

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА
Факультет вычислительной математики и кибернетики

Научная конференция

Ломоносовские чтения

Тезисы докладов

14–22 апреля 2022 года



МОСКВА – 2022

УДК 519.7
ББК 22.18
Л75

*Печатается по решению Редакционно-издательского совета
факультета вычислительной математики и кибернетики
МГУ имени М. В. Ломоносова*

Ломоносовские чтения. Научная конференция. 14–22 апреля 2022 г. :
Л75 тезисы докладов. – Москва : Издательский отдел факультета ВМиК
МГУ (лицензия ИД 05899 от 24.09.2001); МАКС Пресс, 2022. – 208 с.
e-ISBN 978-5-89407-626-3 (ВМК МГУ)
ISBN 978-5-317-06778-6 («МАКС Пресс»)
<https://doi.org/10.29003/m2651.978-5-89407-626-3>

В настоящий сборник вошли тезисы докладов секции Вычислительной математики и кибернетики конференции «Ломоносовские чтения–2022», проводимой Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова в 2022 году.

УДК 519.7
ББК 22.18

Lomonosov Readings. Scientific Conference. April 14-22, 2022 :
Abstracts. – Moscow : Publishing Department of CMC MSU (license ID
05899 from 24.09.2001); MAKS Press, 2022. – 208 p.
e-ISBN 978-5-89407-626-3 (CMC MSU)
ISBN 978-5-317-06778-6 (MAKS Press)
<https://doi.org/10.29003/m2651.978-5-89407-626-3>

The collection includes report's abstracts of the Computational Mathematics and Cybernetics section of the Lomonosov Readings–2022 conference conducted by the Moscow State University in 2022.

e-ISBN 978-5-89407-626-3
ISBN 978-5-317-06778-6

© Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М. В. Ломоносова, 2022
© Авторы докладов, 2022
© Оформление. ООО «МАКС Пресс», 2022

В соответствии с Уставом Московского университета и приказом Ректора МГУ № 142 от 15 февраля 2022 года «О проведении ежегодной общеуниверситетской научной конференции «Ломоносовские чтения» для представления и обсуждения результатов работ по всем направлениям научных исследований на факультете ВМК ежегодная общеуниверситетская научная конференция «Ломоносовские чтения» пройдет на факультете вычислительной математики и кибернетики при поддержке Московского центра фундаментальной и прикладной математики с 14 апреля по 22 апреля 2022 года.

Секция вычислительной математики и кибернетики научной конференции «Ломоносовские чтения» включает следующие подсекции:

Секция 1. Интеллектуальные информационные технологии

(руководитель — профессор Машечкин И. В.);

Секция 2. Дифференциальные уравнения (соруководители — академик

РАН профессор Моисеев Е. И., профессор Ломов И. С.);

Секция 3. Кафедра автоматизации научных исследований

(руководитель — профессор Попов А. М.);

Секция 4. Алгоритмические языки

(руководитель — профессор Соловьев С. Ю.);

Секция 5. Вычислительные технологии и моделирование

(руководитель — академик РАН профессор Тыртышников Е. Е.);

Секция 6. Кафедры системного анализа и нелинейных динамических

систем и процессов управления (соруководители — академик РАН профессор Куржанский А. Б., профессор Фомичев В. В.);

Секция 7. Системное программирование

(руководитель — академик РАН профессор Аветисян А. И.);

Секция 8. Суперкомпьютеры и квантовая информатика

(руководитель — чл.-корр. РАН профессор Воеводин В. В.)

Секция 9. Вычислительные методы

(руководитель — академик РАН профессор Четверушкин Б. Н.);

Секция 10. Математическая физика

(соруководители — профессор Разгулин А. В., профессор Денисов А. М.);

Секция 11. Исследование операций

(руководитель — профессор Васин А. А.);

Секция 12. Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

(руководитель — чл.-корр. РАН профессор Смелянский Р. Л.);

Секция 13. Теория вероятностей и математическая статистика

(руководитель — профессор Королев В. Ю.);

Секция 14. Оптимальное управление и дифференциальные игры

(руководитель — академик РАН профессор Осипов Ю. С.).

Секция 15. Математическая кибернетика

(руководитель — профессор Ложкин С. А.);

Секция 16. Информационная безопасность

(руководитель — академик РАН профессор Соколов И. А.);

Содержание

Секция 1. Интеллектуальные информационные технологии	17
<i>С. В. Герасимов, А. В. Мещеряков, С. М. Васильев</i>	
Классификация скоплений галактик по картам волокон крупномасштабной структуры Вселенной	17
<i>С. В. Герасимов, А. В. Мещеряков, А. Г. Сорока</i>	
Достоинства и недостатки моделей обучения с подкреплением при оптимизации маршрутов в задачах большой размерности с ограничениями вида временные окна, объем грузов и мультидепо . .	18
<i>В. В. Глазкова, Р. Р. Мударова</i>	
Оценка эмоциональной тональности голоса на основе методов глубинного обучения	19
<i>В. В. Глазкова, Г. П. Попандопуло</i>	
Применение нейросетевых методов для подавления шума в аудиоданных в приложении автоматического распознавания речи	20
<i>О. Е. Горохов, Д. П. Калашников</i>	
Применение методов машинного обучения для прогнозирования временных рядов с использованием текстовых данных	22
<i>М. А. Конов, Д. В. Царев</i>	
Методы выделения признаков электронных писем в задаче фильтрации спама	23
<i>И. С. Лазухин, М. И. Петровский, И. В. Машечкин</i>	
Исследование и разработка рекуррентных нейросетей для задач анализа технологических процессов	24
<i>И. В. Машечкин, М. И. Петровский, Ю. А. Васильев</i>	
Исследование и разработка нелинейных моделей выживаемости на основе деревьев решений и их ансамблей	26
<i>И. В. Машечкин, М. И. Петровский, О. Е. Горохов</i>	
Методы обработки текстовых данных в задаче обнаружения аномалий в системных журналах	27

<i>И. В. Машечкин, М. И. Петровский, М. А. Казачук, М. И. Журавский</i> Исследование и разработка моделей динамической аутентификации пользователей по клавиатурному почерку	28
<i>И. В. Машечкин, И. С. Попов, М. А. Казачук, М. Ю. Трапезников</i> Исследование и разработка методов определения бактериальной резистентности к антибиотикам на основе анализа микробиологических фотоизображений	30
<i>И. В. Машечкин, И. С. Попов, М. А. Казачук, Р. Р. Фазылов</i> Исследование и разработка методов обнаружения колоний бактерий на микробиологических фотоизображениях	31
<i>А. В. Меццяков, С. В. Герасимов, А. Ю. Димитриенко</i> Технология разметки действий людей на видео по нескольким примерам с применением глубокого обучения	32
<i>А. В. Меццяков, С. В. Герасимов, Р. А. Кривоноса, Ф. Д. Губанов</i> Разработка технологии для полуавтоматической классификации транзиентов СРГ/еРОЗИТА	34
<i>Д. В. Царёв, А. Д. Калякина</i> Исследование подходов к обнаружению аномального поведения пользователей в задаче выявления внутренних угроз	35
<i>Д. В. Царёв, Д. Т. Сивцов</i> Применение моделей автоэнкодеров в задаче автоматического аннотирования электронной почты	36
Секция 2. Дифференциальные уравнения	37
<i>В. Н. Денисов</i> Теорема о равностабильности средних от решений параболических уравнений	37
<i>Н. В. Зайцева</i> Классические решения гиперболических дифференциально-разностных уравнений в полупространстве	39
<i>М. В. Коровина</i> Проблема Пуанкаре в аналитической теории линейных дифференциальных уравнений	40
<i>А. М. Савчук, И. В. Садовничая</i> Динамическое одномерное уравнение Дирака	41
Секция 3. Кафедра автоматизации научных исследований	42
<i>И. В. Зотов, Н. В. Вертелецкий</i> Численное моделирование восстановления сепаратрисы в токамаке Т-15МД	42

М. Б. Измайлов, А. Г. Шишкин

Использование графовых нейронных сетей для построения
рекомендательной системы 43

А. М. Попов

Моделирование возбужденных состояний квантовой точки 45

Д. Ю. Сычуглов, С. Ю. Соловьев, А. С. Жилкин, А. В. Мельников, С. А. Крат

Анализ режимов работы установки токамак МИФИСТ-0 при помощи
среды интегрированного моделирования SIEMNED 46

Е. А. Шеина, А. П. Смирнов

Интегральное уравнение для решения уравнения Гельмгольца в
волноводе со сложным заполнением 47

Секция 4. Алгоритмические языки 47

В. Г. Абрамов, В. В. Егорова

Модель системы обнаружения вторжений в компьютерные сети в
операционной системе Astra Linux 48

В. Г. Абрамов, М. П. Зяблова

Автоматизация создания и обработки анкет 49

В. Г. Абрамов, М. А. Притугин

Метод улучшения качества интернет-видео контента 51

Е. И. Большакова, Г. К. Новиков

Вычислительное исследование морфемной структуры слов русского
языка 52

Д. А. Быков, Н. В. Арефьев

Многоязычные методы выделения значений слов 54

А. Г. Ветров

АИПС «Законодательство» – первая отечественная справочно-правовая
система 56

И. А. Волкова, А. Д. Шешуков

Определение авторства текстов с помощью анализа морфологии и частот
употребления слов закрытых грамматических классов 57

А. А. Вылиток, Н. М. Арсенин

Метод восходящего синтаксического анализа с помощью L-графов . . . 59

Н. В. Груздева, Е. В. Шалимова

Экспериментальное исследование распространения информации в
социальных сетях 60

И. В. Дмитриев, И. Н. Полякова

Аналитическое решение автоматической расстановки знаков
пунктуации 61

<i>В. Б. Захаров, Д. А. Абалов</i>	
Разработка роботизированного комплекса для игры в аэрохоккей . . .	62
<i>В. Б. Захаров, А. А. Петрова</i>	
Нейросети для поиска ключевых точек на изображениях	63
<i>В. Б. Захаров, А. В. Пославский</i>	
Автоматическое машинное обучение в задаче классификации	64
<i>К. П. Кригер, Ю. С. Корухова</i>	
Об одном подходе к индексированию и поиску математических формул	65
<i>М. В. Леонов</i>	
Программное обеспечение для реконструкции мемориальных библиотек	66
<i>И. Н. Полякова, С. В. Астафьева</i>	
Реализация методов рекомендации музыки на основе истории прослушиваний	68
<i>И. Н. Полякова, С. Ю. Бурдуковская</i>	
Разработка универсальной платформы данных для моделирования плазменных процессов	69
Секция 5. Вычислительные технологии и моделирование	70
<i>Б. И. Валиахметов, Д. А. Желтков</i>	
Обобщение метода минимальных невязок для многих правых частей	70
<i>В. Я. Киселевская-Бабинина, Т. Е. Санникова</i>	
Оценка эффективности применения блокатора IL-6 при COVID-19 .	71
<i>С. А. Матвеев, С. С. Будзинский</i>	
Методы попеременного проектирования для получения неотрицательных матричных и тензорных разложений	73
<i>А. Д. Михайлов, Н. Л. Замарашкин</i>	
Восполнение матриц и тензоров с дополнительной информацией . .	74
<i>М. К. Мордвинцев, Н. Л. Замарашкин</i>	
Изучение алгоритма дополнения тензора с фиксированными рангами Таккера, использующего оптимизацию на римановых многообразиях.	75
<i>Е. В. Ткаченко, А. В. Дебольский, Е. В. Мортиков</i>	
Вихреразрешающее моделирование и параметризация затухания турбулентности в атмосферном пограничном слое	77
<i>Н. М. Червяков, А. А. Романюха</i>	
Математическая модель патогенеза COVID-19	78

Секция 6. Кафедры системного анализа и нелинейных динамических систем и процессов управления	79
<i>А. В. Арутюнов, С. Е. Жуковский</i>	
Теоремы о неявной функции. Приложения к управляемым системам	79
<i>Р. Р. Бегишев, А. В. Ильин</i>	
О робастном алгоритме группового управления в задаче сохранения строя	81
<i>К. Ю. Егоров, И. В. Востриков</i>	
Моделирование и построение целевого управления для динамической системы с фазовыми ограничениями	82
<i>А. А. Лабутин, И. В. Востриков</i>	
Моделирование различных сценариев управления автомобилем на дороге	83
<i>Н. К. Обросова, А. А. Спиридонов, А. А. Шананин</i>	
О механизмах роста инвестиционной активности в производственной сфере в условиях несовершенного рынка капитала	84
<i>А. И. Самарин, А. О. Высоцкий, В. В. Фомичев</i>	
Достижение консенсуса без доступа к внутреннему состоянию соседних агентов	85
<i>П. А. Точилин, М. В. Зайцева</i>	
Построение оценки множества достижимости для задачи моделирования потоков людей	87
<i>П. А. Точилин, И. А. Чистяков</i>	
Применение кусочно-квадратичных функций цены к задаче целевого управления	88
<i>Н. В. Трусов, А. А. Шананин</i>	
Анализ влияния сложившейся экономической ситуации на экономическое положение домашних хозяйств в регионах России	90
<i>В. В. Фомичев, М. А. Каменщиков</i>	
О задаче субоптимальной фильтрации для стохастических многосвязных систем	91
<i>А. С. Фурсов, Ю. М. Мосолова</i>	
К вопросу о существовании стабилизирующей обратной связи для переключаемых интервальных систем	92
Секция 7. Системное программирование	94
<i>В. А. Бахтин, Н. А. Катаев, Ю. А. Лапенко</i>	
Автоматизированное определение приватизируемых массивов в последовательных Си программах	94

<i>А. М. Бирюков, Е. Л. Аксенова, Л. С. Корухова</i>	
Модель управления жизненным циклом сервисов в облачной среде	95
<i>В. Н. Игнатъев, Д. А. Корябкин</i>	
Поиск ошибок в исходном коде на основе истории исправлений с помощью методов машинного обучения	97
<i>Л. С. Корухова, А. Г. Раснюк</i>	
Повышение качества нейросетевой генерации комментариев к коммитам	99
<i>В. А. Крюков, А. С. Колганов, Г. Д. Гусев</i>	
Преобразование последовательных Фортран-программ для их распараллеливания на гибридные кластеры	101
<i>Е. А. Кудряшов, Д. М. Мельник, А. А. Белеванцев</i>	
Генерация эффективного кода пролога и эпилога функций	102
<i>Н. А. Ланбин, И. А. Дудина</i>	
Детектор ошибок при использовании системного вызова fork, приводящих к непреднамеренному порождению процессов	103
<i>В. А. Падарян, И. И. Кулагин, В. А. Кошкин</i>	
Обнаружение утечек чувствительных данных в восстановленном из бинарного кода высокоуровневого представлении алгоритма программы	105
<i>Д. Ю. Турдаков, О. А. Машкова</i>	
Определение элементов PQRSST комплекса электрокардиограммы	106
<i>Чан Ти Тхиен, Ш. Ф. Курмангалеев, А. А. Белеванцев, Т. А. Ларионов-Тришкин</i>	
Futag — автоматический генератор фаззинг-оберток для программных библиотек	108
Секция 8. Суперкомпьютеры и квантовая информатика	109
<i>Д. А. Иванов, В. В. Воеводин</i>	
Оптимизация нейронных сетей в задачах обучения с подкреплением с использованием разреженных вычислений	109
<i>А. В. Мазеев, Н. Н. Попова, Д. А. Суплатов</i>	
Применение методов машинного обучения для сравнительного анализа трехмерных структур белков с использованием суперсемейств доменов	111
<i>А. Г. Николашкин, Н. М. Ершов</i>	
Обобщенная модель эволюционных и роевых методов оптимизации	112
<i>И. М. Никольский, Т. А. Сайбель</i>	
О некоторых параллельных алгоритмах сегментации полигональных сеток	114

<i>Ю. И. Ожигов, А. В. Кулагин, Мяо Хуэй-хуэй, Ли Ваньшунь, В. И. Афанасьев, И. Р. Плужников, Ю Цзянчунянь, Чень Жань</i> О методах компьютерного моделирования больших ансамблей многоуровневых атомов и поля	115
<i>А. В. Паокин, Д. А. Никитенко</i> Унифицированный подход к предоставлению ресурсов суперкомпьютерного центра	117
<i>Н. Н. Попова, М. В. Шубин</i> Анализ эффективности применения алгоритма TreeMatch для мэппинга параллельных приложений на суперкомпьютере «Ломоносов-2» . . .	118
<i>И. А. Тимохин, Н. Н. Попова, Д. А. Суплатов</i> Использование графических ускорителей в задачах анализа пространственных структур белков	120
Секция 9. Вычислительные методы	121
<i>Н. А. Афанасьев, Н. Э. Шагиров</i> Интерполяционные балансно-характеристические методы для задач вычислительной гидродинамики	121
<i>А. Я. Буничева, Е. В. Кочетов, С. И. Мухин</i> Использование методов машинного обучения для анализа результатов математического моделирования	123
<i>В. М. Головизнин, Н. А. Афанасьев</i> Схема КАБАРЕ в смешанных эйлерово-лагранжевых переменных . .	124
<i>Е. А. Леонов, С. В. Богомолов</i> Численное решение моделей экономического роста, основанных на играх среднего поля: проблемы и возможные решения	125
<i>С. И. Мухин, К. М. Мысова, А. Ю. Покладюк, А. Б. Хруленко</i> Моделирование роли печени в регуляции уровня глюкозы в рамках самосогласованной модели большого круга кровообращения	126
<i>М. Н. Саблин</i> Формулировка уравнений акустики в обобщенных функциях, ориентированная на их решение разностными методами	128
<i>В. В. Терновский, В. П. Ильютко, Т. М. Хапаева</i> Коэффициентные разностные задачи в оптимальном управлении . .	129
<i>И. Г. Уваркин, С. И. Мухин</i> Метод шаблонов, его модификации и применение для выявления патологий в кровеносной системе	130

И. А. Широков

Моделирование сверхзвукового обтекания стандартной осесимметричной модели НВ-2 на основе квазигазодинамического алгоритма 132

Секция 10. Математическая физика 133

Н. А. Аношина, Д. В. Сорокин

Метод дополнения разметки с помощью совмещения изображений в задаче сегментации 133

И. С. Барашков

Улучшение точности метода интегральных уравнений в задаче геоэлектрики 135

В. В. Лопушенко, Ю. А. Ерёмин

Анализ влияния квантового эффекта пространственной дисперсии на поглощение энергии магнитоплазмонными слоистыми наночастицами 136

А. В. Разгулин, Т. Е. Романенко

Об оценках точности проекционного метода со стабилизатором дробной гладкости для задачи восстановления волнового фронта по его наклонам 139

Т. Б. Сагиндыков, Е. А. Павельева

Использование гессиана на сверточных слоях нейронной сети в задаче сегментации людей на изображениях 140

М. В. Федотов, Д. М. Харитонов, В. А. Трофимов

Об эффективности применения методов суммарной аппроксимации и консервативных разностных схем для компьютерного моделирования взаимодействия трех оптических импульсов в среде с комбинированной нелинейностью 141

Секция 11. Исследование операций 142

П. А. Арбузов, Д. Ю. Голембиовский

Ценообразование экзотических американских опционов на один пул базового актива 142

А. А. Белолипецкий, К. О. Семенов

О возможности генерирования ударной волны разрежения в полости лазерной мишени 143

А. А. Васин, О. М. Григорьева

Оптимальное использование накопителей потребителями на рынке электроэнергии 144

Д. В. Денисов, Г. О. Мареев

Взаимно корреляционная функция для точного восстановления гетерогенных сред 146

В. В. Морозов, А. А. Лыков

Модель «нападение-защита» с нелинейными функциями ущерба . . . 147

В. В. Морозов, А. А. Полушкин

Квантильная оптимизация портфеля в модели Орнштейна-Уленбека 148

В. В. Морозов, К. К. Узакбай

Триномиальная модель полного безарбитражного рынка двух активов 149

Секция 12. Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов 150

А. В. Абрамов, А. А. Чупахин

Построение однопроцессорного расписания с минимизацией пикового использования ресурса при помощи муравьиного алгоритма 150

В. В. Балашов, Е. А. Чехонина

Алгоритм совместного планирования вычислений и информационного обмена в многопроцессорных вычислительных системах с общей шиной передачи данных 152

О. К. Беляева, Е. П. Степанов

Разработка метода обеспечения качества сервиса транспортных потоков в сетях интернет-провайдера при помощи настройки дисциплин очередей 153

Р. Р. Зайдуллин, Р. Л. Смелянский

Система программирования ПКС коммутаторов 154

А. Д. Казантаев, А. А. Чупахин

Исследование и разработка алгоритма мультиагентного обучения с подкреплением для балансировки нагрузки в вычислительной системе 156

Я. К. Кузьмин, Д. Ю. Волканов

Исследование методов классификации пакетов на графических процессорах 157

Ю. Е. Лебединский, В. О. Писковский

Условия обеспечения непротиворечивого перестроения маршрутов в домене ПКС сети 159

А. А. Окопишников, Е. П. Степанов

Разработка алгоритма управления перегрузкой на основе прогноза состояния канала для протокола пользовательских дейтаграмм . . . 160

М. В. Порывай, А. А. Чупахин

Исследование и разработка алгоритмов решения задачи нерегулярной укладки плоских геометрических фигур 161

Д. М. Хасанов, Е. П. Степанов

Разработка многопоточного транспортного протокола, основанного на протоколе пользовательских дейтаграмм 163

П. П. Шибаетов, А. А. Чупахин

Об эффективности некоторых алгоритмов для обнаружения присутствия человека с помощью WiFi-сканирования с использованием данных RSSI 164

Секция 13. Теория вероятностей и математическая статистика . . . 166

С. А. Горбунов, А. К. Горшенин

Об обобщённом гамма-распределении в задачах анализа мобильного трафика 166

В. Ю. Королев, И. С. Макеев

Прогнозирование потоков тепла между океаном и атмосферой с помощью метода скользящего разделения смесей 167

А. А. Кудрявцев, О. В. Шестаков

О характеристиках дигамма-распределения 169

А. А. Осипова, А. К. Горшенин

О статистическом оценивании параметров динамико-стохастической модели потоков тепла между океаном и атмосферой 170

С. И. Палионная, О. В. Шестаков

Свойства оценок риска в задачах обращения линейных операторов при использовании FDR-метода множественной проверки гипотез 171

И. П. Пахненко, Т. В. Захарова

Двудипольная обратная задача магнитоэнцефалографии 172

Н. А. Пучкин, В. В. Ульянов

Улучшение асимптотических свойств критериев путем рандомизации их статистик 174

Секция 14. Оптимальное управление и дифференциальные игры . . . 175

С. Н. Аввакумов, Ю. Н. Киселёв, М. В. Орлов, С. М. Орлов

Изучение модели экономического роста с производственной функцией Кобба-Дугласа с убывающей отдачей 176

Л. А. Артемьева, А. А. Дряженков, М. М. Потапов, В. Т. Сирунян

Двухэтапный градиентный метод в задаче квадратичной минимизации с неравномерно возмущённым оператором 177

В. П. Горьков, Н. Л. Григоренко

Управление движением материальной точки в поле двух притягивающих центров 178

А. В. Дмитрук, Н. П. Осмоловский

Теорема Дубовицкого—Милютина о почти отделимости выпуклых конусов в сопряженных пространствах 179

В. И. Жуковский, Л. В. Жуковская, Л. В. Смирнова, Ю. С. Мухина

Принцип Сэвиджа и учет исхода в однокритериальной нелинейной задаче при неопределенности 180

М. С. Никольский

О задачах минимаксного управления 182

С. М. Орлов

Управление в математической модели экономической интеграции . . 183

С. П. Самсонов

Об одном классе численных методов оптимального управления . . . 184

Е. Н. Хайлов

Задача оптимального управления в модели лечения рака с помощью сочетания лекарственной и онколитической вирусной терапий . . . 185

Секция 15. Математическая кибернетика 185

Ю. С. Владимирова

О принципе сосуществования противоположностей Н.П. Брусенцова 186

Н. Ю. Куцак, В. В. Подымов

Устранение операторов прошлого в сигнальной логике 186

С. А. Ложкин, А. Ф. Павлова

Синтез асимптотически оптимальных по сложности схем в некоторых базисах с высоким уровнем защищённости от раскрытия функциональности 188

С. А. Ложкин, М. С. Шуплецов, Н. В. Пименов, М. А. Местецкий

Оценки сложности и динамической активности схем из функциональных элементов для одного класса базисов 190

Секция 16. Информационная безопасность 191

К. А. Айрапетьянц, Н. Г. Малоян

Обзор методов дифференциальной диагностики глиальных опухолей по данным динамических ПЭТ - исследований 191

М. В. Булыгин, Д. Е. Намиот

Об архитектуре программного решения для работы с транспортными данными 193

Е. А. Ильюшин, Д. А. Киржинов

Обзор и сравнительный анализ алгоритмов атак и защиты на графовые архитектуры ИНС 195

И. П. Лозинский, Е. А. Ильюшин

Обзор современных методов атак отравлением обучающих данных на
нейросетевые модели 197

П. В. Мамаев, Б. М. Нутфуллин, Е. А. Ильюшин

Обзор и сравнительный анализ алгоритмов синтеза изображений по
заданным критериям 198

А. А. Тонких, Е. Н. Строева, Е. А. Ильюшин

Исследование методов формальной верификации искусственных
нейронных сетей 200

Н. Д. Шалагин, Е. А. Ильюшин

Обзор методов и средств обучения сверхглубоких ИНС 201

Авторский указатель 204

КЛАССИФИКАЦИЯ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК ПО КАРТАМ ВОЛОКОН КРУПНОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ ВСЕЛЕННОЙ

**Герасимов Сергей Валерьевич¹, Мещеряков Александр Валерьевич²,
Васильев Семён Михайлович³**

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: gerasimov@mlab.cs.msu.su

² Институт космических исследований РАН, e-mail: mesch@cosmos.ru

³ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: vasilyev.sem@gmail.com

На больших масштабах вещество во Вселенной распределено неравномерно. Галактики группируются в гравитационно-связанные семейства различных форм: скопления, волокна и стены. Таким образом образуется паутинообразная структура, в которой элементы связаны между собой. Для поиска скоплений галактик используются наблюдения в рентгеновском (данные СРГ/ePOZITA), микроволновом (данные АСТ, SPT, PLANCK) и оптическом (данные SDSS и других обзоров) диапазонах. Базовым алгоритмом для детектирования скоплений по оптическим данным является RedMapper [1], основанный на поиске областей повышенной плотности в пространстве координат, величин и цветов на карте галактик. RedMapper не использует информацию о глобальных структурах в окрестности скоплений (видимых на карте волокон). Целью настоящей работы является исследование и разработка моделей построения крупномасштабной структуры (карты волокон) по данным спектрального обзора неба SDSS и моделей отождествления на ней скоплений галактик.

Для построения карты волокон используется алгоритм DisPerSe [2]. Этот алгоритм определяет волокна, как кривые проходящие вдоль гребней плотности распределения галактик. DisPerSe позволяет исключать из карты волокон структуры, обладающие низкой значимостью. В существующих работах (например [3]) скопления галактик отождествляются по критическим точкам найденным алгоритмом DisPerSe. В нашей работе предлагается новая модель отождествления скопления по его мере близости к волокнам на карте крупномасштабной структуры. Такой подход может лучше работать в условиях существенной неполноты построенной карты волокон.

Для тестирования модели отождествления скоплений, мы подготовили тренировочную и тестовую выборку скоплений из каталога АСТ [4]. На данных о расстоянии и значимости ближайших волокон обучается классификатор скоплений с известным положением в трехмерном пространстве (ROC-AUC: 0.91). Построенный классификатор используется моделью, решающей задачу классификации и оценки расстояния для скоплений, у которых известны только угловые координаты на небесной сфере. ROC-AUC: 0.59.

В дальнейшем планируется применить предложенную здесь модель для оптического отождествления кандидатов в скопления галактик полученных по данным рентгеновской обсерватории СРГ/ePOЗИТА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] redMaPPer. I. ALGORITHM AND SDSS DR8 CATALOG / E. S. Rykoff [и др.] // The Astrophysical Journal. – 2014.
- [2] Sousbie T. The persistent cosmic web and its filamentary structure I: Theory and implementation // arXiv preprint arXiv:1009.4015. – 2018.
- [3] Like a spider in its web: a study of the large-scale structure around the Coma cluster / N. Malavasi, N. Aghanim, H. Tanimura, V. Bonjean, M. Douspis // Astronomy & Astrophysics. – 2019.
- [4] The Atacama Cosmology Telescope: A Catalog of > 4000 Sunyaev-Zel'dovich Galaxy Clusters / M. Hilton [и др.] // arXiv preprint arXiv:2009.11043. – 2020.

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ МОДЕЛЕЙ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ В ЗАДАЧАХ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ВИДА ВРЕМЕННЫЕ ОКНА, ОБЪЕМ ГРУЗОВ И МУЛЬТИДЕПО

**Герасимов Сергей Валерьевич¹, Мещеряков Александр Валерьевич²,
Сорока Андрей Геннадьевич³**

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: gerasimov@cs.msu.su

² Институт космических исследований РАН, Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: mesch@cosmos.ru

³ Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: andrew.soroka@student.msu.ru

Задача построения и оптимизации маршрутов представляет собой класс задач комбинаторной оптимизации [1] с многочисленными практическими применениями: курьерская доставка, работа такси, логистика товаров между складами и точками продаж. Существуют инструменты, позволяющие получить субоптимальное решение для классической постановки задачи ограниченного размера (например “Google OR-Tools”). Однако, для больших задач (>500 точек) и динамических задач, в которых новые точки, требующие быстрого пересчета пути, появляются по ходу выполнения маршрута, эффективные полиномиальные алгоритмы еще не предложены.

Решением задачи построения маршрута является последовательность узлов (местоположение клиентов и складов). Глубокие модели обучения для обработки естественного языка, которые имеют дело с последовательностями, вероятно, являются идеальным выбором для обработки решений построения

маршрутов. Именно поэтому в последнее время стали популярны нейронные подходы, основанные алгоритмах внимания для решения задачи оптимизации маршрутов с ограничениями [2][3].

Применение данных моделей позволило значительно ускорить и улучшить решения задачи оптимизации для ограничений вида объем груза/временные окна или мультидепо. Отдельными и не менее важными являются попытки оптимизировать задачи больших размерностей при помощи нейронных сетей [4].

В данной работе исследована сильные и слабые стороны нейронных моделей внимания и обучения с подкреплением в рамках решения задач большой размерности (400, 1000 точек) с основными «практическими» ограничениями: объем груза, временные окна, мультидепо. По результатам исследования делается вывод о применимости предложенных подходов, но отмечается крайне высокая сложность создания рабочих моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Gutin G, Punnen A. P. (ed.). The traveling salesman problem and its variations. // Springer Science & Business Media, 2006.
- [2] Falkner J. K., Schmidt-Thieme L. Learning to solve vehicle routing problems with time windows through joint attention // arXiv preprint arXiv:2006.09100. – 2020.
- [3] Lu H., Zhang X., Yang S. A learning-based iterative method for solving vehicle routing problems // International Conference on Learning Representations. – 2019.
- [4] Li S., Yan Z., Wu C. Learning to delegate for large-scale vehicle routing //Advances in Neural Information Processing Systems. – 2021.

ОЦЕНКА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ТОНАЛЬНОСТИ ГОЛОСА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ГЛУБИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Глазкова Валентина Владимировна¹, Мударова Рамина Мухамедовна²

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: glazvv@gmail.com

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: animarosaceus@mail.ru

Речь — самый естественный способ самовыражения человека. Поэтому вполне естественно желание научить компьютеры распознавать все её информационные составляющие. Идентификация эмоционального состояния человека востребована в сфере телекоммуникаций, в индустрии развлечений, обучении, медицине и т.д.

Разработка машин, распознающих эмоциональную тональность голоса, делает общение с ними более четким и естественным. Мы определяем системы

распознавания речевых эмоций (SER) как набор методологий, которые обрабатывают и классифицируют речевые сигналы по обнаруженной эмоциональной составляющей. Задача SER все еще является сложной проблемой, несмотря на то, что она исследовалась в течение двух последних десятилетий. На данный момент точность классификации эмоций речи низкая, но, с появлением методов глубинного обучения [1], появились новые возможности для её улучшения.

В данной работе были исследованы эффективность различных алгоритмов глубинного обучения [2] (изучены и проанализированы статьи и проведены эксперименты по реализации этих методов), способы борьбы с переобучением и представления аудиозаписей [3] с целью наилучшей (с точки зрения точности) классификации речевых эмоций. В результате проделанной работы была предложена и реализована модель сверточной нейронной сети, которая показывает высокие результаты по сравнению с указанными в статьях по данной тематике. Итоговая точность классификации 8-ми эмоций составила 64,7%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Suraj T., Abhay K., Abhiram R., Chirag S., Promod Y. Deep Learning based emotion recognition system using speech features and transcriptions [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1906.05681.pdf> (дата обращения: 30.10.2020).
- [2] Danqing L., Yuexian Z., Dongyan H. Investigation on joint representation learning for robust feature extraction in Speech Emotion Recognition [Электронный ресурс]. URL: <https://tinyurl.com/2p8xusv5> (дата обращения: 18.10.2020).
- [3] Vladimir C., Pavel P. Emotion recognition from speech with recurrent neural networks [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1701.08071.pdf> (дата обращения: 18.10.2020).

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА В АУДИОДАННЫХ В ПРИЛОЖЕНИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Глазкова Валентина Владимировна¹, Попандопуло Георгий Петрович²

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: glazvv@gmail.com

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: popandopulo@yandex.ru

Автоматическое распознавание речи (ASR) — быстро развивающаяся технология, востребованная в различных областях человеческой жизни. При этом качество работы ASR системы напрямую влияет на пользовательский опыт. В рамках данной работы авторами исследовалось влияние предварительного шумоподавления аудиоданных на качество предобученных систем автоматического распознавания речи.

Подавление шума. В качестве основных моделей шумоподавления использовались модели LSSSD[1] и DCRN[2]. LSSSD представляет из себя трехкомпонентную нейронную сеть, состоящую из нескольких сверточных энкодеров и декодеров, а также рекуррентных слоев, реализованных с помощью двунаправленных LSTM. DCRN имеет архитектуру U-Net с аналогичным рекуррентным слоем. В рамках данной работы были также предложены модификации предложенных моделей: совместная модель LSSSD-DCRN и frozen LSSSD с измененным процессом обучения. Для обучения всех моделей использовались аудиозаписи с чистой речью из англоязычного датасета Edinburgh 56 speaker dataset[3] и шумы из набора данных Demand[4]. При этом тестирование моделей проводилось также и на русскоязычном корпусе OpenSTT[5]. Основной метрикой качества являлась перцептивная оценка качества речи (PESQ), дополнительно измерялись значения метрик STOI, CBAK, CSIG, COVL.

Распознавание речи. В работе применялись две предобученные (на англоязычном корпусе LibriSpeech[6] и на русскоязычном корпусе OpenSTT) модели ASR. Тестирование проводилось на данных из LibriSpeech и OpenSTT, а также на наборе Edinburgh 56 speaker dataset. При этом шумовые составляющие также брались из набора Demand. Основной метрикой качества моделей являлась частота ошибок в словах (WER), дополнительно измерялись значения метрик MER и WIL.

Результаты. По итогам проведенной работы была установлена инвариантность предложенных методов шумоподавления относительно языка, а также было установлено положительное влияние предварительного шумоподавления на качество предобученных моделей ASR. Наибольший эффект достигался при низких значениях SNR (Signal noise ratio), определяющих мощность шума относительно всего сигнала — удалось достичь уменьшения ошибок при распознавании на 20% на обоих языках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Listening to Sounds of Silence for Speech Denoising / R. Xu, R. Wu, Y. Ishiwaka, C. Vondrick, C. Zheng // arXiv:2010.12013v1, 2020.
- [2] Dual application of speech enhancement for automatic speech recognition / A. Pandey, C. Liu, Y. Wang, Y. Saraf // arXiv:2011.03840v1, 2020.
- [3] Valentini-Botinhao C. Noisy speech database for training speech enhancement algorithms and TTS models // Centre for Speech Technology Research — 2017
- [4] Joachim Thiemann, Nobutaka Ito, Emmanuel Vincent. The Diverse Environments Multi-channel Acoustic Noise Database (DEMAND): A database of multichannel environmental noise recordings // 21st International Congress on Acoustics, Acoustical Society of America, Jun 2013, Montreal, Canada.
- [5] Russian Open Speech To Text (STT/ASR) Dataset / A. Slizhikova, A. Veysov, D. Nurtdinova, D. Voronin.

- [6] LibriSpeech: an ASR corpus based on public domain audio books / V. Panayotov, G. Chen, D. Povey, S. Khudanpur // ICASSP 2015.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Горохов Олег Евгеньевич¹, Калашников Дмитрий Павлович²

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: gorokhov-oe@cs.msu.ru

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: dmkalash.mail@gmail.ru

В настоящее время всё чаще возникает задача прогнозирования временных рядов для данных, поступающих в режиме реального времени — например, при предсказании спроса на транспорт, значения котировок или числа новых заболеваний.

Помимо исторических числовых значений, зачастую доступна некоторая дополнительная информация, представленная в сложно структурированном виде: логи журналов, новостные статьи или сообщения в социальных сетях. Сложно структурированные данные зачастую можно представить в виде текста. Такие данные могут содержать ключевую для прогнозирования информацию, и они, в свою очередь, также могут поступать непрерывным потоком.

Однако на текущий момент существует крайне мало работ, использующих сложно структурированные данные для прогнозирования временных рядов. При этом существующие решения не способны качественно работать в режиме реального времени.

Как правило, для решения задачи прогнозирования временных рядов используются авторегрессионные модели, рекуррентные нейронные сети, а также нейронные сети на основе механизма внимания [1]. Для получения векторного представления текстов чаще всего используются модели мешка слов, рекуррентные сети и трансформеры [2]. Все эти семейства моделей ограничены необходимостью работы с фиксированными наборами данных. Для обработки последовательностей в реальном времени можно использовать модификации рекуррентных сетей [3] с использованием таких методов, как UORO и KF-RTRL, которые пытаются наиболее точно аппроксимировать градиенты параметров с сохранением приемлемой скорости работы алгоритма.

В данной работе был разработан подход на основе комбинации двух моделей: рекуррентной сети с использованием модификаций KF-RTRL и UORO, а также предобученного трансформера BERT для получения представлений текстов. Подход способен работать в режиме реального времени и подстраиваться под постоянно меняющиеся данные из потока.

В ходе проведенных экспериментальных исследований удалось установить, что предложенный подход позволяет гораздо более точно прогнозировать зна-

чения временного ряда по сравнению с существующими оффлайн-подходами, не использующими сложно структурированные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Modeling long-and short-term temporal patterns with deep neural networks / L. Guokun, C. Wei-Cheng, Y. Yiming., L. Hanxiao // The 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval. 2018. С. 95–104.
- [2] Attention is all you need /. A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A.N. Gomez, L. Kaiser, I. Polosukhin // Advances in neural information processing systems. 2017. С. 5998–6008.
- [3] Marschall O., Cho K., Savin C. A unified framework of online learning algorithms for training recurrent neural networks // Journal of machine learning research. 2020.

МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ПИСЕМ В ЗАДАЧЕ ФИЛЬТРАЦИИ СПАМА

Конов Михаил Алексеевич¹, Царев Дмитрий Владимирович²

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: konovma@gmail.com

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: tsarev@cs.msu.su

Спам — массовая рассылка корреспонденции лицам, не выражавшим желания её получить. Спам принимает множество форм, однако наиболее важной является задача определения почтового спама, поскольку именно он является инструментом для распространения большей части вредоносных программ [1]. Фильтрация почтового спама требует разработку алгоритмов, которые должны быть персонализированными и адаптируемыми. Как следствие, в решении данной задачи широкое распространение получили алгоритмы машинного обучения.

Электронное письмо представляется в формате MIME. С точки зрения информации, которую можно использовать для обучения моделей классификации, письмо можно разделить на 3 части: текстовые данные, нетекстовые части (аттачменты) и его иерархическая структура. В большей части исследований, посвященных фильтрации спама с использованием моделей машинного обучения, для построения пространства признаков письма используются только его текстовая часть [2, 3].

В работе был проведен анализ различных методов выделения признаков текста письма. По его результатам был выбран наилучший алгоритм векторизации текста, которым оказался алгоритм USE [4]. В качестве аттачментов из-за особенностей наиболее популярных наборов данных были взяты прикрепленные к письмам изображения. Таким образом был предложен подход получения векторного представления электронного письма путём конкатенации векторов

признаков текста и аттачмента. Для получения векторизации изображений была использована сеть MobileNetv3 [5].

Проведённые экспериментальные исследования на наборах SpamAssassin, ENRON, TREC и CEAS по метрикам Accuracy и ROC AUC показали, что предложенный подход совместного анализа текста письма и аттачментов позволяет добиться улучшения точности классификации по обеим метрикам примерно на 1% в зависимости от набора данных, а также уменьшения IQR для этих метрик примерно в 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 2020 Verizon Data Breach Investigations Report / Widup S., Hylander D., Bassett G., Langlois P., Pinto A. // 2020. P. 15
- [2] Email classification research trends: review and open issues / Mujtaba G., Shuib L., Raj R. G., Majeed N., Al-Garadi M. A. // IEEE Access. 2017. T. 5. С. 9044-9064.
- [3] A Survey of Existing E-Mail Spam Filtering Methods Considering Machine Learning Techniques / Bhuiyan H., Ashiquzzaman A., Juthi T. I., Biswas S., Ara J. // Global Journal of Computer Science and Technology. 2018.
- [4] Universal sentence encoder for English / Cer D., Yang Y., Kong S. Y., Hua N., Limtiaco N., John R. S., Kurzweil, R. // Proceedings of the 2018 conference on empirical methods in natural language processing: system demonstrations. 2018. С. 169-174.
- [5] Searching for mobilenetv3 / Howard A., Sandler M., Chu G., Chen L. C., Chen B., Tan M., Adam H. // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2019. С. 1314-1324.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Лазухин Иван Сергеевич¹, Петровский Михаил Игоревич², Машечкин
Игорь Валерьевич³

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: ivanlazuhin@mail.ru

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: michael@cs.msu.ru

³ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: mash@cs.msu.su

Актуальность. Современные технологические процессы отличаются высоким уровнем автоматизации, а также обширным наблюдением и контролем над общим состоянием системы. В данной работе рассматривается производственный комплекс, способный предоставлять ежеминутную информацию о своем состоянии, при помощи показаний сотен датчиков и контроллеров. Предоставляемого объема данных должно быть достаточно для построения

точных математических моделей множества процессов системы. Такие модели позволят лучше использовать и контролировать производственный процесс и комплекс в целом. Не смотря на это, непросто найти свежие исследования в области анализа данных, а существующие работы или фокусируются на составляющей информационной безопасности [1], или же работают с искусственными данными [2, 3].

Предметная область. Исследуемая система имеет три класса контроллеров по назначению:

- Управляющие – датчики, что задаются оператором;
- Контролируемые – характеризуют внутреннее состояние системы, факторы на которые мы оказываем прямое и косвенное воздействие (в том числе, реальные отклики управляющих переменных);
- Наблюдаемые – явления, на которые мы не можем повлиять.

Таким образом, возникает задача моделирования контролируемых и наблюдаемых переменных, с уклоном в использование разработанных подходов для оптимизации работы комплекса.

Исследование. Было рассмотрено несколько нейросетевых подходов к моделированию производственной системы, такие как полносвязная сеть (в ансамбле с градиентным бустингом), сверточные сети обработки сигналов (в том числе Wave-Net-подобные), сети на основе блоков LSTM, а так же вариации генеративных сетей. По результатам экспериментальных исследований практически для всех датчиков системы лучше всего себя зарекомендовала LSTM архитектура. Так же, были предложены подходы к построению и последующему применению для задач оптимизации для каждой исследуемой архитектуры.

Практическое применение. По стопам научного исследования был реализован демонстрационный программный стенд. В его функции входят загрузка сырых данных, их разметка на периоды обучения и оценки качества, отбор признаков и построение прогнозных моделей, их применение. В рамках оптимизационного функционала пользователю доступны поиск управления и прогноз производственного процесса в выбранные моменты времени на основе построенных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Pavel Filonov, Andrey Lavrentyev, Artem Vorontsov. Multivariate Industrial Time Series with Cyber-Attack Simulation: Fault Detection Using an LSTM-based Predictive Data Model. URL: <https://arxiv.org/abs/1612.06676>
- [2] A Neural-Network-Based Model Predictive Control of Three-Phase Inverter With an Output LC Filter / Ihab S. Mohamed, Stefano Rovetta, Ton Duc Do, Tomislav Dragicevic, Ahmed A. Zaki Diab // URL: <https://arxiv.org/abs/1902.09964>

- [3] Moshe Kravchik, Asaf Shabtai. Detecting Cyberattacks in Industrial Control Systems Using Convolutional Neural Networks. URL: <https://arxiv.org/abs/1806.08110>

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫЖИВАЕМОСТИ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ И ИХ АНСАМБЛЕЙ

**Машечкин Игорь Валерьевич, Петровский Михаил Игоревич, Васильев
Юлий Алексеевич**

Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: mash@cs.msu.ru, michael@cs.msu.ru, iuliivasilev@gmail.com

Анализ выживаемости представляет собой набор статистических моделей и методов для оценки времени и вероятности до наступления определенного события. Область имеет множество сфер применения. Например, в инженерных науках анализ выживаемости используется для решения задач анализа надежности, предполагая в качестве события сбой или отказ системы. В области здравоохранения цель состоит в том, чтобы предсказать время до смерти пациента с определенным заболеванием. В качестве события может быть выбран исход по итогу лечения пациента: смерть, рецидив, выписка.

Статистические методы требуют большого количества данных, однако полные данные могут быть недоступны. В неполных данных время до наступления события может быть неизвестно по нескольким причинам (например, событие не наступило до окончания событий или наблюдение покинуло исследование). В таком случае, события называют цензурированными.

Фундаментальная задача анализа выживаемости может быть сведена к оценке функции выживания (survival function) и функции риска (hazard function). Функция выживания определяет вероятность того, что событие наступит позже определенного времени. Функция риска определяет вероятность наступления события в конкретный момент времени.

Наиболее популярным методом в области анализа выживаемости является метод пропорциональных рисков Кокса [1]. Метод основывается на допущении, что все наблюдения имеют одинаковую форму функции риска и отличаются положительным коэффициентом пропорциональности. Однако, данный метод имеет ряд недостатков: строгие предположения, сложность зависимости времени события от предикторов, работа только на заполненных данных, независимость значимости признаков от времени.

Для избежания недостатков применяются древовидные модели машинного обучения [2], основанные на рекурсивном разбиении выборки на подвыборки с различающейся выживаемостью. Для определения различия между выборками используются log-rank критерий, учитывающий цензурирование данных.

Однако, существующие методы не обрабатывают пропуски в данных, а log-rank критерий обладает малой чувствительностью к особенностям наборов данных. В частности, важность ранних событий учитывается взвешенными log-rank критериями [3]: wilcoxon, tarone-ware, peto.

В работе были разработаны древовидные модели, основанные на взвешенных log-rank критериях и учитывающие пропуски в данных. Также разработаны беггинг и бустинг ансамбли данных моделей.

Экспериментальное исследование и оценка качества была проведена на международных наборах данных PBC, GBSG и Wuhan. Были рассмотрены метрики: concordance index, integrated brier score, integrated AUC.

В ходе проведённых экспериментальных исследований, предложенные алгоритмы позволили добиться лучшего результата по сравнению с классическими методами. Предложенные алгоритмы были реализованы в виде open-source библиотеки на языке Python 3.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Cox D. R. Regression models and life-tables //Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological). – 1972. – Т. 34. – №. 2. – С. 187-202.
- [2] Fernandez C. et al. Experimental Comparison of Semi-parametric, Parametric, and Machine Learning Models for Time-to-Event Analysis Through the Concordance Index //arXiv preprint arXiv:2003.08820. – 2020.
- [3] Lee S. H. Weighted Log-Rank Statistics for Accelerated Failure Time Model //Stats. – 2021. – Т. 4. – №. 2. – С. 348-358.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СИСТЕМНЫХ ЖУРНАЛАХ

Машечкин Игорь Валерьевич¹, Петровский Михаил Игоревич², Горохов Олег Евгеньевич³

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: mash@cs.msu.su

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: michael@cs.msu.su

³ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: gorokhov-oe@cs.msu.ru

Обнаружение аномальной работы компьютерных систем является весьма актуальным в последнее время. Это связано в первую очередь с широким распространением компьютеров в повседневной жизни. Особый интерес представляет задача обнаружения так называемых критических событий, т.е. таких состояний системы, которые сами по себе могут не являться аномальными, но приводят к деградации системы в будущем. Указанное поведение можно отследить, применяя методы процессной аналитики, заключающиеся в выделении полезной информации из данных системных журналов. Обнаружению аномалий в таких данных и посвящена данная работа.

Анализ существующих работ показывает, что содержимое системных журналов представляет собой текст. Поэтому, для решения данной задачи стоит рассматривать решение задач обнаружения аномалий в содержимом текстовых данных [1]. Отличительной особенностью данных системных журналов является дополнительное указание временной компоненты, которую необходимо так же учитывать при формировании итогового решения [2].

Наиболее эффективным при решении задач обнаружения аномалий в текстовых данных является подход, основанный на тематическом моделировании. Однако, классический подход не подразумевает обнаружение критических событий, которые сами по себе не являются аномальными.

В текущей работе предлагается рассмотреть иерархический алгоритм, основанный на алгоритме латентного размещения Дирихле, позволяющий итерационно строить тематическую модель рассматриваемого процесса, избавляясь при этом на каждом шаге от менее важных событий. Критерием важности события является результат работы алгоритмов, основанных на деревьях решений, а также на вероятностном подходе.

Для экспериментальной оценки предлагаемого подхода было произведено сравнение с классическими методами (NMF, LDA, kNN), которое показало, что предложенный подход позволяет добиться лучших результатов.

В дальнейшем планируется исследовать применимость глубинных нейронных сетей в поставленной задаче [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey // ACM Computing Surveys. 2009. Т. 41, № 3. С. 15:1–15.58.
- [2] Outlier Detection for Temporal Data: A Survey / M. Gupta, G. Gao, C. C. Aggarwal, J. Han // IEEE transactions on knowledge and data engineering. 2014. Т. 26, № 9. С. 2250–2267.
- [3] Gorokhov O., Petrovskiy M., Mashechkin I. Convolutional Neural Networks for Unsupervised Anomaly Detection in Text Data // Lecture Notes in Computer Science. 2017. № 10585. С. 500–507.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ

**Машечкин Игорь Валерьевич, Петровский Михаил Игоревич, Казачук
Мария Андреевна, Журавский Максим Игоревич**

Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail:

{mash,michael,mkazachuk}@cs.msu.ru, paperlark@icloud.com

В последние десятилетия наблюдается стабильный тренд цифровизации общества. В связи с этим наиболее важными становятся вопросы, связанные с

обеспечением безопасности информации, хранимой и обрабатываемой на ЭВМ. Одной из ключевых задач при обеспечении безопасности информации является задача аутентификации. Наиболее перспективной является динамическая аутентификация пользователей по поведенческим биометрическим признакам, в частности – по «клавиатурному почерку» – совокупности характеристик динамики работы человека с клавиатурой компьютера. Тем не менее эффективность существующих методов, основанных на использовании «клавиатурного почерка», недостаточна для их практического применения.

В работе исследуются методы динамической аутентификации пользователей по «клавиатурному почерку». Поставленная задача рассматривается как задача одноклассовой классификации. Для ее решения предлагаются подходы, основанные на использовании нейронных сетей с архитектурой «автокодировщик» и расстояния Хаусдорфа, а также собственный метод, основанный на его модификации – сумме максимальных по координатным отклонениям. Предложенные методы сравниваются с существующими методами динамической аутентификации. Тестирование методов проводилось на наборе данных из работ [1, 2]. Согласно его результатам метод, основанный на сумме максимальных по координатным отклонениям с отбором ближайших к вектору признаков тестируемого пользователя векторов признаков легитимного пользователя, превзошел по качеству работы все рассмотренные методы.

Для валидации предложенного метода, основанного на сумме максимальных по координатным отклонениям, была проведена серия экспериментов, в рамках которой исследовалась возможность применения данного метода для решения других задач одноклассовой классификации. Тестирование проводилось на открытых наборах данных Iris [3], Red Wine Quality [4], Breast Cancer Wisconsin Data Set [5] и Forest Cover Type Dataset [6]. Согласно его результатам, в рассмотренных задачах предложенный метод обладает достаточно высокой эффективностью и может успешно применяться для решения других задач одноклассовой классификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Monaco J. V., Bakelman N., Cha S. H., Tappert C. C. Developing a keystroke biometric system for continual authentication of computer users // 2012 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC). 2012. P. 210-216.
- [2] Tappert C. C., Villani M., Cha S. H. Keystroke biometric identification and authentication on long-text input // Behavioral biometrics for human identification: Intelligent applications. 2010. P. 342–367.
- [3] Fisher R. A. The use of multiple measurements in taxonomic problems // Annals of eugenics. 1936. 7. N 2. P. 179–188.
- [4] Cortez P. et al. Modeling wine preferences by data mining from physicochemical properties // In Decision Support Systems. 2009. 47. N 4. P. 547–553.

- [5] Bennett K. P., Mangasarian O. L. Robust linear programming discrimination of two linearly inseparable sets // Optimization methods and software. 1992. 1. N 1. P. 23–34.
- [6] Blackard J. A., Dean D. J. Comparative accuracies of artificial neural networks and discriminant analysis in predicting forest cover types from cartographic variables // Computers and electronics in agriculture. 1999. 24. N 3. P. 131–151.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАКТЕРИАЛЬНОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К АНТИБИОТИКАМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ

**Машечкин Игорь Валерьевич, Попов Иван Сергеевич, Казачук Мария
Андреевна, Трапезников Михаил Юрьевич**

Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: mash@cs.msu.su,
ivan@jaffar.cs.msu.su, kazachuk@mlab.cs.msu.su, s02190217@gse.cs.msu.ru

В современной клинической фармакологии особо важной является задача своевременного лечения инфекционных заболеваний, вызванных различными бактериями. Наиболее эффективным методом подбора рабочих схем лечения является способ определения антибиотикорезистентности, основанный на так называемом диско-диффузорном методе. Он основан на визуальной оценке радиусов ореолов, возникающих в чашке Петри вокруг дисков с антибиотиками, которые были помещены в специальную питательную среду, содержащую штамм обнаруженного у пациента микроорганизма. Однако, такой подход имеет ряд недостатков, связанных с возможными ошибками специалистов, которые проводят измерение радиусов ореолов резистентности. Поэтому возникает необходимость разработки автоматизированного метода определения ореолов резистентности.

Среди комплексных [1, 2] и частичных [3, 4] решений поставленной задачи представлены работающие прототипы, но их область применимости достаточно узкая, о чем упоминают авторы решений. Предлагаемый подход является усовершенствованным решением поставленной задачи с большей областью применимости. В описываемом подходе также имеется возможность определения контаминированных проб на изображениях - формирование различных ореолов вокруг одного диска вследствие смешения различных бактерий в одной чашке Петри - один из видов дефектов.

Решение состоит из модулей, выполняющих независимые задачи. Таковыми являются: модуль определения дисков на изображении - в своей основе совместное использование градиентного алгоритма Canny и преобразование Хаффа; модуль определения названия и дозы антибиотика по изображению -

основан на программном решении tesseract [5], использующем нейросетевые архитектуры; модуль определения диаметра ореола резистентности вокруг данного диска - вычисление средних значений яркостей пикселей изображения, полученного после специализированной предобработки, для определения искомого диаметра. Итоговые значения точности работы прототипа составили $accuracy = 94\%$, $roc_auc = 90\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Pascucci, M., Royer, G., Adamek, J. et al. AI-based mobile application to fight antibiotic resistance. Nat Commun 12, 1173 (2021). URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21187-3>.
- [2] B. Keerthi Priya, D. Akhila Reddy, A. Daisy Rani et al. Automatic Inhibition Zone Diameter Measurement for Disc Diffusion Test Using Image Segmentation // In: 2021 IETE Journal of Research. URL: <https://doi.org/10.1080/03772063.2021.1969293>.
- [3] C.A. Alonso, C. Domínguez, J. Heras, E. Mata, V. Pascual, C. Torres, M. Zarazaga, Antibioqramj: A tool for analysing images from disk diffusion tests, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Volume 143, 2017, Pages 159-169, ISSN 0169-2607, URL: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.03.010>.
- [4] A. Diab et al., "Automatic reading and interpretation of an antibiogram," 2017 Fourth International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME), 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICABME.2017.8167558.
- [5] Официальная документация tesseract [Электронный ресурс]. URL: <https://tesseract-ocr.github.io>.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ КОЛОНИЙ БАКТЕРИЙ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯХ

**Машечкин Игорь Валерьевич, Попов Иван Сергеевич, Казачук Мария
Андреевна, Фазылов Рамазан Рамилевич**

Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: mash@cs.msu.ru,
ivan@jaffar.cs.msu.su, mkazachuk@cs.msu.ru, ramazankrow@gmail.com

На сегодняшний день актуальной задачей в области медицины является задача оперативного обнаружения в организме человека вредоносных бактерий. Одним из наиболее распространенных методов решения данной задачи является засев фрагментов биоматериала человека в чашку Петри с питательной средой и дальнейшее наблюдение за данной чашкой, а также исследование выросших колоний бактерий на масс-спектрометре. Сейчас к этой задаче могут

привлекаться как лаборанты, так и высококвалифицированные специалисты. Однако ручное распознавание требует большого количества ценного времени, а также не исключает ошибок, связанных с человеческим фактором. Появляется необходимость в том, чтобы автоматизировать данный процесс с помощью применения методов машинного обучения и компьютерного зрения для сегментации и распознавания колоний бактерий на изображениях чашек Петри.

Было проведено исследование существующих современных моделей [1, 2, 3] обнаружения колоний бактерий на фотоизображениях на предоставленном ГKB №67 г. Москвы наборе данных. Было получено, что качество работы таких моделей на данном наборе данных недостаточно высокое (точность порядка 60%) и они не могут использоваться на практике.

В данной работе предложен метод сегментации колоний бактерий, основанный на бинаризации с помощью анализа гистограммы распределения пикселей. Предложенный метод демонстрирует значительно более высокое качество работы (точность работы порядка 80%) и может использоваться в современных медицинских лабораториях. Дальнейшим этапом исследований является разработка алгоритмов классификации бактерий в найденных сегментах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Shamash M., Maurice C. F. OnePetri: accelerating common bacteriophage Petri dish assays with computer vision // PHAGE. – 2021. – Т. 2. – №. 4. – С. 224-231.
- [2] Torelli A. et al. AutoCellSeg: robust automatic colony forming unit (CFU)/cell analysis using adaptive image segmentation and easy-to-use post-editing techniques // Scientific reports. – 2018. – Т. 8. – №. 1. – С. 1-10.
- [3] Girshick R. et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2014. – С. 580-587.

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗМЕТКИ ДЕЙСТВИЙ ЛЮДЕЙ НА ВИДЕО ПО НЕСКОЛЬКИМ ПРИМЕРАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

**Мещеряков Александр Валерьевич¹, Герасимов Сергей Валерьевич²,
Димитриенко Александр Юрьевич³**

¹ Институт космических исследований РАН, e-mail: mesch@cosmos.ru

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: sergun@gmail.com

³ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: aleksander.dimit@gmail.com

Распознавание действий людей в видео – актуальная задача, решение которой необходимо во многих реальных системах, в частности в системах видеонаблюдения. Основываясь на данных из таких систем, исследователи

могут создавать многочисленные прикладные решения по анализу видео. Создание таких систем в последнее время основано на применении глубокого обучения, которое требует большого числа размеченных данных. При этом в каждой новой задаче могут появляться не только новые видео, но и новые классы действий, в связи с чем крайне актуальна технология, позволяющая автоматически размечать в видео все действия того же класса по некоторому числу вручную размеченных примеров.

Разметка действий людей на видео состоит из следующих этапов – детектирование человека, определение его траектории и временных рамок действия, классификация действия [1]. Одним из основных методов детектирования объектов в видео, в том числе людей, является YOLO [2] в его различных модификациях. Для решения задачи трекинга объектов распространено применение модели SORT [3], которая объединяет последовательности окружающих объект рамок с возможными пропусками в единую последовательность - действие. В последнее время для классификации видео используется архитектура трансформера [4] на основе механизма внимания, пришедшая из обработки естественных языков. Её преимуществом является сокращение времени обучения относительно свёрточных подходов при сохранении качества.

В данной работе предложен подход с переносом обучения классификатора с набора данных Kinetics-600 [5]. Благодаря разнообразию классов и количеству примеров модели классификации достаточно обучиться лишь на нескольких примерах новых классов, что продемонстрировано на датасете VIRAT [6]. На легко различимых классах модели достаточно по 1 примеру каждого нового действия. Построенная последовательность из моделей детектирования и трекинга подаёт на вход модели трансформера клипы, ограниченные по времени и вырезанные по размерам окружающих рамок людей. Вся реализованная технология разметки действий демонстрирует возможность распознавания множества действий людей при минимизации ручной разметки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] A Novel Approach for Robust Multi Human Action Recognition and Summarization based on 3D Convolutional Neural Networks / Almaadeed N., Elharrouss O., Al-Maadeed S., Bouridane A., Beghdadi A. // arXiv e-prints. 2021. arXiv:1907.11272
- [2] Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv e-prints. 2018. arXiv:1804.02767
- [3] Wojke N., Bewley A., Paulus D. Simple Online And Realtime Tracking With A Deep Association Metric // arXiv e-prints. 2017. arXiv:1703.07402
- [4] Bertasius G., Wang H., Torresani L. Is Space-Time Attention All You Need for Video Understanding? // arXiv e-prints. 2021. arXiv:2102.05095

- [5] The Kinetics Human Action Video Dataset / Kay W., Carreira J., Simonyan K., Zhang B., Hillier C., Vijayanarasimhan S., Viola F., Green T., Back T., Natsev P., Suleyman M., Zisserman A. // arXiv e-prints. 2017. arXiv:1705.06950
- [6] A Large-scale Benchmark Dataset for Event Recognition in Surveillance Video / Oh S., Hoogs A., Perera A., Cuntoor N., Chen C., Lee J. L., Mukherjee S., Aggarwal J. K., Lee H., Davis L., Swears E., Wang X., Ji Q., Reddy K., Shah M., Vondrick C., Pirsiavash H., Ramanan D., Yuen J., Torralba A., Song B., Fong A., Roy-Chowdhury A., Desai M. // Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition. 2011. P. 3153-3160

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТРАНЗИЕНТОВ СРГ/ЕРОЗИТА

**Мещеряков Александр Валерьевич¹, Герасимов Сергей Валерьевич²,
Кривонос Роман Александрович³, Губанов Федор Дмитриевич⁴**

¹ Институт космических исследований РАН, e-mail: mesch@cosmos.ru

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: gerasimov@mlab.cs.msu.su

³ Институт космических исследований РАН, e-mail: krivonos@cosmos.ru

⁴ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: fgubanov1533@gmail.com

С 2019 года в рамках Федеральной космической программы России совместно с Германией проводится уникальный по чувствительности обзор Вселенной в рентгеновском диапазоне, состоящий, на данный момент, из 8 сканов всего неба [1]. Эксперты ИКИ РАН занимаются поиском уникальных объектов среди рентгеновских источников «СРГ/ЕРОЗИТА», вспыхнувших только в одном из сканов (т.н. транзиентов). В процессе анализа данных выполняется предварительная классификация транзиентов путем ручного сопоставления данных из многоволновых обзоров неба. Ручная разметка транзиентов, в настоящее время, позволяет классифицировать только малую часть (порядка 200 объектов) из десятков тысяч потенциально интересных событий. Целью данной работы было создание системы для полуавтоматической классификации транзиентов «СРГ/ЕРОЗИТА», которая позволит значительно повысить эффективность работы экспертов и увеличить объем анализируемых данных.

Система должна соответствовать определенным требованиям: сохранность вводимых экспертами данных, обеспечение проприетарности научных данных исследования, а также удобный для использования экспертами интерфейс. В результате обзора существующих инструментов разметки данных было принято решение создать собственное решение с нуля, которое будет полностью отвечать вышеописанным требованиям. В процессе работы мы столкнулись со сложностями в создании схемы базы данных отражающей связи между анализируемыми источниками, а также в визуализации мультидоменных данных

рентгеновских и оптических обзоров. Наше решение разрабатывалось на базе веб-фреймворка Django и СУБД SQLite.

Реализован прототип системы для полуавтоматической классификации транзиентов «СРГ/еРОЗИТА». На данный момент прототип тестируется экспертами ИКИ РАН. Для автоматизации классификации используются предопределенные фильтры, на основе которых выставляются предварительный класс транзиента. В дальнейшем планируется интеграция моделей машинного обучения в целях усовершенствования автоматической разметки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] First tidal disruption events discovered by SRG/eROSITA: X-ray/optical properties and X-ray luminosity function at $z < 0.6$ / Sazonov S. Gilfanov M. Medvedev P. et al.// Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2021. T. 508, P. 3820–3847

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОБНАРУЖЕНИЮ АНОМАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ЗАДАЧЕ ВЫЯВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ УГРОЗ

Царёв Дмитрий Владимирович¹, Калякина Алина Дмитриевна²

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: tsarev@cs.msu.su

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: alinka.kalyakina@yandex.ru

Внутренняя угроза — вредоносная для компании угроза, исходящая от человека, имеющего доступ к конфиденциальной информации внутри компании. По данным Ponemon[1] количество подобных инцидентов увеличилось на 44% за два последних года, а суммарный ущерб составил 15 600 000 \$.

В текущей работе задача обнаружения внутренних угроз рассматривается как задача выявления аномального поведения пользователей. Популярный способ поиска аномалий — обучить некоторую модель поведению нормальных объектов, затем в качестве меры аномальности использовать функцию потерь этой модели. Исследованные нами подходы используют эту идею.

В первом подходе основная модель — трансформер, похожий на state-of-art модель BERT[2]. Сначала мы обучили модель решать задачу восстановления замаскированных действий и задачу классификации, одному ли пользователю принадлежат переданные последовательности поведения. Затем провели тонкую настройку на классификацию последовательностей на принадлежность пользователям. В качестве меры аномальности использовалась функция потерь этого классификатора. Во втором подходе основная модель — LSTM-автокодировщик. Такую архитектуру использовали авторы в [3] и показали, что разделение пользователей на непересекающиеся сообщества методом Лувена и поиск аномалий внутри сообществ повышает эффективность обнаружения.

Мы исследовали использование алгоритма Жидких Сообществ для разделения пользователей на непересекающиеся сообщества. Он выделяет задаваемое количество сообществ, что позволяет масштабировать решение. Также удалось уменьшить время обучения и тестирования за счет обучения одной модели для сообщества пользователей вместо отдельной модели для каждого пользователя.

При проведении экспериментов на самом популярном и реалистичном на данный момент наборе данных CERT 6.2 было показано, что оба подхода имеют приблизительно одинаковое качество, однако первый намного сложнее в реализации и обучении. Предложенные модификации второго подхода позволяют сократить количество обучаемых моделей без потери качества, а алгоритм Жидких Сообществ находит более подходящее для обнаружения аномалий разбиение пользователей на непересекающиеся сообщества по сравнению с работой [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 2022 Ponemon Cost of Insider Threats Global Report. Executor: Ponemon Institute. New York NY : 2022
- [2] BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, Kristina Toutanova // Proceedings of NAACL-HLT 2019, pages 4171–4186 Minneapolis, Minnesota, June 2 - June 7, 2019
- [3] Paul Sudipta, Mishra Subhankar. LAC: LSTM AUTOENCODER with Community for Insider Threat Detection // 3rd ICIST 2020, Tokyo, Japan.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ АВТОЭНКОДЕРОВ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО АННОТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ

Царёв Дмитрий Владимирович¹, Сивцов Данил Тимофеевич²

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: tsarev@cs.msu.ru

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: sivtsovdt@gmail.com

В рамках данного исследования была поставлена цель разработать алгоритм автоматической аннотации почтовых переписок, который бы позволял отображать лишь краткую (около 100 слов) аннотацию всей переписки, при этом делал это персонализировано и поддерживал работу сразу с несколькими языками. Поставлена задача экстрактивного аннотирования, подразумевающая составление аннотации из предложений исходного текста.

Обычно в задачах аналогичных данной применяются простые модели на основе матричных алгоритмов, например SVD и NMF разложений. Данные методы формируют скрытое пространство тематик, а ранг вычисляется по весам тематик в представлении предложений.

В работе исследована возможность использования нейронных сетей и комбинаций их с классическими алгоритмами с целью улучшения качества аннотирования и персонализации. Для получения модели представления сравнивались алгоритмы частотной оценки встречаемости слов и N-грамм, а также алгоритмы на основе архитектуры трансформера - различных вариаций архитектуры BERT [1], обученных на мультязычных корпусах текстов. Для ранжирования предложений было предложено использовать автоэнкодер архитектуры Variational autoencoder [2]. Ранг предложения в таком подходе рассчитывается как отрицание ошибки восстановления модели. Данная модель основана на аналогичной с классическими подходами идеи с получением скрытого представления, что происходит за счет снижения размерности в центральных слоях нейронной сети.

В проведенных экспериментальных исследованиях использовались два корпуса текстов: набор аннотированных почтовых переписок BC3, а также набор аннотированных статей CNN/Daily Mail. Качество модели оценивалось по метрикам семейства ROUGE [3], вычисляющих оценку по перекрытиям некоторых объектов (например N-грамм, слов или пар слов) в исходном тексте и аннотации. Предложенная модель на основе BERT и Variational autoencoder показала лучшие результаты чем классические алгоритмы, даже при использовании в них модели представления BERT.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. // Association for Computational Linguistics, 2019.
- [2] Kingma D. P., Welling M. Auto-encoding variational bayes // arXiv preprint arXiv:1312.6114. – 2013.
- [3] Ch.-Y. Lin. ROUGE: A Package for Automatic Evaluation of Summaries. // Text Summarization Branches Out, pages 74–81, Barcelona, Spain. Association for Computational Linguistics.

ТЕОРЕМА О РАВНОСТАБИЛИЗАЦИИ СРЕДНИХ ОТ РЕШЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Денисов Василий Николаевич

Кафедра общей математики, e-mail: vdenisov2008@yandex.ru

В полупространстве $[t > 0] = [x \in E^N, t > 0]$ рассмотрим задачу Коши для параболического уравнения

$$\frac{\partial u}{\partial t} = Lu \text{ в } [t > 0], \quad (1)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), x \in E^N, \quad (2)$$

где Lu имеет вид

$$Lu = \sum_{k,l=1}^N \frac{\partial}{\partial x_k} \left(a_{kl}(x) \frac{\partial u}{\partial x_l} \right).$$

Предполагается, что $a_{kl} = a_{lk}$, $k, l = 1, \dots, N$ и выполнено условие равномерной параболичности [1], [2].

$$\lambda^{-1} |\xi|^2 \leq \sum_{k,l=1}^N a_{kl}(x) \xi_k \xi_l \leq \lambda |\xi|^2$$

для всех x, ξ из E^N . Далее будем предполагать, что функция $u_0(x)$ из класса $C(E^N)$, и выполнено условие

$$|u_0(x)| \leq M(1 + |x|^m), m > 0, M > 0. \quad (3)$$

Будем говорить, что решение $u(x, t)$ задачи (1), (2) имеет в точке x средние Чезаро порядка $\alpha > 0$ по t , если существует предел

$$\lim_{t \rightarrow \infty} S(u; x, t, \alpha) \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\alpha + 1}{t} \int_0^t \left(1 - \frac{\tau}{t}\right)^\alpha u(x, \tau) d\tau = A(x). \quad (4)$$

Будем говорить, что решение $u(x, t)$ задачи (1), (2) имеет в точке x средние Абеля по t , если существует предел

$$\lim_{t \rightarrow \infty} A(u; x, t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_0^\infty e^{-\frac{\tau}{t}} u(x, \tau) d\tau = A(x). \quad (5)$$

Теорема 1. Пусть $u_0(x) \in E^N$, и выполнено условие (3), и пусть $\alpha(t)$ - монотонно возрастающая при $t \rightarrow \infty$ функция, такая, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t^m}{\alpha(t)} = 1.$$

Тогда для разности средних Абеля (5) и средних Чезаро (4) при $\alpha = \alpha(t)$

$$I = [A(u; x, t) - S(u; x, t, \alpha(t))]$$

имеет место оценка

$$|I| \leq C/t^{m/2} \rightarrow 0, t \rightarrow \infty,$$

равномерная по x на каждом компакте K в E^N .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Фридман А. Ф. Уравнения с частными производными параболического типа // М.: Мир, 1968.
- [2] Денисов В. Н. О стабилизации средних по времени от решения задачи Коши для параболического уравнения // Дифференц. уравнения. 1998. Т. 24, № 1, С. 44–54.

КЛАССИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

Зайцева Наталья Владимировна

Кафедра общей математики, e-mail: zaitseva@cs.msu.ru

Рассмотрим в полупространстве $\{(x, t) | x \in \mathbb{R}^n, t > 0\}$ следующие гиперболические уравнения:

$$u_{tt}(x, t) = a^2 \sum_{j=1}^n u_{x_j x_j}(x, t) + \sum_{j=1}^n b_j u_{x_j x_j}(x_1, \dots, x_{j-1}, x_j - h_j, x_{j+1}, \dots, x_n, t),$$
$$u_{tt}(x, t) = c^2 \sum_{j=1}^n u_{x_j x_j}(x, t) - \sum_{j=1}^n d_j u(x_1, \dots, x_{j-1}, x_j - l_j, x_{j+1}, \dots, x_n, t).$$

Все коэффициенты и сдвиги в уравнениях — заданные вещественные числа. Никакие условия соизмеримости на сдвиги не накладываются.

Решения уравнений построены с помощью классической операционной схемы и некоторых идей работ [1, 2, 3]. Доказаны теоремы о том, что если вещественная часть символов дифференциально-разностных операторов по пространственной переменной, входящих в уравнения, положительна, то построенные решения являются классическими. Подробные результаты исследования опубликованы в работе [4].

Автор выражает благодарность А. Б. Муравнику за постановку задачи и ценные советы, профессору А. Л. Скубачевскому за постоянное внимание к работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Муравник А. Б. Эллиптические дифференциально-разностные уравнения в полупространстве // Математические заметки. 2020. Т. 108, Вып. 5. С. 764–770.
- [2] Муравник А. Б. Эллиптические дифференциально-разностные уравнения с разнонаправленными сдвигами в полупространстве // Уфимский математический журнал. 2021. Т. 13, № 3. С. 107–115.
- [3] Муравник А. Б. Эллиптические дифференциально-разностные уравнения общего вида в полупространстве. 2021. Т. 110, Вып. 1. С. 90–98.
- [4] Zaitseva N. V. Classical solutions of hyperbolic differential-difference equations in a half-space // Differential Equations. 2021. Vol. 57, № 12. С. 1629–1639.

ПРОБЛЕМА ПУАНКАРЕ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Коровина Мария Викторовна

Кафедра общей математики, e-mail: betelgeuser@yandex.ru

Целью исследования являются уравнения с голоморфными коэффициентами

$$a_n(x) \left(\frac{d}{dx}\right)^n u(x) + a_{n-1}(x) \left(\frac{d}{dx}\right)^{n-1} u(x) + \dots + a_i(x) \left(\frac{d}{dx}\right)^i u(x) + \dots a_0(x) u(x) = 0 \quad (1)$$

Здесь $a_i(x)$, $i = 0, \dots, n$ – голоморфные функции. Пусть коэффициент $a_n(x)$ обращается в ноль в окрестности некоторой точки, без ограничения общности будем считать что эта точка ноль. Задача состоит в построении равномерных асимптотик решений в окрестности этой точки, которая вообще говоря является особой.

В работе [1] показано, что уравнение (1) может быть приведено к виду

$$H \left(r, -r^{k+1} \frac{d}{dr} \right) u = 0 \quad (2)$$

где

$$H \left(r, -r^{k+1} \frac{d}{dr} \right) = \left(-r^{k+1} \frac{d}{dr} \right)^n + \sum_{i=0}^{n-1} \tilde{a}_i(r) \left(-r^{k+1} \frac{d}{dr} \right)^i$$

Здесь $k = -1, 0, 1, 2, \dots$, через $\tilde{a}_i(r)$ обозначены соответствующие голоморфные функции. В работе [1] найдено минимальное значение k . Будем считать, что именно оно выбрано в представлении (2). Если $k = -1$, то решение уравнения является регулярным, и точка ноль является неособой точкой, если $k = 0$, то такое вырождение называется коническим, а уравнение является уравнением фуксова типа. Асимптотика является конормальной, а именно имеет вид $\sum_{j=1}^m r^{\sigma_j} \ln^j r \sum_{i=0}^{\infty} a_i^j r^i$. Здесь a_i^j – некоторые числа, $\sum_{i=0}^{\infty} a_i^j r^i$ – сходящийся ряд.

Когда $k > 0$, то вырождение в (2) называется вырождением типа клюва порядка $k+1$. Это случай иррегулярной особенности. Проблема сформулированная Пуанкаре и состоит в построении равномерных асимптотик решений уравнений с голоморфными коэффициентами в окрестности иррегулярных особых точек [2, 3].

При $k \in \mathbb{N}$ основным символом оператора $H \left(r, -\frac{1}{k} r^{k+1} \frac{d}{dr} \right)$ называется полином $H_0(p) = H(0, p)$. Обозначим через p_i корни многочлена $H_0(p)$ и через ν_i – их кратности.

