;

$r_{ui} \in R$ — матрица оценок, r_{ui} — оценка i-го объекта u-м пользователем, $u = \overline{1, U}$, $i = \overline{1, I}$.

В рамках рекомендательной системы данные об оценках пользователей, которые они выставили соответствующим объектам, представляются в виде матрицы (количество строк равно количеству пользователей, количество столбцов — количеству объектов). Далее система пытается предсказать отсутствующие оценки пользователя и формирует список рекомендаций с учётом предсказанных оценок [2]. То есть в результате применения алгоритма требуется предсказать предпочтение $\hat{r}_{ui} = \text{Predict}\,(u, i, n_u, m_i, ...)$. Для этого необходимо:

1. Определить оценки пользователей трекам r_{ui} на основе действий a_{ui}, совершённых пользователями по отношению к трекам.

2. Предсказать персонализированные оценки пользователя ещё не прослушанным и не порекомендованным трекам.

3. Составить лист рекомендаций из «положительно» оценённых объектов.

4. Предоставить лист рекомендаций пользователю.

2. Обзор рекомендательных систем и методов их построения

Существует ряд методов построения рекомендательных систем. Для применения их на практике строятся модели, использующие тот или иной набор входных данных и алгоритмов. К классическим методам построения рекомендательных систем можно отнести следующие [3]:

1. Контентная фильтрация (фильтрация на основе содержания, content-based filtering). Метод основан на определении схожести собственных характеристик объектов и предполагает построение профилей объектов в зависимости от их типа. Для построения модели по методу требуется следующая информация: признаки объектов из I и оценки u-го пользователя объектам из I. Суть метода заключается в создании классификатора, который на основе признаков треков, понравившихся u-му пользователю, спрогнозирует оценку для i-го трека. Главными проблемами систем на основе метода контентной фильтрации являются сильная зависимость от предметной области и ограниченная полезность рекомендаций.

Наиболее яркий представитель данного типа систем среди музыкальных сервисов — интернет-радио Pandora. В его основе лежит система Music Genome Project, в рамках которой каждый трек характеризуется набором (несколько сотен) характеристик, которые используются для выявления музыкальных предпочтений пользователя [4].

2. Коллаборативная фильтрация (совместная фильтрация, collaborative filtering). Метод основан на выявлении схожести предпочтений пользователей, в этом случае не имеет значения, с какими типами объектов ведётся работа. Основное допущение метода состоит в следующем: те, кто одинаково оценивали какие-либо предметы в прошлом, склонны давать похожие оценки другим предметам и в будущем. Прогнозы составляются индивидуально для каждого пользователя при помощи экстраполяции оценок пользователей, схожих с u-м. Основная проблема этого типа рекомендательных систем — «холодный старт»: отсутствие данных о недавно появившихся в системе пользователях или объектах.

Одним из самых известных сервисов, применивших алгоритмы коллаборативной фильтрации для видеоконтента (рекомендации фильмов), является Netflix [5]. В 2006 г. компания объявила конкурс на разработку такого алгоритма, значительно подстегнув научное сообщество к развитию данного направления.

3. Демографический метод (demographic) основан на данных о признаках пользователей из U, их оценок объектам из I, а также признаков конкретного u-го пользователя. В рамках метода производятся поиск пользователей из U, схожих с u-м по его признакам, и экстраполяция оценок схожих пользователей для u-го.

Демографический метод широко применяется в музыкальном сервисе Spotify [6], для каждой половозрастной группы слушателей определены приоритетные исполнители.

4. Метод на основе функции полезности (utility-based) предполагает построение функции полезности u-го пользователя с весами для каждого признака из признакового описания объектов.

5. Метод на основе модели знаний (knowledge-based) предполагает описание интересов u-го

пользователя при помощи модели знаний и последующее выявление соответствий между *i*-м объектом и интересами *u*-го пользователя.

6. Гибридные модели (hybrid) — комбинируют различные черты контентных систем и коллаборативной фильтрации. Например, широко распространены модели на основе нейронных сетей, которые прогнозируют латентные факторы на основе признакового описания объектов. При этом латентные факторы для пользователей рассчитывают по методу коллаборативной фильтрации, а признаковое описание объектов используют по аналогии с методом контентной фильтрации.

Гибридную модель на основе методов knowledge-based, content-based и demographic применяет сервис Яндекс.Музыка [7]. Система использует априорную информацию об интересах пользователя для формирования его профиля, профиль изменяется по мере появления новой информации (knowledge-based). При формировании рекомендаций также учитывается то, как связаны друг с другом объекты из музыкального каталога на основе их описаний (content-based). Рекомендации уточняются при помощи данных о треках, понравившихся пользователям той же социальной группы (demographic) (табл. 1).

Потоки данных при формировании рекомендаций по моделям на основе перечисленных методов схематично представлены на рис. 1.

3. Формирование признаков пользователей и треков

В зависимости от метода построения модели для рекомендательной системы требуется тот или иной набор входных данных. Рассмотрим информацию, необходимую для построения классических рекомендательных систем, а именно: профиль пользователя, признаки треков и оценки пользователя трекам.

В рамках данного исследования для составления профилей пользователей предполагается использовать следующую информацию (табл. 2).

Для построения рекомендательной системы также необходимо решить вопрос — какие параметры использовать для описания объектов, в данном случае — аудиотреков. Так, в рамках проекта Music Genome Project для сервиса Pandora профессиональные музыкальные аналитики оценивают каждую композицию по сотням различных музыкальных характеристик. Методика в основе сервиса Pandora — лидер сегмента, однако она предполагает огромное количество ручной обработки (разметки) данных (треков) специалистами высокого уровня. Более простой метод

Таблица 1

Сравнение классических методов построения рекомендательных систем

Метод		Суть метода	Преимущества	Недостатки
Content-based		Создание классификатора, который на основе признаков треков, понравившихся *u*, спрогнозирует оценку для *i*	– Индивидуальная модель для каждого пользователя; – нет проблемы холодного старта для треков; – не нужна большая база пользователей, т. к. метод не требует оценок от других пользователей	– проблема «холодного старта» для пользователей; – нет эффектов новизны, неожиданности, разнообразия; – чтобы вынести рекомендацию, нужно спрогнозировать оценки для всех треков
Collaborative Filtering	User-based	Поиск пользователей из *U*, схожих с *u* по его оценкам. Экстраполяция оценок схожих пользователей для *u*-го	Более разнообразные и точные рекомендации, чем в Content-based	– Проблема «холодного старта»; – разреженность данных; – не подходит для пользователей со специфическими вкусами
	Item-based	Поиск объектов из *I*, схожих с *i* по оценкам, которые ему поставили. Экстраполяция оценок схожих объектов для *i*-го		
Demographic		Поиск пользователей из *U*, схожих с *u* по его признакам. Экстраполяция оценок схожих пользователей для *u*-го	Решает проблему «холодного старта» для пользователя	Не подходит для пользователей со специфическими вкусами
Utility-based		Применение функции полезности *u*-го пользователя для предсказания его оценки *i*-му объекту	Не требуется построения пользовательской модели в явном виде, как в случае Content-based	– Требуется обширная обратная связь с пользователем; – требует глубоких знаний предметной области
Knowledge-based		Выявление соответствий между *i*-м объектом и интересами *u*-го пользователя	– Нет проблемы «холодного старта» для пользователя; – высокая степень новизны рекомендаций	Для создания модели пользователя высокой точности требуется много времени

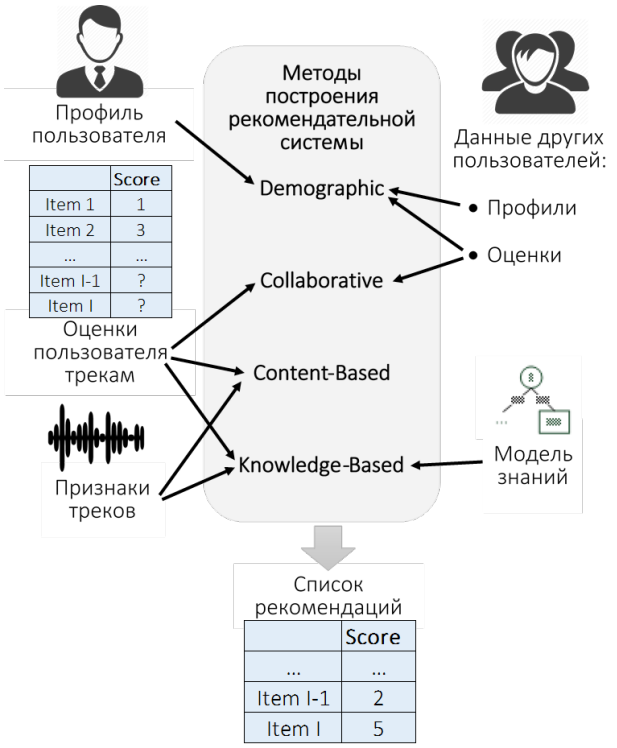


Рис. 1. Потоки данных при формировании рекомендаций с использованием различных методов

извлечения признаков музыкального произведения — расчёт параметров аудиосигнала. Существует ряд библиотек, позволяющих сделать это автоматически. Эффективность использования таких характеристик для идентификации жанровых особенностей подтверждается рядом исследований [8; 9]. В рамках данного исследования были использованы следующие характеристики для описания треков (табл. 3).

4. Предварительная обработка набора оценок пользователей сервиса

Помимо признаков контента и пользователей, важным элементом для построения рекомендательной системы также является матрица оценок. В процессе работы рекомендательные системы собирают данные о пользователях, используя сочетание явных и неявных методов [2]. Примеры явного сбора данных: запрос у пользователя оценки объекта по дифференцированной шкале или ранжирования, предъявление двух объектов с вопросом о том, какой из них лучше, предложение создать список любимых объектов. Явная обратная связь позволяет однозначно определить отношение пользователя к объекту. Однако данный метод требует большого участия пользователя, а также подвержен такой проблеме, как мошенничество, — когда пользователи необоснованно выставляют позитивные или негативные оценки объектам для повышения/понижения общего рейтинга объекта. Эти проблемы решаются при помощи использования неявной обратной связи, для чего осуществляется ведение записей о поведении пользователя на ресурсе, что также позволяет учесть даже те аспекты, которые пользователь не хочет или не может выразить явно. Однако ни один из перечисленных выше методов не может работать с последовательностью записей, все они принимают на вход матрицу оценок. Следовательно, необходимо трансформировать лог событий в матрицу оценок (рис. 2).

Авторами предлагается следующий алгоритм расчёта матрицы оценок. В контексте музыкального сервиса неявный фидбек представляет собой последовательность действий пользователя при взаимодействии с плеером во время прослушивания трексета. При это набор действий для пользователя ограничен и заранее предопределён интерфейсом приложения. Поэтому существует определённый набор возможных исходов при прослушивании каждого трека. Все действия можно разделить на «положительные» и «отрицательные». На данный момент интерфейс приложения позволяет совершать «положительные» действия:

– трек дослушали до конца (или прослушали заданную долю трека);

– треку поставили «like» (добавили трек в избранное);

– трек загрузили на устройство.

Также пользователь может выразить негативную реакцию по отношению к треку, совершив одно из действий:

– трек не дослушали до конца (нажали «skip»);

– треку поставили «dislike» (при этом воспроизведение текущего трека автоматически заканчивается и начинается новый трек, аналогично кнопке «skip»).

Таблица 2

Признаковое описание пользователей

Признак	Источник данных	Интерфейс доступа к данным
Пол Возраст Количество друзей Количество аудиозаписей	Информация социальных сетей	VK API
Треки на устройстве Приложения, установленные на устройстве	Данные с устройства пользователей	Интерфейс вызова операционной системы мобильного устройства

Таблица 3

Признаковое описание треков

Признак	Способ получения данных
Метаинформация трека	
Исполнитель Жанры Год выпуска Длительность	Обращение к базам данных музыкального сервиса; получение информации из ID3-тэгов аудиофайлов
Параметры аудиосигнала	
Частота переходов аудиосигнала через ноль Мел-частотные кепстральные коэффициенты Дисперсия центральных моментов спектра Коэффициент асимметрии центральных моментов спектра Коэффициент эксцесса центральных моментов спектра Энергия спектра аудиосигнала Энергия спектра для четырёх различных частот Мера высокочастотного содержимого Среднеквадратичное отклонение спектра аудиосигнала Спектральный поток Спектральный спад Значение «сильного пика» Значение гребня Значение плоскости Спектральная сложность Рельефность высоты Спектральный центроид Сенсорный диссонанс Громкость Динамическая сложность Гармонический профиль высотных классов Темп, количество ударов в минуту Амплитуда, вес и ширина самого высокого и второго по высоте пиков гистограммы ударов в минуту	Расчёт параметров аудиосигнала при помощи библиотеки Essentia

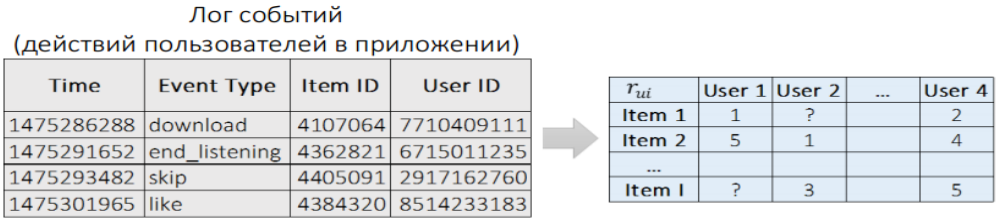


Рис. 2. Формирование матрицы оценок пользователей трекам

Также необходимо учесть ряд возможных ситуаций:

1. На каждое прослушивание может приходиться более одного действия.

2. Одному пользователю трек может быть предложен несколько раз, при этом необходимо комбинировать оценки.

3. Пользователь может нажать «skip» потому, что не хочет его слушать в данный момент, а не потому, что трек ему вовсе не нравится. В рамках метода контентной фильтрации данную ситуацию учесть невозможно, и любое нажатие «skip» будет восприниматься как отрицательная реакция на трек. В дальнейшем эту проблему можно разрешить, добавив к модели информацию о контексте.

Обозначим:

$j = \overline{1, J}$ — метка действия пользователя по отношению к треку;

a_{ui}^{j} — количество действий, совершённых пользователем u по отношению к треку i, $j = \overline{1, J}$.

Тогда оценку r_{ui} пользователя u для трека i можно рассчитать следующим образом:

$$r_{ui} = \sum_{j=1}^{J} x^j a_{ui}^j,$$

где $x^1 \ldots x^J$ — веса, с которыми действия (дослушивания, загрузки и т. д.) входят в итоговую оценку.

Необходимо учитывать, что действия неравнозначны, поэтому каждому действию присваивается вес x^j, $j = \overline{1, J}$. Пусть:

j = 1: количество дослушиваний;

j = 2: количество «like»;

j = 3: количество загрузок;

j = 4: количество «skip»;

j = 5: количество «dislike».

Тогда коэффициенты x^4 и x^5 перед переменными действий «skip» и «dislike» должны уменьшать общую оценку, поскольку эти действия отражают негативную реакцию пользователя на трек, а коэффициенты x^1, x^2 и x^3 перед переменными дослушивания, оценки «like» и загрузки отражают позитивную реакцию и должны повышать общую оценку. В качестве исходного варианта можно взять вектор коэффициентов x = (1, 2, 2, –1, –2). В дальнейшем значения коэффициентов меняются для достижения максимальной точности модели.

Таким образом, получены все необходимые данные для обучения моделей рекомендательной системы.

5. Модели рекомендательной системы с использованием методов контентной и коллаборативной фильтрации

Рекомендательный алгоритм в рамках метода контентной фильтрации реализуется как классификатор. В качестве признакового описания объектов используются параметры объектов (матрица **M** — метаинформация треков и параметры аудиосигнала), а в качестве меток классов — оценки пользователя трекам (матрица **R**). Признаковое пространство треков **M** нормализуем и стандартизуем (так как среди параметров есть признаки с различными масштабами). Также применяем метод главных компонент для сокращения размерности пространства признаков, так как аудиосигнал описывается большим количеством параметров (>30).

В качестве алгоритма может быть использован любой из методов машинного обучения для классификации. Мы рассмотрели наиболее распространённые: Decision tree, Logistic regression, Support vector classification, а также ансамблевые методы. При этом оптимальный алгоритм и его параметры определяются для каждого пользователя индивидуально.

Так как метод контентной фильтрации реализуется в форме классификатора, то в качестве оценки точности алгоритмов для выбора наилучшего используются стандартные метрики точности и полноты (Accuracy, Precision, Recall), усреднённые для случая многоклассовой классификации с непересекающимися классами [10].

Алгоритм построения модели по методу контентной фильтрации представлен на рис. 3.

Для построения модели по методу коллаборативной фильтрации из исходных данных используется только матрица оценок пользователей R. В качестве алгоритма применяется классификатор weighted k-nearest neighbors или разложение матрицы оценок по методу Singular value decomposition. Коллаборативная фильтрация также позволяет получить прогнозное значение оценки для трека, неоценённого пользователем, поэтому качество модели можно оценить метриками аналогично контентной фильтрации.

Алгоритм построения модели по методу контентной фильтрации представлен на рис. 4.

6. Эксперимент по оценке качества предложенных моделей рекомендательных систем

Для проведения эксперимента была создана тестовая сборка приложения музыкального сервиса под ОС Android. При этом движение данных в системе с тестовой сборкой выглядит следующим образом:

1. В Android-приложении на устройствах пользователей фиксируются данные о событиях, произошедших при взаимодействии пользователя и приложения.

2. Все отчёты о событиях сохраняются на устройство и при накоплении заданного объёма информации отправляются на сервер по протоколу TCP. При использовании приложения в офлайн-режиме данные также сохраняются на устройстве пользователя и отправляются на сервер при подключении к сети.

3. На сервере данные сохраняются в систему статистики PIWIK, которая позволяет гибко выбирать данные посредством API.

4. При помощи PIWIK API данные импортируются в MongoDB. В процессе импорта данные предобрабатываются для последующей работы с ними.

5. При помощи драйвера PyMongo данные импортируются для обучения моделей.

Схема архитектуры рекомендательной системы, разработанной для проведения экспериментов по моделям, представлена на рис. 5.

Всего за время эксперимента были собраны данные 1 578 пользователей. Тестовая сборка, как и предыдущие версии приложения, распространялась через форум. Для расчётов по моделям использовались данные всех пользователей, установивших приложение без выделения каких-либо групп. За время эксперимента пользователи прослушали 27 481 различный трек.

Помимо стандартных метрик качества — точности, полноты и F-меры — при выборе лучшей модели

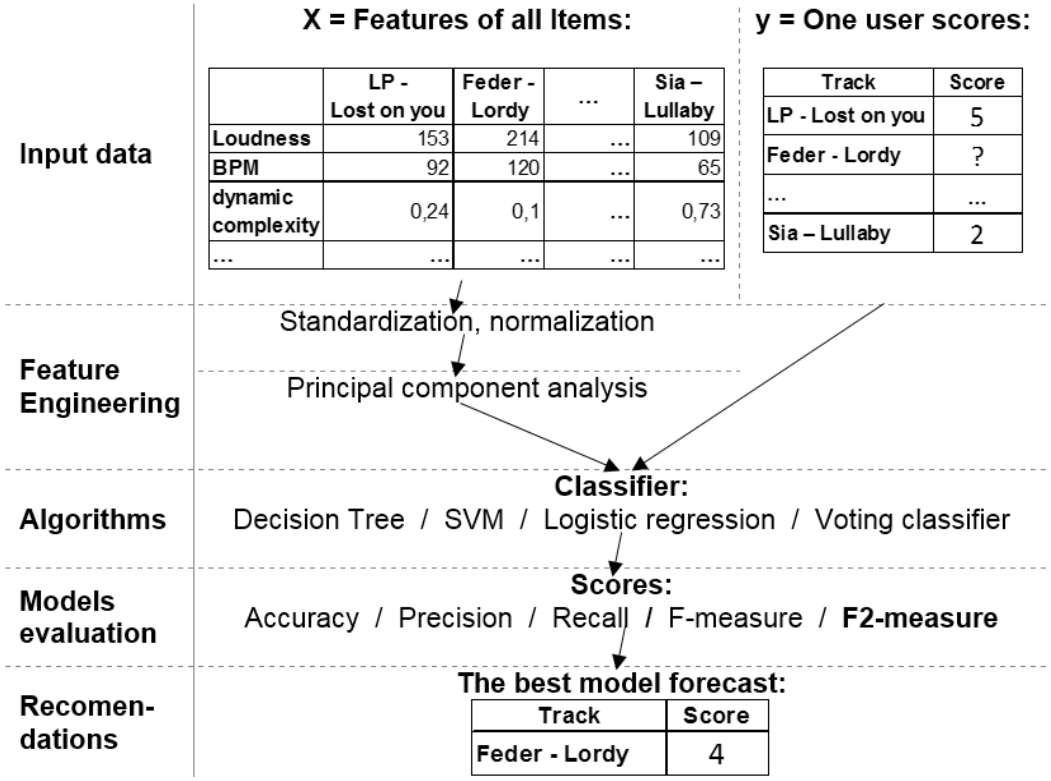


Рис. 3. Модель рекомендательной системы по методу контентной фильтрации

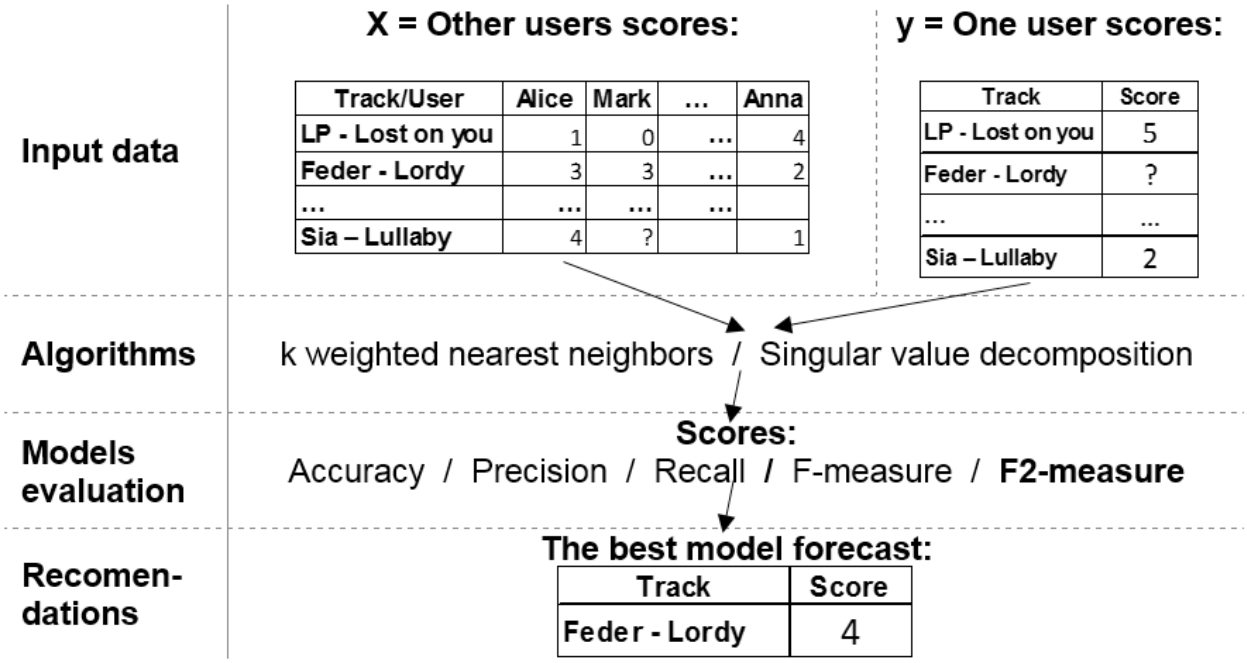


Рис. 4. Модель рекомендательной системы по методу коллаборативной фильтрации

использовалась интегральная метрика F_2 — частный случай F_β-меры со значением параметра $\beta = 2$.

$$F_\beta = (1+\beta^2) \cdot \frac{precision \cdot recall}{\beta^2 \cdot precision + recall}.$$

В рамках системы отдельного музыкального сервиса набор объектов, которые могут быть порекомендованы пользователю, ограничен размером имеющейся базы аудиотреков. Ориентация исключительно на показатель точности быстрее приводит к ситуации, когда пользователю уже

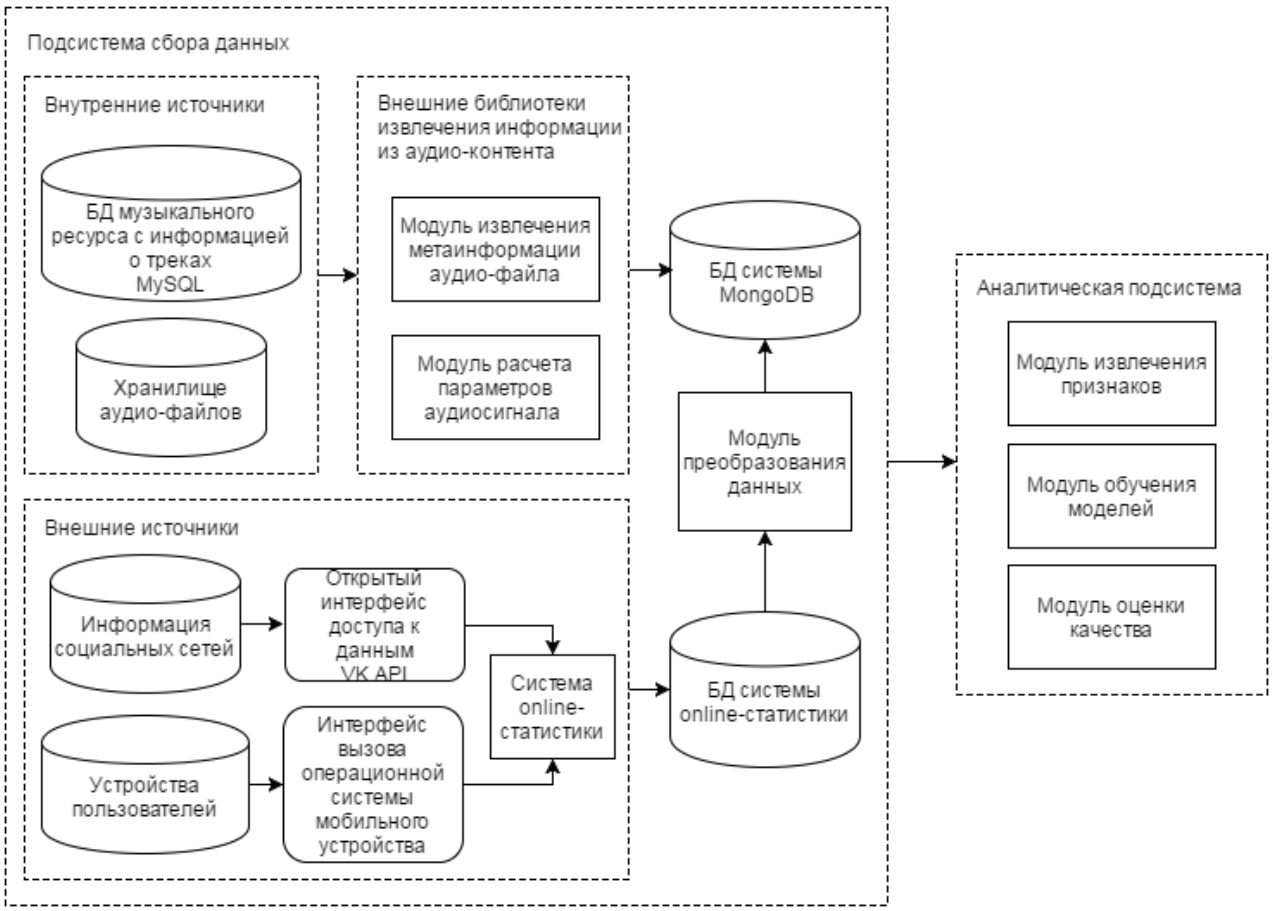


Рис. 5. Архитектура рекомендательной системы для музыкального сервиса

порекомендовали все треки базы, которые система считает релевантными. Также максимизация точности приводит к снижению разнообразия рекомендаций. Более того, если пользователю всё же порекомендовали неподходящий трек, он сможет дать обратную связь (совершить «отрицательное» действие по отношению к треку), что в дальнейшем также будет использовано системой для улучшения рекомендаций. Поэтому, с точки зрения задачи рекомендации треков, важнее максимизировать показатель полноты. Стандартная F-мера объединяет точность и полноту в равных пропорциях, тогда как F_2-мера учитывает полноту с большим весом. Поэтому лучшей признавалась модель, максимизирующая именно F_2-меру.

Оценка моделей осуществлялась по кросс-валидации. Исходные данные несколько раз разделялись на подвыборки — по тренировочной происходило обучение модели, по тестовой — расчёт метрик качества, полученные оценки усреднялись (табл. 4).

Для обучения моделей по методу коллаборативной фильтрации потребовалось ввести ограничения — на количество оценённых треков для пользователей и на количество проставленных оценок для треков с целью уменьшения разреженности матрицы оценок. Ограничение на количество оценок, проставленных пользователем, также водилось для того, чтобы полученные оценки качества были статистически значимы. В результате исходная выборка данных сократилась на 62 % (табл. 5).

Таким образом, коллаборативная фильтрация даёт бóльшую точность, однако требует гораздо бóльшего количества обратной связи от пользователей, что делает метод неприменимым для значительного объёма пользователей.

Таблица 4

Результаты эксперимента по методу контентной фильтрации

Параметр	Accuracy	Precision	Recall	F-measure	F_2-measure
Decision tree	0,440	0,565	0,571	0,568	0,570
SVC	0,642	0,540	0,520	0,530	0,524
Logistic regression	0,563	0,600	0,587	0,593	0,590
Voting Classifier	0,582	0,564	0,600	0,581	0,592

Таблица 5

Результаты эксперимента по методу коллаборативной фильтрации

Параметр	Accuracy	Precision	Recall	*F*-measure	F_2-measure
kNN	0,753	0,720	0,700	0,710	0,704
SVD	0,821	0,825	0,791	0,808	0,798

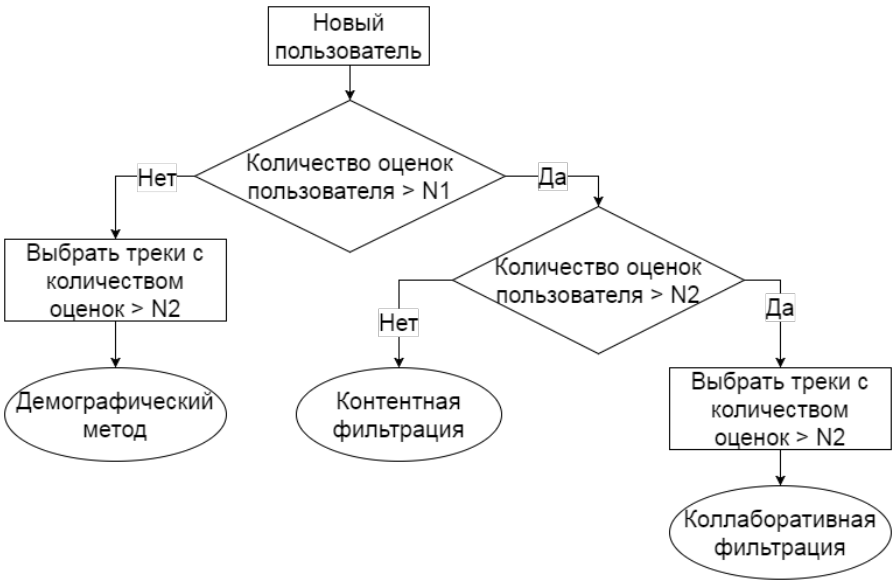


Рис. 6. Алгоритм выбора метода в гибридной модели рекомендательной системы

7. Гибридная модель рекомендательной системы для музыкального сервиса

Исходя из результатов эксперимента можно сделать вывод, что для применения на практике лучше выбирать гибридную модель, которая позволит выносить рекомендации даже при небольшом объёме обратной связи и уточнять их по мере нарастания информации о пользователях и треках. Алгоритм выбора метода в гибридной модели рекомендательной системы представлен на рис. 6.

Параметры N_1 и N_2 подбираются в зависимости от общего количества пользователей и треков, при этом $N_2 > N_1$. В рамках текущего эксперимента были использованы значения $N_1 = 10$ и $N_2 = 30$, так как они позволили корректно использовать алгоритмы методов контентной и коллаборативной фильтрации (матрица оценок стала менее разреженной).

Заключение

В ходе исследования получены следующие результаты:

1. Произведён сравнительный анализ методов построения систем индивидуальных рекомендаций и обзор систем, рекомендующих аудиоконтент. Наиболее распространёнными методами являются контентная и коллаборативная фильтрация, однако на практике они редко используются в чистом виде. Чаще всего для формирования индивидуальных комбинаций используют гибридные модели, комбинирующие различные методы в соответствии с предметной областью, в которой работает система.

2. Предложен алгоритм расчёта матрицы оценок при использовании неявной обратной связи от пользователей, в котором оценки рассчитываются по аддитивной формуле и учитывают различные веса действий пользователей относительно треков.

3. По итогам эксперимента модель по методу коллаборативной фильтрации показала бóльшую точность относительно метода контентной фильтрации, однако оказалась применимой для случаев с ограниченным числом пользователей ресурса.

4. На основе полученных результатов предложена гибридная модель рекомендательной системы, которая позволяет работать даже с новыми для системы пользователями, увеличивая качество рекомендаций по мере накопления информации о пользователях и треках.

В дальнейшем для улучшения качества рекомендаций планируется:

1. Провести эксперименты по методам: демографическому, на основе функции полезности, на основе модели знаний, а также по гибридным моделям на основе данных методов.

2. Использовать априорную информацию о любимых жанрах/треках пользователя для повышения качества рекомендаций для новых пользователей.

3. Использовать модели с ограниченной памятью — производить расчёт оценок треков

пользователями только по последним *n* событиям для учёта долгосрочных и краткосрочных интересов пользователей.

4. Расширить перечень используемой при формировании рекомендаций информации — учёт контекста.

Библиографический список

1. Пономарёв, А. В. Обзор методов учёта контекста в системах коллаборативной фильтрации / А. В. Пономарёв // Труды СПИИРАН. 2013. № 7(30). С. 169–188.

2. Гомзин, А. Системы рекомендаций: обзор современных подходов / А. Гомзин, А. Коршунов // Тр. Ин-та систем. программирования РАН. 2012. Т. 22. С. 401–418.

3. Berkovsky, S. Web Personalization and Recommender Systems [Электронный ресурс] / S. Berkovsky // Data61. – 2016. – URL: http://www.data61.csiro.au/

4. Prockup, M. Modeling Genre with the Music Genome Project: Comparing Human-labeled Attributes and Audio Features / M. Prockup [et al.] // 16th ISMIR Conference, M´alaga, Spain. M´alaga, 2015.

5. Amatriain, X. Netflix Recommendations: Beyond the 5 stars [Электронный ресурс] / X. Amatriain, J. Basilico // Netflix. 2012. URL: http://techblog.netflix.com/2012/04/netflix-recommendations-beyond-5-stars.html

6. Lamere, P. Exploring age-specific preferences in listening [Электронный ресурс] / P. Lamere // Spotify. 2014. URL: https://musicmachinery.com/2014/02/13/age-specific-listening/

7. Ройзнер, М. Как это работает? Рекомендации в Яндекс.Музыке [Электронный ресурс] / М. Ройзнер // Yandex. 2015. URL: https://yandex.ru/blog/company/92883

8. Mitrovic, D. Features for Content-Based Audio Retrieval / D. Mitrovic, M. Zeppelzauer, C. Breiteneder // Advances in Computers. 2010. № 78. P. 71–150.

9. Ricci, F. Recommender Systems Handbook / F. Ricci [et al.]ю Springer Science+Business Media, LLC, 2011. 845 p.

10. Shani, G. Evaluating Recommendation Systems [Электронный ресурс] / G. Shani, A. Gunawardana // Microsoft Research. 2009. URL: https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/evaluating-recommender-systems/

Сведения об авторах

Ботов Дмитрий Сергеевич — старший преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики, заведующий лабораторией проектного обучения Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. dmbotov@gmail.com

Меньшикова Надежда Васильевна — магистрант Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск.

Портнов Иван Владимирович — магистрант Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск.

D. S. Botov, N. V. Menshikova, I. V. Portnov

DEVELOPMENT OF RECOMMENDER SYSTEM FOR THE MUSIC SERVICE BASED ON THE COLLABORATIVE FILTERING AND CONTENT-BASED METHODS

The paper presents a comparative analysis of the individual recommendations systems construction methods and a review of the systems using audio content recommendations. An algorithm for calculating the evaluation matrix using implicit feedback from users is proposed. The results of an experiment of the quality evaluation of the models based on the content-based and collaborative filtering methods are presented. The variant of the hybrid model of recommender system for the music service is proposed.

ББК В18
УДК 519.8

В. В. Булаев, А. Ф. Шориков

МОДИФИКАЦИЯ ОБЩЕГО РЕКУРРЕНТНОГО АЛГЕБРАИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ДОСТИЖИМОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-01-00315)

Предлагается модификация общего рекуррентного алгебраического метода построения областей достижимости для линейных дискретных управляемых систем. Произведён сравнительный анализ оригинального и модифицированного методов на примерах задачи поиска выпуклой оболочки конечного множества точек и задачи построения прямых областей достижимости.

Ключевые слова: *область достижимости, дискретная динамическая система, симплекс-метод, выпуклая оболочка.*

Введение

В современной теории управления существует множество задач, в ходе решения которых возникает потребность в построении и анализе областей достижимости управляемой системы [1; 2; 6]. По существу методы построения областей достижимости можно разделить на два подхода. Первый подход заключается в построении точных областей достижимости, охватывающих только те состояния динамической системы, в которые она может быть переведена за конечный промежуток времени. Такие методы развиты в работах [2; 3; 5; 7; 14]. Второй подход подразумевает построение некоторой аппроксимации области достижимости, например, с помощью эллипсоидов [6; 12] или параллелотопов [11]. Аппроксимационным методам в настоящее время уделяется большое внимание [9; 10; 13], поскольку они позволяют значительно сократить вычислительные затраты. Однако аппроксимационные методы дают лишь приближённое представление о множестве достижимости, которое в некоторых случаях является весьма грубым.

В данной статье предлагается модификация общего рекуррентного алгебраического метода для построения точных областей достижимости линейных дискретных динамических систем, развитого в работах [5; 7].

1. Описание динамической системы

Рассмотрим на целочисленном промежутке времени $t \in \overline{0,T} = \{0,1,\ldots,T\}$, $T > 0$, $T \in \mathbb{N}$ ($\mathbb{N}$ — множество натуральных чисел) линейную управляемую систему, динамика которой описывается дискретным векторно-матричным рекуррентным соотношением вида

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t),\ t \in \overline{0,T-1}, \qquad (1)$$

где $x(t)$ — вектор состояния (фазовый вектор), $x(t) \in \mathbb{R}^n$ (здесь и далее $\mathbb{R}^n$ — n-мерное евклидово пространство векторов-столбцов, $n \in \mathbb{N}$); $u(t)$ — вектор управления, $u(t) \in \mathbb{R}^p$, $p \in \mathbb{N}$; $A(t)$ — матрица состояния системы, $A(t) \in \mathbb{R}^{n\times n}$; $B(t)$ — матрица управления, $B(t) \in \mathbb{R}^{n\times p}$.

Для описания рассматриваемого класса динамических систем введём предположения относительно начального состояния $x(0)$ системы (1) и вектора управления u.

Предположение 1.1. Начальные значения фазового вектора системы (1) удовлетворяют заданному геометрическому ограничению

$$x(0) = x_0 \in \mathbf{X}(0) \subset \mathbb{R}^n, \qquad (2)$$

где $\mathbf{X}(0)$ — выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник с конечным числом вершин.

Предположение 1.2. Значения вектора управления удовлетворяют заданному геометрическому ограничению

$$u(t) \in \mathbf{P}(t) \subset \mathbb{R}^p,\ t \in \overline{0,T-1}, \qquad (3)$$

где $\mathbf{P}(t)$ — выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник с конечным числом вершин.

В условиях справедливости предположений 1.1 и 1.2 введём понятие области достижимости для дискретной управляемой системы (1)–(3) [1; 7].

Определение 1. Областью достижимости фазовых состояний управляемой системы (1)–(3) на финальный момент времени T, соответствующей паре $\left(0,\mathbf{X}(0)\right)$, называется множество, определяемое соотношением

$$\mathbf{G}\left(0,\mathbf{X}(0);T\right) = \Big\{x(T) \mid x(T) \in \mathbb{R}^n,\ x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t),\ t \in \overline{0,T-1},\ x(0) \in \mathbf{X}(0),\ u(t) \in \mathbf{P}(t)\Big\}.$$

2. Общий рекуррентный алгебраический метод построения областей достижимости

В работах [5; 7] было показано, что область достижимости, соответствующая определению 1, представляет собой выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник с конечным числом вершин в пространстве $\mathbb{R}^n$. Кроме того, для такой области достижимости справедливо следующее рекуррентное (полугрупповое) свойство:

$$\mathbf{G}\left(0,\mathbf{X}(0);T\right)=\mathbf{G}\left(t,\mathbf{G}_+(t);T\right)\ \forall t\in\overline{1,T-1},$$

где $\mathbf{G}_+(t)=\mathbf{G}\left(0,\mathbf{X}(0);t\right)$ — область достижимости на момент времени t, соответствующая паре $\left(0,\mathbf{X}(0)\right)$, которая является выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником с конечным числом вершин в $\mathbb{R}^n$.

В таком случае задача отыскания множества $\mathbf{G}\left(0,\mathbf{X}(0);T\right)$ сводится к реализации построения рекуррентной последовательности одношаговых областей достижимости:

$$\mathbf{G}\left(t,\mathbf{G}_+(t);t+1\right),\ t\in\overline{0,T-1},\ \mathbf{G}_+(0)=\mathbf{X}(0). \qquad (4)$$

Таким образом, основной вспомогательной задачей при формировании множества $\mathbf{G}\left(0,\mathbf{X}(0);T\right)$ является задача построения областей достижимости (4), например, с помощью описания множества всех вершин каждой из них.

Далее изложим подход к решению указанной основной вспомогательной задачи, опираясь на общий рекуррентный алгебраический метод [7].

Множество допустимых фазовых состояний $x(t+1)$ рассматриваемой управляемой системы (1), содержащее все вершины области достижимости $\mathbf{G}\left(t,\mathbf{G}_+(t);t+1\right)$ на момент времени $(t+1),\ t\in\overline{0,T-1}$, соответствующей паре $\left(t,\mathbf{G}_+(t)\right)\in\overline{0,T-1}\times 2^{\mathbb{R}^n}$, определим согласно следующему алгоритму:

Шаг 1. Формируем множество $\mathbf{\Gamma}_n\left(\mathbf{G}_+(t)\right)$ всех вершин многогранника $\mathbf{G}_+(t)$.

Шаг 2. Формируем множество $\mathbf{\Gamma}_p\left(\mathbf{P}(t)\right)$ всех вершин многогранника $\mathbf{P}(t)$.

Шаг 3. Определяем следующие множества, характеризующие свободное и вынужденное движение управляемой системы (1)–(3):

$$\widehat{\mathbf{G}}_x(t+1)=\left\{\hat{x}(t+1)\in\mathbb{R}^n\mid\hat{x}(t+1)=\right.$$
$$\left.=A(t)x(t),\ x(t)\in\mathbf{\Gamma}_n\left(\mathbf{G}_+(t)\right)\right\},$$
$$\widehat{\mathbf{G}}_u(t+1)=\left\{\hat{y}(t+1)\in\mathbb{R}^n\mid\hat{y}(t+1)=\right.$$
$$\left.=B(t)u(t),\ u(t)\in\mathbf{\Gamma}_p\left(\mathbf{P}(t)\right)\right.,$$
$$\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)=\left\{\hat{v}(t+1)\in\mathbb{R}^n\mid\hat{v}(t+1)=\hat{x}(t+1)+\hat{y}(t+1),\right.$$
$$\left.\hat{y}(t+1)\in\widehat{\mathbf{G}}_x(t+1),\ \hat{y}(t+1)\in\widehat{\mathbf{G}}_u(t+1)\right\},$$

здесь $\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)$ — сумма Минковского множеств $\widehat{\mathbf{G}}_x(t+1)$ и $\widehat{\mathbf{G}}_u(t+1)$, являющаяся множеством точек области достижимости, среди которых содержатся как внутренние, так и все граничные её точки.

Шаг 4. Для сформированного множества точек

$$\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)=\left\{\hat{v}^{(i)}(t+1)\right\}_{i\in\overline{1,m}}\subset\mathbf{G}\left(t,\mathbf{G}_+(t);t+1\right)$$

определяем множество всех его вершин:

$$\mathbf{\Gamma}_n\left(\mathbf{G}_+(t+1)\right)=\left\{v^{(i)}(t+1)\right\}_{i\in\overline{1,k}},\ k\leqslant m.$$

Учитывая, что, согласно [5; 7], справедливо соотношение

$$\operatorname{conv}\left(\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)\right)=\mathbf{G}\left(t,\mathbf{G}_+(t);t+1\right)=\mathbf{G}_+(t+1),$$

вершины множества $\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)$ будут описывать область достижимости управляемой системы (1)–(3) на момент времени $(t+1)$, которое является выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником в $\mathbb{R}^n$.

В работах [5; 7] было показано, что задача поиска всех вершин множества $\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)$ сводится к решению m задач линейного математического программирования. В соответствии с этим сформулируем следующую оптимизационную задачу.

Задача 1. Для фиксированного $i\in\overline{1,m}$ и набора переменных λ_j, $j\in\overline{1,m}$, $j\neq i$, $\lambda_i\in\mathbb{R}$ требуется решить задачу линейного математического программирования вида

$$f=\sum_j\lambda_j\to\min$$
$$\sum_j\lambda_j\hat{v}^{(j)}(t+1)=\hat{v}^{(i)}(t+1),\ \sum_j\lambda_j=1,\ \lambda_j\geqslant 0.$$

Необходимо отметить, что целевая функция f в задаче 1, вообще говоря, может иметь любой вид, поскольку в ходе решения данной задачи нас интересует только один вопрос: имеет ли рассматриваемая задача базисное допустимое решение или нет? Из свойств системы ограничений задачи 1 следует, что если она совместна, то есть базисное допустимое решение существует, то точка, соответствующая вектору $\hat{v}^{(i)}(t+1)$, не является вершиной многогранника $\operatorname{conv}\left(\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)\right)$, поскольку её можно представить как выпуклую комбинацию других точек. В противном случае рассматриваемая точка является вершиной области достижимости $\mathbf{G}\left(t,\mathbf{G}_+(t);t+1\right)=\mathbf{G}_+(t+1)=\operatorname{conv}\left(\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)\right)$.

В результате, решив m задач 1 линейного математического программирования, найдём весь набор вершин $\mathbf{\Gamma}_n\left(\mathbf{G}_+(t+1)\right)$, который и будет являться множеством всех вершин области достижимости $\mathbf{G}\left(t,\mathbf{G}_+(t);t+1\right)$ для динамической системы (1)–(3) на момент времени $(t+1)$.

В оригинальной версии рассматриваемого метода [7], для решения задачи линейного программирования 1 предлагается использовать модифицированный симплекс-метод [4; 8]. Для того чтобы избежать неоднозначности, в рамках этой статьи мы будем называть указанный метод решения задачи 1 симплекс-методом с обратной матрицей.

3. Модифицированный метод построения областей достижимости

С точки зрения вычислительной сложности, в рассматриваемом методе построения областей достижимости важное место занимает реализация симплекс-метода с обратной матрицей, поскольку он обладает экспоненциальной сложностью относительно размерности системы ограничений — $(n+1)$ [4]. В связи с этим эффективность реализации этого метода в целом напрямую определяется эффективностью алгоритма решения задачи 1.

Идея модификации оригинального метода построения областей достижимости [5; 7] состоит в том, чтобы сократить число решаемых задач 1 за счёт более полного использования геометрических особенностей симплекс-метода.

Рассмотрим процесс решения задачи 1. Для того чтобы найти базисное допустимое решение системы ограничений задачи линейного математического программирования, воспользуемся методом искусственного базиса [8]. Сформируем исходную симплекс-таблицу для некоторой проверяемой точки $\hat{v}^{(i)}(t+1),\ i\in\overline{1,m}$:

$$M=\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & b_1 & \cdots & a_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & \cdots & b_n & \cdots & a_{nm} \\ 1 & \cdots & 1 & \cdots & 1 \\ \sum\limits_{k=1}^{n} a_{k1}+1 & \cdots & \sum\limits_{k=1}^{n} b_k+1 & \cdots & \sum\limits_{k=1}^{n} a_{km}+1 \end{bmatrix},\ b_k\geqslant 0,\ k\in\overline{1,n},$$

здесь вектор $b=\{b_k\}_{k\in\overline{1,n}}$ соответствует координатам проверяемой точки $\hat{v}^{(i)}(t+1)$, а векторы $a^{(j)}=\{a_{kj}\}_{k\in\overline{1,n}},\ j\in\overline{1,m},\ j\neq i$ — координатам остальных точек $\hat{v}^{(j)}(t+1)$. Предпоследняя строка исходной матрицы M отражает ограничение, связанное с определением выпуклой комбинации точек. Последняя строка характеризует оценки замещения соответствующих столбцов симплекс-таблицы.

Предположим, что у рассматриваемой задачи линейного математического программирования существует базисное допустимое решение, то есть проверяемая точка $\hat{v}^{(i)}(t+1)$ является внутренней. В качестве критерия выбора направляющих столбцов в симплекс-таблице M воспользуемся методом внебазисного градиента [4].

В результате в конце первого этапа симплекс-метода, без потери общности рассуждений, матрицу M можно представить в следующем виде:

$$M=\left[\begin{array}{ccccc|ccccc} a'_{11} & \cdots & b'_1 & \cdots & a'_{1l} & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 & 0 \\ a'_{n1} & \cdots & b'_n & \cdots & a'_{nl} & 0 & \cdots & 1 & 0 \\ a'_{n+1,1} & \cdots & b'_{n+1} & \cdots & a'_{n+1,l} & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{array}\right],$$

$$b_k\geqslant 0,\ k\in\overline{1,n+1},\ m-(n+1)\leqslant l<m.$$

Обозначим через $\mathbf{B}=\{a^{(j)}\}_{j\in\overline{l+1,m}}$ множество базисных векторов. В таком случае вектор b можно представить как выпуклую комбинацию базисных векторов $B^{(i)}\in\mathbf{B},\ i\in\overline{1,m-l}$. Помимо этого, среди остальных точек, не соответствующих базисным векторам, могут оказаться и такие, которые могут быть выражены как выпуклая комбинация базисных векторов $B^{(i)}$. То есть, согласно [4], следует искать столбцы $M^{(j)}$ матрицы M, обладающие следующими свойствами:

$$\sum_{k=1}^{n+1} a'_{kj}=1,\ a'_{kj}\geqslant 0\ \forall k\in\overline{1,n+1},\ a^{(j)}\notin\mathbf{B},\ j\in\overline{1,l}.$$

Геометрически это значит, что такие точки можно охватить симплексом размерности не больше $(n+1)$, вершины которого опираются на базисные вектора $B^{(i)}$. Следовательно, их можно исключить из дальнейшего рассмотрения, тем самым сократив количество решаемых задач 1. В этом состоит первая часть модификации оригинального метода [7].

Вторая часть модификации заключается в том, что, если проверяемая точка $\hat{v}^{(i)}(t+1)$ оказалась внутренней, то точки, соответствующие набору базисных векторов $\mathbf{B}$, представляют собой подмножество множества всех вершин области достижимости $\mathbf{\Gamma}_n\left(\mathbf{G}_+(t+1)\right)$. Однако в этой части модификации есть некоторое отступление от классического метода внебазисного градиента для выбора направляющих столбцов в симплекс-таблице M.

Проиллюстрируем сказанное на примере для плоского случая.

Пример 1. Рассмотрим набор точек $A(1,1)$, $B(2,2)$, $C\left(0,3/2\right)$, $D\left(1,1/2\right)$, $E(3,1)$, $F(1,3)$, $G(-1,0)$ на плоскости Ox_1x_2 (рис. 1). Требуется найти выпуклую оболочку для указанного набора точек. Пусть $A(1,1)$ — проверяемая точка. Тогда исходная симплекс-таблица примет вид

$$\begin{array}{c} A\ \ B\ \ C\ \ D\ \ E\ \ F\ \ G \\ M=\begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 1 & 3 & 1 & -1 \\ 1 & 2 & 3/2 & 1/2 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 5 & 5/2 & 5/2 & 5 & 5 & 0 \end{bmatrix}. \end{array}$$

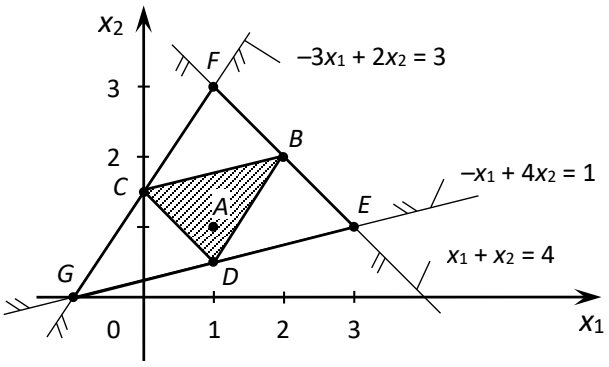


Рис. 1. Иллюстрация для примера 1

Если производить поиск базисного допустимого решения для такой задачи с помощью классического метода внебазисного градиента, то есть на каждой итерации слева направо выбирать столбцы с наибольшими оценками замещения (значениями в последней строке), то в результате базисными окажутся вектора, соответствующие точкам $B(2,2)$, $C\left(0,\frac{3}{2}\right)$, $D\left(1,\frac{1}{2}\right)$.

То есть точка $A(1,1)$ будет охвачена треугольником BCD, вершины которого не являются вершинами исследуемого набора точек.

Отметим, что равенство оценок замещения второго, пятого и шестого столбцов в исходной симплекс-таблице M обусловлено тем, что соответствующие точки $B(2,2)$, $E(3,1)$, $F(1,3)$ лежат на одной прямой: $x_1 + x_2 = 4$, характеризующей уровень наибольших оценок замещения. После выбора первого базисного вектора, соответствующего точке $B(2,2)$, и выполнения первой итерации равенство оценок замещения достигается для точек $C\left(0,\frac{3}{2}\right)$, $F(1,3)$, $G(-1,0)$, которые лежат на прямой: $-3x_1 + 2x_2 = 3$. Назовём такие прямые особыми. Уравнение второй особой прямой можно получить из условия равенства оценок замещения после первой итерации и условия $x_1 + x_2 \leqslant 4$. Из чего следует, что уравнение особой прямой (за исключением первой) определяется выбором базисного вектора. Далее, после выбора второго базисного вектора, соответствующего точке $C\left(0,\frac{3}{2}\right)$, равенство оценок замещения достигается для точек $D\left(1,\frac{1}{2}\right)$, $G(-1,0)$, $E(3,1)$, которые лежат на прямой: $-x_1 + 4x_2 = 1$. Уравнение этой особой прямой выводится из условия равенства оценок замещения после второй итерации и условий $x_1 + x_2 \leqslant 4$ и $-3x_1 + 2x_2 \leqslant 3$.

Для того чтобы избежать подобных ситуаций, когда проверяемая точка может быть охвачена симплексом, опирающимся на точки, не являющиеся вершинами, достаточно среди столбцов с равными оценками замещения выбрать в качестве направляющего тот, норма которого является наибольшей. Если учесть такую особенность, то для рассматриваемого примера базисными окажутся вектора, соответствующие вершинам $E(3,1)$, $F(1,3)$, $G(-1,0)$. То есть проверяемая точка $A(1,1)$ будет охвачена треугольником EFG. Кроме того, из рассмотрения могут быть исключены точки $B(2,2)$, $C\left(0,\frac{3}{2}\right)$, $D\left(1,\frac{1}{2}\right)$, так как они, как и проверяемая точка, будут являться выпуклыми комбинациями указанных вершин. В итоге задача отыскания выпуклой оболочки разрешится за единственную процедуру симплекс-метода, которая займёт всего три итерации. □

Таким образом, на примере 1 мы раскрыли суть второй части модификации оригинального метода [7]. По аналогии с приведённым примером, для пространств более высокой размерности понятие «особой прямой» расширяется до понятий «особой плоскости» или «особой гиперплоскости». Однако стоит отметить, что возникновение подобных особых случаев на практике крайне маловероятно, поскольку для этого необходимо выполнение специальных условий.

Подчеркнём, что рассмотренные модификации применяются только тогда, когда проверяемая точка оказалась внутренней. В случае же когда она является вершиной, следует включить проверяемую точку в список вершин и перейти к проверке следующей точки.

4. Сравнительный анализ оригинального метода и его модификации

Чтобы проанализировать улучшение производительности оригинального метода построения областей достижимости [7] за счёт применения описанных модификаций, был произведён сравнительный анализ, состоящий из двух этапов. На первом этапе оценка производилась на примере задачи отыскания выпуклой оболочки конечного множества случайных точек. На втором этапе быстродействие оценивалось на примере задачи построения прямых областей достижимости для частных моделей дискретных линейных управляемых систем (1)–(3). В качестве показателей для оценок быстродействия были приняты: вычислительное время и общее количество итераций симплекс-алгоритма.

Обратимся к первому этапу сравнительного анализа. Для оценки производительности алгоритмов решались задачи построения выпуклой оболочки для трёх типовых видов конечных наборов случайных точек ($N = 5\,000$) (рис. 2).

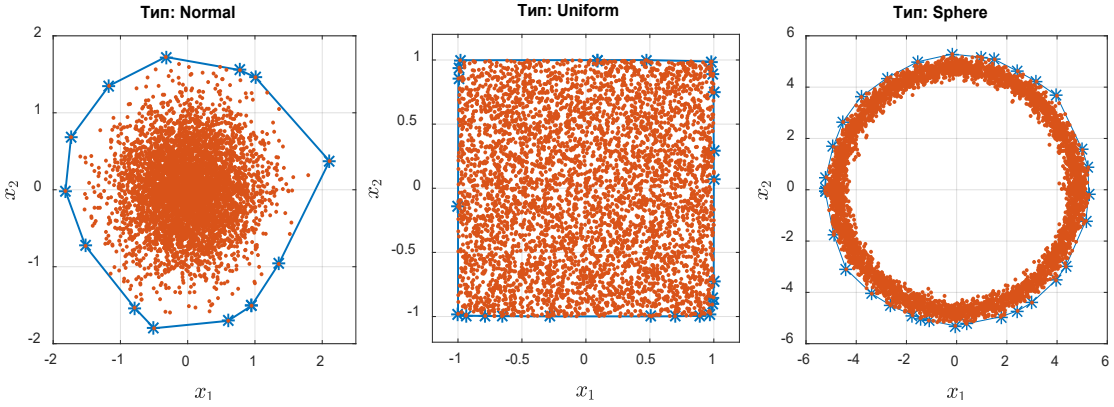


Рис. 2. Выпуклые оболочки типовых видов множеств в $\mathbb{R}^2$

1. Тип Normal — случайный набор точек с нормальным законом распределения (математическое ожидание $M = 0$, среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,5$).

2. Тип Uniform — случайный набор точек с равномерным законом распределения ($M = 0$, $\sigma = 1$).

3. Тип Sphere — случайный набор точек, нормально распределённый ($M = 4,75$, $\sigma = 0,2$) относительно поверхности сферы радиуса $R = 5$.

Результаты второго этапа сравнительного анализа для дискретной динамической управляемой системы четвёртого порядка представлены в таблице.

Заключение

По результатам численных экспериментов, представленным на рис. 3, можно заключить, что модифицированный метод в рамках задачи построения выпуклой оболочки конечного множества точек работает значительно быстрее, чем оригинальный алгоритм [7]. Особенно это заметно для небольших размерностей пространств $(n = 2,...,5)$. Сходимость быстродействия двух рассматриваемых алгоритмов при увеличении n обусловлена тем, что в их основе лежит симплекс-метод с обратной матрицей, который, как известно [4], обладает экспоненциальной

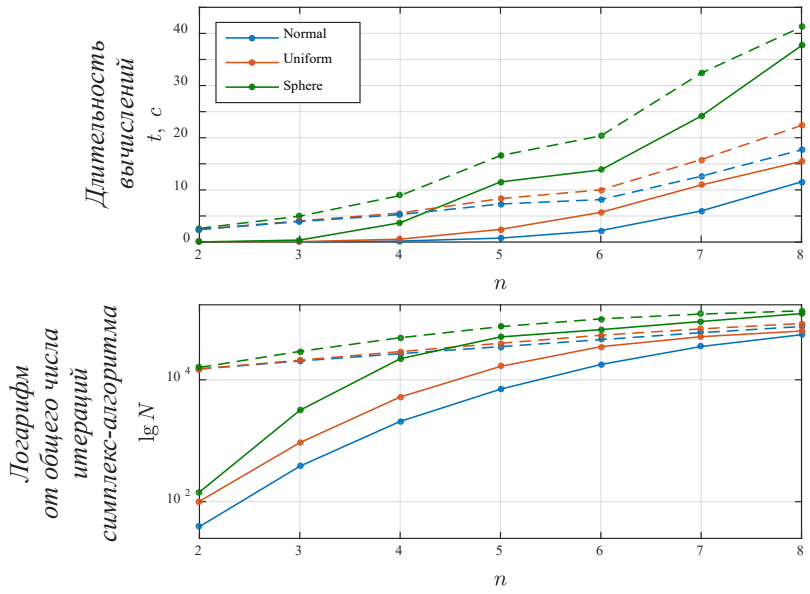


Рис. 3. Сравнительные характеристики работы алгоритмов: сплошная линия — модифицированный метод, штриховая линия — оригинальный метод [7])

Численные результаты расчётов областей достижимости

Момент времени, t	Длительность вычислений, с		Общее количество итераций симплекс-метода	
	Оригинальный метод	Модифицированный метод	Оригинальный метод	Модифицированный метод
1	0,002865	0,003340	46	46
2	0,008091	0,007398	211	192
3	0,019112	0,015168	609	500
4	0,041457	0,035045	1 468	1 198
5	0,093163	0,076567	3 036	2 454
6	0,171463	0,119941	5 631	4 399
7	0,267551	0,227781	9 675	7 487
8	0,450815	0,267551	15 300	11 740
9	0,646412	0,448515	23 136	17 543
10	0,959281	0,657190	33 990	25 600
11	1,424411	0,958765	48 266	36 177
12	2,104862	1,433354	67 092	50 086
13	2,858660	1,930592	91 507	68 005
14	3,804880	2,573760	121 407	89 804
15	5,466993	3,583817	158 399	116 497

сложностью относительно n. По результатам решения задачи построения прямых областей достижимости, отражённым в таблице, достаточно ясно видно, что модификация общего рекуррентного алгебраического метода позволяет существенно сократить общее количество итераций симплекс-метода и, как следствие, заметно сократить время вычислений.

Библиографический список

1. Красовский, Н. Н. Теория управления движением (линейные системы) / Н. Н. Красовский. М. : Наука, 1968. 476 с.
2. Красовский, Н. Н. Позиционные дифференциальные игры / Н. Н. Красовский, А. И. Субботин. М. : Наука, 1974. 456 с.
3. Лотов, А. В. Численный метод построения множеств достижимости для линейной управляемой системы / А. В. Лотов // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 1972. Т. 12, № 3. С. 785–788.
4. Пападимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц ; пер. с англ. В. Б. Алексеева. М. : Мир, 1985. 512 с.
5. Тюлюкин, В. А. Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной динамической системы / В. А. Тюлюкин, А. Ф. Шориков // Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.
6. Черноусько, Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов / Ф. Л. Черноусько. М. : Наука, 1988. 320 с.
7. Шориков, А. Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах / А. Ф. Шориков. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. ун-та, 1997. 242 с.
8. Юдин, Д. Б. Линейное программирование (теория, методы и приложения) / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. М. : Наука, 1969. 424 с.
9. Asarin, E. Approximate reachability analysis of piecewise linear dynamical systems / E. Asarin, O. Bournez, T. Dang, O. Maler // Hybrid Systems: Computation and Control. 2000. № 1790. P. 21–31.
10. Girard, A. Reachability of uncertain linear systems using zonotopes / A. Girard // Hybrid Systems: Computation and Control. 2005. № 3414. P. 291–305.
11. Kostousova, E. K. Control synthesis via parallelotopes: optimization and parallel computations / E. K. Kostousova // Optimization Methods and Software. 2001. Vol. 14. P. 267–310.
12. Kurzhanski, A. B. On ellipsoidal techniques for reachability analysis / A. B. Kurzhanski, P. Varaiya // Optimization Methods and Software. 2002. Vol. 17. P. 177–207.
13. Kurzhanskiy, A. A. Reach set computation and control synthesis for discrete-time dynamical systems with disturbances / A. A. Kurzhanskiy, P. Varaiya // Automatica. 2011. № 47. P. 1414–1426.
14. Lasserre, J. B. Reachable and Controllable Sets for Two-Dimensional, Linear, Discrete-Time Systems / J. B. Lasserre // J. of Optimization Theory and Applications. 1991. Vol. 70, № 3. P. 583–595.

Сведения об авторах

Булаев Владимир Владимирович — аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, инженер-конструктор отдела управления движением, АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н. А. Семихатова», Екатеринбург. bulaev1991@mail.ru

Шориков Андрей Фёдорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

---

V. V. Bulaev, A. F. Shorikov

MODIFICATION OF THE GENERAL RECURSION ALGEBRAIC METHOD OF THE LINEAR CONTROL SYSTEMS REACHABLE SETS COMPUTATION

The paper suggests the modification of the general recursion algebraic method of the reachable sets computation for the linear discrete-time dynamic systems. The examples of the finite convex hull search problem and the reachable sets computation problem demonstrate comparative analysis of the origin and modified methods.

ББК 33-5-05
УДК 004.9, 539.8
ГРНТИ 28.23.00, 28.23.11

К. Е. Вишнев, Ю. И. Молородов

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ КОНТЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Исследования выполнены при частичной поддержке Президентской программы «Ведущие научные школы РФ» (грант № НШ-7214.2016.9)

Описан подход к работе с данными теплофизических свойств материалов, хранящихся в распределённых источниках информации. Рассматривается применение фильтра Савицкого — Голея для обработки исходных данных физического эксперимента с последующей аппроксимацией полученного графика, полиномом Чебышева 6-й степени.

Работа с данными физического эксперимента занимает центральное место в теплофизике. Здесь проявляется повышенное внимание к первичным данным: изучение их достоверности, воспроизводимости, согласование разнородных свойств. Потребность в методах обмена неоднородными данными, различающимися форматом и структурой, возникла у экспериментаторов задолго до того, как проблема интеграции приобрела актуальность для всего информационного сообщества. В настоящее время систематизация (интеграция) данных выделяется в самостоятельное направление, наряду с экспериментированием и теорией. Происходит повсеместный переход от печатной формы представления данных к цифровой с использованием баз данных. Теплофизические данные преимущественно используются для работы вычислительных приложений (обеспечивающих моделирование различных технологических и природных процессов). Важна возможность публикации данных в сети с доступом как для человека, так и для программных агентов.

На сегодняшний день научное сообщество инженеров накопило огромные объёмы информации в области теплофизики. Вследствие чего, всё более остро возникает потребность в создании единых, универсальных, интегрированных систем, для систематизации, хранения и использования таких данных.

Именно по этой причине создание информационных систем, обеспечивающих доступ исследователей к достоверным экспериментальным данным по теплофизическим свойствам различных классов веществ и материалов, является в настоящее время актуальной задачей [1–3]. Это обеспечивает, в том числе, и возможность прогнозирования свойств неисследованных материалов.

Структура портала «Теплофизические свойства химических веществ»*. Переход к созданию интернет-ресурсов, базирующихся на использовании баз данных, предполагает проведение экспертной оценки существующих массивов данных экспериментальных измерений. Это даст возможность обосновать выбор базовых значений и оценить их погрешности, провести обработку разнородных данных с помощью физически обоснованных и термодинамически согласованных моделей и, что особенно важно — построить информационно-аналитические системы, которые позволят оперативно хранить либо выбирать данные по свойствам веществ при произвольных значениях температур, давлений и составов.

Такая специализированная проблемно-ориентированная информационная система (ИВС), или, иными словами, информационный портал** позволит решить проблему хранения эмпирического материала, его обработки и интерпретации.

Чтобы портал знаний мог предоставлять пользователям описанные выше возможности, он должен не только иметь гибкие средства представления разнородной информации и содержательного доступа к ней, но и обеспечивать оперативное управление своим информационным наполнением (контентом). Этим целям служит информационная модель портала знаний «Интеллектуальный научный интернет-ресурс» (ИНИР) [2], которая объединяет модели его предметной и проблемной областей, а также описывает типы представляемой в его контенте информации. В качестве модели предметной области обычно выступает её онтология. Онтология является ядром, базовым компонентом информационной модели портала. Она не только описывает систему знаний портала, но и задаёт формальные структуры для представления его контента. Онтология содержит понятия моделируемой области, связывающие их отношения, атрибуты понятий и отношений,

* Интеллектуальный научный интернет-ресурс «Теплофизические свойства химических веществ». URL: http://nemonext.iis.nsk.su/chemicals

** Интернет-портал — веб-сайт, предоставляющий пользователю Интернета различные интерактивные сервисы, работающие в рамках одного веб-сайта (URL: http://dic.academic.ru)

ограничения на значения атрибутов, а также аксиомы, определяющие семантику понятий и отношений.

При построении любого портала научных знаний его онтология строится на основе двух базовых технологий: онтологии научного знания и онтологии научной деятельности.

Онтология научного знания, по своей сути, является метаонтологией. Она содержит метапонятия, задающие структуры для описания предметной области (области знаний) портала, такие как раздел науки, предмет исследования, объект исследования, метод исследования, научный результат, позволяющие выделить в данной науке значимые разделы и подразделы, задать типизацию предметов, объектов и методов исследования, описать результаты научной деятельности.

Онтология научной деятельности является онтологией верхнего уровня и включает базовые понятия, относящиеся к организации научно-исследовательской деятельности, такие как научный результат, объект исследования, персона, публикация, используемые для описания результатов научной деятельности, мероприятий, научных программ и проектов, различного типа публикаций. В эту онтологию также включено понятие «Информационный ресурс», которое служит для описания информационных ресурсов, представленных в сети Интернет.

Свойства каждого понятия описываются с помощью атрибутов и ограничений, наложенных на область их значений. Понятия базовых онтологий связаны между собой ассоциативными отношениями, выбор которых осуществлялся не только исходя из полноты представления проблемной и предметной областей портала, но и из удобства навигации по его информационному пространству и поиска информации.

Контент портала образует множество разнотипных информационных объектов (ИО) — экземпляров классов онтологии, связанных между собой отношениями, заданными в онтологии.

Функциональные возможности портала ИНИР (рис. 1) обеспечиваются с помощью взаимозаменяемых компонент (сервисов), которые обеспечивают обработку хранящийся информации и предоставляют непосредственный доступ к ней.

Понятия онтологии научной дисциплины, изучающей теплофизические свойства веществ, являются реализациями метапонятий онтологии научного знания и организованы в несколько иерархий «общее—частное», каждая из которых соответствует одному из метапонятий, представленных в этой онтологии. Эти иерархии могут быть связаны посредством ассоциативных отношений, часть которых наследуется из базовых онтологий, а часть отражает специфику конкретной предметной области.

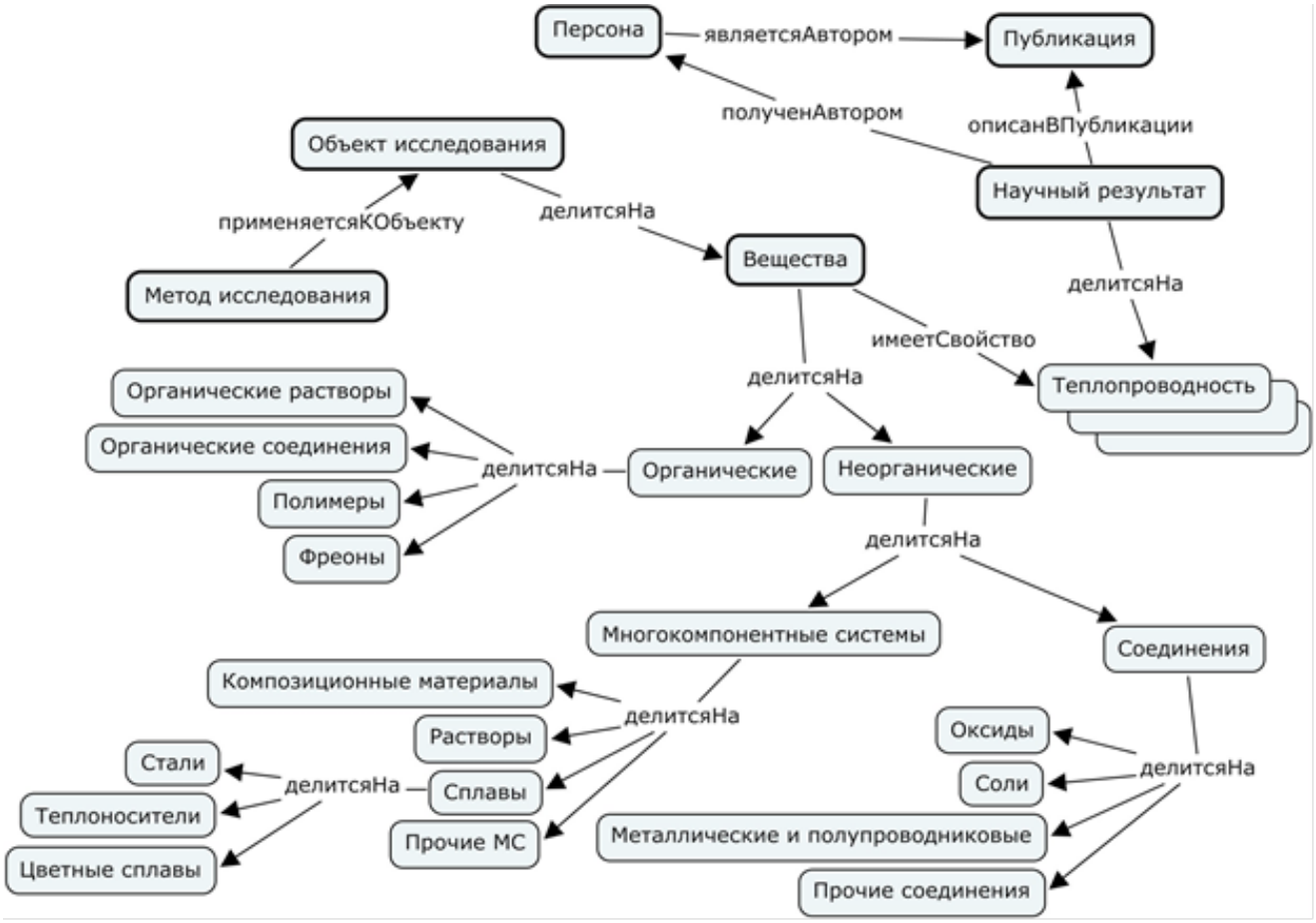


Рис. 1. Онтология портала «Теплофизические свойства химических веществ»

Помимо задачи систематизации данных, должна быть решена задача визуализации этих данных в удобном для пользователя виде и обеспечена возможность ознакомления пользователя с работой методов обработки информации, принятых в данной области знаний (ОЗ). Пользователь портала не просто получит информацию об интересующем его методе или ссылку на реализацию метода. Он может тут же, на ресурсе, посмотреть примеры использования метода, запустить его, проанализировать его работу с разными входными данными.

Сервис-ориентированная составляющая. Ещё одной возможностью портала ИНИР является обеспечение доступа к реализующим методы веб-сервисам, которые пользователи-разработчики могут встраивать в создаваемые ими программные продукты и которые снабжены семантическими описаниями.

Основной парадигмой, применённой в рассматриваемой архитектуре, является сервис-ориентированный подход. Он основан на использовании распределённых, слабо связанных заменяемых компонентов, называемых сервисами, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам.

Используя этот подход, не только разработчики портала, но и сторонние разработчики, могут создавать различные сервисы для работы с данными.

Такой подход обеспечивает несколько преимуществ:

– сервисы могут быть написаны на совершенно разных языках программирования, реализовываться на разных программно-аппаратных платформах и быть взаимозаменяемыми;

– сервисы могут размещаться на удалённых серверах, независимо от места положения ИНИР;

– поскольку взаимодействие между сервисами происходит по стандартным протоколам обмена информацией, таким как, HTTP, SOAP, WSDL, сервисы могут объединяться друг с другом для решения более сложных задач.

Несмотря на перечисленные выше преимущества, на данный момент, портал «Теплофизические свойства химических веществ» не предоставляет удобного доступа непосредственно к экспериментальным данным о веществах, так как он хранит только формальное описание сущностей данной ОЗ. Именно этот недостаток решает сервис, разработанный в рамках данной работы.

Ещё одной возможностью ИНИР является обеспечение доступа к реализующим методы веб-сервисам, которые пользователи-разработчики могут встраивать в создаваемые ими программные продукты и которые снабжены семантическими описаниями.

Архитектура системы доступа к экспериментальным данным в области теплофизических свойств веществ через ИНИР. Выше было сказано, что онтология ИНИР содержит только метаописания информационных объектов ОЗ. Поэтому нужно решить проблему построения системы, которая предоставит доступ к конкретным экспериментальным данным через веб-интерфейс ИНИР (рис. 2).

Данная система состоит из двух независимых сервисов:

Рис. 2. Архитектура взаимодействия информационного ресурса

1. Сервис загрузки данных. В первую очередь этот сервис обрабатывает входящие rest-запросы от онтологии ИНИР. Эти запросы содержат метаданные об информационных объектах, которые выбрал пользователь в процессе работы с онтологией. Данные объекты, как правило, относятся к категории «Научный результат» и описывают некоторую часть таблицы со свойствами вещества и данные об удалённом хранилище (БД), где хранится эта таблица.

Загрузчик имеет собственную БД, которая содержит адреса сторонних источников и информацию. Это даёт возможность построить конкретный запрос к ним для доступа к экспериментальным данным. Здесь могут использоваться как шаблоны SQL-запросов, так и иные описания формата запроса на нужный ресурс. На основе этого описания и полученных от ИНИР параметров строится и выполняется запрос к указанному источнику, а полученные данные передаются на сервис визуализации данных.

2. Сервис визуализации данных. Представляет собой веб-сервис, который помимо простой табличной и графической визуализации, позволяет пользователю, в интерактивном режиме, применить нужный метод обработки к выбранным данным и просмотреть результат. Сервис написан на фреймворке jango языка Python, а графическая визуализация производится с помощью javascript библиотеки Plotly, что позволяет получать динамический масштабируемый график.

Информационная модель приложения для обработки данных. Одной из основных функций разрабатываемого веб-сервиса является обработка экспериментальных данных с целью их преобразования из табличной формы представления в графическую и аналитическую формы. Кроме того, при работе с «сырыми» экспериментальными данными встаёт необходимость фильтрации выбросов и сглаживания данных, так как измерения проводятся довольно часто, и возможно возникновение шумов.

Ранее мы говорили, что основной формой хранения экспериментальных данных о свойствах вещества является табличная. Таблица содержит лишь несколько дискретных значений исследуемой величины, но инженеру или исследователю, скорее всего, необходимо знать точное значение нужного свойства, при заданной температуре. Поэтому основной задачей при обработке таких данных является построение аналитических (функциональных) зависимостей. Далее по ним будет возможно прогнозирование необходимых значений как внутри заданного диапазона температур (аппроксимация), так и вне его (экстраполяция).

Как правило, «сырые» экспериментальные данные всегда содержат в себе ошибки разного рода: систематические ошибки, случайные ошибки и грубые ошибки. Для первичной обработки таких данных используются разные методы. Из доступного множества алгоритмов работы с данными физического эксперимента мы выделили фильтр Савицкого — Голея [5]. Этот метод примечателен тем, что не вносит сильных погрешностей при обработке локальных экстремумов и острых пиков. В основе его работы лежит метод скользящего среднего. Мы «скользим» по массиву данных окном заранее заданной ширины N и потом заменяем значение величины в середине окна на среднее значение всех точек в окне. По существу фильтр Савицкого — Голея является развитием метода скользящего среднего. В нём вместо линейной аппроксимации и в окрестности каждого измерения $x_i = x(t_i)$ по методу наименьших квадратов (МНК) строится аппроксимирующий полином n-го порядка. То есть значение x_i заменяется значением полинома y_i в этой точке:

$$y_i = a_0 + a_1 \cdot t_1 + a_2 \cdot t_1 \cdot 2 + \ldots + a_n \cdot t_1 \cdot n.$$

При этом на усредняющем интервале (окно сглаживания) используется по m соседних точек слева и справа от точки t_i. В ходе экспериментов было замечено, что при обработке острых пиков графика фильтром могут возникать слабые погрешности в виде их сглаживания (рис. 3).

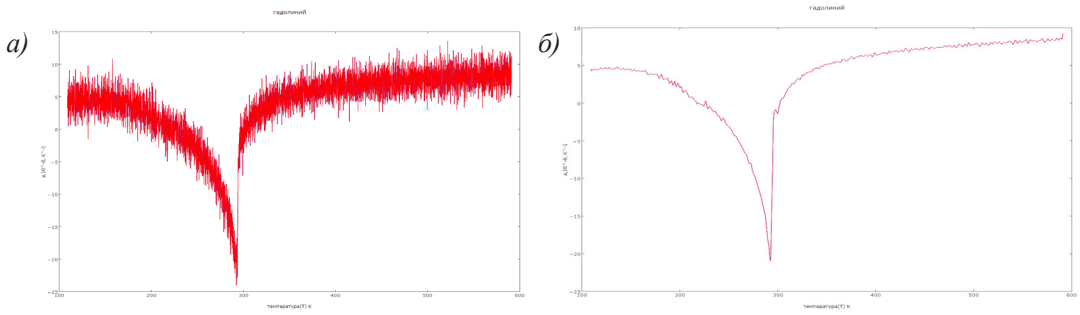


Рис. 3. а) Зависимость удельного термического коэффициента линейного расширения гадолиния от температуры. «Сырые» экспериментальные данные. График построен по 70 000 точкам. б) Итоговый результат обработки данных эксперимента фильтром Савицкого — Голея

Любую из ветвей рис. 3, *б* далее можно аппроксимировать ортогональными полиномами Чебышева. В результате обработки левой ветви графика (*а*) мы получили аналитическое представление вида

$$P(T) = -3{,}14 + 1{,}14 \cdot T_1 - 8{,}5 \cdot T_2 + 3{,}31 \cdot T_3 - \\ - 7{,}16 \cdot T_4 + 8{,}09 \cdot T_5 - 3{,}74 \cdot T_6.$$

Здесь T, …, T_6 — полиномы Чебышева соответствующих степеней.

Заключение

В статье описан проект симбиоза интеллектуального портала знаний, построенного на основе онтологического подхода и SOA-ресурса. Ресурс становится «единой точкой входа», которая позволит пользователю, анализировать информацию из совершенно различных источников. Причём пользователь получает не просто ссылки на источники с данными, а сами данные.

Становится возможным процесс автоматического пополнения онтологии портала ИНИР, новыми информационными объектами через интерфейс загрузчика, а также подключение новых хранилищ с данными.

Данные из загрузчика использовать может не только визуализатор, но и другие сторонние сервисы, входящие в состав портала ИНИР.

Приложения написаны на языке Python и использовались вместе с графической библиотекой Matplotlib [6], что предоставляет широкие возможности для построения различных графических изображений. Пакет SciPy содержит все необходимые алгоритмы для обработки данных [7].

Библиографический список

1. Erkimbaev, A. O. Integration of Databases on Substance Properties / A. O. Erkimbaev, A. B. Zhizhchenko, V. Y. Zitserman, G. A. Kobzev, E. E. Son, A. N. Sotnikov // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2012. Vol. 46, № 4. P. 170–176.

2. Загорулько, Г. Б. Систематизация знаний по теплофизическим свойствам веществ / Г. Б. Загорулько, Ю. И. Молородов, А. М. Федотов // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер.: Информ. технологии. 2014. Т. 12, № 3. С. 48–56.

3. Дударев, В. А. Интегрированная информационная система по свойствам неорганических веществ и материалов / В. А. Дударев // Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных : тр. XVII Междунар. конф. DAMDID/RCDL'2015. Обнинск, 13–16 окт. 2015. Обнинск, 2015. С. 41–48.

4. Загорулько, Г. Б. Численный анализ теплофизических свойств веществ / Г. Б. Загорулько, Ю. И. Молородов // Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. / отв. за выпуск : А. И. Мазур, А. Л. Верхотуров. Хабаровск, 2015. С. 57–63.

5. Savitzky, A. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures / A. Savitzky, M. J. Golay // Anal. Chem. 1964. Vol. 36. P. 1627–1639.

6. Matplotlib : б-ка на языке программирования Python для визуализации данных двумерной (2D) графикой. URL: http://matplotlib.org

7. SciPy : б-ка для языка программирования Python с открытым исход. кодом, предназнач. для выполнения науч. и инженер. расчётов. URL: http://www.scipy.org

Сведения об авторах

Вишнев Кирилл Евгеньевич — магистрант факультета информационных технологий, Новосибирский государственный университет, Новосибирск. vishnev_kirill@mail.ru

Молородов Юрий Иванович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры программирования ММФ, Новосибирский государственный университет, старший научный сотрудник Института вычислительных технологий, Сибирское отделение Российской академии наук, Новосибирск. yumo@ict.sbras.ru

---

K. E. Vishnev, Yu. I. Molorodov

METHODS AND MEANS OF IMAGING RESEARCH CONTENT THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS

The approach to dealing with these thermal properties of the materials stored in the distributed information sources. The application filter Savitsky — Golay to process raw data of physical experiments with subsequent approximation of the resulting graph, the Chebyshev polynomial of degree 6.

ББК 3965-044.3
УДК 62-783

В. В. Волхонский, П. А. Воробьев

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ПАССИВНЫМИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ ИНФРАКРАСНЫМИ ИЗВЕЩАТЕЛЯМИ

Предложено определение понятия диаграммы направленности пассивного оптико-электронного инфракрасного извещателя. Анализируются существующие способы формирования такой диаграммы направленности. Предложен способ формирования диаграммы направленности, обеспечивающий преимущества по обнаружению цели указанным типом извещателей gj сравнении с известными способами.

В государственном стандарте [1], действовавшем с 1996 по 2015 г. включительно, и в пришедшем ему на смену государственном стандарте [2] (введён с 1 января 2016 г.) не дано определение, позволяющее точно понять, что представляет собой диаграмма направленности (ДН) пассивного оптико-электронного инфракрасного извещателя (далее ПОЭИ-извещателя или извещателя). В первом документе упоминается оптическая диаграмма извещателя, а во втором — диаграмма элементарных чувствительных зон (ЭЧЗ). При этом под ЭЧЗ в [2] понимаются «области пространства, создаваемые оптическими системами извещателя, состоящими из каждого чувствительного и каждого из фокусирующих элементов, при перемещении в которых человека (стандартной цели) извещатель способен воспринимать его инфракрасное излучение». Однако такое определение недостаточно чёткое, поскольку чувствительный элемент ПОЭИ-извещателя способен воспринимать инфракрасное (ИК) излучение и без перемещения цели в ЭЧЗ. В свою очередь, перемещение цели необходимо только лишь для обнаружения её движения как такового, то есть для срабатывания извещателя и последующей выдачи им сигнала тревоги и, при необходимости, определения параметров цели и осуществляемого ею движения.

Таким образом, прежде чем говорить о формировании ДН, необходимо дать её однозначное определение. Для рассматриваемого типа извещателя ДН это *графическое представление контролируемой зоны, ИК-излучение из которой фокусируется на пироприёмник извещателя*. Это представление может быть дано как в отдельных плоскостях, например, горизонтальной и/или вертикальной, так и объёмным (например, трёхмерным). При этом для фокусировки ИК-излучения на пироприёмник извещатель содержит оптическую систему (ОС), как правило — линзу Френеля, зеркальную или комбинированную. Вместе упомянутые два компонента ПОЭИ-извещателя — пироприёмник и ОС — позволяют сформировать ДН извещателя и таким образом определить подлежащую контролю область пространства.

Поскольку ПОЭИ-извещатели применяются для решения широкого спектра задач, то, соответственно, имеется весьма много разновидностей их ДН. Благодаря, во-первых, сегментированности используемых ОС и, во-вторых, наличию обычно двух или реже четырёх взаимосвязанных элементов пироприёмника, формируемая ДН извещателя также является сегментированной. В частности, ДН делают сегментированной как в горизонтальной плоскости (в этом случае весь сектор ДН разбивается на отдельные пары лучей), так и в вертикальной, обеспечивая тем самым несколько секторов таких лучей. Однако такой подход обладает рядом недостатков, главным из которых является низкая вероятность обнаружения цели, двигающейся вдоль лучей ДН, по направлению на извещатель (радиальное направление) по сравнению с движением в перпендикулярном ему (тангенциальном) направлении. Это обусловлено заметным различием в форме ДН для движения в упомянутых направлениях. И, как следствие, соответствующим различием в параметрах сигнала, то есть высокой степенью априорной неопределённости. Более подробно с недостатками такого подхода и результатами практических экспериментов, их выявивших, можно ознакомиться в статье [3].

Для обеспечения инвариантности ПОЭИ-извещателя к направлению движения цели, то есть для обеспечения его равномерной чувствительности к обнаружению движения цели как в радиальном, так и в тангенциальном направлениях, необходимо сформировать такую ДН, которая обеспечивала бы формирование пар лучей, близких по параметрам для движения в обоих направлениях. В таком случае, вне зависимости от направления, движение цели будет сопровождаться близким по параметрам изменением уровня сигнала на выходе пироприёмника.

Для решения рассматриваемой проблемы предлагается использовать многоэлементные пироприёмники с независимыми выходами от чувствительных элементов. Это позволит:

а) разделить ЭЧЗ на две составляющие не только в горизонтальной, но и вертикальной плоскости;

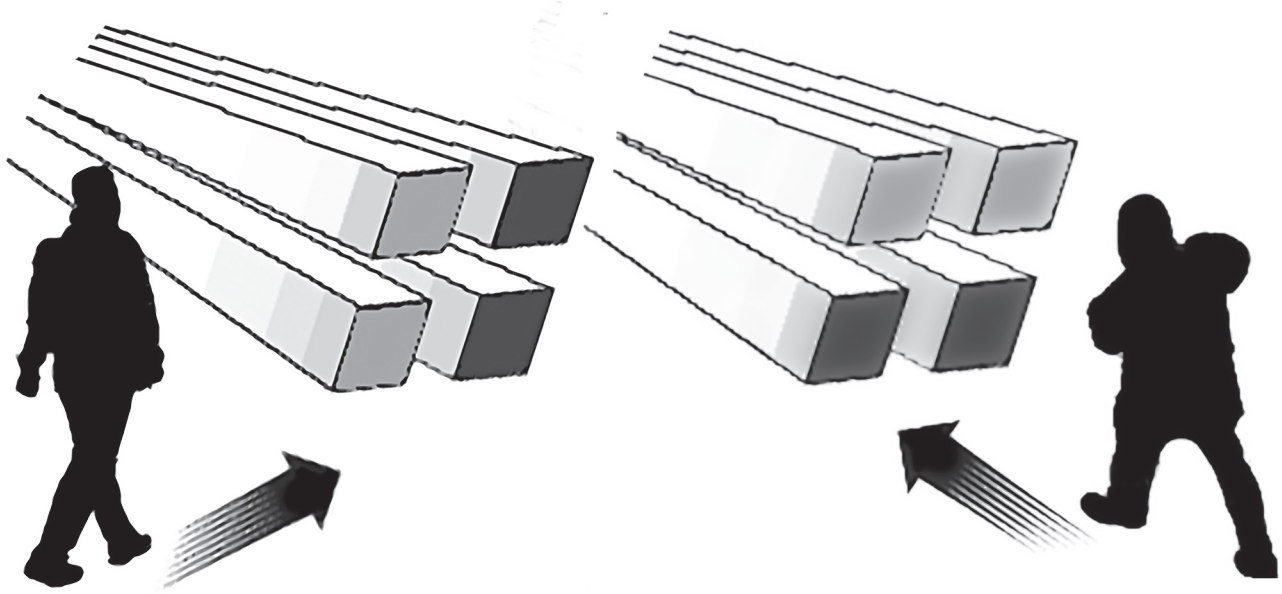


Рис. 1. Направления движения цели: тангенциальное (слева) и радиальное (справа)

б) добиться чередования знаков полупериодов сигнала не только в горизонтальной, но и вертикальной плоскости;

в) сохранить угол направления на цель по возможности одинаковым при разных взаимных положениях цели и извещателя, то есть по возможности, при неизменной ОС.

Первые два пункта могут быть обеспечены применением четырёхэлементного пироприёмника и использованием двух раздельных каналов обработки для разных направлений движения нарушителя при неизменной ОС. При этом, чтобы реализовать это, необходимо использовать пироприёмник с независимыми ЧЭ, пространственное расположение которых образует форму прямоугольника, предпочтительно — квадрата. В этом случае все формируемые лучи ДН в пространстве будут состоять из четырёх лучей меньшего размера. Образованная таким образом пространственная матрица 2×2 будет содержать одновременно две горизонтальные и две вертикальные пары лучей, которые можно использовать для формирования двух независимых каналов обнаружения движения цели.

Указанные каналы должны работать постоянно, то есть каждый чувствительный элемент в отдельности должен регистрировать падающее на него ИК-излучение, преобразовывать его в электрический сигнал, который обрабатывается в упомянутых каналах и по алгоритму, ИЛИ принимается решение об обнаружении.

Таким образом, если нарушитель двигается в тангенциальном направлении, он пересекает лучи ДН, формируемые вертикальными парами чувствительных элементов пироприёмника извещателя, как это показано на рис. 1 слева. В частности, сечение одной вертикальной пары лучей выделено светлым оттенком, а другой вертикальной пары — тёмным.

Аналогичным образом, когда нарушитель двигается в радиальном направлении, он пересекает лучи ДН, формируемые горизонтальными парами чувствительных элементов пироприёмника извещателя, как это показано на рис. 1 справа, где сечение одной горизонтальной пары лучей также выделено светлым, а другой горизонтальной пары — тёмным.

Таким образом, независимо от направления движения нарушитель будет пересекать пары ЭЧЗ, сформированные либо как горизонтальные пары чувствительных элементов, либо как вертикальные пары чувствительных элементов пироэлектрического приёмника. В результате чувствительность ПОЭИ-извещателя будет практически не зависеть от направления движения нарушителя в пределах ДН.

Варианты реализации такого ПОЭИ-извещателя раскрыты в патентной литературе, например, в [4].

Библиографический список

1. ГОСТ Р 50777-95. Системы тревожной сигнализации. Часть 2. Требования к системам охранной сигнализации. Раздел 6. Пассивные оптико-электронные инфракрасные извещатели для закрытых помещений и открытых площадок. Изм. № 2. Введ. 01.01.2008. М. : Стандартинформ, 2008. 37 с.

2. ГОСТ Р 50777-2014. Извещатели пассивные оптико-электронные инфракрасные для закрытых помещений и открытых площадок. Общие технические требования и методы испытаний. Введ. 11.11.2014. М. : Стандартинформ, 2014. 36 с.

3. Волхонский, В. В. Анализ характеристик обнаружения нарушителя ПИК датчиками охранной сигнализации / В. В. Волхонский, П. А. Воробьев // Алгоритм безопасности. 2012. № 1. С. 44–48.

4. Пат. 159824. Российская Федерация. Охранный пассивный инфракрасный извещатель / В. В. Волхонский, П. А. Воробьев, С. Л. Малышкин, В. И. Перчуков, Т. М. Рахматуллина. 2016. Бюл. № 5.

Сведения об авторах

Волхонский Владимир Владимирович — доктор технических наук, профессор кафедры световых технологий и оптоэлектроники, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург. volkhonski@mail.ru

Воробьев Павел Андреевич — эксперт отдела изобретений, ООО «Агентство патентных поверенных АРС-Патент», Санкт-Петербург. doall88@gmail.com

---

V. V. Volkhonskiy, P. A. Vorobev

FORMATION METHOD OF ORTHOGONAL PATTERNS OF PASSIVE INFRARED DETECTORS

The definition of a pattern for passive infrared detector is proposed. The existing methods of forming such patterns and their drawbacks are analyzed. New method of forming the pattern is provided herein, which method provides advantages over the known methods when detecting a target.

ББК 3965-044.3
УДК 62-783

В. В. Волхонский, С. Л. Малышкин

АППРОКСИМАЦИЯ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ РАССТОЯНИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОВОЛНОВЫМ ИЗВЕЩАТЕЛЕМ

Выполнена аппроксимация закона распределения расстояния обнаружения радиоволновым извещателем при движении цели в тангенциальном направлении. Осуществлена проверка достоверности гипотезы о соответствии аппроксимирующей функции экспериментальным данным по критерию Пирсона χ^2.

Создание систем физической защиты (СФЗ) различных объектов предполагает анализ эффективности и уязвимости СФЗ в качестве важного этапа разработки любой системы. В свою очередь, сложность современных СФЗ, а также многообразие моделей нарушителей и способов проникновения влекут необходимость применения средств автоматизации процессов моделирования таких систем.

Различные методы анализа эффективности СФЗ, такие как детерминистический, метод анализа иерархий и другие, базируются на данных экспертных оценок основных параметров и, следовательно, обладают высокой степенью субъективности. Они требуют трудоёмких экспериментальных исследований. Кроме того, их сложно использовать в задачах математического моделирования. Более корректные оценки эффективности даёт метод вероятностно-временного анализа [1]. При его использовании актуальна задача получения корректных оценок вероятностей обнаружения (ВО), поскольку только своевременное обнаружение нарушителя может обеспечить результативную эффективность СФЗ — ликвидацию угрозы до нанесения существенного ущерба. Таким образом, знание значений ВО в различных условиях проникновения является необходимым для получения корректных оценок эффективности СФЗ.

В работе [2] предложена методика оценки вероятности обнаружения НСД с учётом плотностей распределения продолжительности обнаружения $p(T_{\text{обн}})$ и расстояния обнаружения $p(X_{\text{обн}})$. Первая справедлива для произвольного характера движения нарушителя, со сменой направлений, вторая — для квазилинейного. При этом вероятность обнаружения несанкционированного проникновения (НП) в некоторой зоне есть интеграл $P_{обн} = \int_{t_{возд}}^{T_{Обн}^{max}} p(T_{обн})dT_{обн}$ в пределах от начала воздействия на контролируемый физический параметр зоны обнаружения $t_{возд}$ до максимально допустимого времени обнаружения $T_{обн}^{max}$ или $P_{обн} = \int_{x_{возд}}^{X_{Обн}^{max}} p(X_{обн})dX_{обн}$ от начала зоны обнаружения $x_{возд}$ до максимально допустимого расстояния обнаружения $X_{обн}^{max}$. Таким образом, зная закон распределения $p(T_{\text{обн}})$ или $p(X_{\text{обн}})$, на основе предложенных формул можно проводить оценки вероятность обнаружения $P_{обн}$ нарушителя в некоторой зоне на основе данных о протяжённости ЗО или времени её преодоления. Или решать обратную задачу — определять минимальные размеры ЗО, при которых возможны приемлемые значения $P_{обн}$.

В ряде работ, например, [3–5], приведены результаты экспериментальных исследований ВО пассивными инфракрасными (ПИК) извещателями. При этом оценка вероятности обнаружения выполнялась на основе полученных опытным путём гистограмм плотности вероятности расстояния обнаружения цели.

В работах [6; 7] выполнена аппроксимация вышеуказанных эмпирических гистограмм с использованием известных законов распределения, проведена оценка точности аппроксимации по критерию Пирсона и предложен ряд распределений, наиболее точно соответствующих экспериментальным данным.

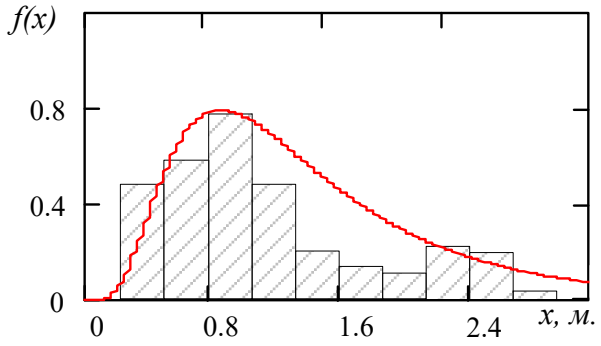
В работе [8] с учётом изложенной выше методики проведено исследование плотности вероятности расстояния обнаружения нарушителя радиоволновым извещателем и получены данные, позволяющие численно оценить вероятность обнаружения как функцию пройденного расстояния. Исследование проводилось при среднем значении скорости цели 0,25 м/с и тангенциальном направлении движения относительно направления на извещатель.

В рамках настоящей работы была решена задача аппроксимации экспериментальных данных по расстоянию обнаружения нарушителя радиоволновым извещателем по успешно апробированной методике [6]. В качестве аппроксимирующих функций были выбраны такие известные распределения, как Гаусса, гамма-распределение, Релея, Максвелла, логнормальное и Вейбулла.

Оценка точности аппроксимации производилась по критерию согласия Пирсона χ^2 при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$. При этом основные моменты распределений (математическое ожидание m и дисперсия D) брались исходя из моментов, вычисленных для экспериментальных распределений. Значения χ^2 для различных распределений приведены в таблице.

Значения χ^2, соответствующие различным распределениям

Распределение	Значение χ^2
Распределение Гаусса	74,51
Гамма-распределение	30,82
Распределение Релея	32,88
Распределение Максвелла	44,91
Логнормальное распределение	16,76
Распределение Вейбулла	85,11



Аппроксимация гистограммы плотности распределения расстояния обнаружения, логнормальное распределение

Для примера, на рисунке приведена гистограмма плотности распределения расстояния обнаружения цели, полученная в работе [8], и соответствующая ей аппроксимирующая кривая.

В результате сравнения с табличным значением χ^2 гипотеза о соответствии экспериментальным данным была принята только для логнормального распределения. Таким образом, был сделан вывод, что логнормальное распределение можно использовать как аналитическую функцию для оценки вероятности обнаружения нарушителя радиоволновым извещателем с учётом движения нарушителя в тангенциальном направлении, то есть в худшем с точки зрения обнаружения случае.

Библиографический список

1. Малышкин, С. Л. Вероятностный подход к анализу эффективности систем физической защиты / С. Л. Малышкин // Альманах научных работ молодых учёных. СПб. : НИУ ИТМО, 2013. С. 215–218.

2. Волхонский, В. В. К вопросу повышения вероятности обнаружения несанкционированного проникновения на охраняемый объект / В. В. Волхонский // Вестн. Воронеж. ин-та МВД России. 2011. № 4. С. 37–44.

3. Волхонский, В. В. Анализ характеристик обнаружения нарушителя ПИК датчиками охранной сигнализации / В. В. Волхонский, П. А. Воробьев // Алгоритм безопасности. 2012. № 1. С. 44–46.

4. Богданов, А. Особенности характеристик обнаружения ПИК и совмещенных ПИК+РВ датчиков для помещений / А. Богданов, В. Багров // Алгоритм безопасности. 2012. № 4. С. 72–73.

5. Волхонский, В. В. Методика оценки вероятности обнаружения несанкционированного проникновения оптикоэлектронным извещателем / В. В. Волхонский, П. А. Воробьев // Науч.-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики. 2012. № 1 (77). С. 120–123.

6. Волхонский, В. В. Оценка вероятности обнаружения нарушителя пассивными инфракрасными извещателями / В. В. Волхонский, С. Л. Малышкин // Науч.-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики. 2015. № 4 (98). С. 716–721.

7. Малышкин, С. Л. Аппроксимация закона распределения вероятности обнаружения несанкционированных действий пассивными инфракрасными извещателями / С. Л. Малышкин // Комплексная защита объектов информатизации и измерительные технологии : сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. СПб., 2014. С. 36–39.

8. Волхонский, В. В. Оценка вероятности обнаружения нарушителя радиоволновым извещателем / В. В. Волхонский, Г. А. Григорьев // Охрана, безопасность, связь – 2016 : сб. материалов науч.-практ. конф. Воронеж : Воронеж. ин-т МВД России, 2016. Ч. 1. С. 56–58.

Сведения об авторах

Волхонский Владимир Владимирович — доктор технических наук, профессор кафедры световых технологий и оптоэлектроники, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург. volkhonsky@mail.ru

Малышкин Сергей Леонидович — соискатель, эксперт отдела изобретений, ООО «Агентство патентных поверенных «АРС-Патент», Санкт-Петербург. malyshkin-sl@mail.ru

V. V. Volkhonskiy, S. L. Malyshkin

APPROXIMATION OF DETECTION DISTANCE PROBABILITY DENSITY OF MICRO-WAVE DETECTOR

The paper deals with estimation of intruder detection probability by micro-wave detector for automated analyses of physical protection systems effectiveness. Applicability of different distribution laws has been studied, such as Rayleigh, Gauss, Gamma, Lognormal, Maxwell and Weibull distributions. Based on walk tests results, approximation of experimental histogram of detection distance probability distribution laws by micro-wave detectors was done. Conformity of the histograms to the mentioned analytical laws according to fitting criterion χ^2 has been checked.

ББК 3972.13
УДК 004.056.5

А. Г. Воронцов, С. А. Петунин

ОРГАНИЗАЦИЯ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЁННОЙ СРЕДЫ

Рассматриваются особенности организации однонаправленных каналов передачи данных (устройства класса DataDiode) в условиях защищённой среды (организация однонаправленной передачи из глобальной сети в защищённую корпоративную сеть). Произведён краткий обзор существующих устройств и рассмотрены их характеристики. Описана методика решения проблем ограничений, таких как отсутствие обратной связи, связанная с реализацией и интеграцией однонаправленного канала. Основная часть исследования направлена на повышение эффективности процесса доступа к закрытым информационным ресурсам. Предложена модель комплекса однонаправленной передачи информации, в состав которого входит устройство класса DataDiode.

Введение

Однонаправленные каналы передачи информации, как правило, представляют собой сетевые устройства, обеспечивающие передачу информации исключительно в одном направлении [1]. Они не позволяют вести передачу информации в обратном направлении и соединяют различные сегменты информационных систем с различными уровнями хранения и обработки информации [2]. В рассматриваемой области такое решение должно гарантировать аппаратное отсутствие возможности передачи информации в обратную сторону с целью исключения возможности перенастройки политик безопасности или правил межсетевых экранов.

Подобный класс устройств, называемый DataDiode, обеспечивает изоляцию нужных сегментов сети с целью недопущения попыток несанкционированного доступа к расположенным в них информационных ресурсам. Соответственно, обеспечивается возможность, с одной стороны, ввода необходимой информации в область закрытых сетевых ресурсов, а с другой — исключение несанкционированной возможности вывода закрытой информации или же какой-либо внешней работы с закрытыми сетевыми ресурсами [3].

На текущий момент в классе устройств DataDiode реализованы топологически различающиеся между собой однонаправленные каналы передачи данных. Далее рассмотрены несколько подобных систем.

Введём понятия закрытого и открытого сегмента. Закрытый сегмент представляет собой автоматизированную систему в защищённом исполнении (АСЗИ). Открытый сегмент представляет собой сеть глобального и незащищаемого доступа.

Общая схема [4] однонаправленной передачи информации представлена на рис. 1.

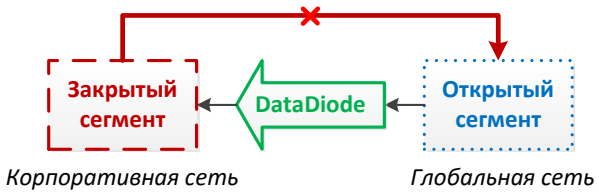


Рис. 1. Обеспечение передачи информации в закрытый сегмент

В основе рассматриваемого класса систем DataDiode лежит принцип использования оптической связи с физически отсутствующим согласованием и принципом обратной связи. Принципиальную схему центрального ядра подобной системы можно увидеть на рис. 2, где отражено отсутствие обратной связи.

Устройства, построенные на данной принципиальной схеме, обладают рядом как достоинств, так и недостатков. Использование устройства класса DataDiode позволяет решить проблему с вводом открытой информации в закрытый сегмент сети, а также осуществлять несогласованное управление сервисами внутри закрытого сегмента, отдавая команды управления из открытого сегмента сети. Подобные возможности позволяют отойти от использовавшихся ранее методик ввода информации (например, использование специальных точек ввода, где вся поступающая информация контролируется человеком) и частично автоматизировать процесс ввода информации.

Однако из-за отсутствия обратной связи возникает ряд потенциальных технических проблем. Использование однонаправленного канала передачи

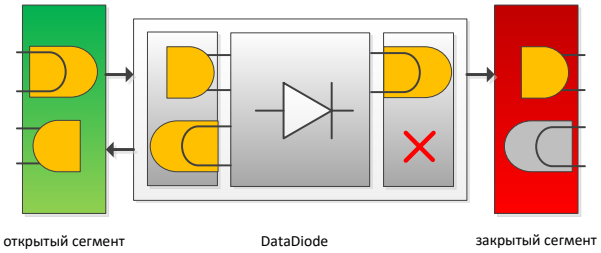


Рис. 2. Принципиальная схема ядра передающей системы

данных обусловливает возникновение проблемы верификации переданных данных, которая, в большинстве случаев, является критичной для обеспечения целостности данных:

– протокол TCP/IP требует согласования и подтверждения передачи данных;

– необходима обратная связь для определения и регулировки скорости передачи;

– невозможно функционирование прикладных приложений, требующих обратной связи или подтверждения получения данных;

– невозможно функционирование большинства веб-сервисов.

Для преодоления указанных проблем существуют различные подходы [5]. Например, в патенте США № 5703562 «Методы передачи данных от незащищённого к защищённому компьютеру» предлагается схема верификации, в которой используется некое «сигнальное устройство», подсоединённое к защищённому компьютеру и «испускающее сигнал предупреждения» в момент обнаружения ошибки в передаваемых данных. В качестве сигнала предупреждения об обнаружении ошибки в патенте предлагается использовать «одиночный продолжительный звук» [6]. Очевидно, предложенное решение не позволяет обеспечить передачу результата вычислений, выполненных в рамках обнаружения ошибок, от узла-получателя к узлу-отправителю так, чтобы последний мог сравнить результаты и определить из этого сравнения статус и информацию о целостности переданных данных.

Помимо этого, существуют упрощённые подходы из готовых аппаратных решений, реализующие создание сети, топологически настроенной и сконфигурированной только для однонаправленного пропускания информации. Однако данные подходы и методы не обеспечивают должный уровень защиты и подвержены атакам, позволяющим организовать обратную передачу информации.

Примеры реализаций однонаправленной передачи информации

Из реализованных работоспособных концепций представляются интересными следующие решения, построенные на базе схемы, иллюстрируемой рис. 2.

Двухмодульный однонаправленный канал передачи данных с внутренним хранилищем представляет собой два модуля — приёмник открытого сегмента и получатель закрытого сегмента, скоммутированные между собой оптическим каналом с физически отсутствующей обратной связью. Каждый модуль содержит в себе твердотельный накопитель с файловой системой xfs. Оба модуля управляются специальной редакцией ОС Linux.

Алгоритм работы следующий [7]:

1. Данные из открытого сегмента попадают на приёмное устройство и записываются на твердотельный накопитель.

2. После окончания передачи данных на приёмное устройство происходит синхронизация с получателем в закрытом сегменте — данные пересылаются на твердотельный диск получателя по протоколу UDP, не требующему подтверждения получения данных, что частично избавляет от необходимости наличия обратной связи. Синхронизация осуществляется путём разбиения передаваемой информации на пакеты, в каждый пакет вносится контрольная сумма.

3. Данные, сохранённые на твердотельном накопителе получателя закрытого сегмента, становятся доступны в закрытом сегменте, данные на твердотельном накопителе приёмника открытого сегмента автоматически удаляются после синхронизации.

Общая схема работы двухмодульного однонправленного канала приведена на рис. 3.

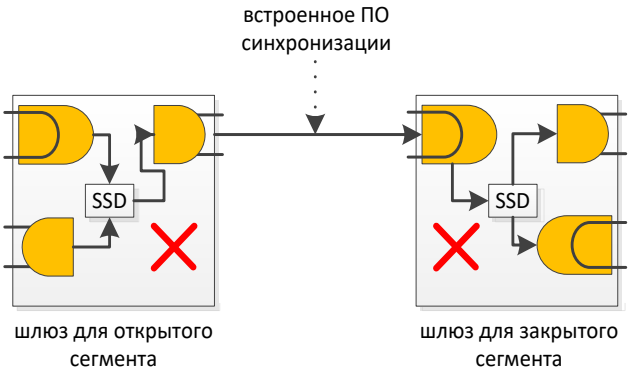


Рис. 3. Принципиальная схема работы двухмодульного однонаправленного канала

Данная реализация позволяет осуществлять однонаправленную передачу информации в условиях отсутствия обратной связи, необходимой для подтверждения целостности полученных данных и динамической регулировки скорости передаваемых данных. Подтверждение целостности осуществляется внутренним программным обеспечением. Поскольку заранее известна пропускная способность канала и все технические характеристики приёмника и получателя, это позволяет заранее определить скорость синхронизации между твердотельными накопителями.

Проблема скорости передачи весьма актуальна — в случае рассинхронизации может создаться ситуация, когда получатель будет не успевать обрабатывать входящий файловый поток, а отправитель (в данной роли выступает приёмник открытого сегмента) не будет об этом знать. Такая ситуация приведёт к сбою передачи.

Недостатки реализации:

– нестабильная работа файловой системы xfc;

– низкая производительность (около 30 мб/с);

– необходима специальная проверка и постановка на учёт внутренних носителей информации, что затрудняет ввод устройства в эксплуатацию;

– ограниченное количество поддерживаемых пользователей (всего 100, 20 активных);

– ограниченный объём твердотельных накопителей в устройстве.

Значимыми критериями для оценки работы устройства были выбраны параметры, перечисленные в табл. 1.

Таблица 1

Результаты передачи файлов

Критерий	Количество × объём (Мб)			
	1×8000	3×8000	1030×7	3030×10
Средняя скорость отправки, Мб/с	20	20	15	14
Средняя скорость синхронизации, Мб/с	30	30	25	25
Средняя скорость приема, Мб/с	25	25	23	22
Среднее общее время процесса, мин	18	53	20	82
Среднее количество ошибок при передаче	0	0	15	43
Средне количество ошибок при синхронизации	0	0	20	1315
Количество отправлений	5	5	5	5

Одномодульный сквозной однонаправленный канал передачи данных. В отличие от предыдущей концепции представляет из себя единое устройство. Является проходным устройством с аналогичными принципами, как и у двухмодульного однонаправленного канала, но без внутреннего хранилища. Не имеет встроенного программного обеспечения для синхронизации данных.

Принцип реализован на том же ядре передающей схемы, как и в двухмодульном устройстве, однако имеет свои отличия [8]:

– отсутствие внутреннего хранилища;

– поддержка большого количества активных пользователей (511);

– высокая производительность (до 90 мб/с).

Вследствие отсутствия необходимости хранения информации на самом устройстве, а также отсутствия роли синхронизатора при помощи специального программного обеспечения концепция более проста в исполнении и более отказоустойчива. Непосредственно программное обеспечение, отвечающее за приём и передачу информации, вынесено вне устройства на отдельные сервера. Общая принципиальная схема работы устройства представлена на рис. 4.

Значимыми критериями для оценки работы устройства были выбраны параметры, перечисленные в табл. 2.

Требования к системе однонаправленной передачи информации

Для организации автоматизированной системы однонаправленных каналов передачи информации необходимо разработать комплекс методик и средств обеспечивающих:

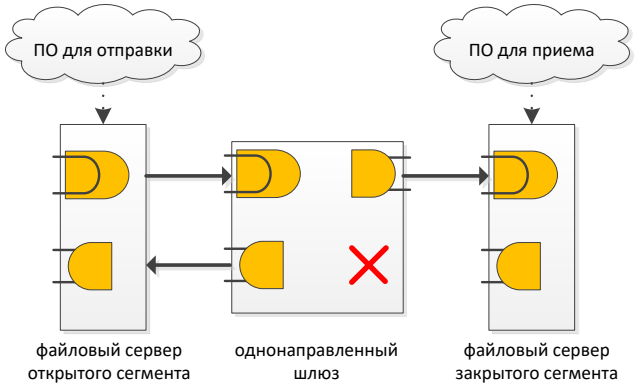


Рис. 4. Принципиальная схема работы сквозного однонаправленного канала

Таблица 2

Результаты передачи файлов

Критерий	Количество × объем (Мб)			
	1×8000	3×8000	1030×7	3030×10
Средняя скорость приема, Мб/с	87	92	52	50
Среднее общее время процесса, с	95	265	140	610
Среднее количество ошибок при синхронизации	0	0	7	0
Количество дублирующих пакетов данных	1	1	1	2
Количество отправлений	5	5	5	5

– гарантированную однонаправленную передачу информации;

– отсутствие итоговых потерь в переданной информации;

– производительность канала передачи информации (не менее 1 Гб/с);

– динамичное распределение нагрузки между точками вывода из открытого сегмента;

– динамичное распределение нагрузки между точками ввода в закрытый сегмент;

– корректное взаимодействие со средствами защиты информации;

– скрытие сетевой топологии закрытого сегмента;

– интеграция с доменной пользовательской структурой.

Полученный комплекс методик и средств осуществляет своё функционирование в автоматическом режиме, интегрирован со службами как открытого, так и закрытого сегмента и имеет централизованное управление. Следует помнить, что при выборе устройства однонаправленной передачи информации необходима соответствующая сертификация, поддерживающая взаимодействие с закрытыми сетевыми ресурсами.

Модель системы

Для построения общей модели системы необходимо определить задействованные объекты.

Объекты открытого сегмента:

– входящий файловый сервер;

– контроллер домена;
– пользовательские рабочие станции.

Объекты закрытого сегмента:
– принимающий файловый сервер;
– общий файловый сервер;
– контроллер домена;
– межсетевой экран;
– однонаправленный канал;
– пользовательские рабочие станции.

В модели присутствует межсетевой экран с соответствием с требованиями по взаимодействию сетей различного класса обработки информации.

Общая схема модели представлена на рис. 5.

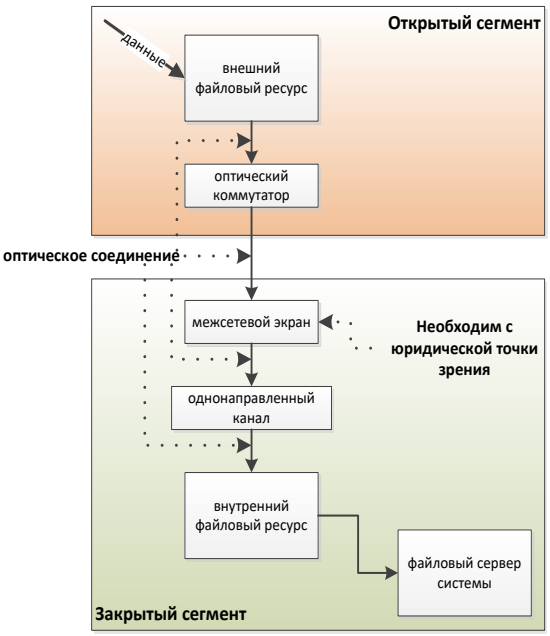


Рис. 5. Общая схема модели

Методика решения задач структурной реализации

Архитектура планируемого решения наглядно представлена на рис. 5. Однако, помимо настройки коммуникационного оборудования и синхронизирующего программного обеспечения на входящем и принимающем файловом сервере, необходимо решить ряд следующих задач:

– проблема входящей файловой очереди;
– избыточная нагрузка на одно из устройств и, как следствие, рассинхронизация;
– взаимодействие со средствами защиты информации;
– балансировка нагрузки;
– интерактивное управление и автоматизация разрабатываемого комплекса.

Проблема входящей файловой очереди влечёт за собой необходимость выбора приоритета файла для обработки. Перед отправкой текущего по очереди файла требуется анализировать всю имеющуюся очередь, например, по объёму входящих файлов, подготовленных к передаче. Далее необходимо перестроить очередность отправки, что решает проблему отправки большого пакета данных и проблему скопления большого числа маленьких по объёму файлов. Данный функционал реализует в себе планировщик очереди. В случае если файл большого объёма находится в состоянии передачи, а в системе присутствует только один однонаправленный канал, необходимо дождаться завершения процесса передачи. Для решения этой проблемы при подготовке пересылаемых файлов менеджеру необходимо делить файлы большого объёма на одинаковые по размеру архивные тома. Это расширит возможность управления очередью.

Упомянутая ранее особенность отсутствия обратной связи и возможной рассинхронизации скорости приёма/передачи (как следствие, ошибки передачи данных) предполагает два метода решения проблемы:

– средства ПО, отвечающего за синхронизацию;
– дополнительные средства контроля доставленных файлов.

Для минимизации подобного риска нужно иметь идентичные технические характеристики входящего и принимающего файловых серверов и производительные дисковые подсистемы в них, желательно основанные на твердотельных накопителях.

Метод проверки целостности файла средства программного обеспечения, отвечающего за передачу файлов, описанный ранее, требует оптимизации. Этот метод представляет потенциальную проблему при передаче большого количества файлов, усложнённую отсутствием возможности узнать объём, количество и список передаваемых файлов из-за отсутствия обратной связи.

Метод дополнительного контроля предлагает полную архивацию всех файлов, предполагаемых к передаче, и упаковку их в один архив. Это гарантирует визуальную проверку на итог передачи всего набора файлов. В случае сбоя архив не запишется на принимающем файловом сервере и пользователю придётся заново повторить процедуру передачи.

Взаимодействие со средствами защиты информации в случае использования сквозного однонаправленного канала передачи данных представляет собой тривиальную задачу обеспечения интеграции принимающего и входящего файловых серверов в существующие системы [9]. Основная проблема — обеспечить корректное взаимодействие с синхронизирующим программным обеспечением, исключив задержки сетевого протокола или же записи/чтения файлов.

Балансировка нагрузки предполагается в случае превышения и недостатка ресурсов модели с одним однонаправленным каналом передачи информации. Для решения этой проблемы предполагается

масштабирование схемы — увеличение числа входящих и принимающих файловых серверов, увеличение числа однонаправленных каналов. Также необходима организация балансировочного шлюза на входе, отвечающего за перенаправление пользователя на тот или иной входящий файловый сервер открытого сегмента [10]. Подобная архитектура представлена на рис. 6. Необходимо также разработать общую управляющую структуру для обеспечения интерактивного управления разрабатываемого комплекса, которая будет обеспечивать:

– добавление новых пользователей;

– автоматическое управление входящими и принятыми файлами (архивирование, подготовка к отправке, установка в очередь с определением приоритета, распределение принятых файлов).

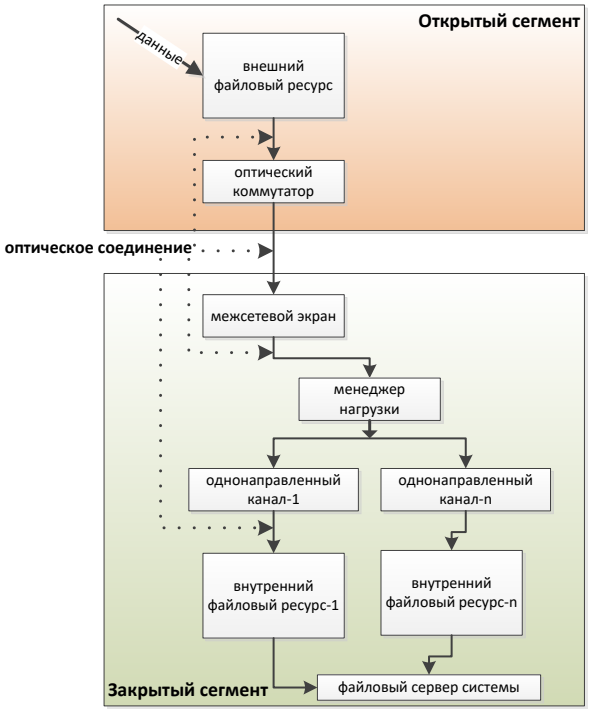


Рис. 6. Общая схема масштабированной модели

Структура функционирует совместно с синхронизирующим программным обеспечением однонаправленного канала в открытом и закрытом сегменте. Условия отсутствия обратной связи соблюдены.

На рис. 7 представлен алгоритм работы внешней управляющей структуры и внутреннего ПО для синхронизации, принадлежащие к открытому сегменту, отправляющему информацией. Рис. 8 демонстрирует алгоритм работы аналогичных систем со стороны закрытого сегмента, принимающего информацию.

Заключение

В работе предложена и описана методика создания комплекса технических и программных средств для однонаправленной передачи информации в условиях защищённой среды. Практическая реализация позволила организовать поток однонаправленной

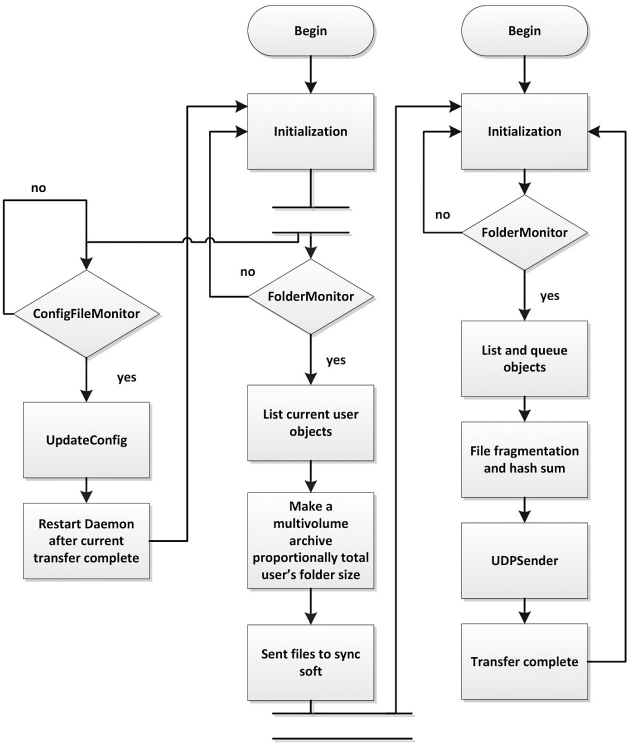


Рис. 7. Блок-схема ПО для синхронизации и управляющей структуры открытого сегмента

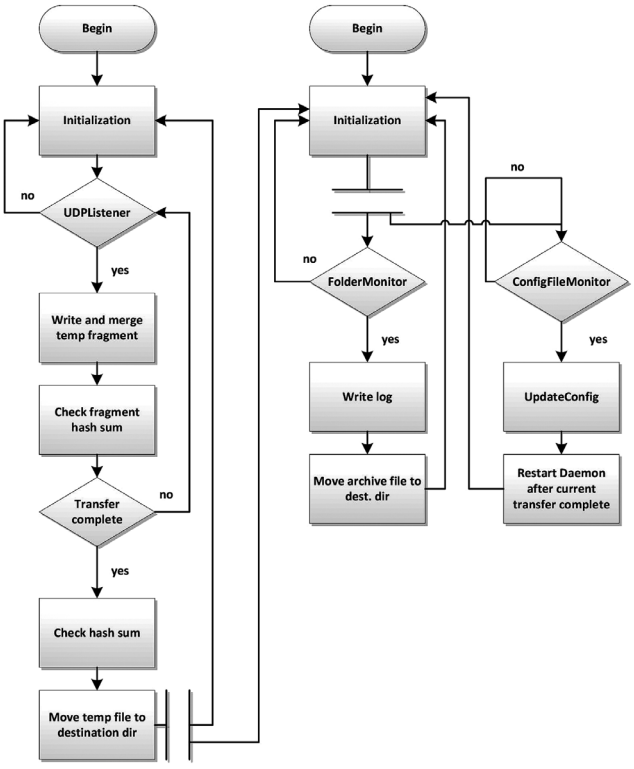


Рис. 8. Блок-схема ПО для синхронизации и управляющей структуры закрытого сегмента

передачи информации из глобальной сети в корпоративную сеть обработки данных с выполнением всех сформулированных условий.

Основным результатом данной работы стала теоретическая разработка и практическая реализация комплекса однонаправленной передачи информации с его интеграцией в корпоративную вычислительную сеть с учётом обеспечения взаимодействия со средствами защиты информации. Разработанная управляющая структура позволяет масштабировать систему в широком диапазоне основных факторов нагрузки — объёма передаваемых данных и количества пользователей в системе.

Библиографический список

1. Unidirectional network . URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Unidirectional_network
2. Australian Government Information Management Office 2003, Securing systems with Starlight, Department of Finance and Administration. URL: http://www.agimo.gov.au/archive/publications_noie/20 03/06/transform/defence.html
3. Что такое однонаправленный шлюз // Компания «СиЭйЭн». URL: http://cansec.ru/21/unidirectional-gateway.html
4. Система однонаправленной передачи данных AMT Group // АПК AMT InfoDiode. URL: http://www.amt.ru/rubr.aspx?rubr_id=237&art_id=1154
5. Douglas, W. J. Secure Data Export and Auditing using Data Diodes / W. J. Douglas, T. C. Bowersox // 2006 USENIX/ACCURATE Electronic Voting Technology Workshop, 1 August 2006, Vancouver. URL: https://www.usenix.org/legacy/events/evt06/tech/full_papers/jones/jones_html
6. Лыдин, С. С. Организация однонаправленного канала передачи данных на базе защищенного служебного носителя информации / С. С. Лыдин // ОКБ САПР. URL: http://www.okbsapr.ru/lydin_tezisy2013_1.html
7. Интегрированный файловый и почтовый однонаправленный шлюз СТРОМ-ФАЙЛ // Компания «СиЭйЭн». URL: http://cansec.ru/products/strom_file.html
8. Высокоскоростной однонаправленный шлюз СТРОМ-1000 // Компания «СиЭйЭн». URL: http://cansec.ru/products/strom-1000.html
9. Vorontsov, A. G. Empowering information security systems in the conditions of domain environment / A. G. Vorontsov, S. A. Petunin, A. V. Konyshev // The 17th International Workshop on computer science and information technologies (CSIT'2015), September 22–26, 2015 Rome, Italy.
10. AROW Data Diode // Somerdata. URL: http://somerdata.com/?page_id=1766

Сведения об авторах

Воронцов Александр Геннадьевич — аспирант, инженер-программист, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова, Москва. voroncov-ag@narod.ru

Петунин Сергей Александрович — кандидат физико-математических наук, главный специалист, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова, Москва. petunin@vniia.ru

---

A. G. Vorontsov, S. A. Petunin

DEVELOPMENT UNIDIRECTIONAL DATA DIODE SYSTEM IN THE CONDITIONS OF PROTECTED ENVIRONMENT

The paper describes a methodology for development of data diode system and it's subsequent integration into high efficiency protected local area network.

ББК 3973
УДК 004.42

В. Е. Гвоздев, Д. В. Блинова, А. С. Давлиева

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПАТТЕРН ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТОВ КОДИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТАХ АПК

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-08-00442

Рассматривается онтологический паттерн планирования ресурсов, требуемых для локализации и устранения дефектов на стадии кодирования программных модулей аппаратно-программных комплексов (АПК).

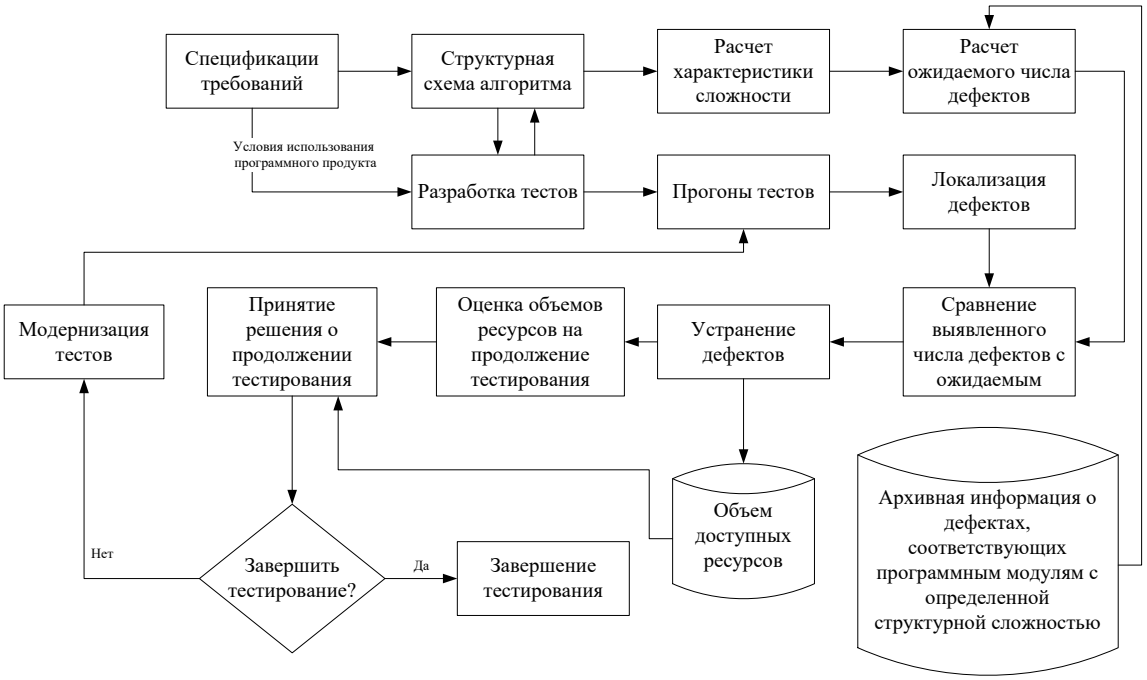
Возрастающая роль систем обработки данных и управления в жизни современного общества определила необходимость развития теоретических, модельных основ и инструментальных средств для локализации и устранения дефектов на разных стадиях жизненного цикла программных продуктов. Устранение дефектов до приемлемого уровня требует на стадии инициализации проекта планирования объёмов ресурсов для проведения испытаний объектов*, локализации и устранения дефектов. В настоящей работе рассматривается онтологический паттерн локализации дефектов на стадии кодирования программных систем.

Онтологический паттерн в задачах управления дефектами на стадии реализации программных модулей. В [2] онтологический паттерн определяется как средство для описания, структурирования человеческого опыта и концептуально описывает в виде схемы определённый эпизод ситуации.

Онтологический паттерн является одной из форм концентрации опыта специалистов, связанного с решением определённых прикладных задач.

Преимущества использования паттернов заключаются в том, что разрабатывается типовая модель поведения в определённой проблемной ситуации. Ограничением является то, что в случае аккумулирования большого опыта специалистов, паттерн получается несколько размытым. Другими словами, если паттерн универсален, то он оказывается сложным, и его адаптация под конкретную ситуацию требует отдельных усилий. Если же паттерн специализирован, то область его применения ограничивается.

Анализ литературы, посвящённой локализации и устранению дефектов в программных компонентах, позволяет определить следующую структуру онтологического паттерна, представленную на рисунке.



Структура онтологического паттерна локализации и устранения дефектов

* Термин «объект» понимается в смысле, определённом в ГОСТ Р 51901.5-2005.

Краткое описание компонентов структуры. Базой паттерна являются архивные данные о дефектах и спецификация требований. Архивы исторических данных создают основу для установления функциональных взаимосвязей между показателями сложности программы и выявленным в ранее проводившихся испытаниях числом дефектов. Спецификации требований служат основанием для построения тестов методами чёрного и белого ящиков (основу построения тестов методом белого ящика составляет структурная схема алгоритма), а также построения структурной схемы алгоритма. Структура есть отображение $A:\left\{\vec{X},\vec{Y}\right\}\to Str$. В свою очередь, структурная схема алгоритма является основой для расчёта характеристики сложности программного модуля.

Стадия локализации дефектов кодирования ориентируется на известные технологические приёмы, такие как обратное отслеживание идентификаторов, метод половинного деления, метод узловых точек [3]. Стадия устранения дефектов является самостоятельной задачей, зависит от природы самого дефекта, и в данной работе не обсуждается. Глубина испытаний и решение о приемлемом числе невыявленных дефектов определяется объёмом ресурсов, предоставленных для испытания модулей.

Объём ресурсов, выделяемых на испытания, зависит от специфики программного продукта и его места в системе управления внешним объектом; распределения выделенного объёма ресурсов по модулям программной системы с учётом ожидаемого количества дефектов в этих модулях и их значимости в составе программной системы.

Расчёт показателя сложности. Сложность программного модуля является фактором, определяющим число дефектов в модуле.

В литературе описано множество метрик сложности, где также обсуждается эффективность их использования. Причём результаты у разных авторов различаются. В работе используется структурный показатель сложности программного модуля, поскольку он позволяет оценить ожидаемое количество дефектов на ранних стадиях жизненного цикла программных продуктов в отличие от других известных характеристик сложности, оценивающих число дефектов на единицу кода. Структурный подход к тестированию использует цикломатический показатель *McCabe* для измерения сложности. В данной работе в качестве метрики сложности предполагается именно он. Выбор также обоснован тем, что он описан в нормативном документе (ESA-PSS-05-10). Данный подход может использоваться в качестве информационной основы при оценивании ресурсов, необходимых для испытания программных модулях в случае, если в техническом задании определены требования к характеристикам надёжности программных компонентов.

Расчёт ожидаемого числа дефектов необходим для того, чтобы принять обоснованное решение о глубине тестирования.

Расчёт ожидаемого числа дефектов. В [4–6] утверждается, что количество дефектов линейно связано с характеристикой сложности программного модуля. В [7] отмечается, что разработкой и испытаниями программных продуктов должны заниматься различные группы разработчиков. В связи с этим могут различаться объёмы данных о характеристиках сложности программных модулей и количестве выявленных дефектов. На практике часть результатов, полученная разработчиками, может быть потеряна, кроме того, возможно возникновение ошибки в сопоставлении количества дефектов конкретному модулю. Поэтому возникает проблема сложности формирования таблицы совместно наблюдаемых значений. Традиционно аппарат математической статистики ориентирован на обработку больших объёмов исходных данных. При решении практических задач объёмы исходных данных, как правило, не превышают нескольких десятков, что по классификации, приведённой в [8], относится к понятию «малая выборка».

В силу отмеченных обстоятельств использование традиционного аппарата регрессионного анализа при обработке данных, связанных с оцениванием количества дефектов в программных модулях, часто вызывает серьёзные затруднения. В настоящей работе предлагается методика для расчёта ожидаемого числа дефектов.

Программный модуль реализует либо одну законченную функцию, либо несколько функций. Поэтому предлагается перейти от показателя сложности, рассчитанному согласно *McCabe*, к относительному показателю. Аналогичен переход с показателем количества дефектов. Данные преобразования позволят сопоставлять характеристики сложности различных модулей. Методика оценки количества дефектов сводится к реализации следующих шагов. Более подробно данная методика описана в работах [9; 10].

Шаг 1. На основе спецификации *i*-го программного модуля, в котором определено количество функций $Func_i$, реализующих эти модули, и на основе оценки характеристики сложности e_i рассчитывается относительная величина показателя сложности по правилу

$$e_i^{(\text{отн})}=\frac{e_i}{Func_i}.$$

Шаг 2. На основе количества выявленных дефектов def_j, а также на основе описания количества функций $Func_j$, соответствующих *j*-му модулю, определяется характеристика относительного дефекта:

$$def_j^{(\text{отн})}=\frac{def_j}{Func_j}.$$

Шаг 3. На основе множества значений $\{e^{(\text{отн})}\}$, $\{def^{(\text{отн})}\}$ и соотношений, определённых в [11] для параметров регрессионной зависимости, строится модель вида $def^{(\text{отн})} = a + b \cdot e^{(\text{отн})}$.

Шаг 4. Задаётся относительный показатель сложности, рассчитанный на этапе проектирования k-го модуля, который ещё не подвергался тестированию. На основе полученных значений параметров a и b определяется относительное количество дефектов в этом модуле: $def_k^{(\text{отн})} = a + b \cdot e_k^{(\text{отн})}$.

Шаг 5. Рассчитывается ожидаемое количество дефектов на основе соотношения $def_k = def_k^{(\text{отн})} \cdot Func_k$.

Выводы. Рассмотренный онтологический паттерн является одной из форм концентрации представления опыта специалистов в области локализации дефектов. Это инструмент, позволяющий структурировать ситуации, связанные с реакцией на проявления дефектов.

Библиографический список

1. Ломов, П. А. Применение паттернов онтологического проектирования для создания и использования онтологий в рамках интегрированного пространства знаний / П. А. Ломов // Онтология проектирования. 2015. Т. 5, № 2 (16). С. 233–245.

2. Боргест, Н. М. Онтология проектирования. Теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы : электрон. учеб. пособие / Н. М. Боргест. Самара, 2010. 91 с.

3. Штернберг, Л. Ф. Разработка и отладка программ / Л. Ф. Штернберг. М. : Радио и связь, 1984. 88 с.

4. Luke, S. R. Failure mode, effects analysis and criticality analysis (FMECA) for software / S. R. Luke // 5th Fleet Maintenance Symposium, Virginia Beach, VA (USA), Oct. 24–25, 1995. Virginia, 1995. P. 731–735.

5. Haapenen, P. Failure mode and effect analysis of software-base automation systems / P. Haapenen, A. Helmeinen // Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki (Finland), 2002.

6. Маевский, Д. А. Оценка количества дефектов программного обеспечения на основе метрик сложности / Д. А. Маевский, С. А. Яремчук // Электротехн. и компьютер. системы. 2012. № 7 (83). С. 113–120.

7. Майерс, Г. Искусство тестирования программ / Г. Майерс. М. : Финансы и статистика, 1982. 174 с.

8. Гаскаров, Д. В. Малая выборка / Д. В. Гаскаров, В. И. Шаповалов. М. : Статистика, 1978. 248 с.

9. Гвоздев, В. Е. Оценивание количества дефектов в программных компонентах на основе показателя сложности / В. Е. Гвоздев, А. С. Субхангулова, О. Я. Бежаева // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений : тр. Третьей междунар. конференции (ITIDS'2015). Уфа, 2015. Т. 2. С. 55–60.

10. Гвоздев, В. Е. Информационная поддержка планирования ресурсов на устранение дефектов на стадии реализации компонентов аппаратно-программных комплексов / В. Е. Гвоздев, А. С. Субхангулова, О. Я. Бежаева // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. XVIII Междунар. конф., 20–25 сентября 2016 г., Самара. Самара, 2016. С. 271–276.

11. Гвоздев, В. Е. Оценивание линейных взаимосвязей параметров технических объектов при отсутствии корреляционной таблицы эмпирических данных / В. Е. Гвоздев, А. С. Субхангулова, О. Я. Бежаева // Вестн. УГАТУ. 2015. Т. 19, № 4 (70). С. 106–117.

Сведения об авторах

Гвоздев Владимир Ефимович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. wega55@mail.ru

Блинова Дарья Викторовна — кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. blinova.darya@gmail.com

Давлиева Алия Салаватовна — аспирант кафедры технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. aliyasr21@gmail.com

---

V. E. Gvozdev, D. V. Blinova, A. S. Davlieva

ONTOLOGICAL PATTERN DEFECT LOCALIZATION CODING IN SOFTWARE COMPONENTS OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEXES

The paper presents the ontological pattern resource planning needed for defects localization and elimination at the coding stage software modules of software and hardware complexes.

ББК У973
УДК 004.4’6

В. Е. Гвоздев, Д. В. Блинова, К. В. Кириллов

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ТИПОВ ДЕФЕКТОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Предложен подход к осуществлению анализа влияния типов дефектов на характеристики качества аппаратно-программных комплексов на стадии эксплуатации на примере метрики «Коэффициент готовности».

Введение

Проблема обеспечения качества аппаратно-программных комплексов в целом, а также их надёжности в частности является краеугольным камнем современной инженерии программных и технических систем.

Аппаратно-программные комплексы являются сложными системами, оснащаемыми разнообразными техническими и программными средствами. В связи с этим отказы, имеющие место в таких системах, обусловлены дефектами, возникающими в аппаратной или программной части соответственно.

Дефекты, возникающие в аппаратной части таких систем, обусловлены износом технических изделий, то есть изменением физико-химических свойств и деградацией материалов, из которых они изготовлены.

Отказы в программном обеспечении обусловлены систематическими дефектами, а случайность их проявления объясняется случайным характером формирования входных данных. Поэтому они могут проявляться случайным образом в случайные моменты времени и иметь последствия, аналогичные последствиям, вызванным отказом техники, а именно: потерю отдельных функций или задержку их выполнения, искажение информации или управляющих воздействий. Более того, при сложном взаимодействии технических и программных средств часто трудно идентифицировать первоисточник нарушения правильного функционирования системы. Поэтому важно не только обеспечить высокую надёжность программного обеспечения, но и учесть её при оценке надёжности аппаратно-программного комплекса в целом [1].

Внешним проявлением дефектов является снижение эффективности функционирования аппаратно-программного комплекса с точки зрения пользователя, поэтому практический интерес представляет разработка методов, позволяющих оценить степень влияния дефектов разных типов на внешнюю эффективность функционирования аппаратно-программных комплексов. Наибольшее распространение при анализе внешней эффективности в инженерной практике получили модели, основанные на предположении о простейшем характере потока событий, связанных с нарушением нормального функционирования аппаратно-программного комплекса, а также локализации и устранения дефектов.

Проявление дефектов различных типов, во-первых, реализуется с различной частотой, во-вторых, для их устранения требуются разные усилия. В то же время в силу того, что проявление дефектов обусловлено случайным сочетанием исходных данных, можно постулировать положение о независимости проявления дефектов разных типов. Это делает возможным использование модели, основанной на суперпозиции потоков с разными параметрами закона распределения. Также в данных моделях не учитывается тот факт, что интервалы времени между проявлениями дефектов различных типов подчинены различным законам распределения, а интенсивности потоков не могут быть признаны сопоставимыми.

Кроме того, известные методы анализа надёжности ориентированы на получение средних оценок, в то время как характеристики параметров потоков отказов по своей сути являются интервальными, поскольку либо определяются по значениям выборок ограниченного объёма, либо рассчитываются на основе интервальных оценок экспертов.

Цель настоящей работы — разработка метода, позволяющего оценить влияние различных дефектов на статистические характеристики показателей надёжности программной составляющей аппаратно-программных комплексов.

1. Постановка задачи

Дано:

– $\{\tau\}$ — выборка конечного объёма N интервалов времени между событиями, где под событиями понимается фиксация отклонения от базового поведения объекта;

– $\{\gamma\}$ — выборка конечного объёма N интервалов времени устранения дефектов, выраженных в отклонении от базового поведения.

Под объектом понимается программная составляющая аппаратно-программного комплекса, под базовым поведением — поведение системы, соответствующее потребительским свойствам, регламентированным в эксплуатационной пользовательской документации, разработанной на основании технического задания на систему.

Предполагается, что объёмы выборок $\{\tau\}$ и $\{\gamma\}$ равны, то есть все дефекты являются установленными и их количество совпадает с числом произведённых изменений в объекте [1], при этом данные изменения не влекут кардинальных изменений в свойствах объекта.

Требуется исследовать статистические характеристики показателей эксплуатационной надёжности в предположении, что отказы в программной составляющей аппаратно-программных комплексов обусловлены дефектами разных типов.

Полагается, что в системе имеют место дефекты трёх типов:

– дефекты разработки требований;
– дефекты проектирования;
– дефекты кодирования.

Также полагалось, что частота проявления времени устранения дефекта зависит от его типа. Так, на локализацию и устранение дефектов кодирования затрачивается значительно меньше времени, чем на локализацию и устранение дефектов в разработке требований. Полагается также, что длительности интервалов времени между возникновениями событий, связанных с проявлением дефектов и их устранением, распределены по показательному закону с разными параметрами.

Обоснованность использования модели простейшего потока событий в настоящей работе обусловлено следующим:

– События обладают свойством стационарности. Поскольку вносимые изменения кардинально не меняют свойства программной составляющей аппаратно-программного комплекса, то считается, что статистические характеристики потоков отказов и восстановлений могут быть отнесены к одним и тем же законам распределения.

– События обладают свойством ординарности. Несмотря на то что в программном обеспечении могут присутствовать дефекты различных типов, считается, что отклонение от базового поведения обусловлено проявлением только одного из дефектов. Причём при тестировании программного обеспечения осуществляется поиск только одного дефекта, что исключает возможность маскирования двух и более дефектов.

– События обладают свойством отсутствия последействий. Последовательность проявления дефектов различных типов не зависит от порядка обнаружения и устранения предыдущих дефектов.

2. Описание эксперимента

В рамках настоящей работы был осуществлён следующий статистический эксперимент в инструментальной среде MatLab.

Шаг 1. Генерируются равномерно распределённые случайные числа $\alpha^{(i),(j)} \in \left[\alpha^{(i),(H)}, \alpha^{(i),(B)}\right]$, отображающие доли проявленных дефектов каждого из трёх типов в текущей j-й итерации эксперимента. Границы диапазона распределения случайных чисел являются постоянными в итерации эксперимента и определяются как $\alpha^{(i),(H)} = 0{,}9 \cdot \overline{\alpha}^{(i)}$, $\alpha^{(i),(B)} = 1{,}1 \cdot \overline{\alpha}^{(i)}$, где $\overline{\alpha}^{(i)}$ — заданные средние значения долей проявления дефектов i-го типа, причём их сумма равна единице, то есть

$$\sum_{i=1}^{P} \overline{\alpha}^{(i)} = 1,$$

где P — количество типов дефектов (принято равным трём).

Шаг 2. Вычисляется количество проявлений дефектов каждого типа в текущей j-й итерации эксперимента

$$n^{(i),(j)} = \alpha^{(i),(j)} \cdot N,$$

где N — это фиксированный заданный объём выборок, который принимается равным 100.

Шаг 3. Формируются выборки $\tau^{(i),(j)}$ и $\gamma^{(i),(j)}$ объёмом $n^{(i),(j)}$ чисел, отображающих время исправной работы и восстановления, соответствующих всем смоделированным проявлениям дефектов в текущей j-й итерации эксперимента.

Шаг 4. Рассчитывается значение статического коэффициента готовности с учётом дифференциации типов дефектов:

$$K_{\Gamma}^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^{P}\left(\alpha^{(i),(j)}\left(\sum_{k=1}^{n^{(i),(j)}}\tau_k^{(i),(j)}\right)\right)}{\sum_{i=1}^{P}\left(\alpha^{(i),(j)}\left(\sum_{k=1}^{n^{(i),(j)}}\tau_k^{(i),(j)} + \sum_{k=1}^{n^{(i),(j)}}\gamma_k^{(i),(j)}\right)\right)}.$$

Шаг 5. В качестве конкурирующей оценки рассчитывается значение статического коэффициента готовности без учёта дифференциации типов дефектов в соответствии с нормативной документацией [3–5]:

$$K_{\Gamma_\mathrm{T}}^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^{P}\left(\sum_{k=1}^{n^{(i),(j)}}\tau_k^{i,(j)}\right)}{\sum_{i=1}^{P}\left(\sum_{k=1}^{n^{(i),(j)}}\tau_k^{(i),(j)} + \sum_{k=1}^{n^{(i),(j)}}\gamma_k^{(i),(j)}\right)}.$$

Шаг 6. Шаги 1–5 повторяются десять тысяч раз.

Шаг 7. По совокупности оценок значений коэффициента готовности, полученных в шагах 4 и 5, вычисляются статистические характеристики их распределения.

3. Результаты эксперимента

Статистический эксперимент был повторен 12 раз. В каждой реализации эксперимента изменялись следующие значения:

$\overline{\alpha}^{(i)}$ — среднее значение доли проявления дефектов i-го типа;

$\lambda^{(i)}$ — параметр показательного закона распределения длительности времени исправной работы *i*-го типа (τ);

$\mu^{(i)}$ — параметр показательного закона распределения длительности исправления дефекта *i*-го типа (γ).

Значения долей дефектов, параметров распределения, а также результаты эксперимента в численных выражениях статистических характеристик оценок коэффициента готовности с учётом дифференциации типов дефектов и без учёта таковой сведены в табл. 1 и 2, в которых:

M — математическое ожидание;

σ — среднеквадратическое отклонение;

As — коэффициент асимметрии;

Ex — коэффициент эксцесса [2].

На рисунке изображены гистограммы, являющиеся оценками плотности вероятности распределения оценок коэффициента готовности, полученные в 11-й реализации статистического эксперимента.

4. Заключение

Предложен подход к оцениванию показателей качества аппаратно-программных комплексов с учётом проявления дефектов различных типов.

Предлагаемый подход отличается от представленного в существующих нормативных документах тем, что он позволяет учитывать природу дефектов в АПК, которая определяет свойства их распределения, это даёт возможность производить более полный анализ надёжности и качества АПК, что в итоге приводит к снижению издержек на эксплуатацию системы.

Таблица 1

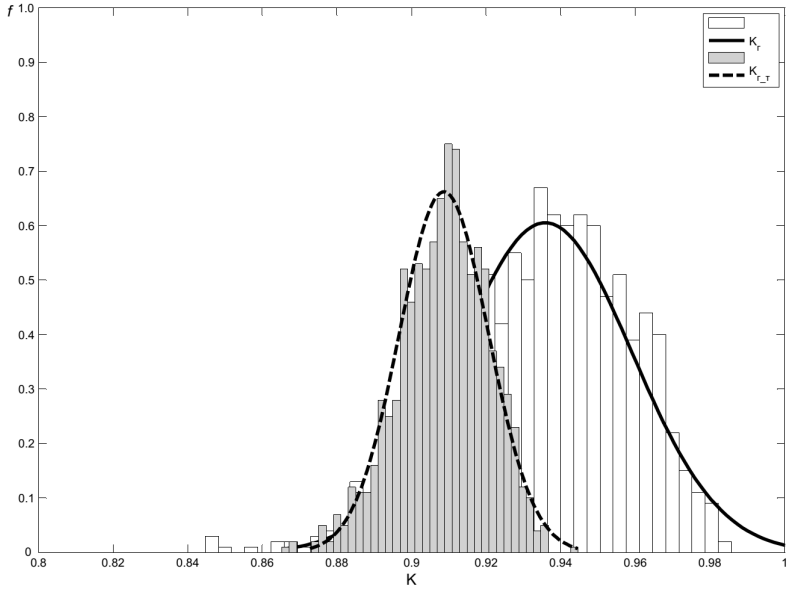
Результаты эксперимента (без учёта дифференциации типов дефектов)

Реализация	$\bar{a}^{(1)}$	$\bar{a}^{(2)}$	$\bar{a}^{(3)}$	$\lambda^{(1)}$	$\lambda^{(2)}$	$\lambda^{(3)}$	$\mu^{(1)}$	$\mu^{(2)}$	$\mu^{(3)}$	M	σ	*As*	*Ex*
1	0,30	0,30	0,40	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-4}	0,942	0,016	–0,851	1,511
2	0,30	0,30	0,40	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	0,506	0,077	–0,069	0,058
3	0,30	0,30	0,40	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	0,498	0,044	0,078	0,042
4	0,33	0,33	0,33	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	0,499	0,042	–0,050	–0,276
5	0,90	0,09	0,01	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	0,503	0,050	–0,052	–0,087
6	0,90	0,09	0,01	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	0,159	0,182	1,778	2,810
7	0,90	0,09	0,01	10^{-5}	10^{-3}	10^{-1}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	0,056	0,011	0,457	0,616
8	0,90	0,09	0,01	$4\cdot10^{-1}$	$2\cdot10^{-1}$	10^{-1}	$4\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	10^{-2}	0,058	0,011	0,482	0,459
9	0,90	0,09	0,01	$9\cdot10^{-1}$	$3\cdot10^{-1}$	10^{-1}	$9\cdot10^{-2}$	$3\cdot10^{-2}$	10^{-2}	0,057	0,011	0,466	0,525
10	0,90	0,09	0,01	10^{-1}	$5\cdot10^{-1}$	10^{0}	10^{-2}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-1}	0,065	0,024	0,778	1,105
11	0,90	0,09	0,01	10^{-3}	$5\cdot10^{-3}$	10^{-2}	10^{-2}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-1}	0,936	0,023	–0,606	0,484
12	0,90	0,09	0,01	10^{-4}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-1}	10^{-1}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-4}	0,981	0,027	–4,817	37,880

Таблица 2

Результаты эксперимента (с учётом дифференциации типов дефектов)

Реализация	$\bar{a}^{(1)}$	$\bar{a}^{(2)}$	$\bar{a}^{(3)}$	$\lambda^{(1)}$	$\lambda^{(2)}$	$\lambda^{(3)}$	$\mu^{(1)}$	$\mu^{(2)}$	$\mu^{(3)}$	M	σ	*As*	*Ex*
1	0,30	0,30	0,40	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-4}	0,907	0,019	–0,752	1,498
2	0,30	0,30	0,40	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	0,504	0,054	–0,107	–0,040
3	0,30	0,30	0,40	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	0,498	0,036	0,112	–0,009
4	0,33	0,33	0,33	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	0,499	0,035	–0,029	–0,235
5	0,90	0,09	0,01	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	0,502	0,036	–0,052	–0,171
6	0,90	0,09	0,01	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	0,098	0,044	1,067	1,329
7	0,90	0,09	0,01	10^{-5}	10^{-3}	10^{-1}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	0,092	0,013	0,284	0,380
8	0,90	0,09	0,01	$4\cdot10^{-1}$	$2\cdot10^{-1}$	10^{-1}	$4\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$	10^{-2}	0,092	0,013	0,334	0,326
9	0,90	0,09	0,01	$9\cdot10^{-1}$	$3\cdot10^{-1}$	10^{-1}	$9\cdot10^{-2}$	$3\cdot10^{-2}$	10^{-2}	0,092	0,013	0,369	0,170
10	0,90	0,09	0,01	10^{-1}	$5\cdot10^{-1}$	10^{0}	10^{-2}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-1}	0,092	0,012	0,354	–0,056
11	0,90	0,09	0,01	10^{-3}	$5\cdot10^{-3}$	10^{-2}	10^{-2}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-1}	0,909	0,012	–0,331	0,089
12	0,90	0,09	0,01	10^{-4}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-1}	10^{-1}	$5\cdot10^{-2}$	10^{-4}	0,998	$3\cdot10^{-4}$	–0,576	0,218



Гистограмма и оценка плотности вероятности распределения значений коэффициента готовности с параметрами, соответствующими 11-й реализации эксперимента: $K_Г$ — плотность вероятности значения коэффициента готовности с учётом дифференциации типов дефектов в соответствии с предлагаемым подходом, $K_{Г_Т}$ — плотность вероятности значения коэффициента готовности без учёта дифференциации типов дефектов в соответствии с нормативной документацией

Библиографический список

1. Черкесов, Г. Н. Надёжность аппаратно-программных комплексов : учеб. пособие / Г. Н. Черкесов. СПб. : Питер, 2005. 479 с.

2. Hastings, N. A. Statistical distributions / N. A. Hastings, J. B. Peacock. London : Butterworths, 1980.

3. ГОСТ 27.002–89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

4. ГОСТ Р 53480-2009. Надёжность в технике. Термины и определения.

5. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.

Сведения об авторах

Гвоздев Владимир Ефимович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. wega55@mail.ru

Блинова Дарья Викторовна — кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. blinova.darya@gmail.com

Кириллов Константин Витальевич — аспирант кафедры технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. kir-konst@yandex.ru

---

V. E. Gvozdev, D. V. Blinova, K. V. Kirillov

THE METHOD OF ANALYSIS THE EFFECT OF DEFECT TYPES ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX IN TERMS OF ITS EXPLOITATION

The approach of the implementation of the analysis the effect of defect types on the quality characteristics of hardware and software complex in terms of its exploitation, have been proposed in this article by the example of the index «Availability ratio».

ББК Р.с51
УДК 61:004.4

О. М. Гергет, Д. В. Девятых

О ПРИМЕНИМОСТИ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Рассматриваются вопросы исследования и разработки новых методов оптимизации и регуляризации гиперпараметров алгоритмов и моделей машинного обучения при моделировании медицинских сигналов, процессов и явлений.

Применение совокупности продвинутых алгоритмов машинного обучения и оптимизации гиперпараметров позволит продвинуться в решении ряда актуальных и взаимосвязанных между собой задач медицинской диагностики:

– моделирование управляющих воздействий на организм в ходе лечения;

– исследование взаимосвязи индивидуальных особенностей организма и состояния здоровья;

– интегральная оценка состояния здоровья и прогнозирование данной оценки в зависимости от динамики индивидуальных показателей и выбранного управляющего воздействия.

Основой для моделирования именно индивидуальных медицинских процессов может выступать нейросетевая модель, адаптивные, нелинейные и динамические свойства которой могут быть использованы для извлечения большего количества знаний, заключённых во множестве информации, полученной в ходе диагностики и лечения.

Свойства нейросетевой модели могут быть отражены в виде параметров — весовых коэффициентов, меняющихся в процессе обучения, и гиперпараметров — всех свойств как модели, которые остаются неизменными в процессе обучения. К последним можно отнести практически любые аспекты топологии сети: количество слоёв; параметры активационных функций; степень связности слоёв; порядок нейронов и т. д. Отдельным набором гиперпараметров характеризуется и любой алгоритм обучения, отвечающий за начальную инициализацию весовых коэффициентов, скорость и величину коррекции веса, удаление лишних весовых коэффициентов при возникновении переобучения и т. д.

Базовыми подходами к выбору гиперпараметров являются экспертные заключения или проход по сетке (grid-search). При экспертной оценке поиск модели осуществляется в некоторой области, вокруг точки в пространстве гиперпараметров. Проход по сетке осуществляет перебор всевозможных комбинаций моделей в заданном диапазоне значений гиперпараметров. Недостатком таких подходов является то, что происходит обучение большого количества заведомо неудачных моделей [1]. Также не учитывается информативность гиперпараметров.

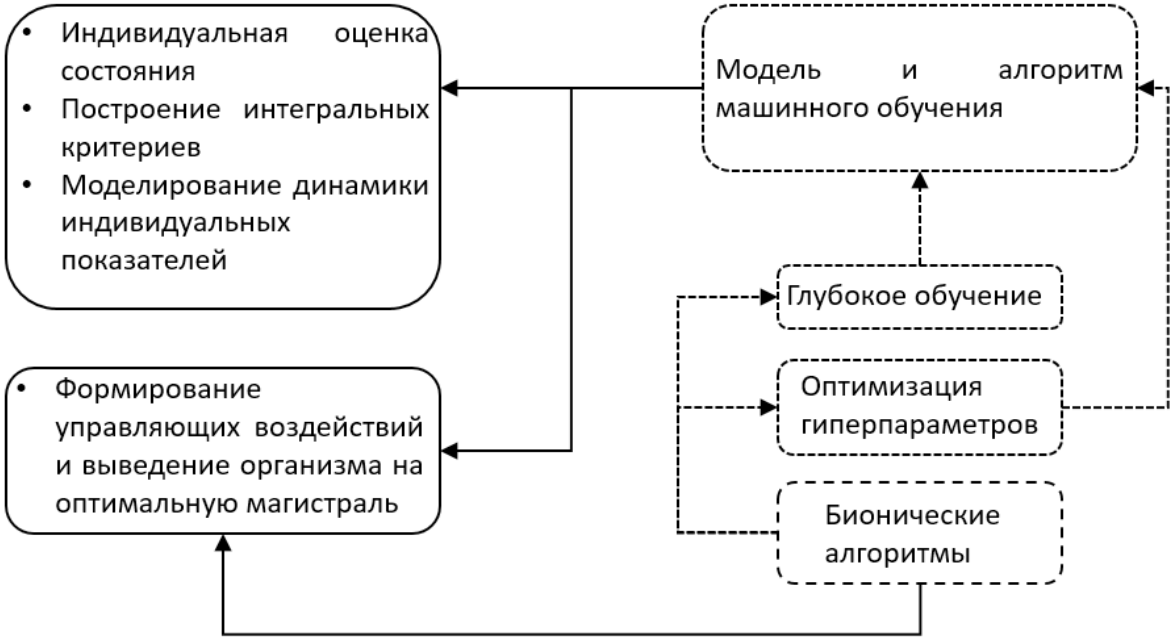
Достижения в области глубокого обучения [2–3] также являются востребованными при моделировании медицинских явлений и процессов. Во-первых, медицинские данные могут иметь только графическое представление, что определяет необходимость извлечения признаков с использованием множества сверточных слоёв. Во-вторых, каждый уровень признаковых карт может быть использован для построения классификационного решения традиционными моделями, что очевидно требует глубокого машинного обучения [4–5]. И в-третьих, сочетание в организме множества процессов, течение которых к тому же активно видоизменяются в процессе лечения, требует глубокого обучения для их моделирования на том основании, что динамические нейронные сети, будучи параллельно-развёрнутыми, обладают глубокой структурой [6–7].

Задача построения современных, эффективных, а главное, адекватных моделей медицинских явлений и процессов видится нам решаемой только при построении комплексной системы, объединяющей алгоритмы как глубокого обучения, так и оптимизации гиперпараметров. Концептуальная схема данной системы представлена на рисунке.

Особое место в схеме занимает не упомянутый ранее блок «Бионические алгоритмы». Если рассмотреть проблему глубокого обучения с позиции обратного распространения ошибки, то становится очевидным наличие в сети затухания градиентов. В самом деле, для частного случая, когда максимум производной достигается в нуле и равен и 0,25, а начальная инициализация подчиняется стандартному нормальному закону распределения, можно определить затухание следующим образом:

$$\frac{\partial E}{\partial b_1} = f'(\upsilon_1)\overbrace{w_2 f'(\upsilon_2)}^{<0,25}\ldots\overbrace{w_{n-1} f'(\upsilon_{n-1})}^{<0,25} w_n \frac{\partial E}{\partial \upsilon_n},$$

где $\frac{\partial E}{\partial b_1}$ — локальный градиент нейрона первого слоя; υ — активационный потенциал; w — весовой параметр нейросетевой модели; f' — производная активационной функции по υ. Подобный эффект обращения градиентов в ноль возникает при использовании любой активационной функции или способа



Концептуальная схема решения задач математического моделирования индивидуальных медицинских процессов с использованием алгоритмов машинного обучения

инициализации весовых коэффициентов, так как проистекает из линейности обратного прохода по сети. Генетические же алгоритмы, не требующие вычисления градиентов нейронов, могут равномерно обучать нейроны, вне зависимости от их принадлежности к слою.

Оптимизация гиперпараметров, к которым справедливо можно отнести и управляющие воздействия, тоже может быть решена с применением генетических алгоритмов. Благодаря механизму скрещивания, мутации и корректного формирования популяций можно существенно сократить процесс поиска гиперпараметров по сравнению с алгоритмами прохода по сетке. Таким образом, бионические алгоритмы, частным случаем которых является генетический, могут быть использованы для эффективного решения нескольких задач, рассмотренных в статье.

На данном этапе у коллектива имеются наработки в каждой из рассмотренных в ходе статьи областей. За последний год была реализована модель слепого разделения источников [8], с использованием алгоритмов глубокого обучения и анализа независимых компонент. На текущий момент идёт работа по синтезу данных результатов в единую информационную платформу, результаты работы которой будут освещены в будущих публикациях.

Библиографический список

1. Walter, D. Overfitting, Regularization, and Hyperparameters / D. Walter. November 29, 2015. URL: http://dswalter.github.io/blog/overfitting-regularization-hyperparameters

2. Hastie, T. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. Springer, 2009. 745 pp.

3. Goodfellow, I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. MIT Press, 2016.

4. Simonyan, K. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition / K. Simonyan, A. Zisserman URL: https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf

5. Practical recommendations for gradient-based training of deep architectures / Y. Bengio, U. Montreal. Neural Networks, 2012.

6. Holland, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis With Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence / J. H. Holland. Cambridge : The MIT Press, 1992.

7. Tsoy, Y. R. Using genetic algorithm with adaptive mutation mechanism for neural networks design and training / Y. R. Tsoy, V. G. Spitsyn // Optical memory and neural networks. 2004. Vol. 13, no. 4. P. 225–232.

8. Девятых, Д. В. Выделение электрокардиограммы плода с использованием динамических нейронных сетей / Д. В. Девятых, О. М. Гергет// Мед. техника. 2016. № 6. С. 7–10.

Сведения об авторах

Гергет Ольга Михайловна — кандидат технических наук, начальник учебно-методического отдела Института кибернетики, научный сотрудник лаборатории дизайна медицинских изделий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск. gerget@tpu.ru

Девятых Дмитрий Владимирович — программист кафедры программной инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск. ddv.edu@gmail.com

---

O. M. Gerget, D. V. Devyatykh

DEEP LEARNING AND HYPERPARAMETERS OPTIMIZATION IMPLEMENTATION IN MATHMATICAL MODELING OF MEDICAL PROCESSES

The article deals with the ways of supplementing mathematical modeling of medical objects with algorithms of machine-learning, hyperparameters optimization and training regularization.

ББК О808
УДК 656.11

К. А. Глимшина, Д. Р. Богданова, Д. Е. Яковлева

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕКРЁСТКА УЛИЦ ИМЕНИ ГОРОДА ГАЛЛЕ И РИХАРДА ЗОРГЕ ГОРОДА УФЫ

Разработана имитационная модель транспортного кольца и перекрёстка улиц имени Города Галле и Рихарда Зорге в программном продукте Anylogic. Проведена реорганизация дорожного движения на основе рассмотренных мероприятий. Проведена оценка имитационной модели.

Введение

Реорганизация дорожного движения (ДД) — это сложный процесс, являющийся многокритериальной задачей принятия решений. В качестве критериев служит загруженность и интенсивность транспортных потоков по каждому из направлений движения. Цена ошибки принятия неверных решений при внедрении мероприятий по реорганизации ДД в реальную жизнь экономически очень высока (высокие затраты на строительство транспортных сооружений, климатические и экологические условия). В связи с этим необходимо отработать те или иные мероприятия по реорганизации ДД на имитационной модели, чтобы оценить эффективность предложенных мероприятий.

Теоретические сведения

Имитационное моделирование — это распространённая разновидность аналогового моделирования, реализуемого с помощью набора математических средств, специальных компьютерных программ-симуляторов и особых IT, позволяющих создавать в памяти компьютера процессы-аналоги, с помощью которых можно провести целенаправленное исследование структуры и функций реальной системы в режиме её «имитации», осуществить оптимизацию некоторых её параметров [9].

