



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. М.В. ЛОМОНОСОВА**

**ФАКУЛЬТЕТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
МАТЕМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ**



СБОРНИК ТЕЗИСОВ ЛУЧШИХ ДИПЛОМНЫХ РАБОТ 2012 ГОДА

МОСКВА 2012

**ББК 22
С23**

*Данный сборник посвящается
100-летию со дня рождения
Бориса Владимировича Гнеденко –
выдающегося математика, крупного специалиста
в области теории вероятностей*

Сборник тезисов лучших дипломных работ 2012 года. М.:
Издательский отдел факультета ВМК МГУ (лицензия ИД № 05899
от 24.09.2001), 2012 – 190 с.

Редакционный совет сборника:

**Е. И. МОИСЕЕВ, С. А. ЛОЖКИН, Б. И. БЕРЕЗИН,
В. Н. ЛЫКОСОВ, С. М. НИКОЛЬСКИЙ, А. Н. ТОМИЛИН,
И. Г. ШЕВЦОВА, Ю. С. НЕФЕДОВА**

В настоящий сборник вошли тезисы выпускных квалификационных работ, выполненных студентами факультета Вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в 2012 году, представленные на конкурс лучших дипломных проектов.

ISBN 978–5–89407–483–2 © Нефедова Ю. С., Шевцова И.Г.
составление, оформление, 2012.
© Издательский отдел факультета ВМК МГУ
имени М.В. Ломоносова, 2012.

Оглавление

КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Галанин Валерий Евгеньевич

Контурный алгоритм обнаружения особенностей на изображениях
магнитно-резонансного томографа 12

Зимоздра Роман Евгеньевич

Численный анализ электродинамических характеристик
тороидальной диэлектрической антенны 13

Малахов Кирилл Владимирович

Методы регуляризации преобразования Радона в задачах
томографии 14

Михеев Евгений Борисович

Анализ речевой информации на основе метода разреженных
представлений 15

Сергеев Владимир Владимирович

Обработка и анализ области макулы на изображениях глазного дна 17

Устинов Владислав Дмитриевич

Математическое моделирование рассеяния лазерного пучка на
неоднородном ансамбле красных клеток крови 19

КАФЕДРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Буренко Илья Михайлович

Моделирование и визуализация пространственно-временной
динамики вирусной инфекции и иммунных реакций 21

Желтков Дмитрий Александрович

Улучшение стабильности тензорно-крестового метода 23

Тезисы лучших дипломных работ факультета ВМК МГУ 2012 года

Русаев Дмитрий Вячеславович

Численное моделирование кататических течений со
взвешенными частицами 25

Телятников Илья Сергеевич

Математические методы моделирования динамики квазивидов . . 27

КАФЕДРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Розанцев Артем Викторович

Разработка неотражающих краевых условий для нелинейного
многомерного уравнения Шредингера с потенциалом 29

Трыкин Евгений Михайлович

Эффективность использования метода Розенброка для
моделирования задач нелинейной оптики. 31

КАФЕДРА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЙ

Нефедов Павел Владимирович

Задачи для уравнений смешанного типа в случае трехмерных
областей 33

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Алексеев Дмитрий Владимирович

Применение изогеометрического метода для численного решения
эллиптических уравнений 36

Иванников Сергей Олегович

Разработка кода молекулярной динамики для изучения фазовых
переходов 38

КАФЕДРА НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ
УПРАВЛЕНИЯ

Мисатюк Наталья Сергеевна

Управление группой однотипных объектов 40

КАФЕДРА ОБЩЕЙ МАТЕМАТИКИ

Рогожников Алексей Михайлович

Исследование колебаний стержня, состоящего из нескольких
участков 42

КАФЕДРА КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ

Сковорода Никита Андреевич

- Рассеяние двухатомных молекул с учётом запутанных состояний электронов и ядер 44

КАФЕДРА ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ

Блинов Никита Глебович

- Теоретико-игровой анализ правил ранжирования рекламодателей в поисковых системах 46

Завгородний Николай Сергеевич

- Модель функционирования взлетно-посадочной полосы для оценки эффективности системы вихревого прогноза 49

Исмагилова Альфия Фаритовна

- Непрерывная модель крупных закупок с использованием меры риска 50

Некрасова Ольга Валерьевна

- Оптимизация резервов по портфелю страхования жизни 51

Одинокова Наталья Сергеевна

- Оптимизация страховой премии 53

Трофимов Сергей Александрович

- Исследование задач обеспечения безопасности с использованием математических моделей 54

КАФЕДРА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Губанова Маргарита Андреевна

- Задача оптимального управления для математической модели финансового кризиса 56

Дигаилова Анастасия Михайловна

- Оптимизация процессов разработки полезных ископаемых 58

Молчанов Александр Александрович

- Некоторые прикладные задачи теории оптимального управления . 59

Новикова Алина Олеговна

- Вычисление и визуализация множеств достижимости управляемых систем с использованием параллельных вычислений на графических процессорах 61

<i>Орлов Сергей Михайлович</i>	
Исследование некоторых нелинейных задач оптимального управления	62
<i>Романенко Юлия Александровна</i>	
Оптимальная гауссова аппроксимация в модели Изинга	64
<i>Самыловский Иван Александрович</i>	
Задача Годдарда для многоступенчатой ракеты	66
<i>Стрелковский Никита Витальевич</i>	
Имитационная модель взаимодействия экономических агентов в окружающей среде	67

КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

<i>Гончаров Андрей Сергеевич</i>	
Синтез оптимального управления в математической модели терапии лейкемии	70
<i>Мандельбаум Константин Андреевич</i>	
Эллипсоидальные оценки множеств достижимости гибридных систем	71
<i>Месяц Алексей Игоревич</i>	
Целевое управление эллипсоидальнозначным движением в условиях препятствий	73
<i>Одинокоев Данила Олегович</i>	
Координированное управление коллективным движением при внешнем ограничении	75
<i>Синяков Владимир Владимирович</i>	
Задача управления конкретной нелинейной системой	76
<i>Сорокин Игорь Сергеевич</i>	
Алгоритм оценки кривой доходности по нескольким группам облигаций с оптимальным выбором весов	77
<i>Степанович Валентин Анатольевич</i>	
Задача отслеживания движения при коммуникационных ограничениях	79
<i>Ульянов Николай Николаевич</i>	
Точные решения распределённой модели квазивидов	81
<i>Фатеев Кирилл Геннадьевич</i>	
Многокритериальные задачи анализа раковых опухолей	82

КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Ермаков Игорь Юрьевич

- Методы стохастического управления в задаче финансового арбитража 84

Целищев Михаил Андреевич

- Диверсификация и её связь с мерами риска 85

КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Антипов Григорий Михайлович

- Метод построения огибающей циркулярного графа 87

Бондаренко Николай Николаевич

- Нетрадиционные логические методы распознавания 89

Колесников Александр Александрович

- Прогнозирование вероятности кликов на новые рекламные объявления 91

Макарова Елена Юрьевна

- Непрерывные алгоритмы морфологического анализа и сравнения листьев растений 92

Онищенко Алина Андреевна

- Методы анализа формальных понятий в задачах классификации . 93

Суворов Михаил Андреевич

- Методы агрегирования метрических описаний на основе оптимальной матричной факторизации 95

КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

Авдюнин Максим Андреевич

- Исследование практической применимости атаки встречи посередине с отражением 97

Кафтан Дарья Владимировна

- Специальные задачи теории бесповторных функций 99

Ковтунова Алиса Николаевна

- Алгоритмы гомоморфного шифрования 100

Коноводов Владимир Александрович

- Методы синтеза и оценки сложности схем с некоторыми структурными ограничениями 101

Морозов Евгений Валерьевич

О тестах для булевых функций при некоторых неисправностях переменных 103

Николаев Максим Владимирович

Алгоритм решения двумерной задачи дискретного логарифмирования в группе точек эллиптической кривой с эффективным гомоморфизмом 105

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Афанасьев Владимир Владимирович

Визуализация сцен с преломляющими объектами модифицированным методом трассировки пучков 106

Афанасьева Александра Евгеньевна

Моделирование тонкопленочных покрытий 108

Беликов Владимир Юрьевич

Анализ фрактальной структуры временных рядов 110

Зипа Кристина Сергеевна

Моделирование восприятия разночастотных сигналов стереозрением человека 112

Лихогруд Николай Николаевич

Распознавание нейронных сигналов методами машинного обучения 114

Носеевич Георгий Максимович

Обнаружение уязвимостей авторизации в веб-приложениях 116

Пестун Максим Вадимович

Система моделирования поведения (навигации) человека в виртуальных средах 118

Плакунов Артем Владимирович

Алгоритмы построения расписания обменов по каналу с централизованным управлением на основе схемы муравьиных колоний 120

Сахаров Артур Сергеевич

Распознавание жестов с помощью Microsoft Kinect 122

Щербинина Анастасия Алексеевна

Обнаружение полиморфного шеллкода в сетевом трафике на основе подобиya 123

КАФЕДРА АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ЯЗЫКОВ

Баранов Михаил Игоревич

Алгоритмы локального поиска 125

Клычков Денис Михайлович

Интерпретатор языка Плэнер для многостилевого окружения . . . 127

Кудасов Николай Дмитриевич

Инкрементальные структуры данных для многостилевого окружения 128

Куликов Василий Владимирович

Диалект языка Лисп для обработки электронной почты 130

Межебицкий Анатолий Алексеевич

Разработка и оптимизация высоконагруженных интернет приложений реального времени 132

Мытрова Марина Вячеславовна

Информационный поиск на основе методов автоматических рассуждений 135

Родионов Алексей Вадимович

Разработка системы поиска нот с использованием закономерностей построения музыкальных произведений 136

КАФЕДРА СИСТЕМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Бартунов Сергей Олегович

Методы идентификации пользователей в онлайн-социальных сетях 138

Вартанов Сергей Павлович

Динамический анализ Java-приложений при помощи инструментирования байт-кода и отслеживания помеченных данных 140

Коваленко Алина Игоревна

Преобразование программ на языке C-DVM в программы для кластера 141

Куприк Илья Владимирович

Предсказание времени и эффективности выполнения программ на графических процессорах 144

Мандрыкин Михаил Усамович

Моделирование памяти при верификации программ методом CEGAR145

Меркулов Алексей Павлович

Разработка компиляторных методов программирования ПЛИС с использованием открытых стандартов 147

Пироженко Александр Александрович

Построение наукометрического показателя, устойчивого к спаму . 149

Платонов Владимир Александрович

Разработка системной поддержки программирования ПЛИС как акселератора 150

Спицальский Дмитрий Станиславович

Использование MapReduce и параллельных СУБД для задач анализа данных 152

ОТДЕЛЕНИЕ БАКАЛАВРИАТА

Жайворонок Юрий Юрьевич

Анализ одной системы шифрования видеоданных на основе итерационных алгоритмов решения задачи изоморфизма матриц . 153

Казарян Наир Ваникович

Разработка специализированных социальных сетей 155

Сасов Дмитрий Александрович

Расширение средств мониторинга системного уровня для анализа производительности суперкомпьютерных приложений 157

ОТДЕЛЕНИЕ МАГИСТРАТУРЫ

Крюков Сергей Александрович

Модель специализированного предметного поиска 158

Левашов Алексей Евгеньевич

Метод поиска параметрических кривых на цифровых изображениях 159

Мингалеева Зухра Тагировна

Теорема о неявной функции и локальная разрешимость управляемых систем 161

Огнев Александр Игоревич

Некоторые оценки параметров локальных аффинностей булевых функций 163

ТЕМЫ ДИПЛОМНЫХ РАБОТ, ЗАЩИЩЕННЫХ ВЫПУСНИКАМИ 2012 ГОДА (ОТДЕЛЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ) 165

ТЕМЫ ДИПЛОМНЫХ РАБОТ, ЗАЩИЩЕННЫХ ВЫПУСНИКАМИ 2012 ГОДА (ОТДЕЛЕНИЕ БАКАЛАВРИАТА)	187
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	189

**КОНТУРНЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ
ОСОБЕННОСТЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ
МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО ТОМОГРАФА**

Галанин Валерий Евгеньевич

E-mail: galaninvalery@gmail.com

Кафедра математической физики

Научный руководитель: проф., д.ф.-м.н. Крылов А.С.

В работе предложен, исследован и программно реализован метод полуавтоматической сегментации очагов диффузно-аксонального повреждения (ДАП).

ДАП относится к виду тяжелых черепно-мозговых травм и проявляется на изображениях магнитно-резонансной томографии в виде небольших темных пятен. Задача полуавтоматической сегментации состоит в точной фиксации области повреждения в выбранном врачом-радиологом на изображении регионе интереса. Дополнительно решена задача сопоставления выделенной области с данными ангиографического исследования головного мозга, для определения, является ли область очагом ДАП или кровеносным сосудом. Данное сопоставление позволяет существенно сократить объем ручной работы врача, связанный с просмотром набора изображений для каждого подозрительного случая.

Метод, предложенный для сегментации очагов повреждения, основывается на контурном алгоритме построения линий уровня [1]. Общая схема алгоритма выглядит следующим образом:

- На некотором интервале строится набор замкнутых линий уровня.
- Для каждой линии уровня строится вектор, состоящий из инвариантных характеристик области.
- Линии, выделяющие очаги повреждения отделяются от остальных по методу опорных векторов [2].

Метод был протестирован на наборах изображений, полученных в НИИ НДХиТ (клиника Рошалья) и показал свою эффективность в терминах ошибок первого и второго рода. Был проведен подробный статистический анализ инвариантных характеристик, используемых для создания обучающей выборки, а также было выполнено сравнение с известным алгоритмом сегментации медицинских изображений ISODATA [3]. Основными достоинствами метода является точность выделения границ области повреждения, а также фиксация практически всех, интересующих врача областей.

Для программной реализации метода было разработано настольное приложение с помощью среды разработки Microsoft Visual Studio 2010, системы создания настольных приложений Windows Presentation Foundation, используемый язык программирования – C#. Приложение разработано на основе шаблона проектирования Model-View-ViewModel.

Результаты данной работы частично опубликованы на международной конференции [4], а также в журнале списка ВАК [5].

Литература

1. Перебрин А. В. *Построение изолиний с автоматическим масштабированием* // Вычислительные методы и программирование, Т. 2, 2001, стр. 22.
2. C. Cortes, V. Vapnik. *Support-Vector Networks* // Machine Learning, Vol. 20, pp. 273-297, 1995.
3. Ball, Geoffrey H.; Hall, David J. *Isodata, a novel method of data analysis and pattern classification* // Tech. Rep. Stanford University, Stanford, CA, 1965.
4. Senyukova O. V., Galanine V. E., Krylov A. S., Petraikin A. V., Akhadov T. A., Sidorin S. V. *Diffuse axonal injury lesion segmentation using contouring algorithm* // 21-th International Conference on Computer Graphics GraphiCon'2011. Moscow, Russia, 2011, pp. 84-87.
5. Сеньюкова О. В., Галанин В. Е. *Выделение областей интереса на основе классификации изолиний* // Программные продукты и системы, №1, 2012, стр. 52-55.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРОИДАЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Зимоздра Роман Евгеньевич

E-mail: bigzim@rambler.ru

Кафедра математической физики

Научный руководитель: проф. Зазаров Евгений Владимирович

В дипломной работе рассмотрена математическая модель линзовой антенны в форме тора с облучателем, помещённым на оси вращения.

Трёхмерная граничная задача для уравнений Максвелла была скаляризована и сведена к задаче на полуплоскости. Для её решения применялся метод интегральных уравнений. Подробный вывод интегрального уравнения Фредгольма второго рода по области описан в книге [1]. Поскольку ядро полученного уравнения является фредгольмовым, справедливы теоремы существования, единственности и устойчивости решения. С помощью метода коллокации интегральное уравнение было сведено к системе линейных алгебраических уравнений. Подробнее о методе коллокации можно прочитать в книге [2]. Численное решение было получено из СЛАУ итерационным методом Якоби.

В работе проведён анализ характеристик антенны, представляющих собой функционалы от решения. Наибольшее внимание уделено

диаграмме направленности. Изучены её основные свойства, а также поведение в зависимости от параметров: размеров антенны, частоты излучения и положения источника на оси. Полученные результаты согласуются с имеющимися экспериментальными данными, приведёнными в книге [3] и статье [4].

Данная работа является одной из первых, где тороидальная антенна исследовалась подобным образом. Ранее для этой цели применялись либо методы физической оптики, либо сравнение со сферическими антеннами.

Литература

1. Дмитриев В. И., Захаров Е. В. *Метод интегральных уравнений в вычислительной электродинамике*. М.: МАКС Пресс, 2008.
2. Захаров Е. В., Пименов Ю. В. *Численный анализ дифракции радиоволн*. М.: Радио и связь, 1982.
3. Пименов Ю. В. *Линейная макроскопическая электродинамика*. М.: Интеллект, 2008.
4. Zakharov E. V., Levchenko S. N., Kharlanov Yu. Ya. *Investigation and Optimization of Characteristics of Toroid Lens Antennas* // Journal of Communications Technology and Electronics, Vol. 43, No. 5, 1998, pp. 524–526.

МЕТОДЫ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДОНА В ЗАДАЧАХ ТОМОГРАФИИ

Малахов Кирилл Владимирович

E-mail: kirillm100@rambler.ru

Кафедра математической физики

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Дмитриев Владимир Иванович

В работе рассмотрено преобразование Радона для задач компьютерной томографии с регуляризацией. Получены аналитические формулы для обратной задачи, а также для обратной задачи с регуляризацией. Для более качественного и точного исследования был разработан алгоритм получения исходных данных без использования интерполяции. Все алгоритмы реализованы в программном комплексе с применением параллельного программирования на основе технологии CUDA. Тем самым скорость вычисления возросла на порядок. Это позволяет в дальнейшем рассматривать варианты обработки в режиме реального времени или разработки трехмерной томографии.

Проведен сравнительный анализ различных способов регуляризации. Выведены необходимые формулы для численных экспериментов, а сам численный эксперимент проведен на реальных данных. Как было показано, локальная регуляризация лучше справляется с задачей восстановления сильно зашумленных данных, чем остальные методы,

но этот способ требует больше вычислений. Глобальная регуляризация восстанавливает хуже, но в большинстве случаев результаты вполне удовлетворительны, а иногда и ничем не уступают локальной регуляризации. Метод без регуляризации показал себя хуже остальных, но требования к вычислительным возможностям системы самые низкие. Также с использованием локальной регуляризации можно восстанавливать объекты, информация о которых получена не полностью (томография земной поверхности при поиске полезных ископаемых), что раньше возможно было только с помощью алгебраических методов, требующих намного больше ресурсов вычислительных систем. При выборе способа восстановления необходимо ориентироваться на априорные данные исследуемого объекта.

Литература

1. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я., Тимонов А. А. *Математические задачи компьютерной томографии*. Москва: Наука, 1987.
2. Троицкий И. Н. *Статистическая теория томографии*. Москва: Радио и связь, 1989.
3. Арсенин В. Я., Криксин Ю. А., Тимонов А. А. *Метод локальной регуляризации линейных операторных уравнений I рода и его приложения* // Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1988, т. 28:6, с. 793-808.
4. Natterer F. *The Mathematics of Computerized Tomography* SIAM: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2001.
5. Herman G. T. *Fundamentals of computerized tomography: Image reconstruction from projection, 2nd edition* Springer, 2009.

АНАЛИЗ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РАЗРЕЖЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Михеев Евгений Борисович

E-mail: mikheevgeny@gmail.com

Кафедра математической физики

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Лукин Алексей Сергеевич

В работе рассматривается задача автоматической идентификации диктора (АИД), т.е. определения личности говорящего человека по акустическим признакам его голоса и базе данных голосов. Данная задача встает во многих предметных областях (например: система автоматического поиска преступников с помощью телефонной связи или системы телефонного шпионажа). В работе также рассматривается задача сегментации звуковых файлов на дикторов (диаризации) [1], т.е.

получения разметки речевых фрагментов в записях с речевым данными одного или нескольких дикторов.

Существует множество подходов к решению задачи АИД, наиболее популярные из которых GMM-EM [2] и GMM-SVM [3]. В качестве акустических признаков почти во всех существующих системах используются мел-кепстральные коэффициенты [4]. В работе предложен метод идентификации диктора, основанный на разреженных представлениях [5]. В качестве классификаторов были использованы GMM-супервектора [6]. Данный классификатор строится методом МАР-адаптации [7], с помощью универсальной фоновой модели [7], обученной на всей базе.

Пусть есть множество N непересекающихся классов дикторов, каждый класс представлен одним GMM-супервектором. Пусть есть супервектор, построенный на записи диктора, входящего в это множество. Тогда существует линейное разложение данного супервектора по супервекторам из данного множества, причем в идеальном случае только один из коэффициентов разложение отличен от нуля. Таким образом возникает недоопределенная СЛАУ. В работе рассматривается описанная выше задача, в предположении, что классы дикторов могут пересекаться.

Была разработана система идентификации диктора, основанная на предложенном методе, в которую был интегрирован модуль диаризации, основанный на СПО «LIUM SpkDiarisation» [8]. Система была протестирована на базе русскоговорящих дикторов телефонного качества, содержащей 47 дикторов. Каждый диктор представлен в среднем 5 записями. Используемый алгоритм идентификации диктора превосходит результаты других алгоритмов, полученных на той же самой базе, в среднем на 1,5%. Тестирование разработанной системы идентификации диктора с использованием модуля диаризации показало эффективность предложенных алгоритмов.

Литература

1. Evans N., Bozonnet S., Wang D., Fredouille C., Troncy R. *A comparative study of bottom-up and top-down approaches to speaker diarization*. EURECOM, vol. 20, pp. 382 - 392, 2012.
2. McKenzie P., Adle M. *The EM algorithm used for Gaussian mixture modeling and its initialization*. Pattern Recognition in practice IV, Vlieland, p. 91–105, 1994.
3. Campbell W. M., Campbell J. P., Reynolds D. A., Singer E. and Torres-Carrasquillo P. A. *Support vector machines for speaker and language recognition*. Comput. Speech Lang., т. 20, pp. 210-229, 2006.
4. Zheng F., Zhang G., Song Z. *Comparison of Different Implementations of MFCC*. J. Computer Science & Technology, pp. 582-589, 2001.

5. Elad M. *Sparse and Redundant Representations*. New-York: Springer, 2010.
6. Campbell W. M., Sturim D. E., Reynolds D. A. *Support Vector Machines using GMM Supervectors for speaker verification*. IEEE Signal Processing Letters, т. 13, p. 308– 311, 2006.
7. Reynolds D. A., Quatieri T. F., Dunn R. B. *Speaker Verification Using Adapted Gaussian Mixture Models*. Digital Signal Processing 10, pp. 19-41, 2010.
8. Meignier S., Merlin T. *LIUM SPKDIARIZATION: AN OPEN SOURCE TOOLKIT FOR DIARIZATION* France:LIUM, 2010.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ОБЛАСТИ МАКУЛЫ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ГЛАЗНОГО ДНА

Работа удостоена диплома II степени

Сергеев Владимир Владимирович

E-mail: vladsergeev@yandex.ru

Кафедра математической физики

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Крылов Андрей Сердэжесвич

Практически все заболевания глаз, даже на ранних стадиях, проявляются в виде участков поражения глазного дна, что позволяет на основе их своевременного обнаружения и диагностики предпринимать меры по их лечению. Одно из наиболее распространённых заболеваний глаз - диабетическая ретинопатия, которая на разных стадиях развития вызывает специфические поражения ткани глазного дна.

В данной дипломной работе использована выборка изображений глазного дна, предоставленная врачом-офтальмологом Родиным А.С. (факультет фундаментальной медицины МГУ им. М.В.Ломоносова) с разных non-mydiatic глазных камер.

Большинство заболеваний, представляющих опасность для зрения человека, проявляется именно в центральной части глаза - в макуле. Поэтому, для обнаружения экссудатов не рассматривается всё изображение глазного дна, а только его центральная часть.

Предобработка изображения включает в себя выравнивание освещения для зелёного канала изображения. Проводится математическое морфологическое раскрытие и закрытие для зелёного канала изображения с выровненным освещением и повышенным контрастом. В каждом пикселе вычисляется значение вариационной характеристики по формуле:

$$Std(x) = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i \in W(x)} (I(i) - \mu(x))^2.$$

По заданному порогу определяются области предполагаемых кандидатов. Области кандидаты заполняются средним значением фона изображения,

из исходного изображения вычитается изображение без микроаневризм и проводится пороговая обработка.

Для нахождения тёмных микроаневризм берётся изображение с выровненным освещением и увеличенным контрастом. Проводится медианное размытие. В каждом пикселе макулы вычисляется корреляция разности функции интенсивности и ее среднего значения I_{mean} в области вокруг рассматриваемого пикселя и функции Гаусса G :

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (I_{mn} - I_{mean})(G_{mn} - G_{mean})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (I_{mn} - I_{mean})^2} \cdot \sqrt{\sum_m \sum_n (G_{mn} - G_{mean})^2}},$$

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}.$$

Каждому пикселю изображения глазного дна алгоритм ставит в соответствие максимальное значение корреляционной функции при различных дисперсиях и проводится пороговая обработка. Дальнейшая часть алгоритма сводится к разделению истинных микроаневризм от ложных областей.

Берётся маска сосудов, которая вычисляется на предыдущих этапах и убираются из рассмотрения области с большим значением компактности. Для полученных областей применяется метод разрастания регионов.

Был применен метод опорных векторов (SVM алгоритм). Брались в рассмотрение следующие свойства: размер области, периметр, отношение яркости области к средней яркости фона, компактность и среднее значение вариационной характеристики на границе области.

В дипломной работе проанализированы особенности разработанных ранее другими авторами методов выявления заболеваний глаз, в том числе диабетической ретинопатии, по изображениям глазного дна. На основе анализа разработан и реализован алгоритм автоматического выделения поражённых участков макулы при диабетической ретинопатии с достаточно высокой точностью обнаружения ярких и тёмных микроаневризм на изображениях глазного дна.

Проведено тестирование алгоритма на изображениях, предоставленных врачом-офтальмологом, и из тестового набора Mesidor (чувствительность порядка 85 процентов, специфичность порядка 89 процентов).

Литература

1. Walter T., Klein J., Massin P., Erginay A. *A Contribution of Image Processing to the Diagnosis of Diabetic Retinopathy-Detection of Exudates in Color Fundus Images of the Human Retina*. IEEE Trans Med Imaging. 2002 v. 21(10), pp. 1236-43.

2. Zhang B., Wu X., You J., Li Q. *Hierarchical Detection of Red Lesions in Retinal Images by Multiscale Correlation Filtering*. SPIE Medical Imaging 2009: Computer-Aided Diagnosis, art. no. 72601L, 2009
3. Крылов А., Насонов А., Семашко А., Черноморец А., Сергеев В., Акопян В., Родин А., Семёнова Н. *Компьютерный анализ изображений глазного дна*. 8-я Российско-Баварская конференция по биомедицинской инженерии. Санкт-Петербург, 2012, с. 129-133.
4. Chernomorets A., Krylov A., Nasonov A., Semashko A., Sergeev V., Akopyan V., Rodin A., Semenova N. *Automated processing of retinal images*. 21th International Conference on Computer Graphics Graph-iCon2011, Moscow, 2011. pp. 78-81.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА НЕОДНОРОДНОМ АНСАМБЛЕ КРАСНЫХ КЛЕТОК КРОВИ

Работа удостоена диплома I степени

Устинов Владислав Дмитриевич

E-mail: vladustinov90@gmail.com

Кафедра математической физики

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Федотов Михаил Валентинович

Данная работа посвящена математическому моделированию рассеяния лазерного излучения красными клетками крови. Главные актуальные вопросы рассматриваемой области следующие. Возможно ли по виду получающейся дифракционной картины (ДК) определить размер облучаемого эритроцита, его форму (цилиндр, шар, сфероид, двояковогнутый диск), концентрацию гемоглобина внутри клетки? При исследовании множества частиц можно ли рассчитать усреднённые величины, такие как средний размер облучаемых частиц? Каким требованиям должна удовлетворять для этого экспериментальная установка? Каким должен быть алгоритм обработки экспериментальных данных?

Красные клетки крови и другие малые частицы, находящиеся в крови, играют очень важную роль в функционировании человеческого организма. Известны различные подходы к измерению свойств эритроцитов. Их можно наблюдать с помощью микроскопов очень высокого разрешения, можно мерить объём крови, прошедшей через трубки микронных размеров, и др. Однако предложенный в 1975 году [1] метод лазерной дифрактометрии по многим параметрам превосходит предшествующие аналоги. В целом, этот метод состоит в исследовании ДК (т.е. интенсивность рассеянного поля) лазерного света, облучающего эритроциты. Такой подход открывает возможность создания новых приборов, куда более простых в производстве (а значит и более дешёвых),

нежели сверхточные микроскопы, и дающих куда больше информации об исследуемых частицах в сравнении с микронными трубками. Сегодня, такие приборы уже существуют, см. например эктацитометры. Однако целый класс задач математической обработки получаемых данных, а также и некоторые вопросы постановки эксперимента всё ещё остаются открытыми в данной области.

Действуя в рамках лазерной дифрактометрии, мы рассчитали, как особенным образом заданная видность ДК зависит от разброса частиц по размерам, т.е. грубо говоря, от того насколько облучаемые частицы разные по размерам. Эта зависимость оказалась монотонной, что позволяет при определённых достижимых в эксперименте условиях по известной *легко измеряемой* величине — видности ДК — сделать вывод о величине разброса эритроцитов по размерам. Этот результат частично опубликован в нашей статье [2] и является основным практическим достижением и главной целью этой работы. Вопросу о данной зависимости посвящена глава первая.

Для расчёта каждой отдельной ДК при заданных облучаемых частицах ставится краевая задача для уравнений Максвелла со специальными граничными условиями, например Дирихле. Уравнения Максвелла записываются везде во вне частицы, а её граница и есть граница области вычислений. Для решения таких задач мы тщательно выбираем наиболее подходящий для нашей ситуации метод. Таким образом был сделан современный обзор по этой теме, причём мы концентрировались именно на частицах со свойствами кровеных телец. Собранные научные сведения ценны, как серьёзное дополнение единственного современного аналогичного обзора [3] о рассеянии света на эритроцитах. По итогам обзора для вычисления различных ДК был выбран метод Аномальной Дифракции [4].

Мы рассчитали указанную выше зависимость, выбирая разные входные параметры, такие как длина падающей волны, расстояние до экрана наблюдения, количество частиц. Оказалось, что на найденную зависимость эти величины влияют очень слабо. Далее мы выбирали разные типы облучаемых ансамблей. Во-первых, когда есть всего два типа частиц — меньшие и большие, затем когда они распределены равномерно от малых радиусов к большим, и наконец когда они распределены как функция Гаусса. Оказалось, что полученная функция-зависимость остаётся практически одной и той же для каждого из распределений. Также важно отметить, что она является строго монотонной, что позволяет по измеряемой видности найти величину разброса частиц по размерам. В этом и состоит практический результат данной работы.

Эта работа проводилась совместно между кафедрой математической физики ВМК МГУ и лабораторией биофотоники Физфака МГУ. В частности, мы благодарим коллектив лаборатории биофотоники за постановку задачи.

Литература

1. Mohandas N., Bessis M. *Blood cells*. 1:307, 1975.
2. А.В. Приезжев, В.Д. Устинов, С.Ю. Никитин, А.Е. Луговцов. *Связь между видностью дифракционной картины и разбросом частиц по размерам в этакциометре*. Квантовая электроника, 41(9):843–846, 2011.
3. Elena Eremina, Roman Schuh, Thomas Wriedt, Jens Hellmers. *Light scattering by single erythrocyte: Comparison of different methods*. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 100:444–456, 2006.
4. Geert. J. Streekstra, Alfons G. Hoekstra, and Robert M. Heethaar *Anomalous diffraction by arbitrarily oriented ellipsoids: applications in ektacytometry* Applied Optics, 33 (31), 1994.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ И ИММУННЫХ РЕАКЦИЙ

Буренко Илья Михайлович

E-mail: iburenko@gmail.com

Кафедра вычислительных технологий и моделирования

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Бочаров Геннадий Алексеевич

В настоящем исследовании рассмотрены способы визуализации пространственно-временной динамики вирусной инфекции во вторичных лимфоидных органах. В ходе инфекции органы способны изменять объём в зависимости от некоторого параметра, например, концентрации вируса. Разработана интерактивная система моделирования и визуализации, которая позволяет задавать набор параметров математической модели, описывающей динамику инфекции, и визуализировать решение математической модели с помощью трёхмерных геометрических моделей. В качестве математической модели инфекции рассматривалась система дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом, которая описывает динамику концентрации вируса, интерферона, количества заражённых и инфицированных плазматцитоидных дендритных клеток и макрофагов [1]. Разработан графический интерфейс пользователя средствами MATLAB, который позволяет задавать временной интервал, на котором решается система уравнений, начальную концентрацию вируса, а так же набор параметров, входящих в систему уравнений. Интерфейс позволяет пользователю строить графики компонентов решений системы, выбирать набор отображаемых графиков. Рассмотрены два подхода к созданию трёхмерной модели органов: полигональная (используя Blender) и метод на основе R -функций [2]. Полигональная

модель проще реализуема, однако, имеет недостатки при параметрическом задании границ органов. Подход, основанный на теории R-функций позволяет описывать границы органов в виде одной аналитической формулы и, таким образом, задавать границу параметрически. Если функция $f(x) \geq 0$ описывает некоторую область пространства, причём $f(x) = 0$ описывает границу этой области, то можно использовать достаточно полную систему действительнзначных функций, которая позволяет описать пересечение, объединение двух функций или дополнение до функции, и получившаяся функция будет описывать область, которая является пересечением, объединением областей или дополнением до области. В текущей работе использована следующая достаточно полную систему функций [2]:

$$f_1(x) \vee f_2(x) = f_1(x) + f_2(x) + \sqrt{f_1^2(x) + f_2^2(x)}$$

$$f_1(x) \wedge f_2(x) = f_1(x) + f_2(x) - \sqrt{f_1^2(x) + f_2^2(x)}$$

$$\overline{f(x)} = -f(x)$$

Геометрические модели были сопряжены с решением математической модели (средствами MATLAB). В зависимости от концентрации вируса границы органов окрашивались в разные цвета. Таким образом разработана интерактивная система моделирования и визуализации, позволяющая задавать все параметры математической модели и наблюдать временную и пространственно-временную динамику иммунных процессов [3].

Литература

1. Bocharov G, Züst R, Cervantes-Barragan L, Luzyanina T, Chiglintsev E, et al. (2010) A Systems Immunology Approach to Plasmacytoid Dendritic Cell Function in Cytopathic Virus Infections. PLoS Pathog 6(7): e1001017. doi:10.1371/journal.ppat.1001017
2. Рвачёв В.Л. Теория R-функций и некоторые её приложения, “Наукова Думка”, -К. 1982
3. Буренко И. Моделирование и визуализация пространственно-временной динамики вирусной инфекции и иммунных реакций, дипломная работа, кафедра ВТиМ ВМК МГУ им. Ломоносова, 36стр, 2012

УЛУЧШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ТЕНЗОРНО-КРЕСТОВОГО МЕТОДА

Работа удостоена диплома I степени

Желтков Дмитрий Александрович

E-mail: 7342316@mail.ru

Кафедра вычислительных технологий и моделирования

Научный руководитель: чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф. Тиртышников

Евгений Евгеньевич

Пусть необходимо найти приближения матрицы $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, которая не хранится в памяти, а представлена в виде функции $a(i, j)$ от двух аргументов i и j . Для большинства алгоритмов аппроксимации необходимо вычислить все mn элементов этой матрицы. Матричный крестовый метод ([1], [2], [3]) позволяет найти приближение необходимой точности, вычислив всего $O((m+n)r)$ элементов матрицы и затратив всего $O((m+n)r^2)$ арифметических операций. На практике метод является надёжным, и приближение будет близко к наилучшему r -ранговому приближению, для метода существуют теоретические оценки.

В случае многомерных массивов (тензоров) число элементов растёт экспоненциально с ростом числа измерений. Например, для полного хранения тензора $A \in \mathbb{R}^{n_1 \times n_2 \times \dots \times n_d}$ размерности $d = 10$ и размером $n_i = 100$ по каждому направлению требуется $100^{10} = 10^{20}$ ячеек памяти, что крайне много. Поэтому важно иметь компактные представления таких объектов.

В 2009 году был предложен новый формат представления тензоров — тензорный поезд (Tensor train, ТТ) [4]. Для хранения тензора в этом формате требуется всего $\sum_{i=1}^d n_i r_{i-1} r_i$ элементов памяти, где r_i — ТТ-ранги тензора, $r_0 = r_d = 1$. Кроме того в данном формате существуют быстрые операции над тензорами, большинство операций выполняется за $O(dnr^3)$ арифметических действий, где $r = \max_{i \in [1, d-1]} (r_i)$, $n = \max_{i \in [1, d]} (n_i)$. Разработан крестовый метод [5], получающий приближение тензора в ТТ-формате, вычислив $O(dnr^2)$ его элементов и выполнив $O(dnr^3)$ операций.

Матричный крестовый метод и ТТ-крестовый метод играют важную роль для получения структурированных малопараметрических представлений матриц и тензоров, соответственно, заданных в виде функций от целочисленных переменных. С их помощью можно решать множество задач: многомерное интегрирование, решение интегральных уравнений и др.

Однако, оба этих метода не всегда являются надёжными. Поэтому необходимо разрабатывать способы повышения их надёжности. Кроме того, в случаях больших размеров матриц (тензоров) или затратного вычисления каждого элемента, методы могут работать достаточно долго. Возникает необходимость повышения производительности. Это можно сделать с помощью создания параллельных алгоритмов.

В данной работе выполнен обзор существующих крестовых методов, предложен новый способ поиска ТТ-рангов для ТТ-крестового метода, разработаны и реализованы эффективные параллельные крестовые алгоритмы, в которые введено несколько параметров повышения надёжности. Эти алгоритмы были применены для получения приближения ряда матриц и тензоров.

Приведём пример использования ТТ-крестового метода для интегрирования многомерных функций. Сравним вычисление интеграла $\int_{[0,1]^d} \sin(x_1 + x_2 + \dots + x_d)$ с помощью метода квази-Монте-Карло и ТТ-крестового метода. Для вычисления с помощью ТТ-крестового метода использовались 11 Чебышёвских узлов по каждому направлению. Для квази-Монте-Карло генерировались 2^{30} точек в пространстве. Также приведены результаты ТТ-крестового метода, полученные в [5].

d	QMC		ТТ-cross		ТТ-cross [5]	
	Время	Ошибка	Время	Ошибка	Время	Ошибка
10	93.5	$1.9 * 10^{-10}$	0.0022	$3.5 * 10^{-16}$	0.14	$1.4 * 10^{-15}$
100	434.6	$2.9 * 10^{-3}$	0.0168	$1.8 * 10^{-14}$	0.77	$2.9 * 10^{-13}$
500	777.1	$1.1 * 10^9$	0.210	$2.0 * 10^{-13}$	4.64	$2.4 * 10^{-12}$
1000	1573	$1.5 * 10^{18}$	0.75	$8.9 * 10^{-13}$	11.60	$1.4 * 10^{-15}$
2000	*	*	2.81	$1.8 * 10^{-12}$	33.05	$8.9 * 10^{-12}$
4000	*	*	10.91	$6.8 * 10^{-12}$	105.49	$2.2 * 10^{-10}$

Литература

1. S. A. Goreinov, E. E. Tyrtyshnikov, N. L. Zamarashkin, A Theory of Pseudoskeleton Approximations. // Linear Algebra Appl., 1997, 261, pp. 1-21.
2. Tyrtyshnikov E.E., Incomplete Cross Approximation in the Mosaic-Skeleton Method. // Computing, 2000, v.64, N 4, pp. 367-380.
3. Goreinov S.A., Tyrtyshnikov E.E., The maximal-volume concept in approximation by low-rank matrices. // Contemporary Mathematics, 2001, Vol. 208, pp. 47-51.
4. Oseledets I. V., Tyrtyshnikov E. E. Breaking the curse of dimensionality, or how to use SVD in many dimensions // SIAM J. Sci. Comput. 2009. Vol 31, 5. P. 3744-3759.
5. I. V. Oseledets, E. E. Tyrtyshnikov. TT-cross approximation for multi-dimensional arrays // Linear Algebra and Applications. 2010. V. 432, no. 1. P. 70-88

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАТАБАТИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ СО ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Работа удостоена диплома II степени

Русаев Дмитрий Вячеславович

E-mail: retam.vtm@gmail.com

Кафедра вычислительных технологий и моделирования

Научный руководитель: чл.-корр. РАН Лысков Василий Николаевич

Катабатическое течение — воздушный поток, образующийся над охлажденным склоном и направленный вниз по нему. Его формирование происходит за счет разности температур вблизи поверхности и в свободной атмосфере на той же высоте. В силу того, что такое явление часто возникает над заснеженными склонами, возможно поднятие в воздух большого количества снежных частиц, что по данным наблюдений [1] приводит к усилению скорости потока.

Первая одномерная стационарная модель ветра склонов (катабатическое течение — частный случай этого явления) была построена Прандтлем [2]. Более общая постановка задачи была рассмотрена в книге Гутмана [3]. По отдельности, процессы формирования ветра склонов и физики взвешенных частиц исследованы достаточно подробно, но их взаимодействие все еще слабо изучено.

Первые шаги в построении модели катабатических течений с находящимися в потоке частицами были представлены в работах [4, 5]. С этой целью были использованы уравнения из работы Прандтля [2] и к ним добавлены уравнения для концентрации частиц. В этих работах было получены аналитические решения и исследованы их зависимости от различных параметров задачи.

В данной дипломной работе была построена трехмерная модель, учитывающая как неоднородности рельефа и температуры его поверхности, так и источников частиц. Для численной реализации модели был использован метод расщепления задачи по физическим процессам, включающим перенос, адаптацию, учет силы Кориолиса, турбулентную диффузию и коррекцию поля скорости для выполнения уравнения неразрывности.

В дифференциальной постановке задачи, для случая отсутствия турбулентной вязкости и концентрации частиц выполняется закон сохранения полной энергии. Это означает, что в пренебрежении турбулентными процессами оператор исходной задачи кососимметричен, что позволяет в качестве схемы по времени использовать схему Кранка-Николсон, которая для случая кососимметрического оператора сохраняет вторую норму [6]. Это дало возможность достичь абсолютной устойчивости схемы и использовать при расчетах шаги по времени, обусловленные лишь аппроксимацией описываемых физических процессов.

Большинство задач в дискретной постановке, получаемых после

расщепления, представляют собой систему линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей. Количество систем, возникающих на каждом шаге расщепления, сопоставимо с количеством узлов сетки по двум направлениям. Таким образом, большое число независимых задач на каждом шаге расщепления делает возможным создание эффективной параллельной реализации модели. Кроме этих задач, на этапе коррекции поля скорости возникает задача Пуассона для всей трехмерной области. Ее решение проводится методом дискретного преобразования Фурье по горизонтальным направлениям и последующего нахождения коэффициентов Фурье с помощью решения систем линейных алгебраических уравнений также с трехдиагональной матрицей.

В ходе численных экспериментов была проверена устойчивость схемы и показано, что при независимом от времени наборе параметров и входных данных схема обеспечивает выход на стационарное решение. Кроме того, результаты численных экспериментов показали качественное совпадение численного решения с решением аналитической задачи. Важной особенностью используемых алгоритмов является хорошая вычислительная эффективность их работы и возможность создания параллельной версии, что является одним из основных направлений дальнейшего развития модели. Необходимым дальнейшим шагом является расчет параметров турбулентности, которые в данной работе приняты константами. Следующим этапом будет реализация описания физики отрыва частиц снега и их взаимодействия с турбулентностью. Наконец, в процессе совершенствования модели следует уделить внимание более точному описанию процессов теплообмена между поверхностью склона и атмосферой с учетом радиационных процессов, потоков явного и скрытого тепла и процесса сублимации частиц.

Литература

1. Kodama, Y., Wendler G., Gosink J. *The effect of blowing snow on katabatic winds in Antarctica*. Ann. Glaciol., 1985, v. 6, p. 59-62.
2. Prandtl L. *Führer durch die Strömungslehre*. 3ed., Braunschweig, F. Vieweg, 1949 (русский перевод: Л. Прандтль, Гидроаэромеханика, М.: ИЛ, 1951).
3. Гутман Л.Н. *Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов*. Л.: Гидрометеиздат, 1969, 296 с.
4. Рязанов Ф.А. *Модель ветра склонов с наличием в потоке взвешенных частиц*. Выпускная квалификационная работа бакалавра. Московский физико-технический институт, 2008, 31 с.

5. Русаев Д.В. *Аналитическая модель ветра над заснеженным склоном*. Курсовая работа. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2010.
6. Марчук Г.И. *Методы вычислительной математики*. М.: Наука, 1980, 535 с.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ КВАЗИВИДОВ

Телятников Илья Сергеевич

E-mail: ilux_t@list.ru

Кафедра вычислительных технологий и моделирования

Научный руководитель: д. ф.-м. н., проф. Бочаров Геннадий Алексеевич

Характерной особенностью вируса иммунодефицита (ВИЧ) является чрезвычайно высокая изменчивость генома, вследствие чего ВИЧ широко варьирует по своим биологическим свойствам и «ускользает» от иммунных реакций, адаптируясь к действию противовирусных препаратов. Внутривидовое генетическое разнообразие вируса привело к необходимости использования понятия «квазивид» для описания популяции близкородственных, но не идентичных геномов. Квазивид — ансамбль цепочек вирусных РНК, которые отличаются друг от друга по нескольким основаниям, оставаясь вирусами заданного вида. Одним из подходов к изучению эволюции вирусных вариантов в популяции является использование генетических алгоритмов [1].

С применением стохастических подходов на основе генетических алгоритмов в работе построена модель динамики вирусной популяции с учетом точечных мутаций, рекомбинаций, репликаций вирусных геномов и отбора потомков по величине функции приспособленности. Используется четырехбуквенный алфавит кодирования виртуального генома [2,3]. Рассматриваются квазивиды, резистентные к действию препарата азидотимидина (AZT), блокирующего обратную транскрипцию вирусной РНК в ДНК, содержащие в 41 и 215 позициях аминокислотной последовательности метионин (ATG) и треонин (ACC) соответственно. Рассматриваемая популяция подразделяется на восемь классов: W, M41L, T215N, T215S, T215Y, M41L/T215N, M41L/T215S, M41L/T215Y.

Инициализация проводится различными способами: 1) случайным образом генерируется вирусная цепочка, копируемая до размеров популяции; 2) случайным образом генерируются все геномы; 3) создается популяция, содержащая одинаковое количество геномов каждого класса. В модели реализованы варианты моноинфекции и мультиинфекции клеток-мишеней.

Для численной реализации модели написана программа на языках Visual Fortran и Open MPI. Расчеты производились для следующих параметров: длина цепочки — 1800 оснований; размер популяции — 10000

цепочек вирусной РНК; вероятность точечной мутации — 0.2; вероятность рекомбинации — 0.5. Мерой неоднородности популяции является среднее расстояние по Хеммингу. Был реализован оригинальный генератор случайных чисел. В целом, разработана модель высокого уровня разрешения, превосходящая существующие модели данного класса.

В дополнение к стохастической модели построена модель динамики квазивидов ВИЧ, резистентных к AZT, на основе систем ОДУ. При оценивании коэффициентов скоростей перехода («вероятности мутаций») выбраны оригинальные данные, полученные в ходе биологических экспериментов [4]. В модели учтены точечные мутации, процессы рекомбинации, а также возможность двукратного инфицирования клетки.

Исследовано влияние различных параметров модели (наличия мультиинфекций, концентрации противовирусного препарата AZT, значения коэффициента репликации) на изменение соотношения квазивидов в ВИЧ-популяции. Согласно полученным результатам, наличие противовирусного препарата практически не влияет на качественную структуру популяции, но количественное соотношение мутантов с разной приспособленностью зависит от концентрации препарата. Результаты моделирования позволяют также предположить, что в случае однократного инфицирования вирионы, имеющие обе резистентные мутации в одной цепочке, обладают преимуществом перед остальными, в то время как в случае многократного инфицирования наилучшее выживание потомков обеспечивают частично резистентные вирионы, так как вероятность удачной рекомбинации у потомков различных типов гораздо выше, чем вероятность удачной последовательности мутаций у потомков одного единственного типа.

Выбор значения коэффициента репликации существенным образом влияет на соотношение квазивидов ВИЧ-популяции. При небольших значениях коэффициента репликации изначально разнородная популяция переходит в практически однородную (остается генотип, характеризующийся наибольшим значением функции приспособленности). Большой коэффициент репликации, наоборот, приводит к разнородной популяции с менее выраженным доминированием наиболее приспособленных квазивидов.

Работа выполнена при поддержке грантов Программы Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине» и РФФИ (11-01-00117а).

Литература

1. Holland J.H. *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor: Univ. Michigan Press, 1975. 183 p.
2. Игнатович А.Н. [и др.] *Математические технологии моделирования динамики вирусов и иммунных реакций* // Структура и динамика молекулярных систем: Эл. журнал. No 4. С. 350–386.