Теорема. Асимптотики любого из решений уравнения (1) представимы в виде асимптотических слагаемых, каждое из которых соответствует i -му корню основного символа кратности ν_i

$$u_i \approx \exp \left(P_i \left(r^{-\frac{1}{l_i}} \right) \right) \sum_{j=1}^{m_i} r^{\sigma_j^i} \ln^j r \sum_{l=0}^{\infty} a_l^i r^l \quad (3)$$

Здесь $l_i \leq \nu_i$, $P_i(x) = M_i x^{k_i} + \dots + M_1 x$ — полином $k_i \leq k$, через m_i, σ_j^i, a_l^i обозначены соответствующие константы, $\sum_{l=0}^{\infty} a_l^i r^l$ — степенные ряды, вообще говоря асимптотические.

Для вычисления констант в асимптотическом представлении (3) применяется метод повторного квантования и методы изложенные в работах [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кац Д. С. Вычисление асимптотик решений уравнений с полиномиальными вырождениями коэффициентов // Дифф. уравнения. 2015. Т. 51, № 12. С. 1612–1617
- [2] Poincare H. Sur les integrales irregulieres des equations lineaires // Acta math. 1886, v. 8, p. 295–344.
- [3] Пуанкаре. Избранные труды в трех томах. Том 3. Математика. Теоретическая физика. Анализ математических и естественных работ Анри Пуанкаре. Изд-во наука 1974.
- [4] Коровина М. В. Метод повторного квантования и его применения к построению асимптотик решений уравнений с вырождением // Дифф. уравнения 2016. Т. 52, № 1. С. 60–77.
- [5] Коровина. М. В. Асимптотики решений уравнений с высшими вырождениями // Дифф. уравнения 2012. Т. 48, № 5. С. 710–722.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ОДНОМЕРНОЕ УРАВНЕНИЕ ДИРАКА

Савчук Артем Маркович¹, Садовничая Инна Викторовна²

¹ Кафедра фундаментальной и прикладной математики, e-mail: savchuk@cosmos.msu.ru

² Кафедра общей математики, e-mail: ivsad@yandex.ru

Пусть

$$\mathcal{L}y = By' + P(x)y,$$

$$\text{где } B = \begin{pmatrix} -i & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}, \quad P(x) = \begin{pmatrix} p_1(x) & p_2(x) \\ p_3(x) & p_4(x) \end{pmatrix}, \quad y = \begin{pmatrix} y_1(x) \\ y_2(x) \end{pmatrix},$$

$x \in [0, \pi]$, — дифференциальное выражение, порождающее вместе с краевыми условиями U в пространстве $\mathbb{H} = (L_2[0, \pi])^2$ одномерный оператор Дирака.

$P(x)$ — комплекснозначная матрица, $p_j \in L_1[0, \pi]$. Рассматриваются краевые условия вида

$$Uy = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} \\ u_{21} & u_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1(0) \\ y_2(0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{13} & u_{14} \\ u_{23} & u_{24} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1(\pi) \\ y_2(\pi) \end{pmatrix} = 0,$$

регулярные по Биркгофу: $J_{14} \cdot J_{23} \neq 0$. Оператор Дирака $\mathcal{L}_{P,U}$ определен на области

$$\mathfrak{D}(\mathcal{L}) = \{y \in W_1^1[0, \pi] : \mathcal{L}y \in \mathbb{H}, Uy = 0\}.$$

Результаты можно эквивалентным образом сформулировать на языке параболических уравнений. Рассмотрим уравнение

$$u'_t = Bu'_x + P(x)u, \quad u = \begin{pmatrix} u_1(x, t) \\ u_2(x, t) \end{pmatrix}, \quad x \in [0, \pi], \quad t \in \mathbb{R},$$

$$B = \begin{pmatrix} -i & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}, \quad P(x) = \begin{pmatrix} p_1(x) & p_2(x) \\ p_3(x) & p_4(x) \end{pmatrix}, \quad p_j(\cdot) \in L_1[0, \pi],$$

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad U(u) = 0, \quad u(\cdot, t) \in C(\mathbb{R}, X),$$

где краевые условия U регулярны по Биркгофу. В качестве пространства X мы будем рассматривать $\mathbb{H}, \mathbb{H}_U^\theta, (L_\mu[0, \pi])^2, \mu \in [1, \infty]$.

Теорема 1. Для любой функции $u_0 \in X$ решение $u(x, t)$ существует и единственно в пространстве $C(\mathbb{R}, X)$; кроме того, для случая $X = \mathbb{H}_U^\theta$

$$\|u(\cdot, t)\|_X \leq C(1 + |t|^p)e^{\beta|t|}\|u_0\|_X, \quad \text{где} \quad \beta = \sup_{\lambda \in \sigma(\mathcal{L}_{P,U})} |\Im \lambda|,$$

а оценки неулучшаемы; для случая $X = (L_\mu[0, \pi])^2, \mu \in [1, 2) \cup (2, \infty]$, в качестве β можно взять

$$\sup_{\lambda \in \sigma(\mathcal{L}_{P,U})} |\Im \lambda| + 16M \ln 4, \quad \text{где} \quad M = \inf\{\|P_\infty\|_{L_\infty} : P_\infty \in L_\infty, \|P - P_\infty\|_{L_1} < 1/8\}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Савчук А. М., Садовническая И. В. О существовании операторной группы, порожденной одномерным оператором Дирака // Труды ММО. 2019. Т. 80. № 2. С. 275–294.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕПАРАТРИСЫ В ТОКАМАКЕ Т-15МД

Зотов Игорь Викторович¹, Вертелецкий Никита Вячеславович²

¹ Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: iv-zotov@cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: s02160027@gse.cs.msu.ru

В настоящее время идет подготовка к физическому пуску токамака Т-15МД. На данной установке планируется формирование плазменной конфигурации с

вытянутым сечением, ограниченным сепаратрисой. Сепаратриса предназначена для работы полоидального дивертора - устройства для вывода горячих частиц и продуктов реакции из плазмы. Для разработки различных режимов работы дивертора требуется устойчивое и надежное определение положения сепаратрисы внутри камеры. В качестве исходных данных для решения такой обратной задачи используются результаты электромагнитных измерений. В связи с этим требуется разработка вычислительных алгоритмов решения задачи, устойчивых к погрешности измерений.

В данной работе приводятся результаты численного моделирования восстановления сепаратрисной поверхности в режиме квазиреального эксперимента. Решается прямая задача равновесия тороидальной плазмы во внешнем поле, создаваемом системой полоидальных проводников. На основе этого решения рассчитываются данные измерений на электромагнитных датчиках и решается обратная задача. Исследование проводится для двух постановок обратной задачи - в случае известного поля полоидальных проводников, и в случае, когда оно неизвестно. Приводятся результаты сравнения восстановления сепаратрисы в обоих случаях.

Моделирование проводится на основе разработанных ранее программ - RPB и TOKSCEN [1-2], включенных в состав единой программной среды, предназначенной для численного сопровождения эксперимента на установках токамак [3].

Работа поддержана грантом РФФИ № 20-07-00391.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Zotov I.V., Vysotsky L.I. High performance version of RPB code for determination of the plasma boundary in tokamak based on graphic processors – Journal of Physics: Conference Series, , 2019, v. 1383, p.012010.
- [2] Sadykov A.D. , Sychugov D.Yu., Shapovalov G.V., Chektybaev B.Zh., Skakov M.K. and Gasilov N.A. The numerical code TOKSCEN for modeling plasma evolution in tokamaks – Nuclear Fusion, v. 55, Number 4, 55 43017
- [3] Zhilkin A.S., Sychugov D.Yu., Vysotsky L.I., Zotov I.V., Soloviev S.Yu. and Sadykov A.D. New open computational resource for plasma processes modeling – Journal of Physics: Conference Series, , 2021, v. 1730, p.012048.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Измайлов Михаил Борисович¹, Шишкин Алексей Геннадьевич²

¹ Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: mizmaylovvv@gmail.com

² Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: shishkin@cs.msu.ru

В последние несколько лет графовые нейронные сети (graph neural network, GNN) благодаря своей способности обрабатывать структурированные данные

и анализировать большие объемы информации стали одним из основных подходов при разработке различных рекомендательных систем. Однако, большое разнообразие требующихся в практических задачах рекомендательных систем, приводит к необходимости создания систем, имеющих свои особенности реализации в каждом конкретном случае [1].

В данной работе разработана рекомендательная система, основу которой составляет графовая нейронная сеть. Исследование основывается на фреймворке Apache Spark [2] и одном из методов обхода графа, а именно, поиске в ширину (breadth-first search, BFS) [3].

Для построения рекомендательной системы использовался известный набор данных Yelp [4], включающий в себя информацию о различных ресторанах, барах, салонах красоты, стоматологических кабинетах и др. и их клиентах, а также отзывы посетителей этих заведений. Сеть Yelp на текущий момент охватывает 30 стран и содержит большой объем сведений.

Для создания модели данные были загружены в Spark для их обработки и дальнейшего анализа на основе запросов SQL. Apache Spark представляет собой сложную кластерную систему обработки данных, реализованную на Scala. В качестве следующего шага был реализован граф «Клиент-Компания» и применен алгоритм BFS для построения рекомендаций. Для построения графа была написана модель, для которой на вход подавались три переменные: неориентированный граф (датафрейм, лежащий в Spark); клиенты, для которых требуется найти рекомендации, а также глубина графа. Выходом модели являлись данные вида Узел - Расстояние, где расстояние — кратчайшая глубина от исходных узлов. В качестве эксперимента был собран граф, содержащий 1336003 узлов, 5273700 ребер с глубиной равной 3. В результате были получены данные вида пользователь - рейтинг ресторана - количество просмотров ресторана. В качестве последнего шага было найдено кратчайшее расстояние (наименьшее количество ресторанов между пользователями).

В результате выполнения вышеперечисленных шагов на основе фреймворка Spark и алгоритма на графах BFS была построена система, рекомендуемая пользователю посетить определенные рестораны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Chen Gao, Yu Zheng, Nian Li, Yinfeng Li. Graph Neural Networks for Recommender Systems: Challenges, Methods, and Directions // Proceedings of the Fifteenth ACM International Conference on Web Search and Data Mining, February 2022, Pp. 1623–1625.
- [2] <http://spark.apache.org/docs/latest/sql-programming-guide.html>
- [3] <https://www.hackerearth.com/practice/algorithms/graphs/breadth-first-search/tutorial/>
- [4] <https://www.yelp.com/dataset>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКИ

Попов Александр Михайлович

Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: popov@cs.msu.ru

Работа посвящена использованию диффузионного метода Монте-Карло и метода Parallel Tempering для изучения пространственных структур протеинов в задачах молекулярной биологии [1]. Метод основан на решении уравнения Шредингера в мнимом времени через функцию источника и представлении ее в виде интеграла по траектории:

$$G(x, t|x_0, 0) = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{m}{2\pi\hbar\tau} \right)^{\frac{N}{2}} \exp \left\{ - \sum_{j=N}^N \left[\frac{m}{2\pi\tau} (x_j - x_{j-1})^2 + \frac{V(x_j) - E_R}{\hbar} \tau \right] \right\} dx_1 dx_2 \cdots dx_{N-1}$$

Волновая функция может быть записана в виде:

$$\Psi(x, t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\prod_{j=0}^{N-1} dx_j \right) \prod_{n=1}^N W(x_N) \cdot P(x_n, x_{n-1}) \cdot \Psi(x_0, 0)$$

Функцию $P(x_n, x_{n-1})$ можно рассматривать как гауссовскую плотность вероятности для случайной переменной x_n со средним равным x_{n-1} и дисперсией $\sigma = \sqrt{\frac{\hbar|\tau|}{m}}$. $W(x_n)$ — весовая функция, зависящая от потенциальной энергии.

Проведено моделирование пространственной структуры протеинов на основе эмпирических потенциалов парного взаимодействия частиц методом Parallel Tempering. В работе был использован простой метод расположения реплик по одной на процессоре. Этот вариант подвергся незначительной модификации: использовалось $2, 5M + 1$ процессоров, где M — количество реплик (или температур). Один процессор выделен для определения минимальной энергии среди систем, M процессоров работают непосредственно с M — репликами (каждому процессору соответствует «своя» температура), $\frac{M}{2}$ процессоров отвечают за управление «глобальными» изменениями, еще M процессоров работают в качестве буферов обмена данными для обмена реплик. Для многомерных квантовых задач метод Parallel Tempering является основным универсальным методом, позволяющим находить возбужденные состояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Попов А.М. Вычислительные нанотехнологии: учебное пособие /М., Кнорус, 2014-312 с.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ТОКАМАК МИФИСТ-0 ПРИ ПОМОЩИ СРЕДЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIEMNED

**Сычугов Дмитрий Юрьевич, Соловьев Сергей Юрьевич, Жилкин
Александр Сергеевич¹, Мельников Александр Владимирович², Крат
Степан Андреевич³**

¹ Факультет ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Россия, e-mail: sychugov@cs.msu.ru, glosscom@mail.ru, alkszh@yandex.ru

² НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, e-mail: melnikov_07@yahoo.com

³ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия, e-mail: stepan.krat@gmail.com

В работе приводятся результаты численного моделирования процессов в установке токамак МИФИСТ-0 [1] и их сопоставление с экспериментом. Найденные основные характеристики вакуумной камеры позволяют сделать вывод о ее существенном влиянии на протяжении всего разряда. Для различных вариантов включения индуктора проведено сопоставление экспериментов и результатов расчетов наводимых на камере токов и магнитных полей. В приближении стационарного режима работы установки проведено численное исследование равновесных плазменных конфигураций в зависимости от величин токов в катушках полоидального магнитного поля и тока в плазме. Исследована вертикальная неустойчивость плазмы. В зависимости от треугольности сечения плазменного шнура найдены предельные значения его эллиптичности, при которых неустойчивость плазмы не развивается. При расчетах применялась программная среда SIEMNED [2], включившая в себя численные коды расчета равновесия [3], устойчивости [4] и эволюции плазмы в установках токамак [5].

Работа выполнена при поддержке грантов Московского Математического Центра и гранта РФФИ 20-07-00391.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Н.А. Кирнева, Г.М. Воробьев, С.А. Ганин, А.С. Дрозд, И.С. Кудашев, В.В. Кулагин, В.А. Курнаев. Область рабочих параметров токамака МИФИСТ: предварительная оценка. ВАНТ, сер. Термоядерный синтез. 2020, вып. 3.
- [2] Aleksandr Zhilkin, Dmitry Sychugov, Lev Vysotsky, Ihor Zotov, Sergey Soloviev, Anuar Sadykov. New open computational resource for plasma processes modeling. Journal of Physics: Conference Series, v. 1730 (2021), p. 012048
- [3] Sychugov D.Yu. Probl. Atomic Sci. Technol. Ser. Thermonuclear Fusion, v. 31, 2008, No.1, pp.85-89.
- [4] Sychugov D.Yu., Amelin V.V., Gasilov N.A. Probl. Atomic Sci. Technol. Ser. Thermonuclear Fusion, v. 33, 2010, No. 3, pp.46-49.

- [5] A.D. Sadykov, D.Yu. Sychugov, G.V. Shapovalov, B.Zh. Chektybaev, M.K. Skakov and N.A. Gasilov. The numerical code TOKSCEN for modelling plasma evolution in tokamaks. Nuclear Fusion, 2015, v. 55, Number 4, 55 043017

ИНТЕГРАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА В ВОЛНОВОДЕ СО СЛОЖНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ

Шеина Елена Анатольевна¹, Смирнов Александр Павлович²

¹ Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: sheina_elena@mail.ru

² Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: sap@cs.msu.ru

Рассматривается обратная задача определения диэлектрической проницаемости малого включения произвольной формы, находящегося в матрице, представляющей собой плоскопараллельный диэлектрический слой, помещенный в идеально проводящий прямоугольный волновод. Сравниваются результаты измерений на торцах волновода электромагнитного поля, прошедшего через установку, с данными численного расчета. В случае сложного заполнения волновода в системе образуются эванесцентные волны, экспоненциально убывающие по мере удаления от вставки. Они создают трудности как для обработки результатов измерений, так и для численного моделирования распространения волн через данный объект методом FDTD, которое приходится проводить в достаточно большой области, в основном заполненной вакуумом.

В работе предлагается находить комплексную амплитуду установившегося решения задачи для уравнений Максвелла в волноводе с помощью решения интегрального уравнения в малой области, соответствующей изучаемому образцу.

Известно, что решение уравнения Гельмгольца для волновода, содержащего диэлектрический слой, с мультимодовыми условиями излучения на его торцах может быть найдено с помощью решения интегрального уравнения в слое с функциями Грина, являющимися фундаментальными решениями задачи о прохождении плоской волны через незаполненный волновод.

В работе показано, что для случаев двух и трех измерений интегральное уравнение в малой области внутри диэлектрического слоя можно сформулировать, если построить функции Грина, используя известное точное решение задачи рассеяния плоской волны в основной волноводной моде на слое. Решая интегральное уравнение численно в малой области, занятой образцом с искомой диэлектрической проницаемостью, можно получить решение во всем волноводе с большой точностью при экономии вычислительных ресурсов.

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ В КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ASTRA LINUX

Абрамов Владимир Геннадьевич¹, Егорова Виктория Вячеславовна²

¹ Кафедра алгоритмических языков, к.ф.-м.н., доцент, e-mail: vlabr@cs.msu.ru

² Кафедра алгоритмических языков, студент 2 г/о магистратуры, e-mail: ammaterasa@yandex.ru

В рамках операционной системы специального назначения Astra Linux [1], сертифицированной по наивысшему, первому уровню доверия [2], может обрабатываться информация, имеющая отношение к государственной тайне самой высокой степени секретности – «особой важности». Ключевой технологией обеспечения безопасности и доверия к Astra Linux является сущностно-ролевая ДП-модель управления доступом и информационными потоками в ОС семейства Linux (далее – МРОСЛ ДП-модель) [3].

В работе предлагается модель новой утилиты безопасности, направленной на обеспечение безопасности сетевого взаимодействия и обнаружение вторжений в компьютерные сети в рамках ОС Astra Linux. Модель включает в себя анализ и классификацию трафика и позволяет обнаружить сетевые вторжения в момент их совершения с помощью алгоритмов машинного обучения и использования существующих средств защиты операционной системы.

В рамках работы были проведены эксперименты по выделению важнейших признаков из известных наборов данных, используемых исследователями для решения задачи классификации трафика – KDD-Cup и CIC-IDS2017. В качестве метода для отбора признаков был выбран метод выделения признаков по весам, который предоставляет алгоритм дерево решений. Таким образом, в ходе исследований, количество признаков для бинарной классификации атак в рассматриваемых наборах данных было сокращено до 5 и 10 соответственно. В результате скорость построения классификатора снизилась в 4,5 раза, а скорость предсказания снизилась в 2 раза без потерь в точности.

Структура модели. Классификация трафика в реальном времени, осуществляемая в рамках предлагаемой модели, может быть выполнена в четыре этапа, показанных на рисунке 1.

В процессе моделирования решены следующие задачи: формирование двунаправленного потока из сетевых пакетов, определение прямого направления потока, определение времени существования потока.

После сбора статистических данных о каждом потоке, данные преобразовываются для дальнейшего анализа и передаются в модуль классификации, где происходит бинарная классификация атаки с помощью алгоритма дерево решений. Окончательное решение принимается после анализа состояния системы аудита с помощью шаблонов.

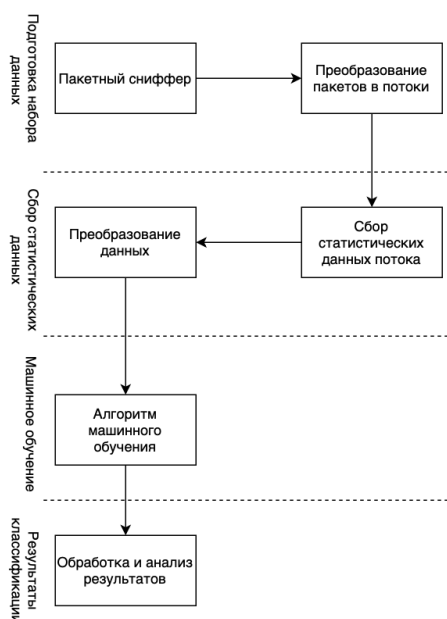


Рис. 1: Структура модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Операционная система Astra Linux. [Электронный ресурс]. URL: <https://astralinux.ru>
- [2] Требования по безопасности информации, устанавливающие уровни доверия к средствам технической защиты информации и средствам обеспечения безопасности информационных технологий, — ФСТЭК России 2.06.2020 N76.
- [3] Модели безопасности компьютерных систем. Управление доступом и информационными потоками / П. Н. Девянин // Учебное пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия – Телеком, 2020. 352 с.: ил.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ И ОБРАБОТКИ АНКЕТ

Абрамов Владимир Геннадьевич¹, Зяблова Мария Петровна²

¹ Кафедра алгоритмических языков, к.ф.-м.н., доцент, e-mail: vlabr@cs.msu.ru

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: z.masha1998@gmail.com

Проведение анкетирования — достаточно трудоемкий процесс, который занимает много времени, если вручную вводить анкеты и обрабатывать результаты анкетирования [1].

Основная задача состоит в том, чтобы создать инструмент, позволяющий по ограниченному набору вопросов составить полноценную анкету, используя базу данных предыдущих опросов, обеспечив дальнейший анализ результатов анкетирования.

Метод, лежащий в основе процесса расширения анкет, называется методом контрольных вопросов. Он используется в анкетировании для распознавания лжи и заключается в том, что респондентам многократно задается один и тот же вопрос в разных формулировках [2].

В работе решены следующие проблемы: во-первых, организация базы данных вопросов предыдущих анкетных опросов; во-вторых, создание шаблонов для многообразия вопросов с целью определения принадлежности вопроса к определенной группе; в-третьих, разработан алгоритм расширения небольшого набора исходных вопросов до эквивалентной большой анкеты; и, наконец, предложен способ представления результирующей анкеты для проведения анкетирования и анализа ответов.

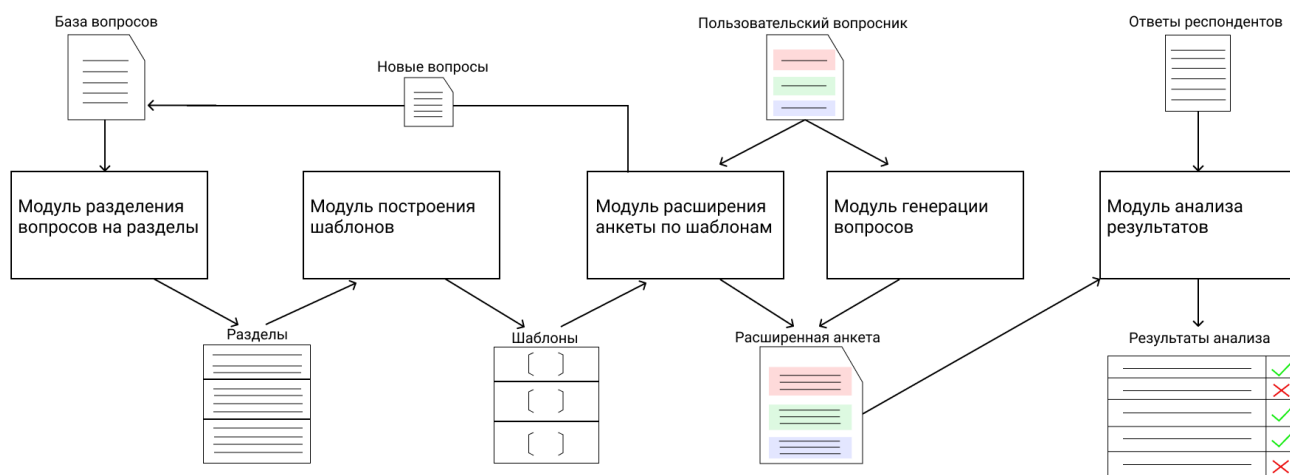


Рис. 1: Архитектура системы.

Разделение вопросов базы на разделы заключается в группировке вопросов, которые по своей сути спрашивают одно и то же.

Построение шаблонов необходимо для того, чтобы подобрать подходящий раздел для вопроса пользователя и предложить новые вопросы из этого раздела [3].

Генерация вопросов является альтернативным способом расширения анкеты путем замены ключевых слов в вопросе на их семантические ассоциаты.

Анализ результатов анкетирования заключается в выявлении противоречий в ответах респондента и представлении их пользователю для дальнейшего экспертного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Сервис проведения опросов QuestionPro [Электронный ресурс] – URL: <https://www.questionpro.de/ru/>.

- [2] Мягков А. Ю. Вопросные техники распознавания лжи в социологических опросах.
- [3] Большакова Е. И., Носков А. А. Анализ текста на основе лексико-синтаксических шаблонов с сокращением многовариантности.

МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИНТЕРНЕТ-ВИДЕОКОНТЕНТА

Абрамов Владимир Геннадьевич¹, Притугин Михаил Алексеевич²

¹ Кафедра алгоритмических языков, к.ф.м.н., доцент, e-mail: vlabr@cs.msu.ru

² Кафедра алгоритмических языков, студент 2 г/о магистратуры, e-mail: mpritugin@yandex.ru

Задача увеличения разрешения - это классическая задача в области компьютерного зрения, которая направлена на восстановление изображений/видео с высоким разрешением основываясь на их аналогах с низким разрешением. Существует два основных направления исследований в этой области: увеличение разрешения одного изображения [1] и увеличение разрешения видео [2]. Методы увеличения разрешения одного изображения используют только пространственную информацию изображения, в то время как методы увеличения разрешения видео используют как пространственную, так и временную информацию.

Существующие методы по увеличению разрешения видео основаны на синтетических наборах данных, в которых видео низкого разрешения получают из видео высокого разрешения посредством простых операций (например, бикубической или билинейной интерполяции). Однако такие простые модели ухудшения качества не могут аппроксимировать сложные процессы ухудшений качества в реальных видео. Эти методы становятся неэффективными при увеличении разрешения реальных видео (например, видео, снятое с мобильного телефона). В более ранних работах предполагаются либо синтетические ухудшения [3, 4], либо ухудшения специфичные для конкретных камер [5].

Для восстановления качества интернет-видео контента в качестве базового метода был использован нерекуррентный метод EDVR [3].

Последние достижения в области увеличения разрешения одного изображения [6, 7] показывают, что хорошая математическая модель, аппроксимирующая ухудшения качества, присутствующие в реальном мире, способна существенно повысить эффективность метода. Следовательно, чтобы достичь хорошего результата в улучшении качества интернет-видео контента была разработана модель ухудшения качества, которая аппроксимирует реальные ухудшения, присущие видеоконтенту.

На основе собранного набора видеоизображений и разработанной модели, каждое видео проходит через случайную последовательность ухудшений качества, таких как перекодировка, уменьшение разрешения, добавление шумов,

сжатие с потерями и другие. В результате получается обучающий набор данных, где для каждого видео в плохом качестве существует исходник высокого качества.

Полученный набор данных был использован для обучения нейронной сети EDVR [3].

Для оценки метода целевой группой была проведена экспертная оценка, которая показала преимущество предложенного решения в сравнении с существующими.

Полученный в результате метод может быть использован не только для улучшения качества интернет-видеоконтента, но и для улучшения качества вновь созданного видео.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Daniel Glasner, Shai Bagon и Michal Irani. “Super-Resolution from a Single Image”. В: нояб. 2009, с. 349—356. doi: 10.1109/ICCV.2009.5459271.
- [2] Christopher Bishop, Andrew Blake и Bhaskara Marthi. “Super-resolution Enhancement of Video”. В: Proceedings of 9th International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS '03) (дек. 2002).
- [3] Xintao Wang и др. EDVR: Video Restoration with Enhanced Deformable Convolutional Networks. 2019. arXiv: 1905.02716 [cs.CV].
- [4] Kelvin C. K. Chan и др. BasicVSR++: Improving Video Super-Resolution with Enhanced Propagation and Alignment. 2021. arXiv: 2104.13371 [cs.CV].
- [5] Xi YANG и др. “Real-world Video Super-resolution: A Benchmark Dataset and A Decomposition based Learning Scheme”. В: (2021).
- [6] Xintao Wang и др. Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data. 2021. arXiv: 2107.10833 [eess.IV].
- [7] Jingyun Liang и др. SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer. 2021. arXiv: 2108.10257 [eess.IV]. 3

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФЕМНОЙ СТРУКТУРЫ СЛОВ РУССКОГО ЯЗЫКА

Большакова Елена Игоревна¹, Новиков Георгий Константинович²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: eibolshakova@gmail.com

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: g.novikov2010@yandex.ru

Морфемы — минимальные значащие единицы языка, и могут быть учтены при решении ряда задач автоматической обработки текстов (АОТ) на естественном языке, предполагающих их семантический анализ. Основными типами (классами) морфем являются префиксы (приставки), корни, суффиксы, окончания, например: *из: PREF/уч: ROOT/енн: SUFF/ый: END*. Для распознавания морфемной структуры слов (прежде всего, новых слов, отсутствующих

в словарях) создаются специальные модули автоматического морфемного разбора, среди которых модели на основе машинного обучения [1] показывают достаточно высокое качество разбора. Однако их качество напрямую зависит от использованного для обучения размеченного набора данных (датасета) и принятой в нем сегментации с разметкой морфем на типы.

Решение задачи автоматического морфемного разбора особенно сложно для русского языка с его богатой системой аффиксов — некорневых морфем. В настоящий момент создано несколько датасетов, отличающихся разметкой сегментированных морфем [2]. Наиболее полный из них датасет RuMorphs-Lemmas (96 тыс. лемм) хотя и применяется для машинного обучения, но имеет ряд недостатков, в частности, ошибки разметки, что требует анализа его состава и доработки для повышения качества обученных с помощью него моделей морфемного разбора.

В данной работе на базе RuMorphs-Lemmas проводилось статистическое исследование морфемной структуры слов русского языка и сочетаемости различных типов морфем. Для этого были вычислены:

- частота встречаемости и количество уникальных соседей для каждой конкретной морфемы, с разбиением по частям речи слов датасета;
- частота совместной встречаемости биграмм и триграмм аффиксов, а также биграмм вида корень+суффикс;
- количество уникальных морфем, стоящих слева и справа от каждого конкретного корня.

Вычисленная статистика позволила выявить ряд ошибок сегментации и разметки слов. На основе статистики сочетаемости предложены эвристические формулы для автоматического выделения дополнительных классов (типов) морфем — префиксоидов и суффиксоидов, известных в лингвистике и занимающих промежуточное положение по своим функциям между корнями и соответственно префиксами и суффиксами. Также с использованием известных мер ассоциации был выявлен ряд устойчивых биграмм префиксов и суффиксов, употребляющихся в языке как единое целое.

В виде библиотеки на языке Питон реализованы функции для конвертации разметки морфем слов датасета, включая возможность изменения типов морфем и слияние аффиксов, употребляющихся вместе. Такие средства позволят проводить в дальнейшем сравнительные эксперименты по оценке качества моделей морфемного разбора, базирующихся на машинном обучении и использующих различную разметку морфем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bolshakova E. I., Sapin A. S. Comparing models of morpheme analysis for Russian words based on machine learning. Papers from the Annual International Conference «Dialogue» (2019), Issue 18, Moscow, pp. 104-113.

- [2] Морфемная разметка русского языка | NLPDatasets [Электронный ресурс]. — URL: <https://cmc-msu-ai.github.io/NLPDatasets/> (дата обращения: 15.03.2021).

МНОГОЯЗЫЧНЫЕ МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СЛОВ

Быков Дмитрий Андреевич¹, Арефьев Николай Викторович²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: dima13051998@gmail.com

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: nick.arefyev@gmail.com

В этой работе предлагается метод решения задачи выделения смыслов слов с помощью генерации подстановок на языке, отличающимся от языка исходного предложения [4]. Генерация лексических подстановок на другом языке осуществлялась с помощью метода динамических шаблонов схожего с методами из [1,2,3], который заключается в замене целевого слова на конструкцию, подсказывающую модели на какой язык переводить целевое слово. В таблице 1 представлен пример использования такого шаблона. После чего берется набор наиболее вероятных предсказаний на месте токена <mask>, полученных с помощью маскированной многоязычной языковой модели XLM-R [5].

Исходное предложение	Предложение после подстановки
Армия взяла замок .	Армия взяла замок (англ. <mask>) .

Таблица 1: Пример вставки шаблона.

Однако, даже при наличии шаблона, модель очень часто генерирует подстановки не на нужном целевом языке или плохо связанные с целевым словом. Для решения этих проблем были предложены две модификации. Первая из них - использование двуязычного словаря. Она заключается в том, чтобы вместо генерации наиболее подходящих слов упорядочивать переводы целевого слова из двуязычного словаря с исходного языка на целевой по их вероятности быть на месте <mask> токена.

Вход модели	Требуемое предсказание
Армия взяла замок (англ. <mask>).	castle.

Таблица 2: Пример построенной обучающей выборки.

Вторая модификация - использование дообучения. Для составления выборки используется двуязычный корпус Tatoeba [8]. Производится лемматизация предложения на целевом языке. После чего каждое слово из предложения на

исходном языке переводится с помощью двуязычного словаря и ищется его перевод в лематизированном предложении на целевом языке. Если перевод является в нем единственным, тогда он считается переводом целевого слова в данном контексте. В таблице 2 показан пример получившейся выборки. Далее модель обучается по ней предсказывать перевод слова в контексте.

В таблице 3 представлены результаты работы данного метода для задачи генерации подстановок на испанском языке [4]. Из нее видно, что обе предложенные модификации дают улучшение по сравнению с моделью без них, а их комбинация существенно превосходит предыдущее лучшее решение данной задачи [7].

Метод	rec@1	mrec@1	rec@10	mrec@10
UBA-T[7]	27.15	57.2	47.99	81.07
только с шаблоном	7.39	14.86	18.62	28.83
с шаблоном и словарем	17.97	37.39	42.29	75.68
с шаблоном и дообучением	27.81	58.71	52.88	82.99
с шаблоном, словарем и дообучением	29.49	62.14	52	85.32

Таблица 3: Результаты работы на SemEval2010 task 2

Также, если к подстановкам, полученным с помощью модели с дообучением, применить алгоритм кластеризации предложенный в статье [2], то данный метод будет превосходить лучший существующий метод, предложенный в статье [3] (55,82 AVG против 54.2 AVG соответственно) на датасете SemEval-2010 task 14 [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Asaf Amrami and Yoav Goldberg. Word Sense Induction with Neural biLM and Symmetric Patterns. In Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, pages 4860–4867, 2018.
- [2] Asaf Amrami and Yoav Goldberg. Towards better substitution based word sense induction. arXiv preprints, pages arXiv–1905, 2019.
- [3] Nikolay Arefyev, Boris Sheludko, Alexander Podolskiy, and Alexander Panchenko. Always keep your target in mind: Studying semantics and improving performance of neural lexical substitution. In Proc. of COLING, 2020.
- [4] Rada Mihalcea, Ravi Sinha, and Diana McCarthy. 2010. SemEval-2010 task 2: Cross-lingual lexical substitution. In Proceedings of the 5th International Workshop on Semantic Evaluation, pages 9–14, Uppsala, Sweden. Association for Computational Linguistics.
- [5] Alexis Conneau, Kartikay Khandelwal, Naman Goyal, Vishrav Chaudhary, Guillaume Wenzek, Francisco Guzmán, Édouard Grave, Myle Ott, Luke

- Zettlemoyer, and Veselin Stoyanov. Unsupervised cross-lingual representation learning at scale. In Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pages 8440–8451, 2020.
- [6] Suresh Manandhar and Ioannis P Klapaftis. 2009. Semeval-2010 task 14: evaluation setting for word sense induction & disambiguation systems. In Proceedings of the Workshop on Semantic Evaluations: Recent Achievements and Future Directions, pages 117–122. Association for Computational Linguistics.
- [7] Pierpaolo Basile and Giovanni Semeraro. 2010. UBA: Using automatic translation and Wikipedia for crosslingual lexical substitution. In Proceedings of the 5th International Workshop on Semantic Evaluation, pages 242–247, Uppsala, Sweden. Association for Computational Linguistics.
- [8] Tiedemann, J.: The tatoeba translation challenge—realistic data sets for low resource and multilingual mt. In: Proceedings of the Fifth Conference on Machine Translation. pp. 1174–1182 (2020)

АИПС «ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО» – ПЕРВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СПРАВОЧНО-ПРАВОВАЯ СИСТЕМА

Ветров Александр Григорьевич

Кафедра моделирования в экономике и управлении РГГУ, e-mail: agve@mail.ru

В настоящее время наша страна использует в качестве источников правовой информации такие справочные правовые системы как «КонсультантПлюс», «Гарант», «Кодекс», «Референт», ЮСИС и др., которые функционируют в нашей стране и поставляют правовую информацию широкому кругу потребителей. Однако, мало кто помнит опыт разработки первой автоматизированной информационной системы правовой информации, которая была разработана в нашей стране.

Межотраслевая автоматизированная информационно-поисковая система о нормативных правовых актах СССР и союзных республик (АИПС «Законодательство») разрабатывалась в Научном центре правовой информации с 1976 года и действовала в системе Министерства юстиции СССР с 1982 года до начала 90-х годов.

На АИПС возлагалось поддержание следующих функций:

- подготовка, ввод, контроль, корректировка и хранение нормативных актов СССР, подлежащих государственному учету;
- формирование информационных массивов для вводимых документов.
- внесение в информационные массивы изменений в соответствии с поступающими актами;
- поиск документов по разовым запросам;

— выдача документов по постоянным запросам абонентов.

Информационные массивы АИПС «Законодательство» содержали сведения о более чем 30 тыс. нормативных актов СССР. Лингвистическое обеспечение АИПС включало тезаурус и различные классификаторы такие как классификатор видов актов, классификатор органов, принявших акт и др.

Основу программного обеспечения АИПС «Законодательство» составлял пакет прикладных программ «Пегас-Д», который являлся результатом разработки специалистов Пермского НПО «Парма» Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР. Пакет функционировал на ЭВМ ЕС-1055 в среде ОС ЕС и ППП «Кама».

Параллельно решалась задача подготовки издания обновленных материалов Свода законов СССР. Задача была реализована на французской ЭВМ «Реалите-2000». В девяностые годы появились персональные компьютеры, появились новые разработчики, которые реализовали СПС на новой архитектуре, с учетом опыта первой АИПС.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АВТОРСТВА ТЕКСТОВ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА МОРФОЛОГИИ И ЧАСТОТ УПОТРЕБЛЕНИЯ СЛОВ ЗАКРЫТЫХ ГРАММАТИЧЕСКИХ КЛАССОВ

Волкова Ирина Анатольевна¹, Шешуков Алексей Дмитриевич²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: irina.a.volkova@gmail.com

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: alexeyshesh@yandex.ru

С ростом количества электронных документов их становится труднее анализировать. При этом развитие Интернета вынуждает пользователей и исследователей работать либо с анонимными текстами, либо с текстами, авторство которых невозможно точно установить.