Имитационная модель должна отражать логику и закономерности поведения моделируемого объекта во времени (временна́я динамика) и пространстве (пространственная динамика).

Имитационная модель создаётся:

– для управления сложными бизнес-процессами, чтобы определить их характерные особенности;

– при проведении экспериментов над объектами в экстренных ситуациях, связанных с рисками, в случаях, когда натуральное моделирование нежелательно или невозможно.

Имитационное моделирование является важным фактором в системах поддержки принятия решений, поскольку позволяет исследовать большое число альтернатив (вариантов решений), проигрывать различные сценарии при любых входных данных. Главное преимущество имитационного моделирования состоит в том, что исследователь для проверки новых стратегий и принятия решений при изучении возможных ситуаций всегда может получить ответ на вопрос «Что будет, если ...?». Имитационная модель позволяет прогнозировать в случаях, когда речь идёт о проектируемой системе или исследуются процессы развития (то есть когда реальной системы ещё не существует).

В имитационной модели может быть обеспечен различный, в том числе и высокий, уровень детализации моделируемых процессов. При этом модель создаётся поэтапно, эволюционно.

Рассматривая имитационное моделирование как средство решения различных проблем, можно выделить три основных подхода:

- Системная динамика.
- Дискретно-событийное моделирование (процессно-ориентированное).
- Агентное моделирование.

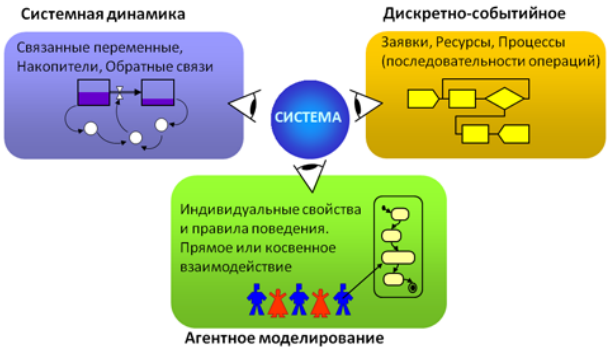


Рис. 1. Виды подходов к имитационному моделированию

Системная динамика предполагает высокий уровень абстракции и используется в основном для задач стратегического уровня. Процессно-ориентированный (дискретно-событийный) подход используется в основном на операционном и тактическом уровне. Спектр применения агентных моделей включает в себя задачи любого уровня абстракции: агент может представлять компанию на рынке, покупателя, проект, идею, транспортное средство, пешехода, робота и т. д. [8].

В данной работе используется смешанный метод имитационного моделирования.

Выбор программного продукта для моделирования

Основываясь на области применения, используемых парадигмах ИМ и популярности, среди программного обеспечения для моделирования транспортных систем был выбран ряд пакетов для сравнительного анализа, по результатам которого следует обратить внимание на инструменты AnyLogic и PTV Vissim. Оба пакета способны детально описать объекты модели, описать их логику поведения за счёт программирования на Java, а затем интерактивно проанализировать результаты.

PTV Vissim является узкоспециализированным программным средством, поэтому обладает весьма широким спектром возможностей транспортной тематики и особенностей транспортной сети. Исследование показало также, что Vissim обладает менее дружественным интерфейсом и при его использовании требуются дополнительные усилия для постобработки результатов.

AnyLogic более универсален и проще в освоении, хотя бы за счёт наличия большого количества литературы для самообучения. Что немаловажно, он намного дешевле PTV Vissim, даже если приобретать в пакете не все модули, которые по умолчанию входят в AnyLogic. Также существует бесплатная версия для учащихся вузов: Anylogic Personal Learning Edition, что является большим преимуществом перед PTV Vissim. Учитывая все возможности описанных инструментов, было принято решение остановить выбор в пользу AnyLogic.

Программа Anylogic позволяет создавать различных агентов дорожной системы: автомобили, автобусы и т. д. Показывает реальную ситуацию на дорогах. Помимо движения автомобилей, можно настроить движение автобусов на остановках, высадку пассажиров и дальнейшее движение. Для автомобилей можно настроить парковку в установленных местах.

Программа имеет возможность выполнения двух экспериментов: симуляция (Simulation) и оптимизация (Optimization).

При создании модели автоматически создаётся один простой эксперимент, названный Simulation. Он запускает модель с заданными значениями параметров, поддерживает режимы виртуального и реального времени, анимацию, отладку модели.

Если нужно изучить поведение модели при каких-то заданных условиях или улучшить производительность модели, найдя значения параметров, при которых достигается наилучший результат работы модели, то нужно воспользоваться возможностью оптимизации модели AnyLogic. Оптимизация модели AnyLogic заключается в последовательном выполнении нескольких прогонов модели с различными значениями параметров и нахождении оптимальных для данной задачи значений параметров. В AnyLogic встроен оптимизатор OptQuest — лучший из предлагаемых сегодня оптимизаторов. Оптимизатор OptQuest автоматически находит лучшие значения параметров модели с учётом заданных ограничений. AnyLogic обладает удобным графическим интерфейсом для конфигурирования и отслеживания хода оптимизации. Оптимизация заключается в нескольких последовательных прогонах модели с различными значениями параметров. Комбинируя эвристики, нейронные сети и математическую оптимизацию, OptQuest позволяет находить значения параметров модели, соответствующие максимуму или минимуму целевой функции как в условиях неопределённости, так и при наличии ограничений [7].

Имитационная модель транспортного кольца и перекрестка улиц имени Города Галле и Рихарда Зорге

Имитационные модели транспортного кольца (рис. 2) и перекрестка улиц имени Города Галле и Рихарда Зорге (рис. 3) в AnyLogic строились с использованием библиотек дорожного движения и моделирования процессов в рамках учебной версии программы. AnyLogic позволяет строить сложные перекрёстки и элементы дорожной разметки.

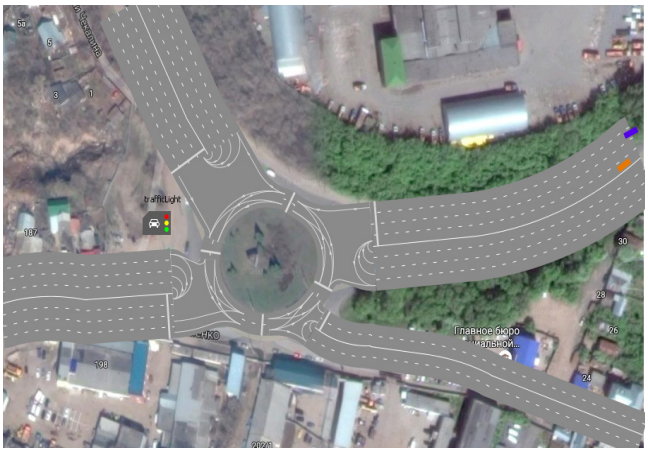


Рис. 2. Имитационная модель транспортного кольца

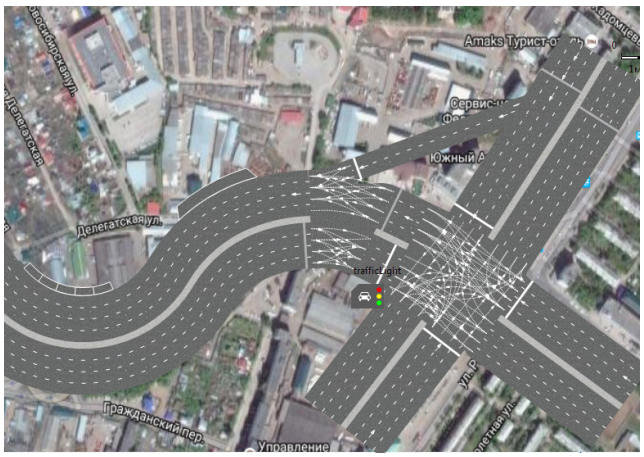


Рис. 3. Имитационная модель перекрестка улиц — имени Города Галле и имени Рихарда Зорге

На модели установлено количество транспортных потоков по каждому направлению движения на основе проведённых натурных наблюдений [6]. Установлен режим показа пробок на модели. Благодаря эксперименту Simulation имеется возможность отображения загруженности перекрёстка (рис. 4).

Рис. 4. Заторы на перекрестке улиц имени Города Галле и имени Рихарда Зорге во время выполнения эксперимента «Симуляция». Красный цвет — при скорости автомобиля <10 км/ч, зеленый — при скорости автомобиля >60 км/ч)

Загруженность перекрёстка ул. им. Города Галле и Рихарда Зорге в часы-пик демонстрирует рис. 4. Данный перекресток является одним из главных перекрёстков в исследуемом районе города Уфы. В дальнейшем развитии города перекрёсток свяжет автомагистральные дороги М7 и М5. Предложен ряд мероприятий по реорганизации дорожного движения: строительство транспортной развязки, расширение перекрёстка, внедрение автоматизированной системы управления светофорами [10]. При помощи экспертов транспортного моделирования был выбран метод внедрения автоматизированной системы управления светофоров, так как построение многоуровневой развязки принесёт крупные материальные затраты, а также займёт продолжительное время на строительство, что не приемлемо для данного участка исследуемого района.

Вычислительный эксперимент

После проведения эксперимента симуляция необходимо провести вычислительный эксперимент — оптимизацию. Оптимизация обрабатывает большой объём данных и выявляет наилучшее значение. В данном случае заданы параметры *p*1 и *p*2 для регулирования зелёной и красной стрелки сигнала светофора.

Регулирование светофора можно задать несколькими способами: регулированием стоп-линий перекрёстка, соединителей полос перекрёстка и заданных стоп-линий (рис. 5). В данной работе используется регулирование для заданных стоп-линий, так как только в этом случае можно выполнить оптимизацию.

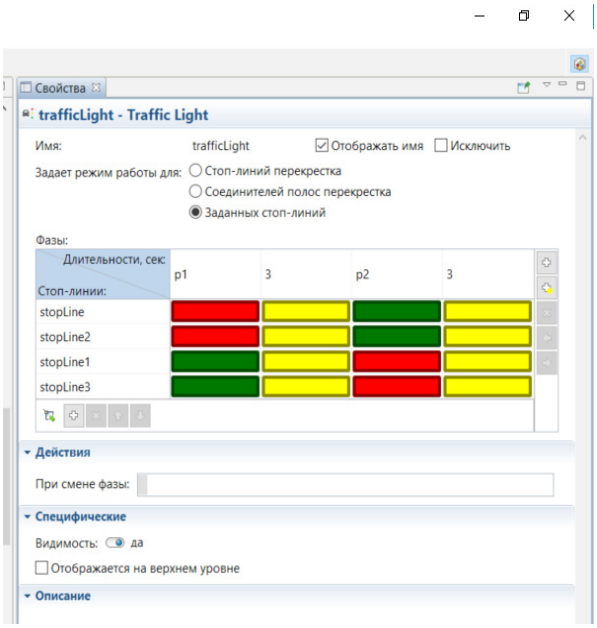


Рис. 5. Варианты задания режима регулирования светофора на перекрёстке

В результате вычислительного эксперимента выявлены наилучшие значения (рис. 6) красной фазы для стоп линий stopline, stopline2 — 32 секунды. Значение зелёной фазы для стоп линий stopline, stopline2 — 23 секунды. Значение зелёной и красной фазы для стоп линий stopline1, stopline3 — 32 и 23 секунды соответственно. Длительность обработки статистических данных на домашнем ПК составила 2 часа.

В правой части рис. 6 расположен график, визуально отображающий ход оптимизации. По оси X откладываются номера итераций, а по оси Y — «Текущее», «Лучшее допустимое» и «Лучшее недопустимое» значения, найденные для каждой итерации.

Таблица, расположенная в левой части окна, отображает всю необходимую информацию о ходе оптимизационного процесса.

В столбце «Текущее» отображаются номер последней завершённой итерации, значение целевой функции и значения параметров, при которых оно было получено на момент окончания этой итерации.

В столбце «Лучшее» отображается та же информация для найденного решения, которое является оптимальным к текущему моменту: номер итерации,

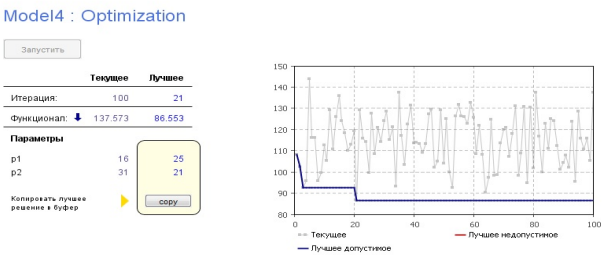


Рис. 6. Результат выполнения оптимизации

когда это значение было получено, собственно само значение целевого функционала и значения параметров, при которых оно было получено [7].

На рис. 7 представляет повторный эксперимент симуляции с наилучшими параметрами оптимизации, результатом которого является отсутствие загруженности на перекрёстке.

Рис. 7. Имитационная модель перекрёстка после реорганизации

Заключение

Таким образом, создана имитационная модель перекрёстка улиц: им. Города Галле и им. Рихарда Зорге и транспортного кольца. Эксперимент Simulation подтвердил наличие крупных заторов на перекрёстке. Эксперимент «Оптимизация» позволил выявить наилучшие значения длительности фаз светофора — 25 и 21 секунда для красной и зелёной фазы. Повторный эксперимент «Оптимизация» показал уменьшение заторов на перекрёстке. Адекватность созданной модели обосновывается тем, что имитационная модель основа на реальных данных натурного эксперимента, данная модель оценена экспертами. В дальнейшем исследовании планируется проработка эксперимента транспортного кольца.

Библиографический список

1. Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учеб. пособие / А. В. Гасников [и др.]. М. : МФТИ, 2010. 360 с.

2. Домбровский, А. Н. Организация дорожного движения. Ч. 3 : учеб. пособие / А. Н. Домбровский, Л. В. Живоглядова. Краснодар : Изд-во КубГТУ, 1999. 94 с.

3. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими /Д. Дрю. М. : Транспорт, 1972. 423 с.

4. Пугачёв, И. Н. Организация и безопасность движения : учеб. пособие / И. Н. Пугачёв. Хабаровск : Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. 232 с.

5. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании автомобильных дорог и организации движения / В. В. Сильянов. М. : Транспорт, 1977. 301 с.

6. Методика обследования интенсивности движения транспортных потоков [Электронный ресурс]. URL: http://studopedia.org/4-33349.html

7. Справочная система AnyLogic. URL: http://help.anylogic.ru/index.jsp?topic=/com.xj.anylogic.help/html/wwhelp/Help Window.html

8. Имитационное моделирование [Электронный ресурс]. URL: http://radiomaster.ru/articles/view/140

9. Аналоговое моделирование [Электронный ресурс]. URL: http://economy-ru.info/info/2997

10. Глимшина, К. А. Системные модели городской транспортной инфраструктуры в районе Южного автовокзала города Уфы / К. А. Глимшина, Д. Р. Богданова, Д. А. Максимов // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. (ИТиС–2016) : науч. электрон. изд. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. С. 219–224.

Сведения об авторах

Глимшина Камила Айратовна — магистрант, Уфимский государственный университет, Уфа. amourka.k@yandex.ru

Богданова Диана Радиковна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный университет, Уфа. dianochka7bog@mail.ru

Яковлева Дарья Евгеньевна — магистрант, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург. zjdaria@yandex.ru

---

K. A. Glimshina, D. R. Bogdanova, D. E. Yakovleva

SIMULATION CROSSROADS MR. HALLE AND RICHARD ZORGE IN THE CITY OF UFA

A simulation model of Ring Road and the intersection of streets named MR. Halle and Richard Zorge was developed in Anylogic software product. Reorganization of traffic based on the consideration of events was developed. The evaluation of the simulation model was performed.

ББК К301
УДК 669.051

М. И. Головачева, Е. Г. Филиппов

ЗАДАЧА О СМЕСЯХ. ОПТИМАЛЬНЫЙ СОСТАВ АГЛОШИХТЫ

Рассматривается оптимизационная задача расчёта состава агломерационной шихты, представленная в виде задачи о смесях.

Агломерационная фабрика должна производить прочный, легковосстанавливаемый, низкосернистый агломерат, состав которого обеспечивает получение заданной марки чугуна без использования в доменной шихте сырого флюса.

Качество агломерационной шихте и её химический состав зависят от соотношения отдельных компонентов [1].

Так как готовый агломерат закладывается в домну, к нему предъявляется ряд технологических требований: по размеру, прочности, химическому составу, при этом количество компонентов закладки должно быть минимальным. В агломерационную шихту можно добавлять отходы производства: колошниковую пыль и окалину, которые не могут напрямую использоваться в доменном производстве.

С целью определения необходимого расхода материалов в составе агломерационной шихты выполняют её расчёт. Для расчётов необходимо знать химический состав используемых материалов, относительное содержание железнорудных компонентов в рудной смеси, расход коксика и металлодобавок на 1 000 кг выплавляемого чугуна [1].

Для расчёта состава агломерационной шихты существует метод балансовых уравнений Ф. М. Базанова и И. Л. Малкина [2]. Использование данного метода предполагает выполнение большого количества расчётов: необходимо привести сумму компонентов химического состава сырых материалов к 100 %, выполнить оценку сырых материалов, определить расход материалов на выплавку 1 000 кг чугуна, выполнить расчёт агломерационной шихты, определить состав чугуна и шлака, произвести расчёт горения в агломерационном процессе, составить материальный баланс агломерационного процесса, рассчитать тепловой баланс.

Все эти расчёты весьма трудоёмки и требуют тщательной проверки результатов, поэтому расчёт состава агломерационной шихты можно представить в виде задачи о смесях [3; 4] и решить её методами оптимизации, что существенно упростит решение и сократит временные затраты на проведение расчётов.

Выполним расчёт состава агломерационной шихты, состоящей из рудной смеси, флюса и коксика, с заданной основностью 1,5 на 100 кг готового агломерата. Химический состав компонентов шихты приведён в табл. 1.

Границы содержания химических элементов в готовом агломерате: Fe 47–60 %, Mn 0,1–0,5 %, P 0,01–0,06 %, S 0,02–0,08 %, C 0,14–0,18 %, SiO_2 4–10 %, Al_2O_3 1–2,5 %, CaO 8–17 %, MgO 1–3 %, FeO 8–17 %.

Основность агломерата определяется отношением CaO к SiO_2.

Расчётные уравнения представляют собой систему из неравенств и равенства:

$$d_i m_{агл} \le \sum_{j=1}^{m} \lambda_{ij} x_j \le h_i m_{агл}; \quad (1)$$

$$q_j m_{агл} \le x_j \le p_j m_{агл};$$

$$\frac{\sum_{j=1}^{m} \lambda_{CaOj} x_j}{\sum_{j=1}^{m} \lambda_{SiO_2 j} x_j} = k; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_j = 100, \quad (3)$$

где m — количество различных химических элементов и соединений, входящих в состав агломерата;

d_i — нижняя граница требуемой массовой доли i-го химического элемента или соединения для агломерата;

$m_{агл}$ — масса готового агломерата, кг;

λ_{ij} — массовая доля i-го химического элемента или соединения ($i = 1, ..., m$), который входит в состав j-го компонента шихты;

x_{ij} — масса j-го компонента шихты, кг;

h_i — верхняя граница требуемой массовой доли i-го химического элемента или соединения для агломерата;

Таблица 1

Химический состав компонентов агломерационной шихты

Компонент	Содержание химического элемента в шихте, %									
	Fe	Mn	P	S	C	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO
Рудная смесь	61,39	0,327	0,038	0,281	0,54	7,84	1,75	1,41	1,02	25,08
Флюс	0,26	0,023	0,007	0,015	0	1,5	0,48	48,95	4,85	0
Коксик	0	0	0	0,6	82,33	0	0	0	0	0

q_j — нижняя граница требуемой массовой доли j-го компонента шихты;

p_j — верхняя граница требуемой массовой доли j-го компонента шихты;

k — основность агломерата.

Соотношения вида (1) являются ограничениями по химическому составу содержащихся в шихте химических элементов и соединений, (2) — технологические ограничения (например, по основности агломерата), (3) — балансовое уравнение по выходу готового агломерата.

Поскольку в ходе процесса спекания агломерата из шихты удаляется в виде газов CO, CO_2 и SO_2 около 90 % серы и 95 % углерода, то необходимо учитывать угар, коэффициент перехода химического элемента в агломерат определяется по формуле

$$u_i = (100 - \gamma_i)/100, \quad (4)$$

где u_i — коэффициент перехода i-го химического элемента в агломерат;

γ_i — угар i-го химического элемента в шихте в процессе спекания агломерата, %.

Для углерода и серы неравенства типа (1) и равенство типа (3) перепишем в виде

$$d_S m_{агл} \le u_S \sum_{j=1}^{m} \lambda_{Sj} x_j \le h_S m_{агл};$$

$$d_C m_{агл} \le u_C \sum_{j=1}^{m} \lambda_{Cj} x_j \le h_C m_{агл};$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_j - \frac{\gamma_S}{100} \sum_{j=1}^{m} \lambda_{Sj} x_j - \frac{\gamma_C}{100} \sum_{j=1}^{m} \lambda_{Cj} x_j = 100.$$

В нашей задаче коэффициенты перехода серы и углерода в агломерат будут соответственно равны $u_S = 0{,}1$ и $u_C = 0{,}5$.

В качестве целевой функции выберем общее содержание железа в готовом агломерате:

$$0{,}6139x_1 + 0{,}0026x_2 \to \max,$$

где x_1 — масса рудной смеси, кг;

x_2 — масса флюса, кг.

Система ограничений будет иметь следующий вид:

$$47 \le 0{,}6139x_1 + 0{,}0026x_2 \le 60; \quad (5)$$

$$0{,}1 \le 0{,}00327x_1 + 0{,}00023x_2 \le 0{,}5; \quad (6)$$

$$0{,}01 \le 0{,}00038x_1 + 0{,}00007x_2 \le 0{,}06; \quad (7)$$

$$0{,}02 \le 0{,}1 \cdot (0{,}00281x_1 + 0{,}00015x_2 + 0{,}006x_3) \le 0{,}08; \quad (8)$$

$$0{,}14 \le 0{,}05 \cdot (0{,}0054x_1 + 0{,}8233x_3) \le 0{,}18; \quad (9)$$

$$4 \le 0{,}0784x_1 + 0{,}015x_2 \le 10; \quad (10)$$

$$1 \le 0{,}0175x_1 + 0{,}0048x_2 \le 2{,}5; \quad (11)$$

$$8 \le 0{,}0141x_1 + 0{,}4895x_2 \le 17; \quad (12)$$

$$1 \le 0{,}0102x_1 + 0{,}0485x_2 \le 3; \quad (13)$$

$$8 \le 0{,}2508x_1 \le 17; \quad (14)$$

$$50 \le x_1 \le 85; \quad (15)$$

$$5 \le x_2 \le 20; \quad (16)$$

$$3 \le x_3 \le 5; \quad (17)$$

$$\frac{0{,}0141x_1 + 0{,}4895x_2}{0{,}0784x_1 + 0{,}015x_2} = 1{,}5; \quad (18)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 - 0{,}9(0{,}00281x_1 + 0{,}00015x_2 + 0{,}006x_3) - \\ - 0{,}95(0{,}0054x_1 + 0{,}8233x_3) = 100, \quad (19)$$

где x_3 — масса коксика, кг.

Ограничения (5)–(14) выражают в виде ограничений по химическому составу следующих химических элементов и веществ Fe, Mn, P, S, C, SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, FeO соответственно, ограничения (15)–(18) представляют собой технологические ограничения по железной руде, флюсу, коксику и основности агломерата, ограничение (19) — балансовое уравнение по выходу агломерата.

Решив такую задачу с помощью поиска решения в Excel, получим:

Таблица 2

Полученное решение	Метод Базанова и Малкина	Оптимизация
Значение целевой функции, %	48,59	50,08
Масса шихтовых материалов, кг	104,67	104,56
Масса рудной смеси, кг	80,69	81,50
Масса флюса, кг	18,98	18,06
Масса коксика, кг	5	5

Итак, был проведён расчёт состава агломерационной шихты с помощью оптимизации и метода Базанова и Малкина. По результатам оптимизации значение общего содержания железа в агломерате получилось лучше, чем при расчёте методом Базанова и Малкина практически при той же массе шихтовых материалов, что в производственных масштабах обеспечит существенную экономию.

В нашей постановке технология процесса агломерации отражена группой взаимосвязанных технологических ограничений. Практически любой технологический процесс подвержен отклонениям, которые необходимо отслеживать.

Например, соотношение основности контролирует процесс шлакообразования при выплавке чугуна из агломерата.

В агломерат дополнительно добавляют железосодержащие отходы производства — окалину, колошниковую пыль, а также возврат — мелочь после дробления аглоспека (25–30 %) для улучшения газопроницаемости. Следовательно, необходимо дополнительно добавить коксик и флюс для ошлаковывания золы коксика. Процентное содержание железа также изменится.

При спекании агломерата происходит ряд химических реакций с выделением или поглощением тепла.

Поэтому необходимо учесть тепловой баланс, в том числе выделение тепла сгорающим коксиком и тепло, уносимое продуктами сгорания, теплоёмкость которых зависит от температуры (диапазон температур до 1 550 °С).

Для окомкования аглошихты производят её увлажнение, тогда необходимо учесть водяной баланс, поскольку добавляется гидратная влага из химических реакций.

Из агломерата получают чугун разных марок в зависимости от содержания серы, фосфора, марганца, кремния, мышьяка. Состав руды также может быть различным.

Чтобы управлять этими процессами, в задаче о смесях предлагаются корректирующие добавки [5], сводящиеся к дополнительной задаче линейного программирования, в которой содержание аглошихты описывается одной переменной (её состав уже найден) и которая может не входить в целевую функцию.

Таким образом, в статье были приведены постановка и результаты решения задачи расчёта состава агломерационной шихты с помощью оптимизации и метода Базанова и Малкина. Было показано, что решение оптимизационной задачи даёт лучший результат, чем при расчёте методом Базанова и Малкина, тем самым позволяя использовать ресурсы предприятия более эффективно и оптимально расходовать шихтовые материалы на производство агломерата. При применении оптимизации также сокращаются временны́е затраты на расчёт состава агломерационной шихты.

Корректирующие добавки позволяют мобильно реагировать на изменяющиеся условия процесса агломерации.

Библиографический список

1. Неясов, А. Г. Расчёт шихты, материального и теплового балансов агломерационного процесса : учеб. пособие / А. Г. Неясов, А. В. Иванов, И. В. Макарова. Магнитогорск : Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2015. 64 с.

2. Цыбулько, Л. А. Технология использования полезных ископаемых [Электронный ресурс] : конспект лекций // Национальный горный университет. 2006. URL: http://zkk.nmu.org.ua/ua/uchbovyi_proces/materialy/Konspekt%20TVMSPZF%20ros.pdf (дата обращения 27.12.2016).

3. Шабалина, М. И. Проблема постановки задачи о смесях для оптимизации количества вводимых ферросплавов при выпуске стали из кислородного конвертера в ковш / М. И. Шабалина, Е. Г. Филиппов // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 5, вып. 2 (2). Техн. науки. С. 85–88.

4. Филиппов, Е. Г. Задача о смесях в параметрическом виде / Е. Г. Филиппов, М. И. Головачева // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф. 2016. С. 16–18.

5. Курдюмов, А. В. Расчёт оптимального состава шихты на ЭВМ / А. В. Курдюмов, Э. Б. Тен. М. : Металлургия, 1984. 72 с.

Сведения об авторах

Головачева Марина Ильинична — магистрант кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. marina.shabalina.93@mail.ru

Филиппов Евгений Георгиевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. filippov.evg.georg@gmail.com

---

M. I. Golovacheva, E. G. Filippov

THE PROBLEM OF MIXTURES. AN OPTIMAL SINTER MIX COMPOSITION

Optimization of sinter mix composition calculation, represented in a form of the problem of mixtures, is examined in this work.

ББК В183.41
УДК 519.6

А. Ю. Горанов, А. Ф. Шориков

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ РЕКУРРЕНТНЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТИ ДОСТИЖИМОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ДИСКРЕТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-02368)

Рассматривается задача построения выпуклой оболочки области достижимости линейной дискретной управляемой системы. Предполагается, что динамика объекта управления описывается векторным дискретным уравнением. Считается, что начальное состояние объекта и его управляющий параметр стеснены ограничениями, которые имеют вид выпуклых, замкнутых и ограниченных многогранников с конечным числом вершин. Приводится описание модифицированного метода построения выпуклой оболочки области достижимости и производится сравнительный анализ полученных результатов с исходным общим рекуррентным алгебраическим методом.

Ключевые слова: *область достижимости; оптимальное программное управление; выпуклая оболочка.*

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется решению задач оптимального управления дискретными динамическими системами с терминальным функционалом качества. Из [3; 8; 9] известно, что для решения задач такого типа целесообразно использовать построение терминальных (финальных) областей достижимости фазовых состояний рассматриваемой динамической системы. Знание области достижимости позволяет существенно упростить решение задачи оптимального программного управления, так как знание этого множества служит основой для разработки различных численных алгоритмов поиска её решения.

Способы построения областей достижимости можно разделить на две основные группы. Первая — построение точных областей достижимости, содержащих все допустимые фазовые состояния динамической системы, в которые она может быть переведена. Этого направления, например, придерживаются в работах [6; 9; 13], где область достижимости строится для особых классов динамических систем. Вторая группа — аппроксимационные методы, предполагающие значительное сокращение времени вычисления, однако дающие только приблизительное представление о множестве достижимости. Аппроксимационные подходы к построению областей достижимости в настоящее время получили широкое распространение и отражены в большом числе современных работ [см., например, 8; 11; 12].

В данной работе предлагается точный способ построения области достижимости фазовых состояний дискретной динамической системы на момент времени $t \in \overline{1,T}$, который основывается на общем рекуррентном алгебраическом методе, описанном в работе [9] и является его модификацией. Используемый метод в качестве вспомогательной задачи рассматривает описание границы выпуклой оболочки конечного множества в соответствующем конечномерном векторном пространстве.

1. Свойства областей достижимости управляемых линейных систем

На заданном целочисленном отрезке времени $\overline{0,T} = \{0, 1, \dots, T\}$ $(T > 0)$ рассматривается класс линейных управляемых систем, динамика которых описывается дискретным векторно-матричным рекуррентным соотношением вида

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t),\ t \in \overline{0,\ T-1}, \qquad (1)$$

где $x(t)$ — вектор состояния (фазовый вектор), $x(t) \in \mathbb{R}^n$;

$u(t)$ — вектор управляющего воздействия, $u(t) \in \mathbb{R}^p$;

$A(t)$ — матрица состояния системы, $A(t) \in \mathbb{R}^{n\times n}$;

$B(t)$ — матрица управления, $B(t) \in \mathbb{R}^{n\times p}$.

Считается, что вектор начального состояния и вектор допустимых управлений удовлетворяют заданным ограничениям:

$$x(0) = x_0 \in \mathbf{X}(0) \subset \mathbb{R}^n, \qquad (2)$$

$$u(t) \in \mathbf{P}(t) \subset \mathbb{R}^p, \qquad (3)$$

где множества $\mathbf{X}(0)$ и $\mathbf{P}(t)$ являются выпуклыми, замкнутыми и ограниченными многогранниками (с конечным числом вершин) в пространствах $\mathbb{R}^n$ и $\mathbb{R}^p$ соответственно.

Ставится задача: при заданных ограничениях (2), (3) определить множество всех возможных фазовых состояний $\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), T\right)$, в которое на финальный момент времени T может быть переведена управляемая система (1), то есть описать область достижимости рассматриваемой системы (1)–(3), которая определяется следующим образом [3; 9]

$$\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), T\right) = \Big\{x(T) \mid x(t) \in \mathbb{R}^n,\ x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t),\ t \in \overline{0,\ T-1},\ x(0) \in \mathbf{X}(0),\ u(t) \in \mathbf{P}(t)\Big\}. \qquad (4)$$

Под парой $\left(0, \mathbf{X}(0)\right)$ здесь понимается множество всех допустимых состояний системы на момент времени $t = 0$.

Область достижимости (4) можно рассматривать как естественное обобщение понятия решения рекуррентных уравнений (1), являющееся фундаментальной характеристикой управляемой системы и обладающее следующими основными свойствами [8; 9]:

1) область достижимости $\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right)$ является выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником с конечным числом вершин для каждого момента времени $t \in \overline{0, T}$, в силу линейности системы (1) и того, что многогранники ограничений на начальное состояние и управляющее воздействие также являются выпуклыми многогранниками с конечным числом вершин [9];

2) имеет место следующее равенство:

$$\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t+1\right) = \mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right), t+1\right),$$

где $\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right)$ — область достижимости на момент времени t, соответствующая паре $(0, \mathbf{X}(0))$. Это свойство получило название эволюционного (полугруппового) свойства.

2. Общий рекуррентный алгебраический методов построения областей достижимости

На основе полугруппового свойства областей достижимости в работах [6; 9] был разработан эффективный общий рекуррентный алгебраический метод построения областей достижимости для линейных дискретных управляемых систем. Построение области достижимости $\mathbf{G}(0, \mathbf{X}(0), T)$ в данном методе сводится к реализации построения последовательности одношаговых областей достижимости:

$$\mathbf{G}_+\left(t+1\right) = \mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}_+(t), t+1\right), \; t \in \overline{1, T-1}, \qquad (5)$$

где $\mathbf{G}_+(t) = \mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right)$ — область достижимости на момент времени t, соответствующая паре $\left(0, \mathbf{X}(0)\right)$, которая является выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником с конечным числом вершин в $\mathbb{R}^n$.

Таким образом, реализуя построение областей достижимости только на один шаг вперёд, можно получить финальную область достижимости (в терминальный момент времени), зависящую только от области достижимости на предыдущем шаге:

$$\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), T\right) = \mathbf{G}\left(T-1, \mathbf{G}_+(T-1), T\right).$$

Известно [5; 7; 9], что описание выпуклого многогранника можно осуществлять на основе описания всех его вершин или описания его опорных гиперплоскостей. В работах [6; 9] для построения последовательности (5) за основу взято описание как множества всех вершин каждой из одношаговых областей достижимости, так и его опорных гиперплоскостей.

Множество допустимых фазовых состояний $x(t + 1)$ рассматриваемой управляемой системы в момент времени $(t + 1)$, содержащее все вершины области достижимости $\mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}_+(t), t+1\right)$ на момент времени $(t + 1)$, соответствующей паре $\left(t, \mathbf{G}_+(t)\right) \in \overline{0, T-1} \times 2^{\mathbb{R}^n}$, строится согласно следующему общему рекуррентному алгебраическому методу [6; 9].

Шаг 1. Сформировать множество $\mathbf{\Gamma}_n(\mathbf{G}_+(t))$ всех вершин многогранника $\mathbf{G}_+(t)$.

Шаг 2. Сформировать множество $\mathbf{\Gamma}_p(\mathbf{P}(t))$ всех вершин многогранника $\mathbf{P}(t)$.

Шаг 3. Сформировать следующие множества:

$$\widehat{\mathbf{G}}_x(t+1) = \left\{\hat{x}(t+1) \in \mathbb{R}^n \mid \hat{x}(t+1) = A(t)x(t), \, x(t) \in \mathbf{\Gamma}_n(\mathbf{G}_+(t))\right\},$$

$$\widehat{\mathbf{G}}_u(t+1) = \left\{\hat{y}(t+1) \in \mathbb{R}^n \mid \hat{y}(t+1) = B(t)u(t), \, u(t) \in \mathbf{\Gamma}_p(\mathbf{P}(t))\right\},$$

$$\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1) = \left\{\hat{v}(t+1) \in \mathbb{R}^n \mid \hat{v}(t+1) = \hat{x}(t+1) + \hat{y}(t+1), \right.$$
$$\left. \hat{y}(t+1) \in \widehat{\mathbf{G}}_x(t+1), \, \hat{y}(t+1) \in \widehat{\mathbf{G}}_u(t+1) \right\},$$

здесь $\widehat{\mathbf{G}}_x(t+1)$ — множество, характеризующее свободное движение системы, $\widehat{\mathbf{G}}_u(t+1)$ — множество, характеризующее вынужденное движение системы, $\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)$ — сумма Минковского множеств $\widehat{\mathbf{G}}_x(t+1)$ и $\widehat{\mathbf{G}}_u(t+1)$, являющаяся множеством точек области достижимости, среди которых могут быть некоторые внутренние точки и все её вершины.

Шаг 4. Для сформированного дискретного множества точек

$$\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1) = \left\{\hat{v}^{(i)}(t+1)\right\}_{i \in \overline{1,m}} \subset \mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}_+(t), t+1\right) \qquad (6)$$

методами линейного математического программирования можно найти согласно [6; 9] множество $\mathbf{G}_+(t+1) = \left\{v^{(i)}(t+1)\right\}_{i \in \overline{1,k}}, (k \leqslant m)$ всех его вершин его выпуклой оболочки, которая является многогранником.

В силу того, что выполняется соотношение [9]:

$$\operatorname{conv}\left(\mathbf{G}_+(t+1)\right) = \mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}_+(t), t+1\right),$$

то вершины построенного множества $\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)$ составят множество всех крайних вершин искомой области достижимости $\mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}_+(t), t+1\right)$, являющейся выпуклым, замкнутым и ограниченным многогранником в $\mathbb{R}^n$.

3. Задача поиска всех крайних вершин области достижимости

В работах [6; 9], в которых приведено описание общего рекуррентного алгебраического метода построения областей достижимости линейных дискретных управляемых систем, согласно которому для решения задачи нахождения всех вершин множества (6) требуется использовать аппарат линейного математического программирования.

Рассматривается следующая оптимизационная задача: для фиксированного $i \in \overline{1, m}$ и набора переменных $\lambda_j, \; j \in \overline{1, m}, \; j \neq i, \;\; \lambda_j \in \mathbb{R}$ требуется решить задачу линейного математического программирования вида

$$f = \sum_j \lambda_j \to \min\ (\max)$$
$$\sum_j \lambda_j \hat{v}^{(j)}(t+1) = \hat{v}^{(i)}(t+1), \qquad (7)$$
$$\sum_j \lambda_j = 1,\ \lambda_j \geqslant 0.$$

Для решения задачи линейного математического программирования используется симплекс-метод с обратной матрицей [10].

Из [4; 7] известно, что для проверки совместности системы (7) достаточно рассмотреть только первый этап симплекс-метода, суть которого состоит в поиске опорного базисного допустимого решения, если такое существует. Для нахождения опорного базисного допустимого решения используется метод искусственного базиса [2].

На первом этапе симплекс-метода составляется симплекс-таблица (матрица *M)*, коэффициенты последней строки которой можно рассматривать как оценки замещения соответствующих столбцов [10].

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & b_1 & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & \cdots & b_2 & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & b_n & \cdots & a_{nm} \\ 1 & \cdots & 1 & \cdots & 1 \\ \sum_{k=1}^{n} a_{k1}+1 & \cdots & \sum_{k=1}^{n} b_k+1 & \cdots & \sum_{k=1}^{n} a_{km}+1 \end{bmatrix}, b_k \geqslant 0,\ k \in \overline{1,n}.$$

Столбец $b = \{b_k\}_{k\in\overline{1,n}}$ в матрице M соответствует координатам фиксируемой проверяемой точки $\hat{v}^{(i)}(t+1)$, остальные же столбцы $\hat{v}^{(j)}(t+1)$ соответствуют координатам точек $a^{(j)} = \{a_{kj}\}_{k\in\overline{1,n}},\ j \in \overline{1,m},\ j \neq i$.

Далее возможны два исхода решения задачи линейного математического программирования, а именно:

1. Базисное допустимое решение не найдено. Отсюда следует, что проверяемая точка, соответствующая вектору $\hat{v}^{(i)}(t+1)$, является выпуклой оболочкой множества $\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)$ и, следовательно, вершиной искомой области достижимости $\mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}_+(t), t+1\right)$.

2. Базисное допустимое решение найдено. В этом случае проверяемую точку можно представить в виде выпуклой комбинации базисных векторов B_i, $i \leqslant n+1$, откуда следует, что данная точка множества $\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)$, соответствующая вектору $\hat{v}^{(i)}(t+1)$, не является вершиной этого многогранника, являющегося выпуклой оболочкой этого множества, и, следовательно, не является вершиной области достижимости $\mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}_+(t), t+1\right)$.

Таким образом, решив m задач линейного математического программирования, мы найдём все вершины множества $\mathbf{\Gamma}_n\left(\mathbf{G}_+(t+1)\right)$, которые также будут являться вершинами области достижимости $\mathbf{G}\left(t, \mathbf{G}_+(t), t+1\right)$ динамической системы (1)–(3).

4. Модификация алгоритма поиска вершин области достижимости

Модификация алгоритма поиска выпуклой оболочки множества достижимости опирается на идеи алгоритма Divide-and-Conquer («разделяй и властвуй»), изложенные в работах [5; 14]. Данный алгоритм зачастую является основной альтернативой итерационным алгоритмам, примером которых является исходный рекуррентный метод, обеспечивая более быстрое решение.

Идеи «разделяй и властвуй» можно представить с помощью следующих последовательных шагов:

1) разделение задачи на подзадачи, как правило, меньшего размера;

2) решение каждой из подзадач (напрямую, если они достаточно небольшого объёма — иначе рекурсивно, разбивая на меньшие части);

3) объединение полученных решений подзадач.

Для реализации идей указанного метода в данной работе предлагается следующий пошаговый алгоритм, используя который можно определить все крайние точки области достижимости:

Из рассматриваемого исходного множества точек области достижимости $\widehat{\mathbf{G}}_+(t+1) = \left\{\hat{v}^{(i)}(t+1)\right\}_{i\in\overline{1,m}} \subset \mathbb{R}^n$ формируется рабочее множество точек $\mathbf{X} = \left\{x^{(i)}\right\}_{i\in\overline{1,m}}$ ($\mathbf{X} = \widehat{\mathbf{G}}_+(t+1)$).

Затем находится наименьший многомерный параллелепипед R со сторонами, параллельными координатным плоскостям, содержащий множество $\mathbf{X}$. Точки множества $\mathbf{X}$ сортируются в порядке увеличения их расстояния от центра многомерного параллелепипеда R на основании значений выражения

$$\delta^{(i)} = \max_i \left| \left\{ \frac{x_k^{(i)} - d_k}{r_k} \right\} \right|,\ k \in \overline{1,n},\ i \in \overline{1,m},$$

где d_k — вектор координат центра параллелепипеда R; r_k — вектор, компоненты которого являются длинами сторон параллелепипеда R; $|\cdot|$ — обозначение Евклидовой нормы.

На следующем этапе делается предположение о том, что первые $k+1$ точек отсортированного множества $\mathbf{X}_{\text{сорт}}$, наиболее отдалённые от центра параллелепипеда R, являются вершинами области достижимости. Учитывая это, данные точки перемещаются во множество точек претендентов $\mathbf{X}_{\text{пр}}$.

Для каждой оставшейся i-й точки отсортированного множества $\mathbf{X}_{\text{сорт}}$, начиная с первой точки $(i := 1)$, ищется решение задачи линейного математического программирования вида (7). Тогда если точка $x^{(i)}_{\text{сорт}}$ является вершиной многогранника $\mathbf{X}_{\text{пр}} \cup x^{(i)}_{\text{сорт}}$, то она помещается в множество точек претендентов $\mathbf{X}_{\text{пр}}$, иначе она исключается и не участвует в дальнейшей работе алгоритма. Таким образом, для проверки каждой точки множества $\mathbf{X}_{\text{сорт}}$ необходимо решить задачу линейного программирования значительно меньшего размера, чем та, которая предложена в [6; 9].

Как только в исходном множестве $\mathbf{X}_{\text{сорт}}$ не останется элементов, для каждой точки $x^{(i)}_{\text{пр}} \in \mathbf{X}_{\text{пр}}$ дополнительно в качестве проверки полученного результата

необходимо вновь решить задачу линейного математического программирования (7).

Действие алгоритм завершается после проверки всех точек множества $\mathbf{X}_{\text{пр}}$.

5. Компьютерное моделирование и проверка полученных результатов

Для проверки работы модифицированного рекуррентного алгоритма построения областей достижимости линейных дискретных динамических систем в программной среде Matlab 8.4 (R2014a) было проведено моделирование, где примером послужила линейная дискретная модель

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t),$$

в которой матрицы состояния и управления системы

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

а вектор начального множества состояний и вектор допустимых управлений представлены в следующем виде

$$x = (x_1, x_2, x_3) \in \mathbb{R}^3;\ x_1(0) = -0,2;\ \ x_2(0) = 0,2;$$

$$x_3(0) = 0;\ \ u = (u_1, u_2) \in \mathbb{R}^2;\ \ u_1 \in [-1, 1];\ u_2 \in [-1, 1].$$

Результаты моделирования построения областей достижимости для данной системы, проводимого на целочисленном промежутке времени $T = \overline{0, 6}$, представлены на рис. 1.

Для более полной оценки производительности алгоритмов также был проведён сравнительный анализ на примере задачи построения выпуклой оболочки для двух типовых видов конечных наборов точек (математическое ожидание $M_{1,2} = 0$, среднеквадратическое отклонение $\sigma_1 = 1$ и $\sigma_2 = 0,05$).

В табл. 1 и 2 представлены некоторые результаты численных расчётов областей достижимости с помощью общего рекуррентного алгебраического метода [6; 9] и его модификации.

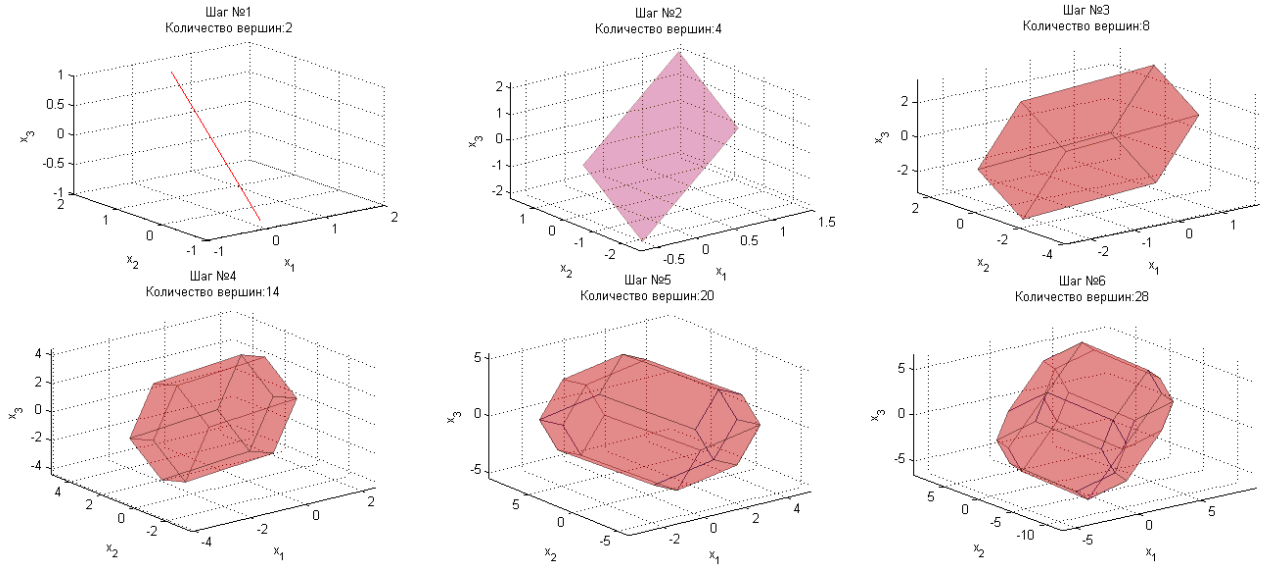


Рис. 1. Проекции выпуклых оболочек множеств точек на $\mathbb{R}^3$

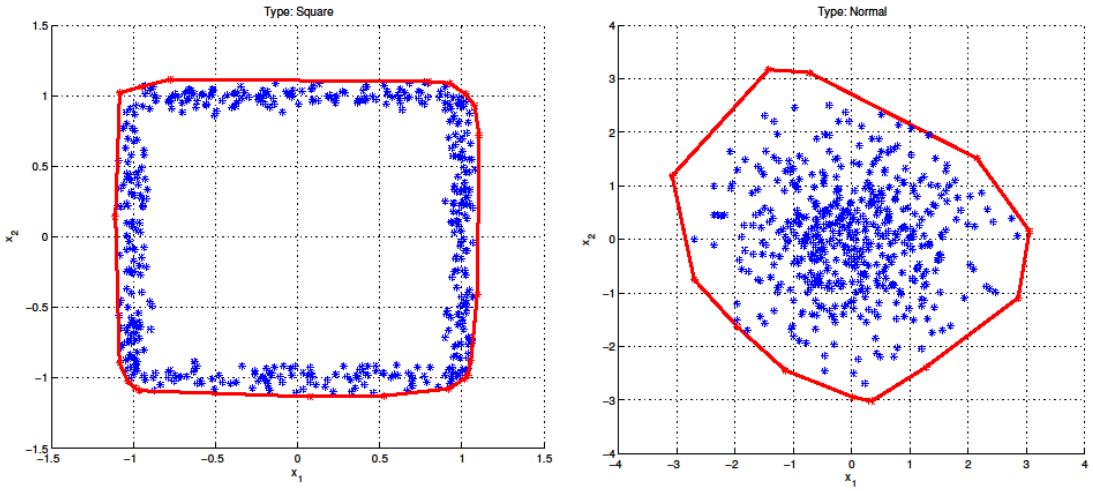


Рис. 2. Выпуклые оболочки типовых видов множеств в $\mathbb{R}^2$

Таблица 1

Результаты численного моделирования построения выпуклых оболочек для закона распределения типа «Normal»

Параметры сравнения		Длительность вычислений, с		Общее количество итераций симплекс-алгоритма		Число вершин
Размерность пространства	Количество точек	Рекуррентный алгоритм	Модификация	Рекуррентный алгоритм	Модификация	
$n = 3$	100	0,033	0,033	428	548	18
	500	0,167	0,097	2 120	2 360	29
	2 000	1,053	0,317	8 257	8 542	44
	5 000	5,153	0,732	20 385	21 021	54
$n = 5$	100	0,058	0,073	757	1 114	52
	500	0,285	0,244	3 960	5 612	133
	2 000	2,145	0,842	14 201	16 535	200
	5 000	10,341	2,208	35 403	39 054	292
$n = 7$	100	0,262	0,381	1 019	1 649	82
	500	0,378	0,948	6 055	9 352	251
	2 000	3,409	2,307	24 804	34 592	602
	5 000	15,974	5,937	57 758	73 620	863

Таблица 2

Результаты численного моделирования построения выпуклых оболочек для закона распределения типа «Square»

Параметры сравнения		Длительность вычислений, с		Общее количество итераций симплекс-алгоритма		Число вершин
Размерность пространства	Количество точек	Рекуррентный алгоритм	Модификация	Рекуррентный алгоритм	Модификация	
$n = 3$	100	0,053	0,061	521	713	46
	500	0,230	0,164	2 436	2 837	85
	2 000	1,146	0,517	9 011	9 400	94
	5 000	3,863	1,202	21 407	21 951	96
$n = 5$	100	0,058	0,085	801	1 333	91
	500	0,488	0,461	4 705	6 885	287
	2 000	2,707	2,243	19 584	25 515	645
	5 000	9,489	5.321	44 837	53 194	841
$n = 7$	100	0,069	0,089	898	1 605	100
	500	0,657	0,829	6 491	11 247	455
	2 000	4,589	5,655	31 522	49 735	1 421
	5 000	21,691	19,115	81 060	118 841	2 656

Из приведённых результатов видно, что модификация общего рекуррентного алгебраического метода [6; 9] за счёт сортировки исходного множества и решения задач линейного математического программирования значительно меньшей размерности позволяет существенно сократить время вычислений.

Заключение

В рамках данной работы описана модификация общего рекуррентного алгебраического метода построения областей достижимости линейных дискретных динамических систем [6; 9], относящаяся к классу точных методов, дающих описание всех допустимых фазовых состояний системы в заданный момент времени. Данная модификация основана на использовании идей алгоритма Divide-and-Conquer [5; 14] и направлена на уменьшение времени реализации вычислительного процесса.

В качестве численного эксперимента была рассмотрена задача построения точных областей достижимости для динамической системы 3-го порядка, описываемой линейными дискретными уравнениями. Отметим, что представленный алгоритм

сортировки очень действенен — лучшие кандидаты в крайние точки множества проверяются в первую очередь, и размер множества $\mathbf{X}_{\text{пр}}$ остаётся достаточно небольшим на протяжении всего вычислительного процесса. В результате применения изложенной модификации общего рекуррентного алгебраического метода удалось добиться поставленной цели и заметно сократить время, затрачиваемое на вычислительные операции.

Реализация построения областей достижимости осуществлена авторами в программной среде Matlab 8.4 (R2014a), где был разработан модифицированный рекуррентный алгоритм построения областей достижимости линейных дискретных динамических систем.

Библиографический список

1. Болтянский, В. Г. Оптимальное управление дискретными системами / В. Г. Болтянский. М. : Наука, 1973. 448 с.
2. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. 2-е изд., стер. М. : Наука, 1988. 206 с.
3. Красовский, Н. Н. Теория управления движением (линейные системы) / Н. Н. Красовский. М. : Наука, 1968. 476 с.
4. Пападимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц ; пер. с англ. В. Б. Алексеева. М. : Мир, 1985. 512 с.
5. Препарата, Ф. Вычислительная геометрия: введение / Ф. Препарата, М. Шеймос. М. : Мир, 1989. 478 с.
6. Тюлюкин, В. А. Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной динамической системы / В. А. Тюлюкин, А. Ф. Шориков // Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.
7. Черников, С. Н. Линейные неравенства / С. Н. Черников. М. : Наука, 1968. 488 с.
8. Черноусько, Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов / Ф. Л. Черноусько. М. : Наука, 1988. 320 с.
9. Шориков, А. Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах / А. Ф. Шориков. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. ун-та, 1997. 242 с.
10. Юдин, Д. Б. Линейное программирование (теория, методы и приложения) / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. М. : Наука, 1969. 424 с.
11. Girard, A. Reachability of uncertain linear systems using zonotopes / A. Girard // Hybrid Systems: Computation and Control. 2005. № 3414. P. 291–305.
12. Kurzhanskiy, A. A. Reach set computation and control synthesis for discrete-time dynamical systems with disturbances / A. A. Kurzhanskiy, P. Varaiya // Automatica. 2011. № 47. P. 1414–1426.
13. Lasserre, J. B. Reachable and Controllable Sets for Two-Dimensional, Linear, Discrete-Time Systems / J. B. Lasserre // J. of Optimization Theory and Applications. 1991. Vol. 70, №3. P. 583–595.
14. Pardalos, P. M. Linear Programming Approaches to the Convex Hull Problem in $\mathbb{R}^m$ / P. M. Pardalos, Y. Li, W. W. Hager // Computers Math. Applic. 1995. Vol. 29, № 7. P. 23–29.

Сведения об авторах

Горанов Александр Юрьевич — аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, инженер-конструктор отдела управления движением АО «НПО автоматики имени академика Н. А. Семихатова», Екатеринбург. goranovayu@mail.ru

Шориков Андрей Федорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

---

A. Yu. Goranov, A. F. Shorikov

MODIFIDIED GENERAL RECURSION ALGEBRAIC METHOD OF THE LINEAR CONTROL SYSTEMS REACHABLE SETS COMPUTATION

In this paper, problem of reachable set computation of the linear discrete-time controlled system is considered. It is supposed that controlled plant dynamics is described by the vector recurrence equation. It is assumed that the plant initial condition and its control parameters are constrained by the sets, which are convex, closed and limited polyhedrons with final number of vertices. The description of the modified method of reachable set computation is provided and the comparative analysis of the received results with an initial general recurrent algebraic method is made.

ББК К38
УДК 669.051

Е. А. Горбатова, Е. А. Емельяненко, М. В. Зарецкий

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Предложена методика построения нечёткологической системы поддержки принятия решений для определения количества перечистных флотаций в процессе обогащения медно-колчеданного рудного сырья.

Постановка проблемы. Основными задачами современного горно-обогатительного производства являются:

– максимально полное извлечение ценных компонентов из кондиционных и некондиционных руд, техногенного сырья;

– минимизация экологической нагрузки на окружающую среду;

– обеспечение экономической эффективности.

Очевидно, что требования к технологическому процессу, определяемые каждой из перечисленных задач, противоречивы. Поэтому наиболее приемлемое решение совокупности перечисленных задач является компромиссным. Выбор такого компромиссного решения осуществляется с помощью системы поддержки принятия решений (СППР), входящей в состав автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП).

Обзор литературы. Современная методология переработки медно-колчеданного сырья подробно рассмотрена в [1; 2]. Основными документами, регламентирующими характеристики медного и цинкового концентрата, являются стандарты [3; 4]. Методология разработки и применения баз знаний рассмотрена в [5; 6]. Онтологический подход к построению СППР изложен в [7]. Методология решения многокритериальных оптимизационных задач предложена в [8]. Методы разработки СППР для процессов переработки минерального сырья исследованы в [9; 10].

Создаваемая система поддержки принятия решений должна предлагать наиболее целесообразный вариант технологического процесса флотации.

Формализуем поставленную задачу на основе онтологической парадигмы. Следуя [7], рассмотрим онтологию следующего вида:

$$\text{Onto} = \langle C, Pr, V, I, R, A, D \rangle,$$

где C — множество классов;

R — множество отношений вида «быть экземпляром» и т. п.;

Rr — свойства классов;

V — значения свойств;

I — множество экземпляров класса;

A — множество аксиом;

D — множество алгоритмов вывода.

Рассмотрим компоненты указанной онтологии.

В данном случае рассматривается один класс:

C — технологический процесс флотации;

D — алгоритм проектирования технологического процесса флотации.

Свойства класса C:

$V\,Comp$ — множество извлекаемых ценных компонентов;

$Vaste$ — множество компонентов, являющихся отходами;

NSt — количество стадий технологического процесса;

St — множество стадий технологического процесса.

Каждая стадия технологического процесса имеет следующие характеристики:

$V\,Stprod$ — множество извлекаемых компонентов (идущих на переработку или являющихся товарными продуктами);

$V\,St\,Vaste$ — множество отходов;

$N\,Op$ — количество технологических операций;

Op — множество технологических операций.

Каждая технологическая операция имеет следующие характеристики:

$T\,Op$ — тип операций: механическая, физико-химическая;

$In\,Comp$ — список входящих компонентов в формате <код компонента> <список характеристик компонента> (для каждого компонента);

$Out\,Comp$ — список выходящих компонентов в формате <код компонента> <список характеристик компонента> (для каждого компонента).

Количество стадий технологического процесса является постоянным для каждого производства. На каждой стадии производится основная флотация и несколько перечистных флотаций.

При проведении основных флотаций продуктом, содержащим основную массу ценного компонента, является концентрат. Отходы данного процесса также содержат ценный компонент. Для его извлечения применяются перечистные флотации. Сырьём для первой перечистной флотации являются отходы основной флотации. Продукт первой перечистной флотации — перечистной концентрат. Он, в свою очередь,

является сырьём для следующих перечистных флотаций. В результате проведения перечистных флотаций повышается содержание ценного компонента в концентрате. При этом масса концентрата уменьшается, часть ценных компонентов уходит в отходы. Кроме того, проведение перечистных флотаций требует затрат ресурсов.

Таким образом, назначение количества перечистных флотаций на каждой из стадий технологического процесса переработки минерального сырья зависит от большого количества взаимосвязанных факторов, часть из которых плохо поддаётся формализации. Наиболее целесообразным, на наш взгляд, является проектирование алгоритмов вывода в нечёткологической парадигме.

Рассмотрим задачу на реальном примере.

На переработку поступает медная руда, содержащая 2,5 % меди в количестве 930 т/ч. Поступившая руда содержит 23,25 т меди.

Из первичного сырья извлекается концентрат медной головки (59,85 т), содержащий 23 % меди. Концентрат медной головки содержит 13,77 т меди.

Оставшаяся масса (хвосты медной головки) содержит 1,09 % меди (9,48 т). Хвосты медной головки поступают на основную медную флотацию. Кроме того, на основную медную флотацию поступает концентрат медной флотации с последующих операций. Концентрат основной медной флотации содержит 5,13 % меди (7,3 т).

Концентрат основной медной флотации поступает на первую медную перечистную флотацию. Кроме того, на первую медную перечистку поступают хвосты второй медной перечистки. Концентрат первой перечистной флотации содержит 7,32 % меди (8,42 т).

Концентрат первой медной перечистной флотации может быть направлен на вторую медную перечистную флотацию, после которой содержание меди будет повышено до 9,2 % (7,94 т).

После третьей перечистной флотации содержание меди будет повышено до 13,93 % (6,58 т).

После четвёртой перечистной флотации содержание меди будет повышено до 14,1 % (5,98 т).

Необходимо определить наиболее приемлемое в данных условиях количество перечистных флотаций.

Предлагаемое нами решение данной задачи основано на широко распространённом подходе Т. Саати [8].

В качестве критериев выберем:

– экономический;
– экологический;
– технологический [10].

Рассматриваем следующие варианты технологического процесса:

V_1 — одна перечистная флотация;
V_2 — две перечистные флотация;
V_3 — три перечистные флотация;
V_4 — четыре перечистные флотация.

По каждому из критериев были построены матрицы Саати:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 & 1/2 \\ 2 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 3 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix};$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/3 & 1/3 \\ 2 & 1 & 1/2 & 1/2 \\ 3 & 2 & 1 & 1/2 \\ 3 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix};$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}.$$

По процедуре, предложенной Т. Саати, были построены три нечётких множества, характеризующих приемлемость каждого из вариантов технологического процесса по каждому из критериев:

$$G_1 = \left(\frac{0,2882}{V_1}, \frac{0,4559}{V_2}, \frac{1}{V_3}, \frac{0,6774}{V_4} \right);$$

$$G_2 = \left(\frac{0,2574}{V_1}, \frac{0,4451}{V_2}, \frac{0,7042}{V_3}, \frac{1}{V_4} \right);$$

$$G_3 = \left(\frac{1}{V_1}, \frac{0,8267}{V_2}, \frac{0,7036}{V_3}, \frac{0,4134}{V_4} \right).$$

Найдём пересечение построенных нечётких множеств:

$$G = G_1 \cap G_2 \cap G_3 = \left(\frac{0,2574}{V_1}, \frac{0,4451}{V_2}, \frac{0,7036}{V_3}, \frac{0,4134}{V_4} \right).$$

Наибольшее значение функция принадлежности имеет для элемента V_3. Поэтому в качестве наиболее приемлемого выбран вариант с применением трёх перечистных флотаций.

Выводы. Предложена СППР для выбора наиболее целесообразного варианта проведения перечистных флотаций в процессе получения медного концентрата.

Библиографический список

1. Технологические решения при переработке медно-колчеданных руд / Р. А. Ягудин, Ю. Р. Ягудина, Е. А. Емельяненко // Горн. журн. 2014. № 7. С. 30–33.

2. Абрамов, А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твёрдых полезных ископаемых руд / А. А. Абрамов. М. : МГГУ, 2004. 311 с.

3. ГОСТ Р 52998-2008. Концентрат медный. Технические условия. М., 2008. 9 с.

4. ГОСТ Р 54922-2012. Концентраты цинковые. Технические условия. М., 2012. 29 с.

5. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. СПб. : Питер, 2000. 384 с.

6. Литвин, В. В. Технології менеджменту знань / В. В. Литвин. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 260 с.

7. Черняховская, Л. Р. Онтологический подход к разработке правил принятия решений в проектном менеджменте / Л. Р. Черняховская, А. И. Малахова // Информационные технологии и системы : тр. Второй Междунар. конф., Банное, Россия, 27 февр.— 3 марта 2013 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 111–114.

8. Saaty T. Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process: the Organization and Prioritization of Complexity / T. Saaty. Pittsburgh : RWS Publications, 2001. 370 p.

9. Горбатова, Е. А. База знаний автоматизированной системы технологической подготовки производства для переработки рудного сырья / Е. А. Горбатова, Е. А. Емельяненко, М. В. Зарецкий // Автоматизиров. технологии и производства. 2016. № 4 (14). С. 70–44.

10. Горбатова, Е. А. Онтологический подход к разработке гибридных экспертных систем в гидрометаллургии / Е. А. Горбатова, М. В. Зарецкий // Информационные технологии и системы : труды Третьей Междунар. конф., Банное, Россия, 26 февр.— 2 марта 2014 г. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 70–71.

Сведения об авторах

Горбатова Елена Александровна — доктор геолого-минералогических наук, доцент, заместитель заведующего минералогическим отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского, Москва. lena_gorbatova@mail.ru

Емельяненко Елена Алексеевна — кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. emv311@mail.ru

Зарецкий Марк Валентинович — доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. mark10000101@gmail.com

---

E. A. Gorbatova, E. A. Emelianenko, M. V. Zaretckii

INTELLIGENT DESIGN METHODS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF OF MINERAL RAW MATERIALS PROCESSING

The method of construction of fuzzy logical decision support system to determine the number of the cleaner floatation in the process of the beneficiation of copper-pyrite ore is proposed.

ББК 3811
УДК 004.056

В. В. Грибова, А. В. Иванова

УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ВЫБОРА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант 16-07-00340, программы «Дальний Восток»

Рассмотрены методы создания информационных ресурсов и их сопровождения на основе онтологий в системе выбора средств защиты информационных систем, реализованной как облачный сервис.

Ключевые слова: *информация, безопасность, облака, управление, онтологии.*

Введение

Область информационных технологий динамично и непрерывно развивается. Как следствие, технологии информационной безопасности реагируют на такое развитие появлением новые защитных механизмов, которые строятся на вновь полученных знаниях о методах атаки и защиты.

Знания в области информационной безопасности систематизируются в форме банков данных [1; 2], накапливаются на различных интернет-ресурсах в неструктурированном виде [3; 4], а также находят реализацию в современных программных и аппаратных защитных комплексах. И если программные и аппаратные защитные комплексы, как правило, имеют закрытый код и алгоритмы функционирования, то открытые информационные ресурсы в дальнейшем активно используются экспертами для решения задач информационной безопасности. Однако, как отмечено в [5], существует ряд проблем, связанных с привлечением экспертов для решения задач информационной безопасности для частных информационных систем. При создании открытых глобальных информационных ресурсов следует привлекать прежде всего заинтересованных в развитии ресурса специалистов: разработчиков программного обеспечения, известных экспертов и т. д. Это обеспечит экономию материальных затрат (производителям программного обеспечения выгодно рассказывать о своих средствах защиты; эксперты стремятся заработать публичную репутацию, в том числе через Интернет), а также исключит нехватку специалистов.

Несмотря на то что, при развитии глобальных информационных систем с возможностью коллективного доступа всех заинтересованных экспертов исключается проблема их нехватки, банков данных в области информационной безопасности всё ещё недостаточно [6], они не решают комплексных задач, а лишь являются вспомогательными при организации систем защиты.

Исходя из вышесказанного актуальной задачей является обеспечение систематизации и формализации данных и знаний из различных информационных систем в едином хранилище (банке знаний и данных). Указанные банки данных и знаний должны обеспечивать решение комплексных задач информационной безопасности, а также иметь средства (интерфейсы) взаимодействия с экспертами, которые будут понятны и доступны для них.

В данной статье на примере интеллектуальной системы выбора средств защиты [6], реализуемого на платформе IACPaaS [7], будут описаны методы создания и сопровождения информационных ресурсов с учётом выхода новейшей нормативно-методической справочной литературы в области информационной безопасности [8; 9].

Способ организации данных и знаний является универсальным и строится на основе онтологий. Это обеспечивает возможность включения экспертов в процесс создания и сопровождения информационных ресурсов, отсутствует необходимость вносить изменения в программный код при обновлении данных и знаний.

Основные принципы создания программного средства

Задача выбора средств защиты информационной системы состоит из нескольких взаимосвязанных этапов:

– этап паспортизации и классификации информационной системы;

– этап определения требований безопасности;

– этап выбора средств защиты.

На первом этапе создаётся паспорт информационной системы (ИС) и определяется её класс; по классу ИС формируется набор требований безопасности; третий этап на основе требований безопасности позволяет определить функции средств защиты, набор программных средств, в которых они реализованы, а также предоставить администратору набор рекомендаций по установке и настройке выбранного множества средств защиты информации.

Основными требованиями, которые необходимо обеспечить при реализации такой комплексной системы, являются: обеспечение гибкости и расширяемости системы без изменения её программного кода

(поскольку стандарты информационной безопасности постоянно изменяются), доступность, простота использования системы администраторами информационных систем, без необходимости пользоваться услугами специалистов по компьютерной безопасности. Исходя из этих требований предлагается использовать онтологический подход к формированию информационных ресурсов. Для обеспечения лёгкого, кроссплатформенного доступа как к пользовательским средствам, так и к средствам администрирования системы предлагается использовать облачные технологии. В качестве средства реализации применяется облачная платформа IACPaaS.

Методы создания информационных ресурсов на основе онтологий

Основными информационными ресурсами программного комплекса по выбору средств защиты являются базы данных (БД) и базы знаний (БЗ): БД «Характеристики пользовательской системы», БД «Объекты воздействия», БД «Возможные функции средств защиты», БД «Требования», БД «Средства защиты информации», БЗ «О классификации», БЗ «О рекомендациях», БД «Карточка информационной системы».

Базы данных и базы знаний строятся на основе онтологий. Базы знаний описывают зависимости между данными и ссылаются на элементы базы данных. Базы данных и базы знаний наполняются экспертами в предметной области через специальные веб-интерфейсы. Особенностью реализации информационных ресурсов на платформе IACPaaS является автоматическая генерация интерфейса редактора по онтологии. Формирование онтологий и генерация облачного сервиса с интерфейсом по онтологии являются системным сервисом платформы IACPaaS и не требует специальной адаптации к данной задаче. Пример скриншота онтологии «Функции средств защиты» представлен на рис. 1.

Сгенерированный по онтологии интерфейс эксперта для добавления новых возможных функций средств защиты информации представлен на рис. 2. Эксперту предлагается на основе анализа целевой литературы [8–11] создать класс функций безопасности, их подкласс либо внести информацию о функциях в уже существующие разделы.

Формальное описание информационного ресурса, с одной стороны, понятно экспертам предметной области для просмотра и редактирования, с другой — доступно для обработки программным системам, в отличие от неформализованного текста документа (рис. 3), описывающего аналогичную функциональность.

Детализированный фрагмент скриншота для добавления данных о подклассе изображен на рис. 4.

Он снабжен подсказками, имеется возможность добавления комментариев (к примеру информация о ссылке на пункт нормативно-методического документа). Поддерживается возможность редактирования и удаления добавляемых данных. Указанная функциональность генерируется автоматически по описанию онтологии.

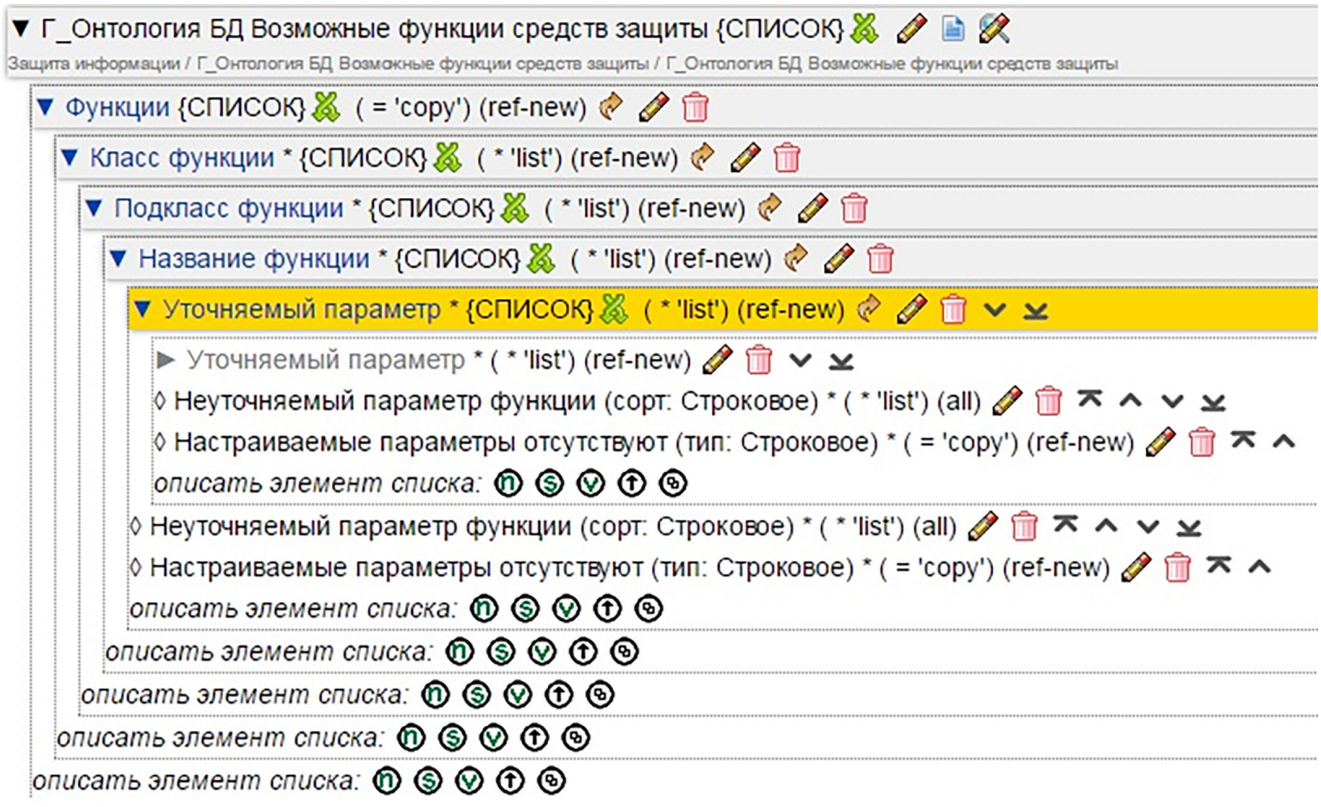


Рис. 1. Фрагмент скриншота онтологии БД «Функции средств защиты»

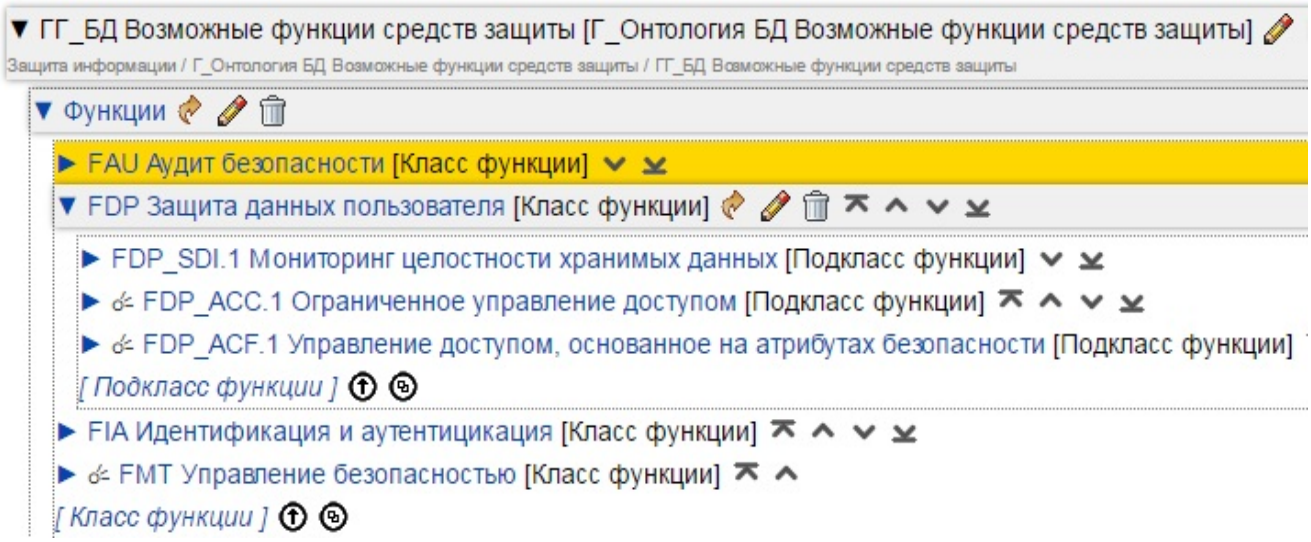


Рис. 2. Фрагмент БД «Возможные функции средств защиты информации» № 1

6.1.·Определение·расширенных·компонентов·функциональных·требований·безопасности·объекта·оценки¶

Для· МЭ· типа· «А»· определены· следующие· компоненты· функциональных требований безопасности, сформулированные в явном виде в стиле компонентов из национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2–2013 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 2. Функциональные компоненты безопасности» (расширенные (специальные) компоненты).¶

¶

6.1.1.·Экспорт·данных·из·МЭ·(семейство·FDP_ETC)¶

Ранжирование·компонентов¶

FDP_ETC_EXT.3 «Конфиденциальность данных функциональных возможностей межсетевого экрана при передаче информации от межсетевого экрана» обеспечивает маскирование наличия ОО способами, затрудняющими нарушителям его выявление.¶

- **FDP_ETC_EXT.3· Конфиденциальность· данных· функциональных· возможностей· межсетевого· экрана· при· передаче· информации·от·межсетевого·экрана¶**
- Иерархический для: нет подчиненных компонентов. ¶
- Зависимости: FDP_IFC.1 Ограниченное управление информационными потоками.¶

FDP_ETC_EXT.3.1¶

Функциональные· возможности· безопасности· МЭ· должны·

Рис. 3. Неформализованный текст документа

Все разработанные ресурсы могут быть использованы в других информационных ресурсах через механизмы организации ссылок, зависимого и независимого клонирования необходимых фрагментов.

Это позволяет не только систематизировать, но и обобщать информацию, собранную различными экспертами. Особенностью подхода, поддерживаемого платформой IACPaaS, является декларативное представление баз знаний в форме *иерархических семантических сетей* с возможными петлями и циклами. *Иерархичность* сетей означает, что вершина (узел) семантической сети может быть либо простой (не имеющей внутренней структуры, размеченной строками, числами и т. п.), либо некоторой другой семантической сетью (или её подсетью).

Для системы выбора средств защиты информационных сетей такой базой знаний являются знания о принадлежности информационной системы тому

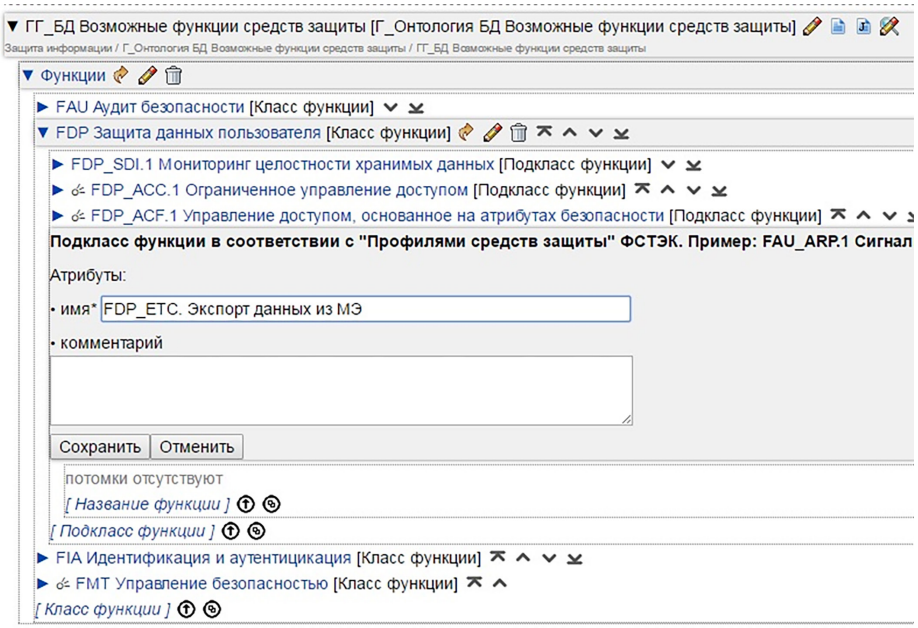


Рис. 4. Область добавления информации о подклассе возможной функции

Рис. 5. Фрагмент БЗ «О классификации»

или иному классу защиты (рис. 5). Также в базе знаний описаны требования безопасности информации, которые выражаются в виде набора необходимых к реализации функций. Правила классификации будут учитывать обновления информационных ресурсов при принятии решений относительно выбора средств защиты, выдачи рекомендаций об их установке.

Заключение

В работе описаны методы создания и сопровождения информационных ресурсов на основе онтологий для системы выбора средств защиты информационной системы. Система реализована на облачной платформе IACPaaS [7]. Описанное решение демонстрирует основные преимущества использования онтологий и единого интерфейса для наполнения банков информации экспертами: отсутствует необходимость изменения программного кода при обновлении ресурсов, эксперты формируют базы знаний и данных в понятных им терминах, базы знаний имеют декларативное представление. Реализация как системы выбора средств защиты, так и средств её создания и сопровождения как облачных сервисов обеспечивает возможность участия неограниченного количества заинтересованных экспертов и удалённого доступа при наполнении любых ресурсов платформы, расширяет географию пользователей системы.

Библиографический список

1. Банк данных угроз безопасности информации [Электронный ресурс] / ФСТЭК России, 2016. URL: http://www.bdu.fstec.ru/vul

2. National Vulnerability Database [Электронный-ресурс] / National Institute of Standarts and Technology. URL: https://nvd.nist.gov

3. Securitylab by Positive Technologies [Электронный ресурс] / Securitylab, 2017. URL: http://www.securitylab.ru/forum

4. Information Security Forum [Электронный ресурс] / Securitylab, 2017. URL: http://www.securitylab.ru/forum

5. Безопасность, разработка, DevOps [Электронный ресурс] / Gameland, 2017/ URL: https://xakep.ru

6. Концепция инструментального комплекса для построения системы защиты информационных систем / В. В. Грибова, А. В. Иванова // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016) : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–20 февр. 2016 г. / ред. кол. : В. В. Голенков. Минск : БГУИР, 2016. С. 45–50.

7. Gribova, V. V., Project IACPaaS.Complex for intelligent software based on cloud computing / V. V. Gribova, A. S. Kleshchev, D. A. Krylov // Artificial Intelligence and Decision Making. 2011. № 1. P. 27–35.

8. Профили защиты межсетевых экранов [Электронный ресурс] : документы по сертификации средств защиты информации и аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации : утверждены ФСТЭК России 12 сентября 2016 г. ФСТЭК России, 2017. URL: http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/120-normativnye-dokumenty

9. Профили защиты средств контроля съемных машинных носителей информации [Электронный ресурс] : документы по сертификации средств защиты информации и аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации : утверждены ФСТЭК России 1 декабря 2014 г. ФСТЭК России, 2017. URL: http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/120-normativnye-dokumenty

10. Gribova, V. V. Project IACPaaS.Complex for intelligent software based on cloud computing / V. V. Gribova, A. S. Kleshchev, D. A. Krylov // Artificial Intelligence and Decision Making. 2011. № 1. P. 27–35.

11. Профили защиты межсетевых экранов [Электронный ресурс] : документы по сертификации средств защиты информации и аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации : утверждены ФСТЭК России 12 сентября 2016 г. ФСТЭК России, 2017. URL: http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/120-normativnye-dokumenty

12. Профили защиты средств контроля съемных машинных носителей информации [Электронный ресурс] : документы по сертификации средств защиты информации и аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации : утверждены ФСТЭК России 1 декабря 2014 г. ФСТЭК России, 2017. URL: http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/120-normativnye-dokumenty

13. Профили защиты средств доверенной загрузки [Электронный ресурс] : документы по сертификации средств защиты информации и аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации : утверждены ФСТЭК России 30 декабря 2013 г. ФСТЭК России, 2017. URL: http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/120-normativnye-dokumenty

14. Профили защиты средств антивирусной защиты [Электронный ресурс] : документы по сертификации средств защиты информации и аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации : утверждены ФСТЭК России 14 июня 2012 г. ФСТЭК России, 2017. URL: http://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty-po-sertifikatsii/120-normativnye-dokumenty

Сведения об авторах

Грибова Валерия Викторовна — доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, Владивосток. gribova@iacp.dvo.ru

Иванова Анна Владимировна — аспирант, Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, Владивосток. strawberry_2004@list.ru

---

V. V. Gribova, A. V. Ivanova

INFORMATION RESOURCES MANAGEMENT IN A INTELLIGENT SYSTEM FOR CHOICE OF MEANS OF PROTECTION FOR INFORMATION SYSTEMS

The paper describes methods of information resources creation and maintenance based on ontologies in a system for choosing information-systems security, implemented as a cloud service.

ББК В253.33
УДК 533.096

О. Н. Дементьев

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ГРАНИЦ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КОНВЕКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАПЫЛЁННОГО ГАЗА

Приводятся результаты решения задачи об устойчивости стационарного конвективного течения запылённого газа в вертикальном слое с теплоизолированными границами и сопоставление с противоположным предельным случаем идеально теплопроводящих границ.

В работах [1; 2] рассматривалась задача об устойчивости конвективного движения запылённого газа в плоском вертикальном слое, ограниченном изотермическими плоскостями, нагретыми до разных температур. Численные результаты исследования устойчивости замкнутого стационарного конвективного течения между вертикальными параллельными плоскостями показывают, что в зависимости от числа Прандтля неустойчивость вызывается различными механизмами. Гидродинамические возмущения оказываются ответственными за неустойчивость при малых и умеренных числах Прандтля, а при больших числах неустойчивость имеет волновую природу и связана с нарастанием в конвективных потоках температурных волн. Приведённые в [1–3] численные результаты получены в предположении, что температурные возмущения на границах слоя чистой жидкости исчезают. Такие граничные условия соответствуют предельному случаю, когда теплопроводность границ гораздо больше теплопроводности жидкости. Если теплопроводности жидкости и граничащих с ней твёрдых массивов соизмеримы, то температурные возмущения проникают в массив. То есть возникает вопрос о влиянии относительной теплопроводности границ на устойчивость конвективного течения. Следует ожидать, что гидродинамический механизм неустойчивости должен быть мало чувствителен к тепловым свойствам массивов. Волновая же неустойчивость, связанная с нарастающими температурными волнами, может существенно зависеть от тепловых свойств массивов [4; 5]. Однако полученные в работе результаты показывают, что проникновение температурных возмущений в окружающие массивы оказывает слабое влияние на условия возникновения неустойчивости движения запылённого газа как гидродинамического, так и волнового типов. Это было обнаружено и для случая жидкости без примеси [5].

Представленные ниже результаты отвечают на вопрос о влиянии тепловых свойств границ на устойчивость конвективного течения запыленного газа. Для выяснения роли проникновения в граничные массивы тепловых возмущений на устойчивость достаточно рассмотреть предельный случай, когда теплопроводность жидкости значительно больше теплопроводности границ, то есть поставить граничное условие теплоизоляции.

1. Несжимаемый газ и примесь предполагаются взаимопроникающими и взаимодействующими друг с другом сплошными средами, взаимодействием между частицами пренебрегается. Взаимодействие между фазами при их относительном движении подчиняется закону Стокса. Объёмная доля частиц настолько мала, что можно пренебречь эйнштейновской поправкой к вязкости газа. Частицы предполагаются сферическими, недеформируемыми, одинаковой массы m и радиуса r; плотность материала частиц ρ_1 много больше плотности газа ρ. Уравнения свободной конвекции несжимаемого газа с твёрдой примесью в приближении Буссинеска [1; 3]:

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial \vec{u}}{\partial t}+(\vec{u}\nabla)\vec{u}=-\frac{\nabla p}{\rho}+\nu\Delta\vec{u}-\frac{a}{\tau_\nu}\left(\vec{u}_p-\vec{u}\right)+(1+a)\vec{g}\beta T,\\
&\frac{\partial \vec{u}_p}{\partial t}+\left((\vec{u}_p+\vec{u}_s)\nabla\right)\vec{u}_p=\frac{1}{\tau_\nu}\left(\vec{u}_p-\vec{u}\right),\\
&\frac{\partial T}{\partial t}+(\vec{u}\nabla)T=\chi\Delta T+\frac{ab}{\tau_t}\left(T_p-T\right),\\
&\frac{\partial T_p}{\partial t}+\left((\vec{u}_p+\vec{u}_s)\nabla\right)T_p=-\frac{1}{\tau_\nu}\left(T_p-T\right),\\
&div\,\vec{u}=0,\ \frac{\partial \rho_p}{\partial t}+div\left(\rho_p(\vec{u}_p+\vec{u}_s)\right)=0,\\
&\rho_p=mN,\ \tau_\nu=\frac{m}{6\pi r\rho\nu},\ \tau_t=\frac{mb}{4\pi r\rho\chi},\ a=\frac{\rho_p}{\rho},
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

где приняты следующие обозначения: $\vec{u}$ — скорость; T — температура; p — давление газа, отсчитываемое от гидростатического давления; ρ — плотность газа; β, ν, χ — коэффициенты объёмного расширения газа, его кинематическая вязкость и температуропроводность; $\vec{\gamma}$ — единичный вектор, направленный вертикально вверх; g — ускорение свободного падения. Величины с индексом «p» относятся к облаку частиц; C_1 — теплоёмкость материала частиц; N — число частиц в единице объёма; τ_v и τ_t — представляют собой соответственно: τ_v — время, необходимое для того, чтобы скорость частиц относительно газа уменьшилась в e раз по сравнению с её исходным значением;

τ_t — время, необходимое для уменьшения разности температур газа и частиц также в e раз.

2. Исследуем устойчивость стационарного конвективного течения газа с примесью в плоском вертикальном слое между параллельными изотермическими плоскостями $x = \pm h$, нагретыми до разных температур. Найдём стационарные распределения скоростей (кубический профиль скорости) и температур (линейный профиль) устанавливающегося плоскопараллельного течения в замкнутом слое:

$$T_0 = -x;\ u_0 = \frac{Gr}{6}(x^3 - x), N_0 = const, \qquad (2)$$
$$P = \frac{\nu}{\chi},\ Gr = (1+a)\frac{g\beta\Theta h^3}{\nu^2}.$$

Здесь и в дальнейшем в качестве единиц измерения расстояния, времени, скорости, давления и температуры выбраны соответственно: h, h^2/ν, ν/h, $\rho\nu^2/h$, Θ, где h — полуширина слоя жидкости, Θ — полуразность температур между границами слоя. P, Gr — числа Прандтля и Грасгофа.

На твёрдых границах слоя ставятся условия прилипания и теплоизолированности (тепловой поток через границы равен нулю)

$$x = \pm 1\text{:}\ u_0 = 0,\ T_0' = 0, \qquad (3)$$

кроме того используется условие замкнутости течения:

$$\int_{-h}^{h} u_0 dx = 0.$$

Для исследования устойчивости стационарного плоскопараллельного конвективного течения применим метод малых возмущений. Рассмотрим возмущённое течение $\vec{u}_0 + \vec{u}, \vec{u}_{p0} + \vec{u}_p, T_0 + T, T_{p0} + T_p, p_0 + p, N_0 + N$, где $\vec{u}$, $\vec{u}_p$, T_p, T, p, N — малые нестационарные возмущения. Подставляя возмущённые поля в исходную систему (1) и линеаризуя по $\vec{u}$, $\vec{u}_p$, T, T_p, p, N, получим систему уравнений для возмущений. В рассматриваемом случае среды, несущей твёрдые частицы, можно, как и в случае чистой среды [1; 4], показать, что задача об устойчивости относительно пространственных возмущений сводится к соответствующей задаче для плоских возмущений. При этом для вертикального слоя плоские возмущения более опасны, то есть им соответствуют меньшие критические числа Грасгофа. Далее будем считать возмущения плоскими ($u_y = 0$) и зависящими от вертикальной координаты z и времени по закону $e^{ik(z-ct)}$, где k — вещественное волновое число, c — комплексная скорость возмущений ($c = c_r + ic_i$). Исключая из уравнений для возмущений давление, а также скорость и температуру облака частиц и вводя функцию тока ψ соотношениями $u_x = -\partial\psi/\partial z$, $u_z = \partial\psi/\partial\psi$, получим безразмерные уравнения для амплитуд возмущений функции тока $\varphi(x)$ и температуры $\Theta(x)$:

$$\left(\varphi^{IV} - 2k^2\varphi'' + k^4\varphi\right) +$$
$$+ik\left(\varphi'' - k^2\varphi\right)(u_1 - c) + iku_1''\varphi - Gr\vartheta' = 0;$$
$$\frac{1}{P}(\theta'' - k^2\theta) + ik\vartheta(u_2 - c) - \qquad (4)$$
$$-ikT_0'\varphi\left\{1 + ab\Big/\left[(1 + ik\tau_v(u_0 - c))(1 + ik\tau_t(u_0 - c))\right]\right\} = 0;$$
$$u_1 = u_0 + \frac{a(u_0 - c)}{(1 + ik\tau_v(u_0 - c))},\ u_2 = u_0 + \frac{a(u_0 - c)}{(1 + ik\tau_t(u_0 - c))}.$$

Граничные условия

$$x = \pm 1 : \varphi = \varphi' = \Theta' = 0 \qquad (5)$$

(тепловой поток через границы не меняется при возникновении возмущений температуры).

Краевая задача (4), (5) определяет спектр характеристических возмущений и их декрементов c. Границы устойчивости течения находятся из условия $c_i = 0$.

Решение задачи находилось численно методом Рунге — Кутта — Мерсона с ортогонализацией векторов-решений по Грамму — Шмидту на каждом шаге интегрирования; ортонормирование проводилось к максимальному по модулю (на данном шаге) вектору-решению [6–7].

3. На основании проведённых расчётов можно утверждать, что гидродинамический механизм неустойчивости, приводящий к образованию стационарных вихрей на границе встречных потоков, мало чувствителен к тепловым свойствам массивов и в случае запылённой среды, то есть граница гидродинамической моды неустойчивости слабо зависит от числа Прандтля и близка к соответствующей границе в случае изотермических стенок. По сравнению со случаем идеально проводящих границ имеется уменьшение предельного числа Прандтля Pr_*, начиная с которого появляется волновая ветвь неустойчивости (экстраполяция даёт значение $Pr_* \approx 0{,}94$ вместо 11,4 для случая идеально проводящих границ). В пределе $Pr >> Pr_*$, как показывает асимптотическое рассмотрение [4; 8], в обоих случаях граничных условий имеет место предельный закон $Gr_m \approx 560/(Pr)^{1/2}$. Близки также критические значения волнового числа k_m для двух обсуждаемых вариантов граничных условий. При $P \to \mu$ расчёты дают общую с изотермическим случаем асимптотику (критические параметры не зависят от тепловых свойств стенок).

Граница волновой неустойчивости понижается, то есть уменьшается пороговое число Прандтля, при котором появляется волновая мода ($Pr_* \approx 0{,}94$). При $Pr \to \infty$ расчёты приводят к общей с изотермическим случаем асимптотике (критические параметры практически не зависят от тепловых свойств стенок).

Таким образом, расчёты показывают, что тепловые свойства границ слабо влияют на устойчивость конвективного течения запылённой среды

в вертикальном слое. В этом смысле следует подчеркнуть отличие от задачи об устойчивости равновесия подогреваемого снизу горизонтального слоя жидкости, где [3] имеет место весьма сильная зависимость границы устойчивости и формы возмущений от тепловых свойств граничных массивов.

Библиографический список

1. Дементьев, О. Н. Конвективная устойчивость среды, содержащей тяжёлую твёрдую примесь / О. Н. Дементьев // Приклад. механика и техн. физика. 1976. № 3. С. 105–115.

2. Дементьев, О. Н. Влияние конвекции на устойчивость движения жидкости с неравномерно распределенной тяжелой примесью / О. Н. Дементьев // Приклад. механика и техн. физика. 2000. Т. 41, № 5. С. 180–187.

3. Гершуни, Г. З. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости / Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкий. М. : Наука, 1972. 392 с.

4. Гершуни, Г. З. Устойчивость конвективных течений / Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкий, А. А. Непомнящий. М. : Наука, 1989. 320 с.

5. Гершуни, Г. З. О влиянии тепловых свойств границ на устойчивость конвективного течения в вертикальном слое / Г. З. Гершуни, О. Н. Дементьев, Е. М. Жуховицкий // Инж.-физ. журн. 1977. Т. XXXII, № 6. С. 1062–1064.

6. Беллман, Р. Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи / Р. Беллман, Р. Калаба. М. : Мир, 1968. 156 с.

7. Бетчов, Р. Вопросы гидродинамической устойчивости / Р. Бетчов, В. Криминале. М. : Мир, 1971. 351 с.

8. Липчин, А. Т. Влияние тепловых свойств границ на устойчивость конвективного течения в подогреваемом сбоку вертикальном слое. Конвективные течения / А. Т. Липчин, Н. И. Лобов. Пермь : Перм. гос. пед. ун-т, 1987.

Сведения об авторе

Дементьев Олег Николаевич — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной механики и информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. dement@csu.ru

---

O. N. Dementev

EFFECT OF THERMAL PROPERTIES OF BOUNDARIES ON STABILITY OF CONVECTIVE FLOW OF A DUSTY GAS

The results of a solution of the problem of the stability of steady-state convective flow of dusty gas in a vertical layer with thermally insulated boundaries and comparison with the opposite limiting case of ideally thermally conducting boundaries are presented.

ББК 3971.35
УДК 004.9

Ю. Ф. Долгий, Э. З. Зайнуллина, А. Н. Сесекин, О. Л. Ташлыков

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАВЕДЕНИЕМ МЕХАНИЗМА ПЕРЕГРУЗКИ ТОПЛИВНЫХ СБОРОК

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-08-01385,
и программы фундаментальных научных исследований, выполняемых в УрО РАН, проект № 15-16-1-8**

Предложен оптимальный по времени алгоритм управления механизмом перегрузки топливных сборок в реакторе при перестановке топливных сборок. Применение такого алгоритма будет способствовать сокращению времени остановки энергоблока для перегрузки топлива и, соответственно, повышению коэффициента использования установленной мощности блока АЭС.

Система перегрузки реактора БН-600 предназначена для перегрузки топливных сборок и состоит из совокупности узлов, обеспечивающих наведение механизма перегрузки на заданные координаты, захватывание, подъём, опускание и поворот сборок. На горловине корпуса реактора БН-600 расположены две поворотные пробки, меньшая из них расположена внутри большой пробки. На меньшей пробке размещён механизм захвата топливной сборки. Пробки, являющиеся крышкой реактора, выполняют роль тепловой и биологической защиты, а также осуществляют наведение механизма перегрузки на заданные координаты активной зоны с целью захвата топливной сборки и её перемещения в требуемую зону с заданными координатами [1]. В данной работе будет рассматриваться задача наискорейшего наведения захвата, расположенного на меньшей пробке, на заданную топливную сборку. Решение такой задачи будет способствовать уменьшению времени остановки энергоблока для выполнения операций по перегрузке топлива.

Математическая модель, описывающая динамику движения пробок. Механическая система состоит из двух поворотных пробок. Большая пробка — диск радиусом R_1, геометрический центр которого во время движения остаётся неподвижным. Большая пробка имеет эксцентричный круговой вырез радиуса R_2, внутри которого помещена малая пробка — диск радиуса R_2, центр масс которого совпадает с его геометрическим центром (рисунок). При описании взаимодействия пробок пренебрегаем силами трения. Движение механической системы является плоским. Осевые моменты инерции большой и малой пробок равны J_1 и J_2 соответственно, масса второй пробки равна m_2. Расстояние между геометрическими центрами большой и малой пробок (эксцентриситет) равен e_2. Для описания динамики рассматриваемой механической системы с двумя степенями свободы используем уравнения Лагранжа второго рода [2]. В качестве обобщённых координат выбираем угол поворота большой пробки — φ_1 и угол поворота малой пробки — φ_2 по отношению

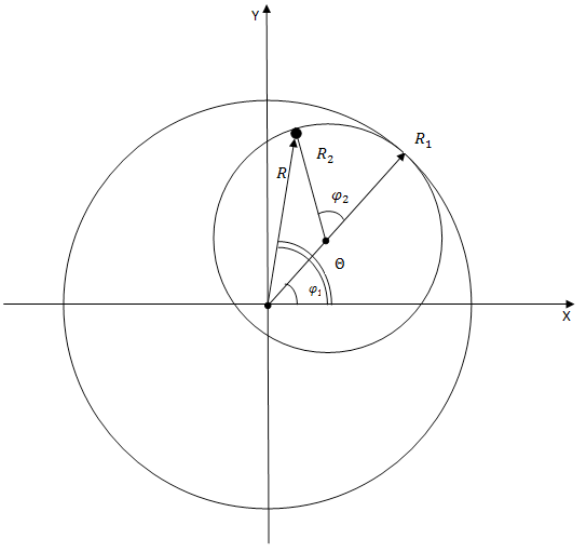


Схема поворотных пробок

к большой пробке. Обобщённые силы являются управляющими моментами u_1 и u_2, приложенными к большой и малой пробкам соответственно. Кинетическая энергия системы определяется формулой

$$T = \frac{1}{2}\left((J_1 + m_2 e_2^2)\varphi_1'^2 + J_2(\varphi_1' + \varphi_2')^2\right).$$

Математическая модель перегрузочного устройства описывается с помощью следующих уравнений Лагранжа второго рода:

$$(J_1 + J_2 + m_2 e_2^2)\varphi_1'' + J_2\varphi_2'' = u_1,\ J_2(\varphi_1'' + \varphi_2'') = u_2. \quad (1)$$

Управляющие моменты, приложенные к большой и малой пробкам соответственно, удовлетворяют ограничениям

$$|u_1| \le \mu_1,\ |u_2| \le \mu_2. \quad (2)$$

Разрешим уравнения движения относительно вторых производных φ_1 и φ_2. В результате получим

$$\varphi_1'' = a_1(u_1 - u_2),\ \varphi_2'' = -a_1 u_1 + a_2 u_2, \quad (3)$$

где

$$a_1 = \frac{1}{J_1 + m_2 c_2^2}, a_2 = \frac{J_1 + J_2 + m_2 c_2^2}{J_2 (J_1 + m_2 c_2^2)}. \quad (4)$$

Запишем систему (3) в нормальной форме:

$$\begin{aligned} \varphi_1' &= \omega_1, \ \omega_1' = a_1(u_1 - u_2), \\ \varphi_2' &= \omega_2, \ \omega_2' = -a_1 u_1 + a_2 u_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Координаты точки в неподвижной системе координат r и θ связаны с переменными φ_1 и φ_2 с помощью формул

$$R = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + R_2^2 - 2(R_1 - R_2) R_2 \cos(\pi - \varphi_2)}, \quad (6)$$

$$\theta = \varphi_1 + \arccos \frac{r^2 + (R_1 - R_2)^2 - R_2^2}{2(R_1 - R_2) r} sign \varphi_2. \quad (7)$$

Вспомогательная задача терминального управления. Задачу предельного быстродействия будем решать с помощью следующей вспомогательной терминальной задачи.

Рассмотрим функционал

$$\gamma(u) = \left\| x(\vartheta) - y^f \right\|, \quad (8)$$

где $x(t) = (\varphi_1(t), \omega_1(t), \varphi_2(t), \omega_2(t))^T$ — фазовый вектор управляемой системы (5), $y^f = (\varphi_1^f, 0, \varphi_2^f, 0)^T$ — целевая точка. Будем минимизировать функционал (8) на траекториях системы (5) при ограничениях на управления (2).

Для решения задачи минимизации критерия (8) на траекториях системы (5) воспользуется двойственными конструкциями из [3–5]. Согласно [5] величина оптимального результата в рассматриваемой задаче определяется следующим выражением:

$$\gamma^0 = \max \left\{ 0; \max_{l \in \partial L} \left[l^T (X(\vartheta) x^0 - y) + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \int_0^\theta \min_{u \in P} (l^T X(\vartheta - t) B u) dt \right] \right\}, \quad (9)$$

где через ∂L обозначена сфера единичного радиуса в R_4. Фундаментальная матрица системы (5) имеет вид

$$X(t) = \begin{pmatrix} 1 & t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Матрица B при управлении в системе будет, согласно (5), следующей:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ a_1 & -a_1 \\ 0 & 0 \\ -a_1 & a_2 \end{pmatrix}.$$

Тогда

$$X(t) B = \begin{pmatrix} t a_1 & -t a_1 \\ a_1 & -a_1 \\ -t a_1 & t a_2 \\ -a_1 & a_2 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Подставляя (10) и (11) в (9), получим

$$\gamma^0 = \max \left\{ 0; \max_{l \in \partial L} \left[l_1(\varphi_1^0 - \varphi_1^f) + l_3(\varphi_2^0 - \varphi_2^f) + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \int_0^\vartheta \min_{u \in P} (p_1(l,t) u_1 + p_2(l,t) u_2) dt \right] \right\}, \quad (12)$$

где

$$p_1(l,t) = ((l_1 - l_3)(\vartheta - t) + l_2 - l_4) a_1;$$

$$p_2(l,t) = (l_3 - l_1)(\vartheta - t) a_2 - l_2 a_1 + l_4 a_2.$$

Выбирая управления под интегралом в (12) из условия минимума, получаем формулу для оптимального результата:

$$\gamma^0 = \max \left\{ 0; \max_{l \in \partial L} \left[l_1(\varphi_1^0 - \varphi_1^f) + l_3(\varphi_2^0 - \varphi_2^f) - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \mu_1 \int_0^\vartheta | p_1(l,t) | dt - \mu_2 \int_0^\vartheta | p_2(l,t) | \right] \right\}. \quad (13)$$

Управления, доставляющие минимум в (12), будут иметь вид

$$u_1^0 = \begin{cases} \mu_1 & p_1(l,t) \le 0; \\ -\mu_1 & p_1(l,t) > 0; \end{cases} \quad u_2^0 = \begin{cases} \mu_2 & p_2(l,t) \le 0; \\ -\mu_2 & p_2(l,t) > 0. \end{cases}$$

Функции $p_1(l, t)$ и $p_2(l, t)$ являются линейными по t, поэтому оптимальные управления будут релейными не более, чем с одним переключением.

Задача предельного быстродействия. Для решения задачи быстродействия воспользуемся подходом, применявшимся, например, в [6]. Выберем монотонно возрастающую последовательность моментов окончания процесса управления $\{\vartheta_i\}$. В качестве решения задачи быстродействия берётся наименьший момент времени из последовательности $\{\vartheta_i\}$, для которого оптимальный результат (13) $\gamma^0 = 0$.

При моделировании использовались следующие значения параметров задачи: R_1 = 1,6 м, R_2 = 1 м, J_1 = 60260 кг · м², J_2 = 4500 кг · м², $a_1 = 0{,}72 \cdot 10^{-5}$ 1/кг · м², $a_2 = 3{,}2 \cdot 10^{-5}$ 1/кг · м², $m_1 = 142 \cdot 10^3$ кг, $m_2 = 81 \cdot 10^3$ кг, μ_1 = 1000 кг · м², μ_2 = 500 кг · м². Время предельного быстродействия ϑ^0 получилось равным 233 с. Значения вектора l для оптимального результата (–0,6; 0,1; –0,59; –0,52).

Библиографический список

1. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем : учеб. пособие : в 2 ч. Ч. 1 / А. И. Бельтюков, А. И. Карпенко, С. А. Полуяктов, О. Л. Ташлыков, Г. П. Титов, А. М. Тучков, С. Е. Щеклеин ; под общ. ред. С. Е. Щеклеина, О. Л. Ташлыкова. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 548 с.

2. Аппель, П. Теоретическая механика / П. Аппель, М. : Физматлит, 1960. Т. 2. 487 с.

3. Красовский, Н. Н. Теория управления движением / Н. Н. Красовский. М. : Наука, 1968. 476 с.

4. Красовский, Н. Н. Игровые задачи о встрече движений / Н. Н. Красовский. М. : Наука, 1970. 420 с.

5. Ченцов, А. Г. Простейшие задачи управления линейными системами / А. Г. Ченцов. Екатеринбург. УГТУ–УПИ, 2005. 97 с.

6. Куксенок, Л. В. Решение задачи предельного быстродействия управления движением плоского двухзвенного манипулятора / Л. В. Куксенок, С. В. Лутманов // Вестн. Перм. ун-та. Механика. Мат. моделирование. 2014. Вып. 3 (26). С. 28–33.

Сведения об авторах

Долгий Юрий Филиппович — доктор физико-математических наук, профессор, Уральский федеральный университет; ведущий научный сотрудник, Института математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения РАН, Еактеринбург.

Зайнуллина Эльвира Зуфаровна — студентка, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург.

Сесекин Александр Николаевич — доктор физико-математических наук, профессор, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; ведущий научный сотрудник, Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения РАН, Екатеринбург.

Ташлыков Олег Леонидович — кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. sesekin@list.ru

---

Yu. F. Dolgii, E. H. Zainullina, A. N. Sesekin, O. L. Tashlykov

OPTIMAL CONTROL GUIDANCE MECHANISM OF OVERLOAD FUEL ASSEMBLIES

The optimal time algorithm for congestion control mechanism of the fuel assemblies in the reactor at the interchange of the fuel assemblies is proposed. The application of this algorithm will help to reduce the radiation exposure of personnel in case of overload of nuclear fuel and reduce the time to stop power refueling.

ББК 3971.353
УДК 65.011.56:004.7

Г. Б. Загорулько, О. И. Боровикова

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ОНТОЛОГИИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСА ПО ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-07-00569) и Президиума РАН (проект II.2П/IV.39-1 «Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы»)

Рассматриваются проблемы разработки онтологии для информационно-аналитического интернет-ресурса по поддержке принятия решений. Обсуждаются как типовые проблемы, не зависящие от предметной области и назначения онтологии, так и проблемы, определяемые их спецификой. Основное внимание в статье уделяется специфическим проблемам.

Введение. При создании онтологии перед разработчиком встаёт ряд проблем. Некоторые из них являются типовыми. Они хорошо известны инженерам по знаниям, и для их решения предложено много способов. Другие проблемы возникают или решаются в зависимости от области знаний, описываемой онтологией, или области её использования.

В статье обсуждаются проблемы, с которыми авторы столкнулись при разработке онтологии для информационно-аналитического интернет-ресурса по поддержке принятия решений (ИАИР ППР). Данный ресурс — это система с веб-интерфейсом, которая содержит систематизированную информацию, относящуюся к области знаний «Поддержка принятия решений» (ППР), и предоставляет содержательный доступ к этой информации, методам её обработки, а также к методам решения типичных для данной области задач [1]. Онтология является концептуальной основой ИАИР ППР. Она служит для формализации и систематизации различных видов знаний, данных, средств обработки и анализа информации, интегрируемых в информационное пространство ресурса, а также для организации удобного содержательного и функционального доступа к ним.

ИАИР ППР разрабатывается с использованием технологии создания интеллектуальных научных интернет-ресурсов, предложенной в ИСИ СО РАН [2]. Эта технология предоставляет для создания онтологии методику и ряд базовых онтологий, что существенно упрощает этот процесс. Одной из основных проблем онтологического инжиниринга является проблема переиспользования онтологий, которая в настоящее время решается путём применения единого общепризнанного формализма. Упомянутая технология ориентирована на применение средств Semantic Web. В частности, онтологии разрабатываются на языке OWL в редакторе Protégé. Эти средства, помогая решать проблему переиспользования и многие другие проблемы разработки онтологии, создают новые, требующие своего решения.

На рис. 1 представлены проблемы разработки онтологии для ИАИР ППР. Они делятся на типовые и специфические. В данной статье типовые проблемы будут представлены кратко. Будет изложена их суть и даны ссылки на некоторые работы, в которых они обсуждаются. Более подробно будут описаны проблемы, для решения которых авторы использовали свои способы. Основное внимание будет уделено специфическим проблемам.

Типовые проблемы хорошо известны разработчикам онтологий. Эти проблемы приходится решать при создании практически любой онтологии. Они описаны в литературе, и для их решения предложено много способов. Можно выделить следующие типовые проблемы (рис. 1):

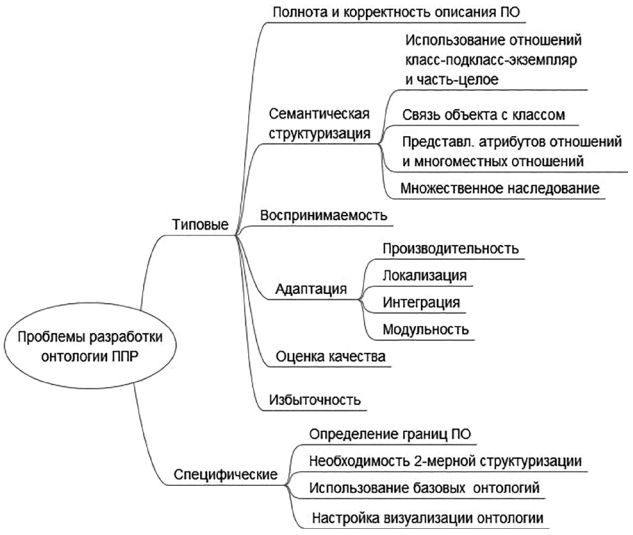


Рис. 1. Проблемы разработки онтологии

Полнота и корректность описания предметной области. Онтология должна описывать предметную область (ПО) в том объёме, который необходим и достаточен для её практической применимости. Для решения проблемы полноты используются методы сбора, анализа и структуризации

относящейся к описываемой ПО информации, представленные в [3].

Для решения проблемы корректности, в частности контроля непротиворечивости онтологии, используются машины вывода, интегрированные в редактор Protégé.

При определении объектов и задании значений их атрибутов (Data property) удобно использовать домены (перечислимые конечные множества допустимых значений) [4]. Введение доменов не только позволяет контролировать ввод информации, но и повышает удобство этой операции, позволяя пользователю выбрать значение атрибута из списка значений, заданных в домене. Так как в OWL для задания таких доменов нет специальных средств, домены задаются перечислимым классом, являющимся наследником класса «Домен», который, в свою очередь, является наследником класса «Служебный класс».

Семантическая структуризация. Семантическая структура онтологии задаётся с помощью отношений, среди которых особое место занимают отношения таксономии (класс — подкласс) и партономии (часть — целое).

Отношение таксономии задаёт каркас онтологии, позволяя строить иерархии понятий «общее—частное». Это отношение обладает свойствами наследования и транзитивности, на которых основывается логический вывод на онтологии. Проблемы построения таксономии возникают при наличии большого числа оснований для родо-видовой классификации, неочевидности необходимой степени детализации понятий, когда смешиваются классы и экземпляры. Нарушение принципов построения сбалансированной таксономии создаёт затруднения для субъективного восприятия онтологии. Проблемы создания, использования отношения «класс—подкласс» и способы их решения описаны в работах [3; 5; 6].

Отношение «часть—целое» также является транзитивным и используется для организации логического вывода. Проблемы, возникающие при его использовании, связаны с многообразием его видов, смешением этих видов, приводящих к нарушению свойства транзитивности [7].

Для описания научных предметных областей часто возникает необходимость задания различных отношений между объектом и классом. При этом возникает проблема интерпретации такой связи. Её наличие может означать, что либо объект связан с каждым объектом класса, либо существует некий объект класса, с которым связан данный объект.

Ещё одной проблемой, часто возникающей в научных областях, является потребность в представлении атрибутированных отношений между понятиями (объектами). Для этих целей, как правило, используются обычные бинарные отношения, снабжённые атрибутами, специализирующими связь между аргументами отношения. Так как в языке OWL нет возможности задания атрибутов для отношений, был предложен специальный паттерн [4], предусматривающий введение служебного класса «ОтношениеСАтрибутами». Для представления конкретного типа отношения вводится класс — его наследник, объект которого связывается с каждым аргументом атрибутированного отношения и с каждым атрибутом (их может быть несколько). Аналогичным образом строятся паттерны многоместных отношений.

Проблема множественного наследования является ещё одной проблемой, связанной с отношением «класс—подкласс». Язык OWL позволяет корректно задавать для класса несколько родительских классов. Редактор Protégé корректно отображает класс-наследник и родительские классы. Использование данного механизма повышает выразительные возможности онтологии, но затрудняет визуальное восприятие онтологии и нарушает ряд принципов «хорошей» онтологии [5].

Воспринимаемость. Для того чтобы онтология хорошо воспринималась человеком, она должна строиться с соблюдением принципов гештальт-психологии, описанных в [5].

Адаптация. При использовании существующих онтологий для построения новой онтологии или для решения новых задач возникают так называемые проблемы адаптации.

При расширении или реорганизации онтологии может встать вопрос её производительности. Для решения этой проблемы нужно соблюдать баланс избыточности и принцип модульной организации онтологии.

Проблемы локализации возникают при использовании онтологии на разных языках. Язык OWL и редактор Protégé содержат средства решения этой проблемы. Для каждого элемента онтологии (класса, атрибута или отношения) можно продублировать наименования на нескольких языках с указанием этих языков. Это делается с помощью свойства (annotation property) под названием label. Строковые значения атрибутов также дублируются на нескольких языках. При дальнейшем использовании такой онтологии можно работать, выбирая язык, на котором должны отображаться онтология, строиться запрос или формироваться ответ.

Если онтология разрабатывается с использованием готовых онтологий или их фрагментов, встаёт проблема их интеграции. Интегрируемые онтологии необходимо оценить, сравнить, произвести их выравнивание, слияние. Для решения этой проблемы разработано много методов и программных средств [8].

Модульность является важным принципом организации онтологии. Соблюдение этого принципа позволяет, с одной стороны, легко наращивать онтологии, а с другой, наоборот, выделять достаточные для решения конкретной задачи фрагменты, фокусируясь на понятиях этого фрагмента и увеличивая производительность онтологии. В работе [9] обсуждаются

вопросы модульности онтологий и описываются программные средства для её поддержки. Практические вопросы модульной организации онтологий поднимаются в работе [10].

При использовании готовых онтологий возникает проблема ***оценки их качества***. В работах [5; 11] обсуждаются принципы и метрики для оценивания онтологий.

Проблема ***избыточности*** возникает, когда информация, представленная в онтологии, дублируется. Избыточность может оказаться полезной для ускорения логического вывода, поиска нужной информации. Вместе с тем она способствует нарушению логической целостности и увеличивает объём онтологии. Виды и причины избыточности в онтологиях рассматриваются в работе [12].

Специфические проблемы — это проблемы, которые в каждом конкретном случае возникают или решаются в зависимости от области знаний, описываемой онтологией, или области её использования.

Определение границ предметной области является важнейшей проблемой начальных этапов разработки онтологии. На этом этапе собирается, изучается, анализируется доступная информация, определяются задачи и контекст использования будущей онтологии. Предметной областью описываемого ИАИР является «Поддержка принятия решений» (рис. 2).

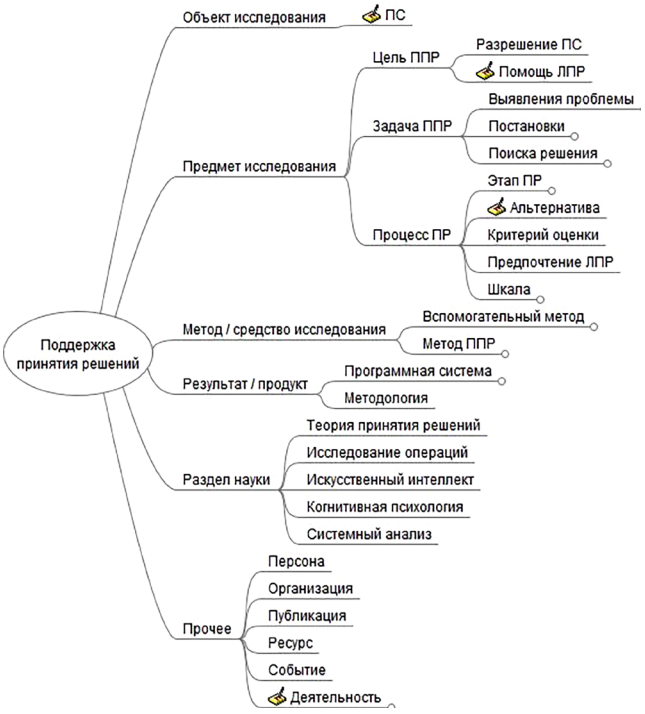


Рис. 2. Предметная область «Поддержка принятия решений»

Эта область рассматривается как расширение классической теории принятия решений (ТПР). Основным назначением ТПР является поиск и обоснованный выбор наиболее предпочтительных для человека вариантов решения проблемой ситуации (ПС). То есть в фокус исследований ТПР попадают методы, связанные с формированием, оцениванием и выбором лучших или просто приемлемых вариантов решения ПС, то есть с поддержкой лица, принимающего решения (ЛПР), на заключительных этапах принятия решений [13–16]. Описываемая предметная область, помимо перечисленных выше методов, рассматривает также и методы, применяемые на начальных этапах принятия решений. В работах О. И. Ларичева говорится, что в процессе принятия решений всегда переплетены наука и искусство, однако на начальных этапах научные методы не играют важной роли [15; 16]. Решаемые на этих этапах задачи не рассматриваются в рамках различных теорий выбора, поскольку они в основных своих чертах не формализованы и решаются благодаря навыкам и умениям консультанта и ЛПР. Однако результаты, достигнутые в области искусственного интеллекта, когнитивной психологии, системного анализа в последние 10–15 лет, позволяют привнести научную составляющую в ранее не формализуемые ОЗ. В рамках этих смежных научных дисциплин были разработаны подходы и методы, позволяющие структурировать предметные области, диагностировать ПС, анализировать объективные и субъективные факторы, находить варианты решения проблемы.

Наряду с понятиями, связанными с процессом принятия решений и методами его поддержки, ПО «ППР» рассматривает и вопросы, связанные с программной реализацией методов, а также с осуществляемой в её рамках деятельностью (см. рис. 2).

Необходимость двумерной структуризации онтологии. Основным назначением ИАИР ППР является предоставление своим пользователям доступа к информации, систематизированной на основе онтологии ППР, а также к методам её обработки и методам решения типичных для предметной области ресурса задач. Можно выделить несколько типов пользователей — ЛПР, инженеры знаний, программисты. Зачастую они сообща работают над решением общих задач. Каждый из них использует свою профессиональную терминологию и интересуется разными аспектами представленной на ресурсе информации. Особенно это касается понятий, связанных с разработкой и применением методов ППР. Чтобы все типы пользователей имели общую систему таких понятий, их описание было выделено в отдельную, устроенную особым образом онтологию задач и методов ППР. Данная онтология имеет так называемую вертикально-горизонтальную структурную организацию [17], что позволяет представлять интересующие понятия в двух измерениях. Первое измерение («вертикальная структуризация») представляется в виде традиционной иерархической структуры, на каждом уровне которой понятия, представляющие интерес,

описываются с разной степенью детализации. Второе измерение («горизонтальная структуризация») задаёт описание понятий с точки зрения разных типов специалистов, работающих над решением общей задачи. В качестве общего ядра, на котором строится вертикально-горизонтальная онтология задач и методов ППР, выступает метаонтология задач и методов ППР.

Использование базовых онтологий. Создание любой онтологии — это сложный творческий процесс. Наличие методик и базовых онтологий существенно упрощает и ускоряет его. Онтология ПО ППР описывает понятия, представленные на рис. 2. Являясь онтологией ИАИР, она строится, согласно методологии [2], на основе базовых онтологий научного знания, научной деятельности, задач и методов, научных информационных ресурсов путём дополнения и конкретизации содержащихся в них понятий [17].

Онтология ППР предназначена для использования в интернет-ресурсе. Она является концептуальной основой систематизации информации, представленной в ИАИР, играет роль семантического каталога и задаёт формы для визуализации понятий и объектов. При разработке ресурса была поставлена задача предоставления пользователям возможности настраивать отображение элементов онтологии и объектов при их показе. Использование языка OWL и редактора Protégé позволили задавать такие настройки при разработке онтологии и хранить их непосредственно в ней. Необходимый порядок атрибутов объекта при отображении на странице с его описанием задаётся для каждого класса при помощи специально введённого для этой цели свойства (annotation property) под названием order. Значением этого свойства является целое число. При визуализации информации, хранящейся на ресурсе, объекты могут представляться ссылками или краткими ссылками. Полные ссылки используются при отображении списка объектов заданного класса, краткие — при ссылке на объект со страницы с описанием другого объекта. Для полных ссылок выделено свойство link, для кратких — shortlink. Значениями этих свойств также являются целые числа, задающие порядок вхождения атрибутов или отношений объекта в ссылку или краткую ссылку [4].

Заключение. В статье описаны проблемы, с которыми столкнулись разработчики онтологии для информационно-аналитического интернет-ресурса по поддержке принятия решений. Бóльшая часть представленных проблем является типовой. Такие проблемы решаются при разработке практически любой онтологии. Подробно описаны специфические проблемы, связанные с предметной областью «Поддержка принятия решений» и предназначенностью разрабатываемой онтологии для использования в ИАИР.

Библиографический список

1. Загорулько, Г. Б. Подход к организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях / Г. Б. Загорулько, Ю. А. Загорулько // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016) : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–20 февр. 2016 г. / редкол. : В. В. Голенков [и др.]. Минск : БГУИР, 2016. С. 61–64.

2. Загорулько, Ю. А. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии / Ю. А. Загорулько, Г. Б. Загорулько, О. И. Боровикова // Програм. инженерия. 2016. Т. 7, № 2. С. 51–60.

3. Гаврилова, Т. А. Интеллектуальные технологии в менеджменте / Т. А. Гаврилова, Д. И. Муромцев. М. : Высш. шк. менеджмента, 2008. 488 с.

4. Загорулько, Ю. Построение тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов средствами Semantic Web / Ю. А. Загорулько, И. Р. Ахмадеева, А. С. Серый, В. К. Шестаков // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3–7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия) : в 3 т. Смоленск : Универсум, 2016. Т. 2. С. 47–55.

5. Гаврилова, Т. А. Оценка когнитивной эргономичности онтологии на основе анализа графа / Т. А. Гаврилова, В. А. Горовой, Е. С. Болотникова // Искусств. интеллект и принятие решений. 2009. № 3. С. 33–41.

6. Лукашевич, Н. В. Проблемы установления родовидовых отношений в лингвистических онтологиях / Н. В. Лукашевич // Знания — Онтологии — Решения : материалы Всерос. конф. (ЗОНТ-07). М., 2007. С. 211–220.

7. Лукашевич, Н. В. Подходы к описанию отношения часть-целое в онтологических ресурсах / Н. В. Лукашевич // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014) : материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 февр. 2014 г. / редкол. : В. В. Голенков [и др.]. Минск : БГУИР, 2014. С. 185–190.

8. Кудрявцев, Д. В. Практические методы отображения и объединения онтологий / Д. В. Кудрявцев // Труды 11-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-08). 29 сент.–3 окт. 2008, Дубна, Россия. М. : URSS, 2008. Т. 3. С. 164–173.

9. Боргест, Н. М. Антология онтологии [Электронный ресурс] / Н. М. Боргест // Репозиторий Самар. гос. аэрокосм. ун-та. 2010. URL: http://repo.ssau.ru/handle/Metodicheskie-ukazaniya/Antologiya-ontologii-Elektronnyi-resurs-elektron-podborka-nauch-st-53335

10. Привезенцев, А. И. Онтологическое представление количественной спектроскопии Научный сервис в сети Интернет / А. И. Привезенцев, А. Ю. Ахлестин,

Н. А. Лаврентьев, Н. Н. Лаврентьева, А. З. Фазлиев // Труды XVII Всероссийской научной конференции. 21–26 сент. 2015 г., Новороссийск. М. : ИПМ им. М. В. Келдыша, 2015. С. 332–339.

11. Шалфеева, Е. А. Классификация свойств онтологий. Свойства онтологий и их классификации / Е. А. Шалфеева // Науч.-техн. информ. Сер. 2. 2005. № 11. С. 9–16.

12. Кучеренко, Е. И. О проблемах выявления неполноты и избыточности информации в онтологическом пространстве / Е. И. Кучеренко, Д. А. Павлов // Приклад. радиоэлектроника. 2005. Т. 4, № 2. С. 175–179.

13. Петровский, А. Б. Теория принятия решений / А. Б. Петровский. М. : Академия, 2009. 400 с.

14. Афоничкин, А. И. Управленческие решения в экономических системах : учеб. для вузов / А. И. Афоничкин, Д. Г. Михаленко. СПб. : Питер, 2009. 480 с.

15. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах : учебник / О. И. Ларичев. М. : Логос, 2000. 296 с.

16. Ларичев, О. И. Наука и искусство принятия решений / О. И. Ларичев. М. : Наука, 1979. 200 с.

17. Загорулько, Г. Б. Разработка онтологии для интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях / Г. Б. Загорулько // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 4 (22). С. 485–500.

Сведения об авторах

Загорулько Галина Борисовна — научный сотрудник, Институт систем информатики им. А. П. Ершова Сибирского отделения РАН, Новосибирск. gal@iis.nsk.su

Боровикова Олеся Игнатьевна — младший научный сотрудник, Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН, Новосибирск. olesya@iis.nsk.su

---

G. B. Zagorulko, O. I. Borovikova

PROBLEMS OF ONTOLOGY DEVELOPMENT FOR INFORMATION-ANALYTICAL INTERNET RESOURCE ON DECISION-MAKING SUPPORT

The problems of the ontology development for the information-analytical Internet resource on decision-making support are considered. The typical problems which are independent of the subject domain and ontology application are discussed. The paper focuses on the specific problems conditioned by the “Decision-Making Support” knowledge area and the using of ontology in the Internet resource.

ББК 3971.353
УБК 65.011.56:004.7

Ю. А. Загорулько, Г. Б. Загорулько, В. К. Шестаков

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСА ПО ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-07-00569) и Президиума РАН (проект II.2П/IV.39-1 «Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы»)

Рассматривается подход к созданию информационно-аналитического интернет-ресурса по поддержке принятия решений, обеспечивающий информационную поддержку процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных областях. Этот ресурс, в частности, предоставляет содержательный доступ к систематизированным и описанным на основе онтологии методам поддержки принятия решений и их доступным реализациям.

Введение. Современные информационные системы довольно успешно решают задачу поддержки принятия решений в различных областях — от технических отраслей до финансов. Однако поддержка принятия решений в таких слабоформализованных областях, как медицина или образование, является пока ещё актуальной проблемой. Для её решения должны создаваться интеллектуальные системы поддержки принятия решений (ИСППР). Разработка таких систем является непростой задачей, поскольку современные инструментальные средства разработки СППР либо не применимы в слабоформализованных областях, либо малодоступны из-за высокой стоимости.

Одним из путей решения указанной проблемы, на наш взгляд, является обеспечение поддержки разработчиков ИСППР на всех этапах создания такого класса систем — от концептуального проектирования до реализации.

Концепция такой комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных областях предложена в Институте систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН [1; 2]. Она включает три вида поддержек: концептуальную, компонентную и информационную.

Концептуальная поддержка заключается в обеспечении всех групп специалистов, участвующих в разработке ИСППР (программистов, инженеров знаний, экспертов в предметной области), единой системой понятий. Согласно предложенной концепции этим целям служит онтология области знаний «Поддержка принятия решений в слабоформализованных областях» [3].

Компонентная поддержка играет важную роль на этапе реализации ИСППР. Её обеспечивает репозитарий методов ППР, предоставляющий непосредственный доступ к реализациям этих методов в виде сервисов.

Информационная поддержка состоит в снабжении разработчиков ИСППР всей необходимой информацией о конкретных методах поддержки принятия решений (ППР), о классах задач, решаемых этими методами, о возможностях и ограничениях каждого из них и др. Для организации такого вида поддержки и предназначен информационно-аналитический интернет-ресурс по поддержке принятия решений (ИАИР ППР), подход к разработке которого рассматриваются в данной статье.

Концептуальный базис информационной поддержки составляет онтология области знаний «Поддержка принятия решений в слабоформализованных областях» (ОЗ ППР). Именно на её основе собирается, систематизируется и описывается вся необходимая информация об области знаний ППР. Рассмотрим эту онтологию подробнее.

Онтология области знаний «Поддержка принятия решений в слабоформализованных областях» состоит из нескольких взаимосвязанных онтологий: онтологии научного знания о ППР, онтологии научной деятельности в ОЗ ППР, онтологии задач и методов ППР, онтологии научных информационных ресурсов ОЗ ППР.

Онтология научного знания содержит понятия и отношения, позволяющие задать типизацию объектов, предметов и методов исследования, описать результаты научной деятельности, выделить в рассматриваемой области значимые разделы и подразделы, установить её связь со смежными разделами науки.

Онтология научной деятельности включает базовые понятия, используемые для описания участников научной деятельности, публикаций, мероприятий, научных программ и проектов в рассматриваемой ОЗ.

Базовым понятием онтологии научных информационных ресурсов является интернет-ресурс. Объекты данного класса — это информационные и мультимедиаресурсы, базы данных, текстовые документы, сервисы, сайты, созданные для ОЗ ППР.

Онтология задач и методов ППР описывает понятия «Задача ППР» и «Метод ППР» в их тесной взаимосвязи. В ней выделены 5 основных групп методов ППР: методы моделирования, методы анализа

данных, экспертные методы, методы рассуждений, вспомогательные методы.

В разработанной онтологии представлены связи этапов принятия решений с решаемыми на этих этапах задачами и используемыми для их решения методами ППР, связи методов с реализующими их программными продуктами, связи продуктов с разработавшими их персонами и организациями, с описывающими их публикациями и интернет-ресурсами, предоставляющими к ним доступ.

Информационно-аналитический интернет-ресурс по поддержке принятия решений представляет собой доступную через Интернет информационную систему, интегрирующую и систематизирующую знания и информационные ресурсы области знаний «Поддержка принятия решений», а также обеспечивающую содержательный эффективный доступ к ним.

Как было сказано ранее, концептуальный базис ИАИР ППР составляет описанная выше онтология, которая, вводя формальные описания понятий ОЗ ППР, типов информационных ресурсов и методов поддержки принятия решений в виде классов объектов и отношений между ними, одновременно задаёт структуры для представления информации о реальных объектах моделируемой области знаний, интегрируемых информационных ресурсах и методах ППР. Данная информация хранится в контенте ИАИР ППР в виде семантической сети, типы информационных объектов и отношений которой определяются классами объектов и отношений онтологии.

Всем пользователям ИАИР ППР нужна прежде всего содержащаяся в его контенте информация об этапах, задачах и методах принятия решений. Ресурс предоставляет возможности высокоуровневого справочника, описывающего свойства и семантические взаимосвязи интересующих пользователя понятий. Важной особенностью ИАИР ППР, отличающей его от подобных ресурсов, является предоставление доступа не только к описаниям методов поддержки принятия решений, но и к их реализациям, хранящимся в репозитарии методов. Эта возможность поднимает эффективность и удобство использования ИАИР ППР на качественно новый уровень. Пользователь получает возможность непосредственно опробовать разные методы, а также получить доступ к их реализациям, которые он может использовать в создаваемых продуктах.

Онтология служит не только для систематизации и формализации знаний и информационных ресурсов, на её основе также организуются удобная навигация и содержательный поиск.

Пользователь может осуществлять навигацию по контенту ИАИР ППР, используя дерево понятий онтологии, построенное на основе отношения «общее—частное». При этом обеспечивается возможность выбора объектов любого понятия (класса) и их детального просмотра. Если в описании объекта содержатся ссылки на информационные ресурсы или веб-сервисы, он может просмотреть их описания и даже запустить.

При выборе некоторого класса в дереве понятий онтологии пользователю выдаётся список объектов выбранного класса, который отображается в виде html-страницы, содержащей набор ссылок на них. Информация о свойствах конкретного объекте и его связях также отображается в виде html-страницы (рис. 1). При этом объекты, связанные с данным, представляются на его странице в виде гиперссылок, по которым можно перейти к их детальному описанию.

На рис. 1 представлена страница пользовательского веб-интерфейса ИАИР ППР. В левой области страницы отображается дерево понятий онтологии, играющее роль каталога, поддерживающего навигацию по контенту ресурса. В правой области страницы представлено описание объекта «Метод недоопределённых вычислений», являющегося экземпляром понятия «Метод программирования в ограничениях», выбранного пользователем в дереве понятий. Данный объект представлен своими свойствами —атрибутами и отношениями. Все объекты, связанные отношениями с рассматриваемым объектом, представляются на его странице гиперссылками, по которым можно перейти на их собственные страницы. Так, отношение «Реализует Сервис Метод» связывает данный объект с объектом «WebUniCalc» класса «Проблемно-ориентированный сервис».

На рис. 2 показано описание сервиса WebUniCalc, предоставляющего доступ к решателю UniCalc [4], реализующему метод недоопределённых вычислений [5; 6]. Значением его свойства «URL» является гиперссылка, позволяющая запустить данный сервис.

Пользователю ресурса доступны два вида поиска в контенте ИАИР ППР: простой и расширенный.

Входом для простого поиска является строка, которая ищется по значениям атрибутов всех объектов, содержащихся в контенте. Результатом простого поиска является список подходящих объектов, рассортированных по классам онтологии. При каждом объекте из такого набора указывается сниппет — фрагмент текста, составленный из атрибутов объекта и их значений, содержащих искомую строку.

При расширенном поиске пользователю предоставляется возможность поиска объектов определённого класса, обладающих заданными свойствами. Такие запросы формулируются через специальный графический интерфейс, управляемый онтологией. Пользователь может выбрать понятие, к которому относится искомый объект, и задать ограничения, которым должны удовлетворять его свойства. При необходимости пользователь может задать ограничения на атрибуты объектов, связанных с искомым.

В заключение отметим, что представленный в статье ресурс предназначен для информационной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР

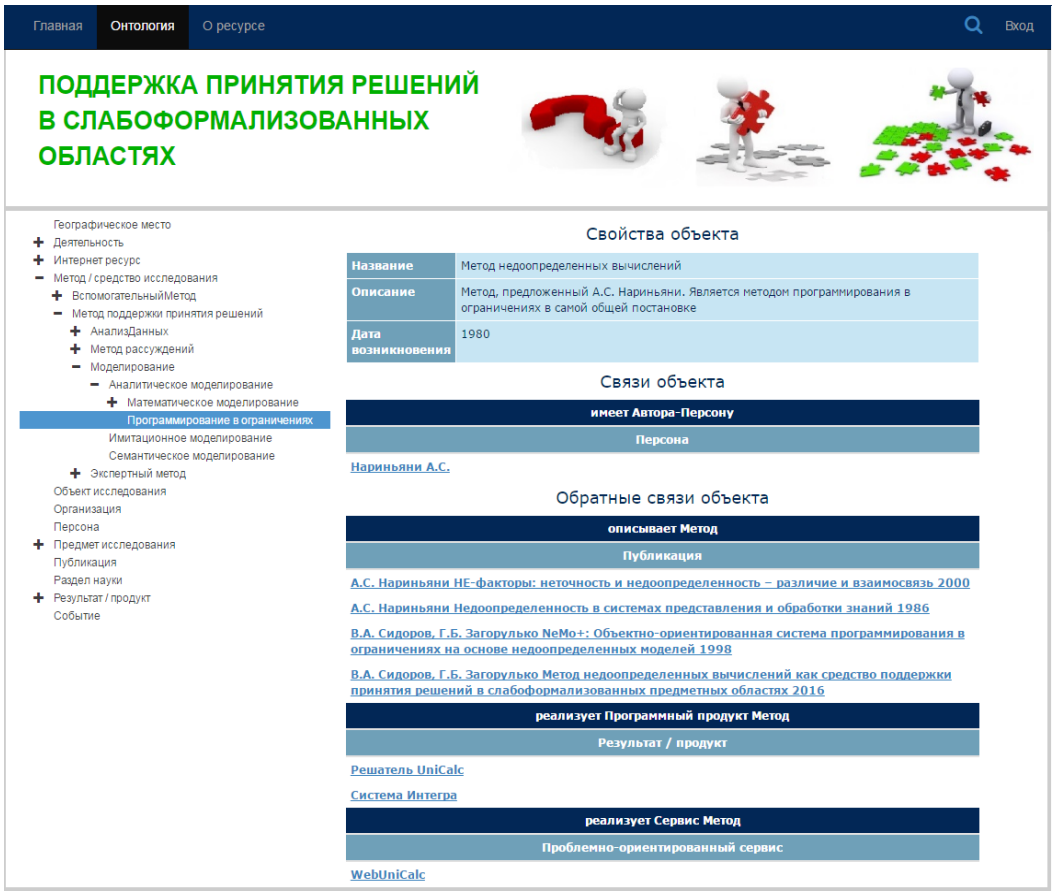


Рис. 1. Пользовательский интерфейс ИАИР ППР

Рис. 2. Описание сервиса, реализующего метод недоопределенных вычислений

в слабоформализованных областях. Он предоставляет доступ к систематизированной на основе онтологии информация об этапах, задачах и методах принятия решений, а также к информации о лицах и организациях, разрабатывающих и использующих данные методы. Важно также отметить, ИАИР ППР обеспечивает доступ не только к описаниям методов ППР, но и к их реализациям, хранящимся в репозитории методов.

Таким образом, разработанный ресурс может быть полезен следующим типам пользователей:

– разработчикам интеллектуальных СППР (программистам, системным аналитикам и инженерам знаний);

– лицам, принимающим решения (ЛПР);

– исследователям, разрабатывающим новые методы принятия решений;

– лицам, изучающим область знаний «Теория принятия решений».

При разработке ИАИР ППР использовались методология и компоненты технологии создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов [7; 8], базирующиеся на онтологическом подходе и средствах технологии Semantic Web [9]. В частности, для описания онтологий использовался язык OWL [10], для реализации пользовательского интерфейса — PHP фреймворк Yii [11], а в качестве хранилища

знаний и данных — RDF-хранилище Jena Fuseki [12], поддерживающее стандартный язык запросов SPARQL [13], логический вывод и редактирование данных.

Для облегчения и удобства реализации навигации по контенту ИНИР, поиска в нём и его редактирования был реализован программный интерфейс [8], обеспечивающий доступ к хранилищу данных в терминах понятий онтологии.

Библиографический список

1. Загорулько, Г. Б. Подход к организации комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях / Г. Б. Загорулько, Ю. А. Загорулько // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016) : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–20 февр. 2016 г. / редкол. : В. В. Голенков [и др.]. Минск : БГУИР, 2016. С. 61–64.

2. Загорулько, Ю. А. Проблемы комплексной поддержки процесса разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях / Ю. А. Загорулько, Г. Б Загорулько // Информ. и мат. технологии в науке и упр. 2016. № 3. С. 115–125.

3. Загорулько, Г. Б. Разработка онтологии для интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях / Г.Б. Загорулько // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 4 (22). С. 485–500.

4. Костов, Ю. В. Новый UNICALC: версия 5 — возможности и перспективы / Ю. В. Костов, Д. А. Липовой, П. Г. Мамонтов, Е. С. Петров // Труды 9-й Национальной конференции по искусственному интеллекту – КИИ-2004. Тверь, 2004. С. 915–922.

5. Нариньяни, А. С. Программирование в ограничениях и недоопределённые модели / А.С. Нариньяни, В. В. Телерман, Д. М. Ушаков, И. Е. Швецов // Информац. технологии. 1998. № 7. С. 13–22.

6. Загорулько, Г. Б. Метод недоопределенных вычислений как средство поддержки принятия решений в слабоформализованных предметных областях / Г. Б. Загорулько, В. А. Сидоров // Информац. и мат. технологии в науке и упр. 2016. № 4–1. С. 27–36.

7. Загорулько, Ю. А. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии / Ю. А. Загорулько, Г. Б. Загорулько, О. И. Боровикова // Програм. инженерия. 2016. Т. 7, № 2. С. 51–60.

8. Загорулько, Ю. А. Построение тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов средствами Semantic Web / Ю. А. Загорулько, И. Р. Ахмадеева, А. С. Серый, В. К. Шестаков // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с междунар. участием (КИИ-2016), 3–7 окт. 2016 г., Смоленск, Россия : в 3 т. Смоленск : Универсум, 2016. Т 2. С. 47–55.

9. Hitzler, P. Foundations of Semantic Web Technologies. / P. Hitzler, V. Krötzsch, S. Rudolph. Chapman & Hall/ CRC, 2009. 455 p.

10. Antoniou, G. Web Ontology Language: OWL / G. Antoniou, F. Harmelen // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer Verlag, 2003. P. 67–92.

11. Yii PHP Framework. URL: http://yiiframework.com

12. Fuseki: serving RDF data over HTTP. URL: http://jena.apache.org/documentation/serving_data

13. SPARQL Query Language for RDF. W3C Recommendation 15 January 2008. URL: http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/SPARQL

Сведения об авторах

Загорулько Юрий Алексеевич — кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Институт систем информатики им. А. П. Ершова Сибирского отделения РАН, Новосибирск. zagor@iis.nsk.su

Загорулько Галина Борисовна — научный сотрудник, Института систем информатики им. А. П. Ершова Сибирского отделения РАН, Новосибирск. gal@iis.nsk.su

Шестаков Владимир Константинович — младший научный сотрудник, Институт систем информатики им. А. П. Ершова Сибирского отделения РАН, Новосибирск. shestakov@iis.nsk.su

---

Yu. A. Zagorulko, G. B. Zagorulko, V. K. Shestakov

APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF INFORMATION-ANALYTICAL INTERNET RESOURCE ON DECISION SUPPORT

The approach to the creation of information-analytical Internet resource on decision support, providing information support of the development of intelligent DSS for weakly formalized domains. This resource, in particular, provides content-based access to both decision support methods and their available implementations systematized and described on the basis of ontology.

ББК 3973.132
УДК 004.056

А. А. Захаров, И. Г. Захарова

СОВРЕМЕННЫЕ СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАЗВИТИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Представлен опыт использования заданий, опирающихся на реализацию совместных практико-ориентированных проектов, в модуле «Сетевые технологии» для программ специалитета и бакалавриата направления «Информационная безопасность». Задания имеют различный уровень сложности: от проектирования локальной сети малой фирмы до распределенной корпоративной сети. В дополнение к классическим заданиям по сетевым технологиям проекты включают решение вопросов безопасности, масштабируемости и отказоустойчивости с учётом наличия в сети «Интернет вещей».

Прежде чем описывать предлагаемый подход к развитию профессиональных компетенций студентов, обучающихся современным сетевым технологиям и их защите, уточним наше видение понятий *компетенция* и *компетентность*.

Существовавшая ранее как критерий результата образования парадигма «ЗУН» [1] включала иерархии знаний, умений и навыков, а также методов, технологий и методик их формирования, контроля и оценки. *Знание* — система представлений и понятий о явлениях и предметах окружающей нас действительности, коллективный опыт людей, взятый в обобщённом виде, является необходимым условием приобретения определённых *умений* — т. е., способности применять на практике имеющиеся знания, тогда как *навык* — это действие, доведённое в процессе многократных повторений до известной степени автоматизма. Парадигма ЗУН принималась педагогическим сообществом и до сих пор поддерживается некоторой его частью. Но изменения целей современного образования, глобальная задача которого постулируется как обеспечение продуктивной адаптации выпускника вуза в социальном мире, трансформировало эту парадигму в компетентностный подход с базовыми понятиями *компетентность* и *компетенция*.

В Толковом словаре русского языка приводятся следующие определения [2]: «КОМПЕТЕНТНОСТЬ, и, мн. нет, ж. отвлеч. сущ. к *компетентный*. К. суждения. || Осведомлённость, авторитетность. К. в вопросах политики. КОМПЕТЕНЦИЯ, и, мн. нет, ж. (лат. competentia). Круг вопросов, явлений, в которых данное лицо обладает авторитетностью, познанием, опытом». Словарь иностранных слов 1933 г. определяет компетенцию как «круг полномочий какого-либо учреждения или лица», а большинство носителей русского языка и сейчас переводят компетенцию как полномочия совершать определённые действия. Какими *полномочиями* должен обладать студент? И как в этом смысле трактовать термин «ключевые полномочия»?

Если проследить историю появления понятия компетенции применительно к результатам образования, то содержание первого этапа образования, ориентированного на компетенции (competence-based education), формировалось в 1970-х гг. в США в общем контексте предложенного Н. Хомским в 1965 г. (Массачусетский университет) понятия «компетенция» применительно к теории языка, трансформационной грамматике. Как отметил Н. Хомский [3], «мы проводим фундаментальное различие между компетенцией (знанием своего языка говорящим — слушающим) и употреблением (реальным использованием языка в конкретных ситуациях». Второй этап (1970–1990 гг.) характеризуется использованием категорий «компетенция/компетентность» в теории и практике обучения языку (особенно неродному), а также профессионализму в управлении, руководстве, менеджменте, в обучении общению. Тогда же разрабатывается содержание понятий «социальные компетенции/компетентности». В отечественном педагогическом лексиконе эти термины появились не как результат саморазвития, а были заимствованы из зарубежной педагогической литературы, где слово competence употребляется в том числе во множественном числе, что и отразилось в не очень качественных отечественных переводах.

Подробный анализ процессов становления понятий «компетенция/компетентность» как новой парадигмы результата образования представлен в работах А. Хуторского, И. А. Зимней, А. Н. Дахнина [1; 5; 6]. Можно констатировать, что, получив своё интенсивное развитие в середине прошлого столетия, понятие компетентности до сих пор является камнем преткновения для отечественных и зарубежных исследователей. Возможно, компетенции и компетентности в дальнейшем и опишут сложную структуру ожидаемых результатов познавательной деятельности студентов и привнесут инновационный характер в развитие содержания высшего образования.

Отметим своеобразный подход к формализации компетенций, предложенный О. Н. Ярыгиным [4]

и выполненный в стиле общей модели безопасности информационной системы. Автор предлагает определять компетентность с помощью кортежа К =<Ω, Q, T, F, Ф>, состоящего из множеств:

– Ω — множество проблемных ситуаций;

– Q — множество проблем, решаемых данной компетентностью;

– T — множество решений;

– F — множество способностей, умений, методов, алгоритмов решения задач, а также других компетентностей, позволяющих перейти от Q к T;

– Ф — множество других компетентностей, расширяющих множество F.

Являясь некими условными символами, сами понятия *компетенция* и *компетентность* не связаны с реальными объектами, процессами или явлениями. С другой стороны, и создать универсальное определение, абсолютно истинное в любой области знаний, невозможно.

В данной работе мы считаем, что понятия «компетентность» и «компетенция» не содержат принципиально новых компонентов, не входящих в традиционные понятия «знание», «умение», «навыки», а исходим из профессиональных стандартов в области информационных технологий [7], где компетенции представлены перечнем знаний, умений, навыков, а также свойств личности, которые необходимы для успешной реализации должностных обязанностей на каждом квалификационном уровне. Применительно к свойствам личности выпускника, специализирующегося в области администрирования и защиты компьютерных сетей, мы считаем, что наша цель — помочь студенту чётко определить для себя, в каких именно направлениях ИКТ ему ещё придётся развиваться, чтобы почувствовать себя профессионалом и суметь получить признание специалистов, работающих, например, в телекоммуникационном бизнесе или разработке прикладного программного обеспечения. Иными словами, у студента должно появиться некое предвидение будущего в этой области бизнеса и понимание того, что здесь нужно бизнесу именно сейчас, а что будет необходимо в будущем.

В контексте вышесказанного, далее рассматривается вопрос освоения общекультурных, профессиональных и профессионально-специализированных компетенций в процессе изучения дисциплин, входящих в модуль «Сетевые технологии и их безопасность». Модуль включает следующие дисциплины: «Основы сетевых технологий» (108 часов, 1-ф семестр); «Основы маршрутизации и коммутации» (144 часа, 3-й семестр); «Построение масштабируемых и распределенных сетей» (144 часа, 4-й семестр); «Введение в безопасность корпоративных сетей» (108 часов, 5-й семестр); «Современные технологии защиты распределённых сетей» (144 часа, 6-й семестр). Курсы, входящие в модуль, охватывают вопросы организации сетей различного масштаба, начиная с основ и заканчивая сложными приложениями и службами. По всем дисциплинам модуля предусмотрены лабораторные работы, которые предоставляют возможность получения практического опыта и развития профессиональных навыков, необходимых для успешной работы системного администратора. Лабораторные работы выполняются как на сетевом эмуляторе Packet Tracer, так и на виртуальных машинах SGN с образами IOS и мультивендорной многопользовательской платформе UNetLab, что позволяет моделировать виртуальную сеть из маршрутизаторов, коммутаторов, устройств безопасности, запуская реальные операционные системы на виртуальных машинах.

Учебные программы дисциплин модуля построены по схеме «от простого к сложному» и с самого начала задают твёрдую теоретическую почву, на базе которой приобретаются практические навыки. Лекции содержат исчерпывающую информацию о принципах работы сетевых технологий — от описания сетевых приложений до протоколов и служб, которые предоставляются этим приложениям более низкими уровнями сети. Студенты обучаются разработке комплексной политики сетевой безопасности, конфигурированию систем предотвращения вторжений (IPS), настройке статических (site-to-site) VPN соединений, конфигурированию устройств локальной сети для контроля доступа, сопротивлению атакам, защите сетевых устройств и систем, а также поддержке целостности и конфиденциальности сетевого трафика.

Преподаватели курсов прошли обучение и аттестованы как инструкторы сетевой академии Cisco, что даёт им возможность использовать в процессе обучения профессионально ориентированные электронные материалы, включающие большое количество лабораторных работ, которые дают возможность с разных сторон взглянуть на изучаемые принципы и технологии. Доступ к материалам курса студенты могут получить, используя личный смартфон, планшетный ПК, ноутбук или настольный компьютер.

Таким образом, в структуре и содержании образовательных программ специалитета и бакалавриата по направлению «Информационная безопасность» обеспечивается необходимая подготовка в области сетевых технологий и их безопасности. Тем не менее всё вышеперечисленное не гарантирует должного профессионализма выпускника, а только создаёт необходимые условия его качественной подготовки, которые должны быть дополнены определёнными образовательными технологиями. В данном случае опыт показывает, что нужные результаты даёт специальная форма проектного подхода, интегрированного с приёмами «case study» [8]. Однако само «дело» выбирается не преподавателем, а студентами.

Кратко изложим суть подхода. Непосредственно с начала первого семестра студенты организуют

группы (2–4 человека), которые создают свою виртуальную фирму, занимающуюся системной интеграцией в области информационных технологий. Перед каждой группой ставится цель: разработать проект сетевой инфраструктуры, начиная с небольших условных компаний (у каждого проекта своя придуманная студентами компания), которые только начинают свой бизнес. Отметим, что степень условности компании определяет уровень проектной группы.

Далее каждая фирма-интегратор создаёт свой сайт-визитку, используя сервисы совместной разработки от Google (google site, google docs). Требуется, чтобы на сайте имелись: 1) ссылки на весь рабочий материал проекта, в том числе анализ бизнеса компании; 2) логическая и физическая топология сети; 3) таблицы Ipv4- и Ipv6-адресации для всех элементов сети; 4) файлы работающих прототипов на сетевых эмуляторах; 5) сметы на выполнение всех работ и поставку оборудования.

Основное требование к сайту состоит в том, что как только в дисциплинах модуля «Сетевые технологии и их безопасность» на лекциях и/или в лабораторных работах изучена та или иная технология, условная компания должна изменить бизнес так, чтобы эта технология стала востребованной. Например, после изучения беспроводных технологий должны быть добавлены гостевые сегменты сети, из которых пользователи-гости могут пользоваться только Интернетом. Когда студенты изучают дизайн корпоративных сетей, их условная компания должна организовать несколько филиалов в том же самом городе. Сеть станет корпоративной и, соответственно, «интеграторам» потребуется знание протоколов маршрутизации. При изучении распределённых сетей условная компания должна открыть филиалы в нескольких городах.

Необходимо с самого начала постулировать, что сетевые проекты нельзя создавать заново. Их масштабируемость должна быть заложена изначально и всё время поддерживаться. По каждому проекту этой развивающейся сети необходимо представить три разных по стоимости варианта — экономный, стандартный и улучшенный. При этом необходимо описать достоинства того ли иного варианта как с точки зрения качества обслуживания клиентов, так и с точки зрения защищённости информации. В случае если некие новшества после их внедрения уменьшают безопасность работы с информацией, то делаются изменения в проекте для поддержания должного уровня безопасности. Цены на оборудование должны быть реальными, со ссылками на источники.

Такой подход позволяет продемонстрировать готовность к ведению бизнеса, связанного с традиционными сетями, ориентированными на пользователей. Творческая часть сетевых проектов заключается в расширении функционала сети за счёт включения в проект объектов типа «Интернет вещей» (*Internet of Things, IoT*). Определение IoT звучит следующим образом: «Всемирная сеть взаимосвязанных объектов (сущностей), которые с целью предоставления и/или получения услуг в любое время, в любом месте могут создавать коммуникационный канал с любым другим объектом» [9–10].

Важно, что на этапе внедрения IoT у студентов возникает понимание того, что в современных сетях кроме *централизованного* подхода (и соответствующих архитектур), когда центральные объекты обрабатывают и предоставляют информацию, возможен и *распределённый* подход. В этом случае конечные сетевые устройства взаимодействуют между собой без участия центра (некий аналог социальных сетей). Для того чтобы оценить применимость и жизнеспособность распределённого подхода, студентам необходимо научиться исследовать преимущества и недостатки централизованной и распределённой архитектур. Причём изучать их нужно не только с точки зрения функциональных возможностей и стоимости внедрения, но и с учётом конфиденциальности, целостности и доступности информации. Студенты должны понять, что безопасность является важным фактором, который следует учитывать при принятии парадигмы IoT.

В случае централизованного подхода (*Centralized approach IoT*) такие сенсоры, как мобильные телефоны, радиационные или температурные датчики, датчики GPS координат легковых автомобилей и т. п., являются пассивными и их единственная задача — предоставить данные. Эти данные можно будет получить только из одного центрального объекта, который преобразовывает данные в информацию и поставляет её внешним клиентам. Если пользователи хотят воспользоваться услугами IoT, то они должны подключаться через Интернет к интерфейсам центрального объекта, который может быть реализован с помощью простого сервера или кластера устройств, образующих облако, а его интерфейсы могут предоставлять как необработанные, так и предварительно обработанные данных, что позволяет создавать достаточно сложные услуги.

Для группового подхода (*Collaborative approach IoT*) имеется несколько центральных объектов. Сети сбора данных, как и в предыдущем случае, ведут себя как пассивные объекты, а пользователи получают доступ к информации через интерфейсы центральных объектов. Главное отличие от централизованной архитектуры — соблюдение принципа сотрудничества центральных объектов, которые могут обмениваться данными и/или информацией друг с другом, создавая новые данные или услуги. Например, поставщики услуг, которые анализируют наличие свободных койко-мест в медицинском учреждении, могут создать и поддерживать карту свободных мест в городе. Однако отключение центрального объекта порождает проблемы с доступностью информации на всех нижних уровнях.

При использовании многосвязного подхода (*Connected approach IoT*) сети сбора данных, обрабатывая местную информацию, могут передавать её не только в свой центральный объект, но и локальным и удалённым пользователям. При этом отсутствуют механизмы, которые облегчают взаимодействие P2P между IoT с помощью онтологий, например, по типу таблиц маршрутизации в корпоративных сетях. В результате, информация в основном циркулирует внутри Интранета, а целостность информации в системе поддерживается центральным объектом. Например, для IoT больницы с получением доступа к центральному объекту станет доступна некая глобальная информация (например, общая занятость койко-мест по городу). Однако если какой-либо центральный объект отключается, то сервисы местных служб (например, записи пациентов в больнице) могут быть попрежнему доступны.

Для распределённого подхода (*Distributed approach IoT*) все объекты могут извлекать, обрабатывать, комбинировать и предоставлять другим объектам различную информацию. В [11–12] приведены примеры того, как такие сети, начиная от домашних персональных (PANS) IoT-сетей, развиваются до взаимосвязанных систем инфраструктуры «умного города». Движущей силой такой трансформации является предоставление услуги не только на местном уровне, но и сотрудничество для достижения общих целей. Отметим, что в рамках такой архитектуры легко внедряются и облачные сервисы, и хранилища данных. На примере электронного здравоохранения такая архитектура позволяет, например, IoT больницы взаимодействовать напрямую с IoT, расположенной в квартире пациента.

Таким образом, выбрав ту или иную архитектуру для внедрения IoT, студенты в первую очередь должны оценить бизнес-свойства своего проекта по следующим критериям [13]:

Открытость *(Openness)* — насколько сложно будет сторонним разработчикам добавлять свои сервисы, используя API, предоставленные разрабатываемой платформой для IoT.

Жизнеспособность (*Viability*) — этот критерий включает два фактора: бизнес-модель (насколько она жизнеспособна на рынке существующих технологий) и вендор (оценка долгосрочных рисков, связанных с конкретной компанией — поставщиком оборудования и программного обеспечения).

Надёжность (*Reliability*) — насколько выбранная архитектура является гибкой, чтобы обеспечить необходимый уровень доступности и производительности.

Масштабируемость (*Scalability*) — в рамках парадигмы IoT ожидается, что количество устройств и объём данных, получаемых и обрабатываемых этими устройствами, будут расти в геометрической прогрессии. То есть нужна оценка, с одной стороны, простоты расширяемости системы, а с другой — оценка стоимости такого расширения.

Функциональная совместимость (*Interoperability*) — все компоненты проектируемой IoT-платформы должны быть способны взаимодействовать друг с другом.

Управление данными (*Data Management*) — должно учитываться то, что IoT продуцируют данные (путём измерения и/или обработки). Соответственно, необходимо принимать определённые проектные решения о хранении и обеспечении доступа к данным.

В каждом проекте обязательно должен присутствовать раздел, связанный с безопасностью. Число векторов атак, доступных для злоумышленников при использовании IoT, может стать непредсказуемо большим. Это является следствием подключения к глобальной сети и ключевого догмата IoT: «возможность доступа, так или иначе, в любое время к любому объекту» [13]. Следовательно, проблема отказоустойчивости становится одной из важнейших.

Для оценки конфиденциальности, доступности и целостности информации в разрабатываемой системе IoT студентам предлагается в своих отчётах о проекте ответить на ряд вопросов, косвенно характеризующих их компетентность как специалистов по безопасности:

– Как и от кого (от чего) можно защитить коммуникации?

– Как управлять аутентификацией и контролем с учётом использования в проекте IoT?

– Как IoT сможет проверить, является ли пользователь локальным или удалённым? Например, в случае аварии все, кто рядом со мной, могут получить доступ к данным о группе крови, но только врачебный персонал может получить полную медицинскую информацию.

– Насколько защищены персональные данные пользователей и другая конфиденциальная информация, создаваемая и обрабатываемая IoT?

– Какова цена масштабируемости внедряемых технологий защиты информации в проектах?

– Какие криптографические алгоритмы смогут обеспечить необходимую пропускную способность даже для 8- или 16-битных устройств?

– Можно ли адаптировать или придётся создавать заново безопасные протоколы коммуникации IoT?

– Как обеспечить и поддерживать механизмы аутоинтефикации, без которых невозможны проверки подлинности и контроль доступа?

– С помощью каких механизмов и инструментов пользователи смогут сохранить свою анонимность в superconnected мире IoT и как им помочь избавится от предрассудка, что IoT контролируют их частную жизнь?

– Как защитится от DOS-атаки, осуществляемой с помощью глушения беспроводных коммуникаций?

Результаты внедрения предложенной образовательной технологии позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Студенты получают качественную подготовку для прохождения производственной практики, в частности, готовность не только предлагать адекватные решения технических проблем, но и обсуждать требования потенциального заказчика и представлять свои предложения на понятном языке.

2. Преподаватель может в динамике, уже в течение семестра, проверять усвоение материала как на уровне знаний, умений и навыков, так и на уровне формирования и развития реальной компетентности.

3. Студенты осознают тот факт, что разрабатываемый ими проект архитектуры и информационной защиты компании может не только привести к потере времени и денег, но и создать для компании более серьёзные проблемы. В итоге это позволит будущим специалистам оценить и значимость, и необходимость следования правилу «Шесть W» (who, what, where, when, how, why) [14] — то есть необходимости явного ответа на вопрос о том, кто, что, где, когда, как, почему будет использовать их технические и технологические решения.

Библиографический список

1. Хуторской, А. Ключевые компетенции как компонент личностно-ориентированной парадигмы образования / А. Хуторской // Нар. образование. 2003. № 2. С. 58–64.

2. Толковый словарь русского языка / сост. С. И. Ожегов и др. М. : ОГИЗ, 1936.

3. Хомский, Н. Аспекты теории синтаксиса / Н. Хомский. М., 1972.

4. Ярыгин, О. Н. Структура интеллектуальной компетентности и её тестирование / О. Н. Ярыгин // Вектор науки Тольят. гос. ун-та. 2011. № 2 (16). С. 410–413.

5. Дахнин, А. Н. Компетенция и компетентность: сколько их у российского школьника? / А. Н. Дахнин // Нар. образование. 2004. № 4. С. 136.

6. Зимняя, И. А. Ключевые компетенции — новая парадигма результата современного образования / И. А. Зимняя // Эйдос. 2006. № 5.

7. Профессиональные стандарты в области информационных технологий. М. : АП КИТ, 2008. 616 с.

8. Baxter, P. Qualitative case study methodology: Study design and implementation for novice researchers / P. Baxter, S. Jack// The qualitative report. 2008. Т. 13, № 4. С. 544–559.

9. CERP-IoT Cluster, Visions and Challenges for Realising the Internet of Things, European Commission, 2010.

10. Vermesan, O. Internet of Things Strategic Research Roadmap / O. Vermesan, P. Friess, P. Guillemin, S. Gusmeroli, H. Sundmaeker, A. Bassi, I.S. Jubert, M. Mazura, M. Harrison, M. Eisenhauer, P. Doody // Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, CERP-IoT, 2011.

11. Viehland, D. The future of personal area networks in a ubiquitous computing world, International / D. Viehland, F. Zhao // J. of Advanced Pervasive and Ubiquitous Computing. 2010. № 2 (2). P. 30–44.

12. Schaffers, H. Smart cities and the future internet: towards cooperation frameworks for open innovation / H. Schaffers, N. Komninos, M. Pallot, B. Trousse, M. Nilsson, A. Oliveira // The Future Internet, Lecture Notes in Computer Science. 2011. Vol. 6656. P. 431–446.

13. Roman, R. On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things / R. Roman, J. Zhou, J. Lopez // Computer Networks. 2013. Т. 57, № 10. С. 2266–2279.

14. Колисниченко, Д. Карьера программиста: Как устроиться на работу в Google, Microsoft или другую ведущую IT-компанию / Д. Колисниченко, Л. Г. Макдауэлл. СПб : Питер, 2013.

Сведения об авторах

Захаров Александр Анатольевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности, Тюменский государственный университет, Тюмень. a.a.zakharov@utmn.ru

Захарова Ирина Гелиевна — доктор педагогических наук, профессор, заведующая кафедрой программного обеспечения, Тюменский государственный университет, Тюмень. i.g.zakharova@utmn.ru

---

A. A. Zakharov, I. G. Zakharova

MODERN NETWORK TECHNOLOGY AND COMPETENCE DEVELOPMENT FOR THE UNDERGRADUATE INFORMATION SECURITY STUDENTS

The paper presents the experience of using project tasks, based on the collaborative practical projects, in the courses on Network Technology for the undergraduate programs “Information Security”. The tasks are provided different levels of difficulty: from local network design to distributed corporative network design. In addition to the classic tasks for network technology, they include security, scalability and fault tolerance issues with considering of IoT problems.

ББК 3972
УДК 001.57

В. И. Калёв, А. Ф. Шориков

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТОЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ ДОСТИЖИМОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОНОТОПОВ

Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 15-18-10014)

Рассматривается задача построения точной области достижимости линейной дискретной динамической системы. Для описания точной области достижимости предлагается использование особого класса выпуклых многогранников — зонотопов. Зонотопы обладают удобным свойством: они замкнуты относительно линейных преобразований и суммы Минковского. В статье предполагается, что множество начальных состояний и множество допустимых управлений описываются зонотопами. Приводится описание алгоритма построения точных зоноэдральных областей достижимости линейных дискретных динамических систем. Качество работы предложенного алгоритма построения областей достижимости сравнивается на нескольких численных примерах с качеством работы обобщённого рекуррентного алгоритмом, использующего для представления областей достижимости вершинное описание многогранников (V-многогранники).

Ключевые слова: *область достижимости, многогранники, зонотопы, линейная система, дискретная система, симплекс-метод.*

Введение

Задачи оптимального терминального управления динамическими системами с известными вероятностными характеристиками априори неопределённых параметров в настоящее время исследованы достаточно хорошо. Однако в действительности очень часто отсутствует какая-либо информация о вероятностных характеристиках априори неопределённого начального состояния многомерной системы [2]. Для организации управления сложными объектами с терминальным функционалом необходимо учитывать наличие такой неопределённости. Чтобы решить задачу управления, необходимо изучить динамику системы во временной области. Центральным понятием, возникающим в подобного рода задачах, является область достижимости — множество состояний, в которые динамическая система может быть переведена при использовании допустимого управляющего воздействия.

В данной работе предлагается алгоритм построения точных областей достижимости на момент времени $t \in \overline{1,T}$, использующий для их описания зонотопы — особый класс выпуклых многогранников (см. [5; 6]). При разработке алгоритма мы опирались на идеи, изложенные в работе [2], в которой описан алгоритм построения точных областей достижимости линейных дискретных динамических систем, использующий для их описания вершинное представление многогранников (V-polytope, V-многогранник) (см. также [8; 9]).

Данная работа организована следующим образом. В первую очередь приводится описание рассматриваемой динамической системы. Затем даётся математическое описание зонотопов. После этого, следуя идеям, изложенным в работе [2], мы демонстрируем новый алгоритм построения точных областей достижимости, использующий зонотопы. Наконец, результаты работы предложенного алгоритма построения областей достижимости сравниваются на нескольких численных примерах с обобщённым рекуррентным алгоритмом [2], использующим для представления областей достижимости вершинное описание многогранников.

1. Описание динамической системы

В данном разделе работы приводится математическое описание динамической системы (модель, ограничения и критерий качества), необходимое для постановки задачи оптимального терминального управления.

На заданном целочисленном промежутке времени $\overline{0,T} = \{0, 1, \dots, T\}$ $(T > 0)$ рассматривается класс линейных управляемых систем, динамика которых описывается дискретным векторно-матричным рекуррентным соотношением вида

$$x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \tag{1}$$

где $x(\cdot) \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния (фазовый вектор); $u(\cdot) \in \mathbb{R}^p$ — вектор управляющего воздействия; $A(\cdot) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ — матрица состояния системы; $B(\cdot) \in \mathbb{R}^{n \times p}$ — матрица управления; t — дискретный момент времени, $t \in \overline{0, T-1} = 0,1,\dots,T-1$.