3. Martinez J.P. [et al.] *Fitness ranking of individual mutants drives patterns of epistatic interactions in HIV-1* // PLoS ONE. 2011. 6(3): e18375.
4. Deforche K. [et al.] *Estimating the relative contribution of dNTP pool imbalance and APOBEC3G/3F editing to HIV evolution in Vivo* // Journal of Computational Biology. 2007. 14(8). P. 1105–1114.

РАЗРАБОТКА НЕОТРАЖАЮЩИХ КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО МНОГОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА С ПОТЕНЦИАЛОМ

Розанцев Артем Викторович

E-mail: artem.rozantsev@gmail.com

Кафедра вычислительных методов

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Трофимов Вячеслав Анатольевич

Как известно, многие проблемы современной лазерной физики требуют компьютерного моделирования в неограниченной области пространства и времени или необходимо решить соответствующее уравнение в областях больших размеров для обеспечения нулевого значения условиям вблизи границы. Например, моделирование взаимодействия фемтосекундного лазерного импульса с фотонным кристаллом (ФК), который имеет периодическую структуру, сопровождающегося рассеиванием лазерного излучения во всех пространственных направлениях.

За последние 25 лет распространение лазерных фемтосекундных импульсов в различных нелинейных средах широко исследуется в литературе. В связи с этим, встает вопрос об эффективности проведения компьютерного моделирования в областях, содержащих тысячи безразмерных единиц, что в свою очередь поднимает вопрос о разработке искусственных граничных условий для снижения числа необходимых вычислений при проведении компьютерного эксперимента.

Первые работы по нахождению искусственных граничных условий были опубликованы еще в 1991, с тех пор эта тема активно развивалась, и в частности в [1-2] были предложены искусственные краевые условия, которые просты в реализации и позволяют строить двухслойные консервативные разностные схемы.

В настоящей работе проведено сравнение эффективности указанные краевых условий на примере одномерного нелинейного уравнения Шредингера и показана их эффективность в двумерном случае для нелинейного уравнения Шредингера:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - iD_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - iD_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + i(V + \beta)u + i\gamma|u|^2u = 0$$

с начальным распределением $u|_{t=0} = e^{-(x-\frac{L_x}{2})^2 - (y-\frac{L_y}{2})^2} (1+iF) + i\chi(y-\frac{L_y}{2})$.

В результате компьютерного моделирования было показано, что в случае, отсутствия движения волного пакета $\chi = 0$ искусственные условия, описанные в работе [2] дают лучший результат по сравнению с условиями [1], тогда как при наличии движения волнового пакета $\chi \neq 0$, условия [1] дают лучший результат, чем условия [2].

Одной из основных сложностей, которая имеет место при моделировании двумерного нелинейного уравнения Шредингера с произвольными краевыми условиями является отсутствие эффективного метода, который позволял бы построить и реализовать консервативную разностную схему (обычно в литературе использовался метод расщепления, который для нелинейной задачи приводит к неконсервативности метода). Для решения этой проблемы был разработан двухэтапный итерационный метод, который позволяет реализовать консервативную разностную схему. Важно отметить, что приведенный метод может быть легко расширен и на трехмерный случай и на случай пространства размерности n , только в этом случае метод станет не двухэтапным, а трехэтапным и n -этапным соответственно. Пример метода, для двумерного нелинейного уравнения Шредингера представлен ниже:

$$\begin{cases} \frac{\hat{U}^{(s+1)} - U}{\tau} - iD_x \Lambda_{\bar{x}x} \hat{U}^{(s+1)} - iD_y \Lambda_{\bar{y}y} \hat{U}^{(s)} + i(V + \beta) \hat{U}^{(s+1)} + i\gamma |\hat{U}^{(s)}|^2 \hat{U}^{(s)} = 0 \\ \frac{\hat{U}^{(s+2)} - U}{\tau} - iD_x \Lambda_{\bar{x}x} \hat{U}^{(s+1)} - iD_y \Lambda_{\bar{y}y} \hat{U}^{(s+1)} + i(V + \beta) \hat{U}^{(s+1)} + i\gamma |\hat{U}^{(s+1)}|^2 \hat{U}^{(s+1)} = 0 \end{cases}$$

Разработанный метод с искусственными краевыми условиями был применен для исследования взаимодействия Бозе-Эйнштейновского конденсата с потенциалом. В ходе компьютерного моделирования были найдены двумерные солитонные решения, новый механизм огибание конденсатом потенциала.. Для подтверждения экспериментальных данных было построено аналитическое решение двумерного уравнения Шредингера, которое показало правильность результатов моделирования.

Следует отметить, что в характере распространения лазерного импульса важную роль играет внешний потенциал и отраженная от этого потенциала волна, так как только в случае наличия потенциала можно наблюдать формирование солитонов.

По результатам работы сделано три доклада на международных конференциях и подготовлено две статьи.

Литература

1. Tereshin E., Trofimov V., Fedotov M. *Conservative finite difference scheme for the problem of propagation of a femtosecond pulse in a non-*

linear photonic crystal with non-reflecting boundary conditions. Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2006.

2. Xu Z., Han H., Wu X. *Adaptive Absorbing boundary conditions for Schrödinger-type equations: Application to nonlinear and multi-dimensional problems. Journal of Computational Physics, 2007.*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА РОЗЕНБРОКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ.

Работа удостоена диплома III степени

Трыкин Евгений Михайлович

E-mail: emtrykin@gmail.com

Кафедра вычислительных методов

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Трофимов Вячеслав Анатольевич

Одной из известных проблем современной лазерной физики является линейное и нелинейное распространение электромагнитных волн в веществе, в том числе и исследование Бозе-Эйнштейновского конденсата. В данной работе исследуется эффективность использования метода Розенброка для моделирования решения указанных процессов. Метод Розенброка впервые был предложен английским ученым, профессором Говардом Гарри Розенброком в 1963 году в статье [1].

В последние 20 лет применительно к задачам в частных производных метод активно разрабатывался группой проф. Калиткина Н.Н. [2]. Как правило, в работах различных авторов рассматривалось применение метода Розенброка для решения ОДУ. В настоящей работе реализован метод Розенброка для одномерного нелинейного уравнения Шредингера с нулевыми и искусственными (неотражающими) краевыми условиями:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + iD \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} + i\gamma VA + i\alpha |A|^2 A = 0, t > 0, 0 < z < L_z$$

с начальным распределением

$$A|_{t=0} = e^{-(z - \frac{L_z}{2})^2 + i\chi(z - \frac{L_z}{2})}$$

- 1) нулевые граничные условия

$$A|_{z=0, L_z} = 0.$$

- 2) искусственные граничные условия

$$A|_{z=0} = 0, \quad \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial z} + 2i\eta A \right) |_{z=L_z} = 0.$$

Для использования метода Розенброка необходимо представить комплексную амплитуду в виде действительной и мнимой части и

ввести сетку по пространственной координате z . Тогда исходную систему алгебраических уравнений можно представить в следующем виде

$$\frac{\partial U(t, z_j)}{\partial t} = G(U, z_j), \quad 0 \leq j \leq N_z.$$

В соответствии с методом Розенброка переход с одного временного слоя на следующий осуществляется при помощи формулы

$$\hat{U}(z_j) = U(z_j) + \tau \operatorname{Re} k_j, \quad 0 \leq j \leq N_z,$$

где $\operatorname{Re} k_j$ - реальная часть вектора решения системы линейных уравнений

$$(E - \beta \tau G_U) k_j = G(U, z_j), \quad 0 \leq j \leq N_z.$$

здесь, $G(U, z_j)$ - это правая часть системы алгебраических уравнений, G_U Якобиан правой части, β - комплексный параметр.

В дипломе показаны как положительные так и отрицательные свойства метода Розенброка в применении к решению уравнения Шредингера. Проведено сравнение результатов компьютерного моделирования, полученных методом Розенброка с результатами, полученными консервативной конечно-разностной схемой.

Важным результатом работы является доказательство на основе результатов компьютерного моделирования условной консервативности схемы Розенброка для решения уравнения Шредингера.

Также в данной дипломной работе показано, что время решения задачи методом Розенброка значительно превосходит соответствующее время вычисления на основе консервативной конечно-разностной схемы.

Впервые показана возможность применения метода Розенброка для решения линейного и нелинейного уравнения в случае постановки искусственных граничных условий, один из возможных видов которых предложены в статье [3].

Результаты работы докладывались на двух международных конференциях [4] и [5], а также подготовлена статья в ЖВМиМФ [6].

Литература

1. Rosenbrock H. H. *Some general implicit processes for the numerical solution of differential equations*. The Computer Journal, 1963.
2. Альшина Е. А., Калиткин Н. Н., Корякин П. В. *Диагностика особенностей точного решения при расчетах с контролем точности*. ЖВМиМФ, 2005.
3. Tereshin E., Trofimov V., Fedotov M. *Conservative finite difference scheme for the problem of propagation of a femtosecond pulse in a non-linear photonic crystal with non-reflecting boundary conditions*. Journal Comp. Mathematics and Math. Physics, 2006.

4. *16th International Conference on Mathematical Modelling and Analysis*, Sigulda, Latvia, May 25-28, 2011.
5. *17th International Conference on Mathematical Modelling and Analysis*, Tallinn, Estonia, June 6-9, 2012.
6. Трофимов В. А., Трыкин Е. М. *Эффективность метода Розенброка для численного решения нелинейных уравнений Шредингера*. ЖВМиМФ, направлена в печать.

ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ СМЕШАННОГО ТИПА В СЛУЧАЕ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Работа удостоена диплома I степени

Нефедов Павел Владимирович

E-mail: paul.nefedov@gmail.com

Кафедра функционального анализа и его применений

Научный руководитель: академик РАН Моисеев Евгений Иванович

Данная работа является продолжением цикла работ Е.И.Моисеева [1-3], посвященных исследованию задач смешанного типа в случае трехмерных областей. Цель работы состоит в нахождении аналитического представления регулярных решений смешанных краевых задач Трикоми и Франкля для уравнения Лаврентьева-Бицадзе в трехмерных областях. В первой части работы рассматривается краевая задача Трикоми в трехмерном случае. Рассмотрим дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка в трехмерной области D :

$$L[u] = u_{xx} + \text{sign}(y) \cdot u_{yy} + u_{zz} = 0, \quad (1.1)$$

где $u = u(x, y, z)$, $(x, y, z) \in D$, причем область D можно представить в виде $D = D^{(+)} \cup D^{(-)}$:

$$D^{(+)} = \{(x, y, z) : y > 0, -1 < x < 1, x^2 + y^2 < 1, 0 < z < \pi\},$$

$$D^{(-)} = \{(x, y, z) : -\frac{1}{2} < y < 0, -y < x < y + 1, 0 < z < \pi\}.$$

В области D уравнение (1.1) является уравнением смешанного типа [4]. Рассмотрим далее следующую краевую задачу (задачу Трикоми) уравнения (1.1).

В трехмерной области $D = \overline{D^{(+)} \cup D^{(-)}}$ требуется найти регулярное решение дифференциального уравнения (1.1), принадлежащее классу $u \in C(\overline{D^{(+)} \cup D^{(-)}}) \cap C^2(D^{(+)}) \cap C^2(D^{(-)})$ и удовлетворяющее на границе D краевым условиям:

$$u(x, y, z)|_{x=\cos \phi, y=\sin \phi} = \psi(\phi, z), \quad 0 \leq \phi \leq \pi, \quad 0 \leq z \leq \pi, \quad (1.2)$$

$$u(x, y, z)|_{x=-r, y=0} = 0, \quad r \leq 1, \quad 0 \leq z \leq \pi, \quad (1.3)$$

$$u(x, y, z)|_{x=-y} = 0, \quad 0 \leq x \leq \frac{1}{2}, \quad 0 \leq z \leq \pi, \quad (1.4)$$

$$u(x, y, z)|_{z=0} = 0, \quad x^2 + y^2 \leq 1, \quad y \geq 0, \quad (1.5)$$

$$u(x, y, z)|_{z=0} = 0, \quad -y \leq x \leq y + 1, \quad -\frac{1}{2} \leq y \leq 0, \quad (1.6)$$

$$u(x, y, z)|_{z=\pi} = 0, \quad x^2 + y^2 \leq 1, \quad y \geq 0, \quad (1.7)$$

$$u(x, y, z)|_{z=\pi} = 0, \quad -y \leq x \leq y + 1, \quad -\frac{1}{2} \leq y \leq 0. \quad (1.8)$$

Решение задачи Трикоми (1.1)-(1.8) найдено в виде биортогонального функционального ряда, содержащего модифицированные функции Бесселя первого рода [5]. Далее сформулируем основные результаты, полученные нами при изучении поставленной выше задачи Трикоми (см. [6]).

Теорема 1. Регулярное решение краевой задачи Трикоми (1.1)-(1.8) существует и представимо в виде абсолютно и равномерно сходящегося биортогонального функционального ряда.

Теорема 2. Регулярное решение краевой задачи Трикоми (1.1)-(1.8) единственно.

Во второй части работы изучается нелокальная краевая задача Франкля в трехмерной области. Рассмотрим дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка в трехмерной области D :

$$L[u] = u_{xx} + \text{sign}(y) \cdot u_{yy} + \text{sign}(x + y) \cdot u_{zz} = 0, \quad (2.1)$$

где функция $u = u(x, y, z)$, $(x, y, z) \in D$ и трехмерная область D представима в виде объединения $D = D^{(+)} \cup D^{(-1)} \cup D^{(-2)}$:

$$D^{(+)} = \{(x, y, z) : 0 < x < 1, x^2 + y^2 < 1, y > 0, 0 < z < \pi\},$$

$$D^{(-1)} = \{(x, y, z) : -\frac{1}{2} < y < 0, -y < x < y + 1, 0 < z < \pi\},$$

$$D^{(-2)} = \{(x, y, z) : 0 < x < \frac{1}{2}, x - 1 < y < -x, 0 < z < \pi\}.$$

В трехмерной области D уравнение (2.1) является уравнением смешанного типа. Рассматривается следующая краевая задача для уравнения (2.1).

В трехмерной области D требуется найти регулярное решение дифференциального уравнения (2.1), принадлежащее классу $u \in C(D^{(+)} \cup D^{(-1)} \cup D^{(-2)}) \cap C^2(D^{(+)}) \cap C^2(D^{(-1)}) \cap C^2(D^{(-2)})$ и удовлетворяющее на границе D краевым условиям:

$$u(x, y, z)|_{x=\cos \phi, y=\sin \phi} = \psi(\phi, z), \quad 0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}, \quad 0 \leq z \leq \pi, \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}(x, y, z) \Big|_{x=0, -1 < y < 1} = 0, \quad 0 \leq z \leq \pi, \quad (2.3)$$

$$u(x, y, z)|_{x=0} = u(x, -y, z)|_{x=0}, \quad 0 \leq y \leq 1, \quad 0 \leq z \leq \pi, \quad (2.4)$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial y}(x, y, z) \right|_{y=0+} = \left. \frac{\partial u}{\partial y}(x, y, z) \right|_{y=0-}, \quad 0 < x < 1, \quad 0 \leq z \leq \pi, \quad (2.5)$$

$$u(x, y, z)|_{z=0} = 0, \quad (x, y, z) \in D, \quad (2.6)$$

$$u(x, y, z)|_{z=\pi} = 0, \quad (x, y, z) \in D. \quad (2.7)$$

Решение задачи (2.1)-(2.7) найдено в виде равномерно и абсолютно сходящегося функционального биортогонального ряда. В качестве основного результата сформулируем далее следующую теорему.

Теорема 3. Найденное решение задачи (2.1)-(2.7) в виде биортогонального функционального ряда является регулярным решением поставленной задачи в трехмерной области D .

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю академику РАН Евгению Ивановичу Моисееву за научное руководство, постановку и обсуждение задачи.

Литература

1. Моисеев Е.И. О базисности одной системы синусов // Дифференциальные уравнения. 1987. Т. 23, № 1, Стр. 177-179.
2. Моисеев Е.И. О теоремах единственности для уравнений смешанного типа // ДАН СССР. 1987. Т. 242, № 1, Стр. 48-51.
3. Моисеев Е.И., Прудников А.П., Седлецкий А.М. Базисность и полнота некоторых систем элементарных функций. М.: Вычислительный центр РАН, 2004, 146 стр.
4. Смирнов М.М. Уравнения смешанного типа. М.: Изд-во «Наука», 1970, 295 стр.
5. Олвер Ф. Асимптотика и специальные функции. М.: Изд-во «Наука», 1990, 528 стр.
6. Moiseev E.I., Nefedov P.V. Tricomi problem for the Lavrent'ev-Bitsadze equation in a 3D domain (in english). To be published this year at Integral Transforms and Special Functions, Taylor & Francis Group, Oxford, UK (now available at Taylor & Francis Online <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10652469.2011.632228>).

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Работа удостоена диплома III степени

Алексеев Дмитрий Владимирович

E-mail: dimaleks@gmail.com

Кафедра автоматизации научных исследований

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Иновенков Игорь Николаевич

Изогеометрический метод — это относительно новая технология дискретизации и решения дифференциальных уравнений в частных производных, предложенная Т. Хьюзом в работе [1]. Она имеет много общего с методом конечных элементов, а также ряд черт, присущих бессеточным методам. Однако, в большей степени, метод основан на геометрическом подходе, а своим появлением он обязан автоматизированному проектированию.

Первостепенная задача создания метода заключается в том, чтобы достигнуть абсолютной точности в описании геометрии, вне зависимости от того, насколько грубая сетка используется. Другая цель — упростить процесс измельчения, улучшения сетки. И, наконец, — свести воедино процесс проектирования, генерации сеток и проведения вычислительного эксперимента.

В современных системах автоматизированного проектирования (САПР) преобладает подход, при котором геометрические формы (линии, поверхности) описываются криволинейными сплайнами. Однако для математического моделирования большинством современных численных методов, например, методом конечных элементов (МКЭ), на вычислительном домене должна быть построена сетка из простых ячеек с прямолинейными границами. Это могут быть треугольники или четырехугольники, тетраэдры.

В результате складывается такая ситуация, что создание геометрии вычислительного домена происходит в САПР, а численный метод не может работать напрямую с полученными из САПР данными. Требуется генерация сетки для вычислений, причем она должна отвечать многочисленным требованиям. Так, погрешность аппроксимации должна быть как можно меньше, элементы должны быть как можно ближе к правильным геометрическим фигурам, недопустима потеря характерных особенностей начальной области. Сам процесс генерации иногда может быть произведен автоматически, однако в большинстве случаев, особенно при преобразовании сложных доменов, вмешательство человека, ученого или инженера, становится совершенно необходимым. Более того, в индустрии бывают ситуации, когда по геометрии САПР делаются вторичные чертежи, и только по ним уже строится сетка.

Становится ясно, что преодоление барьера между проектированием и численным экспериментом является одной из важнейших задач современной индустрии. Концептуальная идея такого преодоления

в освещаемом подходе — отказ от двух геометрических моделей. Изогеометрический подход предполагает, что одно и то же описание доменов используется как на этапе проектирования, так и при проведении вычислений методом конечных элементов. Среди всевозможных геометрических моделей было выбрано описание кривыми NURBS: Non-Uniform Rational B-Splines (неоднородные рациональные B-сплайны). NURBS наиболее распространены как в САПР, так и в дизайнерских программных продуктах, математические свойства этих сплайнов хорошо изучены, разработаны многочисленные эффективные алгоритмы для многих операций над ними [3].

Даже самая грубая сетка, построенная с помощью элементов NURBS, описывает вычислительный домен *точно*. Это замечательное свойство позволяет отказаться от необходимости строить специального вида сетки. Значительно сокращается время проведения численного эксперимента, исчезают погрешности, связанные с аппроксимацией границ вычислительных областей. В то же время рассмотренные в работе примеры численного решения некоторых задач показывают, что метод эффективно сходится и в простых областях работает так же хорошо, как и классический МКЭ.

Кроме того, в работе показано, что применение изогеометрического метода для решения уравнений на поверхностях (а также в любых других случаях, когда постановка задачи, будь то граничные условия или вид оператора, существенно зависят от нормали к границе вычислительной области) приносит еще более явную выгоду.

Приведем краткое содержание дипломной работы. Сначала детально освещен изогеометрический метод для решения эллиптических уравнений вместе с примерами применения. Рассматриваются кривые NURBS, являющиеся базисными функциями метода, а также примеры поверхностей, представленных с помощью NURBS. Описана процедура численного решения эллиптического уравнения общего вида в сложной области с гладкой границей. После чего приведены примеры нескольких задач, сводящихся к эллиптическим уравнениям и их численное решение изогеометрическим методом. Для простых областей приведено сравнение численных результатов с аналитическими решениями, продемонстрирована сходимость метода. Далее, построена процедура численного решения эллиптического уравнения с оператором Лапласа-Бельтрами на поверхности. Показаны отличия стандартного метода от метода, пригодного для решения уравнений на поверхностях, а также рассмотрены численные решения нескольких задач на поверхностях. Так же, как и ранее, показана скорость сходимости численного решения к точному.

Хочется также отметить, что подробного рассмотрения изогеометрического метода в русскоязычных работах не было. Многие численные примеры не были рассмотрены ранее в других работах по

изогеометрическому методу. Кроме того, для решения уравнений на поверхностях метод используется впервые.

Работа была выполнена в сотрудничестве с политехническим институтом города Лозанны, Швейцария (École polytechnique fédérale de Lausanne)

Литература

1. T.J.R. Hughes, J.A. Cottrell, Y. Bazilevs, *Isogeometric analysis: CAD, finite elements, NURBS, exact geometry and mesh refinement*, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 194 (2005) 4135–4195.
2. C. de Falco, A. Reali, R. Vázquez, *GeoPDEs: a research tool for IsoGeometric Analysis of PDEs*, 2011.
3. L. Piegl, W. Tiller, *The Nurbs Book*, Springer-Verlag, New York, 1997.

РАЗРАБОТКА КОДА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Работа удостоена диплома II степени

Иванников Сергей Олегович

E-mail: wixserg@gmail.com

Кафедра автоматизации научных исследований

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Александр Михайлович Попов

Молекулярная динамика – это широко используемый метод вычислений макроскопических параметров вещества, который применяют для моделирования жидкостей и твердых тел на атомарном уровне. Такие макромолекулярные системы как полимеры, протеины, молекулы ДНК и кристаллы важно моделировать с помощью метода молекулярной динамики, так как форма и относительное молекул часто определяет их функциональность и каталитические свойства.

В классической молекулярной динамике [1] рассматривается ансамбль из N частиц, которые считаются материальными точками. Они подчиняются классическим законам движения, а взаимодействие между частицами описывается потенциалами межатомных взаимодействий, форма которых определяется из экспериментов.

Одним из самых распространенных потенциалов, используемых в МД, является парный потенциал Леннарда-Джонса, но он хорошо подходит для описания энергии таких систем как газы или твердые тела с невысокой плотностью. Потому что при увеличении плотности в материале, взаимодействия между атомами становятся не парными, а многочастичными. Одним из представителей многочастичных потенциалов является потенциал Терсоффа [2], который по своей

структуре описывает трехчастичные взаимодействия и учитывает угол между частицами. Он довольно точно описывает взаимодействия частиц в полупроводниках, свойства которых сильно зависят от структуры материала. К примеру, аморфный углерод является именно таким материалом, так как в зависимости от своей структуры, аморфной или кристаллической, он проявляет свойства либо диэлектрика, либо проводника. Важно отметить, что потенциал является эмпирическим, т.е. все параметры, которые в нем присутствуют, были подобраны из экспериментов.

Понятие фазового перехода пришло из термодинамики и определяется как переход вещества из одной термодинамической фазы в другую при изменении внешних условий. Фазовый переход характеризуется сменой агрегатного состояния вещества, то есть меняются такие характеристики как структура, объем, наличие дальнего или ближнего порядка, концентрация. Изменение агрегатного состояния вещества сопровождается сильным изменением сопротивления. Определенным значениям сопротивления можно присвоить логические значения, как ноль или единица — что соответствует биту информации.

В настоящее время многие крупные компании, такие как IBM [3], занимаются созданием новых типов запоминающих устройств, имеющих характеристики на несколько порядков отличающие их от уже существующих. Поэтому вновь возник интерес к памяти, основанной на фазовом переходе. За этой технологией уже закрепилось сокращенное название PCM - Phase Change Memory. Основными особенностями, которые так привлекают как исследователей, так и инвесторов, является ее 1) энергонезависимость, то есть в отличие от флеш-памяти, для PCM энергия необходима только для совершения фазового перехода (например путем нагрева), что сразу расширяет круг ее применения за рамки флеш памяти, которая очень чувствительна к радиоактивному излучению и перепадам температур; 2) высокая плотность компоновки ячеек; 3) большое количество циклов чтения/записи — эти параметры на несколько порядков превосходят самую современную флеш память.

Модификацией PCM является ее мультибитовый вариант. Идея заключается в том, что можно получить несколько стабильных аморфных состояний вещества, имеющих свои уникальные характеристики сопротивления. Таким образом в одной ячейке памяти может храниться несколько бит информации. Проблема такого типа PCM в том, что с течением времени происходит дрейф сопротивления — самопроизвольное изменение структуры вещества, изменяющее сопротивление в ячейке.

Одним из исследуемых материалов в области PCM является аморфный углерод, который при изменении фазового состояния из аморфного в кристаллический, превращается из диэлектрика в проводник. Плюсами этого материала являются хорошая изученность его свойств, простота получения и моделирования, т.к. при моделировании с помощью метода

молекулярной динамики взаимодействия происходят только между атомами одного типа, что сильно упрощает вычисления. К тому же существуют потенциалы межатомного взаимодействия, которые довольно точно описывают взаимодействия атомов углерода (потенциал Терсоффа [4]).

В ходе дипломной работы был разработан код молекулярной динамики, использующий потенциал Терсофа и аналитическое представление межмолекулярных сил через потенциал межатомных взаимодействий. Созданная программа написана на языке Fortran 2008 с использованием объектно-ориентированного подхода, что позволило создать легко расширяемую основу для более сложных кодов. С помощью написанного кода были проведены исследования, позволившие сделать следующие выводы : 1) на процесс фазового перехода сильное влияние оказывает температура; 2) молекулярная система, состоящая из атомов аморфного углерода, имеет особенность поведения приграничных атомов.

Литература

1. Попов А.М. *Вычислительные нанотехнологии* М:Макс Пресс 2009
2. Tersoff J. *New empirical approach for the structure and energy of covalent systems* Phys. Rev. B. 1987
3. *Memory technologies in IBM* <http://www.zurich.ibm.com/sto/memory/>
4. Tersoff J. *Empirical Interatomic Potential for Carbon, with Applications to Amorphous Carbon* Phys. Rev. B. 1988

УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ ОДНОТИПНЫХ ОБЪЕКТОВ

Работа удостоена диплома III степени

Мисатюк Наталья Сергеевна

E-mail: natalia.misatyuk@gmail.com

*Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления
Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Фомичёв Василий Владимирович*

Целью данной работы является исследование и моделирование различных видов управления группой однотипных объектов. В рамках данного исследования рассматриваются две модельные задачи по управлению группой однотипных объектов. Каждая задача решается при помощи разных видов управления с использованием модификаций и сочетаний известных методов решения подобных задач. Решения реализуются в виде программ в созданной среде моделирования и визуализации. Различные виды управления сравниваются и анализируются на примере решения модельных задач.

Практической областью применения управления группой однотипных объектов является робототехника. К прикладным задачам, которые

могли бы эффективно решаться коллективом роботов, можно отнести разминирование, исследование труднодоступных и опасных зон, покрытие территории коммуникационной сетью.

Исследование литературы позволило выявить три основных вида управления: централизованное, децентрализованное и комбинированное. При централизованном управлении объекты выполняют чисто исполнительную функцию, подчиняясь командам центра управления. При этом информация, получаемая роботами из окружающего мира, передается в центр управления, обрабатывается и используется при формировании центром последующих команд. При децентрализованном управлении объекты осуществляют самоуправление на основании заложенной в них логики поведения и поступающей информации из окружающего мира. Комбинированное управление сочетает в себе принципы централизованного и децентрализованного управления.

Первая рассматриваемая модельная задача — «исследование пещеры»: N управляемых роботов должны исследовать пещеру за ограниченное время T . Постановка задачи формализуется для непрерывного случая, затем осуществляется дискретизация задачи. Для решения данной задачи была создана среда моделирования и визуализации на языке Java. В среде моделирования были созданы две программы: первая реализует решение задачи с использованием централизованного управления, а вторая — комбинированного. Задача поиска пути к цели была решена при помощи модифицированного алгоритма A^* («A star»). В случае централизованного управления роботы управляются из единого центра, зона действия связи с центром ограничена. При комбинированном управлении роботы разбиваются на команды, в каждой из которых выбирается лидер. Статистика запусков обеих программ показала, что комбинированный метод был более эффективным для решения данной задачи из-за отсутствия ограничений на связь. Также комбинированный метод был более устойчив к неполадкам. При комбинированном управлении в случае потери связи с управляющим объектом в команде выбирался новый лидер, а при централизованном управлении объекты, терявшие связь с центром, были беспомощны.

Вторая рассматриваемая модельная задача — «поведение животных в стае»: необходимо равномерное покрытие территории коммуникационной группой. Аналогично животным, объекты стремятся быть в одной стае, но на комфортном расстоянии друг от друга. Задача решается при помощи модифицированного метода введения «искусственной потенциальной функции». В среде моделирования были созданы две программы, решающие данную задачу: в первой программе используется децентрализованное управление, а во второй — комбинированное. Комбинированный метод позволил решить модельную задачу эффективнее, так как область применимости решения и его гибкость значительно увеличились. Если при децентрализованном управлении в

одну коммуникационную группу объединялись лишь те объекты, которые были в зоне видимости друг друга, то при комбинированном управлении оператор, имеющий возможность влиять на движение нескольких выборочных объектов, увлекал ими остальные объекты и мог собрать их всех в любой заранее выбранной области.

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что в рассмотренных модельных задачах комбинированное управление оказалось более эффективным, чем централизованное или децентрализованное.

Литература

1. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. *Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
2. David M. B. *Autonomous car for the urban challenge*. Auburn University, 2007. [PDF] http://www.archive.darpa.mil/grandchallenge/TechPapers/SciAutonics_Auburn.pdf
3. Herbert G. Tanner, Ali Jadbabaie, George J. Pappas. *Flocking in Teams of Nonholonomic Agents*. Lecture notes in Control and Information Sciences, Volume 309, Springer, pp 229–239. [PDF] http://www.research.me.udel.edu/~btanner/Papers/Block_Island.pdf
4. Patrick Lester. *A* Pathfinding for beginners*. <http://www.policyalmanac.org/games/aStarTutorial.htm>
5. Teddy M. Cheng, Andrew V. Savkin. *Decentralized Control of Multi-robot Systems for Rectangular Aggregation*. Preprints of the 18th IFAC World Congress, 2011.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЯ, СОСТОЯЩЕГО ИЗ НЕСКОЛЬКИХ УЧАСТКОВ

Работа удостоена диплома I степени

Рогожников Алексей Михайлович

E-mail: aze1r@mail.ru

Кафедра общей математики

Научный руководитель: академик Ильин Владимир Александрович

В работе исследованы колебания составного стержня, возбуждаемые в нём краевыми условиями первого, второго и третьего родов, и найден аналитический вид решения.

Рассматривается обобщенное решение данной задачи в классе $\widehat{W}_2^1$, предложенном В.А. Ильиным и являющимся сужением класса Соболева W_2^1 .

Данной проблеме посвящен целый ряд статей, в которых задача рассматривалась с различными ограничениями:

1. Рассматривался только однородный стержень [1, 3, 4, 5]
2. Рассматривался стержень с равным временем прохождения сигнала по каждому участку [6, 7]
3. Рассматривался стержень, в котором все участки имели одинаковые импедансы [2]

В настоящей работе было предъявлено решение для общего случая. Этого удалось достичь благодаря предложенной лаконичной форме записи решения. Особенно хочется отметить, что удалось записать в универсальном виде решения для разных пар краевых условий, т.к. в предшествующих работах изменение типа граничного условия приводило к серьезному изменению вида решения.

Также была доказана единственность решения задачи с использованием техники без использования спектральных методов, придуманной автором.

Помимо этого, в работе предложены два алгоритма для вычисления решения:

1. вычисляющий точное значение с количеством операций, растущим экспоненциально по времени
2. вычисляющий приближенное значение с линейной по времени сложностью

Литература

1. В. А. Ильин, Граничное управление процессом колебаний на двух концах в терминах обобщенного решения волнового уравнения с конечной энергией // Дифференц. уравнения. 2000. Т. 36, №11. с.1513–1528.
2. В. А. Ильин, П. В. Луфференко, Обобщенные решения смешанных задач для разрывного волнового уравнения при условии равенства импедансов. // Доклады Академии Наук, 2009, том 429, №3, с. 317–321.
3. Е. И. Моисеев, В. В. Тихомиров, О волновом процессе с конечной энергией при заданном граничном режиме на одном конце и упругом закреплении на другом конце // Нелинейная динамика и управление, 2007. Т. 5, с. 141–148.

4. А. А. Никитин, Оптимизация граничного управления, производимого третьим краевым условием. // Доклады Академии Наук, 2007, Т. 417, № 6, с. 743–745.
5. Ю. Р. Нестеренко, О смешанной задаче для волнового уравнения с краевым условием третьего рода // Доклады Академии наук, 2009, Т. 426, №1, с. 29–31.
6. В. А. Ильин. Смешанная задача, описывающая процесс успокоения колебаний стержня, состоящего из двух участков разной плотности и упругости, при условии совпадения времени прохождения волны по каждому из этих участков. // Труды МИАН, 2010, Т. 269, с. 133–142
7. А. М. Рогожников, Исследование смешанной задачи, описывающей процесс колебаний стержня, состоящего из нескольких участков, при условии совпадения времени прохождения волны по каждому из этих участков. // Доклады Академии Наук, 2011, Т. 441, №4, С. 449–451.
8. А. М. Рогожников, Исследование смешанной задачи, описывающей процесс колебаний стержня, состоящего из нескольких участков с произвольными длинами. // Доклады Академии Наук, 2012, Т. 444, №5., С. 488–491

РАССЕЯНИЕ ДВУХАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ С УЧЁТОМ ЗАПУТАННЫХ СОСТОЯНИЙ ЭЛЕКТРОНОВ И ЯДЕР

Работа удостоена диплома III степени

Сковорода Никита Андреевич

E-mail: chalkert@gmail.com

Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Ожигов Юрий Игоревич

Задача моделирования многочастичной системы с учётом эффекта квантовой запутанности возникает при необходимости предсказать поведение системы на уровне атомов и элементарных частиц. Подобные задачи имеют огромную сферу применения. Глобальная цель — разработать более надёжные методы компьютерного моделирования, которые бы смогли предсказывать результаты реальных экспериментов, используя имеющиеся ресурсы.

Целью дипломной работы является построение и реализация на классическом компьютере быстрого алгоритма для моделирования реакций пары атомов с учётом запутанных состояний их электронов и ядер, задачей является создание программы расчёта, построение визуализации, и демонстрация реакции пар атомов водорода (H) и гелия (He), с сопоставлением их с реальной картиной. Для этого используются априорные знания о плотности распределения электронов в свободном

состоянии и применяются грубые, но быстрые методы расчёта динамики системы.

Алгоритм использует роевое представление квантовых частиц. Используется модель Борна-Оппенгеймера: не все частицы рассматриваются как «квантовые», тяжёлые ядра атомов могут считаться классическими частицами для ускорения расчётов.

- Исходя из исходного состояния строится набор виртуальных миров. Все взаимодействия рассчитываются внутри этих миров, но изменяется система в целом.
- Миров фильтруются по потенциальной энергии и сумме действующих сил.
- Рассчитывается состояние системы в следующий момент времени.
- После завершения расчёта одного шага системы, она снова дополняется новыми мирами до заданного количества (взамен исключённых фильтром).

Ансамбль миров состоит из множества миров, полученных в результате повтора элементарного разбиения необходимое количество раз. Система масштабируется линейно.

В каждом облаке выбирается по два симметричных относительно центра экземпляра частицы, в соответствии с плотностью распределения. В случае, если в облаке два электрона — в каждый мир выбирается по целой симметричной паре. Если в облаке один электрон — в каждый мир выбирается по одному из экземпляров. «Классические» частицы (то есть те, вкладом от рассеяния которых мы пренебрегаем), представляются одним экземпляром, который входит во все миры. Для двух атомов водорода существуют четыре возможных варианта группировки минимального разбиения в миры, для минимального разбиения системы с двумя атомами гелия получается один мир со всеми четырьмя электронами.

В зависимости от выбранных (в соответствии с распределением) позиций частиц в мире, он может оказывать разный вклад в действующую между атомами силу. Приведены примеры разных элементарных разбиений, которые отталкивают или сближают миры, и рассмотрены аналитические расчёты для частных случаев рассеяний. Аналитический вывод общей картины невозможен, так как она зависит от распределения (которое может быть задано дискретно) и от действующих фильтров по мирам.

Без фильтров по энергиям и/или действию эффективная глубина потенциальной ямы (нормированная на массу) для гелия была бы больше на $\frac{1}{3}$. Ключевой момент метода заключается в фильтре

миров. Миры фильтруются по энергии и по массе: миры со слишком большой (выбивающейся за статистику) суммой действующих сил и с потенциальной энергией заметно выше среднего отбрасываются, вместе с ними исключаются симметричные к ним миры (для сохранения симметрии ансамбля миров).

- Для атомов водорода и гелия получаемая зависимость энергии от расстояния имеет форму потенциала Леннарда-Джонса, атомы водорода притягиваются сильнее.
- Метод может использоваться в качестве «дешёвой», но грубой альтернативы более «тяжёлых» расчётов состояний.
- Глубина и форма потенциальной ямы сильно зависят от применённых фильтров энергий и сил, можно проводить оптимизацию по фильтрам.
- Образование связи зависит от способа отъёма энергии, возможна доработка за счёт реализации излучения фотонов.
- Исходная плотность распределения электронных облаков оказывает сильное влияние на график потенциальной энергии. Для проверки метода использовались приближённые значения плотности электронных облаков. Для улучшения результатов можно использовать более точные значения, полученные, например, в рамках работы [1].

Литература

1. В. Мовчанская *Computation of the molecules' ground states and binding energies by Monte Carlo method*. 2011.

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ АНАЛИЗ ПРАВИЛ РАНЖИРОВАНИЯ РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ В ПОИСКОВЫХ СИСТЕМАХ

Блинов Никита Глебович

E-mail: nikita.blinov@gmail.com

Кафедра исследования операций

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Новикова Наталья Михайловна

В данной работе исследовались различные виды позиционных аукционов. Позиционный аукцион – это механизм распределения рекламных позиций в ответе поисковой системы на заданный пользователем запрос. Рекламодатели декларируют сумму, которую они готовы заплатить поисковой системе за один переход на их сайт, - а именно, делают ставку. На основе ставок всех претендентов поисковая

система определяет, чьи рекламные объявления попадут на страницу и на какую позицию.

В работе описаны различные виды данных аукционов, приведена их классификация. Для исследования в качестве базовой использовалась схема аукциона Викри-Кларка-Гроувза. Основная часть работы состоит из двух частей:

1. Формализация рассматриваемого аукциона в терминах теории игр и исследование на равновесие Нэша;
2. Исследование на коалиционные равновесия.

Приведем описание базовых величин модели:

1. N — число позиций на экране;
2. K — число претендентов, $K > N$;
3. s_k — полезность клика для рекламодателя k ;
4. b_k — ставка игрока k (его стратегия);
5. $b = (b_1, \dots, b_K)$ — вектор ставок рекламодателей;
6. $i = \pi_k(b)$ — позиция игрока k после ранжирования поисковиком;
7. α_i — CTR позиции i :

$$\alpha_1 > \alpha_2 > \dots > \alpha_N;$$

8. $u_k = \alpha_i s_k - p_i$ — функция выигрыша игрока k , занимающего позицию i , где p_i — платеж игрока, находящегося на позиции i .

$$p_i = (\alpha_i - \alpha_{i+1})b_{i+1} + p_{i+1}, \quad p_N = \alpha_N b_{N+1}.$$

От конкретной схемы аукциона зависит пункт 6 — ранжирование рекламодателей. В данной работе были рассмотрены два способа ранжирования:

- Одноэтапное ранжирование — по величине ставки b_k ;
- Двухэтапное ранжирование:
 1. Сначала по величине произведения ставки и коэффициента качества объявления $e_k b_k$ отбираются N рекламодателей, попадающих на страницу;
 2. Далее, отобранные рекламодатели ранжируются по величине ставки b_k .

В рамках первой части работы были получены следующие результаты:

- Аукционы с обоими типами ранжирования формализованы в терминах теории игр - определены игры **G1** и **G2**:

$$\mathbf{G1} = \langle \mathbf{K}, \mathbf{B_k}, u_k(\pi(b), b), k \in \{1, \dots, K\} \rangle;$$

$$\mathbf{G2} = \langle \mathbf{K}, \mathbf{B_k}, u_k(\pi^2(b), b), k \in \{1, \dots, K\} \rangle;$$

- Для **G1** и **G2** последовательно доказано следующее утверждение: честная стратегия $(b_k: b_k = s_k)$ является равновесной по Нэшу.

В рамках второй части работы были получены следующие результаты:

- Доказано утверждение: равновесие в честных стратегиях не является сильным в **G1**;
- Формализовано понятие коалиции для **G1**;
- Доказано утверждение: равновесие в честных стратегиях является коалиционно устойчивым по отношению к коалиции, заданной в предыдущем пункте;
- Введено понятие свойства позиционной устойчивости и сформулирована игра **G3**, соответствующая аукциону, обладающему этим свойством: $\mathbf{G3} = \langle \mathbf{N}, \mathbf{\Pi}, u_n(\pi), n \in \mathbf{N} \rangle$;
- Доказано утверждение: для игры при ограничениях введенного определения коалиции честная стратегия является сильным равновесием.

Основная используемая литература

1. А.А.Васин, П.С.Краснощеков, В.В.Морозов. *Исследование операций. Издательский центр "Академия"*. Москва, 2008.
2. Benjamin Edelman, Michael Ostrovsky, Michael Schwarz. *Internet Advertising and the Generalized Second Price Auction: Selling Billions of Dollars Worth of Keywords*. Harvard University, Stanford University, UC Berkeley, 2005.
3. А.А.Васин, В.В.Морозов. *Теория игр и модели математической экономики*. Макс пресс, Москва, 2005.

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВИХРЕВОГО ПРОГНОЗА

Работа удостоена диплома II степени

Завгородний Николай Сергеевич

E-mail: mr.zaff@gmail.com

Кафедра исследования операций

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Морозов Владимир Викторович

Во многих странах существует проблема перегруженности аэропортов. При взлете и посадке самолетов генерируют вихри, сходящие с их крыльев, что может создавать опасные ситуации для пролетающих самолетов. В настоящее время создаются наземные и бортовые аэронавигационные системы вихревого прогноза, позволяющие, с одной стороны, увеличить безопасность полетов, с другой увеличить пропускную способность взлетно-посадочной полосы.

Дипломная работа посвящена построению модели, с помощью которой можно оценить задержки самолетов при использовании систем вихревого прогноза. С этой целью задается расписание прибытия самолетов в воздушное пространство аэропорта. Диспетчер выстраивает самолеты в эшелон, длина которого влияет на время прибытия самолета. Сравниваются осредненные по «розе» ветров задержки при использовании систем вихревого прогноза и при стандартных интервалах между самолетами разных типов, утвержденных ICAO (Международный комитет гражданской авиации). Проведены конкретные расчеты, которые демонстрирует явное преимущество предложенной модели. В первой части дипломной работы излагается на основе теории подобия Мони́на-Обухова метод расчета турбулентных характеристик атмосферы, позволяющий, в частности, находить величины EDR (скорость изменения дисперсии случайной составляющей ветра) и ТКЕ (турбулентная кинетическая энергия), используемые в модели разрушения вихрей. В работе показано, что эти величины можно рассчитывать, используя только профили по высоте ветра и температуры.

Литература

1. Jongil Han, S. Pal Arya, Shaohua Shen, and Yuh-Lang Lin. *An Estimation of Turbulent Kinetic Energy and Energy Dissipation Rate Based on Atmospheric Boundary Layer Similarity Theory*. North Carolina State University, 2000.
2. S. Pal Arya. *Atmospheric Boundary Layer and Its Parameterizations*. Wind Climate in Cities, 1995.
3. Монин А.С., Обухов А.М. *Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы*. Труды Геофизического института, № 24, 1954.

4. Монин А. С., Яглом А. М. *Статистическая гидромеханика*. ч. 1, М.: 1965, ч. 2, М.: 1967
5. Обухов А.М. *Характеристики микроструктуры ветра в приземном слое атмосферы*. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1951, №3.
6. Седов Л.Н. *Механика сплошной среды*. Т.II – М.: Наука, 1976.
7. Горлин С.М., Слезингер И.И. *Аэромеханические измерения*. М.: 1964.

НЕПРЕРЫВНАЯ МОДЕЛЬ КРУПНЫХ ЗАКУПОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕРЫ РИСКА

Исмагилова Альфия Фаритовна

E-mail: alfiya400@gmail.com

Кафедра исследования операций

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Морозов Владимир Викторович

Одной из задач является поиск оптимальной стратегии исполнения заявки. С данной проблемой сталкиваются, например, крупные инвесторы, которые совершают сделки на покупку/продажу большого количества ценных бумаг, и крупную заявку часто разбивают на несколько небольших заявок, чтобы затраты на исполнение были управляемы.

Для решения данной задачи в [1-2] использовалась модель, основанная на следующих двух принципах:

1. изменение цены от торговли на рынке описывается статической функцией, которая зависит только от размера сделки и никак не отражает динамические свойства спроса/предложения ценных бумаг;
2. покупка/продажа ценных бумаг совершается дискретно, то есть в фиксированные моменты времени через определенные интервалы.

В статье [3] показано, что характеристики оптимальной стратегии исполнения главным образом определяются динамическими свойствами спроса/предложения, нежели их статическими свойствами. Кроме того показано, что если оптимально разбить закупки по времени на непрерывные, где покупка ценных бумаг совершается непрерывно в каждый момент времени, и дискретные, то оптимальная стратегия исполнения значительно отличается от стратегий, предложенных в ранних работах [1-2].

Для учета случайных факторов в статье [3] использовалось отношение к риску, однако более современным подходом является применение меры риска и условной меры риска.

Мера риска (value-at-risk, VaR) — это минимальная величина, которую с заданной вероятностью не превысят ожидаемые потери, а условная мера риска (conditional value-at-risk, CVaR) — это условное математическое ожидание потерь, превышающих меру риска.

В данной работе рассматривается непрерывная модель закупок, представленная в [3], с использованием меры риска и условной меры риска, и исследуется задача поиска оптимальной стратегии, минимизирующей VaR/CVaR для затрат на реализацию стратегии.

Как результат, были выведены необходимые и достаточные условия оптимальности стратегии, и была рассмотрена и решена задача минимизации верхней оценки VaR/CVaR затрат на исполнение заявки, и показано, что верхняя оценка также, как и мера риска, гарантирует, что затраты с заданным уровнем доверия не превысят величину этой оценки.

Литература

1. Almgren R. and Chriss N. *Optimal execution of portfolio transactions*. Journal of Risk, 2000, v. 3, pp. 5–39.
2. Bertsimas D. and Lo A. *Optimal control of execution costs*. Journal of Financial Markets, 1998, v. 1, pp. 1–50.
3. Obizhaeva A. and Wang J. *Optimal Trading Strategy and Supply/Demand Dynamics*. NBER Working Papers, 2005, No. 11444.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЗЕРВОВ ПО ПОРТФЕЛЮ СТРАХОВАНИЯ ЖИЗНИ

Некрасова Ольга Валерьевна

E-mail: olga-nek@vmail.ru

Кафедра исследования операций

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Денисов Дмитрий Витальевич

Деление ответственности — один из важнейших инструментов рисковой политики страховщика, позволяющий влиять на структуру портфеля и ограничивать страховой риск. Приняв решение о необходимости повышения надежности своей деятельности, страховщик (цедент) может заключить договор с предназначенной для таких целей перестраховочной компанией, заменив тем самым часть неизвестных расходов по убыткам на фиксированные расходы. Перестрахование — это способ сокращения риска и повышения финансовой устойчивости страховой компании, как правило, проще альтернативных, таких как увеличение премиального фонда, пополнение начального капитала или улучшение распределения совокупного убытка.

В рамках дипломной работы разрабатывались методы и алгоритмы оптимизации параметров стратегии перестрахования для моделей индивидуального и коллективного риска.

Был проведен анализ краткосрочной модели индивидуального риска с точки зрения использования стратегии перестрахования. На примере дискретного неоднородного портфеля показано, как заключение эксцедентного договора с одним и двумя уровнями удержания

влияет на увеличение вероятности неразорения относительно отказа от перестрахования. Были рассмотрены некоторые из возможных критериев анализа риска и сформулировано утверждение относительно параметров стратегии, минимизирующих сумму дисперсий риска cedenta и перестраховщика, и приведены примеры численной минимизации предложенных критериев.