Цель исследования — создать систему, решающую задачу определения авторства. В данной работе задача определения авторства рассматривается как задача классификации, где классы состоят из текстов, принадлежащих одному автору. Различные методы её решения предлагались с середины XX века. Существуют два класса решений: первый подразумевает исследование статистических характеристик текста, таких как частота употребления триграмм, каких-то определенных слов, сложность и длина предложений; второй класс включает в себя различные решения, использующие методы машинного обучения.

Одно из наиболее часто упоминаемых в различных работах решений предложено в работе [1] и основано на анализе частот употребления различных буквенных триграмм. Данное решение показало свою эффективность и для других языков [2]. При этом для высокого качества классификации требуется большое количество текста. Во многих работах [3, 4] в том или ином виде используется синтаксический анализ.

В данном исследовании для классификации текстов по автору использовались триграммы частей речи с учетом знаков препинания (далее – структурные триграммы) и частоты употребления слов закрытых грамматических классов. Из текста извлекаются вектор частот употребления слов закрытых грамматических классов и вектор частот употребления различных структурных триграмм, нормализуются и передаются классификатору. В качестве классификатора выбран ансамбль Random Forest. В процессе исследования также опробованы другие методы, но метод, основанный на структурных триграммах и частотах употребления слов закрытых грамматических классов показал наилучший результат.

Исследование проводилось на русскоязычных текстах. Если для англоязычных текстов существуют общепринятые наборы данных для оценки качества решения задачи определения авторства [5, 6], то русскоязычные авторы используют различные наборы текстов. Для оценки результатов классификации в рамках исследования создано два датасета. Первый основан на тех же текстах, которые использовались для оценки качества решения в работе [7]. Обучающий набор данных содержит 10 текстов 23-х авторов длиной приблизительно 1000 слов, тестовый – 40 текстов длиной 600 слов. Второй датасет собран на основе текстов с сайта <https://proza.ru/>. Датасет содержит 1123 текста шести авторов разной длины, на обучающую и тестовую выборки деление произведено для каждого автора случайным образом в соотношении 8:2.

На первом датасете предложенный метод показал точность 43,5%, на втором – 88,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Борисов Л.А., Орлов Ю.Н., Осминин К.П. Идентификация автора текста по распределению частот буквосочетаний // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2013. № 27.
- [2] Дюрдева П. С. Автоматическое определение автора текста на основе распределения частот буквосочетаний // Дипломная работа. 2016.
- [3] Richong Zhang, Zhiyuan Hu, Hongyu Guo, Yongyi Mao Syntax Encoding with Application in Authorship Attribution // Конференция Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing
- [4] Patchala, R. (2018). Authorship Attribution By Consensus Among Multiple Features. // In Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics (pp. 2766–2777). Association for Computational Linguistics.
- [5] Efstathios Stamatatos. (2008) Author identification: Using text sampling to handle the class imbalance problem. // Information Processing & Management, 44(2), с. 790–799.

- [6] Jonathan Schler, Moshe Koppel, Shlomo Argamon, and James W Pennebaker. 2006. Effects of age and gender on blogging. // AAAI spring symposium: Computational approaches to analyzing weblogs, том 6, с. 199–205.
- [7] Пимонова Е., Дурандин О., Малафеев А. Doc2vec или интерпретируемость? Сравнение методов определения авторства // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной международной конференции «Диалог» (Москва, 17–20 июня 2020 г.). Вып. 19 (26), основной том. Москва : РГГУ, 2020.

МЕТОД ВОСХОДЯЩЕГО СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С ПОМОЩЬЮ L-ГРАФОВ

Вылиток Алексей Александрович¹, Арсенин Никита Михайлович²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: vylitok@cs.msu.su

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: veigh70@yandex.ru

Метод восходящего синтаксического анализа детерминированных языков, известный как LR(1)-анализ, разработанный Дональдом Кнудом в 60-х годах прошлого столетия, послужил основой для последующих многочисленных его модификаций, предлагаемых многими авторами в разное время. Однако система понятий (LR-таблицы, замыкание и др.) и доказательства корректности алгоритмов анализа весьма громоздки и не универсальны, что делает LR(1)-анализ менее легким для усвоения обучающимися, чем, к примеру, метод рекурсивного спуска или LL(1)-анализ.

В данной работе предлагается более элегантный и экономный по количеству вспомогательных понятий метод синтаксического анализа, основанный на бесконтекстных L-графах с использованием алгебраических операций, характерных для регулярных выражений, приписанных к дугам L-графа.

Бесконтекстные L-графы по своей описательной силе равнозначны бесконтекстным грамматикам, и являются удобным для исследований и приложений формализмом, сочетающим как свойства грамматик (возможность генерации), так и автоматов (возможность распознавания).

Самые простые по виду L-графы — регулярные — по сути совпадают с диаграммами конечных автоматов, а бесконтекстные L-графы отличаются от них наличием дополнительных пометок в виде открывающих и закрывающих скобок с индексами. Успешный путь в бесконтекстном L-графе имеет скобочный след (последовательность скобочных пометок дуг в пути), являющийся цепочкой языка Дика в алфавите скобок, то есть сбалансированной по скобкам цепочкой.

Предлагаемый в данной работе метод основывается на обобщении скобочной пометки бесконтекстного L-графа до регулярного выражения над алфавитом скобок, что позволяет описать процедуру детерминизации L-графа по

аналогии с детерминизацией конечных автоматов. Сначала бесконтекстная грамматика соответствующим алгоритмом преобразуется в эквивалентный L-граф с сохранением возможности восстановления синтаксических деревьев разбора. Затем полученный L-граф подвергается процедуре детерминизации, заканчивающейся успешно для грамматик, обладающих LR(1)-свойством. В случае неуспеха построение детерминированного восходящего анализатора невозможно. Полученный в результате детерминизации L-граф с регулярными скобочными пометками является вычислительной моделью программы-анализатора.

Все разработанные алгоритмы реализованы в виде прикладной программы на языке C# на платформе .NET. Программа позволяет проводить полный цикл восходящего синтаксического анализа по заданной LR(1)-грамматике, а также наглядно демонстрировать процесс детерминизации L-графа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А. Ахо., Дж. Ульман. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции, том 1 М. : Мир, 1978 С. 352–369.
- [2] Серебряков В. А. Теория и реализация языков программирования. М. : Издательский отдел факультета ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова, 2011 С. 352–369.
- [3] Вылиток А. А., Сутырин П. Г. Характеризация формальных языков графами // Сборник тезисов научной конференции ”Тихоновские чтения”, Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова, факультет ВМК, 25-29 октября 2010 г. С. 81–82.
- [4] Knuth D. E. (July 1965). On the translation of languages from left to right. Information and Control. С. 607–639.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Груздева Надежда Валерьевна, Шалимова Екатерина Витальевна

Кафедра алгоритмических языков, e-mail: nadezda.v.gruzdeva@gmail.com, ketty98@mail.ru

Интернет и социальные сети стали одними из неотъемлемых частей повседневной жизни людей и основными средствами для общения и получения информации. Ранее в работах [1, 2] было проведено несколько исследований по изучению зависимостей распространения информации в социальных сетях. Законы распространения информации и новостей были описаны такими математическими моделями, как модели эпидемии и модели клеточного автомата.

В данной работе проведено самостоятельное независимое исследование распространения новостей в социальной сети ВКонтакте. Было реализовано

программное средство для сбора данных, в результате анализа собранных данных выявлены ключевые зависимости, с помощью которых можно оценить количество пользователей, ознакомившихся с опубликованной новостью. Предложены математические функции, описывающие законы распространения информации среди пользователей социальной сети в зависимости от таких факторов, как тема новости и время ее публикации.

Полученные математические функции сопоставлены с моделями, описанными в проведенных ранее исследованиях [1, 2]. В результате выполненной работы определены дополнительные факторы, влияющие на распространение информации в социальной сети и отсутствующие в предложенных ранее моделях.

Анализ полученных данных позволил выделить несколько типов зависимостей распространения новостей, определить темы, максимально интересующие пользователей ВКонтакте на момент проведения исследований, а также оптимальное время публикации новостей для охвата максимального числа пользователей социальной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Горковенко, Д. К. Обзор моделей распространения информации в социальных сетях / Д. К. Горковенко. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 8 (142). — С. 23-28.
- [2] Торопов Б.А. — Модель независимых каскадов распространения репоста в онлайн-социальной сети // Кибернетика и программирование. — 2016. — № 5. — С. 199 - 205.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАССТАНОВКИ ЗНАКОВ ПУНКТУАЦИИ

Дмитриев Илья Владиславович¹, Полякова Ирина Николаевна²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: suslegs@ya.ru

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: polyak@cs.msu.ru

В связи с распространением социальных сетей, мессенджеров и почтовых служб скорость передачи текстовой информации между людьми значительно выросла за последние десятилетия. При этом наблюдается тенденция к снижению общей грамотности, которая приводит к замедленной обработке текста и искажению его смысла.

Существует множество решений для исправления неверно расставленных знаков пунктуации. Хотя и встречаются работы: основанные на аналитическом подходе [1], большинство из них основано на методах машинного обучения [2].

В предлагаемой работе для решения данной проблемы исследованы зависимости слов с различными наборами лексико-грамматических показателей

между собой. Например, от каких слов больше всего зависят существительные в определенном числе и падеже. Синтаксический разбор текста проводится с помощью Rymorphy2, неоднозначность работы которого разрешается с использованием собираемой статистики. Неоднозначности естественного языка, которые лежат за рамками синтаксиса, решаются с помощью метрик коллокаций — t-score или MI [3].

В работе получен и проверен на текстах естественного языка разнообразной тематики алгоритм, основанный на правилах и статистических методах, автоматически расставляющий запятые в русскоязычных текстах, предварительно разбитых на предложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Masaki M., Tomohiro O., Shigeki M. Comma Insertion for Japanese Text Generation // Proceedings of the 2010 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, с. 892–901
- [2] Using Machine Learning Techniques to Build a Comma Checker for Basque / Iñaki A., Bertol A., Arantza D., Eli I., Montse M. // 21st International Conference on Computational Linguistics and 44th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2006
- [3] Хохлова М. В. Экспериментальная проверка методов выделения коллокаций // Инструментарий русистики: корпусные подходы, Хельсинки, 2008. Slavica Helsingiensia 34, с. 343-357

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИГРЫ В АЭРОХОККЕЙ

Захаров Виктор Борисович, Абалов Дмитрий Андреевич

Кафедра алгоритмических языков, e-mail: victordis@gmail.com, deliner.work@gmail.com

В последнее время наблюдается интенсивное внедрение робототехники во все сферы жизни. Возникает повышенный спрос на высококвалифицированных специалистов, а также потребность в разработке новых обучающих материалов для подготовки таковых. В данной работе рассматриваются способы решения задачи разработки роботизированного комплекса для игры в аэрохоккей в качестве обучающей платформы для развития навыков программирования робототехники.

Роботизированный комплекс можно разделить на три составляющие — это стол для игры в аэрохоккей, шайба и робот. В свою очередь, робот состоит из трех основных узлов — механизма перемещения клюшки (для отбивания шайбы), системы машинного зрения (для определения положения шайбы и клюшки на поле) и контроллера робота.

Основными требованиями для будущего робота являлись — его дешевизна, простота сборки и программирования, а также высокая скорость работы, необходимая для успешного отбивания шайбы.

В итоге был разработан тестовый образец роботизированного комплекса, полностью отвечающий необходимым требованиям. За основу его механизма механического перемещения была взята кинематика H-BOT, используемая в 3д принтерах [1]. Для управления двумя шаговыми двигателями используется популярный микроконтроллер Arduino Leonardo [2]. А для работы системы машинного зрения используется ПК под управлением Windows и USB веб-камера, с разрешающей способностью 640x480 пикселей при частоте 30 кадров/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Klaus S. Sollmann, Musa K. Jouaneh, David Lavender Dynamic Modeling of a Two-Axis, Parallel, H-Frame-Type XY Positioning System // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, April 2010. Vol. 15, No. 2. P. 280–290. DOI: 10.1109/TMECH.2009.2020823.
- [2] Anand Nayyar, Vikram Puri, A review of Arduino board's, Lilypad's & Arduino shields // 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 2016. P. 1485–1492.

НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ПОИСКА КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Захаров Виктор Борисович, Петрова Анастасия Алексеевна

Кафедра алгоритмических языков, e-mail: victordis@gmail.com,
petrova.anastasija2016@yandex.ru

Последние годы нейронные сети заменяют все больше классических алгоритмов машинного зрения. Одной из важных задач в данной области является поиск ключевых точек на изображениях. Классическим примером такой задачи является поиск шахматной доски [1]. Ключевыми точками в данном случае являются внутренние углы клеток. Данная задача является актуальной для систем автоматического распознавания шахматных партий [2].

Получая на вход изображение, нейронная сеть выдает матрицу координат ключевых точек и уверенностей в них. Пространство изображения разбивается на 32 сектора по вертикали и 32 по горизонтали. Точки, находящиеся в соседних секторах близко друг к другу, объединяются в одну. Последовательный выбор точек производится по убыванию уверенности, пока количество точек не достигнет 49.

На следующем этапе каждая точка соединяется отрезками с тремя ближайшими точками. Далее эти отрезки объединяются в прямые линии. Из полученных линий отбрасываются слишком короткие, а также центральные линии – у которых с обеих сторон присутствует большое количество других

линий. Из оставшихся линий строятся выпуклые контуры, внутри которых располагаются угловые точки клеток шахматной доски. После чего отбрасываются контуры, у которых хоть одна из линий пересекается более чем с двумя другими. Из оставшихся контуров выбирается тот, у которого минимальное расстояние до точек вне контура.

Значительного повышения качества работы получилось достигнуть путем итеративного запуска алгоритма с преобразованием перспективы. Точность предсказания уже после одной итерации достигает 0.88, а после двух – 0.93.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Czyzewski M. A. An Extremely Efficient Chess-board Detection for Non-trivial Photos //arXiv preprint arXiv:1708.03898 – 2017
- [2] Захаров В. Б., Пославский А. В. Использование нейросетей для решения задачи распознавания фигур на шахматной доске // Научная конференция «Ломоносовские чтения». Тезисы докладов, М. : МАКС Пресс, 2019. С. 58–59.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ

Захаров Виктор Борисович, Пославский Александр Владимирович

Кафедра алгоритмических языков, e-mail: victordis@gmail.com, slink21@mail.ru

Стремительное развитие нейронных сетей открыло большой спектр возможностей в области искусственного интеллекта. Разрабатываются новые архитектуры и способы обучения нейронных сетей. Но для каждой задачи приходится индивидуально подбирать архитектуру и методы обучения, что требует серьезных экспертных знаний и трудоемких экспериментов. Наиболее тяжелой является задача поиска оптимальной архитектуры нейронной сети [1]. Большинство современных архитектур имеют избыточную сложность для решения научных и промышленных проблем, так как создаются для демонстрации максимальных показателей в искусственных соревновательных задачах.

Доминирующими в задачах компьютерного зрения являются *сверточные* архитектуры [2], так как в них заложены априорные знания о нечувствительности к переносу и компактности признаков на изображении. Однако выбор функции активации, размера свертки, типа нормализации и размеров нейронной сети не так очевиден. Для разработки алгоритма автоматического поиска архитектуры нейронной сети, первостепенной задачей является создание кодировки этих характеристик в векторном пространстве, над которым можно было бы решить задачу оптимизации архитектуры.

Была разработана кодировка, позволяющая оптимизировать архитектуру как *метаэвристическими*, так и *суррогатными*, в том числе дифференцируемыми,

моделями. Предлагаемый алгоритм был проверен на задаче классификации фотографий шахматных фигур [3]. Удалось уменьшить время обработки одного изображения с 3мс до 1мс при сохранении качества. Помимо этого, найденная архитектура имеет на порядок меньше обучаемых параметров, что положительно сказывается на скорости обучения, стабильности к переобучению и итоговом размере нейронной сети. Данный алгоритм также применим для поиска оптимального экстрактора высокоуровневых признаков в задачах детектирования и сегментации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] He X., Zhao K., Chu X. AutoML: A survey of the state-of-the-art // Knowledge-Based Systems. 2021. Т. 212, С. 106622.
- [2] Liu Z., Mao M., Wu C., Feichtenhofer C., Darrell T., Xie S., A ConvNet for the 2020s // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022.
- [3] Захаров В. Б., Пославский А. В. Использование нейросетей для решения задачи распознавания фигур на шахматной доске // Научная конференция «Ломоносовские чтения». Тезисы докладов, М. : МАКС Пресс, 2019. С. 58–59.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ИНДЕКСИРОВАНИЮ И ПОИСКУ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФОРМУЛ

Кригер Ксения Павловна¹, Корухова Юлия Станиславовна²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: ksunykriger@gmail.com

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: yulia@cs.msu.ru

В последнее время большое количество научных статей, исследований и книг были преобразованы в цифровую форму и опубликованы на общедоступных ресурсах. Важной составляющей научных работ, особенно в естественных науках и инженерных дисциплинах, являются формулы. Но современные поисковые системы не включают в себя поиск по формулам. Сложность поиска документов по формулам состоит в том, что большинство электронных научных документов представлено в формате pdf, который трудно перевести в обычный текст. Математическая поисковая система для научных публикаций поможет людям, не знающим всех ключевых слов, получить возможность быстро найти литературу по интересующей теме, также решается проблема с поиском статей, в которых уже была выведена искомая формула или похожая на неё, или доказана её оценка.

В работе предложен подход к построению индекса для коллекции научных статей в формате pdf, основанный на деревьях подстановок [1]. При построении индекса используется приложение Mathpix OCR Api [2], которое переводит

графическое представление формулы в формат Mathpix Markdown. Учитываются возможные ошибки распознавания формул. Для представления формулы используется дерево подстановок, причём несколько формул могут храниться в одном дереве в виде поддеревьев, что ускоряет поиск. Нечёткий поиск основан на алгоритме поиска слова в префиксном дереве, где вместо искомого слова дерево подстановок формулы.

Предлагаемый подход реализован в программной системе на языке программирования Python 3 и состоит из четырёх модулей: модуль построение индекса, модуль обработки и хранения данных, модуль поиска и веб-интерфейс. Общее дерево подстановок хранится в отдельном файле в формате json, а дополнительная информация о формулах и документах хранится в базе данных (СУБД PostgreSQL). Через веб-интерфейс есть возможность ввести искомую формулу как в текстовом формате, так и в виде изображения. В результате поиска выводится список документов, которые содержат искомую формулу и похожие на неё. Документы упорядочены по количеству ошибок в найденной формуле и по частоте встречаемости формулы в документе.

В результате работы предложен и реализован прототип математической поисковой системы с веб-интерфейсом, осуществляющий нечёткий поиск по формулам в коллекции научных статей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kohlhase M, Sucan I. A Search Engine for Mathematical Formulae. Proceedings of the 8th international conference on Artificial Intelligence and Symbolic Computation. 2006.
- [2] Mathpix OCR Api documentation [Электронный ресурс].- Электрон. дан. - URL:<https://mathpix.com/docs/ocr/overview> (дата обращения 25.06.2021)
- [3] Маннинг К. Д., Рагхаван П. , Шютце Х. Введение в информационный поиск. Издательство Вильямс. 2011.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕМОРИАЛЬНЫХ БИБЛИОТЕК

Леонов Михаил Васильевич

Лаборатория вычислительного практикума и информационных систем, e-mail: Leonow_M_W@cs.msu.ru

Изучение феномена личной библиотеки приобрело в последние годы междисциплинарный характер [1]. Одним из направлений таких исследований является реконструкция личных библиотек. С актуальностью такой задачи мы столкнулись при работе над проектом по разработке программно-информационного

комплекса «Г.И. Фишер фон Вальдгейм». Проект выполняется с 2021 года при поддержке президента Московского общества испытателей природы (МОИП) академика РАН В.А. Садовниченко. Г.И. Фишер фон Вальдгейм (1771–1853) был крупнейшим российским естествоиспытателем, по праву считается создателем МОИП, а его личная библиотека послужила основой для библиотеки Общества.

В настоящее время список книг библиотеки Фишера фон Вальдгейма не существует, хотя попытки его создания предпринимались [2]. Во время предварительного анализа нескольких сотен книг библиотеки МОИП были найдены десятки экземпляров с владельческими и дарственными надписями, а также с двумя типами экслибрисов владельца. В работе мы пользовались консультациями историков и специалистов по редким книгам.

Для облегчения накопления и просмотра данных по экземплярам, которые с уверенностью можно считать принадлежащими реконструируемой библиотеке, были разработаны специальные программы. Эти программы предназначены как для дальнейшей обработки записей об исследуемых объектах и демонстрации их специалистам, так и для облегчения подготовки историко-книговедческих аннотаций.

Первоначально данные собирались в формате таблицы Excel и фотографий страниц в формате JPEG. Программная оболочка для просмотра данных о книгах и фотографий некоторых страниц реализована в виде приложения на HTML, CSS, JavaScript с использованием библиотек jquery [3].

Работа с оболочкой осуществляется с помощью одного из браузеров Firefox или Google Chrome. Когда количество объектов превысило две сотни и стало ясно, что окончательное число может дойти до нескольких тысяч, был выполнен переход от хранения данных в таблицах к хранению в БД формата СУБД SQLite.

В сообщении представлены особенности интерфейса разработанного программного обеспечения и возможности его применения как для реконструкции личной библиотеки основателя МОИП, так и для решения аналогичных задач в других проектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ильина О. Н. Изучение личных библиотек в России: материалы к указателю литературы на русском языке за 1934–2006 годы. СПб. : Сударыня, 2008. 501 с.
- [2] Чайковский Ю. В. Старейшее общество и его библиотека // Москва научная. М. : Янус-К, 1997. С. 391–415.
- [3] jQuery: official jQuery blog: официальный сайт / The jQuery Foundation. – [Б. м.], © 2022. – Текст англ. – Загл. с экрана. – URL: <https://blog.jquery.com/category/foundation/> (дата обращения : 13.03.2022).

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РЕКОМЕНДАЦИИ МУЗЫКИ НА ОСНОВЕ ИСТОРИИ ПРОСЛУШИВАНИЙ

Полякова Ирина Николаевна¹, Астафьева Стелла Владимировна²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: polyak@cs.msu.ru

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: cntkkjxrf@gmail.com

В связи с появлением и развитием сети Интернет появились большие объемы общедоступной информации, среди которой пользователям становится все труднее отобрать нужные им данные. Чтобы помочь человеку в поиске информации, создаются программные средства, называемые рекомендательными системами. Они предлагают каждому пользователю индивидуальный контент, наиболее близкий к его запросам, предпочтениям. В данной работе рассматривается работа таких систем в рамках задачи рекомендации музыкальных композиций [1].

В рамках работы были построены три базовых рекомендательных системы. Первая система рекомендует каждому пользователю самые прослушиваемые композиции из имеющейся выборки. Вторая и третья системы рекомендуют похожие на уже прослушанные пользователем. Вторая основывается на совместных прослушиваниях композиций, а третья определяет похожесть по их векторному представлению, составленному из прослушиваний каждого пользователя.

Для оценки построенных музыкальных рекомендательных систем из набора данных Million Song Dataset [2] были взяты тренировочная и тестовая выборки. Выборка представляет собой триплеты, каждый из которых отвечает за то, какую композицию, какой пользователь и сколько раз прослушал. У тестовой выборки есть две части – известная половина истории прослушиваний пользователей, подающаяся системе, и оставшаяся половина для проверки работы системы. Оценка производилась метриками точности, полноты и f1-меры. Лучшей по оценкам на тестовой выборке оказалась вторая система – основанная на совместных прослушиваниях композиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Yading Song, Simon Dixon, and Marcus Pearce. A Survey of Music Recommendation Systems and Future Perspectives // 9th International Symposium on Computer Music Modelling and Retrieval, CMMR 2012, p. 395–410
- [2] Thierry Bertin-Mahieux, Daniel P.W. Ellis, Brian Whitman, Paul Lamere. The Million Song Dataset // Proceedings of the 12th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR 2011, p. 591-596

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Полякова Ирина Николаевна¹, Бурдуковская Светлана Юрьевна²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: polyak@cs.msu.ru

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: beswently@gmail.com

За последние два десятилетия в мире стал популярен подход “интегрированного моделирования”, который позволяет математически смоделировать как технические устройства, так и процессы, происходящих в физических средах. Суть подхода заключается во включении численных кодов, которые освещают ту или иную сторону процесса, и отдельных модулей в единую систему, т.н. программную среду, которая позволяет создавать численный аналог технического устройства его реальному прототипу. Такой подход позволяет существенно сократить время проектирования устройства. Для эффективного способа хранения и обмена данными об установках, существует потребность в унификации результатов вычислительных экспериментов на этих установках [1, 2].

В ходе применения вышеописанного подхода была разработана программно-информационная среда для моделирования и вычислительной поддержки экспериментов на сложных вычислительных устройствах. Такая среда включает в себя средства запуска вычислительных кодов, средства обмена информацией, механизмы интерпретации результатов и базу данных для их хранения и обработки [3].

Единая среда имеет 6 вычислительных кодов (модулей), которые позволяют моделировать различные процессы, протекающие при проведении экспериментов на установках токамак. Имеется база данных со словарем, которые позволяют хранить экспериментальные данные и производить их обмен. Также же есть программный код, который позволяет эффективно хранить, использовать и визуализировать данные. Словарь позволяет упростить взаимодействие кодов и обмен данными и хранить произвольные данные.

Такая программно-информационная среда обеспечивает обмен информацией между кодами и возможность проведения цепочек вычислительных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Integrated modelling of DEMO-FNS current ramp-up scenario and steady-state regime / Dnestrovskij A. Yu., Kuteev B. V., Bykov A. S., Ivanov A. A., Lukash V. E., Medvedev S. Yu., Sergeev V. Yu., Sychugov D. Yu., and Khayrutdinov D. D. // Nuclear Fusion, v. 55 (2015), Number 6, 4063007 (8pp) doi:10.1088/0029-5515/55/6/063007.

- [2] Высоцкий Л. И., Соловьев С. Ю., Сычуг Д. Ю. Интернет Технологии интегрированного моделирования процессов в установках Токамак // Computational nanotechnology. 2018, № 1, С. 21–24.
- [3] New open computational resource for plasma processes modeling / Aleksandr Zhilkin, Dmitry Sychugov, Lev Vysotsky, Ihor Zotov, Sergey Soloviev, Anuar Sadykov // Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1730 (2021). P. 012048. DOI: 10.1088/1742-6596/1730/1/012048.

ОБОБЩЕНИЕ МЕТОДА МИНИМАЛЬНЫХ НЕВЯЗОК ДЛЯ МНОГИХ ПРАВЫХ ЧАСТЕЙ

Валиахметов Булат Ильдарович¹, Желтков Дмитрий Александрович²

¹ Кафедра вычислительных технологий и моделирования, e-mail: valiahmetovbulat@mail.ru

² Институт Вычислительной Математики РАН, e-mail: dmitry.zheltkov@gmail.com

Для решения систем линейных уравнений разработано множество методов, многие из которых являются итерационными и основаны на использовании пространств Крылова $\mathcal{K}_k(b, A) = \mathcal{L}(b, Ab, \dots, A^{k-1}b)$.

В случае несамосопряженных систем одним из таких методов является метод сопряженных невязок (GCR) [1], в отечественной литературе его иногда именуют геометрическим методом минимальных невязок. Он построен на принципе минимизации нормы невязки $r_k = b - Ax_k$ на k -м подпространстве Крылова: $x_k \in x_0 + \mathcal{K}_k(r_0, A)$. Для этого на k -й итерации требуется построение и хранение двух базисов: ортонормированного $V_k \subset A\mathcal{K}_k$ и $P_k \subset \mathcal{K}_k$, где $AP_k = V_k$. Одним из достоинств GCR является его естественное обобщение на случай линейных систем с многими правыми частями [3]. Причем правые части могут поступать последовательно, в отличие от блочных методов, где они должны быть известны заранее.

В свою очередь, обобщенный метод минимальных невязок (GMRES) [2] построен на той же задаче минимизации и в точной арифметике эквивалентен GCR, но требует хранения только *одного* ортонормированного базиса Q_k в пространстве $\mathcal{K}_k$ при выполненных соотношениях Арнольди:

$$AQ_k = Q_{k+1}H_{k+1}.$$

В нашей работе мы предлагаем основанный на GMRES метод решения систем с многими правыми частями без использования блочности, требующий хранения только одного базиса и в точной арифметике эквивалентный GCR [3]. Его основная идея заключается в выборе базиса P_k в виде разностей невязок на соседних итерациях, причем его можно выразить через базис Q_{k+m-1} и получить следующее представление:

$$AQ_{k+m-1}C_{k+m-1,k} = Q_{k+m}H_{k+m,k},$$

где матрица $C_{k+m-1,k}$ имеет некоторую структуру и требует хранения лишь малого числа её столбцов, а матрица $H_{k+m,k}$ – блочно-верхнетреугольная, m – номер текущей правой части.

Нами выполнена реализация построенного алгоритма на языке C++ с использованием техники шаблонов, а также MPI и OpenMP параллелизма. Численные эксперименты в сравнении с реализацией GCR [4] показали высокую эффективность предложенного метода.

Работа поддержана Отделением Московского центра фундаментальной и прикладной математики в ИВМ РАН (Соглашение № 075-15-2019-1624 с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Eisenstat S. C., Elman H. C., Schultz M. H. Variational iterative methods for nonsymmetric systems of linear equations // SIAM Journal on Numerical Analysis. – 1983. – Т. 20. – №. 2. – С. 345-357.
- [2] Saad Y., Schultz M. H. GMRES: A generalized minimal residual algorithm for solving nonsymmetric linear systems // SIAM Journal on scientific and statistical computing. – 1986. – Т. 7. – №. 3. – С. 856-869.
- [3] Lingen F. J. A Generalised Conjugate Residual method for the solution of nonsymmetric systems of equations with multiple right-hand sides // International journal for numerical methods in engineering. – 1999. – Т. 44. – №. 5. – С. 641-656.
- [4] Aparinov A., Setukha A., Stavtsev S. Supercomputer modelling of electromagnetic wave scattering with boundary integral equation method // Russian Supercomputing Days. – Springer, Cham, 2017. – С. 325-336.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЛОКАТОРА IL-6 ПРИ COVID-19

Киселевская-Бабинина Виктория Ярославовна¹, Санникова Татьяна Евгеньевна²

¹ Кафедра вычислительных технологий и моделирования, e-mail: silvaze@yandex.ru

² ИВМ РАН им. Г.И. Марчука, e-mail: te_san@yahoo.com

Данная работа посвящена разработке математического метода сравнения эффективности различных схем лечения новой коронавирусной инфекции COVID-19. Для анализа изменений в динамике состояний пациентов мы предлагаем использовать модель Маркова.

Одной из основных причин смерти при COVID-19 является быстрое нарастание дыхательной недостаточности. В таких случаях пациент нуждается в применении методов респираторной поддержки, которые включают в себя неинвазивную (НИВЛ) и инвазивную (ИИВЛ) искусственную вентиляцию легких.

Поскольку возникновение дыхательной недостаточности связано с высоким содержанием интерлейкина-6 (IL-6), при длительном сохранении тяжелого состояния рекомендуется использовать блокаторы IL-6 [1]. Разные работы доказывают как высокий положительный эффект от блокаторов IL-6 [2], так и незначительный [3] или отсутствующий [4]. Цель нашей работы определить изменения в динамике пациентов, получивших блокатор IL-6, при помощи модели Маркова.

В нашем исследовании мы рассматривали данные 3317 пациентов инфекционного стационара, пролеченных с диагнозом COVID-19. Мы разделили их на две группы: пациенты основной группы однократно получили блокатор IL-6, пациенты второй группы проходили обычную схему лечения. Мы построили модель Маркова из пяти состояний: лечение в стационаре без респираторной поддержки, на НИВЛ или ИИВЛ, выздоровление и летальный исход. Оценка параметров модели производилась для каждой из двух групп отдельно при помощи метода мультиномиальной логистической регрессии с определением 95% доверительного интервала методом bootstrap.

Результаты показывают, что в первые пять дней лечения для пациентов основной группы вероятность внезапного летального исхода в 4,5 раза ниже. Также были отмечены снижение в 3 раза вероятности перевода на ИИВЛ и увеличение в 1,6 раз вероятности перевода на НИВЛ. Повышенная вероятность НИВЛ и пониженная ИИВЛ сохранялись на протяжении всего времени пребывания пациентов в стационаре. Однако после пятого дня лечения достоверных различий в вероятностях смертельного исхода не обнаружилось. Вероятности переходов из состояний НИВЛ или ИИВЛ не имели различий вне зависимости от сроков пребывания.

Построенная модель Маркова позволила не только доказать наличие положительного влияния блокатора IL-6 на течение заболевания, но и определить интервал времени, на котором это влияние сохраняется. Такая модель может использоваться также при оценке других возможных схем лечения пациентов, например при использовании методов восстановительного лечения или экстракорпоральной мембранной оксигенации.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России: грант № 075-11-2020-011 (13.1902.21.0040).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Coomes E. A., Haghbayan H. Interleukin-6 in COVID-19: a systematic review and meta-analysis //Reviews in medical virology. 2020. Т. 30. №. 6. С. 1-9.
- [2] Жукова О. В., Хохлов А. Л. Клиническая и экономическая составляющие использования дексаметазона и тоцилизумаба при лечении тяжелых состояний COVID-19 //Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. 2021. Т. 14. №. 1. С. 16-27.

- [3] Interleukin-1 and interleukin-6 inhibition compared with standard management in patients with COVID-19 and hyperinflammation: a cohort study / G. Cavalli, A. Larcher, A. Tomelleri, C. Campochiaro, E. Della-Torre, G. De Luca et al // The Lancet Rheumatology. 2021. T. 3. №. 4. С. e253-e261.
- [4] Effect of tocilizumab vs usual care in adults hospitalized with COVID-19 and moderate or severe pneumonia: a randomized clinical trial / O. Hermine, X. Mariette, P. Tharaux, M. Resche-Rigon, R. Porcher, P. Ravaud et al // JAMA internal medicine. 2021. T. 181. №. 1. С. 32-40.

МЕТОДЫ ПОПЕРЕМЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МАТРИЧНЫХ И ТЕНЗОРНЫХ РАЗЛОЖЕНИЙ

Матвеев Сергей Александрович¹, Будзинский Станислав Сергеевич²

¹ Кафедра вычислительных технологий и моделирования ф-та ВМК МГУ, e-mail: matseralex@cs.msu.ru

² Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, e-mail: stanislav.budzinskiy@protonmail.ch

В данной работе предлагаются новые приближенные методы попеременного проектирования для решения задачи малоранговой аппроксимации неотрицательных матриц. Задача заключается в требовании найти аппроксимацию малого ранга матрицы, элементы которой неотрицательны, но коэффициенты разложения которой могут быть произвольными. Рассматриваемая задача впервые была поставлена в работе [1], а для её решения был предложен детерминистический метод попеременного проектирования; в качестве оператора проектирования на множество матриц малого ранга использовалось усеченное сингулярное разложение, а поэлементный обход и замена отрицательных элементов на нулевые использовались в качестве оператора проектирования на множество неотрицательных матриц.

Предлагаемые в данной работе подходы основаны на использовании семейства рандомизированных алгоритмов линейной алгебры, известных в литературе под названием “sketching”. В работе оцениваются сложности предложенных методов. Практическое сравнение с известными детерминированными методами попеременных проекций показывает, что рандомизированные подходы позволяют получить искомую аппроксимацию быстрее и обладают аналогичными свойствами сходимости [2].

Предварительное тестирование позволяет сделать заключение, что предлагаемые методы легко можно обобщить на случай задачи поиска малоранговых разложений неотрицательных тензоров различных форматах. В частности, были проведены эксперименты по построению неотрицательных разложений тензоров в формате Таккера и тензорного произведения, что согласуется с результата-

ми работы [3]. Работа выполнена за счёт средств проекта Российского научного фонда (проект 21-71-10072).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Song G. J., Ng M. K. Nonnegative low rank matrix approximation for nonnegative matrices //Applied Mathematics Letters. 2020. Т. 105, С. 106300.
- [2] Matveev S. A., Budzinskiy S. S. Sketching for low-rank nonnegative matrix approximation: a numerical study //arXiv preprint arXiv:2201.11154. 2022.
- [3] Jiang T. X., Ng M. K., Pan J., Song G.. Nonnegative low rank tensor approximation and its application to multi-dimensional images //arXiv preprint arXiv:2007.14137. 2020.

ВОСПОЛНЕНИЕ МАТРИЦ И ТЕНЗОРОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

Михайлов Арсений Денисович¹, Замарашкин Николай Леонидович²

¹ Кафедра вычислительных технологий и моделирования, e-mail: mikhailov.arseniy.d@gmail.com

² Кафедра вычислительных технологий и моделирования, e-mail: nikolai.zamarashkin@gmail.com

Пусть $X \in \mathbb{R}^{n_1 \times n_2}$ — неизвестная малоранговая матрица, и мы будем решать оптимизационную задачу:

$$\min_{\tilde{X}} \text{rank}(\tilde{X}), \quad \mathcal{P}_{\Omega}(\tilde{X}) = \mathcal{P}_{\Omega}(X), \quad \text{Im}(\tilde{X}) \subset L_A, \quad \text{Im}(\tilde{X}^T) \subset L_B$$

где $\mathcal{P}_{\Omega}(X) = 1[(i, j) \in \Omega] \circ X$ — проектор на множество известных элементов, L_A и L_B — линейные пространства, содержащие строки и столбцы X соответственно, которые мы будем называть дополнительной информацией. Пусть $s_1 = \dim L_A$, $s_2 = \dim L_B$ и $s = \max s_i$, $n = \max n_i$.

Если решение этой задачи единственно, то мы восстановили всю матрицу X по известному набору элементов X_{ij} , $(i, j) \in \Omega \subset [n_1] \times [n_2]$ и дополнительной информации. В общем случае решение не единственно, но мы докажем его единственность и построим алгоритм поиска при некоторых предположениях на матрицу X , дополнительную информацию и множество Ω .

Задача восполнения матриц с дополнительной информацией исследовалась в [2]. В этой работе было показано, что решение (в постановке минимизации ядерной нормы) единственно (с вероятностью близкой к 1), при равномерном выборе Ω , так что $|\Omega| = O(rs \ln s \ln n)$. Эта оценка существенно лучше, чем оценки для случая без дополнительной информации, но она не является оптимальной по n .

В этой работе был построен алгоритм SVPWS, для решения задачи матричного восполнения с дополнительной информацией, имеющий полностью доказанную теорию сходимости при выборе $|\Omega| = O(rs^3 \ln s)$, а также теорию сходимости аналогичную SVP ([1]), если $|\Omega| = O(r^2 s \ln s)$. Сложность одной

итерации алгоритма: $O(|\Omega|s^2)$. Все характеристики алгоритма не зависят от n , а только от качества дополнительной информации.