Считается, что векторы начального состояния и допустимых управляющих воздействий удовлетворяют заданным ограничениям:

$$x(0) \in \mathbf{X}(0) \subset \mathbb{R}^n, \tag{2}$$

$$u(t) \in \mathbf{P}(t) \subset \mathbb{R}^p, t \in \overline{1, T-1}. \tag{3}$$

По поводу множеств $\mathbf{X}(0)$ и $\mathbf{P}(t)$ в дальнейшем будут сделаны некоторые предположения, пока же ограничимся тем, что они являются некоторыми

подмножествами пространств $\mathbb{R}^n$ и $\mathbb{R}^p$ соответственно.

В данной работе целью является разработка алгоритма построения областей достижимости и, таким образом, вид критерия качества не имеет большого значения. Поэтому будет достаточно рассматривать задачу оптимального терминального управления системой (1) с ограничениями (2) и (3), для которой необходимо минимизировать, например, функционал $\Phi : \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^{r\times(T-1)} \to \mathbb{R}$, характеризующий отклонение элементов вектора состояния $x(t)$ системы (1) в конечный момент времени T от их требуемых значений x^d:

$$\Phi = \left\| c,\ \left(x(T) - x^d \right) \right\|_n, \qquad (4)$$

где $x(T) = x\left(x(0), \{u(t)\}_{t\in\overline{1,T-1}}\right) \in \mathbb{R}^n$ — терминальное состояние объекта (4); x^d — желаемое терминальное состояние объекта (4); $c \in \mathbb{R}^n$ — вектор масштабных коэффициентов; $\|\cdot\|_n$ — евклидова норма в $\mathbb{R}^n$.

Таким образом, задача оптимального терминального управления может быть сформулированная следующим образом. Для линейной дискретной динамической системы (1)–(3) необходимо найти такую последовательность управлений

$$u^{(e)}(\cdot) = \left\{u^{(e)}(t)\right\}_{t\in\overline{1,T-1}} \in \mathbb{R}^{r\times T-1}, \forall t \in \overline{1,T-1} : u^{(e)}(t) \in \mathbf{P}(t),$$

которая переведет систему (1) к терминальному моменту времени T из начального множества состояний $\mathbf{X}(0)$ в такое конечное множество, для которого функционал (4) будет принимать наименьшее возможное значение.

Чтобы решить вышеуказанную задачу, необходимо знание области достижимости динамической системы. Следующие разделы посвящены формированию алгоритма построения областей достижимости.

2. Зонотопы: определения и свойства

Зонотопы — специальный класс выпуклых многогранников. Обычно, зонотопы определяют как линейное отображение гиперкуба в $\mathbb{R}^n$. Аналогично зонотоп является суммой Минковского конечного числа отрезков. В данной работе мы придерживаемся следующего определения:

Определение 1 (Зонотоп). *Зонотопом Z называется такое множество, что*

$$Z = \left\{ x \in \mathbb{R}^n : x = c + \sum_{i=1}^{i=p} x_i\, r_i,\ -1 \leqslant x_i \leqslant 1 \right\},$$

где c, $r_i,\ldots,r_p$ — векторы в $\mathbb{R}^n$. Далее зонотоп будем обозначать как $Z = \left(c, \langle r_1,\ldots,r_p \rangle\right)$.

Зонотоп $Z = \left(c, \langle r_1,\ldots,r_p \rangle\right)$ всегда является центрально симметричным, а точка $c \in \mathbb{R}^n$ является центром этого зонотопа. Векторы $r_i,\ldots,r_p$ называются векторами-генераторами (далее — генераторами) зонотопа Z. На рис. 1 изображено построение зонотопа с 3 генераторами в пространстве $\mathbb{R}^2$.

Зонотопы уже долгое время изучаются в комбинаторной геометрии [9]. В настоящее время зонотопы обычно используются для аппроксимации областей достижимости динамических систем с неопределённостями (см., например, [5; 7]). В данной работе зонотопы используются для построения точных областей достижимости класса линейных дискретных динамических систем вида (1) с ограничениями (2), (3).

Наконец, приведём два основных свойства зонотопов:

1. Зонотопы замкнуты относительно линейных преобразований. Пусть $\mathfrak{L}$ — линейное отображение и $Z = \left(c, \langle r_1,\ldots,r_p \rangle\right)$ — зонотоп. Тогда справедливо:

$$\mathfrak{L}Z = \left\{ \mathfrak{L}x \in \mathbb{R}^n : x = c + \sum_{i=1}^{i=p} x_i\, r_i,\ -1 \leqslant x_i \leqslant 1 \right\} =$$
$$\left(\mathfrak{L}c, \langle \mathfrak{L}r_1,\ldots,\mathfrak{L}r_p \rangle\right),\ p \in \mathbb{N}.$$

Сложность линейных операций над зонотопом будет линейна относительно порядка зонотопа. Порядок зонотопа — отношение количества генераторов зонотопа к размерности пространства, то есть величина p/n.

2. Зонотопы замкнуты относительно суммы Минковского. Для зонотопов $Z_1 = \left(c_1, \langle r_1,\ldots,r_p \rangle\right)$ и $Z_2 = \left(c_2, \langle l_1,\ldots,l_q \rangle\right)$ справедливо следующее:

$$Z_1 + Z_2 = \left(c_1 + c_2, \langle r_1,\ldots,r_p,l_1,\ldots,l_q \rangle\right),\ p \in \mathbb{N},\ q \in \mathbb{N}.$$

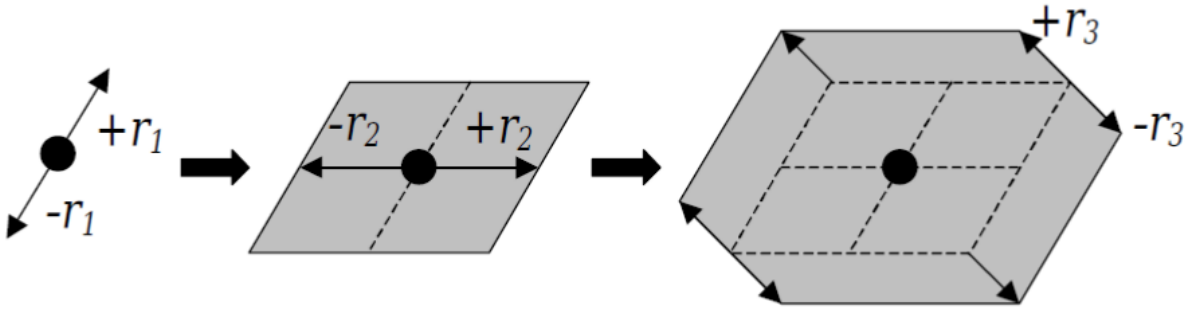


Рис. 1. Построение зонотопа с 3 генераторами в $\mathbb{R}^2$

Таким образом, сумма Минковского может быть найдена простым сцеплением двух массивов.

3. Области достижимости: определения и свойства

Прежде чем представить наш алгоритм построения областей достижимости, приведём некоторые свойства областей достижимости для динамических систем вида (1). Следующее определение области достижимости взято из работы [2].

Определение 2 (Область достижимости). *Областью достижимости системы (1)–(3), соответствующей паре* $\{i, \mathbf{X}(i)\} \in \overline{0,T-1} \times 2^{\mathbb{R}^n}$ *в момент времени* $j, \left(j \in \overline{i+1,T}\right)$, *называется множество*

$$\mathbf{G}\left(i, \mathbf{X}(i), j\right) = \left\{x(j) : x(j) \in \mathbb{R}^n \ \forall t \in \overline{i, j-1}, x(t+1) = \right.$$
$$\left. = Ax(t) + Bu(t), x(i) \in \mathbf{X}(i), u(t) \in \mathbf{P}(t)\right\}.$$

В работе [2] допускается, что множества $\mathbf{X}(0)$ и $\mathbf{P}(t)$ являются выпуклыми, замкнутыми и ограниченными многогранниками с конечным числом вершин. Принимая это во внимание и учитывая линейность системы (1), мы можем наблюдать следующие свойства области достижимости.

Свойство 1 (Компактность и выпуклость). *Множество* $\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right)$ *для всех* $t \in \overline{1,T}$ *является выпуклым компактным многогранником в* $\mathbb{R}^n$.

Свойство 2 (Эволюционное свойство). *Имеет место равенство*

$$\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t+1\right) = \mathbf{G}\left(t, \mathbf{X}(t), t+1\right),$$

где $\mathbf{X}(t) = \mathbf{G}(0, \mathbf{X}(0), t), t \in \overline{1,T-1}$.

Необходимо заметить, что каждая область достижимости $\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right), \forall t \in \overline{1,T}$ является точной областью достижимости, так как содержит те и только те состояния, в которые система (1) может быть переведена из множества (2) при помощи допустимых управлений (3). Из эволюционного свойства мы имеем следующее

Следствие 1. *Многошаговая задача вычисления области достижимости* $\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right)$ *сводится к решению одношаговых задач вычисления областей достижимости* $\mathbf{X}(t+1) = \mathbf{G}\left(t, \mathbf{X}(t), t+1\right), t \in \overline{0,T-1}$.

Также в работе [2] показано, что представление всей области достижимости $\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right), \forall t \in \overline{1,T}$ можно получить, рассматривая лишь крайние точки (вершины) многогранника области достижимости. Такое представление многогранников называется вершинным, а сами многогранники V-многогранниками (см., например, [6; 9]).

В данной работе для представления областей достижимости системы (1)–(3) разрабатывается алгоритм, использующий зонотопы. Так как задача состоит в построении точных областей достижимости, то необходимо сделать следующие допущения.

Допущение 1. *Начальное множество состояний (2) является зонотопом, то есть может быть представлено в виде*

$$\mathbf{X}(0) = \left(c_1, \left\langle r_1, \ldots, r_p \right\rangle\right), \ p \in \mathbb{N}.$$

Допущение 2. *Ограничение вектора управляющего воздействия (3) является зонотопом, то есть может быть представлено в виде*

$$\mathbf{P}(t) = \left(c_2, \left\langle l_1, \ldots, l_q \right\rangle\right), \ q \in \mathbb{N}.$$

Таким образом, справедливо следующее утверждение.

Утверждение 1. *Пусть для линейной дискретной динамической системы множество начальных состояний* $\mathbf{X}(0)$ *и множество ограничений управления* $\mathbf{P}(t)$ *являются зонотопами. Тогда точная область достижимости* $\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), T\right)$ *динамической системы в терминальный (финальный) момент времени T также является зонотопом.*

Доказательство. Так как зонотопы являются особым классом выпуклых многогранников, то они также обладают эволюционным свойством. Как было показано выше, точная область достижимости в терминальный (финальный) момент времени T может быть определена с помощью рекуррентной последовательности вычислений промежуточных областей достижимости $\mathbf{X}(t+1) = \mathbf{G}\left(t, \mathbf{X}(t), t+1\right), \ \ t \in \overline{0,T-1}$.

$\mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), t\right)$ *сводится к решению одношаговых задач вычисления областей достижимости* $\mathbf{X}(t+1) = \mathbf{G}\left(t, \mathbf{X}(t), t+1\right), t \in \overline{0,T-1}$. Таким образом, необходимо показать, что промежуточные области достижимости $\mathbf{G}\left(t, \mathbf{X}(t), t+1\right), t \in \overline{0,T-1}$ являются зонотопами. Для $t = 0$ по определению области достижимости имеем:

$$\mathbf{X}(1) = \mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), 1\right) =$$
$$\left\{x(1) : x(1), x(1) = Ax(0) + Bu(0), x(i) \in \mathbf{X}(0), u(t) \in \mathbf{P}(0)\right\}.$$

Принимая во внимание 1-е и 2-е допущения, можно рассматривать эту область достижимости в качестве суммы Минковского двух множеств:

$$\mathbf{X}(1) = \mathbf{G}\left(0, \mathbf{X}(0), 1\right) = A\mathbf{X}(0) + B\mathbf{P}(0) =$$
$$= \left(Ac_1, \left\langle Ar_1, \ldots, Ar_p \right\rangle\right) + \left(Bc_2, \left\langle Bl_1, \ldots, Bl_q \right\rangle\right) =$$
$$= \left(Ac_1 + Bc_2, \left\langle Ar_1, \ldots, Ar_p, Bl_1, \ldots, Bl_q \right\rangle\right), \ p \in \mathbb{N}, \ q \in \mathbb{N}.$$

Из последнего очевидно, что $\mathbf{X}(1)$ является зонотопом. Аналогичным образом, используя $\mathbf{X}(1)$ в качестве начального множества, не трудно выяснить, что $\mathbf{X}(2)$ также является зонотопом. По индукции, используя зонотоп $\mathbf{X}(T-1)$ в качестве начального множества, мы определим, что множество $\mathbf{G}\left(T-1, \mathbf{X}(T-1), T\right)$ является зонотопом. Это завершает доказательство. ■

Заметим, что для перехода от зонотопного описания области достижимости к описанию через V-многогранники необходимо решать отдельную задачу. Простым (но неэффективным) решением будет представление генераторов зонотопа в виде $r_i = \left[0, b_i\right], \forall i = 1, \ldots, m$, выбор для каждого i 0 или

b_i и нахождение суммы. Существует 2^m подобных сумм, которые дают вершинное описание области достижимости с большим количеством внутренних точек, которые можно исключить, используя известные методы линейного программирования (например, [2; 8]). Однако существуют более эффективный метод [4] для реализации такого перехода, который является полиномиальным с точки зрения размеров входного и выходного массивов.

Наконец, мы готовы представить алгоритм построения областей достижимости с использованием зонотопов.

4. Алгоритм построения областей достижимости

Алгоритм, представленный в данном разделе, является модификацией алгоритма, предложенного в работе [2]. Отличие предлагаемого алгоритма заключается в применении зонотопов вместо V-многогранников для репрезентации областей достижимости линейной дискретной динамической системы. Получение данного алгоритма опирается на Утверждение 1 и результаты предыдущего раздела, а также следует этапам формирования алгоритма, изложенным в [2], там, где это возможно. Целью следующего рекуррентного алгоритма служит нахождение области достижимости системы (1)–(3) на один шаг вперёд.

Алгоритм 1 (Построение областей достижимости). *Работа алгоритма заключается в построении области достижимости на один шаг вперёд. Поэтому финальная область достижимости в терминальный момент времени T будет получена посредством использования алгоритма T раз.*

Этап 1. *Формирование множества состояний, описываемого зонотопом:*

$$\mathbf{Z}_{\mathbf{X}}(t) = \left(c_1, \left\langle r_1, \ldots, r_n \right\rangle\right),$$

где c_1 — центр зонотопа $\mathbf{X}(t)$, $\left\langle r_1, \ldots, r_n \right\rangle$ — генераторы зонотопа $\mathbf{X}(t)$, $t \in \overline{0, T-1}$.

Этап 2. *Формирование множества допустимых управлений, описываемого зонотопом:*

$$\mathbf{Z}_{\mathbf{P}}(t) = \left(c_2, \left\langle l_1, \ldots, l_p \right\rangle\right),$$

где c_2 — центр зонотопа $\mathbf{P}(t)$, $\left\langle l_1, \ldots, l_p \right\rangle$ — генераторы зонотопа $\mathbf{P}(t)$, $t \in \overline{0, T-1}$.

Этап 3. *Линейное преобразование зонотопов:*

$$\hat{\mathbf{Z}}_{\mathbf{X}}(t) = A(t)\mathbf{Z}_{\mathbf{X}}(t) = \left(A(t)c_1, \left\langle A(t)r_1, \ldots, A(t)r_n \right\rangle\right),$$

$$\hat{\mathbf{Z}}_{\mathbf{P}}(t) = B(t)\mathbf{Z}_{\mathbf{P}}(t) = \left(B(t)c_2, \left\langle B(t)l_1, \ldots, B(t)l_p \right\rangle\right).$$

Этап 4. *Нахождение суммы Минковского:*

$$\mathbf{X}(t+1) = \hat{\mathbf{Z}}_{\mathbf{X}}(t) + \hat{\mathbf{Z}}_{\mathbf{P}}(t) =$$

$$= \left(A(t)c_1 + B(t)c_2, \left\langle A(t)r_1, \ldots, A(t)r_n, B(t)l_1, \ldots, B(t)l_p \right\rangle\right),$$

описывающей область достижимости системы (1)–(3) на момент t + 1.

Необходимо заметить, что ограничения в применении данного алгоритма могут быть вызваны только переходом от зонотопного представления к представлению через V-многогранники, поскольку здесь используется симплекс-метод для решения задачи линейного программирования (поиска выпуклой оболочки). Таким образом, это может наложить некоторые ограничения на размерность рассматриваемой системы и количество целочисленных интервалов времени, на которых рассматривается движение этой системы.

5. Моделирование алгоритма построения областей достижимости

Полученный в предыдущем разделе алгоритм 1 был реализован в программной среде Matlab r2014a. В данном разделе мы намереваемся показать в сравнении работу нового алгоритма, использующего зонотопы, и исходного, использующего V-многогранники для репрезентации областей достижимости линейных дискретных динамических систем вида (1).

5.1. Терминальное управление расходом топлива ракеты-носителя

Математическая модель для решения задачи терминального управления расходом топлива ракеты-носителя приводится в работах [1; 3]. Модель относится к классу линейных дискретных динамических систем вида

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t).$$

При моделировании приняты следующие значения основных величин:

$$x(t) = \{x_1(t), x_2(t)\} \in \mathbb{R}^2;\ t \in \overline{0,16};\ A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -6.5 & 1 \end{pmatrix};\ B = \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Множество начальных состояний является зонотопом с центром и генераторами:

$$c_1 = \begin{pmatrix} 430 \\ 44720 \end{pmatrix};\ r_1 = \begin{pmatrix} 10 \\ 0 \end{pmatrix};\ r_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 300 \end{pmatrix}.$$

Управляющее воздействие ограничено следующим образом:

$$|u(t)| \leqslant 1.$$

На рис. 2 изображены области достижимости, построенные с помощью двух алгоритмов: использующих зонотопы и V-многогранники. На рис. 2, области достижимости, построенные с помощью V-многогранников, показаны в виде точек (в местах вершин), а зоноэдральные области закрашены жёлтым цветом.

Время, затраченное на построение областей достижимости данной задачи, составило для обоих алгоритмов менее полсекунды. Рассмотрим случай построения областей достижимости линейной дискретной динамической системы третьего порядка.

5.2. Линейная дискретная динамическая система третьего порядка

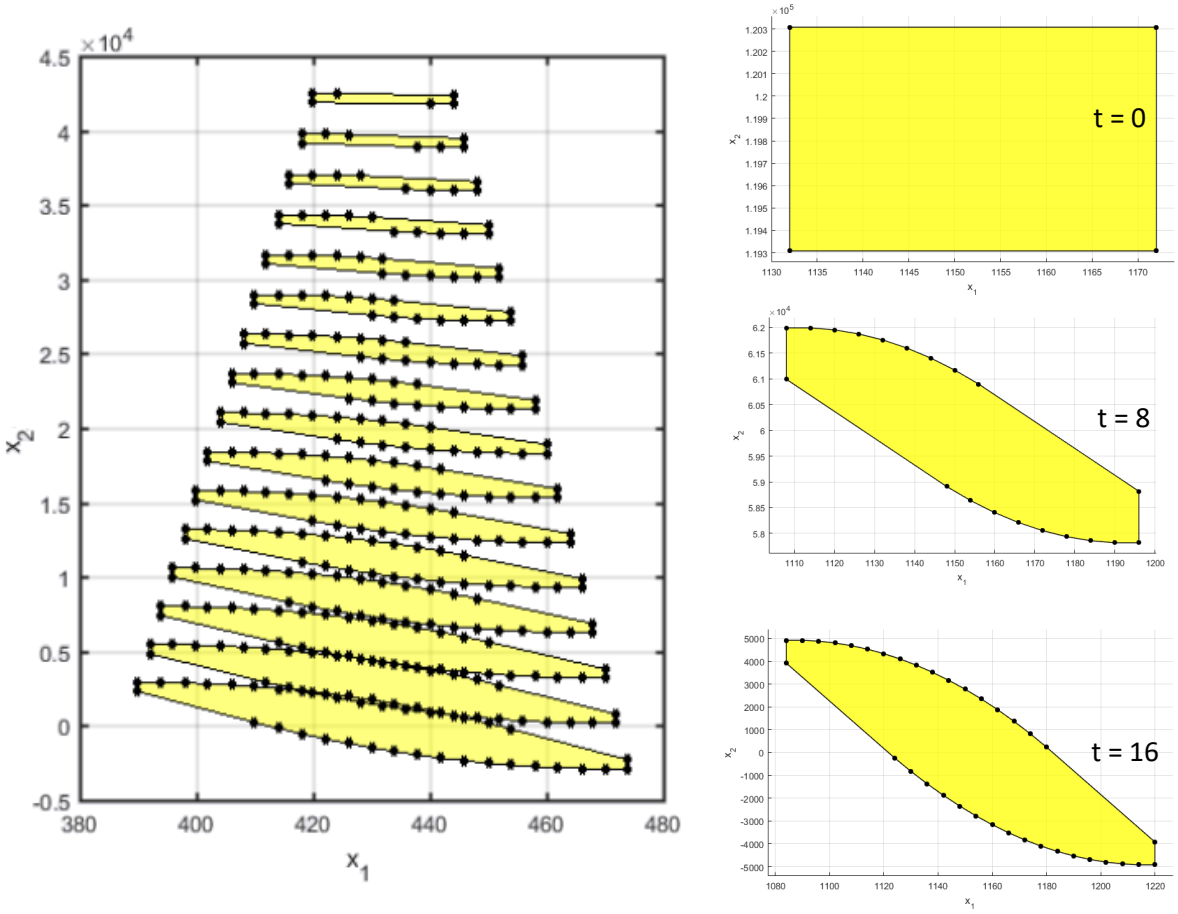


Рис. 2. Области достижимости для системы второго порядка

При моделировании приняты следующие значения основных величин:

$$x(t) = \{x_1(t),\ x_2(t), x_3(t)\} \in \mathbb{R}^3;$$

$$t \in \overline{0,5};\ u(t) = \{u_1(t), u_2(t)\};\ A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};\ B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Множество начальных состояний является зонотопом с центром и генераторами:

$$c_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$r_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}; r_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}; r_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}; r_4 = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix};$$

$$r_5 = \begin{pmatrix} \sqrt{3} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; r_6 = \begin{pmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{pmatrix}; r_7 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \sqrt{3} \end{pmatrix}.$$

Управляющие воздействия ограничены следующим образом:

$$|u_1(t)| \leqslant 1, |u_2(t)| \leqslant 1.$$

На рис. 3 пошагово изображены области достижимости данной задачи.

Для данной системы третьего порядка построение областей достижимости на интервале времени $t \in \overline{0,5}$ занимает менее секунды для обоих алгоритмов. Однако алгоритм, использующий зонотопы для представления областей достижимости, начинает тратить значительное количество времени на вычисление области достижимости на следующем шаге, когда количество шагов превышает 15. Алгоритм, использующий V-многогранники, работает достаточно быстро (тратит на вычисление области достижимости менее минуты) до 30-го шага.

Заключение

В данной работе мы представили алгоритм для вычисления точных областей достижимости линейных дискретных динамических систем. Этот алгоритм является модификацией алгоритма, предложенного в [2]. В данной модификации используются зонотопы, позволяющие эффективно применить этот алгоритм к низкоразмерным задачам с малым числом шагов, таким как задача терминального управления расходом топлива ракеты носителя [1; 3], для которых ограничения могут быть представлены зонотопами.

Использование зонотопов для построения точных областей достижимости на больших временных

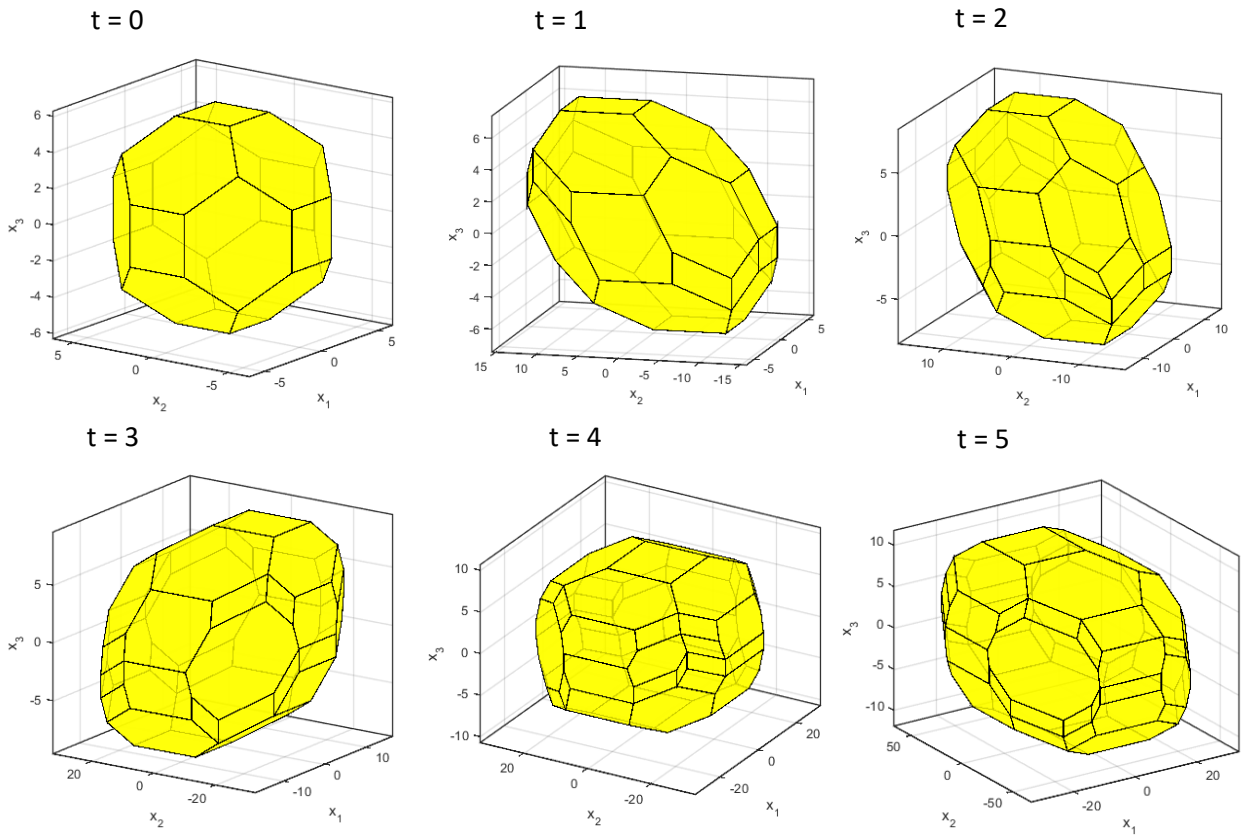


Рис. 3. Области достижимости для системы третьего порядка

интервалах возможно только при использовании аппроксимационных процедур. Однако существуют методы [4], позволяющие за полиномиальное время переходить от зоноэдрального описания областей достижимости к описанию через V-многогранники. Использование таких методов позволит расширить класс систем, к которым возможно применение алгоритма построения областей достижимости, использующего зонотопы. До тех пор алгоритм построения точных областей достижимости, использующий многогранники, будет более предпочтителен, чем алгоритм, использующий зонотопы.

Библиографический список

1. Калёв, В. И. Моделирование задачи терминального управления расходом топлива жидкостных ракет / В. И. Калёв, А. Ф. Шориков // Изв. высш. учеб. заведений. Физика. 2016. Т. 59, № 8–2. С. 45–48.

2. Тюлюкин, В. А. Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной динамической системы / В. А. Тюлюкин, А. Ф. Шориков // Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.

3. Шориков, А. Ф. Формирование линейной дискретной динамической модели для решения задачи оптимального терминального управления расходом топлива ракеты-носителя / А. Ф. Шориков, В. И. Калёв // Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016. Челябинск: Изд-во ЧелГУ, 2016. С. 61–66.

4. Avis, D. Reverse search for enumeration / D. Avis, K. Fukuda // Discrete Appl. Math. 1996. Vol. 65. P. 21–46.

5. Combastel, C. A state bounding observer based on zonotopes [Электронный ресурс] / C. Combastel // European Control Conference (ECC). 2003. URL: http://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/ecc03/pdfs/437.pdf

6. Fukuda, K. From the zonotope construction to the Minkowski addition of convex polytopes / K. Fukuda // J. of Symbolic Comp. 2004. Vol. 38. P. 1261–1272.

7. Girard, A. Reachability of uncertain linear systems using zonotopes / A. Girard // Hybrid Systems: Computation and Control. 2005. № 3414. P. 291–305.

8. Pardalos, P. M. Linear Programming Approaches to the Convex Hull Problem in Rm / P. M. Pardalos, Y. Li, W. W. Hager // Computers Math. Applic. 1995. Vol. 29, № 7. P. 23–29.

9. Ziegler, G. M. Lectures on Polytopes / G. M. Ziegler. N. Y. : Springer Verlag, 1998. 384 p.

Сведения об авторах

Калёв Виталий Игоревич — аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, инженер-конструктор отдела управления движением Научно-производственного объединения автоматики имени академика Н. А. Семихатова», Екатеринбург. butahlecoq@gmail.com

Шориков Андрей Федорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

---

V. I. Kalev, A. F. Shorikov

EXACT REACHABLE SET COMPUTATION ALGORITHM USING ZONOTOPES

In this paper, exact reachable set computation problem for linear discrete-time dynamical system is considered. For representation of reachable set we use special class of convex polytopes – zonotopes. Zonotopes have an efficient property: they are closed under linear transformations and Minkowski sum. In this paper, it is assumed that initial set of states and set of feasible controls is zonotopes. Description of exact zonohedral reachable set computation algorithm for linear discrete-time system is provided. The performance of proposed algorithm shown on several numerical examples in comparison with general recurrent algorithm using vertex representation of polytopes (V-polytopes) for describing of reachable sets.

ББК 3973.132
УДК 004.056

А. Д. Кириллова

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АУДИТЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУ ТП

Рассматривается проблема аудита информационной безопасности автоматизированных систем управления технологическим процессом. Приводится обзор основных нормативных документов по обеспечению безопасности АСУ ТП. Рассматриваются вопросы построения и использования экспертной системы аудита информационной безопасности АСУ ТП.

Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) являются основными компонентами инфраструктуры современных предприятий различных секторов экономики.

Под АСУ ТП понимается многоуровневая система управления, которая может включать:

– системы оперативно-диспетчерского управления;

– интегрированные и локальные АСУ ТП, а также системы автоматизации линейных (рассредоточенных) объектов;

– обслуживающие и смежные системы (инфраструктурные сервисы и системы корпоративной информационной системы, взаимодействующие с АСУ ТП).

Нарушения в работе автоматизированной системы управления технологическим процессом критически важных объектов могут привести как к полному отказу технологических процессов и экономическим убыткам, так и к катастрофическим последствиям, связанным с безопасностью жизни людей и ущербом для окружающей среды. Поэтому обеспечение безопасности АСУ ТП, относящихся к критически важным элементам бизнес-процессов, является неотъемлемой частью комплексного процесса обеспечения безопасности предприятия в целом.

По сравнению с физической безопасностью критически важных объектов, решение которой возможно на самом высоком уровне, проблемы информационной безопасности могут вызывать ряд вопросов.

В настоящее время государственные органы формируют единую политику обеспечения ИБ АСУ ТП критически важных объектов России, проводится разработка нормативно-правовых актов, методических документов, национальных стандартов. Наиболее важным документом в области обеспечения ИБ АСУ ТП критически важных объектов является приказ № 31, выпущенный ФСТЭК России в 2014 г.

Данный приказ утверждает требования к обеспечению защиты информации в АСУ ТП на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также на объектах повышенной опасности для жизни и здоровья людей и окружающей среды [1]. Приказом определён гибкий подход по заданию требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления, который позволяет учитывать и нейтрализовать все актуальные угрозы на объекте, а также позволяет учитывать все структурно-функциональные характеристики и нюансы этого объекта.

Автоматизация большинства критически важных объектов достигла такого уровня, что безопасность их функционирования неразрывно связана с информационной безопасностью АСУ ТП. Таким образом, обеспечения безопасности критически важных объектов касается ряд отраслевых законодательных актов Российской Федерации: это федеральные законы о безопасности объектов ТЭК, о транспортной безопасности, о промышленной безопасности производственных объектов, об использовании атомной энергии и др. Данные законодательные акты устанавливают нормы, согласно которым на критически важных объектах должны приниматься меры по обеспечению их безопасности функционирования.

До выбора и реализации дополнительных мер защиты АСУ ТП целесообразно проведение аудита ИБ, который позволит определить текущий уровень обеспечения ИБ, выявить проблемные места, оценить эффективность и достаточность имеющихся защитных мер, разработать план работ по повышению уровня ИБ.

Качественно проведённый аудит ИБ АСУ ТП позволит достичь следующих целей:

– получить объективную и независимую оценку текущего уровня обеспечения ИБ АСУ ТП с учётом корпоративных и отраслевых документов, требований законодательства Российской Федерации;

– запланировать реализацию комплекса мер, направленных на повышение уровня защищённости АСУ ТП;

– выделить и обосновать актуальные технические требования к средствам защиты информации АСУ ТП.

В число задач, решаемых при проведении аудита ИБ, входят:

– обследование организационных и технических мер обеспечения ИБ АСУ ТП;

– анализ защищённости АСУ ТП в виде тестирования эффективности принятых защитных мер;

– оценка соответствия положениям корпоративных и отраслевых документов требованиям законодательства Российской Федерации и международных стандартов в области ИБ АСУ ТП;

– анализ угроз ИБ и уязвимостей ИБ АСУ ТП, разработка модели угроз ИБ АСУ ТП;

– разработка организационно-технических рекомендаций (плана) по повышению уровня ИБ АСУ ТП;

– разработка задания на проектирование и технических требований к СЗИ АСУ ТП.

Оценки защищённости без использования автоматизированных инструментальных средств — трудоёмкая задача, поскольку объёмы информации, которую необходимо учесть при проведении аудита, часто превосходит ресурсы человека, которые могут быть использованы для принятия решения.

В данной статье рассматриваются вопросы построения и использования экспертной системы при аудите ИБ АСУ ТП.

Экспертная система (ЭС) — это интеллектуальная компьютерная программа, в которой используются знания и процедуры логического вывода для решения задач, для которых нельзя требовать для своего решения значительный объём экспертных знаний человека [2].

При проектировании ЭС особое внимание уделяется заполнению её базы знаний (БЗ), так как эта информация непосредственно влияет на правильность принимаемых системой решений.

Сложность реализации экспертной системы заключается в сборе информации для базы знаний, а также поддержке её в актуальном состоянии. Это обусловлено тем, что в настоящее время информационные технологии бурно развиваются, следовательно, растёт перечень угроз информационной безопасности. Для этих целей может быть использована база угроз безопасности информации, размещённая на официальном сайте ФСТЭК России, которая постоянно актуализируется.

ЭС аудита ИБ решает следующие задачи:

– автоматизация процедуры проведения аудита;

– облегчение работы или полная замена экспертов ИБ;

– анализ организационно-распорядительной документации;

– выработка максимально эффективных рекомендаций;

– снижение стоимости и времени проведения аудита.

Основное предназначение ЭС состоит в том, что они выступают в качестве своеобразного помощника или усилителя интеллектуальной деятельности специалиста в конкретной предметной области.

Разработка экспертных систем существенно отличается от разработки обычного программного продукта. Нестандартность и сложность задач, для решения которых разрабатывается ЭС, не позволяют заранее и детально спланировать все шаги по её созданию. Наиболее приемлемый вариант заключается в постепенном развитии системы [3].

Проектирование ЭС аудита ИБ включает в себя:

1. Выявление основных угроз ИБ АСУ ТП.

2. Для каждой угрозы ИБ определяется перечень уязвимостей, через которые данная угроза может быть реализована.

3. Определение класса защищённости автоматизированной системы управления.

4. Для каждой уязвимости определяется перечень требований информационной безопасности, которые должны выполняться, чтобы избежать реализации угрозы.

5. Каждому требованию присваивается вес, который выражает степень важности требований.

Таким образом, ЭС состоит из модулей, содержащих требования безопасности, предъявляемые к каждой уязвимости [4].

Таким образом, экспертная система имеет как преимущества, так и недостатки.

К преимуществам можно отнести:

– достигнутая компетентность не утрачивается, может документироваться, передаваться, воспроизводиться и наращиваться;

– устойчивые результаты, отсутствуют эмоциональные и другие факторы человеческой ненадёжности;

– возможность копирования;

– дешевле, чем услуги специалистов и экспертов;

– позволяет во многих случаях отказаться от высококвалифицированных специалистов.

Недостатками ЭС являются:

– недостаточная приспособляемость к обучению новым правилам и концепциям, к творчеству и изобретательству;

– высокая стоимость разработки; всегда предполагает наличие в системе эксперта более низкой квалификации;

– использование требует больших компьютерных ресурсов для обработки и хранения знаний [5].

Экспертные системы аудита ИБ разрабатываются с использованием математического аппарата нечёткой логики и предназначены для решения сложных задач на основе накапливаемого в базе знаний опыта работы экспертов, для воссоздания опыта, знаний профессионалов высокого уровня и использования этих знаний. Практическая реализация ЭС позволяет на основании предоставляемых пользователем фактов распознать нештатную ситуацию (инциденты ИБ), сформулировать решение или дать рекомендацию для выбора действия и заключается в принятии оптимального решения для эффективного обеспечения ИБ.

Используя ЭС с базами знаний по нормативным документам в сфере защиты информации,

с конкретными решениями (прецедентами) по реально возможным ситуациям, можно значительно упростить и повысить эффективность работ специалистов ИБ.

Библиографический список

1. Приказ ФСТЭК России от 14 марта 2014 г. № 31 «Об утверждении требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды».

2. Джарратано, Дж. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли. М. : Вильямс, 2007. 1152 с.

3. Созинова, Е. Н. Применение экспертных систем для анализа и оценки информационной безопасности / Е. Н. Созинова // Молодой учёный. 2011. Т. 1, № 10. С. 64–66.

4. Иванова, Н. В. Метод аудита информационной безопасности информационных систем / Н. В. Иванова, О. Ю. Коробулина // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. 2010. № 4. С. 143–152.

5. Чернышов, А. В. Применение экспертных систем для анализа и оценки информационной безопасности / А. В. Чернышов // Гуманитар., социал.-экон. и обществ. науки. 2015. № 6–2. С. 250–253.

Сведения об авторе

Кириллова Анастасия Дмитриевна — магистрант кафедры вычислительной техники и защиты информации, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. kirillova.andm@gmail.com

---

A. D. Kirillova

THE USE OF EXPERT DECISION SUPPORT SYSTEM IN THE AUDIT OF INFORMATION SECURITY OF AUTOMATIC PROCESS CONTROL SYSTEMS

The problems of information security of automatic process control systems. The overview of basic regulations to ensure the security of APCS. Discusses issues of construction and use of expert system in the audit of information security of APCS.

ББК 3971.353
УДК 004.7

А. А. Козько

АЛГОРИТМ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ИНТЕРНЕТ-ФОРУМА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНО-СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ СООБЩЕНИЙ

Рассматривается явление информационной перегрузки пользователей при работе с интернет-форумами. В работе приведён краткий обзор подходов борьбы с информационной перегрузкой и предложены методы автоматической контентной адаптации содержания форума, основанные на структурно-семантической близости между отдельными сообщениями в теме для извлечения и сокрытия нерелевантных веток обсуждения. Также в работе представлен непосредственный алгоритм для реализации этих методов.

1. Введение

Появление сети Интернет сделало по-настоящему доступным дистанционное взаимодействие и коммуникацию между людьми по всему миру. С развитием Интернета его роль как средства взаимодействия и сотрудничества только увеличивается. Миллионы людей по всему миру используют различные средства, такие как онлайн-чаты, видеоконференции, форумы, списки рассылки, блоги и т.д., для обмена информацией, обучения, создания профессиональных сообществ и просто общения.

Однако с развитием Интернета и ростом числа пользователей возникают и новые проблемы, связанные с тем, что технологии, разработанные ранее, не в состоянии адаптироваться под увеличившуюся аудиторию. Особенно это заметно на примере форумов, пользователи которых с каждым днём всё чаще сталкиваются с явлением так называемой информационной перегрузки [1].

Из-за того что форумы сильно отличаются от других перечисленных средств взаимодействия и являются средством массовой асинхронной онлайн-коммуникации, на данный момент в одном обсуждении на форуме могут принимать участие сотни и даже десятки тысяч человек, а само это обсуждение может проходить в течение месяцев и даже лет. В результате одна тема на форуме может содержать сотни тысяч сообщений, ориентироваться в которых становится просто невозможно.

В современных реалиях требуется существенный пересмотр концепции представления информации на форумах для снижения информационной перегрузки и повышения эффективности форумов как средства взаимодействия, в том числе и в рамках профессиональных онлайн-сообществ.

2. Причины информационной перегрузки на форумах

Основной сложностью при работе с форумами является большое количество тем форумов, каждая их которых характеризуется политематичностью [2]. Это означает, что одна тема на форуме может содержать сразу несколько обсуждений на близкие или далёкие тематики по сравнению с начальной, в результате пользователь или сталкивается с необходимостью изучать нерелевантный его целям контент, чтобы самостоятельно вычленить из темы небольшой кусочек, интересный именно ему, или же рискует не найти или пропустить необходимую ему информацию из-за того, что обсуждение содержалось в теме, на первый взгляд, не связанной с его целями.

Второй проблемой является то, что информация на форуме содержится не в отдельных сообщениях, а в их цепочках (обсуждениях) из-за чего на форумах плохо работают методы, которые применимы к классическим документам, такие как поиск.

3. Способы борьбы с информационной перегрузкой

Одним из самых распространённых способов борьбы с информационной перегрузкой считаются рекомендательные системы и адаптивные гипермедиа [3]. Для построения рекомендаций для конкретного пользователя используются методы коллаборативной и контентной фильтрации [4]. Оба этих подхода основаны на явном или неявном получении обратной связи от пользователей для оценки качества контента, однако с этим всегда связаны существенные трудности.

В свою очередь адаптивные гипермедиа решают связанную задачу — как адаптивно представить информацию для упрощения её восприятия и навигации по контенту внутри системы. При этом адаптивная гипермедиа может как включать, так и не включать в себя элементы рекомендательной системы [5].

Методы адаптации содержания в адаптивных гипермедиа принято разделять на две группы: адаптация содержания или его представления и адаптация навигации, или, по-другому, ссылочная адаптация. Более подробно эта классификация вместе с конкретными методами рассматривается в работе Брусиловского [6].

4. Методы адаптации интернет-форумов

Для борьбы с информационной перегрузкой мы предлагаем следующий набор способов адаптации содержания форума:

1. Скрытие нерелевантных постов — этот способ является вариантом реализации метода адаптации содержания.

2. Декомпозиция темы на несколько тем в случае, если одна тема содержит дискуссии на различные тематики. Этот способ относится к адаптации содержания и заключается в том, чтобы представить сообщения из темы в виде нескольких тем.

3. Объединение различных подтем в новую тему является адаптацией навигации и заключается в создании ссылок, позволяющих перейти от одной подтемы к близким по смыслу и тематике подтемам из других частей форума.

Более подробно эти и другие методы адаптации и реструктуризации содержания на форуме рассмотрены в работе [7].

4.1. Оценка семантической близости сообщений

Для реализации предложенных методов адаптации содержания форумов нами предлагается алгоритм, основанный на структурно-семантической близости-связности между сообщениями.

Для оценки семантической близости двух сообщений можно использовать множество подходов, однако большинство способов плохо работает с короткими сообщениями (такими как, например, твиты или комментарии на форуме). Кроме того, часть методов требует подготовки онтологии (например, меры Резника или Лина), что является довольно трудоёмкой задачей.

Поэтому для оценки семантической близости между сообщениями мы предлагаем использовать методы word2vec или Explicit Semantic Analysis (ESA). Это способы, основанные на векторном представлении терминов, для обучения которых требуется неразмеченный корпус. Чаще всего в качестве такого корпуса используется набор статей Википедии, что делает их универсальными для различных языков. Кроме того, эти методы хорошо себя показывают в задачах сравнения коротких документов размером в несколько слов или предложений [8; 9].

4.2. Алгоритм реструктуризации темы на форуме

В нашей работе мы будем рассматривать алгоритмы адаптации для форумов с древовидной структурой представления сообщений, это означает, что каждое сообщение (кроме корневого) имеет родительское сообщение, ответом на которое оно является, и эта диалоговая связь видна явно. В случае с линейным представлением форума необходимо предварительно восстановить скрытую диалоговую структуру по косвенным признакам (по тегам, тексту и т. д.) [10].

Для адаптации представления содержания форума мы предлагаем алгоритм, предназначенный для выделения и удаления из основной темы нерелевантных основному обсуждению веток. Алгоритм представлен в псевдокоде.

```
function process_comment(current){
  for (child in current.children){
    if (sim(child,current) < thres)
          process_comment(child)
     else
         if (value(child) > value_thres)
           create_new_topic(child)
         else
           remove(child)
  }
}
```

Описанная функция рекурсивно применяется к каждому узлу в дереве сообщений темы начиная с родительского. На основании близости между выбранным сообщением и дочерними принимается решение об исключении из дерева сообщений нерелевантных частей. В этом случае исключается вся ветка, которая начинается с дочернего элемента, который будет оценён как нерелевантный остальному обсуждению. При этом исключение может происходить как с переносом ветки в новую тему (метод декомпозиции темы на несколько), так и без него (метод скрытия нерелевантных постов).

Решение об исключении сообщения (функция sim) из дерева принимается на основании признаков, которые можно разделить на две группы:

1) признаки близости между сообщениями: семантическая близость между анализируемым сообщением (CURRENT) и его родителем (PARENT), средняя близость между PARENT и дочерними к CURRENT, близость между CURRENT и другими дочерними сообщениями PARENT, количеством пользователей, которые участвуют в основном обсуждении и в дочернем к CURRENT и т. д.;

2) признаки сообщения: общее количество детей CURRENT, глубине поддерева обсуждения, которое начинается с CURRENT и т. д.

Решение о создании новой темы или простом полном удалении ветки CURRENT (функция value) принимается на основании оценки только признаков сообщения.

Обе оценки выдают некое численное значение, которое сравнивается с пороговым для данного типа оценки. Пороговые оценки вычисляются на основании средних или медианных значений среди всех сообщений в теме или всех сообщений в конкретной подветке.

На рисунке более наглядно показано, близость с какими сообщениями по сравнению с кандидатом, оценивается для определения релевантности сообщения основной теме.

5. Заключение

В данной работе нами предложен алгоритм адаптации представления содержания форума на основании структурно-семантической связности между сообщениями. Предложенный алгоритм предназначен для декомпозиции форумной темы на несколько тем

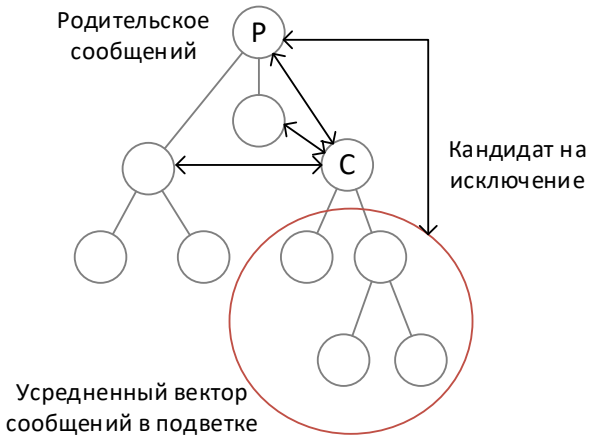


Схема оценок сообщений

и полного скрытия нерелевантных веток обсуждения. Мы рассчитываем, что использование этого алгоритма позволит повысить эффективность форума как средства коммуникации и передачи информации и снизит информационную перегрузку пользователей, благодаря автоматическому структурированию сообщений на основе их содержания.

Библиографический список

1. Qiu, M. Influence of group configuration on online discourse reading / M. Qiu, D. McDougall // Computers & Education. 2015. Vol. 87. P. 151–165.

2. Патрушева, Л. С. Функционально-стилистические особенности форума как жанра интернет-коммуникации / Л. С. Патрушева // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. История и филология. 2013. № 4.

3. Bobadilla, J. Recommender systems survey / J. Bobadilla, F. Ortega, A. Hernando, A. GutiéRrez // Knowledge Based Systems. 2013. Vol. 46. P. 109–132.

4. Ricci, F. Recommender Systems Handbook / F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, P. B. Kantor. N. Y., 2010.

5. Brusilovsky, P. Methods and techniques of adaptive hypermedia / P. Brusilovsky // User modeling and user-adapted interaction. 1996. № 6 (2–3). P. 87–129.

6. Brusilovski, P. The adaptive web: methods and strategies of web personalization / P. Brusilovski, A. Kobsa, W. Nejdl // Springer Science & Business Media. 2007. Vol. 4321.

7. Kozko, A. Adaptive Discussion Forum for Reduce Information Overload / A. Kozko, A. Melnikov // Proceedings of ITSMSSM'2016, ACSR-Advances in Computer Science Research. Vol. 51. P. 278–281.

8. Gabrilovich, E. Computing semantic relatedness using wikipedia-based explicit semantic analysis / E. Gabrilovich, S. Markovitch // International Joint Conference on Artificial Intelligence. 2007. Vol. 7. P. 1606–1611.

9. Mikolov, T. Linguistic Regularities in Continuous Space Word Representations / T. Mikolov, W. T. Yih, G. Zweig // North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. 2013. Vol. 13. P. 746–751.

10. Wang, Y. C. Recovering Implicit Thread Structure in Newsgroup Style Conversations / Y. C. Wang, M. Joshi, W. W. Cohen, C. P. Rosé // 2nd International Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM). Seattle, 2008ю

Сведения об авторе

Козько Александр Андреевич — преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики, Челябинский государственный университет, Челябинск. alkozko@yandex.ru

---

A. A. Kozko

ALGORITHM FOR INTERNET-FORUM RESTRUCTURATION BASED ON MESSAGES STRUCTURAL AND SEMANTIC ANALYSIS

This article deals with the phenomenon of information overload people of online forum users. The paper provides an overview of approaches to solving of information overload and proposed methods of automatic content adaptation based on structural and semantic similarity between the individual messages in the topic for retrieve and hiding irrelevant discussion branches. The algorithm to direct the implementation of these methods was provided also.

ББК 3973
УДК 004.4

С. И. Колесникова

УПРАВЛЕНИЕ ВЫВОДОМ НА ЗАДАННОЕ МНОГООБРАЗИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОГО ОПИСАНИЯ

Представлено обобщение метода нелинейной адаптации на многообразиях для объекта, заданного в виде системы нелинейных дифференциальных/разностных неполно описанных уравнений, суть которого сводится к положению: при задании аналитического описания целевого аттрактивного состояния и оценки имеющейся неопределённости в уравнениях, содержащих переменные управления (нижней и/или верхней границы, в частности), возможен аналитический синтез системы управления с полной компенсацией неопределённости.

Многомерные, многосвязные, нелинейные объекты с неопределённостью в описании называются сложными (по Л. А. Растригину). Сложность анализа таких объектов и управления ими представляет серьёзную проблему (Дж. фон Нейман: «невозможно найти общие закономерности в поведении сложных систем») [1–8].

В статье рассматриваются задачи приложения методов нелинейной адаптации на многообразиях к нелинейной модели, представленной в виде системы разностных уравнений или системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений с хаотическими режимами при определённых сочетаниях параметров (модели детерминированного хаоса). Математические модели объектов являются неустойчивыми в разомкнутом состоянии, что содержательно означает следующее: существуют такие начальные условия и значения ключевых параметров объектов, что свойство саморегуляции соответствующего физического процесса перестает работать [2; 7; 8].

Постановка задачи. Рассматривается (для наглядности) нелинейный объект второго порядка с плохо формализуемой правой частью в его описании:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= f_1\left(x_1, x_2\right), \\ \dot{x}_2(t) &= f_2\left(x_1, x_2\right) + z(t) + u(t), \end{aligned} \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{x} \in R^2$ — вектор состояний, $u \in R$ — переменная управления, $\boldsymbol{f} \in R^2$ — нелинейная вектор-функция; $z(t)$ — неизвестное ограниченное возмущение.

Для объекта (1) ставится задача нахождения закона управления $u\left(t\right) = U\left(x_1\left(t\right), x_2\left(t\right)\right)$ в пространстве состояний, обеспечивающего перевод объекта управления (1) из произвольного начального состояния $x(0) = (x_1(0), x_2(0))$ в некоторой области фазового пространства в окрестность целевого многообразия $\psi\left(x_1\left(t\right), x_2\left(t\right)\right) = 0$ и асимптотически устойчивое удержание объекта в его окрестности.

Предполагается справедливость следующих классических для применения метода АКАР условий: *а*) существование глобально устойчивой целевой системы для модели (1), удовлетворяющей технологическим и/или энергетическим требованиям и целевого аналитически заданного инвариантного многообразия $\psi\left(x_1\left(t\right), x_2\left(t\right)\right) = 0$ со свойством аттрактивности по отношению к исходному описанию объекта; *б*) ограниченность всех решений исходной системы; *в*) стабилизируемость траекторий исходной модели состояния объекта.

Решение задачи. Классический АКАР-синтез [7] управления для объекта *n*-го порядка предполагает, что правая часть системы обыкновенных дифференциальных уравнений полностью определена (здесь $z(t) = 0$) и использует по сути схему решения вариационной задачи: $\Phi = \int_0^\infty \left(\phi^2\left(\psi\left(t\right)\right) + \omega^2\dot{\psi}^2\right)dt \to \min$ при ограничении $\psi\left(\cdot\right) = 0$, которую далее для удобства изложения будем условно обозначать парой $\left(\Phi,\ \psi\right)$. Далее при изложении основного алгоритма будем полагать $\phi\left(\psi\right) = \psi$. Здесь весовой коэффициент $\omega > 0$ является параметром настройки регулятора, содержательно характеризующий величину, прямо пропорциональную длительности движения изображающей точки системы описания объекта до многообразия $\psi\left(\cdot\right) = 0$. Удобство этого математического аппарата для нахождения управления заключается в следующих положениях: 1) «физичность» [2] функционала качества управления (зависит и от цели управления, от регулируемой скорости достижения цели посредством коэффициента ω, от уравнений описания объекта), обобщающим классический квадратичный; 2) управление u ищется на решениях функционального уравнения $\omega\dot{\psi} + \psi = 0$, являющиеся при выполнении определённых условий экстремалями для функционала вида Ф (см. ниже утверждение 1):

$$\omega\dot{\psi} + \psi = \omega\left(\frac{\partial\psi}{\partial x_1}\dot{x}_1 + \frac{\partial\psi}{\partial x_2}\dot{x}_2\right) + \psi =$$

$$= \omega\left(\frac{\partial\psi}{\partial x_1}f_1 + \frac{\partial\psi}{\partial x_2}\left(f_2 + u\right)\right) + \psi = 0 \Rightarrow$$

$$u = -\left(\omega\frac{\partial\psi}{\partial x_2}\right)^{-1}\psi - \left(\frac{\partial\psi}{\partial x_1}\right)\left(\frac{\partial\psi}{\partial x_2}\right)^{-1}f_1 - f_2 \qquad (2)$$

Лемма. Уравнение $\omega\dot{\psi}+\phi=0$ есть уравнение Эйлера — Лагранжа для функционала $\Phi=\int_0^{\infty}\left(\phi^2\left(\psi(t)\right)+\omega^2\dot{\psi}^2\right)dt\to\min$, где 1) $\phi(\psi)$ — однозначная, непрерывная, дифференцируемая функция для всех ψ; 2) $\phi(0)=0$; 3) $\phi(\psi)\psi>0,\ \forall\psi\neq 0$).

Доказательство леммы следует из результатов теоретической механики (см., напр., работы А. С. Галиуллина, Н. П. Ергина), а именно: для того чтобы соотношение $\psi\left(x(t)\right)=0$ было инвариантным многообразием системы, необходимо и достаточно, чтобы выполнялось условие

$$\frac{d\psi}{dt}=\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial\psi(x_1,...,x_n)}{\partial t}R_i(x_1,...,x_n)=\phi(\psi,x_1,...,x_n),$$

где $R_i(x_1,...,x_n)$ — правая часть i-го уравнения при n-мерном описании исходной системы, $\phi(0,x_1,...,x_n)=0$. Далее непосредственной проверкой можно убедиться, что в задаче $(\Phi,\ \psi)$ с учётом обозначения $F(t,\psi,\dot{\psi})=\phi^2(\psi)+\omega^2\dot{\psi}^2$ решения уравнение Эйлера — Лагранжа $\frac{\partial F}{\partial\psi}-\frac{d}{dt}\frac{\partial F}{\partial\dot{\psi}}=2\phi(\psi)\frac{\partial\phi}{\partial\psi}-2\omega^2\ddot{\psi}=0$ являются решениями уравнения $\omega\dot{\psi}+\phi=0$ и обратно.

При необходимости осуществляется иерархический синтез с последовательной постановкой соответствующих вариационных задач и применением уравнения Эйлера — Лагранжа (лемма).

Рассмотрим теперь задачу в постановке (1), предполагая по-прежнему возможность задания целевого многообразия, реализующего множество желаемых технологических состояний $\psi=\psi(x_1,x_2)=0$. Изложим основные положения алгоритма синтеза управления применительно к объекту с неполным описанием вида (1), затем уточним условия его применимости к рассматриваемой здесь задаче управления объектом (1).

Алгоритм нелинейной адаптации на заданном многообразии

1. Применяется принцип расширения фазового пространства, содержательно означающий перевод внешнего воздействия $z(t)$ в дополнительную фазовую переменную z (система становится замкнутой; аргументы, где это не искажает смысл, будем опускать):

$$\begin{aligned}&\dot{x}_1=f_1,\\&\dot{x}_2=f_2+u+z,\\&\dot{z}=\eta\psi,\ \eta=const,\ \eta>0.\end{aligned}\qquad(3)$$

2. Вводится дополнительная макропеременная вида $\psi_1=\psi+kz,\ k=const$.

3. Формулируется вариационная задача $(\Phi_1,\ \psi_1)$, $\Phi_1=\int_0^{\infty}\left(\left(\psi_1(t)\right)^2+\omega_1^2\dot{\psi}_1{}^2\right)dt\to\min$, $\psi_1=\psi_1(x_1,x_2)=0$. На решениях уравнения $\omega_1\dot{\psi}_1(t)+\psi_1(t)=0$ с учётом соотношений (2), (3) находится управление u.

Теорема. Для объекта (3) с целевым многообразием $\psi=\psi(x_1,x_2)=0$, таким, что $\frac{\partial\psi}{\partial x_2}\neq 0$, существует управление в виде

$$u=\left(\frac{\partial\psi}{\partial x_2}\right)^{-1}\left(-\omega_1^{-1}(\psi+kz)-\frac{\partial\psi}{\partial x_1}f_1\right)-(f_2+z).\qquad(4)$$

Если $\frac{\partial\psi}{\partial x_2}=0$ и найдётся функция $\varphi=\varphi(x_2,z)$, удовлетворяющая соотношению

$$\omega_2\frac{d\psi}{d\varphi}f_1(\varphi,x_2)+(\omega_2k\eta+1)\psi(\varphi,x_2)+kz=0,\ \frac{\partial\varphi}{\partial x_2}\neq 0,\qquad(5)$$

то для объекта (3) существует управление в виде

$$\begin{aligned}u=&\left(x_1-\varphi+\omega_1f_1-\omega_1\eta\psi\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)\left(\omega_1\frac{\partial\varphi}{\partial x_2}\right)^{-1}-\\&-(f_2+z),\ \dot{z}=\eta\psi,\ \eta=const,\ \eta>0.\end{aligned}\qquad(6)$$

Если $\frac{\partial\psi}{\partial x_2}=0$ и найдётся функция $\varphi=\varphi(x_1,z)$, удовлетворяющая уравнению

$$\begin{aligned}&\dot{\varphi}(x_1,z)=\left(\frac{\partial\psi}{\partial\varphi}\right)^{-1}\left(-\omega_2^{-2}\psi^{(2)}-\frac{\partial\psi}{\partial x_1}f_1(x_1,\varphi)-k\eta\psi(x_1,\varphi)\right),\\&\frac{\partial\psi}{\partial\varphi}\neq 0,\end{aligned}\qquad(7)$$

то для объекта (3) существует управление в виде

$$\begin{aligned}&u=-\omega_1^{-1}\psi_1+\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x_1}f_1+\frac{\partial\varphi}{\partial z}\eta\psi\right)-f_2-z,\\&\dot{z}=\eta\psi,\ \eta=const,\ \eta>0.\end{aligned}\qquad(8)$$

Управления (4)–(8) обеспечивают асимптотически устойчивое достижение целевого многообразия и доставляют глобальный минимум соответствующему функционалу качества $\Phi=\int_0^{\infty}\left(\psi^2+\omega^2\dot{\psi}^2\right)dt$.

Пример 1. Пусть объект управления имеет описание

$$\begin{aligned}&\dot{x}_1=x_2,\\&\dot{x}_2=x_2+\theta sign(x_1)+z(t)+u,\end{aligned}\qquad(8)$$

где $\boldsymbol{x}\in R^2$ — вектор состояний, $u\in R$ — переменная управления, $f=(f_1,f_2)=\left(x_2,x_2+\theta sign(x_1)\right)\in R^2$ нелинейная вектор-функция; переменная $z\in R$ неизвестна; $\theta\in R$ — известный параметр объекта.

Случай 1. Пусть $\psi=\psi(x_2)=x_2-x_{20}=0$. Согласно теореме итоговая система управления имеет вид

$$\begin{aligned}&\dot{x}_1=x_2,\\&\dot{x}_2=x_2+\theta sign(x_1)+z(t)+u,\\&\dot{z}=\eta\psi,\ \eta=const,\ \eta>0,\ \psi=x_2-x_{20},\\&u=-\left(\omega^{-1}(\psi+kz)+z+x_2+\theta sign(x_1)+k\eta\psi\right),\ k>0,\omega>0.\end{aligned}\qquad(9)$$

Случай 2. Пусть $\psi = \psi(x_1) = x_1 - x_{10} = 0$. Итоговая система управления имеет вид

$$\dot{x}_1 = x_2,$$
$$\dot{x}_2 = x_2 + \theta sign(x_1) + z(t) + u,$$
$$\dot{z} = \eta\psi,\ \eta = const,\ \eta > 0,\ \psi = x_1 - x_{10},$$
$$u = -\omega_1^{-1}(k\eta + 1)\Big(\psi + (\omega_2 k\eta + 1)^{-1} \times$$
$$\times(kz + \omega_2 x_2 + \omega_1\eta k\psi) + \omega_1 x_2\Big) -$$
$$-(x_2 + \theta sign(x_1) + z). \qquad (10)$$

На рис. 1 приведены результаты моделирования систем управления (9), (11) с моделями возмущений $z(t) = c\sin t,\ c = \text{const},$ $z(t) = \chi(t),\ \chi(t) = \begin{cases} y_k(t), & t \in (t_{k-1}, t_k] \\ 0, & t \notin (t_{k-1}, t_k] \end{cases}, k = 1,...,n$ (кусочно-непрерывная), где $y_k(t)$ — непрерывные функции. Окрестности заданных целевых значений $x_{20} = 0.5$ (рис. 1, *а*)) и $x_{10} = 0.5$ (рис. 1, *б*)) для переменных $x_1(t)$, $x_2(t)$, соответственно двум рассмотренным выше случаям, как следует из графиков, достигнуты в результате построенного управления, траектории удерживается в определённой окрестности целевого значения, размер которой естественным образом зависит от уровня шума; начальные значения переменных *а*) $x_1(0) = 0.5,\ x_2(0) = -0.5$; *б*) $x_1(0) = -0.5,\ x_2(0) = 0.5$; $\eta = 0.05,\ k = 0.05$.

Пример 2. Рассмотрим объект с описанием (модель Ферхюльста):

$$\dot{x}(t) = \lambda h(x(t), \alpha),\ h(x(t), \alpha) = x(t)(1 - \alpha x(t)), \alpha = const.$$

Модель Ферхюльста, дискретным аналогом которой является модель Фейгенбаума $x_{n+1} = \lambda x_n(1 - x_n)$, $n \geq 0$, служит основой объяснения многих нелинейных процессов не только в традиционно упоминаемых областях (поведение гамильтоновых систем; превращение ламинарного потока жидкости в турбулентный и пр.), но также и основой описания экономических процессов. Так, известно (В. И. Шаповалов; см., например, [2. С. 447]), что моделирование процесса рынка реализации товара в условиях смешанного капитала (госпредприятий и частных предприятий) приводит к описанию, где присутствует уравнение Фейгенбаума (дискретный аналог модели Ферхюльста), а параметр λ хаотичности модели играет роль параметра, влияющего на процесс ценообразования и, тем самым, влияющего на стабильность процесса рынка.

Сформулируем следующую задачу управления на основе модели Ферхюльста в условиях неизвестного возмущения $z(t)$:

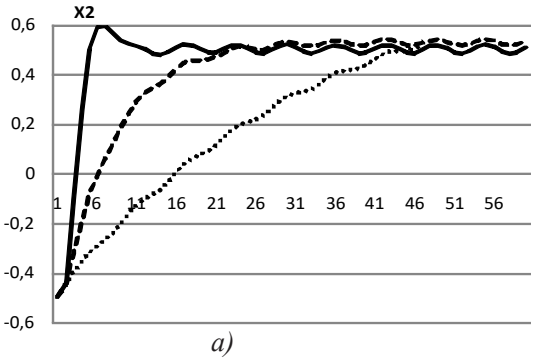
$$\dot{x}(t) = \lambda(t)x(t)(1 - \alpha x(t)),$$
$$\dot{\lambda}(t) = z(t) + u. \qquad (11)$$

Пусть сначала цель управления объектом (11), или целевое многообразие, задано в виде $\psi = \lambda(t) - \lambda^0 = 0$, где λ^0 — заданное значение состояния. Согласно теореме система управления будет иметь вид

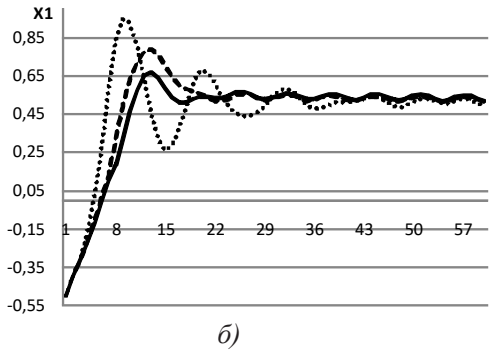
$$\dot{x}(t) = \lambda(t)x(t)(1 - \alpha x(t)), \psi = \lambda(t) - \lambda^0 = 0,$$
$$\dot{\lambda}(t) = z(t) + u,\ z(t) = \eta\psi, \eta > 0,$$
$$u(t) = \Big(-\omega_1^{-1}\big(\lambda(t) - \lambda^0 + kz(t)\big) -$$
$$-\lambda(t)x(t)(1 - \alpha x(t))\Big) - z,\ \frac{\partial\psi}{\partial\lambda} = 1 \neq 0. \qquad (12)$$

Пусть теперь цель управления объектом (11), или целевое многообразие, задано в виде: $\psi = x(t) - x^0$, где x^0 — заданное значение. Согласно теореме система управления будет иметь вид

$$\dot{x}(t) = \lambda(t)x(t)(1 - \alpha x(t)),\ \psi = x - x^0 = 0,$$
$$\dot{\lambda}(t) = z(t) + u,\ \dot{z}(t) = \eta\psi,$$
$$u = -\frac{\Big(\omega_1^{-1}\big(\lambda + k\eta + \omega_2^{-1}\big)\big(x - \varphi + \omega_1\lambda\varphi(1 - \alpha\varphi)\big) + \omega_2^{-1}\eta k\psi\Big)}{\varphi(1 - \alpha\varphi)} - z,$$
$$\varphi = \frac{\omega_2\lambda + \omega_2 k\eta + 1 - \sqrt{D}}{2\omega_2\lambda\alpha},$$
$$D = (\omega_2\lambda)^2 + 2\omega_2\lambda(\omega_2 k\eta + 1)\big(1 - 2\alpha x^0\big) +$$
$$+(\omega_2 k\eta + 1)^2 + 4\omega_2\lambda\alpha kz. \qquad (13)$$



а)



б)

Рис. 1. Влияние параметра ω *на качество переходного процесса а) для системы (9):* $\psi = x_2 - x_{20} = 0,\ x_{20} = 0.5,\ x_2(0) = -0.5$, *13,7 %-й шум; линии: штриховая* $\omega = 1$, *сплошная* $\omega = 0.9$; *пунктирная* $\omega = 3$; *б) для системы (10):* $\psi = x_1 - x_{10} = 0, x_{10} = 0.5,\ x_1(0) = -0.5$; *штриховая* $\omega_1 = 1;\ \omega_2 = 0.5$, *сплошная* $\omega_1 = 0.9;\ \omega_2 = 0.8$; *пунктирная* $\omega_1 = 0.4;\ \omega_2 = 0.5$

Результаты моделирования систем (12) и (13) представлены на рис. 2.

Дискретный алгоритм нелинейной адаптации на заданном многообразии. Классический алгоритм АКАР применим также для дискретных (разностных) моделей [7]. Поскольку объектом рассмотрения этой статьи являются системы второго порядка, постановка задачи поиска управления в дискретном случае (в соответствии с задачей (1)) будет следующая. Пусть дано описание объекта

$$x_1[i+1] = F_1\left(x_1[i], x_2[i]\right),$$
$$x_2[i+1] = F_2\left(x_1[i], x_2[i]\right) + z[i] + u[i],\ i \in \mathrm{N}.$$

где $x_1[i]$, $x_2[i]$, $u[i]$ — переменные состояния, управления соответственно; $z[i]$ — неизвестное ограниченное возмущение. Требуется построить управление, переводящее объект из произвольной начальной фиксированной точки $\left(x_1[0], x_2[0]\right)$ фазового пространства на заданное многообразие с известным описанием $\psi[i] = \psi\left(x_1[i], x_2[i]\right) = 0$ ($\psi[i]$ — макропеременная), устойчиво удерживающее объект на нём и доставляющее глобальный минимум функционалу качества вида

$$J = \sum_{i=0}^{\infty}\left(\beta^2\psi^2[i] + \left(\Delta\psi[i]\right)^2\right) \to \min, \qquad (14)$$

при ограничении $\psi[i] = 0$, $i \in \mathrm{N}$. Согласно дискретному аналогу утверждения 1 соответствующее уравнение экстремалей для функционала (14) принимает форму

$$\psi[i+1] + \tau\psi[i] = 0,\ |\tau| < 1,\ i \in \mathrm{N}. \qquad (15)$$

Согласно дискретному варианту метода АКАР между параметрами τ, β имеет место взаимосвязь в виде $\tau^2 - \left(2+\beta^2\right)\tau + 1 = 0$. Как и ранее, соответствующую вариационную задачу для удобства ссылки на неё обозначим (J, ψ). Основные положения алгоритма будут аналогичными непрерывному аналогу.

1. Применяется принцип расширения фазового пространства, содержательно означающий перевод внешнего воздействия $z(t)$ в фазовую переменную z, например:

$$x_1[i+1] = F_1\left(x_1[i], x_2[i]\right),$$
$$x_2[i+1] = F_2\left(x_1[i], x_2[i]\right) + z[i] + u[i],$$
$$z[i+1] = cz[i] + \eta\psi[i],\ |c| \le 1,\ \eta > 0,\ i \in \mathrm{N}. \qquad (16)$$

2. Вводится дополнительная макропеременная вида $\psi_1[i] = \psi[i] + kz[i]$, $k = const$.

3. Формулируется вариационная задача $(J_1,\ \psi_1)$, $J_1 = \sum_{i=0}^{\infty}\left(\beta_1^2\psi_1^2[i] + \Delta\psi_1^2[i]\right) \to \min$ при ограничении $\psi_1[i] = \psi_1\left(x_1[i], x_2[i]\right) = 0$. На решениях уравнения $\psi_1[i+1] + \tau_1\psi_1[i] = 0$, $|\tau_1| < 1$, $i \in \mathrm{N}$ с учётом соотношений (16) находится управление u.

На многообразии $\psi_1[i] = 0$, $i \in \mathrm{N}$ или $\psi[i] = -kz[i]$, $k = const$ решения последнего уравнения будут асимптотически устойчиво стремиться к нулю, обеспечивая, таким образом, достижение цели управления $\psi = 0$. При необходимости могут быть рассмотрены случаи 1 и 2, аналогичные рассмотренным в п. 2.

Пример 3. Рассмотрим объект управления на основе модели Фейгенбаума:

$$x_1[i+1] = \gamma x_1[i],\ \gamma = \mathrm{const},$$
$$x_2[i+1] = x_1[i]x_2[i](1 - x_2[i]) + z[i] + u[i],\ i \in \mathrm{N}.$$

Зададим цель управления $\psi[i] = x_2[i] - x_2^0[i]$, $i \ge 1$, где $x_2^0[i]$ — целевая траектория (в частности $x_2^0 = \mathrm{const}$).

Согласно основной идее алгоритма нелинейной адаптации сначала производится расширение фазового пространства объекта управления в виде (16)

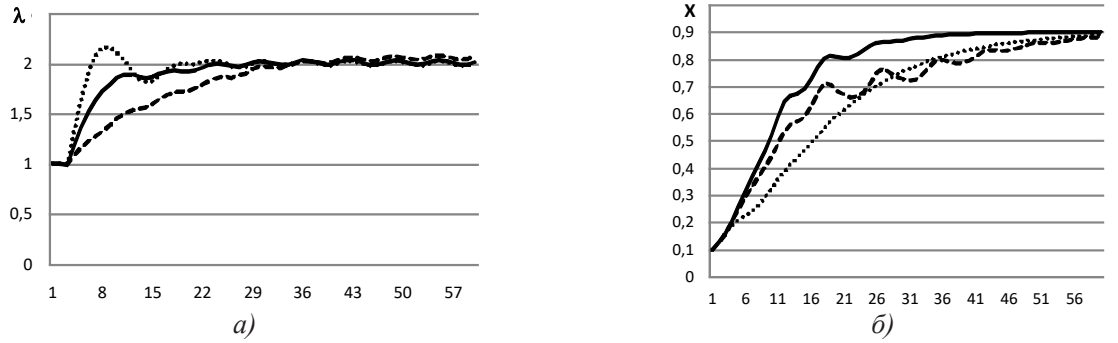
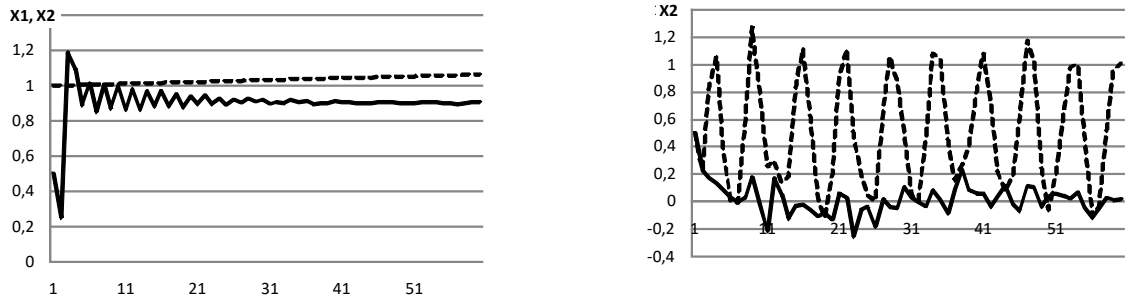


Рис. 2. Влияние параметра ω *на качество переходного процесса при 15 %-м шуме в системах управления (14) и (15): а)* $\psi = \lambda(t) - 2, \lambda(0) = 1$*; сплошная линия* $\omega = 0.5$*, пунктирная* $\omega = 0.3$*, штриховая* $\omega = 1$*; б)* $\psi = x(t) - 0.9, x(0) = 0.1$*; штриховая* $\omega_1 = 0.3;\ \omega_2 = 1$*, сплошная* $\omega_1 = 0.5;\ \omega_2 = 0.5$*; пунктирная* $\omega_1 = 1;\ \omega_2 = 1$



а) *б)*

Рис. 3. Результаты моделирования дискретной системы управления (19): а) случай 1: вывод целевой траектории из начального состояния $x_2[0]=0.5$ *в окрестность* $x_2^0=0.9$ *(сплошная линия); б) траектория* $x_2[i]$ *(штриховая линия) при заданной целевой траектории* $x_2^0[i]=0.5(1+\sin(i))$ *; траектория* $x_2[i]$ *без управления (сплошная линия); в обоих случаях* $z[i]$ *— сглаженный случайный нормальный шум* $N(0;0.05)$

$$x_1[i+1]=\gamma x_1[i],$$
$$x_2[i+1]=x_1[i]x_2[i](1-x_2[i])+z[i]+u[i],$$
$$z[i+1]=cz[i]+\eta\psi[i],\ |c|\le 1,\ \eta>0,\ i\in \mathrm{N}. \quad (17)$$

Далее в соответствии с постановкой задачи и методом АКАР рассматривается задача $(J_1,\ \psi_1)$:

$$J_1=\sum_{i=0}^{\infty}\left(\beta_1^2\psi_1^2[i]+\left(\Delta\psi_1[i]\right)^2\right)\to\min,\psi_1[i]=0,\ i\in\mathrm{N},$$

где

$$\psi_1[i]=\psi[i]+kz[i],\ i\in\mathrm{N}. \quad (18)$$

Согласно уравнению экстремалей $\psi_1[i+1]+\tau_1\psi_1[i]=0,\ i\in\mathrm{N}$ для функционала J_1 с учётом описаний (17), (18) получаем

$$\psi_1[i+1]+\tau_1\psi_1[i]=\psi[i+1]+kz[i+1]+\tau_1\psi_1[i]=$$
$$=x_2[i+1]-x_2^0[i+1]+k\left(cz[i]+\eta\psi[i]\right)+\tau_1\psi_1[i]=$$
$$=x_1[i]x_2[i](1-x_2[i])+z[i]+u[i]-x_2^0[i+1]+$$
$$=k\left(cz[i]+\eta\psi[i]\right)+\tau_1\psi_1[i]=0,\ i\in\mathrm{N},$$

откуда следует вид управления

$$u[i]=-x_1[i]x_2[i]\left(1-x_2[i]\right)-z[i]\left(1+\tau_1k+ck\right)+$$
$$+x_2^0[i+1]-\psi[i]\left(\tau_1+\eta k\right),\ i\in\mathrm{N}$$

и итоговая система управления

$$x_1[i+1]=\gamma x_1[i],$$
$$x_2[i+1]=x_1[i]x_2[i](1-x_2[i])+z[i]+u[i],$$
$$z[i+1]=cz[i]+\eta\psi[i],\ |c|\le 1,\ \eta>0,\ \psi[i]=x_2[i]-x_2^0[i],$$
$$u[i]=-x_1[i]x_2[i]\left(1-x_2[i]\right)-z[i]\left(1+\tau_1k+k\right)+$$
$$+x_2^0[i+1]-\psi[i]\left(\tau_1+\eta k\right),\ k>0,\ i\in\mathrm{N}. \quad (19)$$

Моделирование системы (19) проводилось при следующих начальных значениях и значениях параметров (рис. 3):

а) $x_1[0]=1,\ x_2[0]=0.5,\ \eta=5,\ k=0.05,$
$\lambda=1.001,\ \tau_1=0.6,\ x_2^0[i]=0.9;$

б) $x_1[0]=1,\ x_2[0]=0.5;$
$\eta=0.5,\ k=0.05,\ \lambda=0.8,$
$\tau_1=0.4,\ x_2^0[i]=0.5(1+\sin(i)).$

Заключение. Осуществлён анализ схемы построения системы управления для нелинейного двумерного объекта с достаточно общим описанием для решения задачи вывода изображающей точки исходной системы уравнений на заданное целевое многообразие в условиях неопределённости. Алгоритм синтеза опирается на методику аналитического конструирования агрегированных регуляторов и на метод нелинейной адаптации на базе АКАР.

Приведены примеры численного моделирования поведения системы управления на многообразиях в условиях неполного описания объектов, свидетельствующие о работоспособности алгоритма синтеза нелинейного управления относительно ограниченных возмущений произвольного характера (детерминированных и сглаженных случайных).

Результаты работы могут быть актуальны в системах управления плохо формализуемыми динамическими объектами и в системах поддержки принятия решений при управлении нелинейными объектами с хаотическими режимами.

Библиографический список

1. Lorenz, H. W. Nonlinear dynamical economics and chaotic motion / H. W. Lorenz. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 248 p.

2. Красовский, А. А. Математическая и прикладная теория. Избранные труды / А. А. Красовский. М. : Наука, 2002. 362 с.

3. Халил, Х. К. Нелинейные системы : монография. / Х. К. Халил. М. : Ин-т компьютер. исслед. ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. 812 с.

4. Тюкин, И. Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах / И. Ю. Тюкин, В. А. Терехов. СПб. : ЛКИ, 2008. 384 с.

5. Kokotovic, P. V. Activation of Nonlinear Feedback Concepts, in System Theory: Modeling, Analysis, and Control / P. V. Kokotovic, M. Arcak // The Springer

International Series in Engineering and Computer Science. N. Y. : Springer-Verlag, 1999. P. 379–389.

6. Utkin, V. I. Sliding mode control in discrete-time and difference systems / V. I. Utkin // Variable Structure and Lyapunov Control. London : Springer-Verlag, 1993. P. 83–103.

7. Колесников, А. А. Синергетика и проблемы теории управления : сб. науч. тр. / А. А. Колесников ; под ред. А. А. Колесникова. М. : Физмалит, 2004. 504 с.

8. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. М. : Наука, 1981. 488 с.

Сведения об авторе

Колесникова Светлана Ивановна — доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики и математического моделирования факультета прикладной математики, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск. skolesnikova@yandex.ru

---

S. I. Kolesnikova

CONTROL NONLINEAR OBJECT OF INCOMPLETE DESCRIPTION WHEN OUTPUTTING TO THE DESIRED MANIFOLD

A generalization of the method of non-linear adaptation to the manifolds for the object specified in the form of a system of nonlinear differential/difference incompletely described equations, the essence of which boils down to the proposition that when setting the analytical description of target attractiveness state and evaluation of uncertainty in the equations containing the control variables (lower and/or the upper limit, in particular), possible analytical synthesis of a control system with full compensation of uncertainty.

ББК О53-02
УДК 001.8

М. Д. Коровин, Н. М. Боргест

ПРИМЕНЕНИЕ СУРРОГАТНЫХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ОБРАЗЦА «РОБОТ-ПРОЕКТАНТ САМОЛЁТА»

Рассмотрен подход к увеличению продуктивности труда проектанта на основе замены сложных вычислительных моделей упрощёнными суррогатными моделями на основе статистики. Приведён один из потенциальных способов применения подобных моделей в системах поддержки проектирования на примере демонстрационного образца системы «Робот-проектант самолёта».

Под физическими моделями будем понимать не только натурные модели исследуемого объекта, но и модели, построенные на основе физических законов, например, уравнений Навье — Стокса для газовой динамики. Одним из ограничений при проектировании сложных технических систем является высокая стоимость физического моделирования. С ростом точности вычислительных моделей также растёт их вычислительная сложность. Требуются подходы, позволяющие снизить время, необходимое для вычисления таких моделей, в особенности для оптимизационных задач.

Суррогатные модели, также иногда называемые метамоделями, используются для частичной замены высокоточных моделей. Преимуществом таких моделей является сравнительно большое быстродействие. Один из подходов при построении суррогатных моделей — использование статистических методов для построения аппроксимаций результатов вычисления сложных высокоточных моделей.

Процедура построения суррогатной модели, как правило, состоит из следующих шагов:

1. Выбор набора входных переменных (x_1, x_2, $x_3, \ldots, x_n$). Точность полученной суррогатной модели во многом зависит от количества и распределения входных переменных. Типовыми методами выбора распределения входных переменных являются простой случайный, типологический, а также метод латинского гиперкуба.

2. Получение набора выходных переменных (y_1, y_2, $y_3, \ldots, y_n$) либо как результата вычисления сложной физической модели, либо путём замера контролируемых параметров в результате натурного эксперимента.

3. Построение суррогатной модели, отражающей физическую модель.

4. Оценка точности суррогатной модели.

Схема построения суррогатных моделей представлена на рис. 1 [1].

В случае если суррогатная модель воспроизводит результат оригинальной высокоточной модели с заданной точностью, она может быть использована в качестве простой альтернативы на всём пространстве проектных переменных.

Сравнительный анализ методов построения суррогатных моделей и их применимости к различным классам задач подробно рассмотрен в литературе [2–5]. В общем случае для задач низкого уровня нелинейности наиболее эффективной является интерполяция методом Кригинга, а для задач высокого уровня — метод радиально-базисных функций. Таблица методов построения суррогатных моделей представлена на рис. 2 [1].

Рис. 1. Схема построения суррогатных моделей

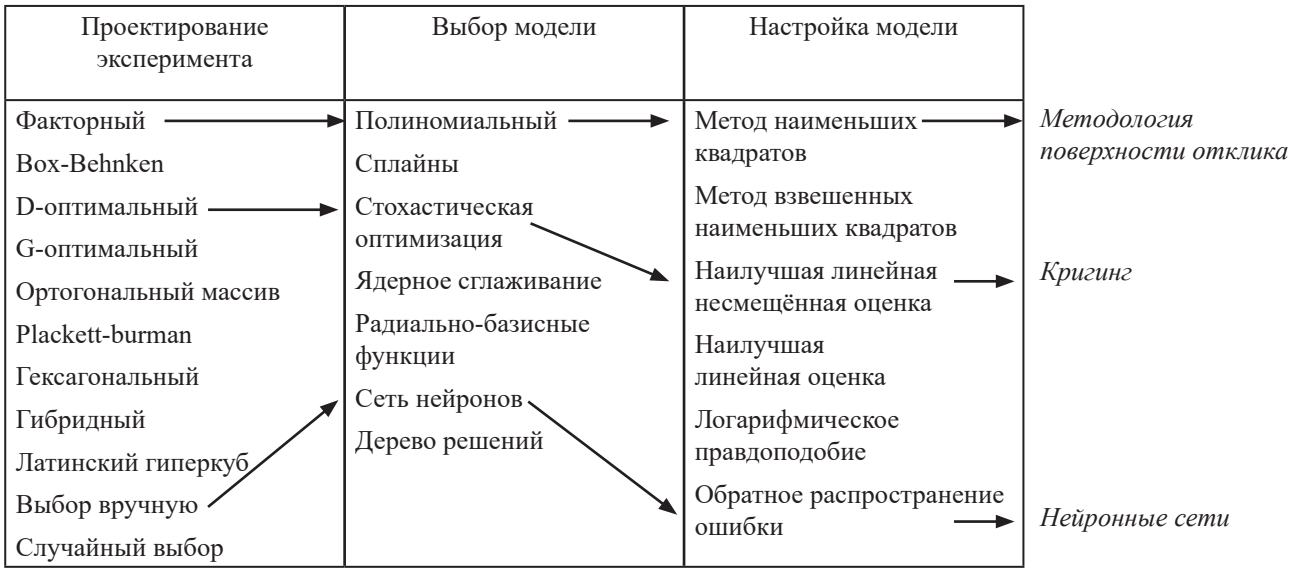


Рис. 2. Методы построения суррогатных моделей

Суррогатные модели особенно удобно применять на ранних этапах разработки проекта в силу возможности быстрой проработки большого количества потенциальных решений.

В ходе работ по созданию демонстрационного образца системы «Робот-проектант самолёта» (рис. 3) было обнаружено, что вычислительных мощностей компьютера, установленного в демонстрационном стенде, недостаточно для оперативного выполнения аэродинамических расчётов, завершающих рабочий цикл демонстрационного образца. Для того чтобы обойти эту проблему, была создана суррогатная модель расчёта, учитывающая несколько базовых геометрических параметров самолёта [6].

Была использована схема исследования поведения объекта, состоящая из нескольких этапов. На первом этапе строится модель изучаемого объекта в виде функциональной зависимости $y = F(x)$, где переменная x описывает сам объект и задаёт условия его функционирования, а значение y есть некоторая характеристика объекта при заданных условиях функционирования. Сама функция F является неизвестной. Как правило, существует некоторое количество измерений $\Phi = \{y_i = F(x_i), i = 1, 2, ...\}$, полученных в результате натурных или вычислительных экспериментов. По известному множеству Φ с использованием тех или иных математических методов анализа и обработки данных строится суррогатная модель — функция $y = FS(x)$, значения которой принимаются в качестве приближённого значения характеристики y для объекта с описанием x. Далее к построенной суррогатной модели применяются различные

Рис. 3. Внешний вид демонстрационного образца «Робота-проектанта»

математические методы решения оптимизационных задач, которые требуют проведения расчётов с помощью функции $y = FS(x)$ на большом множестве данных x, существенно превышающем множество измерений.

Входными данными аппроксиматоров являются геометрическое описание самолёта и его основные лётно-технические параметры. Геометрическое описание самолёта задаётся с использованием сравнительно небольшого числа интегральных геометрических характеристик — параметров модели, которые отражают наиболее существенные свойства самолёта и традиционно используются экспертами и инженерами на этапе предварительного проектирования. Такой подход существенно сокращает размерность описания объекта, обеспечивая при этом степень детальности, достаточную для предварительной оценки параметров и характеристик самолёта.

Библиографический список

1. Han, Z.-H. Surrogate-Based Optimization / Z.-H. Han, K.-S. Zhang // Real-World Applications of Genetic Algorithms, 2012. InTech. P. 343–362. DOI: 10.5772/36125.

2. Macdonald, I. Comparison of Sampling Techniques on the Performance of Monte-Carlo Based Sensitivity Analysis / I. Macdonald // Eleventh International IBPSA Conference. Glasgow, Scotland, July 27–30, 2009. Glasgow, 2009. P. 992–999.

3. Simpson, T. W. Design and analysis of computer experiments in multidisciplinary design optimization: a review of how far we have come or not / T. W. Simpson, V. Toropov, V. Balabanov, F. A. C. Viana // Proceedings of the 12th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, 2008 MAO, Victoria, Canada. Victoria, 2008.

4. Jin, R. On Sequential Sampling for Global Metamodeling in Engineering Design / R. Jin, W. Chen, A. Sudjianto // ASME International Design Engineering Technical Conference. Montreal, Quebec, Canada, 2002. P. 1–10.

5. Боргест, Н. М. Автоматизация предварительного проектирования самолета : учеб. пособие / Н. М. Боргест. Самара, 1992. 92 с.

6. Боргест, Н. М. Робот-проектант: на пути к реальности / Н. М. Боргест, С. А. Власов, Ал. А. Громов, Ан. А. Громов, М. Д. Коровин, Д. В. Шустова // Онтология проектирования. 2015. Т. 5, № 4 (17). С. 429–449. DOI: 10.18287/2223-9537-2015-5-4-429-449.

Сведения об авторах

Коровин Максим Дмитриевич — аспирант кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов, Самарский государственный университет, Самара. maks.korovin@gmail.com

Боргест Николай Михайлович — кандидат технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов, Самарский государственный университет; старший научный сотрудник, Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара. borgest@yandex.ru

---

M. D. Korovin, N. M. Borgest

APPLICATION OF SURROGATE MODELS FOR DESIGN DECISION SUPPORT SYSTEMS BASED ON THE EXAMPLE OF THE “ROBOT-AIRCRAFT DESIGNER” SYSTEM

The paper discusses an approach towards the improvement of the designer’s productivity based on the transition from the high-fidelity models with high computational cost to a mix approach that implicates low computational surrogate models into the design decision support systems on the example of the “Robot-designer system”.

ББК 3972
УДК 004.9

Г. Г. Куликов, А. П. Бельтюков, А. Н. Набатов, Д. Г. Шамиданов

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАСТРУКТУРЫ КОНТЕНТА ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ В ФОРМЕ ЛОКАЛЬНОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Предложен подход к построению в реальном масштабе времени локальной вычислительной системы для проектирования и выполнения предметно-ориентированного распределённого бизнес-процесса и его мониторинга.

Введение

В настоящее время широко применяется предметно-ориентированный подход для решения различных исследовательских задач, которые требуют распределённого сбора и анализа информации в реальном масштабе времени. Например, задачи проектирования и мониторинга выполнения бизнес-процессов и оперативной организации обратных связей для принятия решений.

Формирование оперативной локальной информационной среды позволяет преподавателю во время проведения занятий (или руководителю бизнес-процесса) вести непосредственный мониторинг выполнения задач исполнителями, а также даёт возможность решить комплексную задачу интеграции информационных потоков, возникающих при проведении занятий (выполнении бизнес-процесса).

Под метаструктурой контента предметной области будем понимать множество системных моделей бизнес-процессов и правил взаимодействия между ними.

Анализ данной предметной области показывает, что одной из основных форм обучения в высшей школе была и остаётся лекция. Для использования принципа наглядности применяется такой вид лекции, как лекция-процесс. Психологические и педагогические исследования (Р. Арнхейм, Е. Ю. Артемьева, В. И. Якиманская) показывают, что сам процесс не только способствует более успешному восприятию и запоминанию учебного материала, но и позволяет активизировать умственную деятельность, глубже проникать в сущность изучаемых явлений, показывает его связь с творческими процессами принятия решений, подтверждает регулирующую роль образа в деятельности человека [1].

Постановка познавательных задач, возбуждение эмоционально-оценочного отношения к предмету, обеспечение обратной связи во время проведения лекции способствуют развитию у студентов аналитического мышления, личностному росту. В этом проявляются развивающая и воспитывающая функции учебного процесса, а применение современных образовательных технологий привносит в него элемент творчества.

Подготовка лекции-процесса преподавателем состоит в том, чтобы изменить, переконструировать учебную информацию по теме лекционного занятия в процессную форму для представления студентам через технические средства обучения или вручную (схемы, рисунки, чертежи и т. п.). Представленная таким образом информация должна обеспечить систематизацию имеющихся у студентов знаний, создание проблемных ситуаций и возможности их разрешения; демонстрировать разные способы наглядности, что является важным в познавательной и профессиональной деятельности. В лекции-процессе важны определённая наглядная логика и ритм подачи учебного материала. Для этого можно использовать комплекс технических средств обучения, рисунок, в том числе с использованием гротескных форм, а также цвет, графику, сочетание словесной и наглядной информации, то есть создать «производственную» среду.

Для проведения лекции-процесса преподаватель может использовать заранее подготовленную презентацию. Обычный показ слайдов под запись не предусматривает обратной связи от студентов, особенно если лекция проводится удалённо. Чтобы дистанционное обучение с использованием презентаций стало интерактивным и осуществлялось взаимодействие преподавателя со студентами, можно воспользоваться существующими инструментами и технологиями, обеспечивающими возможность совместной работы, а также предлагаемой в работе методикой по организации передачи прямой трансляции в локальной информационно-распределённой вычислительной сети.

В качестве примера инструмента, предоставляющего технологию создания заметок с совместным доступом, можно привести сервис Evernote. Evernote — это набор программного обеспечения для создания и хранения заметок, а также соответствующая облачная служба. В качестве заметки может выступать фрагмент форматированного текста, веб-страница целиком, фотография, аудиофайл или рукописная запись [5]. С помощью этого инструмента можно писать, собирать, обсуждать и демонстрировать свои материалы в едином рабочем пространстве.

При создании заметки в Evernote с открытым доступом другие пользователи Интернета смогут

просмотреть её содержание, а также отследить изменения, вносимые в заметку, в режиме реального времени. При этом это может быть предварительно подготовленная презентация, в которую затем, в ходе проведения лекции, можно вносить правки.

Процесс проведения лекции в таком случае представляется следующим образом. Преподаватель на персональном устройстве (компьютере, планшете или мобильном телефоне) в своём аккаунте создаёт файл с презентацией и открывает к нему доступ. Студенты, перейдя по ссылке на файл, также смогут увидеть его на экране своих устройств и при необходимости (если зарегистрированы в Evernote) внести в него свои правки, замечания или вопросы. Для проведения лекции в обычной аудитории презентацию можно будет продублировать на экран проектора. По ходу лекции в презентацию можно добавлять как аудиофайлы, так и текстовые пояснения, генерируемые распознаванием речи.

Использование описанной технологии позволит студентам быть прямыми участниками процесса обучения, взаимодействовать с преподавателем, если лекция проводится удалённо. Кроме того, все проведённые лекции останутся записанными, и у студентов в любой момент будет к ним доступ при необходимости повторения материала.

Для педагога открывается возможность корректировать свой материал на основе замечаний, сделанных во время лекции. Используя заметки, преподаватель также может давать домашние задания или проводить контрольные работы, оставив незаполненными места в презентации, куда нужно будет вписать правильный ответ.

Постановка задачи

Для выполнения предметно-ориентированного распределённого бизнес-процесса и его мониторинга авторами предложен подход решения задач по сбору и анализу информации на первом этапе в реальном масштабе времени, основанный на формировании и исполнении процессов управления и мониторинга локальной распределённой вычислительной среды, построенной с применением доступных аппаратно-программных устройств.

Полагается, что определён комплекс технических средств в виде множества, включающего стационарное или портативное устройство на операционной системе Windows, портативное устройство на iOS или Android, переносной портативный беспроводной роутер и мобильные устройства.

При организации локально-распределённой вычислительной среды используется агентный принцип — подход к построению информационной среды, соблюдающий в процессе формирования базовые характеристики и свойства мультиагентной системы.

Мультиагентная система — это система, образованная несколькими взаимодействующими агентами [6]. Мультиагентные системы могут быть использованы для решения таких проблем, которые сложно или невозможно решить с помощью одного агента или монолитной системы. Примерами таких задач являются онлайн-торговля, ликвидация чрезвычайных ситуаций и моделирование социальных структур.

Данный подход к методике был доведён до организации и выполнения лабораторных работ по дисциплине «Корпоративные глобальные системы» на кафедре автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета [2].

В рамках работы рассматривается:

1) определение архитектуры и настройка локальной распределённой вычислительной сети;

2) формирование модели оперативной организации трансляции презентации с планшетного компьютера между участниками процесса;

3) подключение клиентских устройств студентов, выполняющих роль агентов мультиагентной системы, к трансляции презентации с планшетного компьютера.

В результате формируется локальная вычислительная сеть, включающая контент предметной области, за счёт которой можно:

– осуществлять непосредственный мониторинг выполнения лабораторных работ путём передачи своих указаний с экрана планшетного компьютера;

– вести учёт выполненных работ за счёт сохранения отчётов в файловом хранилище роутера;

– проводить занятия удалённо.

Для решения поставленной задачи можно использовать доступный комплекс программного обеспечения, который включает в себя: мультимедийный плеер VLC; файловый сервер Samba; ПО Mirroring 360; ПО AirPlay.

Работу данного комплекса можно функционально расширить за счёт обмена данными по протоколу SMB или FTP. Также в рамках работы предлагается применение технологии IPTV, использующей протокол HTTP.

Данная постановка задачи уже была описана в рамках проектирования при помощи систем BPMS. Одной из информационных технологий реализации систем BPMS является RunaWFE — информационная система управления бизнес-процессами, позволяющая построить эффективное взаимодействие сотрудников и контролировать их деятельность с целью повышения качества работы с помощью ресурсов локальной вычислительной сети организации [3].

Метод решения задачи

1. Организуем логико-семантическое описание (модель) указанной выше предметно-ориентированной задачи по формированию локальной информационно-распределённой вычислительной сети в реальном масштабе времени в форме теоретико-множественной модели:

M_1 = {VLC Player, Samba File Server, Mirroring 360}.

M_2 = {Samba, FTP, VLC, IPTV, HTTP, Miracast, AirPlay}.

Схема организации трансляции в общем виде будет представлена следующим образом. На базовом стационарном устройстве с операционной системой Windows, играющем роль сервера-ретранслятора, устанавливается VLC Player и Mirroring 360. На роутере настраивается беспроводная сеть Wi-Fi и файловый сервер (FTP или Samba). Далее все устройства подключаются к беспроводной сети, и с устройства-источника (iPad) запускается дублирование экрана при помощи встроенной в операционную систему функции AirPlay Mirroring [7] на сервер-ретранслятор, где на экране дублируется содержимое экрана планшета. На сервере-ретрансляторе запускается трансляция захвата экрана по протоколу HTTP с помощью плеера VLC, и этем обеспечивается возможность подключения клиентских устройств (агентов) к прямой трансляции презентации с планшетного компьютера.

Для android-устройств, поддерживающих технологию Miracast, трансляцию можно реализовать аналогично,— вместо Mirroring 360 следует использовать альтернативное ПО для данного протокола, например AirDroid. Для организации локальной информационно-вычислительной распределённой среды необходимо подключение к локальной сети Wi-Fi и приложение VLC для используемого устройства. VLC может быть получен на официальном сайте [8] или из магазина приложений.

После того как программное обеспечение установлено, необходимо подключиться к серверу трансляций и начать просмотр презентации или лекции по HTTP-протоколу. Реализация такой трансляции будет аналогична формату IPTV.

2. Рассмотрим возможность формирования графоаналитического предметно-ориентированного терминального метаязыка для описания организации локальной распределённой информационно-вычислительной среды. Описание бизнес-процесса по организации локальной распределённой информационно-вычислительной среды на естественном языке может быть соотнесено с нулевым уровнем иерархии Хомского [4].

Аналитическая составляющая языка будет определяться правилом аббревиатур, обозначающих элементы, и логикой их взаимодействия. Правила синтаксиса определим путём упрощения соответствующих правил естественного языка: 1) элементы типа объекта или сущность могут соединяться между собой только через элемент «стрелка» (соответственно действует инверсное правило); 2) правила детализации осуществляются по принципу иерархии; 3) интерпретация графической модели по общим правилам осуществляется сверху вниз, слева направо.

На рис. 1 представлены графические элементы полученного метаязыка.

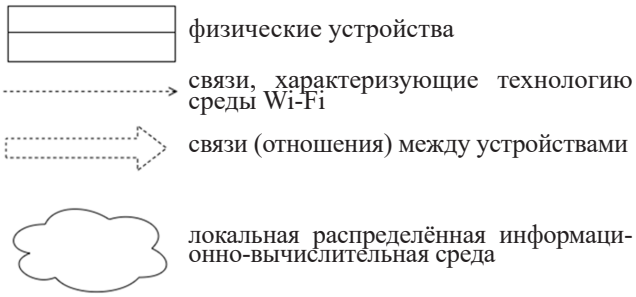


Рис. 1. Графические элементы языка

Общая схема локальной информационно-распределённой вычислительной сети будет выглядеть следующим образом (рис. 2).

При помощи сформированного метаязыка на рис. 3 представим схему организации работы трансляции локальной информационно-распределённой вычислительной сети.

Заключение

В рамках проведённого исследования были решены следующие задачи:

1) организована локальная распределённая вычислительная Wi-Fi-сеть;

2) сформирована модель оперативной организации трансляции презентации с планшетного компьютера;

3) обеспечено подключение клиентских устройств студентов, выполняющих роль агентов мультиагентной системы, к прямой трансляции презентации с планшетного компьютера.

Предложен метод проектирования распределённой информационно-управляющей системы при помощи:

1) формализации метаструктуры контента предметной области на основе предметно-ориентированного формализованного терминального метаязыка;

2) параллельного формирования метаархитектуры локальной распределённой информационной вычислительной сети на основе формального графоаналитического терминального метаязыка, определяющего структуру аппаратно-программного обеспечения локальной сети;

3) интеграции в единую метаструктуру системной модели контента предметной области, причём аппаратно-программное содержание предметной области позволяет проектировать бизнес-процессы.

Разработаны примеры, показывающие эффективность данной методики. Преимущества описанного подхода формирования локальной информационно-распределённой вычислительной сети заключаются в создании универсального способа организации учебного процесса, что подразумевает:

– возможность удалённого проведения лекций;

– формирование эффекта, аналогичного использованию интерактивной доски с проектором;

– использование доступных программных средств.

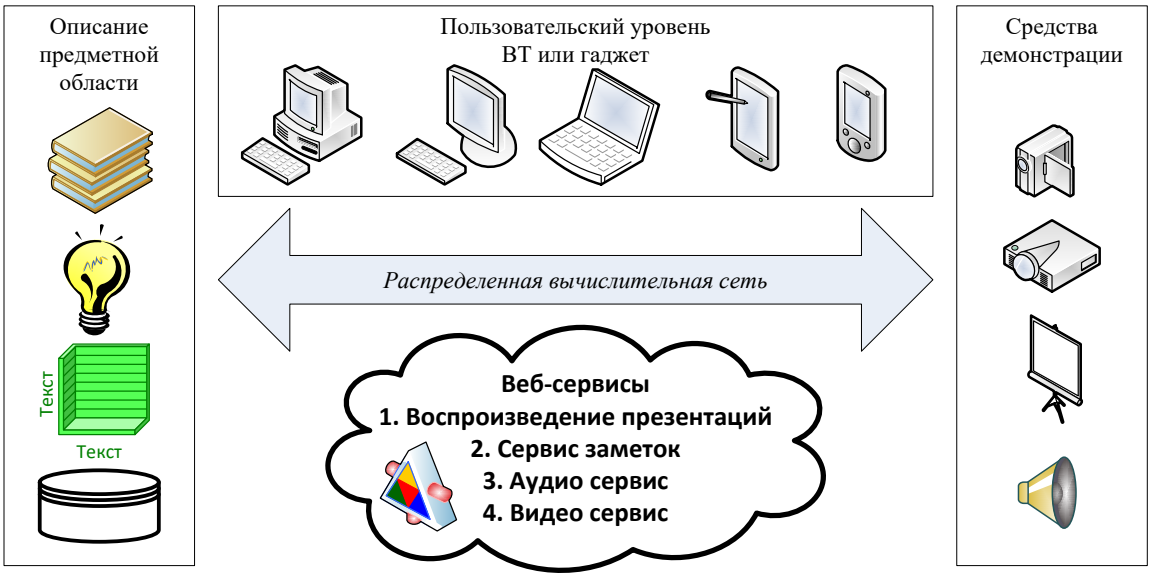


Рис. 2. Схема локальной информационно-распределённой вычислительной сети

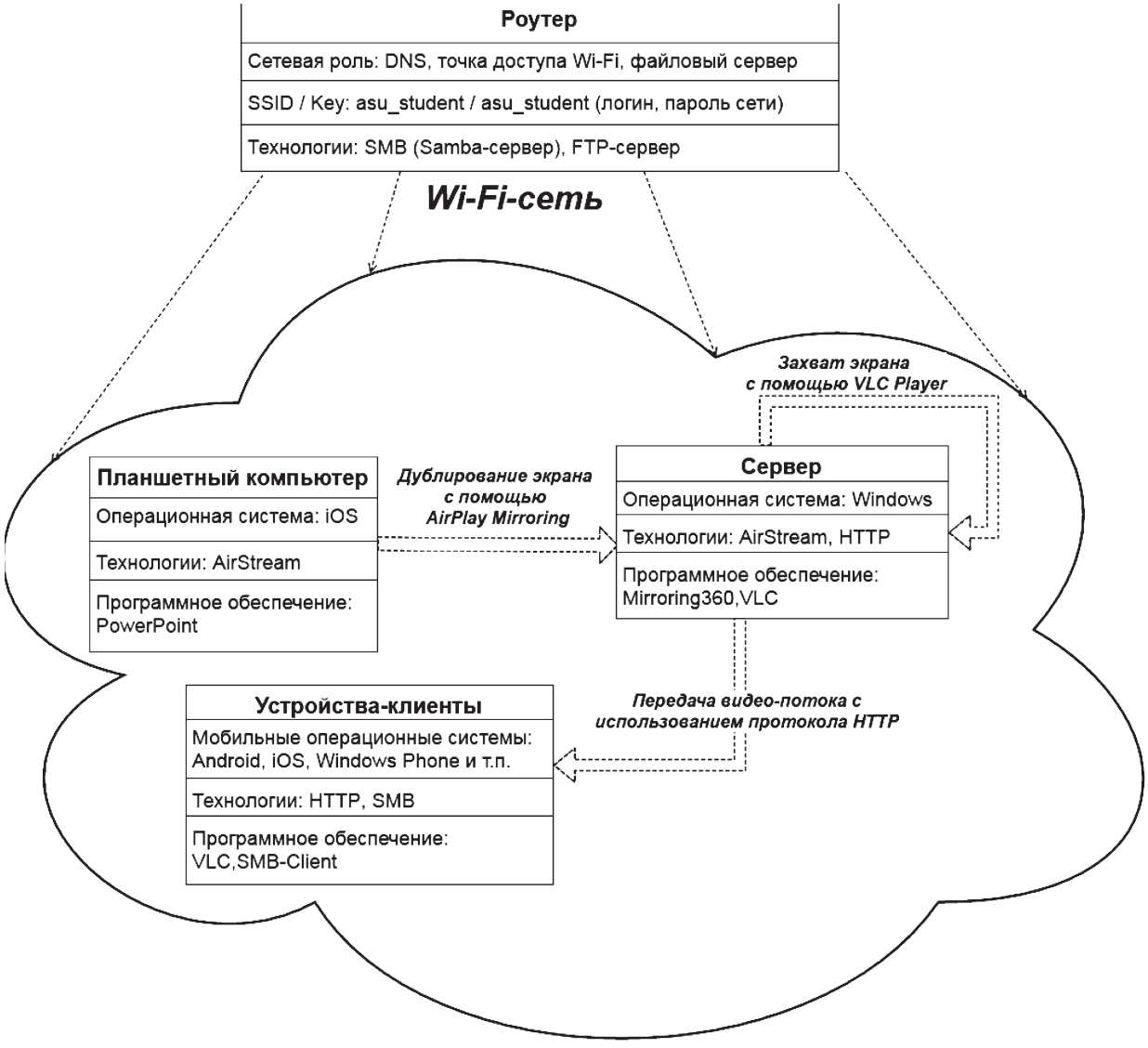


Рис. 3. Схема работы прямой трансляции в локальной информационно-распределённой вычислительной сети

Также возможно использование данной технологии для решения организационно-функциональных задач специального назначения — для организации и проведения работ производственной командой (коллективом) в полевых условиях: например, проведение геофизических исследований, организация и проведение мероприятий для устранения аварийных работ (чрезвычайных ситуаций).

Библиографический список

1. Мухина, Т. Г. Активные и интерактивные образовательные технологии (формы проведения занятий) в высшей школе : учеб. пособие / Т. Г. Мухина. Н. Новгород : ННГАСУ, 2013.
2. Информационные технологии для формирования контента локальной предметной области для автоматизированной информационной системы в реальном времени: лабораторный практикум по дисциплине «Технология моделирования бизнес-процессов» / сост. : Г. Г. Куликов, А. А. Бармин, Д. Г. Шамиданов ; Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 2016.
3. Изучение методологии BPMN на примере программного продукта RunaWFE : лаборатор. практикум по дисциплине «Автоматизированные информационные системы в производстве» / сост. : Г. Г. Куликов, А. Г. Михеев, М. В. Орлов, Р. К. Габбасов, Д. В. Антонов ; Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 2011.
4. Куликов, Г. Г. Описание бизнес-процессов в соответствии с иерархией Хомского / Г. Г. Куликов, А. А. Бармин, М. А. Шилина, Д. Г. Шамиданов // Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24 февр. — 28 февр. 2016 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 249–254.
5. Evernote [Электронный ресурс] // Википедия – свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Evernote
6. Мультиагентная система [Электронный ресурс] // Словари и энциклопедии на Академике. URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1048829
7. Использование AirPlay для отображения видео с компьютера Mac на телевизор высокой чёткости [Электронный ресурс] // Официальный сайт Apple. URL: https://support.apple.com/en-us/HT201343
8. VideoLAN [Электронный ресурс] // Официальная страница медиа-плеера VLC. URL: http://www.videolan.org/vlc/index.html

Сведения об авторах

Куликов Геннадий Григорьевич — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. gennadyg_98@yahoo.com

Бельтюков Анатолий Петрович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ информатики, Удмуртский государственный университет, Ижевск. belt.udsu@mail.ru

Набатов Александр Нурович — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. nbtv@yandex.ru

Шамиданов Дмитрий Геннадиевич — аспирант кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. shamidanow@gmail.com

---

G. G. Kulikov, A. P. Beltiukov, A. N. Nabatov, D. G. Shamidanov

METHOD OF FORMING THE CONTENT META-SUBJECT AREA IN FORMS LOCALLY INFORMATION SYSTEM

The paper presents a methodology of construction of real-time LAN to perform object-oriented distributed business process monitoring and documenting.

ББК 3813
УДК 004.8

Г. Г. Куликов, Т. П. Злобина, С. Ф. Бабак, Д. Г. Шамиданов

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СЛОЖНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КАТЕГОРИЙ ДИАЛЕКТИКИ И ФОРМАЛЬНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ

Предложен системный подход к проектированию сложных интеллектуальных систем на основе категорий диалектики и формальных математических теоретико-множественных методов.

Введение. Анализ проблемы

Во многих сферах деятельности, в том числе и в технической, применяются сложные многофункциональные информационные системы, для проектирования и применения которых необходимы системные научные знания (технические, физические, химические, математические и др.). Известно, что системные знания базируются на общих философских законах, отражённых в категориях диалектики. Разработанные в материальной диалектике принципы и законы явились основой системной методологии и утверждения системного метода познания [1–5]. В системном подходе во всём многообразии воплотились идеи диалектики. Они дали определённый импульс и в развитии формальных математических методов, таких как формальная логика, теория множеств, теория категорий и др. Диалектика в логической форме отражает этапы развития человеческой мысли для получения новых знаний. Она даёт возможность рассмотреть, изучить путь развития какого-либо объекта с учётом множества его подобъектов и их предметного содержания в исследуемой предметной области как части реального мира, исследовать их перспективу, взаимодействие с другими предметами, открыть путь к новым результатам.

Диалектика уникальна: она учитывает опыт других наук и представляет собой систему категорий, сама создаёт и поддерживает принципы своего существования. Категории диалектики в своём единстве отражают общие законы развития мира, они объективно содержательны и логически функциональны, являются одновременно теорией познания и логикой. Диалектика — это та научная система, в которой важное место занимают принципы формальной логики: определённость, доказательность, ясность, последовательность, непротиворечивость. Законы и категории диалектики — это способ познания процессов, явлений природы и общества. Они имеют объективное содержание, так как отражают закономерности реального мира.

Закономерный характер имеет одна из форм всеобщей связи — причинно-следственная, так как в природе, обществе, мышлении всё обусловлено конкретными причинами. Определение причины явлений — это необходимость процесса познания. Причина обусловливает какое-либо явление в объекте или между объектами, его появление, изменение или исчезновение в различных аспектах, сечениях, срезах и т.д. Причинная связь имеет многообразный, всеобщий и объективный характер и может проявляться в каких-либо формах, например через отношения, соответствия, отображения и др. Категория причинности является одной из основных категорий научного исследования, которое нацелено на установление причинно-следственных и следственно-причинных связей.

Принцип причинности означает, что все природные и общественные явления и процессы детерминированы, упорядочены, они появляются, изменяются и исчезают закономерно, обусловлены действием конкретных причин. Принцип детерминизма (определённости) лежит в основе научного познания мира, объяснения явлений в объектах (их предметное содержание) и между объектами. Согласно диалектическому материализму причиной называется то явление, которое при определённых условиях с необходимостью вызывает другие явления или обусловливает в нём изменения. Следствие — это явление, которое порождается или изменяется под действием определённой причины в объекте или между объектами, связь между причиной и следствием закономерна и универсальна. Отметим, что понятие явления предполагает и наличие среды, в которой происходит взаимодействие в объекте или между объектами. В действительности нет беспричинных явлений. Между причиной и следствием существует глубокая логическая связь — всеобщая. Всё имеет свои естественные причины. Но причинная связь не единственная. С ней связаны формы связей, которые отражаются такими категориями, как форма и содержание, возможность и действительность, необходимость и случайность и др.

Причинно-следственная связь — это одно, но необходимое звено во взаимодействии явлений и процессов. Характерной особенностью причинно-следственной связи является её необходимость, то есть данная причина при определённых условиях вызывает определённое следствие. Причинно-следственная связь объективна, закономерна и необходима, она содержится в самих вещах, но сама причина по отношению к какому-либо процессу может быть

и случайной, в таком случае и следствие тоже будет случайным.

Основным свойством причинно-следственной связи является её объективная (обязательная) последовательность во времени: явление, последующее причиной, предшествует следствию, оно не может возникнуть позже или одновременно с ним. Причина и следствие асимметричны, и отношение между ними необходимо. В целом причинно-следственные связи определяются основным правилом логики «Если это..., то…».

Проблема причинно-следственной связи была решена Гегелем, предложившего свою концепцию: причина и следствие находятся в диалектическом взаимодействии. Причина — это активная субстанция (внешняя по отношению к объекту), которая воздействует на пассивный материальный объект (на его внутреннее состояние), вызывает в нём изменение и превращает его во внешнее следствие. При этом следствие не является инертным, оно, в свою очередь, оказывает противодействие. Следствие превращается из пассивного начала (внутреннего состояния объекта) в активное и снова выступает как причина. По мысли Гегеля, причина и следствие переходят друг в друга. Диалектический подход к познанию взаимосвязи причины и следствия позволяет определить зависимость следствия от причины и обратное его воздействие на неё, разделить внешнее и внутреннее (предметное) в объекте. Они находятся в постоянном взаимодействии. Причинная связь в различных сферах деятельности (в природе, обществе, познании) проявляется по-разному, её проявления очень многообразны.

Связь причины и следствия не однообразна, она может быть простой, может быть многогранной и сложной, так как некоторые причины порождают многочисленные развивающиеся следствия, одна причина может вызвать несколько следствий, а одно следствие может быть результатом нескольких причин. Существует причинно-следственная связь типа «эффекта домино»: это взаимодействие одной причины, вызывающей ряд следствий.

По своему характеру причинные связи могут быть разнообразными. Они могут быть прямыми и опосредованными. Различаются внутренние и внешние причины. Внутренняя причина — это взаимодействие внутренних свойств, частей, тенденций данного явления. Внешняя причина — это воздействие одного объекта на другой. Причиной является не одностороннее воздействие одного предмета на другой, а взаимодействие двух и более элементов, входящих в материальное образование. Причинность и взаимодействие — это не тождественные понятия: причинность понятие более узкое. В любом взаимодействии необходимо выделить основное, определяющее, выявить причинную связь. Решающее значение для появления следствия имеют внутренние причины развития всего материального мира — внутренние противоречия как источник самодвижения. Причина и следствие в единстве образуют причинно-следственную цепь, в которой могут меняться местами: в одной связи данное звено может являться причиной, в другом — следствием, данная причина вызывает следствие, само оно становится причиной нового следствия и так далее. Бесконечность этой цепи связана с бесконечностью развития материального мира, в котором всё взаимосвязано и предельно обусловлено. В то же время надо знать, что если находятся два явления, одно из которых — причина, а другое — следствие, то они не могут поменяться местами друг с другом. По времени причина всегда предшествует следствию (хотя иногда это измеряется долями секунды), но не всякое явление предшествующее другому, является его причиной. Следование во времени не является достаточным признаком причины. Причинная зависимость может быть лишь тогда, когда одно явление не только предшествует другому, но и с неизбежностью определяет его. При поверхностном наблюдении последовательности событий за причину может быть принято явление, предшествующее ему, но не закреплённое причинной связью. Следование одного явления за другим не является единственным признаком причинной связи, хотя он необходим. «После этого» не означает «по причине этого». Не всё, что было раньше этого, возможно, случайного явления, будет его причиной. Здесь следует избежать логической ошибки. Только многогранная практика может подтвердить истинность установления причинно-следственной связи и отличить её от простой последовательности явлений во времени. Простого наблюдения последовательности событий, явлений, процессов во времени недостаточно для установления истинной причины. Причинность объективна, она присуща самой действительности и устанавливается, открывается человеком в процессе познания и практической деятельности.

Использование всех имеющихся современных знаний о причинных взаимодействиях позволяет сделать вывод о том, что все явления непосредственно или опосредованно соответственны друг другу, всё в мире взаимосвязано. Следствие может быть вызвано не одной причиной, а множеством, комплексом причин или причинным основанием, в котором различные факторы воздействия не равнозначны. В связи с этим выделяют причины прямые и опосредованные (неосновные), те, без которых это следствие может наступить. В практической деятельности людей возможно установить основные причины (или причину), способные вызвать необходимые следствия. Чтобы понять какое-либо явление, необходимо установить истинную причину его возникновения, если какое-либо нежелательно, то следует устранить его причину.

В процессе анализа причинно-следственных связей учитываются и условия процессов, поводы, а в общественной жизни с участием людей устанавливаются и исследуется их мотивы, интересы, потребности, воля. Условия — это сочетание внутренних, закономерных связей вещи и внешних фактов, окружающей среды. Условиями обусловлено возникновение следствия, поэтому они включены в состав причинного основания, хотя взятые отдельно условия не могут вызвать следствия.

Причину следует отличать от повода. Если между причиной и следствием существует внутренняя закономерная связь, то между поводами и следствиями связь внешняя, видимая (повод может ускорить или замедлить действие основной причины, он является толчком для действия причинного комплекса). Но в некоторых случаях повод (при неравновесных состояниях в природе, обществе, технике) может иметь важное значение. Незначительный импульс может сработать как пусковой механизм и вызвать сложные, значительные, а иногда и катастрофические процессы и их последствия. Связь между причиной и следствием может иметь не только необходимый, но и случайный характер. В таком случае и следствие будет случайным. Причинные основания при случайной связи причины и следствия допускают возможность появления одного из множества альтернативных следствий. Случайное следствие (событие) может произойти, а может и не быть. Из большого количества различных причин, подчас неизвестных, воздействуют на объект некоторые, неопределённые, и таким образом вызывается неожиданные, случайное следствие.

Самые сложные причинно-следственные связи имеют самоорганизующиеся системы, в которых взаимодействия между объектами и в самих объектах обусловлены их предыдущими состояниями, развитием и воздействием различных внешних факторов. Учитывая многообразие причин, необходимо выделить главные, решающие, это позволит найти в цепи явлений, событий основное звено и даст возможность решить стоящие проблемы. Причинность является наиболее общей, универсальной, но не единственной связью, она представляет собой лишь часть сложной мировой связи явлений и процессов и не исчерпывает всего её многообразия.

Постановка задачи исследования

Широкое применение информационных технологий определяет необходимость математической формализации диалектических категорий для исследования множества конкретных предметно-ориентированных областей в творческой деятельности людей. Основой построения системных моделей (категорий знаний) для различных предметно-ориентированных областей деятельности специалистов являются формализованные предметно-ориентированные метаязыки [6; 7], которые, по сути, являются диалектической категорией с объективными адекватными причинно-следственными связями и подчиняющимися общим законам формальной логики. В таких метаязыках общие законы логики как адекватно отражающие структуры исследуемых предметных областей представляются семантическими правилами построения моделей знаний.

Подход к решению задачи

Законы же диалектики представляются как системы аксиом, определяющие истинность этих знаний до идентифицируемых объектов и их причинно-следственных связей в исследуемой и предметной области, то есть семантикой. При этом должна определяться также цепочка причинно-следственных связей между метаязыками, их синтаксисом, семантикой и знаниями о предметной области. Например, для информационной деятельности это может быть естественный метаязык (ЕЯ); графический метаязык (ГЯ); графоаналитический метаязык (ГАЯ); математический метаязык (МЯ); метаязык программирования (ПЯ) и т. д. Определим соответствие между ЕЯ представления причинно-следственной категории, её подкатегорий и формализованным графоаналитическим языком (ФГАЯ) в рамках математической теории категорий. Для дальнейшей формализации логико-семантического (содержательного) представления категории причинно-следственных связей в различных системных представлениях воспользуемся базовыми положениями математической теории категорий. Для исследования решаемой проблемы определим две категории: предметно-ориентированный формальный метаязык (ПОФМЯ); исследуемую предметную область (ИПО) как область (множество) причинно-следственных связей между реальными объектами.

На основе анализа исследуемой предметной области определим словарный базис (для организации терминального алфавита) категории формального языка диалектической причинно-следственной категории, рассмотренной выше: $A_т$ = {объект; явление, причина; следствие; система; функция; утверждение; метод; случайность; субстанция; внутреннее; внешнее…}. Определим словарь для нетерминального алфавита: $W_т$= {категория; среда, предметная область …}.

Технология решения задачи

Для дальнейшей формализации данного языка будем использовать принцип построения порождающих контекстных метаязыков Хомского. Для обозначения объектов введём терминальный символ $Об_j$, ($j = n_1 \ldots n$). Для обозначения связей между объектами используем терминальный символ морфизма $Hom_{i,j}$ (i,j = 1,…n, m). Для отображения линейных логико-структурных связей между объектами $Об_j$, и классификации их как элементов причинно-следственных связей используем следующие синтаксические правила:

– Для каждой пары объектов *A, B* задаётся множество морфизмов Hom_c (*A, B*). Примечание: предположим, что морфизмы классифицированы по признаку «аспект исследуемой предметной области».

– Для пары морфизмов $f < \mathrm{Hom}$ (*A, B*) и $g < \mathrm{Hom}$ (*B, C*) определена композиция до $f_0\ g < \mathrm{Hom}$ (*A, C*). Примечание: действует для выбранного аспекта.

– Для каждого объекта *A* задан тождественный морфизм $id_A = \mathrm{Hom}$ (*A, A*), для которых выполняются аксиомы.

– Операция композиции ассоциативна: $h_0(q_0f) = (h_0q)_0f$.

– Тождественный морфизм действует тривиально: $f_0id_A = idB_0f = f$ для $f < \mathrm{Hom}$ (*A, B*).

Покажем, что представление ИПО с применением данного формального языка позволяет сохранить свойства суперпозиции и ассоциативности всего многообразия причинно-следственных связей в объекте и во взаимодействии объектов в выбранном аспекте.

Нелинейность связей между объектами в рассматриваемом случае будет определяться функторами, связывающими различные аспекты $A_{c.1}, A_{c.2}$ (рис. 1).

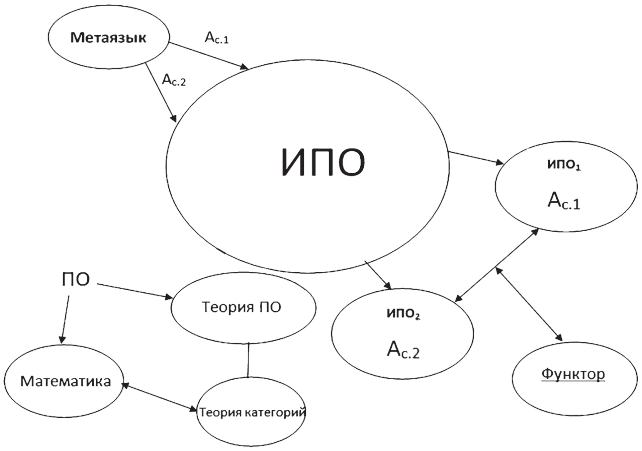


Рис. 1. Схема представления нелинейных связей между объектами ИПО на языке теории категорий

Синтаксическими правилами построения «правильных» предложений на данном метаязыке являются правила построения коммутативных диаграмм.

Коммутативная диаграмма — это ориентированный граф, в вершинах которого находятся идентифицированные объекты, а стрелками являются идентифицированные морфизмы (наделённые определёнными структурными свойствами причинно-следственных связей), причём результат композиции стрелок, то есть бинарная операция на множестве объектов. Аксиомы теории категорий определяют синтаксические правила метаязыка и в графических построениях: ассоциативность композиции, тождественность морфизмов и др. То есть правила композиции объектов и их морфизмов сохраняются и в представлении диаграмм. Таким образом, метаязык является формальным графоаналитическим языком [6]. На рис. 2 приведены синтаксические правила (аксиоматика) формализованного графоаналитического метаязыка.

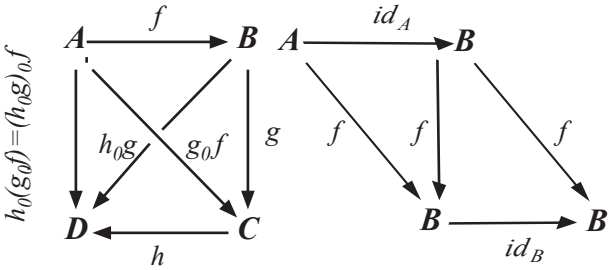


Рис. 2. Графические правила композиции объектов и их морфизмов

Семантические правила, основанные на введённой аксиоматике, позволяют получать непротиворечивые графоаналитические модели ИПО в заданном аспекте, сохраняя принцип двойственности категорий (C^{op}), в которой объекты совпадают с объектами исходной категории (*C*), а морфизмы получаются «обращением стрелок»: $\mathrm{Hom}_{C^{\mathrm{op}}}(B, A) = \mathrm{Hom}_C(A, B)$.

Также сохраняются свойства изоморфизма, эндоморфизма, автоморфизма по следующим правилам:

Морфизм $f \in \mathrm{Hom}$ (*A, B*) называется изоморфизмом, если существует такой морфизм $g \in \mathrm{Hom}$ (*B, A*), что $g_0f = id\ A$ и $f_0\ g = id\ B$.

Два объекта, между которыми существует изоморфизм, называются изоморфными. В частности, тождественный морфизм является изоморфизмом, поэтому любой объект изоморфен сам себе. Морфизмы, в которых начало и конец совпадают, называют эндоморфизмами. Множество эндоморфизмов $\mathrm{End}(A) = \mathrm{Hom}(A, A)$ является моноидом относительно операции композиции с единичным элементом *id A*. Эндоморфизмы, которые одновременно являются изоморфизмами, называются автоморфизмами. Автоморфизмы любого объекта образуют группу автоморфизмов Aut(A) по композиции.

Мономорфизм — это морфизм $f \in \mathrm{Hom}$ (*A, B)* такой, что для любых $g_1, g_2 \in Hom(X, A)$ из $f_0\,g_1 = f_0\,g_2$ следует, что $g_1 = g_2$. Композиция мономорфизмов есть мономорфизм. Эпиморфизм — это такой морфизм $f \in Hom\ (A, B)$, что для любых $g_1, g_2 \in Hom\ (B, X)$ из $g_{10}f = g_{20}f$ следует $g_1 = g_2$. Композиция эпиморфизмов есть эпиморфизм.

Биморфизм — это морфизм, являющийся одновременно мономорфизмом и эпиморфизмом. Любой изоморфизм есть биморфизм, но не любой биморфизм есть изоморфизм. Мономорфизм, эпиморфизм и биморфизм являются обобщениями понятий инъективного, сюръективного и биективного отображения соответственно. Любой изоморфизм является мономорфизмом и эпиморфизмом, обратное верно не для всех категорий.

В соответствии с теоремой о неполноте формальной теории (синтаксический подход) в математической теории категорий вводится понятие инициального и терминального объектов.

Инициальный (начальный, универсально отталкивающий) объект категории — это такой объект, из которого в любой объект категории существует единственный морфизм. Если инициальные объекты в категории существуют, то все они изоморфны. Двойственным образом определяется терминальный или универсально притягивающий объект — это такой объект, в который из любого объекта категории существует единственный морфизм. Объект категории называется нулевым, если он одновременно инициальный и терминальный.

Пример 1. В категории Set инициальным объектом является пустое множество, терминальным — любое множество из одного элемента.

Пример 2. В категории Grp существует нулевой объект — это группа из одного элемента.

Произведение (пары) объектов A и B (рис. 3) — это объект с морфизмами $A{\times}B$ p_1: $A{\times}B \to A$ и p_2: $A \times B \to B$ такими, что для любого объекта Cf_1: $C \to A$ и f_2: $C \to B$ существует единственный морфизм g: $C \to A \times B$ такой, что диаграмма, изображённая справа, коммутативна.

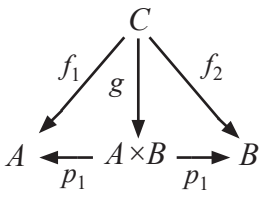


Рис. 3. Произведение и сумма объектов

Морфизмы p_1: $A \times B \to A$, p_2: $A \times B \to B$ называются проекциями.

Двойственно определяется сумма или копроизведение $A+B$. Соответствующие морфизмы iA: $A \to A+B$ и iB: $B \to A+B$ называются вложениями. Несмотря на своё название, в общем случае они могут и не быть мономорфизмами.

Если произведение и копроизведение существуют, то они определяются однозначно с точностью до изоморфизма.

Пример 3. В категории Set произведение A и B — это прямое произведение в смысле теории множеств $A \times B$, а сумма — дизъюнктное объединение A∪B.

Функторы — это отображения категорий, сохраняющие внутреннюю структуру, то есть функтор F: $C \to D$ ставит в соответствие каждому объекту категории C объект категории D и каждому морфизму f: $A \to B$ морфизм $F(f)$: $F(A) \to F(B)$ так, что $F(id_A) = id\,F(A)$ и $F(g)_0\,F(f) = F(g_0 f)$.

Контравариантный функтор, или кофунктор можно понимать как ковариантный функтор из C в D, то есть «функтор, переворачивающий стрелки». А именно, каждому морфизму f: $A \to B$ он сопоставляет морфизм $F(f)$: $F(B) \to F(A)$, соответственным образом обращается правило композиции: $F(g)_0\,F(f) = F(f_0 g)$.

Правило естественного преобразования определяет связь между двумя функторами. Функторы часто описывают «естественные конструкции», в этом смысле естественные преобразования описывают «естественные морфизмы» таких конструкций.

Если F и G — ковариантные функторы из категории C в D, то естественное преобразование η сопоставляет каждому объекту X категории C морфизм η X: $F(X) \to G(X)$ таким образом, что для любого морфизма f: $X \to Y$ в категории C следующая диаграмма коммутативна (рис. 4):

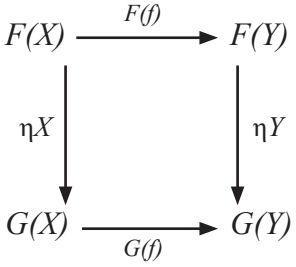


Рис. 4. Диаграмма коммутативности

Два функтора называются естественно изоморфными, если между ними существует естественное преобразование, такое что ηX — изоморфизм для любого X.

Пример 4. Представление описания бизнес-процессов, структуру которых образует система формализованных причинно-следственных связей с применением предметно-ориентированных терминальных метаязыков в соответствии с иерархией Хомского.

Иерархия Хомского — классификация формальных языков и формальных грамматик, согласно которой они делятся на 4 типа по их условной сложности [10].

Формальную грамматику G, по Хомскому, можно представить в виде упорядоченной четвёрки:

$$G = <V_T, V_N, P, S>$$

где V_T — алфавит (множество) терминальных символов — терминалов; V_N — алфавит (множество) нетерминальных символов — нетерминалов; $TNVV = \cup$ — словарь G, причём, $TNVV \cap = \emptyset$; P — конечное множество продукций (правил) грамматики; V^*, $PVV + \subseteq \times S$ — начальный символ (источник).

Здесь V^* — множество всех строк над алфавитом V, а $V+$ — множество непустых строк над алфавитом V.

В [8] приведён пример структурирования данных в аспекте исследуемых предметных областей с применением конкретных программных приложений.

Заключение

В процессе системного описания (извлечения знаний) ПО и его интерпретации основными инструментами являются предметно-ориентированные терминальные метаязыки (ПОТМЯ), формируемые на основе естественного языка в контексте предметной области.

Переход между уровнями иерархии в данном конкретном случае выполняется за счёт описания предметной области в форме метаданных и совокупности хранилищ данных.

Коллектив авторов считает, что возможна дальнейшая формализация данного процесса и его описание в форме категорийных и теоретико-множественных моделей.

Библиографический список

1. Фролов, И. Т. Введение в философию : учеб. пособие для вузов / И. Т. Фролов [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Республика, 2003. 623 с.
2. Аскин, Я. Ф. Философский детерминизм и научное познание / Я. Ф. Аскин. М. : Мысль, 1977. 188 с.
3. Куликов, Г. Г. Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования / Г. Г. Куликов, А. Н. Набатов, А. В. Речкалов. Уфа : УГАТУ, 1999. 223 с.
4. Куликов, Г. Г. Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем. Системное моделирование предметной области : учеб. пособие для студентов / Г. Г. Куликов, А. Н. Набатов, А. В. Речкалов ; М-во общ. и проф. образования РФ. Уфим. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа : УГАТУ, 1998. 103 с.
5. Куликов, Г. Г. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / Г. Г. Куликов, К. А. Конев, В. А. Суворова / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2012. 185 с.
6. Предметно-ориентированный язык [Электронный ресурс] // Википедия — свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Предметно-ориентированный_язык
7. Теория категорий [Электронный ресурс] // Википедия — свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_категорий
8. Куликов, Г. Г. Описание бизнес-процессов в соответствии с иерархией Хомского / Г. Г. Куликов, А. А. Бармин, М. А. Шилина, Д. Г. Шамиданов // Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24 февр.— 28 февр. 2016 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 249–254.
9. Куликов, Г. Г. Структурирование контента информационного пространства технического университета с использованием процессного подхода и семантической идентификации / Г. Г. Куликов, М. А. Шилина, Г. В. Старцев, А. А. Бармин // Вестн. УГАТУ, 2014. № 4 (65). С. 115–124.
10. Хопкрофт, Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений [= Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation] / Д. Хопкрофт, Р. Мотвани, Д. Ульман. М. : Вильямс, 2002. 528 с.

Сведения об авторах

Куликов Геннадий Григорьевич — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. *gennadyg_98@yahoo.com*

Злобина Таисия Павловна — кандидат философских наук, доцент, Уральский государственный университет им. А. М. Горького, Екатеринбург. *asu@ugatu.ac.ru*

Бабак Сергей Федорович — кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. *asu@ugatu.ac.ru*

Шамиданов Дмитрий Геннадиевич — аспирант кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. *shamidanow@gmail.com*

G. G. Kulikov, T. P. Zlobina, S. F. Babak, D. G. Shamidanov

SYSTEMATIC APPROACH TO THE INTELLIGENT DESIGN OF COMPLEX SYSTEMS BASED ON CATEGORIES DIALECTICS AND FORMAL MATHEMATICAL SET-THEORETICAL METHODS

A systematic approach to the design of complex intelligent systems based on the categories of dialectics and formal mathematical set-theoretic methods.

ББК 3972.13
УДК 004.056.5

Т. В. Кутлуев, В. И. Васильев

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ APPLE iOS

Описывается уязвимость в мобильной операционной системе Apple iOS, позволяющая получить доступ к пользовательским данным, и предлагается способ закрыть эту уязвимость.

Мобильная операционная система iOS производства компании Apple сильно изменилась с момента своего первого выхода, в том числе и в области обеспечения безопасности пользовательских данных. Защита пользовательских данных всегда являлась важным компонентом iOS. В устройствах Apple, работающих на ней (iPhone, iPad и iPod Touch), существует несколько уровней. Низкоуровневые аппаратные функции защищают устройство от вредоносного программного обеспечения, а высокоуровневые предоставляют безопасный доступ к пользовательским данным и информации и предотвращают несанкционированное использование устройства. Благодаря тесной взаимосвязи аппаратных и программных компонентов каждый шаг работы устройства, от загрузки системы до запуска приложений, проходит строгий контроль безопасности [1]. Однако до сих пор существует способ получить доступ к личным файлам пользователя.

Суть данного способа заключается в том, что если устройство ранее хотя бы раз было синхронизировано с iTunes на компьютере, то компьютер вносится в специальный список доверенных устройств [2]. Таким образом, сразу после подключения к доверенному компьютеру устройство даёт доступ как к файлам в рабочих папках приложений на устройстве, так и к фотоснимкам, сделанным встроенной камерой. Помимо стандартного ограничения доступа к компьютеру, также можно воспользоваться специальным программным решением. Его суть заключается в том, что сразу после подключения устройства к компьютеру программа считывает с устройства логин Apple ID, к которому привязано устройство, и блокирует все дальнейшие операции с устройством. На экран выводится окно, в котором предлагается ввести соответствующий логину пароль, таким образом доказав, что пользователь является настоящим владельцем устройства. После ввода пароля программа подключается к серверам Apple и производит попытку входа в аккаунт с использованием введённого пользователем пароля. При успешном входе в аккаунт пароль считается верным, а пользователь — полноправным владельцем устройства, и устройство подключается обратно.

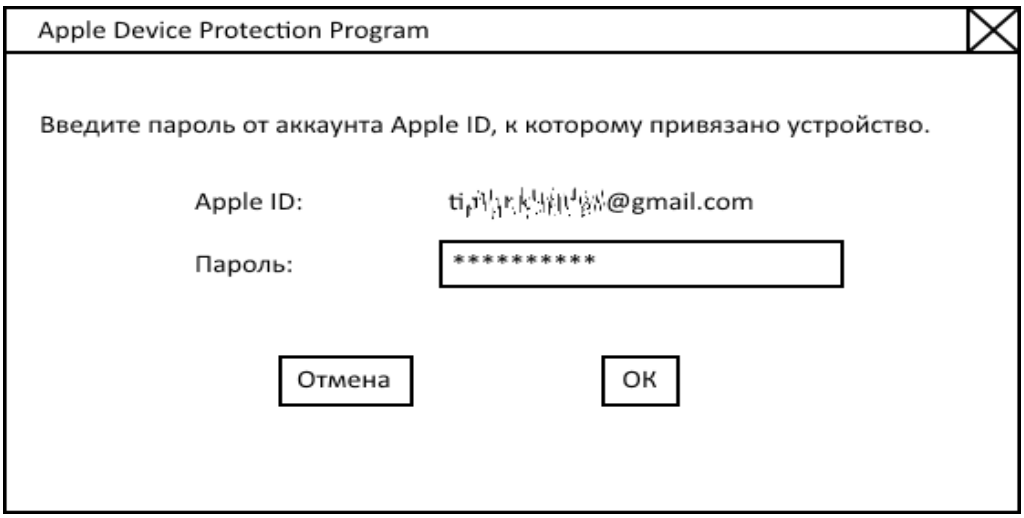
В первую очередь необходимо обеспечить запуск программы при каждом старте компьютера. Наиболее распространённый способ это сделать — внести ярлык программы в папку автозапуска, однако более практично будет реализовать решение как системную службу Windows Service, что обеспечит гарантированный запуск программы при каждой загрузке операционной системы [3].

Следующим шагом является ожидание подключения iOS-устройства к компьютеру. Учитывая, что при подключении к компьютеру устройство регистрируется как съёмный диск (что и требуется предотвратить), определение подключения можно реализовать как периодическое наблюдение за подключёнными к компьютеру устройствами. При обнаружении нового устройства необходимо убедиться, что это именно устройство Apple, а не обычная флешка. Есть два варианта выполнения этой задачи:

1. Проверка только по Vendor ID.
2. Проверка по Vendor ID и Device ID.

Проверка только Vendor ID устройства позволяет обнаруживать любые устройства производства Apple, как уже существующие, так и выпущенные в будущем. Однако, помимо смартфонов и планшетных компьютеров, Apple также выпускает периферийное оборудование (мыши, клавиатуры, мониторы, динамики), которое также имеет Vendor ID Apple (0x05ac), однако персональных данных хранить не может и защите не подлежит.

Проверка как по Vendor ID, так и по Device ID, наоборот, позволяет точно указать устройства, несанкционированный доступ к которым необходимо предотвратить, однако список будет необходимо пополнять при каждом выпуске нового устройства от Apple. Список Vendor и Device ID может содержаться как в отдельном текстовом файле, так и включаться собственно в код программы, чтобы исключить возможность его модификации. В случае если к компьютеру подключено устройство, входящее в этот список, из него первым делом считывается привязанный к нему аккаунт Apple ID, а затем устройство отключается, чтобы не допустить к нему доступа, например, с помощью утилиты Devcon [4]. После успешного отключения устройства программа выводит на экран окно с предложением ввести пароль от аккаунта, к которому привязано устройство, таким образом, доказать, что пользователь является его полноправным владельцем.



Окно запроса пароля

Если пользователь откажется от ввода пароля, нажав на «Отмена» или закрыв окно, устройство останется заблокированным до тех пор, пока не будет отсоединено от компьютера. Если же пользователь ввёл пароль и нажал на «ОК», то далее происходит подключение к серверу Apple и попытка входа в аккаунт, к которому привязано устройство. В случае если вход в аккаунт происходит успешно, программа разрывает соединение и подключает устройство обратно. Если же пользователь ввёл пароль неверно, то программа вернётся к окну ввода пароля.

В статье показано, что актуальная на сегодняшний день версия мобильной операционной системы Apple iOS обладает уязвимостью, позволяющей получить несанкционированный доступ к пользовательским данным на устройстве. Предложенное программное решение позволит обеспечить дополнительную сохранность пользовательских данных и усложнить возможность несанкционированного доступа к ним. В дальнейшем планируется отладка и тестирование данной программы на реальном оборудовании.

Библиографический список

1. iOS Security // Apple.com: http://images.apple.com/ipad/business/docs/iOS_Security_May12.pdf

2. О предупреждении «Доверять этому компьютеру» на устройстве iPhone, iPad или iPod touch // Официальная служба поддержки Apple: https://support.apple.com/ru-ru/HT202778

3. Создание службы Windows с помощью программы Sc.exe // Техническая поддержка Майкрософт: https://support.microsoft.com/ru-ru/kb/251192

4. Windows Device Console (Devcon.exe) // Microsoft Developer Network: https://msdn.microsoft.com/en-us/windows/hardware/drivers/devtest/devcon

Сведения об авторах

Кутлуев Тимур Вазирович — студент-магистрант кафедры вычислительной техники и защиты информации, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. kutluev.timur@mail.ru

Васильев Владимир Иванович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и защиты информации, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. vasilyev@ugatu.ac.ru

---

T. V. Kutluev, V. I. Vasilyev

DEVELOPMENT OF PERSONAL DATA PROTECTION SOFTWARE IN APPLE IOS OPERATING SYSTEM

This paper describes an exploit in Apple iOS operating system, which allows an unauthorized access to the owner's personal data, and suggests a way to close this vulnerability.

ББК В174
УДК 519.1

Т. А. Макаровских, А. В. Панюков

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ САМОНЕПЕРЕСЕКАЮЩЕГОСЯ ОЕ-МАРШРУТА В ПЛОСКОМ ГРАФЕ

Предложен полиномиальный алгоритм построения самонепересекающегося ОЕ-маршрута в плоском эйлеровом графе, являющемся гомеоморфным образом раскройного плана. Данная задача возникает при технологической подготовке процесса раскроя, когда требуется определить маршрут движения режущего инструмента, при котором отрезанная от листа часть не допускает разрезаний и не допускается самопересечения траектории резки.

Лазерная резка является одной из основных технологий, используемых при обработке листового материала. Таким образом, задача определения траектории движения режущего инструмента весьма актуальна. Задача определения траектории заключается в определении точной последовательности резов. Развитие автоматизации производства привело к появлению технологического оборудования с числовым программным управлением, используемым для резки листовых материалов. Новые технологии позволяют осуществлять вырезание по произвольной траектории с достаточной для практики точностью. Преимуществом при использовании лазерной резки является минимальность таких показателей, как ширина реза и термические деформации. Целью задачи определения маршрута резки является поиск такого пути режущего инструмента, при котором выполняются условия предшествования, а время, затраченное на вырезание, минимально [1]. В терминах задачи лазерной резки под условием предшествования понимается требование к тому, чтобы отрезанная от листа часть не требовала дополнительных разрезаний (то есть все элементы вложенного контура должны быть вырезаны прежде, чем внешний контур окажется полностью вырезанным). Кроме того, в процессе лазерной резки происходит нагревание металлического листа. В связи с этим при определении траектории движения режущего инструмента необходимо учитывать как термические эффекты, так и возможные деформации. Это приводит к необходимости избегать пересечение резов.

В [1; 2] приводится классификация задач маршрутизации режущего инструмента и отмечается, что технологии ECP (Endpoint Cutting Problem) и ICP (Intermittent Cutting Problem) за счёт возможности совмещения границ вырезаемых деталей позволяют сократить расход материала, длину резки и длину холостых проходов [2]. Проблемы уменьшения отходов материала и максимального совмещения фрагментов контуров вырезаемых деталей решаются на этапе составления раскройного плана. В [1] отмечено, что для решения задачи ECP известен алгоритм [3], который находит траекторию движения режущего инструмента и минимизирует число точек врезки. Для решения этой задачи авторами статьи [3] использован аппарат теории графов, предложенный в работе алгоритм строит дополнительные рёбра между вершинами нечётной степени графа. Однако приведённый в [3] алгоритм имеет ряд неточностей, которых лишён, например, алгоритм, приведённый в статье [4]. Кроме того, в маршруте, построенном как в статье [3], так и в статье [4], допускается пересечение имеющихся резов.

В данной статье дано решение проблемы маршрутизации при вырезании деталей, когда выполняются оба ограничения: отрезанная от листа часть не требует дополнительных разрезаний [4–6] и в траектории резки отсутствуют пересечения [7; 8].

В [6] отмечено, что применение технологий ECP и ICP в системе технологической подготовки процессов раскроя плоских деталей предполагает следующие этапы.

Составление раскройного плана, заключающееся в нахождении такого варианта размещения вырезаемых деталей на прямоугольном листе, при котором минимизируются отходы и максимизируется длина совмещённых элементов контуров вырезаемых деталей.

Абстрагирование раскройного плана до плоского графа. Для определения последовательности резки фрагментов раскройного плана не используется информация о форме детали, поэтому все кривые без самопересечений и соприкосновений на плоскости, представляющие форму деталей, интерпретируются в виде рёбер графа, а все точки пересечений и соприкосновений представляются в виде вершин графа. Для анализа выполнения технологических ограничений необходимо введение дополнительных функций на множестве вершин, граней и рёбер полученного графа.

Решение задачи построения оптимальных маршрутов с ограничениями, наложенными на порядок обхода рёбер. Данные ограничения непосредственно вытекают из технологических ограничений, наложенных на порядок вырезания деталей: отрезанная от листа часть не должна требовать дополнительных

разрезаний, должны отсутствовать пересечения резов, необходимо оптимизировать длину холостых переходов, минимизировать количество точек врезки и т. д.

Составление программы управления процессом раскроя на основе маршрута, найденного с помощью алгоритма решения абстрагированной задачи маршрутизации. Здесь выполняется обратная замена абстрактных рёбер плоского графа системой команд раскройному автомату, обеспечивающей движение по кривым на плоскости, соответствующим форме вырезаемой детали.

Таким образом, для решения поставленной задачи раскройный план необходимо представить в виде плоского графа. Моделью раскройного листа будем считать плоскость *S*, моделью раскройного плана — плоский граф *G* с внешней гранью f_0 на плоскости *S*. Для плоского графа *G* далее через $E(G)$ будем обозначать множество его рёбер, представляющих плоские жордановы кривые с попарно непересекающимися внутренностями, гомеоморфные отрезкам. Через $V(G)$ обозначим множество граничных точек этих кривых.

Топологическое представление плоского графа $G = (V, E)$ на плоскости *S* с точностью до гомеоморфизма определяется заданием для каждого ребра $e \in E$ следующих функций [5; 6]:

– $v_k(e)$, $k = 1,2$ — вершины, инцидентные ребру *e*;

– $f_k(e)$ — грань, находящаяся справа при движении по ребру *e* от вершины $v_k(e)$ к вершине $v_{3-k}(e)$, $k = 1,2$;

– $l_k(e)$ — ребро, инцидентное грани $f_{3-k}(e)$ и $v_k(e)$, $k = 1,2$;

– $r_k(e)$ — ребро, инцидентное грани $f_k(e)$ и $v_k(e)$, $k = 1,2$.

Поскольку функции $v_k(e)$, $f_k(e)$, $l_k(e)$, $r_k(e)$, $k = 1,2$, построенные на рёбрах графа $G = (V, E)$, для каждого ребра определяют инцидентные вершины, инцидентные грани и смежные рёбра, то справедливо следующее:

Утверждение 1. *Функции $v_k(e)$, $f_k(e)$, $l_k(e)$, $r_k(e)$, $k = 1,2$, построенные на рёбрах графа $G = (V, E)$, определяют плоский граф $G = (V, E)$ с точностью до гомеоморфизма.*

Далее будем считать, что все рассматриваемые плоские графы представлены указанными функциями. Пространственная сложность такого представления будет $O(|E| \cdot \log_2 |V|)$.

В дальнейшем будем использовать ряд понятий, определения которых имеются в работах [9–13]. В частности, маршруты, в которых цикл из пройденных рёбер не охватывает ещё непройденных (т.з. условия предшествования: отрезанная от листа часть не требует дополнительных разрезаний), представляют класс *OE*-маршрутов, а циклы, в которых следующим ребром является ребро примыкающего контура, принадлежат к классу *A*-цепей. Таким образом, *AOE*-цепью является цепь, принадлежащая как классу *OE*-маршрутов, так и *A*-цепей.

Теорема 1 [7]. *Если в плоском графе G существует A-цепь, то существует и AOE-цепь.*

Теорема 2 [7]. *В плоском связном 4-регулярном графе G существует AOE-цепь.*

Перейдём к изложению предлагаемого метода.

Определение 1 [7]. *Рангом ребра $e \in E(G)$ [6] будем называть значение функции $\mathrm{rank}(e): E(G) \to \mathbb{N}$, определяемую рекурсивно: пусть $E_1 = \{e \in E : e \subset f_0\}$ — множество рёбер, ограничивающих внешнюю грань f_0 графа $G = (V, E)$, тогда $(\forall e \in E_1)(\mathrm{rank}(e) = 1)$; пусть $E_k(G)$ — множество рёбер ранга 1 графа $G_k\left(V, E \setminus \left(\bigcup_{l=1}^{k-1} E_l\right)\right)$, тогда $(\forall e \in E_k)(\mathrm{rank}(e) = k)$.*

Ранг ребра определяет его удалённость от внешней грани и показывает, какое минимальное число граней необходимо пересечь, чтобы добраться от внешней грани f_0 до этого ребра. Это позволяет для определения ранга использовать граф $G' = (F, V, E)$, топологически двойственный исходному графу $G = (V, F, E)$: множеством вершин графа G' является множество *F* граней графа *G*, а рёбрам графа G' соответствует наличие между двумя гранями границы ненулевой длины, то есть ребра $e \in E(G)$.

Для всех $f \in F(G)$ расстояние в графе G' между гранью *f* и внешней гранью f_0 можно определить, построив в графе G' дерево $T_{G'}^{f_0}$ кратчайших путей до вершины $f_0 \in F$. Наличие в представлении графа *G* функций $l_k : E(G) \to E(G)$, $k = 1,2$ позволяет найти функции ранга за время, не превосходящее величины $O(|E| \cdot \log_2 |V|)$.

Различные способы вычисления значений функции $\mathrm{rank}(e)$ приведены в работах [13; 14]. Вычислительная сложность определения ранга для всех рёбер графа не превосходит $O(|E| \cdot \log_2 |V|)$.

Определение 2 [7]. *Суграф G_k графа G, для которого*

$$E(G_k) = \{e \in E(G) : \mathrm{rank(e)} \geq \mathrm{k}\},$$

назовём суграфом ранга k.

Предложение 1 [7]. *Вершина, инцидентная четырём рёбрам, смежным внешней грани, является точкой сочленения.*

Предложение 2 [7]. *Внешняя грань суграфа G_k является объединением всех граней ранга k в графе G.*

Из предложений 1 и 2 следует, что в любом плоском графе *G* можно найти вершины, являющиеся точками сочленения для любого суграфа G_k, $k = 1,2,\ldots$, и провести расщепление в этих вершинах таким образом, чтобы в G_k не появились новые грани. В результате получим граф, в котором любой суграф G_k не имеет точек сочленения.

Приведённый в работах [7; 8] алгоритм *AOE*-TRAIL позволяет найти *AOE*-цепь в плоском связном 4-регулярном графе, любой суграф G_k которого

не имеет точек сочленения. Вычислительная сложность представленного алгоритма не превосходит $O(|E|\cdot\log_2|V|)$. Таким образом, справедлива следующая теорема.

Теорема 3 [7]. Алгоритм *AOE*-TRAIL и процедура Constructing(v) строят *AOE*-цепь в плоском связном 4-регулярном графе G за время $O(|E|\cdot\log_2|V|)$.

Класс *AOE*-цепей, который описывает все траектории движения режущего инструмента по примыкающему контуру, не охватывает полностью всех возможных маршрутов движения режущего инструмента, при которых отсутствуют пересечения резов. Общим случаем является решение задачи построения самонепересекающейся *OE*-цепи (или *NOE*-цепи, non-intersecting *OE*-trail).

Определение 3. *Эйлеров цикл в плоском графе G называется самонепересекающимся, если он гомеоморфен циклическому графу* $\tilde{G}$, *который может быть получен из графа G с помощью применения* $|E(G)|$ *операций расщепления вершин.*

По аналогии с работой [15] введём:

Определение 4. *Систему переходов цепи, соответствующую самонепересекающейся цепи, будем называть системой непересекающихся переходов.*

Очевидно, что для системы переходов, соответствующей самонепересекающемуся эйлерову циклу, существует такая начальная вершина и такое конечное ребро, смежное внешней грани, для которых построенный цикл будет *OE*-циклом. Доказательство данного факта во многом схоже с доказательством Теоремы 1 [7] и представляет алгоритм построения *NOE*-цепи.

Для построения *NOE*-цикла в плоском эйлеровом графе, для которого не задано фиксированной системы переходов, можно поступить следующим образом.

На множестве вершин графа $V(G)$ определим булеву функцию

$$\text{Checked}(v)=\begin{cases}true, \text{ если вершина просмотрена,}\\ false, \text{ в противном случае.}\end{cases}$$

При выполнении инициализации все вершины объявить непросмотренными.

Процедура Non-intersecting () расщепляет в графе G все вершины $v\in V(G): d(v)\ge 2k,\ k\ge 3$ на k искусственных вершин степени 4 и вводит k искусственных рёбер, инцидентных полученным после расщепления вершинам и образующим цикл.

ФУНКЦИЯ Non-intersecting (G)
Вход: плоский эйлеров граф G;
Выход: плоский связный 4-регулярный граф G^*;
for ($\forall e\in E(G)$) **do**
  $k=1$;
  while ($k\le 2$) **do**
    if (**not** Checked($v_k(e)$)) **then**
      Handle (e, $v_k(e)$, k);
    k++;
  endwhile
endfor
return G^*;
Конец Функции

В теле функции используется процедура Handle (e, $v_k(e)$, k), которая обрабатывает каждую непросмотренную вершину графа G. Обработка заключается в расщеплении вершины $v_k(e)$ в соответствии с рис. 1.

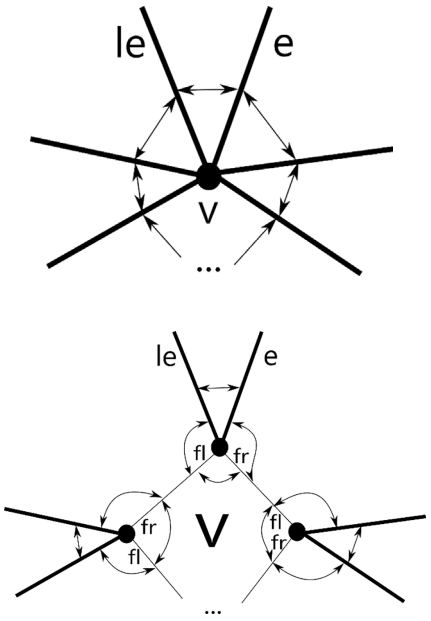


Рис. 1. Расщепление вершины (толстыми линиями показаны рёбра графа G, тонкими линиями — дополнительные (фиктивные) рёбра) и модификация указателей в соответствии с расщеплением

ПРОЦЕДУРА Handle (e, v, k)
// Проход 1: Определение степени вершины v
$e_{first}=e$;
$d=0$; //Степень вершины
do
$le=l_k(e)$;
if ($v_k(le)\ne v$) **then** REPLACE(le);
$e=le$; $d=d+1$;
while ($e\ne e_{first}$);
//Проход 2: Расщепление вершин, степень которых выше 4
if (d>4) **then**
$e=e_{first}$; $le=l_k(e)$; fl = **new** EDGE; $f_{le}=fl$; $e_{first}=e$; $e_{next}=l_k(le)$;
do
$e=e_{next}$; $le=l_k(e)$; $fr=fl$; fl = **new** EDGE; $e_{next}=l_k(le)$;
Pointers(e, le, fr, fl); //Расставить указатели для рёбер

while ($l_k(le) \neq e_{first}$);
Pointers(e_{first} , $l_k\left(e_{first}\right), f_{le}, fe$); //Расставить указатели для ребер
endif
Конец Процедуры

Введённые процедурой Handle $k = d/2$ искусственных вершин и k искусственных рёбер, инцидентных этим вершинам, образуют цикл. В результате обработки всех вершин графа G получим модифицированный граф G^*, являющийся плоским связным 4-регулярным графом. Для G^* применим алгоритм *AOE*-TRAIL() [7], который построит в G^* *AOE*-цепь T^*. Если затем в T^* все искусственные рёбра и инцидентные им вершины, полученные при расщеплении вершины v, заменить на v, то получим самонепересекающуюся цепь T в исходном графе G.

Рассмотрим работу алгоритма на примере графа, привед нного на рис. 2. Данный граф не имеет *A*-цепи, тем не менее, в нём существует самонепересекающаяся цепь.

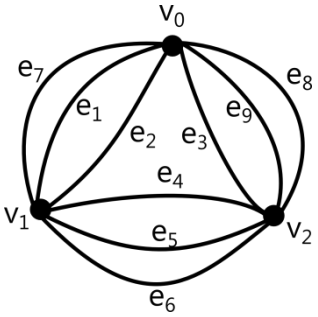


Рис. 2. Пример графа, не имеющего A-цепи и имеющего вершины степени выше 4

После применения процедуры Handle() получим следующий граф:

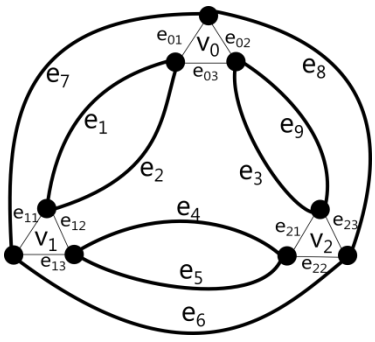


Рис. 3. Пример графа с расщеплёнными вершинами степени 6

В полученном 4-регулярном графе

$$\text{rank}(e_7) = \text{rank}(e_8) = \text{rank}(e_6) = 1,$$

$$\text{rank}(e_1) = \text{rank}(e_9) = \text{rank}(e_5) = \text{rank}(e_{01}) =$$
$$= \text{rank}(e_{02}) = \text{rank}(e_{23}) = \text{rank}(e_{22}) =$$
$$= \text{rank}(e_{13}) = \text{rank}(e_{11}) = 2,$$

$$\text{rank}(e_2) = \text{rank}(e_3) = \text{rank}(e_4) =$$
$$= \text{rank}(e_{03}) = \text{rank}(e_{12}) = \text{rank}(e_{21}) = 3.$$

В результате выполнения алгоритма CUT-POINT-SPLITTING [7] получим граф, представленный на рис. 4.

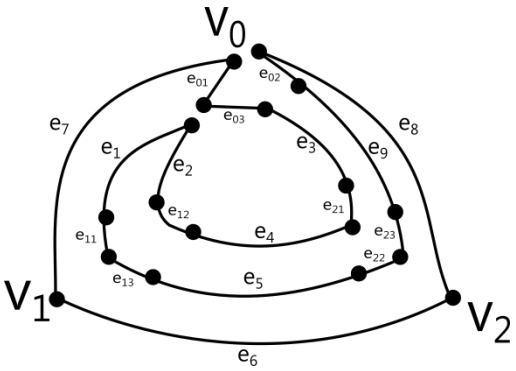


Рис. 4. Граф с расщеплёнными алгоритмом CUT-POINT-SPLITTING вершинами

Таким образом, в этом графе имеем *AOE*-цепь

$$T^* = e_{01}e_{03}e_3e_{21}e_4e_{12}e_2e_1e_{11}e_{13}e_5e_{22}e_{23}e_9e_{02}e_8e_6e_7,$$

которой соответствует *NOE*-цепь

$$T = e_3e_4e_2e_1e_5e_9e_8e_6e_7$$

в исходном графе (на рис. 5 представлен исходный граф с расщеплёнными в соответствии с системой непересекающихся переходов вершинами).

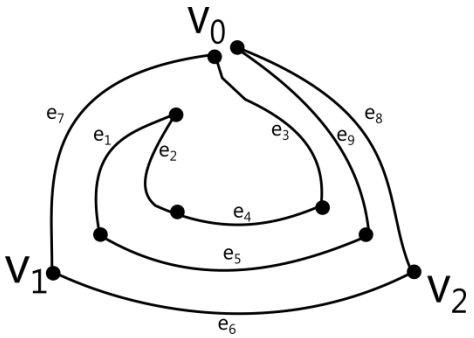


Рис. 5. Исходный граф, в котором вершины расщеплены в соответствии с системой непересекающихся переходов

Отметим, что данный алгоритм строит *NOE*-цепь в плоском эйлеровом графе. В случае плоского неэйлерова (в общем случае несвязного) графа G необходимо расщепить все вершины степени выше 4 в соответствии с алгоритмом Handle(). В результате получим граф, степени вершин которого равны 3 или 4. Для этого графа применим алгоритм построения

AOE-покрытия. В цепях полученного покрытия удалим все искусственные рёбра и стянем все расщеплённые вершины. В результате получим *NOE*-покрытие.

Таким образом, предложенный в работе подход позволяет решить проблему маршрутизации при вырезании деталей, когда на маршрут движения режущего инструмента наложены такие технологические ограничения, как

1) отрезанная от листа часть не требует дополнительных разрезаний;

2) отсутствуют самопересечения траектории резки.

Изложенный в работе алгоритм задачи маршрутизации в плоских графах решает задачу определения последовательности резки в соответствии с наложенными ограничениями по раскройному плану при использовании технологий ECP и ICP, допускающих возможность совмещения границ вырезаемых деталей. Применение этих технологий позволяет сократить расход материала, длину резки и длину холостых проходов.

Библиографический список

1. Dewil, R. A review of cutting path algorithms for laser cutters / R. Dewil,, P. Vansteenwegen, D. Cattrysse, M. Laguna, T. Vossen // International Journal Adv Manuf. Technol. 2015. Vol. 87. P. 1865–1884. DOI 10.1007/s00170-016-8609-1.

2. Dewil, R. An improvement heuristic framework for the laser cutting tool path problem / R. Dewil, P. Vansteenwegen, D. Cattrysse, M. Laguna, T. Vossen // International Journal of Production Research. 2015. Vol. 53, iss. 6. P. 1761–1776.

3. Mander, U. Pierce point minimization and optimal torch path determination in flame cutting / U. Mander, S. Israni // J. Manuf. Syst. 1984. Vol. 3 (1). P. 81–89.

4. Panyukova, T. A. Constructing of OE-postman Path for a Planar Graph / T. A. Panyukova // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер.: Мат. моделирование и программирование. 2014. Т. 7, № 4. С. 90–101.

5. Makarovskikh, T. A. Mathematical Models and Routing Algorithms for CAM of Technological Support of Cutting Processes / T. A. Makarovskikh, A. V. Panyukov, E. A. Savitsky // ScienceDirect IFAC-PapersOnLine 49. 2016. Vol. 12P. 821–826. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.07.876.

6. Makarovskikh, T. Algorithms for constructing resource-saving cutting machines / T. Makarovskikh, E. Savitskiy // Procedia Engineering. 2015. Vol. 129. P. 781–786. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.104

7. Makarovskikh, T. A. AOE-Trails Constructing for a Plane Connected 4-Regular Graph / T. A. Makarovskikh, A. V. Panyukov // CEUR Workshop Proceedings. Vol. 1623. P. 62–71. URL: htpp://ceur-ws.org/Vol-1623

8. Макаровских, Т. А. Определение траектории режущего инструмента с отсутствием пересечения резов / Т. А. Макаровских, А. В. Панюков // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2016) : тр. XVI междунар. конф. М. Аналитик, 2016. С. 138–142.

9. Szeider, S. Finding Paths in Graphs Avoiding Forbidden Transitions / S. Szeider // Discrete Applied Mathematics. 2003. № 126. P. 261–273.

10. Фляйшнер, Г. Эйлеровы графы и смежные вопросы / Г. Фляйшнер. М. : Мир, 2002. 335 с.

11. Panioukova, T. A. Algorithms for Construction of Ordered Enclosing Traces in Planar Eulerian Graphs / T. A. Panioukova, A. V. Panyukov // The International Workshop on Computer Science and Information Technologies' 2003, Proceedings of Workshop, Ufa, September 16–18, 2003. Ufa, 2003. Vol. 1. P. 134–138.

12. Panyukova, T. Chain sequences with ordered enclosing / T. A. Panioukova // Journal of Computer and System Sciences International. 2007. Vol. 46, № 1. P. 83–92.

13. Панюкова, Т. А. Цепи с упорядоченным охватыванием в плоских графах / Т. А. Панюкова // Дискретный анализ и исследование операций. 2006. Т. 13, № 2. Ч. 2. С. 31–43.

14. Савицкий, Е. А. Использование алгоритма поиска в ширину для определения уровней вложенности ребер плоского графа / Е. А. Савицкий // Информационные технологии и системы : тр. Третьей Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр.— 2 марта 2014 г. Челябинск : Изд-во ЧелГУ, 2014. С. 43–45.

15. Макаровских, Т. А. О числе OE-цепей для заданной системы переходов / Т. А. Макаровских // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер.: Математика. Механика. Физика. 2016. Т. 8, № 1. С. 5–12.

Сведения об авторах

Макаровских Татьяна Анатольевна — кандидат физико-математических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск. Makarovskikh.T.A@susu.ru

Панюков Анатолий Васильевич — доктор физико-математических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск. paniukovav@susu.ru

T. A. Makarovskikh, A. V. Panyukov

ALGORITHM FOR CONSTRUCTING OF NON-INTERSECTING OE-PATH FOR A PLANE GRAPH

The paper presents a polynomial time algorithm for constructing of non-intersecting OE-path for a plane Eulerian graph being the homeomorphic image of a cutting plan. This problem arises during technological support process of a tool path planning problem when a part cut-off a sheet does not require additional cuts and there are no intersections of cutting path.

ББК С822
УДК 65.011.56

Г. С. Малтугуева, А. Ю. Юрин, Н. О. Дородных

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ «ВЫБОР»

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-07-01125)

Приведено описание архитектуры, функциональных возможностей, алгоритмического обеспечения и методические указания по работе с системой поддержки принятия решений «Выбор».