Основной задачей была модификация модели коллективного риска (Крамера — Лундберга) путем рассмотрения страховой компании, работающей с конечным числом полностью независимых групп риска, каждая из которых характеризуется интенсивностью пуассоновского процесса наступления страхового случая и функцией распределения, описывающей размер риска. В работе было показано, что в таком случае вероятность неразорения удовлетворяет интегральному уравнению Вольтера II рода и описана стратегия двухуровневого эксцедентного перестрахования с выбором параметров по каждой из групп риска, выведено уравнение для определения вероятности неразорения в условиях составленной модели и описан алгоритм его решения, допускающий рекуррентное использование полученных на предыдущих шагах алгоритма результатов.

В качестве примера была рассмотрена страховая компания, работающая с двумя группами рисков, характеризующимися экспоненциальным и Гамма распределениями, и получен аналитический результат алгоритма по нахождению вероятности неразорения в явном виде.

Задача выбора оптимальных параметров для стратегии перестрахования проводилась на основе анализа квантильного критерия и была приведена численная минимизация в рамках рассматриваемой модели.

Литература

1. Bowers N. *Actuarial mathematics*. Itasca, Illinois: The Society of Actuaries, 1986.
2. Hipp C., Vogt M. *Optimal dynamical XL reinsurance*. ASTIN Bulletin, 2003. V. 33 pp. 193-207.
3. Григорьев Ю. Д., Ле Динь Шон *О минимизации вероятности разорения при эксцедентном перестраховании*. Автоматика и Телемеханика, 2007. Вып.6.
4. Мак Т. *Математика рискового страхования*. М.: ЗАО Олимп - Бизнес, 2005. - 432 с.
5. Манжиров А. В., Полянин А. Д. *Методы решения интегральных уравнений: Справочник*. М.: Факториал 1999.- 272 с.

6. Фалин Г. И. *Введение в актуарную математику*. М.: Физматлит, 2003. - 192с.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАХОВОЙ ПРЕМИИ

Одинокова Наталья Сергеевна

E-mail: natyodinokova@gmail.com

Кафедра исследования операций

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Денисов Дмитрий Витальевич

По прогнозам, правительство России и Союз автостраховщиков (РСА) в ближайшее время продолжат работу над внесением поправок в Закон об ОСАГО. В текущий момент стоимость полиса автострахования рассчитывается в порядке, установленном правительством РФ. Он определяет количество классов, соответствующие им коэффициенты, на которые умножается базовый тариф, и правила изменения классов.

Однако, в ближайшее время впервые государство планирует отойти от жесткого регулирования тарифов. Предполагается, что страховщики смогут не только менять размеры коэффициентов, но полностью изменить систему тарификации, в связи с чем изучение систем бонус-малус представляет особую важность.

Как известно, с помощью лишь априорных систем рейтингования часто невозможно исключить рисковую неоднородность внутри классов страхователей, поскольку некоторые из важнейших рисковых характеристики являются ненаблюдаемыми. Этот факт и вынуждает страховые компании применять системы бонус-малус для корректировки страховой премии по данному страховому полису в зависимости от исков по нему.

Для создания системы бонус-малус необходимо задать число классов, правила перехода между ними, начальный класс и шкалу премий. В данной работе проведено подробное изучение одного из методов расчета шкалы премий и его сравнение с двумя другими возможными методами;

Распределение числа страховых случаев по портфелю в целом, как правило, хорошо описывается смешанным распределением Пуассона: число страховых случаев для каждого отдельного страхователя считается пуассоновски распределенным, а в качестве смешивающего распределения в работе рассматривается дискретное распределение, у которого может быть более двух значений.

Описываемый в работе метод вычисления оптимальной шкалы премий предполагает концентрацию на асимптотическом поведении системы – минимизацию ошибки рейтингования при достижении системой некоторого стабильного состояния. Его ключевой особенностью можно назвать использование кусочно линейной функции потерь вместо традиционной квадратичной, что является не только экономически обоснованным решением, но и позволяет свести задачу оптимизации набора премий к задаче линейного программирования. Удобство такого

представления состоит не только в простоте решения получившейся задачи, но и в возможности выставлять некоторые дополнительные требования к системе, которые могут быть записаны в виде линейных ограничений.

Важнейшим аспектом работы является численный эксперимент, показывающий результаты применения полученных с помощью изучаемого метода векторов премий к набору модельных статистических данных за достаточно большой временной период. Хорошие результаты проведенного эксперимента подтверждают обоснованность всех используемых в методе предположений, в том числе о дискретном распределении рискового параметра, о достаточно быстром достижении системой некоторого в целом стабильного состояния и об отсутствии принципиального влияния наложения дополнительных требований на финансовый итог работы системы.

Литература

1. A. Heras-Martines, J. A. Gil-Fana, P. Garcia-Pineda, J. L. Vilar-Zanon *An application of linear programming to bonus malus system design*. ASTIN Bulletin, Volume 34.
2. A. Heras-Martines, J. A. Gil-Fana, J. L. Vilar-Zanon *Claim counts modeling and stable distributions*. ASTIN Bulletin, Volume 37.
3. M. Denuit, P. Lambert *Smoothed NPML estimation of the risk distribution underlying bonus-malus systems*. Proceedings of the Casualty Actuarial Society, Volume LXXXVIII.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Работа удостоена диплома III степени

Трофимов Сергей Александрович

E-mail: trofimov_s_a@mail.ru

кафедра исследования операций

Научный руководитель: к.т.н., доц. Решетов Валерий Юрьевич

Одной из наиболее актуальных задач по обеспечению безопасности в современном мире является задача по созданию систем защиты для предотвращения угрозы проведения террористического нападения. В данной работе на основе математических моделей, предложенных в [1] и [5] был предложен игровой подход к формализованной задаче обеспечения безопасности объектов от возможных атак потенциальных нарушителей, в том числе террористических. Определены две основные задачи, которые необходимо решать обороняющейся стороне:

- Определение уровня безопасности, реализуемого системой защиты обороняющейся стороны;

- Оптимизация системы защиты, гарантирующей заданный уровень безопасности.

В качестве условия достижения уровня безопасности для первой задачи используется результат оптимизационной задачи по минимизации ожидаемого ущерба. В качестве критерия оптимальности для второй задачи – минимизация средств, необходимых для обеспечения заданного уровня безопасности. Указанный подход широко применяется при моделировании террористической угрозы и хорошо согласуется с известными результатами (например [1]-[4]).

Для нахождения решения была рассмотрена следующая игра

$$\Gamma = \langle X, Y, EL(Y, X), EB(Y, X), w \in W, p \in P \rangle,$$

где X – стратегия нападающих, Y стратегия обороняющихся, с естественными ограничениями:

$$X = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_m) | \sum_{i=1}^m a_i x_i = M_A < B_A (\leq B), x_i \geq 0, i = 1, \dots, m\},$$

$$Y = \{y = (y_1, y_2, \dots, y_n) | \sum_{j=1}^n d_j y_j = M_D, 0 \leq y_j \leq \overline{y_j} (\text{в т.ч. } \overline{y_j} = \infty), j = 1, \dots, n\},$$

Стратегией игроков является распределение по доступным m средствам нападения и n средствам защиты, где $d_j > 0$ – стоимость единицы j -того средства защиты, $a_i > 0$ – стоимость единицы i -того средства нападения, взаимодействие которых полагается известным.

Рассматриваются выигрыши сторон: EL функция ожидаемых потерь (для защиты – величина отрицательная), EB функция ожидаемого выигрыша для атакующей стороны:

$$EL(Y, X) = p_D(W = 0|Y, X) \cdot u_D(X, W = 0) + p_D(W = 1|Y, X) \cdot u_D(X, W = 1)$$

$$EB(Y, X) = p_A(W = 0|Y, X) \cdot u_A(X, W = 0) + p_A(W = 1|Y, X) \cdot u_A(X, W = 1)$$

где $p_A(W|Y, X)$ и $p_D(W|Y, X)$ – оценка вероятности успешного теракта, принимаемая игроками, а $u_A(X, W)$ и $u_D(X, W)$ – оценка затрат;

W – случайная величина, принимающая значения в зависимости от исходов нападения $(0, 1)$.

p – параметр, определяющий вероятность наступления следующих событий в модели:

- выбор объекта (принимается, что выбор происходит с вероятностью 1);
- преодоление средств защиты;
- завершение нападения.

С помощью построенной модели предложен общий подход к решению, основанный на нахождении оптимальных стратегий сторон исходя из условия равновесия Нэша:

$$X^* = \operatorname{argmax} \sum_{y \in Y} \left[\sum_{w \in \{0,1\}} u_A(X, w) \cdot p_A(W = w|Y, X) \right] \cdot \pi_A(Y = y)$$

Аналогичное выражение записывается для y^* . Известные подходы к решению этой задачи строятся с использованием вложенных задач, определяющих оптимальные решения исходя из выбранных стратегий противника. Основной проблемой является неопределенность выбора стратегий противоположной стороной. На основе известных результатов оптимизации стратегий, полученных в [1] и [5] была построена упорядоченная система вероятностных отношений между стратегиями нападения и обороны с помощью введения определенных уровней безопасности. Это позволило получить решения для поставленных задач. С помощью разработанной модели и с использованием информационных и экспертных данных были получены числовые решения для объекта, аналогичного типовому торговому центру.

Литература

1. A.Major John *Advanced Techniques for Modeling Terrorism Risk*. - 2002 г.
2. Bier Vicki *Choosing what to protect: Strategic Defensive Allocation against an Unknown Attacker*. - 2005 г.
3. Geoffrey Heal Howard Kunreuther *Interdependent Security: A General Model*. - 2005 г.
4. Jesus Rios David Rios Insua *Adversarial Risk Analysis for Counterterrorism Modeling*. - 2010 г.
5. А.А.Васин, П.С.Краснощеков, В.В.Морозов *Исследование операций*. - Москва:, 2008 г.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФИНАНСОВОГО КРИЗИСА

Губанова Маргарита Андреевна

E-mail: gubanovamargarita@gmail.com

Кафедра оптимального управления

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент, Хайлов Евгений Николаевич

На протяжении почти двухвекового периода становления и развития мирового индустриального общества в экономике многих стран происходили кризисы, во время которых наблюдался нарастающий

спад производства, скопление нереализованных товаров на рынке, падение цен, крушение системы взаимных расчетов, крах банковских систем, разорение промышленных и торговых фирм, резкий скачок безработицы. Все эти события показывают, что наше экономическое будущее небезопасно, мировая экономика является очень неустойчивой системой и может быть сломлена. Это также приводит к вопросам: можно ли этих событий избежать, что может быть сделано для недопущения или предотвращения подобных событий в будущем, или смягчения их последствий. Поэтому сейчас как никогда важно владеть актуальной информацией о современном экономическом кризисе. В связи с этим большой интерес представляет статья [1], которая предлагает рассматривать модель финансового кризиса на основе модели распространения заболевания.

Первая часть дипломной работы посвящена двумерной математической модели взаимодействия фирм в условиях финансового кризиса, которая изучается на основе управляемой модели процесса распространения эпидемии [2]. Предполагается, что экономика — это совокупность взаимодействующих различных фирм. В соответствии с математической моделью управления эпидемий делим их на две группы: стабильные («здоровые») — фирмы, подверженные влиянию кризиса, и нестабильные («больные») — фирмы, пострадавшие от влияния кризиса. Считаем, что нестабильные фирмы имеют финансовые трудности (т.е. не в состоянии исполнить свои финансовые обязательства).

Вторая часть дипломной работы посвящена трехмерной модели взаимодействия фирм в условиях финансового кризиса. Она является развитием двумерной модели, поскольку в рассмотрение добавляются фирмы, восстановившиеся во время кризиса. Целью задач оптимального управления для рассматриваемых моделей является минимизация количества нестабильных фирм, а также затрат в виде вложения денежных средств.

Литература

1. Andrei Korobeinikov. *Financial crisis: An attempt of mathematical modelling*. Appl. Math. Lett. 22(12): 1882-1886 (2009).
2. Андреева Е. А., Цирулева В. М. *Вариационное исчисление и методы оптимизации*. — М.: Высшая школа, 2006.
3. Ли Э. Б., Маркус Л. *Основы теории оптимального управления*. — М.: Наука, 1972.
4. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. *Математическая теория оптимальных процессов*. — М.: Наука, 1983.

5. Никольский М. С. *О линейных нестационарных управляемых процессах*. Труды математического института им. В. А. Стеклова, 2008, т.262, с.196–201.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Дигаилова Анастасия Михайловна

E-mail: digailova_nastya@mail.ru

Кафедра оптимального управления

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Григоренко Николай Леонтьевич

В дипломной работе предложена модель и разработана программа численного решения задачи оптимизации скорости разработки слоя фазы месторождения, разрабатываемого открытым способом, в случае месторождения, содержащего несколько минералов, при квадратичных зависимостях концентраций минералов от глубины залегания и непрерывных функциях биржевых цен на чистые минералы.

Рассматривается процесс выкапывания слоя породы высотой H и объемом a , при предположении, что часть пласта объемом v , высотой H выкапывается мгновенно и частично отправляется на переработку. Выкапывающие и перерабатывающие мощности ограничены константами P и Q . Пусть $y(t)$ — объем выкопанного грунта в момент времени t ; $v(t)$ — скорость выкапывания грунта в момент времени t .

Динамика изменения объема выкопанного грунта имеет вид:

$$\dot{y} = v, \quad y(0) = 0, \quad y(T) = a, \quad P \leq v \leq Q.$$

Рассматривается задача максимизации показателя экономической эффективности процесса управления:

$$J(v) = \int_0^T e^{-\nu t} \cdot (-S_1(t, v(t)) - S_2(t) + S_3(t, v(t))) dt \rightarrow \max_{v(t) \in [P, Q]}$$

Здесь $S_1(t, v(t)) = mv(t)$ — стоимость выкапывания грунта в единицу времени, m — стоимость выкапывания единицы объема руды; $S_2(t) = pP$ — стоимость переработки грунта в единицу времени, p — стоимость переработки единицы объема руды; ν — коэффициент дисконтирования, $S_3(t, v(t))$ — стоимость добытых минералов в единицу времени. При известных данных о концентрации минералов от глубины залегания $f_i(h)$, где $h \in [0, H]$, $i = 1, \dots, k$ и биржевой стоимости единицы объема i -ого чистого минерала $s_i(t)$, где $t \in [0, T]$, $i = 1, \dots, k$, имеем:

$$S_3(t, v(t)) = \frac{v(t)}{H} \int_{H^*(t)} \sum_{i=1}^k s_i(t) f_i(h) dh.$$

Множество $H^*(t)$ определено соотношением: $mes H^*(t) = \frac{PH}{v(t)}$.

В работе показано, что для квадратичных функций концентрации минералов $f_i(h)$: $f_i(h) = \alpha_{1i}h^2 + \alpha_{2i}h + \alpha_{3i}$, $i = 1, \dots, k$ подынтегральное выражение можно представить в виде квадратичной функции с коэффициентами, зависящими от времени:

$$\sum_{i=1}^k s_i(t)f_i(h) = \alpha_1(t)h^2 + \alpha_2(t)h + \alpha_3(t),$$

где $\alpha_j(t) = \sum_{i=1}^k \alpha_{ji}s_i(t)$, $j = 1, 2, 3$. Далее получено аналитическое выражение для функции $S_3(t, v)$. Показано, что эта функция является кусочно непрерывной и ее вид зависит как от знака коэффициента $\alpha_1(t)$, так и от расположения вершины параболы на отрезке $[0, H]$.

Для численного решения задачи оптимального управления нефиксированным моментом окончания и непрерывными функциями $s_i(t)$ использовался вариант метода проекции градиента [1].

Одной из целей дипломной работы было написание приложения на языке Matlab. В ходе выполнения работы было создано и протестировано на модельных и реальных данных компьютерное приложение, дающее возможность не только получать решение задачи при различных наборах параметров, но и обладающее богатыми возможностями для визуализации и сравнения результатов расчетов. Приложению позволяет сохранять результаты вычислений, как численные, так и графические, и предоставляет возможность проведения сравнительного анализа полученных результатов. Программа протестирована на вариантах задачи, имеющих аналитическое решение [2], которое строится на основе принципа максимума Понтрягина [3].

1. Васильев Ф. П. *Методы оптимизации*. М. Факториал Пресс: 2002.
2. Григоренко Н. Л., Камзолкин Д. В., Лукьянова Л. Н., Пивоварчук Д. Г. *О задаче оптимального управления с интегральным функционалом от рациональной функции управления* // Дифференциальные уравнения, 2009 т. 45, №11, с. 1586–1600.
3. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкредидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. *Математическая теория оптимальных процессов*. — М.: Наука, 1961.

НЕКОТОРЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Молчанов Александр Александрович

E-mail: amolchanov@cs.msu.su

Кафедра оптимального управления

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Никольский Михаил Сергеевич

Работа состоит из трёх глав, посвящённых различным аспектам и задачам оптимального управления.

В первой главе изучается управляемая модель хронического миелолейкоза, предложенная в статьях [6,7]. В ходе исследования было изучено поведение траекторий, и получены оценки, которые позволяют сделать вывод о неотрицательности и продолжимости решений системы на полуинтервал $[0, +\infty)$. Данное условие играет важную роль в теоремах существования оптимального управления для задач с различными видами функционалов (к примеру, см. [2])

Вторая глава посвящена изучению и реализации методов решения задачи терминального управления летательным аппаратом с обходом препятствия. В данной работе рассматривается случай, когда препятствие представляет собой сферу переменного радиуса, которая движется в пространстве по заданной траектории. Задача заключается в том, чтобы перевести аппарат из одной заданной точки пространства в другую заданную точку за фиксированное время, обойдя при этом препятствие. Был реализован алгоритм, основанный на идеях из книг [3,4] и статьи [5], который позволяет численно решить поставленную задачу терминального управления для одной математической модели летательного аппарата.

В третьей главе рассматривается один алгоритм построения множеств достижимости управляемых систем, и его реализация для высокопроизводительных вычислительных систем. Приводятся результаты расчётов некоторых известных примеров, а также исследование множеств достижимости упрощённой версии модели DICE-94, предложенной Нордхаузом для описания взаимосвязи экономического роста с процессами глобального потепления.

Литература

1. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. *Математическая теория оптимальных процессов* М.:Физматлит, 1961.
2. Ли Э., Маркус Л. *Основы теории оптимального управления* М. : Наука, 1972.
3. Батенко А. П. *Системы терминального управления* М.: Радио и связь, 1984.
4. Крутько П. Д. *Обратные задачи динамики управляемых систем: нелинейные модели* М.: Наука, 1988
5. Канатников А. Н., Шмагина Е. А. *Задача терминального управления движением летательного аппарата* Нелинейная динамика и управление, вып. 7, с. 79–94, М.: Физматлит, 2010
6. Moore H., Li N. K. *A mathematical model for chronic myelogenous leukemia (CML) and T cell interaction.* Journal of Theoretical Biology, 2004, vol.227, pp.513–523.

7. Nanda S., Moore H., Lenhart S. *Optimal control of treatment in a mathematical model of chronic myelogenous leukemia*. Mathematical Biosciences, 2007, vol.210, pp.143–156.
8. Nordhaus W. D., Boyer J. *Warming the World — Economic Models of Global Warming* MIT Press, 2001.

**ВЫЧИСЛЕНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МНОЖЕСТВ
ДОСТИЖИМОСТИ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА
ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ**

Новикова Алина Олеговна

E-mail: novikova.a.o.@gmail.com

Кафедра оптимального управления

*Научный руководитель: старший преподаватель,
Аввакумов Сергей Николаевич*

Оптимальное управление охватывает широкий круг задач, в которых, при определённых ограничениях на ресурсы, требуется минимизировать (максимизировать) заданный критерий качества. Задачи оптимального управления встречаются в различных областях науки, техники, медицины, экономики, экологии. Актуальными являются задачи ядерной энергетики (управление охлаждением реактора), робототехники (движение роботов, управление всевозможными станками и автоматами), механики полёта (самонаводящиеся ракеты, автопилоты, автоматическая стыковка на орбите, управление самолетом), экономики (задачи долгосрочного планирования), экологии (расчёт допустимого воздействия на экосистему), биофизики и медицины (модели распространения эпидемии) и т. д.

В задачах оптимального управления важную роль играет множество достижимости [1]. Оно описывает все возможные положения управляемой системы в заданный момент времени.

В дипломной работе рассмотрены два метода построения множеств достижимости для управляемых систем: первый метод — метод, основанный на принципе максимума Понтрягина, второй — пиксельный метод [3].

Предлагаемые алгоритмы позволяют эффективно разделить процедуру вычислений на множество независимых параллельных процессов, поэтому для программирования используется технология CUDA (Compute Unified Device Architecture) [4] с Си-подобным языком программирования. Применение такой технологии сокращает время вычислений в несколько десятков раз.

Разработана программа, реализующая данные методы, исследованы контрольные задачи. Результаты вычислений сопоставлены с известными аналитическими решениями [1], [2]. Описаны преимущества применяемых

методов. Проведённые исследования показывают эффективность предлагаемых алгоритмов. Подготовленная программа позволила провести численные исследования множеств достижимости ряда линейных и нелинейных двумерных управляемых систем с различными областями управления и множествами начальных состояний управляемого объекта.

Разработанная программа может быть полезной при анализе управляемых моделей, представляющих прикладной интерес. Результаты дипломной работы докладывались на конференции “Ломоносов — 2012” [5].

Литература

1. Киселёв Ю.Н., Аввакумов С.Н., Орлов М.В. *Оптимальное управление. Линейная теория и приложения: Учебное пособие*. М.: МАКС Пресс, 2007.
2. Киселёв Ю.Н. *Построение точных решений для нелинейной задачи быстрого действия специального вида: Фундаментальная и прикладная математика*. 1997. Т. 3. Выпуск 3, с. 847–868.
3. Гусейнов Х.Г., Моисеев А.Н., Ушаков В.Н. *Об аппроксимации областей достижимости управляемых систем. — Прикладная математика и механика*. 1998. Т. 62. Выпуск 2, с. 179–187.
4. Боресков А.В., Харламов А.А. *Основы работы с технологией CUDA: Учебное пособие*. М.: ДМК-Пресс, 2010.
5. Новикова А.О. *Построение множеств достижимости*. Сборник тезисов XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Ломоносов — 2012”, секция “Вычислительная математика и кибернетика”, с. 63.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Работа удостоена диплома II степени

Орлов Сергей Михайлович

E-mail: sergy.orlov@rambler.ru

Кафедра оптимального управления

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Киселёв Юрий Николаевич

В дипломной работе рассматривается одномерная нелинейная задача оптимального управления (модифицированная модель)

$$\begin{cases} \dot{z} = (1+z)u - z(1+\sqrt{z}), & z(0) = z_0 > 0, \\ L[u] = \omega_1 L_1 + \omega_2 L_2 \rightarrow \max_{u(\cdot)}, & 0 \leq u \leq 1, \end{cases}$$

где в случаях конечного и бесконечного горизонтов планирования соответственно

$$L_1[u] = \int_0^T [1 + \sqrt{z} - u] dt, \quad L_2[u] = \int_0^T \frac{u}{z} dt,$$

$$L_1[u] = \int_0^{+\infty} e^{-\nu t} [1 + \sqrt{z} - u] dt, \quad L_2[u] = \int_0^{+\infty} e^{-\nu t} \frac{u}{z} dt.$$

Здесь z — одномерная фазовая переменная, u — скалярное управление, подчинённое геометрическому ограничению $u \in [0, 1]$, $T > 0$ — заданная, «достаточно большая», длительность процесса управления, параметры ω_1, ω_2 — заданные неотрицательные числа, такие что $\omega_1 + \omega_2 = 1$, ν — заданный положительный коэффициент дисконтирования.

Эта задача является модификацией задачи оптимального управления (модели «РОСТ», см. [2])

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_1 \left[\phi_1 + \phi_2 \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^\gamma - g_1 u \right], & x_1(0) = x_{10}, \\ \dot{x}_2 = x_1 g_2 u, & x_2(0) = x_{20}, \\ J[u] = \int_0^T e^{-\nu t} [b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + \ln u] dt \rightarrow \max_{u(\cdot)}, \end{cases}$$

в которой одномерное управление u подчинено геометрическому ограничению

$$u \in [u_{min}, u_{max}],$$

положительные параметры

$$\phi_1, \phi_2, g_1, g_2, b_1 \geq 1, b_2, \nu, T, x_{10}, x_{20}, u_{min}, u_{max}, \gamma \in (0, 1]$$

считаются заданными.

На основе принципа максимума Понтрягина (см. [1]) проведено исследование модели «РОСТ», в котором обосновано существование решения и доказана оптимальность экстремального решения с помощью теоремы о достаточных условиях оптимальности (см. [3]).

Решение модифицированной модели построено на основе специального интегрального представления функционала с привлечением принципа максимума Понтрягина, найдены оптимальные управления и траектории в случаях конечного и бесконечного горизонтов планирования.

Для численного исследования этих задач разработана программа в среде Matlab, использующая результаты работы над задачами и некоторые численные методы.

Часть материалов дипломной работы является продолжением статьи [4]; ещё одна статья автора (объёмом 25 страниц) сдана в печать. По тематике дипломной работы состоялись выступления на научных конференциях [5,6].

Литература

1. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкrellидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. *Математическая теория оптимальных процессов*. Москва. 1961. 391 с.
2. Аввакумов С. Н., Киселёв Ю. Н. *Численный метод поиска оптимального решения: Модель «Рост»*. Математические модели в экономике и биологии. Материалы научного семинара. Планерное. Московская обл. МАКС Пресс. 2003. с. 5–15.
3. Киселёв Ю. Н. *Достаточные условия оптимальности в терминах конструкций принципа максимума Понтрягина*. Математические модели в экономике и биологии. Материалы научного семинара. Планерное. Московская обл. МАКС Пресс, 2003, с. 57–67.
4. Киселёв Ю. Н., Орлов С. М., Орлов М. В. *Исследование одной нелинейной задачи оптимального управления с особыми режимами*. Проблемы динамического управления. Выпуск 5. Под редакцией академика РАН Ю. С. Осипова, академика РАН А. В. Кряжжмского. Москва. МАКС Пресс, 2010, с. 113–127.
5. Орлов С. М. *Максимизация уровня развития технологий в одной модели экономического роста*. Сборник тезисов XVIII научной конференции «Ломоносов-2011». Москва. МАКС Пресс, 2011, с. 42–43.
6. Орлов С. М. *Поиск оптимального решения в модели экономического роста специального вида*. Сборник тезисов XIX научной конференции «Ломоносов-2012». Москва. МАКС Пресс, 2012, с. 64–65.

ОПТИМАЛЬНАЯ ГАУССОВА АППРОКСИМАЦИЯ В МОДЕЛИ ИЗИНГА

Романенко Юлия Александровна

E-mail: romanenko.julia@gmail.com

Кафедра оптимального управления

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Мельников Николай Борисович

В работе проведено исследование метода оптимальной гауссовой аппроксимации применительно к модели Изинга — простейшей модели, описывающей систему взаимодействующих спиновых моментов в

кристаллической решетке (см., напр., [1]). Одномерная и двумерная модели Изинга допускают точное решение. В размерности три точные решения не найдены, поэтому исследование модели требует различных приближений.

Метод оптимальной гауссовой аппроксимации в теории спиновых флуктуаций магнетизма металлов был строго обоснован в работах [2–4]. В работе [5] метод оптимальной гауссовой аппроксимации был использован для вычисления магнитных характеристик диэлектриков, представляющих собой систему с локализованными спинами.

В настоящей работе дано строгое обоснование основных уравнений работы [5]. Приведен строгий вывод уравнений оптимальной гауссовой аппроксимации, полученной при помощи приближения случайного (флуктуирующего) поля независимыми полями. В основе приближения лежит принцип минимума свободной энергии (см. [3] и цитированную там литературу).

Поведение решений системы нелинейных уравнений, описывающей параметры оптимальной гауссовой аппроксимации, исследовано численно. При помощи метода продолжения по параметру (см., напр., [6, 7]) была получена зависимость решения от температуры.

Дипломная работа представляет собой расширенный вариант статьи [8].

Литература

1. Kim D. J. *New perspectives in magnetism of metals*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. 1999.
2. Melnikov N. B., Reser B. I., Grebennikov V. I. *Extended dynamic spin-fluctuation theory of metallic magnetism*. J. Phys.: Condens. Matter. 2011. **23**, 276003 (11 pp.)
3. Мельников Н. Б., Резер Б. И. *Оптимальное гауссово приближение в теории флуктуирующего поля*. Труды математич. института им. В. А. Стеклова РАН. 2010. Т. 271. С. 159–180.
4. Melnikov N. B., Reser B. I., Grebennikov V. I. *Spin-fluctuation theory beyond Gaussian approximation*. J. Phys. A: Math. Theor. 2010. V. 43. 195004 (19 pp.)
5. Grebennikov V. I. *A Fluctuating Field Theory for Systems of Localized Magnetic Moments*. Solid State Phenom. 2009. Vols. 152–153. pp. 563–566.
6. Ортега Дж., Рейнболдт В. *Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными*. М.: Мир, 1975.

7. Шалашилин В. И., Кузнецов Е. Б. *Метод продолжения по параметру и наилучшая параметризация (в прикладной математике и механике)*. М.: Эдиториал УРСС, 1999.
8. Мельников Н. Б., Романенко Ю. А. *Оптимальное гауссово приближение в модели Изинга*. Вестник МГУ. Сер. 15 ВМК. 2012 (представлена к публикации).

Задача Годдарда для многоступенчатой ракеты

Работа удостоена диплома III степени

Самыловский Иван Александрович

E-mail: barbudo.sam@ctc.msu.ru

Кафедра оптимального управления

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Дмитрук Андрей Венедиктович

Задача Годдарда, рассматривавшаяся во многих работах по теории управления, в классической постановке [1] заключается в максимизации высоты вертикального подъема ракеты при наличии ограничений на расход топлива. Известно, что особенностью оптимальных траекторий в данной задаче является наличие особых участков, которые, однако, обычно могут быть обнаружены лишь с использованием специальных численных методов. Тем более затруднен их поиск в случае, когда ракета является многоступенчатой [3] (т.е. появляются условия отброса ступени по исчерпанию запаса топлива, задающиеся ограничениями в неизвестные моменты времени t_k внутри отрезка интегрирования $m(t_k - 0) = m_k^-$, $m(t_k + 0) = m_k^+$), и сопряженные переменные в условиях принципа максимума могут иметь скачки в эти моменты [2].

Одной из целей исследования был поиск упрощенной формулировки задачи, в которой при наличии особых участков вид управления на них можно было бы определить аналитически. Была предложена следующая упрощенная модель:

$$\left\{ \begin{array}{lll} \dot{x} = y, & x(0) = 0, & x(t) - \text{высота подъема} \\ \dot{y} = u - \varphi(y), & y(0) = 0, & y(t) - \text{скорость ракеты} \\ \dot{m} = -u, & m(0) = m_0, & m(t) - \text{масса ракеты} \\ m(t_1 - 0) = m_1, & m(t_1 + 0) = m_2, & t_1 - \text{момент отделения} \\ & & \text{ступени} \\ m(T) = m_T, & 0 \leq u \leq C, & x(T) \rightarrow \max. \end{array} \right.$$

Доказано следующее утверждение:

Теорема *Оптимальная траектория может содержать только один особый участок, попадание на который возможно лишь после момента*

отделения первой ступени. При этом, если существует $\varphi''_{yy} \neq 0$, то управление на особом участке определяется по формуле $u_{sing} = \varphi(y(t))$.

Это позволило определить момент захода на особый режим, сведя исходную задачу оптимального управления к задаче одномерной максимизации, которая в общем случае решается численно.

Проведенные численные эксперименты показывают наличие порогового значения T_* длины отрезка интегрирования, после которого на оптимальной траектории появляется особый участок. Определение выражения для T_* является одной из целей дальнейших исследований.

Полученная нами постановка представляет также интерес при исследовании модификаций классической задачи об управлении горизонтальным движением тележки при наличии сопротивления окружающей среды, нелинейно зависящего от скорости. В работе изложены результаты по расчету множеств достижимости для подобных систем, представленные на школе-конференции ANOC [4] в апреле 2012 года.

Литература

1. R.H. Goddard, *A method on reaching extreme altitudes*, Smitsonian Miscellaneous Collection, vol. 71, No. 2, 1919, 82 pages.
2. А.В. Дмитрук, А.М. Каганович, *Принцип максимума для задач оптимального управления с промежуточными ограничениями*, Сб. "Нелинейная динамика и управление" – М.: Наука, 2008, т. 6, с. 1–40.
3. P. Martinon, F. Bonnans, J. Laurent-Varin, E. Trelat, *Numerical study of optimal trajectories with singular arcs for an Ariane 5 launcher*, J. of Guidance, Control, and Dynamics vol. 32, №. 1, 2009, pp. 51–55.
4. Ivan Samylovskiy, *Implementation and usage of .NET and Silverlight class library for numerical solution of optimal control problems*, Applied and Numerical Optimal Control Spring School and Workshop, ENSTA Paris Tech, Paris, 2012, Programme, pp. XVII.12–XVII.14.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Работа удостоена диплома III степени

Стрелковский Никита Витальевич

E-mail: forlan@me.com

Кафедра оптимального управления

Научный руководитель: к.ф.-м.н., н.с. Ровенская Елена Александровна

Дипломная работа состоит из двух частей: первая часть относится к области имитационного моделирования, а вторая часть – к области анализа динамических систем.

Во введении представлен обширный обзор литературы, на основе которого описаны основные понятия агентно-ориентированной парадигмы моделирования, рассмотрены основные области её применения и был проведён сравнительный анализ нескольких программных пакетов для имитационного моделирования.

В первой части дипломной работы разработана простейшая имитационная модель устойчивого развития абстрактного региона. Регион состоит из двух зон: промышленной и сельскохозяйственной. В качестве агентов выступают люди, завод, ферма и правительство. В качестве пассивных объектов выступают части окружающей среды: атмосфера и водные ресурсы. Агенты находятся во взаимодействии друг с другом и с окружающей средой. Модель выполняется в виде симуляции в режиме реального времени и позволяет собирать статистическую информацию. Для иллюстрации работы модели представлены четыре качественно различных экономико-экологических сценария развития региона. Для построения модели была использована среда моделирования AnyLogic. Настоящая модель может быть использована в качестве искусственной лаборатории для тестирования решений задач оптимального управления в простых экономических моделях.

Во второй части данной работы рассматривается вопрос об аппроксимации динамических систем большей размерности системами меньшей размерности. Уменьшение размерности системы может являться эффективным подходом к снижению вычислительных затрат, а это особенно актуально при моделировании социальных, экономических и экологических систем. Рассматривается задача Коши для системы линейных однородных дифференциальных уравнений

$$\dot{x}(t) = Ax(t), \quad x(0) = x_0, \quad t \in [0, T],$$

и её выход, размерность которого не превосходит размерности исходной системы

$$z(t) = Cx(t), \quad t \in [0, T],$$

где $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $C \in \mathbb{R}^{m \times n}$ - постоянные заданные матрицы, $x_0 \in \mathbb{R}^n$ - постоянный заданный вектор начальных значений. Требуется приблизить выход решением аппроксимирующей задачи Коши

$$\dot{y}(t) = By(t), \quad y(0) = y_0, \quad t \in [0, T]$$

в каком-то смысле, то есть, найти матрицу $B \in \mathbb{R}^{m \times m}$ и вектор начальных значений $y_0 \in \mathbb{R}^m$. В качестве критерия точности аппроксимации рассматривается функция невязки

$$\Phi(A, B, y_0) = \|z(\cdot) - y(\cdot)\|_{L^2[0, T]}^2$$

Предлагаются три метода решения задачи аппроксимации. В случае, если матрица A задана точно, используем минимизационный подход:

$$(B^*(A), y_0^*(A)) = \arg \min_{B, y_0} \Phi(A, B, y_0).$$

В случае, если матрица A задана с неопределённостью, используем минимаксный подход:

$$(B^*(A), y_0^*(A)) = \arg \min_{B, y_0} \max_A \Phi(A, B, y_0).$$

Также был предложен модифицированный минимаксный подход:

$$(B^*(\bar{A}), y_0^*(\bar{A})) = \arg \min_{B, y_0} \Phi(\bar{A}, B, y_0),$$

$$\bar{A}^* = \arg \min_{\bar{A}} \max_A \Phi(A, B^*(\bar{A}), y_0^*(\bar{A})),$$

$$B^* = B^*(\bar{A}), y_0^* = y_0^*(\bar{A}).$$

Исследование вопроса о существовании минимума функционала невязки для матрицы B общего вида оказалось невозможным в аналитическом виде, однако было доказано, что если B - диагональная матрица, то минимум функционала невязки существует, причём $\Phi(A, B^*, y_0^*) \leq \|z(\cdot)\|_{L^2[0, T]}^2$.

Указанные методы были проиллюстрированы на примерах, где показали хорошую точность приближения.

Результаты данной работы были представлены на конференциях «Ломоносовские чтения-2011» и «Ломоносов-2012».

Литература

1. Васин А. А., Морозов В. В. *Введение в теорию игр с приложениями в экономике*. Москва: МАКС-Пресс, 2003.
2. Карпов Ю. Г. *Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование на AnyLogic 5*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005.
3. Магнус Я. Р., Катышев П. К., Пересецкий А. Л. *Эконометрика. Начальный курс*. Москва: Дело, 2004.
4. Macal C. M., North M. J. *Introduction to Agent-based modeling and simulation*. MCS LANS Informal Seminar, 2006.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРАПИИ ЛЕЙКЕМИИ

Гончаров Андрей Сергеевич

E-mail: ansgon@ya.ru

Кафедра системного анализа

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Братусь Александр Сергеевич

Дипломная работа посвящена модифицированной нелинейной модели терапии лейкемии, впервые предложенной в работе [5], которая базируется на основном предположении о росте клеток по закону Гомперца.

Важным преимуществом исследованной модели является факт, что при большом количестве нормальных клеток лейкоэмийные клетки становятся ингибиторами роста только для некоторого числа здоровых клеток, что следует из ограниченности пространства костного мозга. Еще одним отличительным свойством является уничтожение лекарством не только больных клеток, но и здоровых. При этом лекарство влияет на больные и здоровые клетки через функции терапии, которые имеют вид $f_1(h) = ah(t)e^{-bh(t)}$ и $f_n(h) = \frac{\lambda h}{1+h}$, что подтверждается реальными данными ([2]).

Основной целью было построения синтеза оптимального управления, минимизирующего условный функционал, в котором учитывается терминальное условие $N(T) > N_{min}$. Функционал равен количеству больных клеток, если терминальное ограничение выполнено, если же ограничение нарушено, то функционал штрафует разностью $\alpha(N_{min} - N(T))$, где α — неотрицательная константа. Как известно, задача синтеза оптимального управления сводится к поиску решения уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана (являющегося уравнением в частных производных первого порядка) во всём фазовом пространстве, что в значительной степени ограничивает возможность применения численных методов, поэтому задача решалась с помощью аналитического модифицированного метода характеристик ([1], [3]).

Было рассмотрено два основных случая: с учетом терминального ограничения и без ($\alpha = 0$). Второй случай примечателен тем, что оптимальное управление можно построить интуитивно, без применения специального математического аппарата. Была построена сингулярная характеристика, существование которой доказывается в работе [4]. В итоге после применения метода характеристик аналитически был получен закон переключения оптимального управления. Для первого случая же была построена поверхность переключений в четырехмерном пространстве, определяющая профиль оптимального управления. В обоих случаях аналитически вычислены псевдорешения уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана и их частные производные, подробно проиллюстрированы все этапы применения модифицированного метода характеристик. Проведены различные численные эксперименты, показывающие состоятельность

рассмотренной модели.

Литература

1. Братусь А. С., Зайчик С. Ю. *Гладкое решение уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана в математической модели оптимальной терапии вирусных инфекций.* // Дифференциальные уравнения, 2010, т. 46, с. 1571–1583.
2. Quintas-Cardama, Cortes J. E. *Mechanisms of primary and secondary resistance to imatinib in chronic myeloid leukemia.* // Cancer Control, 2009, v. 16, № 2, p. 122–131.
3. Subbotina N. N. *The method of characteristics for Hamilton-Jacobi equation and its applications in dynamical optimization.* // Modern Mathematics and its Applications, 2006, v. 135, p. 2957–3091.
4. Меликян А. А. *Особые характеристики дифференциальных уравнений с частными производными первого порядка в оптимальном управлении и дифференциальных играх.* // Соврем. мат. и ее прил., 1999, т. 64, с. 179–196.
5. Afenya E. K., Calderon C. P. *A brief look at normal cells decline and inhibition in acute leukemia.* // J. Can. Det. Prev., 1996, v. 20, № 3, p. 171–191.

ЭЛЛИпсоиДАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ МНОЖЕСТВ ДОСТИЖИМОСТИ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ

Мандельбаум Константин Андреевич

E-mail: k_blum@mail.ru

Кафедра системного анализа

Научный руководитель: акад. Куржанский Александр Борисович

Рассматривается гибридная система, состоящая из k линейных подсистем с управлением:

$$\dot{x}^{(i)} = A^{(i)}(t)x^{(i)} + B^{(i)}(t)u^{(i)}(t), \quad i = 1, \dots, k,$$

где $x^{(i)} \in \mathbb{R}^n$, $u^{(i)} \in \mathbb{R}^m$, на управления $u^{(i)}$ наложены геометрические ограничения $u^{(i)}(t) \in \mathcal{P}^{(i)}(t)$, $\mathcal{P}$ — непрерывное многозначное отображение с эллипсоидальными значениями:

$$\mathcal{P}(t) = \mathcal{E}(p^{(i)}(t), P^{(i)}(t)) = \left\{ u \mid u \in \mathbb{R}^m, \langle u - p^{(i)}(t), P^{(i)-1}(t)(u - p^{(i)}(t)) \rangle \leq 1 \right\}.$$

В фазовом пространстве $\mathbb{R}^n$ задано k полос — зон переключения:

$$\Pi_i = \{x \mid \beta_i \leq (c^{(i)}, x) \leq \gamma_i\}, \quad c^{(i)} \in \mathbb{R}^n, \gamma_i, \beta_i \in \mathbb{R}, i = 1, \dots, k.$$

Такая форма областей переключений встречается в математических моделях гибридных систем, в которых позиции в моменты смены подсистем известны неточно, с некоторыми погрешностями. Для указанных областей построены эллипсоидальные аппроксимации, позволяющие в удобной форме описать оператор достижимости после одного переключения. При наличии нескольких переключений ключевым является понятие позиции системы, которая, в частности, содержит дискретную историю переключений. Такие истории позволяют разбить искомое множество на невыпуклые ветви более простой структуры. Для каждой из ветвей выведены формулы, лежащие в основе эффективных методов аппроксимации.

Построены внешние и внутренние аппроксимации множеств достижимости после одного или нескольких переключений с помощью параметрических семейств эллипсоидов. Для построения таких оценок применяется два различных подхода к работе с полосами переключений.

Первый способ заключается в разбиении полос на гиперплоскости путём введения скалярного параметра α :

$$P_j = \bigcup \{H_j(\alpha) \mid \alpha \in [0, 1]\}, H_j(\alpha) = \{x \mid (c^{(j)}, x) = \alpha\beta_j + (1 - \alpha)\gamma_j\}.$$

Далее воспользуемся тем фактом, что пересечение гиперплоскости и эллипсоида снова является эллипсоидом.

Другой подход состоит в оценке области переключения снаружи одним невырожденным эллипсоидом вместо полосы, что позволяет строить внешние аппроксимации искомых множеств.

Работа численных методов проиллюстрирована на нескольких примерах. В частности, рассмотрен пример практической реализации гибридной системы в схеме импульсного DC-DC преобразователя.

Литература

1. A. B. Kurzhanski, I. Valyi *Ellipsoidal Calculus for Estimation and Control*. Birkhäuser Boston, 1996.
2. A. B. Kurzhanski, P. Varaiya *On Ellipsoidal Techniques for Reachability Analysis*. Optimization methods and software, 2002.
3. П. Варайа, А. Б. Куржанский *Задачи динамики и управления в гибридных системах*. Труды международного семинара «Теория управления и теория обобщенных решений уравнений Гамильтона-Якоби», Екатеринбург, 2005.
4. Раймонд Мэк *Импульсные источники питания*. Додэка XXI, 2008.

ЦЕЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНОЗНАЧНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ ПРЕПЯТСТВИЙ

Работа удостоена диплома II степени

Месяц Алексей Игоревич

E-mail: month_october@mail.ru

Кафедра системного анализа

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Куржанский Александр Борисович

Задача управления эллипсоидальнозначным движением, рассматриваемая в дипломной работе, происходит из теории группового (коллективного) управления. Пусть имеется группа объектов, которым требуется, минуя внешние препятствия и избегая столкновений друг с другом, попасть из некоторой начальной конфигурации в заданное целевое множество. В работе [1] предложен следующий подход для постановки и решения такой задачи: предлагается описать вокруг агентов некоторый виртуальный контейнер, имеющий форму эллипсоида, а затем разбить дальнейшее движение на две части: на движение контейнера, который минует препятствия, меняя свою форму, и на движение объектов внутри контейнера, которые должны не столкнуться друг с другом и не выпасть из контейнера.

Целью дипломной работы были постановка и последующее решение такой задачи управления, которая, с одной стороны, содержательно описывала бы внутренние ограничения, свойственные контейнеру, а с другой — допускала эффективное численное решение. Рассматривается следующая задача оптимального управления для матрицы Q :

$$\int_{t_0}^T \langle V(t), V(t) \rangle dt \rightarrow \min_{V(\cdot)}, \quad V(t) = V^T(t),$$

$$\dot{Q}(t) = A(t)Q(t) + Q(t)A^T(t) + B(t)V(t)B^T(t), \quad t \in [t_0, t_1],$$

$$Q(t_0) = Q_0, \quad Q_0 = Q_0^T > 0, \quad Q(t_1) \in \mathcal{M}\text{-выпуклый компакт},$$

$$\lambda_{\min}(Q(t)) \geq \lambda_{-}(t), \quad \lambda_{\max}(Q(t)) \leq \lambda_{+}(t), \quad 0 \leq \lambda_{-}(t) \leq \lambda_{+}(t), \quad t \in [t_0, t_1].$$

где $\lambda_{\min}(Q)$ — минимальное, а $\lambda_{\max}(Q)$ — максимальное собственное число матрицы Q , $\lambda_{-}(t)$, $\lambda_{+}(t)$ — заданные функции. Если рассматривать $Q(t)$ как матрицу эллипсоида, стоящую в опорной функции, то требования на спектр означают, что эллипсоид содержится в шаре радиуса $\sqrt{\lambda_{+}(t)}$ и содержит шар радиуса $\sqrt{\lambda_{-}(t)}$. В работе доказано, что фазовые ограничения являются выпуклым компактом; для двухмерного случая найдена явная формула для опорной функции. Для случаев более высокой размерности приведены возможные способы аппроксимации фазовых ограничений множествами, опорная функция которых известна.

Во многих работах, решающих оптимизационные задачи управления при наличии фазовых ограничений, результирующие формулы

для управлений (программных или позиционных) содержат в себе бесконечномерную оптимизацию некоторого функционала по функциям ограниченной вариации. Конструирование численных алгоритмов для проведения такой оптимизации на практике является непростой задачей. Большой проблемой является тот факт, что близость значения исследуемого функционала к оптимальному, на котором гарантируется соблюдение фазовых ограничений, не гарантирует, вообще говоря, что субоптимальная траектория, отвечающая полученному приближенному значению параметра, будет вообще удовлетворять фазовым ограничениям. Поэтому в дипломной работе был применен иной подход, подразумевающий не построение численного метода под уже аналитическое решение, а построение такого решения, которое приводит к задачам оптимизации, для которых существуют известные численные методы [3].

Предложенное в работе решение строится следующим образом. Сначала исходная матричная задача переписывается в эквивалентном векторном виде, и все дальнейшие рассуждения проводятся с полученной векторной задачей. Доказывается, что задача нахождения значения функционала сводится к конечномерной задаче оптимизации размерности, равной сумме размерности целевого множества, размерности фазовых ограничений и единицы. Показывается, что на практике эту задачу можно решить через однопараметрический набор задач, решаемых методом штрафов. Эта же задача позволяет определить соответствующее оптимальное управление на некотором подынтервале $[t_0, t_1]$, возможно, что и на всём интервале. Проводится анализ, когда это возможно. Для нахождения оптимального управления на оставшемся отрезке времени предложена дискретная схема, аппроксимирующая исходную задачу. Доказывается, что дискретная постановка аппроксимирует исходную задачу по функционалу. Указываются численные методы, позволяющие решить дискретную постановку.

Литература

1. Kurzanski A.B., Varaiya P. *On synthesizing target controls under obstacle and collision avoidance* // Journal of Franklin Institute. 2010. February. T. 347, № 1. С. 130–145.
2. Куржанский А.Б., Гусев М.И. *К оптимизации управляемых систем при наличии ограничений. I.* // Дифференциальные уравнения. 1971. Т. 7, № 9 С. 1591–1602.
3. Васильев Ф.П. *Методы оптимизации*. Москва: МЦНМО, 2011.
4. Красовский Н.Н. *Теория управления движением*. Москва: Наука, 1968.

КООРДИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ВНЕШНЕМ ОГРАНИЧЕНИИ

Одинокое Данила Олегович

E-mail: danila@odinokov.org

Кафедра системного анализа

Научный руководитель: академик Куржанский Александр Борисович

Данная работа посвящена описанию методов построения управления в задачах группового движения. В настоящее время многие задачи требуют автоматизации, как, например, движение в опасных или недоступных для человека местах. При этом один объект может быть не в состоянии решить поставленную перед ним задачу. Примером такой ситуации является, в частности, тушение пожара группой беспилотных вертолетов, которым необходимо концентрированно воздействовать на точку возгорания, при этом исключив присутствие человека.

В работе рассмотрено движение объектов в соответствии с вторым законом Ньютона, где управляющим параметром является сила. При этом требуется соблюдение условий нестолкновения.

Упор сделан на методы, в которых централизованные вычисления требуется провести один раз перед началом движения, после чего с учетом полученных данных применяется децентрализованный подход.

Рассмотрено два вида группового движения: движение в заданной конфигурации, а так же реконфигурация. Для реконфигурации были рассмотрены два метода, один из которых учитывал внешнее ограничение, а другой нет.

При рассмотрении движения в заданной конфигурации в каждый момент времени требуемое положение объектов вычисляется исходя из информации о положении некоторой контрольной точки, например одного из объектов, названного лидером, или некоторого выбранного центра конфигурации. При этом от заданной таким образом формации требуется выполнение условий нестолкновения. После выбора требуемой траектории для каждого объекта можно рассматривать его движение отдельно, строя управление, удерживающее его на траектории. В работе приведены методы построения такого управления в зависимости от доступной информации о требуемой траектории. Чем на больший промежуток времени вперед известна данная траектория, тем лучше полученное управление минимизирует отклонение от нее координаты объекта.

Для движения при реконфигурации рассмотрено два метода. Первый описывает движение при отсутствии внешнего ограничения и заключается в последовательном перемещении объектов из одной формации в другую. Второй метод учитывает ограничение и состоит в построении управления, переводящего объект в безопасную (в смысле гарантии нестолкновения с другими объектами) область своего множества разрешимости и удерживающего его там.

Литература

1. A. B. Kurzhanski, P. Varaiya *On synthesizing target controls under obstacle and collision avoidance*. Journal of Franklin Institute. V.347. I.1. P.130-145.
2. А. Б. Куржанский *Избранные труды*. Издательство Московского университета, 2009.

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ КОНКРЕТНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ

Синяков Владимир Владимирович

E-mail: vladimir.siniakov@gmail.com

Кафедра системного анализа

Научный руководитель: академик Куржанский Александр Борисович

В дипломной работе рассматривается конкретная управляемая система дифференциальных уравнений — динамический уницикл:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= \cos \varphi, \\ \dot{x}_3 &= x_4, \\ \dot{x}_4 &= \sin \varphi, \\ \dot{\varphi} &= v,\end{aligned}$$

где v — управление. Трехмерный упрощенный аналог данной системы достаточно хорошо исследован. Для него были построены множества достижимости, были изучены свойства оптимальных управлений (см. [5]). В настоящей работе для динамического уницикла ставятся задачи внешней и внутренней аппроксимации множеств достижимости и разрешимости. Для решения этой задачи применяется принцип сравнения для уравнений Гамильтона-Якоби, который позволяет получать верхние и нижние оценки функции цены. Внешние и внутренние аппроксимации множества достижимости далее получаются как множества уровня соответственно нижних и верхних оценок функции цены.

Использование вместо самой функции цены ее оценки в задачах оценивания множеств достижимости и разрешимости, а также в задаче синтеза управлений обусловлено возможностью существенно снизить вычислительную трудоемкость задачи, при этом несколько ослабив результат. В связи с этим возникают два естественных требования к оценкам и способам их вычисления. Во-первых, вычисление оценки должно быть относительно простой задачей по сравнению с вычислением функции цены. Во-вторых, вычислительная процедура должна порождать семейство оценок, которые «восстанавливают» решение исходного уравнения Гамильтона-Якоби в том смысле, что это решение получается путем взятия поточечного максимума или минимума

по семейству оценок. В таком случае имеется теоретическая возможность неограниченно увеличивать точность приближения решения исходного уравнения оценками. Полученные в работе оценки вполне удовлетворяют первому требованию: вычисление одной оценки требует решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнения Гамильтона-Якоби с одной пространственной переменной. Были также получены достаточные условия равенства функции цены и оценки в точке, однако получение представления функции цены в виде максимума или минимума по семейству оценок выходит за рамки данной работы.

Также в работе рассматривается модификация предлагаемой схемы для учета невыпуклых фазовых ограничений, имеющих вид внешности цилиндрической области с прямоугольным основанием. Полученные аппроксимации далее используются для решения задачи синтеза управлений по результатам измерений в условиях неопределенности в начальном положении и наличия помехи в измерении.

Литература

1. Куржанский А. Б. *Принцип сравнения для уравнений типа Гамильтона-Якоби в теории управления* // Труды института математики и механики УрО РАН. 2006. Т. 12. № 1. С. 173-183.
2. Субботин А. И. *Обобщенные решения уравнений в частных производных первого порядка. Перспективы динамической оптимизации.* Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2003, 336 стр.
3. Fleming W. H., Soner H. M. *Controlled Markov Processes and Viscosity Solutions.* N.Y.: Springer, 2006.
4. Kurzanski A. B., Varaiya P. *Optimization of Output Feedback Control Under Set-Membership Uncertainty.* // J. Optim. Theory Appl. 2011.
5. Patsko V.S., Pyatko S.G., Fedotov A.A. *Three-dimensional reachability set for a nonlinear control system* // Journal of Computer and Systems Sciences International, 42:3 (2003), P. 320–328.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КРИВОЙ ДОХОДНОСТИ ПО НЕСКОЛЬКИМ ГРУППАМ ОБЛИГАЦИЙ С ОПТИМАЛЬНЫМ ВЫБОРОМ ВЕСОВ

Работа удостоена диплома III степени

Сорокин Игорь Сергеевич

E-mail: igor_sorokin@mail.ru

Кафедра системного анализа

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Смирнов Сергей Николаевич

В работе рассматривается новый подход к определению временной структуры процентных ставок для облигаций с разным кредитным

качеством эмитентов. Данный подход использует идеи, предложенные в [1], [2], [3], однако, благодаря введению весовой функции вместо постоянного коэффициента гладкости, удалось добиться экономически непротиворечивого результата. При этом для мгновенной форвардной ставки получено аналитическое выражение.

Метод обобщен для групп облигаций разного кредитного качества, что позволяет строить кривую доходности, например, для стран Еврозоны. При построении кривой доходности отдельной страны базовая кривая доходности сдвигается на постоянное число – спрэд, характеризующий кредитное качество данной страны. Данный подход к определению спреда с одной стороны является простым, так как добавляется минимальное число новых переменных, с другой стороны, позволяет строить кривую доходности для стран с небольшим количеством выпусков облигаций или для стран с выпусками облигаций разной ликвидности.

В предположении, что цены полностью определяются кривой доходности, но на рынке наблюдаются со случайной ошибкой – белым шумом, параметр гладкости выбирается из условия минимизации выборочной дисперсии этой ошибки.

Реализован новый численный метод для построения кривой доходности и определения спреда каждой страны, являющийся обобщением метода Ньютона для случая нелинейного функционала. Основная идея метода заключается в линеаризации функционала. Для этого на каждом шаге вычисляется производная по Фреше. В силу доказанной в дипломной работе теоремы решение можно искать в специальной виде, поэтому на каждом шаге решается линейно-квадратическая задача оптимизации.

Описанный в дипломной работе численный метод реализован в виде программы в среде **Matlab** и протестирован на данных по государственным облигациям стран Еврозоны за 2006-2011 гг.

Литература

1. S. Smirnov, A. Zakharov *A Liquidity-Based Robust Spline Fitting of Spot Yield Curve Providing Positive Forward Rates.* // www.effas-ebc.org/fileadmin/projects/Yield_Curves/EFFAS-EBC_Working_paper_2003_revised_2006.pdf
2. Лапшин В. А. *Определение срочной структуры процентных ставок* // Вестник Московского университета. Серия 15, Вычислительная математика и кибернетика. No.4. – 2009. – С. 37-43.
3. Смирнов С.Н., Здоровенин В.В., Рачков Р.В., Захаров А.В., Лапшин В.А., Евстратов С.А. *Методика построения бескупонной кривой доходности: стандарт Европейской комиссии по облигациям.* Москва: Анкил, 2011. 88 с.

4. Wahba, G. *Spline Models for Observational Data*. SIAM, CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. V59, Philadelphia, 1990.
5. Ke. C. and Wang. Y. *Smoothing spline nonlinear nonparametric regression models* // J. of the American of the American Statistical Association, V99, I468, 2004.

ЗАДАЧА ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПРИ КОММУНИКАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ

Работа удостоена диплома I степени

Степанович Валентин Анатольевич

E-mail: kolhizin@gmail.com

Кафедра системного анализа

Научный руководитель: академик Куржанский Александр Борисович

В работе исследуется задача отслеживания движения в конечный момент времени по данным наблюдений. Рассматриваются два независимых объекта. Основным является объект, за которым ведется слежение. Вспомогательным является следящий объект. Положение обоих объектов неизвестно, а их движение подчиняется соответствующим системам линейных дифференциальных уравнений одинаковой размерности, в частности это могут быть ньютоновы уравнения. В уравнение динамики следящего объекта входит управление. Предполагается, что в начальный момент объекты находятся внутри известного множества, а их движение подвержено воздействию неизвестных ограниченных помех. Считается, что множества, в которых могут принимать значения помехи, заданы. В случае объекта, за которым ведется слежение, помехой может выступать неизвестное управляющее воздействие. Коммуникационные ограничения отражают тот факт, что в реальных задачах наблюдения могут приходить по каналам связи в дискретные моменты времени (также возможно что, данные перед передачей кодируются, а при получении декодируются, но данная схема не рассматривается в работе). Эти измерения, которые имеют вид проекции относительных координат объектов, также подвержены неизвестным ограниченными ошибкам. Ограничения на эти ошибки известны. Исследуются два случая: либо моменты поступления наблюдений случайны, либо они заданы. Целью управления в форме синтеза является приведение следящего объекта в заданную окрестность объекта, за которым ведется слежение.

Работа следует схеме, предложенной в статьях [3,8]. Используемый подход опирается на понятия «информационных множеств» фазовых векторов, которые совместимы с динамикой системы, поступившими измерениями и ограничениями на помехи в динамике объектов, ошибки в

уравнении измерений и начальное состояние системы. В работе активно используются методы выпуклого [4,5] и многозначного анализа [6].

В случае заданных моментов поступления наблюдений предложен метод построения синтеза управления, который основывается на прицеливании на множество разрешимости задачи целевого управления («экстремальное прицеливание» в [2]). В работе исследованы свойства указанного множества, а также найдена его внешняя и внутренняя оценки, которые являются множествами разрешимости задачи целевого управления исходной системы, но с другим уравнением измерений. Указан способ численного моделирования, который базируется на эллипсоидальном исчислении [7,9] рассматриваемых множеств, и приведены несколько численных примеров с иллюстрациями.

В качестве случайных моментов поступления наблюдений рассматривается случай, когда указанные моменты представляют собой пуассоновский поток [1,10] с известной постоянной интенсивностью. Исследован вопрос о том, с какой вероятностью из указанной начальной позиции можно достигнуть заданной окрестности целевого множества. Для решения этой задачи используются стохастические множества разрешимости задачи целевого управления. В работе приведена формула, описывающая эволюцию этих множеств, а также более простая с вычислительной точки зрения схема их внутренней аппроксимации, которая продемонстрирована на нескольких численных примерах.

Литература

1. Булинский А. В., Ширяев А. Н. *Теория случайных процессов.* — ФИЗМАТЛИТ, 2005.
2. Красовский Н. Н., Субботин А. И. *Позиционные дифференциальные игры.* — Наука, 1974.
3. Куржанский А. Б. *О синтезе управлений по результатам измерений* // Прикладная математика и механика. — 2011. — Т. 68, № 4. — С. 547–563.
4. Магарил-Ильяев Г. Г., Тихомиров В. М. *Выпуклый анализ и его приложения.* — Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011.
5. Половинкин Е. С., Балашов М. В. *Элементы выпуклого и сильно выпуклого анализа.* — ФИЗМАТЛИТ, 2004.
6. Aubin J.-P., Frankowska H. *Set-Valued Analysis.* — Birkhäuser, 1990.
7. Kurzhanski A. B., Vályi. *Ellipsoidal Calculus for Estimation and Control.* — Birkhäuser Boston, 1996.

8. Kurzanski A. B., Varaiya P. *Optimization of output feedback control under set-membership uncertainty* // J. Optim. Theory Appl. — 2011.
9. Kurzanskiy A. A., Varaiya P. *Ellipsoidal Toolbox Manual*. — 2007.
10. Rogers L. C. G., Williams D. *Diffusions, Markov Processes and Martingales. Volume 1: Foundations*. — Cambridge University Press, 2000.

ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ МОДЕЛИ КВАЗИВИДОВ

Ульянов Николай Николаевич

E-mail: ulyanick@gmail.com

Кафедра системного анализа

Научные руководители: д.ф.-м.н., проф. Братусь Александр Сергеевич,
д.ф.-м.н., проф. Саакян Давид Багратович

Модель квазивидов является описанием дарвиновской эволюции определённых самовоспроизводящихся организмов, которые генетически взаимодействуют и поддерживают друг друга. В этой модели анализируется возможный процесс эволюционного возникновения простейших макромолекул, кодирующих наследственную информацию. В результате эволюции может сформироваться квазивид — распределение цепочек РНК в окрестности некоторой оптимальной РНК.

В данной работе были рассмотрены различные модели квазивидов. В статье Д. Б. Саакяна [1] и в статье Д. Б. Саакяна, О. Розановой и А. Ахметжанова [2] были найдены пределы моделей Кроу — Кимуры и Эйгена при стремлении длины цепочек макромолекул к бесконечности. В данной работе была поставлена задача развить их подход для распределённых моделей параллельной эволюции Кроу — Кимуры и Эйгена, а также исследовать получающиеся уравнения.

В результате было получено 6 новых вариантов распределённой модели квазивидов: 3 для Кроу — Кимуры и 3 для Эйгена. Модели отличаются друг от друга тем, что получены при различных заменах переменных для величин p_i , характеризующих вероятности определённых молекулярных последовательностей. В первом случае получается исходное уравнение со смещённой правой частью на функцию, зависящую только от времени, во втором — система из исходного уравнения и уравнения диффузии, а в третьем случае к исходному уравнению в правую часть добавляется зависимость от квадрата градиента. В модели Эйгена в дополнение к этим эффектам также добавляется масштабирование по временной и пространственной переменным.

В статье Н. Н. Субботиной и Л. Г. Шагаловой [3] было показано, что в модели Кроу — Кимуры с непрерывным пределом не существует классических решений, но можно ввести понятие обобщённого вязкостного решения так, что решения существуют, но при этом они неединственны. В данной работе был распространён их результат на более общий

вид уравнения Гамильтона — Якоби, который включает в себя также модель Эйгена с непрерывным пределом (при условии ограниченности характеристик). Эти результаты переносятся в том числе и на все из распределённых моделей квазивидов.

Были выдвинуты и частично доказаны результаты, касающиеся порога катастроф. Порогом катастроф называют явление фазового перехода в модели с увеличением параметра мутации — при малых коэффициентах в пределе возникает квазивид, в то время как при высоких значениях мутации квазивид распадается и размывается по всем возможным молекулярным цепочкам. В данной работе было экспериментально показано, что, в отличие от модели без диффузии, в распределённых моделях отсутствует фаза явного доминирования какого-то определённого вида, то есть даже при сколь угодно малых скоростях мутации наблюдается промежуточное состояние между квазивидом и его отсутствием, остальные фазы при этом сохраняются. Также было показано, что наличие катастрофы не зависит от коэффициента диффузии.

Литература

1. Saakian D. B. *A New Method for the Solution of Models of Biological Evolution Derivation of Exact Steady-State Distributions* // Journal of Statistical Physics, Vol. 128, No. 3. (August 2007), pp. 781–798.
2. Saakian D. B., Rozanova O., Akmetzhanov A. *Dynamics of the Eigen and the Crow — Kimura models for molecular evolution* // Phys. Rev. E — Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics. 2008. Vol. 78, No. 4 041908. 6 p.
3. Субботина Н. Н., Шагалова Л. Г. *О решении задачи Коши для уравнения Гамильтона — Якоби с фазовыми ограничениями* // Тр. ИММ УрО РАН, 17, № 2, 2011, 191–208.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА РАКОВЫХ ОПУХОЛЕЙ

Фатеев Кирилл Геннадьевич

E-mail: ichellovek@gmail.com

Кафедра системного анализа

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Лотов Александр Владимирович

Дипломная работа посвящена использованию новой методики анализа математических моделей, включающей в себя человеко-машинный метод интервальной идентификации параметров модели в случае неустойчивости решения задачи идентификации и метод многокритериальной оптимизации, основанный на визуализации границы Парето и предназначенный для поиска предпочтительного решения

при использовании моделей с параметрами, заданными интервальными значениями. Методика применяется к задаче поиска эффективной стратегии терапии раковой опухоли.

Первая глава дипломной работы посвящена используемой методике исследования. В ней, опираясь на книгу [1], делается обзор традиционных способов идентификации параметров и описывается новый метод, основывающийся на аппроксимации и визуальном изучении графика функции ошибок идентификации [2], а также предлагается модифицированный вариант метода разумных целей, предназначенный для решения задачи многокритериального выбора в случае неопределенности в значениях параметров используемой модели, развивающий идеи, предложенные в [3].

Во второй главе дается обзор способов математического моделирования опухолевых процессов и их терапии, формулируется математическая модель развития опухоли, выбираются критерии для задачи оптимизации, описываются возможные стратегии лечения и иллюстрируется динамика роста опухоли в случае отсутствия лечения. Используемая модель развития опухоли состоит из двух частей: первая описывает кинетику лекарства в организме, а вторая — непосредственно динамику роста опухоли при проводимом лечении. Обе модели представляют собой системы обыкновенных дифференциальных уравнений [4].

В работе также рассматриваются некоторые аспекты практической применимости моделей такого типа в задачах выбора противоопухолевой терапии. Особое внимание уделяется соответствию между моделью и реальными экспериментальными данными, собранными из описаний лабораторных опытов. Полученные экспертные оценки и анализ публикаций позволили сформулировать два списка реально используемых стратегий лечения и наложить фазовые и критериальные ограничения на переменные модели.

В третьей главе описывается применение используемой методики идентификации параметров в случае модели роста опухоли. В ней также представлены результаты применения методов визуализации границы Парето в задачах выбора из конечного множества стратегий лечения на основе моделей с точно заданными и интервальными параметрами. Задача идентификации была решена с помощью построения и последующего визуального изучения графика функции ошибок идентификации. Задача многокритериальной оптимизации была решена путем построения аппроксимации выпуклой оболочки Эджворта-Парето (ВОЭП) и изучения ее сечений в виде карт решений.

Многокритериальный анализ совокупности стратегий лечения на основе традиционного метода разумных целей [5] позволил выделить среди них предпочтительные эффективные стратегии в случае использования моделей с точными значениями параметров. Был

также реализован метод разумных целей для моделей с интервальным заданием параметров. На основе изучения совокупности эффективных критериальных точек удалось сформулировать рекомендации по лечению.

Исследование показывает применимость методики изучения моделей к задачам поиска оптимальных стратегий лечения раковых опухолей и демонстрирует его эффективность.

Литература

1. Поляк Б. Т. *Введение в оптимизацию*. М.: Наука, 1983.
2. Каменев Г. К. *Метод исследования неопределенности, возникающий при идентификации параметров модели*. М.: ВЦ РАН, 2010.
3. Лотов А. В., Холмов А. В. *Метод разумных целей в задаче многокритериального выбора с неточной информацией* // Доклады Академии Наук. М., 2009, т. 429, № 1, с. 28–30.
4. Simeoni M., Magni P., Cammia C. *Predictive Pharmacokinetic-Pharmacodynamic Modelling of Tumor Growth Kinetics in Xenograft Models after Administration of Anticancer Agents* // Cancer Research, 2004.
5. Burmistrova L. V., Lotov A. V., Efremov R. V. *A Decision-Making Visual Support Technique and Its Application in Water Resources Management Systems* // Journal of Computer and Systems Sciences International. M.: MAIK Nauka, 2002. Vol. 41, № 5.

МЕТОДЫ СТОХАСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ФИНАНСОВОГО АРБИТРАЖА

Работа удостоена диплома II степени

Ермаков Игорь Юрьевич

E-mail: ermakovigor@gmail.com

Кафедра математической статистики

Научный руководитель: к.ф.-м.н., с.н.с., Назаров Леонид Владимирович

Дипломная работа посвящена применению методов стохастического оптимального управления к финансовой стратегии торговли парой фундаментально связанных активов. Основной задачей является поиск оптимальной стратегии инвестирования при управлении портфелем с рисковым активом специального вида. Предполагается, что рисковый актив сконструирован из пары фундаментально связанных акций и характеризует их отклонение от положения равновесия. В качестве модели, описывающей динамику рискового актива, используется процесс Орнштейна-Уленбека. Предполагается, что инвестор обладает функцией

полезности с гиперболической абсолютной несклонностью к риску. В работе найден явный вид оптимальной стратегии и проводится анализ ее компонент относительно влияния различных факторов риска. Исследуется применение модели на реальных данных. Основная сложность, возникающая в процессе калибровки модели: оценка скорости возврата стоимости рискованного актива к положению равновесия. Рассматриваются два класса методов получения несмещенных оценок: методы, основанные на асимптотических разложениях, и методы, использующие повторные выборки. При применении оптимальной стратегии использование параметров, полученных методами из этих двух классов, оказывается значительно эффективнее, чем использование оценок максимального правдоподобия или метода наименьших квадратов. Применение стратегии к реальным данным показало, что результат крайне чувствителен к аномальному поведению рискованного актива. Для исправления данной особенности вводятся скрытые марковские факторы, и приводится ЕМ-алгоритм для оценивания параметров в данной расширенной модели.

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ И ЕЁ СВЯЗЬ С МЕРАМИ РИСКА

Работа удостоена диплома I степени

Целищев Михаил Андреевич

E-mail: mihail.tselishchev@gmail.com

Кафедра математической статистики

Научный руководитель: к.ф.-м.н., Назаров Леонид Владимирович

Современное понимание термина «диверсификация» восходит к работе [1] Г.Марковица, в которой обосновывается тот факт, что инвестору имеет смысл вкладывать свой капитал не в единственный актив, а грамотно распределять его между группой активов, руководствуясь некоторыми принципами. Несмотря на всю практическую пользу от исследований Г.Марковица, в его трудах отсутствует математически строгое определение понятия диверсификации инвестиционных портфелей. В настоящей работе предложено построение такого определения и изучены некоторые его свойства.

Следует договориться, что под инвестиционным портфелем далее понимается случайная величина, соответствующая доходу (*portfolio return*) в фиксированный момент времени T от вложения 1\$ в нулевой момент времени в некоторый актив (или группу активов).

Диверсификация строится как бинарное отношение предпочтения на множестве инвестиционных портфелей. Далее предлагаются 3 определения, каждое последующее из которых обобщает предыдущее.

Опр. 1 Будем говорить, что портфель ξ является диверсификацией портфеля η (обозн. $\xi \overset{div}{\succsim} \eta$), если существует многомерное

распределение $(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$, т. ч.

$$\eta_i \stackrel{d}{=} \eta, \quad i = 1, \dots, n; \quad ;$$

$$\xi \stackrel{d}{=} \sum_{i=1}^n a_i \eta_i, \quad \text{где } a_i \geq 0 \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1.$$

Это определение характеризует тот факт, что некоторая выпуклая линейная комбинация величин η_i (которые, вообще говоря, не обязаны быть стохастически независимыми между собой), распределённых так же, как и η , предпочтительнее (в смысле диверсификации), чем η . Несложно заметить, что построенное отношение заведомо не позволяет сравнивать два портфеля с разными мат. ожиданиями, в связи с чем предлагается дальнейшее обобщение.

Опр. 2 $\xi \stackrel{div'}{\succ} \eta$, если $\exists (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n, \Delta\xi)$, т. ч.

$$\eta_i \stackrel{d}{=} \eta, \quad i = 1, \dots, n; \quad \Delta\xi \geq 0; \quad ;$$

$$\xi \stackrel{d}{=} \sum_{i=1}^n a_i \eta_i + \Delta\xi, \quad \text{где } a_i \geq 0 \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1.$$

Фактически, определение гласит о том, что доход по портфелю ξ не хуже (по распределению), чем доход по некоторой выпуклой линейной комбинации компонент η_i . Для того чтобы иметь возможность пользоваться предельными теоремами, предлагается следующее (и последнее) обобщение. В нём используется сходимость с.в. в метрике

$$\text{Канторовича: } \kappa(\xi, \eta) = \kappa(F_\xi, F_\eta) = \int_{-\infty}^{+\infty} |F_\xi(x) - F_\eta(x)| dx.$$

Опр. 3 $\xi \stackrel{div(\kappa)}{\succ} \eta$, если $\exists$ посл-ти $\{\xi_n\}$ и $\{\eta_n\}$, т. ч. $\xi_n \xrightarrow{\kappa} \xi$, $\eta_n \xrightarrow{\kappa} \eta$ и $\xi_n \stackrel{div'}{\succ} \eta_n$ для всех $n \in \mathbb{N}$.

Построенное отношение $\stackrel{div(\kappa)}{\succ}$ является псевдочастичной упорядоченностью на множестве инвестиционных портфелей с конечными мат. ожиданиями, т. е. оно рефлексивно ($\stackrel{div(\kappa)}{\succ}$), транзитивно ($\stackrel{div(\kappa)}{\succ} \eta \stackrel{div(\kappa)}{\succ} \zeta \Rightarrow \xi \stackrel{div(\kappa)}{\succ} \zeta$) и псевдоантисимметрично ($\stackrel{div(\kappa)}{\succ} \eta \stackrel{div(\kappa)}{\succ} \xi \Rightarrow \xi \stackrel{d}{=} \eta$).

Отношение предпочтения $\stackrel{div(\kappa)}{\succ}$ сохраняется при умножении на положительную константу и при добавлении стохастически независимой с.в.

Ещё одним доводом в пользу предложенного определения является следующий факт: в классе всех инвестиционных портфелей с фиксированным мат. ожиданием, наилучшим (в смысле отношения $\overset{div(\kappa)}{\succsim}$) является вырожденный портфель. Этого, в общем-то, следовало ожидать, поскольку диверсификация — один из способов уменьшения риска, а вырожденный портфель является безрисковым.

Следующая теорема является критерием построенного отношения предпочтения. Оказывается, отношение диверсификации напрямую связано с когерентной мерой риска *Expected Shortfall* (информацию о которой можно найти, например, в [2]).

Теорема 1 Пусть $E|\xi| < \infty$, $E|\eta| < \infty$. Тогда

$$\xi \overset{div(\kappa)}{\succsim} \eta \iff ES_\gamma(\xi) \leq ES_\gamma(\eta) \quad \forall \gamma \in (0; 1].$$

Более того, построенное отношение предпочтения также находит своё место в теории полезности и в теории стохастического доминирования.

Литература

1. Markowitz H. M. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. NY, 1959.
2. Acerbi C., Tasche D. *On the coherence of expected shortfall*. Journal of Banking & Finance, 2002. Vol. 26. No. 7. P. 1487–1503.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОГИБАЮЩЕЙ ЦИРКУЛЯРНОГО ГРАФА

Антипов Григорий Михайлович

E-mail: antigregory@gmail.com

Кафедра математических методов прогнозирования

Научный руководитель: д.т.н., проф. Местецкий Леонид Моисеевич

Задача классификации формы изображений имеет большое значение для современных систем компьютерного зрения. При распознавании поз и жестов, при идентификации личности по геометрии ладони и в ряде других задач требуется классификация формы пластичных объектов, каковыми являются ладонь человека и фигура человека в целом. Перспективным подходом для решения этих задач является моделирование пластичных объектов с помощью так называемого циркуляра: семейства кругов с центрами на плоском прямолинейном графе и радиусами, описываемыми радиальной функцией, линейной вдоль каждого ребра этого графа. Такое описание позволяет классифицировать форму тестовых изображений на основе сравнения с эталонами. При этом пластичность сравниваемых объектов моделируется с помощью деформации описывающих их циркуляров за счёт перемещения кругов,

образующих эти циркуляры. Для подгонки и сравнения пары циркуляров необходимо построить границу семейства кругов, причем сделать это необходимо очень быстро, в режиме реального времени работы системы компьютерного зрения. Решение актуальной задачи построения огибающей сложного семейства кругов является целью дипломной работы.

В дипломной работе задача ставится и решается на основе теории и методов вычислительной геометрии. В качестве прототипа использовано известное решение задачи об огибающей конечного семейства кругов. Однако обобщение этого решения на случай бесконечного семейства представляет собой весьма сложную задачу, которая решена в рамках дипломного исследования.

В работе исследован подход, основанный на построении диаграммы Вороного коллекции кругов и так называемых бициклов — подмножеств кругов циркуляра, относящихся к отдельным рёбрам осевого графа. Разработан и обоснован метод решения, включающий:

- построение двойственного графа диаграммы Вороного коллекции кругов и бициклов,
- на основе этого графа выявление и упорядочение линейных и круговых элементов огибающей.

Предложенный метод обоснован теоретически — доказаны теоремы, подтверждающие его корректность и эффективность. Подтверждением реализуемости предложенного метода служит разработанная программа и проведенные вычислительные эксперименты.

Литература

1. Ф. Препарата, М. Шеймос. *Вычислительная геометрия: введение*. Издательство Мир, 1989.
2. Л. М. Местецкий. *Непрерывная морфология бинарных изображений*. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2009.
3. А. В. Скворцов. *Триангуляция Делоне и её применение*. Издательство Томского Университета, 2002.
4. Hiroshi Imai, Masao Iri and Kazuo Murota. *Voronoi Diagram In The Laguerre Geometry And Its Applications*. SIAM J. Comput. Vol. 14, №1, February 1985.
5. Francois Anton and Darka Mioc. *On The Conversion Of Ordinary Voronoi Diagrams Into Laguerre Diagrams*. Department of Computer Science, 201-2366 Main Mall, Vancouver, B.C., V6T 1Z4, Canada.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ

Работа удостоена диплома I степени

Бондаренко Николай Николаевич

E-mail: kolianmos1@gmail.com

Кафедра математических методов прогнозирования

Научный руководитель: доктор ф.-м. наук, профессор, академик РАН

Журавлев Юрий Иванович

В дипломной работе рассматриваются задачи распознавания с бинарной обучающей информацией. Рассматривается стандартная задача распознавания, для решения которой применяются логические методы, являющиеся существенными обобщениями таких известных алгоритмов, как «КОРА» и «ТЕСТ».

В классических логических методах распознавания использовались только конъюнкции, интервалы которых целиком содержатся либо в множестве единиц, либо в множестве нулей не всюду определенных булевых функций. Позднее в работах Е.В. Дюковой и ее учеников допускалось также рассмотрение конъюнкций, интервалы которых пересекались и с множеством нулей, и с множеством единиц. Однако детальной классификации таких конъюнкций, нетривиальных критериев, позволяющих выяснить, какие из них следует применять в первую очередь, а какие для дальнейшего уточнения алгоритма, проведено не было.

Была построена система критериев, определяющих частичную упорядоченность на множестве таких конъюнкций так, что к основным конъюнкциям (основными будем называть конъюнкции, интервалы которых содержатся лишь в одном из множеств нулей или единиц булевой функции) могли добавляться конъюнкции с ярусов различной глубины построенного дерева. Было предложено принципиально новое семейство нетрадиционных логических алгоритмов, позволяющих существенно улучшить качество распознавания. При этом проход по дереву конъюнкций выполняется до тех пор, пока улучшается качество распознавания на контрольном множестве.

Описанные выше результаты опубликованы в ЖВМиМФ в 2012 году.

Проделаны интересные численные эксперименты на задачах медицинской диагностики, связанных с ишемической болезнью сердца. Сформировано соответствующее признаковое пространство, и для различных задач медицинской диагностики использованы созданные им алгоритмы. С их помощью получена очень высокая точность распознавания. Так, если голосование по тупиковым тестам дает для

разных наборов признаков 79,7% (соответственно, 78,3%) правильных угадываний, то новые методы дают, соответственно, 91,6% и 86,4%. Эти алгоритмы существенно выигрывают и у алгоритмов, основанных на линейном дискриминанте Фишера, и у метода опорных векторов, и так далее.

Отдельный раздел дипломной работы посвящен улучшению с помощью методов, предложенных в дипломной работе, классических алгоритмов «КОРА» и «ТЕСТ». Оказалось, что такое расширение весьма существенно улучшает качество указанных классических алгоритмов, а во многих случаях дает максимальную точность по сравнению с основными эвристиками, используемыми для задач медицинской диагностики.

Таким образом, получены интересные, оригинальные, теоретические и прикладные результаты.

Литература

1. Журавлев Ю. И. *Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации* Проблемы кибернетики, 1978.
2. Вайнцвайг М. Н. *Алгоритм обучения распознаванию образов «КОРА»* М.: Советское радио, 1973.
3. Дюкова Е. В., Инякин А. С. *О процедурах классификации, основанных на построении покрытий классов* Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 2003.
4. Дюкова Е. В. *Асимптотически оптимальные методы дискретного анализа информации в задачах распознавания* М.: ВЦ РАН, 1996.
5. Дюкова Е. В. *О построении тупиковых покрытий булевой матрицы* Доклады академии наук, 2007
6. Дюкова Е. В., Сотнезов Р. М. *О сложности дискретных задач перечисления* Доклады академии наук, 2010.
7. Бондаренко Н. Н., Журавлев Ю. И. *Алгоритм выбора конъюнкций для логических методов распознавания* Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 2012.
8. Журавлев Ю. И., Назаренко Г. И., Рязанов В. В., Клейменова Е. Б. *Новый метод анализа риска развития ишемической болезни сердца на основании геномных и компьютерных технологий* Журнал «Кардиология», 2011.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ КЛИКОВ НА НОВЫЕ РЕКЛАМНЫЕ ОБЪЯВЛЕНИЯ

Колесников Александр Александрович

E-mail: alekkolesnikov@gmail.com

Кафедра математических методов прогнозирования

Научный руководитель: д.ф.-м.н., Воронцов Константин Вячеславович

Основным источником прибыли поисковых систем является контекстная реклама. Главная задача системы показов контекстной рекламы — это отбор баннеров для размещения на странице, которую просматривает пользователь. Целью такого отбора является максимизация прибыли поисковой системы и эффективности рекламы для рекламодателей. Ключевой величиной, использующейся в алгоритмах отбора баннеров, является вероятность клика на баннер, при условии что он будет показан конкретному пользователю на конкретной web-странице. Если баннер собрал достаточно большую статистику показов, то вероятность клика по нему можно оценить как отношение количества кликов к количеству показов, и затем скорректировать эту оценку с учетом доступной информации о пользователе и контексте web-страницы, на которой он показывается. Если же баннер новый или имеет слишком короткую историю показов, то предсказание вероятности клика по нему усложняется. В работе рассматривается подход, позволяющий оценивать стартовую вероятность кликов на новые баннеры.

С каждым баннером связан текст, который видит пользователь, и множество фраз, по которым производится отбор баннеров: если пользовательский запрос полностью содержит фразу баннера, то баннер становится кандидатом на показ. Задача состоит в том, чтобы оценить стартовую вероятность клика для каждой пары баннер-фраза. Предлагается регрессионная модель, использующая около 20 признаков следующих типов: средние частоты кликов по баннерам со схожими текстами и фразами, которые набрали значимую статистику; оценки релевантности фразы баннера его тексту; количество слов во фразе; репутация домена, на который ссылается баннер. Признаки для регрессионной модели отбирались с учетом совокупности критериев, оценивающих их полезность для модели. Регрессионная модель для предсказания стартовой вероятности клика строится на основе градиентного бустинга над деревьями регрессии. Целевой функцией при построении модели является частота кликов по баннерам, которые показывались в системе. Предложенная модель показала значительное улучшение качества предсказания вероятности кликов на баннеры по сравнению с базовой моделью, в которой всем парам баннер-фраза приписывалась одна из трех констант, в зависимости от числа слов во фразе. Формула была внедрена в систему показов контекстной рекламы компании Яндекс на части поискового трафика и улучшила средний CTR системы по новым баннерам более чем на 20%.

Литература

1. Regelson M., Fain D. *Predicting click-through rate using keyword clusters*. In Proceedings of the Second Workshop on Sponsored Search Auctions, 2006. — Vol. 9623.
2. Richardson M., Dominowska E., Ragno R. *Predicting clicks: estimating the click-through rate for new ads*. In Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web, pages 521–530. ACM, 2007.

НЕПРЕРЫВНЫЕ АЛГОРИТМЫ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И СРАВНЕНИЯ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ

Макарова Елена Юрьевна

E-mail: Luar.Soll@gmail.com

Кафедра математических методов прогнозирования

Научный руководитель: д.т.н., проф. Местецкий Леонид Моисеевич

В анализе и классификации изображений широко используется медиальное представление формы объектов, описанное в [1] и включающее множество срединных осей (скелет) объекта и радиальную функцию, характеризующую локальную ширину объекта относительно этих осей. Обычно классификационные признаки генерируются на основе топологических и метрических инвариантов, вычисляемых по скелету. Но также в некоторых задачах важным является распределение значений радиальной функции объекта. Примером задачи, для которой такой анализ ширины необходим, является распознавание формы листьев растений.

Обычным способом вычисления интегральных параметров ширины объекта является использование методов математической морфологии Серра [2]. Однако в большинстве случаев эти методы основаны на последовательном преобразовании растрового изображения объекта, поэтому имеют либо низкую точность, либо низкую эффективность, что не позволяет использовать их в системах реального времени, например, в интерактивных поисковых системах. Поэтому проблема разработки эффективных алгоритмов интегрального анализа скелета и ширины объектов в изображениях остаётся актуальной.

Задачей дипломной работы является построение скелетных аналогов морфологических операций и разработка информативных классификационных признаков формы, основанных на распределении ширины, и эффективных алгоритмов вычисления этих признаков.

Основные результаты выполненного исследования:

1. Разработаны реализации морфологических операций эрозии, дилатации и открытия, состоящие из выделения некоторого подмножества скелета и линейного преобразования радиальной функции на этом множестве.

2. Построена аналитическая непрерывная модель морфологического спектра ([3]) объекта, описывающая распределение его ширины, в том числе:
 - (а) Разработан алгоритм построения этой модели по медиальному представлению формы
 - (б) Показано, при каких условиях алгоритм дает точный результат
 - (с) Оценен интеграл ошибки в случаях, когда результат работы алгоритма не является точным аналитическим выражением спектра
3. На основе скелета и морфологического спектра сформулирован набор классификационных признаков для распознавания объектов сложной формы, построены алгоритмы их вычисления
4. Создана программная реализация классификационной системы, использующей предложенный набор признаков. Проведены вычислительные эксперименты для задачи распознавания растений по форме листа.

По материалам дипломной работы подготовлен доклад на международную конференцию «ИОИ-2012»

Литература

1. Местецкий Л. М. *Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
2. Serra J. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. London: Academic Press, 1982.
3. Maragos P. *Spectrum, Multiscale Shape Representation*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989. Vol. II, No. 7.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ФОРМАЛЬНЫХ ПОНЯТИЙ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ

Работа удостоена диплома III степени

Онищенко Алина Андреевна

E-mail: allegra275@gmail.com

Кафедра математических методов прогнозирования

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Гуров Сергей Исаевич

Анализ Формальных Понятий (АФП) — быстро развивающийся реляционный подход к распознаванию образов. Он представляет большой практический интерес как один из способов решения задач классификации в разных областях знаний.

В дипломной работе исследована эффективность данного метода для решения прикладных задач. Основная идея метода АФП состоит в формализации описания *понятия* в виде пары (объем, содержание) [1], а также в построении решетки *формальных понятий* по бинарному отношению между объектами и признаками [2].

В работе рассматриваются задачи классификации на два непересекающихся класса. Объекты этих классов называют соответственно положительными и отрицательными относительно некоторого целевого признака. Согласно методу АФП классификация производится с помощью определения сходства между недоопределенным объектом и гипотезами классов. Гипотеза положительного класса — такое формальное содержание положительного понятия, которое не входит в формальное содержание ни одного отрицательного примера. Аналогично определяется гипотеза отрицательного класса.

Для исследования эффективности алгоритма, составленного согласно методу АФП, были отобраны 9 задач с реальными данными из различных областей знаний: медицина, пищевая промышленность, метеорология, астрономия, статистика, науки о материалах.

Работа алгоритма традиционного метода АФП характеризуется большим количеством отказов от классификации, что дало автору основания для разработки модификаций алгоритма: в некоторые гипотезы классов добавлялись признаки, которыми обладали не все объекты класса, а достаточно большая их доля, между объектом и гипотезами была введена метрика Хэмминга. С помощью описанной модификации удалось сократить количество отказов от классификации в среднем в 6.3 раза.

Одной из модификаций метода АФП также является метод бикластеризации. Идея метода состоит в ослаблении требований к формальным понятиям, что дает возможность устранить влияние шума на результаты. В качестве критерия отбора релевантных бикластеров используется их плотность. Таким образом, для порождения гипотез используются только значимые объекты и признаки, такие что плотность бикластера ими образованного превышает некоторый порог. Применение бикластеризации не только улучшило качество классификации в среднем на 13%, но и позволило подбирать параметры алгоритма для варьирования процента ошибок и доли отказов от классификации [3].

Также была опробована идея итеративного обучения для алгоритма с использованием бикластеризации: гипотезы классов порождались по бикластерам с высокой плотностью, затем проводилась классификация. Если удавалось классифицировать объект, который ранее не входил в бикластер, он включался в него и процедура порождения гипотез для данного класса повторялась. Таким образом, на каждом шаге размеры бикластеров могли увеличиваться, и гипотезы могли порождаться на основе большего количества объектов. Использование итеративного обучения позволило улучшить качество классификации алгоритма на

четырёх задачах на 2-6%.

Автор сравнивает качество классификации алгоритма, основанного на методах АФП, с известными алгоритмами: наивным байесовским классификатором (Naïve Bayes) и методом опорных векторов (SVM). Показано, что разработанный алгоритм, демонстрирует лучшее качество работы, что говорит о его способности составить конкуренцию существующим популярным методам классификации.

В работе также даны подробные рекомендации по применению алгоритмов, основанных на методах АФП, для решения задач классификации: подбор значений параметров, учет специфики предметной области задачи, выбор нетривиальных метрик для отнесения объекта классу и использование алгоритма как части алгоритмической композиции [4]. Эти рекомендации помогут более эффективно использовать метод АФП в дальнейшем на практике.

Литература

1. Ganter B., Wille R. *Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations*. Springer, 1999.
2. Биркгоф Г. *Теория решёток*. М.: Наука, 1984.
3. Онищенко А. А., Гуров С. И. *Классификация на основе АФП и бикластеризации: возможности подхода*. Прикладная математика и информатика: Труды факультета Вычислительной математики и кибернетики. № 38 М.: Изд-во Факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, 2011.
4. Журавлев Ю. И. *Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации*. Проблемы кибернетики: Вып. 33, 1978.

МЕТОДЫ АГРЕГИРОВАНИЯ МЕТРИЧЕСКИХ ОПИСАНИЙ НА ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МАТРИЧНОЙ ФАКТОРИЗАЦИИ

Суворов Михаил Андреевич

E-mail: suvorov_m90@mail.ru

Кафедра математических методов прогнозирования

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Майсурадзе Арчил Ивериевич

В теории распознавания и в прикладных задачах в различных областях науки используют метрические описания объектов, заданные, например, при помощи матриц попарных расстояний. Если метрические описания построены с использованием сразу нескольких метрик (полуметрик), то можно предполагать избыточность таких описаний. Вполне естественным будет желание сократить метрические описания так, чтобы свести их избыточность к минимуму. В случае признаков описаний применяются

методы агрегирования: методы факторного анализа, методы анализа независимых компонентов, метод главных компонентов, неотрицательная матричная факторизация. Но методы, пригодные для векторных описаний, не подходят для задачи агрегирования метрических описаний.

На основе задачи агрегирования признаков описаний в МГК и НМФ сформулирована задача агрегирования метрических описаний, которая сведена к задаче оптимальной матричной факторизации с условиями «метричности». Матрица P , составленная из метрических конфигураций [1], которые соответствуют исходным метрикам (полуметрикам), приближается произведением матрицы новых метрических конфигураций F и матрицы весов W . Решаются задачи оптимизации

$$\|P - FW\|_F^2 \longrightarrow \min_{F, W}$$

и

$$\|P - \tilde{I}w_0 - FW\|_F^2 \longrightarrow \min_{w_0, F, W}.$$

В дипломной работе предложены две модификации МГК и НМФ, которые решают поставленную задачу.

Первый метод — метрический МГК — позволяет по исходным метрикам (полуметрикам) получать функции, являющиеся полуметриками, и при этом только на объектах выборки. Доказано [2], что он не ухудшает качество линейной аппроксимации исходных метрических описаний в сравнение с задачей безусловной матричной факторизации, решаемой в МГК со свободным членом. Но метод требует оценки величины минимального аддитивного дефекта. В данной работе показано, что стремление выборочного дефекта к глобальному минимуму зависит от анализируемой функции и для некоторых функций выборочный дефект дает сильно завышенные оценки даже при большом размере выборки. Вычисление выборочного дефекта требует $O(M^3)$ операций, если M — размер выборки. Предложенный в работе метод Монте-Карло с локальной оптимизацией позволяет получать хорошие приближения выборочного дефекта за меньшее время.

Во втором методе — метрической НМФ — требуется, чтобы $F = PV$, где $V \geq 0$ — матрица без отрицательных элементов. В дипломной работе доказано, что задача оптимизации

$$\|P - PVW\|_F^2 \longrightarrow \min_{V \geq 0, W}$$

имеет аналитическое решение и оптимальное значение функционала совпадает с оптимальным значением функционала в МГК без свободного члена. В отличие от метрического МГК, метод позволяет получать оптимальные неотрицательные линейные комбинации исходных метрик или полуметрик с коэффициентами из матрицы V . Эти комбинации заведомо являются метриками или полуметриками соответственно.

Предложенные методы позволяют получать требуемое число метрик или полуметрик, которые агрегируют информацию, содержащуюся в исходных метриках или полуметриках. Использование агрегированных метрических описаний позволило улучшить качество решения задачи верификации изображений рук человека.

Литература

1. Майсурадзе А. И. *Об оптимальных разложениях конечных метрических конфигураций в задачах распознавания образов* // Журнал вычислительной математики и математической физики, 2004, том 44, номер 9, с. 1697–1707.
2. Найдёнов Н. А. *Исследование метрического аналога метода главных компонент* // Сборник статей молодых ученых факультета ВМК МГУ, 2010, выпуск №7, с. 60–69.
3. Cichocki A., Zdunek R., Phan A. H., Amari S.-I. *Nonnegative matrix and tensor factorizations*, John Wiley & Sons Inc, 2009.
4. Ilin A., Raiko T. *Practical Approaches to Principal Component Analysis in the Presence of Missing Values* // Journal of Machine Learning Research, 2010, pp. 1957–2000.
5. Laurberg H. *Non-negative Matrix Factorization: Theory and Methods*, Ph.D. Thesis, 2008.
6. Lee D. D., Seung H. S. *Algorithms for Non-negative Matrix Factorization* // NIPS'00, 2000, pp. 556–562.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПРИМЕНИМОСТИ АТАКИ ВСТРЕЧИ ПОСЕРЕДИНЕ С ОТРАЖЕНИЕМ

Авдюнин Максим Андреевич

E-mail: aim12@list.ru

Кафедра математической кибернетики

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Применко Эдуард Андреевич

Атака встречи посередине с отражением («Reflection-Meet-in-the-Middle Attack», развивающая идеи атаки «3-subset Meet-In-The-Middle» [1] и атаки с отражением [2], была впервые предложена на конференции Fast Software Encryption в 2011-м году японским криптографом Takanori Isobe [3]. Данная атака стала первой успешной атакой на восстановление ключа полной версии шифра ГОСТ 28147-89 в одноключевой модели, не требующей никаких допущений по отношению к ключу, проводимой с любыми биективными S-box'ами и имеющей меньшую нежели полный перебор сложность по времени. Она позволяет восстановить ключ за 2^{225} итераций работы алгоритма (против 2^{256}) с использованием 2^{32}

пар открытых-зашифрованных текстов. Данные результаты позволяют говорить об атаке встречи посередине с отражением, как об успешном примере криптоанализа шифра, до того считавшегося стойким в течение более чем двух десятилетий. Однако, перспективность атаки, её универсальность и практическая применимость, как не рассмотренные её автором, оставались под вопросом. В дипломной работе проведено всестороннее исследование данной атаки, её применимости к множеству различных шифров и построение наиболее благоприятной для её практического проведения модели.