В тензорном случае мы будем использовать малоранговость в смысле рангов Таккера, и будем решать аналогичную оптимизационную задачу для неизвестного тензора $X \in \mathbb{R}^{n_1 \times \dots \times n_d}$:

$$\min_{\tilde{X}} \text{trank}(\tilde{X}), \mathcal{P}_{\Omega}(\tilde{X}) = \mathcal{P}_{\Omega}(X), X = G \times_1 S_1 \dots \times_d S_d$$

где $\mathcal{P}_{\Omega}(X) = 1[(i_1, \dots, i_d) \in \Omega] \circ X$ — проектор на множество известных элементов, $\text{Im}(S_i)$ — линейные пространства, содержащие столбцы по i -той размерности X , которые мы будем называть дополнительной информацией, $\text{trank}(X) = \max r_i = r$, где r_i ранги Таккера тензора X .

Алгоритм SVPWS был обобщён для тензорного случая. Было доказано свойство частичной изометрии для тензорного оператора с числом достаточных элементов $|\Omega| = O((dsr + r^d) \ln s)$. Сложность одной итерации алгоритма также не зависит от размеров исходного тензора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Raghu Meka, Prateek Jain, Inderjit S. Dhillon Guaranteed Rank Minimization via Singular Value Projection 2009
- [2] Miao Xu, Rong Jin, Zhi-Hua Zhou Speedup Matrix Completion with Side Information: Application to Multi-Label Learning 2013

ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМА ДОПОЛНЕНИЯ ТЕНЗОРА С ФИКСИРОВАННЫМИ РАНГАМИ ТАККЕРА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ОПТИМИЗАЦИЮ НА РИМАНОВЫХ МНОГООБРАЗИЯХ.

Мордвинцев Михаил Константинович¹, Замарашкин Николай
Леонидович²

¹ Кафедра вычислительных технологий и моделирования, e-mail: mordvincevmisha@mail.ru

² Кафедра вычислительных технологий и моделирования, e-mail: nikolai.zamarashkin@gmail.com

Задача дополнения тензора - по некоторым известным элементам восстановить тензор, если известно, что ранги Таккера тензора не выше $r_1, r_2, \dots, r_d$.

Эта задача сводится к минимизации нормы ошибки на известных элементах: вводится оператор дополнения, не меняющий известные элементы, и преобразующий в 0 все остальные. Для такой нормы записывается градиент, выполняется градиентный шаг и происходит проектирование полученного результата на множество тензоров с заданным рангом (проектируется тензор с полным рангом в общем случае). В новом алгоритме градиент сначала проектируется на касательное пространство к многообразию тензоров фиксированного ранга.

Это позволяет выполнять операцию проектирования на множество тензоров фиксированного ранга асимптотически эффективно.

Первый алгоритм является аналогией матричного случая [5]. Кроме высокой вычислительной сложности этот подход добавляет новые проблемы, которых не было в матричном случае: из-за того, что проектор на множество тензоров с фиксированным рангом неточный, не удастся доказать сходимость такого алгоритма [3].

Вышеперечисленные проблемы призван решить дополнительный проектор на касательное пространство к многообразию тензоров фиксированного ранга. Теория римановых многообразий дает некоторые оценки на сходимость алгоритма, использующего этот проектор [2]. Так же можно доказать, используя свойства оператора дополнения тензора, что алгоритм с проектором на касательные многообразия сходится [3] при достаточном числе известных элементов. Использование этого проектора позволяет избежать применения дорогостоящей операции HOSVD - проектирования на пространство тензоров с заданными рангами с помощью SVD разложения разверток матрицы - к тензору с исходными размерами.

Использование этого проектора уменьшает сложность алгоритма и помогает доказать его сходимость. Также новый алгоритм обладает некоторыми недостатками. Исходный алгоритм требует меньше элементов для эффективного дополнения, чем алгоритм, в котором применяется проектор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Dynamical Tensor Approximation. Koch, Othmar and Lubich, Christian. SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications. V31 N5 pages 2360-2375.
- [2] Low-Rank Tensor Completion by Riemannian Optimization. Daniel Kressner, Michael Steinlechner, Bart Vandereycken. Bit Numer Math 54, 447–468 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10543-013-0455-z>
- [3] Provable Near-Optimal Low-Multilinear-Rank Tensor Recovery. Jian-Feng Cai, Lizhang Miao, Yang Wang, Yin Xian. arXiv:2007.08904
- [4] Матрицы, тензоры и вычисления. Е. Е. Тыртышников
- [5] Guaranteed Rank Minimization via Singular Value Projection. Raghu Meka, Prateek Jain, Inderjit S., Dhillon. arXiv:0909.5457

ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ЗАТУХАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

**Ткаченко Екатерина Викторовна¹, Дебольский Андрей Владимирович,
Мортиков Евгений Валерьевич²**

¹ Кафедра вычислительных технологий и моделирования, e-mail: evtkachenko@hotmail.com

² Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail:

Для моделирования динамики атмосферного пограничного слоя (АПС) в моделях прогноза погоды и климата широко используются различные типы параметризаций RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes). Было показано, что численные модели RANS способны воспроизводить динамику АПС, близкую к стационарной [1, 2], но недостаточно точно моделируют динамику суточного хода АПС[3]. Поэтому одной из задач исследования нестационарных состояний АПС является получение информации о процессах, влияющих на данные состояния АПС, с целью использования данных результатов для улучшения моделей RANS.

В данном исследовании рассматривается процесс вечернего перехода, который является частью суточного цикла АПС и в ходе которого происходит затухание кинетической энергии турбулентности (КЭТ). Данный процесс был воспроизведён с использованием вихреразрешающего моделирования (Large-Eddy Simulation, LES); рассматривались результаты моделирования как свободной конвекции, так и с существованием геострофического ветра. Был рассмотрен баланс КЭТ и проведён анализ компонент КЭТ. Было отмечено, что процесс затухания КЭТ происходит в два этапа: кратковременный период быстрого затухания, в процессе которого теряется большая часть энергии, сменяется периодом медленного затухания, который продолжается до конца эксперимента, и были выделены основные процессы, способствующие этому.

Результаты LES экспериментов были затем сравнены с результатами моделирования данного процесса в одномерной модели RANS, где для параметризации турбулентной диффузии используется классическое замыкание $k-\varepsilon$. Было показано, что модель RANS не воспроизводит турбулентную динамику, полученную при вихреразрешающем моделировании, отчасти ввиду использования градиентного приближения турбулентных потоков. Выбор замыкания $k-\varepsilon$ приводит к занижению скорости затухания в начале вечернего перехода и завышению ближе к концу эксперимента, и причиной этому может быть использование уравнения для диссипации КЭТ в замыкании. Поэтому в данном исследовании рассматриваются перспективные подходы к модификации замыканий RANS с целью повышения точности моделирования нестационарной динамики АПС.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №20-05-00776, и гранта Президента РФ молодым ученым МК-1867.2020.5, а также при частичной поддержке научно-образовательной междисциплинарной школы Московского университета "Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Debolskiy A., Mortikov E., Glazunov A. and Lüpkes C., Evaluation of surface layer stability functions and their extension to first order turbulent closures for weakly and strongly stratified stable boundary layer. // Boundary-Layer Meteorology, Under review.
- [2] О моделировании скорости диссипации кинетической энергии турбулентности / Е.В. Мортиков, А.В. Глазунов, А.В. Дебольский, В.Н. Лыкосов, С.С. Зилитинкевич // Доклады Академии Наук. 2019. Т. 489. № 4. С. 414–418.
- [3] Evaluation of the diurnal cycle in the atmospheric boundary layer over land as represented by a variety of single-column models: The second GABLS experiment / G. Svensson, A.A.M. Holtslag, V. Kumar, T. Mauritsen, G.J. Steeneveld, W.M. Angevine, E. Bazile, A. Beljaars, E.I.F. de Bruijn, A. Cheng, L. Conangla, J. Cuxart, M. Ek, M.J. Falk, F. Freedman, H. Kitagawa, V.E. Larson, A. Lock, J. Mailhot, V. Masson, S. Park, J. Pleim, S. Söderberg, W. Weng, M. Zampieri // Bound.-Layer Meteorol. 2011. V. 140. P. 177–206.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАТОГЕНЕЗА COVID-19

Червяков Никита Михайлович¹, Романюха Алексей Алексеевич²

¹ Кафедра вычислительных технологий и моделирования ВМК МГУ, ИВМ РАН, e-mail: nm.chervyakov@yandex.ru

² Кафедра вычислительных технологий и моделирования ВМК МГУ, ИВМ РАН, e-mail: eburg101@mail.ru

В работе сформулирована математическая модель иммуно-воспалительной реакции при COVID-19, которая учитывает:

- диссеминированный характер инфекции в легких [1];
- патологические процессы как в верхних, так и в нижних дыхательных путях, в соответствии с тропностью вируса SARS-CoV-2 [2];
- основные регуляторные механизмы, отвечающие за активацию, поддержание и завершение иммуно-воспалительного ответа, которые вносят вклад в прогрессирование тяжести заболевания [3].

По данным клинических исследований приведены оценки параметров и описана процедура параметризации модели.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России: грант № 075-11-2020-011 (13.1902.21.0040).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Colman J., Zamfir G., Sheehan F., Chest radiograph characteristics in COVID-19 infection and their association with survival // European Journal of Radiology open. Vol 8. 2021.
- [2] V'kovski P., Gultom M., Kelly J.N., Disparate temperature-dependent virus–host dynamics for SARS-CoV-2 and SARS-CoV in the human respiratory epithelium // PLoS Biology. 2021. №19(3)
- [3] Mangalmurti N., Hunter C. A., Cytokine Storms: Understanding COVID-19 // Immunity. 2020. Vol 53(1). P. 19–25.

ТЕОРЕМЫ О НЕЯВНОЙ ФУНКЦИИ. ПРИЛОЖЕНИЯ К УПРАВЛЯЕМЫМ СИСТЕМАМ

Арутюнов Арам Владимирович¹, Жуковский Сергей Евгеньевич²

¹ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, e-mail: arutyunov@cs.msu.ru

² Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, e-mail: s-e-zhuk@yandex.ru

Пусть X, Y — банаховы пространства, Σ — топологическое пространство, $f : X \times \Sigma \rightarrow Y$ — заданное отображение. Рассмотрим уравнение

$$f(x, \sigma) = 0 \quad (1)$$

относительно неизвестного $x \in X$ и параметра $\sigma \in \Sigma$. Всюду далее будем предполагать, что отображение $f(\cdot, \sigma)$ при любом $\sigma \in \Sigma$ дифференцируемо по Фреше в каждой точке $x \in X$. Соответствующую производную будем обозначать через $f'_x(x, \sigma)$.

Неявной функцией для уравнения (1) называется отображение $\xi : \Sigma \rightarrow X$, которое каждому значению параметра $\sigma \in \Sigma$ ставит в соответствие решение $\xi(\sigma)$ уравнения (1), т.е.

$$f(\xi(\sigma), \sigma) \equiv 0, \quad \sigma \in \Sigma.$$

Классические теоремы о неявной функции носят локальный характер, т.е. гарантируют существование решения $\xi(\sigma)$ для значений параметра σ из некоторой окрестности заданной точки $\sigma_0 \in \Sigma$. Нами получены достаточные условия существования непрерывной неявной функции $\xi(\cdot)$, определенной на всем пространстве Σ . Отметим, что аналогичные известные ранее результаты (см., например, [1, 2]) справедливы в предположении, что линейный оператор $f'_x(x, \sigma)$ является обратимым или имеет непрерывный линейный правый обратный оператор при любом $(x, \sigma) \in X \times \Sigma$. Приводимая ниже теорема о неявной функции не содержит таких априорных предположений.

Обозначим через $L(X, Y)$ пространство линейных непрерывных операторов $A : X \rightarrow Y$. Через $\text{cov} A$ обозначим константу Банаха линейного оператора $A \in L(X, Y)$, т.е.

$$\text{cov} A := \sup\{\alpha \geq 0 : B_Y(\alpha) \subset AB(1)\}.$$

Здесь $B_Y(\alpha)$ — замкнутый шар в пространстве Y с центром в нуле радиуса α . Из теоремы Банаха об открытом отображении следует, что $\text{cov} A > 0$ тогда и только тогда, когда $AX = Y$.

Для отображения f положим

$$a(t) := \inf \{ \text{cov} f'_x(x, \sigma) : (x, \sigma) \in B_X(t) \times \Sigma \}, \quad t \geq 0.$$

Основной результат исследования состоит в следующем. Если отображение f является достаточно гладким и

$$\int_0^{+\infty} a(t) dt = +\infty \quad \text{или} \quad \int_0^{+\infty} a(t) dt > \sup_{\sigma \in \Sigma} \|f(0, \sigma)\|_Y,$$

то для любого $\varepsilon > 0$ существует непрерывное отображение $\xi : \Sigma \rightarrow X$ такое, что $f(\xi(\sigma), \sigma) \equiv 0$, $\sigma \in \Sigma$ и имеет место неравенство

$$\int_0^{\|\xi(\sigma)\|_X} a(t) dt \leq (1 + \varepsilon) \|f(0, \sigma)\|_Y \quad \forall \sigma \in \Sigma.$$

Приведенные достаточные условия существования неявной функции применены к исследованию ряда абстрактных уравнений и управляемых систем. Получены условия существования точек совпадения гладкого накрывающего отображения и вполне непрерывного отображения банаховых пространств. Кроме того, получены достаточные условия существования допустимых позиционных управлений для управляемых систем со смешанными ограничениями. Частично эти результаты опубликован в [3].

Исследование первого автора выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00863). Исследование второго автора выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-11-20131).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Царьков И. Г. О глобальном существовании неявной функции // Матем. сб. 1993. Т. 184, № 7. С. 79–116.
- [2] Rheinboldt W. Local mapping relations and global implicit function theorems // Trans. Amer. Math. Soc. 1969. V. 138, P. 183–198.
- [3] Арутюнов А. В. Жуковский С. Е. Глобальная и полулокальная теоремы о неявной и об обратной функции в банаховых пространствах // Матем. сб. 2022. Т. 213, № 1. С. 3–45.

О РОБАСТНОМ АЛГОРИТМЕ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ СОХРАНЕНИЯ СТРОЯ

Бегишев Руслан Ренатович¹, Ильин Александр Владимирович²

¹ Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления, e-mail: begrusso@gmail.com

² Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления, e-mail: Iline@cs.msu.ru

Современный мир ставит перед нами множество задач, для решения которых необходима группа из множества однотипных агентов. Например, такие задачи возникают при разведке местности. Оптимальным подходом для их решения является использование группы роботов, которая в процессе своего функционирования может охватить большой участок местности. Разумеется, для такого типа задач необходимо как можно более плотное покрытие области. При относительно устойчивом строе этой группы роботов будет достигнута желаемая плотность покрытия. Отсюда была поставлена задача робастности, гарантирующая сохранение необходимого построения группы.

Используя классические постулаты теории группового управления необходимо создать алгоритм, обеспечивающий робастность управления группой.

Для упрощения моделирования алгоритма предлагается взять следующую модель робота, движущегося в двумерной плоскости по координатам x, y :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = u_1(t) \\ \dot{y}_1 = y_2 \\ \dot{y}_2 = u_2(t), \end{cases} \quad (1)$$

$$|u_1^2 + u_2^2| \leq u_0, \quad (2)$$

$$|x_2^2 + y_2^2| \leq v_0, \quad (3)$$

где $x_1, x_2, y_1, y_2 \in \mathbb{R}$, а u_0, v_0 – заранее определённые константы. $u_1(t), u_2(t)$ – управления, задающие скорость движения робота по координатам.

Именно из роботов такого типа будет состоять группа, решающая задачу продвижения через область с препятствиями при условии сохранения строя. Под робастностью в данном случае будем подразумевать устойчивость строя при потере агентов, а также задержке их при обходе препятствий.

В число известных подходов входят: методы потенциальных полей, методы рыночной экономики и методы нечёткой логики[1], методы виртуальных лидеров[2], и методы, допускающие использование неустойчивых режимов[3]. Важным элементом построения является разрешение конфликтов между агентами, при их сближении при движении строя[4].

Для реализации алгоритма предлагается использовать комбинацию выше-описанных подходов. Для обхода препятствий – одна из вариаций метода потенциальных полей, для сохранения строя – методы нечёткой логики. Как критерий успеха взята минимизация линейной комбинации некоторой оценки расстояний между роботами в группе. Моделирование предлагается проводить с учётом отключения k агентов в случайные моменты времени, где $k < n/3$, n – число агентов в группе.

Было проведено сравнение полученного алгоритма с алгоритмами из [1] путём моделирования в среде MATLAB/Simulink.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Белоглазов Д.А., Гайдук А.Р., Косенко Е.Ю. Медведев М.Ю., Пшихопов В.Х., Соловьев В.В., Титов А.Е., Финаев В.И., Шаповалов И.О. Групповое управление подвижными объектами в неопределённых сферах / Под ред. В.Х. Пшихопова. М.: Физматлит, 2015. 304 с.
- [2] Морозова Н.С. Управление движением строя в мультиагентных системах. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физ.-мат. наук, 2015. 24 с.
- [3] Пшихопов, В. Х., Медведев, М. Ю. (2018). Групповое управление движением мобильных роботов в неопределённой среде с использованием неустойчивых режимов. Труды СПИИРАН, 5(60), 39-63.
- [4] Leandro Soriano Marcolino and Luiz Chaimowicz. Traffic control for a swarm of robots: Avoiding group conflicts. 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2009, (June2014):1949–1954, 2009.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ЦЕЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ФАЗОВЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Егоров Кирилл Юлианович¹, Востриков Иван Васильевич²

¹ Кафедра системного анализа, e-mail: kireku@gmail.com

² Кафедра системного анализа, e-mail: ivan_vostrikov@cs.msu.ru

Данная работа посвящена задаче построения целевого управления для задачи целевого управления для динамической системы с фазовыми ограничениями и геометрическими ограничениями на управление. Динамическая система описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \text{ где } u \in P. \quad (1)$$

В работе требуется найти управление, которое переводит данную систему в целевое множество с заранее зафиксированными препятствиями, которые являются фазовыми ограничениями для данной системы. Задача решается

методом динамического программирования, который подразумевает введение функции цены, которая в свою очередь является решением экстремальной задачи. Соответственно, для данной функции цены строится уравнение типа Гамильтона–Якоби–Беллмана, с помощью которого находится оптимальное целевое управление в виде синтеза. В силу того, что аналитически данное уравнение не решается, оно решается численно. Причем, численное решение может быть получено двумя способами: дискретизацией исходной задачи, либо дискретизации уравнения Гамильтона–Якоби–Беллмана. Для конкретной постановки данной задачи была написана программа, вычислена функция цены и построено целевое управление, а также промоделировано движение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Красовский Н. Н. Теория управления движением. М.: Наука, 1968. 476 с.
- [2] Kurzanski A. B., Varaiya P. Dynamics and Control of Trajectory Tubes. Theory and Computation. M.: Birkhäuser, 2014. 445 с.
- [3] Куржанский А. Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. М.: Наука, 1977. 392 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ НА ДОРОГЕ

Лабутин Антон Александрович¹, Востриков Иван Васильевич²

¹ Кафедра системного анализа, e-mail: anton.labutin.1997@yandex.ru

² Кафедра системного анализа, e-mail: ivan_vostrikov@cs.msu.ru

Данная работа посвящена моделированию поведения беспилотного автомобиля на автотрассе. Рассмотрена модель Аккермана, которая моделирует траекторию движения автомобиля в зависимости от угла поворота колёс. Подразумевается, что автомобиль движется по многополосной трассе, на которой присутствуют другие автомобили. Рассматривается ситуация, в которой автомобиль с соседней полосы перестраивается в полосу движения нашего автомобиля. Моделируются различные сценарии управления автомобилем в зависимости от текущих скоростей и исходного положения автомобилей в момент начала перестроения. Рассчитываются параметры управления в зависимости от выбранного сценария. Возможны варианты: разгон, торможение, перестроение в соседнюю полосу, обгон (причём, обгон необязательно подразумевает полное перестроение в соседнюю полосу, а может быть осуществлён и в пределах своей полосы с возможным частичным заездом на соседнюю). Написана программа в среде `Matlab`, которая моделирует движение автомобилей и рассчитывает параметры управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Изд-во иностр. лит., 1960.

- [2] Ackermann, Jürgen; Bünte, Tilman. Automatic car steering control bridges over the driver reaction time. (English). Kybernetika, vol. 33 (1997), issue 1, pp. 61-74
- [3] Kurzanski A. B., Varaiya P. Dynamics and Control of Trajectory Tubes. Theory and Computation. M.: Birkhäuser, 2014. 445 с.

О МЕХАНИЗМАХ РОСТА ИНВЕСТИЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЕ В УСЛОВИЯХ НЕСОВЕРШЕННОГО РЫНКА КАПИТАЛА

**Обросова Наталия Кирилловна, Шананин Александр Алексеевич¹,
Спиридонов Александр Александрович²**

¹ Кафедра Системного анализа ВМК МГУ, Московский центр фундаментальной и прикладной математики, МФТИ(НИУ), e-mail: nobrosova@ya.ru, alexshan@ya.ru

² МФТИ(НИУ), e-mail: sss512@ya.ru

В работе предлагается математическая модель инвестиционного поведения собственника производства в условиях несовершенного рынка капитала. Модель позволяет объяснить переход из режима восстановительного роста экономики, который наблюдался с начала 2000-х до 2008г. в России, в режим стагнации, сохранявшийся вплоть до настоящего времени и характеризующийся значительным спадом рыночных инвестиций. Наша гипотеза заключается в том, что на интенсивность рыночных инвестиций влияет состояние предпринимательской среды. Для описания предпринимательской среды на несовершенном рынке капитала мы предлагаем использовать подход Кантора-Липмана [1, 2, 3]. В соответствии с данным подходом предпринимательская среда моделируется пулом всех доступных инвестору тиражируемых (т.е. запускаемых в любой момент времени с произвольной интенсивностью) и стационарных (т.е. доступных в любой момент времени в неизменном виде) проектов. В рамках модели Кантора-Липмана может быть вычислен индикатор предпринимательской среды – дефлятор r денежных потоков пула проектов, доступных инвестору, заключенный между ставками по депозитам r_D и кредитам r_k финансовых организаций ($r, r_D, r_k \in (0, 1), r_D \leq r \leq 1$) [1, 2, 3]. Заметим, что в условиях несовершенного рынка капитала ставки по депозитам существенно меньше ставок по кредитам и вычисление дефлятора денежных потоков затруднено. На развитых рынках ставки по кредитам и депозитам близки и выбор значений дефлятора из допустимого диапазона не существен для оценки проектов. Из-за большой разницы процентных ставок на несовершенном рынке капитала источником производственных инвестиций являются преимущественно доходы собственника предприятия. Таким образом, для объяснения перехода из режима роста в режим стагнации российской экономики требуется описать инвестиционное поведение собственника предприятия в зависимости от индикатора

состояния предпринимательской среды r . Мы предлагаем подход к решению поставленной проблемы в терминах математической модели инвестиционного поведения собственника производства, формализованной в виде задачи оптимального управления на бесконечном горизонте. Сложность задачи связана с наличием фазового ограничения - условия неотрицательности остатка оборотных средств собственника, моделирующего несовершенства рынка капитала. Решение задачи показывает, что рост доходности предпринимательской среды стимулирует инвестиционную активность мелкого и среднего бизнеса. В то же время повышение эффективности рыночных инвестиций не отражается на инвестиционном поведении представителей крупного бизнеса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-07-00285-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Cantor D. G., Lippman S. A. Investment selection with imperfect capital markets // *Econometrica*. 1983. Vol. 51, № 4. P. 1121–1144.
- [2] Cantor D. G., Lippman S. A. Optimal investment selection with a multitude of projects // *Econometrica*. 1995. Vol. 63, № 5. P. 1231–1240.
- [3] Шананин А. А. Анализ финансового состояния инвестора на основе модели Кантора-Липмана // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2020. Т. 26, № 1., С. 293–306.

ДОСТИЖЕНИЕ КОНСЕНСУСА БЕЗ ДОСТУПА К ВНУТРЕННЕМУ СОСТОЯНИЮ СОСЕДНИХ АГЕНТОВ

Самарин Алексей Игоревич, Высоцкий Алексей Олегович, Фомичев
Василий Владимирович

Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления, e-mail: liotbiul@gmail.com,
vysotskiial@gmail.com, fomichev@cs.msu.ru

В работе рассматривается задача консенсуса для линейных агентов n -го порядка.

$$\begin{cases} \dot{x}_i = Ax_i + Bu_i, \\ y_i = Cx_i, \end{cases}$$

где $i = \overline{1, N}$ — номер агента, N — число агентов, $x_i \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния агента, $u_i \in \mathbb{R}$ — управление, $y_i \in \mathbb{R}$ — измеряемый выход, A, B, C — матрицы соответствующих размерностей, одинаковые для всех агентов. Под задачей консенсуса понимается синхронизация состояний агентов, так $\forall i, j \Rightarrow |x_i(t) - x_j(t)| \rightarrow 0$.

В статье [1] был предложен протокол достижения консенсуса, предполагающий коммуникацию между агентами. В статье [2] был предложен, а в [3, 4]

улучшен новый протокол, который не требует передачи внутренней информации:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = Ax_i + Bu_i, \quad u_i = Kv_i, \\ \dot{v}_i = Av_i + BKv_i + FCv_i - F \sum_{j=1}^N l_{ij}y_j, \end{cases} \quad l_{ij} = \begin{cases} 1, & j = i \\ -\frac{1}{|N_i|}, & j \in N_i \\ 0, & j \notin N_i \end{cases}$$

Управление в данном подходе зависит только от $(y_i - y_j)$ — относительного положения. Например, когда робот измеряет расстояние до других роботов. Между роботами не предполагается коммуникации, что является главным преимуществом данного подхода.

Можно заметить, что v_i является наблюдателем для следующей величины $z_i = \sum_{j=1}^N l_{ij}x_{ij}$.

$$\begin{aligned} \dot{z}_i &= Az_i + Bu_i + B \sum_{j \neq i} u_j = Az_i + Bu_i + B\xi_i \\ \dot{v}_i &= Av_i + Bu_i + FCv_i - FCz_i, \end{aligned}$$

где ξ_i — неизвестное для i -го агента управление его соседей. Уравнение на ошибку наблюдения:

$$\dot{e}_i = (A + FC)e_i + B\xi_i \quad (1)$$

Для линейных наблюдателей с ошибкой (1) в работе [5] был получен каскадный нелинейный наблюдатель $\hat{e}$, который за конечное время сходится к e , если известна мажоранта для ξ . Напрямую его использовать трудно, так как ξ_i зависит от $\hat{e}$, что усложняет оценку мажоранты.

Выходом из данной ситуации может быть ограниченное управление. Можно сформулировать следующее условие: если существует ограниченное управление $u_i = f(z_i)$, которое решает задачу консенсуса, тогда можно заранее задать мажоранту для ξ_i , что приведет к сходимости каскадного наблюдателя из [5]. Тогда с какого-то момента времени t_1 : $v_i(t) + \hat{e}_i(t) = z_i(t)$.

$$\begin{cases} \dot{x}_i = Ax_i + Bu_i, \quad u_i = f(v_i + \hat{e}_i) \\ \dot{v}_i = Av_i + BKv_i + FCv_i - F \sum_{j=1}^N l_{ij}y_j \\ \dot{\hat{e}}_i = h(\hat{e}_i, v_i, \sum_{j=1}^N l_{ij}y_j) \end{cases}$$

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 22-21-00288).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Li Z. et al. Consensus of multiagent systems and synchronization of complex networks: A unified viewpoint // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. 2009. Т. 57, №. 1. С. 213–224.

- [2] Zhao Y. et al. A new observer-type consensus protocol for linear multi-agent dynamical systems // Asian journal of control. 2013. Т. 15, №. 2. С. 571–582.
- [3] Li X., Soh Y.C., Xie L. Robust consensus of uncertain linear multi-agent systems via dynamic output feedback // Automatica. 2018. Т. 98, С. 114–123.
- [4] Li X., Soh Y.C., Xie L. Output-feedback protocols without controller interaction for consensus of homogeneous multi-agent systems: A unified robust control view // Automatica. 2017. Т. 81, С. 37–45.
- [5] Фомичев В. В., Высоцкий А. О. Алгоритм построения каскадного асимптотического наблюдателя для системы с максимальным относительным порядком // Дифференциальные уравнения. 2019. Т. 55, №. 4. С. 567–573.

ПОСТРОЕНИЕ ОЦЕНКИ МНОЖЕСТВА ДОСТИЖИМОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ЛЮДЕЙ

Точилин Павел Александрович¹, Зайцева Маргарита Владимировна²

¹ Кафедра системного анализа, e-mail: tochilin@cs.msu.ru

² Кафедра системного анализа, e-mail: zaimarko@gmail.com

Основные исследования посвящены разработке автоматизированной системы регулирования потоков людей, направленной на равномерное распределение людей по помещению, не допускающее возникновения толпы и давки. В частности, в данной работе рассматривается подзадача о методах построения оценки на множество достижимости.

Одним из возможных подходов к построению математической модели потоков людей является гидродинамический подход [1], который также применяется при моделировании транспортных потоков. В данном случае используется его дискретный аналог — модификация [2] модели СТМ [3]. Количество людей в каждой комнате за время Δt изменяется следующим образом:

$$n_i(t + \Delta t) = n_i(t) + \Delta t \left(\sum_{T_{ji} \in \mathcal{T}} f_{ji}(t) - \sum_{T_{ij} \in \mathcal{T}} f_{ij}(t) \right), \quad \forall i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где $f_{ij}(t)$ — поток людей на соединении T_{ij} в момент времени t . Указанные здесь потоки определяются как решения задачи оптимизации:

$$\sum_{i,j: T_{ij} \in \mathcal{T}} f_{ij}(t) \rightarrow \max_{\{f_{ij}\}}, \quad (2)$$

$$f_{ij}(t) \leq \alpha_j^{(i)}(t) v_{ij} \frac{n_i(t)}{S_i}, \quad \forall i, j : T_{ij} \in \mathcal{T}, \quad (3)$$

$$0 \leq f_{ij}(t) \leq F_{ij} - \gamma f_{ji}(t), \quad \forall i, j : T_{ij} \in \mathcal{T}, \quad (4)$$

$$\sum_{i: T_{ij} \in \mathcal{T}} \frac{f_{ij}(t)}{w_{ij}} \leq \left(\frac{C_j - n_j(t)}{S_j} \right), \quad \forall j. \quad (5)$$

Наличие ограничения на разнонаправленные потоки через общее соединение (4) и ограничения на суммарный входящий поток (5) подразумевает, что задача линейного программирования (2)–(5) должна быть решена для всех комнат одновременно. Для помещений с небольшим количеством комнат такой подход может быть приемлем, однако если рассматривать помещения более сложной структуры, возникает необходимость упрощать расчёты за счёт разбиения общей задачи линейного программирования на множество более простых задач.

Результатом данной работы является алгоритм, позволяющий приближённо вычислять множества достижимости с помощью разделения общей задачи линейного программирования на отдельные задачи, относящиеся к парам связанных между собой комнат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kachroo P., Al-nasur S. J., Wadoo S. A., Shende A. Pedestrian Dynamics. Feedback Control of Crowd Evacuation. Springer, 2008.
- [2] Зайцева М. В., Точилин П. А. Управление потоками людей в здании во время эвакуации // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2020. № 4. С. 3–17.
- [3] Daganzo C. F. The cell transmission model: a dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory // Transp. Res.-B. 1994. Vol. 28B, № 4. P. 269–287.

ПРИМЕНЕНИЕ КУСОЧНО-КВАДРАТИЧНЫХ ФУНКЦИЙ ЦЕНЫ К ЗАДАЧЕ ЦЕЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Точилин Павел Александрович¹, Чистяков Иван Александрович²

¹ Кафедра системного анализа, e-mail: tochilin@cs.msu.ru

² Кафедра системного анализа, e-mail: chistyakov.ivan@yahoo.com

Внутри ограниченной области $\Omega \subset \mathbb{R}^{n_x}$ рассматривается нелинейная стационарная система дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u, \quad t \in [t_0, t_1], \quad x \in \Omega, \quad (1)$$

где f и g — достаточно гладкие функции. Допустимые значения управления u находятся внутри эллипсоида $\mathcal{P} = \mathcal{E}(p, P)$. Начальный и конечный моменты времени t_0, t_1 фиксированы.

Требуется построить позиционное управление $u = u(t, x)$, которое переводит траекторию системы (1) из заданной позиции x_0 в момент времени t_0 в

целевое множество $\mathcal{X}_1 \subset \Omega$ в момент времени t_1 . Если попасть во множество $\mathcal{X}_1$ нельзя, необходимо достичь как можно меньшей его окрестности.

Предложенный метод решения предполагает разбиение области Ω на симплексы $\Omega^{(i)}$ с дальнейшим переходом к эквивалентной задаче управления для системы с кусочно-линейной динамикой и ограниченной помехой v (погрешностью линеаризации):

$$\dot{\tilde{x}} = \tilde{A}^{(i)}\tilde{x} + \tilde{B}^{(i)}u + \tilde{C}v, \quad \tilde{x} \in \Omega^{(i)} \times 1, \quad t \in [t_0, t_1].$$

Далее используются методы динамического программирования: при помощи принципа сравнения [1] для полученной системы с переключениями строится кусочно-квадратичная функция цены. Эта идея уже рассматривалась, например, в [2], однако там на функцию цены было наложено требование непрерывности, что приводило к дополнительному “сглаживанию” функции на границах симплексов и могло негативно отразиться на точности метода. В текущей работе предпринята попытка обобщить подход на случай разрывных функций цены и разрывных управлений, что ранее было сделано для кусочно-аффинных функций цены в работах [3–4].

Кроме того, точность решения повышается за счёт более аккуратного вычисления изменения функции цены с течением времени. Этому способствует постановка дополнительных задач оптимизации в вершинах симплексов.

Основными результатами работы являются эффективный численный метод для нахождения параметров кусочно-квадратичной функции цены, формула для синтез-управления, а также априорная оценка погрешности полученного решения. Результаты подтверждены численным примером.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Куржанский А. Б. Принцип сравнения для уравнений Гамильтона–Якоби в теории управления // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. 2006. Т. 12, № 1. С. 173–183.
- [2] Чистяков И. А., Точилин П. А. Применение кусочно-квадратичных функций цены для приближённого решения нелинейной задачи целевого управления // Дифференциальные уравнения. 2020. Т. 56. № 11. С. 1545–1554.
- [3] Tochilin P.A. Piecewise affine feedback control for approximate solution of the target control problem // IFAC-PapersOnLine. 2020. Vol. 53. № 2. P. 6127–6132.
- [4] Точилин П. А., Чистяков И. А. О построении разрывного кусочно-аффинного синтеза в задаче целевого управления // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. 2021. Т. 27. № 3. С. 194–210.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЛОЖИВШЕЙСЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДОМАШНИХ ХОЗЯЙСТВ В РЕГИОНАХ РОССИИ

Трусов Николай Всеволодович¹, Шананин Александр Алексеевич²

¹ Кафедра системного анализа, e-mail: trunick.10.96@gmail.com

² Кафедра системного анализа, e-mail: alexshan@yandex.ru

Потребительский кредит является важным элементом экономических отношений в России. Помимо стимулирования экономической активности населения и поддержки платёжеспособного спроса, потребительский кредит является самым выгодным вложением для коммерческих банков. Большинство заёмщиков в России имеют низкие реальные доходы, что приводит к росту потребительского кредитования. Сложившаяся ситуация может превратиться в финансовую пирамиду, а заёмщики в среднесрочной перспективе не будут способны обслуживать взятые кредиты, что породит кризис банковской системы. Пандемия COVID-19 в 2020 году обострила проблему устойчивости рынка потребительского кредита в России. Оперативное регулирование ключевой ставки и субсидирование малоимущих домашних хозяйств позволило избежать кризиса банковской системы. В настоящее время в условиях жёстких экономических санкций резко обострилась проблема роста задолженности по потребительскому кредиту, наблюдается резкое повышение ключевой ставки ЦБ РФ, существенно увеличиваются инфляционные ожидания.

Моделирование экономического поведения домашних хозяйств основывается на модели рамсеевского типа [1, 2, 3]. Модель идентифицирована по данным российской статистики. Представлены сценарии развития экономического положения заёмщиков в разных регионах страны, с учётом резкого изменения денежно-кредитной политики и роста инфляционных ожиданий.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-07-00285).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рудева А. В., Шананин А. А. Синтез управления в модифицированной модели Рамсея с учетом ограничения ликвидности // Дифференциальные уравнения. 2009. Т. 45, № 12. С. 1799–1803.
- [2] Тарасенко М. В., Трусов Н. В., Шананин А. А. Математическое моделирование экономического положения домашних хозяйств в России // ЖВМ и МФ. 2021. Т. 61. № 6. С. 1034–1056.
- [3] A. A. Shanenin, M. V. Tarasenko, and N. V. Trusov. Consumer Loan Demand Modeling // Mathematical Optimization Theory and Operations Research: Recent Trends. 2021. CCIS, V. 1476. P. 417-428.

О ЗАДАЧЕ СУБОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ

Фомичев Василий Владимирович, Каменщиков Михаил Александрович

Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления, e-mail: fomichev@cs.msu.ru,
mkamenshchikov@cs.msu.ru

В работе рассматривается задача о построении субоптимальных фильтров (оптимальных фильтров пониженного порядка), восстанавливающих несмещенную и оптимальную оценку векторного линейного функционала от фазового вектора состояния объектов управления со стохастическими возмущениями по измеряемому векторному выходу. Возмущения в системе представляют некоррелированные между собой в разные моменты времени белые аддитивные шумы с априорно известными вероятностными характеристиками, некоррелированные с начальным состоянием системы и воздействующие как на объект, так и на канал измерений. В качестве критерия оптимальности выбирается среднеквадратичная ошибка в установившемся режиме. Для вычисления критерия применяется метод интегральных квадратичных оценок качества.

Ранее авторами были предложены подходы к вычислению стабилизатора пониженного порядка [1] и к построению функциональных фильтров в совместной задаче стабилизации и субоптимальной фильтрации [2]. Для решения задачи о построении минимального функционального наблюдателя для детерминированных линейных стационарных систем был предложен метод, основанный на скалярных наблюдателях [3] для различных случаев: скалярный и векторный выход, скалярный и векторный функционал. Кроме того, были предложены использующие канонические представления методы синтеза субоптимальных фильтров для скалярного выхода и скалярного функционала как в непрерывном [4], так и в дискретном времени [5].