Многообразие сложных задач, связанных с поддержкой принятия решений при обработке информации и выработке управляющих воздействий, обусловливает востребованность специального математического, алгоритмического и программного обеспечения, повышающего эффективность процесса поддержки принятия решений. Трудоёмкость данного процесса возрастает, если он связан с необходимостью обобщения множества мнений, полученных в ходе коллегиального обсуждения, и выработки некоего компромиссного решения, являющегося «групповым» («коллективным») предпочтением — выражением мнения всех участников малой группы (численностью до нескольких сот человек). Кроме этого в большинстве случаев при решении практических задач возникает необходимость оценивания рассматриваемых вариантов по набору критериев, что в дальнейшем усложняет процедуру получения агрегированных оценок и выработку окончательного результата.

К настоящему времени разработаны разнообразные методы и подходы к решению задач выбора: методы свёртки (аддитивная, мультипликативная), метод анализа иерархий, методы вербального анализа (ПАРК, ЗАПРОС, ОРКЛАСС), эвристические методы (метод Франклина, СМАРТ), аксиоматический подход (методы теории полезности), пороговые методы (семейство методов ЭЛЕКТРА), голосование, мозговой штурм, консилиум, метод Дельфи и т.д. Для принятия групповых многокритериальных решений применимы методы вербального анализа (АРАМИС, МАСКА, ПАКС, ПАКС-М), метод групповой аналитической иерархии, методы усреднения, аддитивная свёртка, методы агрегирования парных сравнений, метод агрегирования ранжировок (АИР) и т.д. [1–2].

Эффективность применения методов решения задач выбора может быть повышена с помощью специального программного обеспечения. Отметим наиболее известные программные разработки, которые применяются при решении практических задач: ГАС «Выборы», «СВИРЬ», «Выбор», «Общий мозг», «ПОИСК-ИТ», «ДУМА», система стратегического планирования предвыборной кампании, «ОЦЕНКА и ВЫБОР», системы электронного голосования и др. Особенностью данных программных разработок является реализация единственного метода решения поставленной задачи, что в свою очередь не позволяет сравнивать результаты решений задачи разными методами. Таким образом, несмотря на разработку различных методов решения задач выбора, проблема создания эффективного и универсального инструмента для поддержки лица, принимающего решение, является актуальной.

В работе [3] приведено описание многометодного подхода к решению задач выбора, который позволяет применять различные методы к решению задачи выбора (в зависимости от типа задачи, формы результата, вида входных данных) и формировать обоснованный результат. На рис. 1 приведена схема многометодного подхода к решению задач выбора.

Для повышения эффективности и уменьшения времени решения задачи принятия решений в малых группах было разработано программное обеспечение, позволяющее агрегировать индивидуальные предпочтения экспертов в форме ранжировок [2]. В силу того, что авторами созданы программные модули в виде динамических библиотек, реализующие процедуры голосования, а также методы АРАМИС и АИР, было принято решение рассматривать данную программу в качестве прототипа системы поддержки принятия решений «Выбор».

Пользовательский интерфейс был модифицирован с учётом предпочтений пользователей и современных требований к интерфейсу:

– функциональность (соответствие задачам пользователя);
– соответствие технологии;
– понятность и логичность;
– обеспечение высокой скорости работы пользователя;
– обеспечение защиты от человеческих ошибок;
– быстрое обучение пользователя;
– субъективное удовлетворение пользователя.

Архитектура СППР «Выбор» была изменена за счёт включения в состав базы данных паспортов методов решения задач выбора, которая позволяет накапливать и в последующем использовать информацию о методах (рис. 2). Приведём пример паспорта метода (см. таблицу).

Рис. 1. Схема многометодного подхода

Пример паспорта метода АРАМИС

Название	АРАМИС
Полное название	Агрегирование и ранжирование альтернатив около много-признаковых идеальных ситуаций
Разработчик	А. Б. Петровский
Тип задачи	Групповой многокритериальный выбор
Входные данные	Вербальные, числовые оценки
Вид результата	Агрегированные оценки вариантов, упорядочение вариантов
Математическая основа	Мультимножества
Особенности	Работа в метрическом пространстве мультимножеств Петровского
Ограничения	Метрики для вычисления расстояния влияет на результат
Применение (задачи)	1. Оценка проектов в РФФИ. 2. Выбор конструкционных материалов. 3. Выбор мероприятий по улучшению состояния атмосферного воздуха в городе. 4. Оценка эффективности медицинского персонала
Ссылки	Петровский А. Б. Теория принятия решений. М. : Академия, 2009. 400 с.

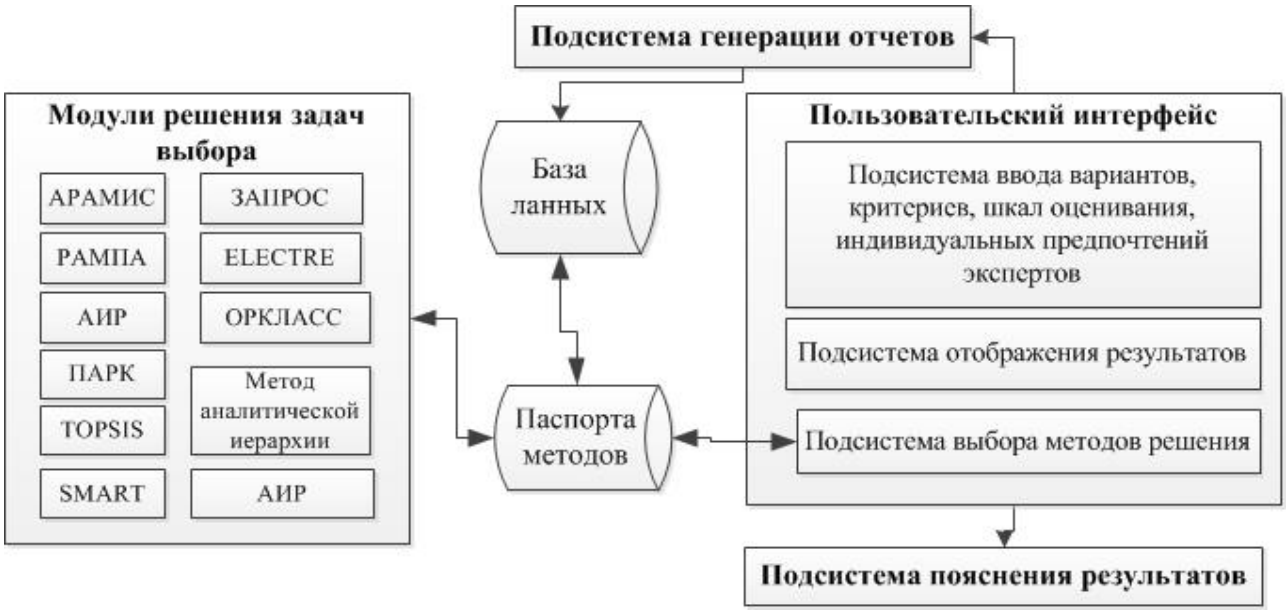


Рис. 2. Архитектура СППР «Выбор»

В настоящее время СППР «Выбор» предполагает единственный режим доступа — пользовательский, все изменения (редактирование методов, добавление методов) осуществляется разработчиками по запросу пользователя. Основными функциями программной системы, составляющими основные этапы решения задач выбора, являются:

– описание возможных вариантов решения, критериев оценки, включая шкалы оценивания;

– описание индивидуальных предпочтений с возможностью выбора любой формы представления — оценки (числовые, вербальные), ранжировки, парные сравнения (числовые, вербальные значения);

– формирование агрегированных оценок для всех вариантов путём обобщения всех индивидуальных предпочтений;

– отображение результатов.

Работа пользователя с СППР выполняется в соответствии со следующей схемой:

1) ввод входных данных (варианты, критерии, шкалы оценивания, экспертные мнения — индивидуальные предпочтения);

2) поиск решений выбранными методами;

3) просмотр результатов (сравнение, генерация отчета).

Для работы на первом этапе (ввод данных) необходимо нажать кнопку «Изменить» в области «Шаг 1. Ввод альтернатив, критериев, индивидуальных предпочтений». Исходные данные могут быть введены пользователем или загружены из базы данных.

После ввода вариантов, критериев, шкал оценивания и индивидуальных предпочтений пользователю предлагается перейти на следующий этап. В области рабочего экрана «Шаг 2. Выбор методов решения» необходимо выбрать методы решения, применимые к поставленной задачи, и нажать кнопку «Выполнить поиск».

После этого в области «Шаг 3. Просмотр результатов» появляются результаты решения поставленной задачи всеми методами, указанными пользователем. На данном этапе пользователю предоставляется возможность просмотра пошагового решения, для этого необходимо нажать на кнопку с отображенным на ней результатом, после чего появляется окно описания процесса поиска решения.

Для сохранения результатов необходимо нажать кнопку «Сохранить сессию», после чего откроется окно сохранения данных. Результат работы системы будет сохранен в базу данных, а также будет сгенерирован отчёт по данной сессии в текстовом формате.

Библиографический список

1. Петровский, А. Б. Теория принятия решений / А. Б. Петровский. М. : Академия, 2009. 400 с.

2. Малтугуева, Г. С. Агрегирование предпочтений в группах. Метод и программное средство / Г. С. Малтугуева, А. Ю. Юрин. Berlin: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014. 117с.

3. Малтугуева, Г. С. Реализация многометодного подхода к обработке индивидуальных предпочтений / Г. С. Малтугуева, А. Ю. Юрин, А. Б. Петровский, Н. О. Дородных // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы III Всерос. Поспелов. конф. с междунар. участием (ГИСИС’2016), 6–11 июня 2016 г. Светлогорск : Изд-во Балтийс. федерал. ун-та им. Иммануила Канта, 2016. С. 173–181.

Сведения об авторах

Малтугуева Галина Станиславовна — программист, Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова Сибирского отделения РАН, Иркутск. gama@icc.ru

Юрин Александр Юрьевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова Сибирского отделения РАН, Иркутск. iskander@icc.ru

Дородных Никита Олегович — программист, Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова Сибирского отделения РАН, Иркутск. tualatin32@mail.ru

---

G. S. Maltugueva, A. Yu. Yurin, N. O. Dorodnykh

"CHOICE" DECISION SUPPORT SYSTEM

The paper describes the architecture, functionality, algorithms and user manual of the "CHOICE" decision support system.

ББК 3972
УДК 004.5

С. Г. Маслов

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ ТРИАДНОГО ИНТЕРФЕЙСА

Рассматривается новый интерфейс для взаимодействия субъекта с активной терминологической системой в процессе реализации своей профессиональной деятельности.

Организация эффективного мышления и результативной профессиональной деятельности во многом зависит от системы знаний и удобства действий с нею, что, в свою очередь, зависит от совершенства интерфейса взаимодействия человека с компьютинговой средой (или компьютером).

В практике исследовательской, конструкторской и пользовательской деятельности часто используются триадные мыслительные и материальные конструкции. В частности, в синергетике используется системная триада принципов «*открытость—нелинейность—когерентность*, в системном подходе используется триадная декомпозиция систем «*узел—функция—объект*» [1], иногда используются триады «*цель—подцели—задачи*», «*задачи—алгоритмы—функции*» [2], «*структура—функции—управление*» (В. В. Смолянинов) и другие. Форма триад позволяет быстро восстанавливать в памяти субъекта сложные сетевые ассоциации и обеспечивает гибкость перестройки описаний.

Принятая форма описания впоследствии сильно влияет на саму деятельность и реализацию интерфейса «человек — компьютинговая среда». Среди современных пользовательских интерфейсов можно выделить следующие: ***NUI*** (естественный или интуитивно понятный интерфейс), ***OUI*** (органический интерфейс), ***AR*** (дополненная реальность), ***VUI*** (голосовые интерфейсы), ***TUI*** (осязательные интерфейсы), ***SNUI*** (сенсорные сетеобразующие интерфейсы), ***HCI*** (человеко-компьютерное взаимодействие), ***BCI*** (интерфейс «мозг—компьютер»), виртуальный 3D-интерфейс. Как видим, в основном используются интерфейсы, связанные с сенсорным аппаратом (естественным или расширенным). В данном случае рассматривается *триадный интерфейс*, который не просто фиксирует формы представления, но и содержательную сторону систем понятий. Всё это позволяет более естественно включить человека в единый технологический процесс по материализации идей и капитализации знаний. Основой для триадного интерфейса служит *активная расслоенная терминологическая система* [3], имеющая следующий вид:

$$f: M \cdot S \cdot K \cdot V \cdot Q \rightarrow W, \qquad (1)$$

где f — функция полной детализации описания структуры знаний; M — модификаторы вида формализации (метафорическая, концептуальная, математическая…); S — модификаторы вида системных представлений (морфологический, функциональный, либернетический…); K — модификаторы слоя знаний (дескриптивный, конструктивный…); V — модификаторы форм представления (моносенсорные, полисенсорные…); Q — система вопросов; W — множество возможных ответов на задаваемые вопросы.

Кроме того, учитывается цель построения объекта $\boldsymbol{G}$, а также аспектные слои $\boldsymbol{L_n}$ и создаваемый контекст достижения цели $\boldsymbol{D}$. Примеры аспектных слоёв приведены в таблице.

Триадный интерфейс действует по формуле

[корни – ствол – крона] + операции.

В этом случае реализуется интерактивное взаимодействие на основе динамически формируемого дерева понятий и движение по нему *в прямом и обратном направлении*. Иногда целесообразно переключение в *сетевое представление* (или *другие формы невербального представления знаний — образы*, а также переходы по слоям описаний), чтобы можно было видеть более *адекватный контекст* (широкий, глубокий и т. п.) решения проблемы. Дерево понятий, вообще говоря, может быть динамическим (строиться и преобразовываться в процессе работы). Для выполнения последней

Аспектные слои в триадном представлении

№	Аспект	Корни	Ствол	Крона	?
1	Морфологический	Состав	Целое	Использование	Что
2	Функциональный	Аргументы	Функции	Результаты	Как
3	От состояний	Состояние до	Состояние	Состояние после	Какие
4	Временной	Прошлое	Настоящее	Будущее	Когда

задачи в качестве невербального инструмента должна использоваться некоторая *система генерации, синтеза и преобразования образов*.

Основной формат просмотра системы понятий в триадном интерфейсе представлен на рис. 2 и 3.

В заключение следует отметить, что триадный интерфейс, в свою очередь, является основой для разработки эргатического интерфейса. Здесь рассмотрен наиболее простой и реализованный вариант, который сейчас используется в процессе обучения для таких

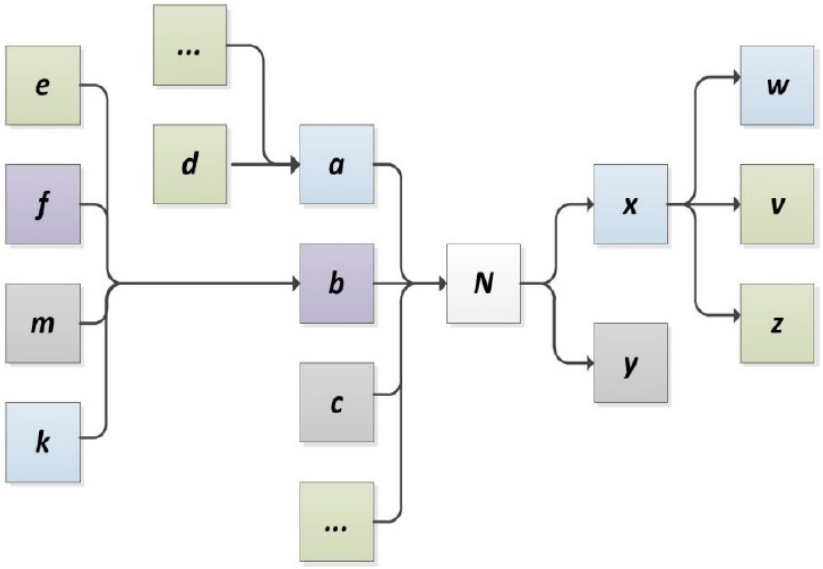


Рис. 1. Морфологическое описание системы в триадном интерфейсе: Движение по системе понятий осуществляется по ссылкам следующих видов: #раскрываемая, #в разработке, #скрытая, #просмотренная.

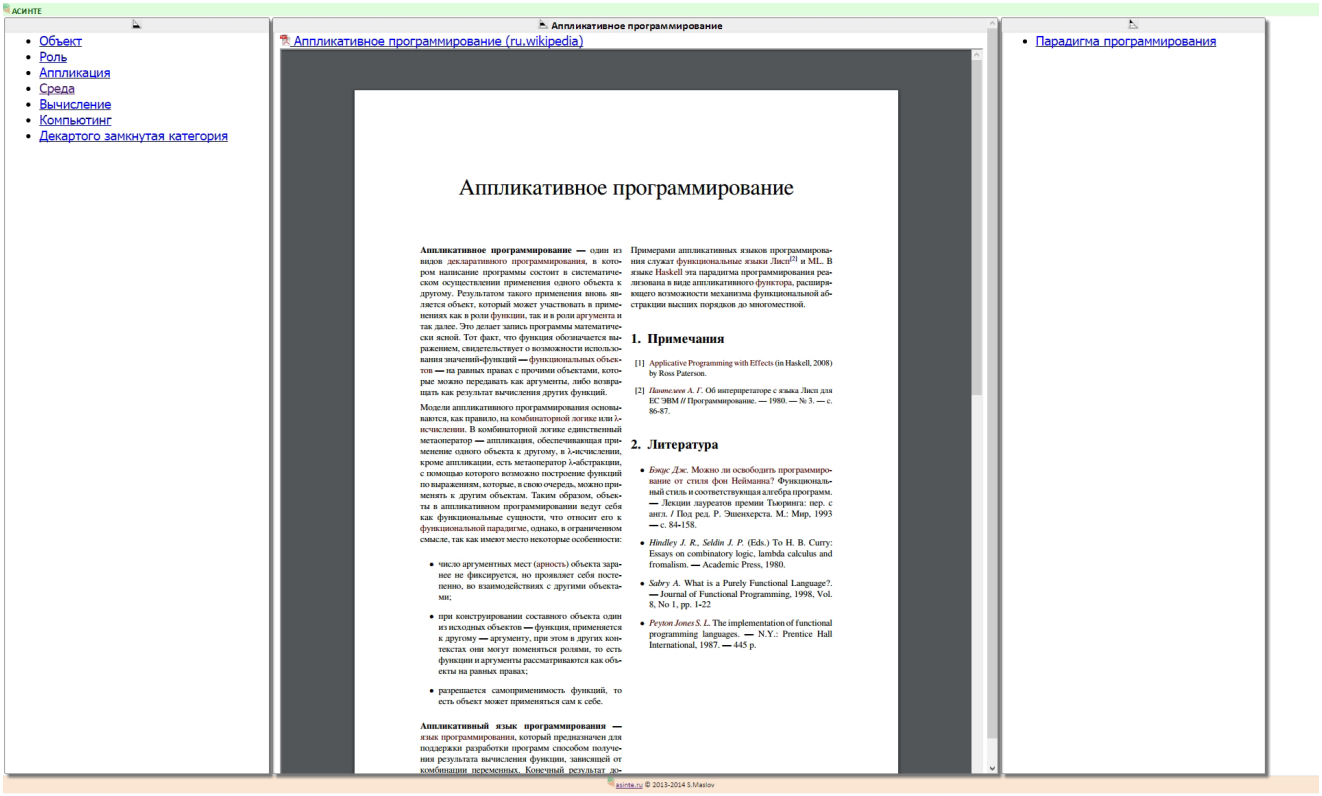


Рис. 2. Понятие «Аппликативное программирование»

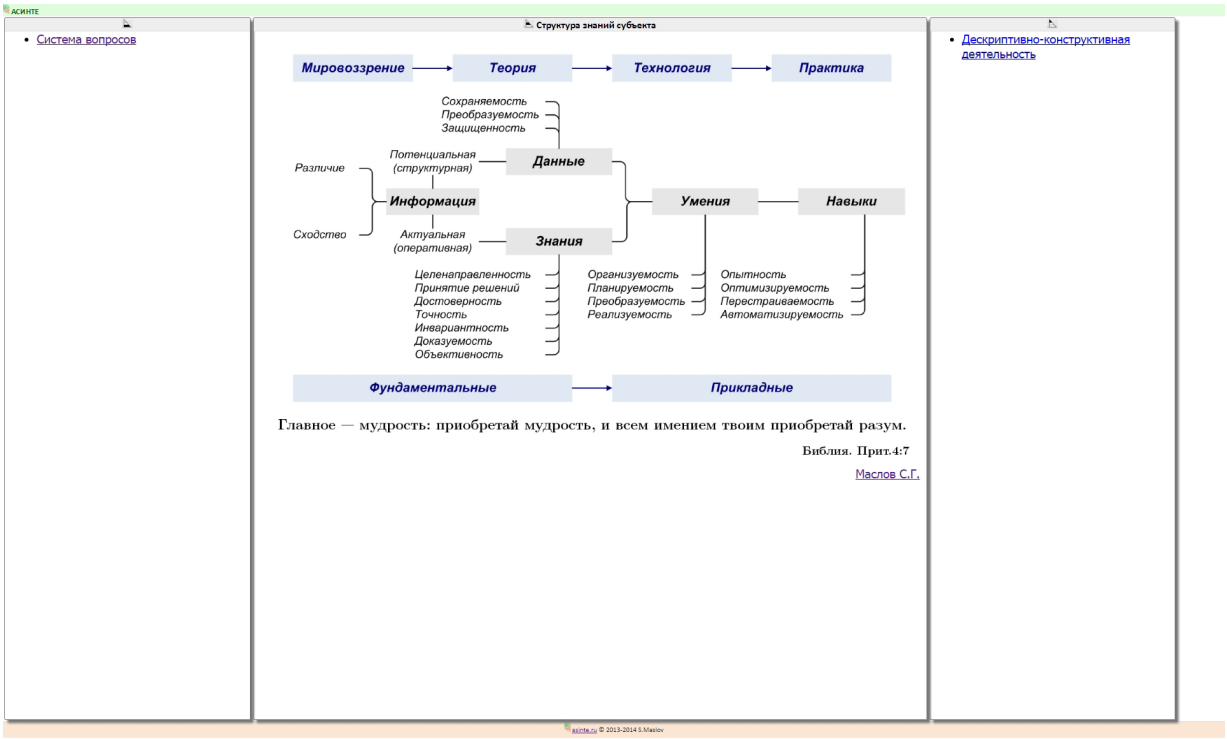


Рис. 3. Схема «Структура знаний субъекта»

дисциплин, как «Теория систем и системный анализ» и «Парадигмы и языки программирования».

Библиографический список

1. Маторин, С. И. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / С. И. Маторин, О. А. Зимовец. Белгород : Изд-во НИУ «БелГУ», 2012. 288 с.

2. Гузаиров, М. Б. Системный подход к анализу сложных систем и процессов на основе триад / М. Б. Гузаиров, Б. Г. Ильясов, И. Б. Герасимова // Проблемы упр. 2007. № 5. С. 32–38.

3. Маслов, С. Г. Активная расслоенная терминологическая система / С. Г. Маслов, А. П. Бельтюков // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и упр. 2011. Т. 7, вып. 3 (12). С. 103–113 с.

Сведения об авторе

Маслов Сергей Геннадьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ информатики, Удмуртский государственный университет, Ижевск. msh.sci.it@gmail.com

---

S. G. Maslov

SYSTEM MODEL OF THE TRIAD INTERFACE

The new interface for interaction of the subject with the active terminological system in implementation process of the professional activity is considered.

ББК Ц903
УДК 355.58

Л. В. Массель

КОНВЕРГЕНЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР, КАЧЕСТВА ЖИЗНИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Результаты, представленные в статье, получены при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 16-07-00474, № 16-07-00569

Рассматривается возможность и обосновывается необходимость интеграции и конвергенции исследований критических инфраструктур, качества жизни и безопасности. Предлагается использовать показатель качества жизни как один из факторов, который необходимо учитывать при определении критически важных объектов критических инфраструктур, и включить в число индикаторов качества жизни степень обеспеченности населения энергоресурсами в необходимом объёме и требуемого качества. Рассматриваются возможности применения в исследованиях критических инфраструктур разработанных в авторском коллективе средств 3D-геовизуализации. Иллюстрируется применение методов когнитивного моделирования, разработанных под руководством автора, для поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности, для получения интегрального показателя качества жизни. Приводятся примеры разработанных моделей.

Введение. Коллектив, возглавляемый автором*, имеет существенный задел в создании инструментальных средств для исследований качества жизни, энергетической и кибернетической безопасности. Анализ методов исследований критических инфраструктур за рубежом показывает, что методы, разрабатываемые в этом направлении в авторском коллективе, соответствуют их уровню. Представляется, что необходимы интеграция и конвергенция исследований критических инфраструктур, качества жизни и безопасности. Качество жизни при этом может стать одним из факторов, который необходимо учитывать при определении критически важных объектов критических инфраструктур как объектов жизнеобеспечения. Кроме того, предлагается расширить число индикаторов качества жизни за счёт включения индикатора, определяющего степень обеспеченности населения энергоресурсами в необходимом объёме и требуемого качества. При совместном рассмотрении качества жизни и кибернетической безопасности предлагается учитывать как явные, так и неявные киберопасности, опосредованно влияющие на качество жизни. В статье иллюстрируется применение методов когнитивного моделирования, разработанных под руководством автора, для поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности, для получения интегрального показателя качества жизни. Рассматриваются возможности применения в исследованиях критических инфраструктур научной визуализации на основе авторских инструментальных средств 3D-геовизуализации. Приводятся примеры разработанных когнитивных моделей качества жизни.

Критические инфраструктуры. В случае военных действий одной из важнейших целей для поражения считается гражданская инфраструктура, выведение из строя или уничтожение которой может привести к ущербу, сопоставимому с ударами, наносимыми по вооружённым силам. Критической инфраструктурой называется часть гражданской инфраструктуры, представляющая собой совокупность физических или виртуальных систем и средств, важных для государства в такой мере, что их выход из строя либо уничтожение может привести к губительным последствиям в области обороны, экономики, здравоохранения и безопасности нации [1]. В иерархической структуре, включающей 11 секторов в соответствии с их важностью, отражённой в «Национальной стратегии по физической защите критической инфраструктуры и ключевых объектов» (The National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructure and Key Assets) 2003 г., на нижнем, базовом уровне находятся сектора: информационно-телекоммуникационный, энергетический и водообеспечения. Коллектив, возглавляемый автором, выполняет исследования в первых двух областях [2]. В настоящее время в США выделяют до 18 секторов критической инфраструктуры, что и отражено на официальном сайте МВБ [3].

Изучение и анализ критической инфраструктуры — относительно молодое явление. Этот вопрос стал привлекать к себе пристальное внимание только в конце прошлого столетия. Так, в июле 1996 г. административным указом президента США № 13010 «О работе по исследованию уязвимости защиты критической инфраструктуры от кибернетических и физических угроз» была сформирована

* Лаборатория информационных технологий Института систем энергетики им. Л .А. Мелентьева Сибирского отделения РАН, г. Иркутск.

комиссия по защите критической инфраструктуры при президенте США (President's Commission on Critical Infrastructure Protection — PCCIP). Сейчас исследования критической инфраструктуры становятся приоритетными во многих странах мира, и в первую очередь в США, где уровень развития информационных технологий и возможности современных комплексов имитационного моделирования постоянно повышаются [1]. Среди целей подобных исследований выделяют защиту национальной критической инфраструктуры и организацию воздействия на её объекты у противника. При этом главная задача состоит в выявлении ключевых объектов (или их совокупности), воздействие на которые может оказать наиболее негативный эффект на отрасль экономики, ключевой ресурс или всю инфраструктуру, а также в оценке последствий подобного воздействия и разработке механизмов снижения таких рисков. Такие работы ведутся и в организации, которую представляет автор (Институт систем энергетики СО РАН), например, [4].

Вместе с тем одной из основных трудностей при выявлении ключевых объектов критической инфраструктуры до недавнего времени являлось отсутствие чёткого математического аппарата, что не позволяло сформировать количественные показатели уязвимости объектов. Вероятно, этим и можно объяснить то, что в основе большинства подобных исследований лежал метод экспертных оценок, предусматривающий обязательное наличие информации о возможном ущербе «эталонного объекта» или разработку специальной шкалы факторов рискованности («небезопасности») таковых.

Основной недостаток подобных моделей состоит в том, что исследования, как правило, осуществляются без учёта связности объектов, входящих в критическую инфраструктуру. В то же время без учёта и анализа сетевой составляющей каждого сектора критической инфраструктуры (экономического, финансового, энергетического и т. д.) очень проблематично обеспечить достаточную адекватность модели объекту исследования.

Для устранения этих недостатков в США началось формирование целого кластера научно-исследовательских организаций, занимающихся вопросами разработки современных математических моделей для исследования критической инфраструктуры.

Уделяется особое внимание анализу возможных чрезвычайных ситуаций в энергетическом секторе. В составе министерства энергетики США с сентября 2003 г. функционирует рабочая группа визуализации и моделирования (The Visualization and Modeling Working Group — VMWG), призванная повысить возможности министерства по проведению быстрого и всестороннего анализа возможных чрезвычайных ситуаций в энергетическом секторе. Группой применяются самые современные информационные технологии, геоинформационные системы, база данных происшествий на объектах энергетического сектора и др. [1].

Взаимосвязь критически важных объектов. Для иллюстрации сложности взаимосвязи элементов критических инфраструктур и важности их понимания приводят инцидент, произошедший 19 июля 2001 г., когда поезд из 62 цистерн, перевозивший опасные химические вещества, сошёл с рельсов в тоннеле на Говард-стрит в г. Балтимор, США. Помимо нарушения железнодорожного и автомобильного сообщения, произошло каскадное разрушение инфраструктуры: водопровода, системы электрораспределения и телекоммуникаций. Кроме того, разрушение железнодорожного сообщения имело последствия и для штатов Нью-Джерси, Пенсильвания, Дэлавер, Нью-Йорк и Мэриленд в виде задержек доставки угля и стали.

Одним из таких примеров в энергосистемах России, иллюстрирующих сложность взаимосвязей критических инфраструктур, может послужить авария, которая произошла 25 мая 2005 г. в энергосистеме Москвы. Техногенная авария, от которой, по некоторым подсчётам, пострадали около двух миллионов человек, началась на электроподстанции № 510 «Чагино», расположенной на юго-востоке Москвы, в районе Капотня. Непосредственной причиной аварии, как считают, стало сочетание нескольких факторов, среди которых — износ оборудования, отсутствие резервных мощностей и высокая температура, сохранявшаяся в Москве в течение нескольких дней (свыше 30 °C). В результате «столичного блэкаута» на несколько часов была отключена подача электроэнергии в нескольких районах Москвы, Подмосковья, а также Тульской, Калужской и Рязанской областей. Несколько десятков тысяч человек оказались заблокированы в остановившихся поездах московского метро и лифтах, было нарушено железнодорожное сообщение и парализована работа многих коммерческих и государственных организаций. На предприятиях Москвы, Подмосковья и близлежащих областей произошёл сброс очистных вод. В итоге Москва оценила потери от блэкаута в 1,708 млрд р., а Московская область — в 503,94 млн р. [5].

Таким образом, критическая инфраструктура любого государства не что иное, как большая сложная система стратегического масштаба, представляющая собой совокупность значительного количества элементов разного типа, объединённых связями различной природы, и обладающая общим свойством (назначением, функцией), отличным от свойств отдельных элементов всей совокупности, что требует разработки специальных методов исследования.

Методы исследования критических инфраструктур. Основными подходами, используемыми

при исследовании критических инфраструктур [1], являются теория центров тяжести Клаузевица [6], похожий подход Вардена [7], теория самоорганизующихся сетей (scale-free network) А. Барабаши [8]. В частности, под руководством автора ведутся работы в этой области, основанные на использовании теории комплексных сетей [9]. Возможности применения методов 3D-геовизуализации иллюстрируются рис. 1–2, аналогичными тем, которые приводятся в описаниях зарубежных исследований. О применении методов семантического моделирования будет сказано далее.

Рис. 1. Ново-Иркутская ТЭЦ

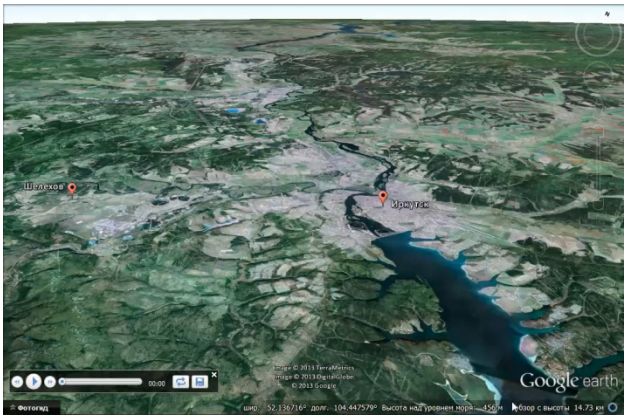


Рис. 2. Отображение поля выбросов SO_4 в атмосферу вблизи ТЭЦ (г. Шелехов, Иркутская область)

По мнению автора, исследования критической инфраструктуры следует выполнять с учётом жизненных интересов населения, которые, как представляется, наиболее комплексно могут быть отражены в показателе качества жизни.

Качество жизни. Категория «качество жизни» впервые была введена в научный оборот в 1960-х гг. в связи с попытками моделирования зарубежными исследователями траекторий промышленного развития. Существует много различных определений качества жизни, но наиболее полно это понятие раскрыто в контексте здравоохранения. Согласно определению, принятому ВОЗ, качество жизни — это восприятие индивидуумами их положения в жизни в контексте культуры и системе ценностей, в которых они живут, в соответствии с целями, ожиданиями, нормами и заботами.

Качество жизни понимают как совокупность объективных и субъективных параметров, характеризующих максимальное количество сторон жизни человека, его положение в обществе и удовлетворённость им. На рис. 3 приведена схема составляющих качества жизни согласно определению Всемирной организации здравоохранения [10]. Из рисунка видно, что качество жизни определяется не только финансовым благополучием, но ещё учитывает состояние защищенности, здоровье, положение человека в обществе и, главное, его собственную оценку всех этих факторов. Интегральный показатель качества жизни обобщает показатели здоровья, социально-личностного благополучия и благосостояния.

Рис. 3. Качество жизни согласно определению ВОЗ

Под руководством автора выполняется работа, в которой обосновывается, что получение интегрального показателя с помощью строгих математических методов затруднено. Предлагается привлекать для этой цели методы искусственного интеллекта, а именно, когнитивное моделирование — одно из направлений семантического моделирования [11]. Кроме того, в исследованиях качества жизни в интегральном показателе качества жизни [12] до последнего времени не учитывалось влияние обеспеченности энергоресурсами, в то время как дефицит энергоресурсов может оказать существенное влияние как на уровень, так и на качество жизни. Предложено включать в число индикаторов качества жизни внешние факторы, в частности, степень обеспеченности энергетическими ресурсами [13].

Семантическое моделирование представляет одно из современных направлений искусственного интеллекта и связано с описанием предметной области с помощью концептов (базовых понятий) и отношений между ними. В авторском коллективе

разрабатываются такие виды семантического моделирования, как онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное [14].

Онтологическое моделирование используется для классификации концептов предметной области. *Когнитивное моделирование* позволяет выявить причинно-следственные отношения между концептами (факторами) и вклад факторов, например, в формирование угроз энергетической безопасности.

Под когнитивным моделированием понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги — связям между факторами (положительным или отрицательным), в зависимости от характера причинно-следственного отношения. Связь является положительной, если увеличение (уменьшение) одного концепта приводит соответственно к увеличению (уменьшению) другого. Если увеличение концепта, наоборот, вызывает уменьшение другого — связь отрицательная. Математическим аппаратом для построения когнитивных моделей является теория графов.

Когнитивные карты как метод исследования были впервые предложены в 1976 г. Р. Аксельродом для моделирования, анализа ситуации и принятия решения в ситуациях с высокой степенью неопределённости. На рис. 4 приведена уже ставшая «классической» когнитивная карта Аксельрода.

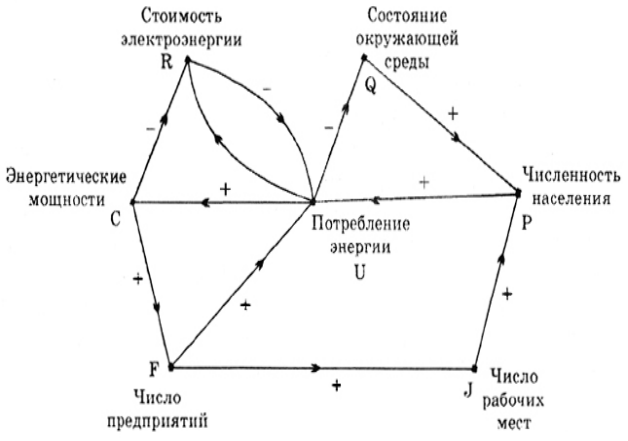


Рис. 4. Когнитивная карта Аксельрода

Для нас она интересна тем, что включает факторы как интегрального показателя качества жизни, так и связанные с обеспеченностью энергоресурсами.

На рис. 5 приведена когнитивная карта индикаторов качества жизни согласно общепринятой в этих исследованиях методике SF-36 [12] (все связи положительные).

После обработки (анализ связей и введение весовых коэффициентов) когнитивная карта приобретает вид, приведённый на рис. 6.

Выполненные исследования подтвердили возможность применения когнитивного моделирования для получения интегрального показателя качества жизни с использованием семантического моделирования, а также целесообразность включения в число индикаторов качества жизни дополнительного индикатора обеспеченности энергетическими ресурсами.

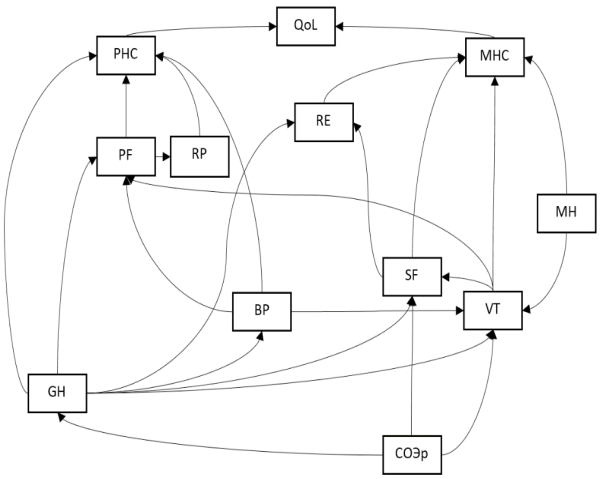


Рис. 5. Когнитивная карта индикаторов качества жизни согласно методике SF-36 (все связи положительные):

PF (Physical Functioning) — физическое функционирование; **RP** (Role-Physical Functioning) — ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием; **BP** (Bodily pain) — интенсивность боли; **GH** (General Health) — общее состояние здоровья; **VT** (Vitality) — жизненная активность; **SF** (Social Functioning) — социальное функционирование; **RE** (Role-Emotional) — ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием; **MH** (Mental Health) — психическое здоровье; **PHC** (Physical health) — общий компонент физического здоровья; **MHC** (Mental health) — общий компонент психического здоровья; **QoL** (QualityofLife) — интегральный показатель качества жизни; **СОЭр** — степень обеспеченности энергетическими ресурсами

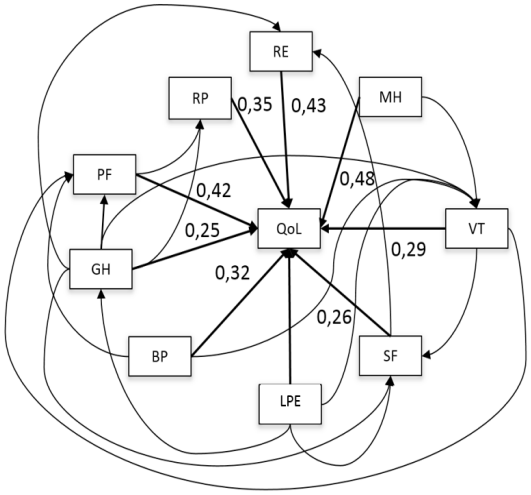


Рис. 6. Когнитивная карта структуры качества жизни согласно методике SF-36 после обработки (все связи положительные)

Выше в структуре качества жизни использовалось понятие «безопасность» (см. рис. 1). Остановимся на нём подробнее.

Общественная безопасность как неотъемлемое условие качества жизни. Понятие комплексной безопасности — весьма широкое и многоплановое, рассматривается многими специалистами, например, [15]. Не претендуя на всеобъемлющий охват, рассмотрим те виды опасностей (угроз), которые волнуют обычного человека, и те, исследованием которых занимается коллектив под руководством автора. Выделим следующие виды опасностей (угроз):

– террористическая;
– криминальная;
– недостаточность водоснабжения (чистой воды);
– недостаточность продуктов питания (экологически чистых продуктов);
– загрязнённость окружающей среды;
– энергетическая;
– кибернетическая и др.

В настоящее время население, находясь под прессингом сообщений СМИ, озабочено скорее двумя первыми, хотя три последующие перманентно более опасны, но, вероятно, постоянное их присутствие в то же время вызывает привыкание. Не останавливаясь на этом спектре угроз, о которых много говорят, рассмотрим две последние, которым уделяется гораздо меньше внимания — угрозам энергетической и кибернетической безопасности, тем более, что они являются предметом научных исследований коллектива, который представляет автор.

Под *энергетической безопасностью* понимается состояние защищённости граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита ТЭР в нормальных условиях и в экстремальных ситуациях, а также от нарушений стабильности, бесперебойности топливо- и энергоснабжения [16]. Под экстремальными ситуациями в энергетике понимаются как чрезвычайные, так и критические ситуации, определение которых базируется на оценке состояний систем или объектов по шкале: «норма», «предкризис» — критическая ситуация, «кризис» — чрезвычайная ситуация. Исходя из этого под *критическими ситуациями* понимаются ситуации, когда возникают угрозы бесперебойному функционированию технических объектов и объектов обеспечения жизнедеятельности и/или угрозы жизни или здоровью как отдельных людей, так и социальных (профессиональных) групп. Эти угрозы могут быть устранены принятием соответствующих превентивных и оперативных мер, которые не позволят критической ситуации перерасти в чрезвычайную. Из этого определения следует, что для оценки таких ситуаций необходимы анализ и ранжирование таких объектов с целью определения критически важных. В число стратегических угроз энергетической безопасности ранее не входила угроза кибернетической опасности, но в последнее время киберопасности включены в этот перечень [17].

Кибернетическая безопасность, согласно стандарту T-REC-X.1205-ITU-T, трактуется как набор средств, стратегии, принципы обеспечения безопасности, гарантии безопасности, руководящие принципы, подходы к управлению рисками, действия, профессиональная подготовка, практический опыт, страхование и технологии, которые могут быть использованы для защиты кибернетической среды, ресурсов организации и пользователя.

Кибернетическая среда — это подключённые компьютерные устройства, персонал, инфраструктура, приложения, сервисы, телекоммуникационные системы, а также совокупность передаваемой и/или хранящейся информации. Кибернетическая безопасность состоит в попытке достижения и сохранения свойств безопасности у ресурсов организации или пользователя, направленных против соответствующих угроз безопасности в кибернетической среде. В нашем случае кибернетическая безопасность трактуется согласно стандарту ISO 27032:2012 как базирующаяся на пяти составляющих, но не являющаяся синонимом ни одного из них. Наибольший интерес в ключе исследований критических инфраструктур вызывает защита информации в ключевых системах информационной инфраструктуры, являющейся неотъемлемой частью критических инфраструктур.

Помимо явных существуют *неявные киберопасности,* рассматриваемые в основном в связи с социологическими проблемами, которые тем не менее могут существенно влиять на качество жизни, например:

– влияние на зрение и на здоровье в целом;
– компьютерная зависимость и интернет-зависимость;
– цифровое неравенство;
– компьютерные преступления;
– социальная опасность (плохая адаптируемость в обществе компьютерно-зависимых людей; доведение до суицида в социальных сетях и др.);
– компьютерные игры и виртуальная реальность.

Заключение. Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1) целесообразно использование показателя «качество жизни» при определении критически важных объектов критических инфраструктур; 2) необходимо уделять большее внимание рассмотрению угроз энергетической безопасности и кибербезопасности при исследовании безопасности как одной из составляющих качества жизни; 3) целесообразно включение в число индикаторов качества жизни такого внешнего индикатора, как степень обеспеченности энергоресурсами; 4) необходимо применение методов искусственного интеллекта при получении интегрального показателя качества жизни, в частности, методов когнитивного моделирования.

Всё сказанное иллюстрирует необходимость конвергенции, то есть интеграции и взаимопроникновения исследований критических инфраструктур, качества жизни и безопасности, с акцентированием внимания на энергетической и кибернетической безопасности.

Библиографический список

1. Кондратьев, А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах [Электронный ресурс] / А. Кондаратьев. URL: http:// pentagonus.ru/publ/ soremnnye_ tendencii_v_issledovanii_kriticeskoj_infrastruktury_v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (дата обращения 7.09.2015)
2. Массель, Л. В. Разработка интеллектуальных семиотических систем для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах (на примере энергетики) / Л. В. Массель, А. Г. Массель //Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф. ИТиС –2016, Банное, Россия, 24–28 февраля 2016 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. С. 119–125.
3. Critical Infrastructure Sectors // Official website of the Department of Homeland Security. URL: https://www.dhs.gov/critical-infrastructure-sectors
4. Еделев, А. В. Применение распределённых вычислений для выявления критически важных объектов газотранспортной сети России / А. В. Еделев, С. М. Сендеров, И. А. Сидоров // Информац. и мат. технологии в науке и упр. 2016. № 1. С. 55–62.
5. Канарейкин, А. Автоматика не сработала: техногенные катастрофы XXI века [Электронный ресурс] / А. Канарейкин // Энергетика и промышленность России. 2015. 4 февр. URL: http://www.eprussia.ru/epr/264/975889.htm
6. Клаузевиц, К. О войне / К. Клаузевиц. М. : Эксмо, Мидгард, 2007.
7. Warden, J. Centers of gravity in military operations. Preliminary draft / J. Warden. Royal Swedish Defence College, 2004.
8. Albert, R. Statistical mechanics of complex networks / R. Albert, A.-L. Barabasi // Rev. Mod. Phys. 2002. Vol. 74, № 47. arXiv:cond-mat/0106096.
9. Тихомиров, А. А. Математическое описание стволовых сетей / А. А. Тихомиров, А. И. Труфанов, Л. Л. Носырева, Е. В. Носырева // Труды XVII Байкальской Всероссийской конференции. Иркутск, 2012. Т. 3. С. 149–153.
10. ВОЗ Health Impact Assessment Toolkit : рук. по оценке воздействия на здоровье. ВОЗ, 2005.
11. Массель, Л. В. Когнитивное моделирование индикаторов качества жизни: предлагаемый подход и пример использования / Л. В. Массель, А. А. Блохин // Вестн. НГУ. Сер.: Информ. технологии. 2016. Т. 14, № 2. С. 72–79.
12. Айвазян С.А. Интегральные индикаторы качества жизни населения: их построение и использование в социально-экономическом управлении и межрегиональных сопоставлениях / С. А. Айвазян. М. : ЦЭМИ РАН, 2000. 117 с.
13. Массель, Л. В. Метод когнитивного моделирования индикаторов качества жизни с учётом внешних факторов / Л. В. Массель, А. А. Блохин // Наука и образование. 2016. № 4. С. 65–75. DOI: 10.7463/0416.0839061.
14. Массель, Л. В. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Труды III Международная научно-техническая конференция OSTIS-2013, Беларусь. Минск, БГУИР. 2013. С. 247–250.
15. Воробьёв, Ю. Л. Комплексная безопасность человека : учебн. пособие / Ю. Л. Воробьёв, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов ; МЧС России. М. : ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. 360 с.
16. Энергетическая безопасность России / В. В. Бушуев, Н. И. Воропай, А. М. Мастепанов, Ю. К. Шафраник. Новосибирск : Наука., Сиб. изд. фирма РАН, 1998. 306 с.
17. Массель, Л. В. Киберопасность как одна из стратегических угроз энергетической безопасности России / Л. В. Массель, Н. И. Воропай, С. М. Сендеров, А. Г. Массель // Вопр. кибербезопасности. 2016. № 4 (17). С. 2–10.

Сведения об авторе

Массель Людмила Васильевна — доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН, Иркутск. massel@isem.irk.ru

---

L. V. Massel

CONVERGENCE OF CRITICAL INFRASTRUCTURE, QUALITY OF LIFE AND SAFETY RESEARCHES

The article discusses the possibility and necessity of integration and convergence of critical infrastructure studies, quality of life and safety. It is proposed to use the indicator of quality of life as one of the factors that must be considered when determining the critical facilities of critical infrastructure, and to include the degree of availability of energy in the required volume and quality required as one of the quality of life indicators. It's considered the possibilities of application in the research of critical infrastructures of the 3D-geovizualization tools developed by leadership of author. The use of the cognitive modeling methods is illustrated, developed by the author leadership to support decision-making in research and ensuring energy security for the integral index of quality of life. Examples of the developed models are shown.

УБК 3973
УДК 004

В. А. Мельников, Д. В. Пашкевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ТОЧНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

Даётся описание эксперимента, проводимого в ходе работы над проектом «Автономная теплица», по исследованию влияния внешних условий на рост растения; эксперимента по исследованию точного выращивания; описание технологий и устройства программно-аппаратного комплекса «Автономная теплица» и применения технологий точного выращивания.

В XXI в., в условиях быстрого роста населения, истощения природных ресурсов и увеличения их стоимости появляется необходимость получать высококачественный урожай в короткие сроки и при минимальных затратах ресурсов. Для этого применяют современные технологии: гидропонные и аэропонные системы, специальное (инновационное) светодиодное освещение, точное выращивание и др. В XX в. также распространение получили математические модели роста растений. Важность научного обоснования и математического моделирования (с помощью уравнений и формул) процессов роста в системе «почва—растение—атмосфера» были доказаны советскими учёными. Основные факторы, учитываемые при математическом моделировании: фототосинтетическая активная радиация (ФАР), влажность почвы, температура воздуха, CO_2, минеральные питательные вещества в почве. Существует и обратное мнение, что *«все эти уравнения несут на себе отпечаток случайности и не могут в полной мере достоверно прогнозировать темпы роста и урожайность»*. Несмотря на это, вслед за математическим моделированием появилась новая технология точного выращивания, использующая контроль основных факторов роста. Сегодня данная технология всё больше набирает популярность. В данной статье будет рассмотрена возможность решения проблемы увеличения урожая в искусственных (домашних) условиях путём применения инновационных технологий и технологии точного выращивания [1–3].

В статье «*Организация эксперимента по исследованию влияния света определённой длины волны и длительности суточного режима на растения*» (М. А. Кирюшкин, Д. В. Пашкевич) было подробно описано, какое влияние свет различных спектров с определённой длиной волны оказывает на растения. Были проведены эксперименты по описанной технологии. Посажены три растения. Все условия роста были одинаковы, кроме длины суточного режима. В результате эксперимента наилучший рост был выявлен при стандартных сутках.

Следующий эксперимент был направлен на исследование различий в росте растений при обычном (дневном) освещении и специальном (светодиодном) освещении.

Для этого были разработаны маленькие светодиодные светильники (в количестве двух экземпляров — с двумя красными и одним синим светодиодом). Эксперимент заключается в следующем: один образец растёт под светодиодным освещением, второй — под дневным светом. Остальные параметры были идентичными (режим полива, среднекислый грунт, питательные вещества, режим проветривания и т. д.).

Были получены следующие результаты (рис. 1): взошёл быстрее салат под светодиодным освещением; на протяжении 15 дней салат, росший под естественным освещением, по высоте обгонял салат, росший под искусственным освещением.

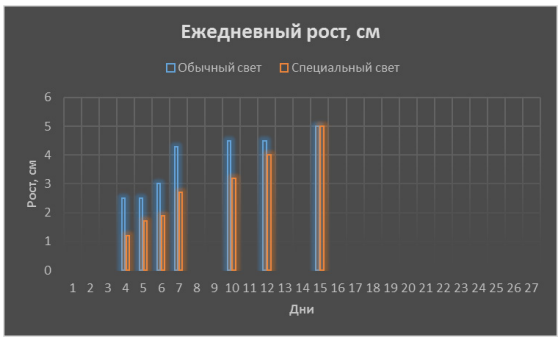


Рис. 1. Рост салата по дням

К концу эксперимента (через 15 дней) салат, росший под искусственным освещением, стал иметь такую же высоту, как и под естественным освещением. Но салат под светодиодным (искусственным) освещением имел бóльшую массу и листья большего размера (рис. 2, 3).

Рис. 2. Салат, росший под естественным освещением

Причины полученных результатов: салат под естественным светом (рис. 2) имел бóльшую высоту, очень тонкие стебли и некрупные листья за счёт того, что тянулся к свету — это означает недостаточную освещённость. Салат под светодиодным светильником (рис. 3), в котором преобладали светодиоды красного спектра, набрал массу, напитался соком именно благодаря преобладанию красного спектра. Как было сказано ранее, красный спектр позволяет растениям набирать питательную массу, а синий — вытягиваться вверх [3; 4].

Рис. 3. Салат, росший под искусственным освещением

Также на рост салата под искусственным освещением повлиял световой поток. Для большинства растений световой поток должен варьироваться в границах 6 000–8 000 Лм/м^2. Площадь контейнеров, которые использовались для проведения эксперимента, составляет 0,071 м^2. Таким образом, минимальный световой поток, необходимый для освещения такой площади, равен 8 000 · 0,071 = 565,2 Лм. Дополнительно необходимо учитывать расстояние от светильника до растения (15 см). Потери в освещённости при таком расстоянии составляют около 15–20 %. Это означает, что световой поток должен быть на 15–20 % больше и составлять 650–680 Лм. Светильники, которые были использованы для эксперимента, дают несколько больший световой поток — 750 Лм (красный светодиод — 300 Лм, синий светодиод — 150 Лм, по заявленным характеристикам производителя) [5–7].

В ходе сотрудничества с биологами, при изучении статей и материалов по исследованию применения инновационных методов выращивания растений, возникает вопрос: а так ли важно создавать максимально оптимальные условия для конкретного вида растения или достаточно применить общие благоприятные условия выращивания? Для этого подробнее рассмотрим технологию точного выращивания и её влияние на рост растений.

Точное выращивание — это «*наиболее эффективная форма выращивания, сфокусированная на применении минимального количества материалов для получения максимального результата*» [8].

Следующим экспериментом планируется проведение исследования по выявлению различий влияния на рост растений обычных условий и условий, созданных при использовании технологии точного выращивания.

Эксперимент будет представлять собой следующее: будут посажены два экспериментальных образца салата. Первый будет выращиваться в обычном режиме (ручной полив, ручной контроль температуры, ручной контроль влажности и т. д.). Второй — в специально подготовленной умной теплице, которая будет обеспечивать технологию точного выращивания. В текущее время идёт разработка установки (устройства), которая позволит применять методы данной технологии. В устройстве будут установлены системы автоматического полива, светодиодного освещения, проветривания и контроля влажности (что позволит обеспечивать необходимые условия растению), а также датчики и система контроля роста. Для обеспечения точного выращивания, путём определения, чего не хватает растению в конкретный момент времени, управлять всем аппаратным комплексом будет микрокомпьютер, получая сигналы от облачного сервера.

В конце эксперимента будет проведено сравнение показателей роста двух экспериментальных образцов, а также сравнение полученных показателей с показателями предыдущего эксперимента. Это позволит выяснить: как точное выращивание влияет на рост растений в сравнении с обычными условиями; как точное выращивание и светодиодное освещение влияет на рост растений в сравнении с простым светодиодным освещением и обеспечением обычных условий выращивания.

Предполагается, что установка позволит сократить расходы на выращивание, увеличить урожайность и качество производимой продукции. Более того, форма точного выращивания активно способствует экологически рациональному тепличному производству: растениям создаются идеальные условия роста благодаря контролю питательных веществ в почве, что позволяет своевременно подавать недостающие удобрения; автоматически управлять освещением, на основе знаний о необходимом суточном режиме (для конкретного вида растений); автоматически управлять режимом полива, на основе контроля влажности почвы и знаний о необходимом объёме жидкости в конкретный период роста; автоматически проветривать на основе показателей влажности воздуха и т. д.

Автоматическое управление осуществляется за счёт системы контроля роста, которая включает в себя датчики температуры, влажности почвы и воздуха, кислотности (электропроводности почвы). Они определяют, чего, в каких количествах и когда не хватает растению. Информация отправляется в «облако». «Облако» — это система, которая накапливает и анализирует полученные данные. На основе этих данных подаются питательные вещества и производится полив в нужном количестве; осуществляется проветривание в нужное время. Есть два способа управления: первый — автоматический — управляет компьютер через облако. Второй — ручной — управляет пользователь через мобильное приложение.

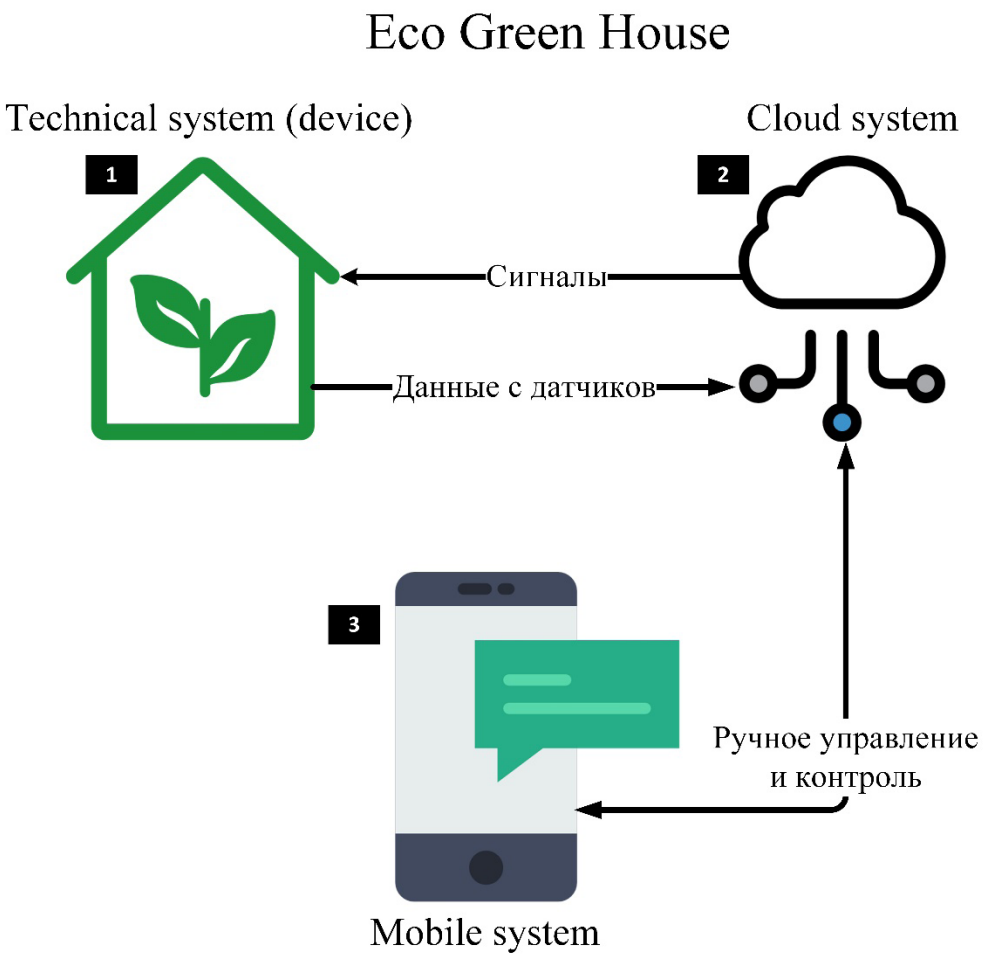


Рис. 4. Схема потока данных и управления устройством

Схема взаимодействия представлена на рис. 4. Таким образом «умная» теплица состоит из трёх больших систем: техническое устройство (1), «облако» (2) и мобильное приложение (3).

Рассмотрим подробнее устройство каждой из трёх систем «умной» теплицы.

Первая часть системы — техническое устройство (Technical system (device)), основным компонентом которой является микрокомпьютер Raspberry Pi 2. К микрокомпьютеру подключаются следующие подсистемы:

– освещения (*Lighting system*);
– проветривания (*Ventilation system*);
– климат-контроля (*Climate control system*);
– полива (*Watering system*);
– модуля связи с «облаком» (*Network system*).

Детальная схема технического устройства представлена на рис. 5. Raspberry Pi2 был выбран по следующим причинам:

1) данный микрокомпьютер предоставляет возможность простого подключения к Интернету, вследствие чего возможно легко обмениваться информацией с другими системами — мобильным приложением и «облаком»;

2) имеющиеся датчики и сенсоры от платформы Arduino совместимы с RPi2 — нет необходимости закупать новое оборудование.

Вторая часть системы — облачное решение (*Cloud system*) состоит из двух основных модулей, которые расположены на сервере:

– база данных (*Database*) — хранение информации:
  о пользователях;
  об устройствах;
  с датчиков устройств;
– веб-сервер (*Web server*) — обмен информацией с другими системами:
  авторизация/аутентификация/идентификация пользователей;
  приём/отправка данных с/на RPi 2 и мобильные устройства;
  модуль управления:
    получение/сохранение настроек для технического устройства из/в DB;
    получение/сохранение данных с датчиков из/в DB;
    получение/сохранение информации о пользователях из/в DB;
    получение/сохранение списка технических устройств из/в DB;
    создание пользователей;
    создание устройств;
  аналитический модуль — анализ данных датчиков технического устройства.

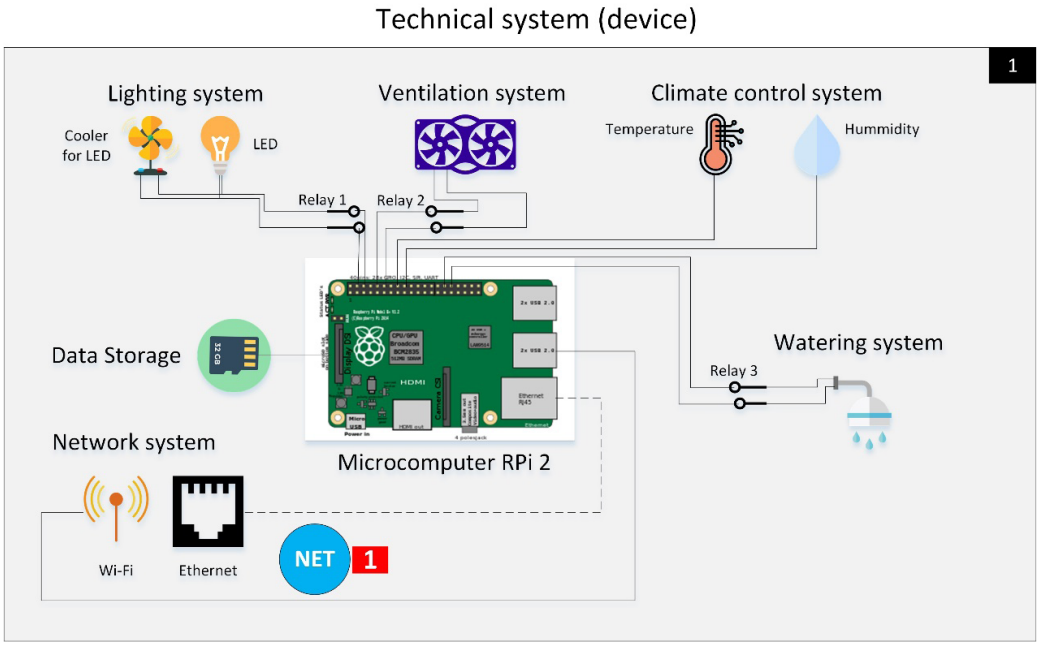


Рис. 5. Техническая часть устройства

Детальная схема облачного решения представлена на рис. 6.

Третья часть системы — мобильное приложение (Mobile system) состоит из следующих модулей:

– авторизация пользователей — защита доступа к остальным модулям системы (Authorization module);

– модули взаимодействия с сетью (Network module);

– профиль пользователя (User profile): изменение/сохранение/получение информации;

– список устройств пользователя (Device list): добавление/удаление устройства;

выбор устройства для просмотра информации

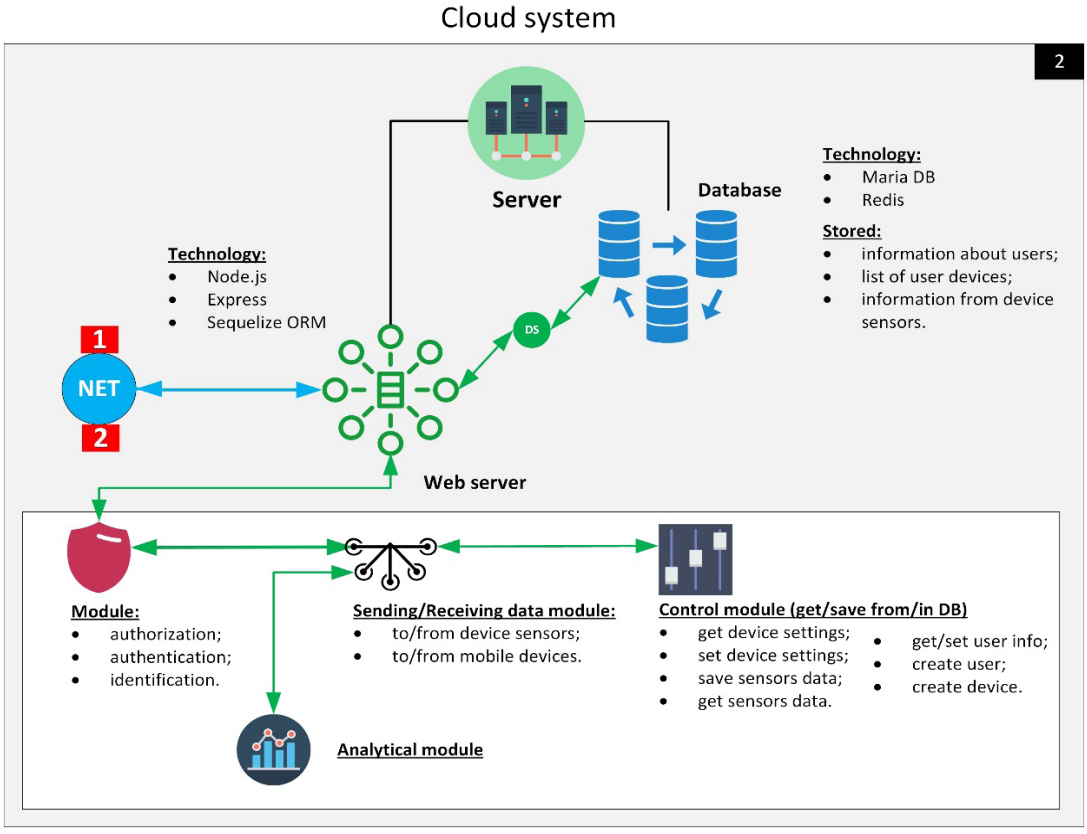


Рис. 6. Облачное решение

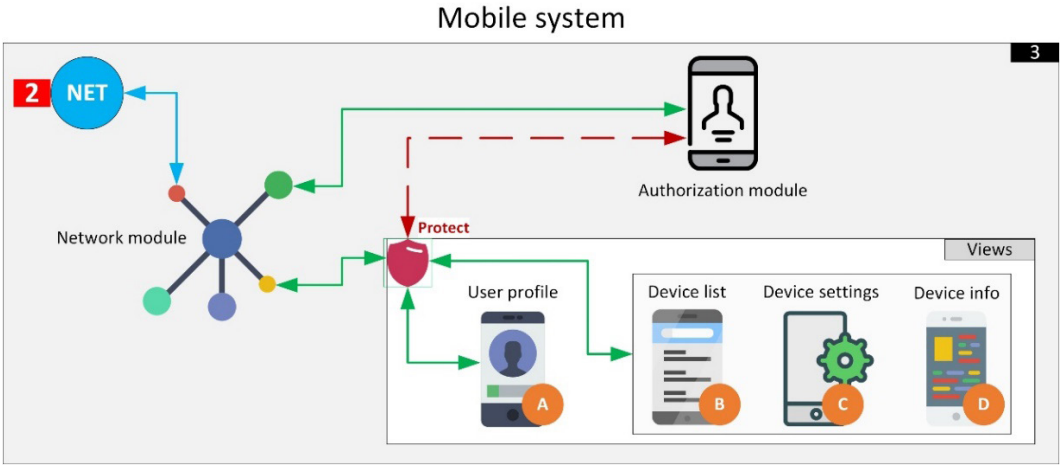


Рис. 7. Мобильное приложение

или изменения настроек;

– настройки устройства (Device settings): получение/сохранение настроек из/в «облако»;

– информация о техническом устройстве (Device info): получение информации с датчиков технического устройства.

Детальная схема мобильного приложения представлена на рис. 7. Приложение создаётся под две платформы мобильных устройств: Android (язык реализации Java) и iOS (язык реализации Swift). В дальнейшем планируется переход от нативных языков программирования под эти платформы на технологию React Native, которая позволит писать единый программный код на языке Java Script [10].

На данный момент установка (устройство) выглядит так, как представлено на рис. 8.

Для постоянного улучшения программ роста растений будут собираться данные о ходе роста с датчиков всех теплиц, анализироваться и использоваться для корректировки данных программ.

Экспериментальная проверка технологий точного выращивания позволит не просто сравнить рост растений в обычных и в оптимальных условиях, но и проверить применимость данных технологий на практике, пригодность использования инновационных систем при выращивании растений.

Выращивание растений по технологии точного земледелия набирает всё большую популярность во всём мире. Голландская компания Grodan, уже более 40 лет успешно продающая инновационные системы для сельского хозяйства по всему миру, сейчас активно продвигает технологию точного выращивания и предлагает комплексные системы по данной технологии. Указанные технологии применяются и в России — КБ «Панорама» предлагает пакет продуктов для обеспечения технологии «точного земледелия» на полях [8; 9].

За счёт технологий точного выращивания обеспечиваются оптимальные условия для роста растений, вследствие этого — быстрый рост, больший урожай,

Рис. 8. Установка (устройство) со включенным специальным освещением

лучшее качество, а также экономия ресурсов, что на сегодняшний день немаловажно. Особенно в ряде стран с проблемами пресной воды или дорогостоящим электричеством.

Выращивание с применением инноваций и современных технологий набирает все большую популярность в сравнении с обычным земледелием по традиционным технологиям.

Библиографический список

1. Садуллоев, Р. А. Математическая модель роста и развития хлопчатника [Электронный ресурс] : дис. ... канд. физ.-мат. наук / Р. А. Садуллоев. М., 1984. http://earthpapers.net/preview/219809/d#?page=1

2. Михайленко, И. М. Математическое моделирование роста растений на основе экспериментальных

данных / И. М. Михайленко // С.-х. биология. 2007. № 1. С. 103–111.

3. Кирюшкин, М. А. Организация эксперимента по исследованию влияния света определённой длины волны и длительности суточного режима на растения / М. А. Кирюшкин, Д. В. Пашкевич // Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. С. 237–242.

4. Гоман, В. В. Проектирование и расчёт систем искусственного освещения / В. В. Гоман, Ф. Е. Тарасов. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 76 с.

5. Расчёт освещённости для растений [Электронный ресурс] // Промгидропоника.рф: магазин прогрессив. растениеводства. URL: https://goo.gl/vPWX2q (Дата обращения: 10.01.2017).

6. Расчёт мощности ламп [Электронный ресурс] // Gidroponika.com. URL: https://goo.gl/5aqgI3 (Дата обращения: 10.01.2017).

7. Как рассчитать количество ламп [Электронный ресурс] // Умный огород. URL: https://goo.gl/EbHxZC (Дата обращения: 10.01.2017).

8. Что такое точное выращивание [Электронный ресурс] // Grodan. Passionate about Precision Growing. URL: https://goo.gl/mwIsuy (Дата обращения: 20.12.2016).

9. Применение ГИС для обеспечения технологии «точного земледелия» [Электронный ресурс] // КБ «Панорама», геоинформационные технологии. URL: http://www.gisinfo.ru/item/65.htm (Дата обращения: 20.12.2016).

10. React Native [Электронный ресурс]. URL: https://facebook. github.io/react-native/ (Дата обращения 29.01.2017).

Сведения об авторах

Мельников Виталий Андреевич — кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных технологий и экономической информатики Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. protei300@gmail.com

Пашкевич Дмитрий Валерьевич — магистрант Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. dmitriytemn@gmail.com

---

V. A. Melnikov, D. V. Pashkevich

TUDY APPLICABLE TECHNOLOGY PRECISION GROWING

This article describes the experiment conducted during the work on the project “Autonomous greenhouse”, for the study of the influence of growth conditions on plants; description of the conducted experiment to study the exact cultivation; a description of the technology and devices of a hardware-software complex “Autonomous greenhouse”; the description of technologies of precise cultivation.

ББК 3816
УДК 004.82

В. А. Михеев, В. Н. Ушаков

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В МЕТАПРОГРАММАХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 16-29-04260 (офи_м)

Предложено научное определение фундаментального термина «знание» в приложении к представлению знаний в робототехнических комплексах, способных к интеллектуальному поведению и взаимодействию в группе без прямого постоянного контроля человека.

В данной работе решается задача представления знаний при разработке алгоритмов и методов взаимодействия автономных роботов, входящих в состав робототехнических комплексов авиационного базирования и способных к интеллектуальному поведению и взаимодействию в группе.

Одна из основных особенностей группового взаимодействия роботов в робототехнических комплексах авиационного базирования заключается в техническом требовании обеспечения оперативного обмена накапливаемыми данными и знаниями между роботами в группе, в том числе не только частично без участия, но даже без контроля со стороны человека-оператора.

Напомним, что *робот* — это машина с антропоморфным (человекоподобным) поведением, обладающая способностью, используя разнородные датчики информации, выполнять анализ обстановки, осуществлять её прогнозирование, принимать решения, вести определённые действия по их выполнению, анализировать результаты, а также обучаться и совместно функционировать в составе групп при решении общей задачи [1]. При этом робот — это техническая система, способная заменить человека при выполнении некоторых операций, в первую очередь тех, при осуществлении которых человек может пострадать или погибнуть.

Для определённости под робототехническим комплексом (РТК) будем в дальнейшем понимать человеко-машинную систему «оператор — робот», способную полностью или частично выполнять анализ обстановки, принимать решения и исполнять их [1]. Для того чтобы информационное взаимодействие роботов в составе групп тоже полностью или частично можно было бы осуществлять без непосредственного участия оператора-человека, автономные роботы при совместном решении задач в составе нескольких РТК должны обмениваться данными и знаниями, используя возможности своих алгоритмов с элементами искусственного интеллекта.

Для решения задач различной сложности требуется различный уровень искусственного интеллекта робота. Стремление конструкторов повысить его уровень (или коэффициент интеллектуальности) предопределяется необходимостью расширения функциональных возможностей РТК при выполнении автономных и групповых действий.

Цель повышения интеллектуального уровня робота заключается в достижении адекватной замены роботом оператора в человеко-машинной системе. В частности, в случае применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) конечная цель повышения интеллектуального уровня БЛА — полная замена пилота (оператора-человека) на его виртуальный аналог [1].

Важно отметить, что, если проблемы интеллектуализации автономных действий одиночных роботов в той или иной степени решаются, то интеллектуальное обеспечение групповых действий находится на недостаточном уровне, особенно при совместном решении сложных задач группами БЛА [1].

Суть проблемы интеллектуального обеспечения групповых действий заключается в том, что развитие систем группового управления существующих и перспективных РТК авиационного базирования постепенно выходит на уровень, когда при решении разнообразных прикладных задач информационное взаимодействие автономных роботов в группах достаточно длительное время должно осуществляться не только посредством обмена данными, но также путём регулярного обмена знаниями об изменении и оценке ситуационной обстановки. При подобном взаимодействии каждый БЛА должен самостоятельно оценивать степень своей ситуационной осведомлённости и поддерживать ситуационную осведомлённость других БЛА группы, принимать решения о виде и порядке действий, необходимых для достижения заранее поставленной оператором цели и координировать эти действия с группой. Разнородность и сложность задач, решаемых такими комплексами, делает невозможным их решение только одним из классических методов.

Более того, при исключении человека-оператора из контура управления робототехнического комплекса утрачивается его совокупный опыт, полученный в результате его взаимодействия с окружающим миром на протяжении всей жизни, используемый им прямо или косвенно при обработке данных с измерительных

приборов и принятии решении о командах управления, посылаемых роботу или БЛА. Этот совокупный опыт можно обозначить как «культурный код» человека, содержащий в себе совокупность культурного опыта и — если рассматривать шире — всего мировоззренческого опыта человека, накопленного в форматах представления информации и знаний во всех формах общественного сознания человеческого общества в целом: науке, юриспруденции, философии, этике, экономике, военном деле и т. п.

Отсутствие этой совокупности опыта делает невозможным строгое и универсальное научное определение терминов «знание», «информация», «данные», описывающих сущности, используемые в контуре управления БЛА. Этому имеется известное из курса философии теоретическое обоснование. Известные положения теории познания не позволяют строго научно определить термин «знания», поскольку современная наука в полной мере пока не располагает достоверными сведениями о том, как именно функционирует человеческий мозг, где и когда возникает сознание человека, и, соответственно, не может определить конкретно на естественнонаучном уровне, что такое «знания» и как в точности они формируются в человеческом мозге.

Существует множество подходов к определению сущности этих понятий в технике, однако очевидно, что при определении процессов формирования знаний в сознании человека необходимо учитывать процессы передачи информации. При этом, например, часто используются следующие определения термина «информация»:

– в кибернетике информация — это характеристики управляющего сигнала или сообщения, передаваемого по линии связи от источника информации к приёмнику [2; 3];

– в области права информация — сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления (Федеральный закон РФ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации») [4];

– в философии информация — это результат взаимодействия, отражения, познания [5; 6].

В большинстве качественных и количественных определений информации предполагается наличие отправителей и получателей информации, то есть речь идёт о некотором виде взаимодействия объектов. Подход к решению данной задачи, предложенный Клодом Шенноном [3], позволяет оперировать понятиями «информация» и, следовательно, «знание», в частности, посредством определения их количества, используя математическую модель теории вероятности.

Предметом рассмотрения классической теории связи [2; 3] является множество всех допустимых последовательностей сообщений Ω, поступающих на приёмник. В такой модели траектория системы в пространстве параметров однозначно описывается вероятностной мерой, задающей случайный процесс, который принимает значения из пространства последовательностей принимаемых сообщений. Эта мера, в том числе, определяет условную вероятность получения на следующем шаге конкретного значения [7].

Количество информации I, содержащееся в полученном сообщении, определяется как число, равное

$$I = \log\left(\frac{\mathbf{P}(A_1)}{\mathbf{P}(A_2)}\right),$$

где $\mathbf{P}$ — вероятностная мера на Ω, $A_1 \subset \Omega$ — множество допустимых последовательностей без учёта полученного сообщения и $A_2 \subset \Omega$ множество допустимых последовательностей с учётом полученного сообщения. Вероятностная мера в пространстве всех возможных траекторий системы, являясь искусственно введённой величиной, определяет функционирование системы. Данный подход к определению термина «информация», в связи со сложностью вычисления значения вероятностной меры, может быть успешно применён только в простейших моделях, например, в моделях, построенных на основе стационарных марковских процессов.

Другой возможный подход, описанный в [8], определяет термин «информация» как преобразование, которое может быть применено к данным. При таком подходе не требуется рассмотрение множества последовательности сообщений. Преимуществом также является то, что он обращается к физическим носителям: памяти и вычислительным мощностям, однако отсутствие количественных характеристик делают подобную терминологию малоэффективной при практической разработке робототехнических комплексов.

Из огромного множества существующих определений можно выделить определения, наиболее удобные для применения при практической разработке алгоритмов в системе «оператор — оператор» и «оператор — робот»:

знание — проверенный практикой результат познания действительности, верное её отражение в сознании человека, форма существования и систематизации результатов познавательной деятельности человека;

информация, заключённая в сообщении, — это сущность, определяющая изменение знаний в сознании человека при получении сообщения;

информационное взаимодействие — это взаимодействие объектов, приводящее к изменению знаний хотя бы одного из них [9], в данном случае объекты входят в систему «оператор — оператор» или «оператор — робот»;

данные — это знания, представленные в материальном носителе (например, в базе данных) без априорно определённого конкретного целеполагания их практического использования.

Хотя перечисленные выше подходы снимают остроту проблемы строгого определения терминов «данные», «информация», «знания», но они не дают чёткого понимания границ применимости терминов к роботизированным комплексам, особенно в информационных процессах без участия человека.

Цель данной работы — определение терминов «данные», «информация», «знания» с позиции описания их функций и выполняемых ими задач, выделение их структуры применительно к групповому взаимодействию роботизированных комплексов.

Поэтому сформулируем функциональное определение терминов «информация» и «знания», предназначенное для использования в системе «машина — машина».

Существует три основных функциональных стратегии организации взаимодействия «машина — машина»: централизованное, роевое и коллективное управление [1; 10].

При централизованном управлении командный пункт проводит или получает от членов группы измерения среды и формирует каждому члену группы приказы, обязательные для выполнения.

При взаимодействии по принципу роя роботы не поддерживают связь. Каждый элемент исходя из проводимых им измерений среды самостоятельно находит управляющие воздействия, необходимые для достижения заранее заложенной коллективной цели.

При коллективном управлении члены группы обмениваются сообщениями, содержащими в себе измерения среды и принятое членом группы решение или собственное управляющее воздействие. На основе полученных данных, каждый робот синтезирует свои сигналы управления.

В рамках этих подходов обработка и использование данных, хранящихся в памяти робототехнического комплекса, позволяют выполнять ряд задач.

Основные задачи, выполняемые при сборе, обработке и использовании данных:

1) представление поставленных целей, модели среды и системы в доступном для обработки бортовым вычислителем виде;

2) хранение показателей, характеристик и высказываний, определяющих взаимодействие комплекса со средой;

3) использование интроспекции (самонаблюдения) системы для формирования сигналов управления и взаимодействия с другими БЛА или человеком.

При наблюдении за информационным обменом людей знаниями в их повседневной жизни можно вывести его основные признаки. На этих признаках основывается целостная парадигма информационного взаимодействия людей в человеческом обществе, основанная на использовании данных и знаний. Проецируя эти признаки на информационное взаимодействие в робототехническом комплексе без участия человека, мы не будем иметь возможность непосредственно использовать знания, накапливаемые в сознании людей и передаваемые многим поколениям в человеческом обществе в виде «культурного кода». Вместо данных и знаний в машине непосредственно мы сможем воспользоваться лишь данными и заранее сформированными специальными метапрограммами.

Метапрограмма — это программа, формирующая в результате своей работы другую программу [11–13]. Важно, что любая метапрограмма определяет не одну конкретную программу, а целый класс, абстрагированный от конкретных реализаций предметной области модели [12].

В данном случае метапрограмма — это компьютерная программа, построенная в виде многомерной структуры, содержащей данные, структуры содержания данных (структуры контента), описания алгоритмов, спецификации методов и правил решения задач в рамках определённого целеполагания, а также другие программы.

Целеполагание в метапрограмме определяется целевой функцией, так как, в соответствии с поставленными ограничениями задачи, отсутствует возможность непосредственного обращения в машине к памяти и знаниям человека.

Целевая функция — это функция, экстремальное значение которой ищется на допустимом множестве в задачах математического программирования.

Запуск метапрограммы в машине запускает вычислительные процессы, в результате которых на выходе вычислительного устройства получаются другие программы, которые, в свою очередь, с учётом определённой целевой функции, тоже могут быть запущены в вычислительном устройстве той же самой или другой машины с целью решения заданного набора задач. При практической реализации проектов метапрограмм могут быть использованы известные наборы инструментов программирования кодов, генерирующих другие программы, например, Meta Programming System компании JetBrains и Software Factories в составе Visual Studio 2010 корпорации Microsoft (США) [11; 12]. Если необходимо, набор применяемых инструкций в выполняемых кодах метапрограмм может быть дополнен специфическими синтаксическими выражениями, представляемыми в общем виде в форме Бэкуса [13].

Структура содержания данных отдельного БЛА и РТК в целом в системе «машина — машина», в зависимости от сложности РТК, может включать в себя различное количество структурных уровней. Например, классификация уровней структур содержания данных в метапрограмме может включать следующие уровни:

1) обозначения действий, последовательности действий;

2) потенциальные варианты поведения среды в будущем, оценка правдоподобности вариантов;

3) «субъективную», в том числе «этическую», оценку событий, действий, целей, потребностей и т. д.;

4) протоколы взаимодействия между членами группы;

5) классификация объектов среды или элементов группы;

6) причинно-следственные связи между событиями или действиями объектов среды или взаимодействия борта со средой, а также структурные связи;

7) измерения характеристик среды и идентификаторы объектов среды, выделенные на основе получаемых измерений;

8) оценки кинематических характеристик объектов (координаты, их производные и т. п.);

9) данные о физическом состоянии субъекта (борта БЛА в целом) или объекта (другого БЛА или произвольного объекта среды окружения);

10) представление условий, правил и ограничений, необходимых для решения поставленных задач и достижения сформулированных целей.

Задача, поставленная оператором, вообще говоря, не обязана лежать в одном уровне указанного перечня уровней структуры содержания данных, однако будем считать, что допускается её разложение в вектор, содержащий критерии решения задачи по каждому из перечисленных уровней. Как видно из приведённой классификации уровней структуры содержания данных, их разнородность допускает ситуацию, в которой одновременное решение большого множества задач, поставленных в рамках различных уровней, в общем случае оказывается невозможным из-за сложности сведения их к единому функционалу качества. Поэтому в РТК с БЛА наиболее целесообразным является раздельное решение задач в каждом уровне, допускающее одновременное делегирование каждому БЛА задачи лишь одного определённого класса.

В системе «машина — машина» данные могут быть представлены в форме, аналогичной форме данных в системах «оператор — оператор» и «оператор — робот». Однако *знания* в системе «машина — машина», в силу отсутствия человека, будем рассматривать как представление в метапрограмме набора функциональных инструментов (структур, методов, программ, данных и т. п.) для работы с данными в виде алгоритмов, записанных в памяти комплекса.

Основные функции, формируемые в наборах знаний на основе структур данных:

1) хранение правил преобразования данных (правил вывода);

2) хранение признаков применимости знаний к данным;

3) оценка эффективности процессов и их результатов;

4) хранение признаков наличия контекста, объединяющего данные;

5) представление критериев отбора и алгоритмов фильтрации данных;

6) проверка критериев и выполнение алгоритмов формирования новых знаний.

На протяжении всего периода функционирования в своём жизненном цикле информационно-вычислительная система БЛА отбирает данные, требуемые для реализации протекающих в ней процессов.

Понятие «информация» в системе «машина — машина» будем понимать как термин, определяющий данные или знания, имеющие определённый контекст относительно протекающих в робототехническом комплексе процессов. В данном случае *контекст* представляется в виде знаний (то есть структур метапрограммы), заложенных в алгоритмах отбора и фильтрации данных, необходимых для осуществления информационных процессов.

Рассмотрим некоторые количественные характеристики информации и знаний, необходимых для протекания произвольного информационного процесса в РТК. Примем, что описание функционирования информационно-вычислительной системы в РТК допускает дискретное представление.

В системе «машина — машина» введём следующую характеристику: *количество информации* — это размер памяти, который занимают данные, их структуры и функции, формируемые в наборах знаний и отбираемые согласно алгоритму функционирования системы.

Если рассматривать функционирование комплекса отдельно от среды, то единственным фактором, нарушающим детерминированность функционирования, будет априорная неизвестность содержания получаемых им извне данных. Для анализа функционирования робототехнического комплекса целесообразно рассчитать среднее значение количества информации за время работы. Назовём эту величину интеллектуальной энтропией комплекса.

Интеллектуальная энтропия равна

$$H(n) = -\sum_{m=0}^{n} I(m) / t_n ,$$

где n — порядковый номер дискретного состояния, t_n — время наступления n-го дискретного состояния, $I(n)$ — количество информации в n-е дискретное состояние.

Следует подчеркнуть, что в выполняемом информационном процессе течение указанного времени t_n измеряется наступлением n-го дискретного состояния и существенно отличается от физического представления времени в четырёхвекторе (**x**, **y**, **z**, **t**) «классического» пространства-времени.

По аналогии с количеством информации в системе «машина — машина» введём ещё одну характеристику: $K(n)$ — количество знаний, равное размеру памяти, которые занимают все задействованные

в информационном процессе знания (представляемые в виде метапрограммы со структурой содержания данных) в момент времени t_n.

Введение указанных определений обусловлено необходимостью отражения процесса организации связей между данными, полученными отдельным бортом РТК за всё время функционирования в системе «машина — машина» без участия человека. Линейный рост количества знаний и соответствующее изменение интеллектуальной энтропии возможны только при обработке получаемых сведений (данных, сообщений, сигналов) с помощью уже хранящихся данных (представляющих знания в цифровом виде в силу отсутствия человека в контуре управления робототехническим комплексом) одновременно с процессом пополнения расширяющейся контекстно-зависимой базы знаний.

По введённым характеристикам можно дать эмпирический критерий *интеллектуальности* информационно-вычислительных систем робототехнических комплексов по предельным значениям интеллектуальной энтропии и количества знаний, получаемых при решении типовых задач.

Классификация комплексов по наличию интеллекта и памяти:

– $\lim\limits_{n\to\infty} H(n) = 0$ — комплекс не является интеллектуальным;

– $\lim\limits_{n\to\infty} H(n) \not\to 0$ — комплекс характеризуется наличием интеллекта;

– $\lim\limits_{n\to\infty} H(n) \not\to 0$ и $\lim\limits_{n\to\infty} K(n)/t_n \not\to 0$ — комплекс имеет интеллект с памятью.

Интеллект с памятью может сохранять новые знания, сформированные непосредственно при выполнении задач в результате машинного обучения.

Таким образом, для системы «машина — машина», в которой роботы или БЛА функционируют без участия человека, получено решение задачи определения терминов «интеллектуальный информационно-вычислительный комплекс», «данные», «информация» и «знания». Указанные термины определяются посредством применения подхода, основанного на описании их функций и характеристик в структурах, входящих в состав метапрограмм. Сделанные при этом допущения позволяют воспользоваться отсутствием необходимости точного воссоздания процессов формирования знаний в человеческом мозге, в данном случае, выступающем в роли «чёрного ящика».

При этом вопросы, как именно функционирует человеческий мозг, где и когда возникает сознание человека и, соответственно, что такое «знания» и как в точности они формируются в человеческом мозге, на естественнонаучном уровне не ставятся и поиск ответов на них не производится. А все прикладные задачи организации взаимодействия беспилотных летательных аппаратов по схеме «машина — машина» без участия человека рекомендуется решать на уровне рассмотренных поддерживаемых функций в рамках предложенной классификации уровней структур содержания данных (структур контента) выполняемых метапрограмм.

Библиографический список

1. Верба, В. С. Робототехнические комплексы авиационного базирования. Проблемы группового управления / В. С. Верба // Радиоэлектрон. технологии. 2016. № 6. С. 68–72.

2. Стратонович, Р. Л. Теория информации / Р. Л. Стратонович. М. : Совет. радио, 1975. 424 с.

3. Шеннон, К. Работы по теории информации / К. Шеннон. М. : Изд-во иностр. лит., 1963. 829 с.

4. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».

5. Лекторский, В. А. Теория познания / В. А. Лекторский // Большая Советская энциклопедия. 3-е изд. М., 1970–1977.

6. Спиркин, А. Г. Знание / А. Г. Спиркин // Большая Советская энциклопедия. 3-е изд. М., 1970–1977.

7. Колмогоров, А. Н. Теория информации и теория алгоритмов / А. Н. Колмогоров. М. : Наука, 1987. 304 с.

8. Мазур, М. Качественная теория информации / М. Мазур. М. : Мир, 1974. 239 с.

9. Кузнецов, Н. А. Информационное взаимодействие в технических и живых системах [Электронный ресурс] / Н. А. Кузнецов // Информац. процессы. 2001. Т. 1, № 1. С. 1–9. URL: http://www.jip.ru/2001/1-1-2201.htm

10. Каляев, И. А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян. М. : Физматлит, 2009. 279 с.

11. Ushakov, V. N. Multiparadigm modeling by the SODAR-2 language / V. N. Ushakov // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. 2007. Vol. 41, № 5. P. 194–200.

12. Ушаков, В. Н. Моделирование в множественной системе понятий на языке СОДАР 2 / В. Н. Ушаков // Науч.-техн. информ. Сер. 2. 2007. № 9. С. 14–20.

13. Ушаков, В. Н. Язык описания процедур сохранения данных с резервированием протоколов трансакций баз данных / В. Н. Ушаков // Науч.-техн. информ. Сер. 2. 1994. № 11. С. 16–20.

Сведения об авторах

Михеев Вячеслав Алексеевич — кандидат технических наук, доцент, первый заместитель генерального директора АО «Концерн радиостроения “Вега”», Москва. vmikheev@vega.su

Ушаков Валерий Николаевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник АО «Концерн радиостроения «“Вега”», эксперт Российской академии наук, Москва. vanick@bk.ru

---

V. A. Mikheev, V. N. Ushakov

KNOWLEDGE REPRESENTATION IN METAPROGRAMS APPLIED TO ROBOTIC SYSTEMS

Scientific definition of fundamental term “knowledge” is presented in application to knowledge representation in robotic systems able to behave and interact in groups in unsupervised intellectual manner.

ББК 3973
УДК 004.4

И. Л. Надточий

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Даётся обоснование технологическим принципам реализации лингвистического обеспечения сложных программных комплексов, в составе которых есть интеллектуальные модули. В основе инструментальных средств лежит технологический многоуровневый язык, допускающий работу с лингвистическими переменными.

Развитие современных технологий проектирования в программной инженерии формирует новый взгляд на организацию лингвистического обеспечения, интегрирующего различные аспекты технологий. При этом, кроме собственно процесса проектирования, в интеграции участвуют аспекты управления и интеллектуальные составляющие, определяющие степень интеллектуальности программных компонентов сложных программных комплексов. Действительно, дальнейшее совершенствование программных систем, поддерживающих анализ, моделирование и управление производственными процессами, связано с повышением степени интеллектуальности.

Наиболее развитые программные системы, имеющие одну или несколько интеллектуальных компонент, называют интеллектуальные программные системы (ИнПС). В таких системах осуществляется автоматизация вызова и связывание модулей путём введения в систему единой управляющей среды.

Основные функции такой управляющей среды ИнПС — управление работой ИнПС, осуществление связи с ОС, восприятие описания задачи на входном языке пакета, перевод его на внутренний язык системы; определение последовательности модулей, которые необходимо выполнить для решения задачи; организация связи между модулями при объединении их в единую программу.

В структуре управляющей программы ИнПС обычно выделяют транслятор с входного языка, планировщик, компилятор с базового языка программирования.

Входной язык пакета, предназначенный для описания задач, решаемых пакетом, является по сути языком описания концептуальных моделей решаемых проблем. Целесообразно такие языки строить путём расширения некоторого существующего языка-ядра, содержащего элементарные виды и многие синтаксические конструкции и шаблоны. Такой подход обеспечивает единство синтаксической структуры входных языков разных программных продуктов, создавая благоприятные условия их изучения и эксплуатации [1].

Лингвистический процессор, поддерживающий язык-ядро, становится в таком случае основной компонентой средств управления ИнПС.

В работе приводятся результаты реализации многоуровневого технологического языка — L_{tlv} технологического языка t, допускающего работу с лингвистическими переменными lv, позволяющими выполнить основные функции, возлагаемые на язык-ядро и собственно на лингвистического обеспечение ИнПС.

Грамматика технологического языка L_{tlv} содержит уникальный словарь, нетерминальные символы которого представляют собой контекстно-свободные грамматики. К таким нетерминальным символам относятся конструкции типа «лингвистическая переменная», впервые определённая в работах Л. Заде [1]. Но в отличие от традиционного понимания этого термина в технологическом языке допускаются различные грамматические формы названий лингвистической переменной, которые специальными средствами переводятся в начальную или инфинитивную форму. В результате перевода формируется структурированная лингвистическая переменная, синтаксис и семантика которой обрабатываются классическими синтаксически-ориентированными средствами с атрибутным вычислением семантических характеристик. Так, в языке L_{tlv} допускаются различные словоформы лингвистической переменной, определяемой в виде следующей конструкции:

$$LV = (T^*, G^*, SEM),$$

где LV — название лингвистической переменной;

T^* — множество названий лингвистических значений в их словоформах (например, «легко» и «более лёгкий» есть словоформы одного и того же названия LV — «лёгкий», которое имеет определённый смысл);

G^* — контекстно-свободная грамматика, с помощью правил которой можно вывести название лингвистической переменной;

SEM — семантические составляющие, выражающие смысл правил.

Величины G^* и SEM можно задать алгоритмически, это позволит рассматривать синтаксис и семантику LV как некоторые процедуры порождения элементов множества T', элементы которого отличаются

от элементов множества T^* тем, что термины находятся в начальной форме, а также вычисление смысла каждого элемента множества T' в терминах операций над нечёткими множествами. Организация процесса трансляции, синтаксис и семантика *LV*-языка предполагают обработку классическими методами с атрибутным вычислением семантических характеристик.

Для реализации средств трансляции с технологического языка L_{tlv} кроме стандартной среды разработки (это может быть классическая система автоматизированного построения трансляторов) должны использоваться определённые дополнительные средства, которые обеспечивают работу с нечёткими множествами и обработку словоформ.

В целом в структуре лингвистического процессора (транслятора) с языка L_{tlv} можно выделить следующие компоненты:

– блок обработки словоформ;

– блок наложения пошаговой структуры на текст технологического языка (это так называемая система прерывания);

– синтаксический анализатор, работающий как традиционно, так и в режиме обработки лингвистических переменных;

– своеобразный семантический анализатор, обеспечивающий подстановку количественных значений в объектную структуру данных;

– блок операций над нечёткими множествами и элементами этих множеств, имитирующий работу с аналогом матрицы предшествования в классической схеме трансляции;

– генератор объектной структуры данных или программы на базовом целевом языке.

Рассматриваемая технология предполагает решение проблемы управления в сложных программных системах на базе автоматно-лингвистического подхода. В основе данного подхода лежит возможность работы с качественным уровнем априорной информации, реализованным с помощью аппарата нечётких множеств, а именно, с помощью лингвистических переменных [1] и нечёткими автоматами, реализуемыми программно.

Это может найти применение при организации разнообразных бизнес-процессов, различных схем и форм моделей процессов и методик исследования проектируемой информации для эффективного решения задач поиска, структурирования и анализа в основном хаотично организованной информации. На сайтах проектных организаций это принято относить к классу интеллектуального Web Mining [1].

Инструменты Web Mining позволяют проводить автоматизированный анализ бизнес-процессов. Выявленные при таком анализе информации знания могут при этом представляться в виде деревьев, описывающих структуры документов, или в виде логических или семантических выражений.

В рассматриваемой постановке можно выделить следующие уровни языка L_{tlv}.

1. Уровень K-сетей, представляющий средство описания предметной области и модели решаемых задач в данной предметной области. Д-сети являются средством, которое позволяет описывать предметную область в виде структур данных и модели решаемых задач в виде операций, обобщённых в шаблоне СТРУКТУРА. Шаблон СТРУКТУРА *TempSTR* может быть определен как

$$TempSTR = (SLV, InterF),$$

где *SLV* — структурированная лингвистическая переменная, которую можно определить как *SLV* = (имя структурированной переменной, список лингвистических переменных);

InterF — интерфейсы.

Под элементарной операцией в K-сетях понимается некоторая функциональная операция или несколько операций, которые реализуются конкретным модулем ИнПС, и диалоговая структура, позволяющая на формальном уровне описывать процедуру взаимодействия с пользователем. Эта структура позволяет формировать запрос, анализировать ответ и собственно формализовать результат общения.

2. Уровень ШАБЛОН, позволяющий описывать элементарные виды, синтаксические конструкции и шаблоны входного языка конкретного программного продукта, в том числе и ИнПС. При этом входной язык ИнПС является жаргоном языка ШАБЛОН с сохранением общего стиля языка.

3. Уровень комплексирования модулей ИнПС, которые обеспечивают генерацию адаптеров по некоторому унифицированному описанию модулей, что необходимо для согласования информационных связей модулей, в том числе и интеллектуальных модулей ИнПС.

4. Уровень реализации, являющийся собственно входным языком ИнПС. Входной язык ИнПС предназначен для описания задач, решаемых системой, является по сути языком описания «концептуальных» моделей решаемых проблем.

Целесообразно такой язык-ядро строить путём расширения некоторого существующего языка, содержащего стандартные конструкции языков программирования, шаблоны. Такой подход обеспечивает единство синтаксической структуры входных языков разных программных систем, которые необходимо интегрировать в единую систему.

На рис. 1 приведена структурная схема инструментального генератора нечётких управляющих сред. Выходным продуктом данного инструмента является управляющая среда конкретной ИнПС, а если необходимо, то нечёткая управляющая среда, план вычислительного процесса, управление ИнПС. Как правило, всё, что генерируется инструментальной

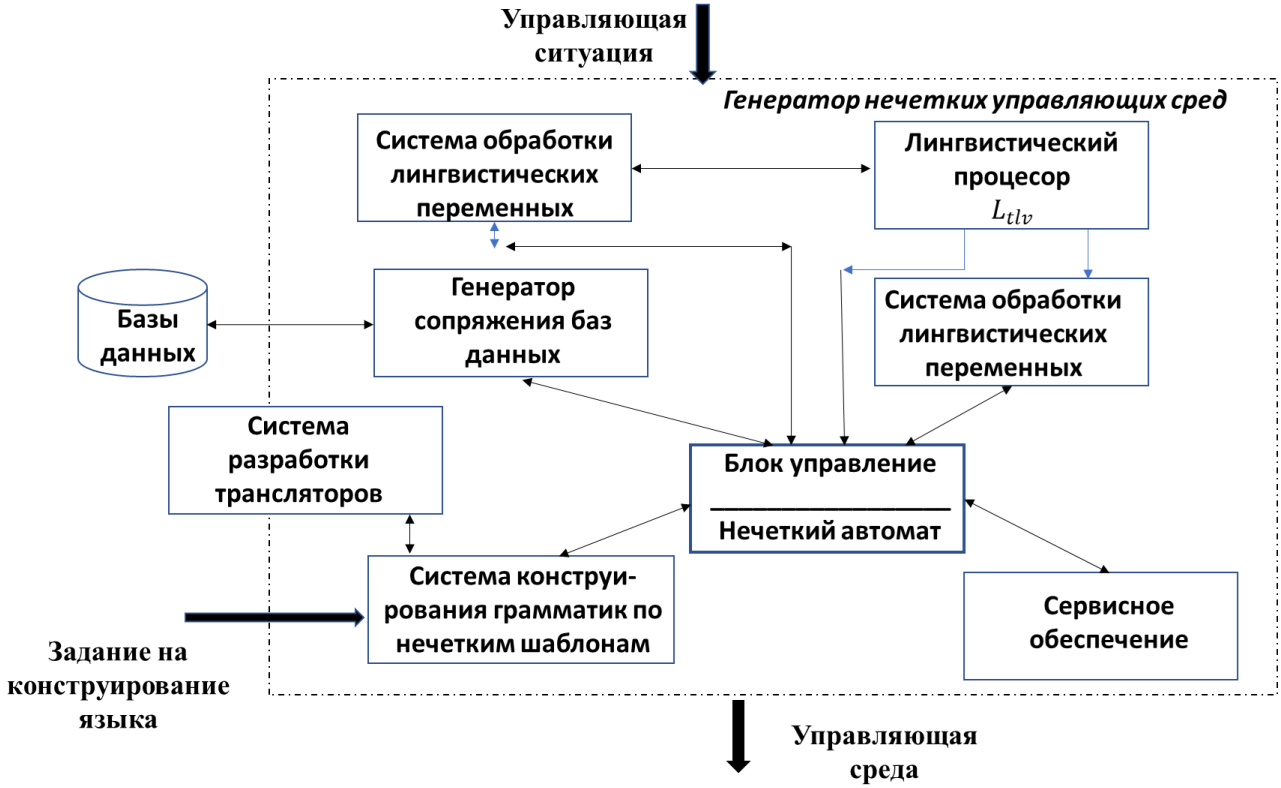


Рис. 1. Структурная схема инструментального генератора нечётких управляющих сред

системой, имеет определённую лингвистическую окраску, иными словами, в результате генерируется требуемый по ситуации транслятор, на вход которого поступают в языковой форме сведения об ситуации, а на выходе получается желаемая управляющая среда.

На создания нечёткой управляющей среды в состав инструментального генератора включена система обработки лингвистической переменной, выходом которой будет блок операций над нечёткими множествами, входящий в состав лингвистического процессора. В состав системы обработки лингвистических переменных включены такие средства, как язык операций над нечёткими множествами, средства трансляции с этого языка в конструкции языка программирования, блок стыковки с семантическим анализатором традиционных средств конструирования трансляторов, операционные средства прохождения конкретного модуля ИнПС, программная реализация средств управления.

Идея генерации транслирующих систем в рамках генератора нечётких управляющих сред может быть оправдана тем, что практически все функции взаимодействия программных компонент ИнПС реализуются на лингвистическом уровне, а языки требуют реализации средств трансляции, следовательно, необходимо обеспечивать единый процесс трансляции с семейства языков.

Задать управляющую ситуацию средствами технологического языка L_{tlv} либо невозможно, либо трудоёмко. Для облегчения процесса описания управляющей ситуации можно применить нечёткие шаблоны для конструирования грамматики языка, с помощью которого организовано функционирование управляющей среды.

Система генерации нечёткой управляющей среды имеет генератор сопряжения баз данных для облегчения процесса описания управляющей ситуации с помощью нечётких шаблонов для конструирования грамматики языка, на основе которого организовано функционирование управляющей среды, организация взаимодействия с банком данных, если в состав ИнПС включена база данных (что практически всегда и бывает). Нечёткий автомат может быть определён как

$$FA = (X, A, Y, F, H, \beta),$$

где X — множество нечётких конструкций (директив), поступающих с первого уровня;

– A — конечное множество состояний, поступающих с первого уровня;

– Y — конечное множество выходов;

– F — функция переходов;

– H — функция выходов;

– β — векторный коэффициент принадлежности, который приписывается каждому состоянию автомата.

A и Y описывают процесс функционирования с коэффициентом принадлежности $\beta^* = \{\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n, ..., \gamma_1, \gamma_2, ...\}$, под γ_i понимается коэффициент

настройки *i*-го *M* на совместное выполнение в рамках ИнПС.

Неформально чёткий автомат можно определить как обучающееся устройство, способное принимать решения в неопределённых условиях.

В основе программной реализации нечёткого автомата лежит обобщение понятия конечного автомата с помощью нечёткого множества. В классическом определении конечного автомата иным образом будет определена функция переходов и функция выходов. В данном варианте это будет функция принадлежности нечёткого множества в декартовом произведении для функции переходов $A \times X \times A$ и функции выходов $Y \times X \times A$.

Если обрабатываются обычные цепочки символов, то автомат работает традиционно в так называемом чётком режиме, а если на вход блока управления поступает сообщение о конструкции типа 1лингвистическая переменная», то автомат переходит в «нечёткий» режим. Иными словами, если автомат в момент времени *t* находится в состоянии *a* и на вход поступает цепочка символов $x[t, t_0]$ на промежутке времени от *t* до t_0, то в момент времени t_0 автомат перейдёт в состояние $F(a, x)$ и будет генерировать выходную цепочку $H(d, x)$ с заданной степенью определённости. Однако какой бы природы ни был переход, вызванный блок будет обрабатывать вслед за входной цепочкой $x[t, t_0]$ лингвистическую переменную, переводя её качественный смысл в некоторую количественную оценку на основе анализа управляющей ситуации и опыте функционирования ИнПС. На рис. 2 представлена иерархическая система в трёх уровнях управления ИнПС.

Лингвистический процессор, поддерживающий такой технологический язык, становится основной компонентой управляющей среды ИнПС. Основные функции управляющей среды ИнПС: управление работой основных модулей ИнПС, осуществление связи с операционной системой, восприятие описания задачи на входном языке, перевод этого описания на внутренний (промежуточный) язык исполнительной системы, определение последовательности модулей, которые необходимо выполнить для решения задачи, организация связи между модулями. Как правило, в структуре управляющей среды ИнПС выделяют лингвистический процессор с технологического языка, планировщик, средства компиляции в объектный язык программирования.

Управляющая среда содержит описание критериев функционирования, модели целей управления вычислительным процессом в ИнПС, модели объекта управления (операционная ситуация), модели языка (лексика, синтаксические правила построения синтаксически правильных совокупностей и правила отображения цели управления, модели объекта и среды в языках описания), множество допустимых решений, критерии выбора, правила изменения критериев и т. д.

В основе формализации этапа генерации управляющей среды положена модель адаптивного нечёткого логического регулятора. Программная реализация модели такого регулятора отличается от реализации традиционных компонент регулятора систем управления. Структура адаптивного нечёткого логического регулятора показана на рис. 3.

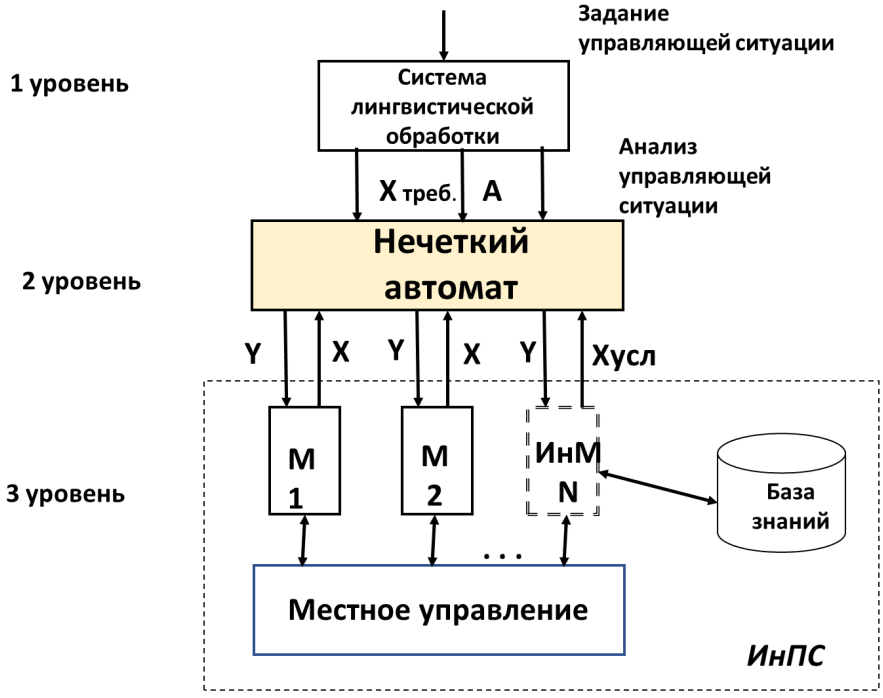


Рис. 2. Иерархическая система управления ИнПС: ИнМ — интеллектуальный модуль

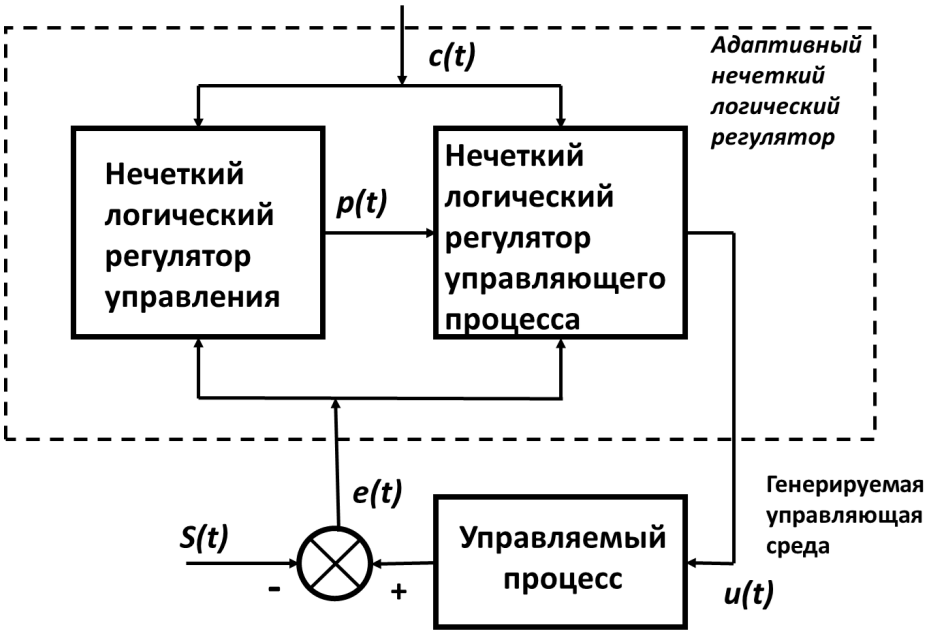


Рис. 3. Адаптивный нечёткий логический регулятор: p(t) — модификация управления, s(t) — пополняемая текущая управляющая ситуация, u(t) — управляющая среда, c(t) = e(t) – e (t – 1)

Правила регуляторов задаются правилами, *p(t)* используется для модификации управляющей среды. В целом управление основано на реализации нечёткого автомата.

Для указанных применений предлагается проект интеллектуальной инструментальной среды (ИИнСр), которая может стать основой для создания ассоциативно совместимых друг с другом программных систем, в том числе и интеллектуальных.

Предлагаемая ИИнСр включает в себя возможности, позволяющие различным приложениям совершенно естественно читать файлы друг друга без использования трансляторов, анализировать прочитанную информацию и реализовывать различные фазы процесса проектирования.

ИИнСр может обеспечить следующие преимущества:

1. Совместимость на уровне собственных форматов файлов. Созданные с использованием ИИнСр приложения могут читать файлы любых других программ, написанных с использованием ИИнСр, в их собственных форматах без использования «нейтральных» файлов или трансляторов.

2. Ассоциативность. Созданные с использованием ИИнСр приложения ассоциативно совместимы с другими приложениями. Это означает, что компонента может быть разработана в одной прикладной программе, проанализирована в другой, а в третьем модуле для неё описан бизнес-процесс. При изменении исходной ситуации результаты работ, выполненных в последующих связанных приложениях, обновляются автоматически. Это позволяет организовать действительно параллельную инженерную разработку в гетерогенной среде.

3. Надёжность. Ядро моделирования ИИнСр может использовать любые библиотеки проектирования программных компонент программных систем. ИИнСр может использоваться при инженерной разработке промышленной продукции самого широкого спектра.

4. Использование интеллектуальных операций-фичерсов представляет особый подход к проектированию. И в идеале ИИнСр должна содержать в себе ядро проектирования, базирующегося на использовании операций-фичерсов (features). Использование такого ядра значительно упростит работу по созданию программных компонентов для проектирования и моделирования, применяющих управление моделью на уровне фичерсов. Приложения, созданные в ИИнСр, могут «видеть» фичерсы и историю создания моделей непосредственно в данных ИИнСр, принадлежащих другим приложениям.

Встроенные трансляторы. Для обмена данными с системами, не использующими ИИнСр, должны быть предусмотрены двусторонние трансляторы, например, в известные в данной области проектирования форматы IGES, STEP, VDA и ACIS SAT.

5. Современные архитектура и средства. ИИнСр позволяет реализовать самое разнообразное взаимодействие с объектами посредством Java, COM или же с помощью языков высокого уровня (C++, VB.NET и т. п.).

ИИнСр обеспечивает новую технологию передачи инженерной информации между приложениями. Чтобы обеспечить совместимость приложений, разработчики должны написать соответствующие плагины для своих приложений на базе ИИнСр и сделать их свободно доступными.

Средства API ИИнСр доступны из среды объектно-ориентированного программирования высокого уровня, поддерживающей Java, COM и C++.

ИИнСр использует объекты-фичерсы для представления проектируемых операций, структурируя их в значимую дискретную последовательность. Каждая моделирующая операция связана с использованием какого-либо фичерса, которому принадлежит часть бизнес-процесса проектирования, созданная в результате применения данного фичерса.

Рассматриваемую интеллектуальную инструментальную среду могут использовать:

– предприятия-разработчики прикладных систем и приложений, реализующих возможности ИИнСр;

– предприятия-разработчики приложений, реализующих возможности ИИнСр для чтения ситуаций и работы с ними, сохраняя при этом все преимущества ассоциативной связи;

– опытные пользователи, которые могут самостоятельно интегрировать в ИИнСр собственные разработки, предназначенные для решения задач проектирования;

– высшие учебные заведения, особенно математического, технического или ИТ-профиля, могут использовать ИИнСр как средство для программной инженерии для изучения методологии проектирования.

Описанный подход к разработке и реализации средств проектирования и управления позволяет соединить весьма разнородные программные средства в единый программный комплекс, каждый элемент которого несёт определённую языковую нагрузку. Появляется возможность сократить использование различных детерминированных методов и применить понятие лингвистической переменной, которая в качестве своих значений допускает не только числа, но и слова и предложения некоторого языка, близкого к естественному. Это сделает процесс проектирования и управления более «творческим» процессом.

Автор приносит благодарность Р. П. Чапцову и Т. А. Михникевич (Солодовниковой), которые на начальных этапах работы обсуждали принципы рассматриваемой технологии проектирования программных систем. Развитие ИТ-технологий позволило включить в программные системы интеллектуальные модули.

Библиографический список

1. Мельников, В. А. Интеллектуальные модули ERP-систем управления предприятием : учеб. пособие / В. А. Мельников, И. Л. Надточий. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. 132 с.

2. Заде, Л. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений : пер. с англ. / Л. Заде // Математика сегодня. М., 1974. С. 5–49.

Сведения об авторе

Надточий Ирина Львовна — кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин Высшей школы электроники и компьютерных наук, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск. *irinalvovnanadt@gmail.com*

I. L. Nadtochiy

THE LINGUISTIC ASPECT OF INTELLIGENT DESIGN TECHNOLOGY AND MANAGEMENT IN SOFTWARE ENGINEERING

The paper provides substantiation of technological principles for the implementation of linguistic support of complex software systems, which are composed of intelligent modules. Based tools lies in the technological multi-level language, allowing the work with linguistic variables.

ББК 3971.35-5
УДК 004.71

П. П. Нечволода, Ю. В. Пономарчук

АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ЖАДНОЙ СТРАТЕГИИ В СЕТЯХ СВЯЗИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ VANET

Исследования в области организации и обеспечения качества обслуживания в сетях транспортных средств VANET (Vehicular Ad Hoc Networks) являются необходимыми для развития информационных систем «умного города», интеллектуальных транспортных систем. В статье проведён сравнительный анализ протоколов маршрутизации на основе жадной стратегии для VANET.

Сегодня, в период развития информационных технологий и технологий коммуникации быстрое распространение получили мобильные специализированные сети передачи данных (Mobile Ad Hoc Networks, MANET) — одноранговые peer-to-peer сети, в которых каждое устройство выступает в роли и приёмника, и передатчика, что является серьёзным преимуществом в некоторых областях. На базе ad-hoc сетей также разработано несколько видов беспроводных сетей, таких как сети связи транспортных средств, беспроводные сенсорные сети (Wireless Sensor Networks, WSN) и др. При этом мобильные сети транспортных средств VANET являются самым новым и, пожалуй, перспективной разновидностью ad-hoc сетей. Они предназначены для обмена данными между движущимися автомобилями и стационарными базовыми станциями, расположенными вдоль транспортных магистралей. Подвижные транспортные средства — узлы сети — могут являться ретрансляторами сообщений друг друга в том случае, если базовые станции недоступны.

Исследования в области организации и обеспечения качества обслуживания в VANET являются актуальными, поскольку их приложения могут быть не только коммерческими, но и предназначенными для систем «умного города» с целью оптимизации трафика на улицах, своевременного информирования о чрезвычайных ситуациях. В целом приложения VANET можно разбить на группы: приложения безопасности, коммерческие приложения и приложения, существующие для удобства пользователя.

Первая группа обеспечивает мониторинг местности, потока машин, особенностей дорог и других параметров, помогающих дать водителю лучшее представление о том, что происходит вокруг и предотвратить возможные несчастные случаи. Коммерческие приложения чаще разрабатываются для развлекательных целей и обеспечивают просмотр и загрузку видео/аудиоматериалов, доступ к различным службам и т. д. Приложения для удобства пользователя обычно используются в целях контроля трафика и повышения качества обслуживания. Можно привести примеры: приложения для электронного сбора пошлин, проверки доступности парковки, планирования альтернативных маршрутов и др.

В связи с тем, что VANET должны обладать способностью к самоорганизации, ключевыми направлениями исследований являются обеспечение маршрутизации, качества обслуживания, синхронизации и позиционирования устройств, обеспечение информационной безопасности и др. Можно отметить, что корректная и эффективная маршрутизация является необходимостью в сети любого типа. Кроме того, она позволяет решать и другие проблемы, например, обеспечение качества обслуживания.

В целом бóльшая часть вопросов обеспечения маршрутизации обусловлена особенностями VANET, а именно: динамически изменяющейся топологией сети и высокой скоростью движения узлов. Проблемы маршрутизации имеют множество проявлений.

В настоящее время существует большое количество протоколов маршрутизации для VANET, каждый из которых с некоторым успехом используется в определённых условиях. Например, одни протоколы лучше использовать в городских условиях, а другие — в пригороде. При этом, как правило, работа протоколов нуждается в усовершенствовании. Так, например, многие из них используют служебные сообщения для составления таблиц маршрутизации, что, в свою очередь, часто приводит к переполнению сети такими сообщениями и невозможности передачи всех других.

Среди проблем маршрутизации можно выделить существование значительной задержки передачи данных, обусловленной тем, что при передаче сообщения необходимо выполнить поиск маршрута до адресата, и, вне зависимости от типа протокола маршрутизации, эта операция занимает определённое время. В случае некоторых протоколов это может оказаться весьма ощутимой проблемой, так как за время составления таблицы адресат и узлы, уже записанные в ней, успеют сменить положение, и маршрут станет недействительным.

Таким образом, различные протоколы имеют свои особенности и подверженность воздействию общих проблем маршрутизации. Протоколы удобно

разделить на классы: реактивные, проактивные, гибридные и позиционные.

В проактивных протоколах узлы периодически рассылают служебные сообщения с информацией обо всех изменениях в топологии сети [1]. Каждый узел строит таблицу маршрутизации: список всех маршрутов до всех подключённых устройств. При передаче сообщения маршрут определяется по таблице маршрутизации. Такая стратегия характеризуется низкой задержкой передачи данных (в случае наличия маршрута), а также высокими накладными расходами на поддержание актуальных таблиц маршрутизации.

Реактивные протоколы осуществляют поиск маршрута лишь при необходимости. Для этого узел-отправитель выполняет широковещательную рассылку по сети с запросом, который должен дойти до узла-адресата [1]. Рекомендуются к использованию в сетях со сравнительно редкой необходимостью формирования новых маршрутов. Такой подход позволяет добиться меньшей задержки на поиск маршрута в силу отсутствия необходимости поддержки актуальными таблиц маршрутизации. Однако это достигается ценой повышенного риска переполнения сети служебными сообщениями в момент, когда сразу нескольким устройствам необходимо передать информацию.

Гибридные протоколы, как правило, базируются на комбинации реактивных и проактивных протоколов. Обычно сеть разбивается на множество сегментов, при этом внутри сегментов функционирует проактивный протокол, а взаимодействие между подсетями (сегментами) осуществляется реактивными методами [1]. Этот подход позволяет добиться снижения накладных расходов и умеренной задержки при передаче информации. Однако, как правило, такие протоколы сложно реализуемы по сравнению с остальными.

Позиционные протоколы применяются тогда, когда каждый узел способен использовать GPS (ГЛОНАСС) для определения своего местоположения и координат других узлов. Для передачи данных отправитель устанавливает положение ближайшего соседа по направлению к адресату. Сосед, получивший данные, повторяет эту операцию, и так продолжается до тех пор, пока данные не будут переданы адресату. Подход очень эффективен в сетях с узлами, снабжёнными GPS, и характеризуется низкими накладными расходами и небольшой задержкой при передаче сообщений [1]. Однако такие протоколы не могут функционировать в условиях, при которых GPS не может работать, например, в туннелях. В позиционных протоколах используются различные вариации жадной стратегии для передачи пакетов, поэтому их также называют протоколами на основе жадной стратегии. Обычно жадная стратегия подразумевает передачу пакета либо ближайшему к адресату узлу, либо тому, который станет ближайшим на момент завершения передачи пакета по прогнозу протокола, либо такому узлу, который движется в одном направлении с адресатом и является ближайшим. Также есть вариант жадной стратегии, объединяющий все указанные методы. Для работы он поддерживает информацию о двух соседях и передаёт данные тому узлу, чей сосед движется в одном направлении с адресатом и, по прогнозу отправителя, будет ближе остальных к нему.

Разумеется, у каждой вариации жадной стратегии доставки сообщений есть определённые недостатки. Например, самый простой вариант передачи ближайшему устройству не учитывает, что такое устройство может двигаться в противоположных с адресатом направлениях. В этом случае после получения промежуточным узлом пакета, дальнейшая передача может быть невозможна из-за смещения обоих узлов относительно друг друга (проблема локального максимума). В то же время из того, что изложено выше следует, что именно эти протоколы являются наиболее подходящими для VANET, характеризующихся высокой динамичностью.

Позиционные протоколы делятся на нетерпимые и терпимые к задержке [1]. Первые (Non-delay tolerant) ставят своей целью передачу сообщения как можно быстрее, а протоколы, терпимые к задержке, адаптированы для повышения эффективности в течение длительных периодов отсутствия соединения. Соответственно протоколы, нетерпимые к задержке, обычно используют протоколы на основе жадной стратегии, в то время как протоколы, терпимые к задержке, передают пакеты, основываясь на характеристиках соседних узлов, а саму передачу осуществляют методом «неси и передай дальше» (Carry-and-Forward). Основная идея метода состоит в том, что узел-получатель хранит и переносит пакет до тех пор, пока не появится возможность передать его узлу, чья метрика указывает на его выгодное положение относительно адресата. Далее описаны наиболее распространённые протоколы на основе жадной стратегии.

Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)

GPSR является одним из первых протоколов на основе жадной стратегии и наиболее известным [2]. Решение о передаче сообщения GPSR принимает на основе информации о текущих соседях в топологии сети. Он использует две стратегии пересылки пакетов — жадную и периметровую, и сведения о возможности соединения между географическими позициями, уровень связи в беспроводной сети и положения узлов. Когда пакет приходит в область, в которой жадная стратегия передачи не может быть использована, запускается алгоритм восстановления с использованием периметровой стратегии пересылки. Это подразумевает, что GPSR использует жадную стратегию для пересылки сообщений по периметру

области, в которой невозможно использовать жадную стратегию в чистом виде к узлам, которые по прогнозу протокола будут ближе остальных к узлу назначения. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет преодолён локальный максимум или не будет достигнут узел назначения. При этом в случае преодоления локального максимума протокол вновь будет использовать жадную стратегию. Однако из-за повышения количества передач в процессе использования периметровой стратегии повышается вероятность потери пакета и задержка его передачи адресату, что несколько снижает его надёжность.

Geographic Source Routing (GSR)

GSR [3] является одним из первых протоколов, использующих цифровые карты улиц, и в связи с этим предназначен для применения в городской среде, чтобы избежать проблем GPSR. Используя статичные уличные карты и информацию о положении каждого узла, GSR вычисляет путь к узлу назначения с использованием передачи пакетов вдоль улиц, при вычислении пути используется алгоритм Дейкстры и характеристики узлов. Вычисленный путь состоит из последовательности уникальных номеров перекрёстков, также называемых «якорями», по которым пакет должен быть доставлен к адресату. Эти «якоря», получаемые из карт улиц, отражают основную топологию дороги и, обычно, представляют перекрёстки дороги, на которых принимаются решения о пересылке пакета дальше. Список «якорей» затем вставляется в заголовок каждого пакета с отправляемыми данными, что негативно сказывается на производительности алгоритма при длинных маршрутах. Для передачи пакетов между «якорями» используется жадная стратегия. Для определения узла назначения используется реактивный сервис обнаружения, суть которого сводится к тому, что узел-отправитель заполняет сеть запросами о положении адресата. В случае возникновения проблемы локального максимума на пути между «якорями» пакеты сразу отбрасываются, даже если существует альтернативный, более длинный путь к следующему «якорю».

Spatially Aware Packet Routing (SAR)

SAR [4] пытается исправить недочёты стратегии восстановления, используемой в GPSR. Алгоритмы SAR состоят из GSR и основанной на GSR пересылки пакетов. Процесс пересылки сообщения очень похож на GSR: сначала определяется положение отправителя и адресата, затем осуществляется поиск кратчайшего пути с помощью алгоритма Дейкстры, после чего этот путь ставится в заголовки сообщений при передаче. Основное отличие заключается в том, что в GSR узлы для передачи сообщения выбираются из промежуточных на определённом ранее пути, а не на основе географического положения. В SAR же решение принимается на основе совокупности географического положения и составленного пути, что позволяет сократить количество ошибок глобального максимума. Главным недостатком такого подхода является то, что решение о пересылке принимается на основе географических данных узлов, а не их существующих ссылках в сети, отсутствует гарантия того, что передающий узел сможет найти подходящего соседа для передачи данных. Для выхода из такой ситуации используются задержка пакета, переключение на чистую жадную стратегию или повторное вычисление пути.

Anchor-based Street and Traffic Aware Routing (A-STAR)

A-STAR предложен в [5] с целью улучшения проблемы периметровой стратегии GPSR, при которой используется передача пакета ближайшему соседу, а не вдоль улицы вместо выбора наиболее дальнего. Этот алгоритм использует пути городских автобусов для определения «якорей» с наибольшей вероятностью успешного соединения для передачи пакета в городских условиях. «Якоря» в этом протоколе играют роль географической точки пересылки пакетов и перекрёстков, через которые пакеты должны пройти по пути к адресату. A-STAR содержит включение последовательности «якорей», через которые ему нужно пройти по пути к назначению, в пакет. Пути городских автобусов в этом протоколе также используются для того, чтобы находить маршруты с минимальной задержкой передачи. Как и GSR, A-STAR использует цифровые карты улиц для направления пакетов в обход потенциальных преград радиосигнала. Таким образом, A-STAR использует основанную на «якорях» информацию об улицах для нахождения пути в обстановке больших городов, однако данный протокол не является альтернативой для магистральных сценариев.

Spatial and Traffic Aware Routing (STAR)

STAR [6] весьма отличается от остальных позиционных протоколов и разработан для исправления недостатков SAR. У SAR есть преимущество, основанное на пространственной модели, позволяющей пересылать пакеты вдоль улиц. STAR может использовать информацию о топологии улиц, полученную из географических информационных систем, и данные о трафике машин для выполнения точных решений о маршрутизации. STAR решает проблему локального максимума в SAR за счёт того, что не имеет информации о положении узлов вдоль улицы, вместо этого в STAR мониторинг и распространение данных об узлах осуществляется посредством использования «маяков» — широковещательных сообщений, переносящих сведения о соседях узла-передатчика. Получение этих сведений обеспечивается посредством структуры данных, определяемой модулем мониторинга трафика. Узел хранит сведения о позиции своих соседей в соответствующей таблице. Соседи узла устанавливаются посредством «маяков». Каждый узел периодически посылает «маяк» своим соседям. Этот «маяк» содержит идентифицирующую

отправителя информацию, его координаты и условия пропуска трафика, заданные в соответствующей таблице. В результате работы «маяков» составляется граф, к которому можно применить алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайшего пути. «Якоря» вычисляются вдоль улиц, принадлежащих маршруту. Заголовок пакета включает идентификатор узла назначения, его позицию и ограниченное количество «якорей». В случае провала маршрутизации применяется восстанавливающая процедура, адаптированная STAR, которая состоит в вычислении нового маршрута из текущего узла, используя обновлённую информацию о трафике.

Greedy Perimeter Coordinator Routing (GPCR)

GPCR [7] содержит стандартную жадную стратегию и стратегию восстановления, которая не требует алгоритма планаризации графа. Он был предложен для улучшения надёжности GPSR. Основная идея протокола заключается в использовании того факта, что улицы и перекрёстки формируют естественный планарный граф без использования какой-либо глобальной или внешней информации, такой как цифровые карты. Этот алгоритм состоит из двух модулей: ограниченной жадной пересылки сообщений и процедуры восстановления. На первом этапе перекрёстки служат лишь для принятия решений о маршрутизации. Таким образом, пакеты должны всегда быть направлены к узлу на перекрёстке, а не через него. Координатор шлёт широковещательные сообщения о его роли с информацией о его позиции. Если пересылающий узел обнаружен на улице, а не на перекрёстке, пакеты пересылаются по улице до следующего перекрёстка. Когда пакет достигает координатора, выполняется решение о том, по какой улице пакет должен быть передан дальше. Решение принимается по жадной стратегии — выбирается ближайший узел с наибольшим продвижением к адресату. Как следствие, стратегия восстановления GPCR состоит из двух частей. Первая часть включает выбор на каждом перекрёстке улицы, по которой должен идти пакет, а во второй части между перекрёстками используется особая форма жадной стратегии для пересылки пакетов к следующему перекрёстку. С учётом этого никакие внешние карты недоступны. Основная трудность заключается в том, чтобы идентифицировать узлы на перекрёстке и избежать пропуска перекрёстов пока используется жадная стратегия. Таким образом, базовое поведение GPCR схоже с GPSR, где узел для передачи выбирается после анализа информации о структуре дороги. Однако в GPCR решение о пересылке пакета принимается на основе кучности узлов на смежных дорогах и возможности связи с адресатом. Поэтому если количество узлов мало или нет возможности установить связь с адресатом, проблемы локального максимума и задержки между отправкой/получением пакета остаются.

Greedy Traffic Aware Routing (GyTAR)

GyTAR [8] — это протокол, основанный на перекрёстках и способный находить пути в городской среде. Он учитывает направление и скорость узла, развилки на дорогах и изменение трафика. Он включает в себя два модуля: выбор перекрёстков, через которые пройдёт пакет, и улучшенной жадной стратегии пересылки пакетов между двумя перекрёстками. Особенность протокола заключается в том, что путь вычисляется в каждом узле заново, а не остаётся статичным после первого вычисления, как в GSR или A-STAR.

GVGrid

GVGrid [9] работает по запросу, то есть он собирает информацию об устройствах сети не постоянно, а только тогда, когда нужно передать данные. При передаче данных он строит маршрут из источника (неподвижного узла или базовой станции) к узлам, представленным в некоторой назначенной области. Этот протокол предназначен для плотно заполненных областей с медленно перемещающимися узлами, например, для мест частых пробок в городах. Этот протокол разбивает область на одинаковые области, называемые сетками. Длина стороны w каждой сетки определяется так, чтобы любой узел u мог получать информацию от каждого узла v в той же или соседней сетке. Расстояние между узлами u и v принимается равным $2\sqrt{2}w$, а с учётом того, что оно не может быть больше r, длина находится по формуле $w \le \frac{\sqrt{2}r}{4}$.

Contention Based Forwarding (CBF)

Алгоритм CBF [10] не требует постоянной передачи «маяков». В CBF цель следующей пересылки пакета выбирается в процессе борьбы между узлами, основываясь на действительных позициях всех текущих соседей. Борьба между узлами основана на пристрастном таймере. Для предотвращения дублей сообщений первый выбранный узел предотвращает выбор других узлов для передачи, используя алгоритм подавления области до тех пор, пока не выбран лучший путь из области. Однако такой подход не избавляет от прокладки неверных маршрутов.

Connectivity-aware Routing (CAR)

CAR был описан в [11]. Этот алгоритм рассылает «маяки» менее часто в зависимости от количества соседей и всех узлов, а сами сообщения содержат данные о скорости и направлении узла. Этот протокол включает 4 этапа: поиск пути, пересылка пакета, поддержка пути при помощи «стражей», восстановление пути при ошибке. Протокол предугадывает положение узла-адресата и перестраивает путь, если оно изменилось. При получении широковещательного сообщения узел пересылает отправителю данные о соседях вместе со своими. «Стражи» представляют собой записи внутри «маяков» и несут информацию о территории или другие вспомогательные данные

Результаты сравнительного анализа

Протокол	Предугадывающий	Carry-and-forward	Есть данные о дороге	Есть данные о трафике	Привязанные к позиции пути	Нужна карта	Нужны данные о трафике
GPSR					+		
SAR		+	+		+	+	
GSR			+		+	+	
A-STAR			+	+	+	+	
STAR			+	+		+	
GPCR			+		+	+	
CBF			+				
GVGrid			+			+	
GyTARR	+	+	+	+		+	+
CAR	+	+	+	+			
GPUR			+				
GPGR	+	+	+			+	

(ID узла, время жизни пакета и др.). Благодаря «стражам» протокол избегает ошибок при пустых пространствах между «якорями», а также в случае ошибок самих «стражей».

Greedy Perimeter Urban Routing (GPUR)

Жадная стратегия выбирает в качестве промежуточного узла ближайший к назначению узел, что часто приводит к проблемам на перекрёстках и в городской среде в целом. Для решения этих проблем предложен протокол GPUR [12]. Он выбирает промежуточный узел для передачи, основываясь на информации о характеристиках дороги, что схоже с GPCR. Однако, в отличие от GPCR, GPUR выбирает промежуточный узел с соседом, также ближайшим к адресату, для сокращения ошибок маршрутизации и вероятности ошибки локального максимума. Но GPUR периодически шлёт «маяки» для проверки наличия соседа, ближайшего к адресату, среди всех узлов, что приводит к повышенной задержке доставки пакета. Также GPUR, не решает проблему локального максимума.

Grid-based Predictive Geographical Routing (GPGR)

GPGR [13] использует сегменты дороги, основываясь на подходе маршрутизации с осведомлённостью об улице, и сведения о топологии дороги из цифровой карты. Поэтому пакеты маршрутизируются между узлами, согласно топологии дороги и её сегментам в реальности. Этот подход предназначен для улучшения взаимодействия между узлами за счёт информации о их скорости, направлении и данных о дороге. GPSR предполагает, что каждый узел знает свои координаты из GPS и имеет цифровую карту дороги. Географическая область разбивается на двумерную логическую сетку. Сетки нумеруются последовательно, следуя координатам *x, y*. Каждая сетка представляет собой область $d \times d$. При наличии физического положения должна получиться карта, заданная положением координат её сеток. Там, где каждый узел имеет зону действия радиосигнала *r*, размер каждой сетки *d* определяется как $d = \frac{r}{2\sqrt{2}}$ с максимальным значением *d* таким, что узел, расположенный в позиции сетки, способен передавать данные любому другому узлу в 8 соседних сетках. GPCR сокращает вероятность разрыва соединения и ошибки локального максимума, выбирая промежуточные узлы и основываясь на данных о движении узлов и топологии дороги.

Результаты анализа представлены в таблице.

Из результатов анализа следует, что протокол GPUR является наиболее перспективным из остальных рассмотрённых выше, так как вероятность разрыва маршрута или ошибки локального максимума в нём ниже, чем у остальных протоколов, что подтверждается экспериментальными данными, представленными в [13].

Библиографический список

1. Naseer, K. Q. Vehicular ad hoc networks routing protocols: survey / K. Q. Naseer, A. A. Hanan, F. Ullah // Science international (Lahore). 2015. Vol. 27, № 5. P. 4507–4524.

2. Karp, B. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks / B. Karp, H. T. Kung // Proc. International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom). 2000. Boston, 2000. P. 243–254.

3. Lochert, C. A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments [Электронный ресурс] / C. Lochert, H. Hartenstein, J.Tian, H. Füßler, D. Hermann, M. Mauve // Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2003. P. 156–161. URL: http://www.academia.edu/1039277/A_routing_strategy_for_vehicular_ad_hoc_networks_in_city_environments

4. Tian, J. Spatially aware packet routing for mobile ad hoc inter-vehicle radio networks [Электронный ресурс] / J. Tian, L. Han, K. Rothermel, C. Cseh // Proc. of the IEEE Intelligent Transportation Systems. 2003. P. 1546–1551. URL: ftp://ftp.informatik.uni-stuttgart.de/pub/library/ncstrl.ustuttgart_fi/INPROC-2003-36/INPROC-2003-36.pdf

5. Seet, B.C. A-STAR: A mobile ad hoc routing strategy for metropolis vehicular communications [Электронный ресурс] / B. C. Seet, G. Liu, B. S. Lee, C. F. Foh, K. J. Wong, K. K Lee // Proc. of the 3rd International IFIP-TC6 Networking Conference (Networking). 2004. P. 989–999. http://www.ntu.edu.sg/home/bcseet/Networking2004.pdf

6. Giudici, F. Spatial and traffic-aware routing (star) for vehicular systems [Электронный ресурс] / F. Giudici, E. Pagani // Proc. of International Conference on High Performance Computing and Communications. 2005. P. 77–86. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F11557654_11

7. Lochert, C. Geographic routing in city scenarios / C. Lochert, M. Mauve, H. Füßler, H. Hartenstein // ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review. 2005. Vol. 9, № 1. P. 69–72.

8. Jerbi, M. GyTAR: Improved greedy traffic aware routing protocol for vehicular ad hoc networks in city environments / M. Jerbi, R. Meraihi, S. M. Senouci, Y. Ghamri-Doudance // Proc. of the 3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET), 2006. Los Angeles, 2006. P. 88–89.

9. Sun, W. GVGrid: A QoS routing protocol for vehicular ad hoc networks / W. Sun, H. Yamaguchi, K. Yukimasa, S. Kusumoto // Proc. of the 14th IEEE International Workshop on Quality of Service (IWQoS). 2006. New Haven, 2006. P. 130–139.

10. Li, T. A contention-based routing protocol for vehicular ad hoc networks in city environments / T. Li, Y. Li, J. Liao // Proc. of the 29th IEEE International Conference on Distributed Computing System Workshops (ICDCS). 2009. P. 482–487.

11. Naumov, V. Connectivity-aware routing (car) in vehicular ad-hoc networks / V. Naumov, Th. Gross // INFOCOM 2007 : 26th IEEE International Conference on Computer Communications, IEEE. 2007. P. 1919–1927.

12. Ryu, M.W. A vehicle communication routing algorithm considering road characteristics and 2-hop neighbors in urban areas / M. W. Ryu, S.H. Cha, K.H. Cho // The Journal of Korea Information and Communications Society. 2011. Vol. 36, № 5. P. 464–470.

13. Cha, S. H. Grid-Based Predictive Geographical Routing for Inter-Vehicle Communication in Urban Areas / S. H. Cha, K.W. Lee, H.S. Cho // International J. of Distributed Sensor Networks. Vol. 2012 (2012). Article ID 819497; dx.doi.org/10.1155/2012/819497.

Сведения об авторах

Нечволода Павел Петрович — магистрант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск. *awest93@yandex.ru*

Пономарчук Юлия Викторовна — доцент, кандидат физико-математических наук, заведующая кафедрой вычислительной техники и компьютерной графики, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск. *yulia.ponomarchuk@gmail.com*

P. P. Nechvoloda, Yu. V. Ponomarchuk

ANALYSIS OF VANET GREEDY ROUTING PROTOCOLS

Research in field of organization and providing quality of service in vehicular networks VANET (Vehicular ad-hoc Networks) is necessary for development of information systems “smart city”, intelligent transportation systems. In this paper the comparative study of greedy routing protocols for VANET is done.

ББК Р410.1,9с51
УДК 616.12-008.31:004.4

А. В. Никонов, А. М. Вульфин, М. М. Гаянова

АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНОЙ АРИТМИИ

Исследованы алгоритмы автоматической диагностики аритмий на основе интеллектуального анализа данных (ИАД). Для повышения точности диагностики предлагается подход на основе методов ИАД. В работе рассматриваются вейвлет-преобразование Хаара, нейросетевой фильтр Хебба, нейросетевой классификатор.

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, сердечно-сосудистые заболевания являются одной из главных причин смерти по всему миру. Разработка инструментов оперативной диагностики нарушения сердечного ритма — аритмии — актуальная задача [1].

Электрокардиосигналы (ЭКС) — электрические проявления сократительной активности сердца, они характеризуют состояние сердечно-сосудистой системы (ССС). Запись ЭКС во времени представляет собой электрокардиограмму (ЭКГ), анализ которой является наиболее часто используемым диагностическим тестом, который может дать быстрые результаты.

Применение линейных методов анализа временных последовательностей отсчётов ЭКС не даёт точных результатов и сопряжено со значительными вычислительными затратами. Применение нелинейных методов анализа требует ещё большей вычислительной производительности и объёма памяти для хранения промежуточных этапов вычислений. Интеллектуальный анализ данных ЭКС с использованием нейросетевых нелинейных моделей показывает наилучшие результаты по точности распознавания на модельных задачах, но требует организации параллельной обработки данных для возможности получения результатов диагностики в режиме реального времени.

В качестве вычислительного узла могут выступить программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), которые сегодня широко используются для цифровой обработки сигналов. С их помощью возможна реализация нейросетевых структур и параллельной высокоэффективной обработки данных ЭКС. В отличие от микроконтроллеров такой вычислитель не обладает аппаратной избыточностью, а также отличается минимально возможным энергопотреблением.

Анализ современного состояния систем и алгоритмов диагностики сердечных аритмий

На сегодняшний день существуют методы автоматической диагностики болезней сердца. Они основаны на использовании параметрического моделирования, набора решающих правил, нечёткой логики, анализа многокритериальных решений и генетических алгоритмов [2–4]. Общий недостаток данных систем заключается в том, что для получения высоких показателей качества распознавания требуются значительные аппаратные и вычислительные затраты. Существуют также законченные устройства, предназначенные для мониторинга сердечной деятельности [2; 5], но их основной функцией остаётся непрерывная регистрация сигнала. Что касается анализа — устройства способны выявить лишь ограниченное количество достаточно просто распознаваемых типов аритмий по временным параметрам ЭКС. Причина этого кроется в ограниченной производительности используемых микроконтроллеров, которая не позволяет применять современные алгоритмы для анализа в реальном времени.

Существующие подходы, как правило, страдают от высокой чувствительности к шуму в ЭКС, а также от значительного снижения точности распознавания аритмий при обработке сигналов у большого количества пациентов [6]. Установлено, что точность распознавания аритмий в существующих решениях не превышает 80 % [4; 7; 8]. Предлагается применить алгоритмы интеллектуального анализа данных для повышения точности анализа сердечной деятельности в режиме реального времени.

На рис. 1 показана форма ЭКС одного периода сердечного сокращения. Во время постановки диагноза врач учитывает следующие особенности: взаимное расположение волн, их величины, формы и другие интервальные признаки, такие как PR-интервал, PR-сегмент, а также ширина QRS-комплекса, QT-интервал и ST-сегмент [9].

Для повышения качества диагностики в отдельных случаях бывает необходимо записывать ЭКГ в течение нескольких часов, чтобы выявить некоторые типы аритмий. Объём собранных данных в этом случае достаточно велик, и при этом растёт вероятность совершения ошибки аналитиком при анализе [10].

Основная трудность в задаче автоматического анализа ЭКГ заключается в большом разбросе морфологий кривых ЭКГ. У разных пациентов параметры последовательности сердцебиений значительно изменяются (из-за движений, порождающих высокочастотные шумы, или дыхания, вызывающего

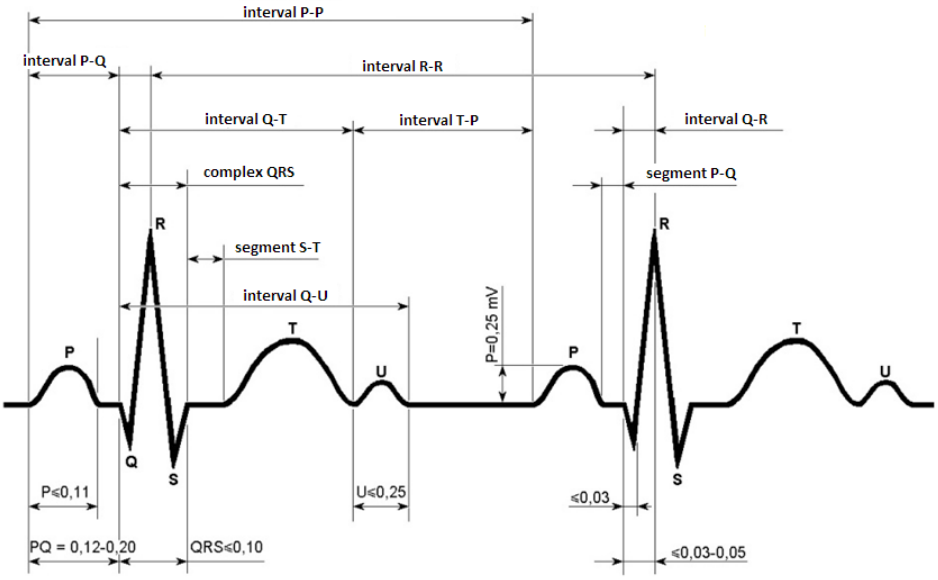


Рис. 1. Структура ЭКС

блуждание базовой линии, или различий в электрических характеристиках тела) [7]. Исходя из этого затруднено создание набора данных, который охватил бы все возможные морфологии ЭКГ, собранные у различных пациентов. Это является основной причиной того, что классификатор, откалиброванный на тестовых данных, показывает неудовлетворительные результаты распознавания при анализе образцов ЭКГ различных пациентов [10–12].

Основные этапы цифровой обработки ЭКС

Обобщённый процесс обработки ЭКС начинается с предварительной оценки полученного сигнала и процедуры цифровой фильтрации, задачей которой является подавление помех в исходном сигнале. После этого осуществляется выбор QRS-комплекса и обнаружение его информативных сегментов, таких как *Q*-, *R*-, *S*-зубцы желудочкового комплекса, PQ- и ST-сегменты, и другие, а также измерение их параметров. Измерение имеет ключевое значение для анализа сигнала, поскольку точность нахождения координат информативных сегментов и вычисление их взаимного расположения определяют качество дальнейшего анализа состояния сердечной деятельности и распознавания кардиологических нарушений. На последующих этапах производится анализ ЭКС, включающий вычисление производных диагностических признаков, анализ амплитудных и временных признаков формы сигнала. В заключение происходит интерпретация результатов анализа путём отнесения обработанного сигнала к одному из классов состояний ССС [4].

Структура диагностической модели интеллектуального анализа данных электрокардиосигнала

Для исследования сложных нелинейных сигналов ЭКС предлагается использовать алгоритмы интеллектуального анализа данных (ИАД). Согласно одной из наиболее широко распространённых методологий интеллектуального анализа данных [13; 14] процесс ИАД, адаптированный для задачи разработки системы диагностики ССС, состоит из нескольких этапов:

1. Сбор и хранение исходных данных.

Этот этап включает два синхронных процесса:

– регистрацию ЭКС и подготовку его цифровой записи;

– регистрацию событий и их описание —– аннотирование данных ЭКС экспертом.

2. Применение методов ИАД.

Данный этап является ключевым, он предусматривает:

– использование методов выделения особенностей сигналов на основании применения методов сегментации;

– унификацию выделенных сегментов;

– классификацию событий. После получения подготовленного материала необходимо его систематизировать с выделением классов, которые соответствуют основным типам выявляемых аритмий;

– сопоставление событий и типов известных ритмов. Сопоставление происходит в хронологическом порядке с учётом гипотезы, что в один момент времени происходит одно событие;

– построение модели, способной в реальном времени обрабатывать данные ЭКС и классифицировать события и состояние ССС;

– тестирование и оценка работоспособности модели выявления и распознавания видов аритмий.

На рис. 2 представлена структура диагностической модели выявления и идентификации событий на основе анализа ЭКС с указанием алгоритмов, предлагаемых для реализации каждого этапа.

Рассматриваемый ЭКС несёт в себе признаки физиологических событий электрической активности сердца. Анализ сигнала для диагностики требует идентификации эпох (фрагментов сигнала,

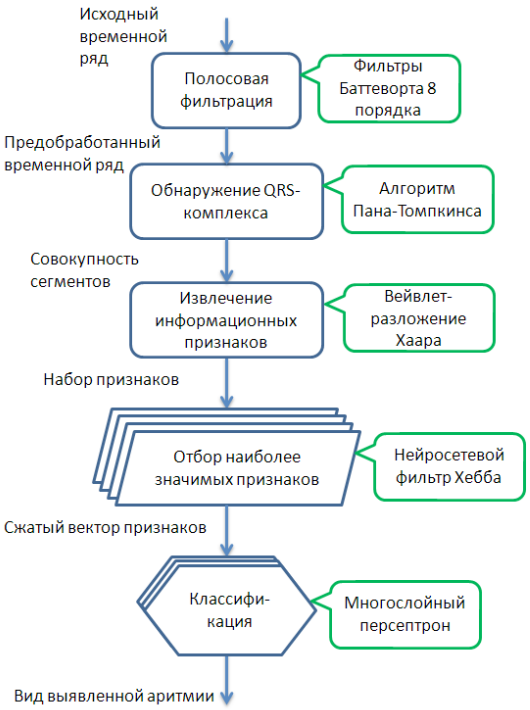


Рис. 2. Структура диагностической модели анализа ЭКС

связанных с каким-либо изучаемым событием) и исследования соответствующих событий. Для обнаружения физиологических событий электрической активности сердца предлагается использование алгоритма Пана — Томпкинса [4; 15]. Данный алгоритм продемонстрировал очень низкую степень ошибки, которая составила 0,68 %. Ещё одним преимуществом алгоритма является то, что форма сигнала остаётся прежней, тогда как методы на основе дифференцирования существенно изменяют форму сигнала; также поиск событий является адаптивным и не зависит от заранее устанавливаемых параметров.

Для генерации диагностических признаков необходима временная локализация спектральных компонент, поскольку ЭКС является сложным нестационарным периодическим сигналом [4; 16]. Исходя из этого для генерации признаков предлагается использовать результат вейвлет-разложения выделенного сегмента ЭКС для получения частотно-временного представления сигнала [17; 18]. В процедуре генерации признаков к вектору сигналов многократно применяется вейвлет-преобразование Хаара. Вейвлет Хаара выбран по причине его вычислительной простоты [18–20].

Достоинством данного подхода является простота реализации — каждая итерация представляет собой операцию сложения и сдвига результата вправо на 1 разряд. Поскольку каждая пара векторов отсчётов сигнала обрабатывается независимо, данные операции можно выполнять параллельно.

Следующий этап обработки сигнала направлен на снижение размерности пространства признаков без существенной потери полезной информации. Традиционным методом решения данной задачи является применение метода главных компонент (МГК), однако недостатком данного алгоритма следует считать интенсивный рост вычислительных затрат при увеличении размера исходных данных [17; 21]. Поэтому предлагается альтернативный подход к реализации МГК с использованием однослойной нейронной сети, обученной по правилу Хебба. Каждый нейрон выполняет функцию фильтра, выделяющего соответствующую главную компоненту из множества входных данных. Архитектура сети представляет собой один слой нейронов, функция активации которых является линейной:

$$y = \sum_{j=1}^{m} w_j x_j,$$

где w — вес нейрона;

y — значение на выходе нейрона;

x — входное значение;

j — номер веса;

m — количество весов.

Согласно правилу обучения Хебба, синаптический вес w_j увеличивается, если предсинаптический сигнал x_j совпадает с постсинаптическим сигналом y:

$$w_j(n+1) = w_j(n) + \eta \cdot y(n) \cdot x_j(n), \quad j = \overline{1,m},$$

где n — номер итерации;

η — параметр скорости обучения.

Для стабилизации алгоритма производится нормировка весов, чтобы вместо неограниченного роста происходило перераспределение весов между синапсами. Обучению подлежит множество синаптических весов $\{w_{ij}\}$, соединяющих узлы входного слоя с нейронами.

Использование нейронной сети Хебба не требует явного построения матрицы ковариации и значительных затрат вычислительных ресурсов для хранения матрицы в памяти, как в случае МГК [17].

В ходе вычислительного эксперимента на выборке из базы данных аритмий MIT-BIH Arrhythmia Database [2] установлено, что достаточно девяти главных компонент для сохранения 95 %-й дисперсии исходного сигнала. Таким образом, фильтр Хебба содержит 9 нейронов. На рис. 3 показаны вклад каждой последующей главной компоненты в суммарную дисперсию (гистограмма) и суммарная дисперсия от всех включенных главных компонент (линия).

Заключительным этапом обработки ЭКС является классификация QRS-комплексов по типу заболевания с помощью нейросетевого классификатора [9–11]. Наиболее универсальная архитектура нейронной сети для решения задачи классификации — многослойный

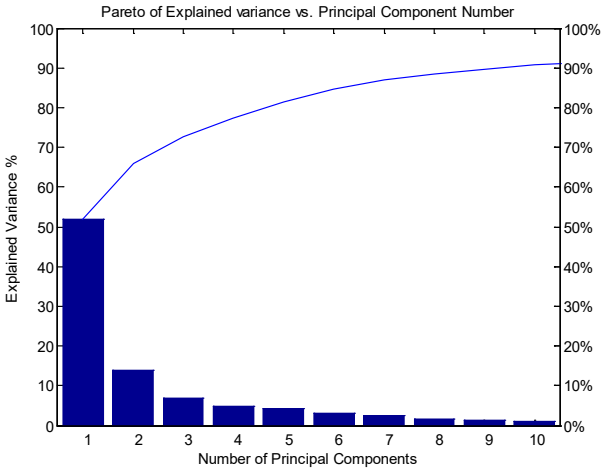


Рис. 3. Гистограмма определения необходимого числа главных компонент

персептрон с одним скрытым слоем [7; 12; 22]. Архитектура сети показана на рис. 4.

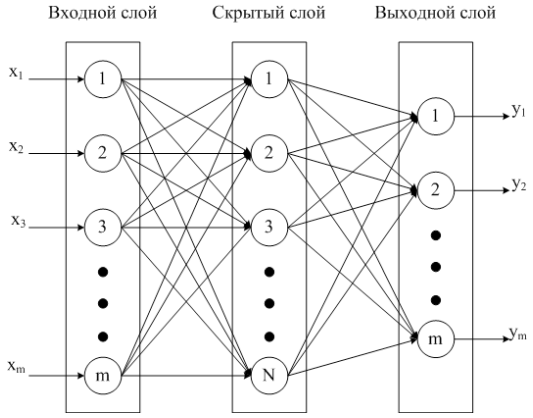


Рис. 4. Архитектура сети многослойного персептрона

Количество нейронов во входном слое будет соответствовать размерности входных данных, в данном случае — количеству главных компонент, равному 9. Количество нейронов в выходном слое соответствует количеству классов, с которым будет соотнесён вектор выходных данных.

В ходе подбора параметров архитектуры сети (табл. 1) установлено, что в скрытом слое достаточно 32 нейронов для получения высокой точности классификации.

Структура нейронной сети, с помощью которой реализованы последние два этапа обработки, позволяет организовать вычисления в параллельной форме [23].

Эксперимент

Описанная выше процедура обработки данных ЭКГ с целью выявления аритмий была реализована в среде MATLAB и протестирована на выборке из базы данных аритмий MIT-BIH Arrhythmia Database [2]. Из данной базы были выбраны записи заболеваний 5 классов, содержащих 29 537 записей. Выбор этих классов объясняется достаточным количеством записей, необходимых для полноценного обучения классификатора (табл. 2).

Для анализа обобщающей способности выполнена перекрёстная проверка. В результате десяти проходов алгоритма были получены результаты, представленные в табл. 3 и 4.

Табл. 4 следует читать по строкам: из всех записей класса C1 корректно было распознано 90,28 %, 1,53 % записей было распознано как класс C2, 6,68 % — как класс C3 и т. д. Из таблицы видно, что суммарные ошибки распознавания в рамках класса в среднем не превышают 15 %. Исключение составил лишь класс C2, около 38 % записей которого были ошибочно отнесены к классу C5. Это объясняется тем, что количество записей класса C2 примерно в 2,5 раза меньше, чем у остальных классов.

Выводы

В работе предложена структура диагностической модели выявления сердечных аритмий и алгоритмы обработки ЭКС на основе интеллектуального анализа данных. Применяются такие инструменты, как вейвлет-преобразование Хаара, нейросетевой фильтр Хебба, нейросетевой классификатор.

Проведён эксперимент на выборке из базы данных аритмий MIT-BIH Arrhythmia Database [2]. В результате анализа 29 537 записей заболеваний 5 классов точность распознавания аритмий составила

Таблица 1

Параметры персептрона

Параметр	Значение
Количество нейронов во входном слое	9
Количество нейронов в скрытом слое	32
Количество нейронов в выходном слое	5
Функция активации	Гиперболический тангенс
Алгоритм обучения	Обратное распространение ошибки
Максимальное число эпох обучения	1e4
Целевая ошибка обучения	1e–3

Таблица 2

Описание классов аритмий

Класс	Код класса	Число записей
Paced beat	C1	6 977
Atrial premature beat	C2	2 452
Left bundle branch block beat	C3	8 018
Right bundle branch block beat	C4	7 091
Normal beat	C5	4 999

Таблица 3

Результаты моделирования

Параметр	Значение
Чувствительность	0,903
Специфичность	0,970
Число записей	29 537
Число верно распознанных	25 565 (86,55 %)
Ошибка распознавания	3 972 (13,45 %)
Среднее значение отклонения	0,001
Среднее число итераций обучения	291

Таблица 4

Результаты перекрестной проверки

Предсказанный / Фактический	C1	C2	C3	C4	C5	Не распознано
C1	6 299 90,28 %	107 1,53 %	466 6,68 %	63 0,9 %	42 0,6 %	0
C2	132 5,38 %	1 138 46,41 %	215 8,77 %	38 1,55 %	929 37,89 %	0
C3	357 4,45 %	119 1,48 %	6911 86,19 %	2 0,02 %	629 7,84 %	0
C4	125 2,5 %	1 0,02 %	37 0,74 %	4 836 96,74 %	0 0 %	0
C5	57 0,8 %	263 3,71 %	389 5,48 %	1 0,01 %	6 381 89,99 %	0

около 86 %. Алгоритмы анализа, используемые в диагностической модели, могут быть реализованы в параллельной форме, что позволит повысить эффективность использования вычислительных ресурсов и обеспечить анализ в режиме реального времени.

Библиографический список

1. Hadjem, F. M. Nait-Abdesselam. An ECG T-wave anomalies detection using a lightweight classification model for wireless body sensors / F. M. Hadjem // IEEE International Conference on Communication Workshop. London, 2015. P. 278–283.

2. Amann, A. Reliability of old and new ventricular fibrillation detection algorithms for automated external defibrillators [Электронный ресурс] / A. Amann, R. Tratnig, K. Unterkofler // BioMedical Engineering OnLine. 2005. Vol. 4, № 1. P. 1. URL: https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/ 1475-925X-4-60

3. de Chazal, P. Automatic classification of heartbeats using ECG morphology and heartbeat interval features / P. de Chazal, M. O. Dwyer, R. B. Reilly // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2004. Vol. 51, № 7. P. 1196–1206.

4. Rangayyan, R. M. Biomedical signal analysis / R. M. Rangayyan. 2nd ed. John Wiley & Sons, 2015. 720 p.

5. Boonperm, P. ECG analyzing program for arrhythmia detection / P. Boonperm, D. Supakasemwong, P. Naiyanetr // 7th Biomedical Engineering International Conference. Hong Kong, China, December, 2014. P. 1–4.

6. Gao, D. Bayesian ANN classifier for ECG arrhythmia diagnostic system: a comparison study / D. Gao,

M. Madden, D. Chambers, G. Lyons // IEEE International Joint Conference on Neural Networks. 2005. Vol. 4. P. 2383–2388.

7. Barro, S. Classifying multichannel ECG patterns with an adaptive neural network / S. Barro, M. Fernandez-Delgado, J.A. Vila-Sobrino, C. V. Regueiro, E. Sanchez // IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine. 1998. Vol. 17, № 1. P. 45–55.

8. Chakroborty, S. Real-time arrhythmia classification for large databases / S. Chakroborty, M. A. Patil // 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2014. P. 1448–1451.

9. Chakroborty, S. Accurate arrhythmia classification using auto-associative neural network / S. Chakroborty // 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Osaka, 2013. P. 4247–4250.

10. Ceylan, R. Comparison of FCM, PCA and WT techniques for classification ECG arrhythmias using artificial neural network / R. Ceylan, Y. Ozbay // Expert Systems with Applications. 2007. Vol. 33, № 2. P. 286–295.

11. Tejaswini, G. Arrhythmia & Neural Network / G. Tejaswini // International Conference on Communications & Signal Processing. 2015. P. 1361–1365.

12. Osowski, S. Recognition and classification system of arrhythmia using ensemble of neural networks / S. Osowski, T. Markiewicz, L. T. Hoai // Elsevier Science Measurement. 2008. Vol. 41, № 6. P. 610–617.

13. Chapman, P. CRISP-DM 1.0 Step-by-step data mining guide / P. Chapman, J. Clinton, R. Kerber, T. Khabaza, T. Reinartz, C. Shearer, R. Wirth. SPSS, 2000.

14. Фрид, А. И. Интеллектуальный анализ технологических временных рядов в проблеме диагностики инженерной сети / А. И. Фрид, А. М. Вульфин, В. М. Гинниятуллин // Научная сессия МИФИ 2013. XV Всерос. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2013» : сб. тр. : в 2 ч. М. : МИФИ, 2013. Ч. 2. С. 83–94.

15. Pan, J. A real-time QRS detection algorithm / J. Pan, W. J. Tompkins // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 1985. № 3. P. 230–236.

16. Павлов, А. Н. Цифровая фильтрация и частотно-временной анализ нестационарных сигналов на основе вейвлетов и эмпирических мод / А. Н. Павлов, А. Е. Филатова, А. Е. Храмов // Радиотехника и электроника. 2011. № 9. С. 1099–1106.

17. Бухарин, С. В. Алгоритм выделения главных компонент с помощью самоорганизующейся нейронной сети Хебба / С. В. Бухарин, А. В. Мельников, В. В. Навоев // Вестн. Воронеж. ин-та МВД России. 2015. № 2. С. 115–123.

18. Захаров, И. С. Компонентный анализ в проблеме слепого разделения спонтанных электроэнцефалограмм / И. С. Захаров, А. В. Самородов // Молодёж. науч.-техн. вестн. 2013. № 9. С. 55.

19. Merry, R. J. E. Wavelet theory and applications. Eindhoven University of Technology, Department of Mechanical Engineering / R. J. E. Merry, M. Steinbuch. Control Systems Technology Group, 2005.

20. Ku, C. T. Wavelet-based ECG data compression system with linear quality control scheme / C. T. Ku, K. C. Hung, T. C. Wu, H. S. Wang // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2010. Vol. 57, № 6. P. 1399–1409.

21. Jolliffe, I. T. Principal Component Analysis / I. T. Jolliffe. Springer Series in statistics, 2002.

22. Haykin, S. Neural Networks. A comprehensive foundation / S. Haykin. 2nd ed. Pearson Education, 2005.

23. Arumugam, S. S. Wavelet based detection of ventricular arrhythmias with neural network classifier / S. S. Arumugam, G. Gurusamy, S. Gopalasamy // J. of Biomedical Science and Engineering. 2009. Vol. 2, № 6. P. 439–444.

Сведения об авторах

Никонов Андрей Владимирович — магистрант, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. *nikonov.andrey.pro@yandex.ru*

Вульфин Алексей Михайлович — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и защиты информации, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа.

Гаянова Майя Марсовна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа.

A. V. Nikonov, A. M. Vulfin, M. M. Gayanova

AN APPLICATION OF THE DATA MINING ALGORITHMS FOR THE PROBLEM OF AUTOMATIC ARRHYTHMIA DIAGNOSIS

This paper presents an application of the data mining (DM) algorithms for the problem of automatic arrhythmia diagnosis. Approach on the basis of DM methods is proposed to improve the accuracy of arrhythmia diagnosis. The paper examines: Haar wavelet transform, neural network Hebb filter, neural network classifier.

ББК Ч402.79
УДК 378.01:004.4

И. А. Нурмухаметов

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПЕРСПЕКТИВАМ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Предложен анализ перспектив дальнейшего развития и взаимодействия интеллектуальных систем электронного обучения (ИСЭО) и систем непрерывного образовательного пространства, работающих в офлайн-режиме на основе облачных технологий, а также предложена общая концепция развития ИСЭО нового поколения на основе нейронных сетей, описаны её цели и задачи.

Ключевые слова: *интеллектуальные системы электронного обучения, ИСЭО, облачные технологии, нейронные сети, система непрерывного образовательного пространства, образовательная среда*.

Введение

На заре XXI в. мы вступили в эпоху тотальной информатизации. С появлением интеллектуальных информационных систем многое изменилось, и образовательные системы оказались на острие этого развития. Информационные системы и технологии стали неотъемлемой частью образовательного процесса. И всё, что казалось нам ранее незыблемым и академичным, стало неприемлемо архаичным и бесперспективным.

Темпы развития технологий в буквальном смысле осуществили переворот, поставив всё то, что ранее было фундаментом, на передний край, в авангард научной мысли. А это в свою очередь потребовало пересмотреть и сам процесс обучения, оценки знаний и их освоения, как по форме, так и по содержанию. Но кто знает, что будет дальше, если сейчас преподаватель стал не просто лектором с комплексом субъективных оценок, а дизайнером образовательного процесса. В его руках огромное количество методов и инструментов. Остаётся лишь одно «но» — пресловутый человеческий фактор.

Как будет выглядеть преподаватель будущего, если интеллектуальную образовательную систему построить, например, на основе нейронных сетей?! В первую очередь для этого необходимо сформулировать цели и обозначить задачи, которые могут возникнуть перед такой системой, с учётом несовершенства уже существующих ИСЭО.

Цели:

1. Определить направления дальнейшего развития ИСЭО.

2. Определить круг задач, стоящих перед образовательными системами будущего.

3. Сформулировать концепцию ИСЭО нового поколения на основе нейронных сетей (искусственного интеллекта).

Задачи исследования:

1. Рассмотреть на некоторых примерах и произвести оценку возможностей существующих ИСЭО и образовательных систем, работающих в офлайн-режиме с использованием облачных технологий.