В ходе работы были получены следующие результаты:

1. Были выработаны критерии практической применимости атаки встречи посередине с отражением, определяющие требования к раундовой структуре атакуемого шифра, его ключевому расписанию, а также длине ключа.
2. На предмет соответствия этим критериям были проанализированы следующие алгоритмы: Blowfish, Skipjack, RC2, DES, FEAL и FEAL-N/NX, Khufu и Khafre, Lucifer, CAST-128, ГОСТ 28147-89, 3-WAY, SAFER, SHARK и KHAZAD, Square. Кроме того была рассмотрена возможность применения атаки к 22-м другим шифрам.
3. По результатам произведенного анализа была предложена модель практического проведения атаки на шифр ГОСТ 28147-89 в предположении возможности пропуска начального этапа атаки и частичной компрометации ключа.
4. Для обоснования данной модели была предложена программная реализация шифра ГОСТ 28147-89 с дополнительным функционалом генерации массивов неподвижных точек шифра для проведения первого этапа атаки.
5. Была доказана неприменимость атаки встречи посередине с отражением с практической сложностью к шифру ГОСТ 28147-89 даже в рамках столь благоприятной для атакующего модели, что ещё раз подтвердило гарантированную стойкость российского стандарта шифрования.

Итоговым результатом работы можно считать проведённый анализ вопросов универсальности и практической применимости искомой атаки с выводом о её неуниверсальности и практической неприменимости.

Литература

1. Andrey Bogdanov, Christian Rechberger *A 3-Subset Meet-in-the-Middle Attack: Cryptanalysis of the Lightweight Block Cipher KTANTAN Se-*

lected Areas in Cryptography Lecture Notes in Computer Science, 2011, Volume 6544/2011, 229-240

2. Orhun Kara *Reflection Cryptanalysis of Some Ciphers* Progress in Cryptology - INDOCRYPT 2008 Lecture Notes in Computer Science, 2008, Volume 5365/2008, 294-307
3. Takanori Isobe *A Single-Key Attack on the Full GOST Block Cipher* Fast Software Encryption Lecture Notes in Computer Science, 2011, Volume 6733/2011, 290-305

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ БЕСПОВТОРНЫХ ФУНКЦИЙ

Работа удостоена диплома III степени

Кафтан Дарья Владимировна

E-mail: blond.programmist@gmail.com

Кафедра математической кибернетики

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Вороненко Андрей Анатольевич

В настоящей работе рассматривается задача доказательства повторности булевых функций. В работе [1] установлено, что для доказательства повторности булевой функции в элементарном базисе достаточно предъявить не более чем шесть ее наборов (шесть для поляризуемых функций и четыре для неполяризуемых). В работе [2] показано, что для доказательства повторности булевой функции в базисе всех функций двух переменных в худшем случае требуется линейное по числу переменных функции количество наборов. В настоящей работе задача доказательства повторности рассматривается для двух наследственных предэлементарных базисов B' и B'' , где $B' = B_0 \cup g_1$ и $B'' = B_0 \cup g_2$, $B_0 = \{\&, \vee, \neg\}$ - элементарный наследственный базис, а функции g_1, g_2 - слабоповторы в B_0 функции (см. [3]):

- $g_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = x_1(x_2 \vee x_3x_4) \vee x_5(x_3 \vee x_2x_4)$,
- $g_2(x_1, x_2, x_3, x_4) = x_1(x_2 \vee x_3) \vee x_3x_4$.

В работе доказываются следующие теоремы:

Теорема 1. Для доказательства повторности функции в базисе B' достаточно предъявить 17 ее наборов.

Теорема 2. Для доказательства повторности функции в базисе B'' достаточно предъявить 10 ее наборов.

Из этого следует, что длина доказательства повторности функций в базисах B' и B'' ограничена сверху константами, не зависящими от числа переменных рассматриваемой функции. При доказательстве существенно используются результаты работ [4-5].

Литература

1. Вороненко А. А., Федорова В. С., Чистиков Д. В. *Повторность булевых функций в элементарном базисе*. Изв. вузов. Матем., 2011, №11, 72–77.
2. Вороненко А. А. *О сложности доказательства повторности булевых функций в бинарном базисе*. ПДМ, 2011, №3, 12–16.
3. Степенко В. А. *О предположих базисах в P_2* . Математические вопросы кибернетики. – Вып.4.– М.: Физматлит. 1992. – с. 139-143.
4. Шаранхаев И. К. *О слабоповторных булевых функциях в одном предэлементарном базисе*. Дискретн. анализ и исслед. опер., сер. 1, 10:2 (2003), 79–101.
5. Шаранхаев И. К. *О булевых базисах второго яруса*. Изв. вузов. Матем., 2004, №3, 81–82.

АЛГОРИТМЫ ГОМОМОРФНОГО ШИФРОВАНИЯ

Ковтунова Алиса Николаевна

E-mail: alisa-kvtunva@rambler.ru

Кафедра математической кибернетики

Научный руководитель: д.ф.-м.н., доц. Захаров Владимир Анатольевич

С развитием науки и техники все больше информации размещается вне домашних компьютеров, на удаленных серверах. Для сохранения конфиденциальности информации клиента и удобства обработки данных на облаке применима гомоморфная схема шифрования, то есть такая схема шифрования, которая предоставляла бы возможность безопасного шифрования на стороне клиента и способность модифицировать данные, не расшифровывая их. Исследователь из IBM Крейг Джентри (Craig Gentry) смог решить данную сложную математическую задачу и построил в работах [1,2] гомоморфные криптосистемы для неограниченных вычислений над зашифрованными данными.

Существуют несколько подходов к развитию систем гомоморфного шифрования:

- исследование универсальных гомоморфных систем;
- разработка специальных гомоморфных систем для решения «узкоспециальных» задач.

Каждый из подходов был реализован в дипломной работе, а именно:

1. была предложена схема гомоморфного шифрования в кольце полиномов на основе принципов Крейга Джентри для ограниченных вычислений, гомоморфная относительно операций сложения и умножения открытых текстов, была показана стойкость данной криптосистемы;

2. предложена матричная схема гомоморфного шифрования, применимая для решения больших систем линейных уравнений с использованием удаленного сервера, гомоморфная относительно операции обращения матрицы. Доказана криптографическая стойкость этой матричной криптосистемы.

Литература

1. Gentry C. *A fully homomorphic encryption scheme*. A dissertation submitted to the Department of Computer Science and the Committee on Graduate Studies of Stanford University, 2009
2. Gentry C. *Computing Arbitrary Functions of Encrypted Data*. Commun. ACM 53(3): 97-105, 2010
3. Варновский Н. П., Шокуров А. В. *Гомоморфное шифрование*. М.: ИСП РАН, 2006, т. 12, с. 27–36.

МЕТОДЫ СИНТЕЗА И ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ СХЕМ С НЕКОТОРЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Работа удостоена диплома I степени

Коноводов Владимир Александрович

E-mail: vkonovodov@gmail.com

Кафедра математической кибернетики

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Ложкин Сергей Андреевич

В дипломной работе рассматривается задача реализации булевых функций схемами из функциональных элементов (СФЭ) и формулами с различными ограничениями, накладываемыми на их структуру. Постановка таких задач связана с тем, что при синтезе управляющих систем часто требуется учитывать некоторые структурные особенности схем, имеющие реальную физическую интерпретацию. Эти особенности переносятся в математические модели.

В качестве таких моделей с ограничениями рассматриваются: формулы в стандартном базисе $\{\&, \vee, \neg\}$ с ограниченной глубиной альтернирования, СФЭ ограниченной ширины и формулы в базисах с прямыми и итеративными переменными.

Формула в стандартном базисе, рассматриваемая как частный случай СФЭ, имеет глубину альтернирования a , если максимальное число изменений типов элементов в последовательностях, которые являются цепями этой формулы и не содержат отрицаний, присоединенных к ее входам, равно $(a - 1)$. Пусть $L^{(a)}(n)$ — функция Шеннона для сложности формул, глубина альтернирования которых не превосходит a . О. Б. Лупановым [1] была найдена асимптотика $2^n / \log_2 n$ этой функции при $a \geq 3$. В данной работе предложен метод, позволяющий установить поведение $L^{(a)}(n)$ при $a \geq 3$ на уровне асимптотических оценок высокой

степени точности (АОВСТ), которые имеют относительную погрешность $O\left(\frac{1}{\log n}\right)$. Доказано, что при $a \geq 3$ имеет место соотношение

$$L^{(a)}(n) = \frac{2^n}{\log_2 n} \left(1 + \frac{\overbrace{\log_2 \dots \log_2 n}^{(a-1) \text{ раз}} \pm O(1)}{\log_2 n} \right).$$

СФЭ имеет ширину t , если число регистров, необходимое для вычисления, осуществляемого этой схемой, равно t . Для схем с ограниченным числом регистров получены некоторые индивидуальные оценки сложности – для монотонной симметрической функции с порогом 2, линейной функции, дешифратора, и установлено влияние параметра t на порядок и асимптотику сложности этих функций. Для функции Шеннона сложности схем из рассматриваемого класса при $t \geq 3$ были получены оценки, близкие к АОВСТ, основанные на результатах, установленных для первой модели – верхняя оценка совпадает с приведенной выше верхней оценкой для $L^{(a)}(n)$ при $a = t$, а нижняя имеет вид $\frac{2^n}{\log_2 n} \left(1 - O\left(\frac{1}{\log n}\right) \right)$. Эти результаты согласуются с асимптотикой, полученной Н. А. Карповой [2].

Также в работе рассматривались ограничения, связанные со способом соединения элементов схемы. Пусть каждый элемент базиса имеет входы двух типов – прямые, на которые разрешено подавать только переменные, и итеративные, на которые можно подавать и переменные, и выходы других элементов. В рамках этой модели рассмотрен ряд базисов, в которых функция Шеннона для сложности формул из соответствующих классов имеет различные порядки роста (2^n и $2^n/\log n$). Рассмотрен базис, состоящий из мультиплексорной функции порядка 1 и двух констант – в нем получено точное значение функции Шеннона, – а также все базисы, являющиеся модификацией стандартного (введением прямых и итеративных входов) – для тех из них, которые являются полными и отличаются от обычного базиса, были получены АОВСТ функции Шеннона для сложности формул в них, имеющие относительную погрешность вида $O\left(\frac{1}{\log n}\right)$.

Результаты первой и второй частей дипломной работы опубликованы в [3,4,5].

Литература

1. Лупанов О. Б. *О реализации функций алгебры логики формулами из конечных классов (формулами ограниченной глубины) в базисе $\&, \vee, \neg$* . // Сб. „Проблемы кибернетики“, вып. 6. — М.: Физматгиз, 1961. — С. 5–14.

2. Карпова Н. А. *О вычислениях с ограниченной памятью* // Математические вопросы кибернетики. — 1989. — Вып. 2. — С. 131–144.
3. Ложкин С. А., Коноводов В. А. *О синтезе и сложности формул с ограниченной глубиной альтернирования* // Проблемы теоретической кибернетики. Материалы XVI Международной конференции (Нижегород, 20–25 июня 2011 г.) — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2011. — С. 281–284.
4. Ложкин С. А., Коноводов В. А. *О синтезе и сложности формул с ограниченной глубиной альтернирования* // Вестник Московского университета. Сер. 15. Вычислительная математика и кибернетика. — 2012, №2, — С. 28–36.
5. Коноводов В. А. *О синтезе схем ограниченной ширины* // Материалы VIII молодежной научной школы по дискретной математике и ее приложениям (г. Москва, 24–29 октября 2011 г.) — М.: Изд-во мех.-мат. ф-та МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. — Ч. 1. — С. 37–41.

О ТЕСТАХ ДЛЯ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ НЕКОТОРЫХ НЕИСПРАВНОСТЯХ ПЕРЕМЕННЫХ

Морозов Евгений Валерьевич

E-mail: morozov-msu@yandex.ru

Кафедра математической кибернетики

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Романов Дмитрий Сергеевич

Будем говорить, что в булевой функции $f(x_1, \dots, x_n)$ произошло *Ф-слипание переменных* $x_{i_1}, \dots, x_{i_k}$, если вместо функции f реализуется булева функция, полученная в результате подстановки вместо каждой из этих переменных булевой функции $\phi(y_1, \dots, y_k)$, $k \geq 2$ от $x_{i_1}, \dots, x_{i_k}$ из множества Φ . ϕ назовем функцией слипания. Если ϕ — линейная, то *Ф-слипание* назовем *линейным*. Мы будем использовать Φ^{lin} — множество линейных функций слипания и $\check{\Phi}^{lin}$ — множество линейных функций слипания, существенно зависящих от всех своих переменных. Введем два типа *Ф-слипаний*. В булевой функции $f(x_1, \dots, x_n)$ произошло *произвольное Ф-слипание* переменных, если существует p непересекающихся подмножеств множества переменных $\{x_1, \dots, x_n\}$, для каждого из которых произошло *Ф-слипание*. *Ф-слипание* переменных $x_i, \dots, x_{i+k-1}$, $i + k - 1 \leq n$ функции $f(x_1, \dots, x_n)$ назовем *локальным k -кратным ϕ -слипанием*. Традиционным образом введем функции Шеннона $L_{k,\Phi}^{detect}(n)$ и $L_{k,\Phi}^{diag}(n)$ длины проверяющего и диагностического (соответственно) теста относительно локальных k -кратных *Ф-слипаний* переменных как максимум по всем булевым функциям $f(\tilde{x}^n)$ длины

минимального теста требуемого типа для булевой функции f . Кроме того, введем функции Шеннона $\check{L}_{k,\Phi}^{detect}(n)$ и $\check{L}_{k,\Phi}^{diagn}(n)$ длины проверяющего и диагностического (соответственно) теста относительно локальных k -кратных Φ -слипаний переменных как максимум по всем существенно зависящим от всех своих переменных булевым функциям $f(\tilde{x}^n)$ длины минимального теста требуемого типа для булевой функции f . В случае, когда Φ есть система $\Phi^{lin} = \Phi_{2^{k+1}}^{lin}(\tilde{y}^k)$ всевозможных попарно неравных линейных функций k переменных (при $t = 2^{k+1}$), будем говорить о *локальных k -кратных линейных слипаниях переменных функции f* . Также введем функцию Шеннона $S_{\Phi}^{detect}(n)$ длины проверяющего теста относительно произвольных Φ -слипаний переменных как максимум по всем булевым функциям $f(\tilde{x}^n)$ длины соответствующего минимального теста для булевой функции f . И введем величину $\check{S}_{\Phi}^{detect}(n)$ - максимум по всем существенно зависящим от всех своих переменных булевым функциям $f(\tilde{x}^n)$ длины минимального проверяющего теста относительно произвольных Φ -слипаний переменных.

Получены следующие результаты:

- При $k \rightarrow \infty, n \rightarrow \infty, (n-k) \rightarrow \infty, \Phi = \Phi^{lin}$ для локальных k -кратных слипаний верно:

$$n(1 + \frac{1}{k}) \lesssim L_{k,\Phi^{lin}}^{detect}(n) \lesssim 4n$$

$$n(1 + \frac{1}{k}) \lesssim \check{L}_{k,\Phi^{lin}}^{detect}(n) \lesssim 3n$$

- При $k \rightarrow \infty, n \rightarrow \infty, (n-k) \rightarrow \infty, \Phi = \Phi^{lin}$ для локальных k -кратных слипаний верно:

$$L_{\Phi^{lin}}^{diagn}(n) \sim kn$$

- При $n \rightarrow \infty, \Phi = \Phi^{lin}$ - для произвольных слипаний верно:

$$\frac{n^2}{2} + O(n) \lesssim S_{\Phi^{lin}}^{detect}(n) \lesssim n^2 + O(n)$$

Этот же результат верен, когда $\Phi = \Phi^{lin}$, для функций, существенно зависящих от всех своих переменных, т.е.:

$$\frac{n^2}{2} + O(n) \lesssim \check{S}_{\Phi^{lin}}^{detect}(n) \lesssim n^2 + O(n)$$

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 12-01-00964

Литература

1. Редькин Н. П. *Надежность и диагностика схем*. М.: Изд-во МГУ, 1992. 192 с.

2. Соловьев Н. А. *Тесты (теория, построение, применение)*. Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1978. 192 с.
3. Носков В. Н. *Диагностические тесты для входов логических устройств*. Дискретный анализ. Тесты (теория, построение, применение). Новосибирск: ИМ СО АН СССР, 1974. N 26. С. 72-83.
4. Погосян Г. Р. *О проверяющих тестах для логических схем*. М.: Изд-во ВЦ АН СССР, 1982. 57 с.
5. Кузнецов И. А., Романов Д. С. *О полных проверяющих тестах относительно локальных слипаний переменных в булевых функциях*. Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Физико-математические науки. 2009. Т. 151, книга 2. С. 90-97.
6. Романов Д. С. *О диагностических тестах относительно локальных слипаний переменных в булевых функциях*. Прикладная математика и информатика. Труды факультета Вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова. Вып. 36. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 91-98.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ДИСКРЕТНОГО ЛОГАРИФИМИРОВАНИЯ В ГРУППЕ ТОЧЕК ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ С ЭФФЕКТИВНЫМ ГОМОМОРФИЗМОМ

Работа удостоена диплома III степени

Николаев Максим Владимирович

E-mail: nikolaev-max@ya.ru

Кафедра математической кибернетики

Научный руководитель: к.ф.-м.н., Матюхин Дмитрий Викторович

Задача дискретного логарифмирования является основой безопасности многих систем; в случае некоторых типов эллиптических кривых ее можно свести к двумерной задаче в интервале [1]. Поэтому нахождение наиболее быстрых алгоритмов решения задачи двумерного дискретного логарифмирования в интервале имеет большое значение. Так Wei Liu получены алгоритм для случая эллиптической кривой с эффективным гомоморфизмом порядка 4 и оценка среднего числа групповых операций $((1.0255 + o(1))\sqrt{N}$, где N - порядок группы) [2].

В дипломной работе получена модификация алгоритма Годри-Шоста (Gaudry-Schost) для решения обозначенной задачи в случае эллиптической кривой с эффективным гомоморфизмом порядка 6. А также, используя обобщения парадокса о днях рождения [3], доказана оценка средней трудоемкости: $(0.97811 + o(1))\sqrt{N}$ групповых операций.

Литература

1. R. Gallant, R. Lambert, S. Vanstone, Faster Point Multiplication on Elliptic Curves with Efficient Endomorphisms. CRYPTO '01 Proceedings of the 21st Annual International Cryptology Conference on Advances in Cryptology, 190 - 200
2. Wei-Liu, 2D Gaudry-Schost Algorithm On Equivalence Classes. Auckland, MSc, 2010, <http://www.math.auckland.ac.nz/~sgal018/Wei-Liu-MSc.pdf>
3. S. D. Galbraith and M. Holmes, A non-uniform birthday problem with applications to discrete logarithms, Discrete Applied Mathematics Vol. 160, No. 10-11 (2012) 1547-1560.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СЦЕН С ПРЕЛОМЛЯЮЩИМИ ОБЪЕКТАМИ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ТРАССИРОВКИ ПУЧКОВ

Афанасьев Владимир Владимирович

E-mail: vafanasjev@graphics.cs.msu.ru

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Научные руководители: Тисевич Илья Олегович, к.ф.-м.н. Игнатенко Алексей Викторович

Синтез изображений преломляющих объектов востребован в таких областях, как физически корректное моделирование, визуализация драгоценных камней. Эти задачи требуют интерактивности. Основной метод фотореалистичной визуализации преломляющих объектов, трассировка лучей, имеет существенный недостаток: информация о лучах с близкими траекториями не используется для ускорения работы алгоритма. Метод растеризации, реализованный в современных графических процессорах, даёт некорректный результат для преломляющих объектов в сцене.

Сочетать достоинства алгоритмов растеризации и трассировки лучей позволяет *метод трассировки пучков* [1]. Скорость достигается за счёт объединения лучей с близкими траекториями в один пучок, который проходит через сцену как единое целое. Например, пучком может считаться множество лучей, проходящих через некоторую грань объекта. Малая погрешность приближения пучком направлений отдельных лучей позволяет получить фотореалистичный результат. Этот метод эффективен для визуализации преломляющих многогранников с достаточно низким числом граней, так как проходящие через такой объект пучки содержат много лучей, которые не приходится трассировать по отдельности.

Более строго, назовём *пучком* множество лучей, проходящих через одну точку (*центр* пучка) и выпуклый многоугольник (*основание*

пучка). То есть такой пучок *гомоцентричен*. Пересечение пучка со сценой геометрически намного более сложно, чем для луча. Недостатки классического алгоритма трассировки пучков — большое число ветвлений, разнородность и сложность данных для разных пучков. Из-за этих особенностей эффективная реализация классического алгоритма для современных графических процессоров, имеющих ОКМД-архитектуру, невозможна.

Предложен модифицированный алгоритм трассировки пучков, не имеющий таких недостатков. На вход подаётся модель сцены с полигональным преломляющим объектом и параметры камеры. На выходе — растровое изображение этой сцены. Алгоритм состоит из 2 этапов: построение всех границ между пучками, прошедшими через модель и попавшими в сцену (*сеточного разбиения*), и построение по сеточному разбиению результирующего растрового изображения.

Первый этап работает рекурсивно. Начальным пучком полагается область видимости камеры. Модель преломляющего объекта проецируется вдоль лучей пучка на его основание. Вышедшие за границу основания части двумерной модели отсекаются. Пучок разбивается по границам оставшихся граней на новые пучки, которые отражаются и преломляются на соответствующих гранях трёхмерной модели. Процесс повторяется для новых пучков до достижения максимальной глубины трассировки, или минимального значения энергии пучка.

Наиболее вычислительно сложная часть первого этапа — алгоритм отсечения. Классический подход предполагает пересечение всех граней спроецированной модели с *отсекателем* — основанием пучка. Это неоптимально с алгоритмической точки зрения, а также не допускает эффективную реализацию на графическом процессоре. Разработан алгоритм отсечения, основанный на обходе границы отсекаателя, в котором обрабатываются только те грани модели, которые имеют пересечение с границей [2]. Основная вычислительная сложность перенесена на простые однотипные операции пересечения отрезков, что даёт возможность использовать графический процессор для ускорения.

Преломление пучка представляет собой проблему для точных вычислений в рамках выбранной модели. Лучи преломлённого гомоцентрического пучка больше не пересекаются в одной точке, поэтому любой выбор центра преломлённого пучка приведёт к погрешности. Выход за рамки принятой модели существенно уменьшит скорость вычислений и увеличит сложность представления. Реализовано 3 различных метода приближения, проведён их сравнительный анализ с целью минимизации погрешности. На основе выбранного по результатам сравнения способа преломление представлено аффинным преобразованием.

Второй этап заключается в построении растрового изображения сцены по частям, видимым через каждую грань сеточного разбиения. Это можно сделать эффективно с помощью стандартной растеризации

на графическом процессоре, используя вычисленные аффинные преобразования для выходящих из модели пучков в координаты камеры. При этом учитываются коэффициенты Френеля для каждого отражения и преломления.

Все разработанные алгоритмы реализованы, проведено сравнение построенного сеточного разбиения с результатом трассировки лучей в системе PBRT [3] на тестовой сцене. Получены изображения различных огранок драгоценных камней в окружении сферической панорамы.

Литература

1. S. Heckbert P., Hanrahan P. *Beam tracing polygonal objects*. Computer Graphics, vol. 18, number 3, Jul 1984
2. Афанасьев В. *Построение сеточного разбиения для метода трассировки пучков*. Конференция «Ломоносов-2012»
3. Pharr M., Humphreys G. *Physically based rendering. From theory to implementation*. Morgan Kaufmann Publishers, 2004

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Афанасьева Александра Евгеньевна

E-mail: afedorova@graphics.cs.msu.ru

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Игнатенко Алексей Викторович

Украшения и бижутерию часто покрывают одним или несколькими слоями пленки — тонкого слоя вещества порядка нескольких сотен или тысяч нанометров толщиной, благодаря которому мы видим на поверхности изделий радужные разводы. Как правило, для этого приходится применять достаточно дорогие и сложные технологии. Поэтому часто осуществляется предварительное моделирование и последующая визуализация изделий (для того, чтобы выяснить, какой формы лучше сделать изделие, какие покрытия, с какой толщиной и в какой последовательности следует наносить).

В настоящей работе была поставлена задача быстрой и точной визуализации пленочных покрытий на поверхности ювелирных изделий. Возможно несколько подходов к решению поставленной задачи. Быстрые методы визуализации основаны на простых расчетах и использовании текстур. Данные методы не являются физически корректными и не подходят для научной визуализации. Возможно применение методов, основанных на трассировке лучей, при которых детально исследуется поведение лучей в пленке. Данные методы, как правило, дают хорошие результаты, однако для научной визуализации неприемлимы в силу своей низкой скорости. Третья группа методов — это методы, приближенные к физически корректным, в которых пленка (покрытие) рассматривается

как физическая модель, обладающая некоторыми свойствами. На основе данной модели учитываются волновые эффекты, происходящие в покрытии, т.е. интерференция и дисперсия, которые обуславливают его внешний вид. Без корректного учета данных эффектов физически точная визуализация невозможна. Данная группа методов обладает тем же недостатком, что и методы трассировки лучей: низкой скоростью.

Поскольку одним из требований к результату была его максимальная физическая корректность, было решено разрабатывать алгоритм, приближенный к физически корректному, и искать способы его ускорения. В статье [2] была предложена модель пленки и алгоритм визуализации, однако реализация медленная и недоступная.

Модель пленки, разработанная в данной работе, обладает рядом свойств. Учитывается многократное отражение лучей от границ слоев покрытия. Возможна как идеально гладкая, так и микрофасетная модели пленки. Смещение луча на выходе из пленки нулевое, а толщина покрытия считается равномерной на всем объекте.

При моделировании и визуализации покрытий использовались такие их свойства, как материалы изделий, материалы покрытий, толщина покрытий, спектры материалов. Данные свойства поступают на вход разработанному алгоритму. На выходе мы получаем растровую картинку объекта, покрытого тонкой пленкой из заданного вещества.

Визуализация изделий с тонкопленочными покрытиями в данной работе концептуально была разбита на два этапа: расчет модели освещения материала и расчет коэффициентов цвета для пленки, отражающих интерференцию лучей в пленке по схемам, предложенным в статье [1]. Сначала вычисляются коэффициенты диффузного и зеркального отражения — характеристики, отражающие интерференцию лучей в пленке. Рассчитанные коэффициенты встраиваются в используемую модель освещения с целью получить итоговую интенсивность отраженного от покрытия луча. Суммированием полученных интенсивностей по всему видимому спектру получаем итоговую двулучевую функцию отражательной способности (ДФОС) покрытия.

При фиксированном наборе параметров покрытия (материалы и толщина покрытий, модель пленки, спектр источника) коэффициенты диффузного и зеркального отражения не меняются, поэтому для покрытия с заданными свойствами возможен предпросчет данных коэффициентов с последующей их аппроксимацией элементарной функцией. Это значительно ускоряет расчет ДФОС покрытия, и, как следствие, сам процесс визуализации. При размере выборки из спектра n расчет ДФОС ускорится в n раз.

Разработанный алгоритм был реализован на графическом процессоре. В рамках работы с целью верификации модель покрытия была встроена в модульный трассировщик PBRT 2.0 ([2]). Было проведено

сравнение результатов работы алгоритма, реализованного на графическом процессоре, с результатами работы системы PBRT 2.0.

В дальнейшем планируется провести верификацию разработанной модели при помощи методов прямой трассировки. Также в планах сравнение результатов с фотографиями реальных покрытий с заданными характеристиками (толщиной и материалом).

Литература

1. H. Hirayama, K. Kaneda, H. Yamashita, Y. Monden. *An accurate illumination model for objects coated with multilayer films.* // Computers & Graphics, Volume 25, Issue 3, Pages 391-400, June 2001.
2. Matt Pharr, Greg Humphreys. *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation.* // Annals of Physics, 2004.

АНАЛИЗ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Работа удостоена диплома III степени

Беликов Владимир Юрьевич

E-mail: belikov.vl@gmail.com

*Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Савенков Константин Олегович*

При анализе различных процессов для описания поведения процесса часто используется понятие временного ряда. Целью данной работы является создание методов и средств для обнаружения в структуре временного ряда заданных фрактальных шаблонов поведения.

Значительное число природных процессов характеризуется так называемой фрактальной структурой [1]: одни и те же (самоаффинные) шаблоны встречаются на различных временных масштабах ряда. Термин «фрактал» получил широкое распространения благодаря работам Бенуа Мандельброта. Фрактальный характер процесса означает наличие определенных ограничений на возможный ход его развития, а следовательно, потенциально применим для его прогнозирования. В данной работе рассматривается комплекс задач, связанных с анализом временных рядов, порожденных процессами с фрактальной структурой.

В качестве модельной задачи используется задача выявления волн Эллиота в потоке биржевых котировок [2]. Волновая теория Эллиота — это популярный подход к техническому анализу биржевых котировок. Она описывает набор характерных фрактальных шаблонов поведения («волн»), которым стремится следовать график котировок. Задачей волновой теории является поиск этих волн на различных масштабах времени с целью дальнейшего прогнозирования. При этом часто бывает неочевидно какой из шаблонов развивается в данный момент.

Традиционно большинство методов анализа временных рядов используют представление временного ряда в виде последовательности точек. В ряде методов используется символьный подход — временной ряд и шаблоны описываются в виде цепочек символов. В результате поиск шаблонов в структуре ряда сводится к многократному поиску подстрок-шаблонов в строке-временном ряду. Впервые такой подход был предложен в [3], однако представление шаблонов в виде цепочки символов не позволяет выявлять фрактальные шаблоны. В данной работе это ограничение снято.

Актуальность работы обусловлена следующими факторами:

- существующие алгоритмы для поиска шаблонов в структуре ряда не позволяют выявлять фрактальные шаблоны;
- волны Эллиота широко применяются в техническом анализе биржевых котировок, однако волновая теория не формализована.

В ходе работы были решены следующие задачи:

1. разработан язык спецификации фрактальных шаблонов на основе расширенной формы Бэкуса-Наура с возможностью указания дополнительных ограничений на поведение временного ряда. Предложенный подход к спецификации шаблонов опубликован [4];
2. на разработанном языке строго описаны фрактальные шаблоны модельной задачи. Стоит отметить, что, хотя волновая теория широко применяется в техническом анализе, ее шаблоны не являются строго описанными. Описание составлено по результатам обзора литературы;
3. реализованы алгоритмы для решения двух задач анализа: в статической постановке и в динамической. В первом случае временной ряд дан целиком и требуется обнаружить в его структуре все фрактальные шаблоны. При этом возможна ситуация, когда на одном и том же участке временного ряда можно обнаружить несколько шаблонов — в этом случае требуется распознать все варианты, предоставляя эксперту выбрать правильный. В динамической постановке задачи дана только часть временного ряда, а остальные значения поступают со временем. При этом требуется обнаружить только те шаблоны, которые появились с добавлением новых точек. Такая постановка задачи более соответствует реальности т.к. в случае модельной задачи данные постоянно устаревают и требуется их непрерывный анализ.

Особенно хочется отметить, что разработанное программное средство было опубликовано в исходных кодах под открытой лицензией [5], на данный момент имеется более 100 его установок другими

исследователями, предложенные методы активно интегрируются в существующее ПО для обнаружения «волн Эллиота» в потоке биржевых котировок.

Литература

1. Морозов А. Д. *Введение в теорию фракталов*. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002.
2. Prechter R., Frost A. J. *Elliott Wave Principle: Key to Market Behavior*. L.: John Wiley and Sons, 2001.
3. Костенко В. А., Коваленко Д. С. *Метод построения алгоритмов распознавания, основанных на идеях аксиоматического подхода*. М.: Изд-во МИФИ, 2009.
4. Беликов В. Ю., Савенков К. О. *Язык описания фрактальных элементов в структуре временного ряда*. М.: Издательский отдел факультета ВМК МГУ, 2012.
5. *Сайт проекта «Анализ фрактальной структуры временных рядов»*. <http://fractal-analysis.googlecode.com>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПРИЯТИЯ РАЗНОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ СТЕРЕОЗРЕНИЕМ ЧЕЛОВЕКА

Работа удостоена диплома III степени

Зина Кристина Сергеевна

E-mail: kzipa@graphics.cs.msu.ru

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Игнатенко Алексей Викторович, Ильин Андрей Алексеевич

Активное изучение зрительной системы человека ведется давно. Но несмотря на обилие исследований восприятия стереоизображений, до сих пор нет ответа на вопрос, что в конечном итоге воспринимает мозг. Ответ на этот вопрос актуален при анализе увеличенных изображений бриллиантов. Специфика огранок и материала с большим коэффициентом преломления приводят к тому, что на практике глаза видят 2 совершенно разных изображения. Также этот вопрос интересен для задач сжатия и задач коррекции изображения.

В настоящее время существуют подходы, позволяющие промоделировать отдельные процессы зрительной системы, связанные с восприятием стерео. В частности, многие из них направлены на моделирование контрастного восприятия стереоизображений, поскольку контраст – одна из наиболее важных характеристик восприятия. Недостаток существующих моделей в том, что они предназначены для узкого класса входных данных.

В данной работе предлагается алгоритм моделирования начальных этапов восприятия стереоизображений. Конечная цель работы состоит в определении важности тех или иных зон каждого изображения стереопары для восприятия. Рассматривается только первичная обработка сигналов – высокоуровневые процессы мозга не моделируются.

Входными данными алгоритма служит пара изображений объекта и параметры просмотра этой стереопары на мониторе (расстояние наблюдения, параметры монитора). На выходе алгоритм должен выдать оценку контраста воспринимаемой стерео-пары для заданных параметров наблюдения. Алгоритм решения разработан для случая монохромных изображений узкого динамического диапазона.

В процессе решения возникла необходимость решения двух проблем. Первая - оценка локального контраста моноизображения. Вторая - выбор модели бинокулярной суммации, описывающая наиболее широкий класс случаев.

На первом этапе разработан алгоритм построения карты локального контраста, описывающей контраст, воспринимаемый одним глазом человека. Суть алгоритма состоит в использовании локально частотного разложения и свертке компонент с различными весами. Для этого алгоритма создана специальная программа, позволяющая осуществлять замеры порога контрастной чувствительности. С помощью этой программы был произведен подбор оптимальных параметров алгоритма. Ошибка алгоритма измерена естественно-научным методом и позволяет сделать вывод о его применимости на представленном классе.

На втором этапе из нескольких существующих моделей бинокулярной суммации выбрана модель, представленная в статье [1]. Эта модель для случая контрастного восприятия доработана, чтобы применяться к изображениям произвольного вида. Она проверена на удовлетворение гипотезам бинокулярной суммации. Особенность модели в том, что она охватывает не только случай бинокулярного слияния (формирование устойчивого образа), но и случай бинокулярной конкуренции (формирование последовательности образов, сменяющих друг друга). Это позволяет алгоритму давать хорошие результаты для стереоизображений с сильными различиями между каналами.

В итоге, был разработан алгоритм построения карты локального контраста моноизображения, предложен алгоритм бинокулярной суммации. Алгоритм позволяет определить области на исходной стереопаре, вносящие наибольший вклад в воспринимаемый образ. Предложенный алгоритм может применяться и для других прикладных задач (например, для усиления локального контраста на изображении).

По теме дипломной работы был сделан доклад на конференции «Ломоносов-2012» [2].

Литература

1. Meese, T. S., Baker, D. H. *Contrast summation across eyes and space is revealed along the entire dipper function by a "Swiss cheese" stimulus.* (2011), Journal of Vision, 11(1):23, 1–23
2. Зипа К.С., Жулин С.С., Ильин А.А. *Оценка локального контраста изображения.* Сборник тезисов XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2012», секция «Вычислительная математика и кибернетика» М.: Издательский отдел факультета ВМК МГУ, 2012. С. 23-25.

РАСПОЗНАВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Работа удостоена диплома II степени

Лихогруд Николай Николаевич

E-mail: n.lihogrud@gmail.com

Кафедра автоматизации вычислительных комплексов

Научный руководитель: член-корр. РАН, профессор Королёв Лев Николаевич

Дальнейший прогресс в изучении когнитивных функций мозга и построении мозго-машинных интерфейсов связан с анализом активности больших популяций нейронов, что требует одновременного использования сотен микроэлектродов и автоматических методов сортировки спайков.

В работе предлагается автоматический метод сортировки спайков, не требующий сокращения размерности, описывается разработанная система программ для автоматической обработки нейронных сигналов и сортировки спайков.

Спайк (потенциал действия) — единица активности нейрона, быстрое кратковременное (несколько миллисекунд) изменение потенциала мембраны клетки. На электроде регистрируется активность сразу нескольких ближайших к нему клеток, отсюда возникает задача сортировки спайков: для каждого электрода определить какой нейрон сгенерировал каждый спайк.

После оцифровки сигнала каждый спайк можно рассматривать как вектор, состоящий из нескольких десятков компонент — отсчётов спайка. Таким образом, сортировка спайков является задачей кластеризации в многомерном пространстве.

В известных алгоритмах сортировки спайков применяются обычные методы кластеризации (иерархическая, k-means, EM, DBSCAN) приемливо работающие лишь в пространствах небольшой размерности. Поэтому перед их применением используют методы сокращения размерности и выделения признаков. Сокращение размерности неизбежно приводит к потере части информации и зачастую требует участия человека - для подбора ядерной функции в РСА, семейства вельветов в вельвет-преобразовании, выделения признаков для кластеризации.

В предлагаемом методе для каждого нейрона обучается Скрытая Марковская Модель (СММ) [1], максимизирующая правдоподобие его спайков. Итоговая кластеризация проводится по байесовскому правилу

$$y_i = \arg \max_{j=1..N} \omega_j P(x_i | \lambda_j)$$

т.е. спайк относится тому нейрону, СММ которого лучше всего подходит к его отсчётам, с учётом априорной вероятности. Моделирование спайков СММ позволяет отказаться от понижения размерности задачи и сократить потребность в участии пользователя.

Алгоритм является адаптацией ЕМ-алгоритма разделения смеси распределений [2] для случая, когда объекты выборки являются последовательностями отсчётов, а компоненты смеси задаются некоторыми СММ. На Е-шаге рассчитываются распределения скрытых переменных, на М-шаге проводится оптимизация ожидаемого правдоподобия:

Вход: N-число нейронов, $\{x_1, \dots, x_K\}$ - спайки

Е-шаг: $g_{ij} = P(y_i = j | x_i, \theta^{old}) = \frac{\omega_j^{old} P(x_i | \lambda_j^{old})}{\sum_{j=1}^N \omega_j^{old} P(x_i | \lambda_j^{old})}$

М-шаг: $\omega_j^{new} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^K g_{ij}$, $\lambda_j^{new} = \arg \max_{\lambda} \sum_{i=1}^K g_{ij} P(x_i | \lambda)$

На М-итерации СММ для нейронов получаются как результат оптимизации взвешенного правдоподобия всей выборки, для каждого нейрона веса различны и рассчитываются на предыдущем Е-шаге. Смысл весов – вероятности генерации каждого спайка различными нейронами. Шаги Е и М чередуются до сходимости. Для оптимизации взвешенного правдоподобия выведены формулы, обобщающие алгоритм Баума-Вэлша [1] обучения СММ.

Разработанная система программ имеет графический интерфейс и позволяет автоматически выделять в исходном сигнале спайки и сортировать их предложенным методом. Система создана в среде Microsoft Visual Studio 2008 на языке C# и имеет расширяемую архитектуру, позволяющую встраивать новые методы сортировки спайков.

Вычислительный эксперимент проводился на модельной задаче сортировки спайков, предоставленных *лабораторией психофизиологии сенсорных систем Института Высшей Нервной Деятельности*. Выборка состоит из 813 спайков, полученных в ходе реального нейробиологического эксперимента. Проведенные испытания показали высокую точность и обобщающую способность предложенного метода, в зависимости от начального приближения и типа ЕМ-алгоритма точность классификации составила 99%, кластеризации — 95%-98%

Литература

1. Juang B.H., Rabiner L.R. *Hidden Markov Models for Speech Recognition* // Technometrics, Vol. 33, No .3., R251-R272, 1991

2. Королёв В.Ю. *ЕМ-алгоритм, его модификации и их применение к задаче разделения смечей вероятностных распределений. Теоретический обзор* М., ИПИ РАН, 2007

Публикация автора: Лихогруд Н.Н., Микушин Д.Н., Адинец А.В. *KernelGen – система компиляции для программной модели «центральный графический процессор – периферийная хост-система»* // Труды международной научной конференции ПаВТ'2012, Новосибирск, с. 577–584, 2012

ОБНАРУЖЕНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ АВТОРИЗАЦИИ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ

Работа удостоена диплома I степени

Носеевич Георгий Максимович

E-mail: ngo@lvk.cs.msu.su

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Научный руководитель: м.н.с. Петухов Андрей Александрович

Большинство современных приложений содержат данные и функции, которые должны быть защищены от несанкционированного использования. В связи с этим механизм разграничения доступа является одним из основных средств обеспечения безопасности веб-приложений. Согласно статистике [1,2], уязвимости авторизации широко распространены, часто имеют высокий уровень опасности, а современные автоматизированные средства поиска уязвимостей веб-приложений не позволяют эффективно обнаруживать уязвимости этого класса.

Правила разграничения доступа пользователей веб-приложения к его ресурсам редко доступны в явном виде, и для проверки механизмов авторизации необходимо сформулировать разумное предположение о возможной формулировке этих правил. При исследовании веб-приложений методом «черного ящика» используется гипотеза о том, что пользовательский интерфейс веб-приложения должен отражать права его пользователей: разрешенные пользователю действия присутствуют в его веб-интерфейсе, а запрещенные, наоборот, отсутствуют.

Все существующие средства поиска уязвимостей авторизации веб-приложений методом черного ящика используют метод «анализа отличий» (см. [3]). Согласно этому методу, для каждого из пользователей веб-приложения строится «карта сайта» - множество ресурсов, доступных пользователю через его интерфейс. Далее для каждой пары пользователей производится попытка доступа к ресурсам одного пользователя от имени другого.

Такой подход имеет ряд проблем, ограничивающих его применимость. Главная из них состоит в том, что рассмотренный метод не учитывает состояние веб-приложения как при построении карт сайта, так и при проведении тестов. Это приводит к неполноте построенных карт и обнаруженных уязвимостей.

Для преодоления этого ограничения в предлагаемом методе процедура «анализа отличий» применяется в нескольких специально подобранных состояниях. При этом этап построения карт сайта модифицирован таким образом, чтобы обеспечить неизменность состояния веб-приложения.

Состояния, в которых происходит анализ, строятся следующим образом. Вместо HTTP-запросов к приложению рассматриваются сценарии использования, которые отражают соответствующее запросу действие, и роль пользователя, совершающего запрос. Оператор средства вручную идентифицирует сценарии использования и задает зависимости между ними. Полученный граф сценариев использования обходится с учетом зависимостей. На каждом шаге обхода совершается действие, соответствующее текущей вершине, и производится анализ отличий в полученном состоянии.

Вторая проблема возникает при построении карт сайта для современных веб-приложений. Главной подзадачей при этом является получение для данной страницы множества всех запросов, которые могут быть совершены в результате действий пользователя. Для классических веб-приложений задача тривиально решается выделением на странице ссылок и веб-форм, тогда как в веб-приложениях с динамическими интерфейсами необходимо анализировать javascript-программы, внедренные в HTML-код страницы.

Суть предлагаемого подхода состоит в возбуждении событий для элементов страницы и перехвате HTTP-запросов. Для ускорения анализа были учтены особенности библиотеки jQuery, что позволило путем динамического анализа контекста выполнения снизить множество тестируемых элементов.

Предложенные идеи были реализованы в виде набора инструментальных средств поиска уязвимостей авторизации. При этом помимо предлагаемого метода был также реализован существующий метод, что позволило произвести их экспериментальное сравнение. Сравнение выявило увеличение полноты предлагаемого метода по сравнению с существующим при сопоставимом количестве ложных срабатываний. С использованием реализованного средства были обнаружены неизвестные ранее уязвимости в последних версиях приложений Easy JSP Forum, Pyforum, Wordpress, что доказывает его практическую применимость.

Результаты проделанной работы опубликованы [4] и представлены на конференции First SysSec Workshop, также по результатам работы в области построения карт сайта была написана статья, которая проходит рецензирование в журнале БИТ. Реализованное средство принято как проект сообществом OWASP и доступно по адресу accorute.googlecode.com.

Литература

1. Web Application Security Consortium. *Web application security statistics 2008*. <http://projects.webappsec.org/f/WASS-SS-2008.pdf>.
2. Grossman J. *Automated Scanning vs. the OWASP Top Ten*. <http://www.whitehatsec.com/home/assets/OWASPTop10ScannersF.pdf>
3. Segal O. *Automated Testing of Privilege Escalation in Web Applications*, Watchfire, 2006
4. Noseevich G., Petukhov A. *Detecting Insufficient Access Control in Web Applications* // 1st SysSec Workshop Proceedings, 2011, Deliverable D2.

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ (НАВИГАЦИИ) ЧЕЛОВЕКА В ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДАХ

Работа удостоена диплома II степени

Пестун Максим Вадимович

E-mail: max.pestun@gmail.com

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Баяковский Юрий Матвеевич

В мае 1963 года Айвен Сазеленд представил доклад [1] «Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System» на объединенной весенней компьютерной конференции SJCC. Эта работа, посвященная графическому человеко-машинному интерфейсу, позволила ему в 1965 году на Конгрессе IFIP сформулировать концепцию, которую мы называем виртуальной реальностью.

В перефразировке Фредерика Брукса идея звучит так: «Не думайте об этой штуке, как об экране, думайте о ней, как об окне, через которое вы видите виртуальный мир. А задача компьютерной графики построить такой виртуальный мир, который реально выглядит, реально звучит, движется и откликается на взаимодействие в реальном времени и, даже, ощущается реально».

В 1992 году Каролина Круз-Нейра, Томас ДеФанти и Даниэль Сандин представили систему [2], позволяющую конструировать меняющуюся во времени виртуальную пространственную среду и, одновременно, регистрировать положение наблюдателя в этой среде. Ей было дано название CAVE (Cave Automatic Virtual Environment).

Современные системы CAVE создают изображения высокого качества, могут обрабатывать большое количество деталей виртуального мира, точно отслеживают положение и позу тела наблюдателя. Все эти факторы способствуют полному погружению человека в происходящие вокруг него, но несуществующие на самом деле, процессы [3]. Ввиду этого, системы виртуальной реальности предоставляют возможность проводить различные научные эксперименты со стрессовыми условиями,

сложно воспроизводимые в реальности [4]. Позволяют изучать поведение человека, собирать метрическую информацию о его движениях, исследовать когнитивные способности его мозга.

Раньше компьютеры применялись для осуществления математических или физических расчетов. Ученые использовали компьютеры для решения уравнений (например, термодинамики или колебания струны): задавали краевые и начальные условия, проводили расчет и получали результат.

В наши дни компьютеры достигли больших мощностей. Их новой целью становится моделирование поведения человека. Однако, это требует решения большого количества задач. Многие из них тесно связаны с психологией, социологией и другими смежными науками. Ученым необходимо выявить законы, по которым работает человеческий мозг; понять, как человек думает и представляет окружающее его пространство [5]. Для решения этих задач наука не придумала ОДУ или уравнений в частных производных. В процессе изучения могут использоваться системы построения виртуальных сред. Они позволяют моделировать разнообразные виртуальные окружения, с которыми может взаимодействовать человек. Возможно даже построение «лунных» виртуальных миров, аналоги которых не существуют в реальности.

Задачей данной дипломной работы является разработка архитектуры программных систем, их реализация и проведение тестирования для дальнейшего использования в психологических экспериментах по изучению поведения (навигации) человека в виртуальных средах. Сотрудники факультета психологии МГУ им. М.В. Ломоносова участвовали в разработке функциональных требований.

Были выбраны и созданы три типа систем:

- система моделирования лабиринтов с целью изучения поведения и навигации человека;
- система управления компьютером через устройство Kinect (игровой «контроллер без контроллера», разработанный компанией Microsoft, первоначально представленный для консоли Xbox 360) при помощи движений, совершаемых телом, с целью их последующего изучения (невербальный интерфейс между человеком и компьютером);
- две виртуальные среды для проведения экспериментов в системе CAVE, позволяющие изучать когнитивную и вестибулярную функции человека.

Благодаря изучению различных функций человека (навигация, поведение, когнитивные способности, вестибулярные свойства и другие) при помощи виртуальной реальности будет возможно выявить алгоритмы человеческого мышления и восприятия окружения. Перенос этих алгоритмов в программный код и их интеграция в роботов позволит

упростить процесс взаимодействия между человеком и машиной, а также делает роботов более похожими на людей со стороны когнитивных процессов.