Для стохастических многосвязных систем (векторный выход и векторный функционал) предлагается подход для синтеза субоптимальных фильтров в каноническом базисе. Предложенный подход позволяет улучшить оптимальность фильтров по сравнению с фильтрами на основе скалярных наблюдателей. Кроме того, предложенный метод допускает синтез субоптимальных фильтров, порядок которых меньше, чем гарантированный [3] порядок наблюдателей. В отличие от существующего подхода [2] к построению функциональных фильтров, динамический порядок субоптимальных фильтров не обязательно совпадает с размерностью векторного функционала от фазового вектора состояния.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 20-37-90065, № 20-08-00073).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Капалин И. В., Каменщиков М. А. Подход к вычислению стабилизатора пониженного порядка // Дифференциальные уравнения. 2019. Т. 55, № 8. С. 1163–1164.
- [2] Каменщиков М. А., Капалин И. В. Метод построения оптимального функционального фильтра для линейных стационарных стохастических систем // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. 2018. № 4. С. 19–26.
- [3] Ильин А. В., Коровин С. К., Фомичев В. В. Методы робастного обращения динамических систем. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. 224 с.
- [4] Фомичев В. В., Каменщиков М. А. Сравнительный анализ оптимальных фильтров второго и третьего порядков для непрерывных систем // Дифференциальные уравнения. 2021. Т. 57, № 11. С. 1546–1554.
- [5] Каменщиков М. А. Передаточные функции оптимальных фильтров различных динамических порядков для дискретных систем // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. 2021. № 2. С. 19–28.

К ВОПРОСУ О СУЩЕСТВОВАНИИ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ ИНТЕРВАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Фурсов Андрей Серафимович¹, Мосолова Юлия Михайловна²

¹ Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления, e-mail: fursov@cs.msu.ru

² Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления, e-mail: july2412@mail.ru

Рассматривается переключаемая интервальная система с режимами различных динамических порядков [1]

$$\dot{x}^{(\sigma)} = [A_{\sigma}]x^{(\sigma)} + [b_{\sigma}]u, \quad \sigma \in S(\Omega), \quad Z(\Omega) = \{Z_{ij} \in \mathbb{R}^{n_i \times n_j} : (ij) \in \Omega\}, \quad (1)$$

где $\sigma : \mathbb{R}_+ \rightarrow I = \{1, \dots, m\}$ — кусочно-постоянная функция с конечным числом разрывов на любом конечном промежутке, I — множество индексов, нумерующих режимы функционирования системы (1); $[A_{\sigma}] = [A] \circ \sigma$ — композиция отображения $[A] : I \rightarrow \{[A_1], \dots, [A_m]\}$ и переключающего сигнала σ , $[b_{\sigma}] = [b] \circ \sigma$ — композиция для отображения $[b] : I \rightarrow \{[b_1], \dots, [b_m]\}$ ($[b_i] \in \mathbb{R}^{n_i}$); пары интервальных матриц $([A_i], [b_i])$, $i = 1, \dots, m$, определяют режимы функционирования системы (1); $u \in \mathbb{R}^1$ — управляющий скалярный вход; $\Omega \subseteq I \times I$ — множество, определяющее допустимые переключения между режимами, т.е. если пара индексов (ij) принадлежит множеству Ω , то возможно переключение с j -го на i -й режим функционирования; $S(\Omega)$ — множество допустимых переключающих сигналов σ ; $Z(\Omega)$ — множество матриц

преемственности, задающих правила перестройки текущего непрерывного состояния.

Для системы (1) предлагается подход к поиску стабилизатора вида

$$u = -k^T x.$$

При этом, данный подход состоит в решении системы линейных матричных неравенств

$$\begin{cases} PF_i^T + F_i P + z g_i^T + g_i z^T < 0 \\ P > 0, \quad i = \overline{1, 2^{n^2+n}}, \end{cases} \quad (2)$$

где матрицы F_i, g_i строятся по параметрам исходной системы.

Решением системы (2) является пара (z_0, P_0) , по которой находятся параметры стабилизатора $k^T = -z_0^T P_0^{-1}$.

Рассматривается переключаемая интервальная система вида [2]

$$\begin{cases} \dot{x} = [A_\sigma]x + [b_\sigma]u \\ y = [c_\sigma]x, \quad \sigma \in S_\tau. \end{cases} \quad (3)$$

где $\sigma : \mathbb{R}_+ \rightarrow I = \{1, \dots, m\}$ — кусочно-постоянная функция (переключающий сигнал) с конечным числом разрывов (переключений) на любом конечном промежутке; S_τ — множество переключающих сигналов σ , для которых время между любыми двумя соседними переключениями не меньше τ ; $x \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния, $y \in \mathbb{R}$ — измеряемый скалярный выход, $u \in \mathbb{R}$ — управляющий вход; $[A_\sigma] : I \rightarrow \{[A_1], \dots, [A_m]\}$; $[b_\sigma] : I \rightarrow \{[b_1], \dots, [b_m]\}$, $[c_\sigma] : I \rightarrow \{[c_1], \dots, [c_m]\}$. Здесь $[A_i], [b_i], [c_i]$ ($i = \overline{1, m}$) — интервальные матрицы соответствующих размеров.

Для системы (3) предлагается подход к поиску цифрового стабилизатора вида

$$\begin{cases} v[(l+1)T] = Qv[lT] + qu[lT] \\ u[lT] = Hv[lT] + hy[lT], \quad v \in \mathbb{R}^r \end{cases}$$

где T — заданный период квантования по времени. Данный подход состоит в поиске решений системы матричных неравенств

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} G^{-1} & A_0^{(i)} + B_0^{(i)} \Theta C_0 \\ (A_0^{(i)})^T + (C_0)^T (\Theta)^T (B_0^{(i)})^T & G \end{pmatrix} > 0, \\ G > 0, \quad i = \overline{1, 2^{n^2+n}} \end{cases}$$

где

$$A_0^{(i)} = \begin{pmatrix} A^{(i)} & O_{n \times r} \\ O_{r \times n} & O_{r \times r} \end{pmatrix}, \quad B_0^{(i)} = \begin{pmatrix} O_{n \times r} & b^{(i)} \\ I_{r \times r} & \bar{o}_r \end{pmatrix}, \quad C_0 = \begin{pmatrix} O_{r \times n} & I_{r \times r} \\ c^T & (\bar{o}_r)^T \end{pmatrix}$$

строятся по параметрам исходной системы. При этом, решением данного неравенства является пара (G, Θ) , где матрица Θ содержит параметры искомого регулятора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-21-00162)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Фурсов А.С., Мосолова Ю.М., Миняев С.И. Построение систем стабилизации для переключаемых интервальных объектов с режимами различных порядков // Дифференциальные уравнения. 2021. Т. 57, N. 11. с. 1555-1563.
- [2] Фурсов А.С., Миняев С.И., Мосолова Ю.М. Синтез цифрового стабилизатора по выходу для переключаемой интервальной линейной системы // Дифференциальные уравнения. 2019. Т. 55, N. 11. с. 1545-1559.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВАТИЗИРУЕМЫХ МАССИВОВ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СИ ПРОГРАММАХ

**Бахтин Владимир Александрович¹, Катаев Никита Андреевич², Лапенко
Юлия Андреевна³**

¹ Кафедра системного программирования, e-mail: bakhtin@keldysh.ru

² ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, e-mail: kataev_nik@mail.ru

³ Кафедра системного программирования, e-mail: julia.lapenko@gmail.com

Повсеместное использование многоядерных архитектур стимулирует разработчиков улучшать программное обеспечение с целью эффективного использования доступных вычислительных ресурсов. Программы, задействующие параллелизм, сложны в разработке и отладке, а возможности автоматически распараллеливающих компиляторов серьезно ограничены, что приводит к необходимости искать вспомогательные инструменты. Разрабатываемая в ИПМ им. М.В.Келдыша РАН система SAPFOR (System FOR Automated Parallelization) [1] обеспечивает возможность автоматизированного распараллеливания «хорошо» написанных программ с активным вовлечением пользователя в процесс.

Частью системы SAPFOR является статический анализатор TSAR (Traits Static AnalyzeR), основанный на инфраструктуре LLVM. Его задачей является сбор информации, полезной для автоматизированного распараллеливания анализируемой программы. Одной из стадий работы анализатора является выявление приватизируемых переменных. Приватизация — это процесс создания локальной копии переменной внутри каждого потока и замена обращения к разделяемой памяти работой с этой локальной копией, что помогает избежать конфликтов доступа к памяти. Эта работа посвящена выявлению приватизируемых массивов, анализ которых более сложен по сравнению с анализом приватизируемых скалярных переменных.

Для определения приватизируемых переменных используется схема потока данных, аналогичная представленной в [2]. Для описания единообразных аффинных обращений к элементам массива в гнёздах циклов введем абстрактное

представление. Множество обращений к k -мерному массиву A по индексам $I_1, \dots, I_k$ будет представимо в виде списка из k описаний, каждое из которых имеет вид:

$$I_j = Start_j + T \cdot Step_j, \quad T \in [0, TripCount_j),$$

где $Start_j \geq 0$ — минимальное значение индексной переменной I_j , $Step_j > 0$ — шаг индексной переменной, $TripCount_j > 0$ — количество итераций в цикле гнезда, ассоциированном с I_j . Такое представление помогает реализовать операцию пересечения участков памяти, необходимую для решения задачи потока данных. Вычисление пересечения производится путем решения диофантова уравнения в случае, если границы цикла постоянны [3]. Для случая переменных границ цикла рассматриваются только такие обращения, у которых $Step = 1$. В этом случае задача поиска пересечения сводится к нахождению пересечения отрезков. В случае, если размер массива или какой-то из шагов непостоянны, анализ производится консервативно.

Разработанный алгоритм определения приватизируемых массивов как с постоянными, так и с переменными границами, был протестирован на тестах из набора NAS Parallel Benchmarks. Предложенный алгоритм сокращает время, затрачиваемое на построение параллельных версий программ, и повышает степень автоматизации распараллеливания в системе SAPFOR.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kataev, N. LLVM Based Parallelization of C Programs for GPU // In: Voevodin V., Sobolev S. (eds) Supercomputing. RuSCDays 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1331. Springer, Cham. pp. 436–448 (2020) 10.1007/978-3-030-64616-5_38.
- [2] Peng Tu, David Padua. Automatic Array Privatization // Center for Supercomputing Research and Development, University of Illinois at Urbana-Champaign. 1993.
- [3] Лапенко Ю. А. Автоматизированное определение приватизируемых массивов в последовательных Си программах : выпускная квалификационная работа : 01.03.02 / Лапенко Юлия Андреевна. Нур-Султан, 2021. 41 с.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ СЕРВИСОВ В ОБЛАЧНОЙ СРЕДЕ

Бирюков Андрей Матвеевич¹, Аксенова Елена Леонидовна², Корухова Людмила Сергеевна³

¹ Кафедра системного программирования ВМК МГУ, e-mail: biryukov.andrej2000@ispras.ru

² Институт системного программирования им. В.П. Иванникова, e-mail: lenaaxenova@ispras.ru

³ Кафедра системного программирования ВМК МГУ, e-mail: sp@cs.msu.ru

Решение проблем хранения и обработки больших объемов данных требует использования значительных вычислительных мощностей и специализиро-

ванных сервисов. Облачные среды предоставляют по запросу необходимые ресурсы и позволяют развертывать виртуальные вычислительные кластеры и устанавливать на них специализированное программное обеспечение. Одной из наиболее популярных моделей предоставления ресурсов является модель Infrastructure as a Service (IaaS), примером облачной платформы уровня IaaS является OpenStack[1].

При использовании специализированных сервисов в таких платформах возникают сложности, связанные с ручной настройкой кластеров и сервисов в облаке, а также с управлением их жизненным циклом. Для автоматизации таких задач используются специальные системы оркестрации в облаке. В работе рассматривается оркестратор Michman [2]. Michman - инструмент развертывания виртуальных кластеров с набором сервисов в облачной среде, который хранит информацию о развернутых системах. На данный момент Michman поддерживает сервисы, которые могут быть установлены на кластер с master-slave и stand-alone архитектурой (например, slurm, spark, postgresql, redis и др.). На рисунке 1 представлена разработанная модель жизненного цикла сервиса в облаке. Изначально оркестратор Michman отвечал за создание кластеров и сервисов по запросу, а также за удаление кластера целиком. Целью работы было реализовать в оркестраторе поддержку недостающих этапов управления жизненным циклом развернутого сервиса.

Мониторинг работоспособности сервисов и нагрузки узлов кластера является неотъемлемой частью функционала оркестратора для дальнейшего управления жизненным циклом сервисов после их развертывания. Так, при помощи системы мониторинга появляется возможность отслеживания актуального статуса сервисов, а также нагрузка системы (ЦПУ, ОЗУ, Disk size).

Одним из методов оптимизации распределения ресурсов системы является масштабирование, за счет которого есть возможность увеличить/уменьшить число узлов кластера или увеличить/уменьшить выделенные ресурсы отдельно взятого узла.

Модель управления сервисами в Michman была дополнена следующими операциями:

- отслеживание актуального статуса сервисов и нагрузки узлов;
- установка, перезапуск и удаление сервисов по запросу;
- масштабирование кластера по запросу или в автоматизированном режиме.

В описание каждого сервиса были добавлены секции с правилами регистрации отслеживаемого статуса и параметрами масштабирования (например, граничные значения ЦПУ, ОЗУ, а также пути до написанных Ansible-tasks для корректного масштабирования).



Рис. 1: Модель жизненного цикла сервиса.

Реализована поддержка автоматического масштабирования. Оркестратор общается с системой мониторинга и на основе полученной информации о загрузке системы принимает решение о добавлении/удалении узлов кластера. Для этого вызываются Ansible-роли, описанные для каждого установленного сервиса, поддерживающего масштабирование. Горизонтальное масштабирование направлено на работу с сервисами с master-slave архитектурой.

В качестве систем мониторинга выбраны Consul[3] и Prometheus[4], автоматизация развертывания которых осуществляется при помощи системы управления конфигурациями Ansible.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Openstack - official documentation. <https://docs.openstack.org/xena/>
- [2] Elena Aksenova, Nikita Lazarev, David Badalyan. Michman: an Orchestrator to deploy distributed services in cloud environments. 2020. P. 57–63
- [3] Consul - official documentation. <https://www.consul.io/docs>
- [4] Prometheus - official documentation.
<https://prometheus.io/docs/introduction/overview/>

ПОИСК ОШИБОК В ИСХОДНОМ КОДЕ НА ОСНОВЕ ИСТОРИИ ИСПРАВЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Игнатъев Валерий Николаевич¹, Корябкин Данил Александрович²

¹ ВМК МГУ, ИСП РАН, e-mail: valery.ignatyev@ispras.ru

² ИСП РАН, e-mail: arboretum@ispras.ru

Стандартные методы поиска ошибок в исходном коде требуют спецификации уже известных проблем, но не позволяют обнаруживать проблемы за

пределами известных случаев. Однако, анализируя истории исправлений реальных проектов их разработчиками, можно выявлять как новые типы ошибок, так и находить в коде пропущенные места, требующие аналогичных правок.

Рассматривая на входе репозитории проектов, включающие историю разработки, можно искать схожие исправления и обобщать их. Для этого строятся шаблоны модификации кода, где различающиеся фрагменты кода можно абстрагировать в виде «дыр», в которые могут производиться различные подстановки при применении шаблона.

В данной работе модификации кода представляются в виде синтаксических деревьев [1], содержимое вершин которых закодировано численными векторами при помощи библиотеки fastText [2]. Эти деревья отражают как изменения (вставки и удаления) внесённые конкретным исправлением, так и включают неизменяемые вершины для задания контекста правки.

Из полученных деревьев, описывающих модификации целых файлов, извлекаются поддеревья отдельных исправлений, которые будем называть конкретными исправлениями. При этом конкретные исправления, находящиеся близко в дереве файла, объединяются и дополняются минимально необходимым контекстом. Он нужен для поиска участков кода, требующих применения правки, и правильной подстановки в том контексте, в котором данный шаблон применяется.

Далее в множестве конкретных исправлений находятся наиболее похожие по структуре дерева и численным векторам fastText. Эти деревья при объединении в шаблоны совмещаются путём выкалывания в них различающихся вершин. При этом одна и та же «дыра» может встречаться в нескольких вершинах. Каждая «дыра» при применении шаблона может замещаться произвольной вершиной.

При объединении пары деревьев возможно автоматически оценить качество получаемого шаблона, оценив доли выколотых и успешно совмещённых вершин в общем фрагменте итогового дерева шаблона. Инструмент сохраняет и выводит только шаблоны наилучшего качества, объединяющие наибольшее количество конкретных исправлений.

На данный момент эти шаблоны применяются вручную, в дальнейшем будет разработан инструмент для их автоматического применения в подходящих фрагментах произвольного кода.

Автоматическое выявление шаблонов исправлений кода с помощью машинного обучения является актуальной областью исследований [3, 4]. В частности, похожее решение реализовано в проекте Revisar [5], но предлагает большую гранулярность и более точное сравнение вершин синтаксических деревьев. Это позволяет более точно определять те вершины, которые должны точно удовлетворять шаблону, и те, в которых при применении возможны вариации. Таким образом вариация только в вершине ветвления не влечёт выкалывание

целого поддерева, а сохраняет совпадающие между исправлениями конкретные значения других вершин. Также есть возможность отслеживать характер вариаций в выкалываемых вершинах и находить в них закономерность, а не только обнаруживать наличие вариаций и проверять их на тождественность.

Реализованный в результате инструмент генерации шаблонов правок кода способен обрабатывать объемные репозитории с глубокой историей разработки в течение нескольких часов и предлагать на выходе большое количество шаблонов для правки кода, ранжированных по размеру (количеству объединённых конкретных модификаций) и качеству. Однако оценка реальной применимости и полезности предложенных шаблонов на данный момент всё же требует ручной проверки специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Falleri J. R. et al. Fine-grained and accurate source code differencing //Proceedings of the 29th ACM/IEEE international conference on Automated software engineering. – 2014. – С. 313-324.
- [2] Bojanowski P. et al. Enriching word vectors with subword information //Transactions of the association for computational linguistics. – 2017. – Т. 5. – С. 135-146.
- [3] Kreutzer P. et al. Automatic clustering of code changes //2016 IEEE/ACM 13th Working Conference on Mining Software Repositories (MSR). – IEEE, 2016. – С. 61-72
- [4] Gao X. et al. Feedback-driven semi-supervised synthesis of program transformations //Proceedings of the ACM on Programming Languages. – 2020. – Т. 4. – №. OOPSLA. – С. 1-30.
- [5] Rolim R. et al. Learning quick fixes from code repositories //arXiv preprint arXiv:1803.03806. – 2018.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕЙРОСЕТЕВОЙ ГЕНЕРАЦИИ КОММЕНТАРИЕВ К КОММИТАМ

Корухова Людмила Сергеевна, Раснюк Александр Геннадьевич

Кафедра системного программирования, e-mail: sp@cs.msu.ru, ralegen@gmail.com

В системах контроля версий вносимые в проект изменения группируются в *коммиты*. Одной из важнейших составляющих коммита является *комментарий к нему* (англ. commit message), которым обычно выступает относительно небольшой текст, позволяющий емко охарактеризовать суть вносимых изменений. Актуальной является задача автоматической генерации *качественных* комментариев для произвольного коммита. При наличии эталона качество генерации можно оценить количественно, например, по метрике BLEU.

Последние публикации по данной теме, посвященные языку программирования Java, четко свидетельствуют об успешности подходов на основе моделей нейросетевого машинного перевода (см. [1]) в сравнении с подходами, генерирующими сообщения по заранее определенным правилам, исходя из структуры изменений. Тем не менее новые подходы анализируют лишь фрагменты программ в непосредственной близости от внесенных изменений, и это, как представляется, значительно ограничивает их потенциал.

Целью данной работы является улучшение имеющейся системы из статьи [1] путем добавления в качестве входных данных нейросети вектора, представляющего глобальный контекст изменения. Для получения такого вектора используется алгоритм *Code2Vec*, представленный в статье [2]. В своем исходном виде он, однако, напрямую к поставленной задаче не применим, поскольку векторизует только отдельные методы, а не весь объемлющий их Java-класс целиком. Данная проблема была проанализирована в статье [3], где было показано, что наиболее эффективным, с точки зрения дальнейшего использования в различных задачах машинного анализа программ, является представление Java-класса в виде конкатенации двух векторов: арифметического среднего и покомпонентного минимума векторов всех объявленных внутри класса методов.

Для проведения исследования были загружены коммиты с файлами затронутых ими классов из первой сотни наиболее популярных на GitHub Java-репозиториях. В ходе экспериментов варьировались следующие параметры:

1. Способ получения вектора глобального контекста. Например, для этих целей можно использовать оригинальную или измененную версии класса, а также линейную комбинацию их векторов.
2. Способ использования вектора глобального контекста. Например, можно конкатенировать его с векторным представлением входных токенов нейросети или использовать его в блоке внимания (англ. *attention*).

Полученная модель превосходит оригинальную [1] по метрике BLEU, что доказывает результативность внесенных изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Jiang S., Armaly A., McMillan C. Automatically generating commit messages from diffs using neural machine translation // Proceedings of the 32nd IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. 2017. С. 135–146.
- [2] Code2Vec: learning distributed representations of code / U. Alon, M. Zilberstein, O. Levy, E. Yahav // Proc. ACM Program. Lang. 2019. С. 40:1–40:29.
- [3] Embedding java classes with Code2Vec: improvements from variable obfuscation / R. Compton, E. Frank, P. Patros, A. Koay // MSR 20: Proceedings

of the 17th International Conference on Mining Software Repositories. 2020. C. 243-253.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ФОРТРАН-ПРОГРАММ ДЛЯ ИХ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ НА ГИБРИДНЫЕ КЛАСТЕРЫ

**Крюков Виктор Алексеевич¹, Колганов Александр Сергеевич², Гусев
Григорий Дмитриевич³**

¹ Кафедра системного программирования, e-mail: krukov@keldysh.ru

² ИПМ им. В.М. Келдыша РАН, e-mail: dvm@keldysh.ru

³ Кафедра системного программирования, e-mail: gr@medhim.ru

Распараллеливание программ может быть затруднено из-за их оптимизации под последовательное выполнение. Для повышения возможностей системы автоматизированного распараллеливания Фортран-программ [1] потребовалось реализовать некоторые преобразования программ в рамках последовательного кода. Так как основной ресурс параллелизма заключается в циклах, то для наиболее эффективного распараллеливания необходимо привести основные вычислительные циклы программы к потенциально параллельному виду. Наилучшим для распараллеливания будет тесно-вложенный цикл, витки которого отображаются на массивы так, чтобы при отображении на процессоры необходимый доступ к удалённым данным был минимален. Для расширения возможностей системы по приведению циклов к потенциально параллельному виду были реализованы следующие преобразования: объединение/разделение циклов, сужение/расширение приватных переменных.

Объединение циклов является корректным преобразованием при условии отсутствия зависимости по данным между объединяемыми циклами. Объединение производится для циклов с совпадающими границами с помощью переноса тела второго цикла внутрь первого с соответствующим переименованием итерационных переменных. В некоторых случаях после объединения циклов массив может оказаться приватным для образованного цикла, и может быть сужен по части измерений, что снимает необходимость распределять его между процессами и даёт экономию по памяти.

Разделение цикла позволяет разбить исходный цикл на несколько более подходящих для распараллеливания циклов так, что каждый из образованных циклов обрабатывает свою часть данных и требует при этом минимальное количество удалённых данных и теневых обменов. Если между частями тела разделяемого цикла существует зависимость по приватным переменным, то для корректного разделения требуется их расширение. Оно реализуется за счёт добавления к переменным измерений, соответствующих измерениям тесно-вложенного цикла.

Реализованные преобразования вместе с преобразованием «точечная подстановка процедур» позволили автоматизированно распараллелить программу NAS LU и эффективно выполнить её на ГПУ Tesla V100, получив ускорение на размере задачи C в 19 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Сайт DVM-системы URL: dvm-system.org (дата обращения: 17.03.2022)

ГЕНЕРАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО КОДА ПРОЛОГА И ЭПИЛОГА ФУНКЦИЙ

**Кудряшов Евгений Алексеевич¹, Мельник Дмитрий Михайлович²,
Белеванцев Андрей Андреевич³**

¹ Институт системного программирования РАН, e-mail: kudryashov@ispras.ru

² Институт системного программирования РАН, e-mail: dm@ispras.ru

³ Профессор кафедры СП ВМК МГУ, e-mail: abel@ispras.ru

Соглашения о вызове определяют особенности вызова подпрограмм. В частности, они определяют списки машинных регистров, подлежащих сохранению и восстановлению до и после вызова самой функции. Так, сохранение и восстановление регистров после вызова обычно происходит в прологе и эпилоге функции.

Различные оптимизационные проходы компилятора стараются использовать регистры, не требующие дополнительных сохранений и восстановлений. Однако, если компилятору всё же пришлось использовать регистры, за сохранность значений которых отвечает сама функция, то сохранность будет гарантироваться посредством пролога и эпилога. Такой подход обладает определенным недостатком для функций, в чьём графе потока управления дополнительные регистры необходимы не на всех путях выполнения. Для таких функций сохранность значения регистра будет гарантироваться всегда, даже если в процессе выполнения этот регистр не использовался.

Подход по разделению пролога на части, которые гарантируют сохранность регистра, только если он действительно нужен, был предложен в 1988 году [1]. Попытка его реализации в компиляторе LLVM показала, что время компиляции увеличивается слишком сильно по отношению к приросту производительности сгенерированного кода, для того чтобы эта оптимизация могла быть включена по умолчанию. Также этот подход создавал несколько сохранений и восстановлений одного и того же регистра, что в целом могло увеличивать как время выполнения кода, так и его размер. В 2006 году была опубликована работа [2], пытающаяся сократить количество таких повторных сохранений.

Предлагается подход схожий с реализованным в компиляторе LLVM, который производит поиск оптимальных мест для пролога и эпилога в графе потока управления без попыток разбиения на части. Подход основывается на

том, чтобы располагать части пролога в базовых блоках, которые доминируют все использования регистров. Части эпилога, соответственно, располагаются в конце базовых блоков пост-доминирующих все использования. При этом части пролога и эпилога не генерируются внутри циклов, а только на их границах.

Таким образом, новый подход предлагает единственное сохранение регистра в случае его необходимости, в то время как описанные выше работы [1, 2] предлагают сохранение и восстановление близкое к использованию, но без гарантии, что оно будет единственным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Chow F. Minimizing register usage penalty at procedure calls // ACM SIGPLAN Notices. 1988. Т. 23. № 7. С. 85–94.
- [2] Lupo C., Wilken K. Post Register Allocation Spill Code Optimization // International Symposium on Code Generation and Optimization (CGO'06).

ДЕТЕКТОР ОШИБОК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМНОГО ВЫЗОВА `fork`, ПРИВОДЯЩИХ К НЕПРЕДНАМЕРЕННОМУ ПОРОЖДЕНИЮ ПРОЦЕССОВ

Ланбин Николай Андреевич¹, Дудина Ирина Александровна²

¹ Кафедра системного программирования, e-mail: nlanbin@ispras.ru

² Кафедра системного программирования, e-mail: eupharina@ispras.ru

Пара системных вызовов `fork()` и `exec()` является стандартным способом запуска новых процессов в Unix-подобных операционных системах. `fork()` создает новый процесс в системе как копию старого, а `exec()` запускает исполняемый файл в контексте только что созданного процесса. Если вызов `exec()` завершился с ошибкой, только что созданный процесс должен быть завершен, как показано на листинге 1. Если этот случай не обработан отдельно, например, как на листинге 2, выполнение программы продолжится в двух процессах сразу, что может привести к неожиданному поведению программы. А если приведенный код выполняется в цикле, неудачное завершение вызова `exec()` приведет к экспоненциальному разрастанию количества процессов, более известному как *fork-бомба*, которое, в свою очередь, приведет к отказу в обслуживании (DoS).

```
int pid = fork();
if(pid < 0) { // failed to fork
    return -1;
} else if (pid > 0) { // parent
    return pid;
} else { // child
    execve(...);
    exit(1) // CORRECT
}
```

Листинг 1: Исправленный код

```
int pid = fork();
if(pid < 0) { // failed to fork
    return -1;
} else if (pid > 0) { // parent
    return pid;
} else { // child
    execve(...);
    return -1; // WRONG
}
```

Листинг 2: Код с ошибкой

В рамках данной работы был реализован детектор потенциально опасных ситуаций, связанных с системным вызовом `fork()`. Детектор является частью статического анализатора Svace, разрабатываемого в ИСП РАН[1].

Для обнаружения ошибки необходимо для каждой точки программы, достижимой из вызова `fork()`, вычислять, может ли она выполняться дочерним, родительским или обоими процессами сразу. Общий вид ошибки — существует точка в программе, достижимая и из «родительской» ветки условного оператора, и из «дочерней». В этой точке выдается предупреждение. Здесь мы исходим из предположения, что когда программист намеренно разделит потоки управления процессов, он не собирался объединять их обратно. Анализ достижимости является чувствительным к путям, т. е. учитывает совместность условий переходов на рассматриваемом потенциально ошибочном пути выполнения. Детектор является межпроцедурным, т. е. способен отслеживать не только вызовы самой функции `fork()`, но и различных пользовательских оберток над ней.

Предупреждение с повышенным приоритетом выдается когда два процесса, порожденные вызовом `fork()`, выполняют любой другой вызов `fork()`. А если два процесса выполняют снова тот же самый вызов `fork()`, который их породил (т. е. `fork()` располагается в цикле), то это свидетельствует о потенциальной fork-бомбе, и выдаётся предупреждение с наивысшим приоритетом.

Тестирование детектора проводилось на исходном коде ОС Tizen 6.5. На этом проекте детектор выдал в общей сложности 104 предупреждения, доля истинных составила 91%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бородин А. Е., Белеванцев А. А. Статический анализатор Svace как коллекция анализаторов разных уровней сложности. // Труды Института системного программирования РАН. 2015. Т. 27 № 6 С. 111–134.

ОБНАРУЖЕНИЕ УТЕЧЕК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ В ВОССТАНОВЛЕННОМ ИЗ БИНАРНОГО КОДА ВЫСОКОУРОВНЕВОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ АЛГОРИТМА ПРОГРАММЫ

Падарян Варган Андроникович, Кулагин Иван Иванович, Кошкин Вячеслав Александрович

Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, e-mail: vartan@ispras.ru, i.kulagin@ispras.ru, trickyfox371@ispras.ru

Обнаружение утечек чувствительных данных является одной из задач анализа безопасности кода программ. В роли чувствительных данных могут выступать пароли, ключи шифрования, персональные и платёжные данные пользователей, а также другая конфиденциальная информация, раскрытие которой может приводить к нарушению безопасности системы. Утечки чувствительных данных могут возникать вследствие ошибок на уровне логики программного обеспечения (ПО) либо в результате наличия в коде программы специальных программных закладок. Таким образом, для обнаружения утечек чувствительных данных необходимо тщательным образом выполнять анализ алгоритма, реализованного исследуемым ПО. В условиях отсутствия исходного кода и усложнения современных программных систем такой анализ очень трудоемок и требует значительной ручной работы.

Традиционным подходом к поиску утечек чувствительных данных является использование технологии отслеживания потока данных или динамического анализа помеченных данных [1, 2, 3]. Применительно к анализу бинарного кода на уровне отдельных машинных инструкций недостатком данных подходов являются ложные срабатывания из-за потери меток при распространении или их избыточного наличия. Кроме того, не учитывается характер преобразования помеченных данных, например, шифрование/дешифрование, архивирование/разархивирование, кодирование/декодирование и др.

В работе предложен метод обнаружения утечек чувствительных данных в восстановленном из бинарного кода высокоуровневом представлении алгоритма программы. Предложенный метод позволяет перейти от анализа алгоритма программы на уровне инструкций к анализу более крупных функциональных единиц — моделей функций [4]. Наличие моделей функций позволяет учесть семантику фрагментов кода и характер преобразований данных. Кроме того, информация о семантике некоторых функций позволяет уточнить отслеживаемый поток данных и, тем самым, не допустить потерю меток или их избыточное наличие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Denning D. E., Denning P. J. Certification of Programs for Secure Information Flow // Commun. ACM, 1977, V. 20, № 7, P. 504–513.
- [2] TaintEraser: Protecting Sensitive Data Leaks Using Application-level Taint Tracking / D. Y. Zhu, J. Jung, D. Song, T. Kohno, D. Wetherall // SIGOPS Oper. Syst. Rev., 2011, V. 45, № 1, P. 142–154.
- [3] libdft: Practical Dynamic Data Flow Tracking for Commodity Systems / V. P. Kemerlis, G. Portokalidis, K. Jee, A. D. Keromytis // In Proceedings of the 8th ACM SIGPLAN/SIGOPS International Conference on Virtual Execution Environments (VEE), London, UK, 2012, P. 121–132.
- [4] Recovery of High-Level Intermediate Representations of Algorithms from Binary Code / A. B. Bugerya, I. I. Kulagin, V. A. Padaryan, M. A. Solovev, A. Yu Tikhonov // In Proceedings of Ivannikov Memorial Workshop (IVMEM), Veliky Novgorod, 2019, P. 57–63.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ PQRSТ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ

Машкова Ольга Анатольевна¹, Турдаков Денис Юрьевич²

¹ ИСП РАН, e-mail: mashkova@ispras.ru

² Кафедра системного программирования, e-mail: turdakov@ispras.ru

Введение. Электрокардиограмма (ЭКГ) представляет собой результат регистрации электрической активности сердца при помощи электродов на теле человека, фиксирующих разность потенциалов. Данное исследование является одним из важнейших в определении нарушения электролитного баланса, острых патологий сердца, физического состояния сердечной мышцы и т. д.. Анализ ЭКГ включает в себя определение положения комплексов QRS и волн Р и Т.

Краткое описание алгоритма. Теоретической основой исследования явилось каскадное вычисление дискретных свёрток сигнала с вейвлетной функцией методами кратномасштабного анализа [1] для получения коэффициентов детализации на 2-м и 3-м уровнях декомпозиции сигнала. В качестве базового алгоритма был выбран алгоритм разметки одного отведения ЭКГ [2]. Для предобработанного сигнала считаются коэффициенты детализации дискретного вейвлет-преобразования для вейвлета Хаара 2-го и 3-го уровней. Нулевое пересечение данных коэффициентов соответствует точкам локального экстремума сглаженного исходного сигнала, а их максимальные абсолютные значения отвечают максимальным амплитудам сигнала [3]. На основе значений полученных коэффициентов определяются все элементы PQRSТ комплекса. Все полученные координаты корректируются на основе расстояний между соседними величинами и усредняются по всем отведениям.

Оценка работы алгоритма. Алгоритм тестировался на данных LUDB (Lobachevsky University Electrocardiography Database). Для оценки работы алгоритма были взяты метрики из [4]. Для оценки устойчивости работы алгоритма были посчитаны такие же метрики для симметричной 40 мс-окрестности.

Результаты. На рисунке 1 представлены результаты работы алгоритма. На рисунке 2 представлен пример сегментации ЭКГ-сигнала.

40 мс	m ± d	Se	PPV	F1
Начало QRS	-21.5 ± 8.6	99.20 %	99.55 %	99.33 %
Пик QRS	1.8 ± 7.6	99.36 %	99.61 %	99.44 %
Конец QRS	16.5 ± 10.1	99.23 %	99.60 %	99.32 %
Начало Р	-21.2 ± 6.8	100.00 %	99.60 %	99.75 %
Пик Р	-18.9 ± 5.2	100.00 %	99.74 %	99.85 %
Конец Р	0.8 ± 9.5	100.00 %	99.22 %	99.32 %
Начало Т	-11.1 ± 10.6	98.15 %	99.58 %	98.33 %
Пик Т	-5.2 ± 5.4	99.03 %	99.43 %	99.09 %
Конец Т	10.6 ± 10.2	98.06 %	98.70 %	98.51 %
150 мс	m ± d	Se	PPV	F1
Начало QRS	-23.5 ± 10	99.25 %	99.55 %	99.36 %
Пик QRS	0.8 ± 9.2	99.37 %	99.62 %	99.46 %
Конец QRS	18.1 ± 13.4	99.36 %	99.59 %	99.44 %
Начало Р	-64.1 ± 23	100.00 %	99.82 %	99.90 %
Пик Р	-47.4 ± 17.9	100.00 %	99.82 %	99.90 %
Конец Р	0.8 ± 14.5	100.00 %	99.74 %	99.86 %
Начало Т	-30 ± 18.5	99.11 %	99.78 %	99.34 %
Пик Т	-11.2 ± 10.8	99.22 %	99.60 %	99.35 %
Конец Т	8.6 ± 17.7	99.16 %	99.07 %	98.99 %

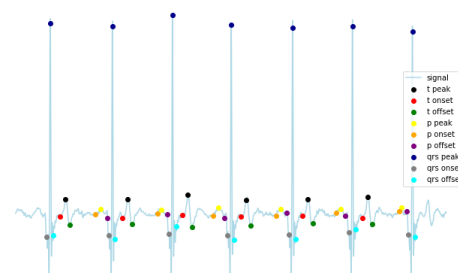


Рис. 2: Пример сегментации ЭКГ-сигнала.

Рис. 1: Результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Mallat S. G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 1989. Т. 11. № 7. С. 674–693.
- [2] Di Marco L. Y., Chiari L. A wavelet-based ECG delineation algorithm for 32-bit integer online processing // Biomedical engineering online. 2011. Т. 10. № 1. С. 1–19.
- [3] A wavelet-based ECG delineator: evaluation on standard databases / J. P. Martínez, R. Almeida, S. Olmos, A. P. Rocha, P. Laguna // IEEE Transactions on biomedical engineering. 2004. Т. 51. № 4. С. 570–581.
- [4] Moskalenko V., Zolotykh N., Osipov G. Deep learning for ECG segmentation // international conference on Neuroinformatics. Springer, Cham, 2019. С. 246–254.

FUTAG — АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ФАЗЗИНГ-ОБЕРТОК ДЛЯ ПРОГРАММНЫХ БИБЛИОТЕК

Чан Ти Тхиен, Курмангалеев Ш. Ф., Ларионов-Тришкин Т. А.¹,
Белеванцев А. А.²

¹ ИСП РАН, e-mail: thientc@ispras.ru, kursh@ispras.ru, tlarionov@ispras.ru

² Кафедра СП ВМК МГУ, e-mail: abel@ispras.ru

Генерация фаззинг-оберток [1] для функций библиотеки всегда требует вложения большого труда и времени на изучение способов их использования. Инструмент Futag [2] использует статический анализ для вывода зависимостей между сущностями (типами данных, определениями функции, структурами и т. д.) и определения контекстов использования функций в самом коде библиотеки, после этого Futag генерирует фаззинг-обертки, компилирует, запускает фаззинг-тесты и собирает результат фаззинга в автоматическом режиме. Были разработаны новые чекеры [3], плагины для компилятора Clang и другие вспомогательные скрипты для анализа и сборки результата. Этапы работы инструмента:

Препроцессирование. Принимая на свой вход исходный код библиотеки, Futag компилирует его с санитайзерами [4] и запускает статический анализ, чтобы собрать:

- определения типов данных, функций, структур и т.д.;
- способы описания и инициализации переменных;
- контексты вызова функций;
- параметры компиляции, системные библиотеки и т.д.