2. Проанализировать гибридные системы на основе ИСЭО и систем, работающих в офлайн-режиме с использованием облачных технологий.

3. Сформулировать концепт ИСЭО нового поколения.

Свойства и особенности интеллектуальных систем электронного обучения (ИСЭО) на примере программных продуктов, таких как Knewton

Нужно отметить, что ИСЭО — это своего рода «сталкер» в мире образовательной информации как для обучаемого, так и для преподавателя. Одной из наиболее известных и распространённых систем со схожими функциями и возможностями является Knewton.[3]

Методология Knewton строится вокруг двух основных понятий:

– технологии планирования образовательной траектории;

– и сложной модели оценки студента.

Очевидно, что сегодня все образовательные организации работают только с «малыми данными». Это связано с тем, что в образовательных организациях отсутствует специальная электронная среда, которая содержит много онлайн-контента и, как следствие, — большое количество взаимодействий пользователей с этим контентом и между собой относительно него. По сути дела с большими данными работают авторы онлайн-курсов, электронного обучения.

Лидер использования данных применительно к образовательной деятельности — компания Knewton (США). Она работает с пятью типами данных:

1) персональные данные;

2) данные о взаимодействии пользователя с электронной системой и друг с другом (показатели отказов, скорости просмотра страниц, возвраты к страницам, количество связей, расстояние связей, количество просмотров страниц одним пользователем и т. д.);

3) данные об эффективности учебных материалов (какой тип ученика с какой частью контента взаимодействует, результаты взаимодействия, образовательные результаты и т. д.);

4) административные (общесистемные) данные (посещаемость, пропуски по болезни, количество проведённых уроков и т. д.);

5) прогнозные (предполагаемые) данные (какова вероятность участия ученика в той или иной деятельности, какова вероятность выполнения задания и т. д.).

Эти пять типов данных расположены в порядке усложнения их появления и архитектур баз данных, в которые они попадают.

Адаптивное обучение в понимании Knewton должно реагировать в реальном времени на результаты каждого студента и на его действия в сети. Этот подход увеличивает вероятность того, что студент получит правильный образовательный контент в нужный момент и достигнет поставленных перед собой целей. К примеру, если студент плохо справляется с определённым набором вопросов, то Knewton сможет предположить, какие темы, затронутые в этом списке вопросов, оказались непонятными, и предложить ему контент, который поможет повысить уровень понимания именно этих тем. [2]

Анализ «больших» данных

Во-первых, анализ данных позволяет работать с индивидуальными программами обучающихся, персонализировать обучение. Данные показывают, какой тип ученика с какой частью контента взаимодействует. Как происходит это взаимодействие, где он проявил интерес, а где ему было скучно, с кем и как он взаимодействовал в процессе обучения, как прохождение того или иного курса повлияло на образовательные результаты, на каком этапе обучения ему нужна помощь. Обучение становится адаптивным.

Во-вторых, образовательная аналитика на основе данных меняет представление о формате образовательных программ. Все тексты, используемые в образовательном процессе, могут быть не только оцифрованы, но и датифицированы, то есть текстовые файлы переводятся в числовые данные. Пользователи свободно двигаются по контенту, затем осуществляется анализ того, как пользователи взаимодействовали с материалом: что оказалось эффективным, что неэффективным. Результатом такой аналитики должно становиться изменение контента. Поэтому образовательная программа превращается из формата утверждаемого текста в формат некоторой совокупности онлайн-контента, которая динамически изменяется через анализ данных, появляющихся в результате взаимодействия с онлайн-контентом обучающихся. Появляется так называемая «умная программа», «умный учебный план». Возможно, что программы учебных курсов также претерпят изменения: они могут стать метапредметными.

В-третьих, изменение подходов к мониторингу и оценке как самого образовательного процесса, так и образовательных результатов. Мониторинг становится постоянным. Заинтересованность учеников в постоянном мониторинге связана с тем, что анализ данных позволяет сделать его учебный план индивидуальным, заинтересованность учителей связана с возможностью получения информации о продуктивных группах, обратной связи от учащихся, к создаваемому контенту (интересно/не интересно, сложно/легко и т. д.), для руководителей — эффективное распределение ресурсов.

Оценка образовательных результатов может быть самостоятельной и/или коллективной, агрегированной на основе всех данных ученика, полученных из всех взаимодействий. Оценка осуществляется для того, чтобы грамотно расширить образовательную программу ученика. Динамика образовательных результатов фиксируется постоянно, на основе этих данных формируются паттерны (повторяющиеся шаблоны), по которым можно судить о развитии ученика.

В-четвертых, составной частью образовательной аналитики станут новые методы:

а) метод выявления структуры и кластеризация;

б) сетевой анализ.

Методы интеллектуального анализа

Использование прогноза потребует разработки алгоритмов. К примеру, зная предыдущие образовательные результаты, можно сделать прогноз того, способен ли ученик решить определённую задачу и с определённым результатом. Опираясь на анализ данных о том, как взаимодействовал ученик с онлайн-контентом, можно установить, что ему будет интересно на следующем этапе.

В отличие от прогноза, где известно, что нужно определить, метод выявления структуры используется для определения неизвестных паттернов и последующей кластеризации данных.

Кроме того, необходимо определить критерии для осуществления анализа, что в дальнейшем позволит произвести оценку поступающих в систему данных.

Критерии:

– интенсивность или производительность (способность обучаемого освоить определённый объём информации за определённый период);

– объём освоенных знаний;

– скорость освоения материала;

– активное время обучения (самостоятельное выполнение материала);

– пассивное время обучения (при прослушивании лекций, презентаций);

– время простоя (нулевая активность);

– неоднородность информации;

– время перехода между темами;

– качество (промежуточная оценка знаний после каждой промежуточной единицы знаний, балльно-рейтинговая система, компетенции);

– промежуточные тесты (после каждого раздела);
– количество терминов и понятий;
– практическое применение теоретических знаний для решения практических задач;
– исследовательская, научная активность студента.

Модульность

Модуль (во временно́м аспекте) — структурированная часть учебного года, в пределах которой в концентрированной форме изучается одна или несколько образовательных программ или их законченных разделов. Модуль включает в себя все виды учебной работы и завершается промежуточной аттестацией. ИСЭО необходимо отслеживать параметры по двум направлениям:

– аналитика курса (аналитика качества учебного материала);
– аналитика студента (аналитика и прогнозирование успешного обучения студента).

Оценка возможностей ИСЭО

ИСЭО позволяют нам:

– «на входе» (начало обучения) в систему проанализировать уже имеющийся уровень знаний обучаемого;
– вести промежуточный мониторинг уровня знаний обучаемого и адекватность воспринимаемой им информации;
– анализировать получаемые данные;
– прогнозировать отрицательный или положительный результат «на выходе» (конец обучения).

Алгоритмы и инструменты ИСЭО позволяют выявлять негативную динамику образовательной траектории обучаемого, обнаружить пробелы, скорректировать их и продолжить обучение, ориентируясь на данные системы прогнозирования. Пройдя рекомендованным путём, обучаемый получит весь спектр компетенций и навыков, а вуз существенно сократит отчисляемость студентов, благодаря своевременному прогнозированию результатов образовательного процесса каждого студента [1].

Системы непрерывного образовательного пространства, работающие в офлайн-режиме на основе облачных технологий

Анализ системы

Проанализировав систему образовательной среды на основе облачных технологий, можно прийти к выводу, что при том потоке информации и при постоянно обновляющихся технологиях существует необходимость оптимизации образовательных процессов путём создания рационального образовательного пространства.

Суть «облачных технологий» заключается в предоставлении пользователю удалённого доступа к услугам, вычислительным ресурсам и приложениям, ПО через Интернет.

Практическая часть

Больше всего в этой технологии подкупает простота технических требований к компьютеру. Самое главное — это выход в Интернет в любом месте, с любого компьютера, в любое удобное время. Именно потому, что все необходимые пользователю инструменты и ПО уже есть в облаке. Ему не нужен суперкомпьютер с дорогим лицензионным ПО. Да и документы, ведомости, презентации, курсовые студентов, отчёты тоже можно оставлять прямо в облаке — это не привязывает к рабочему месту или к определённому компьютеру. Преподавателю не нужно теперь, например, носить кипы курсовых работ на проверку, а студенту — кучу лекционных тетрадей и библиотечной литературы. Облако даёт возможность рецензировать работы и проводить консультации со студентами в онлайн-режиме. Преподаватель может спокойно выкладывать методические пособия, размещать контрольные вопросы, проводить тестирование, смотреть студенческие презентации. Неоспорим тот факт, что облачная форма организации образовательного процесса помогает не только преподавателю, но и студентам. В облаке они могут формировать любые документы, делать расчёты, получать консультации и приобретать ценный практический опыт работы в команде. Студент всегда может вернуться к той информации, которая была собрана на предыдущих курсах, чтобы освежить свои знания или приступить к работе над дипломным проектом. Такие наработки не пропадут, а будут пополняться с каждым курсом, и студент будет иметь к ним доступ в любом удобном для него месте и в любое удобное для него время. Не просто просмотровый доступ, а возможность полноценно работать, редактировать, получать консультацию или рецензию преподавателя или обсуждать спорные моменты с сокурсниками. В облаке есть прекрасная возможность работать над групповыми проектами, распределяя обязанности в онлайн-режиме и работая одновременно над одним проектом. С помощью облака со студентами возможно проигрывать множество вариантов решения тех или иных задач, обмениваться огромным объёмом информации. Например, с помощью журнала событий мы можем оценить объём работ, который проделан каждым студентом и оценить его вклад в работу над совместным проектом.

Существует и ещё один аргумент в пользу облачного образования. Это возможность активно задействовать тех студентов, чьи возможности передвижения существенно ограничены по тем или иным причинам. Для них это прекрасная возможность в полной мере проявить себя, приобрести практические навыки работы в команде, в любой момент получить консультацию преподавателя или пообщаться с сокурсниками в рамках образовательного процесса. И такой опыт уже существует не только за рубежом. Перспективы внедрения позволят кардинально преобразовать процесс получения знаний всеми категориями слушателей. Более того, из категории

пассивных слушателей они перерастут в активных участников командных и индивидуальных проектов. Используя эти технологии в учебном процессе, мы видим, как студентам интересно, с каким упорством и скоростью они осваивают и приобретают те навыки, которые будут востребованы ими по окончании вуза. Качество и эффективность проведения таких занятий несоизмеримо выше, а возможности намного шире, чем обычно. Поэтому, с практической точки зрения, с уверенностью можно сказать, что облачные технологии в образовании — это нужный, эффективный и актуальный инструмент. И начинать его внедрение в учебный процесс нужно с самих преподавателей. На данном этапе недостаточное знание офисных приложений в совокупности с увеличением объёмов информации требует увеличения скорости её обработки в перспективе. На сегодняшний день такие традиционные способы обмена документами, как электронная почта, уже не являются актуальными и эффективными.

Смешанное обучение

Смешанное обучение (англ. Blended Learning) — это сочетание традиционных форм аудиторного обучения с элементами электронного обучения, в котором используются специальные информационные технологии, такие как компьютерная графика, аудио и видео, интерактивные элементы и т. п. Учебный процесс при смешанном обучении представляет собой последовательность этапов традиционного и электронного обучения, которые чередуются во времени.

1. Вводно-ознакомительный этап. Подготовка обучаемого:

– видеокурс вводной лекции, текстовый конспект лекции;

– обзор используемых технологий, инструктаж по средствам навигации;

– инструктаж по использованию программных инструментов для выполнения практических заданий;

– примеры практических заданий (то, что должен делать на практике обучаемый).

2. Лекционный этап:

– концептуальные презентации для демонстрации в аудиториях;

– о сессиях дистанционного обучения и как скорость движения в них определяется студентом;

– обзор процессов систем дистанционного обучения (СДО);

– курс аудиторных лекций;

– видеолекции.

3. Визуальный этап.

– демонстрация процессов, реальных систем, имитационных систем, примеры практических заданий;

– виртуальные семинары и обучение на примерах;

– записи обучающих блоков курса.

4. Лабораторно-практический этап:

– эксперименты, эмпирический поиск решений с помощью имитационных систем;

– аудиторная работа над теоретическими задачами, ранее исследованными экспериментально;

– выполнение практических заданий с последующей экспертной оценкой в режиме реального времени;

– мониторинг ИСЭО хода выполняемых работ в режиме реального времени с использованием подсказок в ходе выполнения задания.

5. Консультационно-практический этап:

– процедуры (помощь в процессе изучения);

– примеры аналогичных практических заданий, то, что должен сделать на практике обучаемый;

– подсказки в режиме реального времени по ходу выполнения заданий;

– сбор преподавателем статистических данных и анализ часто задаваемых вопросов с помощью ИСЭО;

– онлайн-консультирование, методические рекомендации, указания и руководство;

– обучение и регулирование работы ИСЭО преподавателем;

– постоянный онлайн-доступ обучаемых к порталу, в том числе и через мобильные устройства.

Заключение

В результате исследования можно прийти к тому, что для реализации индивидуальных виртуальных классов в ИСЭО необходимо:

– активное использование возможностей облачных технологий для масштабирования объёмов информационных хранилищ и увеличения вычислительных мощностей;

– круглосуточное присутствие индивидуальных электронных тьютеров на базе искусственного интеллекта, которые могли бы отслеживать все действия обучаемого на данной образовательной площадке, давали бы экспертную оценку действиям обучаемого, осуществляли бы координацию учебного процесса, давали направляющие подсказки, правили бы ошибки в режиме реального времени и фактически являлись бы ассистентами и помощниками реального преподавателя.

Однако образовательный процесс — живой и гибкий. Он требует нестандартных решений. И в том случае, если ИСЭО не смогла дать исчерпывающую информацию обучаемому, преподавателю поступает сигнал о возникшей проблеме. Благодаря системе оповещения преподаватель всегда может включиться в процесс, скорректировать и обучить систему тому, как действовать в аналогичных ситуациях, на любом этапе восполнить пробелы системы, обучив её тому, как действовать в тех или иных условиях. Таким образом, обучающая ИСЭО, обучаясь сама, может стать персональным преподавателям каждого обучаемого, подстраиваясь под все параметры его восприятия образовательной информации.

Библиографический список

1. Акимов, В. А. Использование балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов в Бийском педагогическом государственном университете имени В. М. Шукшина / В. А. Акимов, К. Н. Падюков, М. М. Прудникова // Качество образования: системы, технологии, инновации : материалы междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 24 апреля 2007 г. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. С. 375–377.

2. Еременко, Ю. И. Автоматизация решения задачи учета взаимной зависимости содержания дидактических единиц при составлении учебных планов / Ю. И. Ерёменко, А. И. Глущенко // Инновации в образовании. 2008. № 4.

3. Нурмухаметов, И. А. Интеллектуальные методы мониторинга и прогнозирования образовательных траекторий студентов с применением электронного обучения / И. А. Нурмухаметов // Информационные технологии и системы : тр. Четвёртой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 25 февр. — 1 марта 2015 г. (ИТиС – 2015). Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015.

4. Нурмухаметов, И. А. Облачные технологии в образовательном процессе / И. А. Нурмухаметов // Информационные технологии и системы : тр. Второй Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 27 февр. — 3 марта 2013 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013.

5. Нурмухаметов, И. А. Нейроны современной экономики / И. А. Нурмухаметов // Современные системы искусственного интеллекта и их приложения в науке : материалы Всерос. науч. интернет-конф. с междунар. участием. Казань, 2013. С. 139–145.

6. Свит, Е. П. Опыт использования модульной технологии обучения студентов / Е. П. Свит, П. П. Свит // Качество образования: системы, технологии, инновации : материалы междунар. науч.-практ. конф., Барнаул, 24 апреля 2007 г. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. С. 374–375.

Сведения об авторе

Нурмухаметов Илья Анатольевич — преподаватель кафедры экономики отраслей и рынков Института экономики отраслей, бизнеса и администрирования, Челябинский государственный университет, Челябинск. 89058323808@mail.ru

---

I. A. Nurmukhametov

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS E-LEARNING A NEW GENERATION BASED ON NEURAL NETWORKS

In the article the analysis of the prospects for further development and interoperability of Intelligent e-learning systems (ISEO) and a system of continuous education space, working in off-line mode based on “cloud computing”. And also, a general concept of development ISEO new generation based on neural networks, its goals and objectives.

ББК У291-56
УДК 658.1:004.4

А. В. Панюков, Е. А. Загирова

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАКСИМИННОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложена техника программной реализации алгоритма для задачи выбора оптимального пакета инвестиционных проектов развития предприятия. Критерием формирования оптимальной инвестиционной программы предприятия является чистый дисконтированный доход инвестиционной программы в целом.

Постановка задачи

Инвестиционная программа представляет собой совокупность реализуемых инвестиционных проектов предприятия, состоящих из перечня объектов инвестиций, их характеристик и объёмов финансирования [1; 2].

В качестве основного критерия для формирования оптимальной инвестиционной программы предприятия выбираем чистый дисконтированный доход (ЧДД) инвестиционной программы в целом, то есть сумму чистых дисконтированных доходов проектов, которые были включены в инвестиционную программу.

Введём необходимые обозначения [1; 2]:

– $P = \{p_1, p_2, ..., p_n\}$ — множество инвестиционных проектов, которые могут быть включены в состав инвестиционной программы;

– $L = \{l_1, l_2, ..., l_n\}$ — множество продолжительностей реализации инвестиционных проектов (в расчётных периодах);

– m – горизонт планирования (число расчётных периодов);

– $R = \{r_1, r_2, ..., r_{m-1}\}$ — объёмы финансирования инвестиционной программы предприятия по расчётным периодам.

Каждый из инвестиционных проектов p_j, j = 1, 2, ..., n охарактеризован двумя показателями:

– NPV_{js} — величина ЧДД, приведённого к моменту начала реализации проекта p_j, если он был начат в период s.

– I_{jsi} — потребность в финансировании инвестиционного проекта j в расчётный период i от начала реализации инвестиционной программы при условии, что он будет начат в период s.

Показатели доходов и расходов являются прогнозируемыми величинами и зависят от ряда факторов. Поэтому целесообразно считать NPV и I случайными величинами, а для каждого проекта и всех расчётных периодов получены интервальные оценки ЧДД $[\underline{NPV}_{js}, \overline{NPV}_{js}]$, потребностей $[\underline{I}_{jsi}, \overline{I}_{jsi}]$ и финансовых ресурсов предприятия $[\underline{r}_i, \overline{r}_i]$.

Для построения модели введём булевы переменные

$$x_{js} = \begin{cases} 0, \text{ если проект } p_j \text{ не начинается в периоде } s; \\ 1, \text{ если проект } p_j \text{ начинается в периоде } s. \end{cases}$$

Поскольку реализация инвестиционного проекта p_j может начаться не позже, чем в период $m - l_j$, то должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{s=0}^{m-l_j} x_{js} \le 1, \ \ j = 1, 2, ..., n.$$

Условие реализуемости инвестиционной программы имеет вид

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{s=0}^{i} I_{jsi} x_{js} \le r_i, \ \ j = 0, 1, 2, ..., m-1.$$

ЧДД для всего портфеля проектов равен

$$NPV = \sum_{j=1}^{n} NPV_j = \sum_{j=1}^{n} \sum_{s=0}^{m-l_j} NPV_{js} x_{js}.$$

Максиминная (осторожная) стратегия направлена на получение максимального гарантированного результата. Применяя нижние оценки ЧДД и объёмов финансирования по расчётным периодам и верхние оценки потребностей финансирования, гарантируется оптимальность значения следующей задачи [1; 2]:

$$\underline{NPV}(x) = \sum_{j=1}^{n} \sum_{s=0}^{m-l_j} \underline{NPV}_{js} x_{js} \to \max_{x \in D},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{s=0}^{i} \overline{I}_{jsi} x_{js} \le \underline{r}_i, \ \ i = 0, 1, 2, ..., m-1; \qquad (1)$$

$$\sum_{s=0}^{m-l_j} x_{js} \le 1, \ \ j = 1, 2, ..., n; \qquad (2)$$

$$x_{js} \in \{0, 1\}, \ \ j = 1, 2, ..., n, \ \ s = 0, 1, ..., m - l_j. \qquad (3)$$

Алгоритм решения

Решение задачи поиска оптимального пакета проектов по максиминной стратегии проводится методом

динамического программирования через полный перебор всех возможных комбинаций активных проектов (состояний системы) в каждый момент времени. Комбинация проектов с максимальным ЧДД и является оптимальной. Алгоритм решения задачи состоит из следующих основных шагов.

Шаг 0. Инициализация. Составить список всех состояний на текущий момент $i = 0$, $s = 0$. Это состояния, в которых проекты либо не начались, либо активировались в момент $s = 0$. Исключить из списка все состояния, которые не удовлетворяют условиям, то есть комбинация требует инвестиций больше, чем предприятие может выделить (2) или какой-либо из проектов комбинации будет активен и за пределами горизонта событий.

Шаг 1. Динамика системы во времени. Начать цикл по времени. На каждой итерации переменная времени увеличивается на 1. Если данная переменная сравняется по значению с горизонтом событий, то цикл прекращается и происходит переход к шагу 3, иначе к шагу 2.

Шаг 2. Тело цикла. Составить новый список состояний. Просмотреть все состояния системы из списка состояний. Построить все возможные состояния системы исходя из предыдущего состояния, то есть добавить в комбинацию активных проектов другие возможные комбинации проектов. Если не удалось активировать ещё проекты, оставить текущее состояние системы. Удалить старый список состояний.

Шаг 3. Максимальной ЧДД. Найти максимальное по ЧДД состояние системы. Это и будет решением задачи.

Так как в данном алгоритме перебираются все возможные варианты состояния системы, то его результативность и конечность очевидны и в дальнейшем не обсуждаются.

Описание реализации классов

Вся задача и её решение представляется как динамическая система, изменяющаяся с течением времени. Для реализации использовался язык C++. Было получено несколько классов, которые представлены на диаграмме зависимостей вместе со своими методами (рис. 1).

Описание класса `InvestGraph`, на базе которого и строится всё решение, представлено на рис. 1 и 2. Далее будут описаны переменные данного класса, расположенные в закрытой части.

Переменная `data` хранит все входные данные задачи, в `answer` записывается состояние системы с максимальным ЧДД, `statusList` хранит в себе список всех состояний системы на текущей итерации цикла, в `statusListNextStep` записываются все новые состояния, полученные на данной итерации.

Задача решается в две строчки:

```
InvestGraph system("input.csv");
system.Solve();
```

То есть первоначально создаётся объект класса, где на вход подаётся файл формата *.csv, из которого читаются данные к задаче (по умолчанию файл «input.csv») и записываются в `data`. Затем вызывается главный метод `Solve()` (рис. 6), который и запускает алгоритм решения.

Описание класса `Data` представлено на рис. 1 и 3. Все переменный подробно описаны в комментариях.

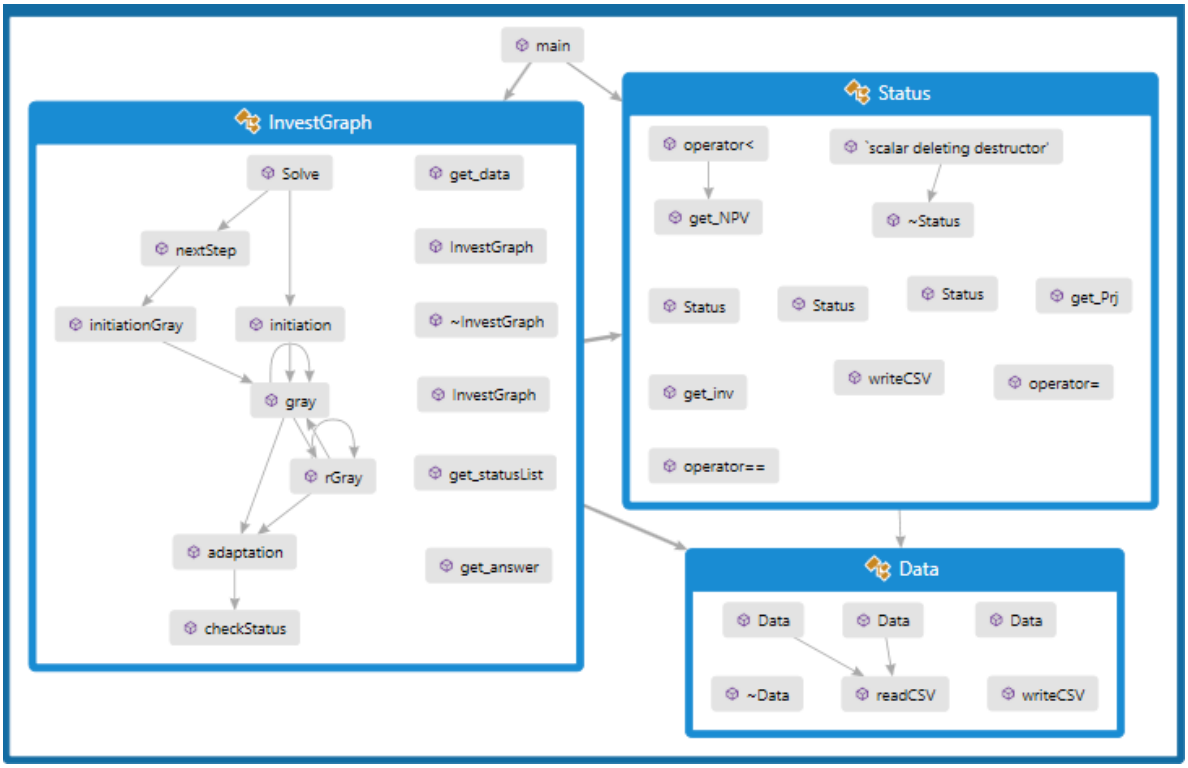


Рис. 1. Диаграмма зависимостей

```
class InvestGraph
{
	Data data;
	Status answer;

	list <Status> statusList;
	list <Status> statusListNextStep;

	void gray(int time, vector <int>& g, const vector <int>& baseVec, int k = 0);
	void rGray(int time, vector <int>& g, const vector <int>& baseVec, int k = 0);
	bool checkStatus (Status& status);
	void adaptation (const vector <int>& baseVec, const vector <int>& g);
	void initiationGray(const int time, const int k, const vector <int>& baseVec);
	void initiation(); //инициализация списка
	void nextStep( const int time);
public:
	InvestGraph(void){};
	InvestGraph(string filename):data(filename){};
	~InvestGraph(void){};

	Data get_data() {return data;}
	Status get_answer() {return answer;}
	list <Status> get_statusList() {return statusList;}
	void Solve()
};
```

Рис. 2. Описание класса InvestGraph

```
class Data
{
public:
	Data(void){ readCSV("input.csv");}
	Data(string filename){ readCSV(filename);}
	~Data(void){};

	int nPrj;//количество проектов
	int m; // горизонт планирования
	vector <int> lenght; //длительность проектов, вектор размера nPrj
	vector <double> resource; //финансовые ресурсы компании, вектор размера m

	vector <vector <double> > NPV; //net present value чистый дисконтированный доход
	vector <vector <double> > inv; //ежегодные инвестиции(вложения) в проект

	void readCSV ( string filename);
	void writeCSV ();
};
```

Рис. 3. Описание класса Data

Стоит отметить, что в данной задаче не используются интервальность величин ЧДД *NPV*, инвестиций *I* и ресурсов предприятия *R*, а только нижние ($\underline{NPV}$, $\underline{R}$) и верхние границы ($\overline{I}$), потому нет нужды хранить интервалы. Данные в документе записаны в том же порядке, что и в описании класса. (Далее, на примере, будет показано, как именно.) Для описания состояния системы используется класс `Status` (рис. 1, 4). В векторе `Prj` хранятся периоды начала реализации *s* проектов *j* или число –1 как идентификатор того, что проект не начался.

В переменной NPV хранится суммарный ЧДД по всем активным проектам данного набора. В векторе `inv` хранятся требуемые суммарные инвестиции в проекты в каждый период [0, *m*].

Следует обратить внимание на конструктор класса, где на основе вектора проектов и данных задачи определяется состояние системы (рис. 5).

```
class Status
{
       vector <int> Prj;//активные, не активные проекты
       double NPV;//чистый дисконтированный доход пакета проектов
       vector <double> inv;//затраты на проеткы в момент i, inv[i]
public:
       Status(void){};
       Status(const vector <int>& _Prj, const Data& data);
       ~Status(void){};

       vector <int> get_Prj(){ return Prj;}
       vector <double> get_inv(){ return inv;}
       double get_NPV(){ return NPV;}

       vector <int> get_Prj() const { return Prj;}
       vector <double> get_inv() const { return inv;}
       double get_NPV() const { return NPV;}


       void writeCSV( string filename = "output_status.csv");

       bool const operator <(Status const &right) const;
       bool operator ==(Status const &right) const;

      void writeStatus();
};
```

Рис. 4. Описание класса Status

```
Status(const vector <int>& _Prj, const Data& data){
           Prj = _Prj;
           NPV = 0;
           //ресурсы, требуемые данным составом проектов в каждый момент времени
           for (int i = 0; i < data.m; i++) inv.push_back(0);
           for (int i = 0; i < _Prj.size(); i++){
            //если проект был начат
            if (Prj[i] != -1){
                int j = _Prj[i] + data.lenght[i];
                //во время выполнения проекта требуются ресурсы
                for (int k = _Prj[i]; k < j; k++){
                    inv[k] += data.inv[i][k - _Prj[i]];
                }
                NPV += data.NPV[i][_Prj[i]];//находим общий ЧДД
            }
           }
       }
```

Рис. 5. Конструктор класса Status

После введения данных решается посредством запуска метода `Solve()` (рис. 6). Он вызывает метод `initiation()` (рис. 7), который реализует шаг 0 алгоритма. Также `Solve()` осуществляет временной цикл шага 1, где телом цикла является метод `NextStep()` (рис. 8). По завершении цикла получаем конечный список состояний, в котором ищется максимальное по ЧДД методом перебора и записывается в переменную `Answer`.

В методах `initiation()` и `NextStep()` описывается подготовка данных к вызову методов `gray()` и `rGray()` (рис. 9) бинарного перебора всех вариантов состояний системы (бинарный, поскольку проекты имеют только два варианта состояния: начаться в текущий период или не начаться). Перед вызовом метода `gray()` исходя из вектора проектов рассматриваемого состояния системы (базового вектора) создаётся вектор неактивных проектов данного состояния (каждый элемент равен –1). Далее методы `gray()` и `rGray()`, в основе которых лежит рекурсивный метод Грея [3; 4], осуществляют бинарный перебор элементов нового

```
void InvestGraph:: Solve(){
    initiation();
    for (int i = 0; i < data.m; i++ ){

cout << “NEXT STEP - “ << i<< ‘\n’;
        nextStep(i+1);
    }

double npv = statusList.begin()->get_NPV();
answer = (*(statusList.begin()));
for (list <Status>::iterator i = statusList.begin(); i != statusList.end(); i++)

if ((i->get_NPV()) > npv){

npv = (*i).get_NPV();

answer = (*i);

}
};
```

Рис. 6. Метод Solve() класса InvestGraph

```
void InvestGraph:: initiation(){
    vector <int> _prj(data.nPrj, -1);
     gray(0, _prj, _prj);
     statusList = statusListNextStep;
     statusListNextStep.clear();
}
```

Рис. 7. Метод initiation() класса InvestGraph

```
void InvestGraph:: nextStep(const int time){
    //Для каждого элемента списка состояний
     for (list <Status>::iterator i = statusList.begin(); i != statusList.end();
i++){
        vector <int> baseVec = (*i).get_Prj();

        //количество проектов, которые еще не активировались
        int k = 0; for (int i = 0; i < baseVec.size(); i++) if (baseVec[i] == -1)
k++;

        //просмотреть варианты на основе текущего (текущий автоматически попадает
в варианты)
        //проверка состояний проводится в функциях adaptation и checkStatus
        initiationGray(time, k, baseVec);
    }
    statusList = statusListNextStep;
    statusListNextStep.clear();
}
```

Рис. 8. Метод NextStep() класса InvestGraph

вектора. Параметры методов следующие: период, ссылка на перебираемый вектор, базовый вектор и идентификатор k (при первом вызове $k = 0$).

В методах `gray()` и `rGray()` при получении новой комбинации вызывается метод `adaptation()` (рис. 10), который проводит окончательную обработку вектора проектов, формирует новое состояние, проверяет его на потребность в инвестициях (метод `checkStatus()` (рис. 10)) и добавляет в список новых состояний при удовлетворении состояния всем условиям. Параметрами метода `adaptation()` являются вектор проектов,

```
void InvestGraph::gray (int time, vector <int>& g, const vector <int>& baseVec, int k){
       if (k == g.size() ){//получили новый вектор по Грею
        adaptation(baseVec, g);
    }
    else{
        g[k] = -1;
        gray(time, g, baseVec, k + 1);
        g[k] = time;
        rGray(time, g, baseVec, k + 1);
    }
}
```

```
void InvestGraph::rGray(int time, vector <int>& g, const vector <int>& baseVec, int k){
    if (k == g.size() ){//получили новый вектор по Грею
        adaptation(baseVec, g);
    }
    else{
        g[k] = time;
        gray(time, g, baseVec, k + 1);
        g[k] = -1;
        rGray(time, g, baseVec, k + 1);
    }
}
```

Рис. 9. Методы gray() и rGray() класса InvestGraph

```
bool InvestGraph::checkStatus (Status& status){
    bool result = true;
    vector <double> Res = status.get_inv();

    for (int i = 0; i < Res.size(); i++){
        if ( Res[i] > data.resource[i]) {
            result = false;
            break;
        }
    }
    return result;
}
```

```
void InvestGraph::adaptation (const vector <int>& baseVec, const vector <int>& g){
    vector <int> vec;
    bool endPrj = true;
    //составляем новый вектор состояния проектов
    for (int i = 0, j = 0; i < baseVec.size(); i++){
        vec.push_back(baseVec[i]);
        if (baseVec[i] == -1){
            //если проект умещается в сроки
            if (data.m - g[j] > data.lenght[i]){
                vec[i] = g[j];
                j++;
            }
            else{
                endPrj = false;//проект вышел за горизонт планирования
                break;
            }
        }
    }
    if (endPrj){
        Status status(vec, data);
        //если инвестиции в проект меньше ресурсов, выделяемых компанией
        if (checkStatus(status)){
            //добавляем в список состояний
            statusListNextStep.push_back(status);
        }
    }
}
```

Рис. 10. Методы checkStatus() и adaptation() класса InvestGraph

сгенерированный по алгоритму Грея, и базовый вектор. Создаётся вектор, идентичный базовому, и значения, соответствующие неактивным проектам, заменяются значениями сгенерированного вектора, тем самым создавая новую комбинацию проектов состояния системы. При этом проводится проверка на возможность активации каждого проекта, то есть возможна ситуация с выходом окончания проекта за пределы горизонта планирования, что является недопустимым. В таком случае новое состояние не генерируется и метод завершается.

После генерации всех новых состояний системы метод `NextStep()` записывает их в список текущих состояний `statusList` и очищает список новых состояний `statusListNextStep`.

Таким образом, в методе `Solve()` просчитываются все возможные состояния системы. Далее среди них находится состояние с максимальным чистым дисконтированным доходом по комбинации проектов и записывается в `answer`. Осталось вывести ответ в файл командой:

```
system.get_answer().writeCSV(«output.csv»);
```

Примеры решения

Рассмотрим применение данного кода к решению задачи. На рис. 11–13 представлены условия к задачам, то, какой вид имеют данные. Данные разделены пустой строкой на три блока. В первом блоке четыре строки. В первой строке записано количество проектов, во второй — горизонт планирования (начиная с нулевого периода), в третьей — продолжительность

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	3									
2	10									
3	6	7	8							
4	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
5										
6	30	26	23	20	18					
7	40	35	32	29						
8	47	43	40							
9										
10	50	55	50	55	50	55				
11	40	45	35	40	45	35	45			
12	43	43	43	43	43	43	43	43		

Рис. 11. Условие задачи с тремя проектами

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	5								
2	9								
3	5	5	6	6	7				
4	300	425	578	599	562	487	421	413	468
5									
6	421	489	459	490	403				
7	382	351	395	446	382				
8	504	442	482	524					
9	552	517	460	466					
10	574	571	553						
11									
12	115	418	405	448	479				
13	151	403	381	368	352				
14	182	152	187	173	173	183			
15	242	238	248	249	249	249			
16	207	222	222	214	202	222	200		

Рис. 12. Условие задачи с пятью проектами

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	7										
2	11										
3	8	8	8	8	8	8	8				
4	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
5											
6	655	585	522	466							
7	246	220	196	175							
8	164	146	131	117							
9	383	342	305	272							
10	334	298	266	237							
11	972	867	774	691							
12	414	369	330	294							
13											
14	100	100	140	120	88	772	50	40			
15	300	300	300	80	80	80	90	90			
16	88	120	130	88	75	59	58	55			
17	400	680	199	40	140	140	140	140			
18	530	530	530	70	70	70	70	70			
19	680	680	390	390	350	180	180	180			
20	480	380	330	320	300	300	300	300			
21											

Рис. 13. Условие задачи с семью проектами

каждого проекта, в четвёртой — количество имеющихся у предприятия ресурсов в каждый период. Во втором блоке приводятся оценки ЧДД проектов в каждый период возможного начала реализации *s*. В каждой строке отображена информация по одному проекту. В третьем блоке приводятся затраты на каждый проект в каждый период начиная с момента активации проекта по тому же принципу, что и предыдущий блок.

Результаты решения представлены на рис. 14. При формировании инвестиционной программы по максиминной стратегии гарантированный ЧДД программы для задачи о трёх проектах равен 79, о пяти проектах — 1 056, о семи проектах — 2 738, как это показано в первых строках таблиц. Далее, в первом столбце показан номер проекта, во втором — период, в который следует начать проект. –1 означает то, что проект не должен быть выполнен.

Заключение

Предложенная реализация позволяет найти оптимальный пакет инвестиционных проектов при условии гарантированности результата. Данная реализация не позволяет решать задачи большой размерности: если задачи на пять проектов и горизонт планирования около десяти периодов решаются достаточно быстро (меньше секунды), то решение задачи на семь проектов занимает намного больше времени (несколько минут). Направление дальнейшего

NPV	79
Project	time
1	-1
2	2
3	0

a)

NPV	1056
Project	time
1	-1
2	-1
3	2
4	-1
5	0

b)

NPV	2738
Project	time
1	0
2	0
3	1
4	2
5	-1
6	0
7	0

c)

Рис. 14. Решение задачи: a) с тремя проектами, b) с пятью проектами, c) с семью проектами

исследования — построение программного обеспечения, позволяющего решать задачи большой размерности, а также реализовать методы поиска оптимального портфеля проектов с учётом рисков.

Библиографический список

1. Panyukov, A. V. Forming of the Competitive Investment Programs for Enterprises [Электронный ресурс] / A. V. Panyukov, E. N. Kozina // Workshop on Computer Modelling in Decision Making (CMDM 2016). CEUR Workshop Proceedings. Vol. 1726. P. 89–99. URL: http://ceur-ws.org/Vol-1726/paper-09.pdf

2. Панюков, А. В. Применение математического моделирования для выбора инвестиционной программы предприятия / А. В. Панюков, Е. Н. Козина // Вестн. ЮУрГУ. Сер. : Вычислит. математика и информатика. 2016. Т. 5, № 4. С. 19–31. DOI: http://dx.doi.org/10.14529/cmse160402

3. Аникушин, М. Коды Грея и задачи перебора [Электорнный ресурс] / М. Аникушин. URL: https://habrahabr.ru/post/200806/

4. Рейнгольд, Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део. М. : Мир, 1980. 476 с.

Сведения об авторах

Панюков Анатолий Васильевич — доктор физико-математических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск. *a_panyukov@mail.ru*

Загирова Екатерина Альбертовна — магистрант, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск. *zagirovaea@mail.ru*

A. V. Panyukov, E. A. Zagirova

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF MAXIMIN STRATEGY FOR COMPANIES INVESTMENT ACTIVITIES MANAGEMENT

Software implementation of the algorithm to choose the optimal investment projects portfolio of company development is proposed in the report. The criterion of the optimal investment program of the enterprise is the net present value of the investment program as a whole.

ББК Ч448.478
УДК 378.018.6

А. А. Панюкова, В. И. Дударева, В. О. Суздальцев

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОФЕССИИ ИНЖЕНЕРА-КОНСТРУКТОРА В ТЕХНИЧЕСКОЕ ТВОРЧЕСТВО В РАМКАХ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Описан опыт проведения соревнований школьников в профессиональных конкурсах и программах, ориентированных на техническое творчество с использованием современных информационных технологий, в частности моделирования на базе 3D-печати. Отмечена целесообразность создания ресурсных центров, обучающих школьников профессиям будущего и активно использующих технологии управления проектами.

Ожидается, что, начиная с 2018–2020 гг., мы станем свидетелями нового, шестого цикла социально-экономического развития, а 2020–2030-е гг. станут периодом экономического процветания, сравнимого с послевоенными годами. Это проявление так называемых циклов экономической активности Кондратьева — длинных волн, каждая из которых захватывает слегка сжимаемый промежуток в 40–50 лет. Предыдущий цикл начался в 1982 г. [1].

Циклы связывают магистральные инфраструктурные технологии. Ведущую роль в очередном цикле будут играть конвергентные информационные технологии [2] .

Вхождение в новый этап происходит на фоне формирования у всё более увеличивающейся части молодёжи клипового мышления в противовес традиционному, понятийному. Известно, что клиповое мышление — это социально-психологический феномен, связанный с обработкой и восприятием информации [3; 4].

Отмечается, что у носителей клипового мышления наблюдаются следующие особенности:

– резкое снижение способности к анализу информации, в связи с чем человек становится лёгкой жертвой манипуляций;

– невозможность долго концентрироваться на чём-либо одном;

– падение коэффициента усвоения полученных знаний и, как следствие, снижение успеваемости школьников и студентов;

– ослабление чувства сопереживания, так как имеет место быстрая смена самой разнообразной информации.

Группе из 14 человек, обучающейся по программе бакалавриата, было предложено в качестве самоанализа ответить на вопрос: могу ли я отнести себя к числу людей с клиповым мышлением?

В результате только 4 студента из 14 однозначно ответили «нет», 3 — не ответили.

Этим же студентам было предложено в рамках учебной практики разработать достаточно прозрачный, доступный для понимания на бытовом уровне реальный проект «Реконструкция территории центрального стадиона», располагающегося рядом с вузом и состояние которого нельзя назвать удовлетворительным. В результате оказалось, что только 2 человека из 14 предложили реальный список мероприятий, у остальных в штат были включены только экономисты, менеджеры и даже один юрист. Большинство ограничилось прокладкой тропинок и сменой и без того достойного ограждения. Восстановление спортивных площадок вошло в перечень работ только двух проектов.

Это говорит о том, что немалая часть молодого поколения слабо представляет, что же такое реальный проект. Очевидно, что в такой ситуации обсуждение производственного проекта и производственного процесса в рамках производственной системы становится проблематичным. Поэтому формирование адекватного представления о том, что такое современный цех, участок, рабочее место и их место в производственной системе — сложная, но актуальная задача, которую необходимо начинать решать с детских лет по мере взросления.

Авторы статьи в течение нескольких лет в рамках учебной практики проводили ознакомительные занятия с первокурсниками по управлению проектами. Занятия велись в форме тренировочной командной игры, в основу которой входит заполнение проектной документации и планирование стадий реализации проекта. Такие занятия (или серия занятий) могут проводиться с определённой периодичностью, с разным уровнем проработки концепции проекта, с разным количеством времени, отводимого на выполнение тех или иных задач [5]. Дисциплина «Управление проектами» читается в соответствии с учебным планом только на четвёртом курсе. Но при таком более или менее раннем знакомстве с технологиями управления проектами, навыками командной работы, полученными уже на первом курсе, появляется возможность использования этих технологий в других дисциплинах, когда необходимо выполнить работу, нацеленную на результат. Но особый интерес представляет применение технологий управления проектами для «погружения» молодёжи в мир современных рабочих и инженерных профессий.

Современное производство — всё более усложняющийся механизм. В основе Четвёртой промышленной революции (ЧПР) лежит немецкая концепция «Индустрия 4.0», которую бизнесмены, политики и учёные в 2011 г. определили как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности Германии через усиленную интеграцию в заводские процессы «киберфизических систем» (CPS). ЧПР планирует заставить автоматизированное оборудование говорить друг с другом без вмешательства человека [6].

Однако создание таких «умных производств», развитие технологии 3D-принтинга неизбежно потребуют и новых материалов, и новых средств труда, определения общих платформ и языков, разработки новых мер кибербезопасности, новых форм и методов управления производством и т. д. Таким образом, последствия затронут практически все отрасли науки и промышленности. Основатель и президент Всемирного экономического форума в Давосе швейцарский экономист Клаус Мартин Шваб охарактеризовал ЧПР как «слияние технологий и стирание граней между физическими, цифровыми и биологическими сферами» [7] .

Среди технологий, которые в таких условиях предстоит реализовать российским заводам:

– переход через машинное обучение к полностью автоматическому производству;

– конвергенция цифрового и физического начиная с эскиза (Интернет вещей закладывается на этапах проектирования);

– систематизация, накопление и защита нематериальных активов (НМА) и интеллектуальной собственности (НМА как основной капитал новой экономики);

– цифровой реверс-инжиниринг, виртуальное прототипирование, численный виртуальный эксперимент, 3D-печать (уменьшаются сроки разработки и выпуска продукта);

– обслуживание, продвижение и продажи через виртуальную и дополненную реальность;

– трансфер технологий;

– профессиональное управление проектами;

– оптимизация и энергоэффективность;

– создание учебных производственных центров.

Ещё в 2014 г. Президент РФ В. В. Путин на заседании Совета по науке и образованию (23.06.2014) отметил, что ресурсы инженерных кадров советского периода уже исчерпаны, и чтобы не проиграть на поле глобального технологического прогресса, новых и лучших специалистов надо готовить уже сейчас.

При любой смене технологических циклов технологии обновляются, оборудование устаревает, инструменты становятся грудой металлолома, профессии стареют и умирают. Раньше цикл длится десятки-сотни лет, в настоящее время — 10–15 лет. Это призван отражать «Атлас новых профессий» — альманах перспективных отраслей и профессий на ближайшие 15–20 лет [8–12]. Так как «старение» профессий не происходит мгновенно, то необходимо готовить учеников с учётом развития всех отраслей.

Каким может быть ответ школ на изменяющиеся потребности производства, и, как следствие, высшего и профессионального образования? Возможный путь — через создание учебных производственных центров, способных формировать представление как на виртуальном уровне (об интернете вещей (IoT), оптимизации процессов и энергоэффективности, машинном обучении), так и на уровне связи физической и виртуальной модели через цифровой реверс-инжиниринг, виртуальное прототипирование, численный виртуальный эксперимент, 3D-печать; VR (виртуальную реальность) и AR (дополненную реальность). Основная программа таких центров должна быть направлена на технологии ведения проектной деятельности и навыки систематизации, накопления и защиты информации.

Уже существуют и активно развиваются программы, направленные на популяризацию инженерного образования.

3D-моделирование

Проект «Инженеры будущего» разработан инженерно-консалтинговой компанией «Ирисофт» совместно с одним из ведущих в мире разработчиков программного обеспечения для машиностроения корпорацией PTC Inc. Проект поддержан правительством Санкт-Петербурга. Цель проекта — повысить престиж инженерной профессии и качество технического образования в России, создав систему непрерывного обучения инженерным специальностям «школа — вуз — предприятие».

Опыт участия в таких мероприятиях показывает, что уже за первый год участники проекта «Инженеры будущего» достигают высоких результатов. Включившись в проект, школьники становятся победителями российских и международных конкурсов; создают различные действующие модели: гоночные автомобили, ветрогенераторы, вертолёты; участвуют в разработке реальных изделий в сотрудничестве с университетами. Выпускники школ, участвующие в проекте, осознанно поступают в вузы технического профиля. Они будут востребованы работодателями, так как придут на предприятия, имея 7–8-летний опыт работы в промышленной САПР [11].

Другая динамично развивающаяся программа — JuniorSkills, программа ранней профориентации, была инициирована в 2014 г. Фондом Олега Дерипаски «Вольное дело» в партнёрстве с WorldSkills Russia при поддержке Агентства стратегических инициатив, Министерства образования и науки РФ, Министерства промышленности и торговли РФ. Участвуя в программе, каждый школьник имеет возможность попробовать себя в разных профессиях

и сферах, в том числе профессиях будущего, обучаясь у профессионалов. Цели программы: создание новых возможностей для профориентации и освоения школьниками современных и будущих профессиональных компетенций на основе инструментов движения WorldSkills с опорой на передовой отечественный и международный опыт.

В рамках сотрудничества школы № 1354 с образовательными организациями г. Санкт-Петербурга, участвующими в программе «Инженеры будущего», возникла идея включения новой компетенции в соревнования JuniorSkills/WorldSkills для профессии инженера-конструктора (автомоделизм).

Анализ вакансий инженера-конструктора подтверждает актуальность следующих требований, предъявляемых к специалисту:

– понимание принципов работы изделий; умение проектировать изделия по тематике предметной области с расчётами прочности, работоспособности, надёжности системы и т. п.;

– умение создавать 3D-модели, выполнять подбор материалов, печать на 3D-принтере (подбор режимов, изготовление изделия);

– знание особенностей применения изделий в реальных условиях, проведения испытаний;

– знание нормативных документов, регламентирующих порядок и правильность выполнения проектных и конструкторских работ, испытаний изделий;

– умение работать с информацией и быстро принимать решения, решать нестандартные задачи;

– умение представить и защитить проект;

– умение отстоять свою точку зрения;

– умение самостоятельно вести объект.

Работа инженера-конструктора заключается фактически в разработке информационной модели изделия и выдаче конструкторской документации производству. Для этого инженеру-конструктору необходимо представлять варианты конструкции изделия, обосновать лучший вариант конструкции, выполнить сборочный чертеж, спецификацию и деталировку.

Компетенция основана на профессиональном стандарте «Конструктор в автомобилестроении» и подразумевает воспроизведение полного цикла работы инженера-конструктора: участники должны уметь провести анализ и доработку существующей модели средствами 3D-моделирования в соответствии с поставленной задачей, подготовить к печати, выполнить печать и сборку прототипа, провести испытания и презентацию проекта.

В декабре 2016 г. в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого прошли открытые соревнования по трассовому автомоделизму в формате Scalextric4schools «Автомобили 60-х». Соревнования Scalextric4schools (совместная разработка академической программы компании PTC и Hornby) ранее проводились в Великобритании, а с 2014 г. проводятся в России в рамках активно развивающегося проекта «Инженеры будущего».

На этом соревновании на учениках команды г. Москвы от школы № 1354 были протестированы временны́е промежутки и постановка задачи, аналогичные предполагаемой в новой компетенции. Из-за низкого качества печати 3D-принтера по сравнению с остальными команда была не очень конкурентоспособна, но факт получения готового продукта подтверждает возможность выполнения подобного задания в срок до 12 часов, а значит, и возможность соревновательного процесса в рамках чемпионата JuniorSkills.

В феврале 2017 г. в школе № 1265 г. Москвы на соревнованиях по компетенции «Автомоделизм» встретились 10 команд из Москвы, Подмосковья, Санкт-Петербурга и Северной Осетии. Команды участников были разделены на две возрастные категории: от 10 до 13 лет и от 14 до 17.

Уровень подготовки участников с точки зрения владения навыками 3D-моделирования был разным.

Для учеников Санкт-Петербургского губернаторского физико-математического лицея № 30 подобный соревновательный опыт был не в новинку, они уже участвовали в соревнованиях в формате Scalextric4Schools.

Задание было составлено таким образом, что не было слишком простым для опытных участников, и одновременно не было сложным для тех, кто только начал изучать 3D-моделирование. Оно состояло из четырёх модулей: проектирование недостающих деталей, печать прототипа, презентация новой модели и тестовые испытания. Задание и критерии оценки работы написаны по методике Junior Skills, когда школьники соревнуются в профессиональном подходе при решении поставленной задачи, и важен не только конечный результат, но и организация процесса выполнения, соблюдение техники безопасности, профессиональная этика. При этом задачи, которые ставятся перед школьниками, имеют инженерный характер, так как необходимо не изготовить, напечатать, выполнить деталь по заранее известному чертежу, а разработать в соответствии с заданием и имеющимися данными. Необходимость в таких деталях обусловлена тем, что в ходе соревнования ученикам было необходимо внести изменения в предложенную модель. Участники адаптировали габариты своей модели под заданную трассу, минимизировали стоимость модели и модернизировали корпус исходя из предоставленных условий. Задача стояла непростая: создать гражданский двухместный прототип гоночного автомобиля, а именно: сделать фары, передний и задний бампер. Так как все автомобили Порше, используемые на дорогах общественного пользования, обладают ёмкостью, в которую можно поместить сумку для гольфа, необходимо было предусмотреть наличие места для её перевозки,

не используя место для перевозки пассажиров (партнёры соревнования — Федерация гольфа и Поршеклуб г. Москвы).

Адаптация модели под сумку для гольфа была весьма сложной задачей, требовала серьёзной подготовки, большого объёма знаний и опыта выполнения подобных работ.

Помимо создания виртуальной модели и её реализации участники проанализировали проведённую работы, с помощью несложных вычислений определили количество затраченных для создания одной модификации материалов и попробовали презентовать готовую машинку экспертам, словно на реальном представлении прототипа новой модели в компании. Подобные действия помогают детям полностью погрузиться в рабочий процесс и получить разнообразный опыт.

Опыт приобрели и организаторы соревнований (выявилась высокая вариативность конкретизации задания для последующих соревнований при формулировке заданий разных уровней сложности, необходимость поднять объективность критериев оценки и пр.).

Самый главный положительный аспект — у всех детей получилось достичь этапа тестирования, что положительно повлияло на мотивацию и желание участвовать в подобных соревнованиях в дальнейшем и вовлекать в процесс своих друзей и одноклассников.

Обозначилась необходимость повышения уровня владения участниками конкурса средствами 3D-моделирования и планирования. Развитие в рамках конкурса навыков совместной разработки и планирования видится особенно важным. Выявилась также необходимость активной работы с учителями и экспертами.

Тем не менее стоит отметить технологическую сложность воспроизведения соревновательного процесса для проведения его локально в каждом образовательном учреждении, так как не во всех школах имеется необходимое оборудование. Причём качество используемого оборудования (с точки зрения отказоустойчивости при активном его использовании) также является весьма значимым.

Однако несмотря на очевидную сложность подготовки соревнований, наличие значимых перспектив модификации заданий и возможных альтернативных вариантов их проведения позволяет обосновать целесообразность и чрезвычайную полезность их проведения.

Возможные дальнейшие методические и методологические разработки:

1. Анализ физических характеристик разрабатываемых деталей посредством CAD-систем.

2. Более детальная проработка процесса планирования.

3. Интеграция PLM-систем.

4. Интеграция IoT в организацию соревновательного процесса.

5. Расширение и конкретизация аналитической части задания.

Альтернативы формы проведения соревнования:

1. Возможность полу-удалённого участия (один участник на «производственно-испытательной базе», на которой есть 3D-принтер и трасса фиксированной конфигурации, другой — с компьютером для моделирования в любой другой географической точке).

2. Разделение этапа разработки и этапа тестирования. Проведение соревновательных мероприятий параллельно с гоночными мероприятиями для вовлечения школьников в соревновательный процесс, который в дальнейшим повысит мотивацию к обучению на инженерно-технических направлениях.

3. Создание контактных групп «студент—школьник» и «школьник—дошкольник» в рамках образовательного проекта.

Программы, связанные с техническим творчеством, способствуют не только повышению интереса к рабочим и инженерным профессиям, но и поднимают общий уровень развития подрастающего поколения и его самооценку.

В настоящее время уже рассматривается возможность создания ресурсного центра, на базе которого производилась бы подготовка к некоторым «профессиям будущего».

С целью оценки и обоснования эффективности участия школьников в профессиональных конкурсах и программах проведён мониторинг информированности учащихся о некоторых современных информационных технологиях. Подтверждена целесообразность создания ресурсных центров, обучающих школьников профессиям будущего и активно использующих технологии управления проектами.

Цели создания центра

1) профориентация школьников;

2) повышение качества образования;

3) формирование молодого поколения специалистов, отвечающих запросам инновационной экономики;

4) повышение интереса у школьников к профессиям инженера и рабочим профессиям.

Для этого необходимо первоначально решить следующие задачи:

1. Создать площадку для проведения занятий.

2. Организовать подготовку учеников по «профессиям будущего».

3. Организовать подготовку экспертов и наставников.

Ожидаемый результат:

Каждый школьник получит возможность

– попробовать себя в разных профессиях и сферах, в том числе в профессиях будущего, обучаясь у профессионалов;

– углублённо освоить и даже получить к окончанию школы профессию;

– получить оценку собственной компетентности свободную от субъективного восприятия;

– приобрести опыт работы в коллективе (группе).

Очевидно, что такие задачи потребуют серьёзной методической проработки планируемых мероприятий. И здесь важнейшую роль должны сыграть технологии ведения проектной деятельности.

Библиографический список

1. Длинные волны Кондратьева [Электронный ресурс] // Экономический словарь. URL: abc.informbureau.com/html/aeeiiua_aieiu_eiiadaouaaa.html

2. Послание Президента Федеральному Собранию 2016 г.

3. Докука, С. В. Клиповое мышление как феномен информационного общества / С. В. Докука// Общественные науки и современность. М. : Наука, 2013. С. 169–176.

4. Семеновских, Т. В. Феномен «клипового мышления» в образовательной вузовской среде [Электронный ресурс] / Т. В. Семеновских // Науковедение. 2015. № 5 (24). URL: http:// naukovedenie.ru/ PDF/ 105PVN514.pdf

5. Панюкова, А. А. Разработка методики урока для развития у школьников навыков командной работы. Проект из реальной жизни [Электронный ресурс] / А. А. Панюкова, В. И. Дударева // Соврем. информ. технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12, № 3. Ч. 2. С. 211–218. http://ceur-ws.org/Vol-1761/paper55.pdf

6. Хель, И. Индустрия 4.0: Что такое Четвертая промышленная революция? [Электронный ресурс] / И. Хель // Hi-News.ru. URL: http://hi-news.ru/business-analitics/industriya-4-0-chto-takoe-chetvertaya-promyshlennaya-revolyuciya.html

7. Кузнецова, С. Б. Четвертая промышленная революция как результат инновационно-технологического развития производственных систем [Электронный ресурс] / С. Б. Кузнецова. URL: http://web.snauka.ru/issues/2016/03/65792

8. Биленко, П. Пятнадцать ключевых компонентов современного производства [Электронный ресурс] / П. Биленко, С. Лысенко. URL: http://www.up-pro.ru/library/opinion/komponenty-proizvodstva.html

9. Кузнецов, Б. Л. Синергетические факторы глобального экономического развития / Б. Л. Кузнецов, С. Б. Кузнецова // Экономика и соврем. менеджмент: теория и практика. 2014. № 37. С. 123–128.

10. Атлас новых профессий [Электронный ресурс]. URL: http://atlas100.ru

11. Образовательный проект «Инженеры будущего» [Электронный ресурс]. URL: http://xn----btbgdcadcr4ccsu8bb0h.xn--p1ai/informatsiya-o-proekte

Сведения об авторах

Панюкова Александра Анатольевна — учитель информатики, школа № 1354, Москва. 3meandme@gmail.com

Дударева Валентина Ивановна — кандидат технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск. vdvd12@mail.ru

Суздальцев Владимир Олегович — педагог дополнительного образования, Санкт-Петербургский губернаторский физико-математический лицей № 30, Санкт-Петербург. vlsuzfml30@yandex.ru.

A. A. Panyukova, V. I. Dudareva, V. O. Suzdaltsev

IMPLEMENTATION OF ELEMENTS OF DESIGN ENGINEER PROFESSION IN TECHNICAL CREATIVITY IN FRAMEWORKS OF ADDITIONAL EDUCATION

This paper is devoted to description of experience in holding the profession oriented competitions and programs for schoolchildren oriented on technical creativity using modern information technologies, particularly, modeling based on 3D-printing. The expediency of opening the resource centers teaching schoolchildren the professions of the future and actively using project management technologies is noted.

ББК 3813
УДК 004.49

С. А. Петренко, Д. Н. Бирюков, А. Г. Ломако

МЕТОД УПРЕЖДЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК НА ОСНОВЕ СВОЙСТВА АНТИЦИПАЦИИ

Предложен новый метод упреждения компьютерных атак в условиях информационного противоборства на основе свойства антиципации. Это позволило разработать конструкторские решения перспективной когнитивной системы предупреждения компьютерных атак.

Когнитивная система предупреждения компьютерных атак со свойством антиципации должна быть способной: 1) получать информацию через систему сенсоров; 2) оперировать информацией о прошлом опыте системы; 3) сопоставлять полученную информацию с имеющейся; 4) выдвигать гипотезы о возможных в перспективе событиях; 5) порождать стратегии целенаправленного поведения системы; 6) поддерживать требуемый уровень защищ`нности киберсистемы.

В работах [1; 2] обосновано, что искомая система может представлять собой самообучающуюся интеллектуальную систему ***самоорганизующихся гироматов***. В том числе были выдвинуты дополнительные требования к системе порождения сценариев упреждающего поведения в конфликте: (1) при реализации «Рассуждателя» в проектируемой системе необходимо учесть возможность его применения к «открытым мирам», а следовательно, (2) База фактов, представляющая предметную область конфликтов, должна быть способной представлять «открытый мир».

Выдвинутые требования (1, 2) обусловлены тем, что проектируемая система должна быть потенциально способной формировать сценарии упреждающего поведения в новых типах конфликтов (сценарии, предотвращения которых не вносились непосредственно в систему при её создании). Требование (3): «Синтезатор» должен выбирать стратегии поведения, адекватные не только состоянию информационной среды, но и целям системы, которые могут изменяться в ходе её функционирования. В целом же искомая киберсистема должна быть в состоянии как обнаруживать потенциально опасные процессы — «Задачи», так и находить пригодные им «Решения».

На начальном этапе проектирования когнитивной системы предупреждения компьютерных атак были исследованы известные возможности памяти человека, а также возможные функции для работы с этой памятью [3; 5]. Дело в том, что именно человек способен синтезировать сценарии упреждающего поведения на разных уровнях, используя возможности своей нервной системы и головного мозга. Здесь основной компонентой упомянутой системы является модуль синтеза сценариев упреждающего поведения в информационно-техническом конфликте — ***гиромат***. При этом сама подсистема упреждения представляет собой частично упорядоченную иерархию *гироматов с поуровневой координацией*, что позволило решить вопрос о непротиворечивости в условиях модельной полноты теории. Здесь каждый отдельно взятый гиромат состоит из четырёх подсистем: «*Интерпретатора», «Планировщика», «Генератора»* и *«Памяти»*. Память является одним из важнейших элементов, так как через неё осуществляется глобальное и локальное взаимодействие первых трёх (базовых) элементов (рис. 1). Требования к памяти проектируемой системы были определены авторами в работах [2].

Учитывая особенности организации данных в семантической памяти человека, целесообразно представлять знания о предметной области (ПрО) информационного противоборства в виде иерархии структурированных объектов, связанных между собой отношениями. На этой идее базируются такие модели представлений, как фреймы, семантические сети, UML и т. д. К сожалению, все эти языки хотя и являются достаточно удобным средством для представления знаний о ПрО конфликта, но лишены возможностей отражения семантики, а выражаемая в них информация предназначена скорее для человеческого, а не машинного восприятия. Также большое развитие получила логика предикатов (FOL), в которой присутствуют механизмы семантической обработки, но нет удобных средств представления знаний. В 1985 г. Р. Брахман предложил объединить семантические сети и FOL. Упомянутое объединение получило название терминологической логики, которая преобразовалась со временем в семейство дескрипционных логик, которые на практике применяются для описания онтологий семантического Web. Здесь под *онтологией* понимается некоторая *формальная спецификация концептуализации* некоторой предметной области (Gruber, 1993). Под онтологией можно понимать формальное описание результатов концептуального моделирования предметной области, представленное в форме, удобной для восприятия человеком.

Для того чтобы проектируемая когнитивная система предупреждения компьютерных атак имела возможность синтезировать сценарии упреждающего

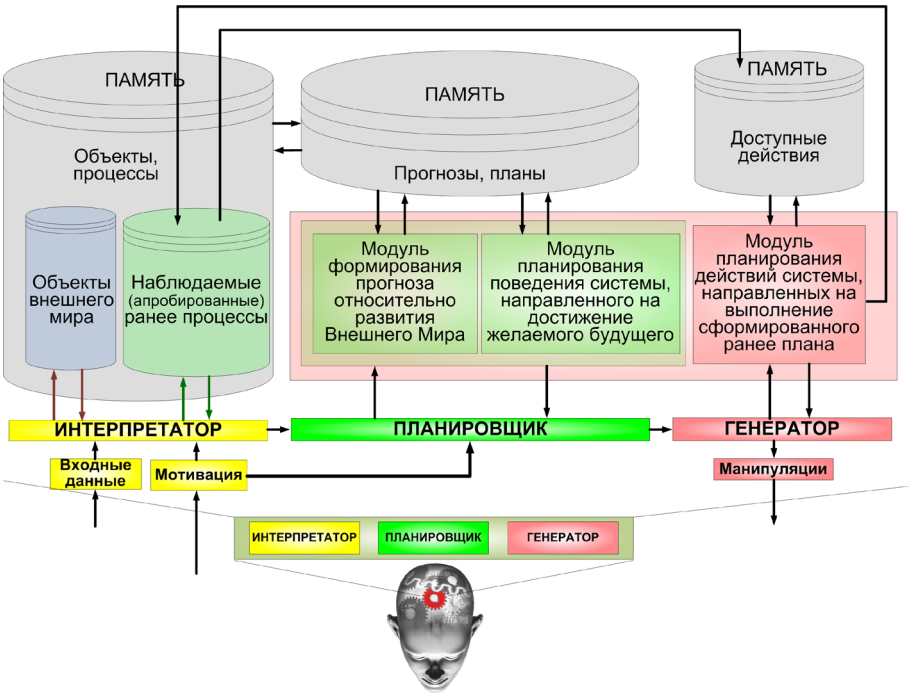


Рис. 1. Проект организации памяти когнитивной системы предупреждения компьютерных атак

поведения в условиях информационного противоборства, она должна иметь возможность представлять и обрабатывать соответствующие знания. При этом следует учесть, что сами рассматриваемые предметные области не должны вносить ограничений, приводящих к невозможности описания знаний из этих ПрО в единой онтологии. Так как в противном случае это может привести к принципиальной невозможности обогащения интеллектуальной системы (ИС) знаниями о поведении в конфликтах, имеющих место в других ПрО.

Достаточно важным вопросом при манипулировании знаниями, представленными посредством единой онтологии в базе знаний (БЗ) ИС, является вопрос, связанный с выделением из онтологии тех её фрагментов, знания из которых должны быть доступны системе в тот или иной момент времени при решении тех или иных задач, то есть при различных контекстах (рис. 2, каждый концепт представляет собой определённый тип действий (А); роль, отображённую штриховой линией, следует интерпретировать как «является подклассом», а роль, отображённую сплошной линией, — «следует за»). Если проводить аналогию с механизмами, протекающими в памяти человека, то данную задачу можно переформулировать как задачу управления «фокусом внимания» и задачу помещения части данных в «эпизодический буфер» для их дальнейшей обработки.

С учётом этого были сформулированы ряд требований, которые должны быть учтены при создании системы метамоделирования, представления и манипулирования знаниями о закономерностях информационного противоборства. Упомянутая система метамоделирования знаний должна быть способной:

– представлять и обрабатывать знания из различных предметных областей об объектах, их свойствах и процессах (для возможности обогащения БЗ описаниями различных конфликтов в киберпространстве, которые могут наблюдаться в различных ПрО);

– содержать ограниченное количество типов Концептов и Ролей, достаточное для описания произвольных ПрО (для задания единых правил построения онтологии, способствующих дальнейшему их объединению, а также применению единых логических правил для порождения новых знаний о закономерностях информационного противоборства вне зависимости от специфики ПрО и рассматриваемых конфликтов в киберпространстве);

– иметь разрешимые алгоритмы направленного поиска данных (для реализации возможности определения необходимого фрагмента онтологии информационного противоборства исходя из задач и контекстов);

– осуществлять поиск подобия фрагментов онтологии по аналогии (для осуществления поиска по аналогии подобия возникающих задач и их решений в ходе конфликтов в киберпространстве в разных ПрО);

– изменять доступность знаний о закономерностях информационного противоборства для их дальнейшей обработки (для упорядочивания получаемых решений, определения наиболее ассоциируемых знаний, а также «забывания» ложных и мало используемых / мало подтверждённых знаний).

Искомые способности требуют формального определения денотационной семантики контекстов знаний при онтологическом моделировании информационного противоборства.

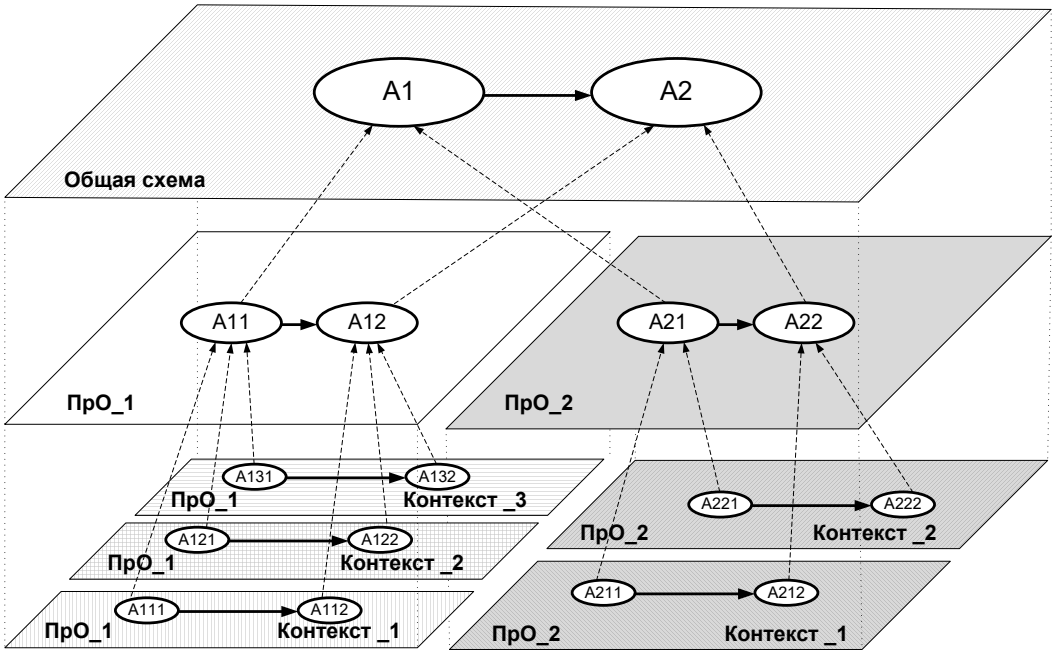


Рис. 2. Пример обобщённого представления контекстно-зависимых знаний предметных областей в единой онтологии

Для того чтобы стало возможным манипулирование абстракциями, необходимо иметь соответствующий математически определённый язык. В работе [4] Д. Скотт предложил математическую теорию функций, которая может быть использована как проект, дающий «корректный» подход к исследованию семантики информационного противоборства. Далее, Д. Скотт с помощью решёток в общих терминах описал абстрактную теорию конечной аппроксимации и бесконечных пределов. Эти понятия он применил для эффективного построения некоторого класса пространств (типов данных), в том числе и функциональных, что позволило использовать их как пространство математических значений в семантических интерпретациях языков программирования высокого уровня. А. Шамир и У. Уэйдж на основе предложений Д. Скотта предложили новый подход к семантике типов данных, при котором типы сами включаются как элементы в область объектов. Этот подход позволяет типам иметь подтипы и рассматривать подлинно полиморфные функции и даёт точную семантику для рекурсивных определений типов (включая определения с параметрами). Кроме того, данный подход даёт простые и прямые методы для доказательства типовых свойств рекурсивных определений.

При моделировании семантических вычислений весьма перспективным видится использование функциональных типов. Д. Скотт считал [4] очень важной также ту часть своих исследований, в которой он рассматривал функции, в качестве аргументов которых выступают также функции, то есть функции высших порядков. Именно Д. Скотт одним из первых предложил в качестве семантической структуры использовать *функциональное пространство*, а ведь именно функциональные пространства должны учитываться при выборе и реализации операторов (исходя из семантики моделируемых процессов), осуществляющих отображения на функциональных пространствах. Такие операторы есть не что иное, как комбинаторы — в терминах Х. Карри и А. Чёрча (или функциональные формы — у Дж. Бэкуса).

Для упрощения восприятия и использования функциональных типов на практике полезно иметь возможность явного задания их частично упорядоченного множества в виде Концептов соответствующего типа, а также отношений между ними (рис. 3). Это значительно упростило

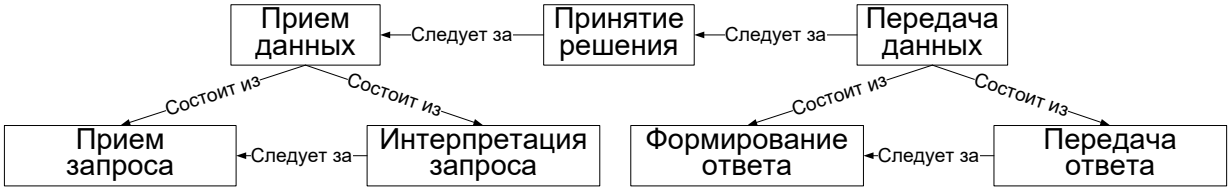


Рис. 3. Пример явного задания функциональных типов и отношений между ними

онтологическое моделирование информационного противоборства.

Таким образом, любой тип данных, используемый при онтологическом моделировании информационного противоборства, можно описать через перечень (1) *объектов*, которые ему соответствуют; (2) *свойств* этих объектов и функций (а для общего случая — (3) *действий*), которые могут рассматриваемые объекты выполнять [5].

Если рассматривать абстрактные классы объектов O, свойств P и действий A, то их в совокупности можно представить в виде решётки, содержащей один нижний, один верхний элемент и три дискретно разделённых элемента, находящихся на одной горизонтали.

Следует отметить, что если учесть тот факт, что объект может состоять из объектов более низкой иерархии (более простых объектов) и быть частью объектов более высокой иерархии (структурно более сложных объектов), то в общем случае можно говорить о структурах, а не об объектах. Однако далее для простоты изложения предлагается использовать термин «объекты», тем самым обозначая некий «срез наблюдения» в условиях определённых контекстов. Для того чтобы проектируемая киберсистема могла стать поистине интеллектуальной, она должна быть способной структурированно хранить данные, знания и их контекстуальную привязку к задачам и решениям, а также выполнять сложные когнитивные действия («логически мыслить») с целью порождения новых знаний, не закладываемых в неё непосредственно, а приобретённых ею в процессах постановки и решения возможных задач. Предложенный подход к представлению данных в памяти когнитивной системы предупреждения компьютерных атак, основанный на теории типов и теории конечной аппроксимации, открывает возможность формального представления контекстно-зависимых многослойных знаний о предметных областях, потенциально содержащих знания о стратегиях поведения конфликтующих сторон. В дальнейшем это должно позволить организовать корректную процедуру осуществления правдоподобных умозаключений над контекстно-зависимыми знаниями в названной памяти [5].

В работах авторов [3; 5] предложено наделить интеллектуальную систему (ИС) возможностью концептуально-логических преобразований над данными и знаниями в процессе эволюции её многофункциональной памяти. В связи с этим потребовалось найти возможности логического расширения, конструктивной типизации и смысловой агрегации потока поступающих данных, фактов и знаний с уже накопленными знаниями, представленными в онтологических слоях семантической памяти. Последние хранятся в виде совокупности взаимосвязанных «Семантических звеньев» (СЗ — два концепта, связанных ролью), основные типы которых представлены в таблице, где Fn: $[X \rightarrow Y]$ — обозначение отношений между концептами типа X и концептами типа Y. Семантика используемых отношений представлена в поле «Описание СЗ» в таблице.

Основные типы семантических звеньев для онтологий произвольных предметных областей

Обозначение	Описание
F11: $[P \rightarrow P]$	Свойство аппроксимирует Свойство
F12: $[O \rightarrow O]$	Объект аппроксимирует Объект
F13: $[A \rightarrow A]$	Действие аппроксимирует Действие
F2: $[O \rightarrow P]$	Объект обладает Свойством
F3: $[P \rightarrow A]$	Свойство порождает способность к Действию
F4: $[A \rightarrow P]$	Действие пригодно для воздействия на Свойство
F5: $[A \rightarrow A]$	Действие следует за Действием
F6: $[O \rightarrow O]$	Объект состоит из Объекта
F7: $[A \rightarrow A]$	Действие состоит из Действия
F8: $[O \rightarrow O]$	Объект продуцирует Объект

Вся совокупность СЗ представляет собой обобщённую онтологию тех предметных областей, в которых функционирует ИС. При этом абсолютно все концепты, входящие в различные СЗ и представленные в онтологии, должны быть иерархически связаны и принадлежать одному из частично упорядоченных множеств в базисе {«Объекты» — O, «Свойства» — P, «Действия» — A} [5].

При поступлении на вход ИС нового факта её система знаний посредством формально-логических умозаключений специального вида увязывает поступившие данные с уже построенной ранее онтологией.

Полученные результаты позволяют спроектировать когнитивную систему предупреждения компьютерных атак на основе расширенной силлогистики [6–8]. Отметим, что в традиционной силлогистике исследованы логические отношения между категорическими атрибутивными высказываниями, в составе которых выделяют кванторные слова, предицирующие связки и термины. В каждом категорическом атрибутивном высказывании имеется два термина: *субъект* (α) — термин, обозначающий те предметы, о которых в высказывании что-либо утверждается или отрицается, и *предикат* (β) — термин, обозначающий то, что предицируется, утверждается или отрицается об этих предметах. Категорические атрибутивные высказывания по количеству делятся на единичные и множественные. Среди множественных выделяют общие (∀) и частные (∃) высказывания. По качеству рассматриваемые высказывания делятся на утвердительные и отрицательные.

Для описания порядка моделирования рассуждений, осуществляемых на основе умозаключений с

учётом семантики ролей, введено понятие простейшей семантической конструкции (ПСК), которая предполагает возможность осуществления умозаключения. ПСК — пара семантических звеньев, имеющих в своём составе один общий концепт. Поскольку для построения онтологии предложено использовать всего три типа концептов («Объекты», «Свойства» и «Действия»), то и таблица возможных их комбинаций, состоящая из троек концептов, состоит из 27 вариантов.

Проведённый анализ широко применяемых в настоящее время машин логического вывода (FaCT++, HermiT, Pellet и др.) и дескрипционных логик, реализованных в них, показал, что они неспособны автоматически формировать новые понятия, именовать и встраивать их в уже имеющуюся онтологию. Положительный эффект от вычислений над расширенной областью особенно заметен при моделировании многоэтапных процессов (например, многоэтапных атакующих воздействий и способов защиты от них). При этом следует отметить, что в ходе осуществления задержки вычислений осуществляется порождение нового типа данных, представленного в виде интенсионала. Изначально концепты произвольной предметной области представляются в онтологии в виде простых объектных термов, имена же концептов, полученных в ходе интенсионального расширения, относятся к классу аппликативных объектных термов. Здесь важным свойством имён аппликативных объектных термов является возможность фиксации собственной «истории» появления, возможно использовать для построения соответствующих спецификаций моделируемых процессов.

Существенно, что в отличие от традиционных методов проектирования и разработки системы обнаружения, предупреждения и нейтрализации компьютерных атак (СОПКА) предложенные *модель, метод и конструктивное решение* когнитивной системы *предупреждения компьютерных атак* позволяют извлекать и порождать *новые знания о качественных и количественных закономерностях информационного противоборства*. Порождение новых знаний осуществляется в ходе построения умозаключений на основе категорического силлогизма с учётом семантики используемых ролей, а также в ходе пополнения онтологии порождёнными интенсионалами. Оба указанных метода реализованы в системы знаний, примером которой является ***гиромат***, и выполняются во взаимосвязи друг с другом, что позволяет ей в ходе осуществления предвычислений не только дополнять *онтологию* достроенными ролями, но и встраивать в упорядоченное множество концептов новые концепты, порождённые ею. Автоматическое пополнение ***гироматом*** онтологии значительно повысило её информационное содержание и существенно снизило время её пополнения. При этом для порождения новых знаний и синтеза спецификаций процессов, описывающих стратегии упреждающего поведения в киберпространстве было предложено устанавливать семантическое подобие соответствующих моделей ***<Задач> и <Решений>*** по аналогии.

Библиографический список

1. Бирюков, Д. Н. Облик антиципирующих систем предотвращения рисков реализации киберугроз / Д. Н. Бирюков, А. Г. Ломако, Ю. Г. Ростовцев // Тр. СПИИРАН. 2015. Вып. 2 (39). С. 5–25.

2. Бирюков, Д. Н. Когнитивно-функциональная спецификация памяти для моделирования целенаправленного поведения киберсистем / Д. Н. Бирюков // Тр. СПИИРАН. 2015. Вып. 3 (40). С. 55–76.

3. Бирюков, Д. Н. Подход к построению непротиворечивой теории синтеза сценариев упреждающего поведения в конфликте / Д. Н. Бирюков, Ю. Г. Ростовцев // Тр. СПИИРАН. 2015. Вып. 1 (38). С. 94–111.

4. Скотт, Д. С. Логика и языки программирования / Д. С. Скотт // Лекции лауреатов премии Тьюринга / ред. : Р. Эшенхерст. М. : Мир, 1993. С. 65–83.

5. Бирюков, Д. Н. Подход к построению систем информационной безопасности, способных синтезировать сценарии упреждающего поведения в информационном конфликте / Д. Н. Бирюков, А. Г. Ломако // Защита информации. INSIDE. 2014. № 6. С. 42–50.

6. Dorofeev, A. Social media in identifying threats to ensure safe life in a modern city / A. Dorofeev, A. Markov, V. Tsirlov // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 674. P. 441–449. DOI: 10.1007/978-3-319-49700-6_44

7. Markov, A. S. Multilevel metamodel for heuristic search of vulnerabilities in the software source code / A. S. Markov, A. A. Fadin, V. L. Tsirlov // International J. of Control Theory and Applications. 2016. № 9 (30). P. 313–320.

8. Barabanov, A. V. Methodological Framework for Analysis and Synthesis of a Set of Secure Software Development / A. V. Barabanov, A. S. Markov, V. L. Tsirlov // J. of Theoretical and Applied Information Technology. 2016. Vol. 88, № 1. P. 77–88.

Сведения об авторах

Петренко Сергей Анатольевич — доктор технических наук, профессор, Университет Иннополис; руководитель Центра информационной безопасности; эксперт секции по проблемам информационной безопасности научного совета при Совете Безопасности Российской Федерации, Иннополис (Республика Татарстан). S.Petrenko@innopolis.ru

Бирюков Денис Николаевич — доктор технических наук, профессор, Университет Иннополис, Иннополис (Республика Татарстан). Biryukov.D.N@yandex.ru

Ломако Александр Григорьевич — доктор технических наук, профессор, Университет Иннополис, Иннополис (Республика Татарстан). Lomako_AG@mail.ru

---

S. A. Petrenko, D. N. Biryukov, A. G. Lomako

METHOD PROACTIVELY COMPUTERS ATTACKS ON THE BASIS OF ANTICIPATION

A new method of pre-emption of computer attacks in the conditions of information warfare on the basis of the properties of anticipation. It is possible to develop design solutions promising cognitive system warning of cyber attacks.

ББК 3971.3
УДК 004.056.5

С. А. Петренко, Д. Н. Бирюков, А. Г. Ломако

МОДЕЛЬ АССОЦИАТИВНОЙ РЕСУРСНОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КОМПЬЮТЕРНЫМ АТАКАМ

Предложена модель обобщённой ассоциативной ресурсной сети для раннего обнаружения и предупреждения компьютерных атак. Это позволило учесть семантические особенности контекстно-зависимых знаний о качественных и количественных закономерностях информационного противоборства.

В литературе известна сетевая модель, позволяющая структурировать память для поиска информации по ассоциативным цепочкам, создающимся и изменяющимся автоматически на уровне топологии сети — в процессе поступления и обработки информации (запросов) [3]. На практике часто используемая информация оказывается более доступной, и сила ассоциативных связей тем больше, чем чаще сущности упоминаются вместе. Такое хранение и поиск информации в памяти отчасти имитируют клеточные ансамбли Хебба [8].

По мнению авторов, упомянутый подход к упорядочиванию знаний в памяти может быть применён при реализации процедур хранения и обработки данных в памяти интеллектуальной кибернетической системы для противодействия компьютерным атакам [1; 2]. В частности, предложена модель памяти, которая получила название *ассоциативной ресурсной сети (АРС)*.

Упомянутая модель может быть представлена ориентированным графом с переменной топологией. Здесь вершины соответствуют сущностям предметной области, рёбра — ассоциативным связям между ними. Существенно, что предложенная модель хорошо сочетается с моделью представления онтологий информационного противоборства.

Здесь каждая сущность, представленная в ассоциативной ресурсной сети, обладает *яркостью*. Чем больше яркость вершины, тем она «виднее» — доступнее при поиске. Рёбра обладают ограниченными пропускными способностями. Чем чаще две вершины участвуют в запросе совместно, тем больше пропускная способность рёбер, их связывающих. Чем больше пропускная способность ребра между двумя вершинами, тем больше сила ассоциации между соответствующими сущностями (вершинами). Сама же ассоциативная ресурсная сеть (АРС) строится и функционирует над онтологией предметной области (рис. 1), строящейся и используемой в интеллектуальной деятельности киберсистемы, призванной решать прикладные задачи информационной безопасности.

$v[id] = v_{\langle id, tv, brt \rangle}$ — вершина АРС,

где $id = NV\left(v_{\langle id, tv, brt \rangle}\right)$ — уникальный идентификатор вершины (её имя, которое может соответствовать названию концепта онтологии, с которым вершина АРС связана, а может, например, быть представлен в виде номера, $id \in ID_V$,

где ID_V — множество идентификаторов вершин АРС),

$tv = TV\left(v[id]\right)$ — тип концепта онтологии, с которой рассматриваемая вершина АРС однозначно связана ($tv \in \{O, P, A\}$, где O — <Объекты>, P — <Свойства> и A — <Действия>);

$brt = BV\left(v[id]\right)$ — «яркость» вершины АРС — неотрицательное число, приписываемое некоторой вершине графа;

$l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r \rangle}$ — ребро графа между вершинами $v[i]$ и $v[j]$, соответствующее роли в онтологии ($i, j \in ID_V$, $v[i] = v_{\langle i, tv, brt \rangle}$, $v[j] = v_{\langle j, tv, brt \rangle}$):

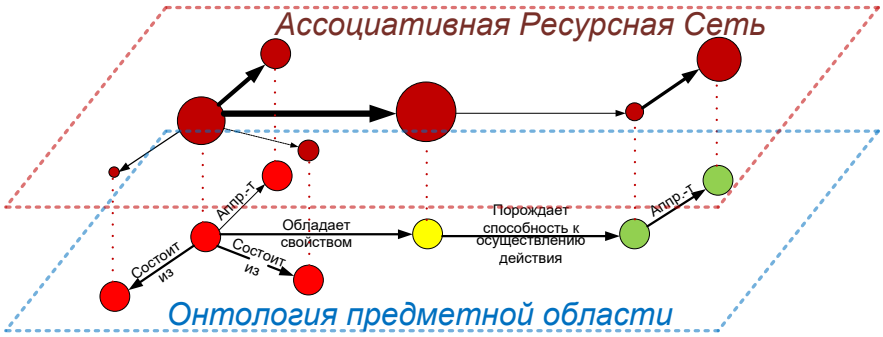


Рис. 1. Схема совместного функционирования ассоциативной ресурсной сети и онтологии предметной области

$tl = TL\left(l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}\right)$, $tl \in TypL$, где $TypL = \{type_l_1, type_l_2, ..., type_l_{Nl}\}$, а $type_l_i$ — тип (имя) ребра, однозначно соответствующий роли, объединяющей два конкретных концепта, рассматриваемой онтологии;

$Nl = |TypL|$ — количество различных ролей, используемых при построении онтологии;

$dir = DL\left(l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}\right)$ — направление ребра относительно вершины, которая указана первой в описании ребра (для $l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}$ — относительно $v[i]$), $dir \in \{in, out\}$, если $dir = in$, то ребро направлено из вершины указанной второй, в вершину указанную первой, если $dir = out$, то в обратном направлении.

Примечание. Параметр *dir* важен, так как для решения практических задач, основанных на распространении ресурса по АРС, направление ребра может сказываться на результате такого распространения;

$cnt = CL\left(l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}\right)$ — переменная, указывающая на объём понятия, с которым связана вершина АРС, из которой выходит ребро, $cnt \in \{all, some\}$, где *all* — «всякий», some — «некоторый» («некоторые»);

$r = RL\left(l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}\right)$ — пропускная способность (проводимость) ребра АРС, соединяющего вершину $v[i]$ и $v[j]$; проводимость ребра сказывается на способности передавать «возбуждение» от вершины к вершине (от концепта к концепту);

$\triangle brt$ — количество ресурса, на которое увеличивается яркость вершины при обращении к ней. Яркость концепта в памяти должна возрастать при активации какого-либо ассоциированного с ним концепта или при непосредственной его активации.

Примечание. Увеличение количества ресурса (*brt*), находящегося в вершине АРС, однозначно связанной с активируемым концептом, происходит при каждом обращении к концепту онтологии и зависит от типа обращения (*init*).

Классификация вариантов «возбуждения» (*init*) вершин АРС приведена на рис. 2.

Введём функцию, вычисляющую значение приращения яркости вершины при обращении к ней и зависящую от типа обращения: $\triangle brt = BRT(init)$, где $init \in \{OS, OW, IA, IL\}$.

Можно предположить, что наименьшее значение должно иметь приращение $\triangle brt$ при $init = IA$: $BRT(IA)$.

Приращения $BRT(OS)$ и $BRT(OW)$ в общем случае могут быть равнозначны, однако следует учесть, что степень доверия интеллектуальной системы (ИС) к различным субъектам информационного обмена может быть различной, следовательно, можно предположить, что $BRT(OW) \geq BRT(OS)$. Тем самым декларативно задаётся своеобразная система приоритетов доверия к данным, получаемым из различных типов источников.

Передача данных по ребру АРС приводит к увеличению его пропускной способности. Вполне обоснованно можно предположить, что в общем случае величина $\triangle r$, на которую должна увеличиться пропускная способность конкретного ребра $l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}$ АРС при передаче по нему ассоциативного сигнала между вершинами $v[i]$ и $v[j]$, должна быть пропорциональна величине переданного сигнала.

***Определение*:**

$$\triangle r = THR\left(BRT(init), TL\left(l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}\right), DL\left(l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}\right)\right)$$

— величина, на которую увеличивается пропускная способность ребра $l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}$ в случае передачи по нему сигнала. Параметры $TL\left(l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}\right)$

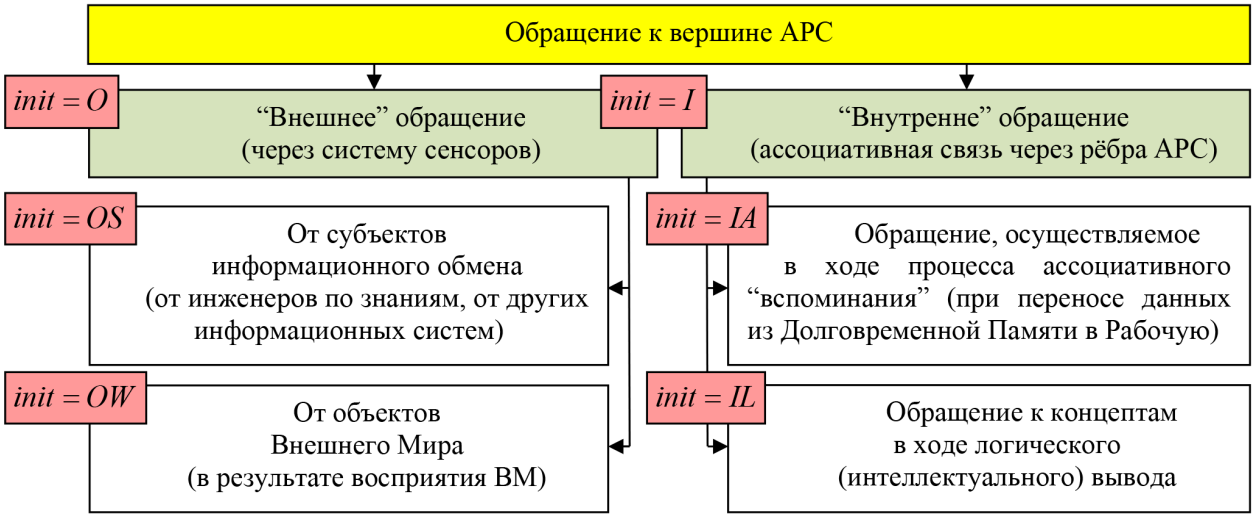


Рис. 2. Классификация вариантов «возбуждения» вершин АРС

и $DL\left(l_{\langle tl, v[i], v[j], dir, cnt, r\rangle}\right)$ вводятся в функцию $THR(\bullet)$ для того, чтобы в последующем, при необходимости, можно было более гибко управлять процессом изменения пропускной способности рёбер АРС при передаче по ним сигналов.

Таким образом, в ходе функционирования киберсистема должна осуществлять изменение ассоциативной ресурсной сети путём модификации её структуры, значений ресурсов её вершин и проводимости рёбер. Все изменения ресурсной сети осуществляются только над активированной частью онтологии, то есть над частью онтологии и однозначно соответствующей ей частью ассоциативной ресурсной сети. Данное замечание позволяет реализовать механизм своеобразного «отображения в память» киберсистемы (на платформе которой функционирует база знаний) только «активного» фрагмента онтологии.

Модель распространения ассоциативного сигнала по АРС представлена в работе [2].

Учитывая параметры АРС, однозначно связанной с онтологией, в которой представлены различные варианты структуры комплекса, можно считать, что гиромат в своей памяти содержит комплексы мероприятий с вероятностной структурой. Для каждого варианта структуры комплекса мероприятий с вероятностной структурой можно построить свою сетевую модель (сеть). Так как при этом любой вариант имеет детерминированную структуру, то сетевые модели вариантов комплекса с вероятностной структурой будут сетями с детерминированной структурой, которые и представляют собой конкретные спецификации обнаруженных (сформированных) процессов. Каждый возможный состав мероприятий, включённый в комплекс, а также связи между ними характеризуют конкретный вариант структуры комплекса, а точнее — конкретную возможную реализацию того или иного наблюдаемого процесса. Множество таких вариантов, известных $\mathcal{G}$ и представленных в его памяти в виде фрагментов онтологии, не более чем счётно, а следовательно, процедура поиска и извлечения спецификаций процессов из памяти $\mathcal{G}$ конечна, а если учесть возможности, предоставляемые механизмом распространения АС по АРС, то и эффективно направлена.

Для того чтобы в рамках метода пресечения деструктивных воздействий в гетерогенной сетевой инфраструктуре с использованием интеллектуальных многоагентных систем стало возможным осуществить выбор такой стратегии поведения $\mathcal{K}$, которая привела бы к приемлемому выходу из конфликтной ситуации, необходимо, чтобы мероприятия моделируемого процесса, представленные в онтологии, сопровождались временными параметрами, характеризующими длительности их выполнения [5–7].

Рассмотренная модель ассоциативной ресурсной сети позволяет формализовать механизм направленного извлечения фрагментов ассоциативно связанных знаний из долговременной памяти интеллектуальной системы кибербезопасности. Существенно, что упомянутая модель представляет собой основу проектируемой интеллектуальной системы раннего обнаружения компьютерного нападения на критическую информационную инфраструктуру. Упомянутая модель способна своевременно синтезировать и оперативно исполнять в автоматизированном (автоматическом) режиме соответствующие программы нейтрализующих и ответных действий в условиях информационного противоборства.

Следует ожидать, что информационно-технические системы, обладающие свойством антиципации, в скором будущем найдут широкое применение в различных областях деятельности человека и, в первую очередь, в области глобального мониторинга и контроля киберпространства, в том числе при проектировании и реализации различных сегментов государственной системы обнаружения, предупреждения и нейтрализации последствий компьютерных атак (СОПКА).

Библиографический список

1. Бирюков, Д. Н. Облик антиципирующих систем предотвращения рисков реализации киберугроз / Д. Н. Бирюков, А. Г. Ломако, Ю. Г. Ростовцев // Тр. СПИИРАН. 2015. Вып. 2 (39). С. 5–25.

2. Бирюков, Д. Н. Подход к обработке знаний в памяти интеллектуальной системы / Д. Н. Бирюков, А. П. Глухов, С. В. Пилькевич, Т. Р. Сабиров // Естеств. и техн. науки. 2015. № 11. С. 455–466.

3. Жилякова, Л. Ю. Модель ассоциативной памяти, основанная на динамической ресурсной сети / Л. Ю. Жилякова // Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах (УТЭОСС-2012) : материалы конф. СПб., 2012. С. 1160–1163.

4. Вольфенгаген, В. Э. Категориальная абстрактная машина : конспект лекций / В. Э. Вольфенгаген. 2-е изд. М. : Центр ЮрИнфоР, 2002. 96 с.

5. Barabanov, A. V. Methodological Framework for Analysis and Synthesis of a Set of Secure Software Development / A. V. Barabanov, A. S. Markov, V. L. Tsirlov // J. of Theoretical and Applied Information Technology. 2016. Vol. 88, № 1. P. 77–88.

6. Dorofeev, A. Social media in identifying threats to ensure safe life in a modern city / A. Dorofeev, A. Markov, V. Tsirlov // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 674. P. 441–449. DOI: 10.1007/978-3-319-49700-6_44

7. Markov, A. S. Multilevel metamodel for heuristic search of vulnerabilities in the software source code / A. S. Markov, A. A. Fadin, V. L. Tsirlov // International J. of Control Theory and Applications. 2016. № 9 (30). P. 313–320.

8. Hebb, D. Intelligence, brain and the theory of mind / D. Hebb // Brain. 1959. Vol. 82. P. 138–145.

Сведения об авторах

Петренко Сергей Анатольевич — доктор технических наук, профессор, Университет Иннополис; руководитель Центра информационной безопасности; эксперт секции по проблемам информационной безопасности научного совета при Совете Безопасности Российской Федерации, Иннополис (Республика Татарстан). S.Petrenko@innopolis.ru

Бирюков Денис Николаевич — доктор технических наук, профессор, Университет Иннополис, Иннополис (Республика Татарстан). Biryukov.D.N@yandex.ru

Ломако Александр Григорьевич — доктор технических наук, профессор, Университет Иннополис, Иннополис (Республика Татарстан). Lomako_AG@mail.ru

---

S. A. Petrenko, D. N. Biryukov, A. G. Lomako

ASSOCIATIVE NETWORK RESOURCE MODEL FOR PREVENTION OF COMPUTER ATTACKS

A model of the generalized associative resource network for the early detection and prevention of cyber attacks. It allowed to take into account semantic features context-sensitive knowledge of the quantitative and qualitative patterns of information warfare.

ББК Ч448.046
УДК 378.12

А. А. Петунин, Н. С. Котел, А. Н. Тырсин

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ У РАБОТНИКОВ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ НА ПРИМЕРЕ ОДНОЙ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОЙ ВЫБОРКИ

На примере выборки участников международной конференции «Информационные технологии и системы» (ИТИС) (16 человек) исследуется характер изменения публикационной активности учёных в период с 2012 по 2016 г. Сформированы графики роста числа публикаций, индексируемых в международных базах данных Scopus, Web of Science, а также в российской базе РИНЦ. Показано, что при существенном росте публикаций в указанном периоде по всем трём базам данных число публикаций в научных журналах, входящих в перечень ВАК, в целом не растёт. Выделены наиболее значимые факторы, влияющие на суммарное число публикаций учёных. Полученные результаты сравниваются с аналогичными данными другой выборки из 16 учёных Механико-машиностроительного института Уральского федерального университета.

Наблюдающийся в последние пять лет значительный рост научных публикаций учёных ведущих российских вузов связан прежде всего с участием этих вузов в Программе повышения конкурентоспособности (ППК) российских университетов (Проект 5-100). Руководство университетов активно стимулирует увеличение публикаций, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, за счёт установления единовременных выплат за каждую публикацию, введения системы эффективных контрактов и пр. Аналогичные механизмы поддержки публикационной активности реализуются не только в университетах, участвующих в ППК, но и в других вузах и научных организациях России. Как результат такого рода поддержки наблюдается ежегодное увеличение числа высокорейтинговых публикаций на английском языке. В то же время надо отметить, что бóльшая часть этих публикаций составляют статьи, опубликованные в материалах международных конференций. При этом в суммарном числе научных публикаций естественным образом уменьшается доля статей в научных журналах, входящих в перечень ВАК. Рассмотрим некоторые числовые показатели сформулированных тенденций на примере выборки 16 участников международной конференции «Информационные технологии и системы» (ИТИС) [1] и выборки 16 учёных Механико-машиностроительного института (ММИ) Уральского федерального университета (УрФУ). Исследуются ежегодные данные за период с 2012 по 2016 г. по числу публикаций в каждой из следующих баз данных: Scopus [2]; Web of Science [3]; РИНЦ [4]. Аналогичные данные сформированы по публикациям в журналах ВАК. Данные приводятся по каждому представителю в выборке и суммарно по всей выборке (рис. 1–8).

Публикации в Scopus участников конференции

№	ФИО	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Петунин А.А.	0	0	0	0	3	7
2	Панюков А.В.	0	2	1	0	2	3
3	Массель Л.В	0	0	0	1	1	0
4	Васильев В.И	0	0	0	0	0	2
5	Матвеев С.В.	3	3	0	4	1	0
6	Вохминцев А.В.	0	0	0	0	3	0
7	Сесекин А.Н.	2	0	1	3	2	1
8	Каширин А.А.	0	1	0	1	0	1
9	Макаровских Т.А.	0	0	0	1	1	0
10	Ячиков И.М.	2	1	1	3	2	7
11	Боргест Н.М.	0	0	0	0	1	1
12	Юсупова Н.И.	0	0	0	0	1	2
13	Ризванов Д.А.	1	1	0	0	0	0
14	Богданова Д.Р	0	0	0	0	1	1
15	Массель А.Г.	0	0	0	2	0	0
16	Ухоботов В.И.	1	0	0	0	1	2
	Итого:	9	8	3	15	19	27

Публикации в Scopus ММИ

№	ФИО	2012	2013	2014	2015	2016
1	Огородникова О.М.	1	1	0	1	1
2	Красильников А.Я.	4	6	2	1	1
3	Чечулин Ю.Б.	2	3	1	0	0
4	Кугаевский С.С.	0	1	0	0	0
5	Карамышев А.П.	1	0	1	0	1
6	Паршин С.В.	0	0	2	2	1
7	Матушкин А.В.	0	0	0	0	3
8	Шалимов М.П.	0	0	0	0	1
9	Ершова	0	0	0	0	0
10	Лисенков В.В.	0	2	1	1	2
11	Лукашук	0	0	0	0	0
12	Ничко	0	0	0	0	0
13	Коржавин	0	0	0	0	0
14	Баранов Г.Л	0	0	2	1	0
15	Фивейский А.М.	0	0	0	0	2
16	Раскатов	0	0	0	0	1
	Итого:	8	13	9	6	13

Рис. 1. Результат выборки числа статей в Scopus в категориях «Участники конференции» и «Сотрудники ММИ»

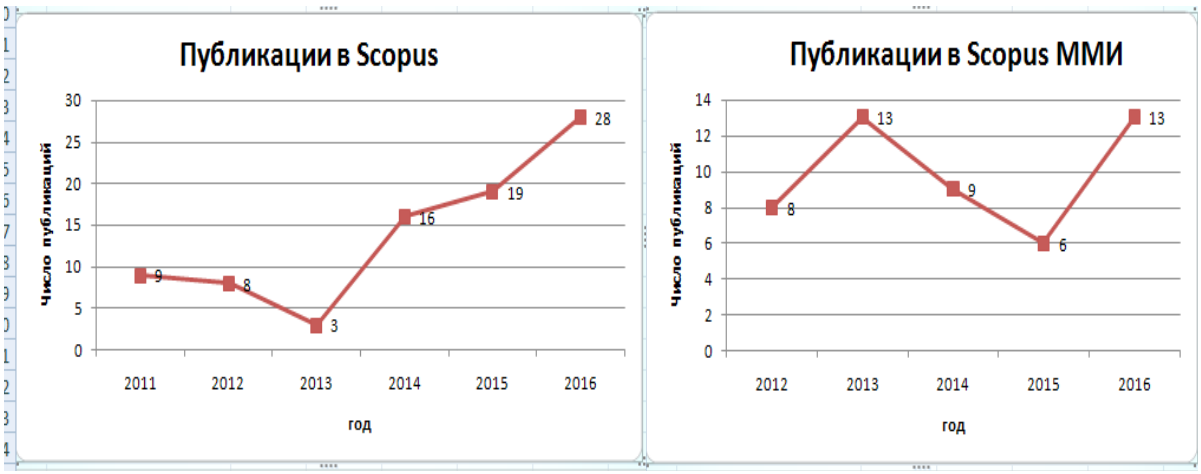


Рис. 2. Графическое представление публикационной активности в Scopus в категориях «Участники конференции» и «Сотрудники ММИ»

Article Web of science

№	Authors	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	PETUNIN AA	0	0	0	0	3	6
2	PANYUKOV AV	0	1	0	0	0	3
3	Massel L V	0	0	0	0	0	0
4	Massel A G	0	0	0	0	0	0
5	Vasilev V I	0	0	0	0	0	0
6	Matveev S. V	2	4	0	2	2	1
7	Vokhmintsev A V	0	0	0	0	0	1
8	SESEKIN AN	1	0	2	1	2	1
9	KASHIRIN AA	0	1	0	1	0	1
10	Makarovskikh T A	0	0	0	0	1	1
11	Yachikov I M	0	1	0	1	2	3
12	Borgest N M	0	0	0	0	1	2
13	Yusupova N I	0	0	1	0	0	1
14	Rizvanov D A	0	0	0	0	0	0
15	Bogdanova D R	0	0	0	0	0	1
16	Ukhobotov V. I	2	0	0	0	1	1
	Итого:	5	7	3	5	12	22

Публикации в Science ММИ

№	ФИО	2012	2013	2014	2015	2016
1	Огородникова О.М.	0	0	0	1	0
2	Красильников А.Я.	0	0	1	1	0
3	Чечулин Ю.Б.	0	0	0	0	0
4	Кугаевский С.С.	0	0	0	0	0
5	Карамышев А.П.	0	0	0	0	1
6	Паршин С.В.	0	0	0	1	0
7	Матушкин А.В.	0	0	0	0	0
8	Шалимов М.П.	1	0	0	0	0
9	Ершова И.В.	0	0	0	0	0
10	Лисенков В.В.	0	0	0	1	0
11	Лукашук О.А.	0	0	0	0	0
12	Ничков А.В.	0	0	0	0	0
13	Каржавин В.В.	0	0	0	0	1
14	Баранов Г.Л	0	0	0	0	0
15	Фивейский А.М.	0	0	0	0	0
16	Раскатов Е.Ю.	0	0	0	0	0
	Итого:	1	0	1	4	2

Рис. 3. Результат выборки числа статей в Web of Science в категориях «Участники конференции» и «Сотрудники ММИ»

Рис. 4. Графическое представление публикационной активности в Web of Science в категориях «Участники конференции» и «Сотрудники ММИ»

В табл. 1 приведены данные о публикациях участников конференции «Информационные технологии и системы» (ИТИС). В качестве исследуемой величины используем среднее число публикаций ученого в международных базах данных Scopus и Web of Science в двух периодах с 2011 по 2016 год.

Таблица 1

Среднее число публикаций участников конференции ИТИС в международных базах данных Scopus и Web of Science в двух периодах — в 2011–2013 годах и 2014–2016 годах

Участник конференции	Период	
	2011–2013 гг.	2014–2016 гг.
Петунин А. А.	0	6,3333333
Панюков А. В.	1,3333333	2,6666667
Массель Л. В.	0	0,6666667
Васильев В. И.	0	0,6666667
Матвеев С. В.	4	3,3333333
Вохминцев А. В.	0	1,3333333
Сесекин А. Н.	2	3,3333333
Каширин А. А.	0,6666667	1,3333333
Макаровских Т. А.	0	1,3333333
Ячиков И. М.	1,6666667	6
Боргест Н. М.	0	1,6666667
Юсупова Н. И.	0,3333333	1,3333333
Ризванов Д. А.	0,6666667	0
Богданова Д. Р.	0	1
Массель А. Г.	0	1
Ухоботов В. И.	1	1,6666667
В среднем за год	0,6862745	2,0196078

Следует отметить существенный рост этого показателя (с 0,686 в 2011–2013 гг. до 2,020 в 2014–2016 гг.)

Воспользуемся однофакторным дисперсионным анализом. Расчёты выполним в программе Statistica 7 [5]. Результаты расчёта приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты проверки однофакторного дисперсионного анализа для участников конференции ИТИС

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	62,23529	1	62,23529	28,18723	0,000008
Z	15,11111	1	15,11111	6,84403	0,013460
Error	70,65359	32	2,20792		

Вывод. Нулевая гипотеза о равенстве среднего числа публикаций в рассматриваемых периодах отклоняется со статистической достоверностью 0,9865. Поэтому можно говорить о существенном росте публикационной активности участников конференции «Информационные технологии и системы» в международных базах данных Scopus и Web of Science. Этот факт очевидно обусловлен активным внедрением в последние годы в российских университетах различных систем стимулирования.

В табл. 3 приведены данные по публикациям 16 случайно выбранных сотрудников механико-машиностроительного института Уральского федерального университета. В качестве исследуемой величины используем среднее число публикаций сотрудника ММИ в международных базах данных Scopus и Web of Science в двух периодах с 2012 по 2016 г.

Таблица 3

Среднее число публикаций сотрудников ММИ в международных базах данных Scopus и Web of Science в 2012–2016 гг.

Участник конференции	Период	
	2012–2013 гг.	2014–2016 гг.
Огородников О. М.	1	1
Красильников А. Я.	5	2
Чечулин Ю. Б.	2,5	0,3333333
Кугаевский С. С.	0,5	0
Карамышев А. П.	0,5	1
Паршин С. В.	0	2
Матушкин А. В.	0	1
Шалимов М. П.	0,5	0,3333333
Ершова И. В.	0	0
Лисенков В. В.	1	1,6666667
Лукашук О. А.	0	0
Ничков А. В.	0	0
Каржавин В. В.	0	0
Баранов Г. Л.	0	1
Фивейский А. М.	0	0,6666667
Раскатов Е. Ю.	0,5	2,3333333
В среднем за год	0,71875	0,8333333

Из табл. 3 видим, что среднегодовое число публикаций выросло с 0,719 в 2012–2013 гг. только до 0,833 в 2014–2016 гг.

Воспользуемся однофакторным дисперсионным анализом. Расчёты выполним в программе Statistica 7. Результаты расчёта приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты проверки однофакторного дисперсионного анализа для сотрудников ММИ

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19,27170	1	19,27170	16,16656	0,000361
Z	0,10503	1	0,10503	0,08811	0,768638
Error	35,76215	30	1,19207		

Вывод. Нулевая гипотеза о равенстве среднего числа публикаций в рассматриваемых периодах не отклоняется со статистической достоверностью 0,7686. Поэтому наблюдаемый в табл. 3 рост публикационной активности является несущественным. Можно говорить об отсутствии существенного роста публикационной активности для данной выборки сотрудников ММИ в международных базах данных Scopus и Web of Science. Поэтому фактор стимулирования за счёт программы повышения конкурентоспособности в УрФУ практически не повлиял на публикационную активность выбранных сотрудников ММИ в международных базах данных Scopus и Web of Science. Вместе с тем, как показывают данные информационно-аналитической системы УрФУ PURE [6], публикационная активность сотрудников УрФУ для выборки, включающей всех сотрудников ММИ, выросла в 2 раза, что говорит о недостаточной репрезентативности случайной выборки из 16 сотрудников.

	Публикации в РИНЦ						
№	ФИО	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Петунин А.А.	0	0	1	3	8	6
2	Панюков А.В.	3	12	10	8	12	12
3	Массель Л.В	10	5	8	6	14	12
4	Васильев В.И	4	4	2	3	1	1
5	Матвеев С.В.	4	8	1	7	4	1
6	Вохминцев А.В.	0	1	3	2	4	3
7	Сесекин А.Н.	5	3	5	2	4	5
8	Каширин А.А.	0	0	0	3	2	2
9	Макаровских Т.А.	0	0	1	4	5	7
10	Ячиков И.М.	19	12	6	25	23	18
11	Боргест Н.М.	2	5	6	10	12	4
12	Юсупова Н.И.	7	6	12	18	16	14
13	Ризванов Д.А.	1	1	4	6	7	4
14	Богданова Д.Р	0	1	3	8	10	7
15	Массель А.Г.	2	2	4	4	8	8
16	Ухоботов В.И.	4	2	7	4	8	5
	Итого:	61	62	73	113	138	109

	Публикации ММИ (ВАК, Scopus, Web of Science)					
№	ФИО	2012	2013	2014	2015	2016
1	Огородникова О.М.	1	1	0	3	2
2	Красильников А.Я.	4	6	3	2	2
3	Чечулин Ю.Б.	2	3	1	0	0
4	Кугаевский С.С.	0	1	0	0	0
5	Карамышев А.П.	1	0	1	0	4
6	Паршин С.В.	0	0	2	3	2
7	Матушкин А.В.	0	0	0	0	3
8	Шалимов М.П.	1	0	0	0	2
9	Ершова И.В.	0	0	0	0	4
10	Лисенков В.В.	0	2	1	2	2
11	Лукашук О.А.	1	0	0	0	2
12	Ничков А.В.	0	0	0	0	4
13	Каржавин В.В.	0	0	0	0	1
14	Баранов Г.Л	0	0	2	1	1
15	Фивейский А.М.	0	0	0	0	3
16	Раскатов Е.Ю.	0	0	0	0	2
	Итого:	10	13	10	11	34

Рис. 5. Результат выборки числа статей в РИНЦ в категориях «Участники конференции» и «Сотрудники ММИ»

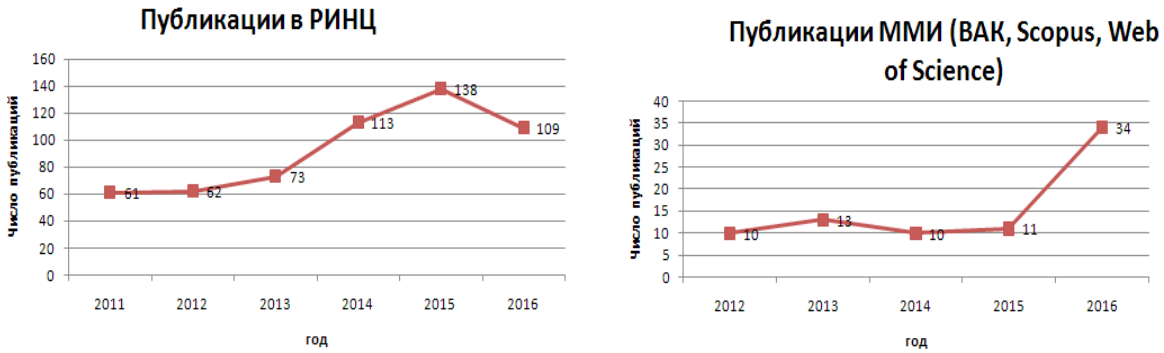


Рис. 6. Графическое представление публикационной активности в РИНЦ в категориях «Участники конференции» и «Сотрудники ММИ»

	Публикации в ВАК						
№	ФИО	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	Петунин А.А.	0	0	1	1	2	0
2	Панюков А.В.	2	10	5	2	2	1
3	Массель Л.В	7	4	5	0	3	4
4	Васильев В.И	3	2	1	2	1	1
5	Матвеев С.В.	2	4	0	2	0	1
6	Вохминцев А.В.	0	0	0	0	1	1
7	Сесекин А.Н.	0	0	2	0	1	5
8	Каширин А.А.	0	0	0	0	0	1
9	Макаровских Т.А.	0	0	0	1	1	1
10	Ячиков И.М.	3	2	1	5	4	4
11	Боргест Н.М.	0	1	0	0	0	1
12	Юсупова Н.И.	7	3	5	3	4	1
13	Ризванов Д.А.	0	0	2	1	2	0
14	Богданова Д.Р	0	0	1	1	2	0
15	Массель А.Г.	1	2	3	1	0	1
16	Ухоботов В.И.	2	2	3	3	2	3
	Итого:	27	30	29	22	25	25

	Публикации в ВАК ММИ					
№	ФИО	2012	2013	2014	2015	2016
1	Огородникова О.М.	0	0	0	1	1
2	Красильников А.Я.	0	0	0	0	1
3	Чечулин Ю.Б.	0	0	0	0	0
4	Кугаевский С.С.	0	0	0	0	0
5	Карамышев А.П.	0	0	0	0	2
6	Паршин С.В.	0	0	0	0	1
7	Матушкин А.В.	0	0	0	0	0
8	Шалимов М.П.	0	0	0	0	1
9	Ершова И.В.	0	0	0	0	4
10	Лисенков В.В.	0	0	0	0	0
11	Лукашук О.А.	0	0	0	0	0
12	Ничков А.В.	0	0	0	0	4
13	Каржавин В.В.	0	0	0	0	0
14	Баранов Г.Л	0	0	0	0	1
15	Фивейский А.М.	0	0	0	0	1
16	Раскатов Е.Ю.	0	0	0	0	1
	Итого:	0	0	0	1	17

Рис. 7. Результат выборки числа статей в ВАК в категориях «Участники конференции» и «Сотрудники ММИ»

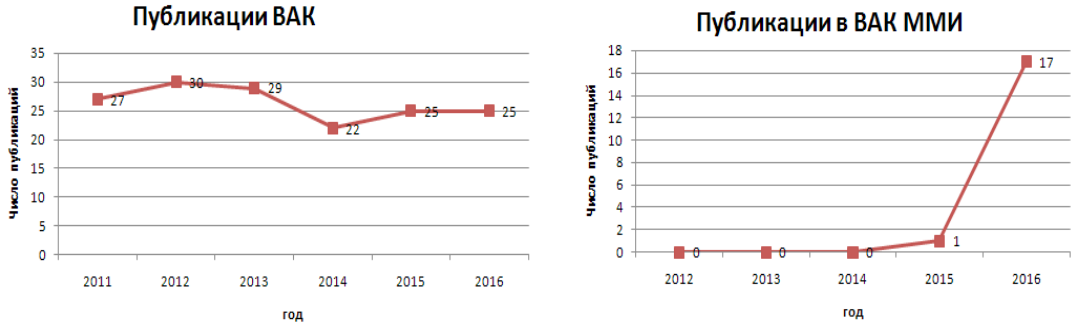


Рис. 8. Графическое представление публикационной активности в ВАК в категориях «Участники конференции» и «Сотрудники ММИ»

Исследуем динамику публикаций в журналах из списка ВАК среди участников конференции «Информационные технологии и системы» (ИТИС). В качестве исследуемой величины используем среднее число публикаций участника конференции ИТИС в международных базах данных Scopus и Web of Science в двух периодах с 2011 по 2016 г. (табл. 5).

Таблица 5

Среднее число публикаций участников конференции ИТИС в журналах из списка ВАК в 2011–2016 гг.

Участник конференции	Период	
	2011–2013 гг.	2014–2016 гг.
Петунин А. А.	0,3333333	1
Панюков А. В.	5,6666667	1,6666667
Мельников А. В.	0	2
Массель Л. В.	5,3333333	2,3333333
Васильев В. И.	2	1,3333333
Матвеев С. В.	2	1
Вохминцев А. В.	0	0,6666667
Сесекин А. Н.	0,6666667	2
Каширин А. А.	0	0,3333333
Макаровских Т. А.	0	1
Ячиков И. М.	2	4,3333333
Боргест Н. М.	0,3333333	0,3333333
Юсупова Н. И.	5	2,6666667
Ризванов Д. А.	0,6666667	1
Богданова Д. Р.	0,3333333	1
Массель А. Г.	2	0,6666667
Ухоботов В. И.	2,3333333	2,6666667
В среднем за год	1,6862745	1,5294118

Несколько странно, но среднегодовое число публикаций сократилось с 1,686 в 2011–2013 гг. до 1,529 в 2014–2016 гг.

Воспользуемся однофакторным дисперсионным анализом. Расчёты выполним в программе Statistica 7. Результаты расчёта приведены в табл. 6.

Вывод. Нулевая гипотеза о равенстве среднего числа публикаций в рассматриваемых периодах не отклоняется со статистической достоверностью 0,7704, то есть различия в публикационной активности участников конференции в журналах из списка ВАК в рассматриваемых периодах не существенны.

Поскольку серьёзные публикации обычно носят коллективный характер и среди авторов присутствуют

Таблица 6

Результаты проверки однофакторного дисперсионного анализа для участников конференции ИТИС

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	87,89542	1	87,89542	36,41977	0,000001
Z	0,20915	1	0,20915	0,08666	0,770365
Error	77,22876	32	2,41340		

ведущие учёные, принимающие активное участие в работе научных конференций (в частности, ИТИС), то можно высказать гипотезу, что рост публикационной активности в журналах, цитируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, во многом обусловлен эффектом оттока публикаций из отечественных журналов из списка ВАК, а не эффектом стимулирования за счёт программы повышения конкурентоспособности.

Этот вопрос представляет серьёзный интерес и требует специального рассмотрения на более репрезентативных выборках.

Ещё один вывод, который можно сделать на основе полученных результатов, состоит в следующем. Эффект стимулирования научной активности за счёт программы повышения конкурентоспособности, направленной на рост числа публикаций в международных базах данных Scopus и Web of Science, носит ограниченный характер и влияет в основном на сформировавшихся учёных. Для повышения научной активности в целом среди исследователей программу стимулирования нужно корректировать и стимулировать публикации в качественных российских рецензируемых научных журналах.

Библиографический список

1. Сборники трудов конференции «Информационные технологии и системы». URL: http://iit.csu.ru/science/conference-itis

2. Scopus : библиогр. и реферат. база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликов.в науч. изд. URL: Scopus.com

3. Web of Science : поисковая платформа, объединяющая реферат. базы данных публикаций в науч. журн. и патентов. URL: Webofknowledge.com

4. Научная электронная библиотека.URL: http://elibrary.ru/defaultx.asp

5. StatSoft — Dell Software Company. URL: http://statistica.io

6. Научно-исследовательский портал Уральского федерального университета ИАС PURE. URL: https://science.urfu.ru/portal/ru

Сведения об авторах

Петунин Александр Александрович — доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования, Уральский федеральный университет им. первого Президента России, Екатеринбург. *aapetunin@gmail.com*

Котел Наталья Сергеевна — старший преподаватель кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования, Уральский федеральный университет им. первого Президента России, Екатеринбург. *nack@yandex.ru*

Тырсин Александр Николаевич — доктор технических наук, заведующий кафедрой прикладной математики, Уральский федеральный университет им. первого Президента России, Екатеринбург. *at2001@yandex.ru*

A.A. Petunin, N.S. Kotel, A. N. Tyrsin

ON SOME FEATURES OF CHANGES IN THE STRUCTURE OF HIGHER SCHOOL EMPLOYEES' SCIENTIFIC PUBLICATIONS EXEMPLIFIED BY ONE REPRESENTATION SAMPLE

In paper for selected 16 participants of the international conference "Information Technologies and Systems" (ITIS) the features of changing in the area of scientific publications are investigated. The period from 2012 to 2106 is considered. The received results are compared to similar data of other 16 scientists from the Mechanical Engineering Institute of the Ural Federal University.

ББК К63-1
УДК 621.791.94

А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов

ЗАДАЧА МАРШРУТИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТА В МАШИНАХ РЕЗКИ МЕТАЛЛА: ИНЖЕНЕРНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Рассматривается задача оптимизации маршрута движения режущего инструмента на машинах фигурной листовой резки металла с ЧПУ. Используются ограничения в виде условий предшествования и сложной зависимости от списка уже вырезанных контуров. Применяются направления реза как параметры маршрута. Для решения используется эвристический алгоритм и метод динамического программирования. Существенный прогресс в разработке эффективных алгоритмов решения достигнут авторами именно в части расчёта ограничений инженерного характера и адаптации к методу динамического программирования.

1. Введение

Задача оптимизации перемещений режущего инструмента на машинах листовой резки с ЧПУ в случае использования технологии резки по замкнутому контуру состоит в построении маршрута, соединяющего стартовую точку, эквидистанты контуров (кривая, отстоящая от контура на заданное расстояние) и финишную точку. С общей постановкой можно ознакомиться в [1–3]. Данная задача является сложной задачей дискретной и непрерывной оптимизации, плохо освещённой в мировой литературе. Существующие модели [4–6] игнорируют некоторые важные инженерные особенности термической (лазерной, плазменной, газовой) резки (например, тепловые ограничения).

В изначальной постановке предполагается допустимым посещение эквидистанты контура в любой её точке. Но такая постановка представляется чрезвычайно сложной, являющейся формально задачей непрерывной оптимизации с не формализуемыми в явном виде ограничениями.

Решить эту проблему можно сведением данной задачи к задаче дискретной оптимизации. Для этого заранее определяется конечное множество точек на эквидистанте. Если количество таких точек составляет несколько десятков, то аппроксимация получается достаточно подробная и существенного ухудшения результата по сравнению с непрерывной задачей ожидать не следует. Кроме того, близкое расположение контуров приводит к запрету врезки на некоторых участках эквидистанты, что учитывается при построении наборов точек врезки. Как нетрудно видеть, дискретная задача эквивалентна известной обобщённой задаче коммивояжёра с дополнительными ограничениями.

С точными методами решения обобщённой задачи коммивояжёра можно ознакомиться в [7–11]. Эвристические и приближённые методы рассматриваются в [12–16].

Первое из ограничений состоит в использовании условий предшествования, возникающих из вложенности контуров (сначала нужно вырезать внутренние). Второе ограничение касается качества реза и состоит в обеспечении достаточного количества металла возле финишного участка реза контура. Именно это ограничение является сложным с вычислительной точки зрения алгоритмической формализации. В то же время от него в значительной степени зависит и соблюдение геометрических размеров вырезаемых заготовок. Целью оптимизации является не только сокращение времени работы машины, но и повышение качества заготовок.

Таким образом, рассматриваемая задача сводится к обобщённой задаче коммивояжёра с условиями предшествования, функциями стоимости, зависящими от списка уже вырезанных контуров и с учётом направления реза (используется дополнительный признак при посещении точки врезки).

2. Постановка задачи

На плоскости задан прямоугольник, определяющий положение листа металла. С помощью p^{st} и p^{fin} обозначаем точку начала и завершения движения инструмента ($p^{st} \in R \times R$, $p^{fin} \in R \times R$, где R — вещественная прямая). Количество контуров $N, N \geq 2$. Инструмент имеет две скорости — скорость холостого хода и скорость реза.

Рез происходит по эквидистанте, но, так как она близка к контуру, далее для упрощения понимания будет идти речь о резе контура. Врезка на контуре может привести к повреждению или тепловому искажению будущей детали, поэтому врезка производится вне контура. Рез может производиться в двух направлениях. Для некоторых типов станков выключение также должно производиться вне контура. Поэтому для сохранения общности предлагается рассматривать не точки на контурах, а тройки точек (точка врезки вне контура, точка начала реза и точка выключения инструмента вне контура). Общее количество таких троек $\tilde{N}$.

Пусть $M, M = \overline{1, \tilde{N}}$ есть множество индексов всех возможных троек точек для всех контуров. Каждый контур имеет своё множество таких индексов: $M_1, ..., M_N$, $|M_i| = n_i$, $n_i \geq 1$ ($\bigcup\limits_{i \in \overline{1,N}} M_i = M$, $M_i \cap M_j = \varnothing \ \forall i \in \overline{1,N}, \forall j \in \overline{1,N} \setminus \{i\}$).

Для определения координат точек используются следующие функции:

$$p^{on} : M \to R \times R,$$
$$p^{cut} : M \to R \times R,$$
$$p^{off} : M \to R \times R.$$

На рис. 1. показан стальной лист с расположенными на нём контурами, тройками точек реза и маршрутом. Маршрут — упорядоченное множество индексов троек точек реза в последовательности посещения. Именно, пусть a маршрут

$$a = (a_i)_{i \in \overline{1,N}} : \overline{1,N} \to M,$$

$$\forall a_1 \in a, \forall a_2 \in a \setminus \{a_1\}, \neg \exists i \in \overline{1,N} :$$

$$(a_1 \in M_i) \,\&\, (a_2 \in M_i).$$

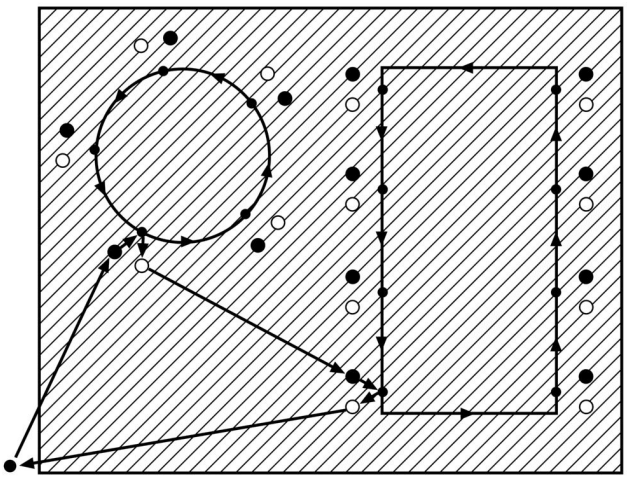


Рис. 1. Начальные данные и маршрут движения

Далее через A будем обозначать семейство всех маршрутов. Последовательность перемещений инструмента для заданного маршрута a:

$$p^{st} \to p^{on}(a_1) \to p^{cut}(a_1) \to p^{off}(a_1) \to ...$$
$$... \to p^{on}(a_N) \to p^{cut}(a_N) \to p^{off}(a_N) \to p^{fin}.$$

Как было сказано ранее, одна из особенностей данной постановки — наличие признака направления реза $d, d \in \{0,1\}$ (0 — против часовой стрелки, 1 — по часовой стрелке). Следовательно, каждому маршруту нужно поставить в соответствие некоторое упорядоченное множество направлений реза d:

$$d = (d_i)_{i \in \overline{1,N}} : \overline{1,N} \to \{0;1\}.$$

Через D обозначим семейство всех возможных множеств направлений реза.

3. Условия предшествования

Вырезанные детали теряют связь с листом (и могут переместиться вниз, в нерабочую зону раскройного стола) и становятся недоступными для резака. Если внутри контура есть другой контур, то сначала следует вырезать этот внутренний контур. Для исключения неправильной последовательности реза вводится понятие адресных пар. Адресная пара — пара индексов контуров. Маршрут должен быть выбран так, чтобы контур с первым индексом пары всегда предшествовал контуру со вторым индексом. Через Z обозначаем множество адресных пар z для условий предшествования:

$$z = (z_1, z_2), z_1 \in \overline{1,N}, z_2 \in \overline{1,N}, z_1 \neq z_2, \ |Z| \geq 0.$$

Для $z \in Z$ z_1 определяет индекс контура, посещение которого должно предшествовать посещению контура с индексом z_2.

С учётом Z некоторые маршруты из A становятся недоступными. Семейство разрешённых маршрутов обозначим через $\tilde{A}$, $\tilde{A} \subset A$: $\forall a \in \tilde{A}$ $\forall z \in Z$, если $a_i \in M_{z_1}$ и $a_j \in M_{z_2}$, то $i < j$.

4. Функции стоимости

Важная особенность данной постановки состоит в том, что стоимость маршрута здесь не является непосредственно временем работы машины. Стоимость в данной постановке — время движения плюс штрафы от инженерных ограничений. Для вычисления времени движения потребуются скорости инструмента: скорость холостого хода обозначим через V_{idling}, скорость реза — через V_{cut}. Общая стоимость будет складываться из трёх компонентов:

– время движения к выбранной точке врезки или финишной точке в режиме холостого хода;

– время движения от точки врезки до точки начала реза контура и от точки начала реза до точки выключения инструмента;

– штраф от расположения пустот в металле и краёв листа относительно завершающего участка реза контура.

Отметим, что сам рез контура не участвует в стоимости, так как не является оптимизируемым параметром — время реза контуров, вообще говоря, не зависит от последовательности реза.

Когда резак завершает работу по вырезанию детали, очень важно, чтобы вокруг финишного участка контура было достаточно металла, чтобы обеспечить рассеивание выделяющегося тепла. Если не выполнить это условие, на данном участке могут возникнуть деформации.

Выделяем участок на линии контура длиной L, откладываемый от точки начала реза контура в противоположном резу направлении. Далее, с внешней стороны контура строим область, все точки которой отстоят от указанного отрезка не более чем на величину H. Данную область далее будем называть областью завершения реза.

На рис. 2 показана область завершения реза для заданной точки начала реза контура, для заданного направления реза и для указанных параметров L и H. П-образная деталь уже вырезана (в правой части листа).

На рис. 2 показан случай, когда вся область завершения реза покрыта металлом. Это самый лучший случай. Но далеко не всегда получается подобным образом выбрать все точки врезки и направления реза. Бывают случаи, когда область вокруг участка завершения реза пересекается с отверстиями в металле и пространством за пределами листа. Например, как показано на рис. 3.

Стоимость перемещения в режиме холостого хода из одной точки в другую есть время, затрачиваемое на это перемещение. Если x_1 и x_2 точки начала и завершения движения в режиме холостого хода (p^{st}, p^{fin}, p^{on} или p^{off}), тогда стоимость подобного перемещения оценивается следующим образом:

$$C(x_1, x_2) = \frac{\rho(x_1, x_2)}{V_{idling}}.$$

Здесь ρ — евклидово расстояние между точками x_1 и x_2.

Для определения зависимости от уже пройденных контуров будем использовать обозначение $\tilde{M}$ — семейство всех подмножеств M (включая пустое множество).

Стоимость реза контура $i, i \in \overline{1,N}$, с использованием тройки точек $m, m \in M_i$ в направлении $d, d \in \{0,1\}$, и в случае, когда контуры $K, K \subset \overline{1,N} \setminus \{i\}$, уже вырезаны к настоящему моменту, вычисляется следующим способом:

$$c(m,d,K) = \frac{\rho(p^{on}(m), p^{cut}(m))}{V_{cut}} + \frac{\rho(p^{cut}(m), p^{off}(m))}{V_{cut}} + c_d(m,d,K). \quad (1)$$

Здесь помимо времени подхода к контуру и отхода от него участвует функция $c_d : M \times \{0;1\} \times \tilde{M} \to R$. Данная функция используется для вычисления штрафа от пересечения области завершения реза с отверстиями в металле и областями вне листа. Для получения непосредственно времени движения (за исключением времени реза контуров) принимаем $c_d \equiv 0$.

Функция c_d имеет следующий вид:

$$c_d(m,d,K) = \frac{S^*(m,d,K)}{S(m,d)} P. \quad (2)$$

Здесь $m, m \in \underline{M}$ определяет индекс тройки точек врезки, $d, d \in \underline{0,1}$ — направление реза, $K, K \subset \overline{1,N}$ — множество индексов уже вырезанных контуров.

$S(m, d)$ есть площадь области завершения реза контура; $S^*(m, d, K)$ есть площадь пересечения указанной выше области и пустот от вырезанных контуров (индексы которых содержатся в K) и пространства за краями листа. P — коэффициент штрафа. На рис. 3 S определяется как площадь всей заштрихованной фигуры (одинарная и двойная штриховка), а S^* — площадь фигур, имеющих двойную штриховку.

Если коэффициент P в (2) равен нулю, то штрафы не используются вообще. Оптимизируется только время движения. Если значение P — большое положительное число, то штрафы имеют приоритетное значение.

В работе [12] использовался подход, когда данные площади вычисляются всякий раз, когда это требуется, так как набор уже вырезанных контуров постоянно меняется. При этом в вычислительном плане сама процедура расчёта площадей является весьма ресурсоёмкой, что создавало значительные проблемы для работы алгоритмов. Но при анализе задачи была обнаружена важная особенность — пустоты от разных контуров никогда не пересекаются между собой и с пространством вне листа. Площадь пересечения

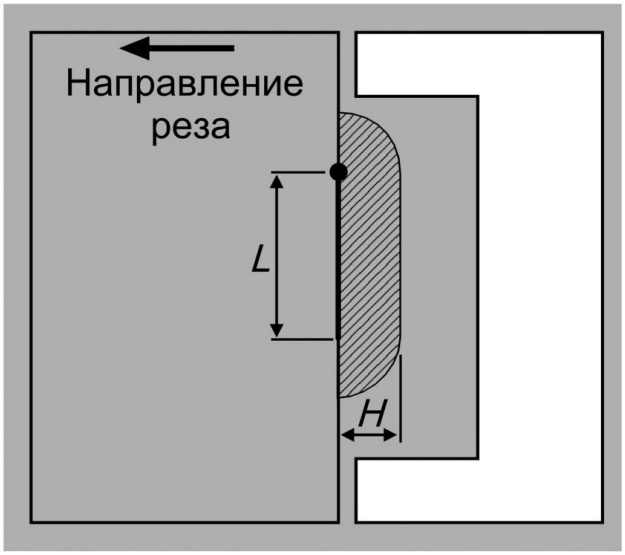


Рис. 2. Область завершения реза полностью покрыта металлом

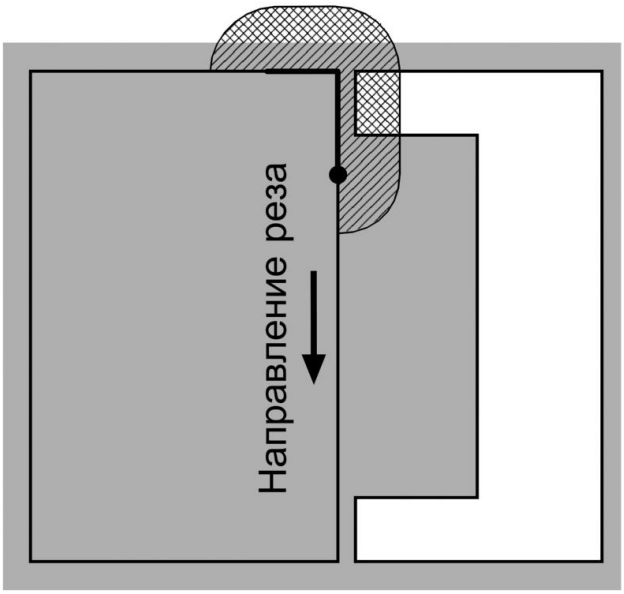


Рис. 3. Пересечение области завершения реза и пустот в металле

области завершения реза и выбранного набора контуров есть сумма площадей пересечений области завершения реза с этими контрами. Характер зависимости аддитивный, следовательно, все площади пересечений можно насчитать заранее, и потом лишь суммировать.

Это обстоятельство позволило вывести расчёт данного ограничения на принципиально новый уровень. Именно, для каждой тройки точек реза с индексом $m, m \in M$, и для каждого направления реза $d, d \in \overline{0,1}$, можно заранее посчитать площадь самой области завершения реза $S(m,d)$ и площадь пересечения её с другими контурами и областями вне листа.

Пусть контуры с индексами $K, K \in \tilde{M}$, уже вырезаны и следует посчитать штраф от вырезания некоторого контура (индекс которого не входит в K) с использованием его тройки точек реза с индексом $m, m \in M$, и направлением реза $d, d \in \overline{0,1}$. Значение $S(m,d)$ уже посчитано. Для вычисления $S^*(m,d,K)$ нужно всего лишь сложить заранее посчитанную площадь пересечения области завершения реза с областями вне листа и с каждым из контуров с индексом из K. После чего воспользоваться формулой (2).

Площади пересечения области завершения реза с пространством за пределами листа, а также с другими контурами вычисляются с использованием специальной матрицы. Лист металла и прилегающая область шириной H делится на равные прямоугольники (ячейки), которым приписывается значение –2, если ячейка выходит за пределы листа, –1 если данная ячейка в пределах листа и не заключена ни в один контур, и значение индекса контура, если она находится внутри какого-либо контура (рис. 4). Далее на финишном участке контура длиной L с равным шагом фиксируются центры N_c окружностей радиуса H. Для каждой окружности проверяются попавшие в неё ячейки. Если ячейке соответствует индекс текущего контура или одного из его вложенных контуров, то такая ячейка игнорируется, иначе инкрементируется счётчик ячеек области завершения реза. После обработки всех окружностей значение этого счётчика умножается на площадь ячейки — так получается площадь области завершения реза. Аналогичным способом находится площадь перекрытия с пространством за пределами листа и другими контурами (за исключением текущего и его вложенных).

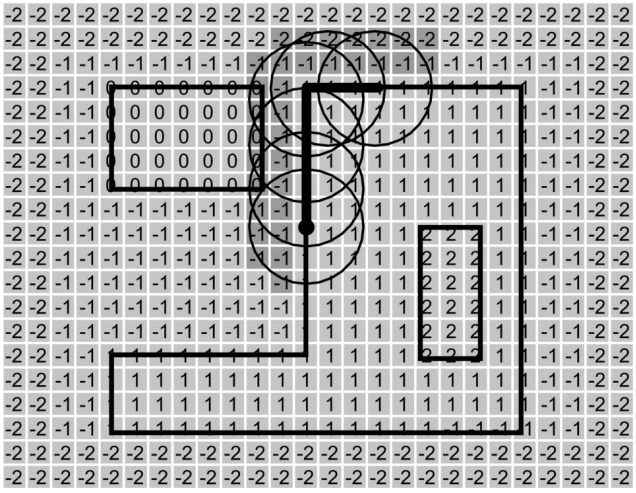


Рис. 4. Вычисление площадей

Так как окружности имеют пересечение, то следует исключить повторный учет одних и тех же ячеек. Для этого используется булевская матрица той же размерности, что и основная. В ней отмечаются уже обработанные ячейки.

Эти вычисления приближённые; очевидно, точность и скорость вычислений сильно зависят от размера матриц. Новый способ вычисления функции штрафов позволил увеличить размерность матриц, так как вычисления площадей производятся единожды в самом начале счёта. Ширина и высота одной ячейки не превышают миллиметра, что даёт достаточную точность, хотя она, точность, здесь не имеет существенного значения.

5. Критерий и основная задача

Стоимость маршрута $a \in \tilde{A}$ с направлениями реза $d \in D$ имеет вид

$$T(a,d) = C(p^{st}, p^{on}(a_1)) + c(a_1, d_1, \varnothing) +$$

$$+\sum_{i=2}^{N}\left(C(p^{off}(a_{i-1}), p^{on}(a_i)) + c(a_i, d_i, \bigcup_{j\in\overline{1,i-1}} a_j)\right) +$$

$$C(p^{off}(a_N), p^{fin}). \qquad (3)$$

Теперь мы можем сформулировать основную задачу:

$$T(a,d) \to \min, \quad a \in \tilde{A}, d \in D.$$

Для решения задачи был использован итерационный эвристический алгоритм из [12]. Кроме того, функции штрафов были применены в алгоритме на основе динамического программирования (ДП), предложенном в [8–10]. В работах [8–10] используется более сложная и строгая формализация идентичной постановки. Рассматриваемая в настоящей работе задача сводится к постановке из [8–10]. Но метод ДП, предложенный в [8–10], не учитывает направлений реза. Несмотря на это, был найден способ использовать его с минимальными изменениями, касающимися функций стоимости и процесса восстановления маршрута. Именно при вычислении стоимости вырезания некоторого контура с использованием выбранной точки врезки за значение функции стоимости берётся минимум функции (1) по направлениям реза. При восстановлении маршрута из функции Беллмана делается то же самое. Если минимум достигнут при значении направления 0, то обход должен быть сделан против часовой стрелки, иначе по часовой стрелке.

6. Вычислительный эксперимент

Вычисления производились на компьютере с процессором Intel i5-2400 и 8 Гб оперативной памяти, работающем под управлением Windows 7 (64-bit). Программа разработана в среде Microsoft Visual C++ 2013. Расчёты выполнялись двумя алгоритмами: эвристическим итерационным [12] и алгоритмом на основе метода ДП [9].

Пример 1. Количество контуров $N = 27$, количество адресных пар $|Z| = 15$, количество итераций эвристического алгоритма 10 000, количество итераций одного цикла 10, $L = 100$ мм, $H = 25$ мм, $P = 1\,000\,000$.

Время счёта эвристическим алгоритмом 4 секунды, результат 92,06.

Время счёта алгоритмом на основе ДП — 1 минута 42 секунды, результат 89,74.

Штрафов нет в обоих случаях.

Расположение деталей и маршрут инструмента отображены на рис. 5 и 6.

Пример 2. Количество контуров $N = 170$, количество адресных пар $|Z| = 60$, количество итераций эвристического алгоритма 1 000, количество итераций одного цикла 10, $L = 100$ мм, $H = 25$ мм, $P = 1\,000\,000$.

Время счёта эвристическим алгоритмом 57 секунд, результат первой итерации 791 370,68, результат счёта 178 851,53, результат без штрафов 580,9.

Расположение деталей и маршрут инструмента отображены на рис. 7.

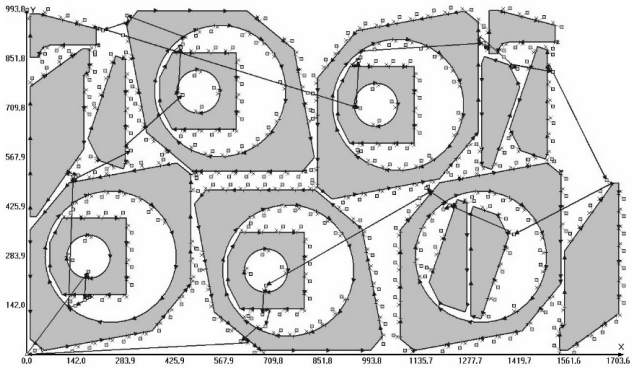


Рис. 5. Пример 1. Результат работы эвристического алгоритма

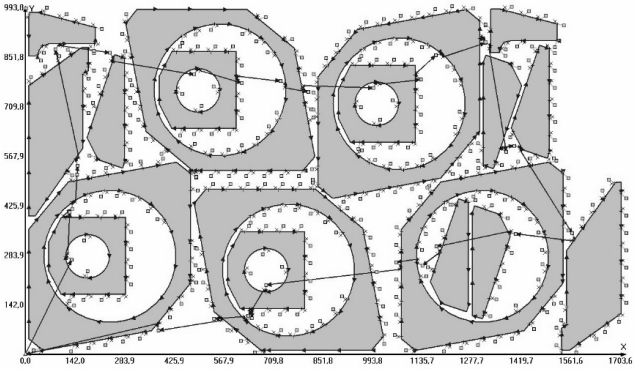


Рис. 6. Пример 1. Результат работы алгоритма на основе ДП

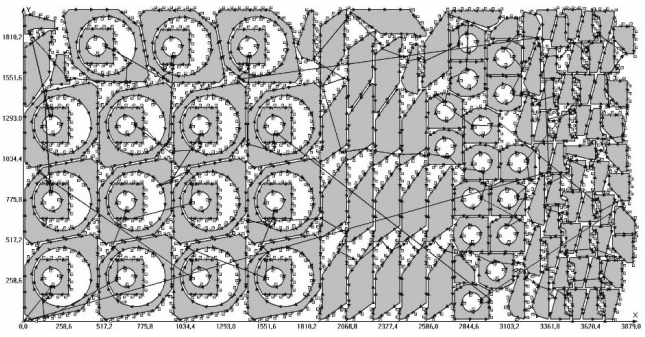


Рис. 7. Пример 2. Результат работы эвристического алгоритма

Итерационный алгоритм позволил улучшить результат в 4,4 раза. Бóльшие значения функции критерия (3) определяются штрафами. Но суммарный штраф равен 178 270,63 (то есть 178 851,53 — 580,9). И это значение существенно меньше значения $P = 1\,000\,000$. Иными словами, даже если весь штраф принадлежал бы одному контуру, то это означало бы, что всего лишь 17,8 % всей области завершения реза для этого контура приходятся на пустоты. Учитывая, что штрафы распределены по многим контурам, можно сказать, что результат очень хороший.

7. Заключение

В статье рассматривается обобщённая задача коммивояжёра с ограничениями в виде условий предшествования и функциями стоимости, зависящими от пройденного пути. Усовершенствован метод вычисления функций стоимости, что позволяет повысить эффективность эвристического итерационного алгоритма, построенного в предыдущих работах (см. [12]). Выполнена доработка алгоритма на основе ДП (см. [8–10]), позволяющая использовать направления реза контуров. Новый метод расчёта функций стоимости позволяет использовать метод ДП для примеров, содержащих до 27 контуров. Результаты счёта алгоритмов вполне приемлемы с точки зрения тепловых ограничений.

Библиографический список

1. Петунин, А. А. Разработка КАМ-систем для машин листовой резки как пример инноваций / А. А. Петунин // Инновационные информационные технологии: Теория и практика : материалы междунар. конф., Карлсруе — Уфа —Дрезден, 8–13 апреля, 2011 г. Уфа, 2011. С. 47–50.

2. Петунин, А. А. Об одной стратегии формирования маршрута режущего инструмента с развитием управляющих программ для машин термической резки листов / А. А. Петунин // Бюллетень УГАТУ. Сер. : Упр., АДФ оборудование и информатика. 2009. Т. 13, № 2 (35). С. 280–286.

3. Петунин, А. А. О маршрутизации движения инструмента в машинах листовой резки с числовым программным управлением / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов // Науч. и техн. ведомости С.-Петерб. гос.

техн. ун-та. Информатика. Телекоммуникации. Менеджмент. 2013. № 2 (169). С. 103–111.

4. Кастелино, К. Оптимизация движения режущего инструмента с целью минимизации времени холостого хода / К. Кастелино, Р. Д'Соуза, П. Райт // Журн. производств. систем. 2003. № 22 (3). С. 173–180.

5. Девил, Р. Оптимизация пути режущего инструмента с использованием поиска Табу / Р. Девил, П. Ванстинвеген, Д. Кттрайс // Ключевые инженер. материалы. 2011. Вып. 473. С. 739–748.

6. Янг, В. Б. Эффективный алгоритм для оптимизации холостого хода инструмента / В. Б. Янг, Ю. В. Жао, Ж. Жи, В. Л. Ванг // Оптимизация в процессе резки ножом. Материалы исследований. 2010. № 102. С. 373–377.

7. Петунин, А. А. Маршрутные задачи: ограничения и оптимальность / А. А. Петунин, А. Н. Сесекин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов // ИФАК-Онлайн работы. 2016. Т. 49, вып. 12. С. 640–644.

8. Ченцов, А. Г. Динамическое программирование в задаче маршрутизации с ограничениями и стоимостями, зависящими от списка заданий / А. Г. Ченцов, А. А. Ченцов // Докл. Рос. акад. наук. 2013. Т. 453, № 1. С. 20–23.

9. Ченцов, А. Г. Маршрутизация в условиях ограничений: задача о посещении мегаполисов / А. Г. Ченцов, А. А. Ченцов // Автоматика и телемеханика. 2016. № 11. С. 96–117.

10. Ченцов, А. Г. К вопросу о маршрутизации комплексов работ / А. Г. Ченцов // Вестн. Удмурт. ун-та. Математика. Механика. Компьютер. науки. 2013. № 1. С. 59–82.

11. Фичетти, М. Алгоритм ветвей и границ для симметричной обобщенной задачи коммивояжера / М. Фичетти, Дж. Дж. Салазар-Гонзалез, П. Тот // Исслед. операций. 1997. Т. 45 (3). С. 378–394.

12. Петунин, А. А. Задача маршрутизации инструмента для машин листовой резки с ЧПУ / А. А. Петунин, П. А. Ченцов // ИФАК-Онлайн работы. 2016. Т. 49, вып. 12. С. 645–650.

13. Ченцов, П. А. Об одном применении жадного алгоритма для решения обобщенной задачи коммивояжера / П. А. Ченцов // Труды 16-й международной конференции по компьютерным наукам и информационным технологиям. Шеффилд, 2014. С. 148–151.

14. Гутин, Г. Метрический алгоритм для обобщенной задачи коммивояжёра / Г. Гутин, Д. Карапетян // Естеств. компьютеры. 2010. № 9 (1). С. 47–60.

15. Силберхольц, Дж. Обобщённая задача коммивояжёра: новый подход к генетическим алгоритмам / Дж. Силберхольц, Б. Гольден // Расширяя горизонты: достижения в области вычислительной техники, оптимизаци, и решающих технологий. М., 2007. С. 165−181.

16. Шнайдер, Л. В. Генетический алгоритм со случайным ключом для обобщённой задачи коммивояжера / Л. В. Шнайдер, М. С. Даскин // Исслед. операций. 2006. № 174. С. 38−53.

Сведения об авторах

Петунин Александр Александрович — доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий и автоматизации проектирования, Уральский федеральный университет им. первого Президента России, Екатеринбург. *aapetunin@gmail.com*

Ченцов Александр Георгиевич — профессор, Департамент информационных технологий и автоматики, Уральский федеральный университет им. первого Президента России, Екатеринбург. chentsov.p@mail.ru

Ченцов Павел Александрович — старший научный сотрудник лаборатории оптимального раскроя, промышленных материалов и оптимальных маршрутных технологий Механико-машиностроительного института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России, Екатеринбург. chentsov.p@mail.ru

---

A. A. Petunin, A. G. Chentsov, P. A. Chentsov

TOOL ROUTING PROBLEM FOR CNC CUTTING MACHINES: ENGINEERING CONSTRAINTS

The problem of toolpath optimization for CNC metal cutting machines is considered. The precedence conditions and complex, depending on the list of already cut-out contours constraints, are used. The cut directions are taken into account. For solution of problem are used heuristic algorithm and dynamic programming method. Significant progress has been made in engineering restrictions, and adaptation of these restrictions to the method of dynamic programming.

ББК 3971.321.1
УДК 004.382.2

С. А. Петунин

ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ И АНАЛИЗА СТАТИСТИКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ СУПЕРЭВМ

Разработка автономных статистических сервисов с применением расширенной идентификации вычислительных заданий предоставляет новые возможности для оценки эффективности использования ресурсов многопроцессорных систем. В работе описана базовая структура данных кроссплатформенного статистического пакета «АНТИК». Сформулированы требования, вытекающие из особенностей организации проведения производственных расчётов, включающие задачу анализа пользовательских приложений по унифицированным историческим данным базы планировщика.

Относительная неразвитость систем статистики для вычислительных комплексов, ориентированных на высокопроизводительные вычисления, вызвана различными факторами. В числе основных сдерживающих причин можно перечислить следующее:

1. Системные администраторы ограничиваются простым использованием низкоуровневых статистических средств, встроенных в типовые системы мониторинга или специализированным системным программным обеспечением управления оборудованием.

2. Доминирует подход к рассмотрению статистики работы отдельных компонент оборудования или вычислительного комплекса в целом, а интерес к эффективности использования ресурсов пользовательскими программными приложениями неявно делегируется самому пользователю.

3. Недостаточность данных планировщика заданий для проведения классификации прикладных программ понижает возможность полезной интерпретации этих данных.

Рассмотрим задачу создания статистической системы поддержки проведения высокопроизводительных вычислений в следующей постановке. Система должна:

1) обладать свойствами независимости:

– от динамически изменяемой физической и логической конфигурации вычислительных кластеров;

– методов сбора статистических данных;

– количества вычислительных кластеров предприятия и характеристик их оборудования;

2) быть кроссплатформенной;

3) поддерживать мультиролевое разделение пользователей системы;

4) использовать средства анализа математической статистики (обеспечивать проведение классификации на базе кластеризационных методик или выявление закономерностей в данных (в том числе, с применением регрессионных линейных моделей));

5) обеспечивать применение визуализационных методов анализа данных с помощью интерактивной веб-графики;

6) обеспечивать анализ эффективности использования ресурсов вычислительных комплексов пользовательскими приложениями.

Последнее требование, которое связано с оценкой поведения прикладной программы без применения пользователем специальных профилировщиков, а с помощью автоматических инструментальных средств системного программного обеспечения, является относительно новым подходом. Двумя наиболее известными отечественными разработками в этой области являются системы Job Digest [1] и Monika [2]. Они обладают уникальными особенностями по сбору данных для проведения анализа приложений. Однако обе системы не имеют развитых статистических возможностей для выполнения самого анализа. Вероятно, они пока не являются отчуждаемыми от разработчиков продуктами, сложно встраиваются в мониторинговые схемы вычислительных кластеров, поддерживая уникальные базы данных (БД). В результате всё это снижает эксплуатационную привлекательность программных систем.

Наиболее унифицированным подходом для проведения статистического анализа является выбор в качестве исходных данных не различных и объёмных БД систем мониторинга, а одной базы штатного планировщика заданий. Среди систем управления заданиями для высокопроизводительных систем очевидно лидерство менеджера ресурсов и планировщика заданий slurm [3]. Половина среди первых десяти топовых суперкомпьютеров мира из списка Top500 работает под управлением этот системы [4]. Можно говорить о стандарте slurm как типовом планировщике для отечественных высокопроизводительных комплексов. С одной стороны, отсутствие в исторических данных планировщика хранимых трасс процессов вычислительных заданий не позволяет проводить исследования динамики потребления ресурсов внутри периода жизни задания. При этом из данных slurm можно получить усреднённые и максимальные значения этих характеристик и отслеживать

динамику уже между запусками заданий одного приложения (или различными приложениями).

Спроектированная с учётом перечисленных выше требований статистическая система «АНТИК» [5] использует в качестве сырых входных данных стандартный дамп БД системы slurm версии 16.05, выгруженный с помощью команды sacct в csv-файл.

Рис. 1 иллюстрирует подход, обеспечивающий гибкое размещение виртуальной машины системы статистики для обработки и визуализации в реальном времени данных планировщиков вычислительных кластеров (МВК1, МВК2, …) или при проведении постанализа данных, полученных из внешней организации.

Начальной базовой структурой для обработки и анализа данных служит таблица рабочей нагрузки (ТРН). Эта таблица является результатом преобразования экспортируемого csv-файла и сформирована с использованием 84 показателей-переменных дампа sacct по принципу: только одна строка таблицы на каждое задание. При матричной формализации ТРН его столбец-вектор $\mathbf{w}_j$ будет содержать значения j-й переменной (показателя рабочей нагрузки) для всех вычислительных заданий этого набора данных. В модели данных «АНТИК» все переменные условно объединены в группы, определяющие следующие типы показателей вычислительного задания:

I — идентификация;
R — ресурсы;
T — календарные параметры;
K — оценочные коэффициенты.

Таким образом, ТРН можно также представить в виде кортежа из 4 групп переменных:

$$W = (I, R, T, K).$$

Сама таблица в системе «АНТИК» хранится в виде внутреннего файла в формате датафрейма статистического языка программирования R. Это обеспечивает возможность определения типа данных для каждой переменной (столбца) таблицы. При этом все переменные (за небольшим исключением) принадлежат к трём типам данных R:

– «категориальные» — формат factor;
– «числовые, метрические» — формат numeric;
– «календарные» — формат Posix.

Соответственно, используемые в модели данных функции также различаются. Основные операции над категориальными данными включают «группировку» и «фильтрацию», а над числовыми переменными применяются типовые операции описательной статистики: «максимум», «минимум», «среднее», «медиана», «сумма», «счётчик» т. д. Если содержащий ТРН датафрейм обозначить идентификатором dfw, то базовые функции системы «АНТИК» можно записать в нотации языка R следующим образом:

df_fi1 <- **filter**(dfw, $\mathbf{w}_a$ == “шаблон1”) # фильтрация по значению переменной $\mathbf{w}_a$;

df_gr1<- **group_by**(df_fi1, $\mathbf{w}_b$) # группировка по категориальной переменной $\mathbf{w}_b$;

df_su1 <- **summarise**(df_gr1, count = **n**(), m1 = **mean**($\mathbf{w}_c$), m2 = **sum**($\mathbf{w}_d$), m3 = **max**($\mathbf{w}_e$),…) # применение числовых функций в группировке.

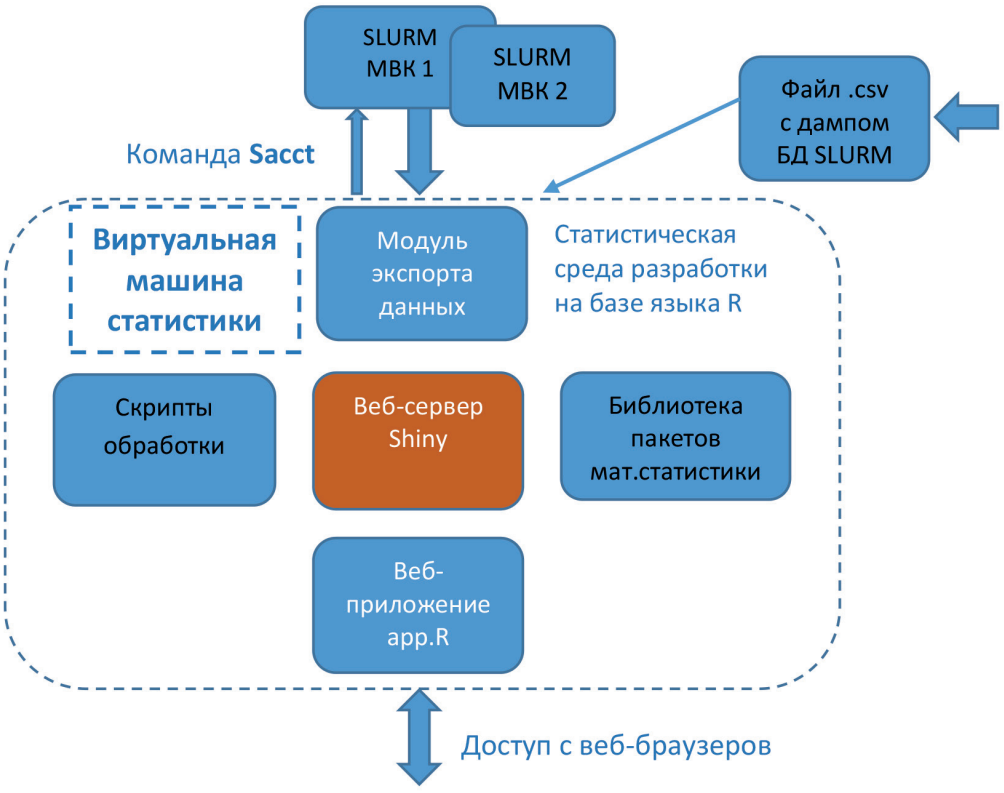


Рис. 1. Схема обеспечения автономности работы статистической системы

Такая тривиальная функциональность, используемая на базовом уровне, позволяет создавать и готовить к визуализации объекты данных универсальной структуры.

1. Группа идентификационных переменных (*I*)

Выполняемое под управлением планировщика slurm вычислительное задание оставляет в его БД только несколько обязательных полей, связанных с идентификацией задания. К ним относятся номер задания, имя пользователя и имя файла запуска. Поле account позволяет объединять пользователей в иерархические группы, но требует управления на уровне администратора системы, что снижает динамику формирования имён. В ТРН системы «АНТИК» добавлены ещё 3 переменные: номер лаборатории, ФИО пользователя и признак активного пользователя. Последний идентификатор формируется на основе количества выполненных пользователем заданий. Эти поля характеризуют субъекта запуска заданий, но не идентифицируют само приложение. В slurm такие параметры не предусмотрены. Вводя расширенную типизацию расчёта, можно значительно повысить эффективность статистической обработки данных вычислительных заданий, вплоть до выявления зависимостей между динамическими характеристиками поведения задания и его входными параметрами. В системе «АНТИК» классификация приложений обеспечивается с помощью пяти дополнительных полей (project, program, task, area, param), задающихся пользователем через обязательный параметр «comment» команды пакетного запуска sbatch. Эти поля составляют так называемый паспорт приложения и используются при проведении классификационной обработки данных.

2. Группа ресурсов (*R*)

Вторая группа переменных ТРН описывает ресурсы задания, как задаваемые пользователем, так и получаемые в процессе выполнения задания. Бóльшая часть из них является числовыми переменными, характеризующими потребление основных аппаратных и временны́х ресурсов вычислительного кластера: процессорное время (cpu-time, пользовательское, системное), количество выделенных узлов и ядер, средний и максимальный размер резидентной памяти, объём обмена с дисками и т. д. Важными переменными являются также категориальные данные, указывающие на контекст и результаты выполнения задания, такие как: раздел кластера, код завершения задания, имя резервации и др. Ресурсные данные являются главными показателями, на базе которых составляются оценки поведения параллельных приложений.

3. Группа параметров календарного времени (*T*)

Период жизни вычислительного задания (триада: времена в формате Posix постановки в очередь $t_{\mathbf{sub}}$, время старта $t_{\mathbf{start}}$ и время завершения $t_{\mathbf{end}}$) и дополнительно вычисленные компоненты времени появления задания в системе (год, месяц, день недели, час и т. д.) составляют группу параметров календарного времени ТРН. Компоненты времени удобно использовать при формировании различных статистических отчётов и их последующей визуализации, а не вычислять каждый раз в процедурах обработки данных.

4. Группа оценочных коэффициентов (*K*)

Данная группа объединяет несколько переменных, которые являются метриками, используемыми для количественной характеризации выполненных заданий. Смысл некоторых оценок приведен в таблице.

Второй коэффициент показывает «культуру» пользователя при запуске своих заданий: насколько он корректен в оценках требуемых ему ресурсов и подготовленности расчёта. Последние три коэффициента можно использовать как относительные усреднённые оценки-индикаторы проблем утилизации вычислительных ресурсов, выделенных вычислительному заданию.

Рассмотрим пример использования коэффициента K_{ef2} для определения аномальных запусков для группы проведённых расчётов конкретного приложения. При многопроцессорном (многоядерном) запуске этот параметр во многих случаях показывает степень утилизации заданием всех вычислительных ядер. На рис. 2 представлен скаттерплот группы запусков

Определения некоторых коэффициентов группы *K*

Переменная	Название	Области применения оценки
K_{wall}	Коэффициент временного прогноза	Характеризует долю реального времени выполнения вычислительного задания по отношению к заказанному пользователем времени
K_{ef1}	1-й коэффициент эффективности	Характеризует долю процессорного времени, затраченного на системные вызовы, по отношению к общему процессорному времени задания (только для родительского процесса)
K_{ef2}	2-й коэффициент эффективности	Характеризует долю процессорного времени, затраченного на выполнение пользовательской фазы задания (в режиме user space), по отношению к общему процессорному времени задания (только для родительского процесса)
K_{mem}	Коэффициент утилизации оперативной памяти узла	Характеризует долю объёма физической памяти узла, соответствующей среднему размеру резидентной памяти задания

одной прикладной программы в пространстве <продолжительность расчёта, K_{ef2}>.

У «короткого» расчёта бо́льшую долю общего времени, как правило, занимает фаза инициализации, которая обычно выполняется на одном ядре вычислительного узла (левая полоса рисунка). Низкое значение коэффициента здесь обосновано. Однако при «длинном» расчёте эффективность распараллеливания обязана возрастать, что и демонстрирует общий тренд графика. Поэтому зона в правом нижнем углу рисунка характеризует неблагополучную аномалию. Неслучайно среди этих запусков видна существенная доля заданий, закончившихся с кодом ошибки.

Возможности системы статистического анализа осуществлять подобные оценки с помощью штатных интерактивных средств, с динамическими изменяемыми параметрами в течение одного сеанса работы, является обязательным требованием к функциональности интерфейса программного обеспечения. В системе «АНТИК» имеются разнообразные возможности манипулирования и визуализации данных, в том числе:

– табличное и графическое представление характеристик вычислительных заданий в форме статистических распределений, линейных графиков, двумерных скаттерплотов, гистограмм, боксплотов и др.;

– добавочная цветовая дифференциация по категориальным переменным;

– добавочная дифференциация размера по метрическим переменным;

– интерактивное выделение точек на графике прямоугольными регионами для фильтрации соответствующих им данных;

– использование слайдеров для динамического варьирования значений входных параметров (в том числе календарных периодов);

– горизонтальный и вертикальный фасетинг графика по категориальным переменным;

– логарифмирование осей с метрическими характеристиками заданий;

– фильтрация по категориальным переменным;

– зуммирование линейных графиков загрузки вычислительных узлов и очередей вычислительных заданий по временной оси;

– наличие специальной панели с консолидированными статистическими отчётами для руководства расчётных отделов и модераторов проведения расчётов, показывающей шаблонные отсортированные гистограммы (топы) потребления основных вычислительных ресурсов и т. д.

На рис. 3 представлено распределение логарифма метрической переменной «процессорное время», которое характеризует потребление вычислительного ресурса по категориальной переменной «задача» (task) для одного структурной лаборатории за выбранный пользователем системы период. В качестве формы графика выбран боксплот — графическое представление распределения одномерной числовой величины, визуализирующей основные параметры ее описательной статистики.

Благодаря развитым возможностям статистической системы R, перечисленный выше интерактивный веб-функционал реализован компактными средствами — объём программного кода в файле app.R (рис. 1), включая комментарии, в текущей версии «АНТИК» составляет 994 строки.