Литература

1. Sutherland, I.E. *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*. Afps Conference Proceedings 2, 329-346 (1963).
2. Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V. & Hart, J. C. *The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment*. Communications of the ACM 35, 64-72 (1992).
3. Игнатьев М. Б., Никитин А. В., Войскунский А. Е. *Архитектура виртуальных миров*. // СПб.: ГУАП, 2009, с. 288.
4. Yasir, K., Zhijie, X. & Mark, S. *Virtual reality for Neuropsychological diagnosis and rehabilitation: A Survey*. 158-163 (2003)
5. Зинченко Ю. П., Меньшикова Г. Я., Баяковский Ю. М., Черноризов А. М., Войскунский А. Е. *Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы*. // «Национальный психологический журнал», N1(3), 2010, с. 54-62.

АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ОБМЕНОВ ПО КАНАЛУ С ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ СХЕМЫ МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ

Плакунов Артем Владимирович

E-mail: artacc@lvk.cs.msu.su

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов
Научный руководитель: с.н.с., к.т.н. Костенко Валерий Алексеевич

В дипломной работе рассматривается задача построения расписания обменов по каналу с централизованным управлением. Одно из оконечных устройств, подключенных к каналу, назначается контроллером канала, который управляет обменом информации и осуществляет контроль состояния других оконечных устройств в соответствии со статическим расписанием. Оконечные устройства лишь выполняют адресованные им команды контроллера. Обмен информацией осуществляется асинхронно путем поочередной передачи информации по принципу "команда-ответ". Информация передается в виде сообщений, которые могут состоять из командных слов, слов данных и ответных слов. Задача построения расписания обменов относится к классу задач построения одноприборных расписаний без прерываний и является NP трудной.

Рабочая нагрузка на канал с централизованным управлением состоит из набора сообщений, каждое из которых необходимо периодически

передавать по каналу. Для каждого сообщения известна его длительность и требуемая частота передачи. Одному сообщению может соответствовать несколько работ по его передаче. Длительность интервала планирования l_{int} , для которой должно быть построено расписание, равна наименьшему общему кратному периодов сообщений (период является обратной величиной к частоте передачи). Количество работ в рамках интервала планирования, соответствующих сообщению, равняется отношению l_{int} к периоду сообщения. Интервал планирования разбивается на отрезки времени одинаковой длины, называемые подциклами. В каждом подцикле может выполняться не более одной цепочки работ, следующих друг за другом без пауз. Требуется построить расписание, включающее в себя максимальное число работ, которые могут быть выполнены только в рамках своих директивных интервалов. Кроме ограничений реального времени, на расписание накладываются дополнительные ограничения, обусловленные особенностями аппаратных и программных средств конкретной системы, называемые технологическими. Примером технологического ограничения является резерв времени в конце каждого подцикла.

Для решения данной задачи в дипломной работе предлагаются алгоритмы на основе схемы муравьиных колоний, которые обладают высокой точностью на "широком" классе исходных данных. Основная схема алгоритма заключается в использовании муравьиного алгоритма для определения порядка размещения работ в расписание, и в использовании жадного алгоритма для определения места в расписании для каждой работы. Муравьиные алгоритмы позволяют автоматически настраиваться на пример задачи (заданы конкретные значения исходных данных) путем дополнительной разметки исходных данных, которая используется для построения решения на каждой итерации алгоритма и уточняется по мере увеличения числа итераций. Жадный алгоритм позволяет настраиваться на заданный набор технологических ограничений путем использования соответствующих процедур проверки корректности расписания при размещении в него очередной работы.

В работе было исследовано два подхода к построению алгоритмов на основе схемы муравьиных колоний. Оба подхода выполняли сведение задачи определения последовательности работ к задаче поиска кратчайшего маршрута в графе. Отличие подходов заключается в соответствии вершин графа работам в первом случае, и сообщениям во втором случае. Исследования показали, что подход на основе соответствия вершин сообщениям работает более эффективно.

В дипломной работе предложена метрика, определенная на множестве маршрутов графа. С помощью разработанной метрики подбирались оптимальные параметры алгоритма, и исследовалась динамика его работы.

Эксперименты показали, что разработанный алгоритм обладает более

высокой точностью на более широком классе исходных данных по сравнению с жадными алгоритмами.

РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ С ПОМОЩЬЮ MICROSOFT KINECT

Сахаров Артур Сергеевич

E-mail: a.s.sakharov@gmail.com

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Научный руководитель: к.ф.-м.н., н.с. Конушин Антон Сергеевич

В процессе использования любой компьютерной системы у пользователя в основном возникают задачи ввода информации и ее получения. Причем с увеличением доступности персональных и переносимых компьютеров больше времени проводится за считыванием всякого рода информации, чем за вводом данных. Возникает задача управления представлением информации, запроса вывода новой и навигации в интерфейсе.

В настоящее время основным способом представления информации является отображение ее на дисплее, будь то домашний компьютер, переносной планшет, телефон или даже интерактивный уличный информационный стенд. Преобладающим способом ввода информации и управления ее представлением является взаимодействие с физическим контроллером (мышью, клавиатурой, тактильной панелью), что является неприемлемым или некомфортным в некоторых ситуациях. Многих недостатков использования физических контроллеров можно избежать, используя бесконтактный способ взаимодействия.

С появлением сенсора Microsoft Kinect стало возможным построение интуитивных, естественных и практичных бесконтактных интерфейсов с использованием малого количества дополнительного оборудования. Данные, получаемые с этого сенсора в реальном времени, представляют собой видео-изображение и карту глубины со встроенных камер, а также вычисленные на основе них положения конечностей пользователя, находящегося в поле зрения сенсора. Это позволяет создавать бесконтактные интерфейсы, управляемые жестами.

Предложенный в дипломной работе метод осуществляет распознавание следующего набора жестов взаимодействия: пролистывание в четырех направлениях одной рукой, изменение масштаба сведением/разведением двух рук, возможность управления курсором, отображенным на экране, перемещением руки и нажатие виртуальных кнопок, отображенных на экране. Помимо распознавания типа жеста предложенный метод позволяет определить прогресс его выполнения (0% в случае начала и 100% в случае завершения жеста), а также поддерживает бесконтактное переключение между режимами управления курсором и распознавания жестов с помощью сжатия и расжатия ладони. Определение формы ладони производится с помощью независимой сегментации данных карты

глубины и видео и последующего их объединения [1,2].

Предложенный метод работает в реальном времени, позволяет визуализировать процесс выполнения жеста и, таким образом, увеличить визуальную отдачу, недвусмысленность и интуитивность взаимодействия. Программная реализация представляет собой подключаемую DLL-библиотеку, что позволяет быстро встроить предложенный метод в приложение, ориентированное на бесконтактное взаимодействие. Для демонстрации работы метода было создано тестовое приложение — галерея изображений, навигация в которой осуществляется жестами и нажатием виртуальных кнопок.

Литература

1. Tang M. *Recognizing Hand Gestures with Microsoft's Kinect*. Stanford Edu. 2011. Vol. 14, № 4. Pp. 303–313
2. Knight D. *Skin Segmentation of Noisy, Low-Resolution RGBZ Hand Images: A Color Space Approach*. [Online], 2010

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЛИМОРФНОГО ШЕЛЛКОДА В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ НА ОСНОВЕ ПОДОБИЯ

Щербинина Анастасия Алексеевна

E-mail: nastya_jane@lvk.cs.msu.su

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Научный руководитель: к.ф.-м.н., с.н.с. Гамаюнов Денис Юрьевич

Атаки внедрения кода являются одним из основных способов распространения вредоносного программного обеспечения (ВПО). Код, внедряемый в атакуемую программу, а затем исполняемый ею, называется шеллкодом [1]. Для обнаружения шеллкодов используется множество способов, большинство которых основано на выявлении некоторых отличительных характеристик вредоносного кода. Ими могут служить:

- NOP-след [3] — последовательность байтов, корректно исполняемая процессором с произвольной позиции, целью которой является передача управления полезной нагрузке шеллкода.
- Дешифратор [2] — участок кода, необходимый для расшифровки полезной нагрузки шеллкода перед исполнением.
- GetPC-код [2] — код, позволяющий вычислить текущее состояние счётчика адреса, необходим для получения абсолютного адреса зашифрованной части.
- Зона адреса возврата — последовательность байтов из наиболее вероятных адресов начала шеллкода (NOP-следа).

Полиморфные модификации шеллкода — шеллководы, полученные из исходного различными запутывающими преобразованиями (шифрование, перестановки блоков, замена инструкций на эквивалентные, добавление мусорных инструкций). Работа направлена на обнаружение полиморфных модификаций шеллководов из некоторого множества известных образцов.

В работе предложен алгоритм выявления полиморфных модификаций заданного образца. Он содержит несколько возможных вариантов анализа. Вот его основные шаги:

1. Определить, является ли исследуемый образец зашифрованным. Для этого используется поиск дешифратора.
2. Если исследуемый образец зашифрован, получить расшифрованный образец, используя эмуляцию исполнения инструкций.
3. Очистить полученный образец от мусорных инструкций.
4. Установить подобие между полученным образцом и заданным примером шеллкода на основе сравнения, специфичного для используемого варианта анализа.

Варианты анализа на 3 и 4 шаге:

- байтовый анализ

В качестве очистки от мусорных инструкций проводится удаление из образцов байтов 0x90 (соответствующих инструкции `por`). Для установления подобия возможно 2 варианта, один из которых основан на поиске наибольшей общей подпоследовательности, а второй на поиске блоков из известного шеллкода в анализируемых данных.

- анализ на основе построения графа потока управления

На этапе удаления мусорных инструкций к построенному графу применяются преобразования по упрощению структуры. По полученному графу формируется последовательность инструкций из базовых блоков при некоторой модификации обхода графа в ширину. Аналогичные последовательности формируются и для известных шеллководов. Для сравнения полученных структур используется поиск наибольшей общей подпоследовательности.

- анализ на основе построения трасс

В ходе анализа на основе трасс по исследуемому образцу строится трасса исполнения (точнее множество возможных трасс, поскольку в общем случае не известно начало шеллкода в анализируемых данных). Элементами трассы являются ассемблерные инструкции. Сравнение для установления подобия аналогично анализу на основе графа потока управления.

Предложенный метод был реализован и протестирован с использованием средства генерации шеллкода Metasploit Framework 4.1.0, а также PElOCK Obfuscator. Результаты тестирования показывают точность до 87% при отсутствии ошибок второго рода, а также наибольшую полноту обнаружения при использовании анализа на основе построения трасс.

Литература

1. C. Anley, J. Heasman, F. Linder, G. Richarte *The Shellcoder's Handbook: Discovering and Exploiting Security Holes, 2nd Edition*. Wiley Publishing INC. ISBN: 978-0-470-08023-8, 2007
2. Q. Zhang, D. S. Reeves, P. Ning, S. P. Lyer *Analyzing network traffic to detect self-decrypting exploit code*. In Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Information, Computer and Communications Security (ASIACCS), 2007.
3. I. Bulgakov, D. Gamayunov, E. Toroschin *Detecting network worms propagation with IA32 instructions frequency analysis*. In Proceedings of the Third Russian Conference «Methods and Tools for Information Processing», 2009, pp. 445-450.

АЛГОРИТМЫ ЛОКАЛЬНОГО ПОИСКА

Баранов Михаил Игоревич

E-mail: mix-baranov@yandex.ru

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Бордаченкова Елена Анатольевна

Решение оптимизационных и комбинаторных задач всегда было актуальной проблемой. Достаточно рассмотреть такие задачи планирования, как задача распределения работ на многопроцессорной системе, задача календарного планирования. Проблемы, возникающие при решении подобных задач связаны с тем, что они являются NP-трудными, то есть для них не придумано алгоритмов, которые позволяли бы решать эти задачи за приемлемое (полиномиальное) время.

Для решения таких задач в рамках дисциплины искусственный интеллект в качестве альтернативы полного перебора было предложено несколько подходов, называемых метаэвристиками. Метаэвристические методы поиска можно определить как шаблоны, которые могут быть использованы как направляющие стратегии в разработке лежащих ниже эвристик для решения конкретных задач [1]. К метаэвристикам относят следующие классы алгоритмов: генетические алгоритмы, муравьиные алгоритмы, алгоритмы локального поиска и другие.

Алгоритмы локального поиска — это семейство эвристических алгоритмов, в которых поиск ведется только на основе текущего

состояния, а ранее пройденные состояния не учитываются и не запоминаются [2]. Важное преимущество этого алгоритма состоит в том, что занимаемая им во время работы область памяти имеет полиномиальный порядок роста (чаще всего линейный) в зависимости от размерности задачи. Семейство алгоритмов локального поиска существенно отличается от алгоритмов полного перебора тем, что они не производят систематический перебор пространства поиска, и за счёт этого, обычно имеют значительно меньшее время работы.

Несмотря на то, что эвристика локального поиска применяется для решения конкретных задач, вопрос применимости локального поиска к классам задач остаётся открытым.

В дипломной работе рассматривалось применение эвристики локального поиска к задачам удовлетворения ограничений [3]. Был разработан и реализован алгоритм локального поиска для классической комбинаторной задачи о расстановке ферзей. В частности, был предложен рандомизированный алгоритм генерации начальной расстановки, предложена оценочная функция, управляющая поиском решения, и разработаны структуры данных, уменьшающие сложность её вычисления. Также был разработан и реализован алгоритм локального поиска для задачи составления школьного расписания. Проведённые испытания алгоритмов для задачи о расстановке ферзей и задачи составления школьного расписания показали, что построенные алгоритмы локального поиска эффективнее известных нам решений других авторов.

Можно сделать вывод о применимости стратегии локального поиска для задач удовлетворения ограничений. Для конструирования алгоритма локального поиска нужно сформулировать исходную задачу в терминах поиска решения в пространстве состояний, задать оценочную функцию как количество нарушенных ограничений. Можно существенно ускорить поиск решения, сузив пространство поиска. В данной работе для определения подпространства поиска выбиралось подмножество ограничений, для которых нетрудно найти удовлетворяющее им начальное состояние. Использование специальных структур данных, содержащих информацию о тех ограничениях, которым не удовлетворяет текущее состояние, позволяет существенно ускорить вычисление оценочной функции.

Литература

1. Talbi E-G. *Metaheuristics: from design to implementation*. Wiley, 2009.
2. Aarts E., Lenstra J. K. *Local Search in Combinatorial Optimization*. John Wiley & Son, Chichester, 1997.
3. Tsang E. *Foundations of Constraint Satisfaction*. Academic Press, 1993.

ИНТЕРПРЕТАТОР ЯЗЫКА ПЛЭНЕР ДЛЯ МНОГОСТИЛЕВОГО ОКРУЖЕНИЯ

Работа удостоена диплома II степени

Клычков Денис Михайлович

E-mail: kd.snake@gmail.com

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Столяров Андрей Викторович

Язык Плэнер был разработан Карлом Хьюитом и предназначался для решения задач искусственного интеллекта [1]. Язык обладает функциональностью, подобной языку Lisp, но имеет ряд дополнительных возможностей, а именно: сопоставление с образцом, поиск решения с возвратами, встроенная база данных и режим доказательства теорем. К сожалению, язык так и не был реализован полностью, а существующие упрощённые реализации были созданы очень давно и сейчас не поддерживаются разработчиками. Вместе с тем, язык не утратил актуальности; так, именно Плэнер используется в качестве иллюстративного языка в курсе «Искусственный интеллект», читаемом на программистском потоке факультета ВМК. Как правило, используется интерпретатор, созданный В. Н. Пильщиковым для MS-DOS; исходные тексты этого интерпретатора утрачены.

В настоящей работе был разработан интерпретатор диалекта языка, предложенного В. Н. Пильщиковым [2]. В качестве основы работы была использована библиотека *InteLib*, которая позволяет разработчику встраивать в свои проекты на C++ код таких языков как Lisp, Scheme и Refal с помощью метода непосредственной интеграции [3]. Результатом работы стала поддержка языка Плэнер в *InteLib*.

Поскольку язык Плэнер очень похож на языки Lisp и Scheme, при выполнении работы удалось воспользоваться готовыми классами проекта *InteLib*, предназначенных для представления структур данных языка. Кроме того, для реализации был использован вычислитель выражений, такой же, как в языках Lisp и Scheme — континуация [4].

В проекте *InteLib* континуация реализована в виде двухстековой виртуальной машины, что позволяет легко сохранять и восстанавливать её состояние. Эта особенность была использована в реализации режима поиска решения с возвратами. Для этого континуация была расширена третьим стеком — стеком точек возврата, где каждая точка хранит в себе сохранённое состояние континуации, информацию, необходимую для восстановления данных программы, а также набор альтернативных путей решения.

Механизм сопоставления с образцом был реализован с помощью уже готового режима поиска решения с возвратами. Для этого был создан тип точек возврата, который перебирает альтернативные варианты сопоставления выражения с образцом.

Аналогичным образом были созданы особые типы точек возврата,

необходимые для перебора вариантов при поиске в базе данных, а также для перебора подходящих теорем в дедуктивном механизме.

Кроме вычислительной модели и интерпретатора, в работе был реализован транслятор кода с языка Плэнер в язык C++. В соответствии с традициями проекта *IntelLib*, он был написан на транслируемом языке, т. е. на языке Плэнер. Во время сборки происходит двойное самоприменение транслятора, благодаря чему демонстрируется корректность работы основных модулей реализации, а также корректность работы самого транслятора.

Литература

1. Hewitt C. *PLANNER: A Language for Proving Theorems in Robots*. IJCAI 1969.
2. В. Н. Пильщиков. *Язык программирования ПЛЭНЕР-БЭСМ*. Издательство Московского университета, 1982.
3. А. В. Столяров. *Библиотека IntelLib — инструмент мультипарадигмального программирования. Тезисы докладов II конференции разработчиков свободных программ «На Протве»*. Обнинск, 25-27 июля 2005 года, стр. 56-62.
4. А. В. Столяров *Импорт вычислительной модели языка Scheme в объектно-ориентированное окружение. Сборник статей молодых учёных факультета ВМК МГУ, N 5*. М.: Издательский отдел факультета ВМК МГУ, 2008, стр. 119-130.

ИНКРЕМЕНТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ДЛЯ МНОГОСТИЛЕВОГО ОКРУЖЕНИЯ

Кудасов Николай Дмитриевич

E-mail: nick_kud@mail.ru

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Столяров Андрей Викторович

Структуры данных во время исполнения программы создаются и изменяются. Наблюдаемое состояние структуры называется её *версией*, при этом изменение структуры рассматривается как создание новой версии. Если после изменения доступ к предыдущим версиям структуры остается, структура называется *персистентной*, иначе — *эфемерной*.

Чисто-функциональные структуры данных — это структуры, которые могут быть реализованы посредством только чистых функций и чей интерфейс состоит полностью из чистых функций. Такие структуры всегда являются персистентными.

Персистентные структуры данных часто реализуются с использованием инкрементальности: при изменении новая и старая версии структуры разделяют общие части, таким образом изменения происходят

инкрементально. Персистентные структуры данных, расширенные деструктивными операциями, называются *инкрементальными*.

Ленивые вычисления — это концепция в языках программирования, позволяющая откладывать вычисление выражений до тех пор, пока не потребуются их значения. Ленивые вычисления часто используются с персистентными структурами, поскольку реальное время вычисления не повлияет на результат [1]. Кроме того, ленивые вычисления иногда используются при реализации персистентных структур данных для улучшения оценок временной сложности операций.

В работе был реализован набор инкрементальных структур данных в рамках библиотеки IntelLib [2]. Библиотека представляет собой реализацию метода непосредственной интеграции с базовым языком C++ и предоставляет вычислительные модели языков Лисп, Scheme и др. Библиотека предоставляет стандартный набор примитивных структур данных (список, очередь, хеш-таблица и пр.), тем не менее, только точечный список позволяет персистентное использование.

В работе реализованы следующие структуры данных:

- **список с произвольным доступом** предоставляет списочные операции (`head`, `tail`, `cons`) за время $O(1)$, а операции поиска и изменения элемента с заданным индексом — за $O(\log_2 N)$, где N — количество элементов списка;
- **очередь реального времени** предоставляет операции вставки элемента в конец очереди и изъятие элемента из начала очереди за время $O(1)$;
- **конкатенируемый список** предоставляет списочные операции, а также операции слияния и добавления элемента в хвост списка, за время $O(1)$;
- **сортируемая коллекция** предоставляет операцию добавления элемента за время $O(\log_2 N)$ и операцию сортировки за $O(N)$, где N — количество элементов в коллекции; структура используется для сортировки списков с общими хвостовыми частями;
- **отображение с операцией слияния** предоставляет операции вставки, удаления и поиска элемента по ключу за время $O(\min(W, \log_2 N))$, где W — количество бит в представлении целочисленного типа, а N — количество элементов в отображении; кроме того структура предоставляет операцию слияния за время $O(N+M)$, операцию пересечения за время $O(\min(N, M))$ и операцию разности по множеству ключей за время $O(N + \min(W, \log_2 M))$, где N , M — размеры отображений;

- «ленивый» список представляет собой отложенное вычисление, результатом которого может быть либо пустой список, либо ячейка списка с головным элементом и отложенным вычислением, представляющим хвост списка; «ленивый» список был реализован как демонстрация механизма ленивых вычислений, реализованного в работе.

Для структур данных и механизма ленивых вычислений реализован интерфейс для вычислительных моделей IntelLib Лисп и IntelLib Scheme. Реализованные структуры основаны на чисто-функциональных структурах, описанных в [3, 4, 5].

Литература

1. Paul Hudak and John Hughes and Simon Peyton Jones and Philip Wadler, *A history of Haskell: Being lazy with class*. Proceedings of the 3rd ACM SIGPLAN Conference on History of Programming Languages (HOPL-III) ACM Press, 2007
2. Головин И. Г., Столяров А. В. *Объектно-ориентированный подход к мультипарадигмальному программированию*. Вестник МГУ, 15(1):46–50, 2002.
3. Chris Okasaki and Andy Gill, *Fast mergeable integer maps*. ACM SIGPLAN Workshop on ML, pages 77–86, 1998
4. Chris Okasaki, *Simple and efficient purely functional queues and deques*. JOURNAL OF FUNCTIONAL PROGRAMMING. 5(4):583–592, 1995
5. Chris Okasaki, *Purely functional data structures*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1998

ДИАЛЕКТ ЯЗЫКА ЛИСП ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ

Куликов Василий Владимирович

E-mail: segooon@gmail.com

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Столяров Андрей Викторович

В настоящее время существует внушительное число задач, связанных с обработкой электронной почты. Изначальное применение электронной почты — доставка электронных писем от одного пользователя другому — имеет в качестве подзадачи борьбу с незапрошенной почтой. Проблема определения незапрошенной почты в общем случае неразрешима, однако в некоторых конкретных случаях существуют частные решения. Электронная почта также применяется для одновременного общения более чем двух пользователей почтовой системы, например, в случае

списков рассылки. Хотя в иерархии ISO/OSI почтовый протокол занимает место прикладного уровня, протокол иногда используют в качестве транспортного протокола для передачи данных. Для решения подобных проблем необходим инструмент, который облегчает разработку приложений, связанных с обработкой электронной почты.

Работа посвящена реализации проблемно-ориентированного диалекта языка Лисп, удобного для быстрого написания программ, взаимодействующих с использованием протокола передачи почты (SMTP). Интерпретатор полученного диалекта был назван «Почтовым агентом». Почтовый агент основан на существующей реализации диалекта языка Лисп, *InteLib Lisp*. *InteLib* позволяет совмещать различные вычислительные модели в рамках одной программы, что в данном случае позволяет реализовать почтовый протокол с применением низкоуровневого языка C++. В качестве решения проблемы одновременной работы в рамках нескольких независимых сеансов используется однопроцессный однопоточный подход. Обработка событий происходит с помощью функций обратного вызова, зарегистрированных в качестве обработчиков определённых событий. Диалект поддерживает как клиентскую часть протокола, так и серверную, а также позволяет совершать запросы к системе доменных имён (англ. DNS). Возможна работа как на уровне почтового протокола, так и на более высоком уровне, используя соответствующие проблемно-ориентированные средства. Архитектура почтового агента состоит из нескольких частей, наиболее важными из которых являются подсистема обработки почтового протокола и слой интеграции с *InteLib*.

В качестве демонстрации возможностей полученного диалекта был написан почтовый сервер, который может работать в нескольких режимах. В первом режиме почтовый сервер принимает электронную почту лишь с тех адресов, которые предварительно прошли проверку двухфазной конфирмации (она также часто применяется при регистрации на некоторых сайтах и в списках рассылки). Для упрощения взаимодействия клиента с почтовым сервером пользователь имеет возможность включить обработку цепочек писем, при которой ответы на уже успешно принятые письма также будут приняты сервером без дополнительной регистрации. Во втором режиме помимо пользовательских адресов почтовый сервер также обрабатывает набор фиктивных адресов, служащих в качестве приманки. Если сервер получает входящее письмо на один из фиктивных адресов, то адрес отправителя заносится в чёрный список, после чего любая почта, отправленная от его имени, будет игнорироваться. В третьем режиме работы сценарий обработки входящей электронной почты задаётся пользователем вручную. Он определяется в виде набора правил вида «условие – действие» на языке правил. Первые два режима работы реализованы с использованием набора правил на этом же языке.

С применением полученного диалекта был написан сервер списка рассылки, который используется для нужд спецсеминара «Парадигмы программирования».

Литература

1. Головин И. Г., Столяров А. В. *Объектно-ориентированный подход к мультипарадигмальному программированию*. Вестник МГУ, сер. 15 (ВМиК), № 1, 2002.
2. Klensin J. *Simple Mail Transfer Protocol, RFC 5321*. October 2008.

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ИНТЕРНЕТ ПРИЛОЖЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Межебитский Анатолий Алексеевич

E-mail: mezhebitskiy@gmail.com

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Абрамов Владимир Геннадьевич

Количество пользователей интернет ресурсов с каждым годом неуклонно растет, и поэтому важным аспектом любого проекта становится его масштабируемость и способность выдерживать высокие нагрузки. [1-6]

На сегодняшний день существует достаточное количество компаний, предоставляющих «облачные мощности». Проекты, размещенные в таких средах, становятся более гибкими и за счет масштабируемости «облака» могут выдерживать большие нагрузки. Однако у таких решений есть ряд ограничений, которые не дают возможности применять их для решения глобальных задач:

- ограничения на количество входящего и исходящего трафика;
- ограничения на количество транзакций в секунду;
- ограничения на зону покрытия вычислительных мощностей. [7-9]

Для решения этих проблем в рамках дипломной работы предлагается методология создания распределенной вычислительной мощности, названной «надоблачной», позволяющей минимизировать задержки пользователя к ресурсам сети, обеспечивая при этом высокую доступность, масштабируемость и эластичность создаваемой структуры.

При создании данной вычислительной мощности использовались следующие основополагающие идеи:

- использование существующих «облачных мощностей» — благодаря использованию уже существующих «облаков» создается открытая структура, которая легко расширяется путём включения новых мощностей. При этом можно уверенно говорить о том, что при

таком подходе «надоблако» будет иметь гораздо более высокие вычислительные мощности, чем другие системы, что объясняется возможностью включения в него этих систем;

- низкая связанность объектов системы — возможность подключения «облаков» произвольной структуры проектируемая система должна иметь низкую связанность внутреннего построения с архитектурой подключаемых мощностей;
- использование географической локализации пользователей — определяя географическое расположение пользователя в момент выбора сервера для передачи информации, можно направлять клиента на ближайший к нему сервер. Таким образом, сводится к минимуму задержка передачи информации между сервером и конечным пользователем;
- иерархическая структура модели построения — используя такой подход построения «надоблачной мощности» достигается ее гибкость, что позволяет ей быть легко масштабируемой и балансируемой;
- дублирование информации — дублируя информацию по географическим зонам можно добиться не только увеличения надежности за счет копий основных данных, но и уменьшить нагрузки на основной сегмент за счет распределения запросов между дублирующими серверами.

Для поддержания работы и целостности «надоблачной мощности» в рамках дипломной работы была написана система мониторинга, которая осуществляет следующие функции: обновление матриц смежности, определение оптимального маршрута от клиента до сервера, масштабирование и балансировку системы.

Для проверки актуальности предлагаемой методики и ее работоспособности в рамках дипломной работы было разработано и реализовано высоконагруженное приложение для проведения видеоконференций в режиме реального времени.

В ходе тестирования разработанного приложения и «надоблачной мощности» была установлена применимость и актуальность предлагаемой методологии построения географически распределенной вычислительной сети. Также было выявлено, что при использовании предлагаемой схемы построения достигаются следующие преимущества:

- уменьшение задержки между клиентов и сервером;
- увеличение масштабируемости системы;

- увеличение надежности системы;
- равномерное распределение нагрузок на систему.

Более того, при предлагаемом подходе построения сети достигается высокая отказоустойчивость системы. Данный показатель рассчитывается по следующей формуле:

$SLA = (1 - (1 - q)^n)$, где n — количество включенных в систему «облаков», q — минимальная отказоустойчивость включенных «облаков».

Таким образом, уже при $n = 10$ и $n = 0.9$ $SLA = 0.9999999999$, то есть вероятность отказа работы системы равна вероятности ошибки при передаче сигнала в оптоволоконном кабеле.

Литература

1. Barrett Lyon, Alex Adai. *Map of the Internet* [HTML] (<http://opte.org/maps/>).
2. Gian Fulgoni, Magid Abraham. *Internet marketing research company* [HTML] (<http://www.comscoredatamine.com/2012/02/french-sites-see-strong-rise-in-engagement/>).
3. Gian Fulgoni, Magid Abraham. *Internet marketing research company* [HTML] (<http://www.comscoredatamine.com/2012/01/people-spent-6-7-billion-hours-on-social-networks-in-october/>).
4. Gian Fulgoni, Magid Abraham. *Internet marketing research company* [HTML] (<http://www.comscoredatamine.com/2011/09/latin-american-social-networking-audience-grows-16-percent-in-past-year/>).
5. Gian Fulgoni, Magid Abraham. *Internet marketing research company* [HTML] (<http://www.comscoredatamine.com/2011/06/unique-visitor-trend-to-social-networking-category-facebook/>).
6. Gian Fulgoni, Magid Abraham. *Internet marketing research company* [HTML] (<http://www.comscoredatamine.com/2011/05/growth-of-facebook-com-across-global-regions/>).
7. Arif Mohamed. *A history of cloud computing* [HTML] (<http://www.computerweekly.com/feature/A-history-of-cloud-computing>).
8. Barrie Sosinsky. *Cloud Computing Bible* Wiley Publishing, 2011.
9. Arutyun I. A. *Open Cirrus: A Global Cloud Computing Testbed Computer*. 2010. №4. P. 42-50.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ РАССУЖДЕНИЙ

Работа удостоена диплома I степени

Мытрова Марина Вячеславовна

E-mail: serpuhovichok@yandex.ru

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Корухова Юлия Станиславовна

В работе предложен метод поиска информации в структурированных файлах специального вида – формата MusicXML, используемого для хранения нот музыкальных произведений.

В настоящее время музыкальные поисковые системы ориентированы только на поиск нот по названию и фамилии автора. Задача поиска музыкальных файлов на основе анализа их содержимого решалась только для аудиофайлов.

Исходными данными для предлагаемого в дипломной работе метода поиска является запись фрагмента произведения в виде MusicXML файла. В качестве результата представляется последовательность файлов, содержащих нотные записи, и их степени соответствия запросу. Запись нот в виде MusicXML файла представляет собой структурированный документ, однако традиционные методы поиска, разработанные для структурированных файлов [1], оказываются неприменимыми из-за специфики предметной области. Например, одна и та же мелодия, записанная в разных тональностях, представляется файлами с (формально) разным содержимым.

В информационном поиске мы сталкиваемся с задачей сравнения двух фрагментов (запроса и библиотечного файла), которые в чем-то являются похожими. Требуется ответить на вопрос о том, являются ли они представлением одного произведения. Подобная ситуация возникает в математике при проведении доказательства методом математической индукции. При выполнении шага индукции имеется предположение (гипотеза), которое считается истинным, и требуется доказать истинность заключения индукции, которое похоже на гипотезу. Одним из методов, с помощью которого можно автоматизировать такое доказательство, является метод волновых правил [2]. Метод предлагает выделить общие части (основу) гипотезы и заключения и отметить различия — выполнить аннотирование выражений. Затем применять в доказательстве только те правила, которые уменьшают различия в соответствии с некоторой мерой. При успешном исходе доказательства все различия будут устранены, и истинность заключения индукции будет доказана. Для использования данного метода при поиске выполняется аннотирование музыкальных фрагментов, заданы правила преобразования, применяющиеся для устранения различий в похожих фрагментах. В качестве меры рассматривается общее количество их различных нот.

Для того, чтобы избежать последовательного просмотра всех файлов при выполнении каждого запроса, в поисковых системах заранее выполняется индексирование: в базу данных добавляются сведения о документе. В зависимости от системы, это могут быть ключевые слова и число их вхождений, ссылки и т.п. В отличие от лексического разбора текстовых файлов, выделение музыкальных фраз, предложений и других отрывков, подлежащих индексированию – задача, которую сложно решить автоматически. Такие разделители, как паузы и тактовые черты не всегда соответствуют границам законченных музыкальных отрывков (например, в случае затакта). Если для слов существует ограниченное количество словоформ, то в случае музыки можно построить бесчисленное множество вариаций на тему отдельно взятой мелодии, что сильно усложняет задачу составления словаря для музыкальных файлов по сравнению со словарём для текстовых файлов. В дипломной работе предложен метод построения словаря на основе общих понятий о построении музыкальных фраз.

Предложенный метод реализован в системе поиска нот. Система позволяет находить нотную запись произведения по фрагменту, записанному в виде MusicXML файла, оценивать соответствие результатов поиска запросу, а также автоматически пополнять и индексировать библиотеку. Описание метода и результаты работы системы опубликованы в [3].

Литература

1. Маннинг К.Д., Рагхаван П., Шютце Х. *Введение в информационный поиск.*: Пер. с англ. — М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011.
2. Bundy A., Basin D., Hutter D., Ireland A. *Rippling: Meta-level Guidance for Mathematical Reasoning.* — Cambridge University Press, 2005.
3. Корухова Ю.С., Мытрова М.В. *Об одном подходе к решению задачи поиска нот музыкальных произведений.* — Сборник статей молодых ученых факультета ВМК МГУ, М.: Издательский отдел факультета ВМК МГУ, 2012. — Выпуск 9.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОИСКА НОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ

Работа удостоена диплома III степени

Родионов Алексей Вадимович

E-mail: lexa-from-meta@yandex.ru

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Корухова Юлия Станиславовна

Каждый день может возникнуть потребность найти понравившееся музыкальное произведение. Существуют сервисы, позволяющие по

записанному фрагменту найти композицию, в которой содержится данный фрагмент: сайт AudioTag.info, приложение [Shazam](https://www.shazam.com/), утилита [Tunatic](https://tunatic.com/). Эти системы работают с использованием метода идентификации композиций с применением технологии акустических отпечатков и требуют наличия записанного фрагмента мелодии в каком-либо формате. Также существует система musipedia.org, позволяющая пользователю набрать музыкальный запрос по нотам с электронной клавиатуры фортепиано, а затем провести поиск по своей базе данных. Musipedia.org позволяет вводить и искать лишь те мелодии, в которых нет аккордов. Методы поиска для структурированных файлов [1] в чистом виде неприменимы из-за специфики предметной области. Отсюда возникает задача - поиск нотных записей по заданному фрагменту (без ограничения на минимальный размер фрагмента) с возможностью поиска мелодий, содержащих аккорды.

Разработанная в дипломной работе система предлагает решение для данной задачи поиска. В качестве формата данных, с которым работает система, был выбран формат для записи музыкальных произведений [musicXML](http://music.xml). Для системы был разработан специальный метод поиска, учитывающий как особенности данной предметной области, так и особенности выбранного формата данных. Метод поиска использует внутреннее представление музыкального произведения, а также оценочную функцию, позволяющую сравнивать похожесть как нотных записей мелодий, так и аккордовых последовательностей.

Если пользователь не помнит весь фрагмент полностью, он может прибегнуть к помощи специальной функции расширения поискового запроса. Работа функции основана на музыкальных закономерностях, а также на алгоритмах построения музыкальных фрагментов. В поисковой системе было реализовано три различных метода расширения фрагмента:

- метод, основанный на алгоритме Хиллера-Исааксона [2];
- метод, использующий цепи Маркова [2];
- метод, использующий гармонические последовательности [3]

Поскольку большое количество файлов с нотными записями в формате [musicXML](http://music.xml) хранятся во Всемирной паутине, поисковая система реализована с помощью Web-средств. Система имеет интерфейс, который позволяет пользователю с помощью виртуальной электронной клавиатуры фортепиано набирать и редактировать поисковой фрагмент. Пользователь может добавлять как отдельные ноты, так и аккорды к поисковому фрагменту. Также пользователь может выбрать размерность фрагмента, лад, знаки при ключе и способ расширения заданного запроса. В результатах поиска отображаются названия найденных композиций, степень их соответствия запросу и время, за которое файл был

просмотрен. Алгоритмы поиска и расширения запроса реализованы на языке PHP, интерфейс же реализован с помощью HTML и JavaScript. Прототипная реализация системы работает в тестовом режиме и доступна по адресу: www.musicxmlsearch.ru.

Литература

1. Manning C. D., Raghavan P., Schütze H. *Introduction to Information Retrieval* Cambridge University Press, 2008
2. Harkleroad L. *The Math Behind the Music* Cambridge University Press, 2006
3. Robert Reno *Now That's Music Theory Progress* [HTML] (<http://music-theory.ascensionsounds.com/now-thats-music-theory-progress-part-1>)

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ОНЛАЙНОВЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Работа удостоена диплома I степени

Бартунов Сергей Олегович

E-mail: sbartunov@gmail.com

Кафедра системного программирования

*Научные руководители: ак. РАН, проф. Иванников Виктор Петрович,
к.ф.-м.н. Турдаков Денис Юрьевич*

В настоящее время мы переживаем бум социальных интернет-сервисов. Каждый год появляется множество как общенаправленных, так и нишевых социальных сервисов, и для активных пользователей Интернет типично иметь несколько профилей в различных социальных сетях. В данной дипломной работе исследуется задача идентификации пользователей, которую можно сформулировать, как обнаружение профилей, принадлежащих одному человеку, в нескольких социальных сетях.

Основной проблемой при задействовании социальной информации является её фрагментированность среди множества различных онлайн-социальных сетей. Несмотря на то, что существуют попытки по обеспечению единого способа взаимодействия между различными социальными платформами (например, Google Open-Social), они не получили широкого использования, а новые социальные сервисы продолжают появляться.

Процесс идентификации пользователей необходим для объединения различных социальных сетей в один социальный граф и получения более полной картины о социальном поведении пользователей в «Интернет», а также объединить контакты пользователей для обеспечения более удобного общения между ними.

В работе приводится обзор существующих методов идентификации пользователей (например, [2]) и подчеркиваются их основные недостатки,

такие как слабое задействование информации о социальных связях и использование в основном простых эвристик сравнения атрибутов профилей. В связи с недостаточностью существующих подходов предлагается оригинальная «JLA-модель» идентификации пользователей, основанная на модели условных случайных полей [1] и совместно использующая как атрибуты пользовательских профилей, так и социальные связи.

Предложенный подход особенно полезен в случаях, когда информация о пользовательских профилях малополезна, недоступна или скрыта из соображений приватности. Эксперименты на данных из двух популярных в настоящий момент социальных сетей Facebook и Twitter показали, что данный подход работает эффективнее существующих решений и способен сопоставить профили, которые невозможно сопоставить, используя только информацию об атрибутах.

Кратко, «JLA-модель» помимо сравнения атрибутов профилей также использует следующий критерий: если два профиля связаны в одном социальном графе, то их проекции (сопоставленные профили) должны быть как можно ближе во втором графе. Близость в графе в данном случае рассчитывается через коэффициент Дайса [5] на списках контактов. Модель может принимать на вход набор заранее сопоставленных профилей, наличие которых значительно улучшает качество результатов и позволяет распараллелить вычисление ответа.

Для идентификации пользователей важно поддержание высокой точности ответа (иногда в ущерб полноте), поэтому для очистки потенциально неправильно сопоставленных профилей (в основном, из-за недостаточной связности входных социальных графов) предложено две процедуры очистки: автоматическая и основанная на алгоритмах машинного обучения.

Исследование проводилось в Институте Системного Программирования РАН. Результаты работы были опубликованы в [3,4].

Литература

1. J. D. Lafferty, A. McCallum, P. McCallum, C. N. Fernando. *Conditional Random Fields: Probabilistic Models for Segmenting and Labeling Sequence Data*. Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning, 2001.
2. Veldman, I. *Matching Profiles from Social Network Sites*. Master's thesis, University of Twente, 2009.
3. Сергей Баргунов, Антон Коршунов. *Идентификация пользователей социальных сетей в Интернет на основе социальных связей*. Труды конференции по Анализу Изображений Сетей и Текстов (АИСТ), 2012.

4. Bartunov et. al. *Joint Link-Attribute User Identity Resolution in Online Social Networks*. Proceedings of the 6th Workshop on Social Network Mining and Analysis (принято к публикации), 2012.
5. Кристофер Д. Маннинг, Прабхакар Рагхаван, Ханрих Шютце *Введение в информационный поиск*. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2011.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ JAVA-ПРИЛОЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ИНСТРУМЕНТИРОВАНИЯ БАЙТ-КОДА И ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПОМЕЧЕННЫХ ДАННЫХ

Работа удостоена диплома II степени

Вартанов Сергей Павлович

E-mail: me@enzet.ru

Кафедра системного программирования

Научный руководитель: к.ф.-м.н., профессор кафедры СП,

Гайсарян Сергей Суренович

В дипломной работе рассматривается решение задачи анализа программ на языке Java с целью обнаружения критических ошибок при отсутствии исходного кода и знаний о логике работы программ.

Формальная постановка задачи построения логических условий на входные данные, при которых выполнение неинтерактивной детерминированной программы идёт по заданному пути, сводится к проблеме проверки выполнимости булевых ограничений, для решения которой существуют различные программные средства [1, 2]. Построение данных условий обеспечивает реализацию метода инвертирования условных операторов [3] в программах для покрытия возможных путей выполнения. Под ошибкой в программе на языке Java понимается любое программно не отловленное исключение.

Для решения задачи обнаружения ошибок в Java-приложениях реализован инструмент динамического анализа. Для извлечения трассы выполнения программы применяется статическая инструментация её байт-кода. В код добавляются инструкции печати информации о выполнившихся операциях и состоянии памяти виртуальной машины Java. Предварительно статически определяется список методов для инструментации, вызовы которых могут встретиться в ходе выполнения анализируемой программы. Описанные действия производятся один раз, что снижает нагрузку на основной цикл инструмента.

Далее происходит запуск итерационного цикла программы, результатом каждого шага которого являются наборы новых входных данных. Для извлечения трассы выполнения инструментированное приложение запускается на текущих входных данных. В ходе анализа трассы производится отслеживание потока помеченных данных — информации, зависящей от входных данных. Для каждой операции над помеченными данными строится логическое утверждение о зависимости

её результата от операндов. Для каждого условного перехода создаётся отдельный набор утверждений, включающий в себя утверждение, инвертирующее переход. Для нативных методов и методов чтения из файлов производится их частичная интерпретация. Вся информация, считанная из файлов, изначально помечается.

Для проверки выполнимости построенных наборов утверждений используется решатель STP [2]. На основе ответа решателя генерируются новые входные данные для следующей итерации. Для выбора очередного набора строится дерево наборов входных данных, которое обходится при помощи слепых методов (в глубину, в ширину) или с использованием эвристических метрик (число потенциально опасных операций, число всех инструкций, число условных переходов). Использование описанных методик обеспечивает возможность покрытия различных путей выполнения программ и потенциально опасных операций для обнаружения ошибок.

В результате запуска анализа тестовых приложений инструмент продемонстрировал способность эффективно обнаруживать ошибки и создавать наборы входных данных для их воспроизведения без наличия исходного кода и информации о логике работы приложения. Механизм исключений обеспечивает возможность нахождения ошибок любого рода. Генерация входных данных исключает возможность ложных сообщений о обнаруженных ошибках. Также была подтверждена эффективность статической инструментации, производимой один раз до выполнения основного цикла инструмента.

Литература

1. Eén N., Sörensson N. *MiniSat solver* [HTML] (<http://minisat.se/>)
2. Ganesh V., Dill D. L. *A Decision Procedure for Bit-Vectors and Arrays* // In Proceeding of Computer Aided Verification. 2007. P. 524–536.
3. Исаев И. К., Сидоров Д. В. *Применение динамического анализа для генерации входных данных, демонстрирующих критические ошибки и уязвимости в программах*. Программирование [№4]. 2010. 16 с.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОГРАММ НА ЯЗЫКЕ C-DVM В ПРОГРАММЫ ДЛЯ КЛАСТЕРА

Работа удостоена диплома II степени

Коваленко Алина Игоревна

E-mail: kovalenko.ai@mail.ru

Кафедра системного программирования

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Крюков Виктор Алексеевич

Последние годы во всем мире происходит бурное внедрение вычислительных кластеров, в связи с чем резко возрос интерес к

проблеме разработки для них параллельных прикладных программ [1]. Было предложено множество моделей параллелизма, созданы десятки различных языков параллельного программирования и множество инструментальных средств.

Одним из таких языков является язык C-DVM [2], разработанный в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН при участии студентов и аспирантов факультета ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова. C-DVM представляет собой стандартный язык последовательного программирования ANSI C, расширенный спецификациями параллелизма в соответствии с моделью DVM (Distributed Virtual Machine, Distributed Virtual Memory — распределённая виртуальная машина, распределённая виртуальная память) [3]. Спецификации параллелизма — это средства описания правил параллельного выполнения программ.

В последние годы изменилось направление развития процессоров — появляются многоядерные и многопоточные процессоры, гетерогенные кластеры, построенные на основе современных графических процессоров. Их эффективное использование требует более глубокого распараллеливания, обеспечивающее два уровня параллелизма — параллелизм между узлами кластера (технология MPI) и организация нескольких потоков процессора локально в рамках одного узла вычислительной системы (технология OpenMP). С этими изменениями связано появление новых направлений развития модели DVM: эффективное распараллеливание программ для мультипроцессорных вычислительных кластеров (гибридная модель DVM/OpenMP [4]) и распараллеливание программ для гетерогенных кластеров, построенных на основе графических процессоров (модель DVMH).

В дипломной работе рассматривается задача создания компилятора с языка C-DVM с DVM-указаниями в формате прагм в язык C. Компилятор должен выполнять три группы задач:

- проверка правильности написания программы с точки зрения синтаксиса и семантики языка программирования C-DVM, генерация промежуточного представления исходного кода;
- преобразования программы в соответствии с моделью DVM — трансляция прагм DVM в вызовы функций системы поддержки Lib-DVM;
- генерация кода на языке C.

Для выполнения поставленных задач компилятор должен распознавать следующие три типа конструкций:

- *описательные прагмы*. Содержащаяся в них информация должна быть сохранена для использования при преобразовании программы;

- *выполняемые прагмы*. Должны быть заменены на вызовы соответствующих функций Lib-DVM;
- *невянные*: создание и уничтожение распределенных массивов, доступ к распределенным данным, функции ввода-вывода, инициализация и завершение параллельного выполнения.

В рамках данной дипломной работы был реализован компилятор, преобразующий исходный код на языке C-DVM с DVM-указаниями в виде прагм в целевой код на языке C, содержащий вызовы функций библиотеки поддержки Lib-DVM. Компилятор был реализован с помощью инструментальной системы ROSE и выполняет следующие задачи:

- анализирует текст входной программы в соответствии с синтаксисом языка C-DVM и преобразует исходный код во внутреннее представление в виде абстрактного дерева разбора;
- преобразует дерево разбора в соответствии с моделью DVM и генерирует из внутреннего представления код на языке C.

При создании компилятора были разработаны:

- алгоритмы лексического и синтаксического анализа прагм DVM;
- структуры для хранения информации, полученной из прагм DVM, из описаний распределяемых и выравниваемых массивов и из заголовков распределяемых циклов;
- алгоритмы семантического анализа распределения данных и вычислений — выявление зависимостей данных и форматов распределения и определение параметров отображения вычислений на процессоры.

Литература

1. Крюков В. А. *Разработка параллельных программ для вычислительных кластеров и сетей*. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 2002.
2. *C-DVM. Описание языка*. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 2001.
3. Коновалов Н. А., Крюков В. А. *DVM-подход к разработке параллельных программ для вычислительных кластеров и сетей*. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 2002.
4. Бахтин В. А. *Гибридная модель параллельного программирования DVM/OpenMP*. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 2008.

ПРЕДСКАЗАНИЕ ВРЕМЕНИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ

Куприк Илья Владимирович

E-mail: ilya-spy@yandex.ru

Кафедра системного программирования

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Крюков Виктор Алексеевич

В настоящее время для суперкомпьютеров характерно использование в узлах многоядерных и графических процессоров (ГПУ). Это вызывает огромные трудности при разработке прикладных программ, поскольку требует использования низкоуровневых технологий MPI и CUDA.