Генерация. Futag способен генерировать фаззинг-обертки для разных платформ (например, для LibFuzzer [5] и Crusher [6]). Фаззинг-обертки преобразуют непрерывный входной буфер во фрагменты данных для передачи необходимым переменным в контексте вызова целевой функции. С помощью параметров компиляции и других аргументов, собранных на этапе препроцессирования, Futag автоматически компилирует все сгенерированные фаззинг-обертки.

Сборка результатов. На данном этапе Futag запускает фаззинг-тесты и собирает результат фаззинга. Реализована возможность автоматического запуска отладчика GDB для получения значений переменных в месте аварийного останова. Для удобства пользователь также может выгрузить результат в графическую систему просмотра предупреждений анализатора Svace [7].

Для оценки работы инструмента Futag был применён для анализа ряда библиотек, в числе которых libpng, libxml2, curl, libjson-c, openssl. Были найдены ошибки разных типов (SEGV on unknown address, stack/heap buffer overflow и т.

д.), в том числе одна ошибка в библиотеке libpng [8] и две ошибки в библиотеке PostgreSQL (ошибки были отосланы разработчикам продукта на проверку).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и КН РА в рамках научного проекта № 20-57-05002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Boehme M., Cadar C., Roychoudhury A. Fuzzing: Challenges and Reflections // IEEE Software. 2021. vol. 38, no. 03, 79-86
- [2] Tran Chi Thien, Kurmangaleev S. Futag: Automated fuzz target generator for testing software libraries // 2021 Ivannikov Memorial Workshop (IVMEM). 2021. 80-85.
- [3] <https://clang.llvm.org/docs/analyzer/checkers.html>
- [4] Serebryany Konstantin, Bruening Derek, Potapenko Alexander, Vyukov Dmitry AddressSanitizer: a fast address sanity checker // In Proceedings of the 2012 USENIX conference on Annual Technical Conference (USENIX ATC'12) 2012.
- [5] libFuzzer – a library for coverage-guided fuzz testing. // <https://llvm.org/docs/LibFuzzer.html>
- [6] ИСП Crusher: комплекс динамического анализа программ. // <https://www.ispras.ru/technologies/crusher/>
- [7] Иванников В. П., и др. Статический анализатор Svase для поиска дефектов в исходном коде программ // Труды Института системного программирования РАН. – 2014. – Т. 26. – №. 1.
- [8] <https://github.com/glennrp/libpng/issues/362>

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЕЖЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Иванов Дмитрий Александрович¹, Воеводин Владимир Валентинович²

¹ Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: rudimiv@gmail.com

² Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: voevodin@parallel.ru

В данной статье предлагается метод на основе разреженных вычислений для оптимизации нейронных сетей, решающих задачу обучения с подкреплением.

Введение Многие современные нейронные сети потребляют огромное количество вычислительных ресурсов как при обучении, так и при inference. В ряде недавних работ [1, 2] было показано, что многие веса являются избыточными и могут быть удалены без потери качества (или с небольшими потерями) работы нейросети.

С другой стороны, в некоторых задач, которые решают нейронные сети, входные данные представляют из себя последовательность высокоскореллированных фреймов. Яркими примерами подобных задач являются обработка видео, звука, задачи обучения с подкреплением (RL). В таких задачах, то что нейросеть видела на шаге $t - 1$, скорей всего сильно похоже на то, что она видит сейчас на шаге t . В работе [3] был предложен алгоритм оптимизации нейронных сетей, работающих с подобными данными. Основная идея данного подхода заключается в асинхронном пересчитывании состояний только тех нейронов, для которых произошли серьезные изменения, по сравнению с предыдущим шагом.

Описание метода и результаты Предложенный метод оптимизации нейронных сетей состоит в объединении двух идей: прореживания нейронной сети и использования высокой скоррелированности потоковых данных. Все это позволяет существенно уменьшить число операций умножения чисел при исполнении нейронной сети. Основной архитектурой для оптимизации и проверки метода была выбрана сеть DQN [4], а тесты проводились на различных Atari окружениях.

На разных задачах обучения с подкреплением было получено уменьшение в 20 - 150 раз количества операций умножения чисел, в которых оба аргумента не равны нулю. При этом, данная оптимизация была проведена без серьезных потерь в качестве, а в некоторых случаях и с улучшением качества работы. Так для игры Breakout при отрезании 80 процентов весов выигрыш в операциях достигает 120 раз без потери качества. Для игры Enduro выигрыш по числу операций достигает 22 раз с выигрышем в качестве в 5 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Blalock D. et al. What is the state of neural network pruning? //Proceedings of machine learning and systems. – 2020. – Т. 2. – С. 129-146.
- [2] Frankle J., Carbin M. The lottery ticket hypothesis: Finding sparse, trainable neural networks //arXiv preprint arXiv:1803.03635. – 2018.
- [3] Khoei M. A. et al. SpArNet: Sparse Asynchronous Neural Network execution for energy efficient inference //2020 2nd IEEE International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems (AICAS). – IEEE, 2020. – С. 256-260.
- [4] Mnih V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning //nature. – 2015. – Т. 518. – №. 7540. – С. 529-533.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТРЕХМЕРНЫХ СТРУКТУР БЕЛКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУПЕРСЕМЕЙСТВ ДОМЕНОВ

**Мазеев Артём Валерьевич, Попова Нина Николаевна¹, Суплатов
Дмитрий Андреевич²**

¹ Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: mav367@mail.ru, popova@cs.msu.ru

² НИИ физико-химической биологии имени А.Н.Белозерского, e-mail: d.a.suplatov@belozersky.msu.ru

Сравнительный анализ 3D-структур белков широко используется при решении многих задач биоинформатики. Наиболее важным источником белковых структур является база данных PDB (Protein Data Bank) [1], в которой собирается информация об экспериментально определенных белковых структурах и их атомных координатах. Число структур в этой базе постоянно увеличивается. Поиск белков структурно похожих на заданный белок является актуальной задачей. Лидирующим подходом к сравнительному структурному анализу белков является метод, основанный на выравнивании структур. Выравнивание определяется путем совмещения наборов координат атомов сравниваемых белков согласно некоторому заданному критерию расстояния между структурами. Методы парного структурного выравнивания активно развиваются, преследуя своей целью повышение качества выравнивания и сокращение времени решения.

Идея предлагаемого в данной работе решения задачи поиска структурно похожих белков заключается в разбиении процесса поиска на две фазы. В первой фазе быстрыми методами производится поиск потенциально похожих белков, во второй фазе проводится уточняющий поиск более точными методами.

В работе рассматриваются методы машинного обучения для реализации первой фазы поиска. В качестве обучающих выборок используются базы данных, построенные на основе PDB и состоящие из выделенных классов белков-гомологов, то есть родственных и схожих по строению белков. Такие базы данных формируются исследователями для решения других задач. В качестве такой базы данных в работе рассмотрена база данных CATH S40 [2], состоящая из множества доменов белков, разбитых на классы гомологов. Для каждого белка из этой базы данных строится вектор признаков. В качестве такого вектора в работе предлагается использовать вектор, определяющий распределение расстояний между всеми парами C_{α} атомов в белке. Можно доказать, что для схожих белков вектора признаков будут похожи. Результаты применения нейросетевого подхода для сравнения пространственных структур белков представлены в опубликованной авторами работе [3]. Предложенная

полносвязная нейросеть позволила существенно сократить время решения задачи по сравнению с другими методами, традиционно используемыми для выравнивания трехмерных структур белков.

В данной работе проведение сравнительного анализа структур белков рассмотрено на основе цепей белков — структурных единиц белка большего размера. Исследовано решение задачи с использованием предложенного ранее нейросетевого подхода и с применением алгоритма случайного леса. Проведен сравнительный анализ точности полученных решений. Анализ метода решающих деревьев показал, что причина низкой точности при применении модели, обученной на доменах, к цепям белков — большой размер цепей по сравнению с доменами белков.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №20-07-01053 (Мазеев А.В. и Попова Н.Н.) и №20-07-00970 (Суплатов Д.А.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Berman J., Westbrook Z., Feng G., et al. The Protein Data Bank // *Nucleic Acids Research*. 2000. Vol. 28. P. 235–242. DOI: 10.1093/nar/28.1.235.
- [2] Jones S., Jones D., Swindells M., Thornton J. CATH – a hierarchic classification of protein domain structures // *Structure*. 1997. Vol. 5. No. 8. P. 1093–1109. DOI: 10.1016/s0969-2126(97)00260-8.
- [3] Мазеев А. В., Попова Н. Н., Суплатов Д. А. Нейросетевой метод сравнительного анализа трехмерных структур белков на основе суперсемейств доменов // *Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции (27-28 сентября 2021 г., г. Москва)*. Москва: МАКС Пресс, с. 124–130.

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИОННЫХ И РОЕВЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Николашкин Алексей Герасимович¹, Ершов Николай Михайлович²

¹ Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: nagvv97@mail.ru

² Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: ershovnm@gmail.com

Применение эволюционных алгоритмов и методов роевого интеллекта является актуальным подходом к решению сложных задач многомерной оптимизации, например, задач структурной биоинформатики [1] или задач машинного обучения [2]. Будем называть их популяционными методами оптимизации.

Были проанализированы несколько наиболее популярных семейств популяционных алгоритмов [3], включая метод имитации отжига, генетические алгоритмы, метод дифференциальной эволюции, метод роя частиц, муравьиные алгоритмы и т.д.

По результатам проведенного анализа была предложена модельная структура организации популяционных алгоритмов. Согласно этой модели все данные, с

которыми работает алгоритм, должны быть либо локальными, привязанными к отдельным особям популяции, либо глобальными (данные среды). А сами особи имеют в любой момент времени доступ только к своим данным и к данным среды. Доступ к данным других особей выполняется только в рамках специальных процедур.

Выполнение популяционного алгоритма происходит в три этапа. На первом этапе выполняется создание популяции, настройка параметров особей и инициализация параметров среды. Далее выполняется основной цикл алгоритма, на каждой итерации которого к текущей популяции применяется заданная последовательность операторов. И в конце завершающий этап при удовлетворении условия завершения.

Основная вычислительная работа, таким образом, происходит в основном цикле при применении к популяции последовательности операторов. Несмотря на большое разнообразие используемых ими операторов, все эти операторы могут быть разделены на небольшое число паттернов, различающихся между собой способом взаимодействия особей популяции друг с другом и с окружающей их средой. Всего в результате анализа было выделено семь таких паттернов: *evaluate*, *foreach*, *neighbors*, *pairs*, *pop2ind*, *signals*, *reduce*. Преимуществом использования данных паттернов при описании алгоритмов является то, что все они могут быть относительно просто и эффективно распараллелены. Это важный аспект так как популяционные алгоритмы для своей работы требуют выполнения больших объемов вычислительной работы [4].

Предложенная в работе модель организации популяционных алгоритмов оптимизации была реализована в последовательном варианте в виде прототипа программной библиотеки *Insectae* на языке программирования Python. Библиотека поддерживает: девять семейств алгоритмов; гибкую систему настройки их параметров; систему тестовых задач с визуализацией процесса их решения; автоматический сбор статистики хода выполнения заданного алгоритма. Каждый из реализованных в библиотеке алгоритмов описан строго в терминах рассмотренных выше паттернов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Poluyan S., Ershov N. Parallel evolutionary optimization algorithms for peptide-protein docking // EPJ Web of Conferences. 2018. vol. 173.
- [2] Junior F. E. F., Yen G. G. Particle swarm optimization of deep neural networks architectures for image classification // Swarm and Evolutionary Computation. 2019. vol. 49. С.62-74.
- [3] Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
- [4] Ершов Н. М., Попова Н. Н. Автоматическая генерация параллельных алгоритмов машинного обучения и эволюционных вычислений // Труды меж-

дународной конференции «Суперкомпьютерные дни в России» (Москва, 26-27 сентября 2016 г.). М.: Изд-во МГУ, 2016, С.814-815

О НЕКОТОРЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМАХ СЕГМЕНТАЦИИ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ СЕТОК

Никольский Илья Михайлович¹, Сайбель Тимофей Александрович²

¹ Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: obrazcov_oo@emsu.ru

² Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: primerov_pp@cs.msu.ru

Сегментация полигональных сеток (разбиение совокупности граней на несколько непересекающихся подмножеств) используется во многих областях компьютерной графики и машинного зрения. Так например, повышение степени сжатия полигональной модели может быть достигнуто с помощью предварительной сегментации объекта. При обнаружении столкновений (collision detection) сегментация облегчает построение иерархии ограничивающих объемов. Анализ трёхмерных форм, отображение текстур, прореживание полигональных сеток - во всех этих областях использование сегментации может дать положительный эффект.

В данной работе проведено исследование двух алгоритмов сегментации - иерархического метода разрезания графа [1] и улучшенного алгоритма разрастания регионов [2]. Оба описанных метода достаточно популярны в литературе, одним из их достоинств является эффективное решение проблемы чрезмерной сегментации, от которой страдают многие методы рассматриваемого класса.

В данной работе была предложена модификация метода разрезания графа. Вместо геодезического расстояния (требующего большого объёма вычислений) используется евклидово расстояние. С помощью вычислительных экспериментов было показано, что качество сегментации с помощью такой модифицированной версии является достаточно высоким.

Основной целью данной работы было сравнение описанных выше методов. Для тестирования использовался набор полигональных моделей университета Принстон [3], который часто используется для оценки качества алгоритмов сегментации. Сравнение проводилось по следующим критериям: качество сегментации, скорость работы последовательной версии алгоритма, скорость работы параллельной версии алгоритма.

Вычислительные эксперименты с последовательными версиями алгоритмов показали, что сегментация с помощью алгоритма разрезания графа занимает больше времени, однако полученный результат в среднем ближе к человеческой сегментации. Сравнение параллельных версий, реализованных с помощью технологии MPI, выполненное на суперкомпьютере Polus, показало наличие высокого ресурса параллелизма у обоих исследуемых алгоритмов, позволяющего достичь ускорение, близкое к линейному.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sagi Katz and Ayellet Tal. Hierarchical mesh decomposition using fuzzy clustering and cuts, volume 22. ACM, 2003.
- [2] Yang Fei and Zhou Fan. A fast and efficient mesh segmentation method based on improved region growing. Appl. Math. J. Chinese Univ. 2014, 29(4): 468-480.
- [3] A Benchmark for 3D Mesh Segmentation <https://segeval.cs.princeton.edu/>

О МЕТОДАХ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БОЛЬШИХ АНСАМБЛЕЙ МНОГОУРОВНЕВЫХ АТОМОВ И ПОЛЯ

Ожигов Ю. И., Кулагин А. В., Афанасьев В. И.¹, Мяо Хуэй-хуэй,
Ли Ваньшунь, Плужников И. Р., Ю Цзянчуань, Чень Жань²

¹ МГУ, ВМК, СКИ, Московский центр фундаментальной и прикладной математики, e-mail: ozhigov@cs.msu.ru

² МГУ, ВМК, СКИ, e-mail: ozhigov@cs.msu.ru

Для моделирования химических реакций в среде предложена конечномерная модель ансамбля двухуровневых атомов и поля, разделенного на атомную и молекулярную моду. Пространственное распределение представлено в виде системы оптических полостей, соединенных волноводами и перемычками, позволяющими туннелирование атомов между соседними полостями. Это позволяет строить компьютерные модели химических превращений в конденсате, с учетом поля. Сближение атомов снижает потенциальный барьер для их электронов, усиливая амплитуду перехода от возбужденного (разрыхляющего) электронного уровня к основному (связывающему); происходит ассоциация атомов в молекулу. Обратный процесс индуцируется пространственным разделением атомов, когда барьер между ними растет и открывается нижний уровень $| - 1 \rangle_{1,2}$, на который переходят электроны в обоих атомах (см. рисунок 1).

Эта модель позволяет рассматривать ядра атомов либо как классические частицы (модель Борна-Оппергеймера), либо как квантовые; последний вариант дает также модель водородной связи между молекулами, что важно для биологических приложений.

Радикальное упрощение нашей модели по сравнению с реальными атомами позволяет численно исследовать каналы реакций для ансамблей более 100 атомов с помощью отбора рабочей области. Для однородных ансамблей двухуровневых атомов в более бедной модели Тависа-Каммингса для шести атомов воспроизведены ансамблевые аналоги рабиевских осцилляций (см. рисунок 2). На основе нашего подхода был разработан метод расчета размерности темного подпространства ансамблей 3 уровневых атомов, и подтверждена высказанная нами ранее гипотеза о том, что этой подпространство порождено тензорными произведениями антисимметризованных состояний групп из 3 атомов - для не

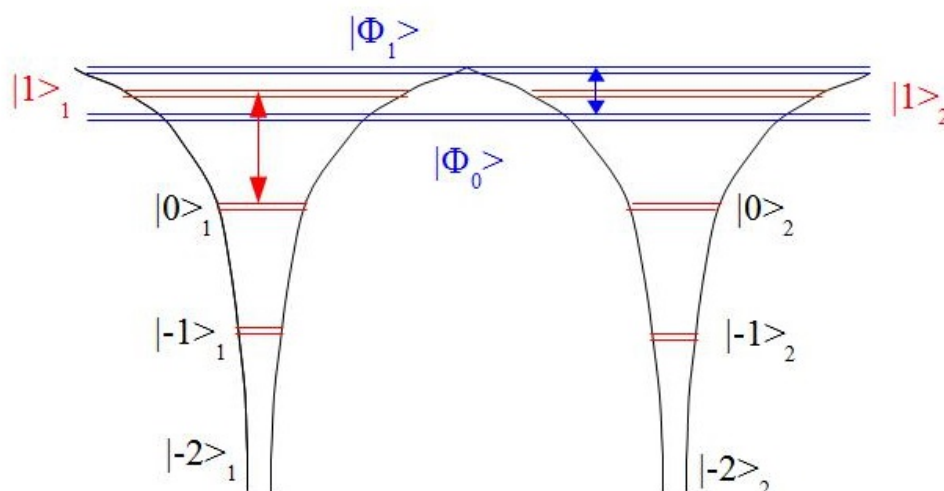


Рис. 1: Пара искусственных атомов в ассоциации - диссоциации в молекулу

более 21 атома. Были также установлены условия адиабатического перехода для синглетных пар двухуровневых атомов при плавном изменении силы их взаимодействия с полем.

Наш подход создает возможность компьютерного моделирования химических реакций ассоциации - диссоциации несложных атомов с 1–2 валентностями с учетом влияния электромагнитного поля с несколькими модами, отвечающими за атомные и молекулярные переходы одновременно, а также учет спиновых переходов электронов.

Работа выполнена в Московском центре фундаментальной и прикладной математики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Y.Ozhigov, About quantum computer software, Quantum Information and Computation. Vol. 20, No. 7–8 (2020). P. 570–580.
- [2] Ожигов Ю.И., Сковорода Н.А., Проводимость атомных возбуждений в системе оптических полостей, Математическое моделирование. Том 29, 1917. № 12. С. 123–134.
- [3] Ozhigov Y.I., Kulagin A.V., Afanasiev V.Y., Keli Z., Vanshun L., Huihui M., Victorova N.B., About Chemical Modifications of Finite Dimensional QEDModels, Nonlinear Phenomena in Complex Systems. Vol. 24, N 3. P. 230–241.
- [4] Dull R., Kulagin A., Lee W., Ozhigov Yu, Miao H., Zheng K., Quality of Control in the Tavis–Cummings–Hubbard Model, Computational Mathematics and Modeling, издательство Consultants Bureau (United States), 2021. Vol. 32. N 1. P. 75–85.

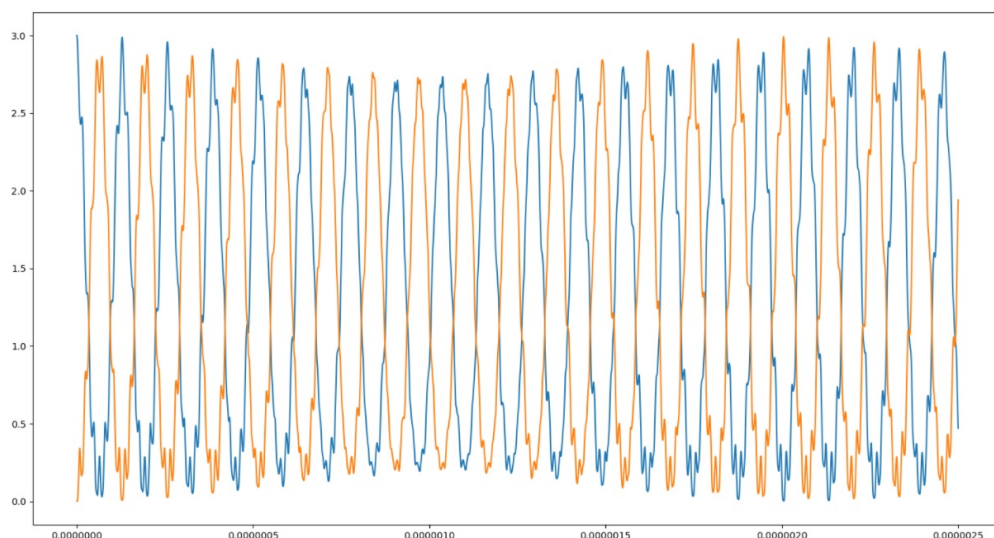


Рис. 2: Математическое ожидание числа атомных возбуждений в двух группах по 3 атома в каждой

УНИФИЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПРЕДОСТАВЛЕНИЮ РЕСУРСОВ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОГО ЦЕНТРА

Паокин Андрей Викторович¹, Никитенко Дмитрий Александрович²

¹ Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: andrejpaokin@yandex.ru

² Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ, e-mail: dan@parallel.ru

Современный суперкомпьютерный центр может состоять из нескольких вычислительных систем, которыми могут пользоваться несколько тысяч пользователей, объединённых в сотни проектов, представляющих сотни организаций [1]. Пользователи разных ролей принимают участие в большом числе рабочих процессов: предоставлении доступа, подготовке отчётов о работе проекта за год, технической поддержке, получении доступа к платным прикладным пакетам, рассылках и многих других. Использование разнородных инструментов приводит к потере информации и сложностям в использовании как администраторами, так и обычными пользователями. Поэтому в суперкомпьютерном центре МГУ была разработана система поддержки функционирования суперкомпьютерных центров Octoshell [2], доступная пользователям разных ролей в рамках единого окна.

В суперкомпьютерном центре вместе с традиционными суперкомпьютерными системами могут использоваться виртуальные машины, управляемые специальными платформами организации облачных вычислений, такими как OpenNebula, OpenStack и др. В данной работе рассматривается задача обеспечения предоставления в унифицированном виде вычислительных ресурсов суперкомпьютерного центра, включающая подходы к однозначно понимаемому описанию вычислительных ресурсов, правилам составления заявок на эти

ресурсы с учётом квот и созданию прикладных программных интерфейсов для выделения и управления выделенными пользователю ресурсами с учётом его прав доступа без участия администраторов систем или сокращая их временные затраты.

Новый подход был реализован в виде модуля системы Octoshell, который организует взаимодействие пользователей и виртуальных машин под управлением OpenNebula. Описание ресурсов составляются в единой форме для всех типов рассматриваемых систем, а взаимодействие с конкретной системой осуществляется через адаптеры, что обеспечивает возможность добавлять в систему как другие облачные платформы, так и суперкомпьютерные системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Воеводин Вл. В., Антонов А. С., Швец П. А., Соболев С. И., Сидоров И. Ю., Стефанов К. С., Воеводин Вад. В., Жуматий С. А. Supercomputer Lomonosov-2: Large Scale, Deep Monitoring and Fine Analytics for the User Community // Supercomputing Frontiers and Innovations. 2019. Т. 6, № 2. С. 4–11
- [2] Никитенко Д. А., Воеводин Вад. В., Жуматий С. А. Driving a Petascale HPC Center with Octoshell Management System // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2019. Т. 40, № 11. С. 1817–1830.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМА TREEMATCH ДЛЯ МЭППИНГА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРЕ «ЛОМОНОСОВ-2»

Попова Нина Николаевна, Шубин Михаил Витальевич

Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: popova@cs.msu.ru, mih.shub@gmail.com

В работе рассматривается применение алгоритма TreeMatch [1] для решения задачи размещения процессов параллельной программы по узлам и ядрам вычислительной системы известной, как *задача мэппинга*. Работа продолжает исследования, проводимые авторами, по оптимизации мэппинга для повышения эффективности параллельных приложений [2].

Размещение процессов может осуществляться в рамках решения более общей задачи планирования ресурсов суперкомпьютера, на котором запускается большой поток задач разных пользователей. В работе рассматривается вариант решения этой задачи в рамках выполнения одной программы, запущенной конкретным пользователем.

Разработанный подход исследуется на суперкомпьютере «Ломоносов-2» [3]. В основе метода лежит алгоритм мэппинга TreeMatch. Схема метода заключается в следующем.

Построение мэппинга происходит после того, как планировщик ресурсов «Ломоносова-2» выделил пул узлов для задачи. Выделенный пул узлов и коммуникационная матрица параллельного приложения являются входными данными для алгоритма TreeMatch. Алгоритм учитывает информацию о топологии вычислительной системы, представленную в виде дерева, для чего пул узлов, выдаваемый в формате хост-файла, конвертируется в соответствующий вид. При запуске приложения утилите `mpirun` подаётся на вход построенный алгоритмом TreeMatch мэппинг через специальный файл, содержащий информацию о назначении каждого MPI-процесса. Как построение мэппинга алгоритмом TreeMatch, так и само выполнение параллельной MPI-программы проводится в рамках одного задания менеджера ресурсов SLURM.

Разработанный подход демонстрируется на примере практического приложения сеточного моделирования по схеме КАБАРЕ [4]. Профилировка этого приложения с помощью профилировщика `mpiP` показала, что MPI-вызовы занимают 15 % от общего времени работы программы. Характер двухточечных взаимодействий в этом приложении не меняется со временем. В рамках выполнения программы на 128 MPI-процессах метод мэппинга позволил ускорить программу на 3 %.

В качестве направления дальнейшего развития можно отметить дальнейшее уточнение метода мэппинга и исследование его применимости на других классах приложений.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке РФФИ (грант №20-07-01053).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Jeannot E., Mercier G., Tessier F. Process Placement in Multicore Clusters: Algorithmic Issues and Practical Techniques // *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2014. Vol. 25, no. 4, P. 993–1002.
- [2] Попова Н. Н., Козлов М. В., Шубин М. В. Нейросетевой метод решения задачи мэппинга параллельных приложений // *Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика*. 2020. Т. 9, № 1. С. 36–49.
- [3] Supercomputer Lomonosov-2: Large Scale, Deep Monitoring and Fine Analytics for the User Community / Vl. Voevodin, A. Antonov, D. Nikitenko, P. Shvets, S. Sobolev, I. Sidorov, K. Stefanov, Vad. Voevodin, S. Zhumatiy // *Supercomputing Frontiers and Innovations*. 2019. Vol. 6, no. 2 P. 4–11. DOI: 10.14529/jsfi190201
- [4] Головизнин В. М., Самарский А. А. Разностная аппроксимация конвективного переноса с пространственным расщеплением временной производной // *Матем. моделирование*, 1998. Т. 10, № 1. С. 86–100.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР БЕЛКОВ

**Тимохин Иван Александрович, Попова Нина Николаевна¹, Суплатов
Дмитрий Андреевич²**

¹ Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: deadsonger@mail.ru,
popova@cs.msu.ru

² Научно-исследовательский институт физико-химической биологии имени А.Н.Белозерского, e-mail:
d.a.suplatov@belozersky.msu.ru

Белки могут выполнять разнообразные функции: структурную, каталитическую, двигательную, транспортную, защитную, рецепторную и регуляторную. Именно поэтому крайне важным аспектом таких наук как биология, фармакология и биоинформатика является изучение белков, их химических, физических и функциональных свойств. К основным алгоритмам анализа белков можно отнести: алгоритмы выравнивания, докинга, фолдинга, а так же алгоритмы определения и классификации доменов. Многие из этих алгоритмов оперируют третичной структурой молекул, определяемой взаимным расположением атомов белка в трехмерном пространстве.

В связи с совершенствованием методов получения пространственной структуры белка в последнее время наблюдается близкий к экспоненциальному рост числа молекул, для которых известна их третичная структура [1]. Для анализа такого объема данных уже не подходят последовательные алгоритмы, так как время их работы становится слишком велико, что нарушает непрерывность исследовательского процесса. Наиболее оптимальным по соотношению вычислительной мощности к стоимости являются графические ускорители, на основе которых в настоящее время строятся как крупные вычислительные кластеры [2], так и небольшие локальные системы. Поэтому особый интерес представляют реализации алгоритмов с использованием GPU. В области биоинформатики такие работы ведутся с середины 2000-х годов [3-5] и активно развиваются на данный момент.

В данной работе проводится обзор программных пакетов, методов и подходов к использованию графических ускорителей в задачах анализа пространственных структур белков. В число рассмотренных методов входят алгоритмы множественного структурного выравнивания белков. Эффективное использование графических процессоров в этих методах подробно представлено в статье [6]. Показательным примером, демонстрирующим современный взгляд на решение актуальной задачи предсказания структуры белков по аминокислотной последовательности, в которой существенную роль играют графические процессоры, является разработанная Google DeepMind программа AlphaFold [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты №20-07-00970 (Тимохин И.А., Суплатов Д.А.) и №20-07-01053 (Попова Н.Н.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Статистика банка третичных структур белков PDB [сайт]: <https://www.rcsb.org/stats>
- [2] Список Top-500 на ноябрь 2021 года [сайт]: <https://www.top500.org/lists/top500/2021/11/>
- [3] Bio-Sequence Database Scanning on a GPU / Liu W., Schmidt B., Voss G., Schroder A., and Muller-Wittig W. // Proceedings 20th IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium. 2006. С. 8
- [4] Liu Y., Maskell D., Schmidt B. CUDASW++: optimizing Smith-Waterman sequence database searches for CUDA-enabled graphics processing units, BMC Res Notes 2, 73. 2009.
- [5] Liu Y., Schmidt B., Maskell D. CUDASW++2.0: enhanced Smith-Waterman protein database search on CUDA-enabled GPUs based on SIMT and virtualized SIMD abstractions // BMC Res Notes 3, 93. 2010.
- [6] Timokhin I. A., Popova N. N., Suplatov D. A Efficient GPU implementation of AFP-based algorithms to accelerate comparative bioinformatic analysis of protein structures in 3D-space // Lobachevskii Journal of Mathematics on "High-performance computing: mathematical models, algorithms, software and computing platforms" №. 2022. [находится в печати]
- [7] Improved protein structure prediction using potentials from deep learning / Senior A W., Evans R., Jumper J. et al. // Nature 577, 706–710. 2020.

ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ БАЛАНСНО-ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ЗАДАЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Афанасьев Никита Александрович¹, Шагиров Николай Эльдарович²

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmnaf@cs.msu.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: nikkey.shagirov@yandex.ru

Одной из основных задач вычислительной гидродинамики является решение систем квазилинейных законов сохранения гиперболического типа с возмущенной правой частью. Сложная природа таких задач требует разработки численных методов высокого порядка точности, обладающих минимальным вычислительным шаблоном, применимых на сетках с произвольной топологией ячеек и эффективных с точки зрения параллелизации.

В последнее время активное развитие получили так называемые балансно-характеристические методы [1], позволяющие учитывать как консервативную,

так и характеристическую природу рассматриваемого класса систем уравнений. Такие методы состоят из консервативных фаз, аппроксимирующих исходные законы сохранения, и характеристических фаз, осуществляющих перенос инвариантов Римана. Одним из наиболее используемых методов данного типа является схема КАБАРЕ [2], в основе которой лежит процедура экстраполяции инвариантов Римана. Данная схема применяется к широкому классу задач гиперболического типа, но только на четырехугольных двумерных и шестигранных трехмерных сетках. При этом, при обобщении этой схемы на гибридные сетки с разной топологией ячеек возникают значительные трудности. Таким образом, актуальным представляется разработка новых балансно-характеристических схем, обобщаемых на гибридные сетки.

Балансно-характеристическая схема для гибридных сеток была предложена в работе [3]. Основная идея предложенного подхода состоит в параболической реконструкции инвариантов Римана внутри ячейки и последующем их переносе на новый временной слой. Метод был сформулирован для одномерных задач, а для многомерного случая были приведены основные идеи его обобщения. В ходе экспериментов выяснилось, что используемые в данном методе процедуры монотонизации на основе принципа максимума неэффективны. Дальнейшее развитие предложенного метода оказалось нецелесообразным.

В настоящей работе предлагается балансно-характеристический метод второго порядка аппроксимации, также основанный на параболической реконструкции инвариантов Римана, но учитывающий интегральный смысл консервативных переменных метода. Для нового метода приводятся дисперсионные и диссипативные поверхности, анализируются его свойства в применении к линейному уравнению переноса. Метод тестируется на одномерных уравнениях переноса, Хопфа и мелкой воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов / В. М. Головизнин, М. А. Зайцев, С. А. Карabasов, И. А. Короткин // Москва: Издательство Московского университета, 2013. 472 с.
- [2] Karabasov S. A., Goloviznin V. M. Compact accurately boundary-adjusting high-resolution technique for fluid dynamics // *Journal of Computational Physics*. 2009. Vol. 228, Iss. 19. P. 7426–7451.
- [3] Головизнин В. М., Четверушкин Б. Н. Алгоритмы нового поколения в вычислительной гидродинамике // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2018. Т. 58, № 8. С. 20–29.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Буничева Анна Яковлевна¹, Кочетов Егор Владимирович², Мухин
Сергей Иванович³**

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: bunicheva@cs.msu.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: zikilop@yandex.ru

³ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmmus@cs.msu.ru

Сегодня становится очевидным, что применение методов машинного обучения для анализа медицинских данных имеет значительные перспективы. Однако большинство алгоритмов применимы лишь к строго структурированным данным, которые были получены одинаковым(или почти одинаковым) способом. Данные, которые были накоплены до активного применения методов интеллектуальной обработки, не всегда подходят под эти критерии. Данных, которые постепенно сейчас накапливаются в необходимом формате, пока что либо мало, либо нет совсем из-за многих причин: дороговизна получения данных, длительное время для получения данных и т. д. Поэтому в данной работе использовалось математическое моделирование, как альтернатива экспериментального сбора данных.

В качестве объектов для анализа использовалась сердечно-сосудистая система человека, которую можно взаимно однозначно сопоставить с некоторым виртуальным пациентом. Путем вариации топологии и параметров рассматриваемого графа была получена виртуальная база данных здоровых пациентов. Для математического моделирования кровотока в квазиодномерном приближении использовался программный комплекс CVSS, подробно описанный в [1, 2]. Рассматривались течения вязкой несжимаемой жидкости(крови) на графе эластичных сосудов, сопоставленного большому кругу кровообращения с учетом работы сердца.

В графе была выбрана группа сосудов(на практике соответствует 10 сосудам плеча и предплечья), по параметрам течения которых необходимо было диагностировать некоторое нарушение течения крови в определенных участках системы. Заметим, что нарушения кровотока отдалены от области диагностики и клинически соответствуют абдоминальной области, нарушению церебрального кровообращения, шейному отделу, нарушению в периферическом отделе большого круга. Аналогично базе данных здоровых пациентов были получены базы данных пациентов с выбранными нарушениями кровотока. Эти базы данных использовались как обучающая и тестовая выборки для нейронной сети. В [3] было показано, что однослойная нейронная сеть с линейной функцией

активации может успешно решить задачу бинарной классификации некоторых патологий с точностью 97%.

Разработан многоклассовый классификатор, позволяющий на модельных данных с точностью 82% диагностировать одну из семи патологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Математическое моделирование кровообращения на основе программного комплекса cvss / И. В. Ашметков, А. Я. Буничева, В. А. Лукшин и др. // Компьютерные модели и прогресс медицины. Наука Москва. 2001. С. 194–218.
- [2] Математическое моделирование квазиодномерной гемодинамики / А. Я. Буничева, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, А. Б. Хруленко // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2001. Т. 55, № 8. С. 1417–1428.
- [3] Кочетов Е. В. Исследование возможностей применения методов искусственного интеллекта к результатам моделирования кровеносной системы // Сборник тезисов лучших выпускных квалификационных работ факультета ВМК МГУ 2020 года С. 25–26.

СХЕМА КАБАРЕ В СМЕШАННЫХ ЭЙЛЕРОВО-ЛАГРАНЖЕВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Головизнин Василий Михайлович¹, Афанасьев Никита Александрович²

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: gol@ibrae.ac.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmnaf@cs.msu.ru

Численное решение задач взаимодействия упругих тел с потоками жидкости и газа (FSI — fluid-structure interaction) на данном момент является крайне актуальным направлением. Математическое моделирование таких процессов активно используется при проектировании атомных электростанций и разработке несущих винтов вертолетов. Все приближенные методы решения задач FSI делятся на два класса: монолитные (или бесшовные) и немонолитные методы. В первом случае и упругое тело, и поток жидкости или газа моделируются с помощью единого метода (конечных объемов или конечных элементов), автоматически учитывающего подвижную границу между потоком и телом. Во втором случае для тела и потока используются разные приближенные методы, которые на каждом шаге по времени «сшиваются» с помощью некоторого итерационного процесса. Бесшовные методы точнее описывают движение границы раздела с точки зрения физики, но достаточно сложны для построения и программной реализации.