Программные заготовки-шаблоны, предоставляемые аналитику для проведения в режиме запуска скриптов углублённого статистического анализа с использованием нескольких тысяч библиотечных пакетов, содержат по несколько десятков команд. Такой подход с небольшим объёмом дополнительного программирования, делегируемого

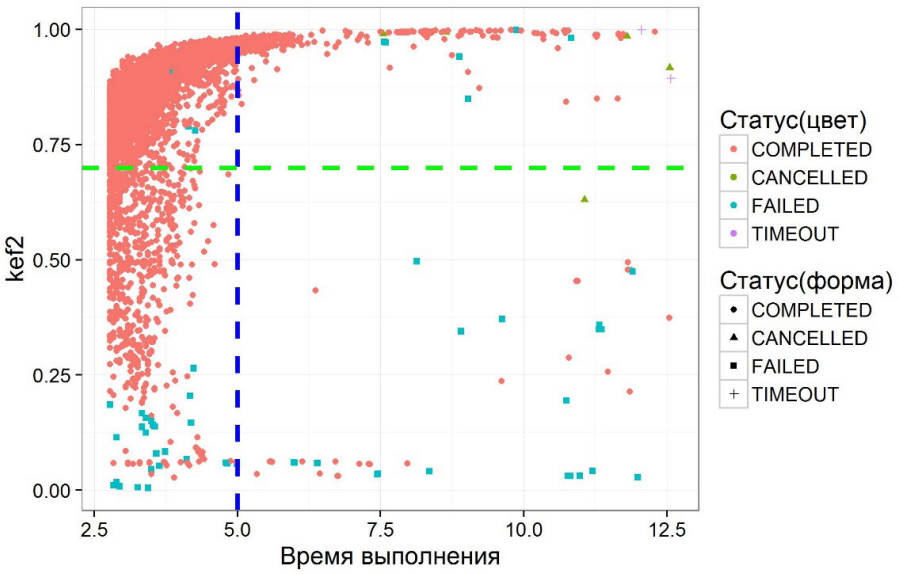


Рис. 2. Определение проблемных запусков приложения по индикатору kef2

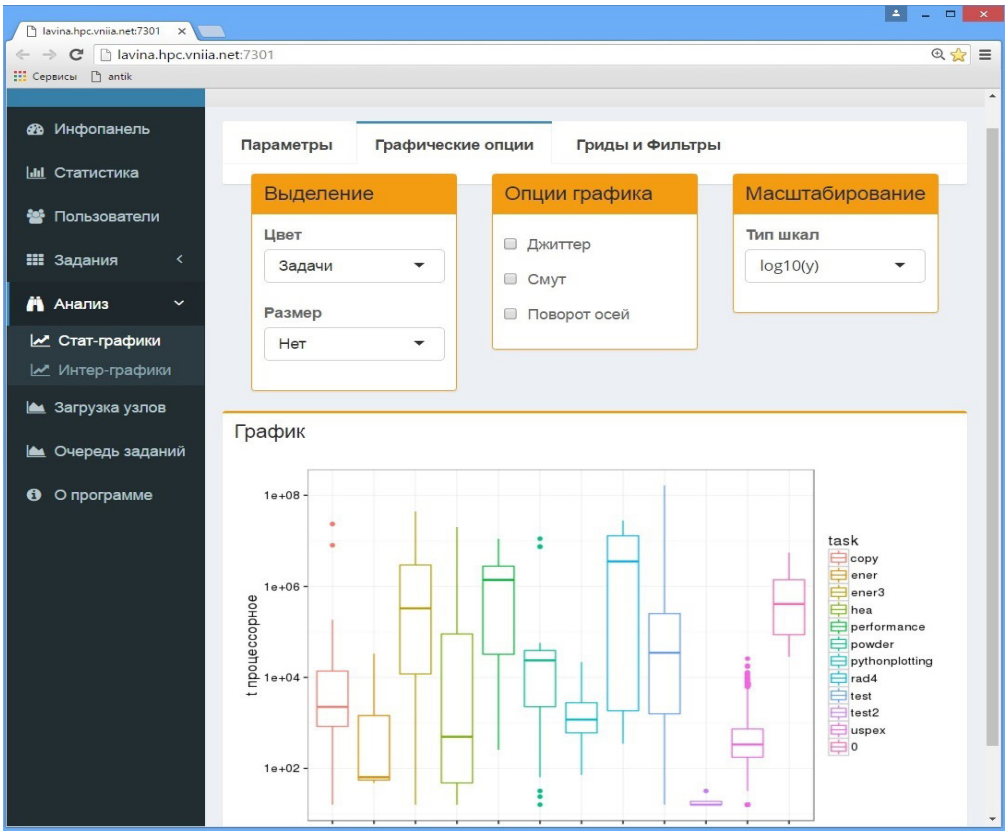


Рис. 3. Скриншот экрана chrome с одной из панелей системы АНТИК

аналитику, для решения исследовательских задач значительно более гибок, нежели предоставление большой готовой программы на «все случаи жизни» (как известно, всех случаев предугадать невозможно).

Таким образом, простые идеи в сочетании с мощными современными инструментами разработки приложений сделали систему «АНТИК» важным инструментом поддержки производственных расчётов, проводимых на высокопроизводительных вычислительных комплексах научной организации. К настоящему времени система на предприятии эксплуатируется уже 2 года, а в IV квартале 2017 г. запланирован выпуск её «отчуждаемой» дистрибутивной версии для установок в любых организациях, использующих планировщик slurm.

Библиографический список

1. Адинец, А. Jobdigest — подход к исследованию динамических свойств задач на суперкомпьютерных системах / А. Адинец, П. Брызгалов, В. Воеводин, С. Жуматий, Д. Никитенко, К. Стефанов // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2013. № 17, вып. 2 (55). С. 131–137.

2. Иванов, К. В. Разработка методов обнаружения неэффективной работы параллельных приложений / К. В. Иванов // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ’2015) : тр. междунар. науч. конф., 31 марта — 2 апреля 2015 г., Екатеринбург. Челябинск : Издат. центр ЮУрГУ, 2015.

3. Top500 [Электронный ресурс]. URL: http://www.top500.org

4. Yoo, A. B. SLURM: Simple Linux utility for resource management / A. B. Yoo, M. A. Jette, M. Grondona // Job Scheduling Strategies for Parallel Processing : 9th International Workshop, JSSPP 2003. Berlin : Springer, 2003. P. 44–60. DOI: 10.1007/10968987_3

5. Петунин, С. А. Разработка статистических методов анализа исторических данных HPC-систем / С. А. Петунин // Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное. Россия, 24 – 28 февр 2016 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016 С. 30–33.

Сведения об авторе

Петунин Сергей Александрович — кандидат физико-математических наук, главный специалист, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова, Москва. *s.a.petunin@gmail.com*

S. A. Petunin

SOFTWARE REQUIREMENTS FOR CLASSIFICATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF SUPERCOMPUTER CALCULATING TASKS

Development of autonomous statistical services with enhanced identification of calculating tasks provides new opportunities for assessing the effectiveness of multiprocessor system resources use. The paper describes the basic structure of the cross-platform statistical data package Antique. The requirements arising from the specifity of production calculations, including the task of analyzing user applications for the unified scheduler historical data base are being defined.

УБК 321
УДК 621.310

М. Ю. Подлесных, А. С. Боровский

РАСШИРЕННАЯ МОДЕЛЬ ШУХАРТА — ДЕМИНГА В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Рассмотрен системный подход к задаче оптимизации и распределения электроэнергии на основе расширенной модели Шухарта — Деминга.

Введение

В современных рыночных условиях электроэнергетика — это одна из важнейших отраслей российской экономики, развитию которой уделяется большое внимание как со стороны правительства РФ, так и со стороны деятелей науки и техники.

В 2011 г. Указом Президента РФ № 899 были утверждены «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации». В соответствии с данным указом одними из критических технологий Российской Федерации признаны технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.

В последние годы в данном направлении реализован ряд существенных преобразований: была преобразована система государственного регулирования, появились оптовый и розничный рынок электроэнергии, произведено структурное разделение участников рыночных взаимоотношений. С помощью произошедших реформ была изменена структура вертикальной подчинённости отрасли, созданы автономные организации, специализирующиеся на отдельных видах деятельности. Общая структура электроэнергетики России представлена на рис. 1.

В соответствии с проведёнными реорганизациями были выделены: Федеральная сетевая компания (ФСК), межрегиональные распределительные сетевые компании (МРСК), а также региональные и ведомственные электрические сети (РСК и ВСК).

В отдельных распределительных линиях 0,4–10,0 кВ некоторых РСК и ВСК фактические относительные потери электроэнергии уже достигают 30–40 %, и в нашей дальнейшей работе мы будем рассматривать именно этот тип сетевых компаний.

В различных источниках [1; 3; 5–7] потери электроэнергии классифицируют неоднозначно, но общую их структуру можно представить следующей схемой (рис. 2).

По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстата), абсолютные фактические потери электроэнергии в электрических сетях России составляют около 120 млрд кВт · ч в год [2].

Если не предпринимать активных усилий по сдерживанию роста потерь электроэнергии, этот рост будет продолжаться уже в ближайшем будущем в связи с повышением тарифов на электроэнергию и сопутствующей мотивацией потребителей к безучётному потреблению электроэнергии, а также в связи с неоптимальной загрузкой электрических сетей, дополнительными потерями из-за низкого качества электроэнергии и т. п. Наличие указанных размеров потерь объясняется следующими факторами:

– значительный моральный и физический износ электросетевого оборудования;

Рис. 1. Общая структура энергетики России

Рис. 2. Структурная схема потерь электроэнергии

– неоптимальный режим работы электрических сетей по уровням напряжения и реактивной мощности;

– использование несовершенных расчётных методов определения количества отпущенной и потреблённой электроэнергии при отсутствии приборов учёта;

– несовершенство нормативной базы для эффективной борьбы с хищениями электроэнергии;

– недопустимые погрешности измерений объёмов электроэнергии, поступившей в электрические сети и отпущенной из электрических сетей;

– несовершенство системы снятия показаний приборов учёта и выставления счетов за потреблённую электроэнергию;

– рост бездоговорного и безучётного потребления электроэнергии (хищений) в связи с ростом тарифов на электроэнергию и ряд других причин.

Значительное превышение фактических потерь над технологически обоснованными требует системного подхода к решению этой проблемы на долговременной и постоянной основе. Передовой зарубежный опыт показывает, что даже при сравнительно благополучных относительных потерях электроэнергии в сетях отдельных зарубежных электрокомпаний временное ослабление внимания к ним неизменно приводит к росту потерь [2].

Изучению и детальному исследованию вопросов оптимизации передачи и распределения электроэнергии посвящены работы многих авторов — Ю. С. Железко, В. Э. Воротницкого, И. Ю. Москвитина, В. М. Пейзель, А. С. Бердина, А. С. Иванова, В. И. Идельчика, В. Н. Казанцева, М. С. Левина, О. И. Гревцова, Т. Б. Лещинской, Н. С. Маркушевича, А. В. Паздерина, В. В. Красник, и др.

Работы вышеуказанных учёных в основном направлены на идентификацию и фиксацию объёмов потерь, без дальнейшего анализа и принятия решений по режимам работы и балансам сетей, в то время как использование современных информационных технологий даёт возможность получать дополнительную информацию о схемах и режимах электрических сетей, использование которой при анализе потерь электроэнергии требует дополнительных исследований с целью разработки эффективных методов работы.

В связи со сложившейся ситуацией в настоящее время, задачи оптимального распределения и передачи электроэнергии, являются актуальными.

Основная часть

Являясь главным и незаменимым источником информации для дальнейшего принятия решений по сокращению технических и коммерческих потерь электроэнергии, сами автоматизированные и информационные системы нуждаются в постоянном совершенствовании и оптимизации, поскольку в процессе их эксплуатации меняются технические характеристики оборудования, компоновка и структура самих электросетей, средств учёта электроэнергии, а также требования законодательства и нормативно-технической документации в области учёта электрической энергии.

В рамках данной тематики исследований была разработана расширенная модель (EPDCA) оптимизации бизнес-процессов сетевых предприятий, на базе PDCA-модели Шухарта — Деминга, представленной на рис. 3 [4].

Реализация расширенного цикла PDCA позволяет непрерывно осуществлять процесс постоянного мониторинга и сокращения потерь электроэнергии (ЭЭ) на сетевом предприятии. Представленная расширенная модель состоит из 4 повторяющихся последовательных блоков:

– планирование (Plan);
– выполнение (Do);
– проверка (Check);
– корректировка (Act).

Цикл Шухарта — Деминга предлагается использовать для улучшения как самого бизнес-процесса передачи электроэнергии, так и для автоматизированных распределительных систем учёта электросетевых предприятий.

Для данной предметной области введём понятие «метрики» как «объём потерь электроэнергии» (Wпэ), под которой будем понимать:

– объём потерь электроэнергии вычисляется как разность полученной в сеть (участок сети)

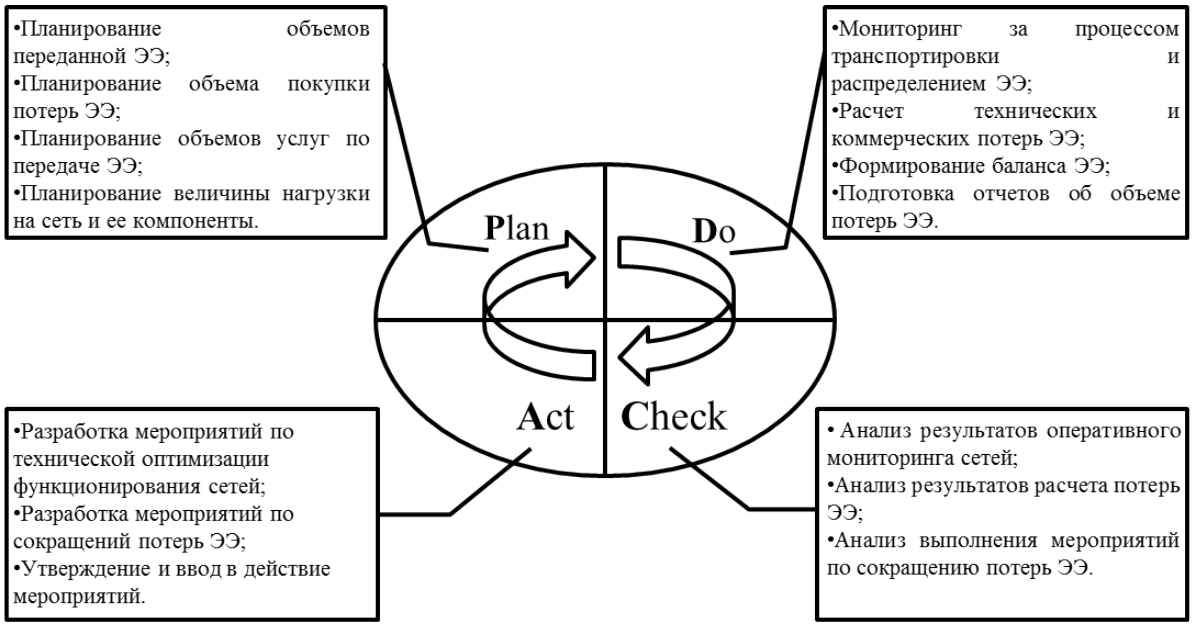


Рис. 3. Расширенная модель EPDCA оптимизации транспортировки и распределения электроэнергии

электроэнергии (Wпол) и переданной электроэнергии конечным пользователями (Wпер);

– Wпол — устанавливается в карточке (согласно методики Шухарта — Деминга) процесса передачи и распределения электроэнергии автоматически при его создании в информационной системе, автоматизирующей процесс;

– Wпер — устанавливается в карточке процесса автоматически при проведении замеров на участке сети;

– при вычислении объёма потерь электроэнергии подсчитывается количество электроэнергии и процентное соотношение, которые потом сравниваются с нормативно обоснованными объёмами потерь электроэнергии.

На рис. 4 представлен жизненный цикл передачи и распределения электроэнергии.

Согласно разработанной расширенной модели Шухарта — Деминга дадим определения последовательным блокам из рис. 3:

1. Планирование — формализованный этап процесса. Определение ряда количественных и качественных значений и ограничений.

2. Выполнение — физический процесс передачи и распределения электроэнергии, мониторинг процесса, обработка результатов мониторинга, подготовка и вывод информации о результатах процесса.

3. Проверка — анализ результатов мониторинга процесса. Проверка выполнения заданных условий и ограничений, сформированных и установленных на этапе «Планирование».

4. Корректировка — разработка и реализация мероприятий по оптимизации потерь и режима работы сетей.

После того как завершён предыдущий этап «Выполнение», необходимо построить контрольную карту исследуемого процесса на основании полученных данных. Контрольные карты бывают различных видов и отличаются выбором статистик, которые используются для вычисления параметров процесса. Под статистикой подразумевается некое значение, полученное в результате измерений. Некоторые примеры статистик:

непосредственное значение измерения X (I — ток, U — напряжение, Hz — частота сети, P — мощности, R — удельное сопротивление (активное), объём потерь электроэнергии и т. д.);

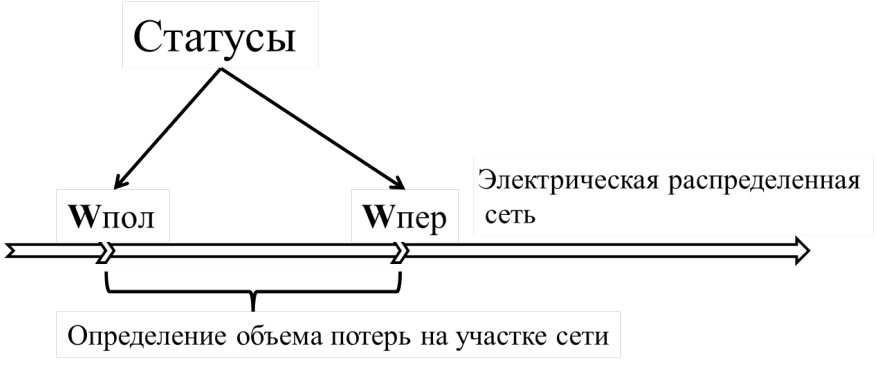


Рис. 4. Жизненный цикл процесса передачи и распределения электроэнергии

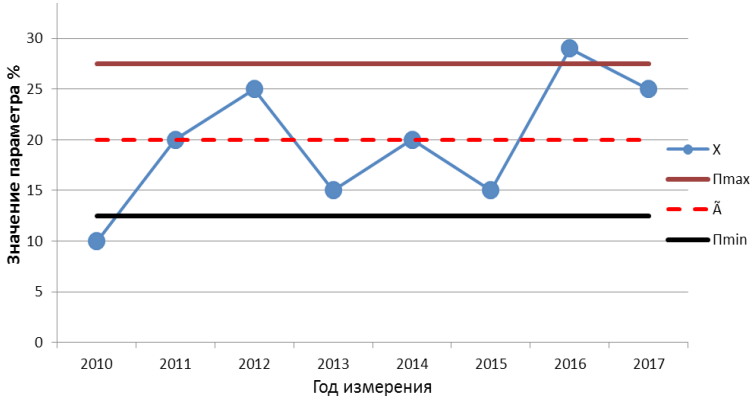


Рис. 5. Контрольная карта исследуемой предметной области

– среднее значение группы измерений Ã;

– размах группы измерений (M).

В процессе исследования технологии передачи и распределения электроэнергии была обработана статистика потерь электроэнергии при её передаче и распределении в ведомственной сетевой компании (ВСК) ООО «Газпромэнерго» на линиях электропередачи 10–0,4 кВ.

Для получения исходных данных при проведении исследований были проанализированы населённые пункты с потребителями электроэнергии (юридическими и физическими лицами), а также смежными распределительными сетевыми компаниями в Астраханской, Вологодской, Оренбургской, Рязанской, Самарской, Саратовской, Тульской, Тюменской областях, Ямало-Ненецком автономном округе и Республике Коми.

На основании полученных статистических данных разработана контрольная карта процесса передачи и распределения электроэнергии, которая представлена на рис. 5.

На вертикальной оси откладывается суммарное значение потерь электроэнергии за отчётный период по указанным регионам — значение статистики процесса. На горизонтальной оси — хронология изменения величины значений потерь электроэнергии по годам начиная с 2010 г.

Также на графике присутствуют три линии:

– среднее значение статистики Ã, иначе называемое математическим ожиданием;

– верхний контрольный предел обоснованных потерь электроэнергии ($П_{max}$);

– нижний контрольный предел обоснованных потерь электроэнергии ($П_{min}$);

Ã — вычисляется как среднее арифметическое всех значений измерений.

Разработанная контрольная карта интерпретируются следующим образом:

– если на контрольной карте существуют значения потерь электроэнергии, лежащие вне контрольных пределов, то почти наверняка имеет место особая причина, необходимо выявить её и устранить;

– если изменяющиеся значения потерь электроэнергии лежат внутри контрольных пределов, то можно переходить к анализу других критериев оптимизации процесса передачи и распределения электроэнергии.

Таким образом, контрольная карта показывает нам, на какие результаты процесса следует обратить особое внимание. Причём если контроль процесса ведётся постоянно то, устранение особых причин ведёт к общему снижению вариабельности, а следовательно — к повышению качества процесса передачи и распределения электроэнергии в электрических сетях.

Из контрольной карты процесса передачи и распределения электроэнергии видно, что значения потерь в ведомственной сетевой компании ООО «Газпромэнерго» являются динамической во времени величиной и требуют дополнительного анализа закономерностей, причин возникновения и методов их сокращения.

Заключение

В ходе проведённых исследований были получены следующие основные результаты:

– предложено адаптировать расширенную модель Шухарта — Деминга к задачам оптимизации передачи и распределения электроэнергии;

– разработана и представлена контрольная карта процесса передачи и распределения электроэнергии для определения эффективности жизненного цикла и анализа процесса.

Библиографический список

1. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии : рук. для практ. расчётов / Ю. С. Железко. М., Энас, 2009. 456 с.

2. Воротницкий, В. Э. Снижение потерь электроэнергии — важнейший путь энергосбережения в электрических сетях / В. Э. Воротницкий // Энергосбережение. 2014. № 3. С. 61–64.

3. Сапронов, А. А. Анализ структуры коммерческих

потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях / А. А. Сапронов // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 4. С. 47–49.

4. Статистическое управление процессами: оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта. М. : Альпина Паблишер, 2016. 409 с.

5. Москвитин, И. Ю. Методы и алгоритмы принятия решений в системах контроля и учёта электроэнергии и профилактики потерь в секторе индивидуального жилья : дис. ... канд. техн. наук / И. Ю. Москвитин. Рязань, 2008. 185 с.

6. Красник, В. В. 101 способ хищения электроэнергии / В. В. Красник. М. : Энас, 2005. 112 с.

7. Пейзель, В. М. Развитие методов расчёта и анализа потерь электроэнергии в сетях распределительных сетевых компаний ВАК : дис. ... канд. техн. наук / В. М. Пейзель. Ставрополь, 2009. 174 с.

Сведения об авторах

Подлесных Максим Юрьевич — заместитель директора Оренбургского филиала ООО «Газпромэнерго», Оренбург. ofgpe@rambler.ru

Боровский Александр Сергеевич — доктор технических наук, доцент, заместитель директора Института управления рисками и комплексной безопасности, Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург. borovski@mail.ru

---

M. Yu. Podlesnykh, A. S. Borovsky

EXTENDED MODEL THE SHEWHART-DEMING IN TASKS TRANSMISSION OPTIMIZATION AND DISTRIBUTION ELECTRICITY

Reviewed a systematic approach to the problem of optimization and distribution of electricity on the basis of the extended model the Shewhart — Deming.

ББК И361-7-5
УДК 622.24-5

М. Ю. Сапожникова, М. М. Гаянова, А. М. Вульфин

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ФИЛЬТР АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ

Рассмотрен вопрос применимости нейросетевого фильтра на основе вейвлет-разложения Хаара для фильтрации акустических сигналов нефтедобывающей скважины. По результатам моделирования предложенный фильтр способен восстанавливать сигнал при соотношении сигнал/шум до –15 дБ, что значительно превышает возможности других типов фильтров. Нейросетевая структура позволяет эффективно реализовать фильтр на микропроцессоре. Для аппаратной реализации выбран микропроцессор фирмы Texas Instruments SM320F28335-HT.

Введение

Современные нефтедобывающие скважины оснащены комплексом микропроцессорных систем (МПС) и системой измерительных датчиков для фиксации параметров, критичных для функционирования скважины. С целью получения корректных показаний датчики должны располагаться значительно глубже электроцентробежного насоса (ЭЦН) и остальных микропроцессорных систем. Канал связи между МПС и наземной станцией управления установкой можно организовать посредством акустического канала [1–4]. В отличие от геофизического кабеля система измерительных зондов с акустическим каналом не будет нуждаться в периодическом извлечении при проведении ремонтных работ погружного оборудования, что способствует снижению стоимости эксплуатации всей системы в целом [1; 3; 5].

Анализ структуры системы передачи данных с использованием акустического канала

Структура систем передачи данных с использованием акустического канала предполагает наличие двух модулей: МПС передатчика и приёмника. При этом передатчик должен представлять собой автономную систему с ограниченным зарядом аккумулятора, которая извлекается из скважины только при исчерпании ресурса аккумулятора. Для достижения наибольшей эффективности система измерительных зондов вместе с МПС передатчика должна извлекаться как можно реже. Это накладывает ограничение на возможную мощность передаваемого сигнала, которая как минимум не должна превышать мощности шума, создаваемого ЭЦН. Наличие шумов приводит к необходимости применения сложных алгоритмов фильтрации сигналов. От сложности алгоритма фильтрации будет зависеть сложность МПС. Кроме того, при проектировании системы следует учитывать работу устройства в условиях агрессивной среды: высокой температуры, давления, вибраций и пр. Таким образом, целью исследования является выбор наиболее эффективного в условиях ограниченных вычислительных ресурсов алгоритма фильтрации сигналов, передаваемых по акустическому каналу на станцию управления нефтедобывающей скважиной.

Структурная схема обработки сигнала, передаваемого на станцию управления от МПС погружного оборудования, представлена на рис. 1.

Передатчик акустического канала формирует кадр сообщения в соответствии со стандартом магистрального интерфейса [6] и кода Манчестер-II для передачи через акустический канал на частоте 1 кГц. Приёмник регистрирует непрерывный сигнал. Затем решается задача синхронизации передатчика и приёмника с использованием, например, подхода [7]. Далее производится фильтрация сигнала в соответствии с выбранным алгоритмом. В завершение из полученного восстановленного и очищенного от помех сигнала извлекается битовая последовательность.

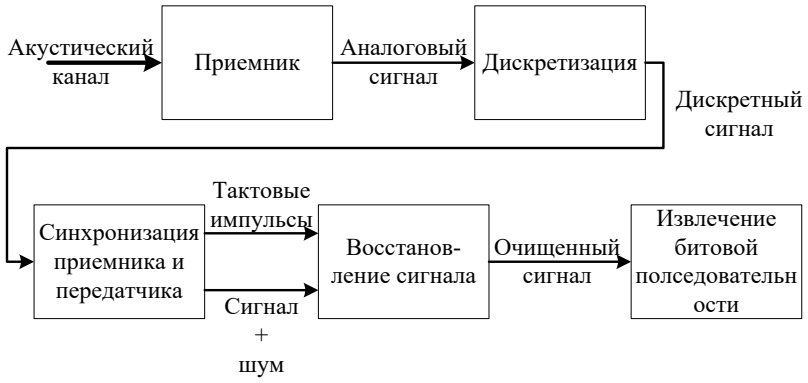


Рис. 1. Структурная схема обработки акустических сигналов

Особый интерес в условиях ограниченных вычислительных ресурсов МПС представляет задача фильтрации сигнала и восстановления последовательности импульсов используемой схемы физического кодирования (см. рис. 1).

Структура нейросетевого фильтра на основе вейвлет-разложения Хаара

В качестве алгоритма фильтрации акустических сигналов и восстановления последовательности импульсов предлагается использовать нелинейный фильтр на основе вейвлет-разложения Хаара. Преимуществом такого цифрового фильтра является возможность реализации в виде нейронной сети прямого распространения, что позволяет использовать эффективную вычислительную схему посредством параллельных вычислений [8–13]. Кроме того, материнский вейвлет Хаара имеет форму одиночного импульса, позволяющую эффективно восстанавливать сообщение, сформированное с использованием схемы физического кодирования Манчестер-II [14; 15].

Результатом работы разложения Хаара являются коэффициенты A^n — коэффициенты аппроксимации и D^n — коэффициенты детализации, где n — уровень разложения. Обнуление некоторых из полученных коэффициентов позволит очистить сигнал от шумов, существенно не изменив при этом исходный сигнал. Для восстановления формы сигнала были дифференцированы отсчёты очищенного сигнала, соответствующие информационным переходам исходного сигнала через нулевой уровень. Описанную последовательность действий можно представить в виде следующей схемы (рис. 2).

Преимущество нейросетевой реализации заключается в параллельной организации вычислений. Разработанная нейронная сеть имеет следующую структуру: входной слой, 5 скрытых слоёв и выходной слой. Входной слой $x_1, \ldots, x_n$ получает отсчёты исходного сигнала. Количество скрытых слоёв зависит от количества уровней разложения. Для данной задачи экспериментально выбрано 5 уровней разложения. Большее число уровней разложения сглаживает сигнал и возможно только при наличии достаточно большого количества отсчётов, затрудняя последующую обработку. При меньшем количестве уровней разложения дальнейшая обработка невозможна из-за недостаточного очищения сигнала. Количество нейронов выходного слоя сети соответствует количеству нейронов входного слоя. В качестве функции активации нейронов h_i для обнуления незначащих коэффициентов разложения использована функция вида

$$f_{h_i}(s) = \begin{cases} s, & s > \theta; \\ 0, & \text{прочее}, \end{cases}$$

где θ — порог фильтрации.

Веса нейронов h_i заданы в соответствии с матрицей вейвлет-преобразования для вейвлета Хаара, где размер матрицы завит от размерности входного вектора отсчётов X [16]:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & & & \ldots & \ldots \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & & & & \\ & & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & & \\ \ldots & & & & & \ldots \\ & & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & & \\ \ldots & & \ldots & & \ldots & \end{bmatrix}.$$

Таким образом, нейросетевой фильтр на основе вейвлет-разложения Хаара может иметь структуру, представленную на рис. 3.

Такая структура нейронной сети позволит качественно очистить сигнал от шумов, не искажая при этом полезную информацию.

Вычислительный эксперимент

Вычислительный эксперимент был проведён в среде MathLab. Для этого был сформирован сигнал в коде Манчестер-II с заданной частотой дискретизации. После чего к сформированному сигналу был добавлен белый гауссовский шум. Эксперимент был проведён несколько раз для разного соотношения сигнал/шум, начиная от соотношения 0 Дб до –15 Дб. Затем к полученному сигналу применялся предлагаемый алгоритм фильтрации. После процедуры фильтрации сигнал был восстановлен при помощи описанного выше алгоритма дифференциального восстановления. На рис. 4 представлен результат работы алгоритма фильтрации на основе разложения Хаара при соотношении сигнал/шум = 0 Дб.

Было проведено сравнение различных нелинейных алгоритмов фильтрации с предлагаемым решением. Для сравнения были выбраны следующие алгоритмы: адаптивный фильтр на основе метода наименьших квадратов [17; 18], медианный фильтр

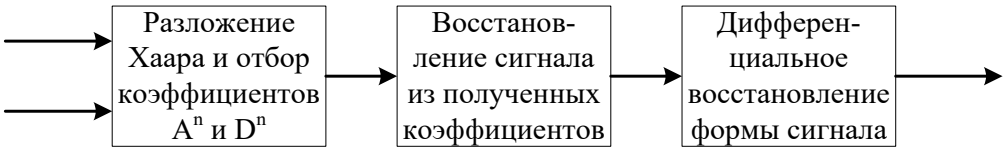


Рис. 2. Схема восстановления сигнала:
A^n — коэффициенты аппроксимации, D^n — коэффициенты детализации, n — показатель уровня разложения

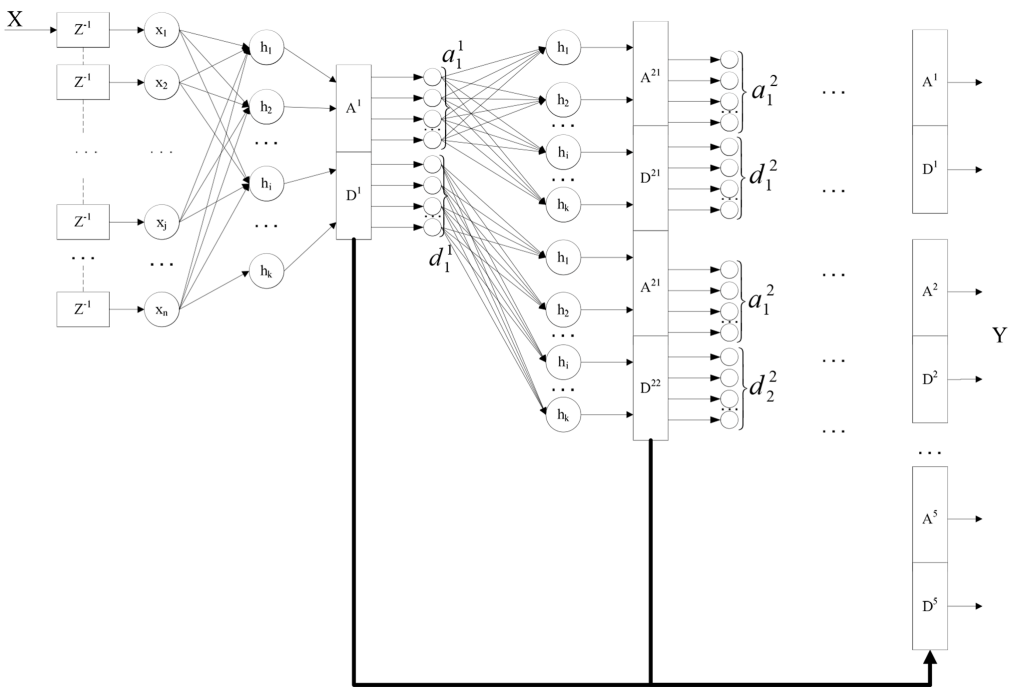


Рис. 3. Структура нейронной сети:
X — входной сигнал, Z^{-1} — элемент единичной задержки, x_1, ..., x_n — вектор, составленный из отсчётов сигнала, причём n кратно 2, h_i — нейрон с весовыми коэффициентами, образованными элементами матрицы H, Y — выходной сигнал

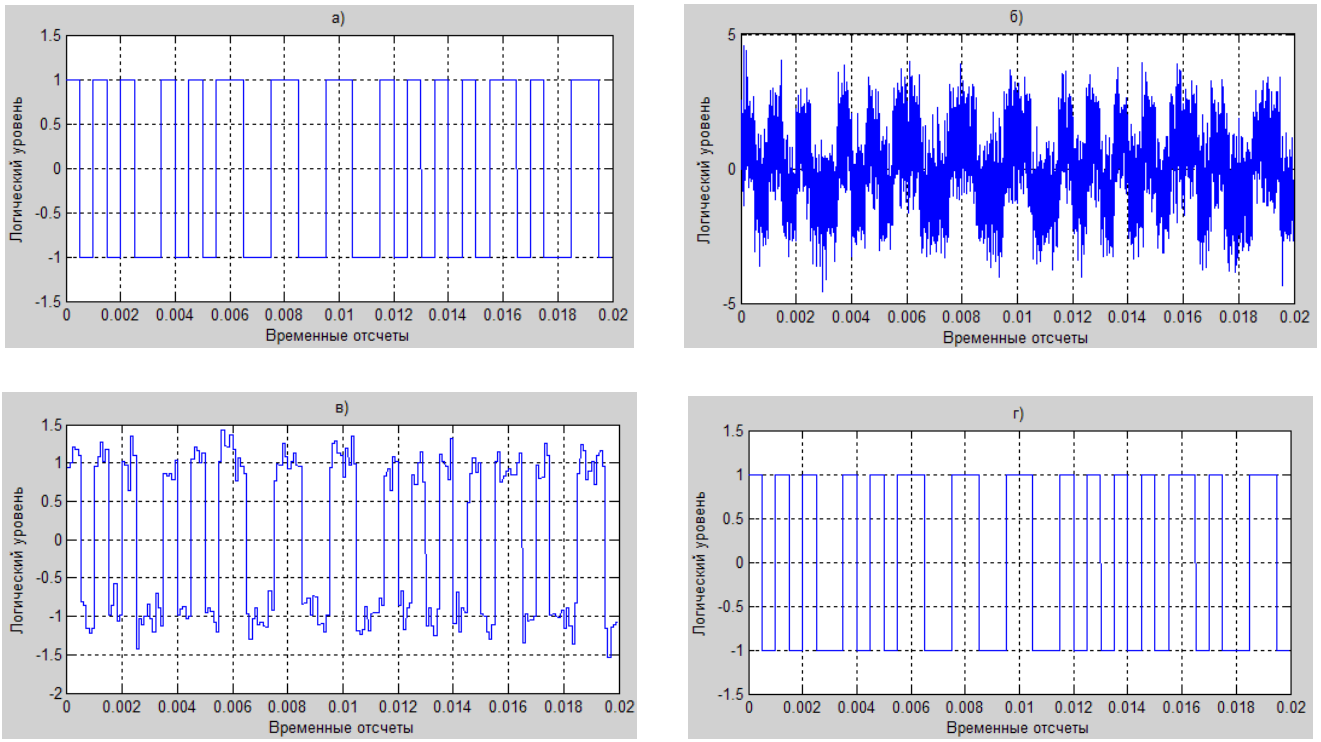


Рис. 4. Этапы обработки сигнала:
а) закодированная информационная последовательность битов в коде Манчестер-II; б) исходный сигнал, зашумленный аддитивным белым гауссовским шумом при соотношении сигнал/шум = 0 Дб;
в) сигнал на выходе нейросетевого фильтра на основе вейвлет-разложения Хаара; г) восстановленный сигнал посредством дифференцирования участков сигнала в момент его перехода через ноль

с несколькими проходами при разных размерах апертуры [18]. Сравнение результатов работы алгоритмов приведено на рис. 5 в виде графика, отображающего зависимость количества ошибок в восстановленном сигнале при разном соотношении сигнал/шум.

Вычислительный эксперимент, результаты которого представлены на рис. 5, показал, что нейросетевой фильтр на основе вейвлет-разложения Хаара способен безошибочно восстанавливать исходный сигнал даже при соотношении сигнал/шум = –15 дБ. Что касается медианного фильтра, то фильтр на его основе безошибочно восстанавливает сигнал только при соотношении сигнал/шум до –4 дБ. Адаптивный фильтр на основе алгоритма наименьших квадратов — при соотношении сигнал/шум до –2 дБ.

Наихудшие результаты в вычислительном эксперименте показал адаптивный фильтр на основе наименьших квадратов, при этом его вычислительная сложность равна O(2N) [17; 19]. Медианный алгоритм и стандартное вейвлет-разложение Хаара обладают одинаковой вычислительной сложностью — $O(N^2)$ [20; 21]. Однако вейвлет-разложение реализовано в нейросетевой форме. Поскольку основной вычислительной операцией нейронных сетей прямого распространения является умножение матрицы на вектор, которая эффективно подвергается параллелизации, то вычислительная сложность алгоритма фильтрации при такой реализации может быть сведена до оценки O(N) [22]. Сравнение алгоритмов приведено в табл. 1.

Таким образом, использование нейросетевого фильтра на основе вейвлет-разложения Хаара позволяет эффективно использовать ресурс аккумулятора передатчика акустического канала, поскольку

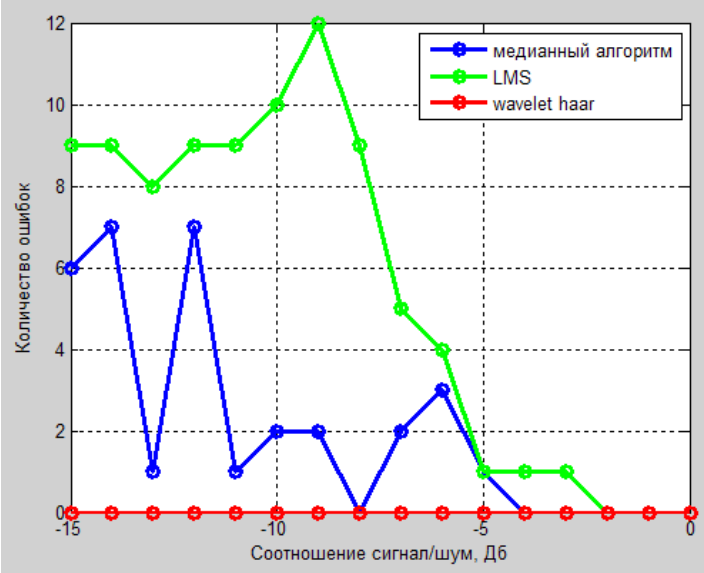


Рис. 5. Сравнение количества неверно восстановленных битов информационной последовательности разных нелинейных алгоритмов

Таблица 1

Сравнение нелинейных алгоритмов

Фильтр	Количество ошибок при соотношении сигнал/шум, дБ				Вычислительная сложность	Примечания
	0	–5	–10	–15		
Нейросетевой на основе вейлет-разложения Хаара	0	0	0	0	O(N)	Высокоэффективное распараллеливание алгоритма
Адаптивный алгоритм на основе МНК	0	1	10	9	O(2N)	Зависимость длительности переходного процесса и остаточной ошибки в установившемся состоянии от соотношения собственных чисел корреляционной матрицы входного сигнала адаптивного фильтра
Медианный алгоритм	0	1	2	6	$O(N^2)$	В основе алгоритма лежит процесс многократной сортировки, поэтому он не требует специализированного вычислительного ядра

Таблица 2

Параметры выбранных микроконтроллеров

Микроконтроллер	Производительность ЦП, MFLOPS	Объём ОЗУ, Кб	Объём ПЗУ, Кб	АЦП	Температурный режим, ˚С
SM320F28335-HT	500	64	1024	12р, 12 МГц	–55…+220
SM470R1B1M-HT	300	34	256	10р, 0,6 МГц	–55…+220
C8051F528	25	0,2	8	10р, 0,05 МГц	–40…+125
PIC24HJ64GP502	20	8	64	10р, 1,1 МГц	–40…+150

реализация данного алгоритма способствует корректному восстановлению информации даже при соотношении сигнал/шум = –15 дБ и обладает наименьшей вычислительной сложностью по сравнению с остальными алгоритмами.

Для реализации выбранного алгоритма фильтрации был выбран микроконтроллер SM320F28335-HT по методу анализа иерархий [23]. Выбор производился среди контролеров SM320F28335-HT, SM470R1B1M-HT, C8051F528, PIC24HJ64GP502 и осуществлялся по следующим характеристикам: объёмы ОЗУ, ПЗУ, частота дискретизации АЦП, способность работы в агрессивной среде, производительность. Параметры выбранных контроллеров приведены в табл. 2.

Выбранный микроконтроллер обладает всеми необходимыми параметрами для реализации нейросетевого фильтра на основе вейвлет-разложения Хаара в агрессивных условиях нефтедобывающей скважины.

Выводы

1. Применение нейросетевого фильтра на основе вейвлет-разложения Хаара позволяет безошибочно восстанавливать сигнал при соотношении сигнал/шум до –15 дБ. Другие нелинейные алгоритмы, рассмотренные в статье, безошибочно восстанавливают сигнал только при соотношении сигнал/шум до –2 дБ (адаптивный фильтр на основе метода наименьших квадратов) и –4 дБ (медианный алгоритм с двойным прогоном при разных размерах апертуры фильтра).

2. Реализация в виде нейронной сети позволяет использовать параллельную форму алгоритма в силу того, что основной операцией нейронных сетей является умножение матрицы на вектор. Параллельная реализация позволит уменьшить время расчёта.

3. Для реализации предлагаемого фильтра выбран сигнальный микропроцессор фирмы Texas Instruments SM320F28335-HT, имеющий необходимые характеристики для работы алгоритма.

Библиографический список

1. Пат. России № 2 489 570. Система передачи данных для мониторинга за процессом добычи углеводородов / Р. И. Алимбеков, И. Р. Енгалычев. 2012. Бюл. № 22.

2. Пат. России № 99 552. Скважинная телеметрическая система контроля работы перекачивающего оборудования / М. Я. Либкин, В. В. Орлов. 2010. Бюл. № 32.

3. Пат. России № 2008 130 459. Способ измерения внутрискважинных параметров / В. М. Осадчий, В. А. Леонов. 2010. Бюл. № 3.

4. Исследование пластов добывающих скважин с использованием акустического канала связи [Электронный ресурс] // НИИ «СибГеоТех». URL: http://www.oil-info.ru/content/view/209/51

5. Леонов, И. В. Контроль над разработкой и исследованием эксплуатационных объектов с помощью автономных манометров / И. В. Леонов // Наука и производство. 2011. № 5. С. 66–71.

6. ГОСТ 26765.52–87. Интерфейс магистральный последовательный системы электронный модулей. М., 1987. 29 с.

7. Давыдов, А. В. Синхронизация кода Манчестер-II на выходе каротажного / А. В. Давыдов // Урал. геофиз. вестн. 2005. № 7. С. 83–92.

8. Степанов, А. Б. Применение нейронных сетей при синтезе вейвлетов для непрерывного вейвлет-преобразования / А. Б. Степанов // Науч.-техн. ведомости С.-Петерб. гос. политехн. ун-та. Физ.-мат. науки. 2013. № 1. С. 39–44.

9. Cordova, J. Two types of Haar wavelet neural networks for nonlinear system identification / J. Cordova, W. Yu // Neural Process Lett. 2012. № 35. С. 283–300.

10. Ashok, V. The Fast Haar Wavelet Transform for Signal & Image Processing / V. Ashok, T. Balakumaran // International J. of Computer Science and Information Security. 2010. № 1. С. 126–130.

11. Thuillard, M. A review of wavelet networks, wavenets, fuzzy wavenets and their applications / M. Thuillard // ESIT, Aachen, 14–15 September 2000. Aachen, 2000. С. 5–16.

12. Lahmiri, S. Wavelet low- and high-frequency components as features for predicting stock prices with backpropagation neural networks / S. Lahmiri // J. of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2014. № 26. С. 218–227.

13. Фрид, А. И. Интеллектуальный анализ технологических временных рядов в проблеме диагностики инженерной сети / А. И. Фрид, А. М. Вульфин, В. М. Гинниятуллин // Нейроинформатика 2013 : сб. тр. XV Всерос. науч.-техн. конф. : в 2 ч. Ч. 2. М. : МИФИ, 2013. С. 83–94.

14. Штарк, Г.-Г. Применение вейвлетов для ЦОС / Г.-Г. Штарк. М. : Техносфера, 2007. 192 с.

15. Смоленцев, Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. К. Смоленцев. М. : ДМК-Пресс, 2014. 628 с.

16. Воробьёв, В. И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В. И. Воробьев, В. Г. Грибунин. СПб., 1999. 204 с.

17. Джиган, В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы / В. И. Джиган. М. : Техносфера, 2013. 528 с.

18. Тропченко, А. Ю. Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки : учеб. пособие по дисциплине «Теоретическая информатика» / А. Ю. Тропченко, А. А. Тропченко. СПб., 2009. 100 с.

19. Малахов, В. П. Оценка вычислительной сложности адаптивных алгоритмов на основе метода наименьших квадратов / В. П. Малахов // Тр. Одес. политехн. ун-та. 2008. Т. 29, № 1. С. 158–161.

20. Бардин, Б. В. Быстрый алгоритм медианой фильтрации / Б. В. Бардин // Науч. приборостроение. 2011. Т. 21, № 3. С. 135–139.

21. Копенков, В. Н. Эффективные алгоритмы локального дискретного вейвлет-преоразования с базисом Хаара / В. Н. Копенков // Компьютер. оптика. 2008. Т. 32, № 1. С. 78–84.

22. Параллельные методы умножения матриц на вектор [Электронный ресурс] // НОУ «ИНТУИТ». URL: http://www.intuit.ru/studies/courses/1156/190/lecture/4952

23. Технология принятия решений: метод анализа иерархий [Электронный ресурс] // ЗАО «НЕЙРОСПЛАВ». URL: http://citforum.ru/consulting/BI/resolution

Сведения об авторах

Сапожникова Мария Юрьевна — магистрант, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа.

Гаянова Майя Марсовна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. maya.gayanova@gmail.com

Вульфин Алексей Михайлович — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и защиты информации, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа.

M. Yu. Sapozhnikova, M. M. Gayanova, A. M. Vulfin

NEURAL NETWORK FILTER OF ACOUSTIC SIGNALS IN THE OIL PRODUCTING WELLS

The paper considers applicability of the neural network filter based on the Haar wavelet decomposition to filtering an oil-well acoustic signals. According to the simulation results, the proposed filter is able to restore the signal with a signal-to-noise ratio up to -15 dB, which is significantly higher than the possibility of other types of filters. Neural network structure allows effectively implementing the filter on the microprocessor. For hardware implementation it is selected the microprocessor SM320F28335-HT of Texas Instruments company.

ББК Ш40
УДК 82-1:004

Е. А. Сидорова, О. И. Боровикова

ПОДХОД К ЖАНРОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВЫХ РЕСУРСОВ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №15-07-04144) и Президиума РАН (проект II.2П/IV.39-1 «Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы»)

Предложены подход к описанию жанровых особенностей текстовых ресурсов и метод жанрового анализа и классификации на основе жанровое модели документа. Рассмотрена архитектуры системы классификации веб-сайтов.

Введение

Решения задач автоматической обработки документов часто опираются на знания о предметной области, об особенностях языка, при этом за рамками рассмотрения остаются особенности жанрового (функционального) представления информации в тексте. Роль жанра при решении задач классификации или семантического анализа документов обычно недооценивается. Знание о жанре документа может помочь при фильтрации входных данных уточнить решение, полученное на базе тематической классификации, выявить логическую структуру повествования и использовать её для построения реферата, извлечения информации, машинного перевода и др. Жанровая информация неявно используются как в случае машинного обучения, так и при построении языковых моделей, включающих жанровую лексику, однако как отдельный компонент знаний в технологии создания систем обработки документов жанр, как правило, не рассматривается.

Классическое определение жанра речевого произведения сформулировано М. М. Бахтиным [4]. Жанр — это типовая модель построения речевого целого. Каждому типу текстового ресурса должна соответствовать жанровая модель, представляющая его «типичную воспроизводимую жанровую форму».

Задача автоматического определения жанра текста в большинстве работ решается на основе статистического подхода с использованием методов машинного обучения, требующих больших размеченных корпусов текстов. Поскольку содержательная жанровая разметка большого корпуса текстов очень трудоёмка, такие классификаторы, как правило, учитывают лишь формальные признаки анализируемых текстов (длина текста в словах, длина предложений в словах, доля символов разных типов, среднее количество слогов в словах, доля глаголов и т. п. [3; 7]) или опираются на html-разметку и анализ URL-ссылок [1; 2].

В данной работе рассматривается жанровая модель документа как часть общей базы знаний, ориентированной на практическое использование при решении задач классификации текстовых ресурсов и извлечения информации из них.

1. Жанровая модель знаний о текстовых ресурсах

Жанровыми признаками, на основании которых мы можем определить принадлежность текстового ресурса тому или иному жанру, являются в первую очередь определённая жанровая лексика и композиционная структура изложения. При моделировании жанра мы опираемся на опыт работ в рамках так называемого индикаторного метода [5], разработанного для квазиреферирования текстов научно-технических статей. В соответствии с этим методом выявление аспектов содержания опирается на специальные словари неключевой внетематической лексики. В нашем подходе такая лексика описывается с помощью жанровых маркеров.

Формально, жанровую модель текста можно описать системой вида

$$GM_T = <g, V_G, V_M, P_G, S>,$$

где g — жанровый тип документа;

V_G — словарь жанровой лексики;

V_M — словарь жанровых маркеров, которые задаются с помощью терминов из V_G;

P_G: $V_M \rightarrow F_S$ — множество жанровых шаблонов, которые связывают маркеры V_M и структурные блоки текста F_S, где каждый блок $fr \in F_S$ имеет тип и определяется начальной и конечной текстовой позицией;

$S = <F_S, R_S>$ — логико-композиционная структура текста, определяемая набором структурных блоков F_S и их взаимосвязи R_S, задающие взаиморасположение в тексте.

Сопоставление конкретного текстового ресурса T модели(ям) может осуществляться по-разному, формально, это отображение вида F_{Gp}: $T \rightarrow 2^{GM}$, интерпретация которого зависит от решаемой задачи.

Мы в рамках наших исследований рассматривали такие задачи, как жанровая классификация веб-сайтов, уточнение тематической классификации ресурса с помощью жанра, анализ жанровой структуры текста и её использование при извлечении информации.

Рассмотрим основные идеи, использованные нами для решения данных задач.

1.1. Жанровые маркеры

Разрабатываемый лексикон *жанровых маркеров* содержит характеристические слова, словосочетания, шаблонные фразы, текстовые клише, определяющие тот или иной аспект содержания. Так, например, фразы «наша команда» или «приём ведут» на сайте организации определяют фрагмент, содержащий список специалистов и персон, занятых в данной организации.

В общем случае маркер формализуется как лексико-грамматический шаблон, например, описанный в работе [6]. Позиции шаблона заполняют словоформы, знаки, лексемы или лексико-семантические группы; возможны позиции факультативные, вариативные, позиции, связанные грамматическими ограничениями с переменными определённого семантического класса (для которых также могут быть указаны значения грамматических характеристик, согласование с определёнными лексемами). В отличие от данного представления в нашем подходе маркеры составляются из терминов предметного словаря; поддерживаются альтернативы (синонимы), совместная встречаемость терминов, а также вложенное использование маркеров.

Маркер может задаваться либо с помощью терминов из словаря, либо с помощью специальных лексических признаков, а также он может выражаться с помощью других маркеров. Маркеры описываются в текстовом формате следующим образом:

marker: [element11, element 12, …] [element 21, element 22, …]…,

где marker — имя определяемого маркера; element ij — либо термин (в кавычках), либо лексический признак, либо имя другого маркера (без кавычек), через который выражается данный маркер.

Считаем, что маркер встречается в тексте, если встречается каждый элемент в одной из его альтернатив. Если элемент описан с помощью термина, то мы считаем, что элемент встречается в тексте, если в нём встречается соответствующий термин. Если элемент описан с помощью специального лексического признака, то мы считаем, что элемент встречается в тексте, если в нём встречается хоть один термин, имеющий данный лексический признак. Если элемент описан с помощью другого маркера, то рекурсивно вычисляется его встречаемость.

В качестве примера рассмотрим маркеры, описывающие аспекты выбора покупателем продукта в интернет-магазине:

действие_выбора: [“переместить”][“перенести”] [“положить”][“добавить”][“перейти”]
вКорзину: [действие_выбора,”в корзину”]

В данном примере представлены два маркера. Маркер *действие_выбора* задаётся набором альтернативных терминов. Маркер *вКорзину* определяется совместной встречаемостью одного из терминов маркера *действие_выбора* и словокомплекса *в корзину*.

1.2. Жанровые шаблоны

Описание шаблона опирается на лексические маркеры и условия их презентации в текстовом фрагменте. При определении жанрового шаблона каждому маркеру сопоставляются:

а) жанровый маркер (или множество альтернативных маркеров);

б) презентационные условия: тип фрагмента (заголовок, абзац, титул страницы, ссылка и др.) и позиция в нём (начало, конец, внутри);

в) тип извлекаемого фрагмента, представляющего блок аспекта (список, следующий за маркером; текст, следующий за маркером до конца абзаца; текст, следующий за маркером до следующего маркера; весь текст страницы и др.).

Таким образом, шаблон фрагмента текста составляется из маркеров с заданными презентационными условиями и в дальнейшем может использоваться как для классификации, так и для сегментации текста.

Разработан следующий формат описания шаблона жанра для жанровой классификации интернет-документов:

genre: [<$marker_{11}$, f_{11}><$marker_{12}$, f_{12}>…] [<$marker_{21}$, f_{21}><$marker_{22}$, f_{22}>…]…,

где *genre* — жанра текста (имя), $marker_{ij}$ — лексический маркер; f_{ij} — структурный фрагмент для соответствующего маркера. Шаблон задаётся набором альтернатив, где каждая альтернатива задаёт совместную встречаемость маркеров с указанием структурных фрагментов, где эти маркеры следует искать. Считается, что текст имеет определённый жанр, если для этого жанра «сработала» одна из альтернатив, описанных в шаблоне, то есть каждый входящий в неё маркер найден в тексте и находится в соответствующем структурном фрагменте.

Например, шаблон для жанра новостной ленты может выглядеть следующим образом:

«новостная лента»: [<_навигацияНовость, all_h>]

где маркер *_навигацияНовость* выражается как

_навигацияНовость: [“главное за сутки”][“главное за сегодня”][“главное за день”][“все новости”][“основные новости”][“последние новости”][“лента новостей”]

а презентационное условие *all_h* означает, что маркер должен располагаться в одном из заголовков интернет-текста.

2. Жанровый анализ

Жанровый анализ осуществляется на основе моделей структурно-жанрового описания текста, которые

задаются с помощью жанровых маркеров и шаблонов, разрабатываемых экспертами.

Рассмотрим данный процесс на примере анализа жанра веб-сайта.

Анализ жанра веб-сайта начинается с извлечения текстового контента и базовой сегментации текста — извлечения структурных блоков логического (абзац, список, предложение) и презентационного (заголовок, меню, подпись к рисунку, выделенный цветом фрагмент и т. п.) уровней.

2.1. Сегментное покрытие текста

В рамках нашего подхода сегментация рассматривается на макроуровне, то есть на уровне всего текста в отличие от сегментации, рассматриваемой в задачах синтаксического анализа (например, [9]), когда предложения разбиваются на совокупность взаимосвязанных фрагментов (обособляемых оборотов, простых предложений в составе сложных).

Процесс сегментации текста опирается как на формально-текстовые, так и на жанровые особенности документа [10], выраженные логико-композиционной структурой текста соответствующей жанровой модели. Формально-текстовая структура документа представлена «полиграфическими» элементами, такими как абзац, строка, предложение, список, или выявляется на основе разметки, присущей определённым форматам текстовых ресурсов (например, теги для html-текста). Жанровые особенности передаются разбиением текста на концептуальные блоки, которые:

1) содержат определённую жанровую лексику,

2) имеют определённую структурную организацию;

3) реализуются в рамках определённых формальных сегментов.

Сегментное покрытие является результатом сегментации текста и одним из способов отображения формальной структуры текста. Покрытие описывается множеством сегментов $s = <t_s, pos_s>$, где каждый сегмент определяется типом t_s, текстовыми позициями pos_s, а также множеством отношений между сегментами, определяющими их взаиморасположение в тексте.

Так, например, описание одной из альтернатив жанра события

[<_типСобытие, all_h><_статусСобытие,text><_датаСобытие, all_h>]

означает одновременное присутствие маркеров: *«конференция»* в заголовке «Основные направления конференции» <_типСобытие, all_h>; *«пройдет»* в тексте «Конференция пройдет в конце мая — начале июня 2017 года в Москве» <_статусСобытие,text>; *«даты приема»* в заголовке «Даты приема доклада» <_датаСобытие, all_h> .

Сегментное покрытие играет особенно важную роль в задачах информационного поиска и извлечения информации — разбиение на жанровые фрагменты помогает сузить область поиска информации определённого вида и, тем самым, повысить качество анализа.

2.2. Жанровая классификация

Для обеспечения жанровой классификации были разработаны принципы построения жанрового рубрикатора на основе прагматических и коммуникативных параметрах в соответствии с типами веба-сайтов и интернет-текстов [8]. В рамках данного подхода выделяемые жанры должны быть внетематичны, что на практике не всегда получается. На основе данных принципов был построен жанровый рубрикатор, классифицирующий веб-ресурсы в соответствии с типами веб-сайтов и интернет-документов.

Предлагаемая процедура жанровой классификации совмещает статистический и экспертный подходы к анализу жанра и опирается на метод вычисления меры принадлежности текста жанру.

Жанр текста определяется с некоторой вероятностью или релевантностью $\overline{P}_j = (p(j_1), ..., p(j_{Nt}))$, где Nj — число всех жанров текстов рубрикатора, $p(j_k)$ — вероятность реализации жанра j_k в тексте, $i = 1, ..., Nj$; $\sum_{k=1}^{N_j} p(j_k) = 1$. Это означает, что для каждого известного жанра вычисляется его «соответствие» текстовому контенту.

В рамках экспертного подхода осуществляют поиск в тексте маркеров и сопоставление их шаблонам, составленных экспертом. Если одному тексту сопоставилось несколько шаблонов жанра, то их релевантность оценивается как $1/n$, где n — общее число определившихся жанров. Если ни один шаблон применить не удалось, то применяется статистический подход. В рамках статистического подхода релевантность текста жанру вычисляется на основе методов машинного обучения. Релевантность (вероятность реализации) жанра j_k оценивается по формуле: $p(j_k) = \sum_{<li,jk>} \alpha_{fi} \cdot w(l_i, j_k)$, где $l_i \in \omega$ — термин словаря ω, найденный в тексте, $<l_i, j_k>$ — связь термина l_i с жанром j_k в словаре, $w(l_i, j_k)$ — вес связи термина l_i с жанром j_k, полученный в процессе обучения, α_{fi} — вес структурного фрагмента, в котором встретился термина l_i.

2.3. Определение жанра сайта

Жанр сайта определяется на основе жанров страниц, составляющих этот сайт. Жанры страниц, которые должны встретиться на сайтах данного жанра, описываются в модели сайта.

Описание жанра сайта имеет следующий формат:

«Имя жанра сайта»: [genre11, genre12, …] [genre21, genre22, …]…,

где в квадратных скобках задаются альтернативы, состоящие из наборов жанров страниц, из совместной встречаемости которых можно сделать вывод о наличии данного жанра у сайта.

Например, жанр интернет-магазина можно задать следующим шаблоном:

«Интернет-магазин»:
[Главная страница магазина, Каталог товаров, Описание товара, СтатусЗаказа]
[Главная страница магазина, Каталог товаров, Описание товара, Корзина, Оплата, Доставка]

В приведённом примере шаблон сайта интернет-магазина описывается набором жанров страниц, включающих корзину покупок и информацию о доставке и оплате, либо набором, в котором эти страницы отсутствуют, но указана страница с информацией о статусе заказа.

В процессе анализа сайта для каждого жанра сайта заполняются переменные $genre_val_{ij}$ значениями, равными максимальной релевантности жанру $genre_{ij}$ среди страниц этого сайта. После чего вычисляется релевантность каждому жанру сайта по формуле

$$rel = \max_i \left(\frac{n_i}{\sum_j \frac{1}{genre_val_{ij}}} \right),$$

где n_i — число жанров страниц в i-й альтернативе. То есть сначала вычисляется релевантность жанру сайта каждой альтернативы по значениям максимальных релевантности жанрам страниц, из которых затем выбирается максимальное значение. В результате получается вектор распределения релевантности сайта жанрам.

2.4. Архитектура системы (схема) жанрового анализа

База знаний системы жанрового анализа веб-сайта включает следующие лингвистические ресурсы:

1. Жанровый рубрикатор:
– рубрикатор (жанры интернет-текстов);
– прагматический рубрикатор (жанры сайтов).
2. Словарь, включающий лексику, характеризующую жанровые особенности документов.
3. Жанровые маркеры и шаблоны.
4. Жанровые модели документов.

Решение задачи анализа текста требует привлечения лингвистических технологий для проведения:
а) графематического анализа (парсер);
б) морфологического анализа слов;
в) сборки многословных конструкций.

Графематический анализ разбивает входной текст на словоформы, выделяет тэги и выявляет область их действия. При морфологическом анализе для каждой словоформы текста ищется его лексема (таких лексем может быть несколько (омонимия) или ни одной, если слово отсутствует в словаре). Сборка многословных сочетаний предполагает поиск последовательности лексем. Необходимые методы и программные компоненты для осуществления лингвистического анализа текста были разработаны в рамках работы над системой создания предметных словарей [9; 10].

Предлагаемый подход к структурно-жанровой классификации контента включает следующие этапы.

– Жанровая классификация текста на основе маркеров и анализа метаинформации.
– Жанровая классификация текста на основе обучения с привлечением экспертов.
– Интегрированная оценка жанровой принадлежности сайта на основе моделей контента.

Схематично процесс анализ контента веб-сайта можно представить следующим образом (рисунок).

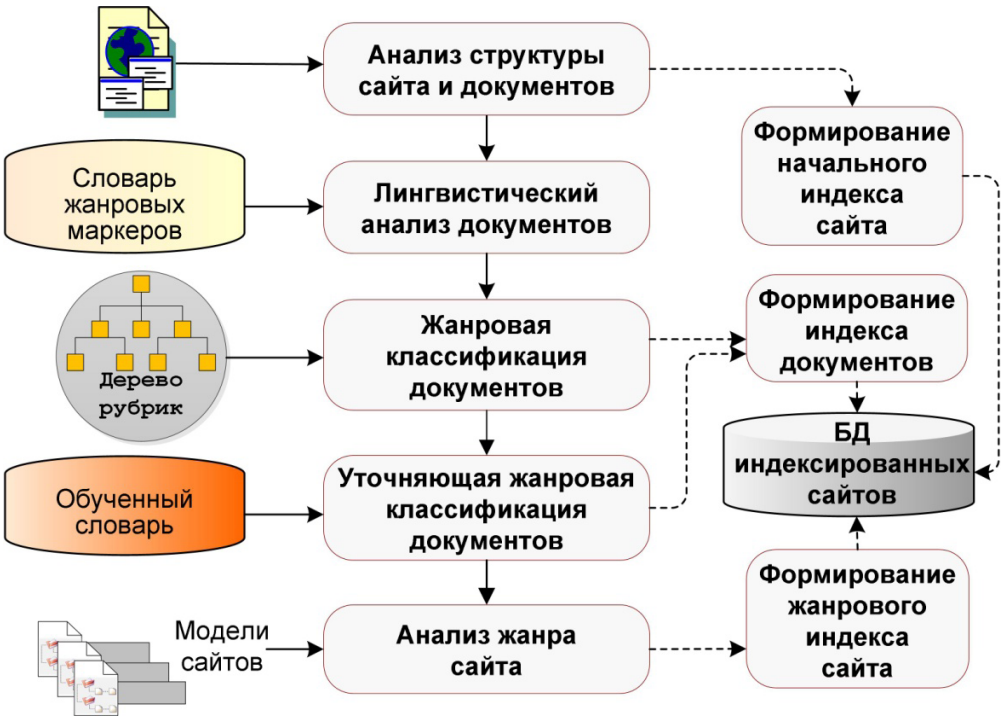


Схема жанрового анализа веб-сайта

Обработка сайта начинается с анализа его структуры. При этом формируется начальный индекс сайта, фиксируются зависимости между страницами сайта (веб-текстами) и их статусы. Основной задачей данного этапа является извлечение текстового контента из веб-страниц. Особенностями предварительного анализа являются: а) необходимость выявления основного контента интернет-документов посредством отделения вспомогательных элементов (баннеров, меню и т. п.); б) необходимость сохранять некоторые виды разметки, такие как заголовок, ссылка, подписи к картинкам, названия кнопок и т. п., разметив их специальными тегами; в) формирование дополнительной метаинформации о названии страницы, пункте меню, ссылке на страницу, типе контента и др.

После этого выполняется лингвистический анализ текстового контента всех страниц сайта. В ходе лингвистического анализа выполняется поиск в тексте терминов словаря и сбор статистической информации.

Жанровый классификатор обеспечивает вычисление количественного сходства документа с жанром. Во время жанровой классификации определяется жанр текста документа на основе словаря маркеров и структурного анализа текста в соответствии с его разметкой. Если жанр документа не удаётся определить на основе маркеров и шаблонов, то применяется классификация на основе методов машинного обучения. После вычисления жанра всех документов веб-сайта осуществляется анализ жанра самого сайта. Результатом классификации являются вектора релевантности жанрам документов сайта и самого веб-сайта, которые заносятся в индекс сайта.

Заключение

В работе рассмотрена жанровая модель текстового ресурса, отмечены практические задачи, для которых данная модель была бы полезна. Применимость модели рассмотрена на примере задачи жанрового анализа текстового контента веб-сайтов. Предложена двухуровневая процедура жанровой классификации документов и проведено экспериментальное исследование методов на большом корпусе веб-сайтов.

Проведённые эксперименты показали, что методы классификации по жанрам на основе машинного обучения дают достаточно низкие показатели качества (F-мера ~0,53) в сравнении с тематической классификацией. Методы на основе инженерного подхода для жанров показывают очень высокую точность, однако для обеспечения полноты требуют длительного ручного труда экспертов.

Также, несмотря на кажущуюся универсальность жанровых характеристик документов, на практике, при более детальной разработке рубрикатора, выяснилось постепенное увеличение влияния тематики на жанровую организацию контента веб-сайтов. Этот вопрос требует дальнейшего исследования.

Другой отмеченной особенностью, выявленной в процессе исследований, является то, что жанровая организация текстового контента зависит от инструмента реализации этого контента (то есть от технологии, применяемой пользователем для разработки документа). Для учёта этого момента нами был предложен дополнительный тип рубрикатора медиажанров, который может включать такие типы, как блог, форум, социальная сеть, документ WordPress, прикреплённый документ pdf/doc/txt. Взаимосвязь медиажанров с классическими жанрами также является одним из интересных направлений дальнейших исследований.

Таким образом, созданные модели, методы и алгоритмы могут применяться при разработке систем классификации и фильтрации больших текстовых массивов данных, в частности веб-сайтов. Предложенные принципы жанровой классификации веб-сайтов могут быть использованы для построения универсального классификатора веб-пространства.

Библиографический список

1. Chaker, J. A Segment-based Weighting Technique for URL-based Genre Classification of Web Pages / J. Chaker // Polibits. 2016. Vol. 53. P. 43–48.

2. Kumari, K. P. Performance Improvement of Web Page Genre Classification / K. P. Kumari, A. V. Reddy // International J. of Computer Applications. 2012. Vol. 53, № 10. P. 24–27.

3. Meyer, Z. E. Genre classification of web pages: User study and feasibility analysis / Z. E. Meyer, B. Stein // Proceedings KI 2004: Advances in Artificial Intelligence. 2004. P. 256–269.

4. Бахтин, М. М. Проблема речевых жанров. Эстетика словесного творчества / М. М. Бахтин. М. : Искусство, 1986. С. 250–296.

5. Блюменау, Д. И. Формализованное реферирование с использованием словесных клише (маркеров) / Д. И. Блюменау, Н. И. Гендина, И. С. Добронравов, Д. Г. Лахути, В. П. Леонов, Е. Б. Фёдоров // Науч.-техн. информ. Сер. 2. 1981. № 2. С. 16–20.

6. Большакова, Е. И. Лексико-синтаксические шаблоны для автоматического анализа научно-технических текстов / Е. И. Большакова, Н. Э. Васильева, С. С. Морозов // Десятая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2006. М. : Физматлит, 2006. С. 506–524.

7. Ермакова, Л. М. Методы автоматической классификации текстов по функциональным стилям / Л. М. Ермакова, М. А. Абашев, Р. В. Никитин, Р. И. Ушаков // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2014. № 4 (27). С. 78–83.

8. Кононенко, И. С. Жанровые аспекты классификации веб-сайтов / И. С. Кононенко, Е. А. Сидорова // Прогр. инженерия. 2015. № 8. С. 32–40.

9. Сидорова, Е. А. Разработка лингвистического обеспечения информационных систем на основе

онтологических моделей знаний / Е. А. Сидорова // Изв. Томс. политехн. ун-та. 2013. Т. 322, № 5. С. 143–147.

10. Сидорова, Е. А. Тематический анализ запросов пользователей на основе предметно-ориентированного словаря / Е. А. Сидорова, С. В. Анохин, И. С. Кононенко, Н. В. Саломатина // Вестн. НГУ. Сер. Информ. технологии. 2014. Т. 12, вып. 4. С. 83–95.

Сведения об авторах

Сидорова Елена Анатольевна — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт систем информатики им. А. П. Ершова Сибирского отделения РАН, Новосибирск. lsidorova@iis.nsk.su

Боровикова Олеся Игнатьевна — младший научный сотрудник, Института систем информатики им. А. П. Ершова Сибирского отделения РАН, Новосибирск. olesya@iis.nsk.su

---

E. A. Sidorova, O. I. Borovikova

APPROACH TO GENRE CLASSIFICATION OF TEXT RESOURCES

The paper presents the approach to description of genre features of text resources. A method of genre analysis and classification based on the genre model of documents is proposed. The architecture of the web-site classification system is considered.

ББК У053.35
УДК 658.511

И. С. Симонов, В. Е. Гвоздев

АНАЛИЗ КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ АППАРАТА СХЕМ СОПРЯЖЕНИЯ

Предложена методика анализа календарных планов производства технических систем ответственного назначения на основе аппарата схем сопряжения. Преобразование календарного плана к виду матрицы смежности позволяет в дальнейшем использовать для исследования её свойств аппарат теории графов.

Эффективное управление проектом по освоению производства сложного технического изделия напрямую зависит от правильного планирования работ, необходимых для его выполнения. В процессе планирования проекта определяются процессы, этапы и полученные на каждом из них результаты, которые должны привести к выполнению проекта. Процесс планирования начинается с определения проектных ограничений (временны́е ограничения, возможности персонала, бюджетные ограничения и т. д.). Эти ограничения должны определяться параллельно с оцениванием проектных параметров, таких как структура и размер проекта, а также распределение функций среди будущих исполнителей.

Календарное планирование — это критически важный фактор с точки зрения успешной реализации проектов, поэтому необходимо строить надёжные и безопасные схемы календарного планирования.

Концептуальную основу предлагаемого авторами статьи подхода к разработке формальных методов анализа календарных планов производства технических систем ответственного назначения составляет рассмотрение календарного плана как модели сложной системы. Это делает возможным её последующую детализацию и использование формальных приёмов анализа сложных систем, хорошо зарекомендовавших себя в других предметных областях.

В настоящее время к числу основных инструментов календарного планирования относятся сетевые графики, в которых узлами являются состояния системы (контрольные точки), а рёбра соответствуют выполняемым работам [1]. Причём формальным описанием выполняемых работ календарного плана в этом случае выступает время выполнения. С другой стороны, известен аппарат анализа безопасности и надёжности сложных систем, в основе которых лежат модели функционирования этих систем [2]. В связи с этим представляет научный и практический интерес задача разработки методов трансформации сетевых графиков в функциональные модели.

План — это разновидность информационной модели. Одним из важных аспектов анализа информационных систем является построение функциональных моделей. В литературе известно множество подходов к построению функциональных моделей. В настоящей работе рассматривается один из подходов к решению этой задачи, основанный на использовании аппарата схем сопряжения.

В настоящее время существуют разные модели построения календарных планов, отражающие его различные взгляды, например, диаграмма Гантта, модели критического пути, модели операций на стрелках [1] и др. Множественность структурных моделей плана обусловлена тем, что каждая из них позволяет проанализировать план в рамках определённой точки зрения. Широкое распространение получили модели критического пути. Модель критического пути позволяет оценить связи работ, резерв времени, не привязываясь к календарным датам. Ограниченностью такой формы представления календарного плана является то, что временны́е параметры событий являются детерминированными величинами и не учитываются случайное время выполнения работ плана.

Для определения критического пути приведём одну из разновидностей моделей критического пути. Пример модели критического пути календарного плана производства технических систем ответственного назначения представлен на рис. 1.

В приведённой модели вершины являются событиями, а рёбра — работами.

В таких методах представления календарных планов, как диаграмма Гантта, модель критического пути, PERT, Монте-Карло, не отработаны подходы к сравнительному анализу календарных планов производства технических систем ответственного назначения по критериям безопасности.

Так как в реальной жизни календарное планирование происходит в условиях неопределённости, работы календарного плана не всегда выполняются в срок. Поэтому нужно иметь календарный план, составленный таким образом, чтобы такие воздействия в минимально возможной степени требовали переработки всего календарного плана.

Ещё один подход к построению функциональной модели календарного плана производства технических систем ответственного назначения основан на использовании аппарата схем сопряжения. Особенностью данного подхода является то, что можно

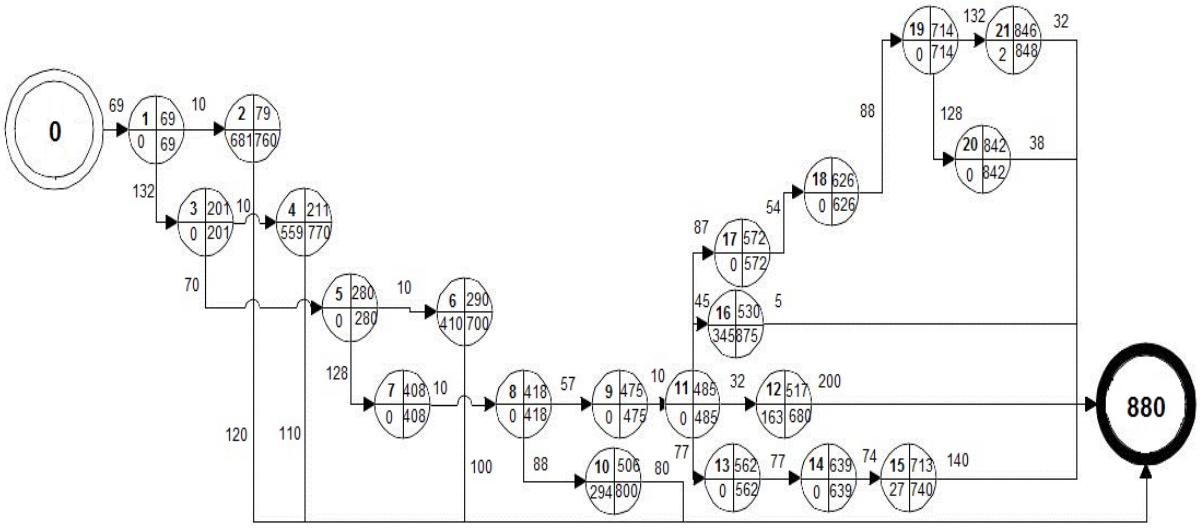


Рис. 1. Модель критического пути

описать внутренние связи компонентов плана и их связь с внешней средой [3].

Рассмотрим каждую компоненту плана как элемент, имеющий входы и выходы. На каждый вход в любой момент времени входной сигнал $x(t)$, имеющий компоненты («элементарные сигналы») $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_m(t)$. На выходе элемента формируются элементарные выходные сигналы $y_1(t)$, $y_2(t)$, ..., $y_r(t)$. Иными словами, стратегическая карта представляется как совокупность элементов, обменивающихся сигналами. Математической моделью элемента C_j, используемой для формального описания сопряжения его с другими элементами стратегической карты и с внешней средой, является пара множеств $\left[X_i^{(j)}\right]_1^m ; \left[Y_i^{(j)}\right]_1^r$ [3]. Соблюдение базового условия, состоящего в том, что к входящему контакту любого элемента C_j подключается не более чем один элементарный канал, в то время как к выходящему контакту может быть подключено любое конечное число элементарных каналов, позволяет сформировать однозначные операторы сопряжения $Y_i^{(k)} = R(X_i^{(j)})$, с областью определения в множестве $U_{j=0}^N \left[X_i^{(j)}\right]_1^{m_j}$ и областью значений в множестве $U_{j=0}^N \left[Y_i^{(k)}\right]_1^{r_j}$ и оператор сопряжения R представляют схему сопряжения.

Реализация календарного плана предполагает параллельное существование материальных, энергетических и информационных потоков. Каждому из этих потоков можно поставить в соответствие схему сопряжения, представленную на рис. 2.

Представление календарного плана в виде схемы сопряжения по сравнению с моделью критического пути позволяет более детально отобразить потоки между работами. Входами для представленной схемы сопряжения являются переменные x_1, x_2, x_3, а выходами — y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, то есть являются контактами внешней среды. Нулевым элементом является внешняя среда.

Оператор сопряжения можно задать в виде таблицы, в которой на пересечении строк с номерами элементов j и столбцов с номерами контактов i располагаются пары чисел (k, l), указывающие номер элемента k и номер контакта l, с которым соединён контакт $X_i^{(j)}$ (табл. 1).

Если столбцы и строки такой таблицы пронумеровать двойными индексами (j, i) и (k, l) соответственно, а на пересечениях помещать 1 для контактов $X_i^{(j)}$ и $Y_i^{(k)}$, соединённых элементарным каналом, и ноль в противном случае, то получится матрица смежности графа, вершинами которой являются контакты, а рёбрами — элементы, что делает возможным использование аппарата теории графов для анализа надежности плана.

Фрагмент матрицы смежности, соответствующий схеме сопряжения на рис. 2, представлен в табл. 2.

На рис. 3 представлен граф, соответствующий матрице смежности.

Если в модели критического пути события связаны через работы, то в приведённом графе работы связаны через события. Трансформация такого вида приведена в известной литературе [2].

Формальное преобразование календарного плана к виду матрицы смежности делает возможным в дальнейшем использование для исследования её свойств аппарат теории графов, а именно: позволяет поставить в соответствие метрические характеристики, что в свою очередь создаёт предпосылки для сравнительного анализа различных (альтернативных) вариантов календарных планов производства технических систем ответственного назначения на основе количественных показателей, а также делает возможным использование методов редукции многомерного признакового пространства.

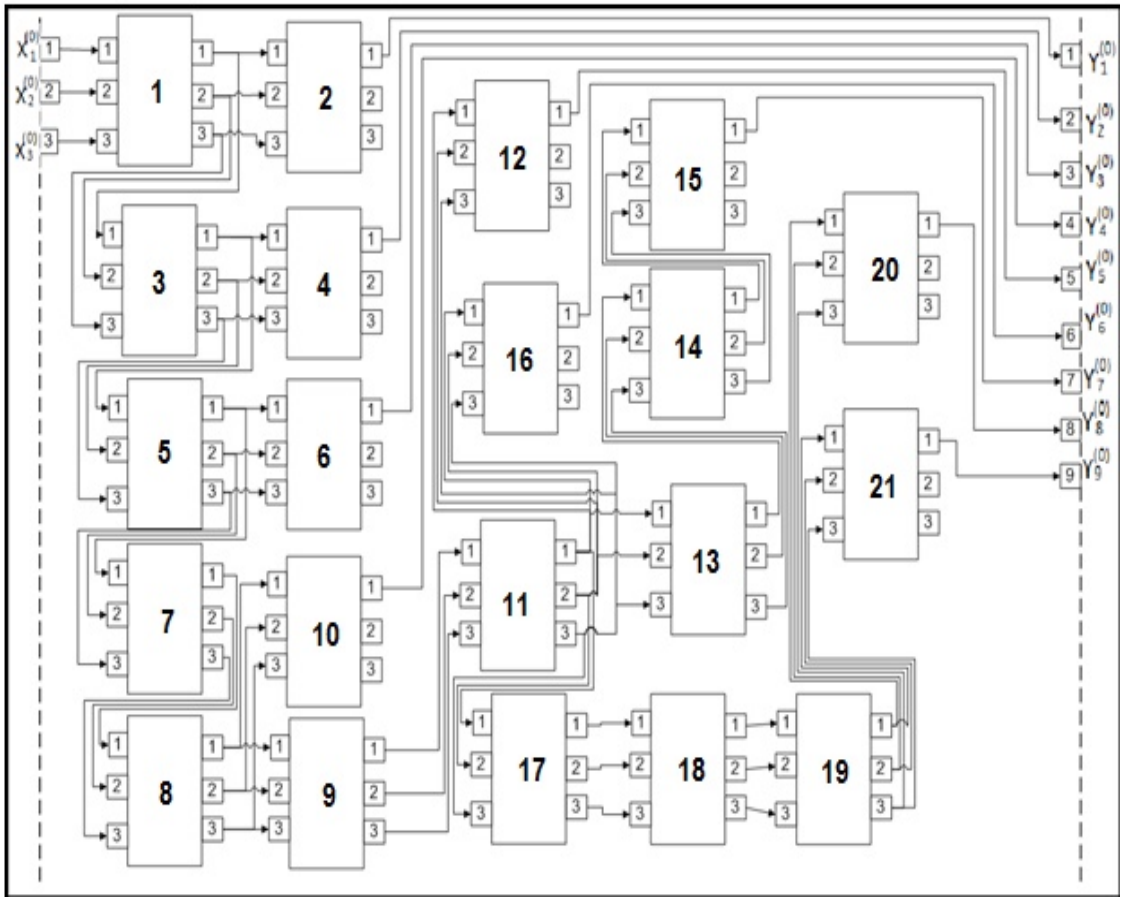


Рис. 2. Схема сопряжения

Таблица 1

Оператор сопряжения

j \ *i*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2,1	4,1	6,1	10,1	12,1	16,1	15,1	18,1	20,1
1	0,1	0,2	0,3						
2	1,1	1,2	1,3						
3	1,1	1,2	1,3						
4	3,1	3,2	3,3						
5	3,1	3,2	3,3						
6	5,1	5,2	5,3						
7	5,1	5,2	5,3						
8	7,1	7,2	7,3						
9	8,1	8,2	8,3						
10	8,1	8,2	8,3						
11	9,1	9,2	9,3						
12	11,1	11,2	11,3						
13	11,1	11,2	11,3						
14	13,1	13,2	13,3						
15	14,1	14,2	14,3						
16	11,1	11,2	11,3						
17	11,1	11,2	11,3						
18	21,1	21,2	21,3						
19	17,1	17,2	17,3						
20	21,1	21,2	21,3						
21	19,1	19,2	19,3						

Таблица 2

Фрагмент матрицы смежности графа

		j, i														
		13,1	13,2	13,3	14,1	14,2	14,3	15,1	15,2	15,3	16,1	16,2	16,3	17,1	17,2	17,3
k, l	13,1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13,2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	13,3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14,1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	14,2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	14,3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	15,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

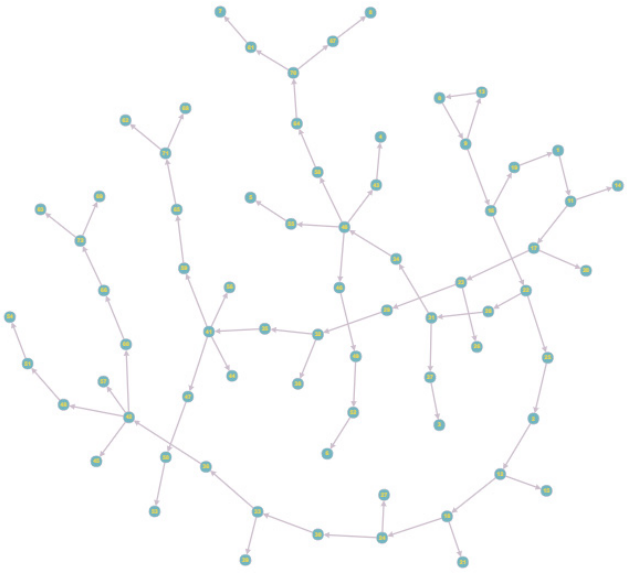


Рис. 3. Граф, соответствующий схеме сопряжения

Библиографический список

1. Каплан, Р. Сбалансированная система показателей: от стратегии к действию: пер. с англ. / Р. Каплан, Д. Нортон. М. : Олимп-Бизнес, 1986.
2. Нечипоренко, В. И. Структурный анализ и методы построения надежных систем / В. И. Нечипоренко. М. : Совет. радио, 1968. 201 с.
3. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. 2-е изд. М. : Наука, 1978.
4. Нивен, П. Сбалансированная система показателей: шаг за шагом: максимальное повышение эффективности и закрепление полученных результатов : пер. с англ. / П. Нивен. Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2004.
5. Хервик, Ф. Сбалансированная система показателей: руководство по внедрению : пер. с англ. / Ф. Хервик, Ш. Вальтер. М. : Омега-Л, 2006.
6. Касти, Дж. Большие системы: связность, сложность, катастрофы : пер. с англ. / Дж. Касти. М. : Мир, 1982.
7. Черкесов, Г. Н. Надёжность аппаратно-программных комплексов : учеб. пособие / Г. Н. Черкесов. СПб. : Питер, 2005.
8. Аврамчук, Е. Ф. Технология системного моделирования / Е. Ф. Аврамчук, А. А. Вавилов, С. В. Емельянов. М. : Машиностроение ; Берлин : Техника, 1988.
9. Милошевич, Д. З. Набор инструментов для управления проектами / Д. З. Милошевич. М. : Компания АйТи, ДМК Пресс, 2008.

Сведения об авторах

Симонов Илья Сергеевич — магистрант кафедры технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. *ilyasimonow@gmail.com*

Гвоздев Владимир Ефимович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. *wega55@mail.ru*

I. S. Simonov, V. E. Gvozdev

ANALYSIS OF PLANNED SCHEDULES OF THE PRODUCTION OF TECHNICAL SYSTEMS OF RESPONSIBLE ASSIGNMENT ON THE BASIS OF MACHINE INTERFACE CIRCUITS

The paper presents a methodology for analysis of planned schedules of the production of technical systems of responsible assignment on the basis of machine interface circuits. Conversion schedule to the form adjacency matrix allows further use for the study of the properties of its apparatus of graph theory.

ББК 3973
УДК 004.3

С. А. Скрипов

РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ НА ОСНОВЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Описана реализация виртуальной лаборатории на основе открытого программного обеспечения, позволяющая предоставлять пользователям виртуальные машины с требуемыми характеристиками.

При организации образовательного процесса для специальностей и направлений, связанных с информационными технологиями, требуется обеспечить возможность работы с десятками видов системного и прикладного программного обеспечения, работающего на различных операционных системах. При этом в некоторых случаях требуется предоставить студентам доступ с правами суперпользователя и возможностью устанавливать и настраивать различные сетевые службы. Традиционные компьютерные лаборатории мало подходят для подобных задач, поэтому для их решения применяются различные средства для работы с виртуальными машинами, например VirtualBox. Такой способ вполне применим для небольших практических работ, занимающих максимум одно занятие, однако для более трудоёмких учебных проектов, предполагающих также самостоятельную работу, он может оказаться неудобным. Поэтому для учебных проектов, лабораторных и практических работ, а также для других учебно-организационных задач было реализовано частное облако, имеющее модель IaaS [1; 5].

В качестве основы для развёртывания виртуальных машин была выбрана связка qemu-kvm, позволяющая использовать ядро Linux в качестве полноценного гипервизора. При выборе гипервизора учитывались требования, предъявляемые к разрабатываемому решению, таким образом, для qemu-kvm был выделен ряд преимуществ. Гипервизор kvm использует аппаратную виртуализацию, реализованную в современных процессорах Intel и AMD. Не менее существенной его особенностью является возможность использования memory overcommit и cpu overcommit. Это означает отсутствие ограничений, связанных с объёмом физической памяти и реального количества ядер процессоров. Временно неиспользуемые виртуальной машиной ресурсы предоставляются другим потребителям. Память, которую виртуальная машина по факту не использует, не выделяется на физическом хосте. Общий объём используемой памяти ограничен размером виртуальной памяти физического хоста. Связка qemu-kvm на практике совместима со всеми актуальными операционными системами. Проведённые эксперименты выявили некоторые проблемы для ряда операционных систем, например FreeBSD, однако эти проблемы не критичны и не означают невозможность использования этих операционных систем.

Функционал для работы с образами также вполне соответствует решаемой задаче. Поддерживается несколько форматов образов виртуальных жёстких дисков. Формат raw позволяет сохранить виртуальный диск «как есть», без уменьшения размера. Преимуществом использования такого формата является высокая скорость доступа к диску. Формат qcow2 позволяет хранить только фактически используемую часть диска. Помимо экономии места на физическом хранилище, этот формат открывает принципиально иные возможности. Так, например, большое количество однотипных виртуальных машин может быть развёрнуто из одного образа за очень короткое время и с минимальным использованием места хранилища. При этом образ, создаваемый для каждой виртуальной машины, хранит лишь изменения на диске, которые были сделаны по отношению к исходному образу. При правильной организации работы эти изменения могут быть весьма незначительными. Таким образом, пространство, занимаемое виртуальной машиной, может составлять лишь несколько мегабайт.

Для управления виртуальными машинами используется библиотека libvirt. Благодаря ей созданные виртуальные машины можно перемещать между физическими хостами. Таким образом, можно обеспечить баланс нагрузки для хостов. Возможны два способа перемещения виртуальных машин. В первом случае она будет остановлена, её контекст будет сохранён, а затем она будет запущена на другом хосте. Во втором случае контексты синхронизируются на двух физических хостах при работающей виртуальной машине, в момент полной синхронизации она мигрирует на другой хост.

Основным недостатком выбранного решения является отсутствие свободно распространяемой пользовательской оболочки, имеющей весь необходимый для решения рассматриваемой задачи функционал. Существующие оболочки [3; 4] имеют некоторые сложности с развёртыванием и администрированием, а также ориентированы на конкретные схемы их использования, не вполне соответствующие решаемой задаче. Так, например, отсутствуют средства для создания шаблонов виртуальных машин. Созданные виртуальные машины практически невозможно

при необходимости модифицировать средствами пользовательской оболочки, хотя libvirt имеет весь необходимый функционал. В итоге в качестве пользовательской оболочки была выбрана система OpenNebula [3], как наиболее подходящая для решения рассматриваемой задачи. Её основными преимуществами является возможность использования множества способов организации хранилища, в том числе достаточно экзотических, а также возможность доступа к консоли виртуальных машин через web. Недостающий функционал в настоящее время заменяется прямой работой с libvirt и qemu через консольную оболочку Linux. В будущем планируется вернуться к решению этой проблемы.

В процессе эксплуатации облака были выделены типичные схемы его использования:

1. Отдельные службы на виртуальном сервере. В этом случае преподаватель настраивает необходимые службы на специально созданном виртуальном сервере. Студенты будут иметь доступ только к нужным службам, но не будут иметь доступ к серверу. Примером такой службы может быть учебная СУБД, имеющая учётную запись для каждого студента. При этом студент может не знать, какая операционная система фактически используется.

2. Виртуальный сервер для коллективной работы. В этом случае для каждого студента в операционной системе создаётся отдельная учётная запись. В качестве примера такой схемы можно привести учётные записи в Linux для доступа через SSH либо учётные записи сервера терминалов Windows, позволяющие каждому пользователю работать с собственным рабочим столом.

3. Индивидуальные виртуальные машины. Каждый студент либо группа из нескольких студентов получает отдельную виртуальную машину либо набор виртуальных машин. В этом случае имеется возможность предоставить любые права, даже права суперпользователя. Виртуальные машины могут располагаться в отдельном VLAN [2], поэтому студенты смогут изменять также настройки сети и настраивать элементы собственной сетевой инфраструктуры. Виртуальные машины создаются из шаблона, заранее созданного преподавателем.

4. Ресурсы для создания собственных виртуальных машин. Студент получает фиксированный объём памяти, дискового пространства, ядра процессоров. На основе этих ресурсов создаются виртуальные машины, причём студент может самостоятельно выбирать дистрибутив операционной системы, производить установку и администрирование, как в случае использования реального компьютера.

Таким образом, в данной статье рассмотрены вопросы развёртывания частного облака IaaS для образовательных целей. Описаны выбранные компоненты, приведено обоснование выбора. Выделены проблемы, которые необходимо решить в будущем. Рассмотрены схемы использования, выявленные в процессе реальной эксплуатации облака.

Библиографический список

1. Vaquero, L. M. A break in the clouds: towards a cloud definition / L. M. Vaquero, L. Rodero-Merino, J. Caceres, M. Lindner // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2009. Vol. 39, iss. 1. С. 50–55.

2. Open vSwitch Manpages [Электронный ресурс]. URL: http://openvswitch.org/support/dist-docs

3. OpenNebula Design and Installation Guide [Электронный ресурс]. URL: http://docs.opennebula.org/4.14/design_and_installation

4. OpenStack High Availability Guide [Электронный ресурс]. URL: http://docs.openstack.org/ha-guide

5. Сейдаметова, З. С. Облачные сервисы в образовании / З. С. Сейдаметова, С. Н. Сейтвелиева // Информ. технологии в образовании. 2011. № 9.

Сведения об авторе

Скрипов Сергей Александрович — кандидат физико-математических наук, доцент, Челябинский государственный университет, Челябинск. skripov@csu.ru

---

S.A. Skripov

THE DEPLOYMENT OF CLOUD-BASED MULTI-USER VIRTUAL LABORATORY

The paper discusses the deployment of a virtual laboratory based on open source software, which allows providing virtual machines with the desired characteristics.

ББК С822
УДК 65.011.56

О. Н. Сметанина, А. И. Агадуллина

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Результаты исследований частично поддержаны грантами № 16–07–00773, 15–07–01565

Рассматриваются вопросы разработки моделей для системы поддержки принятия решений при управлении экологической эффективностью промышленного предприятия, приведена архитектура системы, описаны её основные блоки и модули.

Согласно ГОСТ Р ИСО 14001:2004 экологическая эффективность (ЭЭ) предприятия — это измеряемые результаты деятельности системы экологического менеджмента (СЭМ), связанные с оценкой её уровня и управлением воздействия предприятия на окружающую среду [1].

Общими вопросами внедрения и функционирования СЭМ на предприятии занимались такие исследователи, как С. Ю. Дайман, В. В. Карманов, Н. В. Пахомова, М. М. Редина, К. Рихтер, А. П. Хаустов, А. Эндрес и многие др.

Авторами ранее предложен подход к обеспечению информационной поддержки принятия решений при управлении уровнем ЭЭ промышленного предприятия, рассмотрены вопросы разработки концепции обеспечения поддержки принятия решений в процессе проведения внешнего и внутреннего аудита на основе риск-ориентированного подхода для управления ЭЭ предприятия, который позволил оценить уровень ЭЭ и сформировать рекомендации для его повышения [2–6].

Данная статья посвящена рассмотрению вопросов моделирования системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении уровнем ЭЭ, рассмотрению архитектуры СППР при управлении ЭЭ, её основных блоков и модулей.

Функциональное назначение разрабатываемой СППР при объектно-ориентированном подходе может быть представлено в виде UML-моделей. Диаграмма вариантов использования включает следующие функции: сбор данных, качественную и количественную оценку уровня ЭЭ, интерпретацию результатов и формирование правил логического вывода, принятие решения, выбор способа управления рисками, оценку уровня ЭЭ после внедрения превентивных мероприятий (рис. 1).

Диаграмма классов СППР при управлении ЭЭ включает классы [предприятие, проект, требования, эксперт и т. д. (рис. 2)], их атрибуты и связи между ними.

Базовая архитектура (база данных, база моделей и соответствующие системы управления данными и моделями, интерфейс пользователя) при использовании технологии экспертных систем может быть дополнена базой знаний, механизмом поиска и соответствующими модулями или блоками пополнения.

При разработке СППР, как правило, выделяют следующие основные этапы: идентификация, концептуализация, формализация, выполнение, тестирование, опытная эксплуатация [7].

На этапе идентификации определяются цели и задачи разработки СППР, а также роли (эксперты, различные типы пользователей).

На следующем этапе — концептуализации проводится детальный анализ проблемной области, выявляются основные понятия и взаимосвязи между ними, определяются алгоритмы, модели и методы решения задач [7].

На этапе формализации определяются способы представления различных видов знаний и их интерпретации, проводится формализация основных понятий, моделируется работа СППР, оценивается соответствие адекватности понятий, методов решений, средств представления знаний целям СППР [7].

На этапе выполнения производится наполнение баз данных и баз знаний. Так как основой системы являются знания, часто данный этап характеризуется значительными временны́ми затратами и трудоёмкостью.

Назначение СППР при управлении ЭЭ промышленного предприятия можно определить следующим образом [2]:

– определение степени соответствия СЭМ предприятия целевым и нормативным показателям в результате качественной оценки уровня ЭЭ;

– проведение предварительной классификации предприятий по уровню ЭЭ в результате качественной и сравнительной оценки уровня ЭЭ;

– оценка степени значимости экологических аспектов и формирование их рейтинга;

– оценка вероятности превышения нормативных значений экологических аспектов предприятия;

– оценка возможного ущерба от превышения воздействия экологических аспектов предприятия;

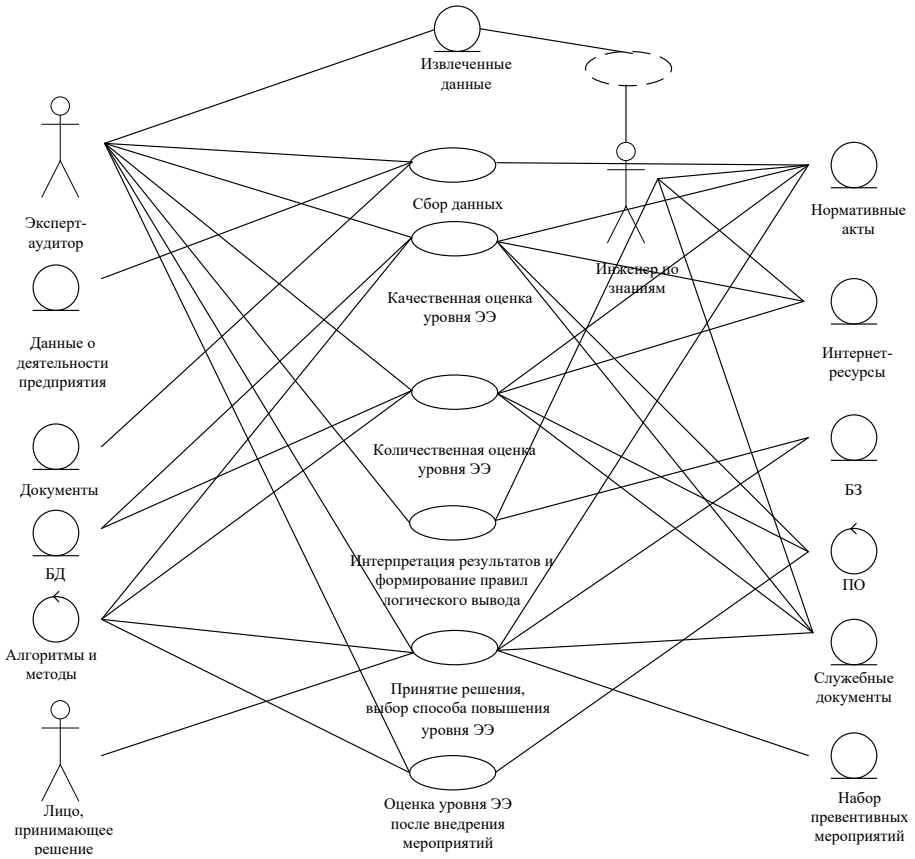


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

– оценка риска наиболее значимых аспектов предприятия;

– формирование перечня превентивных мероприятий для повышения уровня ЭЭ;

– формирование отчётности об уровне ЭЭ предприятия до и после внедрения превентивных мероприятий;

– формирование капитала покрытия предприятия.

Основными группами пользователей СППР при управлении ЭЭ промышленного предприятия являются аудитор, руководитель подразделения, директор предприятия.

Наиболее значимыми в структуре СППР при управлении ЭЭ промышленного предприятия являются блоки хранения и актуализации данных, взаимодействия с пользователем, качественной оценки и количественной оценки уровня ЭЭ, отчётности, формирования решений и оценки их эффективности [8–10]. Также архитектура СППР включает базу данных, базу знаний (рис. 3).

Блок хранения и актуализации данных:

• База данных: предназначена для сбора, хранения, обработки и передачи внешней (нормативная информация в области природоохранного законодательства) и внутренней информации (данные мониторинга предприятия о состоянии природной среды и параметрах, характеризующих состояние самого предприятия).

• База знаний представлена правилами продукции, сформулированными инженером по знаниям на основе результатов предварительной обработки данных из других блоков.

• Модуль преобразования информации: при функционировании СЭМ, а также при проведении экологического аудита как инструмента оценки эффективности СЭМ и процессов внутри неё анализируется огромное количество документов, включающих нормативно-законодательную, организационно-методическую, организационно-правовую, организационно-распорядительную документацию и документацию для регистрации данных об окружающей среде [3]. Модуль преобразования информации позволяет проводить предварительную обработку информации для дальнейшего анализа.

• Модуль пополнения знаний: позволяет добавлять новые знания в базу знаний.

Блок взаимодействия с пользователем:

• Пользовательский интерфейс: охватывает все аспекты взаимодействия пользователя и СППР.

Блок качественной оценки уровня ЭЭ включает в себя следующие модули:

• Модуль оценки соответствия: позволяет оценить степень соответствия СЭМ предприятия целевым и нормативным показателям, рассчитывает интегральную оценку соответствия (скоринговый балл).

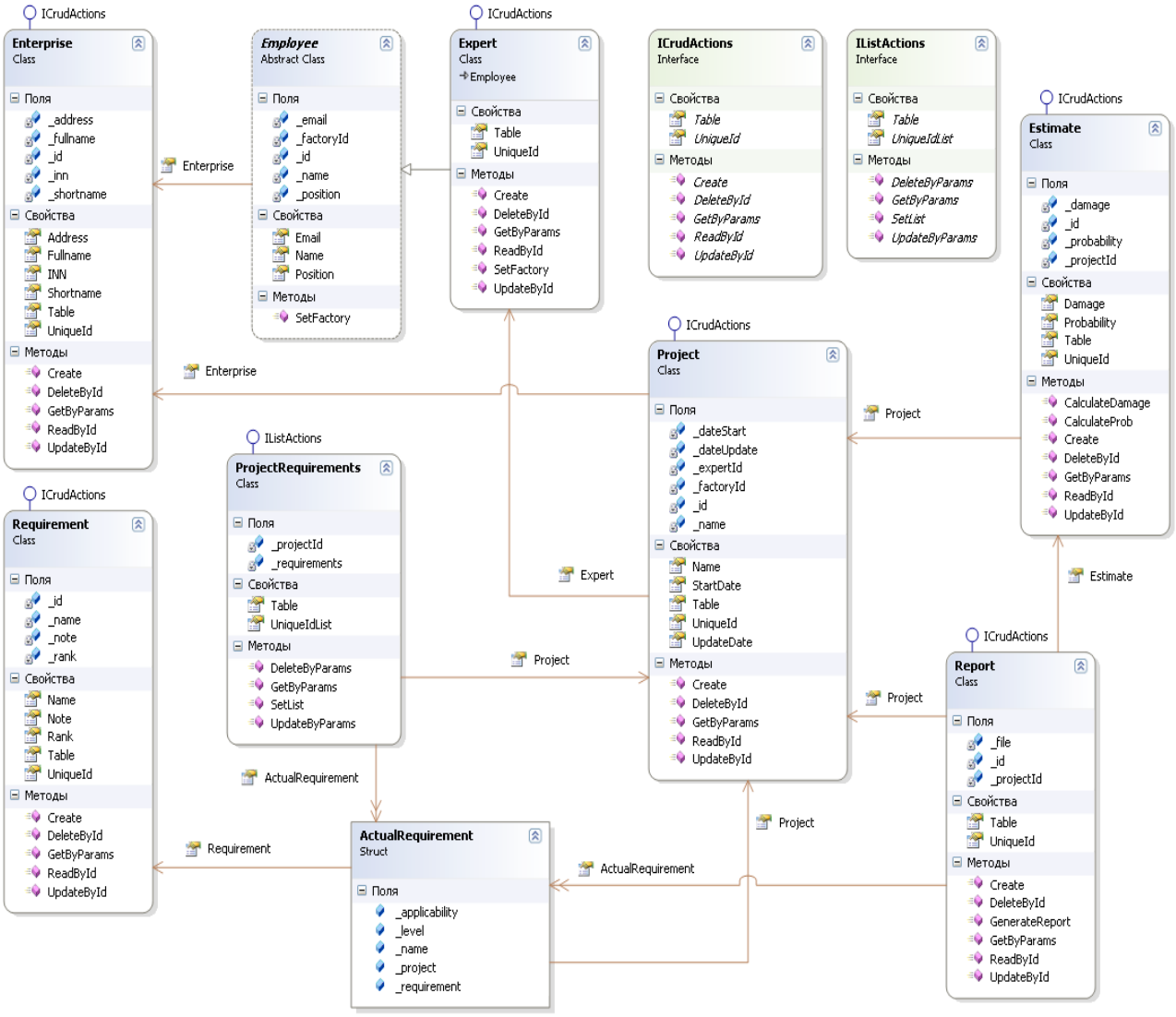


Рис. 2. Фрагмент диаграммы классов

• Модуль предварительной классификации: позволяет провести предварительную классификацию предприятий по уровню ЭЭ на основе метода ROC-анализа. По набранному в предыдущем модуле суммарному скоринговому баллу происходит ранжирование предприятий по уровню ЭЭ и принимается решение о классе предприятия.

Блок количественной оценки уровня ЭЭ включает в себя следующие модули:

• Модуль оценки значимости аспектов: оценивает степень значимости экологических аспектов и строит их рейтинг на основе метода NAIADE.

• Модуль оценки ущерба: оценивает ущерб от превышения нормативных показателей экологических аспектов.

• Модуль оценки риска: оценивает вероятности превышений нормативных показателей экологических аспектов и риск экологических аспектов на основе логико-вероятностного метода.

Блок отчётности содержит модуль отчётности и выводов:

• Модуль отчётности: формирует аудиторское заключение с выводами о степени соответствия предприятия стандартам и требованиям природоохранного законодательства, с выводами о качественной и количественной оценке уровня ЭЭ предприятия. На основе результатов проведения экологического аудита формулируются продукционные правила по выбору рекомендаций для повышения уровня ЭЭ [2].

Блок оценки эффективности включает в себя следующие модули:

• Модуль формирования набора превентивных мероприятий. Вариант 1: формирует и выбирает набор превентивных мероприятий на основе многокритериальной оценки с учётом заданного бюджетного ограничения.

• Модуль формирования набора превентивных мероприятий. Вариант 2: формирует перечень превентивных мероприятий на основе модели стохастического программирования с учётом заданного бюджетного ограничения.

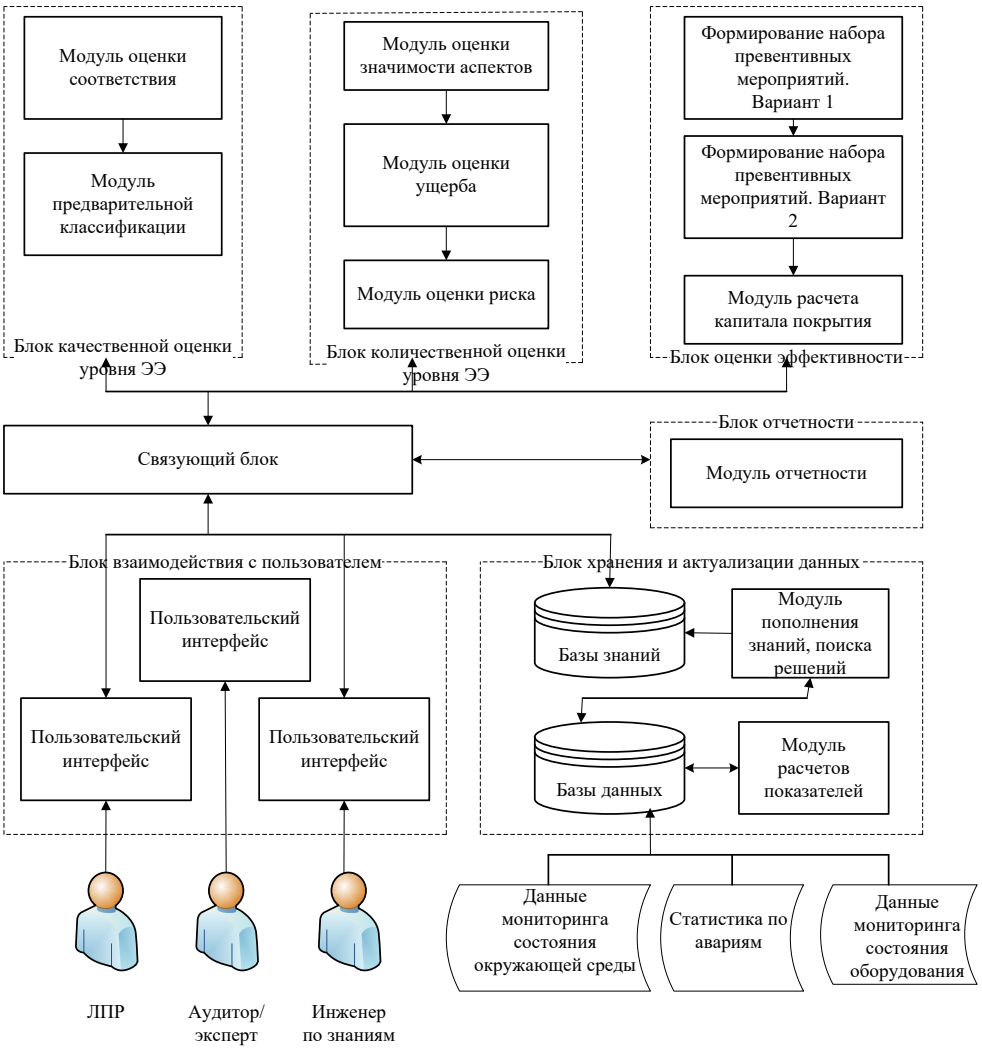


Рис. 3. Архитектура СППР при управлении ЭЭ промышленного предприятия

• Модуль расчёта капитала покрытия: оценивает возможный ущерб и определяет капитал покрытия в случае возникновения непредвиденных катастрофических потерь на основе метода «Вершина сверх порога».

Для программной реализации прототипа СППР при управлении ЭЭ выбрана интегрированная среда разработки программного обеспечения MS Visual Studio 2010 и интеллектуальная платформа управления данными MS SQL Server для проектирования и отладки базы данных.

Разработанные на основе объектно-ориентированного подхода модели формализуют требования к создаваемой СППР при управлении ЭЭ и позволяют разработать её структуру. Предложена архитектура СППР при управлении ЭЭ, по результатам реализации которой осуществляется сбор и анализ данных, оценивается качественный и количественный уровень ЭЭ и принимаются обоснованные решения. Для принятия решений используются продукционные правила и механизм логического вывода.

Библиографический список

1. ГОСТ ИСО 14001:2004 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению [Электронный ресурс]. URL: http://opengost.ru/iso/3065-gost-r-iso-14001–2007-iso-14001_2004-sistemy-ekologicheskogo-menedzhmenta.-trebovaniya-i-rukovodstvo-po-primeneniyu.html

2. Агадуллина, А. И. Система поддержки принятия решений при управлении экологической эффективностью промышленного предприятия : автореф. дис. … канд. техн. наук / А. И. Агадуллина. Уфа, 2014. 18 с.

3. Гузаиров, М. Б. Математическое обеспечение системы поддержки принятия решений при управлении экологической эффективностью предприятия / М. Б. Гузаиров, М. А. Николаева, А. И. Агадуллина // Вестн. УГАТУ. 2014. Т. 18, № 1 (62). С. 95–105.

4. Сметанина, О. Н. Информационное обеспечение системы экологического аудита на предприятии / О. Н. Сметанина, А. И. Агадуллина // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия

решений : тр. 4-й Междунар. конф., 17–19 мая 2016 г., Уфа. Уфа, 2016. Т. 2. С. 159–164.

5. Николаева, М. А. Модели и методы управления рисками в социально-экономических системах / М. А. Николаева, О. Ф. Зотова, А. И. Агадуллина // Упр. риском. 2013. № 3. С. 28–34.

6. Гузаиров, М. Б. О вопросах поддержки принятия решений в системе экологического менеджмента предприятия / М. Б. Гузаиров, О. Н. Сметанина, А. И. Агадуллина // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений : тр. 2-й Междунар. конф., 18–21 мая 2014 г., Уфа. Уфа : УГАТУ, 2014. Т. 1. С. 175–179.

7. Масленникова, О. Е. Основы искусственного интеллекта [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О. Е. Масленникова, И. В. Гаврилова. 2-е изд., стер. М. : Флинта, 2013. 282 с.

8. Юсупова, Н. И. Модели и программный комплекс для реализации информационного поиска при поддержке управленческих решений [Электронный ресурс] / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, С. П. Ясинецкий, А. В. Климова // Соврем. проблемы науки и образования. 2014. № 1. URL: https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11955

9. Козырева, В. А. Поддержка принятия решений при управлении академической мобильностью : автореф. дис. … канд. техн. наук / В. А. Козырева. Уфа, 2011. 16 с.

10. Сметанина, О. Н. Реализация подхода к обеспечению управлением уровня физического развития студентов на основе интеллектуальных технологий [Электронный ресурс] / О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова, Т. В. Наумова // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 25 февр. — 1 марта 2015 г. (ИТиС — 2015). Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 179–182.

Сведения об авторах

Сметанина Ольга Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. smoljushka@mail.ru

Агадуллина Айгуль Ильдаровна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики,Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. aygul.agadullina@gmail.com

---

O. N. Smetanina, A. I. Agadullina

MODELING AND ARCHITECTURE OF DECISION SUPPORT IN THE MANAGEMENT OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF ENTERPRISE

The article considers the matters related to the development of models for decision support system in the management of environmental performance of an industrial enterprise. The architecture of system, its basic blocks and modules are described.

ББК У291.592с51
УДК 658.7.011.56

О. Н. Сметанина, Е. Ю. Рассадникова, А. С. Смолина, Ю. Е. Грачева

ВЫБОР ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПЕРЕВОЗЧИКА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКОЙ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Результаты исследований, приведённые в статье, частично поддержаны грантами РФФИ 15-07-01565, 16-07-00773

Обоснована актуальность задачи выбора логистического перевозчика, определены критерии и альтернативы выбора. Для решения поставленной задачи предлагается использовать методы многокритериальной оценки, а именно метод предпочтений и замещений Кини и Райфа и метод БОФа.

Выбор посредника является одной из основных задач логистического отдела предприятия. Это обусловлено тем, что качество работы посредника в большой мере имеет влияние на всю цепочку поставок. Так, если логистический перевозчик доставит сырьё с опозданием или нарушит его целостность, производственный процесс придётся приостановить на неопределённое время. К логистическим посредникам можно отнести специализированные транспортные, экспедиторские, транспортно-экспедиторские фирмы, грузовые терминалы и терминальные комплексы, грузовые распределительные центры.

В новых экономических условиях (кризис 2015 г.) предприятиям приходится выбирать альтернативные виды транспорта. Так, автомобильные грузоперевозки потеряли долю на рынке: в 2015 г. объём перевозок на автомобильном транспорте упал на 7 % в сравнении с 2014 г., в то же время на морском транспорте он возрос на 15 %. На железнодорожном, внутреннем водном, воздушном и трубопроводном транспорте объём перевозок остался без изменений [1].

Несмотря на текущую тенденцию, по-прежнему актуальным остаётся автомобильный вид перевозок. Это связано с тем, что данный вид транспорта является самым мобильным.

В статье рассматривается задача выбора логистического перевозчика для производственного предприятия на этапе доставки готовой продукции клиентам.

К критериям логистического перевозчика относят надёжность времени доставки; тарифы доставки «от двери до двери»; общее время транзита; готовность перевозчика к переговорам об изменении тарифа; финансовую стабильность перевозчика; наличие дополнительного оборудования (по грузопереработке); частоту сервиса; наличие дополнительных услуг по комплектации и доставке груза; сохранность груза; экипирование отправок; квалификацию персонала; отслеживание отправок; готовность перевозчика к переговорам об изменении сервиса; готовность схем маршрутизации перевозок; сервис и линии; процедуру заявки (заказа) транспортировки; качество организации продаж транспортных услуг; специальное оборудование [2]. Ещё одним важным критерием является стоимость услуги, но это не основополагающий фактор, так как предприятиям важнее обеспечение безопасности доставки грузов, чем экономия средств на выборе перевозчика.

Рассматривается выбор логистического перевозчика (ЛП) для производственного предприятия, которое передаёт функцию доставки готовой продукции третьему лицу. Необходимо выбрать ЛП с учётом следующих критериев:

– стоимость перевозки;
– надёжность соблюдения графика доставки груза;
– время оформления заявки на транспортировку;
– степень ответственности за груз;
– отслеживание отправок (наличие систем слежения (связи) за грузом, транспортными средствами);
– частота отправок;
– рейтинг (положение на рынке предлагаемых услуг);
– готовность схем маршрутизации перевозок;
– «коммуникабельность» предприятия (готовность ЛП к переговорам об изменении сервиса и тарифа).

Для решения поставленной задачи было выбрано два метода. Первый метод выбора ЛП основывается на методе предпочтений и замещений Кини и Райфа [3]. Общая схема метода *Ch_carrier* представлена далее.

Схема алгоритма *Ch_carrier*

Вход: P — количество перевозчиков; K — количество критериев оценки перевозчиков; Z_p^k — значения по каждому критерию k для каждого ЛП p, где $k = 1, ..., K$, $p = 1, ..., P$.

Выход: перевозчик, удовлетворяющий требуемым критериям.

Шаг 1. Назначаются оценки эффективности по каждому из критериев по всем перевозчикам.

Шаг 2. По каждому критерию строятся функции ценности

$$v_{Z_P^K}\left(Z_1^k, ..., Z_P^k\right) = \sum\nolimits_{j=1}^{P} v_{Z_P^K}(Z_P^k),$$

где $k = 1, ..., K$, $p = 1, ..., P$.

Шаг 3. Критерии $Z_1^k, ..., Z_P^k$ ($k = 1, ..., K$) ранжируются по предпочтительности экспертным путём.

Шаг 4. Находятся значения шкалирующих коэффициентов λ_k для каждого оценочного критерия $Z_P^K, 0 < \lambda_k < 1, \sum_{k=1}^{K} \lambda_k$.

Шаг 5. Находятся оценки предпочтительности перевозчика по обобщённой функции ценности (потребительской оценки) по всем критериям $Z_1^k, ..., Z_P^k$:

$$v\left(Z_1^1, ..., Z_P^K\right) = \sum\nolimits_{k=1}^{K} \lambda_k v_k(Z_P^K),$$

где λ_k — найденные шкалирующие коэффициенты для критериев Z_P^k.

В результате, вычислив обобщённую функцию ценности для каждого ЛП, можно сделать вывод о выборе логистического перевозчика для транспортировки готовой продукции.

В качестве второго метода используется метод БОФа [4].

Схема алгоритма *Ch_carrier_bof*

Вход: P — количество перевозчиков; K — количество критериев оценки перевозчиков; Z_P^k — значения по каждому критерию k для каждого ЛП p, где $k = 1, ..., K$, $p = 1, ..., P$.

Выход: перевозчик, удовлетворяющий требуемым критериям.

Шаг 1. Ранжируются критерии выбора ЛП по важности в соответствии с предпочтениями.

Шаг 2. Определяются весовые коэффициенты каждого критерия выбора ЛП.

Шаг 3. Ранжируются альтернативы по важности в соответствии с предпочтениями ЛПР по каждому критерию.

Шаг 4. Рассчитываются весовые коэффициенты каждой альтернативы по каждому критерию.

Таблица 1

Входные данные

Альтернативы	Критерии оценки альтернатив								
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9
1	18 000	50	790	70	86	6	78	50	90
2	22 000	60	1 200	80	58	7	89	60	88
3	25 000	90	1 400	50	61	4	80	90	69
4	20 000	70	1 200	98	58	3	98	70	95
5	21 000	75	1 200	88	90	9	91	75	79
6	26 000	81	600	78	88	10	92	81	84
7	30 000	85	7 000	89	69	7	67	85	86
8	34 000	88	5 000	80	95	8	70	88	58
9	24 000	85	600	98	79	8	80	85	50
10	21 000	90	620	91	84	6	50	90	60

Таблица 2

Ранжирование критериев

Ранжирование критериев	Обозначение	Ранг
Стоимость перевозки, усл. ед.	W1	3
Надёжность соблюдения графика доставки груза, %	W2	1
Время оформления заявки на транспортировку, мин	W3	9
Степень ответственности за груз, %	W4	2
Отслеживание отправок, %	W5	5
Частота отправок, балл	W6	8
Рейтинг, %	W7	4
Готовность схем маршрутизации перевозок, %	W8	7
Коммуникабельность предприятия, %	W9	6

Таблица 3

Итоговое ранжирование логистических перевозчиков

Ch_carrier		Ch_carrier_bof	
Рейтинг	Обобщённый показатель	Рейтинг	Обобщённый показатель
10	**0,85**	**10**	**0,116**
5	0,8	4	0,114
4	0,75	5	0,113
6	0,74	9	0,112
9	0,71	6	0,104
7	0,62	8	0,096
8	0,61	7	0,091
3	0,6	3	0,091
2	0,34	2	0,081
1	0,3	1	0,081

Шаг 5. Рассчитываются значения обобщённого показателя для каждой альтернативы.

Шаг 6. Проводится итоговое ранжирование альтернатив в соответствии со значениями обобщённых показателей и выбирается наилучший перевозчик.

Проведём сравнение полученных решений двумя описанными методами. Рассматривался пример из 10 ЛП и 9 критериев, описанных в табл. 1.

Для обоих методов необходимо проранжировать критерии выбора (табл. 2).

Результат решения задачи выбора ЛП представлен в табл. 3.

Проведённый эксперимент показал, что независимо от метода выбора ЛП наилучшей альтернативой является первый ЛП. Однако в табл. 3 видно различие в «рейтинге» ЛП. Это может быть обусловлено тем, что в методе Кини — Райфа для построения рейтинга используются функции ценности каждого критерия, которые могли быть построены с допустимой погрешностью.

Библиографический список

1. Быркова, Е. Обзор рынка грузоперевозок 2015: статистика и тенденции [Электронный ресурс]. URL: http://xn--b1ae2adf4f.xn--p1ai/analytics/research/32406-obzop-pynka-gpuzopepevozok-2015-statistika-i-tendentsii.html

2. Сергеев, В. И. Логистика в бизнесе / В. И. Сергеев. М. : Инфра-М, 2001. 608 с.

3. Кини, Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа М. : Радио и связь, 1981. 560 с.

4. Николаева, М. А. Методы и алгоритмы принятия решений в примерах и задачах : учеб. пособие / М. А. Николаева, О.Ф. Зотова. Уфа, 2010. 110 с.

5. Рассадникова, Е. Ю. Система поддержки принятия решений при планировании транспортного процесса с учетом специальных ограничений (на примере нефтехимического предприятия) : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Рассадникова Екатерина Юрьевна. Уфа, 2015. 16 с.

6. Рассадникова, Е. Ю. Комплексный подход к планированию транспортного процесса для перевозки нефтехимической продукции / Е. Ю. Рассадникова // Интеллектуальные технологии обработки информации и управления : тр. Междунар. конф. Уфа : Изд-во Уфим. гос. авиац. техн. ун-та, 2014. Т. 2. С. 65–70.

7. Рассадникова, Е. Ю. Обеспечение поддержки управленческих решений при выборе логистического перевозчика для транспортировки готовой продукции / О. Н. Сметанина, Е. Ю. Рассадникова // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений : тр. 3-й Междунар. конф. Уфа : Изд-во Уфимского. гос. авиац. техн. ун-та, 2015. Т. 2. С. 50–54.

Сведения об авторах

Сметанина Ольга Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный технический авиационный университет, Уфа. *smoljushka@mail.ru*

Рассадникова Екатерина Юрьевна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный технический авиационный университет, Уфа. rassadnikova_ekaterina@mail.ru

Смолина Анастасия Сергеевна — магистрант кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный технический авиационный университет, Уфа. nastena1595@yandex.ru

Грачева Юлия Евгеньевна — бакалавр кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный технический авиационный университет, Уфа. uliy-1@yandex.ru

---

O. N. Smetanina, E. Yu. Rassadnikova, A. S. Smolina, Yu. E. Gracheva

CARRIER SELECTION ON THE BASIS OF METHODS OF MULTI CRITERIA ASSESSMENT FOR MANAGEMENT SYSTEM OF GOODS TRANSPORTATION

In the article urgency of problem of carrier selection is discussed, criteria and alternatives are described. Methods of multicriteria assessment, namely the method of Keene and Rife and BOF's method are used for problem of carrier selection.

ББК 381
УДК 004.891

С. В. Смирнов

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ КАРТ ПРИ ИХ КОЛЛЕКТИВНОЙ РАЗРАБОТКЕ

Предложена методика построения ориентированного знакового графа — когнитивной карты — в условиях неполноты и противоречивости мнений у привлекаемых к разработке экспертов относительно значимых факторов предметной области и их взаимовлияния.

Когнитивные карты — широко применяемый на практике и активно развиваемый в России и за рубежом комплекс моделей, методов и компьютерных средств для формализации экспертных знаний при управлении слабоструктурированными ситуациями (см., например, обзоры [1; 2]).

Вместе с тем специалисты единодушно отмечают, что наряду с несомненными достижениями в развитии математического аппарата анализа этап формализации представлений о слабоструктурированной динамической ситуации — этап построения когнитивных карт экспертами — остаётся недостаточно поддержанным формальными моделями и методами [1; 3]. Особенно это касается вопросов увязки понимания разными экспертами анализируемой проблемной ситуации, когда формируемая когнитивная карта является продуктом коллективного труда. Согласование знаний и мнений экспертов обрисовывается в таком случае как неформальные действия выделенного координатора работы, в лучшем случае поддержанные современными программно-техническими средствами удалённого взаимодействия работников [4].

Представляется, что в коллективной инженерии знаний, имеющей целью построение когнитивных карт, могут быть применены подходы, используемые на отдельных этапах онтологического анализа данных [5–7]. Не уменьшая общности высказанного предложения, рассмотрим соответствующие модели и методы на примере формирования знакового графа — исторически первой и фундаментальной когнитивной модели динамической ситуации.

Знаковый граф может быть описан кортежем (F, W), где $F = (f_i)_{i=1,\ldots,n}$ — множество вершин-факторов ситуации, $W = (w_{ij})_{i=1,\ldots,n;\ j=1,\ldots,n}$ — матрица смежности графа: $w_{ij} \in \{+1, 0, -1\}$, $w_{ij} \neq 0$ свидетельствует о существовании в графе ребра (i, j), фиксирующего влияние i-го фактора на j-й: «положительное» при $w_{ij} = +1$ и «отрицательное» при $w_{ij} = -1$, $w_{ii} = 0$ (0 свидетельствует, что влияния не существует).

Феномен результата коллективной работы k экспертов над формированием подобной когнитивной карты можно выразить следующим образом:

$$F = \cup_{i=1,\ \ldots,\ k} F_i,$$
$$W = \oplus_{i=1,\ \ldots,\ k} W_i.$$

Это означает учёт в модели всех факторов, выделяемых каждым экспертом (путём теоретико-множественного объединения этих F_i-факторов; здесь мы не касаемся лингвистического аспекта осуществления подобных действий на практике, а также куда более сложной проблемы соразмерности объёмов понятий различных факторов [3]), и также формирования некоторой композиции описаний межфакторных влияний W_i.

Сосредоточимся на проблеме построения указанной композиции влияний.

В качестве объектов интересующей нас предметной области (ПрО) выделим упорядоченные пары факторов $(f_i, f_j) \in F$, $i \neq j$. Актуальными, или базовыми семантическими суждениями (БСС) в этой ПрО будут независимые заключения экспертов о «положительном» («+») и «отрицательном» («–») влиянии i-го фактора на j-й.

Данные, поступившие от экспертов, структурируются в виде обобщённой таблицы «объекты—свойства» (ОТОС), где константа **X** указывает на наличие, а **None** — на отсутствие у объекта того или иного свойства. Константа **NM** (*not measured*) указывает, что экспертом оценка соответствующего влияния не проводилась, например, потому, что в его оценке ситуации отсутствует один или оба рассматриваемых в строке ОТОС фактора влияния. Константа **Failure** фиксирует нередко наблюдаемый на практике случай сомнения и отказа эксперта от определённой оценки влияния i-го фактора на j-й.

В действительности ОТОС может иметь более богатую структуру, отражая ещё и степени доверия к отдельным экспертам, и независимые серии оценок одного и того же эксперта (возникающие, например, в результате нескольких его «подходов» к задаче), причём при различном количестве серий у каждого эксперта и отличающейся достоверности данных, фиксируемых в каждой серии [5; 7].

Нетрудно видеть, что данные экспертизы, представленные в ОТОС, вообще говоря, неполны и противоречивы. Для их консолидации целесообразно применять многозначные логики. В частности, необходимым балансом качеств обладает векторная логика V^{TF}, где истинность БСС оцениваться вектором $\langle$*Истина, Ложь*$\rangle$ [8]:

Данные экспертизы влияний факторов ситуации

Фактор	Эксперт 1		…	Эксперт k	
	«+»	«–»		«+»	«–»
(f_1, f_2)	**X**	**None**	…	**NM**	**NM**
(f_1, f_3)	**Failure**	**X**		**NM**	**NM**
…					
(f_n, f_{n-1})	**Failure**	**Failure**		**None**	**None**

$$b_{ij} = \langle b^+_{ij}; b^-_{ij} \rangle; \; b^+_{ij}, b^-_{ij} \in [0; 1].$$

Нестрогое соответствие «упорядоченная пара факторов — влияние, по мнению отдельного эксперта» получается путём преобразования ОТОС, когда смысловой интерпретацией значений **X**, **None**, **NM** и **Failure** служат истинностные константы V^{TF}-логики $\langle 1; 0 \rangle$ — «Истина», $\langle 0; 1 \rangle$ — «Ложь», $\langle 0; 0 \rangle$ — «Неопределённость», $\langle 0{,}5; 0{,}5 \rangle$ — «Ожидание» соответственно. Свёртка полученного соответствия согласно правилам совмещения векторных оценок истинности интересующих нас семантических суждений определит нестрогое соответствие между множеством упорядоченных пар факторов и множеством влияний {«+», «–»}, альфа-сечение которого ($\alpha = \langle \alpha^+, \alpha^- \rangle$, $\alpha^+, \alpha^- \in [0; 1]$ — порог доверия к данным экспертизы) определит однозначное соответствие «упорядоченная пара факторов — влияние», очевидным образом легко трансформируемое в искомую матрицу W.

К сожалению, в общем случае полученный результат не будет корректным. Причина в том, что описанный стандартный приём альфа-аппроксимации не учитывает зависимости между оцениваемыми свойствами объектов анализируемой ПрО [6; 7]. В рассматриваемом случае неучтёнными оказываются ограничения существования межфакторных влияний в знаковом орграфе.

В литературе мы не нашли явных формулировок указанных ограничений, но, по крайне мере, некоторые из них непосредственно следуют из фундаментальных определений знаковых моделей динамической ситуации [1]:

– в ориентированном знаковом графе отсутствуют петли, то есть пара факторов (f_i, f_i) заведомо исключается из анализа влияний;

– в упорядоченной паре факторов (f_i, f_j), $i \neq j$ фактор f_i влияет на фактор f_j либо «положительно», либо «отрицательно» (то есть свойства «+» и «–» упорядоченных пар факторов несовместимы);

– ориентированный знаковый граф описывает совокупность прямых влияний одного фактора ситуации на другой (а непрямые влияния вычисляются по известным правилам), другими словами, фактор f_i может влиять на фактор f_j либо только прямо, либо только косвенно.

В [7] обоснован эвристический метод рационального альфа-сечения нестрогого соответствия «объекты—свойства», результативный при любом составе ограничений существования свойств (в предположении возможности проверки выполнения этих ограничений) и, следовательно, пригодный для построения матрицы W при коллективной разработке когнитивных карт.

Библиографический список

1. Кузнецов, О. П. Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт / О. П. Кузнецов, А. А. Кулинич, А. В. Марковский // Человеческий фактор в управлении / под ред. Н. А. Абрамовой, К. С. Гинсберга, Д. А. Новикова. М. : КомКнига, 2006. С. 313–344.

2. Кулинич, А. А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы / А. А. Кулинич // Проблемы упр. 2010. № 3. С. 2–16.

3. Абрамова, Н. А. Некоторые критерии достоверности моделей на основе когнитивных карт / Н. А. Абрамова, С. В. Коврига // Проблемы упр. 2008. № 6. С. 23–33.

4. Коростелёв, Д. А. Система поддержки принятия решений на основе нечетких когнитивных моделей «ИГЛА» / Д. А. Коростелёв, Д. Г. Лагерев, А. Г. Подвесовский // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008, 28 сент.— 3 окт. 2008 г., Дубна, Россия. М. : Ленанд, 2008. Т. 3. С. 327–329.

5. Смирнов, С. В. Многозначная и нечёткая логики в онтологическом анализе данных / С. В. Смирнов // Информационные технологии и системы : тр. Третьей Междунар. науч. конф. (ИТиС–2014), 26 февр. — 2 марта 2014 г., Банное, Россия / отв. ред. : Ю.С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 90–91.

6. Коварцев, А. Н. Интеллектуализация формирования контекста для вывода понятийной структуры предметной области / А. Н. Коварцев, В. С. Смирнов, С.В. Смирнов // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф. (ИТиС–2015), 25 февр. — 1 марта 2015 г., Банное, Россия / отв. ред. : Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 82–83.

7. Самойлов, Д. Е. Анализ неполных данных в задачах построения формальных онтологий / Д. Е. Самойлов, В. А. Семёнова, С. В. Смирнов // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 3 (21). С. 317–339.

8. Аршинский, Л. В. Применение векторного формализма в логике и логико-математическом моделировании / Л. В. Аршинский // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 4 (22). С. 436–451.

Сведения об авторе

Смирнов Сергей Викторович — доктор технических наук, заместитель директора, Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара. smirnov@iccs.ru

---

S. V. Smirnov

SOME MODELS AND METHODS FOR THE COLLABORATIVE DEVELOPMENT OF COGNITIVE MAPS

The paper presents a method for the analysis of incomplete and conflicting data in the collective development of cognitive maps. The processing of expert opinions regarding significant factors and their interaction in the domain of interest is considered.

ББК О808.036
УДК 656.05

Е. И. Соболев, Ю. В. Пономарчук, В. В. Суриц

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПЕШЕХОДОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «УМНОГО ГОРОДА»

Работа посвящена анализу алгоритмов компьютерного зрения, применяемых с целью детектирования пешеходов в интеллектуальных системах «умного города». Алгоритмы компьютерного зрения сравнивались с помощью программного модуля, использующего функционал библиотеки OpenCV. Видеопоток, зафиксированный видеокамерой, обрабатывался с целью извлечения статистики о количестве детектированных пешеходов в поле зрения и направлении их движения. Результаты анализа видеопотока могут быть использованы для целей геомаркетинга, анализа чрезвычайных ситуаций и т. п.

В настоящее время проблема эффективного и робастного детектирования пешеходов в реальном времени на улицах города привлекает внимание исследователей в связи с разнообразием приложений результатов подобного анализа. В первую очередь они могут быть использованы в системах контроля доступа, а также в геомаркетинговых исследованиях с целью выявления наиболее посещаемых объектов, определения пропускной способности улиц, управления пешеходными потоками и анализа движения людей и транспорта, в том числе в чрезвычайных ситуациях. Следует отметить, что современные исследования посвящены как повышению точности и робастности детектирования движущихся объектов, так и оптимизации программно-аппаратных систем с целью их эксплуатации в беспроводных мультимедийных сенсорных сетях с возможностью автоматизированной обработки данных в реальном времени. В данной работе представлен сравнительный анализ алгоритмов детектирования пешеходов и их реализаций. В результате обзора литературных источников были выбраны четыре алгоритма для последующей реализации, которые дают наименьшую долю ошибок. Также были рассмотрены два классических алгоритма, являющихся основой большинства современных методов решения поставленной задачи.

Одним из наиболее часто рекомендуемых методов обнаружения пешеходов является *каскадный алгоритм Виолы — Джонса*, основанный на применении вейвлетов Хаара (Haar wavelet) [1]. Поиск пешеходов на изображении осуществляется сканированием скользящим окном (окном обнаружения) с использованием признаков Хаара, которые могут иметь различные типы, масштабы и ориентацию. Внутри окна обнаружения генерируется более 100 000 признаков. Каждое окно проходит цепочку уровней анализа, отсекающих бóльшую долю негативных случаев. На следующие уровни поступают окна, не отсечённые на предыдущем. Критерии отсечения уровней задаются при обучении детектора.

Если заданы признаки Хаара $f_1, \ldots, f_n$, то вектор признаков $x = (f_1(x), \ldots, f_n(x))$ называется признаковым описанием объекта из заданного множества $x \in X$. Признаковые описания допустимо отождествлять с самими объектами. При этом множество $X = D_{f1} \cdot \ldots \cdot D_{fn}$ (множество допустимых значений признака) называют признаковым пространством [2]. Признаки делятся на типы в зависимости от множества D_f: бинарные, номинальные, порядковые или количественные.

В стандартном методе Виолы — Джонса используются прямоугольные признаки, изображённые на рис. 1 и называемые примитивами (признаками) Хаара.

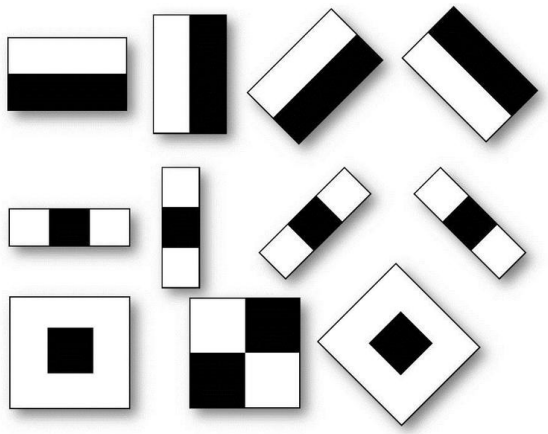


Рис. 1. Примитивы (признаки) Хаара

Для определения объектов используется понятие интегрального представления изображения, представляющего собой матрицу, размерность которой совпадает с размерностью исходного изображения. В каждом её элементе хранится сумма интенсивностей всех пикселей, находящихся левее и выше данного элемента. Элементы матрицы рассчитываются по формуле

$$L(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^{i \le x, j \le y} I(i, j),$$

где $I(i, j)$ — яркость пикселя исходного изображения.

$$L(x, y) = L(x_i, y_i) - L(x_{i-1}, y_{i-1}).$$

Каждый элемент матрицы $L(x, y)$ представляет собой сумму пикселей в прямоугольнике от (0, 0) до (x, y), то есть значение каждого пикселя (x, y) равно сумме значений всех пикселов левее и выше пикселя с координатами (x, y). Расчёт элементов матрицы занимает линейное время, пропорциональное числу пикселей, интегральное представление изображения вычисляется за один проход.

Детектор алгоритма Виолы — Джонса обладает низкой вероятностью ложного обнаружения. В [3] приведены основные принципы, на которых основан метод: используются изображения в интегральном представлении, что позволяет быстро определять интересующие объекты, признаки Хаара, с помощью которых происходит поиск объекта, бустинг (boosting) для выбора наиболее подходящих признаков на данной части изображения, классификатор, на вход которого поступают все признаки и который даёт результат «истина» либо «ложь» и каскады признаков для быстрого отбрасывания окон, где не найден пешеход.

Алгоритм распознавания объектов на основе гистограммы направленных градиентов (Histogram of Oriented Gradients, HOG). Этот метод может обрабатывать только изображения размера 320×240. Хотя авторы [4] использовали «объединённое изображение» для ускоренного процесса обнаружения. Основная идея заключается в том, что форма и вид объектов на изображении могут описываться распределением относительных величин градиентов функции интенсивности, характеризующих направление границ объектов. Как правило, алгоритм применяется следующим образом. Изображение разбивается на «ячейки», каждой из которых соответствует одномерная гистограмма направлений градиентов (ориентации рёбер). Пример представлен на рис. 2.

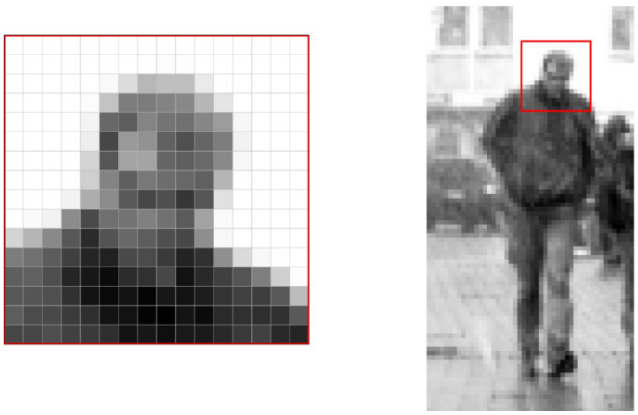


Рис. 2. Пример разбиения изображения на области [5]

Каждый столбик гистограммы соответствует определённому диапазону направлений градиентов соответствующего направления и содержит их суммарную (по пикселям ячейки) яркость. Совокупность всех гистограмм образует общее представление о рёбрах (рис. 3).

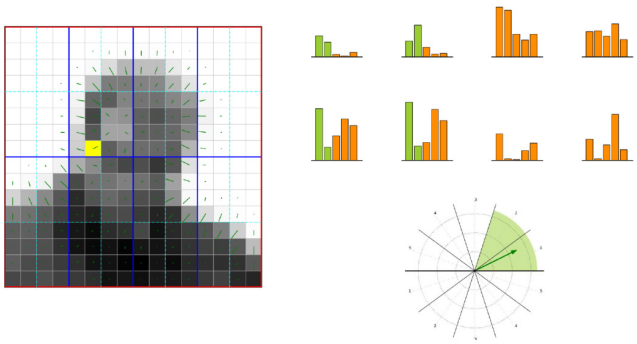


Рис. 3. Гистограммы направленных градиентов [5]

При перепадах освещения производится нормировка значений в полученных гистограммах относительно некоторой области, содержащей рассматриваемую ячейку. Соседние ячейки объединяются в «блоки», а значения в гистограммах всех ячеек внутри блока нормируются на суммарное значение магнитуды градиентов по рассматриваемому блоку. Нормализованные блоки называются HOG-дескрипторами, а множество таких блоков, локализованных в компактной области изображения, образует «окно поиска». Итоговый вектор признаков образуется конкатенацией дескрипторов внутри окна поиска. Из исследований, приведённых в обзоре [6], HOG-алгоритм обладает самым высоким качеством обнаружения, значительно опережая каскадный алгоритм, основанный на признаках Хаара.

Прежде чем перейти к сравнительному анализу современных алгоритмов детектирования пешеходов, следует отметить два вида преобразований, который сравнительно часто в них используются.

LUV-преобразование. Метод заключается в преобразовании входного изображения из одного цветового пространства в другое. Стоит обратить внимание на то, что модель RGB используется для представления цветного изображения в библиотеке OpenCV по умолчанию. Однако на практике часто используется модель BGR (синий—зелёный—красный).

Диапазоны для R-, G-, B-каналов:

– от 0 до 255 для изображений формата CV_8U;
– от 0 до 65 535 для изображений формата CV_16U;
– от 0 до 1 для изображений формата CV_32F.

В случае линейных преобразований диапазон значений цвета не важен. Однако в случае нелинейного преобразования входное изображение в RGB-представлении должно быть нормализовано к ряду собственных значений. Пример преобразованного изображения к LUV-представлению приведён на рис. 4.

Метод построения оптического потока Flow представляет собой метод изображения видимого

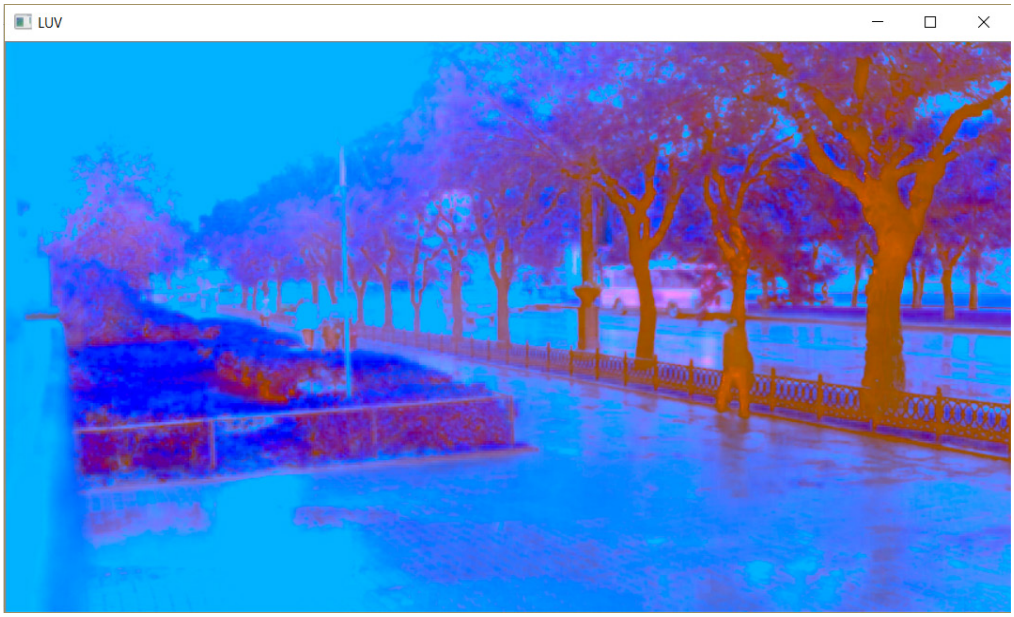


Рис. 4. Результат преобразования изображения в LUV-представление

движения как сдвига каждой точки в одном кадре относительно другого в видеопотоке. При реализации классификаторов в задаче детектирования объектов обычно выделяются их характерные точки и сдвиги между ними. Для вычисления оптического потока применяют два способа: плотный (dense) и выборочный (sparse). Выборочный поток рассчитывается по сдвигам отдельных заданных точек (например, точек, выделенных HOG-детектором), плотный поток рассчитывается на основе сдвигов всех точек изображения. С помощью оптического потока на видео выделяются движущиеся объекты. Пример приведён на рис. 5.

Далее рассмотрены методы детектирования пешеходов, рекомендуемые в литературных источниках как наиболее эффективные (табл. 1) [7].

InformedHaar [1]. Метод основан на применении признаков Хаара для изображений, преобразованных в LUV-представление. На рис. 6 представлены рассматриваемые признаки Хаара, каждому из которых присваивается весовое значение. Основной проблемой является изменение геометрии человеческого силуэта, а точнее углов, которые могут повлиять на результаты анализа изображения.

SquaresChnFtrs [8]. Входное изображение преобразуется в LUV-представление, строится вектор

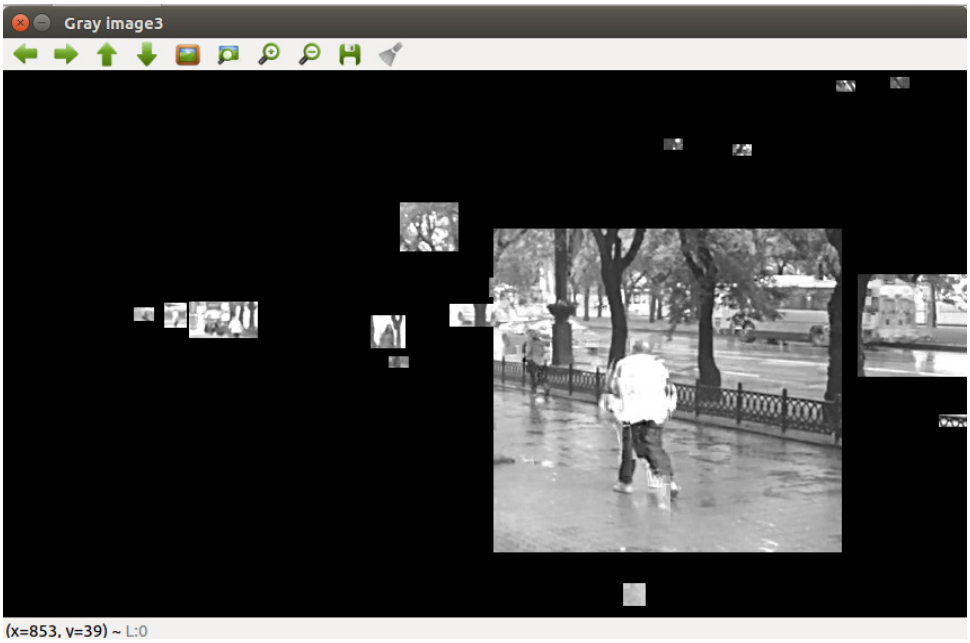


Рис. 5. Пример выделения движущихся объектов путём использования оптического потока

Таблица 1

Метод	Средняя ошибка, %	Составляющие метод алгоритмы	Выборка обучения
InformedHaar [1]	34,60	HOG+LUV	Caltech
SquaresChnFtrs [8]	34,8	HOG+LUV	Caltech
ACF+SD [7]	37,34	ACF+Flow	Caltech и дополнительные данные
Katamari-v1 [7]	22,49	HOG+Flow	Caltech и дополнительные данные
VJ [7]	94,37	Haar	INRIA

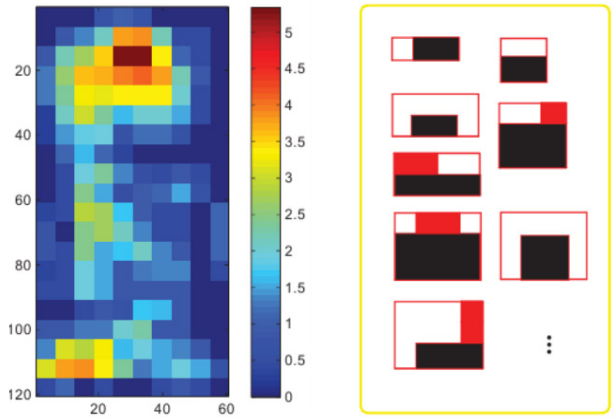


Рис. 6. Результат преобразования изображения в LUV-представление и признаки Хаара [1]

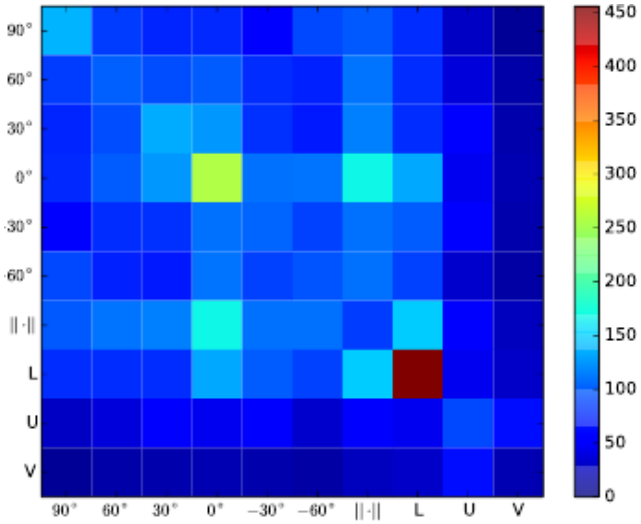


Рис. 7. Результат преобразования изображения в LUV-представление и его разбиение на прямоугольники [8]

разностей как объединённые суммы по (большому) набору прямоугольных полигонов. Вектор разностей передаётся классификатору, который обучен с помощью алгоритма Adaboost. Adaboost служит и для выбора разностей для изучения порогов в узлах. Пример представления изображения приведён на рис. 7.

ACF+SD [7]. При детектировании пешехода происходит кодирование оптического потока. Информация об обнаружении определяется с помощью алгоритма 2Ped. Метод эффективно анализирует области 8×8 ячеек.

Katamari-v1 [7]. Метод детектирования представляет собой комбинацию методов SquaresChnFtrc, DCT, SDT, 2Ped. Так, алгоритм использует сильные стороны каждого метода и компенсирует их недостатки. Результаты сравнительного анализа применения комбинаций методов представлены в табл. 2.

В результате сравнительного анализа можно заключить, что метод Katamari-v1 является наиболее эффективным, однако для его использования необходим значительный объём вычислительных ресурсов и ресурсов памяти. Таким образом, повышение точности детектирования снижает возможности применения метода в реальном времени.

Экспериментальное исследование проводилось с помощью программно-аппаратного комплекса, разработанного в студенческом конструкторском бюро

Таблица 2

Сравнение показателей детектирования пешеходов [7]

Метод	Величина средней ошибки	Улучшение, %	Среднее улучшение, %
SquaresChnFtrs	34,81	–	–
+DCT	31,28	3,53	–
+DCT	30,34	4,47	–
+2Ped	29,42	5,39	–
+DCT+2Ped	27,40	7,41	8,92
+DCT+2Ped	26,68	8,13	9,86
+DCT+SDt	25,24	9,57	8,00
Katamari-v1	22,49	12,32	13,39

Дальневосточного государственного университета путей и сообщения. Аппаратный модуль, представленный на рис. 8, состоит из корпуса, блока питания, IP-камеры, микрокомпьютера, интерфейсных модулей. Устройство обеспечивается питанием 220 В. Блок питания преобразует напряжение питания в 5 и 12 В. Напряжение в 5 В требуется для питания микрокомпьютера, а 12 В используется для нагревательного элемента и питания IP-камеры. Связь между IP-камерой и микрокомпьютером обеспечивается протоколом 10BASE, кроме того, микрокомпьютер оборудован WI-FI-модулем.

Программный модуль реализован на языке C++ с использованием функций библиотеки OpenCV. В программном модуле были реализованы алгоритмы детектирования пешеходов Виолы — Джонса (VJ), HOG и их комбинация. Обработка видеопотоков проводилась в офлайн-режиме, её результаты приведены в табл. 3.

Обратим внимание, что алгоритм на основе HOG имеет наиболее низкий показатель ошибки обнаружения пешехода, но время обработки изображений сравнительно высоко, тогда как метод VJ характеризуется противоположными значениями показателей.

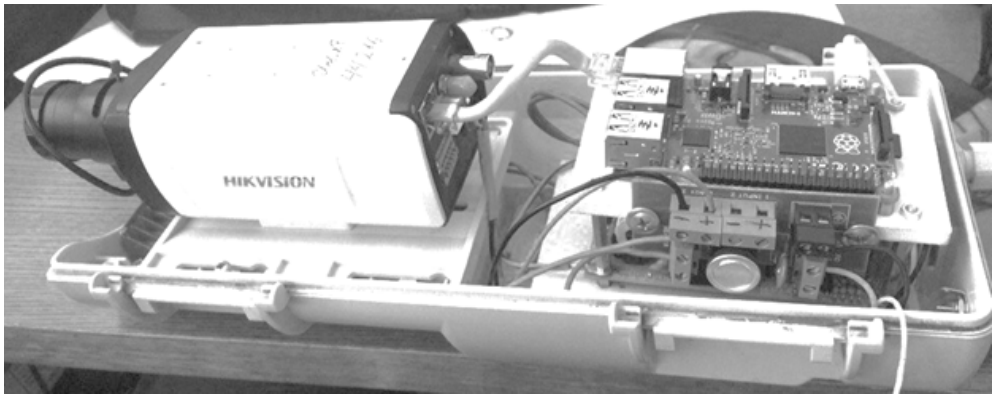


Рис. 8. Аппаратный комплекс

Таблица 3

Результаты экспериментального анализа

Методы	Количество обнаружений пешеходов		Процент обнаружения	Время обработки, с
	Правильные	Ложные		
VJ/addboost	163	47	97,6	7,37
HOG/libSVM	144	3	86,2	26,66
VJ+HOG	141	4	84,4	8,97

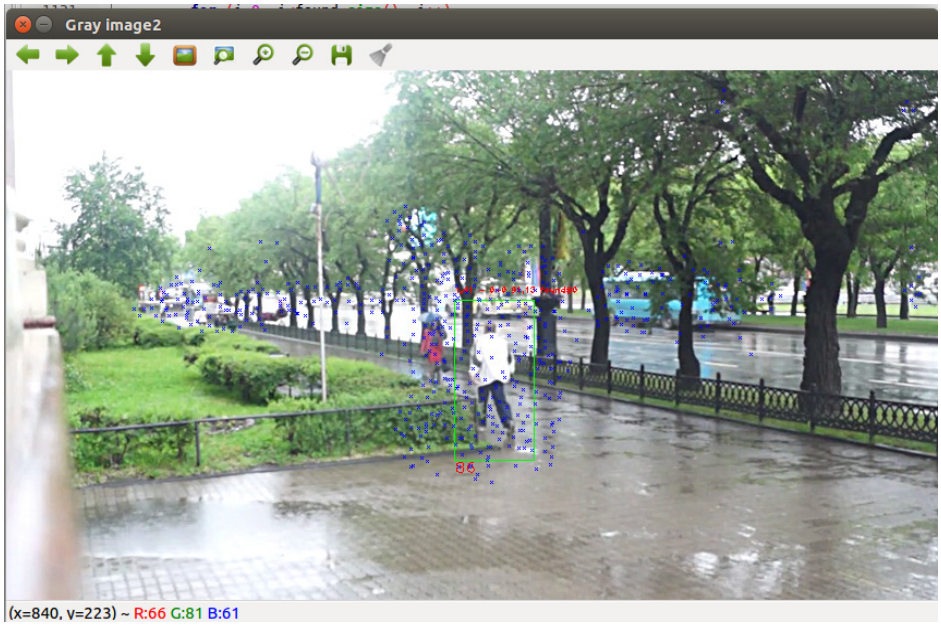


Рис. 9. Результат работы алгоритма Katamari-v1

Использование комбинации двух методов уменьшает ошибку обнаружения и время обработки видеопотока.

В настоящее время ведётся работа над реализацией алгоритма Katamari-v1 и его оптимизацией. В нём использованы два основных метода: HOG и построение оптического потока Flow. С помощью Flow выделяются блоки пикселей, содержащие движущиеся объекты, тем самым уменьшается область поиска. Оптический поток рассчитывается плотным способом. На следующем этапе используется детектор HOG, который выделяет пешехода на изображении. Результат анализа отрывка видеопотока представлен на рис. 9.

В заключение следует отметить, что наилучших результатов в детектировании движущихся пешеходов достигают методы, сочетающие достоинства различных базовых алгоритмов, которые стали классическими. В дальнейшем исследования будут посвящены анализу производительности и оптимизации алгоритма Katamari-v1 с целью его реализации для беспроводных мультимедийных сенсорных узлов, составляющих систему контроля доступа или мониторинга окружающей среды в рамках информационной системы «умного города».

Библиографический список

1. Zhang, S. Informed Haar-Like Features Improve Pedestrian Detection / S. Zhang, C. Bauckhage, A. B. Cremers // CVPR. 2014. P. 947–954.

2. Dalal, N. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection / N. Dalal, B. Triggs // CVPR. 2006. P. 1–15.

3. Разработка мультимедийных приложений с использованием библиотек OpenCV и IPP [Электронный ресурс]. URL http://www.hpcc.unn.ru/?doc=602

4. Метод Виолы — Джонса (Viola — Jones) как основа для распознавания лиц [Электронный ресурс]. URL: https://habrahabr.ru/post/133826

5. Ess, A. Mobile Vision System for Robust Multi-person Tracking / A. Ess, B. Leibe, K. Schindler, L. A. Van Gool // CVPR, IEEE Press. 2008. P. 21–40.

6. Geronimo, D. Survey of Pedestrian Detection for Advanced Driver Assistance Systems / D. Geronimo, A. M. Lopez, A. D. Sappa, T. Graf // Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2010. P. 1–12.

7. Benenson, R. Ten Years of Pedestrian Detection, What Have We Learned? / R. Benenson, M. Omran, J. Hosang, B. Schiele // ECCV 2014 Workshops. LNCS. Vol. 8926. P. 613–627.

8. Zhang, S. Filtered Channel Features for Pedestrian Detection / S. Zhang, R. Benenson, B. Schiele // CVPR. 2015. P. 1751–1760.

Сведения об авторах

Соболев Евгений Игоревич — магистрант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск. *mr_w_e_b@mail.ru*

Пономарчук Юлия Викторовна — кандидат физико-математических наук, заведующая кафедрой вычислительной техники и компьютерной графики, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск. *yulia.ponomarchuk@gmail.com*

Суриц Владлен Викторович — аспирант, преподаватель кафедры вычислительной техники и компьютерной графики, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск. *himaniman@mail.ru*

E. I. Sobolev, Yu. V. Ponomarchuk, V. V. Surits

COMPARATIVE ANALYSIS OF PEDESTRIAN DETECTION ALGORITHMS FOR “SMART CITY” INTELLECTUAL SYSTEMS

The paper is devoted to comparative analysis of computer vision algorithms, which can be used in order to detect pedestrians in “smart city” information systems. Computer vision algorithms were compared using a software application, which was developed using OpenCV library. During experimental evaluation video streams, obtained by camera, were analyzed in order to gather statistics on pedestrians’ number and their movement direction. The results of video stream processing can be used in geomarketing research, access control systems, etc.

ББК В183
УДК 519.8

Н. Д. Старостин

БАЗОВАЯ ВАРИАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОУРОВНЕВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ К МИНИМАЛЬНОМУ МАРШРУТУ

Рассматривается базовый вариант приближённого построения минимального маршрута в задаче коммивояжёра. Тестирование алгоритма выявило его способность неизменно достигать известных рекордных значений минимальной длины маршрута с числом объектов до ста и немного более.

При оптимизации маршрутов перемещения инструментов для оборудования с ЧПУ часто возникает необходимость предварительно получать наиболее близкую к минимальному маршруту последовательность передвижений инструмента [1].

Постановка рассматриваемой задачи сопоставима с симметричной задачей о коммивояжёре, в которой объекты обхода заданы декартовыми координатами на плоскости (возможно также задание объектов таблицей расстояний или стоимостей перемещений [2]).

Основная цель — построение и тестирование алгоритма, формирующего маршруты обхода, достаточно близкие по значению к оптимальному результату. При этом для размерности задач до ста и немного более элементов требуется, как правило, достигать или улучшать рекордные результаты (например, такие как в [3]) и воспроизводить известные оптимальные решения [4].

Итак, имеется N объектов обхода. В качестве иллюстрации используем простой пример из 8 точек (рис. 1). Испытаем, что получится, если в качестве базового (стартового) маршрута для построения полного гамильтонова цикла взять путь «туда — обратно» между двумя точками, максимально удалёнными друг от друга среди всех исходных точек. Общее построение (наращивание) от стартового маршрута начинается с включения в путь «туда — обратно» между выбранными двумя максимально удалёнными точками каждой из оставшихся N-2 точек. Таким образом, получим N-2 «треугольных» маршрута. Для каждого из этих маршрутов продолжаем автономные построения, а именно — ищем среди оставшихся (N-3) точек такую, которая обладает следующим свойством: приращение длины маршрута от включения её между одной из пар точек треугольного маршрута является максимальным среди минимально возможных приращений включения каждой из (N-3) точек в маршрут обхода. Найденную точку включаем в текущий маршрут. В результате имеем уже четырёхугольный маршрут (в общем случае замкнутая ломаная линия). Аналогично продолжаем данный процесс среди оставшихся (N-4) точек, затем (N-5) и так далее, пока не получим полный маршрут обхода всех точек и соответственно его длину [5].

Так, для примера из рис. 1 получается 6 вариантов обхода всех точек, построенных в результате стартового включения между двумя максимально удалёнными между собой точками (с номерами 1 и 5) каждой из оставшихся шести точек (табл. 1).

Поставим в соответствие и зафиксируем для каждого из итоговых маршрутов его длину, первую точку включения (назовём их включениями уровня 0) и место встраивания точки в базовый маршрут. Присвоим индексы для каждого включения в соответствии с возрастанием длины маршрута. Начинаем с нулевого индекса (уровень 0_0), представляющего первую точку включения, которое предопределило получение итогового маршрута с минимальной длиной.

№	x	y
0	1	1
1	0,5	6
2	4	7
3	6,4	6
4	7	4
5	9	1
6	4,3	4,5
7	2	3,5

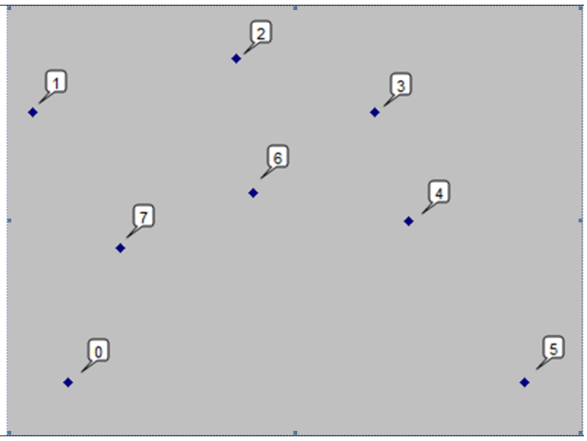


Рис. 1. Пример 1. Номера и координаты точек (слева) и их отображение (справа)

Таблица 1

№ точки	Первое включение	Итоговый маршрут	Длина маршрута
0	1–0–5–1	1 0 3 6 7 4 2 5 1	44.4123400639
2	1–2–5–1	1 0 4 3 6 7 2 5 1	40.6128078775
3	1–3–5–1	1 0 3 2 7 6 4 5 1	37.7364005034
4	1–4–5–1	1 0 7 6 2 3 4 5 1	30.8985971562
6	1–6–5–1	1 0 7 2 6 3 4 5 1	32.4024363697
7	1–7–5–1	1 7 0 6 3 4 2 5 1	37.0016544459

Отметим, что от любого из базовых маршрутов нулевого уровня (уровня 0_i) независимо от индекса гипотетически может быть получен итоговый оптимальный маршрут. Чего уже нельзя однозначно утверждать о базовых маршрутах первого и последующих уровней.

Номера последующих уровней включений и их индексы будут определяться аналогично тому, как это происходило для нулевого уровня. Так включение уровня 1_0 соответствует встраиванию каждой из свободных (N-3**)** точек в конкретный (один из N-2) «треугольный базовый маршрут» с выявлением определённой стороны встраивания (номеров вершин стороны треугольника) и точки встраивания, «порождающих» самый короткий из всех итоговый маршрут. Подобным образом определяются номера и индексы очередных уровней. В данной работе пока нас будут интересовать для уровней, отличных от уровня 0_i, только нулевые индексы. То есть рассматривается базовая вариация построений на основе схемы: уровни: $0_i - 1_0 - 2_0 - \ldots$ и т.д., где $i = 0, 1, 2, \ldots$

Важно отметить, что каждый из текущих уровней может порождать не только одну, но и несколько точек включения с нулевым индексом, к одной или разным сторонам «многоугольника» уровня. Для гарантированного получения (в рамках наших построений) наилучшего из возможных маршрутов необходимо рассматривать их все.

В качестве иллюстрации опять обратимся к нашему примеру. На рис. 2 (слева) представлен базовый треугольный маршрут при включении точки 0 между 1 и 5, который отражает уровень 0_5 (вообще пока самый далёкий от минимального). Тем не менее рассмотрим его в качестве стартовой позиции для возможного определения минимального результирующего маршрута, соответственно места первоначального встраивания и точки (точек) включения представляющих уровень 1_0. Вытекающий отсюда полный результирующий минимальный маршрут уровня длиной 30.7222986088 представлен справа. Он предопределяет точку 2 и место включения между точками 1 и 5 как потенциально лучшие для следующего уровня.

На рис. 3 слева представлен базовый четырёхугольный маршрут от включения точки 2 между точками 1 и 5 (общая схема построения: уровни 0_5–1_0) и соответствующий ему полный минимальный маршрут (справа) длиной 28.45262084. Он предопределяет точку 6 как точку включения между точками 0 и 5 на следующем уровне.

При продолжении движения дальше по уровням с нулевыми индексами, то есть реализации текущей схемы построения: уровни 0_5–1_0–2_0 (рис. 4), имеем улучшение результирующего минимального маршрута (справа) до длины 28.0192091064 и рекомендацию последующего включения точки 4 между точками 2 и 5.