Для эффективного и широкого использования богатейших возможностей кластеров с гетерогенными узлами необходимо создание высокоуровневых языков и технологий параллельного программирования. В настоящее время в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН ведется разработка системы автоматизированного распараллеливания Фортран-программ (САПФОР) [1], в составе которой должны быть блоки (называемые экспертами) преобразования последовательной Фортран-программы в параллельные программы для различных архитектур с гетерогенными узлами. Эти эксперты должны использовать в своей работе прогнозируемые времена выполнения параллельной программы для различных возможных вариантов распараллеливания. Кроме того, блоки прогнозирования должны выдавать не только времена выполнения всей программы, но и времена выполнения и другие важные характеристики каждого цикла, который может быть распараллелен для заданной архитектуры ЭВМ. Эта информация необходима программисту, чтобы понимать причины недостаточной эффективности распараллеливания и принимать меры по изменению своей последовательной программы с целью устранения этих причин.

Главной целью данной дипломной работы являлась разработка блока прогнозирования характеристик выполнения параллельной программы на ГПУ. В рамках исследования была построена модель отображения последовательных Фортран-программ в параллельные, предназначенные для выполнения на ГПУ, а также разработана аналитическая методика оценки времени и характеристик эффективности получаемых вариантов параллельной программы.

Разработан программный модуль — часть системы САПФОР, реализующий предложенную методику. Модуль рассматривает исходную Фортран-программу, ищет в ней циклы, пригодные для отображения на ГПУ, строит модель их выполнения и анализирует арифметическую интенсивность и доступы в память для каждого цикла. Разработанные алгоритмы анализа операций внутри тела циклов позволяют подсчитать различные метрики параллелизма, использования ресурсов ускорителя. В результате для каждого цикла модуль возвращает время его выполнения

на заданном ускорителе, а также ограничения в коде, существенно влияющие на эффективность. Модуль проводит аналитический расчёт по оригинальным формулам, поэтому позволяет быстро перебирать множество конфигураций и вариантов запуска программы на различных моделях ускорителей. Перебор используется для поиска оптимальной конфигурации.

Модуль был протестирован на нескольких, больших и малых входных Фортран-программах. В результате ошибка прогноза по времени не превышала 10–15% в среднем, все полученные характеристики подтверждены реальными запусками параллельных аналогов исходных программ.

Предполагается использование модуля для автоматической и ручной отладки эффективности в системе САПФОР. Построенная модель оценки эффективности опирается на результаты [2], научная новизна работы состоит в том, что это первое исследование по оценке эффективности последовательных программ при их отображении на ГПУ.

Литература

1. *DVM система*. [HTML] (<http://www.keldysh.ru/dvm/>)
2. Sunpyo Hong, Hyesoon Kim *An Analytical Model for a GPU Architecture with Memory-level and Thread-level Parallelism Awareness*. Georgia Institute of Technology, USA, 2009

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАМЯТИ ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММ МЕТОДОМ CEGAR

Мандрыкин Михаил Усамович

E-mail: mandrykin@ispras.ru

Кафедра системного программирования

*Научный руководитель: к.ф.-м.н., проф. Петренко Александр
Константинович*

Под автоматической формальной верификацией программ понимают процесс проверки некоторого формального описания программы на соответствие формально заданной спецификации, при котором проверяющий инструмент либо строго доказывает это соответствие, либо приводит конкретный пример выполнения программы, нарушающий заданную спецификацию. Направления исследований в области автоматической верификации достаточно разнообразны. Для практического применения наибольший интерес представляют методы, достаточно хорошо автоматизируемые и масштабируемые для того, чтобы справляться с огромной сложностью современных программных систем.

Работа посвящена изучению возможностей уменьшения числа ложных сообщений о нарушении спецификации при статической верификации драйверов ОС Linux в рамках проекта LDV [1]. Основное внимание

уделено ложным сообщениям, возникающим в результате использования верификаторами недостаточно точных моделей памяти. По результатам обзора существующих на сегодняшний день методов верификации и соответствующих инструментов в работе был сделан вывод о необходимости увеличения точности анализа в инструментах, основанных на использовании уточнения абстракции по контрпримерам [2]. В качестве направления для повышения точности анализа была выбрана поддержка различных выражений с указателями за счёт уточнения используемой модели памяти. В качестве целевого инструмента был выбран активно развивающийся статический верификатор CRAchecker [3, 4], а именно, его конфигурация, использующая предикатную абстракцию.

В рамках работы предложен подход к модификации наиболее существенной части данного инструмента. Этот подход позволяет реализовать в нем уточненную модель памяти без изменения существующей архитектуры. Использование уточнённой модели памяти необходимо при построении более точных абстракций программ, в ходе которого из них исключаются многие ложные контрпримеры, выдаваемые ранее инструментом при верификации драйверов ОС Linux. Предложенная модель памяти основывается на применении формализма неинтерпретируемых функций для моделирования состояний памяти программы в логических формулах, используемых в верификаторе на этапах построения и уточнения абстракции. Для повышения эффективности анализа с использованием нового подхода в работе были предложены несколько оптимизаций, значительно уменьшающих размеры получаемых логических формул. Для оценки точности и эффективности нового подхода были реализованы два инструмента, которые в совокупности представляют собой прототип основной части верификатора после ее модификации. Полученный прототип позволяет оценить результаты работы предложенного подхода непосредственно на целевых ложных контрпримерах.

Литература

1. Мутилин В. С., Новиков Е. М., Страх А. В., Хорошилов А. В., Швед П. Е. *Архитектура Linux Driver Verification* // Труды Института системного программирования РАН, 2011, т. 20.
2. Clarke E., Grumberg O., Jha S., Lu Y., Veith H. *Counterexample-Guided Abstraction Refinement for Symbolic Model Checking* // Journal of the ACM, 2003.
3. Beyer D., Henzinger T. A., Théoduloz G. *Configurable software verification: Concretizing the convergence of model checking and program analysis* // In Conf. on Computer Aided Verification (CAV), 2007, p. 504–518. Springer.

4. Beyer D., Keremoglu M. E. *CPAchecker: A Tool for Configurable Software Verification* // Computer Aided Verification, 2011, vol. 6806, p.184–190. Springer.

РАЗРАБОТКА КОМПИЛЯТОРНЫХ МЕТОДОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПЛИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТЫХ СТАНДАРТОВ

Меркулов Алексей Павлович

E-mail: steelart@ispras.ru

Кафедра системного программирования

Научный руководитель: к.ф.-м.н., проф. Гайсарян Сергей Суменович

Существует класс полупроводниковых устройств, логика работы которых может определяться пользователем уже после изготовления устройства. К этому классу принадлежат программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Реализация алгоритма с помощью ПЛИС имеет ряд преимуществ. С одной стороны, ПЛИС, как аппаратура, является стандартным элементом и на её разработку не требуется средств. С другой стороны, ПЛИС позволяет гибко и эффективно реализовать только необходимую алгоритму логику. Таким образом, время, затрачиваемое на получение работающего устройства по заданной схеме, намного меньше, чем в случае специализированных интегральных схем, хотя и больше, чем реализация программы для процессора с фиксированной логикой. Тем не менее, реализация задачи аппаратно позволяет достигать большей производительности по сравнению с обычными процессорами [1].

Сложность процесса разработки логики устройства является существенным недостатком ПЛИСов. Логика устройства должна быть описана на языке описания аппаратуры, причём помимо программирования непосредственно алгоритма, необходимо реализовать так или иначе и всю логику общения с окружением (например, взаимодействие с памятью или другими устройствами). Таким образом, актуальной является задача разработки системы автоматизации программирования для ПЛИС, аналогичной системам программирования для графических ускорителей.

Целью данной работы является реализация трансляции исходного кода на алгоритмическом языке программирования в язык описания аппаратуры с целью генерации вычислительных ядер для ПЛИС.

В процессе работы были рассмотрены существующие открытые трансляторы с языка программирования в язык описания аппаратуры, такие как C-to-Verilog [2] и ROCCC [3]. Транслятор C-to-Verilog был выбран в качестве основы для разрабатываемого транслятора, однако в процессе работы транслятор C-to-Verilog пришлось полностью переделать, создав на его основе новый транслятор C-to-HDL.

В трансляторе C-to-HDL были реализованы необходимые для эффективной трансляции оптимизации на уровне описания аппаратуры, такие как эффективное встраивание инструкций (комбинирование цепочки зависимых инструкций в одном выражении) и конвейеризация (в том числе и спекулятивная) циклов. Были реализованы две эвристики встраивания — встраивание инструкций всегда, когда возможно (что может повлечь генерацию длинных выражений в одном неблокирующем присваивании и, как следствие, падение максимальной частоты работы ПЛИС), и встраивание инструкций так, чтобы не уменьшить максимально возможной частоты работы ПЛИС. Применение конкретной эвристики зависит от требований, налагаемых на частоту работы ПЛИС.

В отличие от программной конвейеризации [4], конвейеризация на уровне описания аппаратуры обладает более широкими возможностями, так как отсутствует ограничение на количество одновременно выполняемых инструкций за один такт. Как следствие, на синтетических примерах можно добиться прироста производительности, ограниченного только размерами ПЛИС-устройства.

Результаты тестирования трёх реальных примеров показали, что их производительность увеличивается от двух до четырёх раз по сравнению с трансляцией с помощью неизменённого C-to-Verilog. Основной вклад в прирост производительности вносит конвейеризация циклов.

В результате работы создан транслятор C-to-HDL с подмножества языка Си в язык описания аппаратуры Verilog. Этот транслятор основан на открытом трансляторе C-to-Verilog, однако лишён некоторых его недостатков, таких как использование некорректного байт-код LLVM [5] для представления конструкций языка описания аппаратуры и низкой производительности генерируемого кода. В трансляторе C-to-HDL было реализовано внутреннее представление, соответствующее семантике языка описания аппаратуры, что позволило реализовать оптимизации конвейеризации циклов и встраивания инструкций, которые необходимы для эффективной трансляции. Результаты тестирования продемонстрировали эффективность реализованных оптимизаций.

Литература

1. M. Alle, K. Varadarajan, A. Fell et al. *Runtime reconfigurable polymorphic ASIC*. ACM Trans. Embed. Comput. Syst. — 2009. — Vol. 9, no. 2.
2. Rotem N., Asher Y. B. *C-to-Verilog. Automating circuit design*. [HTML] (<http://c-to-verilog.com>).
3. *Riverside Optimizing Compiler for Configurable Computing*. [HTML] (<http://www.jacquardcomputing.com/roccc>).

4. Lam M. S. *Software pipelining: an effective scheduling technique for uliw machines* // SIGPLAN Not. — 2004. — . — Vol. 39, no. 4. — Pp. 244–256. <http://doi.acm.org/10.1145/989393.989420>.
5. *The LLVM Compiler Infrastructure*. [HTML] (<http://llvm.org>).

ПОСТРОЕНИЕ НАУКОМЕТРИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ, УСТОЙЧИВОГО К СПАМУ

Работа удостоена диплома III степени

Пироженко Александр Александрович

E-mail: alex.pirozhenko@gmail.com

Кафедра системного программирования

Научные руководители: ак. РАН, проф. Иванников Виктор Петрович,

к.ф.-м.н. Турдаков Денис Юрьевич

Задача оценки исследователей естественным образом вытекает из задачи оптимального распределения ограниченных ресурсов между ними. В настоящее время существуют два основных подхода для решения этой задачи — экспертный и численный. При использовании экспертного подхода анализу подвергается вся доступная об исследователе информация. Полученные таким образом оценки хоть и точны, но все же подвержены влиянию человеческого фактора. Численный подход принимает за качество работы исследователя некоторую меру качества его статей. Оценки, полученные с помощью численного подхода, имеют невысокую стоимость, но не могут быть использованы без дальнейшего экспертного анализа. Кроме того, такие оценки подвержены влиянию спама — создания статей и ссылок, преследующее единственную цель — улучшение собственного показателя автора.

В рамках дипломной работы были решены следующие задачи: исследование существующих показателей на предмет устойчивости к спаму, разработка спамоустойчивого показателя и реализация программного средства для вычисления разработанного показателя.

В качестве источника данных о статьях было выбрано открытое хранилище CiteSeerX. Был разработан программный модуль для создания и обновления локальной копии данных. В качестве базового метода оценки качества статей был использован алгоритм ссылочного ранжирования SALSA [1], модифицированный для работы со взвешенными ссылками. Для получения оценок исследователей на основе первичных оценок их статей были разработаны агрегирующие функции, дающие информацию о различных характеристиках списка публикаций автора. Полученные оценки значительно меньше подвержены влиянию спама. Одна из предложенных функций дает оценки, имеющие высокую корреляцию по Спирману с индексом Хирша [2], который является показателем, наиболее широко используемым для оценки исследователей. Это позволяет в некоторых случаях заменять индекс Хирша на новый спамоустойчивый показатель.

Литература

1. R. Lempel, S. Moran *The stochastic approach for link-structure analysis (SALSA) and the TKC effect* Computer Networks. — 2000. — V. 33, No 1. — P. 387–401.
2. J. Hirsch *An index to quantify an individual's scientific research output* Proceedings of the National Academy of Sciences of the United states of America. — 2005. — V. 102, No 46. — P. 16569.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПЛИС КАК АКСЕЛЕРАТОРА

Платонов Владимир Александрович

E-mail: soh@ispras.ru

Кафедра системного программирования

Научный руководитель: к.ф.-м.н., проф. Гайсарян Сергей Суренович

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) - устройства, позволяющие пользователю с помощью некоторого языка описания аппаратуры (HDL) настроить их для решения конкретной задачи. Хотя вычислительная мощность подобных плат и уступает чисто аппаратной реализации, возможность перепрограммирования, скорость разработки и ввода в производство, а также стоимость делают их очень привлекательными. На сегодняшний день наиболее мощными представителями семейства программируемых логических схем являются FPGA (Field Programmable Gate Array). В данной работе рассматривается именно этот класс устройств.

Решение конкретной проблемы может как целиком быть перенесено на такое устройство (или систему из них), так и выполняться на обычном процессоре, с использованием устройства в качестве ускорителя для некоторых частей программы. В любом случае необходимо реализовать взаимодействие между центральным процессором и ускорителем. В данной работе под взаимодействием понимается следующий набор операций:

1. Обмен данными между памятью центрального процессора и памятью ПЛИС
2. Поддержка информации о текущей конфигурации ПЛИС
3. Организация запуска вычислений на ПЛИС
4. Синхронизация ПЛИС и центрального процессора

При этом для работы с графическими ускорителями существуют различные системы программирования (NVIDIA CUDA [1], OpenCL [2]), в которые входят библиотеки времени выполнения, позволяющие запускать

полученные программы на нужном устройстве. Ситуация с подобными системами для ПЛИС обстоит значительно хуже: имеющиеся решения либо закрыты и о них почти ничего не известно, либо представляют скорее исследовательский интерес. Таким образом, актуальной является задача создания полноценной инфраструктуры для взаимодействия с ПЛИС как с ускорителем.

Данные исследования являются продолжением прошлых, изложенных в дипломной работе «Разработка и реализация системы автоматизации программирования для программируемых логических интегральных схем». В данной работе предлагается концепция организации вычислений на ПЛИС, соединённой с центральным процессором через PCI Express шину. Предложена система, реализующая эту концепцию на основе стандарта OpenCL. Вычислительные части оформляются как OpenCL ядра и выполняются на ПЛИС, в то время как основная логика работает на стороне центрального процессора. Система состоит из библиотеки OpenCL, предоставляющей пользователю удобный интерфейс для работы, реализующий вышеупомянутый набор операций для взаимодействия, и скрывающей сложности взаимодействия, драйвера, обеспечивающего сериализацию запросов на запуск ядер и обмен данными и общение с устройством, прошивки ПЛИС, организующей взаимодействие со стороны ускорителя, и тестового набора, состоящего из двух реально применяемых приложений. Первое принадлежит к области вычислительной биологии и производит кластеризацию входных данных, а второе представляет собой дискретное вейвлет-преобразование и восстановление. Приложения были получены как с помощью программирования непосредственно на языках описания аппаратуры, так и с помощью транслятора с языка C в HDL.

В результате тестирования системы была установлена её работоспособность, проведена оценка накладных расходов вносимых системой, эффективность работы подсистемы памяти (полученные результаты для передачи данных близки к максимально возможным), выделены полученные ограничения и недостатки, намечены направления будущей работы. Имеющиеся наработки уже используются в исследовательских работах, проводимых на Физическом факультете МГУ имени Ломоносова по многоядерным системам на ПЛИС.

Литература

1. *CUDA specification*. [HTML] (http://nvidia.com/object/cuda_home_new.html).
2. *OpenCL specification*. [HTML] (<http://khronos.org/opencl/>).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MAPREDUCE И ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СУБД для задач анализа данных

Спихальский Дмитрий Станиславович

E-mail: dmitry@spikhalskiy.com

Кафедра системного программирования

*Научный руководитель: д.т.н., профессор, гл.н.с. ИСП РАН Кузнецов Сергей
Дмитриевич*

Передовые методы управления бизнесом все чаще основываются на принятии решений на основе исторических данных, таким образом, у компаний возрастает интерес к системам, которые способны управлять данными, обрабатывать и анализировать их на разных уровнях детализации. В то же время, лавинообразно возрастает объем данных, который требуется сохранять и обрабатывать в системах аналитических баз данных. Причинами этому являются возрастание уровня автоматизации производства данных, увеличение числа датчиков и других устройств, генерирующих данные, переход на использование Web-технологий при взаимодействиях с заказчиками [1].

Для решения данных проблем, многие компании предлагают свои параллельные СУБД на архитектуре без совместно используемых ресурсов – наборе независимых машин с собственными локальными дисками и основной памятью, соединенных высокоскоростной сетью. Существует гипотеза, что такая архитектура масштабируется наилучшим образом, особенно если принимать во внимание стоимость аппаратных средств. Рабочие нагрузки анализа данных обычно содержат много крупных операций сканирования, многомерной агрегации и соединений со звездообразной схемой, которые сравнительно просто распараллеливаются по узлам сети без совместно используемых ресурсов [2].

С другой стороны, некоторые специалисты утверждают, что для выполнения анализа на сотнях и более узлов лучше всего подходят системы, основанные на парадигме MapReduce, поскольку они разрабатывались изначально в расчете на масштабирование до тысяч узлов в архитектуре без совместно используемых ресурсов [3]. Таким образом, сравнение и анализ применимости существующих подходов к хранению и обработке больших массивов данных является актуальной задачей, стоящей как перед разработчиками хранилищ данных, так и перед компаниями, специализирующимися на анализе данных.

В данной работе рассмотрены архитектуры различных аналитических хранилищ данных семейств параллельных СУБД и MapReduce. Для обеих парадигм оценивается сложность разработки и поддержки реализованных аналитических систем. В работе проведено экспериментальное исследование влияния характеристик и архитектурных особенностей хранилищ на производительность аналитических запросов в ситуациях вертикального и горизонтального масштабирования. Для решения

данной задачи были разработаны наборы аналитических функций и тестовых данных, расширяющие исследование работы «A Comparison of Approaches to Large-Scale Data Analysis» [4], проведены запуски на кластерах систем Hadoop&HDFS, Vertica, Greenplum, а также классической строковой базы данных. В качестве тестовой площадки использовался кластер из 100 рабочих станций, а также полносвязная сеть из 3 высокопроизводительных серверов. Практической значимостью обладают полученное в результате работы обоснованное объяснение различий в быстродействии систем хранения на разных объемах данных, задачах и размерах кластеров, а также описанные различия в областях применимости изученных систем.

Литература

1. Abouzeid A., Bajda-Pawlikowski K., Abadi D., Silberschatz A., Rasin A. *HadoopDB: An Architectural Hybrid of MapReduce and DBMS Technologies for Analytical Workloads*. Proceedings of the 35th VLDB Conference, August 24-28, 2009, Lyon, France.
2. Lammel R. *Google's MapReduce programming model — Revisited*. Science of Computer Programming, 2007, Volume 68, Issue 3, pp. 108-137.
3. Dean J., Ghemawat S. *MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters*. Communications of the ACM – 50th anniversary issue: 1958 – 2008, 2008, Volume 51, Issue 1, pp. 107-113.
4. Pavlo A., Paulson E., Rasin A., Daniel J., Abadi D., D.J. DeWitt, Madden S., Stonebraker M. *A Comparison of Approaches to Large-Scale Data Analysis*. Proceedings of the 35th SIGMOD International Conference on Management of Data, 2009, pp. 165-178.

АНАЛИЗ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ШИФРОВАНИЯ ВИДЕОДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИТЕРАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИЗОМОРФИЗМА МАТРИЦ

Работа удостоена диплома I степени

Жайворонок Юрий Юрьевич

E-mail: yuzh@cs.msu.ru

*Кафедра математической кибернетики, отделение защиты информации
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Егоров Владимир Николаевич*

В работе раскрывается способ шифрования видеоданных, основанный на перестановках строк и столбцов кадра. В криптографической литературе этот способ шифрования известен как шифр двойной перестановки, который при шифровании сохраняет качество изображения и соответствует требованиям быстродействия в системах

реального времени. Дешифрование шифра двойной перестановки равносильно решению задачи проверки изоморфизма графов. Для всех алгоритмов решения задачи проверки изоморфизма графов, эта задача является тем более сложной, чем больше мощность группы автоморфизмов графа, проверяемых на изоморфизм. Видеоизображение можно представить себе как матрицу смежности взвешенного графа, если рассматривать каждый элемент матрицы как значение пикселя. Большинство методов шифрования, за исключением способа перестановки строк и столбцов, основаны на выделении фрагментов изображения и их шифровании. Поэтому при расшифровании (состыковке фрагментов) может возникнуть ухудшение качества расшифрованного изображения.

Алгоритм “расширяющегося подграфа”

Метод расширяющегося подграфа основан на стратегии направленного перебора, осуществляющего поиск решений с учетом заранее оговоренных ограничений, которые позволяют алгоритму во время поиска исключать неверные вектора подстановок без полного перебора. Его особенность заключается в итерационном подходе поиска решений. На вход подаются две квадратные матрицы, элементами которых являются данные любой природы. На выходе получаем множество изоморфизмов (автоморфизмов, если матрицы равны). Недостатком данного алгоритма является то, что он начинает свою работу с фиксированного угла. Если в этой области содержится квадратный блок размером R с одинаковыми значениями, то алгоритм будет перебирать все $R!$ комбинаций. Если $R!$ достаточно большое, это может значительно повлиять на скорость работы алгоритма. Из описания следует, что результатом его работы будет все множество решений. При этом другие алгоритмы (например, статистический подход) могут в результате своей работы строить множество возможных решений, которое по своей мощности значительно превосходит истинное множество решений.

Результаты работы

Приведен пример работы алгоритма расширяющегося подграфа (на картине Леонардо да Винчи - Мона Лиза (Джоконда)). Сгенерирован случайный вектор подстановки, который применен к матрице исходного изображения. В результате получим зашифрованную матрицу изображения, в которой строки и столбцы переставлены произвольным образом.

В работе рассматриваются основные методы шифрования видеоданных, их анализ. В то время как блочные шифры требуют сложной аппаратной реализации, метод двойной перестановки лишен данного недостатка, поэтому он пользуется особой популярностью среди специалистов. Исследование показало, что при всей его простоте,

этот алгоритм нельзя назвать стойким. Метод “расширяющегося подграфа” удачно справляется с восстановлением ключа по открытому и шифрованному кадру.

Литература

1. Lintian Qiao, Klara Nahrstedt. *Comparison of MPEG Encryption Algorithms*. International Journal on Computers and Graphics, Special Issue: Data Security in Image Communication and Network, 1998, vol. 22. 2.
2. Егоров В.Н. *О группах автоморфизмов матриц*. Прикладная дискретная математика, 2010, N3, с. 5- 16 3.
3. Пономаренко И.Н. *Проблема изоморфизма графов: Алгоритмические аспекты*. Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В.А.Стеклова октябрь-декабрь, 2010 4.
4. Файзуллин Р.Т., Ржаницын Г.С. *Построение системы защиты видеоданных с использованием решения задачи проверки изоморфизма графов*. Омский Государственный Университет им. Ф.М. Достоевского. “Компьютерная оптика” выпуск №29, 2006 г. 5.
5. Харари Ф. *Теория графов*. Мир, Москва, 1973.

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Работа удостоена диплома I степени

Казарян Наири Ваникович

E-mail: nairy@kazaryan.me

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Абрамов Владимир Геннадьевич

Анализ существующих средств информационного обеспечения факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова показывает несостоятельность подобных ресурсов для организации учебного процесса и коммуникации между разными группами пользователей (студенты, преподаватели, представители учебной части). Эти проблемы решает специализированная социальная сеть для учебного заведения, актуальность разработки которой следует из проведенного в работе SWOT-анализа.

Социальные сети — естественный результат развития информационных технологий, уже сегодня это часть социальной структуры общества. Под социальной сетью понимается множество агентов, которые могут вступать во взаимодействие друг с другом. С

формальной точки зрения такие сети удобно представлять в виде графов и применять для их анализа математические модели.

В работе разрабатывается модель специализированной социальной сети для вуза. В силу того, что заранее известен круг лиц, участвующих в соцсети, разрабатывается закрытая система, то есть новые участники могут быть приглашены в соцсеть лишь уже существующими.

Для разных групп пользователей имеют приоритетное значение разные фундаментальные функции соцсети:

- двухсторонняя связь посредством системы обмена сообщениями,
- система рассылок,
- участие в группах и дискуссии.

Особый интерес представляют прикладные функции соцсети:

- совместная работа над документами,
- система управления проектами с подсистемой делегирования задач среди участников соцсети и контролем выполнения.

Для того, чтобы иметь возможность упорядочить и саму сеть, и принципы, и правила работы и общения в соцсети, постепенно каждый участник формирует свой круг электронных друзей и причастность к группам.

Выделены три периода развития соцсети: количественный рост, качественный рост, нормальный рост.

Цель первого периода — первичная регистрация пользователей и создание преподавателями групп поддержки своих учебных курсов, а учебной частью — групп объединений учащихся. Таким образом, ключевую роль в нем играют привлеченные к проекту преподаватели и представители учебной части. Образовавшаяся сетевая структура характеризуется высокой связностью и высоким доминированием.

Цель второго периода — обеспечение повышения плотности сети. Как следствие, модель будет иметь сетевую структуру с высокой связностью и низким доминированием. Фактически, это будет означать увеличение числа связей типа студент-студент и преподаватель-преподаватель, что объясняется эффектом «всплеск молвы» [1].

Совокупно, за первый и второй период наступит насыщение сети. Дальнейшее изменение качественного и количественного состава соцсети определяется третьим периодом, цель которого – ежегодное пополнение базы участников новыми студентами-первокурсниками и изменение роли выпускников.

В конечном счете, модель соцсети определяет высокоэластичную сеть, структура которой имеет высокую связность и низкую доминантность. Фактически это означает, что сложившаяся социальная сеть имеет высокую устойчивость к массовому отказу от соцсети определенной группы пользователей. В силу закрытости соцсети, предопределенности участников и ежегодного обновления их состава не возникнет типичных

проблем развития социальных сетей — «лощины сомневающихся» и «неизбежного умирания проекта» [1].

Разработанный на основе модели сайт размещен по адресу www.community.profkotvmtk.ru, первая волна регистраций рассчитана на август-сентябрь 2012 года.

Литература

1. Сообщества.РУ. *Социальные сети и формирование групп.*

<http://www.soobshestva.ru/news/?p=243>

РАСШИРЕНИЕ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА СИСТЕМНОГО УРОВНЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Работа удостоена диплома II степени

Сасов Дмитрий Александрович

E-mail: dsasov@gmail.com

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

Научный руководитель: к.ф.-м.н., н.с. Жуматий Сергей Анатольевич

Разработан альтернативный источник данных для системы мониторинга высокопроизводительных кластеров LAPTA. За основу взят бесплатный пакет **Ganglia**. Для него разработаны модули поддержки сбора данных о сети **infiniband** (передано-получено байт, пакетов) и модуль сбора значений аппаратных счетчиков производительности процессора.

Модуль сбора данных о сети **infiniband** помимо выполнения основной функции исправляет проблему драйверов, сбрасывая счетчики при приближении их к переполнению. Это решение внедрено на суперкомпьютерах «Скиф-МГУ Чебышев» и «Ломоносов».

В процессе разработки второго модуля (для сбора значений аппаратных счетчиков производительности процессора) была произведена аналитическая работа и обзор доступных средств и решений в разрезе применимости и переносимости, выбран оптимальный путь реализации. Написана вспомогательная программа для работы со счетчиками на процессоре, которая может быть использована отдельно от остального решения. Разработанный модуль собирает счетчики по всем процессорам в системе для следующих событий: счетчик активных циклов, счетчик выполненных инструкций, счетчик ошибок чтения из КЭШа, счетчик ошибок предсказания ветвления. Настройки модуля задаются через конфигурационный файл **Ganglia**, что упрощает работу и внедрение. Данное решение внедрено и работает на суперкомпьютере «Ломоносов». На нем были получены данные, которые могут быть использованы для оптимизации выполняемых на суперкомпьютере задач.

В составе системы мониторинга LAPTA разработанные модули вносят вклад в анализ приложений, исполняющихся на суперкомпьютерах.

Мониторинг сети **infiniband** позволяет оптимизировать приложения, активно передающие информацию между узлами и обнаруживать узкие места. Анализ аппаратных счетчиков производительности позволяет наблюдать за прохождением задачи и отмечать явные проблемы производительности в определенных приложениях.

Литература

1. Ingo Molnar. *Performance Counters for Linux*, v8. 2009.
2. Philip J. Mucci *Performance Analysis Tools and PAPI*. Center for Parallel Computers, Stockholm, Sweden, 2010

МОДЕЛЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРЕДМЕТНОГО ПОИСКА

Работа удостоена диплома I степени

Крюков Сергей Александрович

E-mail: kryukovS310@gmail.com

Кафедра алгоритмических языков

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Абрамов Владимир Геннадьевич

В магистерской диссертации исследованы алгоритмы построения скоринговых моделей в специализированной проблемной области, отличной от банковской сферы.

В работе проанализированы особенности данных фармакологической области с целью разработки моделей, применимых для автоматизированного сравнительного анализа объектов данной предметной области. Для основной сущности моделей выделены базовые характеристики: основные и дополнительные действующие вещества лекарственного препарата, цена. Второстепенные характеристики: форма выпуска, дозировка, производитель, противопоказания и пр.

На основе данных, получаемых из онлайн-источников, таких как медицинские энциклопедии и интернет-аптеки, лингвистического анализатора, оценивающего эмоциональный образ лекарственного препарата по отзывам и комментариям пользователей данных источников строится скор-балл для каждого лекарственного препарата, позволяющий сравнивать препараты в рамках одной модели и заданного кластера. Препараты разбиваются по кластерам в зависимости от области применения и основных действующих веществ. Каждой характеристике ставится в соответствие некоторый вес, который влияет на конечный результат. Для разных моделей веса различных характеристик могут значительно варьироваться. Для вычисления весов использовался модифицированный метод логистической регрессии [1-2], ввиду недетерминированности данной области, вместо вероятности дефолта были использованы величины, полученные при вычислении результатов

первой гипотезы, использующей основные действующие вещества и цену лекарственного препарата.

Разработан конструктор моделей, позволяющий пользователю персонализировать модель: увеличивать вес конкретных характеристик и вносить дополнительные ограничения.

Реализована программная система, осуществляющая сбор и обработку данных, построение скор-баллов, пользовательский интерфейс. Пользователь, осуществляя поиск некоторого лекарственного препарата, автоматически получает его более качественный, подходящий или дешёвый аналог.

Литература

1. Носко В. П. *Эконометрика для начинающих, Основные понятия, элементарные методы, границы применимости, интерпретация результатов*. Москва, 2000.
2. Носко В. П. *Эконометрика для начинающих, Дополнительные главы*. Москва, 2005.
3. Anderson R. *The Credit Scoring Toolkit: Theory and Practice for Retail Credit Risk Management and Decision Automation*, 2007.

МЕТОД ПОИСКА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КРИВЫХ НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Работа удостоена диплома II степени

Левашов Алексей Евгеньевич

E-mail: alexeylevashov89@gmail.com

Кафедра математической физики

Научный руководитель: к.ф.-м.н., с.н.с. Юрин Дмитрий Владимирович

Одна из важнейших задач обработки изображений и компьютерного зрения – это поиск объектов интереса на изображении. Зачастую это искусственные объекты, контуры которых представляют собой геометрические примитивы, таких как линии, окружности, эллипсы и т.п.

Предлагается алгоритм быстрого и достоверного поиска параметрических кривых различных типов на изображениях. В предлагаемом подходе, также как и во многих подходах на основе преобразования Хафа [3, 8] и разнообразных рандомизированных методах [2, 5], анализируется множество точек, получаемое после нахождения контурных линий на изображении [6]. Граничные точки собираются в списки связанных пикселей и далее анализируются целиком и по-фрагментно. Анализ ведется сначала с помощью рандомизированных методов, чтобы отбросить заведомо неподходящие модели. За счет этого обеспечивается высокая скорость алгоритма. Для оставшихся фрагментов кривых производится точная оценка параметров модели методом

наименьших квадратов, и достоверность гипотезы вычисляется на основе критерия χ^2 [7]. Если критерий показывает низкую достоверность - фрагмент делится пополам и процедура повторяется для двух половинок. Затем производится объединение полученных достоверных моделей со схожими параметрами, если для объединения фрагментов χ^2 показывает высокую достоверность модели. В предложенном подходе все модели представлялись в виде аддитивных величин, это позволяло для объединенных фрагментов вычислять параметры модели за небольшое и фиксированное число операций, что также обеспечивало высокую скорость алгоритма.

В результате был разработан обобщенный подход к детектированию параметрических кривых [4]. Были сделанные численные эксперименты и сравнение с современным аналогом [2]. Предложенный алгоритм показывает схожее время, но может находить несколько типов кривых одновременно, не имеет ограничений на длину граничных линий, способен обрабатывать сложные изображения с большим количеством контуров, задействует мало оперативной памяти, показывает высокую устойчивость с сильно зашумленными изображениями, а также имеет низкую вероятность пропустить линию. Другие типы параметрических кривых могут быть легко добавлены для детектирования, без изменения алгоритма. Данный подход был также применен к задаче исправления геометрических искажений в тексте [1]. Алгоритмы были реализованы на языке C++.

Литература

1. Левашов А. Е. *Улучшение фотографий текста: исправление геометрических искажений*. // Труды 13-й международной конференции "Цифровая обработка сигналов и её применение" (DSPA'2011), т. 2. 2012, с. 496–498.
2. Chen T.C., Chung K.L. *An Efficient Randomized Algorithm or Detecting Circles*. // CVIU, V.83, с. 172–191, 2001.
3. Duda R., Hart P. *Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures*. // Comm. ACM 15: с. 1–15, 1972.
4. Levashov A., Yurin D. *Accurate and reliable framework for fast parametric curves detection*. М.: Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications (издательство МАИК Наука/Interperiodica Publishing), 2012 (в печати).
5. McLaughlin R.A. *Randomized Hough Transform: better ellipse detection*. М.: IEEE TENCON - Digital Signal Processing Applications, V. 1, 1996, с. 409–414.

6. Pratt W.K. *Digital Image Processing: PIKS Scientific inside (4th ed.)*. M.: Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc., Los Altos, California, 2007, 782 стр.
7. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Second Edition* M.: New York: Cambridge University Press, 1992, 1018 стр.
8. Xu L., Oja E. *Randomized Hough Transform*. M.: in Encyc. of Artif. Intell., Ed.By: J.Ramon, R.Dopico; J.Dorado; A.Pazos, IGI Global publishing comp., 2008, стр. 1354–1361.

ТЕОРЕМА О НЕЯВНОЙ ФУНКЦИИ И ЛОКАЛЬНАЯ РАЗРЕШИМОСТЬ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

Работа удостоена диплома II степени

Мингалева Зухра Тагировна

E-mail: Zuxra2@yandex.ru

кафедра системного анализа

Научный руководитель: д.ф.-м.н., проф. Арутюнов Арам Владимирович

Пусть заданы банаховы пространства X , Y , топологическое пространство Σ , выпуклое замкнутое множество $U \subset X$, отображение $F : X \times \Sigma \rightarrow Y$ и точки $x_* \in U$, $\sigma_* \in \Sigma$, для которых $F(x_*, \sigma_*) = 0$. Рассмотрим уравнение

$$F(x, \sigma) = 0, \quad x \in U, \quad (1)$$

в котором x – неизвестное, а σ – параметр.

Для существования неявной функции $x(\sigma)$ в уравнении (1) достаточно, чтобы в точке x_* выполнялось условие регулярности Робинсона (см. [1]). Вопрос о существовании неявной функции в задаче (1) в случае, когда условие Робинсона не выполняется, изучены А.В. Арутюновым и С.Е. Жуковским в работах [1, 2] в предположении, что U является замкнутым выпуклым конусом. В магистерской диссертации приведено обобщение этих результатов на случай, когда U – замкнутое выпуклое множество.

Пусть $G : X \rightarrow Y$ – заданное дважды дифференцируемое в точке x_* отображение, $G(x_*) = 0$. Положим $\mathcal{U} = \text{cone}(U - \{x_*\})$.

Определение 1. Пусть существует

$$h \in \mathcal{U} : \quad h \in \ker \frac{\partial G}{\partial x}(x_*), \quad -\frac{\partial^2 G}{\partial x^2}(x_*)[h, h] \in \frac{\partial G}{\partial x}(x_*)\mathcal{U}.$$

Отображение G назовем 2-регулярным в точке x_* относительно множества U по направлению h , если имеет место

$$\frac{\partial G}{\partial x}(x_*)\mathcal{U} + \frac{\partial^2 G}{\partial x^2}(x_*)[h, \mathcal{U} \cap \ker \frac{\partial G}{\partial x}(x_*)] = Y.$$

Следующая теорема дает достаточные условия существования неявной функции в задаче (1). Предположим, что F дважды непрерывно дифференцируемо по x равномерно по σ в некоторой окрестности точки (x_*, σ_*) . При каждом σ , достаточно близком к σ_* , отображение $\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}(\cdot, \sigma)$ удовлетворяет условию Липшица с константой, не зависящей от σ . Отображения $F(x_*, \cdot)$, $\frac{\partial F}{\partial x}(x_*, \cdot)$, $\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}(x_*, \cdot)$ непрерывны в окрестности точки σ_* . Обозначим

$$V = \frac{\partial F}{\partial x}(x_*, \sigma_*)\mathcal{U}.$$

Предположим, что линейная оболочка $\text{span } V$ конуса V замкнута, и это подпространство топологически дополняемо.

Теорема 1. Пусть относительная внутренность $\text{ri}V$ непуста, и отображение $F(\cdot, \sigma_*)$ 2-регулярно в точке x_* относительно U по некоторому направлению $h \in X$. Тогда для произвольного вектора $l \in \text{ri}V$ существуют такие окрестность O точки σ_* , числа $c \geq 0$, $\delta > 0$ и непрерывное отображение $x(\cdot) : O \rightarrow U$, что $F(x(\sigma), \sigma) \equiv 0$.

В качестве приложения полученного результата в работе исследуется вопрос о локальной разрешимости управляемых систем.

Рассмотрим управляемую систему

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(t, x, u), \\ x(t_0) = x_0, \\ g(t, x, u) = 0 \quad \forall t \\ u(t) \in U \quad \forall t. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $t \in \mathbb{R}$ – время; t_0 – заданный начальный момент времени; x_0 – заданная начальная точка; $x \in \mathbb{R}^n$ – фазовая переменная; $u \in \mathbb{R}^m$ – управляющий параметр; $f : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^n$ и $g : \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^k$ – заданные функции; $U \subset \mathbb{R}^m$ – заданное замкнутое выпуклое множество. В качестве допустимых управлений рассматриваются всевозможные функции $u(\cdot) \in C([t_0, t_0 + \tau], U)$, $\tau > 0$. Здесь $C([t_0, t_0 + \tau], U)$ – пространство непрерывных функций, действующих из $[t_0, t_0 + \tau]$ в U .

Определение 1. Будем говорить, что система (2) локально разрешима в точке (t_0, x_0) , если существуют число $\tau > 0$ и допустимое управление $u(\cdot) \in C([t_0, t_0 + \tau], U)$ такие, что задача Коши

$$\dot{x} = f(t, x, u(t)), \quad x(t_0) = x_0$$

на отрезке $[t_0, t_0 + \tau]$ имеет решение $x(\cdot)$, для которого

$$g(t, x(t), u(t)) = 0 \quad \forall t \in [t_0, t_0 + \tau].$$

При некоторых ограничениях на свойства отображений f и g в работе формулируется и доказывается следующая теорема о локальной разрешимости системы (2), обобщающая аналогичный результат из [2].

Теорема 2. Пусть существует такой вектор $h \in \mathbb{R}^m$, что функция $g(t_0, x_0, \cdot)$ 2-регулярна по переменной u в точке u_0 относительно U по направлению h . Тогда система (2) локально разрешима в точке (t_0, x_0) .

Литература

1. Арутюнов А. В. К теоремам о неявной функции в аномальных точках // Тр. ИММ УрО РАН. 2010. 16. № 1. С.30–39.
2. Арутюнов А. В., Жуковский С. Е. Локальная разрешимость управляемых систем со смешанными ограничениями // Дифф. уравнения. 2010. 46. № 11. С.1561–1570.

НЕКОТОРЫЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНЫХ АФФИННОСТЕЙ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Работа удостоена диплома II степени

Огнев Александр Игоревич

E-mail: alexogn2012@gmail.com

Кафедра математической кибернетики

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Буяков Михаил Леонидович

Один из возможных методов линеаризации систем булевых уравнений связан с частичным опробованием некоторого подмножества переменных и сведением исходной системы к линейному следствию. В работе [1] был рассмотрен параметр, называемый уровнем (обобщенным уровнем) аффинности и характеризующий эффективность такой линеаризации. Систематическое исследование этого параметра было проведено в работе [3].

В работе [2] показано, что асимптотически при $n \rightarrow \infty$ для почти всех булевых функций от n переменных значения уровня (обобщенного уровня) аффинности принадлежат сегменту $[n - \log_2 n, n - \log_2 n + 1]$.

Ранее был получен обобщенный уровень аффинности для каждого из 150 357 классов аффинной эквивалентности булевых функций от 6 переменных. Значение обобщенного уровня аффинности является инвариантом относительно действия полной аффинной группы. При этом значение этого параметра для каждого класса аффинной эквивалентности булевых функций от 6 переменных не превосходит 3. Таким образом можно утверждать, что для всех функций от 6 переменных значение обобщенного уровня аффинности не превосходит $n/2$. Несмотря на то, что асимптотическая оценка значения обобщенного уровня аффинности строго больше $n/2$, неизвестно конкретных булевых функций, обладающих этим свойством. Поэтому определенный интерес представляет нахождение булевых функций со значением уровня

аффинности строго больше $n/2$. Исходя из асимптотической оценки можно предположить, что функции со значением обобщенного уровня аффинности строго больше $n/2$ могут быть получены при $n = 8$.

Цель данной работы заключается в оценке значения обобщенного уровня аффинности булевых функций от 8 переменных для случайной выборки булевых функций из множества всех булевых функций, а также нахождение обобщенного уровня аффинности для классов эквивалентности однородных кубических форм от 8 переменных, приведенных в работе [5]

Данная работа содержит оригинальный алгоритм вычисления обобщенного уровня аффинности булевых функций от n переменных. Также в ходе исследований был разработан программный модуль с реализацией этого алгоритма.

Полученные результаты показывают, что случайно выбранные булевы функции имеют обобщенный уровень аффинности не превосходящий 4. Также обобщенный уровень аффинности для каждого класса из классов эквивалентности однородных кубических форм булевых функций от 8 переменных не превосходит 3. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что асимптотическая оценка уровня аффинности начинает выполняться только при большем количестве переменных у функции.

Литература

1. Логачев О., Сальников А., Яценко В. *Корреляционная иммунность и реальная секретность*. Математика и безопасность информационных технологий. М.: МЦНМО, 2004.
2. Логачев О. А. *О значениях уровня аффинности для почти всех булевых функций*. Теоретические основы прикладной дискретной математики №3(9), 2010.
3. Буряков М. Л. *Алгебраические, комбинаторные и криптографические свойства параметров аффинных ограничений булевых функций*. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2008.
4. Логачев О., Сальников А., Смышляев С., Яценко В. *Булевы функции в теории кодирования и криптологии*. 2 – е изд., дополн. М.: МЦНМО, 2012.
5. Черемушкин А. В. *Методы аффинной и линейной классификации двоичных функций*. Тр. по дискр. матем., 4, Физматлит, М., 2001.

Темы дипломных работ, защищенных выпускниками 2012 года (отделение специалистов)

Абрамова А.А. — группа 513

Регуляризованный вариант модифицированного экстраградиентного метода решения задач равновесного программирования

Научный руководитель: Васильев Федор Павлович

Авдюнин М.А. — группа 519

Исследование практической применимости атаки встречи посередине с отражением

Научный руководитель: Применко Эдуард Андреевич

Аверьянова Т.С. — группа 513

Исследование нелинейных математических моделей в экономике

Научный руководитель: Орлов Михаил Владимирович

Агалаков А.Ю. — группа 511

Построение оптимальной системы вознаграждения для нескольких сотрудников

Научный руководитель: Белянкин Г.А.

Акулинина М.В. — группа 516

Модели коинтеграции и их применение к российской экономике

Научный руководитель: Ульянов Владимир Васильевич

Александров И.В. — группа 504

Моделирование диффузионных процессов на суперкомпьютере

Научный руководитель: Богомолов Сергей Владимирович

Алексеев Д.В. — группа 507

Применение изогометрического метода для численного решения эллиптических уравнений

Научный руководитель: Иновенков Игорь Николаевич

Алешина М.В. — группа 517

Выявление устойчивых закономерностей в статических характеристиках распределенных транспортных потоков

Научный руководитель: Чехович Юрий Викторович

Андреев Г.С. — группа 505

Решение двумерных уравнений газовой динамики методом CABARET на расчётных сетках древовидной структуры

Научный руководитель: Головизнин Василий Михайлович

Аноховский С.В. — группа 527

Разработка анализа интервалов для использования в статическом анализе

Научный руководитель: Гайсарян Сергей Суренович

Антипов Г.М. — группа 517

Метод построения огибающей циркулярного графа

Научный руководитель: Местецкий Леонид Моисеевич

Антифеева Ю.Д. — группа 507

Компьютерное моделирование линейных и нелинейных дискретных систем с точки зрения математической физики

Научный руководитель: Иновенков Игорь Николаевич

Антонов И.С. — группа 516

Анализ систем массового обслуживания с несколькими приборами

Научный руководитель: Матвеев Виктор Федорович

Аржаков И.В. — группа 506

Решение задачи Трикоми с косою производной для уравнения Лаврентьева-Бицадзе в

виде биортогонального ряда

Научный руководитель: Полосин Алексей Андреевич

Афанасьев В.В. — группа 521

Визуализация сцен с преломляющими объектами модифицированным методом трассировки пучков

Научный руководитель: Игнатенко Алексей Викторович

Афанасьев В.Д. — группа 501

Метод подавления эффекта Гиббса на JPEG изображениях

Научный руководитель: Крылов Андрей Серджевич

Афанасьева А.Е. — группа 521

Моделирование и визуализация тонкопленочных покрытий

Научный руководитель: Игнатенко Алексей Викторович

Бакулин М.Г. — группа 527

Распознавание запутывания потока управления в трассах защищенного бинарного кода

Научный руководитель: Падарян Вартан Андроникович

Бакшеев А.И. — группа 520

Создание системы автоматической настройки производительности параллельных программ на суперкомпьютерных комплексах

Научный руководитель: Попова Нина Николаевна

Балашов К.А. — группа 507

Суперкомпьютерное моделирование молекулярных структур методами Монте-Карло

Научный руководитель: Попов Александр Михайлович

Баранов М.И. — группа 524

Алгоритмы локального поиска

Научный руководитель: Пильщиков Владимир Николаевич

Бартунов С.О. — группа 528

Методы идентификации пользователей в онлайн-социальных сетях

Научный руководитель: Турдаков Д.Ю.

Баскакова А.В. — группа 516

Оценка страховых резервов по цензурированным данным компании

Научный руководитель: Пономаренко Любовь Степановна

Батурина В.В. — группа 517

Методы штриховой сегментации рукописного текста

Научный руководитель: Местецкий Леонид Моисеевич

Башлыков Н.А. — группа 516

Модель неоднородного телетрафика

Научный руководитель: Хохлов Юрий Степанович

Беликов В.Ю. — группа 522

Анализ фрактальной структуры временных рядов

Научный руководитель: Савенков Константин Олегович

Белов С.Д. — группа 504

Метод частиц для трехмерного квазилинейного уравнения переноса

Научный руководитель: Богомолов Сергей Владимирович

Беляев О.Г. — группа 519

Построение почти коллизий для одного из кандидатов на новый американский стандарт функции хэширования

Научный руководитель: Карпунин Григорий Анатольевич

Бикинцев А.О. — группа 520

Разработка и исследование алгоритмов матричного умножения с учетом архитектурных особенностей суперкомпьютерных систем

Научный руководитель: Попова Нина Николаевна

Блинов Н.Г. — группа 511

Теоретико-игровой анализ правил ранжирования рекламодателей в поисковых системах

Научный руководитель: Новикова Наталья Михайловна

Блисков Д.А. — группа 516

Разработка математических и программных инструментов для анализа и прогнозирования риска экстремальных событий

Научный руководитель: Королев Виктор Юрьевич

Богомолова Е.М. — группа 518

Исследования сложности и структуры минимальных BDD для некоторых булевых функций

Научный руководитель: Ложкин Сергей Андреевич

Боловинцева О.Ю. — группа 525

Определение семантических дубликатов новостных кластеров

Научный руководитель: Лукашевич Н.В.