Можно отметить, что осуществление на следующем и оставшихся уровнях всех «правильных» (последовательно вычисленных) включений точек, уже не приведёт к улучшению маршрута. А в силу

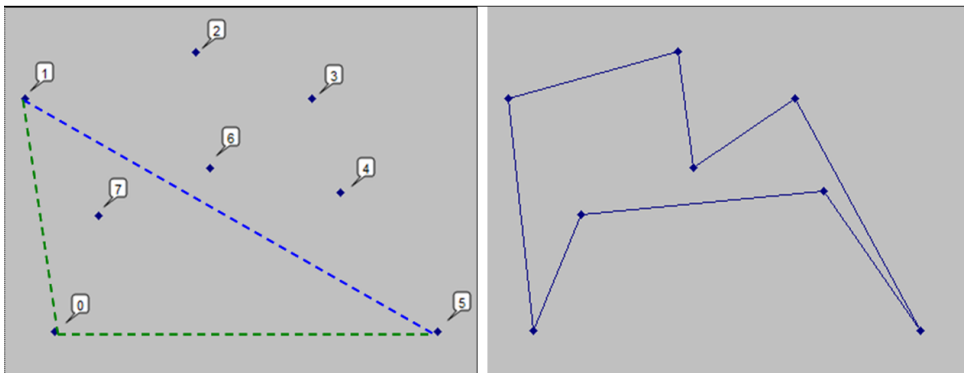


Рис. 2. Включение точки уровня 05 (слева) и соответствующий ему результирующий маршрут длиной 30.7222986088 (справа)

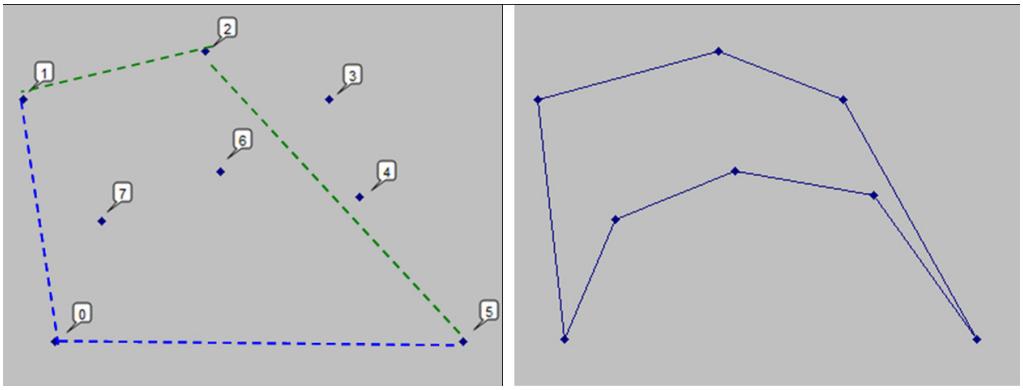


Рис. 3. Включение точки уровня 1_0 (слева) и соответствующий ему маршрут (справа) длиной 28.45262084

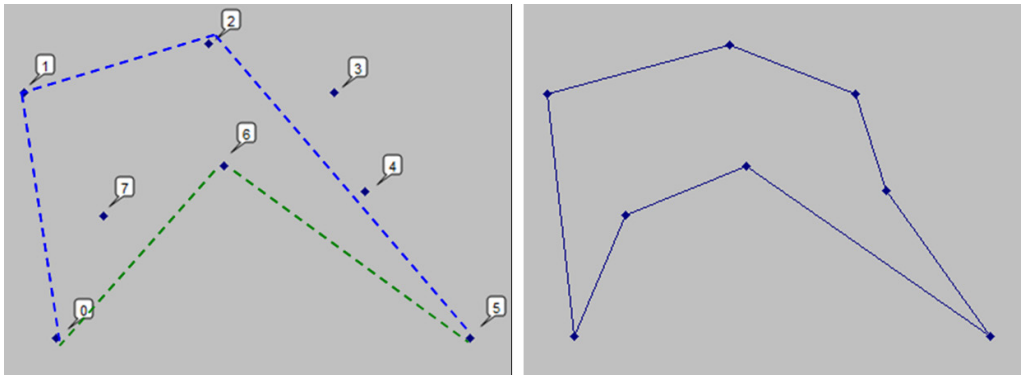


Рис. 4. Включение точки уровня 20 (слева) и соответствующий ему оптимальный маршрут (справа) длиной 28.0192091064

специфики построений, лишь зафиксирует этот результирующий (оптимальный) маршрут.

В общем случае базовый вариант алгоритма поуровневого приближения к минимальному маршруту предполагает выполнение рассмотренных стандартных построений для всех точек возможного включения уровня 0, в независимости от индекса.

Приведём общие результаты расчётов для всех точек включения нулевого уровня примера 1 из рис. 1 (табл. 2). Из них следует, что все расчёты, кроме как от точки 6 (уровень 0_1), привели к получению оптимального маршрута. Отметим, что на всех уровнях глубже нулевого выбираются для реального встраивания только те точки включения, индексы которых являются нулевыми на уровне, что должно в итоге привести к выявлению минимального из возможных маршрутов.

Расчёт для ещё одного примера, отличающегося от примера 1, лишь незначительным изменением абсциссы точки с номером 0 (рис. 5), показал, тем не менее, заметно иные результаты.

Соразмерно введённому изменению уменьшилось (округлённо на величину 0,11) значение длины оптимального маршрута. Зримо поменялись общие результаты расчётов для всех точек включения нулевого уровня, несмотря на то, что точки и места встраивания для всех индексов (0_i) остались прежними. Наконец, существенно изменился порядок обхода точек в оптимальном маршруте (табл. 3).

Таблица 2

№ точки (стартовый уровень)	Первый базовый маршрут выхода на рекорд (уровень)	Результирующий рекордный маршрут	Длина рекордного маршрута
0 (0_5)	106521 (2_0)	107654321	**28.0192091064**
2 (0_4)	15321 (1_0)	107654321	**28.0192091064**
3 (0_3)	175321 (2_0)	107654321	**28.0192091064**
4 (0_0)	1754321 (3_0)	107654321	28.0192091064
6 (0_1)	1651 (0_1)	126345071	28.0403591154
7 (0_2)	176521 (2_0)	107654321	**28.0192091064**

№	x	y
0	1,1	1
1	0,5	6
2	4	7
3	6,4	6
4	7	4
5	9	1
6	4,3	4,5
7	2	3,5

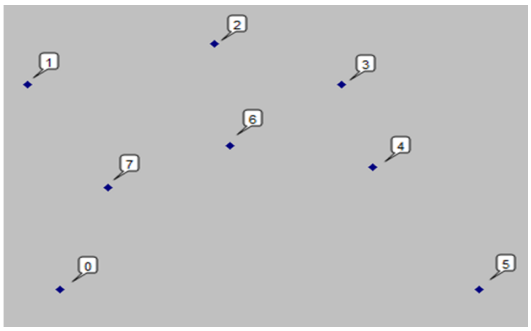


Рис. 5. Пример 2. Номера и координаты точек (слева) и их отображение (справа)

Таблица 3

№ точки (стартовый уровень)	Первый базовый маршрут выхода на рекорд (уровень)	Результирующий рекордный маршрут	Длина рекордного маршрута
0 (0_5)	1 0 6 5 2 1 (2_0)	1 0 7 6 5 4 3 2 1	27.9946262682
2 (0_4)	1 5 3 2 1 (1_0)	1 0 7 6 5 4 3 2 1	27.9946262682
3 (0_3)	1 3 5 1 (0_3)	1 2 6 3 4 5 0 7 1	27.9048427629
4 (0_0)	1 4 5 1 (0_0)	1 2 6 3 4 5 0 7 1	27.9048427629
6 (0_1)	1 5 7 1 (0_1)	1 2 6 3 4 5 0 7 1	27.9048427629
7 (0_2)	1 7 6 5 2 1 (2_0)	1 0 7 6 5 4 3 2 1	27.9946262682

Для иллюстрации этого примера на рис. 6 (слева) представлен один из трёх равноценных базовых треугольных маршрутов, сразу приводящих к получению оптимального результата. Представленный на рисунке базовый маршрут отражает уровень 0_0 (при включении точки 4 между 1 и 5). Соответствующий ему результирующий (оптимальный) маршрут длиной 27.9048427629 отображён справа.

Рассмотрим более сложный пример 3 (рис. 7), состоящий из 29 точек обхода с известным оптимальным маршрутом [6] (файл wi29.tsp).

Для этого примера из всех 27 возможных точек включения уровня 0 к оптимальному маршруту привели стандартные построения от 19 из них (см. колонку 2 табл. 4). Оптимальный маршрут достигается для соответствующей точки включения из колонки 2 (в первый раз при начале расчёта от неё) на уровне, номер которого указан в колонке 5 (последняя колонка таблицы). Диапазон уровней достижения оптимального маршрута в данном примере варьирует от 1 до 5. Чаще всего здесь это происходит на уровне 3, а среднее значение номера уровня, при котором наблюдается достижение рекордного результата, находится ближе к уровню 3.

Рассмотрим ещё один тест с известным оптимальным маршрутом (у нас это будет пример 4), состоящий из 52 точек обхода [4] (файл berlin52.tsp). Здесь выясняется, что из всех 50 возможных точек включения уровня 0 к оптимальному маршруту приводят стандартные построения от 16 из них (колонка 2 табл. 5).

Оптимальный маршрут достигается для соответствующей точки включения из колонки 2 (в первый раз при начале расчёта от неё) на уровне, номер которого указан в колонке 5 (последняя колонка таблицы). Диапазон уровней достижения

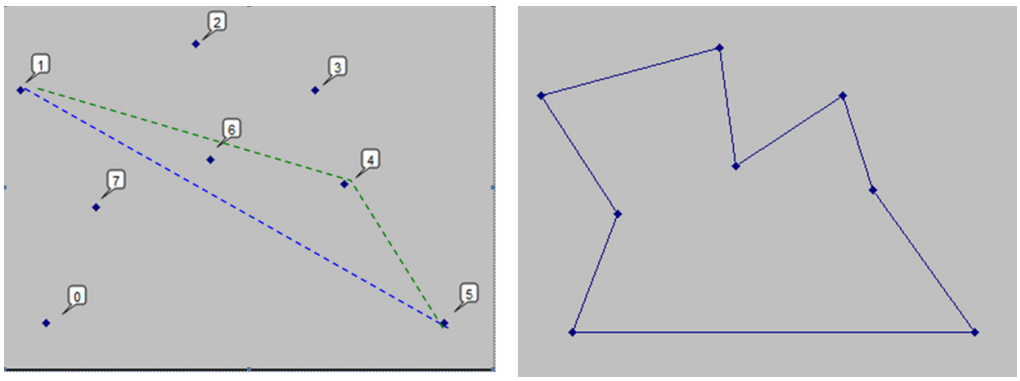


Рис. 6. Включение точки уровня 0_0 (слева) и соответствующий ему результирующий оптимальный маршрут длиной 27.9048427629 (справа)

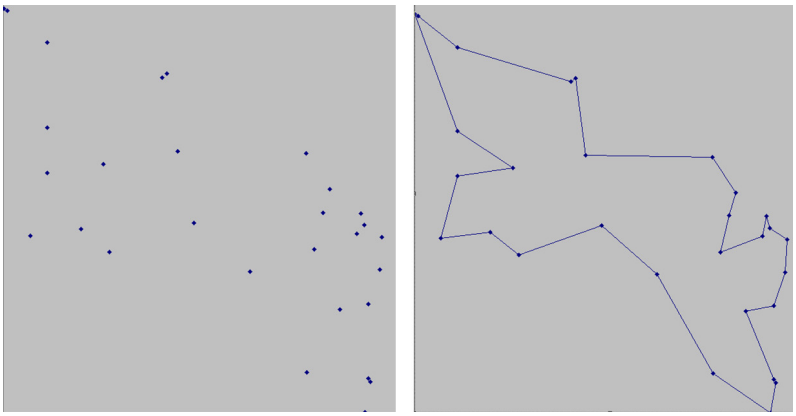


Рис. 7. Пример 3. Исходный набор точек (слева) и известный оптимальный маршрут обхода (справа)

Таблица 4

Порядковый номер	№ точки первого включения на уровне 0_i	Значение индекса i уровня 0_i	Длина полного маршрута на уровне 0	№ уровня первоначального достижения оптимального маршрута
1	9	0	27798.165946	3
2	10	1	28308.5677348	1
3	5	2	28939.4451756	4
4	1	3	29032.057855	3
5	11	4	30164.9908014	3
6	12	5	30968.8821351	4
7	14	7	31174.4057469	4
8	16	8	31753.7784752	3
9	18	9	32606.4018325	5
10	17	10	32758.7472882	3
11	22	12	33507.3229076	1
12	21	13	33801.0557149	3
13	20	16	35095.2664946	5
14	19	18	35348.8331864	4
15	28	20	35593.8899939	3
16	24	21	35617.1452592	4
17	26	23	36003.4004263	4
18	25	24	36013.2350063	4
19	27	25	36134.8578988	3

Таблица 5

Порядковый номер	№ точки первого включения на уровне 0_i	Значение индекса i уровня 0_i	Длина полного маршрута на уровне 0	№ уровня первоначального достижения оптимального маршрута
1	24	0	9042.0887942	2
2	28	3	9239.39427357	4
3	32	7	9558.98905568	2
4	17	8	9564.90374489	1
5	37	9	9605.46378002	9
6	23	10	9605.81710904	2
7	4	10	9605.81710904	2
8	47	11	9620.63176453	4
9	16	14	9665.89016251	2
10	42	15	9666.26359496	2
11	33	16	9698.61704246	7

Окончание табл. 5

Порядковый номер	№ точки первого включения на уровне 0_i	Значение индекса i уровня 0_i	Длина полного маршрута на уровне 0	№ уровня первоначального достижения оптимального маршрута
12	36	22	9846.63450807	2
13	19	25	9873.79303275	7
14	3	27	9932.50885643	4
15	14	35 (n-4)	10197.5729269	2
16	13	37 (n-2)	10402.4786423	5

оптимального маршрута варьирует от 1 до 9. Чаще всего в данном примере это происходит на уровне 2, а среднее значение номера уровня, при котором наблюдается достижение рекордного результата, находится ближе к уровню 4.

Можно отметить, что рекордные результаты достигаются с почти одинаковой простотой от соответствующих включений нулевого уровня, имеющих как начальные, так и конечные индексы. То есть как от базовых вариантов, представляющих полные маршруты уровня 0, с относительно маленькой, так и относительно большой длиной.

Это факт можно продемонстрировать, в частности, для последнего примера, цепочкой построений от почти крайнего индекса нулевого уровня с индексом 35 (рис. 8–10).

И аналогичной последовательностью построений, выполненных для того же примера, но уже от нулевого индекса нулевого уровня (рис. 11–13).

При этом если первоначальный расчётный маршрут уровня 0_{35} (длина которого и определяла данный номер индекса нулевого уровня) имел длину (10197.5729269) бóльшую, чем первоначальный маршрут уровня 0_0 (с длиной 9042.0887942),

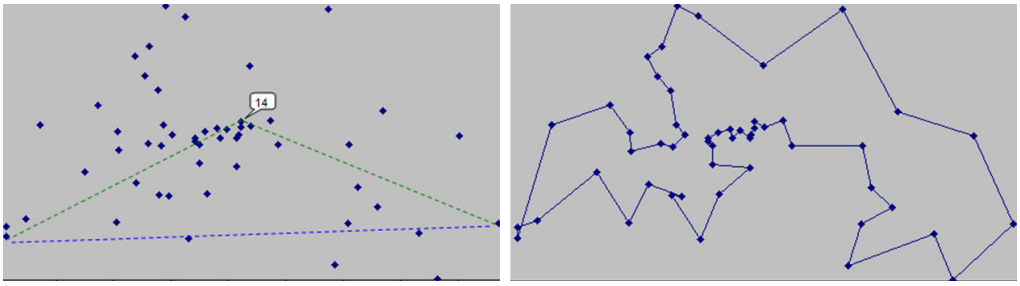


Рис. 8. Включение точки уровня 0_{35} (слева) и соответствующий ему результирующий маршрут длиной 7689.22068469 (справа)

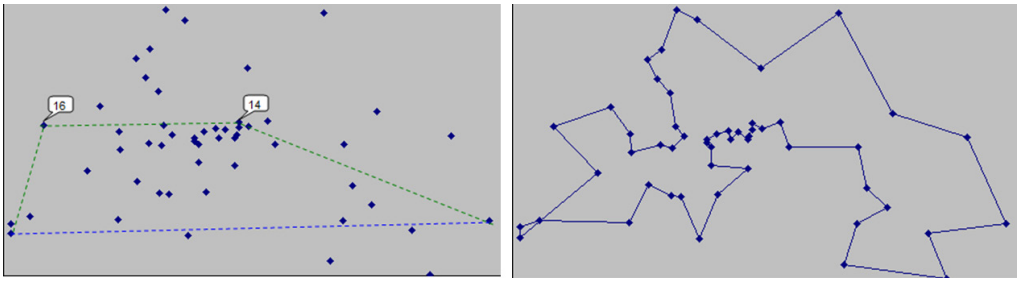


Рис. 9. Включение точек уровня 0_{35}–1_0 (слева) и соответствующий ему результирующий маршрут длиной 7571.91885011 (справа)

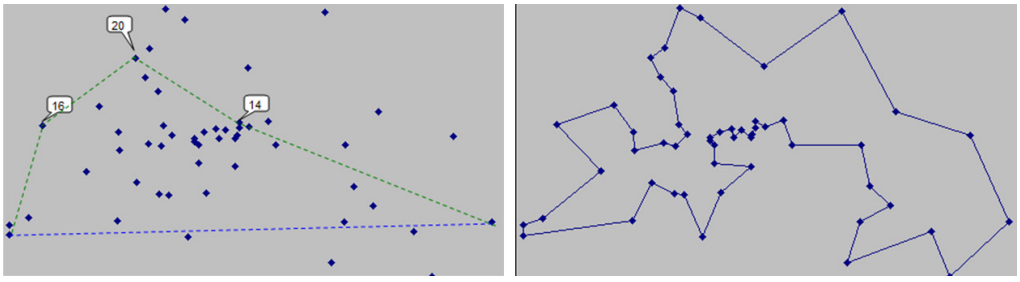


Рис. 10. Включение точек уровня 0_{35} – 1_0 – 2_0 (слева) и соответствующий ему результирующий оптимальный маршрут длиной 7544.3659019 (справа)

то на следующем шаге, при реализации надлежащих определённых включений, лучший результат (меньшая длина маршрута) зафиксируется уже на уровне 0_{35} (сравни рис. 8 и 11).

Попутно можно отметить, что известные значения рекордов нередко достигаются (улучшаются) уже при расчётах для небольшой группы младших значений индекса i схемы: уровни: $0_i - 1_0 - 2_0 - \ldots$ и т. д., где $i = 0, 1, 2, \ldots$

Так на рис. 14 приведены последовательности поуровневых включений точек, иллюстрирующие процесс достижения оптимального маршрута (изменением цвета заливки обозначен выход на оптимум) для первых четырёх строк из табл. 5 (слева — направо, соответственно для индексов 0, 3, 7, 8).

Это наблюдение позволяет существенно сократить количество построений при проведении расчётов, особенно для задач с большей размерностью.

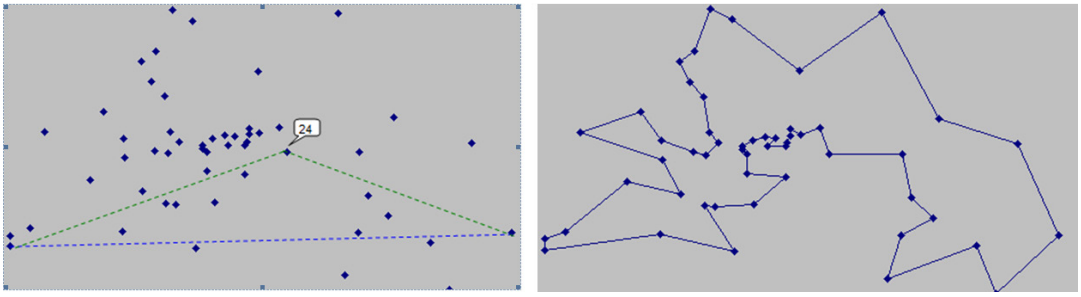


Рис. 11. Включение точки уровня 0_0 (слева) и соответствующий ему результирующий маршрут длиной 7797.54871886 (справа)

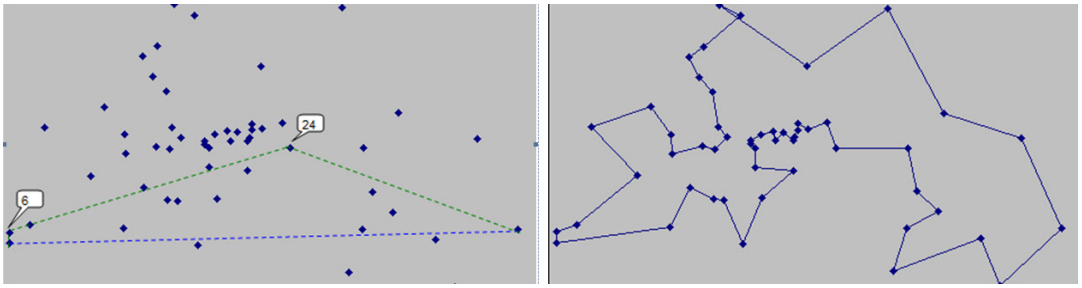


Рис. 12. Включение точек уровня 0_0–1_0 (слева) и соответствующий ему результирующий маршрут длиной 7623.43505083 (справа)

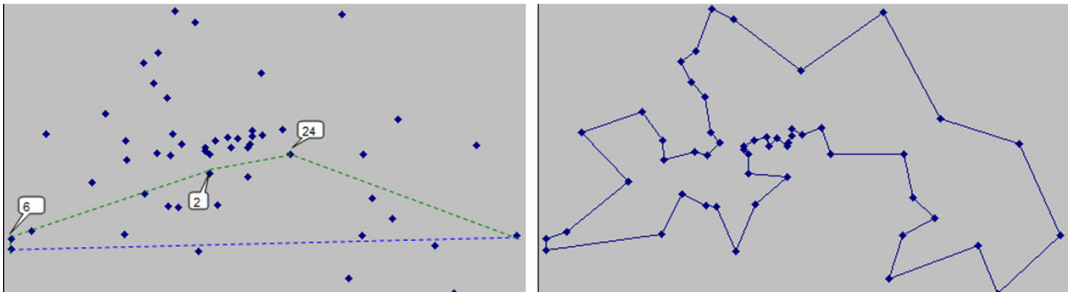


Рис. 13. Включение точек уровня 0_0–1_0–2_0 (слева) и соответствующий ему результирующий оптимальный маршрут длиной 7544.3659019 (справа)

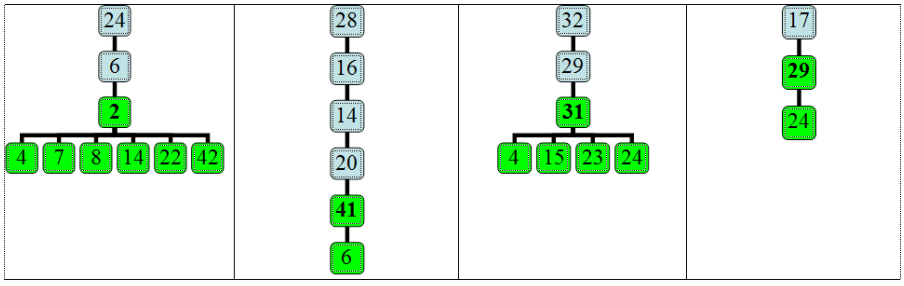


Рис. 14. Схемы построения оптимального маршрута (пример 4) от уровней 00, 03, 07, 08

Такие сокращённые расчёты (по младшим индексам уровня 0) для примеров из [4] с размерностью в области ста точек обхода, заданных декартовыми координатами (EDGE_WEIGHT_TYPE: EUC_2D), не выявили ни одного случая невозможности построения известного оптимального маршрута.

Тем не менее такой результат вовсе не исключает поиска других вариантов и схем рационального применения алгоритма. Реализация самого вычислительного процесса также нуждается в минимизации затрат ресурсов и в увеличении скорости выполнения расчётов.

Библиографический список

1. Старостин, Н. Д. Усовершенствование и детализация метода поуровневых исключений для оптимизации перемещений инструмента / Н. Д. Старостин // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 25 февр.— 1 марта 2015 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 33–44.

2. Старостин, Н. Д. Поиск кратчайшего пути ускоренная оптимизация перемещений инструмента / Н. Д. Старостин. Saarbrucken : LAP LAMBERT Akademic Publishing, 2015. 89 с.

3. Лаборатория Lmatrix [Электронный ресурс]. URL: http://lmatrix.ru/news/problems

4. MP-TESTDATA — The TSPLIB Symmetric Traveling Salesman Problem Instances [Электронный ресурс]. URL: http://elib.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/tsplib/tsp

5. Старостин, Н. Д. Варианты расчёта минимального маршрута обработки / Н. Д. Старостин // Информационные технологии и системы : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. С. 42–48.

6. National TSP [Электронный ресурс]. URL: http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/world/countries.html

Сведения об авторе

Старостин Николай Диодорович — кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет, Екатеринбург. nickstar54@gmail.com

---

N. D. Starostin

VARIATION OF TIERED BASIC APPROACH TO MINIMUM ROUTE

We consider the basic version of the approximate construction of the minimum route to the traveling salesman problem. Testing of the algorithm showed its ability to achieve record levels of known minimum length of the route with a number of objects up to a hundred, and a little more of the elements.

ББК К63-1
УДК 621.9

А. Ф. Таваева, А. А. Петунин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РАБОЧЕЙ СКОРОСТИ ИНСТРУМЕНТА ОТ ЧИСЛА КАДРОВ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ МАШИНЫ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ С ЧПУ

Рассмотрены проблемы точного вычисления целевой функции в задаче оптимизации маршрута инструмента. В качестве критерия оптимизации в этих задачах может служить время обработки T_{cut}. В формулу для вычисления времени обработки входят параметры, одним из которых является скорость рабочего хода инструмента V_{on}. Как показывает практика, V_{on} зависит от ряда параметров. В статье исследуется вопрос влияния количества кадров управляющей программы на скорость рабочего хода инструмента в задаче оптимизации маршрута инструмента применительно к машине лазерной резки ByStar3015. Были проведены исследования по определению зависимости скорости рабочего хода инструмента от количества кадров и были получены формулы для вычисления скорости, проведён их анализ и оценка.

1. Введение

Машины лазерной резки листового материала с ЧПУ имеют широкое применение в машиностроительном производстве и других отраслях промышленности. Применение такого типа оборудования обусловлено возможностью обработки многих видов материалов, высоким качеством реза, достаточно высокой скоростью обработки, возможностью обработки контуров различной сложности. Машины лазерной резки работают по управляющим программам в NC-кодах. При их разработке возникают задачи построения оптимизации маршрута инструмента. В качестве критерия оптимизации в этих задачах может рассматриваться параметр времени листовой резки T_{cut}, который вычисляется по следующей формуле [1; 2]:

$$T_{cut} = \frac{L_{off}}{V_{off}} + \frac{L_{on}}{V_{on}} + N_{pt} \cdot t_{pt}, \qquad (1)$$

где L_{on} — длина реза с включённым режущим инструментом (рабочий ход), V_{on} — скорость рабочего хода инструмента машины с ЧПУ, L_{off} — длина переходов с выключенным режущим инструментом (холостой ход), V_{off} — скорость холостого хода, N_{pt} — количество точек врезки, t_{pt} — время, затрачиваемое на одну врезку.

Обычно для конкретной задачи (конкретного материала и оборудования) значения V_{on}, V_{off} и t_{pt} являются константами. Но в [3–5] показано, что существует зависимость рабочей скорости режущего инструмента от параметров (например, конфигурации обрабатываемых заготовок, количества кадров в управляющей программе). В статье проводится исследование по определению зависимости скорости рабочего хода инструмента для материала Ст10кп.

Статья организована следующим образом. В разделе 2 рассматривается вопрос определения изменения рабочей скорости инструмента для машины лазерной резки ByStar3015. Приводятся формулы для уточнённого вычисления рабочей скорости режущего инструмента. Проводится их анализ. В разделе 3 приведены основные результаты и сформулированы направления для будущих исследований.

2. Исследование изменения рабочей скорости режущего инструмента применительно к машине лазерной резки Bystar3015 для материала Ст10кп

Опыт использования различного технологического оборудования листовой резки с ЧПУ показывает, что время, необходимое на резку заготовок, имеющих один и тот же суммарный периметр контуров, может отличаться. Это связано с тем, что контуры со сложной геометрией (например, сплайны) при конвертации из CAD-системы в CAM-модуль разбиваются на большое число геометрических примитивов (например, прямые отрезки и дуги окружностей). Как правило, аппроксимация сводится именно к линейной аппроксимации. При этом количество кадров управляющей программы может возрасти во много раз. По этой причине были проведены исследования практических примеров для того, чтобы определить влияние количества кадров на скорость рабочего хода режущего инструмента и, следовательно, на время резки.

Для того чтобы определить, как изменяется скорость рабочего хода инструмента, были рассмотрены конкретные технологические примеры раскроя листового материала на лазерном комплексе ByStar3015 с ЧПУ для материала Ст10кп толщиной 1, 2, 3 и 4 мм. Были разработаны 150 УП с использованием разных заготовок. Исследования показали, что рабочая скорость режущего инструмента не является постоянной величиной, а зависит от количества кадров n. Причём до порогового значения n скорость выше заданной, при достижении порогового значения n скорость становится равной заданной скорости. Если значение выше порогового — скорость ниже относительно заданного значения V_{on}. Для каждой толщины

рассматриваемого материала пороговое значение различно. С помощью аппроксимации полученных результатов были построены графики зависимости рабочей скорости режущего инструмента от количества кадров n в УП (рис. 1–8).

2.1. Исследование изменения рабочей скорости режущего инструмента для материала Ст10кп толщиной 1 мм

На основе результатов исследования для материала Ст10кп толщиной 1 мм при количестве кадров $0 < n < 172$ была получена формула для расчёта скорости (рис. 1):

$$V_{on} = -2 \cdot 10^{-12} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-8} \cdot n^2 - 7 \cdot 10^{-5} \cdot n + 0{,}1415, \quad (2)$$

а при количестве кадров $n > 172$ скорость рабочего хода инструмента рассчитывается по формуле (рис. 2):

$$V_{on} = 0{,}6633 \cdot n^{-0{,}317}. \quad (3)$$

Для того чтобы оценить точность аппроксимации результатов исследования, рассмотрим разницу (в %) реальных значений скорости и значений, полученных по формулам (2) и (3).

Для Ст10кп толщиной 1 мм при разработке УП была задана скорость $V_{on} = 0{,}13$ м/с. Из рассмотренных конкретных технологических примеров скорость, близкая к заданной, достигается при количестве кадров $n = 172$, и она равна $V_{on} = 0{,}130355$ м/с. Можно сказать, что при $n = 172$ скорость рабочего хода режущего инструмента достигает значения заданной скорости. По формуле (2) значение скорости $V_{on} = 0{,}130042$ м/с, отклонение от реальной скорости при $n = 172$ составляет 0,24 %. По формуле (3) значение скорости $V_{on} = 0{,}12973$ м/с, отклонение от реальной скорости при $n = 172$ составляет 0,48 %. Как можно заметить, значения, рассчитанные по формулам (2) и (3), и реальное значение скорости отличаются незначительно.

Рассмотрим изменение скорости рабочего хода режущего инструмента по формуле (2) и сравним с реальными значениями скорости. При количестве кадров $n = 4$ значение скорости, вычисленное по формуле (2), $V_{on} = 0{,}14122$ м/с, а реальное значение при $n = 4$ $V_{on} = 0{,}14$ м/с. Отклонение вычисленной скорости рабочего хода инструмента по формуле (2) от значения реальной скорости составляет 0,87 %. При анализе и сравнении реальных значений скорости и значений скорости, вычисленных по формуле (2), выявлено, что максимальное отклонение вычисленных значений от реальных составляет 4%. При этом из рис. 1, формулы (2) и реальных значений скорости можно заметить, что скорость режущего инструмента на рабочем ходу при количестве кадров $0 < n < 172$ может увеличиться почти на 8 % от заданного значения скорости при разработке УП.

Теперь рассмотрим изменение скорости рабочего хода режущего инструмента по формуле (3) и сравним с реальными значениями скорости. При исследовании зависимости скорости режущего инструмента на рабочем ходу были рассмотрены УП с максимальным количеством кадров $n = 5\,092$. Реальное значение скорости при этом количестве кадров равно $V_{on} = 0{,}04106$ м/с. Для $n = 5\,092$ значение скорости, вычисленное по формуле (3), $V_{on} = 0{,}04432$ м/с. Отклонение вычисленной скорости рабочего хода инструмента по формуле (3) от реальной скорости составляет 7,9 %. При этом из рис. 2, формулы (3) и реальных значений скорости можно заметить, что при количестве кадров $n > 172$ скорость падает почти на 70 % от заданного значения скорости.

2.2. Исследование изменения рабочей скорости режущего инструмента для материала Ст10кп толщиной 2 мм

На основе результатов исследования для материала Ст10кп толщиной 2 мм при количестве кадров $0 < n < 167$ была получена формула для расчёта скорости (рис. 3):

$$V_{on} = -1 \cdot 10^{-12} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-8} \cdot n^2 - 5 \cdot 10^{-5} \cdot n + 0{,}105, \quad (4)$$

а при количестве кадров $n > 167$ скорость рабочего хода инструмента рассчитывается по формуле (рис. 4):

$$V_{on} = 0{,}49 \cdot n^{-0{,}315}. \quad (5)$$

Для того чтобы оценить точность аппроксимации конкретных технологических результатов, рассмотрим разницу (в %) реальных значений рабочей скорости инструмента и результатов, полученных по формулам (4) и (5).

Для Ст10кп толщиной 2 мм при разработке УП была задана скорость $V_{on} = 0{,}0975$ м/с. Из рассмотренных конкретных технологических примеров близкая скорость к заданной достигается при количестве кадров $n = 167$, и она равна $V_{on} = 0{,}0976$ м/с. Таким образом, можно сказать, что при $n = 167$ скорость рабочего хода режущего инструмента достигает значения заданной скорости. По формуле (4) значение скорости при $n = 167$ $V_{on} = 0{,}0972$ м/с, отклонение от реальной скорости при $n = 167$ составляет 0,4 %. По формуле (5) значение скорости $V_{on} = 0{,}0977$ м/с, отклонение от реальной скорости при $n = 167$ составляет 0,1 %. Как можно заметить, значения, рассчитанные по формулам (4) и (5), и реальное значение скорости отличаются незначительно.

Рассмотрим изменение скорости рабочего хода режущего инструмента по формуле (4) и сравним с реальными значениями скорости. Для количества кадров $n = 4$ значение скорости, вычисленное по формуле (4), $V_{on} = 0{,}1048$ м/с. Реальное значение скорости $V_{on} = 0{,}102$ м/с при $n = 4$. Отклонение вычисленной скорости рабочего хода инструмента по формуле (4) от реальной скорости составляет 2,7 %. При анализе и сравнении реальных значений скорости и значений скорости, вычисленных по формуле (4), выявлено, что максимальное отклонение вычисленных

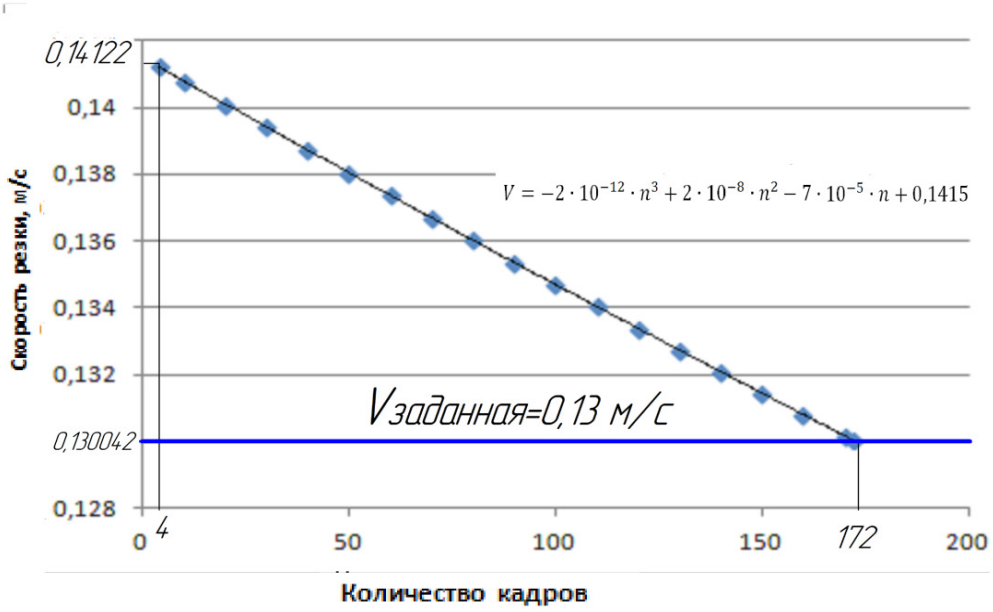


Рис. 1. Изменение скорости режущего инструмента на рабочем ходе для Ст10кп, Δ = 1 мм при количестве кадров 0 < n < 172

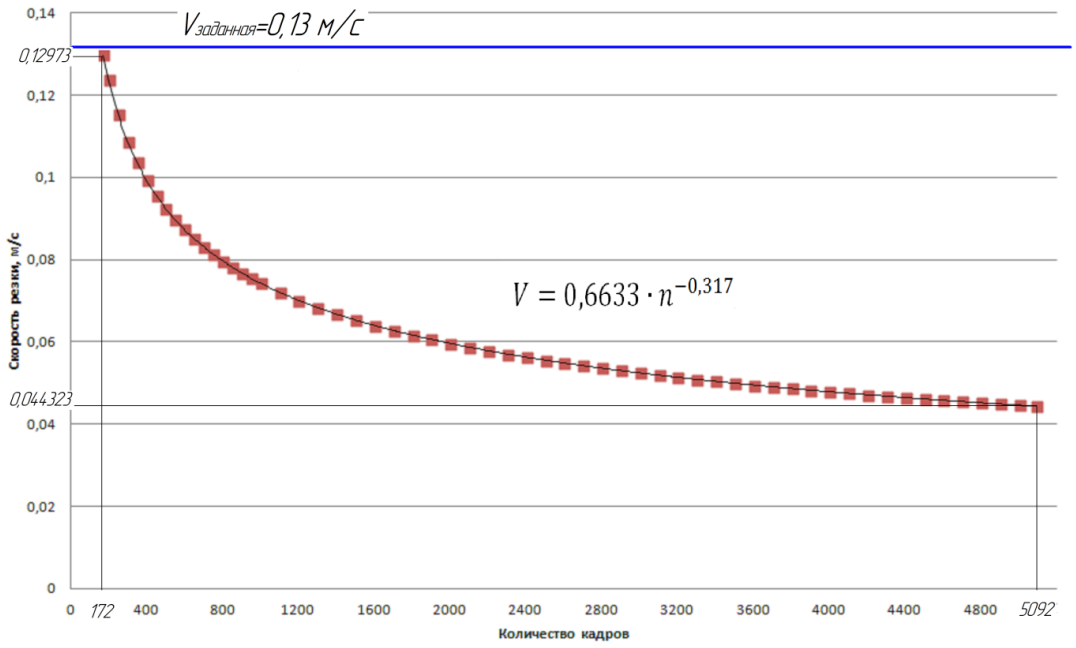


Рис. 2. Изменение скорости режущего инструмента на рабочем ходе для Ст10кп, Δ = 1 мм при количестве кадров n >172

значений от реальных составляет 3 %. При этом из рис. 3, формулы (4) и реальных значений скорости можно заметить, что скорость режущего инструмента на рабочем ходу при количестве кадров $0 < n < 167$ может увеличиться почти на 6 % от заданной скорости при разработке УП.

Теперь рассмотрим изменение скорости рабочего хода режущего инструмента по формуле (5) и сравним с реальными значениями скорости. При исследовании зависимости скорости режущего инструмента на рабочем ходу были рассмотрены УП с максимальным количеством кадров $n = 5\,092$. Реальное значение скорости при $n = 5\,092$ равно $V_{on} = 0{,}0315$ м/с. Для $n = 5\,092$ значение скорости, вычисленное по формуле (5), $V_{on} = 0{,}0333$ м/с. Отклонение вычисленной скорости рабочего хода инструмента по формуле (5) от реального значения скорости составляет 5,7 %. При этом из рис. 4, формулы (5) и реальных значений скорости можно заметить, что при количестве кадров $n > 167$

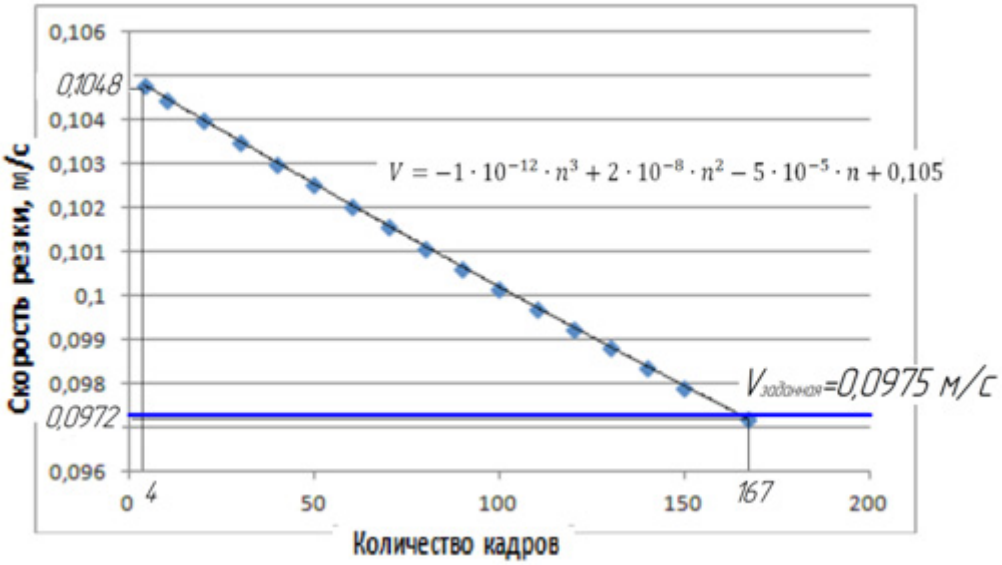


Рис. 3. Изменение скорости режущего инструмента на рабочем ходу для Ст10кп, Δ = 2 мм при количестве кадров 0 < n < 167

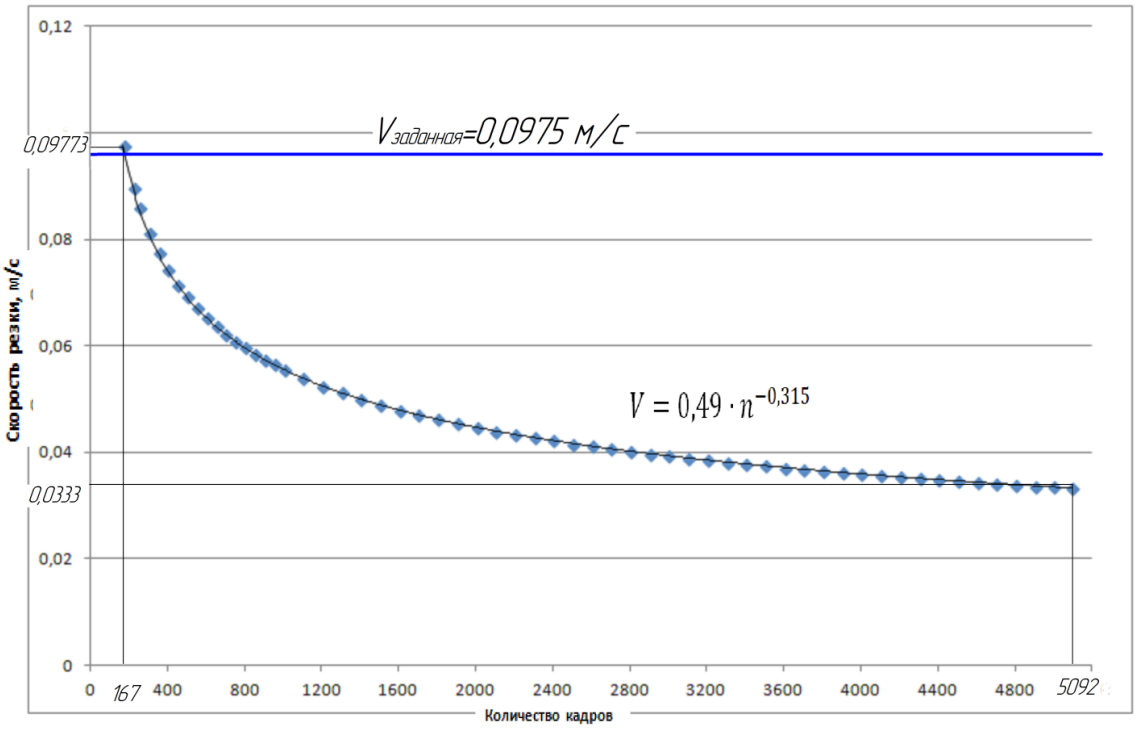


Рис. 4. Изменение скорости режущего инструмента на рабочем ходу для Ст10кп, Δ = 2 мм при количестве кадров n > 167

скорость падает почти на 70 % от заданного значения скорости.

2.3. Исследование изменения рабочей скорости режущего инструмента для материала Ст10кп толщиной 3 мм

На основе результатов исследования для материала Ст10кп толщиной 3 мм при количестве кадров $0 < n < 242$ была получена формула для расчёта скорости (рис. 5):

$$V = -4 \cdot 10^{-13} \cdot n^3 + 5 \cdot 10^{-9} \cdot n^2 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot n + 0{,}066, \quad (6)$$

а при количестве кадров $n > 242$ скорость рабочего хода инструмента рассчитывается по формуле (рис. 6)

$$V = 0{,}2145 \cdot n^{-0{,}229}. \quad (7)$$

Для того чтобы оценить точность аппроксимации конкретных технологических результатов, рассмотрим разницу (в %) реальных значений скорости рабочих перемещений инструмента и значений, полученных по формулам (6) и (7).

Для Ст10кп толщиной 3 мм при разработке УП была задана скорость $V_{on} = 0{,}06$ м/с. Из рассмотренных

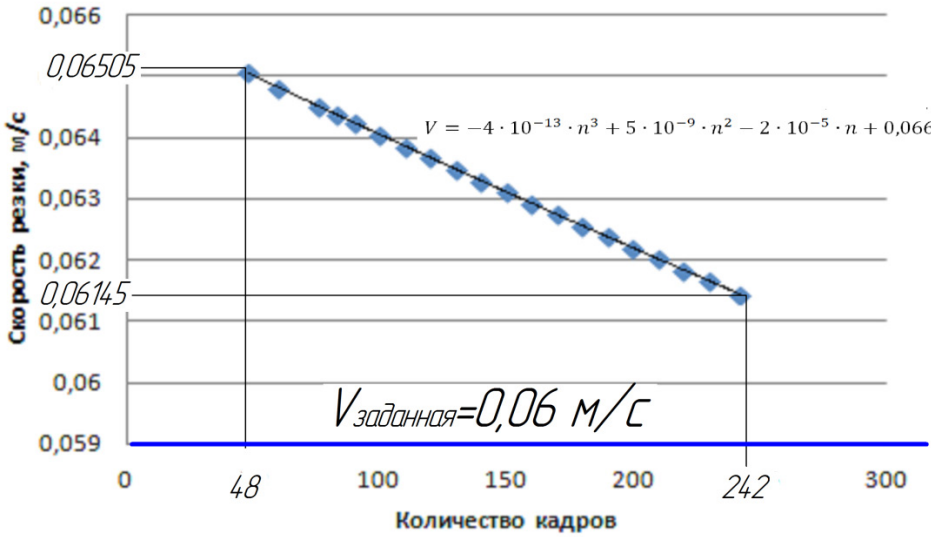


Рис. 5. Изменение скорости режущего инструмента на рабочем ходу для Ст10кп, Δ = 3 мм при количестве кадров 0 < n < 242

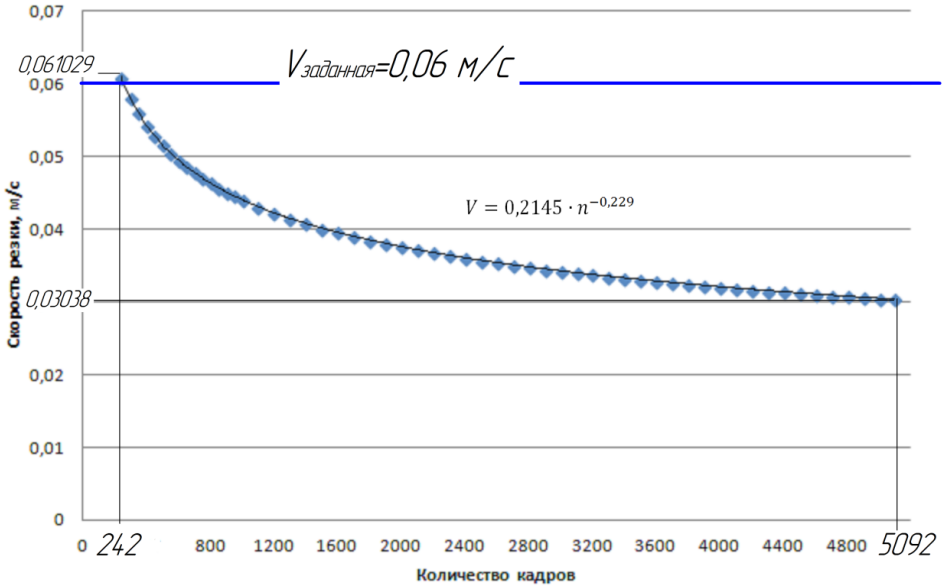


Рис. 6. Изменение скорости режущего инструмента на рабочем ходу для Ст10кп, Δ = 3 мм при количестве кадров n > 242

конкретных технологических примеров близкая скорость к заданной достигается при количестве кадров n=242, и она равна V_{on} = 0,0612 м/с. Можно сказать, что при n = 242 скорость рабочего хода режущего инструмента достигает значения заданной скорости. По формуле (6) значение скорости V_{on} = 0,0614 м/с при n = 242, отклонение от реальной скорости при n = 242 составляет 0,33 %. По формуле (7) значение скорости V_{on} = 0,06103 м/с, отклонение от реальной скорости при n = 242 составляет 0,28 %. Как можно заметить, значения, рассчитанные по формулам (6) и (7), и реальное значение скорости отличаются незначительно.

Рассмотрим изменение скорости рабочего хода режущего инструмента, рассчитанное по формуле (6) и сравним с реальными значениями скорости. Для количества кадров n = 48 значение скорости, вычисленное по формуле (6), V_{on} = 0,06505 м/с. Реальное значение V_{on} = 0,06562 м/с при n = 48. Отклонение вычисленной скорости рабочего хода инструмента по формуле (6) от реальной скорости составляет 0,9 %. При анализе и сравнении реальных значений скорости и значений скорости, вычисленных по формуле (6), выявлено, что максимальное отклонение вычисленных значений от реальных составляет 4 %. При этом из рис. 5, формулы (6) и реальных значений скорости можно заметить, что скорость режущего инструмента на рабочем ходу при количестве кадров $0 < n < 242$ может увеличиться почти на 9 % от заданной скорости при разработке УП.

Теперь рассмотрим изменение скорости рабочего хода режущего инструмента по формуле (7) и сравним с реальными значениями скорости. При исследовании зависимости скорости режущего инструмента на рабочем ходу были рассмотрены УП с максимальным количеством кадров n = 5 092. Реальное значение скорости при n = 5 092 равно V_{on} = 0,0295 м/с. Для n = 5092 значение скорости, вычисленное по формуле (7), V_{on} = 0,03038 м/с. Отклонение вычисленной скорости рабочего хода инструмента по формуле (7) от реального значения скорости составляет 3 %. При этом из рис. 6, формулы (7) и реальных значений скорости можно заметить, что при количестве кадров $n > 242$ скорость падает почти на 50 % от заданного значения скорости.

2.4. Исследование изменения рабочей скорости режущего инструмента для материала Ст10кп толщиной 4 мм

На основе результатов исследования для материала Ст10кп толщиной 4 мм при количестве кадров $0 < n < 167$ была получена формула для расчёта скорости (рис. 7):

$$V_{on} = -8 \cdot 10^{-13} \cdot n^3 + 8 \cdot 10^{-9} \cdot n^2 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot n + 0{,}0439, \quad (8)$$

а при количестве кадров $n > 167$ скорость рабочего хода инструмента рассчитывается по формуле (рис. 8)

$$V_{on} = -0{,}1945 \cdot n^{-0{,}306}. \quad (9)$$

Для того чтобы оценить точность аппроксимации конкретных технологических результатов, рассмотрим разницу (в %) реальных значений скорости и результатов, полученных по формулам (8) и (9).

Для Ст10кп толщиной 4 мм при разработке УП была задана скорость V_{on} = 0,04 м/с. Из рассмотренных конкретных технологических примеров близкая скорость к заданной достигается при количестве кадров n = 167, и она равна V_{on} = 0,04083 м/с. Можно сказать, что при n = 167 скорость рабочего хода режущего инструмента достигает значения заданной скорости. По формуле (8) значение скорости при n = 167 V_{on} = 0,04078 м/с, отклонение от реальной скорости при n = 167 составляет 0,12 %. По формуле (9) значение скорости V_{on} = 0,04062 м/с, отклонение от реальной скорости при n = 167 составляет 0,5 %. Как можно заметить, значения, рассчитанные по формулам (8) и (9), и реальное значение скорости отличаются незначительно.

Рассмотрим изменение скорости рабочего хода режущего инструмента по формуле (8) и сравним с реальными значениями скорости. Для количества кадров n = 48 значение скорости, вычисленное по формуле (8), V_{on} = 0,04296 м/с. Реальное значение при n = 48 V_{on} = 0,04236 м/с. Отклонение вычисленной скорости рабочего хода инструмента по формуле (8) от реального значения скорости составляет 1,4 %. При анализе и сравнении реальных значений скорости и значений скорости, вычисленных по формуле (8), выявлено, что максимальное отклонение вычисленных значений от реальных составляет 3 %. При этом из рис. 7, формулы (8) и реальных значений скорости можно заметить, что скорость режущего инструмента на рабочем ходу при количестве кадров $0 < n < 167$ может увеличиться почти на 8 % от значения заданной скорости при разработке УП.

Теперь рассмотрим изменение скорости рабочего хода режущего инструмента по формуле (9) и сравним с реальными значениями скорости. При исследовании зависимости скорости режущего инструмента на рабочем ходу были рассмотрены УП с максимальным количеством кадров n = 5 092. Реальное значение скорости при n = 5 092 равно V_{on} = 0,01375 м/с. Для n = 5092 значение скорости, вычисленное по формуле (9), V_{on} = 0,01428 м/с. Отклонение вычисленной скорости рабочего хода инструмента по формуле (9) от реального значения скорости составляет 3,9 %. При этом из рис. 8, формулы (9) и реальных значений скорости можно заметить, что при количестве кадров $n > 167$ значение скорости падает почти на 70 % от заданного значения скорости.

Заключение

В статье было проведено исследование по определению изменения скорости рабочего хода режущего инструмента для машины лазерной резки ByStar3015. Эксперимент был проведён для материала Ст10кп толщиной 1, 2, 3 и 4 мм. Как показывают результаты (рис. 1–8), скорость рабочих переходов режущего инструмента зависит от количества кадров в УП. Причём до достижения определённого порогового значения количества кадров в УП значения скорости сначала превышают (в некоторых случаях на 9 %) значение скорости, установленной при разработке УП. При достижении порогового значения n скорость равна (или близка) к заданному значению скорости. После достижения порогового значения n скорость падает в некоторых случаях до 70 %. В этой статье были получены формулы (2)–(9) для вычисления скорости рабочего хода режущего инструмента. Была проведена оценка полученных формул с помощью сравнения реальных значений скорости и значений, вычисленных по формулам (2)–(9). Как показывает анализ, отклонения значений скорости, вычисленных по формулам (2)–(9), от реальных значений рабочей скорости перемещения инструмента сопоставимы.

В дальнейшем планируется провести аналогичное исследование для других марок материала и составить обобщённую таблицу формул для точного расчёта рабочей скорости режущего инструмента применительно к машине лазерной резки ByStar3015. А также провести расчёт оптимального маршрута перемещения режущего инструмента для конкретного набора заготовок. Расчёт произвести с учётом постоянства рабочей скорости инструмента и изменения скорости по найденным формулам (2)–(9).

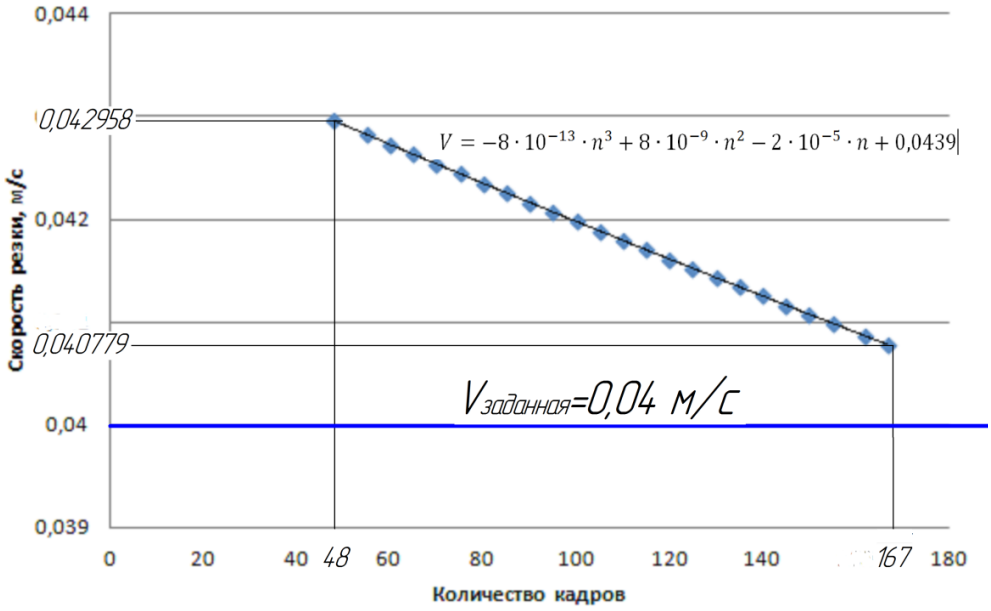


Рис. 7. Изменение скорости режущего инструмента на рабочем ходу для Ст10кп, Δ= 4 мм при количестве кадров 0 < n < 167

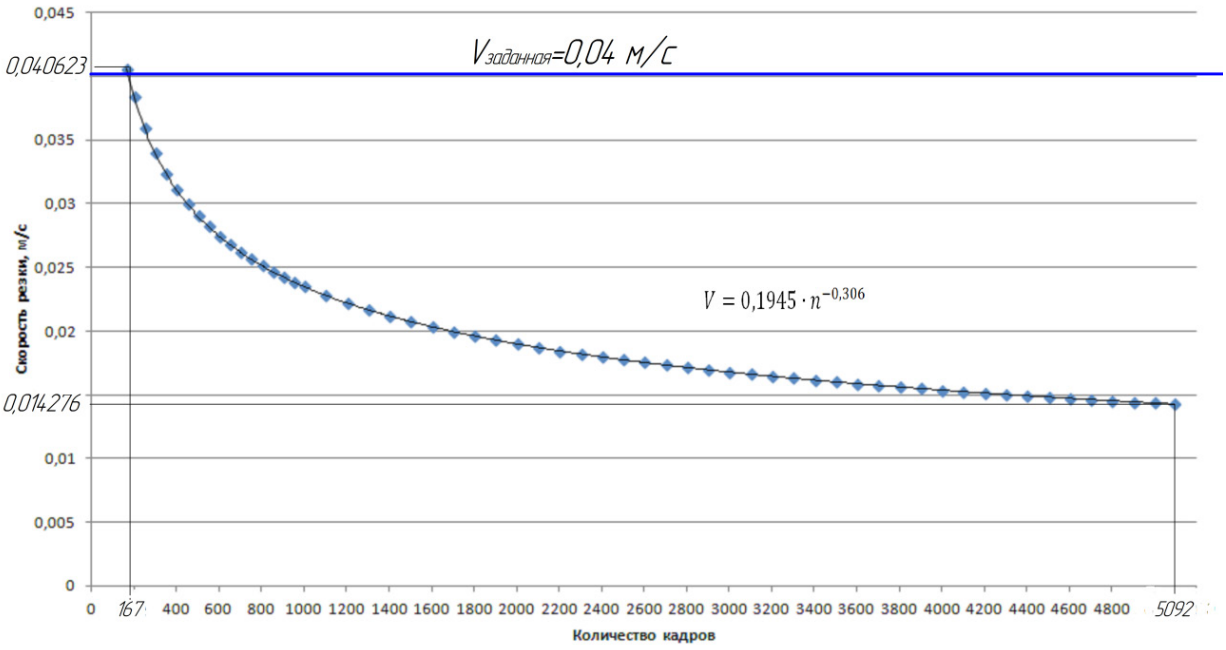


Рис. 8. Изменение скорости режущего инструмента на рабочем ходу для Ст10кп, Δ = 4 мм при количестве кадров n > 167

На основании полученных результатов посмотреть, как изменяется маршрут перемещения режущего инструмента и как это влияет на целевую функцию.

Библиографический список

1. Петунин, А. А. Две задачи маршрутизации режущего инструмента для машин фигурной листовой резки с ЧПУ / А. А. Петунин // Intelligent Technologies for Information Processing and Management : Proceedings of the II Intern. Conf. Ufa : USATU, 2014, Vol. 1. P. 215–220.

2. Верхотуров, М. А. Математическое обеспечение задачи оптимизации пути режущего инструмента при плоском фигурном раскрое на основе цепной резки / М. А. Верхотуров, П. Ю. Тарасенко // Вестн. УГАТУ. Упр., ВТиИ. 2008. Т. 10, № 2 (27). С. 123–130.

3. Таваева, А. Ф. К вопросу оптимизации стоимостных параметров лазерной резки на машинах с ЧПУ / А. Ф. Таваева, А. А. Петунин // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support : Proceedings of the II Intern. Conf. Ufa : USATU, 2014. P. 74–79.

4. Петунин, А. А. Об оптимизации маршрута инструмента для машин фигурной листовой резки с ЧПУ при условии непостоянства скорости рабочего хода / А. А. Петунин, А. Ф. Таваева // Фундамент. исслед. 2015. № 6. С. 56–63.

5. Tavaeva, A. Cost minimizaing of cutting process for CNC thermal and water-jet cutting machines / A. Tavaeva, D. Kurennov // Application of Mathematics in Engeeniring and Economics : AIP conference procceding. Sozopol, 2015. P. 020003-1–020003-7.

Сведения об авторах

Таваева Анастасия Фидагилевна — аспирантка, Уральский федеральный университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. tavaeva_a_f@bk.ru

Петунин Александр Александрович — доктор технических наук, заместитель директора Механико-машиностроительного института по науке и инновациям, Уральский федеральный университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. aapetunin@gmail.com

---

A. F. Tavaeva, A. A. Petunin

THE DEFINITION OF OPERATING TOOL SPEED DEPENDENCE ON FRAME NUMBERS OF NC PROGRAM FOR CNC LASER CUTTING MACHINE

The paper researches the problem of influence of NC programs frame numbers on the operating tool speed in optimization problem of route tool for CNC laser machine Bystar3015. The researches were conducted in order to define the dependence of operating tool speed on frame numbers. The formulas of speed calculation were obtained. The analysis and evaluation of ones were conducted.

ББК В81
УДК 519.24

А. Н. Тырсин, Г. Г. Геворгян

ЭНТРОПИЙНЫЕ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Описан энтропийный подход моделирования многомерных стохастических систем. В его основе лежит представление системы в виде многомерного случайного вектора и использование в качестве математической модели его дифференциальной энтропии. Рассмотрены возможности использования данной энтропийной модели в задачах диагностики состояния стохастических систем и их управления.

Многие реальные системы можно классифицировать как сложные многомерные стохастические системы. Особенностью таких систем является наличие множества элементов, которые сложным образом связаны между собой. В этой ситуации многомерную экономическую систему часто моделируют в виде случайного вектора. Однако неизвестность его закона распределения затрудняет исследование случайного вектора, а значит, снижает эффективность моделирования. Представление случайного вектора в виде многомерной нормальной случайной величины не всегда оказывается достаточно адекватной моделью.

Рассмотрим иной подход, основанный на использовании дифференциальной энтропии [1]

$$H(\mathbf{Y}) = -\int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} p_{\mathbf{Y}}(x_1, x_2, \dots, x_m) \ln p_{\mathbf{Y}}(\mathbf{x}) dx_1 dx_2 \dots dx_m$$

случайного вектора $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, .., Y_m)$ с плотностью вероятности $p_{\mathbf{Y}}(x_1, ..., x_m)$, не требующего знания его закона распределения.

Представим многомерную стохастическую систему S в виде случайного вектора $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, .., Y_m)$. Каждая компонента Y_i этого вектора является одномерной случайной величиной, характеризующей функционирование соответствующего элемента системы.

В [2] доказано, что если все компоненты Y_i имеют дисперсии $\sigma^2_{Y_i}$, то дифференциальная энтропия (далее энтропия) $H(\mathbf{Y})$ случайного вектора $\mathbf{Y}$ равна

$$H(\mathbf{Y}) = \sum_{i=1}^{m} \ln \sigma_{Y_i} + \sum_{i=1}^{m} \kappa_i + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^{m} \ln(1 - R^2_{Y_k / Y_1 Y_2 \dots Y_{k-1}}), \quad (1)$$

где $\kappa_i = H(Y_i / \sigma_{Y_i})$ — энтропийный показатель типа закона распределения случайной величины Y_i; $R^2_{Y_k / Y_1 Y_2 \dots Y_{k-1}}$ — индексы детерминации регрессионных зависимостей.

Первые два слагаемых

$$H(\mathbf{Y})_V = \sum_{i=1}^{m} H(Y_i) = \sum_{i=1}^{m} \ln \sigma_{Y_i} + \sum_{i=1}^{m} \kappa_i$$

представляют собой энтропию случайного вектора с взаимно независимыми компонентами и названы энтропией хаотичности, а третье $H(\mathbf{Y})_R = \frac{1}{2} \sum_{k=2}^{m} \ln(1 - R^2_{Y_k / Y_1 Y_2 \dots Y_{k-1}})$ — энтропией самоорганизации. Исследуем возможности модели (1) для задач диагностики.

Согласно (1) энтропия $H(\mathbf{Y})$ обладает триализмом. Существуют три причины её изменения: изменение степени рассеяния её компонент, изменение форм распределений её компонент и изменение тесноты корреляционных связей между её компонентами.

Достоинством формулы (1) является то, что энтропийное моделирование многомерных стохастических систем на её основе не требует знания или определения закона распределения многомерной случайной величины $\mathbf{Y}$, что практически нереализуемо в реальных задачах. При этом в отличие от методов многомерного статистического анализа здесь не теряется формальная строгость и соответствие модели (1) реальным экспериментальным данным. Это позволяет использовать формулу (1) для моделирования и исследования реальных многомерных стохастических систем и процессов по экспериментальным данным ограниченного объёма.

Согласно (1) параметрами энтропийной модели являются:

– средние квадратические отклонения σ_{Y_i} компонент Y_i,

– энтропийные показатели κ_i законов распределений, $i = 1, 2, ..., m$,

– индексы детерминации $R^2_{Y_k / Y_1 Y_2 \dots Y_{k-1}}$ регрессионных зависимостей между компонентами случайного вектора $\mathbf{Y}$, $k = 2, 3, ..., m$.

Диагностическая модель должна объяснять изменения, происходящие в исследуемом объекте в процессе функционирования, в динамике. Рассмотрим с этих позиций энтропию случайного вектора (1).

Пусть стохастическая система представима в виде случайного вектора $\mathbf{Y}$. Тогда на основе модели (1) можно осуществлять мониторинг состояния стохастической системы путём анализа изменения её энтропии. Это можно сделать следующим образом. Будем считать, что два случайных вектора $\mathbf{Y}^{(1)} = (Y_1^{(1)}, Y_2^{(1)}, ..., Y_m^{(1)})$ и $\mathbf{Y}^{(2)} = (Y_1^{(2)}, Y_2^{(2}, ..., Y_m^{(2)})$ соответствуют предыдущему и текущему периодам функционирования системы. Считаем, что дисперсии

всех компонент случайного вектора конечны.

Для диагностирования состояния многомерной стохастической системы будем придерживаться следующих этапов [2]:

1) определение поведения системы (стабильная/нестабильная), поиск зависимостей поведения системы от времени, критических значений;

2) обнаружение характера изменения в системе («хаотичность» или «самоорганизация») в критических периодах;

3) на основании обнаруженной причины, проведение анализа: какой элемент системы оказался причиной изменения её состояния;

4) формулирование вывода о влиянии изменения в системе с учетом выявленных критических моментов и причин их появления.

Случай 1. Рассмотрим вначале случай, когда распределения всех соответствующих компонент $Y_i^{(1)}$, $Y_i^{(2)}$ ($i = 1, 2, ..., m$) описываются однотипными законами распределения с некоторыми параметрами положения и масштаба. Это означает, что $\forall i \;\; \kappa_i^{(1)} = \kappa_i^{(2)}$. Тогда разность энтропий $\Delta H(\mathbf{Y}) = H(\mathbf{Y}^{(2)}) - H(\mathbf{Y}^{(1)})$ определяется как

$$\Delta H(\mathbf{Y}) = \sum_{i=1}^{m} \ln \frac{\sigma_{Y_i^{(2)}}}{\sigma_{Y_i^{(1)}}} + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^{m} \ln \frac{1 - R^2_{Y_k^{(2)}/Y_1^{(2)} \ldots Y_{k-1}^{(2)}}}{1 - R^2_{Y_k^{(1)}/Y_1^{(1)} \ldots Y_{k-1}^{(1)}}}.$$

При однотипности всех пар компонент $Y_i^{(1)}$, $Y_i^{(2)}$ вместо триализма имеем частный случай дуализма, то есть энтропия может меняться только из-за изменения рассеяния (дисперсий) компонент случайного вектора или за счёт изменения тесноты корреляционной связи между этими компонентами.

Вклад любой l-й компоненты в изменение энтропии хаотичности

$$\Delta H(\mathbf{Y})_{V,l} = \ln \frac{\sigma_{Y_l^{(2)}}}{\sigma_{Y_l^{(1)}}}, \; l = 1, 2, \ldots, m.$$

Поскольку

$$R^2_{Y_m/Y_1 Y_2 \ldots Y_{m-1}} \geq R^2_{Y_m/Y_1 Y_2 \ldots Y_{m-2}} \geq \ldots \geq R^2_{Y_m/Y_1},$$

то предельный индекс детерминации $R^2_{Y_m/Y_1 Y_2 \ldots Y_{m-1}}$ наиболее достоверно описывает зависимость компоненты Y_m от остальных (m – 1) компонент. Поэтому оценивать вклад произвольной l-й компоненты в изменение энтропии самоорганизации целесообразно через предельные значения индексов детерминации

$$\Delta H(\mathbf{Y})_{R,l} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 - R^2_{Y_l^{(2)}/Y_1^{(2)} \ldots Y_{l-1}^{(2)} Y_{l+1}^{(2)} \ldots Y_m^{(2)}}}{1 - R^2_{Y_l^{(1)}/Y_1^{(1)} \ldots Y_{l-1}^{(1)} Y_{l+1}^{(1)} \ldots Y_m^{(1)}}}, \quad l = 1, 2, \ldots, m.$$

Суммарный вклад l-й компоненты в изменение энтропии случайного вектора определяется как $\Delta H(\mathbf{Y})_l = \Delta H(\mathbf{Y})_{V,l} + \Delta H(\mathbf{Y})_{R,l}$.

Случай 2. Рассмотрим общий случай, когда распределения хотя бы одной пары компонент $Y_i^{(1)}$, $Y_i^{(2)}$ не описываются однотипными законами распределений. Тогда разность энтропий $\Delta H(\mathbf{Y}) = H(\mathbf{Y}^{(2)}) - H(\mathbf{Y}^{(1)})$ равна

$$\Delta H(\mathbf{Y}) = \sum_{i=1}^{m} \ln \frac{\sigma_{Y_i^{(2)}}}{\sigma_{Y_i^{(1)}}} + \sum_{i=1}^{m} (\kappa_i^{(2)} - \kappa_i^{(1)}) + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^{m} \ln \frac{1 - R^2_{Y_k^{(2)}/Y_1^{(2)} \ldots Y_{k-1}^{(2)}}}{1 - R^2_{Y_k^{(1)}/Y_1^{(1)} \ldots Y_{k-1}^{(1)}}}.$$

Поскольку в этом случае $\kappa_i^{(2)} - \kappa_i^{(1)} \neq 0$, то появляется третий фактор изменения энтропии из-за изменения типа распределения. Например, разность между энтропийными показателями нормального распределения и распределения Лапласа равна $\Delta\kappa = \ln \sqrt{2\pi e} - \ln e\sqrt{2} = \ln \sqrt{\frac{\pi}{e}}$. Это изменение эквивалентно увеличению дисперсии случайной величины в $\pi / e = 1{,}16$ раз.

Таким образом, случай сохранения типов законов распределений компонент случайного вектора проще реализуем и не требует определения энтропийных показателей компонент. Но нарушение этого условия может привести к значительным ошибкам в оценивании динамики энтропии, а значит, и к снижению достоверности диагноза о состоянии системы.

Отслеживая изменение $\Delta H(\mathbf{Y})$ энтропии в целом и её составляющих, можно сделать выводы о состоянии исследуемой стохастической системы и обнаружить зарождающиеся тенденции изменения состояния. Анализ изменения каждой из компонент случайного вектора $\mathbf{Y}$ позволит выявить те из них, которые оказали наибольшее влияние на изменение энтропии $\Delta H(\mathbf{Y})$, а значит, и на изменение состояния многомерной стохастической системы.

Наряду с диагностированием состояния системы энтропийная модель (1) позволяет решать задачи управления. В открытых системах энтропия может, как возрастать, так и уменьшаться. Кроме того, системы с различными значениями энтропий хаотичности $H(\mathbf{Y})_V$ и самоорганизации $H(\mathbf{Y})_R$ могут иметь одинаковые значения энтропии $H(\mathbf{Y})$. Поэтому управление в форме максимизации или минимизации (1) может не привести к улучшению состояния стохастической системы, и необходимо рассматривать энтропию (1) в векторной форме как $\mathbf{h}(\mathbf{Y}) = (h_V; h_R) = (H(\mathbf{Y})_V; H(\mathbf{Y})_R)$ [3]. В этом случае управление заключается в переводе вектора энтропии системы из состояния $\mathbf{h}(\mathbf{Y}) = (h_V; h_R)$ в состояние $\mathbf{h}^*(\mathbf{Y}) = (h_V^*; h_R^*)$, соответствующее эффективному функционированию стохастической системы.

Рассмотрим проблематику энтропийного управления на примере гауссовских стохастических систем.

Гауссовский случайный вектор **Y** имеет совместное нормальное распределение с ковариационной матрицей

$$\sum = \{\sigma_{ij}\}_{m\times m} = \begin{pmatrix} \sigma^2_{Y_1} & \operatorname{cov}(Y_1,Y_2) & \dots & \operatorname{cov}(Y_1,Y_m) \\ \operatorname{cov}(Y_2,Y_1) & \sigma^2_{Y_2} & \dots & \operatorname{cov}(Y_2,Y_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \operatorname{cov}(Y_m,Y_1) & \operatorname{cov}(Y_m,Y_2) & \dots & \sigma^2_{Y_m} \end{pmatrix},$$

для которого [3]

$$H(\mathbf{Y}) = H(\mathbf{Y})_V + H(\mathbf{Y})_R, \qquad (2)$$

где

$$H(\mathbf{Y})_V = \sum_{i=1}^{m} H(Y_i) = \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{2}\ln\left[(2\pi e)\sigma^2_{Y_i}\right] =$$

$$= \frac{m}{2}\ln(2\pi e) + \frac{1}{2}\ln\prod_{i=1}^{m}\sigma^2_{Y_i};$$

$$H(\mathbf{Y})_R = \frac{1}{2}\ln|\mathbf{R}|.$$

Задача управления состоит в том, чтобы направить энтропию из некоторой начальной точки $(h_V; h_R) = (H(\mathbf{Y})_V; H(\mathbf{Y})_R)$ $(h^*_V; h^*_R)$ в конечную точку $(h^*_V; h^*_R)$ при минимальном изменении ковариационной матрицы. Задача имеет вид

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=i}^{m}(\sigma^*_{ij} - \sigma_{ij})^2 \to \min\limits_{\sigma_{ij}}, \\ H(\mathbf{Y})_V = h^*_V, \\ H(\mathbf{Y})_R = h^*_R, \\ \sigma^2_{ij} < \sigma_{ii}\sigma_{jj}, \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, \sigma_{ii} > 0 \;\forall\, 1 \le i, j \le m, \\ \sum > 0. \end{cases} \qquad (3)$$

Последнее ограничение в (3) означает положительную определённость матрицы **Σ**. Отметим, что критерий эффективности в (3) может быть и иным, в зависимости от особенностей конкретной системы *S*.

Рассмотрим подробно частный случай двумерной гауссовской стохастической системы. Представим сложную стохастическую систему *S* в виде двумерной (m = 2) гауссовской случайной величины $\mathbf{Y}' = (Y_1, Y_2)$ с ковариационной матрицей $\sum = \left(\sigma_{ij}\right)_{2\times 2}$, $\sigma_{ii} = \sigma^2_{Y_i}$, $\sigma_{ij} = \operatorname{cov}(Y_i, Y_j)$.

Пусть $\mathbf{R}'$ — корреляционная матрица случайного вектора $\mathbf{Y}'$, равная

$$\mathbf{R}' = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{21} & 1 \end{pmatrix},\ r_{ij} = r_{ji} = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{ii}\sigma_{jj}}}.$$

Тогда энтропия вектора $\mathbf{Y}'$ согласно (2) равна

$$H(\mathbf{Y}') = H(\mathbf{Y}')_V + H(\mathbf{Y}')_R,$$

где

$$H(\mathbf{Y}')_V = \frac{1}{2}\ln\left[(2\pi e)^2\sigma_{11}\sigma_{22}\right],$$

$$H(\mathbf{Y}')_R = \frac{1}{2}\ln\left[1 - \frac{\sigma^2_{12}}{\sigma_{11}\sigma_{22}}\right].$$

В результате задача (3) примет вид

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=i}^{2}(\sigma^*_{ij} - \sigma_{ij})^2 \to \min\limits_{\sigma_{ij}}, \\ \frac{1}{2}\ln\left[(2\pi e)^2\sigma_{11}\sigma_{22}\right] = h^*_V, \\ \frac{1}{2}\ln\left(1 - \frac{\sigma^2_{12}}{\sigma_{11}\sigma_{22}}\right) = h^*_R, \\ \sigma_{12} = \sigma_{21}, \sigma_{ii} > 0, i = 1, 2. \end{cases} \qquad (4)$$

Пример. Пусть **Y** имеет ковариационную матрицу

$$\mathbf{\Sigma} = \begin{pmatrix} 1{,}87 & 1{,}63 \\ 1{,}63 & 2{,}08 \end{pmatrix},$$

для неё $H(\mathbf{Y}) = 2{,}93$, $H(\mathbf{Y})_V = 3{,}515$, $H(\mathbf{Y})_R = -0{,}585$.

Изменим ковариационную матрицу на

$$\mathbf{\Sigma}^1 = \begin{pmatrix} 1{,}87 & 1{,}63 \\ 1{,}63 & 2{,}58 \end{pmatrix},$$

для которой $H(\mathbf{Y}) = 3{,}22$, $H(\mathbf{Y})_V = 3{,}62$, $H(\mathbf{Y})_R = -0{,}39$. Оценим изменение ковариационной матрицы: $\Delta = (2{,}58 - 2{,}08)^2 = 0{,}5^2 = 0{,}25$.

Теперь перейдём из исходного состояния $(h_V; h_R) = (3{,}515; -0{,}585)$ в состояние $(h^*_V; h^*_R) = (3{,}62; -0{,}39)$ с помощью оптимизационной задачи (4). Воспользуемся методом последовательного квадратичного программирования [4]. В результате решения задачи (4) получили новую ковариационную матрицу:

$$\mathbf{\Sigma}^* = \begin{pmatrix} 2{,}09 & 1{,}608 \\ 1{,}608 & 2{,}28 \end{pmatrix}.$$

Оценим изменение ковариационной матрицы:

$$\Delta^* = (2{,}09 - 1{,}87)^2 + (1{,}608 - 1{,}63)^2 +$$

$$+(2{,}28 - 2{,}08)^2 = 0{,}089.$$

Таким образом, управление в форме задач (3), (4) позволяет перейти в лучшее состояние согласно энтропийному представлению гауссовской системы с минимальным изменением ковариационной матрицы.

Выводы:

1. Показано, что дифференциальная энтропия многомерной случайной величины может использоваться в качестве диагностической модели многомерных стохастических систем.

2. Предложенная энтропийная модель не требует знания закона распределения стохастической системы.

3. На примере гауссовских стохастических систем сформулирована задача энтропийного управления. Приведён пример решения задачи энтропийного управления для двумерного случайного вектора.

Библиографический список

1. Shannon, C. E. A Mathematical Theory of Communication / C. E. Shannon // The Bell System Technical J. 1948. Vol. 27. P. 379–423, 623–656.

2. Тырсин, А. Н. Энтропийное моделирование многомерных стохастических систем / А. Н. Тырсин. Воронеж : Науч. кн., 2016. 156 с.

3. Тырсин, А. Н. Энтропийно-вероятностное моделирование гауссовских стохастических систем / А. Н. Тырсин, И. С. Соколова // Мат. моделирование. 2012. Т. 24, № 1. С. 88–103.

4. Schittkowski, K. Sequential quadratic programming methods / K. Schittkowski, Y. X. Yuan. N. Y., 2010.

Сведения об авторах

Тырсин Александр Николаевич — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник научно-инженерного центра «Надёжность и ресурс больших систем и машин» Уральского отделения РАН, Екатеринбург. at2001@yandex.ru

Геворгян Гарник Гургенович — аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. garnik.ggg@gmail.com

---

A. N. Tyrsin, G. G. Gevorgyan

ENTROPIC MODELS OF THE DYNAMICS AND MANAGEMENT OF MULTIDIMENSIONAL STOCHASTIC SYSTEMS

Hereby an entropic approach is described for modeling the multidimensional stochastic systems. It is based on the representation of the system as a multidimensional random vector and the use of differential entropy as a mathematical model. The use cases of this entropic model are discussed in the problems of stochastic systems state diagnostics and their management.

ББК У291.216с51
УДК 007

Н. И. Федорова

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ ПРОЦЕССАМИ

Изложен подход к информационно-аналитической поддержке принятия решений при управлении сложными взаимодействующими производственными процессами на примере выбора поставщика при осуществлении закупочной деятельности.

В условиях рыночной экономики предприятие нуждается в решении задач управления на качественно новом уровне. Необходимость оперативного реагирования на конъюнктуру рынка и быстро меняющуюся экономическую ситуацию требуют перестройки внутренней микроэкономики предприятия, постановки управленческого учёта, оптимизации процессов управления. Эффективность деятельности предприятия определяется не столько внешними факторами и состоянием окружающей среды, сколько умением эффективно организовать управляющие процессы внутри самого предприятия. При этом основными источниками проблем предприятий являются недостаточная формализованность целей и принятие необоснованных решений, недостаточно продуманное планирование бизнеса, неэффективное управление финансами, а также низкая эффективность принятия решений.

Большинство вопросов, решаемых на предприятии, требует участия целого коллектива представителей различных бизнес-процессов. Часть из которых согласовывает принимаемое решение, а часть непосредственно принимает данное решение. Таким образом, задача принятия решений становится сложной и многокритериальной, требующей организации коллективного (группового) принятия решений [1]. Принятие групповых решений требует определённой технологии организации работ (усреднение мнений членов группы, принятие большинством голосов, принятие решения руководителем после обсуждения в группе, принятие на основе консенсуса). Коллективные методы считаются наиболее эффективными с точки зрения объективности экспертной оценки, поскольку предполагают выработку решения с учётом широкого представительского круга специалистов.

Анализ особенностей управления взаимодействующими процессами показал, что в процессе управления основной упор делается на регламентацию бизнес-процессов (бизнес-процесс хорошо оформлен документально), но при этом не полностью решаются вопросы обоснования принимаемых решений, зоны ответственности и правила взаимодействия управляющих, распределения ресурсов, управление бизнес-процессом в целом. Всё это ведёт к тому, что принимаемые управленческие решения субъективны, неэффективны и занимают много времени. Поэтому для повышения эффективности управления взаимодействующими процессами лицу, принимающему решение, необходимо оказывать поддержку в процессе принятия решений [2].

Функционирование предприятия определяется реализацией многих взаимодействующих деловых процессов (основных и вспомогательных). Процессы могут быть представлены в виде последовательности действий (рис. 1), необходимых для выполнения определённых задач (организационного управления, оптимизации ресурсов, управления качеством продуктов или услуг, предназначенных для внешнего потребителя либо используемых в других деловых процессах).

Основной задачей управления предприятием является обеспечение ритмичности выпуска качественной продукции, решение которой в условиях неопределённости изменений рынка сырья и сбыта, поведения поставщиков и подрядчиков, изменения стоимости ресурсов является весьма сложной задачей. Для нормального осуществления производственно-хозяйственной деятельности предприятия необходимо обеспечить его всеми видами материально-технических ресурсов в требуемые сроки и в необходимых объёмах. В данной работе рассматривается процесс закупочной деятельности на производственном предприятии, в частности, задача выбора поставщика. Анализ закупочной деятельности [3; 4] показал, что: бизнес-процесс хорошо регламентирован; среди ЛПР много представителей экономического блока и вспомогательных процессов, отсутствуют представители бизнес-процессов, в интересах которых осуществляется закупка; подавляющее большинство закупочных процедур составляет процедуры, единственным критерием принятия решений в которых является цена; не используется процедура конкурсных торгов; низкая конкуренция при осуществлении закупочной деятельности. Всё это ведёт к низкой эффективности данного процесса. Поэтому предлагается оказывать поддержку принятия решений при осуществлении закупочной деятельности.

В составе информационно-аналитической поддержки одним из главных элементов является онтология [5]. В онтологии хранятся знания

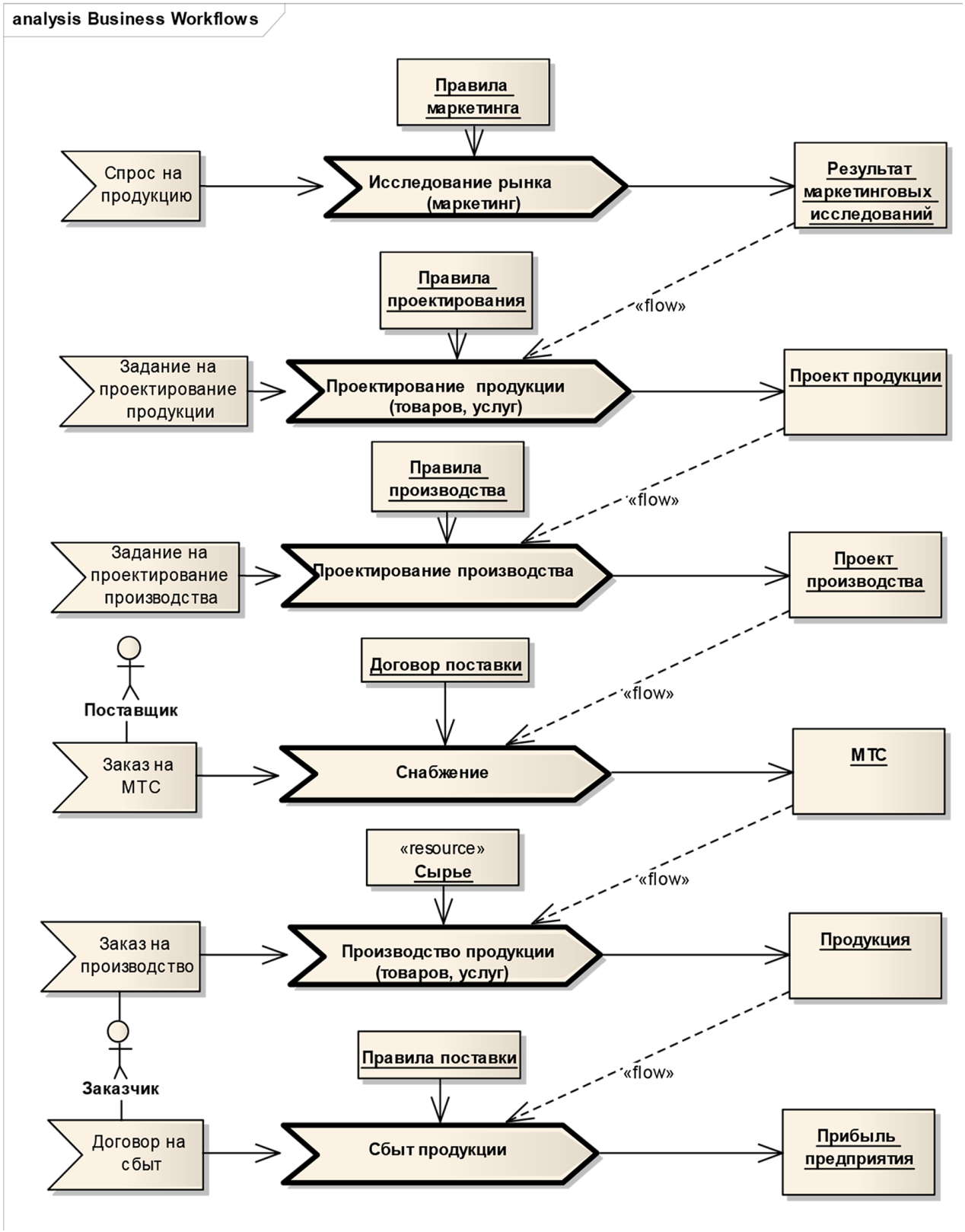


Рис. 1. Диаграмма потоков работ функционирования производственного предприятия

о моделях, используемых для поддержки принятия решений: модели представления знаний и аналитические модели. На рис. 2 представлен фрагмент семантической сети применения математических моделей для решения задачи управления материально-техническим снабжением (МТС), в частности для решения задачи выбора поставщика, которая является отображением множества задач принятия решений на множество математических моделей и методов их решения.

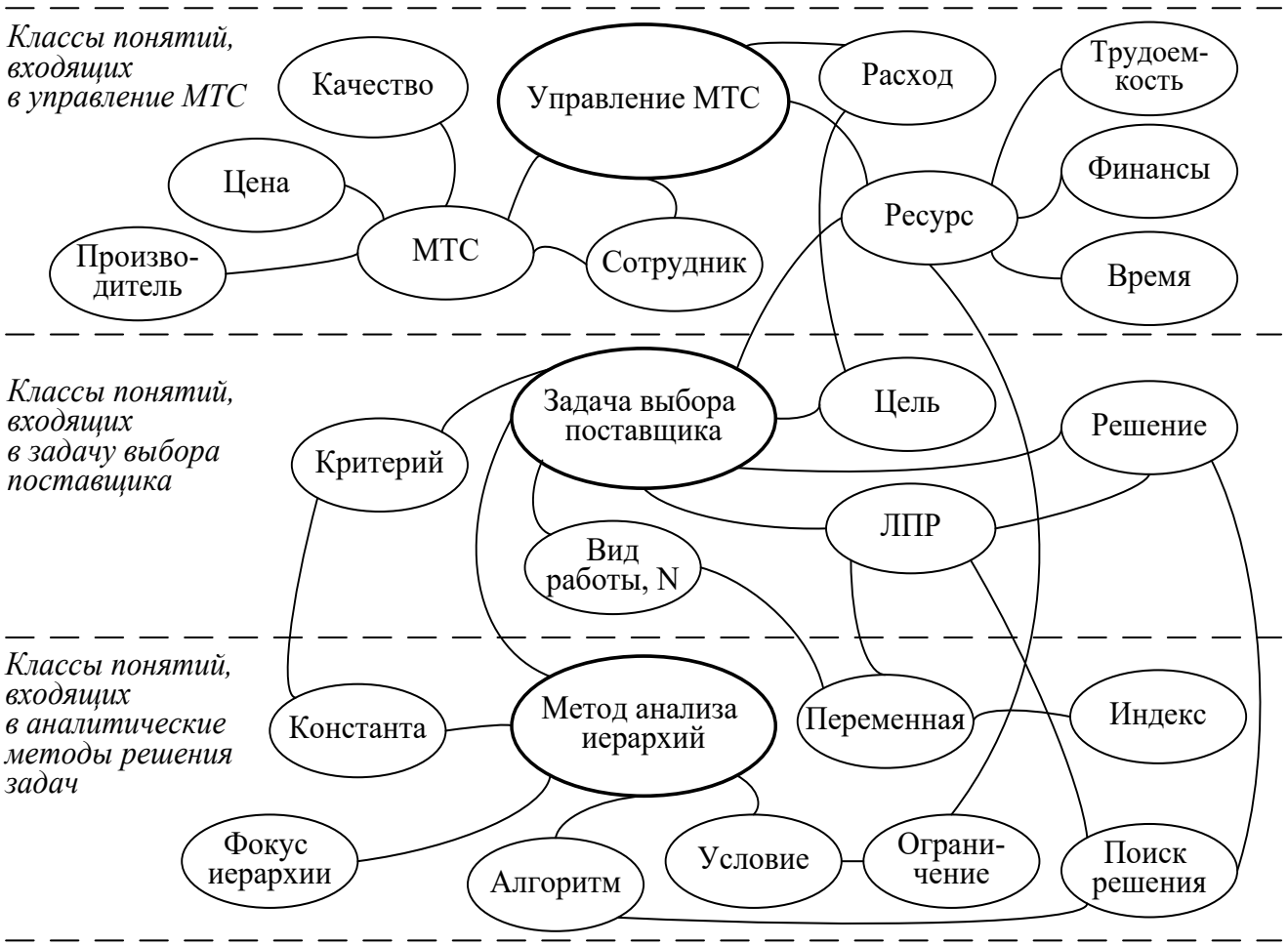


Рис. 2. Фрагмент семантической сети применения математических моделей для решения задачи управления МТС

На основе онтологии разрабатываются правила принятия решений, которые обеспечивают необходимую гибкость процесса принятия решений и взаимодействие пользователей в процессе управления знаниями, и прецеденты применения математических методов для решения конкретных задач. Для решения задачи выбора поставщика предлагается использовать несколько методов, определив перед этим состав управляющих из представителей бизнес-процессов, в интересах которых осуществляется закупка, и критерии оценки поставщиков. В случае если мнения экспертов согласованы слабо или средне, предлагается внесение дополнительных критериев и перерасчёт с учётом этих критериев. Таким образом, на основе осуществления закупочных процедур по разным видам номенклатурных групп товаров и услуг формируется база знаний. В базе знаний осуществляется поиск ближайшего прецедента, из которого извлекается метод решения задачи, после чего решается сама задача и выдается результат [6].

Использование информационно-аналитической поддержки принятия решений при управлении взаимодействующими бизнес-процессами позволит увеличить скорость формирования решений, повысить их качество за счёт математического обоснования выбора альтернатив и использования формализованных экспертных знаний, а также значительно снизить риск принятия ошибочных решений вследствие снижения влияния человеческого фактора на результат.

Библиографический список

1. Трахтенгерц, Э. А. Компьютерная поддержка переговоров при согласовании управленческих решений / Э. А. Трахтенгерц. М. : СИНТЕГ, 2003. 284 с.

2. Черняховская, Л. Р. Управление взаимодействующими процессами на основе интегрированной модели представления знаний / Л. Р. Черняховская, Н. И. Федорова, И. П. Владимирова // Информационные технологии и системы : тр. Третьей Междунар. науч. конф. конф., Банное, Россия, 26 февр.— 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 92–93.

3. Официальный сайт Единой информационной системы в сфере закупок. URL: http://zakupki.gov.ru

4. Сайт ПАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение». URL: http://zakupki.

umpo.ru

5. Черняховская, Л. Р. Онтология методов оптимизации коллективных решений в деловых процессах / Л. Р. Черняховская, Н. И. Федорова, И. П. Владимирова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. XV междунар. конф. Самара: СамНЦ РАН, 2013. С. 339–342.

6. Черняховская, Л. Р. Алгоритм поиска ближайшего прецедента проблемной ситуации с применением онтологии / Л. Р. Черняховская, Н. И. Федорова, И. П. Владимирова, И. Ф. Гарифуллина // Хроники объедин. фонда электрон. ресурсов «Наука и образование». 2014. № 9 (64). № 20353.

Сведения об авторе

Федорова Наталья Ивановна — кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. *nf_2002@mail.ru*

N. I. Fedorova

INFORMATION-ANALYTICAL SUPPORT AT COOPERATING PROCESSES MANAGEMENT

In this paper the approach to information-analytical decision support in the case of complex cooperating production processes management on the example of the supplier choice in the implementation of purchasing activity is considered.

ББК У262.2
УДК 336.71:001.5

А. С. Филиппова, А. Ф. Шориков

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК ОРГАНИЗАЦИИ И РЕАЛИЗАЦИИ БАНКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 15-18-10014)

В современных экономических условиях значимую роль в деятельности коммерческих банков приобретает процесс управления финансовой эффективностью, суть которого заключается в поиске оптимального решения при выборе альтернативных вариантов развития направлений деятельности. Данный процесс включает в себя как оценку и выбор различных направлений бизнеса с учётом имеющихся рисков, так и управление затратами и численностью персонала. Оптимальным будет то решение, при реализации которого увеличивается доходная составляющая бюджета и снижается расходная, то есть максимизируется прибыль коммерческого банка. В данной работе рассматривается динамическая экономико-математическая модель для разработки методик организации и реализации банковских процессов. Полученные результаты иллюстрируются на содержательных примерах.

1. Введение

Разработка стратегии банка — это комплексный процесс, состоящий из ряда компонентов, направленных на достижение необходимых целей. Одной из таких компонентов является разработка методик организации и реализации банковских процессов. Данные методики могут иметь официальную форму, утверждённую управляющим органом банка, а также могут быть динамически изменяющимся процессом, зависящим от конкретной ситуации, обстановки в финансовом секторе, положения банка. При этом целью разработки вышеуказанных методик является выбор одной из имеющихся (возможных) альтернатив организации и реализации банковских процессов для достижения максимальной прибыли организации.

В условиях растущего спроса на банковские продукты и услуги со стороны развивающейся российской экономики, с одной стороны, и снижения доходности финансовых инструментов — с другой, возникает объективная необходимость совершенствования методик организации и реализации банковских процессов. Этому может способствовать использование экономико-математических моделей и методов оптимального управления для формирования допустимых вариантов финансовых решений и поддержки принятия эффективных управленческих решений.

Данная статья основывается на результатах, полученных в работах [4–6], и продолжает исследования, представленные в [7]. Различные методики управления банковскими процессами описаны, например, в работах [1–3].

2. Экономико-математическая формализация задачи

Рассмотрим параметры процесса принятия управленческих решений в деятельности розничного блока банка на примере ввода численности сотрудников указанного блока и установления нормативов продаж для различных категорий сотрудников в аспекте влияния данного мероприятия на динамику портфелей розничных продуктов и прибыли розничного блока банка.

Для формирования экономико-математической модели процесса принятия решений в банковской деятельности введём следующие обозначения:

n — общее количество основных банковских «портфельных» продуктов. К «портфельным» продуктам будем относить те, состояние которых существенно влияет на значения величины (в выбранных единицах измерения) критерия (критериев) качества сложившегося портфеля. Например, потребительские кредиты, жилищные кредиты, срочные вклады, банковские карты и др.;

m — общее количество типов должностей сотрудников, реализующих данные продукты. За каждой из должностей таких сотрудников закреплён определённый функционал по продаже тех или иных продуктов;

$x(t) = \left(x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)\right)' \in \mathbf{R}^n$ — вектор, характеризующий объём портфеля каждого из банковских продуктов в период t в тыс. р. $(t \in \overline{0, T-1} = \{0, 1, 2, ..., T-1\}; T \in \mathbf{N})$, у которого каждая i-я координата $x_i(t)$ есть значение объёма портфеля i-го вида банковского продукта $\left(i \in \overline{1, n}\right)$; здесь и далее для $k \in \mathbf{N}$, $\mathbf{R}^k$ — k-мерное евклидово векторное пространство векторов-столбцов; $\mathbf{N}$ — множество всех натуральных чисел;

$y(t) = \left(y_1(t), y_2(t), ..., y_m(t)\right)' \in \mathbf{R}^m$ — вектор, характеризующих численность различных категорий сотрудников в банке (количество человек) в период $t\left(t \in \overline{0, T-1}\right)$, у которого каждая j-я координата $y_j(t)$ есть значение штатной численности сотрудников j-го

типа должности $\left(j \in \overline{1,m}\right)$;

$A(t) = \left\|a_{ij}(t)\right\|, i \in \overline{1,n}, j \in \overline{1,m}$ — матрица нормативов продаж в месяц в период t $(t \in \overline{0,T-1})$, $a_{ij}(t)$ — нормативное количество проданных продуктов i-го вида сотрудником j-й категории, шт. $(i \in \overline{1,n},\ j \in \overline{1,m})$;

$z(t) = \left(z_1(t), z_2(t), ..., z_n(t)\right)' \in \mathbf{R}^n$ — вектор трудозатрат на продажу каждого вида продукта с учётом «воронки продаж» (то есть времени, затраченного на проведение консультаций всех клиентов независимо от их решения приобрести продукт), час, в период t $(t \in \overline{0,T-1})$;

$H(t) = \left(h_1(t), h_2(t), ..., h_n(t)\right)' \in \mathbf{R}^n$ — вектор коэффициентов ежемесячного погашения каждого из видов продуктов в портфеле, %, в период t $(t \in \overline{0,T-1})$;

$S(t) = \left(s_1(t), s_2(t), ..., s_n(t)\right)' \in \mathbf{R}^n$ — вектор средних сумм реализации продуктов, тыс. р., в период t $(t \in \overline{0,T-1})$;

$u(t) = \left(u_1(t), u_2(t), ..., u_m(t)\right)' \in \mathbf{R}^m$ — вектор введения численности каждой категории сотрудников (количество человек), в период t $(t \in \overline{0,T-1})$, у которого каждая j-я координата $u_j(t)$ есть значение количества вводимых штатных единиц сотрудников j-го типа должности $(j \in \overline{1,m})$.

На основании введённых параметров динамика рассматриваемого процесса будет описываться следующей системой линейных рекуррентных уравнений:

$$\begin{cases} y_j(t+1) = y_j(t) + u_j(t), u_j(0) = 0; \\ x_i(t+1) = x_i(t) - h_i(t)x_i\dfrac{(t)}{100} + \\ +s_i(t)\sum_{j=1}^{m} a_{ij}(t)y_j(t); \\ \left(t \in \overline{0,T-1}, i \in \overline{1,m},\ j \in \overline{1,n}\right), \end{cases} \quad (1)$$

где приняты следующие обозначения:

$x(t+1) = \left(x_1(t+1), x_2(t+1), ..., x_n(t+1)\right)' \in \mathbf{R}^n$ — вектор объёмов портфелей банковских продуктов в период $(t+1)$;

$y(t+1) = \left(y_1(t+1), y_2(t+1), ..., y_m(t+1)\right)' \in \mathbf{R}^m$ — вектор численности различных категорий сотрудников (количество человек) в период $(t+1)$.

Введём в сформированную модель дополнительные параметры:

$v(t) = \left(v_1(t), v_2(t), ..., v_m(t)\right)' \in \mathbf{R}^m$ — вектор величины заработной платы каждой категории сотрудников, тыс. р., период t;

$r(t) = \left(r_1(t), r_2(t), ..., r_n(t)\right)' \in \mathbf{R}^n$ — вектор ставок процентных доходов по каждому виду портфеля в годовом исчислении, %, в период t;

$c(t) = \left(c_1(t), c_2(t), ..., c_n(t)\right)' \in \mathbf{R}^n$ — вектор ставок процентных расходов по каждому виду портфеля в годовом исчислении, %, в период t;

$p(t)$ — прибыль банка по всем видам розничных продуктов нарастающим итогом, тыс. р., в период t; $p(0) = 0$;

$y'(t+1) = \left(y'_1(t+1), y'_2(t+1), ..., y'_m(t+1)\right)' \in \mathbf{R}^m$ — вектор численности различных категорий сотрудников (количество человек) нарастающим итогом в период $(t+1)$;

$p'(t)$ — прибыль банка по всем видам розничных продуктов на одного сотрудника, тыс. р., в период t;

$w(t) = \left(w_1(t), w_2(t), ..., w_m(t)\right)' \in \mathbf{R}^m$ — вектор величины премии каждой категории сотрудников, тыс. р., в период t; $w(0) = 0$;

$$w(t+1) = g \cdot p(t) \cdot \frac{v(t)}{v(t)y(t+1)},$$

где g — процент от прибыли, зависящий от её размера:

если $p' > j_1$, то $g = 0{,}005$;

если $j_1 \le p' < j_2$, то $g = 0{,}02$;

если $p' \ge j_2$, то $g = 0{,}05$.

Тогда система уравнений (1) приобретает следующий вид:

$$\begin{cases} y_j(t+1) = y_j(t) + u_j(t), u_j(0) = 0; \\ x_i(t+1) = x_i(t) - h_i(t)x_i\dfrac{(t)}{100} + \\ +s_i(t)\sum_{j=1}^{m} a_{ij}(t)y_j(t+1); \\ p(t+1) = p(t) + \dfrac{1}{12 \cdot 100} \times \\ \times\sum_{i=1}^{n}(x_i(t+1) + x_i(t)) \cdot \dfrac{1}{2} \cdot (r_i(t) - c_i(t)) - \\ -\sum_{j=1}^{m} v_j(t)y_j(t+1) - \sum_{j=1}^{m} w_j(t)y_j(t+1); \\ y'^{(t+1)}_j = y'^{(t)}_j + y_j(t+1), y'^{(0)}_j = y_j(0); \\ p'^{(t+1)} = \dfrac{p(t+1)}{\sum_{j=1}^{m} y'^{(t+1)}_j}; \\ t \in \overline{0,T-1}. \end{cases} \quad (2)$$

Отметим, что сформированная система (2) позволяет моделировать динамику многошагового процесса управления структурой портфелей розничных продуктов банка в зависимости от заданных начальных условий и выбора конкретных реализаций управляющих воздействий — изменения численности сотрудников и установления для них нормативов продаж.

Введённые выше вектор введения численности сотрудников розничного блока банка $u(t) = \left(u_1(t), u_2(t), ..., u_m(t)\right)' \in \mathbf{R}^m$ и матрица нормативных коэффициентов конвертации клиентопотока в продажи $A(t) = \left\|a_{ij}(t)\right\|, i \in \overline{1,n}, j \in \overline{1,m}$ в период $t(t \in \overline{0,T-1})$ есть управляющие воздействия в

системе, для которых должны выполняться следующие ограничения:

$$\left|u_j(t)\right| \le 0{,}1 \cdot y_j(t-1);\ \sum_{j=1}^{m} y_i(t) \le 10\,000; \qquad (3)$$

$$L_{\min} \le \sum_{i=1}^{n} a_{ij} z_i(t) \le L_{\max};$$

$$\begin{cases} a_{ij}(t) \ge 0; \\ \text{для } a > 0\ a_{ij} z_i(t) \ge 0{,}1 \cdot \sum_{i=1}^{n} a_{ij} z_i(t) \\ wj(t) \ge 0, \end{cases} \qquad (4)$$

где $L_{\min}$ — значение минимально допустимого времени на продажу банковских продуктов в месяц, мин, $L_{\max}$ — значение нормативного рабочего времени в месяц, мин.

При этом для всех $t \in \overline{0,T-1}$ должны также выполняться следующие заданные фазовые ограничения:

$$x_i(t) \ge 0;\ y_j(t) \ge 0. \qquad (5)$$

В рамках рассматриваемой модели были произведены следующие действия:

– введены ограничения на параметры фазового вектора системы;

– введены ограничения на вектор управляющего воздействия в системе;

– осуществлено формирование оптимизационного функционала (критерия качества) для рассматриваемого процесса управления;

– определены целевые установки для выбранного оптимизационного функционала.

Для данной динамической системы (2)–(5) требуется решить следующую задачу оптимального терминального программного управления.

Для заданного целочисленного промежутка времени $\overline{0,T}$ ={0, 1, 2, ..., T} (T>0, $T \in$ **N**) в рамках динамической системы (2)–(5) требуется найти управляющее воздействие $u^{(e)}(\cdot) = \{u^{(e)}(t)\}_{t \in \overline{0,T-1}}$ такое, что для каждого $t \in \overline{0,T-1}$: $u^{(e)}(t)$ удовлетворяет ограничениям на управляющее воздействие (3) и функционал $p'(T) = p'_T(T; \overline{0,T}, u^{(e)}(\cdot))$ — величина нормы прибыли в финальный момент времени, соответствующая оптимальному программному управлению $u^{(e)}(\cdot)$, принимает максимальное значение, по сравнению с другими его значениями, отвечающими допустимым программным управлениям $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{(0,\ldots,T-1)}}$ таким, что для каждого $t \in \overline{0,T-1}$: $u(t)$ удовлетворяет ограничению (3).

3. Формирование начальных данных для моделирования

Рассмотрим задачу со следующими начальными условиями:

Пусть n = 8, m = 7.

В момент времени t = 0 матрица нормативов продаж $A(0)$ выглядит следующим образом:

$$\begin{pmatrix} 20 & 3 & 15 & 35 & 40 & 18 & 7 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 15 & 8 & 0 & 40 & 10 & 25 & 0 & 0 \\ 18 & 12 & 0 & 45 & 12 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 300 \\ 0 & 15 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 20 & 40 & 10 & 0 \end{pmatrix};$$

$z(0)$ = (60, 500, 200, 50, 50, 20, 40, 35)′;

$H(0)$ = (4,3; 2,5; 10; 3,1; 5,3; 12,2; 2,1; 14)′;

$S(0)$ = (150, 1 327, 720, 28, 207, 18, 250, 25)′;

$u(0)$ = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)′;

$x(0)$ = (140 000 000, 155 000 000, 35 000 000, 42 000 000, 300 000 000, 70 000 000, 40 000 000, 80 000 000)′;

$y(0)$ = (1 636, 215, 250, 155, 42, 35, 1 830)′;

$v(0)$ = (30, 35, 20, 28, 26, 29, 20)′;

$r(0)$ = (20, 13, 15, 19, 10, 10, 10, 12)′;

$c(0)$ = (10; 10; 10; 10; 8; 0,1; 9; 0,1)′;

j_1 = 670; j_2 = 770.

А также заданными ограничениями:

$L_{\min}$ = 9 600; $L_{\max}$ = 11 040; для i = 2; $\forall i \in \overline{5,7}\ a_{i1} = 0$;

для i = 5; i = 7 a_{i2} = 0; для $\forall i \in \overline{2,5}; i = 7\ a_{i3} = 0$;

для i = 2; $\forall i \in \overline{5,6}\ a_{i4} = 0$, $a_{i5} = 0$, $a_{i6} = 0$;

для $\forall i \in \overline{2,6}\ a_{i7} = 0$; $\forall i \in \overline{1,4}; \overline{6,7}\ a_{i8} = 0$.

4. Алгоритм формирования допустимых программных управлений и порождаемых ими траекторий системы

Ограничение на управление для каждого $t \in \overline{0,T-1}$ и для каждого $j \in \overline{1,m}$ имеет вид

$$\left|u_j(t)\right| \le 0{,}1 \cdot y_j(t-1) = u_j^*(t), u_j(0) = 0.$$

Тогда для каждого $t \in \overline{0,T-1}$ значения управления $u_j(t)$ выбираются из массива $u_j(t) \in U_j^*(t)\left\{-u_j^*(t); 0; u_j^*(t)\right\}$.

Шаг 1

В момент времени t = 0 имеется единственное допустимое управление $u_j(0)$ = 0, которому соответствует единственное значение $y_j(1)$. На основании значений $y_j(1)$, $j \in \overline{1,m}$, в силу системы уравнений (2), вычисляются значения $x_i(1)$, $i \in \overline{1,n}$, и значения $p(1)$, $p'(1)$, которые в совокупности образуют допустимое состояние (фазовый вектор) системы в момент времени 1.

Шаг 2

На основании сформированных значений векторов $y(1)$, $x(1)$, $p(1)$, $p'(1)$ для каждого допустимого управления $u_j(1) \in U_j^*(1) = \left\{-u_j^*(1); 0; u_j^*(1)\right\}$, аналогично предыдущему шагу формируются 3 допустимых, в момент t = 2, значения, образующих 3 фазовых вектора: $y^{(k)}(2), x^{(k)}(2), p^{(k)}(2), p'^{(k)}(2), k \in \overline{1,3}$, соответствующих трём допустимым управлениям.

Продолжаем рассматриваемый процесс аналогичным образом.

Шаг T

На основании $(3^{T-2}+1)$, построенных на предыдущем шаге значений фазовых векторов, для каждого допустимого управления $u_j(T-1) \in U_j^*(T-1) = \left\{-u_j^*(T-1); 0; u_j^*(T-1)\right\}$, аналогично предыдущему шагу, формируются $(3^{T-2}+1)$ допустимых значения фазового вектора, соответствующие трём допустимым управлениям.

Шаг T+1. Отображение результатов

Отображаются все сформированные значения фазовых траекторий (значения координат фазовых векторов в моменты $t \in \overline{0,T}$) динамической системы и порождающие их программные управления.

5. Алгоритм выбора траектории системы с максимальным значением функционала

Оптимальное решение рассматриваемой задачи — решение, в котором величина функционала, то есть значение нормы прибыли $p'(T)$ в финальный момент времени T является максимальным.

Для решения этой задачи воспользуемся линейным алгоритмом для нахождения максимума.

Шаг 1. Присвоить переменной максимальное значение: $p'(1)$ первого элемента массива $\left\{p'(t)_{t\in\overline{1,T}}\right\}$, т.е. выполнить: max: $=p'(1)$.

Шаг 2. Для каждого элемента $p'(i)$, $i = \overline{2,T}$ выполнить следующее действие: если max < $p'(i)$, то max: $= p'(i)$.

Шаг 3. Вывод результатов:

– оптимального финального значения нормы прибыли max = $p'(T)$;

– оптимального программного управления $u^{(e)}(\cdot) = \left\{u^{(e)}(t)\right\}_{t\in\overline{0,T-1}}$, порождающего значение max = $p'(T) = p'_T(T; \overline{0,T}, u^{(e)}(\cdot))$.

Вышеописанный алгоритм нахождения решения рассматриваемой задачи оптимального программного терминального управления реализован для решения текущей задачи на языке Delphi 7.

6. Анализ результатов работы моделирующей программной системы

Матрица нормативов продаж формирует ограничения на управляющее воздействие системы. Значения данной матрицы были посчитаны в соответствии с имеющимися ограничениями.

Таблица 1

Значения матрицы нормативов продаж

63	3	6	23	23	56	28	0
0	22	0	0	0	0	0	0
102	3	0	23	23	56	0	0
102	3	0	23	23	56	0	0
0	0	0	0	0	0	0	315
0	3	47	0	0	0	0	0
0	0	0	23	23	381	28	0

В результате работы программы для момента времени t = 3 получили 9 фазовых траекторий. Данные кривые состоят из точек, отображающих состояние динамической системы (2) в последовательные моменты времени.

На рис. 1 представлены результаты расчётов с помощью разработанной компьютерной программы.

Как уже было сказано, для сформированной динамической системы (2)–(5) оптимальной является та траектория, норма прибыли которой максимальна.

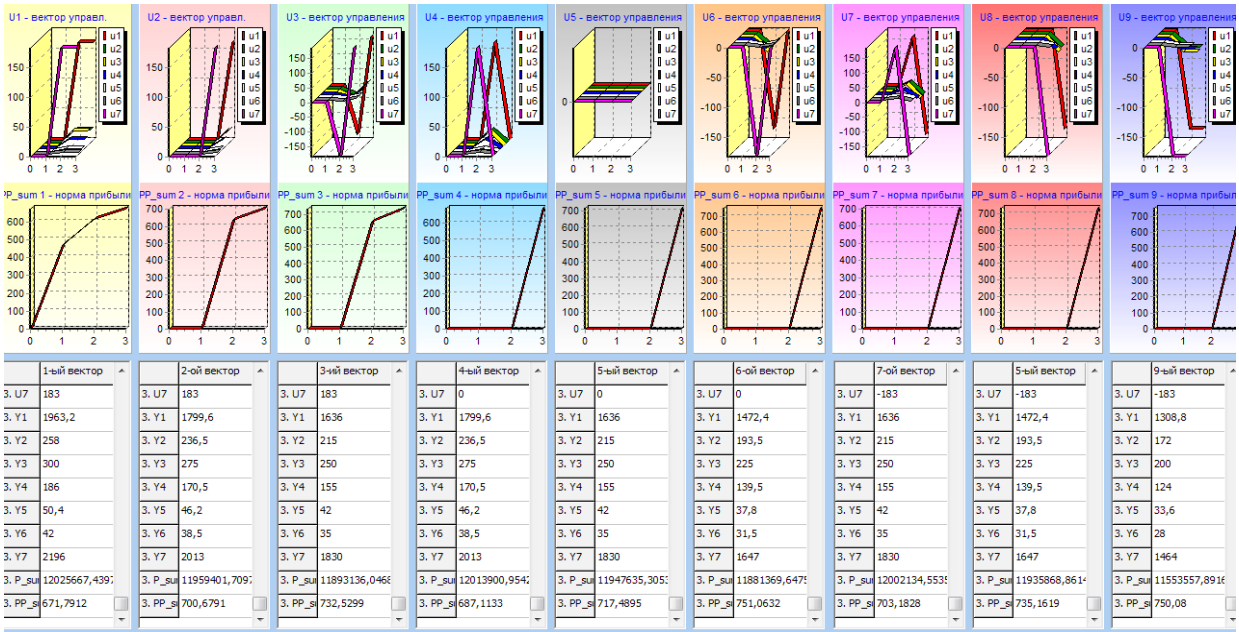


Рис. 1. Результаты компьютерного моделирования

Для системы с заданными ранее параметрами траектория № 6 является оптимальной. Значение функционала, нормы прибыли в этом случае равно 751,06, что является абсолютным максимумом.

В табл. 2 отображены результаты вычислений $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t\in\overline{1,3}}$, $P(3) = P_{sum}$, $P'(3) = PP_{sum}$,
где $u(t)$ — вектор управления, вектор введения численности каждой категории сотрудников;

$P(t) = P_{sum}$ — величина прибыли;

$P'(t) = PP_{sum}$ — величина нормы прибыли.

Значения выходных данных для допустимых траекторий представлены далее.

Таблица 2

Значения выходных данных

	$T = 1$	$T = 2$	$T = 3$
$u(1)$	0	–164	0
$u(2)$	0	–22	0
$u(3)$	0	–25	0
$u(4)$	0	–16	0
$u(5)$	0	–4	0
$u(6)$	0	–4	0
$u(7)$	0	–183	0
	$P_{sum} =$	11 881 369,65	
	$PP_{sum} =$	751,06	

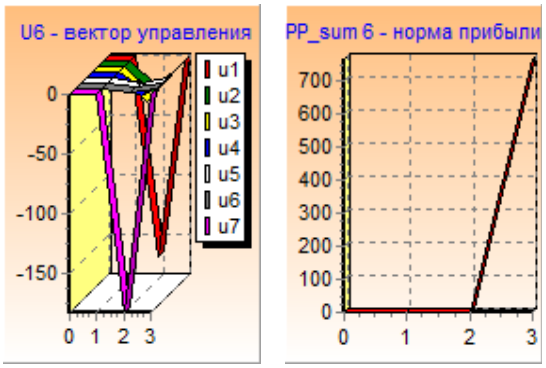


Рис. 2. Оптимальная траектория

Проанализировав расчёты по данной системе, можно сделать следующий вывод: при уменьшении численности сотрудников в момент $T=2$ (вектор управления $u(t)$ — отрицательный) и при неизменности её в моменты $T = 1$ и $T = 3$ норма прибыли максимальна.

1. Коммерческий успех банка на современном финансовом рынке во многом зависит от своевременно принятых управленческих решений, направленных на оптимизацию его функционирования. Разработка новой модели, отвечающей различным параметрам конкретного банка, должна основываться на объективном изучении функционирования его бизнес-процессов.

2. В ходе проделанной работы были решены следующие задачи:

3. сформирована динамическая экономико-математическая модель реализации основных банковских процессов;

4. разработан алгоритм решения конечной дискретной задачи оптимизации программного терминального управления финальным состоянием фазового вектора системы;

5. выполнена реализация разработанного алгоритма на языке программирования Delphi 7;

6. проведён анализ полученных результатов компьютерного моделирования.

7. Структура банковской организации должна рассматриваться как портфель или набор — список действующих параметров, ресурсов. Следовательно, в результате проделанной работы формируются значения портфеля банковской информационной системы, которые необходимы для поддержки принятия управленческих решений, то есть удовлетворения информационных потребностей всех руководителей, вовлечённых в процесс принятия решений. На основании используемой экономико-математической модели и с помощью разработанной компьютерной программы формируется оптимальный вариант работы банковской организации.

8. Авторы выражают благодарность Е. С. Раскатовой за разработку программы на языке Delphi 7, позволяющей реализовать компьютерное моделирование решения рассматриваемых в статье задач.

Библиографический список

9. Исаев, Р. А. Банковский менеджмент и бизнес-инжиниринг : в 2 т. / Р. А. Исаев. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Инфра-М, 2013. Т. 1. 286 с.

10. Лаптырёв, Д. А. Система управления финансовыми ресурсами банка: процессы – задачи – модели – методы / Д. А. Лаптырёв. М. : БДЦ-пресс, 2005.

11. Титоренко, Г. А. Автоматизированные информационные технологии в экономике : учебник / Г. А. Титоренко. М. : Юнити, 2005.

12. Шориков, А. Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах / А. Ф. Шориков. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1997.

13. Шориков, А. Ф. Динамическая оптимизация комплексного управления технологическими процессами на предприятии / А. Ф. Шориков, Е. Ю. Виноградова / Изв. Урал. гос. экон. ун-та. 2007. № 1 (18). С. 254–266.

14. Шориков, А. Ф. Многокритериальная оптимизация формирования ассортимента продукции предприятия / А. Ф. Шориков, Е. С. Рассадина // Регион. экономика. 2010. № 2 (22). С. 189–196.

15. Филиппова, А. С. Экономико-математическое моделирование динамики состояния систем поддержки принятия решений в банковской деятельности / А. С. Филиппова // Вестн. Челяб. гос. ун-та. 2015. № 12 (367). С. 103–111.

Сведения об авторах

Филиппова Анна Сергеевна — аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. filippova-as@yandex.ru

Шориков Андрей Фёдорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

---

A. S. Filippova, A. F. Shorikov

APPLICATION OF DYNAMIC ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING FOR DEVELOPMENT OF METHODS OF ORGANIZATION AND IMPLEMENTATION OF BANKING PROCESSES

In the current economic conditions financial performance management process is acquiring a significant role in the activities of commercial banks. The essence of this process is to find the optimal solution when choosing alternative development activities. It includes both the assessment and selection of different lines of business, taking into account the existing risks and control costs and headcount. The best solution would be that, in the implementation of which the revenue budget is increased and the expenditures part is reduced, ie profit of commercial bank is maximized. In this paper we consider the dynamic economic-mathematical model for the development of methods of the organization and implementation of banking processes. The results are illustrated in the content examples.

ББК Ч404.42
УДК 370.1

П. И. Ципорин

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ПО ОБОБЩЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Представлено исследование методики оптимизации распределения ресурсов для повышения качества деятельности системы образовательных учреждений. Описана математическая модель на основе информационной энтропии показателей, повышающая объективность оценки качества деятельности однородных объектов.

Постановка задачи оптимизации распределения ресурсов

В настоящее время на федеральном и региональном уровнях управления при реализации проектов различной направленности зачастую не ставится задача исследования дальнейшей эффективности приложенных управляющих воздействий (увеличение финансирования субъектов управления, оснащение различными новыми технологиями и т. д.). Например, в рамках национальной инициативы «Наша новая школа» организуется централизованное оснащение образовательных учреждений (ОУ) по различным направлениям деятельности во всех регионах Российской Федерации. При планировании оснащения конкретный выбор группы ОУ для оснащения определяется на основании метода экспертных оценок [1]. Данная методика выбора является субъективной и не отвечает предъявляемым требованиям по оптимизации управленческой деятельности.

Таким образом, актуальной становится задача разработки методики оптимизации распределения ресурсов для повышения качества деятельности системы образовательных учреждений, которая бы представляла возможность оптимального распределения ресурсов при оснащении систем однородных объектов.

Пусть имеется система из m ОУ, которые характеризуются n общими для этих объектов показателями. Обозначим $Б$ выделенные ресурсы, которые необходимо направить на увеличение показателей. Для случая отсутствия дополнительной информации об исследуемых объектах и их показателях, а также на основе современного подхода к определению значимости каждого из показателей [3] необходимо определить направление использования выделенных ресурсов $Б$, то есть определить приоритетные направления увеличения входных показателей таким образом, чтобы на выходе получить наиболее оптимальное увеличение качества деятельности системы однородных объектов.

Выбор показателей сбора информации имеет решающее значение при оценке и оптимизации деятельности системы однородных объектов. Рейтинги различаются по источникам данных и по качеству (важности, весомости) показателей. Поскольку не существует чёткой и повсеместно признанной меры качества деятельности системы однородных объектов, любая рейтинговая схема основана на доступном наборе наглядных показателей, каждый из которых характеризует определённый аспект оценки.

Построение матрицы входных данных

Введём в рассмотрение вектор показателей деятельности X, отражающий важнейшие свойства рассматриваемого объекта, где

$$X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}^T, \quad (1)$$

где n — число показателей системы; $X \in R^n$; R^n — n-мерное евклидово пространство.

Обозначим через $[a_i, b_i]$границы изменения показателя x_i, то есть $X \in [A, B]$,

где $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$, $B = \{b_1, b_2, ..., b_n\}$.

Исходную информацию о системе однородных объектов можно представить в виде следующей матрицы:

$$X(t) = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Здесь $X \in R^n$; $t \in R^1$; $\mathbf{R}^*$ — *-мерное евклидово пространство; m — количество объектов; n — число показателей для объекта; x_{ij} — значение j-го показателя для i-го объекта; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$; t — момент времени, в который строится срез данных.

Приведение показателей к общей мере качества

Оперировать с величинами (вычислять суммы, сравнивать друг с другом) можно только тогда, когда они соизмеримы, то есть сведены к единой мере (в некоторых случаях нужно оценивать одновременно компьютеры и преподавателей, в других — квадратные метры школьных классов и часы, отведённые на практические занятия). Так, например,

в методах экспертных оценок [1; 2] каждому показателю выставляется на основании мнения экспертов некий весовой коэффициент значимости, который уравнивает меры у всех показателей.

В данной работе предлагается подход на основе статистики качества [3]. Для перевода размах значений каждого показателя разбивается на одно и то же число интервалов, и номер интервала, в который попадает значение показателя, определяет значение меры качества данного показателя.

Для определения уровня качества каждому признаку устанавливают верхнюю и нижнюю границы изменения. Число уровней качества заранее устанавливается в соответствии с экспертной оценкой, получаемой управляющим органом (либо профессиональным сообществом), и сохраняется неизменным в течение всего цикла рейтингования:

$$q_{ij} = \frac{(x_{ij} - x_{\min j}) \cdot (N-1)}{x_{\max j} - x_{\min j}} + 1, \qquad (3)$$

где $x_{\max j}$ и $x_{\min j}$, соответственно, границы изменения показателя j, устанавливаемого либо эмпирически, после сбора информации по всем объектам, либо нормативно, органом управления; N — число уровней качества; x_{ij} — значение j-го показателя для i-го объекта, q_{ij} — значение аналога качества j-го показателя для i-го объекта; $i = 1, 2, \ldots, m$; $j = 1, 2, \ldots, n$.

Полученные аналоги качества округляем до целых значений, поскольку на практике принято оценивать качество целыми числами. Кроме того, при округлении происходит сглаживание неточностей, изначально присущих численным значениям признаков.

Сведём все полученные значения аналогов качеств для показателей в матрицу. Обозначим матрицу качеств:

$$Q(t) = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \cdots & q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \cdots & q_{mn} \end{pmatrix} \qquad (4)$$

где m — количество объектов; n — число показателей объекта; q_{ij} — значение аналога качества j-го показателя для i-го объекта; $i = 1, 2, \ldots, m$; $j = 1, 2, \ldots, n$; t — момент времени, в который строится срез данных.

Оценка показателей качества деятельности системы

Для определения значимости качественных показателей используем функцию информационной энтропии [4], зависящую от частоты появления события (собственная информация случайной величины). Определить энтропию случайной величины можно, введя предварительно понятие распределения случайной величины X, имеющей конечное число значений:

$$P_X(x_i) = p_i = \frac{k_i}{K}, p_i \geq 0, i = 1,2,...,m, \ \sum_{i=1}^{m} p_i = 1, \qquad (5)$$

где P_X — распределение случайной величины X; p_i — относительная частота (вероятность) наступления события X; k_i — число благоприятного наступления события X; K — общее число событий.

В то же время собственная информация случайной величины определяется как [5]:

$$I(X) = \ln \frac{1}{P_X(x_i)}. \qquad (6)$$

Таким образом, частная информационная энтропия события X является суммой всех произведений относительных частот появления события X, умноженных на их обратные натуральные логарифмы:

$$H_j = \sum_{i=1}^{m} p_i \ln \frac{1}{p_i}, \qquad (7)$$

где j — j-й показатель для i-го объекта; H_j — информационная энтропия (значимость) j-го показателя.

Величина H_j даёт количество информации о событии, вероятность наступлении которого равна p_i. Таким образом, количество информации о событии определяется как величина, обратно пропорциональная вероятности наступления события. Чем больше вероятность наступления события, тем меньше информации несёт сообщение о его наступлении, и наоборот.

При этом принцип целостности и однородности исследуемой системы на основании [3] выражается формулой

$$R_i = \sum_{j=1}^{n} H_j \cdot q_{ij}, \qquad (8)$$

где i — i-й объект, $i = 1, \ldots, m$; H_j — энтропия (значимость) j-го показателя; q_{ij} — значение аналога качества j-го показателя для i-го объекта; R_i — сводный рейтинг объекта i, построенный на основании принципа целостности и однородности системы.

Таким образом, получаем оценку показателей качества деятельности системы однородных объектов:

$$К_{деят} = 1 / \sum_{i=1}^{m} R_i, \qquad (9)$$

где R_i — сводный рейтинг объекта i, $i = 1, 2, \ldots, m$.

На основании выражений (1)–(9) получаем математическую модель оптимизации показателей качества деятельности системы однородных объектов с функцией ограничения по выделенным ресурсам $Б$:

$$K(q(x), x) = A_1 \cdot (\sum_{i=1}^{m} (\sum_{j=1}^{n} (\sum_{i=1}^{m} \frac{k_i}{K} \cdot \ln \frac{K}{k_i}) \cdot q(x)_{ij})) +$$

$$+ A_2 Б(x), \qquad (10)$$

где A_1, A_2 — весовые коэффициенты модели; K — общее число событий ($K = m$); k_i — число благоприятного наступления события X; событие X — отнесение показателя $q(x)_{ij}$ к уровню качества N; N — число уровней качества (задаётся экспертно); $q(x)_{ij}$

— качественные аналоги показателей; x_{ij} — показатели; $\Delta Б(x) = (Б_{\sum} - \sum_{j=1}^{J}(\sum_{i=1}^{I}\Delta x_{ij} \times \delta_{ij}))^2$ — функция ограничения по выделенным ресурсам; δ_{ij} — «весовые» коэффициенты показателей; $\Delta x_{ij} = (x_{ij\text{план}} - x_{ij\text{тек}})$ — приращение показателя x_{ij}.

Методика оптимизации распределения ресурсов для повышения качества деятельности системы образовательных учреждений

Для оптимизации распределения ресурсов на основе предложенной математической модели необходимо определить и ввести следующие данные:

– максимально допустимые значения по каждому из исследуемых показателей;

– «весовые» стоимостные коэффициенты показателей (в р.);

– объём выделенных ресурсов для проведения оптимизации *Б* (в р.).

Поскольку распределение ресурсов экспертным путём не гарантирует повышения качества деятельности системы образовательных учреждений [6], то методика оптимизации распределения ресурсов, представлена в виде системы уравнений, описывающих траекторию наискорейшего спуска функции $Z(x, Б)$:

$$\frac{dx}{dt} = -Z'(x, Б),\ x(0) = x_0;$$

где $-Z'(x, Б)$ — антиградиент целевой функции, $x(0) = x_0$ — начальные условия.

Таким образом, предложенная методика оптимизации распределения выделенных ресурсов и соответствующая математическая модель позволяет отказаться от экспертной оценки на базе весовых коэффициентов входных параметров, которые носят субъективный характер и увеличивают временны́е затраты на получение результата, и позволяет на её базе построить экспертную систему оптимизации распределения ресурсов для повышения качества деятельности системы образовательных учреждений.

Заключение

Представленная методика оптимизации распределения ресурсов и математическая модель оценки показателей качества деятельности системы однородных объектов позволяет рассмотреть в комплексном виде систему однородных объектов по различным показателям, а также повысить качество деятельности системы однородных объектов в режиме реального времени.

Предложенная методика (уравнения 1–11) позволяет отказаться от экспертной оценки значимости показателей, которая носит субъективный характер и увеличивает временны́е затраты на получение конечного результата.

Библиографический список

1. Орлов, А. И. Теория принятия решений / А. И. Орлов. М. : Экзамен, 2006. 576 с.

2. Орлов, А. И. Экспертные оценки : учеб. пособие / А. И. Орлов. М. : ИВСТЭ, 2002.

3. Современный подход к построению рейтингов образовательных учреждений / Т. Д. Карминская, С. П. Семёнов, О. Ф. Шапкина, П. И. Ципорин // Докл. ТУСУРа. 2008. № 1 (17). С. 127–134.

4. Shannon, C. E. A mathematical theory of communication / C. E. Shannon // Bell System Technical J. 1948. Vol. 27, № 3. P. 379–423.

5. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. М. : Изд-во иностр. лит., 1963. 830 с.

6. Ципорин, П. И. Математическая модель оценки обобщённых показателей качества деятельности системы образовательных учреждений / Т. Д. Карминская, В. З. Ковалев, П. И. Ципорин, О. В. Архипова // Вестн. Югор. гос. ун-та. 2010. С. 98–103.

Сведения об авторе

Ципорин Павел Игоревич — аспирант, Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск. TsiporinPI@yandex.ru

---

P. I. Tsiporin

THE METHOD OF OPTIMIZING THE ALLOCATION OF RESOURCES TO IMPROVE THE QUALITY OF ACTIVITIES OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS ON GENERALIZED INDICATORS OF THE QUALITY ACTIVITIES

Presents research of the techniques of optimizing the allocation of resources to improve the quality of activities of educational institutions. The mathematical model based on information entropy of indicators that improve the objective assessment of quality of activity of homogeneous objects.

ББК 3811
УДК 004.056.5

А. Н. Челмакин, Ю. В. Кочержинская, И. М. Ячиков

ТЕОРЕТИКО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрены теоретические основы известных и наиболее популярных на сегодняшний день методов защиты компьютерной информации, такие как алгоритмы блочного шифрования и использование методов квантовой криптографии. Сделан анализ области применения этих методов и перспектив их развития с учётом идентифицируемых рисков в сфере информационной безопасности.

Современная деловая активность подразумевает использование, хранение и регулярный обмен информацией между внутренними и внешними источниками. Заинтересованность в завладении такой информацией проявляют не только те, кому, непосредственно она предназначается, но и иные лица: конкуренты, торговцы чужими секретами и прочие злоумышленники. В связи с этим становится понятным, что передача незащищённых потоков данных представляет реальную угрозу успешной деятельности предприятий и учреждений, поэтому обязательным атрибутом информационной среды становится применение специальных средств защиты данных, среди которых самым распространённым, на сегодняшний день, является шифрование.

Шифрование представляет собой процесс преобразования данных в символы, которые невозможно прочитать. Алгоритм воздействия на передаваемые данные чаще всего известен всем сторонним лицам, но он зависит от некоторого параметра — ключа, которым обладают только отправитель и получатель. Причём ключ также представляет собой определённый набор символов [1].

Алгоритм преобразования, ключ/ключи для шифрования и дешифрования данных составляют криптосистему. Взломать криптосистему — значит осуществить определённые операции, требующие знания ключа, не имея о нём никакой предварительной информации. Наиболее качественным взломом является взлом, в результате которого становится известен ключ, что даёт взломщику те же возможности полномочия, что и законному владельцу ключа. Получение ключа с использованием полного перебора пространства ключей криптосистемы является наиболее простым методом этой точки зрения: он состоит в том, чтобы пробовать все ключи один за другим до тех пор, пока не найдётся правильный. Этот метод является наиболее общим и может быть распараллелен (вычисления могут быть распределены на много машин). Кроме того, он наиболее реалистичен: если рассматривать случай симметричной системы шифрования, ведь именно такие используются для шифрования наиболее важной информации. Современные системы, например, лежащие в основе SSL, HTTPS, VPN, обычно шифруют все данные с помощью секретного ключа и симметричного алгоритма.

Довольно долгое время, до принятия в качестве стандарта алгоритма AES во многих странах, в том числе и в США, до 2000 г. использовался алгоритм DES (*Data Encryption Standard*). Несмотря на множество найденных криптоаналитических методов, применимых к DES, за 25 лет фактически не было обнаружено каких-либо серьёзных уязвимостей в данном алгоритме, за исключением одного, но весьма принципиального недостатка: весьма короткого ключа, реальный размер которого составляет всего 56 бит. Насколько это мало, можно судить из следующей весьма распространённой оценки: для полного перебора ключей DES достаточно примерно 20 часов работы миллиона процессоров, каждый из которых перебирает миллион ключей DES в секунду [2]. Ясно, что такой стойкости против вскрытия алгоритма методом «грубой силы» уже в конце XXI в. было недостаточно.

Устаревший DES заменил алгоритм AES (*Advanced Encryption Standard*) — симметричный алгоритм блочного шифрования в отличие от многих других криптографических стандартов не был разработан «в недрах спецслужб», а выбран на открытом конкурсе из относительно большого числа алгоритмов-претендентов, в результате конкурса, проведённого между технологическими институтами.

Этот алгоритм иногда ещё называют *Rijndael* — это анаграмма из частей имён бельгийских программистов *Vincent Rijmen* и *Joan Daemen*, которые и разработали AES. Строго говоря, AES и *Rijndael* — не совсем одно и то же, поскольку AES имеет фиксированный размер блока в 128 бит и размеры ключей в 128, 192 и 256 бит, в то время как для *Rijndael* могут быть заданы любые размеры блока и ключа, от 32 бит до 256 бит. Алгоритм AES был одобрен Агентством национальной безопасности США как пригодный для шифрования особо секретной информации и принят правительством США в качестве стандарта.

Российская Федерация имеет свой стандарт шифрования. Этот стандарт закреплён ГОСТом

№ 28147–89, принятом еще в 1989 г. в СССР. Однако история этого шифра гораздо более давняя. Стандарт родился предположительно в недрах восьмого главного управления КГБ СССР, преобразованного ныне в ФАПСИ. Есть данные, что ещё в 1970-х гг. осуществлялись проекты по созданию программных и аппаратных реализаций этого шифра для различных компьютерных платформ. В те времена он имел гриф «сов. секретно», позже гриф был изменён на «секретно», затем снят совсем. Отечественный алгоритм шифрования до сих пор используется для хранения государственных и военных секретов. Он предусматривает 3 режима шифрования: простой замены, гаммирования и гаммирования с обратной связью; размер блока 64 бита, длина ключа 256 бит.

Информация, определенная как секретная, должна быть защищена посредством симметричного криптографического алгоритма с длиной ключей 128, 192 и 256 бит. Для информации, определённой как особо секретная, эта длина составляет 192 или 256 бит.

Криптоалгоритм считается идеально стойким, если прочесть зашифрованный блок данных вы имеете возможность, только перебрав все варианты ключей, до тех пор, пока сообщение не окажется осмысленным. По теории вероятности искомый ключ будет найден с вероятностью ½ после перебора половины всех ключей, поэтому на взлом идеально стойкого криптоалгоритма с ключом длины N потребуется в среднем 2^{N-1} проверок. Таким образом, в общем случае стойкость блочного шифра зависит только от длины ключа и возрастает экспоненциально с её ростом. Даже предположив, что перебор ключей производится на специально созданной многопроцессорной системе, в которой благодаря диагональному параллелизму на проверку 1 ключа уходит только 1 такт, то на взлом 128 битного ключа современной технике потребуется не менее 10^{21} лет. Это существенно меньше, чем время жизни нашей Вселенной $\sim 10^{10}$ лет.

Каждый дополнительный бит удваивает количество возможных ключей и, соответственно, затраты на полный перебор их пространства. Например, ключ длиной 128 бит является в 18 446 744 073 709 551 616 раз более сложным для подбора, по сравнению с ключом длиной в 64 бита. Если представить, что взломщик располагает огромными ресурсами, то есть всеми ныне существующими суперкомпьютерами, то даже в этом случае доступ к зашифрованным данным, зашифрованным 256-битным ключом, в обозримом будущем он не получит.

В последние 30 лет наряду с криптосистемами с закрытым ключом широкое распространение получили криптографические системы с открытым ключом. При этом надо понимать, что системы с открытым (асимметричным) ключом в силу своей специфики более уязвимы к стойкости используемого алгоритма. По данным Национального института стандартов и технологий (США) 15 360-битный ключ алгоритма RSA соответствует 256-битному симметричному ключу [3]. То есть длина открытых ключей существенно больше ключей для симметричных алгоритмов.

Однако в современной криптографии не всё так просто. Уровень техники и информационных технологий не стоит на месте, а бурно развивается. Появляются новые, всё более мощные суперкомпьютеры, новые технологии доступа к данным, например, облачные вычисления, обеспечивающие пользователям доступ к данным, приложениям и услугам через Интернет. Отсюда хотелось бы получить некую более совершенную «криптосистему будущего», взлом которой простым перебором был бы сложен настолько, что не имел бы практического или экономического смысла.

К подобным криптосистемам будущего относят использование принципов квантовой телепортации, суть которых кратко в следующем: при переходе от сигналов, где информация кодируется импульсами, содержащими тысячи фотонов, к сигналам, где среднее число фотонов, приходящихся на один импульс, много меньше единицы (порядка 0,1), вступают в действие законы квантовой физики [3]. Сочетание их с законами классической криптографии даёт возможность создать криптосистему, стойкость которой будет стремиться к 100 %.

Практические исследования показали, что попытка перехвата информации из квантового канала связи неизбежно приводит к внесению в него помех, обнаруживаемых законными пользователями этого канала. Чарльзом Беннеттом (*Charles Bennett*)и Жилем Брассаром (*Gilles Brassard*) был предложен практический метод, называемый протоколом BB84, для квантового распределения ключа. Для него предполагается использовать фотоны в ортогональных базисах поляризации [4].

Квантовая система передачи ключа использовалась для систем шифрования с открытым ключом, при этом все остальные процессы — классические. Это похоже на известный и широко используемый, называемый цифровым конвертом механизм, позволяющий устранить недостатки и использовать преимущества симметричного и асимметричного алгоритмов шифрования. Весь текст сообщения кодируется обычным быстрым блочным шифром (симметричным алгоритмом) с использованием ключа сеанса, а сам ключ сеанса шифруется асимметричным алгоритмом с помощью открытого ключа получателя.

В квантовых ключах всегда есть ошибки, которые обусловлены техническим несовершенством оборудования. Такие ошибки необходимо исправлять, поскольку в противном случае нельзя будет использовать для шифрования (дешифрования) полученный ключ. Квантовая криптография использует этот факт для обеспечения возможности двум сторонам,

которые ранее не встречались и не обменивались никакой предварительной секретной информацией, осуществлять между собой связь в обстановке полной секретности без боязни быть подслушанными злоумышленником. В настоящее время альтернативой этой технологии является алгоритм *Диффи — Хеллмана* для получения общего секретного ключа, используя незащищённый от прослушивания, но защищённый от подмены канал связи.

Говорить о высочайшей стойкости методов квантовой криптографии на сегодняшний день рано. Существует как минимум два серьёзных недостатка таких систем. Первый заключается в том, что предельная длина расстояния для работы квантовых систем составляет сегодня примерно сто километров, что резко сужает спектр использования технологии. Даже если пользователи готовы использовать прямой оптоволоконный канал между ними, географически разнесённые собеседники общаться без некоторого ретранслятора (или нескольких), находящегося в промежуточной точке, не смогут, а это очевидно уязвимое место для прослушивания и атаки потенциального злоумышленника. Второй недостаток обусловлен техническим несовершенством используемых систем поляризации. «Ослепляя» фотодетекторы мощным лазером, можно манипулировать их показаниями, что позволяет фальсифицировать данные в системах квантового распределения ключей [5].

Однако не всё так и плохо. Уже сегодня существует квантовый компьютер, по имеющимся оценкам [4], позволяющий ускорить перебор ключей. Например, поиск 256-битного ключа AES на квантовом компьютере эквивалентен поиску 128-битного ключа на обычном однопроцессорном ПК.

Таким образом, из приведённого анализа криптографических методов защиты компьютерной информации и их перспектив можно заключить, что защита компьютерной информации идёт как в направлении совершенствования существующих симметричных и асимметричных криптосистем, а также в развитии технических средств и методов квантовой криптографии.

Библиографический список

1. Бабенко, Л. К. Анализ симметричных криптосистем / Л. К. Бабенко, Е. А. Ищукова // Изв. Юж. федерал. ун-та. Техн. науки. 2012. № 12 (137). С. 136–147.
2. Ячиков, И. М. Методы и средства защиты компьютерной информации : учеб. пособие / И. М. Ячиков, Ю. В. Кочержинская, М. М. Гладышева. Магнитогорск : МГТУ, 2010. 171 с.
3. Красавин В. Квантовая криптография [Электронный ресурс] / В. Красавин. URL: http://re-tech.narod.ru/inf/crypto/qq.htm
4. Fedorov, A. Против паранойи: квантовый компьютер как угроза информационной безопасности [Электронный ресурс] /A. Fedorov // Theory&Practice / Физтех. Читалка. URL: http://theoryandpractice.ru/posts/14507-protiv-paranoyi-kvantovyy-kompyuter-kak-ugroza-informatsionnoy-bezopasnosti
5. Malenkovich, S. Квантовые компьютеры и конец безопасности [Электронный ресурс] / S. Malenkovich // Лаборатория Касперского. URL: https://blog.kaspersky.ru/kvantovye-kompyutery-i-konec-bezopasnosti/1989

Сведения об авторах

Ячиков Игорь Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. jachikov@mail.ru

Кочержинская Юлия Витальевна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск.

Челмакин Александр Николаевич — студент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. chelmakin119@gmail.com

---

I. M. Yachikov, Yu. V. Kocherzhinskaya, A. N. Chelmakin

NFORMATION-THEORETIC ANALYSIS OF CRYPTOGRAPHIC TECHNIQUES TO PROTECT COMPUTER INFORMATION

The theoretical foundations of the famous and the most popular to date, methods to protect computer information, such as the block encryption algorithms and the use of quantum cryptography. The analysis of the application of these methods and their prospects for development in view of the risks identified in the field of information security.

ББК Ч448.044
УДК 378.141:004.4

О. Ю. Шилова, А. В. Мельников

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНОЙ SIR-МОДЕЛИ ЭПИДЕМИИ И ЕЕ МОДИФИКАЦИЙ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АБИТУРИЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНА РЕКЛАМЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИЕМНОЙ КАМПАНИИ

Представлен краткий обзор современного состояния математического моделирования распространения эпидемий и информации, описана классическая модель распространения инфекционного заболевания (SIR) и её модификации; приведены примеры использования модели распространения инфекционного заболевания (SIR) и её модификаций. Также разработана концептуальная модель для прогнозирования поведения потенциальных абитуриентов в целях оптимизации затрат на рекламу на основе изменения характеристик (маркетинговых решений) системы с применением математического аппарата и имитационного моделирования при приёме абитуриентов в институт (на факультет).

1. Введение

Моделирование является общепризнанным средством познания действительности и универсальным методом получения и использования знаний об окружающем мире. Моделирование всегда используется человеком в целенаправленной деятельности. При использовании этого метода решения исследуемая система заменяется более простым объектом, который описывают реальную систему. Особым видом математических моделей являются имитационные модели. Имитационная модель — это компьютерная программа, которая описывает структуру и воспроизводит поведение реальной системы во времени. Имитационная модель позволяет получать подробную статистику о различных аспектах функционирования системы в зависимости от входных данных [1]. Одной из популярных проблем имитационного моделирования в настоящее время является моделирование поведения людей.

Можно ли предсказать поведение потребителей? Каким образом потребители делают свой выбор и что именно играет решающую роль — низкая цена, удобство расположения или вежливость и приветливая улыбка продавца, который общается с клиентами? Как оценить реакцию потребителей на изменения в маркетинговой стратегии или запуск нового продукта? Примерно десять-пятнадцать лет назад решение подобных вопросов казалось невозможным, однако сегодня построение подобных прогностических моделей рынка стало реальностью благодаря поведенческой экономике и агентному моделированию [2].

В основе агентного моделирования лежит попытка понять логику принятия решения отдельно взятым индивидуумом, формализовать её и объединить в единую модель поведения. На языке моделирования автономно принимающий решение субъект и называется агентом: агентом может быть как индивидуальный потребитель, так и целые социальные группы или организации.

2. Модель распространения инфекционного заболевания (SIR) и её модификации

При исследовании поведения потребителей важной составляющей является проблема распространения информации среди этих потребителей. Классической моделью, связанной с распространением информации, считается модель распространения инфекционного заболевания (SIR). В 1927 г. W. O. Kermack и A. G. McKendrick создали модель эпидемической ситуации, которая в настоящее время считается классической SIR-моделью. В данной модели у каждого человека есть три состояния: Susceptible (S) — восприимчивый к заболеванию, Infectious (I) — заражённый и Recovered (R) — выздоровевший и обладающий иммунитетом. Люди общаются друг с другом с определённой интенсивностью. Если заражённый человек контактирует с восприимчивым к заболеванию, то последний заражается с заданной вероятностью. По прошествии определённого времени после заражения человек выздоравливает и вырабатывает иммунитет к заболеванию.

На основе базовой SIR-модели возможно создание уточнённых моделей, учитывающих эпидемиологические особенности различных инфекций [3]. На рис. 1 представлены простые примеры моделей, которые ориентируются на базовую модель SIR, где E — группа пассивно инфицированных, не распространяющих инфекцию (Exposed), C — инфицированные, болезнь которых перешла в пассивную/хроническую фазу (Carrier).

SEIR-модель (рис. 1, *а*) создана для заболеваний, патогенез которых включает фазу пассивного инфицирования, когда индивид является носителем, но не распространителем инфекции. SIS-модель (рис. 1, *б*) подходит для эпидемий заболеваний,

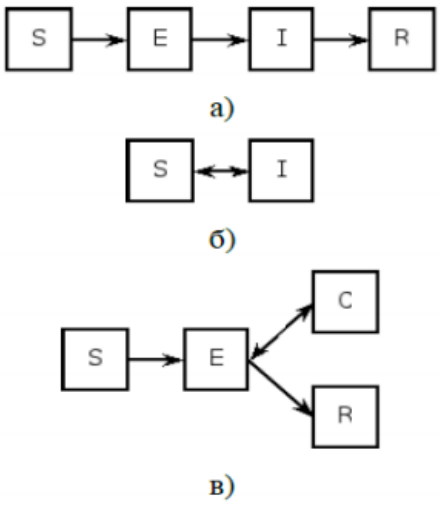


Рис. 1 . Примеры простых моделей

не формирующих у выздоровевших устойчивого иммунитета (например, инфекции, активность которых связана с общим охлаждением организма). На рис. 1, *в* изображена модель заболеваний, которые могут принять пассивный характер течения, при котором индивид не является распространителем инфекции, но может вернуться в группу распространителей [4].

Скорости переходов из одного класса в другой математически выражаются в виде производных, поэтому модель формулируется с помощью дифференциальных уравнений. При создании таких моделей следует предположить, что численность населения вкупе дифференцируема по времени и что эпидемический процесс является детерминированным.

В работе [5; 6] проведён сравнительный анализ нескольких моделей, которые описывают три группы населения:

1) восприимчивые к заболеванию (Susceptible);

2) заражённые, инфицированные, восприимчивые (Infectious);

3) выздоровевшие, получившие долговременный иммунитет (Recovered).

На рис. 2 изображена SIR-модель эпидемического заболевания (на примере гриппа) [7]. В данной модели используются следующие обозначения: S — число индивидов восприимчивых к инфекции, I — число распространителей инфекции, R — число выздоровевших, α — частота появления новых восприимчивых в популяции, β — частота инфицирования, γ — частота выздоровления, μ — частота естественной смерти, μi — частота смерти от болезни, N — общая численность населения.

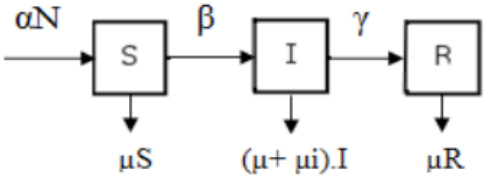


Рис. 2. Классическая модель SIR

Модель (рис. 2) задаётся системой дифференциальных уравнений модели эпидемии (при $\Delta t = 1$):

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = \alpha N - \beta IS - \mu S; \\ \dfrac{dI}{dt} = \beta IS - \gamma I - (\mu + \mu i)I; \\ \dfrac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R; \\ N = S + I + R. \end{cases} \quad (1)$$

3. Примеры использования модели распространения инфекционного заболевания (SIR) и её модификаций

Стандартная модель распространения инфекционного заболевания (SIR) была первой моделью, которая занялась исследованием проблемы распространения заболевания. Несмотря на то что в модели распространения инфекционного заболевания (SIR) не рассматривается в явном виде распространение информации, многие авторы в своих работах опираются именно на неё, например:

1. В статье [8] рассматривается модель распространения информации и информационного противоборства в социуме. За основу данной модели взята стандартная модель SIR: в обществе выделены две группы людей, одна из которых получает информацию от СМИ, а другая через слухи; индивид принимает информацию лишь тогда, когда определённое количество других членов группы уже прияли её. Однако в данной модели есть и отличия от стандартной модели SIR: усвоение информации лишь после двукратного ее получения; забывание информации. Данные отличия обусловлены тем, что авторы анализируют распространение информации, а не болезни, исходя из чего возникает необходимость учитывать восприятие информации индивидуумами и возможность забывать информацию.

2. В работе [9] описана компьютерная модель распространения информации в сетевых системах с различной структурой. В данной работе применяется традиционная, классическая модель SIR в явном виде, зависящая от стадии информированности (заражённости): изначально агент восприимчив к информации; затем при условии контакта с информированным элементом (инфицированным) он сам заражается с какой-то вероятностью; через какое-то время элемент теряет восприимчивость к информации (выздоравливает), через какое-то время элемент снова может начать воспринимать информацию (заболевать).

3. В исследовании [10] модифицируется SEIR-модель на основе характеристик социальных сетей исходя из анализа значения информации и поведения пользователей при распространении информации. Данную изменённую модель авторы назвали S-SEIR. В данной модели учитываются актуальность

значения информации, скорость информационного аудита, а также исследуется влияние пользовательского поведения исходя из количества пользователей разных стран. Результаты моделирования показывают, что S-SEIR-модель может моделировать информационный процесс распространения информации в социальной сети.

4. В статье [11] рассматривается практический пример разработки имитационной модели для российского интернет-портала по продаже авиабилетов и бронирования гостиниц. В модели, представленной в статье, проводится анализ динамики выручки компании в зависимости от механизмов распространения информации об интернет-портале среди потенциальных клиентов. Моделируется поведение пятисот тысяч агентов. Авторы предложили делить клиентов на три категории: неосведомлённые, осведомлённые непользователи и пользователи, в точности как и в классической модели: восприимчивые к заболеванию, заражённые, выздоровевшие. Основная задача модели при этом состояла в том, чтобы перевести потенциальных клиентов из категории «неосведомлённые» в категорию «пользователи».

5. В статье [12] описывается работа по сбору информации со страниц пользователей, индексация и поиск по полученным данным, а также анализ социальной сети. В статье расписываются такие задачи исследования особенностей распространения информации в социальных сетях, как автоматический сбор информации из Сети; анализ собранной информации с учётом изменения по времени; идентификация источников данных, представляющих информацию по определённой теме; непосредственный анализ полученных на первых этапах данных с целью выявления определённых закономерностей и особенностей. Данная статья представляет собой отчёт о промежуточных результатах решения указанной комплексной задачи, которые на данный момент нельзя считать законченным исследованием, а стоит рассматривать лишь как некую подготовительную работу по решению указанной сложной задачи.

6. В статье [13] рассматриваются проблемы, связанные с передачей информации в компьютерных сетях. Автор представляет использование современных компьютерных сетей как сложную научно-техническую задачу. О современных компьютерных сетях можно говорить, как об объектах, характеризующихся тем, что они распределены: есть реконфигурируемость в транспортной инфраструктуре, децентрализованность и кооперативность управления при проведении «натуральных» экспериментов. Для данного распределения совместное использование средств для моделирования и осуществления экспериментального анализа по результатам функционирования сети даёт возможность получения объективных данных о том, каковы свойства сетевых процессов и каковы возможности для их прикладного использования.

7. В статье [14] рассмотрены аналитическая и имитационная модели распространения вредоносных программ в информационных системах. Автор в данной статье рассматривает модель Progressive SIDR (PSIDR) [15] и проводит исследование зависимости продолжительности эпидемии от времени беспрепятственного распространения вредоносных программ (ВПр). Модель PSIDR состоит из двух фаз:

– начальное заражение — вредоносная программа (ВПр) заражает один узел сети и затем в течение некоторого времени распространяется свободно, то есть согласно SI-модели;

– фаза реакции — по прошествии некоторого времени ВПр обнаруживается и со стороны субъектов производятся немедленные действия. Все узлы, оставшиеся незаражёнными, автоматически вакцинируются, а инфицированные — обнаруживаются с определённой скоростью, избавляются от инфекции и приобретают иммунитет. В этой фазе скорость распространения остаётся прежней, однако восприимчивые принципалы вакцинируются со скоростью μ, а инфицированные субъекты обнаруживаются со скоростью μ и «лечатся» со скоростью δ (μ представляет собой не что иное, как скорость обновления антивируса).

В данной модели используются следующие обозначения: $S(t)$ — число субъектов, подверженных заражению, $I(t)$ — число разносчиков ВПр, $R(t)$ — число восстановленных и имеющих защиту, $D(t)$ — количество обнаруженных инфицированных субъектов

Для моделирования распространения информации большинство авторов берут за основу стандартную модель распространения инфекционного заболевания (SIR), исключением являются статьи [12; 13], но в данных статьях пока только планируется эксперимент по моделированию, поэтому не исключено, что и авторы данных статей в будущем будут применять модель SIR. При этом большинство примеров использования модели распространения инфекционного заболевания (SIR) связано с моделированием работы компьютерных сетей, с защитой информации.

4. Задача

Нам необходимо разработать многоагентную модель для прогнозирования поведения абитуриентов в целях оптимизации затрат на рекламу с учётом изменения характеристик (маркетинговых решений) системы с применением математического аппарата и имитационного моделирования при приёме абитуриентов в институт.

К данной задаче можно применить одну из модификаций классической модели SIR-модель Progressive SIDR (PSIDR) [14; 15]. Данную модель в задаче нашего исследования можно интерпретировать следующим образом: S — число абитуриентов, которые

хотят поступить в наш институт (на факультет), *I* — число людей (студенты, выпускники, абитуриенты), которые распространяют информацию о нашем институте (факультете), *R* — число абитуриентов, которые передумали поступать в наш институт (на факультет), *D* — число абитуриентов, которые точно собираются поступать к нам и никуда больше.

При выборе учебного заведения на абитуриента могут влиять мнения студентов, друзей и родителей, заметки и статьи в СМИ, рекламные кампании, сайт заведения, частота и качество проведения дней открытых дверей и других мероприятий по привлечению абитуриентов, качество организации приёмной комиссии, наличие военной кафедры, наличие знакомых среди числа студентов/абитуриентов, статус заведения (государственное или нет), размер стипендии. Помимо этого при выборе факультета и направления обучения на абитуриента могут влиять: полученные баллы ЕГЭ и необходимый для поступления балл, личные интересы, тенденции к востребованности специалистов. При выборе финансовой основы обучения (бюджет/контракт) на абитуриента могут влиять: достаток семьи/студента, полученные баллы ЕГЭ и необходимый для поступления на бюджет балл, наличие бюджетных мест на интересующей специальности, конкурс, наличие льгот. При выборе формы обучения (очная/заочная) на абитуриента могут влиять: наличие работы, наличие семьи.

Перечисленные выше связи в графическом виде изображены на рис. 3.

Для корректного составления модели и проведения исследования могут понадобиться следующие данные об объектах, участвующих в исследовании:

– количество бюджетных мест;
– средний размер стипендии на факультете (в вузе);
– количество проведённых мероприятий по привлечению клиентов;
– средний конкурс на одно место;
– частота обновления информации на сайте факультета (вуза);
– наличие военной кафедры;
– наличие государственного статуса заведения;
– затраты на рекламу в период последней приёмной комиссии;
– другие.

Для получения такой информации может потребоваться проведение анкетирования участников исследования. Так, абитуриентам следует предложить указать в анкетах следующие данные:

– возраст;
– пол;
– наличие семьи;
– наличие работы;
– уровень образования;
– балл ЕГЭ или других вступительных испытаний;
– наличие льгот;

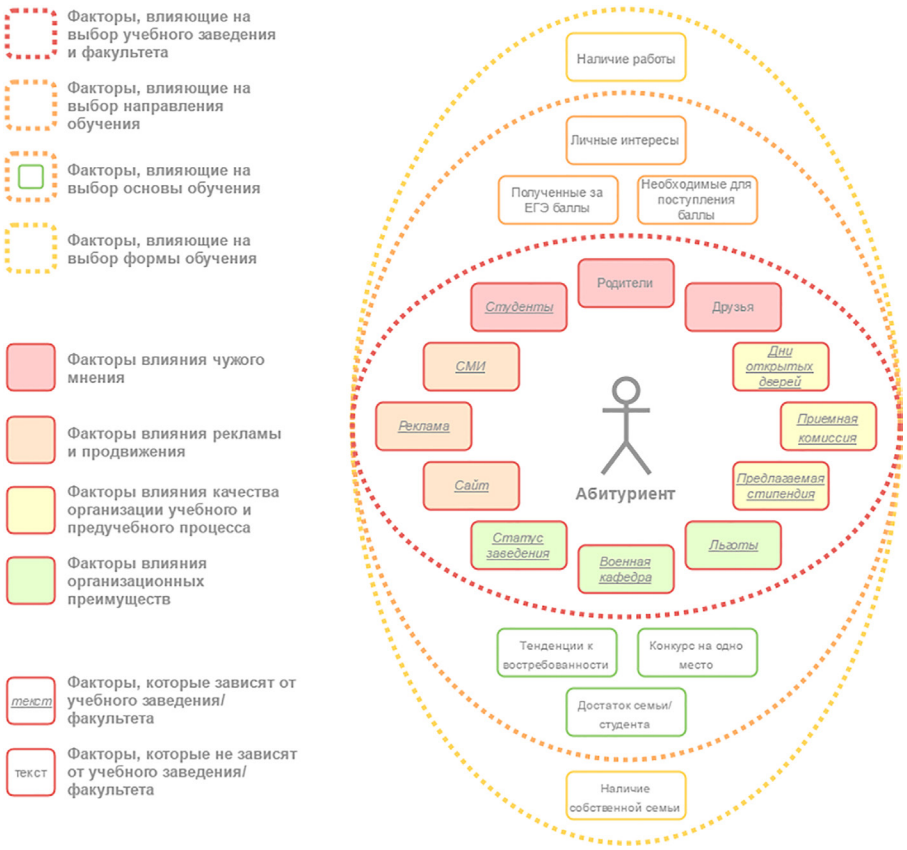


Рис. 3. Концептуальная схема

– возможность поступления на контрактной основе (да/нет).

В анкетах для представителей учебных заведений и отдельных факультетов могут быть предложены следующие пункты:

– затраты на рекламу за последний год;
– количество публикаций в СМИ;
– наличие сайта;
– статус заведения (государственное или нет);
– наличие военной кафедры;
– количество проведённых мероприятий по привлечению абитуриентов;
– количество потенциальных абитуриентов, оставивших контактную информацию о себе;
– количество бюджетных мест;
– конкурс на одно место;
– установленный размер стипендии.

5. Вывод

Исходя из приведённых аналогичных примеров в п. 3 «Примеры использования модели распространения инфекционного заболевания (SIR) и её модификаций» (см. выше) можно сказать, что применение модели SIR к поставленной в статье задаче является адекватным. Данная модель в случае её успешной реализации с помощью инструментов имитационного моделирования может помочь в оптимизации расходов на продвижение учебного заведения или факультета и предоставить показатели, при которых число абитуриентов останется на прежнем уровне (то есть сокращение средств не повлияет на уменьшение числа абитуриентов) и при которых их число можно будет увеличить. Также на основании проведённых экспериментов можно будет говорить об успешности тех или иных каналов продвижения, а также отметить те факторы, которые имеют наибольшее влияние на выбор абитуриента. Такие данные смогут помочь сотрудникам, связанным с приёмом абитуриентов, оптимизировать свою работу в целях создания позитивного имиджа и привлечения большего числа потенциальных абитуриентов.

Библиографический список

1. AnyLogic [Электронный ресурс] // The AnyLogic Company. URL: http://www.anylogic.ru/use-of-simulation, свободный

2. Каталевский, Д. Ю. Моделирование поведения потребителей / Д. Ю. Каталевский, В. В. Солодов, К. К. Кравченко // Искусств. об-ва. 2012. Т. 7, № 1–4.

3. Башабшех, М. М. Комбинированная имитационная модель пространственного распространения эпидемий на основе стохастической компартментной модели и вероятностного клеточного автомата : дис. ... канд. техн. наук / Башабшех Мурад Махмуд Али ; Тверской государственный технический университет. Тверь, 2014. 245 с.

4. Watts, D. Multiscale, Resurgent epidemics in a hierarchical metapopulation model / D. Watts,, R. Muhamad, Medina, P. S. Dodds // Proc. Natl. Acad. Sci. 2005. Vol. 102. P. 11157–11162.

5. Башабшех, М. М. Исследование и прогнозирование эпидемиологических заболеваний на основе компартментальных моделей / М. М. Башабшех, А. В. Скворцов, Б. И. Масленников // Сборник научных трудов магистрантов и аспирантов. Раздел «Информационные технологии в науке и образовании». Тверь : ТвГТУ, 2013. Вып. 3. С. 6–9.

6. Башабшех, М. М. Компартментные модели распространения заболеваний (эпидемии) / М. М. Башабшех, Б. И. Масленников и др. // Система гарантий качества образования: разработка и внедрение : материалы науч.-практ. конф. Тверь : Купол, 2012. С. 23–27.

7. Kermack, W. O. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics / A. G. McKendrick, W. O. Kermack // Proc. Roy. Soc. Lond. A. 1927. 115. С. 700–721.

8. Маревцева, Н. А. Моделирование распространения информации и информационного противоборства в структурированном социуме / Н. А. Маревцева, А. П. Михайлов, А. П. Петров // Материалы международной научно-практической конференции / под общ. ред. В. Н. Буркова. М. : Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. С. 209–210.

9. Носова, М. В. Моделирование распространения информации в децентрализованных сетевых системах с нерегулярной структурой / М. В. Носова, Л. И. Сенникова // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2014. № 17.

10. Ruzhi Xu. Research on information Dissemination Model for Social Networking Services / Ruzhi Xu, Heli Li and Changming Xing // International J. of Computer Science and Application. 2013. Vol. 2 (1).

11. Каталевский, Д. Ю. Динамический бизнес-план: новый подход к бизнес-планированию на основе агентного имитационного моделирования [Электронный ресурс] / Д. Ю. Каталевский, Р. А. Панов. URL: http://www.anylogic.ru/upload/iblock/2fe/2fe887025f65256f1f65cd07b96459a3.pdf

12. Рабчевский, Е. Некоторые аспекты задачи исследования распространения информации в социальной сети ВКонтакте [Электронный ресурс] / Е. Рабчевский, А. Цукерман. URL: http://seuslab.ru/articles/art01

13. Гребенников, А. Н. Моделирование распространения информации в компьютерных сетях / А. Н. Гребенников, А. В. Данилова // Моделирование, оптимизация и информ. технологии. 2015. № 2(9). URL: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2015/06/GribennikovDanilova_2_15_1.pdf

14. Груздева, Л. М. Об одной математической модели динамики распространения вредоносных программ. / Л. М. Груздева, Ю. М. Монахов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-20 : сб. тр. XX междунар. науч. конф. : в 10 т. Т. 6. Секция 12 / под общ. ред. В. С. Балакирева. Ярославль : Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 2007. С. 65–66.

15. Leveille, J. Epidemic Spreading in Technological Networks [Электронный ресурс] / J. Leveille. URL: http://www.hpl.hp.com/techreports/2002/HPL-2002-287.pdf, свободный (дата обращения: 22.12.2016).

Сведения об авторе

Шилова Оксана Юрьевна — аспирант, преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики, Челябинский государственный университет, Челябинск. *oxsa91@gmail.com, mou@csu.ru*

Мельников Андрей Витальевич — доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий, Челябинский государственный университет, Челябинск. *mav@csu.ru*

O. Yu. Shilova, A. V. Melnikov

APPLICATION OF STANDARD SIR-EPIDEMIC MODEL AND ITS MODIFICATIONS TO SIMULATE POTENTIAL ENROLLEES BEHAVIOR FOR OPTIMIZATION ADVERTISING PLAN AND FORECASTING RECEIVING COMPANY RESULTS

This article provides a brief overview of the current state of mathematical modeling of the spread of epidemics, and the information described in the classical model of the spread of infectious disease (SIR) and its modifications; are examples of the use of the spread of infectious disease models (SIR) and its modifications. And also, in this paper developed a conceptual model to predict the behavior potential enrollees for optimization of advertising based on the characteristics of changes of costs (Marketing Solutions) systems using the mathematical formalism and simulation modeling in the recruitment of entrants the institute.

ББК В18
УДК 519.8

А. Ф. Шориков

ОПТИМИЗАЦИЯ ГАРАНТИРОВАННОГО РЕЗУЛЬТАТА ПРОГРАММНОГО ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ДВУХУРОВНЕВОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИСКРЕТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 15-18-10014)

Рассматривается дискретная динамическая система, состоящая из нескольких объектов. Динамика всех объектов системы описывается соответствующими нелинейными дискретными рекуррентными векторными уравнениями, а система в целом имеет два уровня управления. Один из них (первый уровень управления) является доминирующим, а другой уровень (второй уровень управления) является подчинённым, и оба эти уровня управления имеют различные критерии функционирования и объединены априори определёнными информационными и управляющими связями. Для исследования этой динамической системы предполагается математическая формализация в форме реализации задачи двухуровневого иерархического минимаксного программного терминального управления с неполной информацией и общая схема её решения

1. Введение

В работе рассматривается дискретная динамическая система, состоящая из набора управляемых объектов. Динамика основного объекта описывается векторным нелинейным дискретным рекуррентным соотношением, а динамика вспомогательных объектов — соответствующими векторными и линейными относительно векторов возмущений (помех или ошибок моделирования) дискретными рекуррентными соотношениями. В данной системе выделены два уровня принятия управленческих решений — доминирующий уровень *I*, управляемый доминирующим игроком *P*, и подчинённый уровень *II*, управляемый игроком *E*, который представляет интересы всех игроков, управляющих вспомогательными объектами. Оба уровня управления объединены между собой априори определёнными информационными и управляющими связями. Качество управления рассматриваемыми динамическими объектами на каждом уровне управления оценивается соответствующими им выпуклыми функционалами, которые определены на их терминальных (финальных) фазовых состояниях и удовлетворяют соответствующим условиям Липшица. Предполагается, что управляющие воздействия и возмущения в динамической системе в каждый момент времени стеснены заданными конечными множествами или выпуклыми многогранниками в соответствующих конечномерных векторных пространствах.

Для исследуемой динамической системы в данной работе предлагается математическая формализация в форме решения многошаговой задачи двухуровневого иерархического минимаксного (оптимизации гарантированного результата) программного терминального управления и предложена общая схема её решения.

Полученные в работе результаты основываются на исследованиях [1–7] и могут быть использованы при компьютерном моделировании и создании многоуровневых систем управления для сложных динамических процессов, функционирующих в условиях риска и неопределённости. Математические модели таких процессов представлены, например, в работах [1–5].

2. Динамика дискретной управляемой системы

На заданном целочисленном промежутке времени $\overline{0,T} = \{0,1,\ldots,T\}$ $(T > 0)$ рассматривается многошаговая динамическая система, которая состоит из $(n+1)$-го управляемого объекта ($n \in \mathbf{N}$; здесь и далее, $\mathbf{N}$ — множество всех натуральных чисел). Динамика объекта *I* (основного объекта динамической системы), управляемого доминирующим игроком *P*, описывается векторным нелинейным дискретным рекуррентным уравнением вида

$$y(t+1) = f(t, y(t), u(t), v(t), w(t)),\ y(0) = y_0, \qquad (1)$$

динамика объекта II_i (*i*-го вспомогательного объекта динамической системы), управляемого подчинённым игроком E_i $(i \in \overline{1,n})$, описывается уравнением

$$z^{(i)}(t+1) = f^{(i)}(t, z^{(i)}(t), u(t), v^{(i)}(t)) + A^{(i)}(t) w^{(i)}(t),$$

$$z^{(i)}(0) = z_0^{(i)}, \qquad (2)$$

где $t \in \overline{0, T-1}$; $y(t) = (y_1(t), y_2(t), \ldots, y_r(t))' \in \mathbf{R}^r$ — фазовый вектор объекта *I* в момент времени *t* (для $k \in \mathbf{N}$, здесь и далее, $\mathbf{R}^k$ — *k*-мерное евклидово пространство векторов-столбцов, даже если из экономии места они записаны в строку); $z^{(i)}(t) = (z_1^{(i)}(t), z_2^{(i)}(t), \ldots, z_{s_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{s_i}$ — фазовый вектор объекта II_i $(i \in \overline{1,n})$ в момент времени *t*; $u(t) = (u_1(t),\ u_2(t), \ldots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p$ — вектор управляющего воздействия (управления) доминирующего игрока *P* в период *t* $(t \in \overline{0,T-1})$, удовлетворяющий заданному ограничению:

$$u(t) \in \boldsymbol{U}_1(t) \subset \mathbf{R}^p, \qquad (3)$$

где $\boldsymbol{U}_1(t)$, для каждого $t\in\overline{0,T-1}$ есть набор из N_t ($N_t\in\mathbf{N}$) векторов в $\mathbf{R}^p$ ($p\in\mathbf{N}$); $v^{(i)}(t)=(v_1^{(i)}(t),v_2^{(i)}(t),...,v_{q_i}^{(i)}(t))'\in\mathbf{R}^{q_i}$ — вектор управляющего воздействия (управления) подчинённого игрока E_i ($i\in\overline{1,n}$) в период t ($t\in\overline{0,T-1}$), который зависит от допустимой реализации управления $u^{(j)}(t)\in\boldsymbol{U}_1(t)$ игрока P ($j\in\overline{1,N_t}$), удовлетворяющий заданному ограничению

$$v^{(i)}(t)\in\boldsymbol{V}_1^{(i)}(u^{(j)}(t))\subset\mathbf{R}^{q_i}, \quad (4)$$

где $\boldsymbol{V}_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$ для каждого момента времени ($t\in\overline{0,T-1}$) и управления $u^{(j)}(t)\in\boldsymbol{U}_1(t)$ игрока P есть конечный набор из $Q_t^{(i)}(j)$ ($Q_t^{(i)}(j)\in\mathbf{N}$, $j\in\overline{1,N_t}$) векторов в $\mathbf{R}^{q_i}$; $v(t)=(v^{(1)}(t),v^{(2)}(t),...,v^{(n)}(t))'\in\mathbf{R}^q$ — вектор управления обобщённого подчинённого игрока E, объединяющего всех подчинённых игроков E_i, $i\in\overline{1,n}$ ($q=\sum_{i=1}^{n}q_i\in\mathbf{N}$); $w(t)=(w_1(t),w_2(t),\ldots,w_m(t))'\in\mathbf{R}^m$ — вектор возмущения (помехи или ошибки моделирования) в уравнении (1), который в каждый период t ($t\in\overline{0,T-1}$) зависит от допустимой реализации управления $u^{(j)}(t)\in\boldsymbol{U}_1(t)$ игрока P ($j\in\overline{1,N_t}$) и удовлетворяет заданному ограничению

$$w(t)\in\boldsymbol{W}_1(u^{(j)}(t))\subset\mathbf{R}^m, \quad (5)$$

где $\boldsymbol{W}_1(u^{(j)}(t))$ — выпуклый, замкнутый и ограниченный многогранник пространства $\mathbf{R}^m$ ($m\in\mathbf{N}$); $(w_1^{(i)}(t),w_2^{(i)}(t),\ldots,w_{m_i}^{(i)}(t))'\in\mathbf{R}^{m_i}$ — вектор возмущения (помехи или ошибки моделирования) в уравнении (2), который в каждый период t ($t\in\overline{0,T-1}$) зависит от допустимой реализации управления $u^{(j)}(t)\in\boldsymbol{U}_1(t)$ игрока P ($j\in\overline{1,N}$) от допустимой реализации управления $v^{(i,k)}(t)\in\boldsymbol{V}_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$ игрока E_i, ($j\in\overline{1,N_t}$; $k\in\overline{1,Q_t^{(i)}(j)}$) и удовлетворяет заданному ограничению

$$w^{(i)}(t)\in\boldsymbol{W}_1^{(i)}(u^{(j)},v^{(i,k)}(t))\subset\mathbf{R}^{m_i}. \quad (6)$$

Предполагается, что в векторном рекуррентном уравнении (1), описывающем динамику объекта I, для каждого фиксированного и допустимого набора $(t,y,u,v)\in\overline{0,T-1}\times\mathbf{R}^r\times\mathbf{R}^p\times\mathbf{R}^q$ вектор-функция f: $\overline{0,T-1}\times\mathbf{R}^r\times\mathbf{R}^p\times\mathbf{R}^q\times\mathbf{R}^m\to\mathbf{R}^r$ непрерывна по переменной w и для каждых фиксированных и допустимых набора $(t,u,v)\in\overline{0,T-1}\times\mathbf{R}^p\times\mathbf{R}^q$ и выпуклого компакта $Y\subset\mathbf{R}^r$ множество $f(t,Y,u,v,\boldsymbol{W}_1(u))=\{f(t,y,u,v,w), y\in Y, w\in\boldsymbol{W}_1(u)\}$ есть выпуклый компакт пространства $\mathbf{R}^r$. В векторном рекуррентном уравнении (2), описывающем динамику объекта II_i ($i\in\overline{1,n}$), для каждых фиксированных и допустимых набора $(t,u,v^{(i)})\in\overline{0,T-1}\times\mathbf{R}^p\times\mathbf{R}^{q_i}$ и выпуклого компакта $Z^{(i)}\subset\mathbf{R}^{s_i}$ множество $f^{(i)}(t,Z^{(i)},u,v^{(i)})=\{f^{(i)}(t,z^{(i)},u,v^{(i)}), z^{(i)}\in Z^{(i)}\}$ есть выпуклый компакт пространства $\mathbf{R}^{s_i}$; $A^{(i)}(t)$ для каждых $i\in\overline{1,n}$ и $t\in\overline{0,T-1}$ есть действительная матрица размерности $(s_i\times m_i)$.

3. Информационные условия в процессе управления

В сфере интересов игрока P находятся возможные терминальные (финальные) состояния фазовых векторов $y(T)$ объекта I и $z^{(i)}(T)$ объектов II_i, $i\in\overline{1,n}$. При этом для каждого целочисленного промежутка времени (далее — промежутка) $\overline{\tau,T}\subseteq\overline{0,T}$ ($\tau<T$) игроку P известен набор $g(\tau)=\{\tau,y(\tau),z^{(1)}(\tau),z^{(2)}(\tau),\ldots,z^{(n)}(\tau)\}\in\overline{0,T}\times\mathbf{R}^r\times\mathbf{R}^{s1}\times\mathbf{R}^{s2}\times\cdots\times\mathbf{R}^{sn}=\overline{0,T}\times\mathbf{R}^r\times\prod_{i=1}^{n}\mathbf{R}^{si}(g(0)=\{0,y(0),z^{(1)}(0),z^{(2)}(0),\ldots,z^{(n)}(0)\}=\{y_0,z_0^{(1)},z_0^{(2)},\ldots,z_0^{(n)}\}=g_0)$, который будем называть его τ-позицией. Игроку P известен также принцип формирования управления $v^{(i)}(\cdot)=\{v^{(i)}(t)\}_{t\in\overline{\tau,T-1}}$ ($\forall t\in\overline{\tau,T-1}: v^{(i)}(t)\in\boldsymbol{V}_1^{(i)}(u(t))$) каждым из игроков E_i, $i\in\overline{1,n}$ на промежутке времени $\overline{\tau,T}$, который зависит от выбора на этом промежутке управления $u(\cdot)=\{u(t)\}_{t\in\overline{\tau,T-1}}$ ($\forall t\in\overline{\tau,T-1}: u(t)\in\boldsymbol{U}_1(t)$) игроком P, которое сообщается им, и для каждого $i\in\overline{1,n}$ описывается соотношением (4), причём выбранное каждым игроком E_i управление сообщается игроку P.

Результат реализации рассматриваемого процесса управления с позиции игрока P оценивается значением выпуклого функционала α, определённого на допустимых финальных фазовых состояниях $y(T)$ и $z^{(i)}(T)$ объектов I и II_i, $i\in\overline{1,n}$, который удовлетворяет соответствующему условию Липшица. Тогда на промежутке времени $\overline{\tau,T}$ целью игрока P в рассматриваемом процессе управления является минимизация значения выбранного функционала α, с учётом возможных и наихудших для него реализаций возмущений $w(t)$ и $w^{(i)}(t)$, $t\in\overline{\tau,T-1}$, $i\in\overline{1,n}$, в уравнениях (1) и (2) соответственно.

Учитывая эти обстоятельства, мы будем говорить, что такие возможности поведения игрока P совместно с объектами I и II_i, $i\in\overline{1,n}$, определяют доминирующий или уровень управления I для рассматриваемого процесса управления в дискретной динамической системе (1)–(6).

Предполагается, что в сфере интересов каждого игрока E_i ($i\in\overline{1,n}$) находятся только возможные терминальные фазовые состояния $z^{(i)}(T)$ объекта II_i и для каждого рассматриваемого промежутка времени $\overline{\tau,T}\subseteq\overline{0,T}$ ($\tau<T$) ему сообщается реализация управления $u(\cdot)=\{u(t)\}_{t\in\overline{\tau,T-1}}$ ($\forall t\in\overline{\tau,T-1}: u(t)\in\boldsymbol{U}_1(t)$) игрока P на этом промежутке времени, которую он должен учитывать при формировании своего управления $v^{(i)}(t)\in\boldsymbol{V}_1^{(i)}(u(t))$ для всех $t\in\overline{\tau,T-1}$. При этом для этого промежутка времени $\overline{\tau,T}$ ему также известен набор $g^{(i)}(\tau)=\{\tau,z^{(i)}(\tau)\}\in\overline{0,T}\times\mathbf{R}^{s_i}$ ($g^{(i)}(0)=\{0,z^{(i)}(0)\}=\{0,z_0^{(i)}\}=g_0^{(i)}$), который будем называть τ-позицией игрока E_i.

Результат реализации рассматриваемого процесса управления с позиции игрока E_i оценивается значением выпуклого функционала $\beta^{(i)}$, определённого на допустимых финальных фазовых состояниях $z^{(i)}(T)$ объекта II_i ($i\in\overline{1,n}$), который удовлетворяет соответствующему условию Липшица. Тогда на промежутке

времени $\overline{\tau,T}$ целью каждого игрока E_i ($i \in \overline{1,n}$) в рассматриваемом процессе управления является минимизация значения функционала $\beta^{(i)}$, с учётом возможных и наихудших для него реализаций возмущения $w^{(i)}(t)$, $t \in \overline{\tau,T-1}$, в уравнении (2).

Совокупность n игроков E_i, $i \in \overline{1,n}$, называемых также игроком E, и управляемых ими объектов II_i ($i \in \overline{1,n}$), образуют подчинённый или уровень управления II для рассматриваемого процесса управления (подчинённый доминирующему или уровню управления I).

Предполагается также, что при реализации рассматриваемого процесса управления каждому из игроков P и E_i, $i \in \overline{1,n}$, известны уравнения и ограничения в дискретной динамической системе (1)–(6).

4. Заключение

Для исследуемой в данной работе задачи оптимизации управления предлагаются математическая формализация в форме решения многошаговой задачи двухуровневого иерархического минимаксного программного терминального управления в дискретной динамической системе (1)−(6) и общая схема её решения. Отметим, что формализация этой задачи описывается совокупностью трёх задач минимаксного программного терминального управления с неполной информацией. На основании общей схемы решения данной задачи и результатов работ [1–5] могут быть разработаны соответствующие конструктивные алгоритмы, реализация которых представляет собой конечные последовательности решений задач выпуклого математического программирования и дискретной оптимизации.

Библиографический список

1. Красовский, Н. Н. Теория управления движением / Н. Н. Красовский. М. : Наука, 1968.
2. Красовский, Н. Н. Позиционные дифференциальные игры / Н. Н. Красовский, А. И. Субботин. М. : Наука, 1974.
3. Шориков, А. Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах / А. Ф. Шориков. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1997.
4. Шориков, А. Ф. Двухуровневое минимаксное управление в нелинейной многошаговой системе / А. Ф. Шориков // Тезисы докладов V Всесоюзной конференции по оптимальному управлению в механических системах. Казань : КАИ, 1985. С. 62.
5. Шориков, А. Ф. Алгоритм решения задачи ε-оптимального программного терминального управления для дискретной динамической системы / А. Ф. Шориков // Теория управления и теория обобщённых решений уравнения Гамильтона — Якоби : тр. Междунар. семинара, посв. 60-летию акад. А. И. Субботина : в 2 т. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. ун-та, 2005. Т. 2. С. 190–196.
6. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. М. : Мир, 1973.
7. Базара, М. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / М. Базара, К. Шетти. М. : Мир, 1982.

Сведения об авторе

Шориков Андрей Федорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

---

A. F. Shorikov

OPTIMIZATION OF GUARANTEED RESULT OF TERMINAL CONTROL PROBLEM IN A TWO-LEVEL HIERARCHICAL NONLINEAR DISCRETE-TIME DYNAMICAL SYSTEMS

In this paper we consider the discrete-time dynamical system consisting from any controlled objects. The dynamics of all objects are described by corresponding nonlinear discrete-time recurrent vector equations and this system has two levels of a control. One level (or first level) is dominating and other level (or second level) is subordinate and both have different criterions of functioning and united a priori by determined information and control relations. For investigation of this dynamical system we propose the mathematical formalization in the form of realization of two-level hierarchical minimax program terminal control problem with incomplete information and propose the main scheme for its solving.

ББК Н2
УДК 69:004.4

А. Ф. Шориков, Д. Р. Султанахметов

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРИ НАЛИЧИИ НЕСКОЛЬКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 15-18-10014)

Рассматривается проблема оптимизации управления проектами в строительстве при наличии нескольких технологий их реализации. Для решения данной задачи предлагается использовать сетевое экономико-математическое моделирование, которое позволяет разработать эффективный метод её решения, а также определить оптимальное время и календарный график для реализации строительного проекта. Решение рассматриваемой задачи является инструментом повышения экономического потенциала и конкурентоспособности строительного предприятия. В статье описывается новая оптимизационная сетевая экономико-математическая модель, учитывающая наличие в процессе строительства нескольких вариантов технологий, и предлагается метод решения рассматриваемой задачи, который может быть использован для разработки соответствующих численных алгоритмов при создании отраслевых компьютерных информационных систем.

Данная статья продолжает цикл статей авторов по оптимизации управления процессами в строительстве. Оптимизация управления этими процессами может быть выполнена, например, с помощью сетевого экономико-математического моделирования, применение которого систематически изучается в работах авторов [5–7]. Формирование конкретной сетевой модели проектов строительства рассмотрено авторами в [7], где также приведены практические примеры реализации процессов строительства и их оптимизации.

Сетевые методы планирования и управления относятся к одному из разделов современной теории оптимизации управления сложными системами. Теоретические основы методов сетевого планирования и управления заложены в теории графов, результаты которой позволяют разрабатывать эффективный инструментарий для их реализации. Поэтому развитие данных методов позволит решить различные проблемы управления комплексами работ-операций, а также разработки и внедрения систем сетевого планирования и управления в различных отраслях экономики.

Современное состояние практической экономики, характеризуемое усложнением процессов и объектов управления, требует решения проблемы упорядочения, связанной с понятиями предшествования и следования производственных операций, их длительностей, сроков наступления допустимых событий, резервов времени для исполнения операций (полных, свободных). Различные варианты примеров сетевого моделирования содержательных практических задач способствуют разработке и описанию численных алгоритмов для компьютерной реализации соответствующих моделей, а на их основе разработке и созданию инструментальных средств поддержки принятия решений по управлению проектами.

Практика применения сетевых моделей за всю историю их существования и развития показала, что они являются одним из наиболее эффективных инструментов для управления проектами. Однако следует отметить, что для их использования необходимо, чтобы при расчёте оптимального времени для реализации конкретного проекта и формирования календарного графика исполнения работ использовалась достоверная исходная информация, учитывающая не только временны́е и технико-экономические показатели проекта, но и условия его реализации, особенности конкретных исполнителей работ. При составлении календарного графика работ важно также учитывать имеющиеся ограничения на ресурсы проекта и стремиться максимально эффективно их использовать.

Отметим, что важным преимуществом сетевой модели конкретного проекта является то, что с её помощью достаточно просто может быть сформирован критический путь — последовательность критических работ проекта, который позволяет вычислить оптимальное время, необходимое для исполнения проекта в целом.

Сетевое моделирование проектов, учитывающее отраслевую специфику, позволяет не только решать основные задачи теории сетевого планирования и управления, но и служит основой для разработки и создания отраслевых информационных систем управления проектами. Механизм функционирования таких систем сводится к тому, что поступающая на вход системы информация о реальных событиях реализации проекта сопоставляется с заданием, рассчитанным по сетевому графику. Далее возможно принятие решения в двух вариантах: либо состояние проекта приводится в соответствие с заданием, либо изменяется задание с учётом новых условий его реализации.

Таким образом, сетевая модель проекта обладает свойством адаптивности, а также может быть использована для прогнозирования, поскольку на её основе

можно реализовать обратную связь при управлении проектом или же спрогнозировать возможность (или невозможность) достижения намеченных целей проекта к определённым срокам при наличии конкретных условий его реализации.

Целью данной работы является разработка и создание новой экономико-математической модели для задачи оптимизации управления проектами в строительстве при наличии нескольких технологий на основе методов сетевого моделирования и результатов работ авторов [5–7]. В работе предложен оригинальный метод решения рассматриваемой задачи.

Наличие различных технологий для реализации конкретного строительного проекта может быть обусловлено существованием разных априорных условий, например, финансовых, временны́х или зависимости от области его назначения (общепит, транспорт, торговля, связь, медицина и т. д.) и специфики условий выполнения проекта, которым, в свою очередь, соответствуют различные наборы работ-операций для его реализации. В зависимости от этого и реализация соответствующих процессов строительства должна учитывать наличие такой возможности, то есть использования различных технологий.

При наличии нескольких технологий для реализации проектов в строительстве в качестве экономико-математической модели в данной работе предлагается использовать соответствующую сетевую модель, позволяющую оптимизировать как выбор из имеющихся технологий, так и рассматриваемые процессы строительства.

При разработке новой экономико-математической модели для задачи оптимизации управления проектом в строительстве и метода её решения выделим основные этапы проведённого исследования:

– формирование исходных данных, формализация критериев качества и условий оптимальности;

– разработка сетевой экономико-математической модели для задачи оптимизации управления проектами при наличии нескольких технологий;

– формализация задачи оптимизации управления строительными проектами в рамках разработанной сетевой экономико-математической модели;

– разработка методики решения сформулированной оптимизационной задачи методами сетевого экономико-математического моделирования;

– определение выходных данных как результата решения задачи оптимизации управления процессами инвестиционного проектирования;

– формирование оптимальной сетевой модели для реализации проектов строительства при учёте нескольких технологий их реализации;

– практическое применение предложенного метода оптимизации управления проектами в строительстве.

Приведём экономико-математическую модель для формализации задачи оптимизации управления проектами в строительстве при наличии нескольких технологий и соответствующий метод её реализации.

1. Вводится кортеж $\boldsymbol{U} = \{U_1, U_2, ..., U_m\}$, описывающий условия-ограничения для реализации конкретного строительного проекта на исходные данные; технологические решения; выходные данные ($m \in \mathbf{N}$; $\mathbf{N}$ — множество всех натуральных чисел).

2. Вводится массив технологий $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{U}) = \{P_1, P_2, ..., P_n\}$, реализующих строительный проект и удовлетворяющий заданным условиям $\boldsymbol{U}$ ($n \in \mathbf{N}$).

3. Для каждой i-й технологии $P_i \in \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U})$ ($i \in \overline{1, n} = \{1, 2, ..., n\}$) вводится массив работ-операций $\boldsymbol{R}(P_i) = \{R_1(P_i), R_2(P_i), ..., R_{n_i}(P_i)\}$, исполнение которых позволяет реализовать данную технологию ($n_i \in \mathbf{N}$).

4. Для каждого массива работ-операций $\boldsymbol{R}(P_i) = \{R_1(P_i), R_2(P_i), ..., R_{n_i}(P_i)\}$ ($i \in \overline{1, n}$) вводится соответствующий ему набор критериев качества $\boldsymbol{F_i} = \{F_1^{(i)}, F_2^{(i)}, ..., F_r^{(i)}\}$, оценивающих результаты реализации процессов для рассматриваемого строительного проекта ($r \in \mathbf{N}$), где $\boldsymbol{F}_i : \mathbf{R}^{3 \times n_i} \to \mathbf{R}^1$ ($i \in \overline{1, r}$), где для $k \in \mathbf{N}$, здесь и далее, $\mathbf{R}^k$ есть k-мерное векторное пространство векторов-столбцов.

5. Каждой j-й работе-операции $R_j(P_i) \in R(P_i)$ ($j \in \overline{1, n_i}$) соответствует массив данных – матрица $A_{ij} = \left\| a_{kl}^{(ij)} \right\|_{\substack{k \in \overline{1, p_{ij}} \\ l \in \overline{1,3}}}$ ($p_{ij} \in \mathbf{N}$), у которой значения трёх элементов каждой k-й строки соответственно равны — продолжительности, стоимости и качеству возможного k-го варианта реализации данной j-й работы-операции, то есть число строк этой матрицы равно числу p_{ij} различных вариантов реализации рассматриваемой работы-операции.

6. На основании имеющихся данных и формирования соответствующих сетевых экономико-математических моделей [1; 2] формулируется условие выбора оптимальной технологии $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U})$, $i^{(e)} \in I^{(e)} \subseteq \overline{1, n}$ для рассматриваемого векторного критерия качества $\boldsymbol{F}_i = \{F_1^{(i)}, F_2^{(i)}, ..., F_r^{(i)}\}$, оценивающего результаты реализации процессов строительства (например, в виде минимизации соответствующего ему скалярного критерия, являющегося свёрткой рассматриваемого векторного критерия качества с помощью метода скаляризации [2; 4]).

7. На основании методов сетевого экономико-математического моделирования [5–7], имеющихся данных, сформированных критерия качества и условия оптимальности формулируется соответствующая задача оптимизации управления реализацией проекта в строительства, а именно: среди всех допустимых технологий $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{U}) = \{P_1, P_2, ..., P_n\}$, позволяющих реализовать рассматриваемые процессы проекта строительства, требуется найти хотя бы одну технологию $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U})$, $i^{(e)} \in I^{(e)} \subseteq \overline{1, n}$, которая удовлетворяет выбранному условию оптимальности.

8. Методами сетевого экономико-математического моделирования [5–7] для строительных проектов решается сформулированная оптимизационная задача.

9. Из решения оптимизационной задачи формируется матрица $B_{i^{(e)}}^{(e)} = \left\| b_{kl}^{(e,i^{(e)})} \right\|_{\substack{k\in\overline{1,n_{i^{(e)}}} \\ l\in\overline{1,3}}}$, содержащая все данные, которые необходимы для описания всех работ-операций, реализующих конкретную оптимальную технологию $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U})$ $(i^{(e)} \in I^{(e)} \subseteq \overline{1,n})$.

10. Тогда, для набора работ-операций $\boldsymbol{R}(P^{(e)}) = \boldsymbol{R}(P_{i^{(e)}}) = \{R_1(P_{i^{(e)}}), R_2(P_{i^{(e)}}), ..., R_{n_{i^{(e)}}}(P_{i^{(e)}})\}$, отвечающего сформированной оптимальной технологии $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U})$ $(i^{(e)} \in I^{(e)} \subseteq \overline{1,n})$, в соответствии с правилами построения сетевой модели решается задача ***сетевого моделирования*** — формирования соответствующей ему ***оптимальной сетевой модели*** $WM^{(e)} = WM_{i^{(e)}}^{(e)} \in \boldsymbol{WM}$ из массива допустимых сетевых моделей $\boldsymbol{WM} = \{WM_i^{(e)}\}_{i\in\overline{1,n}}$.

11. Для сформированной сетевой модели $WM^{(e)} = WM_{i^{(e)}}^{(e)}$ и данных из матрицы $B_{i^{(e)}}^{(e)} = \left\| b_{kl}^{(e,i^{(e)})} \right\|_{\substack{k\in\overline{1,n_{i^{(e)}}} \\ l\in\overline{1,3}}}$, которая содержит все данные, необходимые для описания всех работ-операций $\boldsymbol{R}(P^{(e)}) = \boldsymbol{R}(P_{i^{(e)}}) = \{R_1(P_{i^{(e)}}), R_2(P_{i^{(e)}}), ..., R_{n_{i^{(e)}}}(P_{i^{(e)}})\}$, реализующих оптимальную технологию $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U})$ $(i^{(e)} \in I^{(e)})$, решается задача ***построения критического пути*** — формирования ***критического или оптимального времени*** $T^{(e)} = T_{i^{(e)}}^{(e)}$ для реализации рассматриваемого строительного процесса.

12. Выходными результатами оптимизации управления рассматриваемого процесса строительства является набор данных ($P^{(e)}$, $\boldsymbol{R}(P^{(e)})$, $\boldsymbol{F}^{(e)}$, $WM^{(e)}$, $T^{(e)}$), где $P^{(e)} = P_{i^{(e)}} \in \boldsymbol{P}(\boldsymbol{U})$ — оптимальная технология; $\boldsymbol{R}(P^{(e)}) = \boldsymbol{R}(P_{i^{(e)}}) = \{R_1(P_{i^{(e)}}), R_2(P_{i^{(e)}}), ..., R_{n_{i^{(e)}}}(P_{i^{(e)}})\}$ — оптимальный набор работ-операций, реализующий оптимальную технологию $P^{(e)}$; $WM^{(e)} = WM_{i^{(e)}}^{(e)}$ — оптимальная сетевая модель; $T^{(e)} = T_{i^{(e)}}^{(e)}$ — оптимальное время для реализации строительного проекта $(i^{(e)} \in I^{(e)})$.

13. В итоге ***формируется оптимальная сетевая*** модель для реализации конкретного проекта в строительстве при учёте наличия нескольких технологий его реализации.

Рассмотрим применение предложенного метода для оптимизации управления проектом в строительстве на содержательном практическом примере.

Предлагаемая экономико-математическая модель оптимизации управления проектами в строительстве методами сетевого моделирования [5–7] предполагает выделение основных работ сетевой модели и построение таблиц с описанием соответствующих работ-рёбер, их кодировкой и продолжительностью. Каждой работе (операции, процессу) соответствует таблица с выбранными вариантами значений параметров, необходимых для её выполнения.

Для примера рассмотрим проект, частью которого является закладка фундамента для двухэтажного дома размером 9×12, и возьмём 3 допустимые технологии. Далее построим соответствующие этим технологиям 3 сетевые модели, содержащие все работы для реализации процессов по закладке и определению цены готового фундамента. Отметим, что реализация этих процессов также важна и обязательна при подсчёте всех затрат для реализации рассматриваемого проекта. Расчёт стоимости конкретного проекта представляет собой достаточно трудоёмкий и кропотливый процесс. При этом занимаются им, как правило, вручную и производят все расчёты сметчики, бухгалтеры или другие специалисты в зависимости от штата сотрудников предприятия.

Продолжительность и стоимость работ для закладки фундамента являются разными для каждой технологии, поскольку качество и характеристики материалов и соответственно их цена будут очень отличаться. Например, если закладка фундамента осуществляется по технологиям ленточного или плитного фундамента, то расчёт трудозатрат будет зависит от штата и профессионализма бригады, размер оплаты её трудозатрат, времени, затраченного на выполнение работ, стоимости материалов и вспомогательного оборудования и других факторов. Отметим, что в стоимость работ включено и возможное разное качество их исполнения. Работы, их кодировка, длительность выполнения и стоимость по каждой технологии представлены в табл. 1–3.

Сетевая модель рассматриваемого процесса для первой технологии представлена на рис. 1, *a*. На рис. 1, *b* приведена сетевая модель с рассчитанными временны́ми параметрами [7].

Сетевые модели процесса для второй и третьей технологии представлены соответственно на рис. 2–3.

После формирования сетевых моделей и расчётов их временны́х параметров для всех технологий,

Таблица 1

Описание работ для первой технологии. Ленточный фундамент

№ п/п	Код работы	Содержание работы	Продолжительность, дней	Стоимость, р.
1	A_1	Обследование земельного участка	0,5	10 000
2	A_2	Земельные работы	5	70 000
3	A_3	Установка опалубки	2	40 000
4	A_4	Укладка арматуры	4	60 000
5	A_5	Заливка бетона	1	30 000
6	A_6	Созревание бетона	10	0

Таблица 2

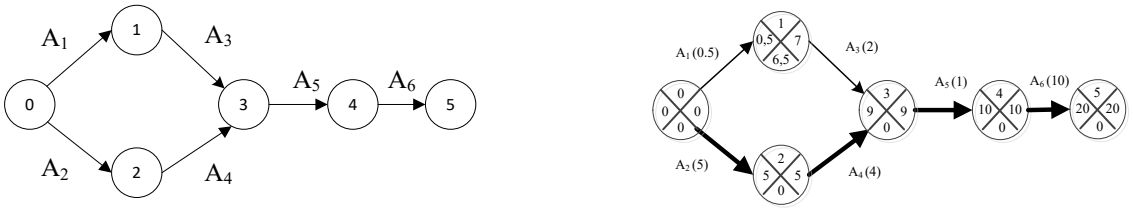
Описание работ для второй технологии. Винтовой фундамент

№ п/п	Код работы	Содержание работы	Продолжительность, дней	Стоимость, р.
1	B_1	Обследование земельного участка	0,5	10 000
2	B_2	Разметка земельного участка	0,5	5 000
3	B_3	Монтаж свай	1,0	30 000
4	B_4	Обвязка свайного фундамента	0,5	10 000
5	B_5	Заливка внутрь свай бетона	0,5	10 000
6	B_6	Установкой оголовков	0,5	5 000

Таблица 3

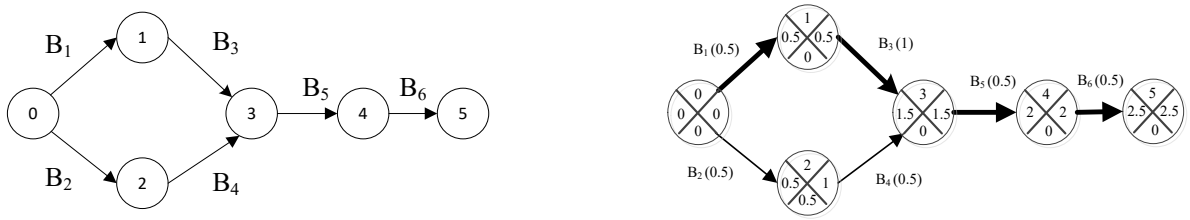
Описание работ для третьей технологии. Плитной фундамент

№ п/п	Код работы	Содержание работы	Продолжительность, дней	Стоимость, р.
1	C_1	Обследование земельного участка	0,5	10 000
2	C_2	Земельные работы	5	110 000
3	C_3	Установка опалубки	2	60 000
4	C_4	Укладка арматуры	5	70 000
5	C_5	Заливка бетона	1	50 000
6	C_6	Созревание бетона	16	0



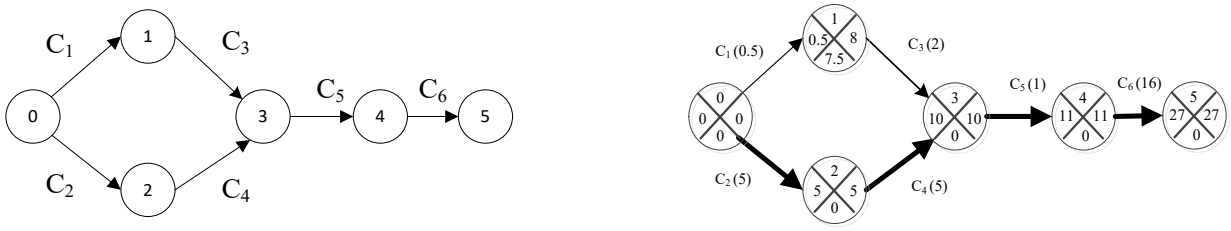
a *b*

Рис. 1. Сетевая модель для первой технологии:
a) сформированная сетевая модель, b) сетевая модель с рассчитанными временны́ми параметрами



a *b*

Рис. 2. Сетевая модель для второй технологии
a) сформированная сетевая модель, b) сетевая модель с рассчитанными временны́ми параметрами)



a *b*

Рис. 3. Сетевая модель для третьей технологии
a) сформированная сетевая модель, b) сетевая модель с рассчитанными временны́ми параметрами

проанализируем полученные данные. Для первой технологии критический путь составляет 20 дней, для второй — 2,5 дня, для третьей — 27 дней. Таким образом, оптимальный путь рассчитан для всех трёх технологий, и можно заметить, что даже на таком небольшом этапе проекта, который рассмотрен в примере, существуют значительные отличия, зависящие от технологии, принятой на конкретном предприятии.

Проведём оптимизацию сформированных сетевых моделей для реализации рассматриваемых процессов строительства фундамента по параметру стоимости. При использовании данного метода предполагаем, что уменьшение длительности периода выполнения работы (i,j), то есть уменьшение её продолжительности, пропорционально возрастанию её стоимости. Граничные значения длительностей работ a_{ij} и b_{ij}, их стоимости c_{ij}, коэффициенты затрат на ускорение работ h_{ij}, а также результаты оптимизации сетевых моделей по параметру стоимости приведены в табл. 4. Формулы расчётов можно найти, например, в работах [8–9; 12–13].

Проанализируем полученные в табл. 4 данные. Стоимость реализации всех работ выбранного этапа строительного проекта — закладки фундамента — для первой технологии, рассчитанная на основе сформированной сетевой модели равна сумме стоимостей всех определяющих его работ: $C = \sum_{ij} c_{ij}$ = 210 000 р. Стоимость реализации проекта после оптимизации по показателю стоимости $C' = C - \Delta C$ = 210 000 – 14 000 = 196 000 р., то есть стоимость уменьшилась на 7 %. Если необходимо ускорение выполнения данного этапа, это, естественно, отразится на его стоимости, то есть она увеличится.

Стоимость работ выбранного этапа проекта для второй технологии составила 70 000 р., после оптимизации: 70 000 – 7 000 = 63 000 р., то есть уменьшилась на 10 %. Стоимость работ аналогичного этапа проекта для третьей технологии составила 300 000 р., после оптимизации: 300 000 – 16 500 = 283 500 р., то есть уменьшилась на 5,5 %.

Таким образом, в результате оптимизации управления на основе сетевых моделей для рассматриваемых

Таблица 4

Оптимизация сетевых моделей по параметру стоимости

Код работы	Работа (i, j)	Продолжительность работы, дни			Стоимость работы, тыс. р.			h_{ij}	ΔC
		a_{ij}	t_{ij}	b_{ij}	c_{min}	c_{ij}	c_{max}		
Для первой технологии									
A_1	(0, 1)	0,5	0,5	1	8 000	10 000	12 000	8 000	4 000
A_2	(0, 2)	2	5	7	60 000	70 000	80 000	–	–
A_3	(1, 3)	1	2	3	40 000	40 000	60 000	10 000	10 000
A_4	(2, 3)	2	4	6	50 000	60 000	75 000	–	–
A_5	(3, 4)	1	1	2	25 000	30 000	35 000	–	–
A_6	(4, 5)	7	10	14	0	0	0	–	–
					Итого	210 000			14 000
Для второй технологии									
B_1	(0, 1)	0,5	0,5	1	8 000	10 000	12 000	–	–
B_2	(0, 2)	0,5	0,5	1	5 000	5 000	6 000	2 000	1 000
B_3	(1, 3)	0,5	1	2	15 000	30 000	45 000	–	–
B_4	(2, 3)	0,5	0,5	1	7 000	10 000	13 000	12 000	6 000
B_5	(3, 4)	0,5	0,5	1	8 000	10 000	12 000	–	–
B_6	(4, 5)	0,5	0,5	1	4 000	5 000	6 000	–	–
					Итого	70 000			7 000
Для третьей технологии									
C_1	(0, 1)	0,5	0,5	1	8 000	10 000	12 000	8 000	4 000
C_2	(0, 2)	2	5	7	80 000	110 000	150 000	–	–
C_3	(1, 3)	1	2	3	50 000	60 000	75 000	12 500	12 500
C_4	(2, 3)	3	5	7	60 000	70 000	75 000	–	–
C_5	(3, 4)	1	1	1	45 000	50 000	55 000	–	–
C_6	(4, 5)	12	16	20	0	0	0	–	–
					Итого	300 000			16 500

технологий строительного процесса сформированы планы работ, позволяющие выполнить весь комплекс необходимых работ выбранного этапа проекта: для первой технологии — за 20 дней при минимальной стоимости 196 000 р.; для второй технологии — за 2,5 дня при минимальной стоимости 63 000 р.; для третьей технологии — за 27 дней при минимальной стоимости 283 500 р.

Далее в соответствии с предложенным выше формализованным описанием процесса оптимизации управления строительного процесса на основе сетевого моделирования при наличии нескольких технологий необходимо выбрать вариант оптимального исполнения работ по закладке фундамента с учётом их продолжительности и стоимости. На основании проведенных расчётов, нетрудно показать, что оптимальным вариантом является выбор проекта со второй технологией — реализацией всех работ за 2,5 дня и стоимостью закладки фундамента 63 000 р., так как при использовании, например, первой технологии длительность работ для реализации рассматриваемого процесса увеличивается на 17,5 дней, а их стоимость возрастаёт в 3 раза. Для третьей технологии, при реализации её за 27 дней стоимость реализации проекта тоже больше.

Итогом предложенного метода сетевого экономико-математического моделирования решения задачи оптимизации управления проектами в строительстве при наличии нескольких технологий являются оптимизация разработанной сетевой экономико-математической модели, в основе которой лежит возможность преобразования модели из одной формы в другую, а основными показателями оптимизации являются время, качество и затраты средств на реализацию всех работ (операций, процессов), определяющих проект. В статье продемонстрирована прикладная значимость разработанных экономико-математической модели и метода решения задачи оптимизации проектов в строительстве на конкретной практической задаче: составлен перечень оптимальных работ (операций, процессов) проекта, заданы их характеристики, назначены временны́е и стоимостные ресурсы для их реализации и выполнены другие этапы в соответствии с предложенной методикой исследования. Результаты компьютерного экономико-математического моделирования показывают эффективность применения разработанной методики.

В заключение отметим, что предлагаемая методика оптимизации управления реализацией строительных проектов на основе сетевого моделирования может служить основой для разработки соответствующих компьютерных информационных систем поддержки принятия управленческих решений на всех стадиях реализации таких проектов, а также дополнительным инструментарием для имеющихся отраслевых информационных систем.

Библиографический список

1. Кофман, А. Сетевые методы планирования и их применение : пер. с фр. / А. Кофман, Г. Дебазей. М. : Прогресс, 1968. 181 с.

2. Таха, Х. А. Введение в исследование операций : пер. с англ. / Х. А. Таха. 7-е изд. М. : Вильямс, 2005. 912 с.

3. Филипс, Д. Методы анализа сетей : пер. с англ. / Д. Филипс, А. Гарсиа-Диас. М. : Мир, 1984. 496 с.

4. Хадзарагова, Е. А. О методах скаляризации векторных оценок в многокритериальных оптимизационных задачах / Е. А. Хадзарагова // Фундамент. и приклад. исслед. 2015. № 18. С. 123–127.

5. Шориков, А. Ф. Построение сетевой экономико-математической модели для реализации процесса оптимизации инвестиционного проектирования / А. Ф. Шориков, Е. В. Буценко // Приклад. информатика. 2015. Т. 10, № 2 (56). С. 80–91.

6. Шориков, А. Ф. Методика оптимизации инвестиционного проектирования на основе сетевого моделирования и ее приложения / А. Ф. Шориков, Е. В. Буценко // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Экономика. 2015. № 4 (27). С. 62–70.

7. Шориков, А. Ф. Оптимизация процессов строительства на основе сетевого экономико-математического моделирования / А. Ф. Шориков, Д. Р. Султанахметов // Экономика знаний в глобальном информационном обществе : сб. материалов III Рос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 21–22 апр. 2015 г. ; Перм. гос. гуманит.-пед. ун-т. Пермь, 2015. С. 90–93.

8. Chen, S.-P. Time-cost trade-off analysis of project networks in fuzzy environments / S.-P. Chen, M.-J. Tsai // Europ. J. Operational Res. 2011. Vol. 212. P. 386–397.

9. Day, M. V. Boundary-influenced robust controls: two network examples / M. V. Day // ESAIM: Control, Optimization and Calculus of Variations. 2006. Vol. 12, № 3. P. 662–698.

10. Kelley J. E. Jr. Critical Path Planning and Scheduling [Электронный ресурс] / J. E. Jr. Kelley, M. R. Walker // Proceeding of the Eastern Joint computer conference. 1959. P. 160–173. URL: http://www.mosaicprojects.com.au/PDF/PM-History_Critical_Path_Planning_&_Scheduling_Kelley_and_Walker_1959.pdf

11. Newman, M. E. J. The Structure and Function of Networks / M. E. J. Newman // Computer Physics Communications. 2002. Vol. 147. P. 40–45.

12. Robinson, E. W. Designing an Integrated Distribution System at DowBrands, Inc. / E. W. Robinson, L. Gao, S. Muggenborg // Interfaces. 1993. Vol. 23, № 3. P. 107–117.

13. Watts, D. J. Collective Dynamics of «Small-world» Networks / D. J. Watts // Nature. 1998. Vol. 393. P. 440–442.

Сведения об авторах

Шориков Андрей Федорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

Султанахметов Дмитрий Рамилевич — аспирант кафедры прикладной математики, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург. dsultanakhmetov@ya.ru

---

A. F. Shorikov, D. R. Sultanakhmetov

NETWORK MODELING OF OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION PROCESSES IN THE PRESENCE OF MULTIPLE TECHNOLOGIES

This article deals current issues of management of process of construction. To solve the problems of optimization of processes of construction are encouraged to use the network of economic and mathematical modeling, which allows you to see the best time for the implementation of the construction project and serves as a tool for improving the economic potential and competitiveness of the enterprise. The article describes a new network optimization of economic and mathematical model that takes into account the presence in the process of construction several technology options and propose a method for solving this problem.

УБК 3971.353
УДК 004.73

Н. И. Юсупова, Айр. Ф. Галямов, Арт. Ф. Галямов

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ В ГЛОБАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СЕТЯХ

Исследования частично поддержаны грантами РФФИ 16-07-00773, 15-07-01565 и 16-07-00239

Предлагается архитектура агрегатора слабоструктурированной информации в глобально распределённых сетях для семантического анализа информации об отзывах. Рассматриваются вопросы создания и реализации алгоритма обработки слабоструктурированной информации об отзывах в рамках данной архитектуры, который позволит извлекать необходимую информацию из различных источников, агрегировать её и вычислять её тональную оценку.

Введение

Проблема семантического анализа слабоструктурированной информации является актуальной как в научных исследованиях, чему подтверждение большое количество публикаций, так и в сфере практических приложений. Одной из предметных областей, которая характеризует актуальность данной проблематики, является область интернет-маркетинга и электронной коммерции. Интернет-маркетинг является динамически развивающимся сектором экономики. Объём рынка интернет-маркетинга в 2015 г. составил порядка 97 млрд р., что больше на 15%, чем в 2014 г. В 2016 г. наметилась тенденция к росту, что составляет около 30% от общего рынка рекламы в России (307 млрд р.). Перспективное направление для размещения интернет-рекламы в последнее время — это размещение отзывов на различные товары и услуги. Одной из важнейших задач здесь является поиск и сравнение информации о товарах и услугах, которая содержится в отзывах [4].

Информация об отзывах зачастую носит открытый характер и доступна в Интернете. В настоящее время повсеместно используется концепция Веб 2.0, одним из аспектов которой является открытая коллективная оценка как одно из выражений бесструктурного способа управления. Подобная информация слабоструктурирована, поскольку используется HTML-разметка с применением CSS-селекторов. Даже если используется микроразметка, например, микроформат hReview, она является слабоструктурированной, хотя извлечение информации становится более простым и удобным. В данной статье рассматривается задача семантической обработки информации, предлагается подход к её решению, описывается разработанная архитектура агрегатора слабоструктурированной информации в глобально распределённых сетях и алгоритм обработки слабоструктурированной информации об отзывах.

Состояние вопроса

Рассматриваемой проблематике посвящено множество публикаций [1–13]. Вопросами выявления особенностей семантического анализа и представления слабоструктурированных данных занимаются многие исследователи, в частности О. В. Журавлёва, В. И. Миронов, К. Ю. Лисовский, В. И. Никитин, Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина и др. Вопросы анализа тональности текстов рассматриваются в работах Л. Панга, П. Терни, Б. Снайдера, М. Соколовой, В. Бобичевой и т. д. Научные аспекты интернет-маркетинга затрагиваются в исследованиях Г. Ковача, И. Б. Манна и др. Однако в недостаточной степени затронуты вопросы агрегирования подобной информации из различных источников.

Постановка задачи и предлагаемый подход

Предположим, что имеются различные источники слабоструктурированной информации в виде отзывов, например, товаров по различным категориям, которые представлены в глобально распределённой сети Интернет. Необходимо собрать информацию об отзывах из различных источников по URI, агрегировать её в одном хранилище информации и вычислить тональную оценку текста отзывов. Функциональная модель процесса семантического анализа представлена на рис. 1.

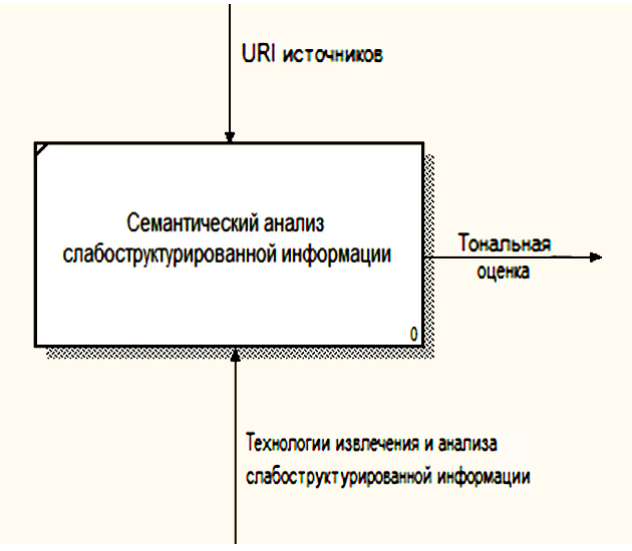


Рис. 1. Функциональная модель

Решаемая задача состоит из двух подзадач.

Формальная постановка первой подзадачи выглядит следующим образом:

Дано: список URI-источников отзывов S = {URI_1, URI_2, …, URI_n}, где *n* — количество источников.

Надо: агрегировать отзывы R = {R_1, R_2, …, R_m} из этих источников, то есть построить отображение:

F: S → R, где *m* — это количество отзывов.

Формальная постановка второй подзадачи:

Дано: множество агрегированных отзывов R (из предыдущей задачи).

Надо: вычислить тональную оценку для каждого отзыва и для всех отзывов в целом:

O: R → {«позитивная», «нейтральная», «негативная»}.

Под технологиями извлечения и анализа информации (см. рис. 1) подразумеваются следующие:

1. Методы анализа тональности текста (Opinion Mining).

2. Извлечение информации из HTML по CSS-селекторами либо же с помощью XPath-запросов.

3. Технологии Semantic Web, в первую очередь микроразметка.

Методы анализа тональности текста (Opinion Mining) являются популярным направлением исследований в интернет-маркетинге, в рамках которого в том числе оценивается лексическая тональность текста [1. С. 58–64] приведённых отзывов, выявление непосредственного мнения о чём-либо. Для этого анализируются 3 фактора: субъект тональности (s); объект тональности (e, entity); тональная оценка (o).

Зачастую данные факторы модифицируются следующим образом: объект отзыва может заменяться атрибутами оцениваемого объекта (его свойства, составные части), а к трём факторам может быть добавлен четвёртый — время (t). Таким образом, непосредственное мнение может быть представлено кортежем <s, e, o, t>.

Для оценки тональности существуют разные модели и методы. Самым простым способом является присвоение каждому слову в тексте эмоциональной оценки из словаря и подсчёт среднего арифметического каждого из оценок. Другим способом является использование обучения нейронной сети с учителем. Например, с использованием наивного байесовского классификатора, модели Бернулли [1. С. 68–70].

Нужно извлечь сами отзывы, созданные, например, с использованием микроформата hReview. При использовании микроразметки чаще всего используются микроформат hReview, Google-словарь для отзывов, словарь Review из Schema.org, Marl. Из этих стандартов описания в рамках решаемой задачи наибольший интерес представляют прежде всего объект (чаще всего item со значением person) и оценка (rating).

В качестве основных показателей эффективности интернет-маркетинга, в том числе в результате оценки обратной связи в виде отзывов, считаются [4] коэффициент конверсии (ConversionRate); стоимость за клик (CPC); трафик — количество переходов пользователей на сайт.

Разработанная архитектура агрегатора для решения поставленной задачи

Для решения данной задачи разработаем архитектуру агрегатора слабоструктурированной информации в глобальных распределённых сетях. В её основе лежит идея использования интегрированной веб-онтологии со словарём синонимов и описанием отношения вложенности между понятиями (словарь иерархии). Для рассматриваемой предметной области архитектура имеет вид, представленный на рис. 2.

Алгоритм извлечения информации об отзывах и его реализация

Рассмотрим алгоритмы решения поставленных задач, реализованных в рамках предложенной архитектуры. Алгоритм извлечения информации об отзывах будет иметь вид:

1. Пройти по ссылке очередной категории (например, «Отзывы о книгах»). Если категории нет, закончить.

2. Для очередной подкатегории извлечь её URL. Если подкатегорий нет, перейти на шаг 1.

3. По этому URL извлечь очередной блок с отзывом. Если больше нет блоков, то перейти на шаг 5.

4. Из данного блока извлечь рейтинг, описание и категорию. Записать в хранилище информации. Перейти на шаг 3.

5. Перейти на следующую страницу. Затем на шаг 3. Иначе если нет страниц, то на шаг 2.

Рассмотрим алгоритм решения поставленной задачи на примере отзывов по темам «книги» и «компьютерная техника». Реализация алгоритма выполнена с помощью фреймворка Rails. Отзывы с сайта Товары@mail.ru извлечём с помощью gem (библиотеки) Nokogiri. Фрагмент реализации алгоритма показан в листинге. Использовано выделение сервисного объекта ReviewParser из контроллера:

```
class ReviewParser
  attr_accessor :uri
  def initialize(uri)
    @uri = uri
  end
# ...
  def parse_review
    doc = Nokogiri::HTML open(@uri)
     goods_elems = doc.css 'div.preview-card-line__columns'
    goods_elems.each do |elem|
      Review.create parse_goods elem
    end
  end
  private
  def parse_goods(elem)
    title = elem.css('.preview-card-line__title-text').first.
```

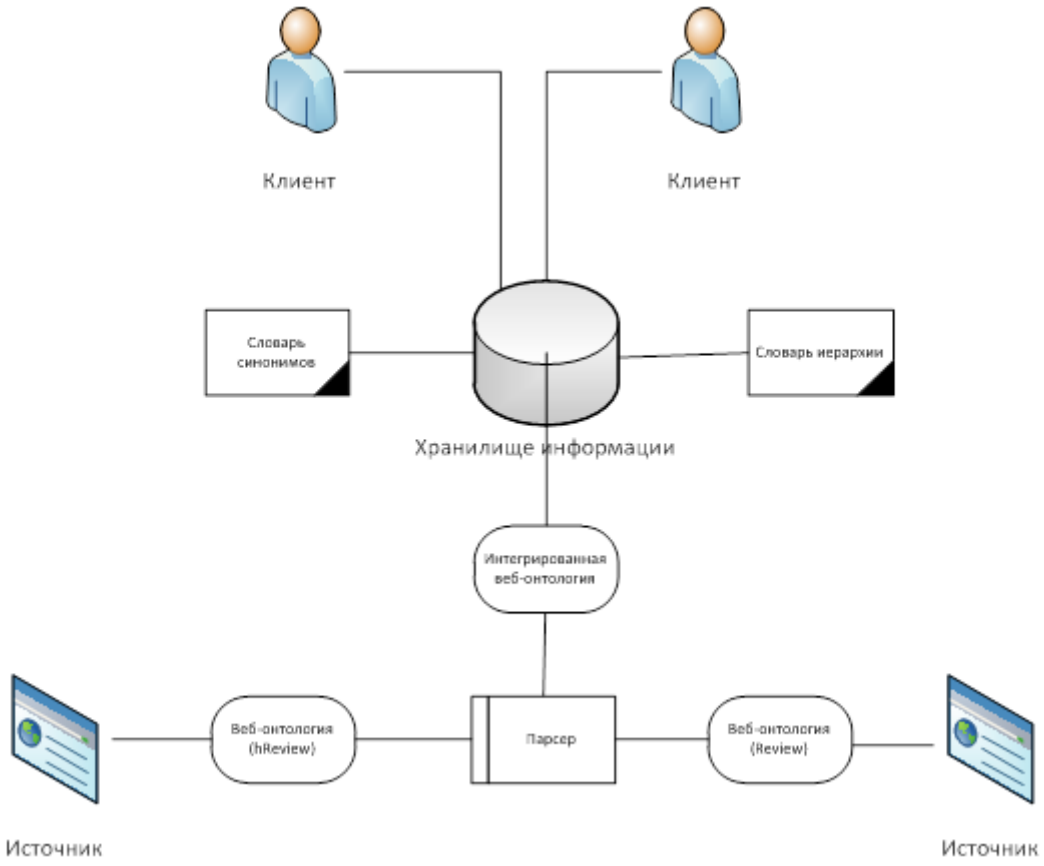


Рис. 2. Архитектура агрегатора, адаптированная для области интернет-маркетинга

```
content
        rating = elem.css('.preview-card-line__rating-value').first.content
      description = elem.css('.preview-card-line__params-text').first.content
        { title: title, rating: rating, description: description }
    end
  end
```

Алгоритм вычисления тональной оценки

Далее необходимо вычислить тональную оценку. Самый простой способ — использовать следующий метод:

1. Взять полученную информацию из разных источников.
2. Вычислить среднее арифметическое рейтингов.
3. Если оценка больше 3, значит, отзыв имеет позитивную тональную оценку, если меньше 3 — негативную, если равную 3 — нейтральную.

Рассмотрим другой способ оценки тональности отзывов, с помощью синсетов, то есть набора синонимов, которые классифицированы по шкале эмоциональных оценок «позитивная»/«негативная». Для исследований доступны подобные словари, например, WordNet-Affect или же SenticNet. Первый из этих словарей переведён на русский и представляет собой просто набор из 6 текстовых файлов anger.txt, disgust.txt, fear.txt, joy.txt, sadness.txt, surprise.txt. Формат этих файлов следующий:

– Каждый синсет записан в отдельной строке.
– Первая буква в строке — часть речи синсета.
– Далее после # идентификатор синсета.
– Далее после символа табуляции — англоязычный смысл синсета.
– Далее после символа табуляции — слова синсета на английском языке, разделённые пробелами.
– Далее после символа табуляции — слова синсета на русском языке, разделённые пробелами.
– Далее после символа табуляции — слова синсета на румынском языке, разделённые пробелами.

Другой способ получения необходимых оценок — использование SenticNet. SenticNet является онлайн-словарём и предоставляет API для получения необходимой информации. Например, для получения тональной оценки слова необходимо обратиться по ссылке вида http://sentic.net/api/LANGUAGE/concept/CONCEPT_NAME/polarity.

Результат запроса представлен в RDF/XML-формате и содержит значение (позитивная/негативная) и интенсивность (вещественное число от –1.00 до +1.00) тональной оценки. Например, для запроса http://sentic.net/api/en/concept/bad/polarity будет получен ответ (рис. 3).

Алгоритм вычисления тональной оценки

```
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#">
<script/>
<rdf:Description rdf:about="http://sentic.net/api/en/concept/bad/polarity">
<rdf:type rdf:resource="http://sentic.net/api/concept/polarity"/>
<polarity xmlns="http://sentic.net">
<value xmlns="http://sentic.net">negative</value>
<intensity xmlns="http://sentic.net"
rdf:datatype="http://w3.org/2001/XMLSchema#float">-0.36</intensity>
</polarity>
</rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Рис. 3. Пример ответа на запрос с помощью SenticNet API

Список отзывов

Заголовок	Рейтинг	Описание	Категория	Оценка
Гражданин в космосе	Предлагаем вашему вниманию аудиокнигу Гражданин в космосе, аудиоверсию произведений Роберта Шекли.	3.0	Художественная литература	Нейтральный
Tribute (цикл рассказов и миниатюр)	Это цикл рассказов, который Олди посвятил творчеству своих любимых писателей: Роджера Желязны, Роберта Шекли, Феликса Кривина.	3.0	Художественная литература	Нейтральный
В темном-темном космосе	Во всем мире Роберт Шекли признан лучшим мастером юмористической фантастики и великолепным новеллистом-парадоксалистом. Его произведения отличаются мягким юмором, искренней добротой, тонкой философичностью, а еще поразительной способностью...	3.0	Художественная литература	Нейтральный
Букинистика Кемеровское книжное издательство Невероятный мир 909	Основу сборника зарубежной фантастики составляют произведения таких популярных авторов, как Станислав Лем, Клиффорд Саймак, Рэй Брэдбери, Роберт Шекли. Ряд произведений представленных в это м сборнике до этого публиковались лишь однажды либо только на...	3.0	Художественная литература	Нейтральный
Абсолютное оружие. Роман, рассказы	Фантастика Роберта Шекли не подвержена влиянию времени. Ее будут читать всегда, пока живет человек читающий. Ведь если книга по-настоящему остроумна, то есть вместе и остра и умна, она найдет своего читателя независимо от капризов моды и деления на...	2.0	Художественная литература	Плохой
Лавка старинных диковин	Созвездие классиков фантастического жанра — одно из самых ярких в нашей Галактике. И невозможно не заметить в нем звезду по имени Роберт Шекли: она лучится живым добрым светом и весело подмигивает нам. Смелое воображение, тонкий юмор, подчас немного...	3.0	Художественная литература	Нейтральный
Такие разные миры	Доблестные защитники человеческой цивилизации отражают нашествия хищных инопланетных орд. Благородные герои комиксов срывают козни изобретательных суперзлодеев. Гуманные маги-искусники подчиняют себе силы потустороннего мира… Вместе с	3.0	Художественная литература	Нейтральный

Рис. 4 .Фрагмент извлечённой слабоструктурированной информации

следующий:

1. Обнуляем общую тональную оценку отзыва.
2. Берём очередное слово текста отзыва. Если слова нет — возвращаем общую тональную оценку отзыва. Если её значение > 0, значит, позитивная оценка. Если < 0, то негативная. Если 0, то нейтральная.
3. Если это слово есть среди синсетов, то смотрим эмоциональную оценку этого слова.
4. Если эмоциональная оценка положительная, то прибавляем 1 к общей тональной оценке отзыва.
5. Если эмоциональная оценка отрицательная, то отнимаем 1 от общей тональной оценки отзыва.

Использование предложенных решений

Рассмотрим вычисление тональной оценки с помощью словаря WordNet-Affect. В качестве источников информации взяты отзывы о товарах на сайтах http://irecommend.ru, которые используют описания в формате микроданных на основе словаря Review стандарта Schema.org, и Товары@mail.ru, которые в основном содержат стандартную разметку в HTML/CSS-формате. Фрагмент извлечённой информации с сайта Товары@mail.ru показан на рис. 4. Извлечено порядка 400 отзывов, 50 % из них оказались нейтральными, 30 % — положительными, 20 % — отрицательными.

Загружено 3415 синсетов за 33494 мс (рис. 5). В результате применения второго алгоритма (время

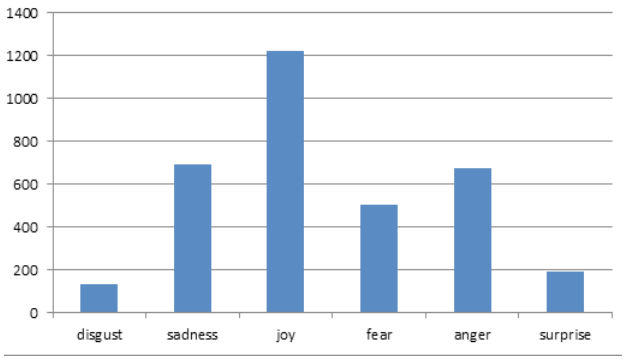


Рис. 5. Статистика по загруженным синсетам

выполнения — 27973 мс) получалось, что для 400 отзывов по художественным книгам 57 положительных, 32 отрицательных, остальные 311 нейтральные. Этот результат обусловлен тем, что во многих отзывах не встретилось слов, которые соответствуют синсетам, а также отзывы были загружены не до конца, поскольку полный отзыв размещён по ссылке, которая генерируется динамически, с помощью JavaScript. Для улучшения результатов выполнения алгоритма следует догрузить эти отзывы полностью, что потребует обработки JavaScript, чего не умеют используемые библиотеки и понадобится подключать другие, а также учитывать морфологию.

Сравнение алгоритмов к оценке тональности показывает, что первый из них требует агрегации, но проще в реализации. Для реализации второго необходимо наличие словаря синонимов.

Заключение

В данной статье описана архитектура агрегатора слабоструктурированной информации в глобально распределённых сетях. Использование данной архитектуры позволяет организовать процесс извлечения и обработки информации об отзывах. Также описаны алгоритмы семантического анализа информации об отзывах. Их применение позволяет извлечь необходимую информацию, а также вычислить оценку тональности отзывов.

Предложенная архитектура агрегатора и алгоритмы реализованы с помощью фреймворка RubyOnRails версии 5, с использованием библиотек (gem) Nokogiri и RDFa, что показало работоспособность предложенных решений. Извлечено порядка 400 отзывов, 50 % из них оказались нейтральными, 30 % — положительными, 20 % — отрицательными. В дальнейшем планируется учитывать морфологию русского языка, структуру предложения. Например, отзыв «эта машина хорошая, но дорогая» является негативным, поскольку акцент делается на невозможности её купить. А отзыв «эта машина дорогая, но хорошая» является позитивным. Также планируется использование словаря SenticNet, что потребует извлечения информации из RDF/XML-формата.

Библиографический список

1. Юсупова, Н.И. Семантические сети и продукционные модели для анализа университетских образовательных программ в информационной системе / Н.И. Юсупова, М.М. Гаянова // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2006. Т. 7, № 2. С. 123–126.

2. Sokolova, M. Classification of Emotion Words in Russian and Romanian Languages [Электронный ресурс] / M. Sokolova, V. Bobicev // RANLP 2009 conference. Borovets, Bulgaria, 2009. URL: http://lilu.fcim.utm.md/SokolovaBobicevRANLP2009.pdf

3. Миронов, В.В. XML-технологии в электронных документах. Документы Word : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 080801 «Прикладная информатика (по областям)» и другим междисциплинарным специальностям / В.В. Миронов, Н.И. Юсупова, Г.Р. Шакирова. Уфа, 2009. (Сер. Computer Science в УГАТУ).

4. Юсупова, Н.И Инструментальные средства для сопоставительного анализа образовательных программ на основе регулярных грамматик / Н.И. Юсупова, А.В. Маркелова, О.Н. Сметанина // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2010. Т. 15, № 5 (40). С. 150–156.

5. Юсупова, Н.И. Модели и методы обработки информации при управлении взаимодействием с Alumni-ассоциациями / Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, Л.М. Исхакова // Вестн. Воронеж. гос. техн. ун-та. 2011. № 5. С. 57.

6. Юсупова, Н.И. Алгоритмическое и программное обеспечение для анализа тональности текстовых сообщений с использованием машинного обучения / Н.И. Юсупова, Д.Р. Богданова, М.В. Бойко // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2012. Т. 16, № 8 (53). С. 91–99.

7. Yusupova, N.I. Models and methods for quality management based on artificial intelligence applications / N.I. Yusupova, A. Hilbert, M.V. Boyko, D.R. Bogdanova // ITIDS+RRS2015. Proceedings of the 2nd International Conference Information Technologies for Intelligent Decision Making Support". 2014. С. 231–237.

8. Юсупова, Н.И. Математическое обеспечение для поддержки принятия решений при управлении качеством продукции на основе анализа текстовой информации / Н.И. Юсупова, Д.Р. Богданова, М.В. Бойко // Соврем. проблемы науки и образования. 2014. № 3. С. 18.

9. Юсупова, Н.И. Модели и программный комплекс для реализации информационного поиска при поддержке управленческих решений / Н.И. Юсупова, О.Н. Сметанина, С.П. Ясинецкий, А.В. Климова // Соврем. проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 214.

10. Kovacs, G. Informatics Tools, AI Models and Methods Used for Automatic Analysis of Customer Satisfaction / G. Kovacs, D. Bogdanova, N. Yussupova, M. Boyko // Science Journal Studies In Informatics And Control (SIC). 2015. Vol. 24 (3). P. 261–270.

11. Yussupova, N. A Decision Support Approach based on Sentiment Analysis Combined with Data Mining for Customer Satisfaction Research / N. Yussupova, M. Boyko, D. Bogdanova, A. Hilbert // International Journal on advances in intelligent systems. 2015. Vol. 8, № 1-2. P. 145–158.

12. Манн, И. Б. Интернет-маркетинг на 100 % / И. Б. Манн, Н. Андросов, И. Ворошилова и др. СПб. : Питер, 2016.

13. Юсупова, Н. И. Обработка слабоструктурированной информации на основе методов искусственного интеллекта / Н. И. Юсупова, Д.Р. Богданова, М.В. Бойко. М. : Инновац. машиностроение, 2016.

Сведения об авторах

Юсупова Нафиса Исламовна — доктор технических наук, заведующая кафедрой вычислительной математики и кибернетики, декан факультета информатики и робототехники,Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. yussupova@ugatu.ac.ru

Галямов Айрат Фаритович — кандидат технических наук, доцент, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа.

Галямов Артур Фаритович — старший преподаватель, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа.

N. I. Yusupova, Air. F. Galyamov, Art. F. Galyamov

ABOUT ONE ALGORITHM OF SEMANTICS ANALYSIS OF STRUCTURAL INFORMATION ABOUT GOODS REVIEWS

Approach of aggregating structured information in globally distributed networks is proposed. This approach allows organize process of semantic analysis about reviews. Algorithm of processing structured information about reviews is created and implemented. This algorithm aimed to parse necessary information from different sources, to aggregate it and to implement sentiment analysis.

ББК 3811к
УДК 004.007.08

Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова

О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОНТЕКСТЕ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

Рассматриваются вопросы состояния и развития отрасли информационных технологий (ИТ), особенности развития ИТ в России и на региональном уровне, ключевые технологии, задающие направление её развития, вопросы подготовки кадров в области ИТ.

Введение

Роль информационных технологий (ИТ) в разных сферах деятельности становится всё более значительной. Информационные технологии, степень их освоения и практического использования, а также обеспечивающая их инфраструктура становятся важнейшими факторами прогресса, который обеспечивает стабильно высокие темпы развития отдельной страны и эффективность её интеграции в мировое пространство. Мировой ИТ-рынок остаётся одним из наиболее динамично развивающихся сегментов экономики, так как качественная смена парадигм в этой сфере происходит каждые несколько лет. Цикл обновления технологий в ИТ оказывает непосредственное влияние на все другие отрасли. Проблемами исследования, разработки, применения и внедрения ИТ в разных видах деятельности занимались и занимаются не только учёные, но и практики, менеджеры и др.

На разных этапах исследования авторы данной статьи занимались не только исследованиями в области информационных технологий [1–4], но и вопросами совершенствования образовательных программ подготовки кадров для ИТ-отрасли [5; 6], связями с работодателями, рынком труда выпускников в сфере ИТ (алюмни) [7–11], а также вопросами академической мобильности студентов и аспирантов с учётом интернационального характера рынка труда [12–20].

Об отрасли информационных технологий

Отрасль ИТ связана как с государственными структурами, так и частными компаниями, работающими в различных секторах российского рынка. Сегодня она включает как хорошо развитые в России виды деятельности, так и недавно появившиеся. Среди этих видов деятельности в отдельные группы можно выделить ИТ-услуги, разработку программного обеспечения (ПО), поставки и обслуживание оборудования.

К сфере ИТ-услуг относятся проекты по системной интеграции и внедрению ИТ-систем, заказная разработка приложений, аутсорсинг и офшоринг, ИТ-поддержка и обслуживание, ИТ-консалтинг, обучение и образование в области ИТ [21].

В области разработки ПО выделяют инфраструктурные приложения, приложения для разработки и поддержки решений, пользовательские приложения, ПО для бизнеса, ПО для потребителей, встраиваемое программное обеспечение (embedded software). Сфера поставок оборудования связана с поставками ПК, серверов, периферии, внешних устройств, оборудования для хранения данных. К отрасли ИТ относятся также такие сектора, как продажа телекоммуникационного оборудования, предприятия электронной коммерции для массового рынка и для корпоративных клиентов, интернет-ресурсы медийной направленности [21].

В мировой отрасли ИТ в последние годы намечается тенденция, что ИТ-услуги занимают бóльшую долю рынка, чем сектор ПО, но их рост уже стабилизировался. В области разработки ПО развивающиеся рынки начинают играть более важную роль в связи с быстрым экономическим развитием и сокращением уровня пиратства. Доля сферы поставок оборудования составляет небольшую долю затрат на ИТ в развитых странах, бóльшую — в развивающихся. Мировая ИТ-отрасль сохраняет большой потенциал роста на долгосрочную перспективу. Достаточно значимым потенциалом обладает и отечественная ИТ-отрасль. Она может внести более заметный вклад в ВВП России в следующие 6 лет, но ещё более важную роль информационные технологии должны будут сыграть в деле повышения эффективности и конкурентоспособности экономики страны в целом. Внедрение ИТ может выступить одним из ключевых факторов роста производительности труда в коммерческом секторе, в числе в следующих аспектов — финансовые услуги, телекоммуникации, оптовая и розничная торговля, добывающая отрасль (добыча и переработка, трейдинг и транспортировка), государственные услуги, медицина и образование.

В сфере образования системы удалённого обучения дают доступ к обучению людям с ограниченными возможностями или в удалённых районах; системы ведения и хранения учебного плана и учебных материалов повышают гибкость и удобство образовательного процесса; электронные учебники повышают доступность и качество образовательных материалов; автоматизированные системы для тестирования

и оценки знаний увеличивают производительность труда и стандартизируют тесты.

Многие страны целенаправленно развивают ИТ для повышения конкурентоспособности своих национальных экономик, например, Сингапур, Индия, Гонконг, Беларусь, Казахстан, Украина и т. д.

Развитие информационных технологий в России

Рост российского рынка опережает рост мирового рынка в три раза, но при этом, в отличие от мирового рынка, в самой России доля ИТ-услуг и ПО низка.

Отрасль ИТ способна помочь повышению конкурентоспособности российской экономики за счёт использования нескольких механизмов.

Включение России в общемировой процесс развития высоких технологий можно осуществить путём создания инновационных ИТ-продуктов и услуг на основе российской научной и инженерной базы, что может стать существенным фактором роста ВВП и экспортной выручки, а также создания высококвалифицированных рабочих мест. Развитие в России ключевых технологических и научных компетенций отвечает интересам национальной безопасности и повышает престиж России на международной арене.

Повышение эффективности работы государственного сектора также возможно за счёт внедрения современных технологий, это позволит повысить качество государственных услуг и поднять на новый уровень такие зависимые от государства сектора, как медицина и образование.

Хотя ИТ-рынок в России быстро растёт, однако его структура всё ещё отличается от общемировой, и размер ИТ-рынка невелик и составляет всего лишь 1 % ВВП. Но рынок быстро восстановился после кризиса и растет на 18 % в год. В отличие от западных стран оборудование по-прежнему составляет наибольшую долю в затратах российских компаний, а доля ИТ-услуг остаётся сравнительно низкой. Рост рынка обеспечивается спросом со стороны ИТ-ёмких отраслей и экспортом ПО и ИТ-услуг. Наибольший вклад в рост ВВП вносят отрасли с интенсивным спросом на ИТ-продукцию (финансовые услуги, телеком, государственные учреждения). Будущий потенциал роста связан с более широким применением ИТ-аутсорсинга и ростом экспорта, основную долю в экспорте ИТ составляют ПО и разработка ПО на заказ. Особенности российского рынка обусловливают существование местных лидеров. В ряде ниш есть продукты мирового класса, однако потенциал развития экспорта не реализован полностью. Введены важные налоговые льготы, однако сохраняется необходимость создания более благоприятного режима налогообложения. Таможенные барьеры усложняют экспорт и импорт высокотехнологичной продукции. Значительное число выпускников вузов потенциально могут работать в ИТ-отрасли, но сохраняется дефицит квалифицированных специалистов. На рынке присутствует ограниченное количество международных инвесторов.

Региональные проблемы

Проблемы развития региональной ИТ-отрасли по большому счёту совпадают с проблемами, которые существуют на федеральном уровне. В частности, это недостаточное финансирование, кадровый дефицит, несогласованность действий между разными уровнями власти. Однако в регионах существуют и свои особенности. Например, отсутствие или слабое развитие информационной и телекоммуникационной инфраструктуры, дефицит квалифицированных кадров. Основная проблема региональных органов — правильно понять и определить, что именно нужно, и правильно донести это до исполнителей (ИТ-компаний, выполняющих проект). Также существуют проблемы организационного плана, связанные с определённой дистанцией между муниципальными и региональными властями.

Ещё одной проблемой является то, что в России за последние годы на федеральном уровне фактически не создано никакого значимого банка решений или сервисов, которые регионы могут использовать совместно и без дополнительной оплаты. Сейчас по факту каждый регион изыскивает средства на одни и те же решения. Регионы и интеграторы практически не используют успешные практики внедрений, что часто приводит к выбору неэффективных или малоэффективных решений.

В 2016 г. субъекты Российской Федерации вложили в ИТ-проекты 38,7 млрд р., что на 7 % больше аналогичного показателя 2015 г. [22]. Около 37,7 % от суммы общего регионального ИТ-бюджета — 14 млрд р. — приходится на Москву. В 2015 г. соотношение было на том же уровне. Четыре крупнейших с точки зрения ИТ-бюджетов регионов — Москва, Санкт-Петербург, Московская область и Татарстан — вкладывают в ИТ около 20 млрд р., то есть половину от общего объёма. (таблица) [22].

Из таблицы видно, что при сопоставимой численности населения у Республики Татарстан бюджет на информатизацию в 10 раз больше, чем у Республики Башкортостан.

Ключевые технологии развития отрасли

Российская ИТ-отрасль может сыграть значительную роль в развитии многих современных технологий. Включение в мировые процессы инноваций позволяет ускорить рост отрасли ИТ и смежных секторов экономики, обеспечить наличие в стране ключевых технологических и научных компетенций, повысить престиж России на международной арене.

Можно выделить несколько ключевых технологий, определяющих развитие отрасли ИТ на много лет вперёд. К ним относятся технологии облачных вычислений, обработки больших данных, Интернет вещей, а также цифрового производства, мобильности и информационной безопасности [25].

Таблица 1

Региональные бюджеты на мероприятия ИТ-отрасли

Субъект РФ	Численность населения, тыс. чел.	Объём финансирования в 2015 г. (на 1 000 чел. населения), тыс. р.	Объём финансирования в 2016 г. (на 1 000 чел. населения), тыс. р.	Общий объём финансирования в 2015 г., тыс. р.	Общий объём финансирования в 2016 г., тыс. р.	Изменение 2016/2015, %
г. Москва	12 198	1 135	1 197	13 838 543	14 602 357	5,5
г. Санкт-Петербург	5 192	463	449	2 403 653	2 328 945	–3,1
Московская область	7 231	307	226	2 222 912	1 637 193	–26,3
Республика Татарстан	3 855	362	333	1 394 161	1 285 064	–7,8
Новосибирская область	2 747	327	462	898 286	1 269 736	41,4
Республика Башкортостан	4 072	26	35	107 012	141 461	32,2

Облачные вычисления связаны с удалённым доступом и использованием вычислительных ресурсов вне зависимости от их физического местонахождения. Они могут применяться для предоставления доступа как к ИТ-инфраструктуре, так и к бизнес-приложениям, бизнес-сервисам. Обработка больших данных связана со сбором, хранением, обработкой и анализом очень больших объёмов данных из различных источников. Для работы с большими данными недостаточно возможностей традиционных систем баз данных. Примером больших данных является статистические данные о посещениях сайтов, социальных сетей, электронных платежей. Технология «Интернет вещей» возникла в связи с массовым подключением к сетевой инфраструктуре и оборудованию с помощью датчиков и исполнительных устройств различных материальных объектов и созданием сложных автономных систем, взаимодействующих с материальным миром. К цифровому производству относится автоматизация проектирования и инжиниринга, управление жизненным циклом изделия; технологии изготовления деталей любой сложности на основе цифровых моделей, например, с помощью лазерной резки или трёхмерных принтеров. Мобильные технологии связаны с повсеместным проникновением мобильных устройств, стиранием границ между мобильными устройствами различных типов и традиционными компьютерами. Потребность в информационной безопасности связана с тем, что внедрение ИТ в различных областях деятельности приводит к уязвимости всех видов информационных ресурсов с точки зрения ИТ-безопасности, росту частоты использования атак на информационные ресурсы как орудия в конкурентной борьбе.

Россия может внести свой вклад в развитие ключевых технологий. Например, на развитие облачных технологий и «больших данных» существенный вклад может быть внесён в области разработки сложных алгоритмов; «Интернет вещей» и цифровых технологий — мощная инженерная и научная база; мобильных технологий — распространение ПО через магазины приложений; на развитие информационной безопасности существенный вклад при разработке и проектировании с учётом базы существующих технологий. Таким образом, основные компетенции российской ИТ-отрасли лежат в области разработки и проектирования сложных процессов и систем [25].

Подготовка кадров для ИТ-области

Рынок труда в России испытывает дефицит кадров в области ИТ. Наиболее востребованными ИТ-специалистами являются: программисты/разработчики 1С, системные администраторы, специалисты технической поддержки, программисты/разработчики java, веб-программисты, тестировщики, PHP-программисты, специалисты по внедрению программных продуктов, веб-дизайнеры, технические специалисты.

В России подготовка ИТ специалистов ведётся по следующим укрупнённым группам специальностей и направлений [23]: 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки», 09.00.00 «Информатика и вычислительная техника», 10.00.00 «Информационная безопасность», а также в рамках 27 и 38 групп направления подготовки 27.03.03 «Системный анализ и управление», 27.03.04 «Управление в технических системах» и 38.03.05 «Бизнес-информатика» [23], которые способны охватить указанные в статье виды деятельности ИТ (рис. 1) и обеспечить приток специалистов по перечисленным ключевым направлениям развития информационных технологий (рис. 2).

По вышеперечисленным направлениям и специальностям ведётся подготовка на факультете информатики и робототехники Уфимского государственного

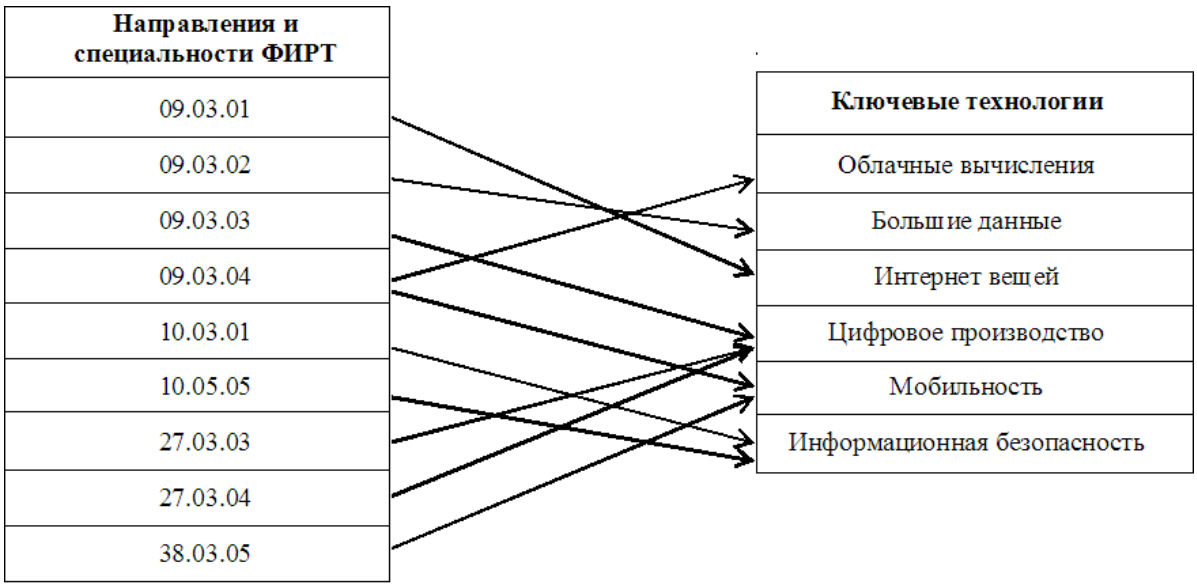


Рис. 1. Связь направлений и специальностей подготовки ФИРТ с ключевыми ИТ технологиями

Рис. 2. Связь направлений подготовки кадров с видами деятельности ИТ

авиационного технического университета [24]. Факультет был создан в 1987 г., но выпуск ИТ-специалистов на кафедре автоматизированных систем управления начался ещё в 1970-е гг.

Предлагаемые направления образовательных программ удовлетворяют запросам рынка труда в области ИТ, но не могут решить проблем заполнения необходимых рабочих мест, связи с чем Минобрнауки в последние годы увеличивает план приёма на направления подготовки ИТ-специалистов.

Заключение

Мировая ИТ-отрасль обладает большим потенциалом роста в долгосрочной перспективе с тенденцией увеличения доли предоставления ИТ-услуг

по сравнению с долей поставок программного обеспечения и оборудования. Отрасль ИТ способна помочь повышению конкурентоспособности российской экономики за счёт создания инновационных ИТ-продуктов и услуг на основе российской научной и инженерной базы, что нашло отражение в принятых за последние годы нормативно-правовых документах.

ИТ-рынок в России растет на 18 % в год, опережая рост мирового рынка ИТ, однако его размер составляет всего лишь 1 % ВВП. Спецификой отечественного рынка ИТ является небольшая доля ИТ-услуг и ПО. Большой потенциал развития экспорта не реализован полностью, необходимость создания благоприятного режима налогообложения, наличие таможенных барьеров, усложняющих экспорт и импорт высокотехнологичной продукции, дефицит квалифицированных специалистов.

Проблемы развития региональной ИТ-отрасли заключаются в недостаточном финансировании, в кадровый дефиците, в несогласованности действий между разными уровнями власти, в отсутствии практики использования успешных внедрений, что приводит к выбору менее эффективных решений.

Развитие отрасли ИТ определяют несколько ключевых технологий: технологии облачных вычислений, обработки больших данных, Интернет вещей, а также цифрового производства, мобильности и информационной безопасности. Для решения кадровых проблем ИТ-рынка и реализации основных компетенций российской ИТ-отрасли в области разработки и проектирования сложных процессов и систем Минобрнауки в последние годы увеличивает план приёма на направления подготовки ИТ-специалистов. Опыт подготовки кадров на факультете информатики и робототехники УГАТУ по укрупнённым группам специальностей и направлений позволяет судить о возможности подготовки кадров по ключевым направлениям развития информационных технологий.

Библиографический список

1. Юсупова, Н. И. Оценка уровня знаний студентов дистанционного обучения на основе согласованного мнения экспертов / Н. И. Юсупова, Д. Р. Богданова, Ю. Ф. Ахметова // Информационные технологии и системы : тр. Третьей междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр.— 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 179–182.

2. Юсупова, Н. И. Информационное сопровождение процесса управления персоналом: отбор, аттестация, переподготовка, повышение квалификации / Н. И. Юсупова, Н. С. Минасова // Науч. вестн. Моск. гос. техн. ун-та гражд. авиации. 2014. № 210 (12). С. 151–154.

3. Юсупова, Н. И. Интеграция инновационных информационных технологий: теория и практика / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаметова // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2010. Т. 14, № 4 (39). С. 112–118.

4. Bugaev, A. Expert systems: developments in Russian Federation / A. Bugaev, M. Guzairov, N. Yusupova, G. Shakhmametova // Proceedings of the WMSCI 2005 : The 9th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 2005. P. 65–69.

5. Юсупова, Н. И. Семантические сети и продукционные модели для анализа университетских образовательных программ в информационной системе / Н. И. Юсупова, М. М. Гаянова // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2006. Т. 7, № 2. С. 123–126.

6. Гузаиров, М. Б. Университетские образовательные программы. Модели и методы для сопоставительного анализа опыта разных стран / М. Б. Гузаиров, Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова. М. : МАИ, 2006. 116 с.

7. Гузаиров, М. Б. Использование информационных технологий для сопоставительного анализа университетских образовательных программ / М. Б. Гузаиров, О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова // Социал.-экон. и техн. системы: исслед., проектирование, оптимизация. 2006. № 6. С. 7–12.

8. Yusupova, N. I. Hilbert A. Models for the decision support system in the alumni management / N. I. Yusupova, O. N. Smetanina, L. M. Iskhakova // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2014. Т. 18, № 5. С. 84–90.

9. Iskhakova, L. M. Modeling and managing alumni loyalty / L. M. Iskhakova, N. I. Yusupova, A. Hilbert, S. Hoffmann, P. Joehnk // The 15th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2013). Уфа, 2013. С. 226–232.

10. Юсупова, Н. И. Модели управления образовательной организацией с учётом Alumni-ассоциации / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, Л. М. Исхакова // Экономика и управление. 2011. № 5. С. 57–63.

11. Юсупова, Н. И. Модели и методы обработки информации при управлении связями с Alumni-ассоциациями / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, Л. М. Исхакова // Вестн. Витеб. гос. технолог. ун-та. 2011. Т. 14, № 1. С. 164–170.

12. Юсупова, Н. И. Организация информационной поддержки принятия решений при управлении образовательным маршрутом на основе онтологии / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, А. В. Климова // Информационные технологии и системы : тр. Четвёртой междунар. науч. конф., Банное, Россия, 25 февр.— 1 марта 2015 г. (ИТиС – 2015) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 109–111.

13. Юсупова, Н. И. О результатах моделирования процесса управления образовательным маршрутом на основе СППР / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, А. В. Климова, А. А. Климов // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2015) : 3rd International Conference. Уфа, 2015. С. 145–151.

14. Юсупова, Н. И. Средства реализации подхода к организации информационной поддержки принятия

решений при управлении образовательным маршрутом в рамках академической мобильности / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, А. В. Климова // Информационные и математические технологии в науке и управлении : сб. тр. XX Байкал. Всерос. конф. Иркутск, 2015. С. 176–183.

15. Yusupova, N. I. Estimation efficiency of the approach to management educational route within academic mobility with using intelligent DSS / N. I. Yusupova, O. N. Smetanina, A. V. Klimova // Proceedings of the 17th International Workshop on Computer Science and Information Technologies, 2015. Уфа, 2015. С. 179–182.

16. Программная реализация подхода к управлению образовательным маршрутом в рамках академической мобильности и оценка эффективности его использования / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова, А. В. Климова // Соврем. проблемы науки и образования. 2015. № 2–2. С. 105–111.

17. Сметанина, О. Н. Вопросы моделирования для поддержки принятия решений при управлении образовательным маршрутом в рамках академической мобильности / О. Н. Сметанина, А. В. Климова, Н. И. Юсупова // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support : Proceedings of the 2nd International Conference, 2014. Уфа, 2014. С. 102–107.

18. Юсупова, Н. И. Программное обеспечение СППР при управлении образовательным маршрутом в рамках академической мобильности / Н. И. Юсупова, А. В. Климова, О. Н. Сметанина // Intelligent Technologies for Information Processing and Management (ITIPM' 2014) : Proceedings of the 2nd International Conference, 2014. Уфа, 2014. С. 180–184.

19. Yusupova, N. I. Management of educational route learning using intelligent decision support technology / N. I. Yusupova, O. N. Smetanina, M. M. Gayanova // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2013. Т. 17, № 6. С. 47–52.

20. Юсупова, Н. И. Об использовании метода экспертных оценок при формировании образовательного маршрута / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова // Информационные технологии и системы : тр. Пятой междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. (ИТиС – 2016) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. С. 155–159.

21. Ассоциация предприятий компьютерных и информационных технологий [Электронный ресурс]. URL: http://www.apkit.ru/

22. Портал выбора технологий и поставщиков [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru

23. Официальный сайт Министерства образования и науки Российской Федерации. URL : минобрнауки.рф

24. Официальный сайт Уфимского государственного авиационного технического университета. URL: http://ugatu.ac.ru

Сведения об авторах

Юсупова Нафиса Исламовна — доктор технических наук, заведующая кафедрой вычислительной математики и кибернетики, декан факультета информатики и робототехники,Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. yussupova@ugatu.ac.ru

Сметанина Ольга Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. smoljushka@mail.ru

Гаянова Майя Марсовна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. maya.gayanova@gmail.com

---

N. I. Yusupova, O. M. Smetanina, M. M. Gayanova

THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE INFORMATION TECHNOLOGY INDUSTRY IN THE CONTEXT OF PERSONNEL TRAINING

Article discusses the state of the industry and IT development, particularly the IT development in Russia and at the regional level, the key technologies that define the direction of its development and training issues in the IT field.

ББК Ч40
УДК 37.01

Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, А. В. Климова

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОНТОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Проведён анализ применения онтологий в образовательной системе, показан широкий спектр прикладных задач, которые могут быть решены при помощи онтологического подхода. Сформулированы правила онтологии на основе логики предикатов первого порядка.

Введение. Онтологии — широко используемый инструмент для анализа и структуризации знаний различных предметных областей, чья популярность обусловлена множеством причин. Онтология широко применяется для решения задач управления знаниями, выступает инструментом накопления, хранения и передачи знаний, за счёт чего сокращается время на поиск и анализ информации. Разработка онтологий даёт возможность повторного применения знаний предметной области и может использоваться совместно людьми и программными агентами.

Анализ использования онтологий в образовательной системе. Исследованием проблем разработки онтологий занимались такие российские и зарубежные учёные, как Т. А. Гаврилова, А. Гангеми, Т. Грубер, Н. Гуарино, Р. Мизогучи, Г. С. Осипов, Д. Хендлер, В. Ш. Рубашкин, Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина и др.

Авторами был проведён анализ применения онтологии в различных видах образовательной деятельности. В частности, вопросы разработки онтологии дистанционного курса обучения были рассмотрены А. Л. Данченко [1]. В работе показана онтология, которая используется для реализации механизма построения адаптивных курсов обучения, для консультирования обучаемых, ответы выдаются с привязкой к предметной области изучаемого курса.

Исследование С. Н. Приймы, А. В. Панина посвящено обеспечению прозрачности европейской и национальных структур квалификаций за счёт разработки онтологии и сопоставления результатов обучения [2]. В работе показано, что онтология, благодарявозможности построения логических связей между понятиями, позволяет обеспечить сопоставление уровня квалификаций кевропейской и национальных структур, их прозрачность и международное признание.

В работе С. А. Пиявского, В. Б. Ларюхина показано создание информационной базы для формирования основных образовательных программ (ООП), учебного плана и графика учебного процесса с учётом требований рынка труда и индивидуальных предпочтений обучаемых [3].

В исследовании Е. А. Жыжырия, С. С. Щербака разработана веб-онтология «Учебная дисциплина» и предложена технология разработки веб-ориентированных учебных ресурсов для поддержки дистанционного образовательного процесса [4].

Онтология процесса создания курсов дистанционного обучения рассмотрена в работе Л. Р. Черняховской, А. Р. Салаватовой, применяется пользователем для работы с репозиторием методических материалов, относящихся к широкому кругу специальностей [5]. При помощи данной онтологии пользователь может разрабатывать методическое обеспечение для новых специальностей на основе повторного использования обучающих объектов для приобретения компетенций, устанавливаемых федеральными государственными образовательными стандартами нового поколения и разработанных преподавателями университета.

Авторами данного исследования предложено использование онтологии для принятия решений в образовательном процессе, с ориентацией на компетентностный подход, а именно, представление знаний о дисциплинах и относящихся к ним компетенциях для организации перевода студентов в рамках академической мобильности. Онтология содержит знания о компетентностных моделях, дисциплинах, направлениях подготовки, литературных источниках, необходимых для изучения той или иной дисциплины. Информация, необходимая для создания и совершенствования онтологии, содержится в рабочих программах (РП), ФГОС, учебных планах и т. д. [6].

Инструментальные средства проектирования онтологий. Наиболее известными языками проектирования онтологий считаются RDF (Resource Description Framework), KIF (KnowledgeInterchangeFormat), DAML+OIL (DARPA AgentMarkupLanguage) и OWL (OntologyWebLanguage). Последний является наиболее популярным и развитым языком представления онтологий.

Язык OWL фактически является надстройкой над RDF/RDFS и поддерживает эффективное представление онтологий в терминах классов и свойств, обеспечение простых логических проверок целостности онтологии, связывание онтологий друг с другом (импорт внешних определений). Большое число создаваемых в настоящее время онтологий кодируются

на OWL, уже существующие онтологии транслируются в него [7].

Для создания и редактирования онтологии существует ряд специализированных сред разработки, редакторов, и средств объединения онтологий: KAON, OntoStudio, Ontosaurus, OpenCyc, Protégé, DOE, OntoEdit, OilEd, WebOnto и др. [2].

Одной из самых востребованных сред разработки является Protégé, позволяющая формировать онтологию с возможностью её последующего анализа и использования механизма логического вывода. Разработка онтологии ведётся на языке OWL DL (Ontology Web Language on Description Logic).

В основе языка для создания онтологии лежит логика предикатов первого порядка, которая позволяет строить рассуждения об истинности или ложности утверждений, их взаимосвязи и следовании одного из другого. Логика предикатов первого порядка поддерживает процесс формализации знаний и представлений онтологии как спецификации. Язык логики предикатов представляет собой набор функциональных и предикатных символов, логических операций и кванторов, которые в совокупности образуют алфавит логики первого порядка.

Правила онтологии на основе логики предикатов первого порядка. На основе ранее разработанной авторами онтологии [8] сформулированы правила, которые позволяют с использованием механизма логического вывода получать решения.

Известно, что одна компетенция может относиться одновременно к нескольким дисциплинам, а в рамках одной дисциплины может быть освоено несколько компетенций. Данную информацию можно записать в виде двух равносильных высказываний: «всякая компетенция относится к нескольким дисциплинам», «всякая дисциплина относится к нескольким компетенциям» и формально выразить с помощью логики предикатов первого порядка:

Пусть $S(x)$ – x есть компетенция, $D(y)$ – y есть дисциплина, $P(x, y)$ – x относится к y:

$$(\forall x)\big(S(x) \to (\exists y)(D(y) \wedge P(x, y))\big).$$

И равносильное высказывание, где $S(x)$ – x есть компетенция, $D(y)$ – y есть дисциплина, $Q(x, y)$ – y относится к x:

$$(\forall y)\big(D(y) \to (\exists x)(S(x) \wedge Q(x, y))\big).$$

Высказывания для разработки продукционных правил, основанные на логике предикатов, на естественном языке звучат следующим образом: «дисциплина включает компетенции», «литературные источники используются в дисциплинах», «направления подготовки содержат дисциплины» и т. д.

В таблице приведены примеры утверждений, на основе которых построены правила в среде разработки Protégé аналогично вышеописанным.

Заключение

Авторами было рассмотрено применение онтологий в образовательной системе. Онтология позволяет решать широкий спектр задач, в частности, выполняет консультационную функцию, используется для разработки обучающих курсов, в том числе дистанционных, методического обеспечения и сопоставления результатов обучения, создания информационных баз для формирования ООП. В исследовании авторами предложено использование онтологии для принятия решений при организации перевода студентов в рамках академической мобильности,

Фрагмент

Выражения из логики предикатов	Запрос в Protégé
$(\forall y)\ (D(y)) \to (\exists z)(B(z) \wedge P(z, y))$, где $B(z)$ – z есть литературный источник, $D(y)$ – y есть дисциплина, $P(z, y)$ – z используется в y	Дисциплина_38.03.05(?Методы_оптимизации) → Литературные_источники_38.03.05(?Введение_в_исследование_операций:_Учебное пособие/_А.И._Ерзин.–Новосиб.гос.ун-т._Новосибирск._2008._100с.)
$(\forall n)\ [(N(n) \wedge (\forall y)\ D(y) \wedge P(y, n) \to C(u)]$, где $N(n)$ – n направление подготовки, $D(y)$ – y есть дисциплина, $P(y, n)$ – y содержится в n, $C(u)$ — учебный план	Группа_направлений_38(?38.03.05_Бизнес-информатика)^Дисциплина_38.03.05(?Анализ данных) → Учебный_план_38.03.05(?Базовая_часть_Б2)
$(\exists v)\ [U(v) \wedge (\forall n)\ (N(n) \wedge (\forall y)\ (D(y) \wedge P(y, n)) \to (\exists m)\ S(m)]$ где $U(v)$ – v есть вуз, $N(n)$ – n — направление подготовки, $D(y)$ – y есть дисциплина, $P(y, n)$ – n входит в n, $S(m)$ – m есть компетенция	Вуз(?Уфимский государственный авиационный технологический университет)^Группа_направлений_09(?09.03.04_Программная_инженерия)^Дисциплина_09.03.04(?Основы_математического_анализа) → 09.03.04_Программная_инженерия(?Готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования, ?Способность к формализации в своей предметной области с учетом ограничений используемых методов исследования)

сформулированы выражения на языке логики предикатов, являющихся основой для разработки продукционных правил вывода.

Библиографический список

1. Данченко, А. Л. Разработка онтологии дистанционного курса / А. Л. Данченко // Веб-программирование и интернет-технологии (WebConf09) : сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8–10 июня 2009 г. Минск : Ин-т математики НАН Беларуси, 2009. 112 с.

2. Прийма, С. Н. Использование компьютерных онтологий в качестве инструмента обеспечения прозрачности Европейской и национальных структур квалификаций / С. Н. Прийма, А. В. Панин // Образоват. технологии и об-во. 2013. № 3. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompyuternyh-ontologiy-v-kachestve-instrumenta-obespecheniya-prozrachnosti-evropeyskoy-i-natsionalnyh-struktur

3. Ларюхин, В. Б. Онтология образовательного процесса по направлению «Информационные системы и технологии» / В. Б. Ларюхин, С. А. Пиявский // Онтология проектирования. 2012. № 2 (4). URL: http://cyberleninka.ru/article/n/ontologiya-obrazovatelnogo-protsessa-po-napravleniyu-informatsionnye-sistemy-i-tehnologii

4. Жыжырий, Е. А. Применение веб-онтологий в задачах дистанционного обучения [Электронный ресурс] / Е. А. Жыжырий, С. С. Щербак. URL: http://shcherbak.net/dist

5. Черняховская, Л. Р. Онтологический анализ как основа формализации знаний о процессе дистанционного образования / Л. Р. Черняховская, А. Р. Салаватова, И. П. Владимирова // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений : Proceedings of the 2nd International Conference «Information Technologies for Intelligent Decision Making Support» and the Intended International Workshop «Robots and Robotic Systems». Уфа, 2014. Р. 27–31.

6. Сметанина, О. Н. Онтологическая модель для обеспечения интеллектуальной поддержки управленческих решений при формировании образовательного маршрута с учетом академической мобильности / О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова, А. В. Климова // Методические аспекты искусственного интеллекта : монография. М. : Машиностроение, 2014. С. 38–53.

7. Боргест, Н. М. Онтология проектирования. Теоретические основы. Ч. 1 : Понятия и принципы : электрон. учеб. пособие / Н. М. Боргест. Самара, 2010.

8. Юсупова, Н. И. Организация информационной поддержки принятия решений при управлении образовательным маршрутом на основе онтологии / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, А. В. Климова // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой междунар. науч. конф., Банное, Россия, 25 февр. — 1 марта 2015 г. (ИТиС – 2015). Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 101–103.

Сведения об авторах

Юсупова Нафиса Исламовна — доктор технических наук, заведующая кафедрой вычислительной математики и кибернетики, декан факультета информатики и робототехники,Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. yussupova@ugatu.ac.ru

Сметанина Ольга Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. smoljushka@mail.ru

Климова Александра Вадимовна — старший преподаватель вычислительной математики и кибернетики, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. alex.melnikova.ufa@gmail.com

---

N. I. Yusupova, O. M. Smetanina, A. V. Klimova

ISSUES OF USE ONTOLOGY IN THE EDUCATION SYSTEM

The article analyzed the use of ontologies in the educational system, is shown a wide range of applied tasks, which can be solved with the help of the ontological approach. Formulated rules of ontology based on first-order predicate logic.

ББК У291.931
УДК 658:001.5

Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаметова, В. В. Миронов

О СИТУАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Исследования поддержаны грантами РФФИ № 15-07-01565, № 16-07-00239, № 16-07-00773

Рассмотрены вопросы информационной поддержки антикризисного управления (АКУ). В качестве основы разработки информационно-методического обеспечения АКУ предлагается ситуационный подход.

1. Введение

Основой успешного функционирования сложной системы является принятие решений, адекватных условиям, в которых она функционирует. Термин «антикризисное управление» (АКУ), под которым понимается процесс предотвращения или преодоления кризиса объекта управления (ОУ), можно встретить во многих сферах. Для обозначения кризисных явлений в разных системах (экономических, организационно-технических, социальных, технических) используется различная терминология. Эти явления обозначаются как критические, аварийные, проблемные, чрезвычайные ситуации. Несмотря на разнообразие природы указанных систем, специфические особенности объектов управления и ресурсного обеспечения, можно выделить в них общее с позиций АКУ — необходимость специальной управленческой деятельности для обеспечения эффективности и безопасности функционирования объекта управления и системы в целом.

Вопросам антикризисного управления посвящено множество исследований у нас в стране и за рубежом [3–5; 8; 9; 17; 19; 20 и др.]. Но, как показали исследования [21; 22; 27–31], работ, посвящённых информационной поддержке антикризисного управлении, в настоящее время мало.

Процессы принятия решений нуждаются в создании адекватных методов и инструментальных средств обеспечения их качества и эффективности. В сложных системах возникают специфические ситуации (аварии, критические ситуации, кризисы), которые требуют специальных управленческих воздействий для поддержки функционирования объекта управления. Принятие решений в большинстве случаев формируется в условиях неопределённости, нечёткости данных об объекте управления, слабоструктурированной информации и быстрого изменения внешних условий. При этом, как правило, отсутствуют строго формализованные математические модели таких систем, которые позволили бы однозначно определить механизм управления.

В данной статье рассматриваются вопросы информационной поддержки антикризисного управления и в качестве основы разработки информационно-методического обеспечения предлагается ситуационный подход, отличительной особенностью которого является построение ситуационной модели процесса управления в виде совокупности управленческих ситуаций и их возможных переходов [24].

2. Информационная поддержка антикризисного управления

Проблема информационной поддержки антикризисного управления является сложной из-за множества влияющих на неё факторов, задач, возникающих при управлении, ограничений [17]. Неопределённость обстановки в предкризисной ситуации и малые резервы времени обусловливают необходимость информационной поддержки принятия решений (ППР) для лиц, принимающих решения (ЛПР). Информационная поддержка в первую очередь предназначена для принятия управленческих решений в целях повышения их обоснованности, достоверности и эффективности [28; 29].

Основной целью антикризисного управления является разработка и реализация мер, направленных на предотвращение возникновения негативных явлений, приводящих к кризисному состоянию объекта управления, обеспечение устойчивости его функционирования. К задачам антикризисного управления (АКУ) в общем случае можно отнести выбор методологии выработки управленческих решений в условиях кризиса; учёт возможных прогнозов и разработку эффективных антикризисных сценариев; качественную работу системы мониторинга кризисных ситуаций; оперативность и гибкость антикризисного управления при изменении ситуации; профессионализм и подготовленность лиц, осуществляющих антикризисное управление.

Использование в практике антикризисного управления системного подхода [17] позволяет учесть факторы внутренней и внешней среды, которые оказывают на ОУ наибольшее воздействие (как негативное, так и позитивное), находить пути и методы эффективного воздействия на эти факторы.

Методология, предложенная авторами ранее [21; 22; 27–31], направлена на решение главной задачи антикризисного управления — предотвращение кризисов. В её основе лежат следующие этапы:

1) в результате анализа жизненного цикла объекта управления с позиций АКУ выявляется наиболее важный этап жизненного цикла для решения первой задачи антикризисного управления — предотвращения кризиса, уточняются цели и задачи АКУ. Для этого применяются системный анализ, кибернетический подход,

концепция жизненного цикла, учитываются основные положения теории антикризисного управления;

2) для выявленного проблемного этапа жизненного цикла объекта управления разрабатывается информационно-методическое обеспечение (ИМО) АКУ, определяются способы принятия решений в предметной области, формулируются требования к информационной поддержке, выявляются особенности обработки информации, требуемой для АКУ, на основе чего далее определяются формализованные и слабоформализованные задачи. Для реализации этого этапа необходимо применение системного анализа, с учётом основных положений теории антикризисного управления и теории принятия решений. Разработка ИМО возможна на основе следующих подходов: функциональный подход, сценарный подход, процессный поход, ситуационный подход, с учётом принципов мониторинга и необходимости организационно-методического обеспечения;

3) определяются математические методы, методы интеллектуальных технологий и их возможная интеграция для реализации информационной поддержки АКУ [22; 27].

3. О ситуационном подходе

Ситуационный подход позволяет представить информационную модель предметной области в компьютерной среде, что составляет основу информационного обеспечения системы, необходимого для организации поддержки принятия решений.

Один из базовых подходов к рассмотрению понятия «ситуации» приведён в трудах Д. А. Поспелова [18], где рассматриваются основные принципы ситуационного подхода при организации управления объектами различной природы. Ситуационное управление целесообразно при применении к объектам с неопределённой или недостаточно изученной структурой. В основе ситуационного управления лежат семиотические модели, которые можно рассматривать как «слабоформальные» модели, задаваемые набором утверждений — аксиом. В этом контексте понятие ситуации определяется на двух уровнях — текущей и полной ситуаций. Текущая ситуация представляет собой совокупность данных о структуре и функционировании объекта управления в конкретный момент времени. Полная ситуация — это объединение текущей ситуации, знаний о состоянии системы управления в конкретный момент времени и знаний о методологии управления [12].

В рамках уфимской школы ситуационный подход используется для решения различных задач: при управлении летательными аппаратами [1; 23] и сложными техническими объектами [6; 7], в иерархических ситуационных моделях [12; 15; 26] и ситуационно-ориентированных базах данных [2; 10; 11; 14; 16], для управления предприятием [24] и организации информационной поддержки антикризисного управления в условиях банкротства предприятия [13], для поддержки принятия решений при чрезвычайных ситуациях [25] и др.

Данный подход рассматривает ситуации на двух уровнях:

– макроуровень — ситуация рассматривается не обособленно, а в ряду всех возможных ситуаций;

– микроуровень — ситуация рассматривается автономно, с точки зрения её внутренней сущности.

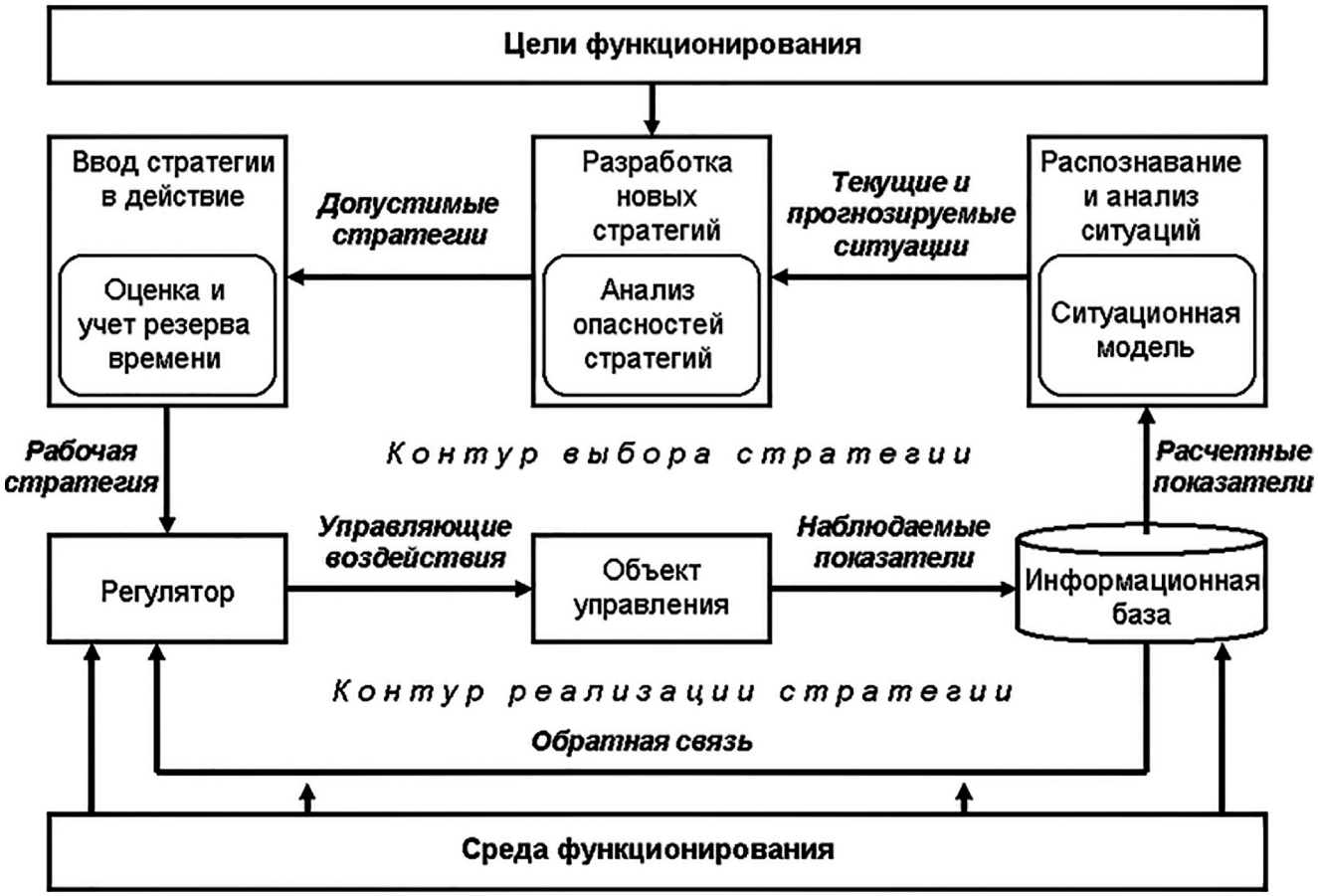
Пусть известна динамическая система, заданная в общепринятой форме «вход — состояние — выход». В ней рассматривается совокупность текущих характеристик, представленная следующими элементами: текущий момент времени; текущее состояние; входные воздействия (управляющие и возмущающие), заданные для текущего и будущего моментов времени. Такая совокупность носит название микроситуации. При этом ситуация представляет собой набор микроситуаций. Микроситуации можно рассматривать как определённые этапы, различные состояния ситуации, то есть они задают эволюцию, развитие ситуации. Тогда свойства ситуации определяются свойствами составляющих её микроситуаций. Совокупность характеристик, составляющих микроситуацию, определяет выходные характеристики и состояния системы как в текущий, так и в будущие моменты времени [12].

4. Ситуационный подход для реализации ИМО АКУ

Общая модель ситуационного антикризисного управления ОУ (рисунок) задаёт основополагающую парадигму управления и отражает основные функциональные уровни и блоки системы управления [13; 24]. В качестве парадигмы использована общая модель двухконтурной ситуационной системы управления СТО [24], с интерпретацией применительно к АКУ.

Модель включает два контура управления: внутренний контур реализации стратегии и внешний контур выбора стратегии. При этом под стратегией понимается программа действий, разрабатываемая и реализуемая субъектами управления для достижения тех или иных целей функционирования ОУ. Стратегия может иметь сложный иерархический характер, отражающий различные аспекты функционирования ОУ. Контур реализации стратегии призван обеспечить исполнение одной из возможных стратегий — так называемой рабочей стратегии.

Функциональный блок «Регулятор», под которым понимается деятельность управленческого персонала ОУ, в соответствии с рабочей стратегией обеспечивает управляющие воздействия на функциональный блок «Объект управления». Наблюдаемые показатели процессов сохраняются в информационной базе и используются «Регулятором» как обратная связь для анализа эффективности и корректировки управляющих воздействий в рамках рабочей стратегии. Среда функционирования ОУ влияет на протекающие процессы, отражается в информационной базе, учитывается при формировании управляющих воздействий. Предполагается, что при бескризисном функционировании в условиях стабильной среды подходящая рабочая



Общая модель ситуационного АКУ ОУ

стратегия обеспечивает достижение целей функционирования и поэтому не требует своего изменения. Контур выбора стратегии должен обеспечить своевременную и правильную смену рабочей стратегии. Необходимость смены рабочей стратегии возникает, если в результате нарушения (непредвиденного изменения среды функционирования, неожиданных изменений хода протекающих в ОУ процессов, грубых ошибок управления и других подобных явлений) данная стратегия не позволяет достичь целей управления.

Предполагается, что такая стратегия существует, нужно лишь правильно её построить и вовремя ввести в действие. Для этого в контуре выбора стратегии предусмотрены следующие функции:

1. Распознавание и анализ ситуаций. Эта функция предназначена для своевременного и правильного обнаружения опасного изменения текущей ситуации и прогноза её развития на основе анализа текущих и предшествующих показателей функционирования ОУ и изменения среды. Для выполнения этой функции используется ситуационная модель, задающая множество возможных ситуаций и переходов между ними, а также множество правил, позволяющих распознать текущую ситуацию, её изменения, переходы на основе обработки инструментальных данных из информационной базы.

2. Разработка новых стратегий. Эта функция предназначена для определения стратегий, позволяющих достичь тех или иных целей управления в текущей ситуации с учётом прогноза развития. Варианты стратегий должны удовлетворять критерию безопасности, который подразумевает, что допустимая стратегия не должна приводить к возникновению некоторых опасных, нежелательных по тем или иным причинам ситуациям. Анализ опасности стратегии предусматривает априорный прогноз риска возникновения указанных опасных ситуаций в ходе реализации стратегии.

3. Ввод стратегии в действие. Эта функция должна обеспечить своевременное принятие решения о замене рабочей стратегии на одну из допустимых. Своевременность предполагает, что, с одной стороны, опасность ситуации достаточно прояснилась, а с другой — что положение ещё можно исправить. Своевременность обеспечивается тем, что для каждого варианта допустимой стратегии оценивается располагаемый резерв времени, то есть время, в течение которого ещё можно сохранять рабочую стратегию с возможностью успешного перехода на вариант допустимой стратегии.

4. Неопределённость является характерной чертой АКУ. Каждая из перечисленных функций контура выбора стратегии исполняется в условиях существенной неопределённости поведения среды функционирования. Предполагается, что неопределённость является устранимой, то есть с течением времени в результате анализа внутренней и внешней обстановки она может

быть уменьшена до уровня, достаточного для принятия надёжных решений. Оценки резерва времени служат обоснованием для продолжения углублённого анализа ситуаций и опасности стратегий.

5. Допустимые стратегии не могут быть достаточно детально сформированы априори, на этапе проектирования системы. В контуре выбора стратегии нет чёткого разделения этапов проектирования и эксплуатации. Как правило, сами новые стратегии априори не могут быть построены, их нужно искать, строить в процессе управления. С одной стороны, это делает задачу разработки новых стратегий более конкретной, подчинённой конкретным условиям (не нужно учитывать все возможные ситуации и варианты их развития), а с другой, существенно усложняет задачу, поскольку аналитики вынуждены работать в условиях неопределённости и ограниченного резерва времени.

Заключение

Информационная поддержка АКУ направлена на решение основной задачи антикризисного управления — предотвращение кризисов. В её основе лежат следующие основные этапы: определяется наиболее важный этап жизненного цикла ОУ для решения этой задачи, уточняются цели и задачи АКУ, разрабатывается информационно-методическое обеспечение (ИМО), формулируются требования к информационной поддержке, выявляются особенности обработки информации, требуемой для АКУ, на основе чего определяются математические методы и методы интеллектуальных технологий для реализации информационной поддержки и их возможная интеграция. Ситуационный подход для реализации ИМО АКУ предусматривает двухконтурную ситуационную систему управления, при этом внутренний контур предназначен для реализации стратегии, а внешний контур — для выбора стратегии. Общая модель ситуационного антикризисного управления ОУ основана на контроле текущих критических ситуаций и располагаемого резерва времени, являющихся неотъемлемой частью АКУ.

Дальнейшие исследования в данном направлении авторами будут проводиться в области расширения класса ситуационных моделей для решения задач информационной поддержки при управлении сложными объектами.

Библиографический список

1. Iljasov, B.G. Spacecraft risk management using critical situation models / B.G. Iljasov, N.I. Jusupova, V.V. Mironov // American Astronautical Society, Scientific Technology Series. 1997. С. 125–137.

2. Mironov, V.V. Hierarchical finite state model driven data management in situation-oriented databases / V.V. Mironov, N.I. Yusupova, A.S. Gusarenko // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений : Proceedings of the 2nd International Conference “Information Technologies for Intelligent Decision Making Support” and the Intended International Workshop “Robots and Robotic Systems”, USATU, Ufa, Russia. 2014. Уфа, 2014. С. 48–54.

3. Балдин, К.В. Антикризисное управление: макро- и микроуровень / К. В. Балдин. М. : Дашков и К, 2013. 268 с.

4. Грязнова, А.Г. Антикризисный менеджмент / А.Г. Грязнова. М. : Экмос, 1999. 368 с.

5. Дорофеев, В.Д. Антикризисное управление / В. Д. Пенза. Пенза, 2006. 206 с.

6. Ильясов, Б.Г. Модели критических ситуаций при управлении техническими объектами / Б.Г. Ильясов, В.В. Миронов, Н.И. Юсупова. Уфа : УНЦ РАН, 1996.

7. Ильясов, Б.Г. Модели предупреждения критических режимов управляемых объектов в условиях неопределенности / Б.Г. Ильясов, В.В. Миронов, Н.И. Юсупова. Уфа : УНЦ РАН, 1994.

8. Коротков, Э.М. Антикризисное управление / Э. М. Коротков. М. : Изд-во Юрайт, 2014. 406 с.

9. Круглова, Н.Ю. Антикризисное управление / Н. Ю. Круглова. М. : КноРус, 2013. 400 с.

10. Миронов, В.В. Ситуационно-ориентированные базы данных: интеграция XML-данных с реляционной средой MySQL / В.В. Миронов, А.С. Гусаренко, Н.И. Юсупова // Системы упр. и информац. технологии. 2016. Т. 65, № 3. С. 48–55.

11. Миронов, В.В. Ситуационно-ориентированные базы данных как виртуальный интеграционный слой в веб-приложениях / В.В. Миронов, А.С. Гусаренко, Н.И. Юсупова // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS’2016) : Proceedings of the 4th International Conference. 2016. Уфа, 2016. С. 123–128.

12. Миронов, В.В. Ситуационный подход к управлению: истоки и перспективы / В.В. Миронов, К.А. Конев, Г.Р. Шакирова // Автоматизация и упр. в техн. системах. 2013. № 4-2. С. 111–118.

13. Миронов, В.В. Информационная поддержка принятия решений при антикризисном управлении предприятием в условиях возможного банкротства / В.В. Миронов, Я.А. Олейник, Н.И. Юсупова // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2005. Т. 6, № 2. С. 112.

14. Миронов, В.В. Ситуационно-ориентированные базы данных: современное состояние и перспективы исследования / В.В. Миронов, Н.И. Юсупова, А.С. Гусаренко // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2015. Т. 19, № 2 (68). С. 188–199.

15. Миронов, В.В. Иерархические модели данных: концепция и реализация на основе XML : монография / В.В. Миронов, Н.И. Юсупова, Г.Р. Шакирова / под ред. Н.И. Юсуповой, М., 2011.

16. Миронов, В.В. Ситуационно-ориентированные базы данных: внешние представления на основе XSL / В.В. Миронов, Н.И. Юсупова, Г.Р. Шакирова // Вестн. Уфимского государственного авиационного технического университета. 2010. Т. 14, № 4 (39). С. 200–209.

17. Попов, Р.А. Антикризисное управление / Р. А. Попов. М. : Юрайт, 2013. 306 с.

18. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. М. : Наука, 1986. 288 с.

19. Трененков, Е. М. Диагностика в антикризисном управлении / Е. М. Трененков, С. А. Дведенидова // Менеджмент в России и за рубежом. 2002. № 1. С. 18–29.

20. Управление в условиях кризиса : пер. с англ. М. : Альпина Бизнес Букс, 2005.

21. Шахмаметова, Г. Р. Информационная поддержка антикризисного управления с учетом жизненного цикла на примере мониторинга банкротств / Г. Р. Шахмаметова // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2012. Т. 16, № 6 (51). С. 211–219.

22. Шахмаметова, Г. Р. Принципы интеграции интеллектуальных технологий для решения задач поддержки принятия решений при управлении сложными объектами на основе антикризисного подхода / Г. Р. Шахмаметова // Информационные технологии и системы : тр. Третьей междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр.— 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 119–121.

23. Юсупова, Н. И. Критические ситуации и принятие решений при управлении в условиях помех / Н. И. Юсупова. Уфа : Гилем, 1997.

24. Юсупова, Н. И. Ситуационные модели и антикризисное управление предприятием / Н. И. Юсупова, Я. А. Олейник. Уфа : Изд-во УНЦ РАН, 2009. 53 с.

25. Юсупова, Н. И. Концепция поддержки принятия решений при стратегическом планировании и управлении силами и средствами противодействия чрезвычайным ситуациям / Н. И. Юсупова, К. Р. Еникеева // Информационные технологии и системы : тр. Третьей междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр.— 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 122–124.

26. Юсупова, Н. И. Иерархические ситуационные модели для СППР в сложных системах / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, К. Р. Еникеева// Соврем. проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 63.

27. Юсупова, Н. И. Математическое и программное обеспечение для управления сложным техническим объектом на основе антикризисного подхода / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаметова // Соврем. проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 123.

28. Юсупова, Н. И. Информационные системы антикризисного управления / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаметова, Д. Р. Аминева, Ю. Э. Юлмухаметова // Экономика и упр. 2011. № 4. С. 109–113.

29. Юсупова, Н. И. Информационная поддержка при решении задач антикризисного управления с использованием технологии нейронных сетей / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаметова, Э. Х. Дусалина // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2013. № 3. С. 17–20.

30. Юсупова, Н. И. Интеллектуальная информационная поддержка процесса анализа риска опасных производственных объектов нефтяной отрасли / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаметова, К. Р. Еникеева // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011. № 1. С. 173–179.

31. Юсупова, Н. И. Интеллектуальные технологии обработки информации для антикризисного управления в организационно-технических системах / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахмаметова, К. Р. Еникеева // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. № 1 (91). С. 113–124.

Сведения об авторах

Юсупова Нафиса Исламовна — доктор технических наук, заведующая кафедрой вычислительной математики и кибернетики, декан факультета информатики и робототехники,Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. yussupova@ugatu.ac.ru

Шахмаметова Гюзель Радиковна — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики**,** Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. shakhgouzel@mail.ru

Миронов Валерий Викторович — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа. mironov@list.ru

---

N. I. Yusupova, G. R. Shakhmametova, V. V. Mironov

ABOUT SITUATIONAL MODELS FOR INFORMATION SUPPORT OF CRISIS MANAGEMENT

Questions of information support of crisis management are considered, as the basis of information and methodical providing development the situational approach is suggested.

ББК 3972
УДК 004.4

И. М. Ячиков, М. К. Алферьева, А. А. Николаев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ДИАГНОСТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ВРЕМЕННОГО ЛАГА

Наличие взаимосвязи между двумя диагностическими параметрами печного трансформатора может нести информацию о его техническом состоянии. Предложена методика анализа исследуемых параметров печного трансформатора с целью выявления зависимостей между ними при наличии временного лага.

Бесперебойная и надёжная работа сверхмощных дуговых сталеплавильных печей и агрегатов «печь–ковш» во многом определяется работой печных трансформаторов. Это объясняется тем, что трансформаторы работают в тяжёлых условиях, вызванных резкопеременной, несимметричной нагрузкой, связанной с технологией электродугового расплава стали [1]. Кроме того, если на сетевых трансформаторах переключение режимов происходит несколько раз в год [2], то на печных трансформаторах оно осуществляется до 1 000 раз в сутки.

В электросталеплавильном цехе ОАО «ММК» на ДСП-180 работает печной трансформатор FTOHBR-150200/35 фирмы Tamini (Италия), а на агрегате «печь–ковш» (АПК) трансформатор ЭТЦНКВ-40000/110-УХЛ-4, изготовленный на ОАО «Электрозавод» [3]. Главным отличием трансформатора АПК является электропитание от высоковольтных вводов 110 кВ в отличие от трансформатора фирмы Tamini с питанием 35 кВ.

В настоящее время в России и за рубежом разрабатываются и активно внедряются стационарные системы онлайн-мониторинга параметров высоковольтных трансформаторов. На ОАО «ММК» подобная система технического состояния высоковольтных трансформаторов разработана на базе диагностического оборудования ОАО «Димрус» (г. Пермь) с использованием прибора непрерывного контроля газов и влажности масла Minitrans фирмы Kelman [4].

Создана автоматизированная система, позволяющая получать и сохранять значения ряда диагностических показателей, представленных в виде временны́х рядов, отражающих динамику изменения параметров [5].

Однако в настоящее время полученные с помощью автоматизированной системы данные используются довольно ограниченно. Оператором анализируется лишь превышение параметров обоснованных пороговых значений, определяющих степень опасности того или иного контролируемого параметра. Службами эксплуатации и технического контроля ОАО «ММК» для исследуемых трансформаторов были определены и согласованы два порога: порог ухудшенного состояния и порог предаварийного состояния [6].

Возникла проблема в создании дополнительной информационной системы, позволяющей получать достоверные выводы о техническом состоянии печного трансформатора без его разборки на основании получаемых временны́х рядов, в частности, создание современной системы диагностирования для раннего выявления развивающихся дефектов.

Диагностические параметры работы печного трансформатора несут информацию о его техническом состоянии. Практический опыт в области диагностирования сложных электротехнических систем показывает, что стойкое сочетание признаков, а также степень их связи друг с другом являются наиболее информативными характеристиками технического состояния системы.

Целью данной работы является создание математического и программного обеспечения, позволяющего с помощью корреляционного анализа выявлять взаимосвязи между контролируемыми диагностическими параметрами при наличии временно́го лага на основе эмпирических данных.

Диагностическими параметрами работы печного трансформатора являются следующие признаки: содержание водорода, ацетилена, оксида углерода в масле, влагосодержание масла, температура охлаждающей трансформатор жидкости, мощность частичных разрядов (ЧР) и пр.

Исходные экспериментальные данные представляют собой временны́е ряды. Значения параметров в определённые моменты времени называются уровнями ряда. Исходные ряды являются моментными рядами динамики, то есть уровни характеризуют значения показателя по состоянию на определённые моменты времени. При этом ряды являются неполными (или неравноотстающими), то есть даты регистрации следуют друг за другом с неравными интервалами.

Формально корреляционный анализ временны́х рядов можно обсуждать в тех же терминах, что и корреляционный анализ статистических рядов,

построенных по результатам одновременных наблюдений [7].

Выявление наличия связей между случайными величинами является областью *корреляционного анализа*. Количественно теснота парной связи между случайными величинами может быть определена коэффициентом корреляции r_{mk}. Коэффициент парной корреляции, показывающий тесноту связи между фактором x_m и фактором x_k,

$$r_{mk} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_{mi} - \bar{x}_m)(x_{ki} - \bar{x}_k)}{(N-1)\cdot \sigma_{x_m}\sigma_{x_k}}. \qquad (1)$$

Если связь между диагностическими параметрами значима и существенна $|r_{mk}| > 0,7$, то определение наиболее вероятного диагноза надо проводить с учётом этой связи диагностических параметров. Значит, параметры m и k связаны и их одновременное появление в будущем увеличивает вероятность определённого диагноза.

При статистическом исследовании реальных временны́х рядов, полученных для диагностических параметров печного трансформатора, возникают некоторые затруднения. Одной из проблем является то, что иногда один диагностический параметр действует на другой с некоторым запаздыванием, то есть происходит несовпадение по времени причины и следствия, и изменение одного параметра регистрируется раньше, чем происходит изменение другого параметра, зависящего от него. Происходит такая ситуация, при которой значения признака, наблюдаемого в данный промежуток времени, представляют собой результаты причин, действующих не только в этот же промежуток времени, но и в предшествующий период.

Сдвиги в явлениях могут возникнуть из-за разного рода нарушений, имеющих субъективный характер или из-за реальных объективных причин. Отставание значений одного статистического ряда относительно значений другого статистического ряда называется *лагом*. Статистические ряды, между которыми предполагается наличие зависимости, можно соотносить друг с другом и строить по ним регрессию с учётом поправки на величину лага. Если известно, что эффект от фактора возникает лишь через несколько последовательных промежутков времени наблюдений, то при построении регрессии значения одного из рядов сдвигаются на суммарную величину этих промежутков.

На рис. 1 показаны экспериментальные данные изменения температуры масла и влагосодержания в нём в трансформаторе ЭТЦНКВ-40000/110-УХЛ-4 за определённый период. Видно, что между температурой масла и его влагосодержанием прослеживается связь, причём сначала изменяется температура масла и через некоторое время в том же направлении изменяется содержание воды, то есть между ними есть существенная связь через определённый сдвиг по времени.

При исследовании диагностических параметров на предмет наличия между ними связи большой проблемой оказалось то, что временны́е ряды, получаемые в условиях реального производственного процесса, имеют разные шаги по времени, причём они непериодические и содержат разное количество точек на общем интервале времени (см. рис. 1). Так, ряд $T_м(t)$ представлен 123 точками, а ряд $W_м(\tau)$ — 151 точкой. Примерный вид непериодических шагов временных рядов показан на рис. 2. Данная проблема решалась приведением обоих временны́х рядов к одной временной шкале. Шаг для общей временной шкалы определялся на основании поступивших рядов, далее пересчитывались значения временны́х рядов $W_м$, $T_м$ для моментов времени общей шкалы. Для момента времени t_{wi} находилось приближенное значение W_i, для этого определялись последовательные моменты времени τ_k и τ_{k+1}, между которыми лежит значение t_{wi}.

Для нахождения значения $W'_{\tau i}$ применялась линейная интерполяция, то есть считалось что между известными значениями функция аппроксимируется отрезками прямой линии:

$$W'_{\tau i} = W_{tk} + \frac{W_{tk+1} - W_{tk}}{\tau_{k+1} - \tau_k}\left(t_{wi} - \tau_k\right). \qquad (2)$$

После того, как данные приведены к виду равноотстоящих временны́х рядов, проводился анализ по выявлению структуры изучаемых временны́х рядов. Временно́й ряд может быть подвержен циклическим колебаниям. Они могут носить периодический или близкий к периодическому характер, поскольку привязаны к различным циклическим технологическим воздействиям (например, в печном трансформаторе наблюдаются большие броски токов, повышение температуры масла и охлаждающей воды в периоды плавления лома в ДСП), колебаниям параметров окружающей среды и пр.

При наличии тенденции и циклических колебаний значения каждого последующего уровня ряда зависят от предыдущих значений. Корреляционную зависимость между последовательными уровнями временно́го ряда называют автокорреляцией уровня ряда. Количественно её можно измерить с помощью линейного коэффициента корреляции между уровнями исходного временно́го ряда и уровнями этого временно́го ряда, сдвинутыми на несколько шагов во времени. Формулу коэффициента автокорреляции можно записать следующим образом:

$$r_a = \frac{\overline{y_t \cdot y_{t+1}} - \overline{y_t}\cdot\overline{y_{t+1}}}{\sigma_{yt}\cdot\sigma_{yt+1}}, \qquad (3)$$

где σ_{yt}, σ_{yt+1} — среднеквадратическое отклонение рядов.

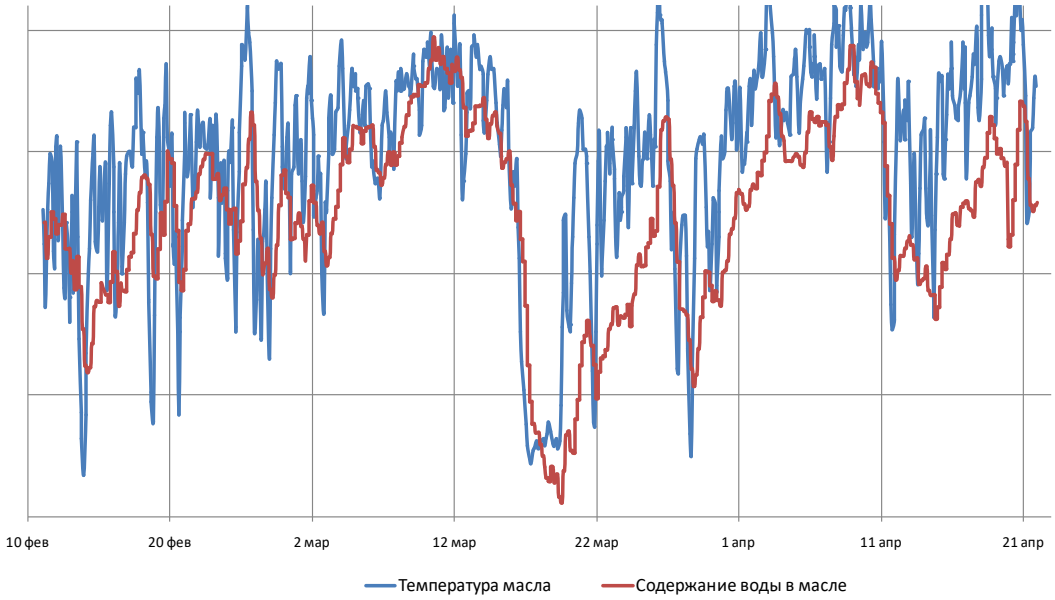


Рис. 1. Экспериментальные данные изменения температуры масла и влагосодержания в нём за период с 11.02 по 21.04.2015 г.

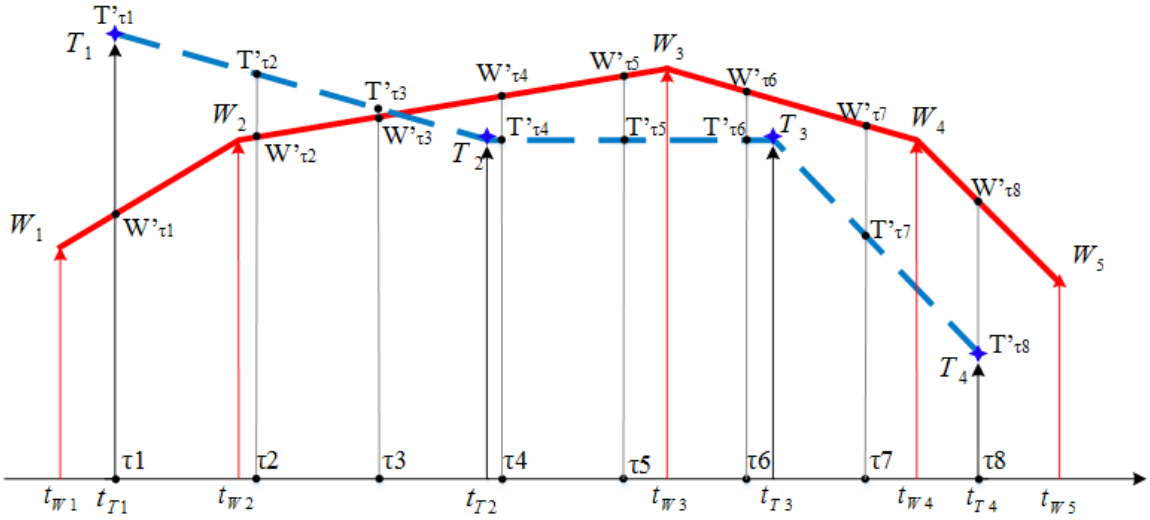


Рис. 2. Примерный вид непериодических временны́х рядов

Для суждения о наличии или отсутствии автокорреляции в исследуемом ряду фактическое значение коэффициентов автокорреляции сопоставляется с табличным. Если фактическое значение больше, чем табличное, то в ряду существует автокорреляция [8; 9]. Для исключения из рядов автокорреляции применим метод последовательных разностей.

После того, как данные приведены к равноотстоящей шкале и из них исключена автокорреляция, проводится их сглаживание и далее определяется временной лаг. Для этого получим корреляционную функция $r_{mk}(\tau)$ как множество коэффициентов парной корреляции между рядами $W_м$ и $T_м$, сдвинутыми по времени относительно друг друга на τ интервалов времени. Значение τ, при котором коэффициент корреляции будет максимальным и будет являться значением временно́го лага. Таким образом, отыскание временно́го лага можно свести к задаче поиска максимума функции $r_{mk}(\tau)$.

На основе данного алгоритма создан программный продукт, позволяющий автоматизировать процесс обработки двух временны́х рядов и поиска множества коэффициентов парной корреляции между рядами, сдвинутыми по времени относительно друг друга.

Для иллюстрации работы программного обеспечения выполнен анализ зависимости содержания воды в масле от его температуры (см. рис. 1). Зависимость этих двух параметров после приведения к одним временны́м значениям показана на рис. 3. Коэффициент парной корреляции составил $r = 0{,}78$.

Далее была получена корреляционная функция $r_{mk}(\tau)$ как множество коэффициентов парной

корреляции между рядами $W_м$ и $T_м$, сдвинутыми по времени относительно друг друга на τ интервалов времени. Расчётные значения этой функции представлены в виде графика на рис. 4. Видно, что между температурой масла и влагосодержанием в нём имеет место сильная связь, временно́й лаг составляет 12,89 часов. Наличие сильной связи подтверждает и зависимость содержания воды в масле от его температуры при временно́м сдвиге между признаками равном временному лагу (рис. 5). При этом коэффициент корреляции составляет $r_{\max}(12,89) = 0,953$.

На основании расчётов по обработке экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что два контролируемых параметра статистически связаны и на них влияет одна и та же причина. Скорее всего, в трансформаторе имеется влага, которая при повышении температуры переходит из твёрдой изоляции (или других каких-то элементов конструкции) в масло, а при снижении — из масла обратно в твёрдую изоляцию. С точки зрения надёжности работы всего агрегата выход влаги из изоляции в масло вблизи высоковольтных частей позволяет скапливаться большому количеству воды, которая под действием электромагнитного поля может образовать «каналы», что увеличивает риск повышенного износа или пробоя изоляции.

Выводы

1. Разработана математическая модель по выявлению взаимосвязи между контролируемыми диагностическими параметрами, включающая в себя алгоритм предварительной обработки данных, приведение временны́х рядов к одной временно́й шкале и нахождения временно́го лага.

2. Создано программное обеспечение, реализующее предложенный алгоритм, позволяющее по совокупности промышленных экспериментальных данных выявлять наличие взаимосвязи между контролируемыми диагностическими параметрами

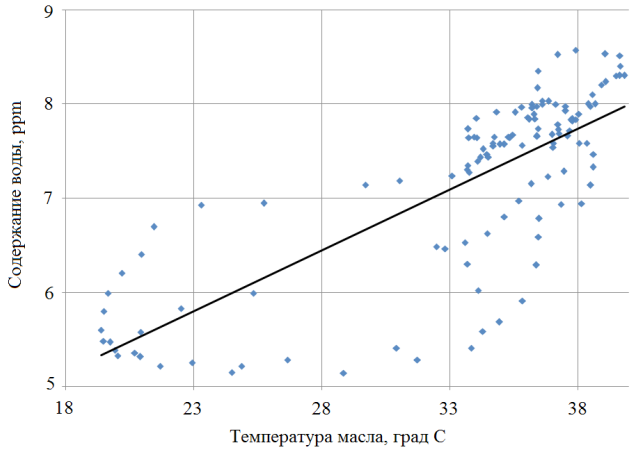


Рис.3. Зависимость содержания воды в масле от его температуры после приведения к одним временным моментам

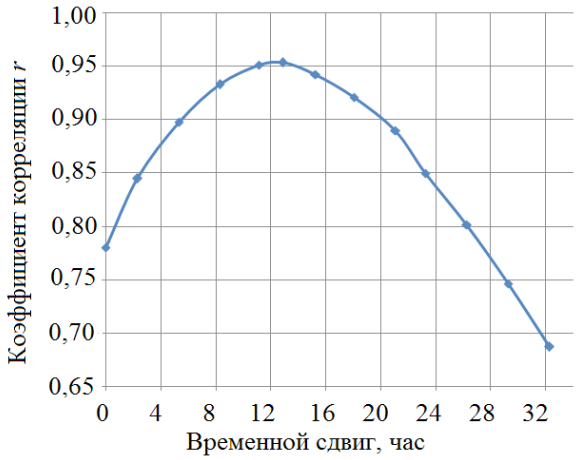


Рис. 4. Корреляционная функция между рядами $W_м$ и $T_м$

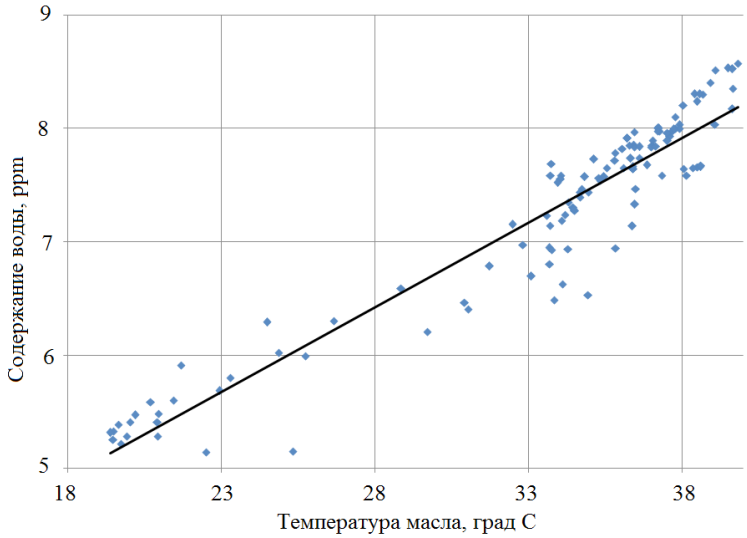


Рис. 5. Зависимость содержания воды в масле от его температуры при временном сдвиге между признаками, равном временному лагу

печного трансформатора при наличии временно́го лага.

3. Разработанная математическая модель, алгоритмы и программное обеспечение помогут более успешно ставить диагноз на основе выявления взаимосвязи между контролируемыми диагностическими параметрами, то есть более успешно диагностировать возможные отказы и неисправности печного трансформатора без его разборки.

Библиографический список

1. Карандаев, А. С. Требования к системе мониторинга технического состояния трансформатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи / А. С. Карандаев, С. А. Евдокимов, А. А. Сарлыбаев, Р. А. Леднов // Машиностроение : сетевой электрон. науч. журн. 2013. № 2. С. 58–68.

2. Карандаева, О. И. Характеристика повреждаемости сетевых и блочных трансформаторов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / О. И. Карандаева // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер. Энергетика. 2011. № 4. С. 15–20.

3. Karandaev, A. S. Diagnostic Functions of a System for Continuous Monitoring of the Technical Condition of the Transformers of Arc Steelmaking Furnaces / A. S. Karandaev, S. A. Evdokimov, V. R. Khramshin, R. A. Lednov // Metallurgist. 2014. Vol. 58, № 7–8. P. 655–663. DOI 10.1007/s11015-014-9972-5.

4. Karandaev, A. S. System for Real-Time Monitoring of the Technical State of a Transformer on an Ultrahigh-Power Electric-Arc Steelmaking Furnace / A. S. Karandaev, S. A. Evdokimov, V. R. Khramshin, A. A. Sarlybaev // Metallurgist. 2014. Vol. 58, № 9–10. P. 872–879. DOI:10.1007/s11015-015-0010-

5. Karandaev, A. S. Methods of Multi-Parameter Diagnostics of Electric Equipment Condition within On-line Monitoring Systems / A. S. Karandaev, I. M. Yachikov, V. R. Khramshin // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. P. 32–38. DOI: 10.1016/j.proeng. 2016.07.206

6. Карандаев, А. С. Задачи многопараметрического диагностирования технического состояния силовых трансформаторов в системах on-line мониторинга / А. С. Карандаев, И. М. Ячиков, В. Р. Храмшин, А. А. Николаев // Изв. высш. учеб. заведений. Электромеханика. 2016. № 4. С. 65–73.

7. Фёрстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа : рук. для экономистов / Э. Фёрстер, Б. Рёнц. М. : Финансы и статистика, 1983. 304 с.

8. Елисеева, И. И. Общая теория статистики : учебник / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев ; под ред. И. И. Елисеевой. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Финансы и статистика, 2004. 656 с.

9. Елисеева, И. И. Эконометрика : учебник / И. И. Елисеева, С. В. Курышева, Т. В. Костеева и др. ; под ред. И. И. Елисеевой. 2-е изд. М. : Финансы и статистика, 2005. 576 с.

Сведения об авторах

Ячиков Игорь Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. jachikov@mail.ru

Алферьева Мария Константиновна — магистрант кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. star00@list.ru

Николаев Артемий Андреевич — аспирант кафедры электроснабжения промышленных предприятий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. nicola1012@mail.ru

---

I. M. Yachikov, M. K. Alfer'eva, A. A. Nikolaev

MATHEMATICAL AND SOFTWARE TO ESTABLISH A RELATIONSHIP BETWEEN THE CONTROLLED DIAGNOSTIC PARAMETERS IN THE PRESENCE OF A TIME LAG

The link between the two diagnostic parameters of the furnace transformer can carry information about his technical condition. The paper presents a methodology for the analysis of the test parameters of the furnace transformer to identify the relationships between them in the presence of a time lag.

ББК 3844-02
УДК 621.3

И. М. Ячиков, Е. О. Кряжев, Ю. В. Кочержинская

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКТОРА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА ARDUINO

Рассмотрено устройство на базе контроллера Arduino для автоматизации измерения расхода воды и мощности тепловых потерь в лабораторном высокочастотном индукторе. Приведено описание работы устройства, алгоритм программы для контроллера и блок-схема алгоритма. Созданный аппаратный комплекс отображает на дисплее расход, температуры и мощность тепловых потерь. Предусмотрена возможность с использованием монитора последовательного порта полученные данные выдавать на монитор компьютера и сохранять их в виде файла.

Ключевые слова: *высокочастотный индуктор, микроконтроллер, arduino, автоматизация, тепловые параметры.*

Актуальность работы

Высокий интерес к высокочастотному индукционному нагреву связан прежде всего с появлением простых, надёжных и дешёвых высокочастотных источников питания. Такие устройства не сложнее бытовых сварочных инверторов с питанием от 220 В. Высокочастотное электромагнитное поле с частотой 30–200 кГц, создаваемое такими источниками, позволяет легко нагревать и плавить различные металлы и их сплавы.

С использованием дешёвой китайской элементной базы такой инвертор легко собрать в лабораторных условиях для использования для самых различных целей. В частности, в работах [1; 2] описаны эксперименты по изучению положения тела, находящегося во взвешенном состоянии в индукторе специальной формы. В качестве базовой схемы инвертора использовалась конструкция, предложенная С. В. Кухтецким [3]. Мощность инвертора изменялась до 2 кВт грубо — с помощью ЛАТРа и плавно — регулятором мощности на симисторе.

Медные трубки, образующие индуктор L и подводы к нему, при больших мощностях довольно сильно нагреваются, поэтому используется водяное охлаждение. Вода циркулирует по замкнутому контуру. Посредством водяного насоса (помпы) из бака она проходит через контур индуктора, далее попадает в радиатор, где отдаёт тепло в окружающую среду и далее вода возвращается в бак (рис. 1). Поскольку в контуре имеется высокое напряжение, предусмотрена электрическая развязка индуктора. Для этого подвод воды осуществляется тонкими длинными диэлектрическими трубами.

При проведении лабораторных исследований очень важно следить за процессом нагрева или плавления тела в индукторе. Во многом эти процессы

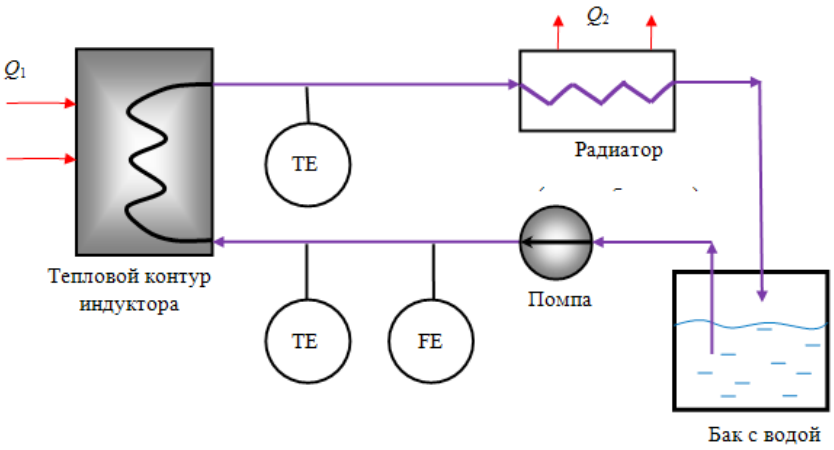


Рис. 1. Функциональная схема измерения мощности тепловых потерь индуктора: FE — датчик расхода воды; TE — датчик температуры (обозначения элементов по ГОСТ 21.404-85)

определяются полезной мощностью, поглощаемой обрабатываемым материалом, которая в свою очередь во многом определяется мощностью, снимаемой охлаждаемой водой. Надо сказать, что для рассматриваемого индуктора расход охлаждающей воды относительно небольшой — 1–3 л/мин. Анализ литературы и интернет-ресурсов показал, что полноценные устройства по приемлемой цене, которые могли бы справиться с этой задачей, практически отсутствуют. Существующие на рынке измерители тепловой мощности и теплосчётчики для данного диапазона расхода воды имеют относительно высокую стоимость при минимальном функционале, в частности, невозможность работы в автономном режиме или сохранения данных в памяти компьютера.

Целью данной работы являлось разработка простого и дешёвого устройства для определения тепловых характеристик индуктора с возможностью визуализации получаемых данных и передачи их в компьютер.

Для достижения этой цели были решены задачи по выбору аппаратных компонентов; сборке устройства и написанию программы, обеспечивающей корректную работу аппаратной части и удобную визуализацию измеряемых величин.

Сборка устройства

Для определения мощности, снимаемой охлаждаемой водой, необходимо измерять расход воды G (л/мин) и разницу температур воды, подаваемой t_1 и выходящей из индуктора t_2. Мощность тепловых потерь определяется по формуле $Q = cG(t_2 - t_1)/60$, где c = 4 190 Дж/(кг · К) — теплоёмкость воды.

В качестве базового компонента устройства был выбран контроллер ArduinoUno, поскольку данное семейство контроллеров при цене 4–6 долл. имеет хорошие технические характеристики и широкую поддержку в виде форума разработчиков, где можно найти ответы на многие вопросы. Также под контроллеры Arduino в бесплатном доступе есть множество различных библиотек программ, которые позволяют существенно упростить программную разработку, так как отпадает необходимость программировать многие датчики на машинном уровне [4]. Кроме этого, исходную программу можно писать на очень удобном Си-подобном языке высокого уровня.

Прибор состоит из платы ArduinoUno, двух датчиков температуры на основе микросхем Dallas 18B20, датчика расхода воды G3/4 Water Flow Sensor Fluid Flowmeter Switch Counter 1-30 L/min Meter и жидкокристаллического дисплея IIC/I2C/TWI 2004 204 20X4 Character LCD Display, позволяющего выводить 4 строки по 20 символов в строке.

Температурный датчик 18B20 [5] подключается к контроллеру тремя контактами, где 1 — земля (GND), 2 — сигнал (DQ), 3 — питание (VDD). Диапазон измерения датчика от –55 до +125 ˚С . Точность измерения в области температур от –10 до +85 ˚С составляет ±0,5 ˚С. Датчик DS18B20 является цифровым термометром с программируемым разрешением, от 9 до 12 бит, которое может сохраняться в EEPROM памяти прибора. DS18B20 обменивается данными по 1-Wire-шине и при этом может быть как единственным устройством на линии, так и работать в группе. Каждый DS18B20 имеет уникальный 64-битный последовательный код, который позволяет общаться со множеством датчиков DS18B20, установленных на одной шине 1-Wire. Все процессы на шине управляются микроконтроллером ArduinoUno.

Из пяти датчиков температуры были выбраны два, которые при измерении жидкости в диапазоне 20–50 ˚С давали отличие показаний в пределах ±0,1 ˚С.

Для измерения расхода воды использовались датчики G3/4 Water Flow Sensor Fluid Flowmeter Switch Counter1-60 L/min Meter [6] и Liquid Water Flow Sensor Switch Meter HallSensor Flowmeter 0,3–6 L/min [7]. Первый позволяет измерить расход от 1 до 60 л/мин, второй — от 0,3 до 6 л/мин. Точность измерения составляет ±3 %, температура жидкости не должна превышать 120 ˚С , а давление 1,2 МПа. В первом варианте устройства [8] был использован расходомер с диапазоном измерения 1–60 л/мин, но при расходе до 1 л/мин возникали проблемы с точностью измерения, поэтому для конкретного индуктора было решено использовать расходомер с диапазоном измерения в 0,3–6 л/мин. Принцип их работы основан на изменении скорости вращения крыльчатки ротора при изменении скорости потока воды, при этом ротор связан с датчиком Холла, который выдаёт цифровой сигнал.

Была проведена тарировка датчиков расхода. Результаты экспериментальных данных показаны на рис. 2. Для первого датчика найдена зависимость расхода воды (л/мин) от количества импульсов, выдаваемых им. При $G > 0{,}7$ л/мин данные хорошо ложатся на прямую линию $G(N) = 0{,}7496N + 0{,}23935$. Для второго датчика при $G > 0{,}3$ л/мин $G(N) = 0{,}01397N + 0{,}13270$.

С использованием датчиков температуры и расхода воды был создан программно-аппаратный комплекс для измерения тепловых параметров системы охлаждения лабораторного высокочастотного индуктора (рис. 3). Необходимо отметить, что стоимость двух датчиков температуры, датчика расхода воды, дисплея и контроллера составляет около 20 долл.

Программная реализация измерения тепловых параметров

В созданной программе для обеспечения соединения с датчиками температуры были использованы библиотеки *Wire.h*, *OneWire.h*, *DallasTemperature.h*, для вывода данных на LCD-дисплей — библиотека *LiquidCrystal_I2C.h*. Программа работает по алгоритму, блок-схема которого показана на рис. 4. После инициализации датчиков температуры, расхода и дисплея выполняется цикл, пока устройство включено.

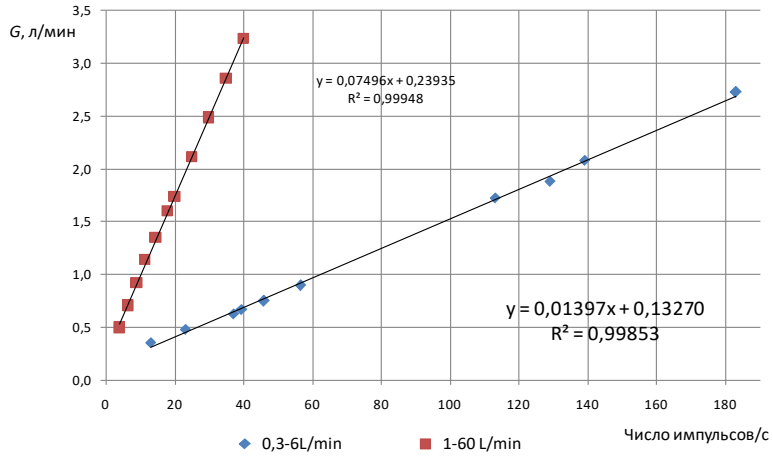


Рис. 2. Зависимость расхода воды от частоты получаемых импульсов

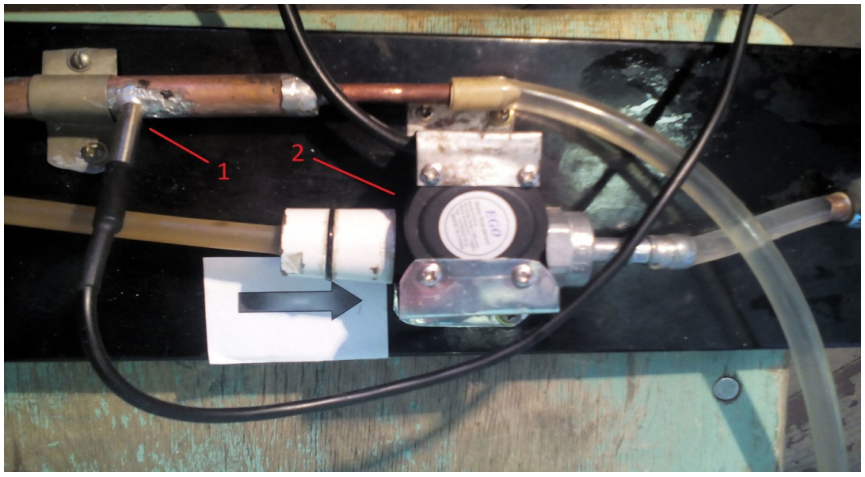


Рис. 3. Устройство для измерения расхода воды и мощности тепловых потерь в сборе: 1 — датчик температуры, 2 — датчик расхода воды

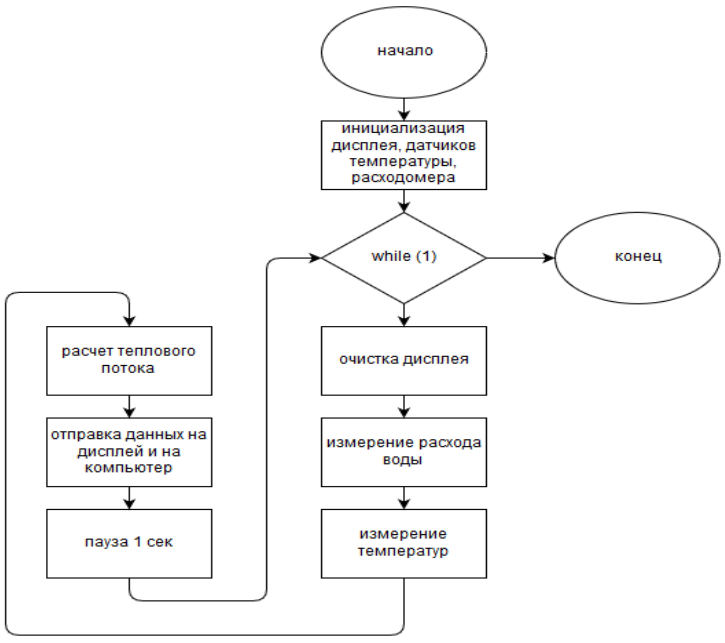


Рис. 4. Блок-схема алгоритма по измерению тепловых параметров

Далее приведён фрагмент кода, который описывает опрос двух температурных датчиков и вывод результатов измерений на LCD-дисплей:

```
sensors.requestTemperatures();
float temp1 = sensors.getTempC(insideThermometer);
float temp2 = sensors.getTempC(outsideThermometer);
lcd.print("t1=");
lcd.print(temp1);
lcd.print((char)223);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("t2=");
lcd.print(temp2);
lcd.print((char)223);
lcd.print("C");
```

При подсчёте импульсов с расходомере использовалась работа с прерываниями. В функции обслуживания прерывания происходит подсчёт импульсов, выдаваемых датчиком (переменная NbTopsFan).

```
NbTopsFan = 0;
//включение прерываний
sei();
//задержка на 0,5 секунды
delay (500);
//отключение прерываний
cli();
Calc = 0.0747*NbTopsFan+0.2424;
Функция прерывания:
voidrpm()
{
NbTopsFan++;
}
```

Работа с экраном организована таким образом, что сначала инициализируется дисплей, для этого задаются необходимые настройки с помощью функции *begin*. Затем можно выводить символы функцией *print*, для перемещения курсора используется функция *setCursor*. Было установлено, что данный дисплей не поддерживает русские символы (кириллицу), поэтому было принято решение закодировать необходимые символы кириллицы вручную как матрицу точек, и далее, загрузить их в память знакогенератора дисплея. Те буквы, у которых есть графические аналоги в латинском алфавите нарисованы не были, вместо них были использованы похожие латинские символы [9]. Далее приведено использование новых символов.

```
//Кодировка символов в виде массива байт (8*5)
(буквы л, м, и, н, т)
byte l[8] =
{B00000,B00000,B00110,B01010,B01001,B10001,B100
01,B00000};
byte m[8] =
{B00000,B00000,B10001,B11011,B10101,B10001,B100
01,B00000};
byte i[8] =
{B00000,B00000,B10001,B10011,B10101,B11001,B100
01,B00000};
byte n[8] =
{B00000,B00000,B10001,B10001,B11111,B10001,B100
01,B00000};
byte t[8] =
{B00000,B00000,B11111,B00100,B00100,B00100,B001
00,B00000};
//инициализация дисплея
lcd.begin(20, 4);
//загрузка символов в память дисплея
lcd.createChar(1, l);
lcd.createChar(2, m);
lcd.createChar(3, i);
lcd.createChar(4, n);
lcd.createChar(5, t);
/*печать символа из памяти дисплея, аргумент
функции write это номер символа загруженного в
память дисплея*/
lcd.write(byte(1));
```

Вывод данных на дисплей о расходе воды выглядит следующим образом.

```
lcd.print("L=");
lcd.print(Calc);
lcd.print(" ");
lcd.write(byte(1));
lcd.print("/");
lcd.write(byte(2));
lcd.write(byte(3));
lcd.write(byte(4));
```

Остальные значения выводились аналогично.

Работа устройства

После загрузки программы в контроллер Arduino устройство выдаёт на дисплей основные данные: температура на входе и на выходе из индуктора, расход воды и тепловой поток. Пример показаний дисплея устройства представлен на рис. 5. Созданный программно-аппаратный комплекс был опробован для измерения тепловых параметров системы охлаждения лабораторного высокочастотного индуктора и показал свою работоспособность и надёжность в условиях высокочастотных помех от индуктора. В частности, установлено, что тепловые потери с охлаждающей водой составляют 40–60 % от электрической мощности, поступающей в индуктор.

В разработанной программе (кроме автономного использования) предусмотрена возможность анализировать измеряемые и расчётные данные на экране монитора персонального компьютера. Для этого необходимо подключить Arduino к USB порту компьютера и в меню «Инструменты» подключить «Монитор последовательного порта». Поступающие данные с контроллера Arduino можно также сохранить, записав их в файл на жёсткий диск компьютера. Для этого необходимо открыть программу HyperTerminal, зайти в меню передача (*Transfer*) и выбрать запись протокола последовательного порта в файл (*Capture text*).

а)

б)

Рис. 5. Измеритель тепловых параметров системы охлаждения (2) лабораторного высокочастотного индуктора (1) (а) и дисплей устройства в момент работы (б)

Заключение

Таким образом, разработано и опробовано устройство, позволяющее измерять расход воды и тепловые потери лабораторного индуктора. Написана программа для контроллера для измерения и подсчёта тепловых потерь. Созданное устройство в отличие от существующих измерителей тепловой мощности и счётчиков тепловой энергии имеет относительно небольшую себестоимость, при этом позволяет гибко решать более широкие задачи с возможностью работы как элемента компьютерного комплекса, так и автономно.

Библиографический список

1. Ячиков, И. М. Положение равновесия тела во взвешенном состоянии в высокочастотном индукторе с обратным витком / И. М. Ячиков // Электротехн. системы и комплексы. 2014. № 3. С. 66–72.

2. Ячиков, И. М. Экспериментальное исследование положения тела во взвешенном состоянии в цилиндрическом высокочастотном индукторе с обратным витком / И. М. Ячиков, Т. П. Ларина // Электротехн. системы и комплексы. 2015. № 2(27). С. 39–43.

3. Кухтецкий, С. В. Простой лабораторный инвертор для индукционного нагрева [Электронный ресурс] / С. В. Кухтецкий. URL: http://www.icct.ru/Practicality/Papers/30-03-2010/Invertor-01.php или http://ku.nextmail.ru/pdf/Invertor-01.pdf

4. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин. СПб. : БХВ-Петербург, 2014. 400 с.

5. DatasheetDS18B20 [Электронный ресурс]. URL: https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf

6. DatasheetG3/4 WaterFlowSensor [Электронный ресурс]. URL: http://www.seeedstudio.com/wiki/G3/4_Water_Flow_sensor

7. DatasheetG1/4 WaterFlowSensor: [Электронный ресурс]. URL: https://lib.chipdip.ru/974/DOC000974409.pdf

8. Ячиков, И. М. Программно-аппаратный комплекс для измерения тепловых параметров системы охлаждения лабораторного высокочастотного индуктора / И. М. Ячиков, Е. О. Кряжев // Автоматизиров. технологии и производства. 2016. № 1 (11). С. 94–98.

9. DatasheetLCDDisplay 16x2 [Электронный ресурс]. URL: http://www.engineersgarage.com/sites/default/files/LCD%2016x2.pdf

Сведения об авторах

Ячиков Игорь Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. jachikov@mail.ru

Кряжев Егор Олегович — магистр кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. cat@catplusplus.ru

Кочержинская Юлия Витальевна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск. y.kocherzhinskaya@mail.ru

I. M. Yachikov, E. O. Kryazhev, Yu. V. Kocherzhinskaya

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR MEASUREMENT OF THERMAL PARAMETERS OF THE COOLING SYSTEM OF THE LABORATORY HIGH-FREQUENCY INDUCTOR BASED ON CONTROLLER ARDUINO

Considered the device on the basis of Arduino controller for automation of flow measurement and power of heat loss in a laboratory high-frequency inductor. The description of the device, program and algorithm for the controller flowchart. Created hardware system displays the flow, temperature and heating power losses. The possibility of using Serial Port Monitor to issue findings on the computer monitor and save them as a file.

Научное электронное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Труды Шестой Международной научной конференции

Банное, Россия, 1–5 марта 2017 года

Редактор *М. В. Трифонова*
Верстка и подготовка электронного издания *М. В. Трифоновой*

Подписано к использованию 03.04.17.
Уч.-изд. л. 45,1. Заказ 21. Тираж 100 экз.

Челябинский государственный университет
454001 Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129

Издательство Челябинского государственного университета
454021 Челябинск, ул. Молодогвардейцев, 57б