Бондаренко Н.Н. — группа 517

Нетрадиционные логические методы распознавания

Научный руководитель: Журавлев Юрий Иванович

Борзилов А.И. — группа 527

Методы поиска и классификации бинарного кода, препятствующего анализу программ

Научный руководитель: Падарян Вардан Андроникович

Буздалов Д.В. — группа 528

Моделирование программно-аппаратных систем на основе AADL-спецификаций

Научный руководитель: Петренко Александр Константинович

Булатов И.С. — группа 515

Принцип максимума Л.С. Понтрягина для линейно-выпуклой задачи оптимального управления с фазовыми ограничениями типа равенства

Научный руководитель: Арутюнов Арам Владимирович

Бурдыгин М.В. — группа 505

Разностные схемы для уравнения теплопроводности с нелокальными граничными условиями

Научный руководитель: Гулин Алексей Владимирович

Буренко И.М. — группа 503

Моделирование и визуализация пространственно-временной динамики вирусной инфекции и иммунных реакций

Научный руководитель: Бочаров Геннадий Алексеевич

Бурцев М.А. — группа 525

Интерпретатор языка "Диалоговая система структурированного программирования" для трюичной виртуальной машины

Научный руководитель: Головин Игорь Геннадьевич

Быковникова М.А. — группа 516

Виртуальное время ожидания в одноканальной системе с нетерпеливыми заявками

Научный руководитель: Ушаков Владимир Георгиевич

Бышевский-Конопко М.А. — группа 524

Автоматическая классификация интернет-пользователей на базе их сетевой

активности

Научный руководитель: Баева Н.В.

Валов Д.А. — группа 517

Метрические алгоритмы для задач классификации с пропусками в данных

Научный руководитель: Рязанов Владимир Васильевич

Вартанов С.П. — группа 527

Динамический анализ Java-приложений при помощи инструментирования байт-кода и отслеживания помеченных данных

Научный руководитель: Гайсарян Сергей Суренович

Вдовин П.М. — группа 522

Методы и средства оценки наихудшего времени выполнения распределенной программы

Научный руководитель: Костенко Валерий Алексеевич

Ведерникова А.А. — группа 516

Использование вейвлет преобразования для анализа электрокардиограмм (удаление шумов/артефактов, поиск Р,Т волн и QRS комплекса)

Научный руководитель: Архангельский Алексей Николаевич

Веселов В.А. — группа 512

Модели пенсионного страхования

Научный руководитель: Денисов Дмитрий Витальевич

Веселый А.С. — группа 520

Реализация компонент сервера многотемной классификации почты

Научный руководитель: Герасимов Сергей Валерьевич

Власенко А.В. — группа 525

Мониторинг бизнес-процессов в виртуальных средах

Научный руководитель: Леонтьев Владимир Константинович

Волков Г.О. — группа 502

Исследование структурообразования в одной модели Фурье-фильтрации

Научный руководитель: Разгулин Александр Витальевич

Воробьев С.М. — группа 527

Исследование и разработка методов измерения семантической близости терминов на основе шаблонов Википедии

Научный руководитель: Турдаков Д.Ю.

Вылегжанин Н.А. — группа 519

Об одном свойстве схем электронной цифровой подписи в контексте их использования в схемах выработки общего ключа

Научный руководитель: Матюхин Д.В.

Галанин В.Е. — группа 501

Контурный алгоритм обнаружения особенностей на изображениях магнитно-резонансного томографа

Научный руководитель: Крылов Андрей Серджевич

Галимов С.И. — группа 509

Исследование пределов масштабируемости типовых алгоритмических структур на суперкомпьютерах различных архитектур

Научный руководитель: Воеводин Владимир Валентинович

Глухов С.А. — группа 524

Обучающая программа по словоизменению в русском языке

Научный руководитель: Грацианова Татьяна Юрьевна

Головин А.И. — группа 517

Метод поиска информативных признаков для определения типа кристаллической

структуры химических соединений состава АВ₂X₂
Научный руководитель: Ветров Дмитрий Петрович

Гончаров А.О. — группа 521
Выделение логотипов в видео
Научный руководитель: Конушин Антон Сергеевич

Гончаров А.С. — группа 515
Синтез оптимального управления в математической модели химиотерапии острой миелоидной лейкемии
Научный руководитель: Братусь Александр Сергеевич

Горбатов Р.С. — группа 501
Вычислительный метод обнаружения коррозии металла на изображении с помощью текстурных признаков
Научный руководитель: Мизотин Максим Михайлович

Грабарь В.А. — группа 511
Модели оптимизации портфеля кредитных деривативов
Научный руководитель: Денисов Дмитрий Витальевич

Гребёнкина М.В. — группа 522
Алгоритм построения статико-динамических расписаний на основе схемы муравьиных колоний
Научный руководитель: Балаханов Вадим Андреевич

Григорьева В.Н. — группа 502
Параллельный алгоритм трассировки лучей для моделирования энергосъема с солнечных батарей
Научный руководитель: Березин Сергей Борисович

Грядицкая Ю.Б. — группа 511
Усеченный метод последовательного квадратичного программирования для вырожденных задач оптимизации
Научный руководитель: Измаилов Алексей Феридович

Гунтвин Ф.А. — группа 515
Исследование нелинейной динамики популяции модели типа Гаузе
Научный руководитель: Братусь Александр Сергеевич

Гурова К.В. — группа 516
Реконструкция томографического изображения, полученного веерной схемой сканирования, с использованием вейвлет-анализа
Научный руководитель: Шестаков Олег Владимирович

Гусаров Н.В. — группа 527
Средства описания предметных областей и задач планирования на унифицированном языке моделирования
Научный руководитель: Малышко Виктор Васильевич

Денисенко М.С. — группа 519
Применение методов проверки эквивалентности программ для анализа криптографических протоколов
Научный руководитель: Захаров Владимир Анатольевич

Дерюгин Д.С. — группа 501
Решение задач рассеяния в трещиноватой среде
Научный руководитель: Баев Андрей Владимирович

Дерюгин П.К. — группа 516
Исследование марковских систем массового обслуживания с нетерпеливыми заявками высокого приоритета
Научный руководитель: Ушаков Владимир Георгиевич

Джигайло П.И. — группа 525

Система анализа поведения пользователей в сети Интернет

Научный руководитель: Абрамов Владимир Геннадьевич

Джумаев С.С. — группа 525

Разработка и реализация системы анализа текста для извлечения и исследования мнений

Научный руководитель: Абрамов Владимир Геннадьевич

Дигаилова А.М. — группа 513

Оптимизация процессов разработки полезных ископаемых

Научный руководитель: Григоренко Николай Леонтьевич

Долгорукова К.Ю. — группа 527

Исследование и разработка метода динамического профилирования для системы динамической оптимизации

Научный руководитель: Гайсарян Сергей Суренович

Долина М.А. — группа 507

Математическое моделирование фолдинга белка с помощью генетических алгоритмов

Научный руководитель: Попов Александр Михайлович

Дрожжин А.В. — группа 501

Численный метод решения задачи определения источника в гиперболическом уравнении

Научный руководитель: Денисов Александр Михайлович

Дроздова О.С. — группа 515

Исследование одной модели экономики с информационными товарами

Научный руководитель: Шананин Александр Алексеевич

Дубровицкий А.А. — группа 504

Стохастический метод частиц для уравнения Колмогорова-Фоккера-Планка

Научный руководитель: Богомолов Сергей Владимирович

Дударенко М.А. — группа 517

Методы предсказания информативности логических закономерностей

Научный руководитель: Воронцов Константин Вячеславович

Егоров А.В. — группа 518

О свойствах предполных классов в k -значной логике

Научный руководитель: Нагорный Александр Степанович

Ежов Е.А. — группа 505

Метод частиц для расчета движения вязкой жидкости по неплоской поверхности

Научный руководитель: Богомолов Сергей Владимирович

Еремина О.А. — группа 521

Оценка качества обработки прозрачных минералов с помощью анализа фотоизображений

Научный руководитель: Игнатенко Алексей Викторович

Ермаков И.Ю. — группа 516

Методы стохастического оптимального управления в финансовом арбитраже

Научный руководитель: Назаров Леонид Владимирович

Ермаков М.К. — группа 527

Создание прототипа средства автоматизации тестирования графических Java-приложений

Научный руководитель: Гайсарян Сергей Суренович

Ермаков С.А. — группа 505

Разработка программного обеспечения социального прогнозирования на базе

топологических цепей Маркова

Научный руководитель: Шведовский В.А.

Ермишин Ф.Д. — группа 521

Классификация объектов на основе трехмерных облаков точек и изображений

Научный руководитель: Конушин Антон Сергеевич

Жаров С.В. — группа 525

Методы и программные средства определения тональности текстовых сообщений

Научный руководитель: Ефремова Наталья Эрнестовна

Желтков Д.А. — группа 503

Улучшение стабильности тензорно-крестовой аппроксимации

Научный руководитель: Ставцев С.Л.

Жукова А.Ю. — группа 512

Свойства резервов в страховании жизни

Научный руководитель: Денисов Дмитрий Витальевич

Завгородний Н.С. — группа 512

Модель функционирования взлетно-посадочной полосы для оценки эффективности системы вихревого прогноза

Научный руководитель: Морозов Владимир Викторович

Зайцев Д.А. — группа 522

Исследование методов классификации трасс выполнения программного обеспечения с целью обнаружения признаков вредоносного поведения

Научный руководитель: Качалин Алексей Игоревич

Захарова А.С. — группа 507

Математические модели развития региональной макроэкономики с учетом миграционных и демографических процессов на рынке труда

Научный руководитель: Нефедов Владимир Вадимович

Захарова Е.А. — группа 516

Свойства статистических критериев на цепях Маркова

Научный руководитель: Грушо Александр Александрович

Захарова К.М. — группа 513

Численное решение задачи оптимизации выработки открытой шахты с помощью методов динамического программирования

Научный руководитель: Камзолкин Дмитрий Владимирович

Зигангирова Н.Д. — группа 516

Оценивание параметров распределения Стиюдента и Лапласа

Научный руководитель: Бенинг Владимир Евгеньевич

Зимоздра Р.Е. — группа 502

Численный анализ электродинамических характеристик тороидальной диэлектрической антенны

Научный руководитель: Захаров Евгений Владимирович

Зипа К.С. — группа 521

Моделирование восприятия разночастотных сигналов стерео-зрением человека

Научный руководитель: Игнатенко Алексей Викторович

Зотов И.А. — группа 522

Анализ циклов компилированной оценки времени наихудшего исполнения

Научный руководитель: Гамаюнов Денис Юрьевич

Зуев А.С. — группа 507

Разработка адаптивной системы распознавания рукопечатного текста

Научный руководитель: Лукьяница Андрей Александрович

Иванкова А.А. — группа 524

Объектно-ориентированная модель Рефал-вычислителя для многостилевого окружения

Научный руководитель: Столяров Андрей Викторович

Иванников С.О. — группа 507

Разработка кода молекулярной динамики для изучения фазовых переходов

Научный руководитель: Попов Александр Михайлович

Иванов А.С. — группа 510

Моделирование квантового вентиля контролируемого отрицания (Controlled NOT)

Научный руководитель: Ожигов Юрий Игоревич

Иванов С.С. — группа 504

Сравнение вычислительных методов решения задач динамики взаимодействующих материальных точек

Научный руководитель: Еленин Георгий Георгиевич

Исмаилова А.Ф. — группа 512

Непрерывная модель крупных закупок с использованием меры риска

Научный руководитель: Морозов Владимир Викторович

Исупова О.О. — группа 517

Выявление тематических связей между документами методами латентного семантического анализа

Научный руководитель: Воронцов Константин Вячеславович

Кадысев М.В. — группа 527

Оптимизация вызовов методов и функций языка C++ в компиляторной инфраструктуре LLVM

Научный руководитель: Гайсарян Сергей Суренович

Казakov А.Б. — группа 515

Оптимальная стратегия в математической модели терапии злокачественных клеток с учетом эффекта ангиогенеза

Научный руководитель: Братусь Александр Сергеевич

Калиев О.И. — группа 501

Численный метод решения обратной коэффициентной задачи для гиперболического уравнения

Научный руководитель: Денисов Александр Михайлович

Камаев П.П. — группа 528

Распараллеливание прикладной программы и исследование эффективности ее выполнения на графическом процессоре

Научный руководитель: Крюков Виктор Алексеевич

Капитанова В.И. — группа 525

Верификация функциональных программ

Научный руководитель: Пильщиков Владимир Николаевич

Каргапольцев И.С. — группа 502

Учёт влияния ветра в задаче моделирования морских течений на основе системы уравнений Навье-Стокса

Научный руководитель: Березин Сергей Борисович

Каретин А.А. — группа 502

Применение гибридных вращательных решателей при моделировании течений невязкого газа

Научный руководитель: Лебедев Михаил Глебович

Карпулевич Е.А. — группа 528

Диалог с программистом в системе автоматизации распараллеливания Фортран-программ

Научный руководитель: Крюков Виктор Алексеевич

Касперский И.Е. — группа 517

Разработка математических методов анализа данных, поступающих с тактильного механорецептора

Научный руководитель: Ветров Дмитрий Петрович

Касьяненко Н.И. — группа 522

Адаптация метода внесения неисправностей для имитационных моделей распределенных вычислительных систем реального времени

Научный руководитель: Волканов Дмитрий Юрьевич

Кафтан Д.В. — группа 518

Специальные задачи теории бесповторных функций

Научный руководитель: Вороненко Андрей Анатольевич

Кибардин Ю.С. — группа 507

Математическое моделирование эволюции тороидальной плазмы

Научный руководитель: Сычугов Дмитрий Юрьевич

Кириякова Ю.В. — группа 501

Коррекция освещенности изображений в области затенения

Научный руководитель: Юрин Дмитрий Владимирович

Киселёв А.М. — группа 502

Численный анализ полей постоянных токов в кусочно-однородной среде методом граничных интегральных уравнений

Научный руководитель: Захаров Е.В.

Киселев К.Н. — группа 520

Разработка методов настройки эффективности параллельных программ для суперкомпьютерных систем

Научный руководитель: Попова Нина Николаевна

Клычков Д.М. — группа 524

Интерпретатор языка Плэнер для многостилевого окружения

Научный руководитель: Столяров Андрей Викторович

Коваленко А.И. — группа 527

Преобразование программ на языке C-DVM в программы для кластера

Научный руководитель: Крюков Виктор Алексеевич

,

Коваль Д.Ю. — группа 513

Численный анализ иерархических дифференциальных игр, описывающих взаимодействие предприятия и государства в экологии

Научный руководитель:

Хайлов Евгений Николаевич

Ковтунова А.Н. — группа 519

Алгоритмы гомоморфного шифрования

Научный руководитель: Захаров Владимир Анатольевич

Кожевников М.С. — группа 508

Исследование свойств нулевой динамики

Научный руководитель: Ильин Александр Владимирович

Колев Д.Г. — группа 517

Решение задачи идентификации методами машинного обучения (на примере отказов оборудования Гражданской Авиации)

Научный руководитель: Гуров Сергей Исаевич

Колесников А.А. — группа 517

Прогнозирование вероятности кликов на новые рекламные объявления

Научный руководитель: Воронцов Константин Вячеславович

Коломицкий М.О. — группа 512

Метод уточнения распределения суммарной выплаты
Научный руководитель: Денисов Дмитрий Витальевич

Колупаев Р.И. — группа 519

Методы m-адического анализа в задачах дактилоскопии
Научный руководитель: Анашин В.С.

Кондратова Е.И. — группа 524

Генерация вопросов в системах тестирования
Научный руководитель: Грацианова Татьяна Юрьевна

Коноводов В.А. — группа 518

Методы синтеза и оценки сложности схем с некоторыми структурными ограничениями
Научный руководитель: Ложкин Сергей Андреевич

Коноплёв В.А. — группа 518

Особые точки в проблеме Коллатца
Научный руководитель: Сапоженко Александр Антонович

Корищенко Д.К. — группа 524

Метод автоматического разрешения морфологической неоднозначности на основе обработки текстовой коллекции
Научный руководитель: Лукашевич Н.В.

Король А.Д. — группа 507

Разработка модели ассоциативной памяти на основе ДНК-гиперсети
Научный руководитель: Лукьяница Андрей Александрович

Костяшов Я.Ю. — группа 502

Метод Галеркина в интегральном уравнении задачи дифракции
Научный руководитель: Ильинский Анатолий Серафимович

Кошелев В.К. — группа 527

Исследование методов снижения накладных расходов виртуализации высокопроизводительных вычислений
Научный руководитель: Гайсарян Сергей Суренович

Крутов В.А. — группа 524

Разрешение неоднозначности в функциональной омонимии
Научный руководитель: Полякова Ирина Николаевна

Кудасов Н.Д. — группа 524

Инкрементальные структуры данных для многостилевого окружения
Научный руководитель: Столяров Андрей Викторович

Кузин Д.А. — группа 515

Исследование скорости сходимости и выбор начального приближения в модели срочной структуры процентных ставок
Научный руководитель: Смирнов С.Н.

Кулешов А.С. — группа 502

Моделирование течения идеального газа на основе разностных схем повышенной точности
Научный руководитель: Лебедев Михаил Глебович

Куликов В.В. — группа 524

Диалект языка Лисп для обработки электронной почты
Научный руководитель: Столяров Андрей Викторович

Куликов П.И. — группа 519

Исследование эффективности применения кэш-атак к отечественным

криптографическим алгоритмам

Научный руководитель: Шишкин Алексей Геннадиевич

Куликова Д.Е. — группа 511

Анализ и разработка математических моделей оптимизации задач воспроизводства населения

Научный руководитель: Решетов Валерий Юрьевич

Кульченков В.В. — группа 512

Дискретная модель крупных закупок на финансовом рынке

Научный руководитель: Морозов Владимир Викторович

Куприк И.В. — группа 528

Система автоматизации распараллеливания: прогнозирование времени выполнения параллельных программ на графическом процессоре

Научный руководитель: Крюков Виктор Алексеевич

Курочкин В.А. — группа 512

Моделирование развития страхового рынка с помощью многошаговой игры с полной информацией

Научный руководитель: Белянкин Георгий Андреевич

Кухаренко А.И. — группа 521

Идентификация людей по изображению лица

Научный руководитель: Конушин Антон Сергеевич

Лагода Г.К. — группа 505

Численная реализация метода стабилизации векторного поля

Научный руководитель: Еленин Георгий Георгиевич

Ласковая А.М. — группа 511

Некоторые задачи организации контролирующих структур

Научный руководитель: Васин Александр Алексеевич

Лебедев В.В. — группа 521

Сегментация и распознавание объектов в облаках трехмерных точек на основе схемы голосования

Научный руководитель: Конушин Антон Сергеевич

Лисицкий В.А. — группа 525

Методы определения текстов специальных жанров в потоке коротких сообщений

Научный руководитель: Добров Б.В.

Лихогруд Н.Н. — группа 520

Распознавание нейронных сигналов с использованием методов машинного обучения и технологии CUDA

Научный руководитель: Королев Лев Николаевич

Майков А.В. — группа 527

Хранение, отображение и поиск ресурсов, имеющих пространственную привязку

Научный руководитель: Серебряков Владимир Алексеевич

Макарова Е.Ю. — группа 517

Непрерывные алгоритмы морфологического анализа и сравнения листьев растений

Научный руководитель: Местецкий Леонид Моисеевич

Малахов К.В. — группа 502

Методы регуляризации преобразования Радона в задаче томографии

Научный руководитель: Дмитриев Владимир Иванович

Малышев Н.Д. — группа 510

Исследование квантовых ансамблей с учетом состояний Эйнштейна - Подольского - Розена

Научный руководитель: Ожигов Юрий Игоревич

Мамонтова А.В. — группа 516

Очереди с системными катастрофами и нетерпеливыми заявками при неработающей системе

Научный руководитель: Ушаков Владимир Георгиевич

Мандельбаум К.А. — группа 515

Эллипсоидальные оценки множеств достижимости гибридных систем

Научный руководитель: Куржанский Александр Борисович

Мандрыкин М.У. — группа 528

Моделирование памяти при верификации программ методом CEGAR

Научный руководитель: Петренко Александр Константинович

Мартыненко С.И. — группа 518

Позитивно замкнутые классы трехзначной логики, порожденные трехместными функциями специального вида

Научный руководитель: Марченков Сергей Серафимович

Мартынов Н.С. — группа 522

Статический анализ значений переменных в программах на языке Питон

Научный руководитель: Козлов Дмитрий Дмитриевич

Маршалко Е.Е. — группа 511

Теоретико-игровая модель организации пожарного надзора

Научный руководитель: Васин Александр Алексеевич

Мацкевич А.И. — группа 519

Криптографические свойства булевых функций высокой степени нелинейности от нечётного числа переменных

Научный руководитель: Логачев Олег Алексеевич

Медведев А.В. — группа 524

Установление значения слова по его морфемному составу

Научный руководитель: Грацианова Татьяна Юрьевна

Межебицкий А.А. — группа 525

Разработка и оптимизация высоконагруженных интернет приложений реального времени

Научный руководитель: Абрамов Владимир Геннадьевич

Меркулов А.П. — группа 527

Разработка компиляторных методов программирования Программируемой Логической Интегральной Схемы с использованием открытых стандартов

Научный руководитель: Гайсарян Сергей Суренович

Месяц А.И. — группа 515

Целевое управление эллипсоидальным движением в условиях препятствий

Научный руководитель: Куржанский Александр Борисович

Мехтиев Р.Э. — группа 508

Идентификация мотора мобильного робота Хепера

Научный руководитель: Фурсов Андрей Серафимович

Мигунова А.О. — группа 515

Обобщение задачи поиска оптимальной стратегии управления на рынке электроэнергии

Научный руководитель: Куржанский Александр Борисович

Милованов В.В. — группа 524

Реализация классов типов в языках программирования, поддерживающих рефлексия

Научный руководитель: Головин Игорь Геннадьевич

Миняйлов А.В. — группа 507

Кластеризация графических данных

Научный руководитель: Зайцев Федор Сергеевич

Миняйлов В.С. — группа 517

Интерполяция монотонной функции на основе медиального представления изолиний
Научный руководитель: Местецкий Леонид Моисеевич

Мисатюк Н.С. — группа 508

Управление группой однотипных объектов
Научный руководитель: Фомичев Василий Владимирович

Митрохин А.М. — группа 511

Оптимизация параметров технологической схемы укладки трубопровода при капитальном ремонте
Научный руководитель: Давидсон Михаил Рувимович

Михайловский Н.А. — группа 511

Математический анализ факторов рождаемости и смертности
Научный руководитель: Васин Александр Алексеевич

Михеев Е.Б. — группа 501

Анализ речевой информации на основе метода разреженных представлений
Научный руководитель: Лукин Алексей Сергеевич

Молчанов А.А. — группа 513

Некоторые прикладные задачи теории оптимального управления
Научный руководитель: Никольский Михаил Сергеевич

Молчанов А.Д. — группа 517

Восстановление треков транспортных средств по данным видеозаписей
Научный руководитель: Чехович Юрий Викторович

Морозов Е.В. — группа 518

О тестах для булевых функций при некоторых неисправностях переменных
Научный руководитель: Романов Дмитрий Сергеевич

Мурзин С.Н. — группа 513

Задача управления самолетом вертикального взлета и посадки
Научный руководитель: Григоренко Николай Леонтьевич

Мытрова М.В. — группа 525

Информационный поиск на основе методов автоматических рассуждений
Научный руководитель: Корухова Юлия Станиславовна

Мышкин В.А. — группа 511

Исследование векторных функций полезности
Научный руководитель: Новикова Наталья Михайловна

Мяков П.А. — группа 521

Фотореалистичное моделирование распространения света в изотропных и анизотропных средах
Научный руководитель: Игнатенко Алексей Викторович

Небера А.А. — группа 515

Численный метод решения одной задачи управления процессом, описываемым уравнением Смолуховского
Научный руководитель: Шананин Александр Алексеевич

Некрасова О.В. — группа 512

Оптимизация резервов по портфелю страхования жизни
Научный руководитель: Денисов Дмитрий Витальевич

Нефедов П.В. — группа 506

Задачи для уравнений смешанного типа в случае трехмерных областей
Научный руководитель: Моисеев Евгений Иванович

Никеров А.В. — группа 520

Влияние анализа структуры документов на качество фактографического и вопросно-ответного поиска

Научный руководитель: Дмитриев Леонид Вадимович

Николаев М.В. — группа 519

Алгоритм решения двумерной задачи дискретного логарифмирования в группе точек эллиптической кривой с эффективным гомоморфизмом

Научный руководитель: Матюхин Д.В.

Нискороднова С.А. — группа 507

Поиск и идентификация музыкальных фрагментов в звуковых последовательностях

Научный руководитель: Шишкин Алексей Геннадиевич

Новиков К.В. — группа 525

Исследование и программная реализация алгоритма кластеризации в терминологической сети

Научный руководитель: Соловьев Сергей Юрьевич

Новикова А.О. — группа 513

Вычисление и визуализация множеств достижимости управляемых систем с использованием параллельных вычислений на графических процессорах

Научный руководитель: Аввакумов Сергей Николаевич

Новинская А.С. — группа 507

Моделирование плазмы вблизи черных дыр

Научный руководитель: Смирнов Александр Павлович

Носеевич Г.М. — группа 522

Обнаружение уязвимостей авторизации в Web-приложениях

Научный руководитель: Петухов Андрей Александрович

Одинокое Д.О. — группа 515

Координированное управление коллективным движением при внешнем ограничении

Научный руководитель: Куржанский Александр Борисович

Одинокое Н.С. — группа 512

Оптимизация страховой премии

Научный руководитель: Денисов Дмитрий Витальевич

Онищенко А.А. — группа 517

Методы анализа формальных понятий в задачах классификации

Научный руководитель: Гуров Сергей Исаевич

Орлов Е.А. — группа 518

Словарное определение класса функций, элементарных по Кальмару

Научный руководитель: Марченков Сергей Серафимович

Орлов С.М. — группа 513

Исследование некоторых нелинейных задач оптимального управления

Научный руководитель: Киселев Юрий Николаевич

Пакуляк О.С. — группа 512

Оптимизация дискретных алгоритмов

Научный руководитель: Денисов Дмитрий Витальевич

Пенкин Е.А. — группа 516

Нейронные сети и их применение для анализа финансовых данных

Научный руководитель: Ульянов Владимир Васильевич

Пестун М.В. — группа 521

Система моделирования поведения (навигации) человека в виртуальных средах

Научный руководитель: Баяковский Юрий Матвеевич

Пирогов А.Л. — группа 509

Граничные управления неоднородным стержнем, состоящим из двух участков плотности и упругости

Научный руководитель: Ильин Владимир Александрович

Пирожено А.А. — группа 528

Построение наукометрического показателя, устойчивого к спаму

Научный руководитель: Турдаков Д.Ю.

Плакунов А.В. — группа 522

Алгоритмы построения расписания обменов по каналу с централизованным управлением на основе схемы муравьиных колоний

Научный руководитель: Костенко Валерий Алексеевич

Платонов В.А. — группа 527

Разработка системной поддержки программирования Программируемой Логической Интегральной Схемы как акселератора

Научный руководитель: Гайсарян Сергей Суренович

Платонова Е.В. — группа 517

Градиентные методы ранговой регрессии в информационном поиске

Научный руководитель: Дьяконов Александр Геннадьевич

Подкопаев К.Ю. — группа 524

Интерфейс редактора Web-сайтов

Научный руководитель: Грацианова Татьяна Юрьевна

Пожилов И.А. — группа 515

Реализация эффективного параллельного алгоритма построения аппроксимации оболочки Эджворта-Парето

Научный руководитель: Лотов Александр Владимирович

Пономарева Е.С. — группа 513

Модель экономического роста и связанного с ним качества окружающей среды

Научный руководитель: Ровенская Елена Александровна

Порошин А.И. — группа 501

Метод выделения фона на видеоизображениях, снятых неподвижной камерой

Научный руководитель: Мизотин Максим Михайлович

Раздобаров А.В. — группа 522

Исследование ограничений средств обнаружения вредоносных Интернет-сайтов

Научный руководитель: Петухов Андрей Александрович

Разумовский П.С. — группа 505

Численное моделирование задач аэроакустики

Научный руководитель: Богомолов Сергей Владимирович

Раудина Д.В. — группа 516

Распределение собственных значений положительных рациональных степеней случайных матриц

Научный руководитель: Ульянов Владимир Васильевич

Рогожников А.М. — группа 509

Исследование колебаний стержня, состоящего из нескольких участков

Научный руководитель: Ильин Владимир Александрович

Родимова П.А. — группа 524

Модификация алгоритма синтаксического анализа системы Treeton, ориентированная на анализ эллиптических предложений

Научный руководитель: Кузина Лариса Николаевна

Родионов А.В. — группа 525

Разработка системы поиска нот с использованием закономерностей построения

музыкальных произведений

Научный руководитель: Корухова Юлия Станиславовна

Розанцев А.В. — группа 504

Разработка неотражающих краевых условий для нелинейного многомерного уравнения Шредингера с потенциалом

Научный руководитель: Трофимов Вячеслав Анатольевич

Романенко Ю.А. — группа 513

Оптимальная гауссова аппроксимация в модели Изинга

Научный руководитель: Мельников Николай Борисович

Рошупкин А.В. — группа 525

Программная реализация и исследование алгоритма распознавания стандартных звуковых сигналов

Научный руководитель: Соловьев Сергей Юрьевич

Русаев Д.В. — группа 503

Численное моделирование кататических течений со взвешенными частицами

Научный руководитель: Лыков Василий Николаевич

Рябов А.Ю. — группа 519

Контроль целостности среды выполнения программ операционной системы Windows

Научный руководитель: Попов В.О.

Рябов С.В. — группа 528

Исследование и разработка распределённых алгоритмов для поиска сообществ пользователей в социальных сетях

Научный руководитель: Коршунов А.В.

Саакян Д.Д. — группа 519

Метрические свойства максимально-нелинейных булевых функций от нечетного числа переменных

Научный руководитель: Логачев Олег Алексеевич

Сабитов Р.Ш. — группа 505

Численные методы решения задачи Кеплера

Научный руководитель: Еленин Георгий Георгиевич

Самыловский И.А. — группа 513

Задача Годдарда для многоступенчатой ракеты

Научный руководитель: Дмитрук Андрей Венедиктович

Сафронов А.В. — группа 502

Решение двумерных уравнений газовой динамики методом Лакса-Фридрихса

Научный руководитель: Лебедев Михаил Глебович

Сахаров А.С. — группа 521

Распознавание жестов с помощью Microsoft Kinect

Научный руководитель: Конушин Антон Сергеевич

Селина Е.П. — группа 512

Оценка опциона на два актива с однородными обязательствами

Научный руководитель: Морозов Владимир Викторович

Семенов О.В. — группа 517

Задача классификации объектов с неполными признаковыми описаниями

Научный руководитель: Рязанов Владимир Васильевич

Семипятный В.К. — группа 515

Обобщение задачи оценивания для систем с помехой, зависящей от управления

Научный руководитель: Дигаилова Ирина Анатольевна

Сергеев В.В. — группа 501

Обработка и анализ области макулы на изображениях глазного дна

Научный руководитель: Крылов Андрей Серджевич

Сергеев Н.П. — группа 528

Обобщённое дерево поиска GIST

Научный руководитель: Кузнецов Сергей Дмитриевич

Сергеева М.Г. — группа 512

Некоторые модели теории контрактов

Научный руководитель: Морозов Владимир Викторович

Серов О.С. — группа 525

Реализация системы дифференциальной диагностики внутренних болезней

Научный руководитель: Соловьев Сергей Юрьевич

Сивашенко Д.В. — группа 528

Эффективные методы замещения страниц в кэше XML систем управления базами данных

Научный руководитель: Таранов И.С.

Сидоров Е.Е. — группа 512

Метод Брауна-Робинсон для решения многокритериальных матричных игр

Научный руководитель: Поспелова Ирина Игоревна

Сидоров Ю.А. — группа 517

Автоматизация методов выделения микроскопических объектов на медицинских изображениях

Научный руководитель: Гуревич Игорь Борисович

Сильвестров А.С. — группа 520

Анализ эмоциональной окраски сообщений в социальных сетях

Научный руководитель: Сухомлин Владимир Александрович

Синяков В.В. — группа 515

Задача управления для конкретной нелинейной системы

Научный руководитель: Куржанский Александр Борисович

Скворцова Т.В. — группа 513

Оптимальный экономический рост при воздействии природных катаклизмов

Научный руководитель: Смирнов Алексей Игоревич

Сковорода Н.А. — группа 510

Рассеяние двухатомных молекул с учётом запутанных состояний электронов и ядер

Научный руководитель: Ожигов Юрий Игоревич

Скрипников А.В. — группа 518

Исследование надструктуры класса полиномов в частичной логике

Научный руководитель: Алексеев Валерий Борисович

Скрынников Д.В. — группа 518

Полные системы эквивалентных преобразований в некоторых алгебраических моделях программ с разрешимой эквивалентностью

Научный руководитель: Подловченко Римма Ивановна

Смирнов Т.Т. — группа 505

Моделирование процессов молекулярной динамики с использованием технологии параллельных вычислений на графических процессорных устройствах

Научный руководитель: Еленин Георгий Георгиевич

Снегирев Л.О. — группа 522

Исследование применимости средств сохранения и восстановления процессов к графическим сеансам на сервере приложений

Научный руководитель: Ющенко Никита Викторович

Собканиук А.Г. — группа 502

Обоснование численного метода решения задачи дифракции на сфере

Научный руководитель: Ильинский Анатолий Серафимович

Солдатенкова А.Д. — группа 507

Автоматическое построение трехмерной модели объекта по видеопоследовательности

Научный руководитель: Лукьяница Андрей Александрович

Солодкин Д.Л. — группа 517

Выявление закономерностей научного цитирования на основе вероятностных тематических моделей

Научный руководитель: Воронцов Константин Вячеславович

Сорокин И.С. — группа 515

Алгоритм оценки кривой доходности по нескольким группам облигаций с оптимальным выбором весов

Научный руководитель: Смирнов Илья Николаевич

Спихальский Д.С. — группа 528

Применение MapReduce и параллельных систем управления базами данных для задач анализа данных

Научный руководитель: Кузнецов Сергей Дмитриевич

Станченко Н.С. — группа 520

Подавление артефактов звукового сжатия методом проекций на выпуклые множества

Научный руководитель: Лукин Алексей Сергеевич

Стариков Н.П. — группа 528

Исследование и разработка методов обработки текста на мобильных платформах

Научный руководитель: Турдаков Д.Ю.

Степанец А.Е. — группа 520

Реализация модулей проксирования почтовых протоколов и взаимодействия с пользователем в системе категоризации переписки

Научный руководитель: Герасимов Сергей Валерьевич

Степанович В.А. — группа 515

Задача отслеживания движения при коммуникационных ограничениях

Научный руководитель: Куржанский Александр Борисович

Стотик Ф.А. — группа 510

Квантовое измерение с определённым исходом

Научный руководитель: Молотков Сергей Николаевич

Стрелковский Н.В. — группа 513

Имитационная модель взаимодействия экономических агентов в окружающей среде

Научный руководитель: Ровенская Елена Александровна

Струков И.В. — группа 524

Объектно-ориентированная модель Пролог-вычислителя

Научный руководитель: Столяров Андрей Викторович

Субботин Н.А. — группа 522

Алгоритмы построения расписания обменов для потока работ с мягкими директивными интервалами в кольце с арбитражем и выбора порядка устройств в кольце с арбитражем

Научный руководитель: Костенко Валерий Алексеевич

Суворов М.А. — группа 517

Методы агрегирования метрических описаний на основе оптимальной матричной факторизации

Научный руководитель: Майсурадзе Арчил Ивериевич

Суханова С.В. — группа 528

Конвергенция технологий при построении массивно-параллельных систем управления базами данных

Научный руководитель: Кузнецов Сергей Дмитриевич

Тарасов Г.Н. — группа 520

Разработка программного комплекса для поддержки многопроцессного обмена в высокоскоростных коммуникационных сетях суперкомпьютеров

Научный руководитель: Попова Нина Николаевна

Тафров В.С. — группа 501

Численный метод решения обратной задачи для уравнения теплопроводности

Научный руководитель: Денисов Александр Михайлович

Творогов А.В. — группа 524

Разработка и реализация технологии документооборота в субконтрактных отношениях

Научный руководитель: Соловьев Сергей Юрьевич

Телиженко Ф.С. — группа 513

Регуляризованный метод стрельбы для решения задач равновесного программирования

Научный руководитель: Будак Борис Александрович

Телятников И.С. — группа 503

Математические методы моделирования динамики квазивидов

Научный руководитель: Бочаров Геннадий Алексеевич

Тимонина А.А. — группа 516

Исследование периода занятости в одноканальной системе с нетерпеливыми заявками

Научный руководитель: Ушаков Владимир Георгиевич

Толстых С.А. — группа 504

Влияние графа кровеносных сосудов на пульсовую волну

Научный руководитель: Соснин Николай Васильевич

Трифонов И.М. — группа 507

Алгоритм восстановления функции распределения доходов населения по косвенным данным и его реализация

Научный руководитель: Сычугов Дмитрий Юрьевич

Трофимов С.А. — группа 511

Игровой подход к исследованию математических моделей обеспечения безопасности с оценкой рисков

Научный руководитель: Решетов Валерий Юрьевич

Трофимова Е.В. — группа 515

Поиск эффективной стратегии терапии вирусных инфекций

Научный руководитель: Братусь Александр Сергеевич

Трубачева М.А. — группа 513

Задачи оптимального граничного управления для волнового уравнения на докритических промежутках времени

Научный руководитель: Потапов Михаил Михайлович

Трубин А.К. — группа 504

Компьютерная модель двухмерной задачи для уравнения конденсата Бозе-Энштейна

Научный руководитель: Трофимов Вячеслав Анатольевич

Трыкин Е.М. — группа 505

Эффективность использования метода Розенброка для моделирования задач нелинейной оптики

Научный руководитель: Трофимов Вячеслав Анатольевич

Тупицын Н.А. — группа 525

Разработка метода визуализации потока символьной информации

Научный руководитель: Соловьев Сергей Юрьевич

Тюрин А.А. — группа 504

Численное решение уравнений газовой динамики на тетраэдральных сетках с использованием вычислительных систем с графическими ускорителями

Научный руководитель: Тишкин Владимир Федорович

Ульянов А.В. — группа 524

Система автоматического определения авторства текстов

Научный руководитель: Волкова Ирина Анатольевна

Ульянов Н.Н. — группа 515

Точные решения распределённой модели квазивидов

Научный руководитель: Братусь Александр Сергеевич

Устинов В.Д. — группа 502

Математическое моделирование рассеяния лазерного пучка на неоднородном ансамбле красных клеток крови

Научный руководитель: Федотов Михаил Валентинович

Фатеев К.Г. — группа 515

Многокритериальные задачи анализа математических моделей раковых опухолей

Научный руководитель: Лотов Александр Владимирович

Фомичев Н.В. — группа 527

Разработка системы автоматизации ИТ-подразделения крупной организации

Научный руководитель: Гуляев Анатолий Викторович

Фролов Н.Г. — группа 502

О методах численного дифференцирования приближённо заданных функций

Научный руководитель: Дмитриев Владимир Иванович

Фролова В.Е. — группа 513

Оптимальная экономическая политика при угрозе природных катастроф

Научный руководитель: Смирнов Алексей Игоревич

Хабибулин Р.А. — группа 511

Модель взаимодействия продавца и покупателя при нескольких критериях оценки экономических решений

Научный руководитель: Пospelова Ирина Игоревна

Хапаева В.М. — группа 512

Нижняя оценка бесконечного американского опциона на два актива

Научный руководитель: Морозов Владимир Викторович

Целищев М.А. — группа 516

Диверсификация и её связь с мерами риска

Научный руководитель: Назаров Леонид Владимирович

Цимбалов С.Е. — группа 518

Разработка и исследование алгоритма выбора коэффициентов штрафных функций в методе внешней точки нелинейного программирования

Научный руководитель: Марченко Александр Михайлович

Черникова Т.А. — группа 528

Методы обеспечения горизонтальной масштабируемости реляционных систем управления базами данных

Научный руководитель: Кузнецов Сергей Дмитриевич

Чернов В.В. — группа 509

Свойство базисности и равностойкости корневых векторов нагруженных

дифференциальных операторов второго порядка

Научный руководитель: Ломов Игорь Сергеевич

Чернышов Ю.А. — группа 521

Разработка системы мониторинга и сбора статистики для суперкомпьютерных комплексов в задачах обработки данных сейсморазведки

Научный руководитель: Попова Нина Николаевна

Чижишев Н.А. — группа 501

Решение обратной граничной задачи для уравнения Лапласа с использованием метода регуляризации

Научный руководитель: Щеглов Алексей Юрьевич

Чугунов А.Л. — группа 515

Применение визуализации границы Парето в задачах оценки потенциала сложных систем

Научный руководитель: Лотов Александр Владимирович

Чумаченко А.Е. — группа 501

Блочный метод обнаружения контуров на изображении

Научный руководитель: Крылов Андрей Серджевич

Шайдуров В.С. — группа 515

Моделирование процесса разведки нефтяного месторождения на основе модели М. Хубберта

Научный руководитель: Рудева Анастасия Валерьевна

Шанаева Е.М. — группа 503

Применение WTT-метода для сжатия метеорологических данных

Научный руководитель: Тартышников Е.Е.

Швец П.А. — группа 520

Исследование возможностей ручной и автоматизированной оптимизации типовых алгоритмических структур для графических ускорителей

Научный руководитель: Воеводин Владимир Валентинович

Шурыгин П.А. — группа 501

Решение задачи Коши для волнового уравнения в трещиноватой среде

Научный руководитель: Баев Андрей Владимирович

Шербакова А.О. — группа 519

Слайдовые атаки на российский стандарт блочного шифра

Научный руководитель: Карпунин Григорий Анатольевич

Шербина А.Л. — группа 527

Интеграция архивных данных в Единое Научное Информационное Пространство

Научный руководитель: Серебряков Владимир Алексеевич

Шербинина А.А. — группа 522

Обнаружение полиморфного шеллкода в сетевом трафике на основе подобия

Научный руководитель: Гамаюнов Денис Юрьевич

Юсуфова А.Д. — группа 512

Определение оптимальных порогов для страхователя в системе бонус-малус: дискретная модель

Научный руководитель: Морозов Владимир Викторович

Юсуфова Я.Д. — группа 512

Определение оптимальных порогов для страхователя в системе бонус-малус: непрерывная модель

Научный руководитель: Морозов Владимир Викторович

Яблочкин К.В. — группа 508

Асимптотические наблюдатели для систем с запаздыванием

Научный руководитель: Фомичев Василий Владимирович

Якубенков О.С. — группа 512

Применение методов дискретной оптимизации к решению задачи назначения экипажей воздушных судов

Научный руководитель: Денисов Дмитрий Витальевич

Ярушин Д.В. — группа 516

Применение байесовских классификаторов и сетей в рекомендательных системах

Научный руководитель: Королев Виктор Юрьевич

Темы дипломных работ, защищенных выпускниками 2012 года (отделение бакалавриата)

Аксенова Е.М. — группа 431

Реализация библиотеки на языке C++ для работы с криптосистемами с открытым ключом, построенными на основе кодов, исправляющих ошибки

Александров Б.В. — группа 431

Математическое моделирование циклов мировой конъюнктуры

Бочарова К.А. — группа 431

Построение поверхности волатильности рынка опционов Российской Торговой Системы

Гафаров Д.К. — группа 431

Математическое моделирование и прогнозирование динамики внутреннего и внешнего долга

Грачева О.А. — группа 431

Разработка программных модулей Web-ресурса для обмена опытом в решении проблем

Гулак Т.П. — группа 431

Разработка и реализация алгоритма вычисления предпочтений пользователя на основе его личной информации

Еханурова Е.Н. — группа 431

Циклическая модель роста народонаселения Земли и производственных революций

Заводченков А.В. — группа 431

Разработка информационной системы для высших учебных заведений

Изосина А.А. — группа 431

Модели аукционов однородных товаров и размещения рекламы

Казарян Н.В. — группа 431

Разработка специализированных социальных сетей

Кузнецова М.Л. — группа 431

Вычисление и сравнительный анализ равновесий некоторых аукционов

Мартухович А.Д. — группа 431

Математические модели развития предприятий

Рожкова Ю.С. — группа 431

Моделирование глобальной эволюции

Толли Н.И. — группа 431

Моделирование формирования инвестиционного портфеля

Баласанов Г.А. — группа 441

Обобщенные дисперсионные гамма-распределения

Блинова Л.А. — группа 441

Разработка программного обеспечения для декодирования кодов Рида-Маллера первого порядка с использованием быстрого преобразования Адамара

Гафуров Т.Р. — группа 441

Обобщенные дисперсионные гамма-распределения

Горбик Д.А. — группа 441

Расширение возможностей языка разметки HTML5 для планшетных компьютеров

Желанов В.В. — группа 441

Модель вычисления социологических параметров ипотечного кредитного скоринга

Попков М.И. — группа 441

Разработка пакета прикладных программ для анализа групповых свойств комбинаторных объектов в системах защиты информации

Радионых М.Д. — группа 441

Прогнозирование случайных процессов методом скользящего разделения смесей

Савельев К.В. — группа 441

Известные модели для оценки кредитных рисков

Сасов Д.А. — группа 441

Расширение средств мониторинга системного уровня для анализа производительности суперкомпьютерных приложений

Северьянов Е.А. — группа 441

Модель вычисления демографических параметров ипотечного кредитного скоринга

Тимонин П.М. — группа 441

Анимированный графический интерфейс пользователя виртуальной библиотеки

Именной указатель

- Авдюнин М. А., 97
Алексеев Д. В., 36
Антипов Г. М., 87
Афанасьев В. В., 106
Афанасьева А. Е., 108
Баранов М. И., 125
Бартунов С.О., 138
Беликов В. Ю., 110
Блинов Н. Г., 46
Бондаренко Н.Н., 89
Буренко И.М., 21
Вартанов С. П., 140
Галанин В.Е., 12
Гончаров А. С., 70
Губанова М. А., 56
Дигайлова А. М., 58
Ермаков И. Ю., 84
Жайворонок Ю. Ю., 153
Желтков Д. А., 23
Завгородний Н.С., 49
Зимоздра Р. Е., 13
Зипа К. С., 112
Иванников С.О., 38
Исмагилова А. Ф., 50
Казарян Н. В., 155
Кафтан Д. В., 99
Клычков Д. М., 127
Коваленко А. И., 141
Ковтунова А.Н., 100
Колесников А.А., 91
Коноводов В. А., 101
Крюков С.А., 158
Кудасов Н. Д., 128
Куликов В.В., 130
Куприк И.В., 144
Левашов А. Е., 159
Лихогруд Н. Н., 114
Макарова Е. Ю., 92
Малахов К. В., 14
Мандельбаум К. А., 71
Мандрыкин М. У., 145
Межебицкий А. А., 132
Меркулов А. П., 147
Месяц А.И., 73
Мингалева З. Т., 161
Мисатюк Н. С., 40
Михеев Е. Б., 15
Молчанов А. А., 59
Морозов Е. В., 103
Мытрова М. В., 135
Некрасова О. В., 51
Нефедов П.В., 33
Николаев М.В., 105
Новикова А. О., 61
Носевич Г. М., 116
Огнев А. И., 163
Одинокоев Д. О., 75
Одинокоева Н. С., 53
Онищенко А. А., 93
Орлов С. М., 62
Пестун М. В., 118
Пироженов А.А., 149
Плакунов А. В., 120
Платонов В. А., 150
Рогожников А. М., 42
Родионов А. В., 136
Розанцев А. В., 29
Романенко Ю.А., 64
Русаев Д. В., 25
Самыловский И.А., 66
Сасов Д. А., 157
Сахаров А.С., 122
Сергеев В. В., 17
Синяков В. В., 76
Сковорода Н. А., 44
Сорокин И. С., 77
Спихальский Д. С., 152
Степанович В. А., 79
Стрелковский Н.В., 67
Суворов М. А., 95
Телятников И. С., 27
Трофимов С.А., 54
Трыкин Е. М., 31
Ульянов Н. Н., 81
Устинов В.Д., 19
Фатеев К. Г., 82
Целищев М. А., 85
Щербинина А. А., 123