Балансно-характеристические методы (в том числе схема КАБАРЕ [1]) являются хорошей основой для построения нового монолитного метода решения задач FSI. Использование локальных инвариантов Римана на характеристической фазе алгоритма позволяет естественным образом моделировать границу

раздела между телом и потоком. В данной работе на основе схемы КАБАРЕ строится бесшовный метод, упругое тело в котором задано в лагранжевых переменных, а поток жидкости или газа — в смешанных эйлерово-лагранжевых переменных. Узлы сетки при этом передвигаются по обратимому по времени (при отключенной монотонизации) алгоритму, использующему интерполяцию скорости из ячеек сетки в случае уравнений упругости [2] и аппроксимацию уравнений движения свободной границы в случае уравнений газодинамики [3]. Предложенный метод тестируется на ряде одномерных и двумерных задач FSI.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-31-90037).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Karabasov S. A., Goloviznin V. M. Compact accurately boundary-adjusting high-resolution technique for fluid dynamics // *Journal of Computational Physics*. 2009. Vol. 228, Iss. 19, P. 7426–7451.
- [2] Головизнин В. М., Афанасьев Н. А. Бесшовный балансно-характеристический метод решения задач взаимодействия жидкости и газа с деформируемыми объектами // *Математическое моделирование*. 2021. Т. 33, № 10, С. 65–82.
- [3] Афанасьев Н. А., Майоров П. А. Схема КАБАРЕ на подвижных сетках для двумерных уравнений газовой динамики и динамической упругости // *Вычислительные методы и программирование*. 2021. Т. 22, № 4, С. 306–321.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА, ОСНОВАННЫХ НА ИГРАХ СРЕДНЕГО ПОЛЯ: ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

Богомолов Сергей Владимирович¹, Леонов Елисей Александрович²

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: bogomo@cs.msu.ru

² Кафедра вычислительных методов МГУ ВМК; ИПЭИ РАНХиГС; ИЭП имени Е. Т. Гайдара, e-mail: elishaleonov@gmail.com

В настоящей работе рассматривается расширение стохастической модели экономического роста в непрерывном времени на случай гетерогенности агентов, которые испытывают и учитывают шоки на некоторые переменные состояния [1]. В основе модели лежит задача стохастического оптимального управления для каждого агента, которую в общем виде с учетом экономического характера задачи можно формализовать системой вида (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} V(t) = \max_{x,s,q \in D} E_0 \int_0^\infty e^{-\rho t} u[\mathbf{x}(t), \mathbf{s}(t), \mathbf{q}(t)] dt \\ d\mathbf{s}_t = \mathbf{f}[\ast] dt + \boldsymbol{\sigma}_s^{1/2}[\ast] dW_{s,t} \\ d\mathbf{q}_{i,t} = \mathbf{g}[\ast_i] dt + \boldsymbol{\sigma}_{q_i}^{1/2}[\ast_i] dW_{q_{i,t}}, 1 \leq i \leq N, N \rightarrow \infty \\ d\mathbf{z}_t = \boldsymbol{\mu}(t) dt + \boldsymbol{\sigma}_z^{1/2} dW_{z,t} \\ \mathbf{s}(0) = \mathbf{s}_0, \mathbf{q}(0) = \mathbf{q}_0 \end{array} \right. \quad (1)$$

Здесь $V(t)$ – функция стоимости (ценности), $D(s)$ – множество допустимых управлений, $e^{-\rho t}$ – дисконтирующий множитель, $u[*]$ – функция мгновенной полезности, $[*] = [x(t), s(t), q(t)]$, $x(t)$ – переменные управления (потребление, труд), $s(t)$ – переменные состояния, $q_i(t)$ – переменные состояния, распределения агентов по которым являются предметом интереса (например, дифференциация населения по доходам или активам), i – индекс агента, $z(t)$ – экзогенные шоки (например, шоки производительности), $\Sigma^{1/2}$ – ковариационная матрица, W_t – Винеровский процесс.

Отличие моделей такого рода от традиционных моделей состоит в учете влияния распределения агентов по интересующей переменной и места агента в этом распределении. Необходимые условия оптимума для данной задачи сводятся к системе двух уравнений: уравнения Гамильтона–Якоби–Беллмана и уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова [2]. Численное решение этой системы в случае небольшой размерности можно решить стандартными конечно-разностными методами [3]. Однако учет дополнительных условий, приводящих к возникновению точек недифференцируемости, или увеличение размерности требуют применения более гибких методов, например с адаптивными или случайными сетками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Achdou Y., Han J., Lasry J-M., Lions P-L., Moll B. Income and Wealth Distribution in Macroeconomics: A Continuous-Time Approach // Review of Economic Studies, 89, Society for Economic Dynamics, 2022
- [2] Parra-Alvarez J.C. Solution Methods and Inference in Continuous-Time Dynamic Equilibrium Economies // PhD Thesis, Aarhus University, 2015
- [3] Achdou Y., Lauriere M. Mean Field Games and Applications: Numerical Aspects // Mean Field Games (LNM, volume 2281), Cetraro, Italy 2019

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОЛИ ПЕЧЕНИ В РЕГУЛЯЦИИ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В РАМКАХ САМОСОГЛАСОВАННОЙ МОДЕЛИ БОЛЬШОГО КРУГА КРОВООБРАЩЕНИЯ

Мухин Сергей Иванович, Мысова Ксения Михайловна, Покладюк Анатолий Юрьевич, Хруленко Александр Борисович

Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmmus@cs.msu.ru, mysova.ksusha@mail.ru, apokladyuk02@mail.ru, khrulenko@cs.msu.ru

Печень – самая крупная железа человеческого организма. Она выполняет множество жизненно важных функций, в числе которых поддержание нормогликемии и обезвреживание ядов и токсинов. Поддержание нормогликемии осуществляется за счёт депонирования избыточной глюкозы организма в печени в виде гликогена, с возможностью последующего выброса глюкозы в

кровь при физиологической необходимости. Нарушение любой из указанных функций может приводить к серьезным последствиям, например, к сахарному диабету или энцефалопатии. Проведение численных экспериментов позволяет моделировать процессы динамики веществ в организме и роли печени в регуляции их уровня, что может способствовать пониманию физиологических процессов и соответствующих патологий состояния организма.

Распространение глюкозы и/или токсинов осуществляется конвекционным и диффузионным образом. Алгоритм численного решения этой задачи для произвольной замкнутой системы эластичных трубок реализован в программном комплексе CVSS [2]. В данной работе рассматривается моделирование транспортировки глюкозы на графе органов и сосудов большого круга кровообращения с детализированным описанием печени. Такая модель позволяет осуществить процесс прохождения вещества через печень отдельно для сосудов с артериальной и венозной кровью.

Проведены численные эксперименты функционирования системы в базальном состоянии, результаты которых качественно согласуются с медицинскими показателями, включая работу печени по поддержанию нормогликемии. Это позволит в дальнейшем использовать имеющуюся модель для проведения математического моделирования обезвреживающей функции печени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Борзов А. Г., Древаль А. В., Мухин С. И. Моделирование динамики глюкозы крови с учетом топологии большого круга кровообращения // Математическое моделирование, 2015. Т. 27, № 2. С. 3–24.
- [2] Математическое моделирование кровообращения на основе программного комплекса CVSS / И. В. Ашметков, А. Я. Буничева, В. А. Лукшин, В. Б. Кошелев, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, А. П. Фаворский, А. Б. Хруленко // Сборник «Информатика и прогресс медицины» под ред. О.М.Белоцерковского, А.С.Холодова. М. : Наука, 2001. С. 194–218.
- [3] Математическое моделирование кровотока в системе сосудов печени / Т. Р. Жалеев, В. А. Кубышкин, С. И. Мухин, А. Ф. Рубина, А. Б. Хруленко // Прикладная математика и информатика: Труды факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова / Под ред. В.И. Дмитриева. М. : МАКС Пресс, 2016. № 61. С. 42–56.

ФОРМУЛИРОВКА УРАВНЕНИЙ АКУСТИКИ В ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЯХ, ОРИЕНТИРОВАННАЯ НА ИХ РЕШЕНИЕ РАЗНОСТНЫМИ МЕТОДАМИ

Саблин Марк Николаевич

Лаборатория разностных методов, кафедра вычислительных методов, e-mail: msaml434@gmail.com

Система уравнений акустики используется при исследовании свойств разностных схем для решения задач газовой динамики. Если разностная схема построена в соответствии с операторным подходом теории разностных схем и дифференциальные уравнения исходной задачи сформулированы в слабом виде, из сходимости разностной схемы следует существование обобщенного решения исходной задачи. В производных функций точки слабая формулировка дифференциальных уравнений возможна только для краевых условий первого рода. В производных регулярных обобщенных функций нужная формулировка возможна для любых краевых условий. В этом случае под решением понимается функция точки, которой соответствует регулярная обобщенная функция, удовлетворяющая уравнениям и условиям задачи. Хотя производная регулярной обобщенной функции в общем случае является сингулярным функционалом, метод конечных разностей позволяет использовать такую постановку в силу того, что сеточный аналог сингулярной производной в евклидовом пространстве по теореме Рисса является регулярным функционалом. В докладе рассматривается специальный вид записи дифференциальных уравнений системы акустики в обобщенных функциях, ориентированный на решение исходной задачи методом конечных разностей.

Рассмотрим систему уравнений акустики в виде:

$$\begin{cases} \mathbf{v}_t + \rho_0^{-1} \nabla p = 0, \\ p_t + \rho_0 c_0^2 \nabla \cdot \mathbf{v} = 0. \end{cases}$$

Запишем ее в регулярных обобщенных функциях на временном промежутке $T = [t_0, t_1]$, разбитом на L временных шагов длиной τ :

$$\begin{cases} \widetilde{\mathbf{v}}^{0.5} = \check{\mathbf{v}} - \frac{\tau}{2\rho_0} \widetilde{\nabla p^{0.5}}, \quad l = \overline{1, L}, \\ \widetilde{p^{0.5}} = \check{p} - \frac{\tau \rho_0 c_0^2}{2} \widetilde{\nabla \cdot \mathbf{v}^{0.5}}, \quad l = \overline{1, L}. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $f^{0.5} = \frac{1}{2} \{f(t_{l-1}) + f(t_l)\}$, $\check{f} = f(t_{l-1})$. Далее для краткости вес 0.5 будем опускать. Тильдой сверху обозначаются регулярные обобщенные функции из $D = D(\mathbb{R}^3)$, которым соответствуют стоящие под знаком тильды функции точки с компактным носителем из $H^1(\mathbb{R}^3)$.

Производная регулярной обобщенной функции из пространства D в общем случае является сингулярной обобщенной функцией. Действительно, если $\check{u}$ – регулярная обобщенная функция, которой соответствует функция точки u с

носителем в $\bar{\Omega}$ и сужение которой на Ω принадлежит пространству $H^1(\Omega)$, для любой основной функции η из D имеет место формула

$$\langle \partial_\alpha \tilde{u}, \eta \rangle = \left\langle \widetilde{\partial_\alpha u} - u(\mathbf{i}_\alpha \cdot \mathbf{n}) \delta(\partial\Omega), \eta \right\rangle,$$

где $u(\mathbf{i}_\alpha \cdot \mathbf{n}) \delta(\partial\Omega)$ – поверхностный сингулярный функционал. С помощью этой формулы система (1) приводится к необходимому специализированному виду системы уравнений акустики в производных обобщенных функций:

$$\begin{cases} \left\{ \tilde{\mathbf{v}} - \nabla \left(k \widetilde{\nabla \cdot \mathbf{v}} \right) \right\} = \left\{ \tilde{\mathbf{v}} - \frac{\tau}{2\rho_0} \widetilde{\nabla \dot{p}} \right\} + \frac{\tau}{2\rho_0} (\dot{p} - p) \mathbf{n} \delta(\partial\Omega), & l = \overline{1, L}, \\ \left\{ \tilde{p} - \nabla \cdot \left(k \widetilde{\nabla p} \right) \right\} = \left\{ \tilde{p} - \frac{\tau \rho_0 c_0^2}{2} \widetilde{\nabla \cdot \mathbf{v}} \right\} + \frac{\tau \rho_0 c_0^2}{2} (\dot{\mathbf{v}} - \mathbf{v}) \cdot \mathbf{n} \delta(\partial\Omega), & l = \overline{1, L}. \end{cases}$$

В случае задачи Коши когда в качестве начальных данных берутся почти всюду дифференцируемые абсолютно непрерывные функции с компактными носителями в $\mathbb{R}^3$, последние слагаемые в правых частях уравнений равны нулю. В случае начально-краевой задачи в ограниченной области в эти слагаемые подставляются известные краевые значения. В любом случае решение задачи разностным методом сводится к решению на каждом временном шаге СЛАУ с самосопряженным положительным факторизованным оператором.

КОЭФФИЦИЕНТНЫЕ РАЗНОСТНЫЕ ЗАДАЧИ В ОПТИМАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ

Терновский Владимир Владимирович,

Ильютко Виктор Петрович¹, Хапаева Татьяна Михайловна²

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vladimir.ternovskii@me.com, ILYUTKO@cs.msu.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: tmhapa@yahoo.com

Оптимальное управление объектами, описываемое дифференциальными уравнениями, допускает конечномерное представление в виде разностной задачи на условный минимум с заданными ограничениями.

При этом управляющая функция может входить как в правую часть уравнений, так и в коэффициенты.

Рассмотрим простейшую задачу для дифференциального оператора второго порядка:

$$\ddot{x} + \beta(t)\dot{x} + \omega(t)f(x) = u(t)$$

с заданными краевыми условиями и функцией $f(x)$.

Такие уравнения возникают в механике движения тел с трением. Задача состоит в том, чтобы определить управляющие функции $\beta(t)$, $\omega(t)$, $u(t)$: $0 \leq \beta(t) \leq \text{const}$, $0 \leq \omega(t) \leq \text{const}$, $|u(t)| \leq \text{const}$, при этом время процесса считается минимальным. Заметим, что гладкость управляющих функций не предполагается. Так как задача является вариационной (задача быстрогодействия) и обратной, то она неустойчива. Поэтому применяются специальные методы решения некорректных обратных задач [1].

Метод минимизации функционала времени случайным поиском приводит к оптимальному численному решению и построению множества достижимости [2]. Особенностью данной задачи в дискретном представлении является появление множества точек неуправляемости, что является неустранимыми ошибками разностной схемы. Указанный эффект исследуется аналитически.

Заметим, что разностные методы высокого порядка не применяются, так как искомые функции – разрывные или конечной гладкости. Для корректности численного результата проводится регуляризация задачи по Тихонову.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 283 с.
- [2] Терновский В. В., Хапаев М. М., Хапаева Т. М. Применение вариационного метода для решения обратных задач оптимального управления // Доклады Академии наук. 2018. Т. 483, № 4. С. 1–23.

МЕТОД ШАБЛОНОВ, ЕГО МОДИФИКАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПАТОЛОГИЙ В КРОВЕНОСНОЙ СИСТЕМЕ

Уваркин Илья Геннадьевич, Мухин Сергей Иванович

Кафедра вычислительных методов, e-mail: lyuha1504@yandex.ru, vmmus@cs.msu.ru

Кровеносная система является одной из самых важных систем в человеческом организме и патологии кровотока являются как причиной разнообразных заболеваний, так и их следствием. Последнее обстоятельство позволяет предполагать, что своевременное и корректное обнаружение этих патологий дает возможность диагностировать или локализовать заболевание, вызвавшее данную патологию кровотока.

Рассматривается задача о возможности обнаружения патологий кровотока во внутренних органах по данным, полученным при помощи медицинских приборов, на «периферии» организма человека (например, конечности) при наличии аппаратных погрешностей измерений и/или неоднородных условий для измерений.

Для решения задачи определения наличия и отсутствия патологии кровотока по зашумленным данным в работе предлагается метод шаблонов. Описан общий алгоритм метода, который возможно применить на модельной кровеносной системе любой сложности для выявления любой (в пределах рассматриваемой точности) патологии кровотока.

Основная идея метода состоит в сопоставлении динамики изменения параметра кровотока (функции, зависящей от времени и величин, описывающих движение крови в сосудах) с некоторыми эталонными данными, соот-

ветствующими тому, что в системе присутствует или отсутствует патология, на некотором временном промежутке. Под эталонными данными понимаются данные, получаемые либо при помощи медицинских приборов с достаточно малой погрешностью измерения, либо при помощи прямого математического моделирования. Для получения эталонных («чистых») данных использован программный комплекс CVSS [1], позволяющий проводить вычислительные эксперименты с графом сосудов в квазиодномерном приближении [2, 3].

Предусмотрена процедура генерирования модельных зашумленных данных, т. е. данных, получаемых при обследовании пациента с учетом погрешности измерения. Множество «чистых» данных, представленное файлом соответствующей структуры, будем называть шаблоном. Файл, в который будут заноситься зашумленные данные, будем называть зашумленным файлом. Метод шаблонов состоит в сравнении данных, записанных в зашумленном файле, с данными, записанными в шаблонах, и дальнейшем определении наличия или отсутствия патологии по этим данным. Описаны возможные признаки (признаки близости), по которым зашумленному файлу ставится в соответствие тот или иной шаблон.

Одной из основных задач является определение пригодных множеств сосудов, т. е. таких множеств сосудов, по которым при применении конкретного признака близости метод шаблонов корректно определяет наличие и отсутствие той или иной патологии кровотока. Рассмотрению подлежали несколько различных патологий, в т. ч. поражение печени, приводящее к портальной гипертензии [3, 4], поражение почек, патологии, связанные с кровообращением в ногах и т. д. Получены пригодные множества для некоторых патологий и исследовано влияние этих патологий на кровообращение во всей кровеносной системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Математическое моделирование кровообращения на основе программного комплекса CVSS / И. В. Ашметков, А. Я. Буничева, В. А. Лукшин, В. Б. Кошелев, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, А. П. Фаворский, А. Б. Хруленко // Компьютерные модели и прогресс медицины. Наука Москва, 2001. С. 194–218.
- [2] Математическое моделирование квазиодномерной гемодинамики / А. Я. Буничева, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, А. Б. Хруленко // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2015. Т. 55, No. 8. С. 1417–1428.
- [3] Математические модели квази-одномерной гемодинамики: Методическое пособие / В. Б. Кошелев, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, А. П. Фаворский // М.: МАКС Пресс, 2010. 116 с.
- [4] Математическое моделирование кровотока в системе сосудов печени / Т. Р. Жалеев, В. А. Кубышкин, С. И. Мухин, А. Ф. Рубина, А. Б. Хруленко //

Прикладная математика и информатика: Труды факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова /Под ред. В. И. Дмитриева. М. : МАКС Пресс. 2019. №. 61. С. 42-56.

- [5] Карман А. Д., Казушик В. Л. Портальная гипертензия: учеб.-метод. пособие // Белорус. гос. мед. ун-т, 1-я каф. хирург. болезней. Минск: БГМУ, 2014. 40 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ СТАНДАРТНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ МОДЕЛИ НВ-2 НА ОСНОВЕ КВАЗИГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Широков Иван Анатольевич

Кафедра вычислительных методов, e-mail: ivanshirokov@inbox.ru

Получены предварительные результаты моделирования внешнего сверхзвукового обтекания стандартной осесимметричной баллистической модели НВ-2 [1] потоком вязкого газа. В качестве математической модели впервые для этой задачи используется квазигазодинамический алгоритм.

Использование квазигазодинамического алгоритма с дополнительными коэффициентами диссипации [3] позволяет проводить моделирование в широком диапазоне чисел Маха. При этом числа Рейнольдса соответствуют экспериментальным постановкам ($Re \sim 10^6 - 10^7$). Используется оригинальная методика построения пространственных сеток на основе генератора TetGen, позволяющая строить достаточно аккуратные тетраэдральные сетки вокруг произвольного осесимметричного тела. Такая сетка даже при небольшом числе узлов (85484) позволяет получать общую картину внешнего обтекания и распределение давления по поверхности модели (рис. 1).

Распределение давления дает возможность вычислить коэффициент лобового сопротивления, хорошо совпадающий с данными продувок модели НВ-2 в аэродинамических трубах при $M = 4 - 6$ [1, 2]. Предварительные результаты показывают перспективность дальнейших исследований сверхзвукового обтекания осесимметричных моделей, с увеличенным размером сетки и различными вариантами использования искусственной вязкости в квазигазодинамическом алгоритме [3].

Вычисления проведены с помощью суперкомпьютера К-100, установленного в Центре коллективного пользования ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Автор выражает благодарность профессору Елизаровой Т. Г. за обсуждение представленной тематики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Gray J. D. Summary Report on Aerodynamic Characteristics of Standard Models HB-1 and HB-2 // AEDC-TDR-64-137. 1964.

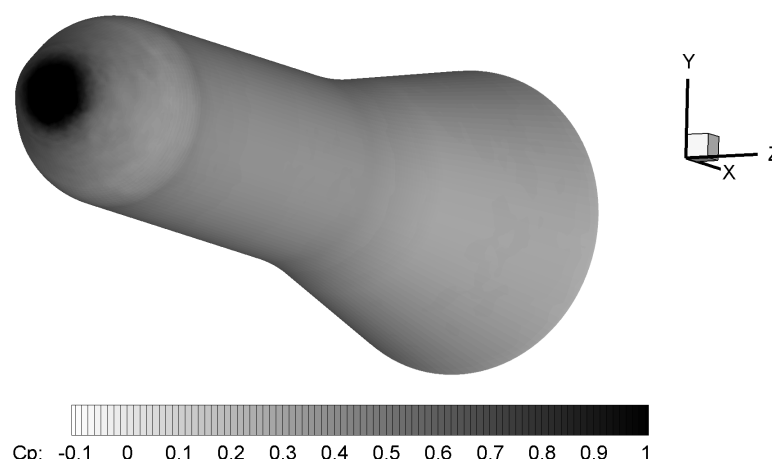


Рис. 1: Распределение коэффициента давления по поверхности модели HB-2, число Маха $M = 4$.

- [2] Крючкова А. С. Моделирование сверхзвукового обтекания баллистических моделей в программном коде UST3D // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2018 Т. 19 № 4.
- [3] Елизарова Т. Г., Широков И. А. Коэффициенты искусственной диссипации в регуляризованных уравнениях сверхзвуковой аэродинамики // Доклады Академии Наук. 2018. Т. 483. № 3. С. 260–264.

МЕТОД ДОПОЛНЕНИЯ РАЗМЕТКИ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕЩЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ

Аношина Надежда Алексеевна¹, Сорокин Дмитрий Васильевич²

¹ Кафедра математической физики, лаборатория математических методов обработки изображений, e-mail: n.anoshina@cs.msu.ru

² Междисциплинарная научно-образовательная школа Московского Университета «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект», e-mail: dsorokin@cs.msu.ru

В последнее время методы сегментации, основанные на нейронных сетях, показали свою высокую эффективность. Однако, у нейросетевых методов есть и недостатки. Основным недостатком использования таких подходов в задаче трекинга клеток является отсутствие экспертной разметки для большого количества биомедицинских данных, необходимых для обучения нейронной сети. В данной статье предложен метод дополнения разметки для задачи сегментации, основанный на применении метода совмещения изображений. Такой подход позволил улучшить качество метода сегментации за счет увеличения обучающей выборки в задаче трекинга клеток.

Метод дополнения разметки для сегментации в задаче трекинга клеток. В задаче трекинга клеток разметка временной последовательности дан-

ных [1] состоит из 2х частей: разметка для сегментации и разметка для трекинга клеток. Разметка для сегментации включает размеченные точные маски клеток для 1-3 кадров последовательности (заметим, что для каждого кадра необязательно присутствует разметка всех объектов). Разметка для трекинга состоит из треков каждой клетки, а именно представляет собой набор маркеров (точка или круг небольшого радиуса), указывающих положение каждой клетки на каждом кадре, при этом маркеры для одной клетки имеют уникальный идентификатор во всей временной последовательности. Для того, чтобы дополнить разметку сегментации и увеличить выборку для обучения нейросетевых методов сегментации, мы предлагаем следующий подход (Рис. 1):

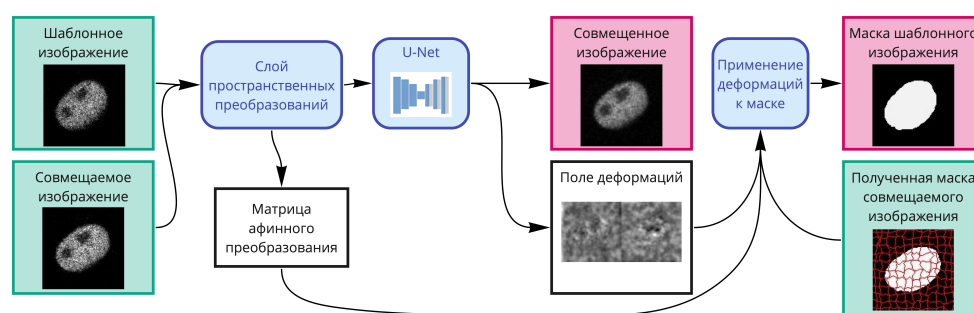


Рис. 1: Схема дополнения разметки с помощью нейросетевого метода совмещения для клеточных данных.

1. Для каждого трека клетки мы ищем кадр, для которого присутствует маска клетки из разметки сегментации. Затем мы ищем все соседние кадры, для которых отсутствует разметка для данной клетки.
2. Следующим шагом мы вырезаем блок, содержащий клетку, на всех кадрах: центр блока определяется маркером из разметки треков, а его размер — максимальной стороной охватывающего прямоугольника для маски данной клетки, увеличенной в 1.2 раза. Таким образом, мы имеем набор блоков одинакового размера с известной маской клетки для одного из них.
3. Затем мы формируем пары блоков. Назовем шаблонным фрагментом изображения блок с клеткой с известной для нее маской, а совмещаемым фрагментом изображения блоки с отсутствующей разметкой. Далее совместим все совмещаемые фрагменты изображения с шаблонным. Для этого используем метод совмещения, основанный на нейронной сети архитектуры U-Net [2] и слоя пространственного преобразования [3], который принимает на вход пару изображений и возвращает поле деформаций, матрицу аффинного преобразования и совмещенное изображение.
4. Наконец, для получения маск клетки для каждого совмещаемого фрагмента мы применяем полученные преобразования к маске шаблонного фрагмента

и таким образом получаем недостающую разметку сегментации для клетки на всех кадрах.

Предложенный подход был протестирован на трех наборах данных из [1]. Результаты показали, что предложенный подход к дополнению разметки позволяет добиться прироста в точности сегментации в 1–2%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 22-21-00125.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Cell Tracking Challenge [http://http://celltrackingchallenge.net/](http://celltrackingchallenge.net/)
- [2] Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Proc. of the Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015 : Springer, 2015. С. 234–241.
- [3] Jaderberg M., Simonyan K., Zisserman A. Spatial transformer networks // Advances in neural information processing systems. – 2015. Т. 28.

УЛУЧШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕТОДА ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ГЕОЭЛЕКТРИКИ

Барашков Игорь Сергеевич

Лаборатория математической физики, кафедра математической физики, e-mail: baraskov@cs.msu.ru

В настоящей работе рассмотрено математическое моделирование электромагнитного поля в неоднородной среде с помощью метода интегральных уравнений. Подробно изучен случай контрастных проводящих сред, когда проводящая неоднородность находится в плохо проводящей среде.

Эффект контрастности среды наиболее сильно проявляется в случае Н-поляризованного двумерного электромагнитного поля в неоднородной среде. Поэтому численный эксперимент проводится именно для этого случая. Анализ численного решения интегрального уравнения в этом случае показал, что решение имеет плохую точность, когда в области неоднородности используется традиционная равномерная прямоугольная сетка, проводимость постоянна внутри ячейки сетки, граница разрыва проводимости совпадает с границами ячеек сетки а узлы, в которых с помощью интегрирования вычисляется электрическое поле, традиционно расположены в центре ячеек сетки с постоянной проводимостью. При этом ничего не делается для детализации поведения поля на границах разрыва проводимости неоднородности и на границах неоднородности в надежде на то, что граничные условия будут учитываться сами собой автоматически. Сложность явного использования граничных условий при такой схеме интегрирования заключается в том, что значения поля вычисляются в узлах вне границ, на которых должны выполняться граничные условия. Не

помогает даже использование метода повышенной фоновой проводимости, предложенного в работе [1].

Значительно более хороший результат был получен при совместном использовании метода повышенной фоновой проводимости и явном использовании граничных условий. Для этого пришлось изменить схему интегрирования. В изменённой схеме значения поля вычисляются с помощью интегрирования не только в узлах, находящихся в центре ячеек с постоянной проводимостью, но и в узлах, находящихся на границах разрыва проводимости и на границах неоднородности. В работе показано, что при такой схеме интегрирования учёт значений поля на границах разрыва проводимости и на границах неоднородности важен для правильного численного решения интегрального уравнения.

В настоящей работе выполнено сравнение решения, посчитанного с помощью интегрального уравнения и решения, посчитанного с помощью конечно разностного метода. Получено очень хорошее совпадение результатов двух методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дмитриев В. И. Об использовании метода интегральных уравнений в низкочастотной электродинамике неоднородных контрастных сред // Труды «Прикладная математика и информатика». 2017. № 54. С. 50–56.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КВАНТОВОГО ЭФФЕКТА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИСПЕРСИИ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ МАГНИТОПЛАЗМОННЫМИ СЛОИСТЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Лопушенко Владимир Васильевич¹, Еремин Юрий Александрович²

¹ Лаборатория математической физики, e-mail: lopushnk@cs.msu.ru

² Лаборатория вычислительной электродинамики, e-mail: eremin@cs.msu.ru

Достижения магнитоплазмоники композитных наноструктур широко используются во многих биомедицинских приложениях [1]. Особое внимание уделяется наноструктурам типа ядро-оболочка magnetit@Au, которые проявляют как плазмонные свойства в оптическом диапазоне, так и магнитные свойства в стационарном магнитном поле. Такие структуры применяются в оптических сенсорах, электрохимических ДНК-биосенсорах, для визуализации и диагностики опухолей и фототермической терапии онкологических образований [2].

Быстрый прогресс синтеза композитных наноструктур обуславливает их непрерывную миниатюризацию [2]. Сейчас синтезируются частицы со средним размером 15–25 нм, включая толщину золотой оболочки, составляющую 2–5 нм. Столь малые размеры приводят к тому, что нарушаются обычные локальные соотношения между электрическим полем и смещением в системе уравнений

Максвелла. Как следствие, возникает квантовый эффект пространственной дисперсии (ПД) [3]. Для моделирования подобных эффектов можно использовать чисто квантовый подход, основанный на решении уравнения Шредингера для облака электронов в металле. Однако такой подход весьма трудоёмок в вычислительном отношении для частиц размером более десятка нанометров и для металлов с высокой плотностью свободных носителей заряда таких, как благородные металлы (Au, Ag, Pt) [4].

В настоящее время при анализе влияния ПД на оптические характеристики плазмонных структур наиболее востребованы модели, которые учитывают возникающие квантовые эффекты, но при этом позволяют оставаться в рамках электромагнитной теории Максвелла. Одним из наиболее популярных полуклассических подходов, учитывающих ПД, является гидродинамическая модель Друде. Отметим, что она имеет существенный недостаток, связанный с необходимостью корректировать квантовые параметры модели в зависимости от размера частиц. В качестве альтернативы была разработана модель обобщенного нелокального оптического отклика (ОНО). В этой модели корректировка параметров осуществляется естественным образом за счет включения коэффициента диффузии электронов в гидродинамическую модель [5].

В настоящей работе на основе метода Дискретных источников (МДИ) [6] обсуждается математическая модель слоистой наночастицы magnetit@Au , учитывающая ПД в золотой оболочке на основе теории ОНО. На основе предложенной модели проведено исследование поведения плазмонного резонанса (ПР) при изменении диаметра сердечника и толщины золотой оболочки с целью возможного смещения ПР в окно прозрачности тканей человека для усиления терапевтического эффекта и снижения риска повреждения здоровых тканей. Численные эксперименты показали, что за счет уменьшения толщины золотой оболочки до 2 нм можно сдвинуть максимум поглощения электромагнитной энергии за отметку 700 нм.

С помощью математической модели исследовано влияние асимметрии слоистых структур типа ядро-оболочка, на их оптические характеристики с учётом пространственной дисперсии в плазмонных материалах. Важно подчеркнуть, что при изучении влияния асимметрии сечение поглощения усреднялось как по поляризациям, так и по направлениям распространения внешнего возбуждения. Это представляется необходимым, поскольку заранее неизвестно, как частица расположена по отношению к падающей электромагнитной волне.

Сформулируем следующие основные результаты, полученные в результате компьютерного моделирования [7].

- Уменьшение толщины золотой оболочки приводит к смещению ПР в инфракрасную область при одновременном снижении его амплитуды.
- Пространственная дисперсия снижает пик ПР с одновременным смещением его максимума в сторону коротких длин волн.

- Использование материалов Fe_3O_4 и Fe_2O_3 предоставляет дополнительную возможность сместить ПР в сторону окна прозрачности тканей человека при увеличении амплитуды поглощения энергии.
- Расположение частицы в более плотных средах приводит к большему поперечному сечению поглощения, сопровождающемуся небольшим красным смещением.

Таким образом, установлено существенное влияние пространственной дисперсии на положение максимума и амплитуду поглощаемой электромагнитной энергии. Показано, что уменьшение поглощения может достигать 25%, а сдвиг максимума может превышать 15 нм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-00110, <https://rscf.ru/project/22-21-00110/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Peixoto, L., Magalhães, R., Navas, D., et al. Magnetic nanostructures for emerging biomedical applications // *Appl. Phys. Rev.* 2020. 7, 011310.
- [2] Rajkumar, S., Prabakaran, M. Multi-functional core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Au}$ nanoparticles for cancer diagnosis and therapy // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2019. 174. 252-259.
- [3] David, C.; García de Abajo, F.J. Spatial Nonlocality in the Optical Response of Metal Nanoparticles // *J. Phys. Chem. C* 2011, 115, 19470–19475.
- [4] Kupresak M, Zheng X, GAE V, Moshchalkov VV. Appropriate nonlocal hydro- dynamic models for the characterization of deep-nanometer scale plasmonic scatterers // *Adv Theory Simul.* 2019. 3, 1900172.
- [5] Mortensen N.A., Raza S., Wubs M., et al. A generalized non-local optical response theory for plasmonic nanostructures // *Nat. Commun.* 2014. 5, 3809–3815.
- [6] Еремин Ю.А., Свешников А.Г. Квазиклассические модели квантовой нано-плазмоники на основе метода дискретных источников // *ЖВМиМФ*, 2021. 61, №4, С.34-62.
- [7] Eremin, Y.; Lopushenko, V. Influence of Spatial Dispersion on the Electromagnetic Properties of Magnetoplasmonic Nanostructures // *Nanomaterials* 2021, 11, 3297.

ОБ ОЦЕНКАХ ТОЧНОСТИ ПРОЕКЦИОННОГО МЕТОДА СО СТАБИЛИЗАТОРОМ ДРОБНОЙ ГЛАДКОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ПО ЕГО НАКЛОНАМ

Разгулин Александр Витальевич, Романенко Татьяна Евгеньевна

Кафедра математической физики, e-mail: razgulin@cs.msu.ru, romanenko@cs.msu.ru

Проблема восстановления волнового фронта по его наклонам возникает в адаптивной оптике и связана с определением фазы световой волны на основе данных датчика Шака-Гартмана [1]. В [2], [3] было предложено семейство новых методов реконструкции волнового фронта, в основе которых лежит вариационный подход в сочетании с проекционным методом на основе билинейных сплайнов, причем в [3] для улучшения пространственно-частотной характеристики метода использован стабилизатор с разностными производными второго порядка в дробной степени, параметры которого выбираются также на основе вариационного подхода.

В докладе обсуждаются оценки точности рассматриваемого метода. При условии согласования шага сетки с параметрами стабилизатора дробного порядка получены оценки точности проекционного метода при естественных требованиях к гладкости волнового фронта из анизотропных пространств Соболева с целыми показателями гладкости. На основе выбора специальных анизотропных пространств с дробными показателями гладкости, составляющих непрерывную шкалу, соединяющую пространства с целыми показателями гладкости, и использования связанных с ними методов интерполяции оператора погрешности проекционного метода получены шкалы оценок точности метода, согласованные с дробной гладкостью наклонов. Теоретические оценки иллюстрируются результатами численного эксперимента по эффективному восстановлению негладких спиральных волновых фронтов в условиях неточно заданных дискретных наклонов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации программы Московского центра фундаментальной и прикладной математики по соглашению № 075-15-2019-1621 и РФФИ (проект № 18-29-02103).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Goncharov A. S., Iroshnikov N. G., Larichev A. V., Nikolaev I. P. The impact of speckle on the measurement of eye aberrations // Journal of Modern Optics. 2015. Vol. 62, № 21. P. 1775–1780.
- [2] Razgulin A. V., Kuzhamaliyev Y. Z., Goncharov A. S., Larichev A. V. A variational method for wavefront reconstruction from Shack-Hartman sensor

measurements // Atmospheric and Oceanic Optics. 2017. Vol. 30, № 4. P. 399–403.

- [3] Razgulin A. V., Kuzhamaliyev Y. Z., Iroshnikov N. G., Larichev A. V. A variational method of wavefront reconstruction from local slope measurements using a fractional order of smoothness stabilizer // Computational Mathematics and Modeling. 2019. Vol. 30, № 2. P. 164–176.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕССИАНА НА СВЕРТОЧНЫХ СЛОЯХ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ ЛЮДЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Сагиндыков Тамерлан Бехмухамбетович¹, Павельева Елена Александровна²

¹ Кафедра математической физики, e-mail: tamerlan.sagindykov@gmail.com

² Кафедра математической физики, e-mail: pavelyeva@cs.msu.ru

В работе разработан метод сегментации людей на основе сверточной нейронной сети с использованием гессиана на сверточных слоях. За основу нейронной сети взята сеть архитектуры U-Net, выходом которой является карта сегментации с вероятностью предсказания класса объекта и фона. В качестве функции потерь используется бинарная кросс-энтропия. Первые слои нейронной сети отличаются от базовой архитектуры тем, что происходит вычисление гессианов для набора обучаемых масштабных параметров. Для каждого гессиана вычисляются собственные значения, которые описывают геометрическую структуру изображения. В работе [1] было показано, что эвристическим методом анализа собственных значений можно сегментировать некоторые сложные структуры изображений людей, например, волосы. Далее набор собственных значений отправляется на следующие сверточные слои. Обучение и тестирование разработанного метода (рис. 1) проводились на наборе данных real-world portrait dataset [2].



Рис. 1: Пример исходного изображения, разметки, работы базового алгоритма архитектуры U-Net и алгоритма с использованием гессиана на сверточных слоях нейронной сети

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sagindykov T.B., Pavelyeva E.A. Human Image Matting based on convolutional neural network and principal curvatures // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. (XLIV-2/W1-2021), 2021. P. 183–187.
- [2] Yu Q., Zhang J., Zhang H., Wang Y., Lin Z., Xu N., Bai Y., Yuille, A. Mask guided matting via progressive refinement network // CVPR, 2021. P. 1154–1163.

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ
СУММАРНОЙ АППРОКСИМАЦИИ И КОНСЕРВАТИВНЫХ
РАЗНОСТНЫХ СХЕМ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРЕХ
ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ В СРЕДЕ С
КОМБИНИРОВАННОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

**Федотов Михаил Валентинович, Харитонов Дмитрий Михайлович¹,
Трофимов Вячеслав Анатольевич²**

¹ Кафедра математической физики, e-mail: fedotov@cs.msu.ru, dmitrykharitonov@cs.msu.ru

² Южно-китайский технологический университет, e-mail: trofimov@scut.edu.cn

Численное исследование нелинейных уравнений Шрёдингера активно используется при изучении процессов нелинейной оптики. Наиболее распространёнными методами для этого являются методы расщепления [1, 2, 3]. Другой подход использует консервативность изучаемых систем уравнений: построение конечно-разностных схем происходит таким образом, чтобы их решения сохраняли разностные аналоги инвариантов дифференциальной задачи [4, 5]. В данной работе два подхода сравниваются при решении задачи трёхволнового взаимодействия оптических импульсов в среде с комбинированной нелинейностью.

Содержание работы. Трёхволновое взаимодействие оптических импульсов в среде с комбинированной нелинейностью описывается системой нелинейных уравнений Шредингера, которая обладает законами сохранения (интегралами движения или инвариантами): энергии, Гамильтониана и соотношения Мэнли-Роу. Инварианты используются, например, при нахождении решений. При численном моделировании важно сохранять их разностные аналоги.

Для таких систем уравнений не всегда удастся построить разностную схему, консервативную по всем инвариантам. Поэтому возникает вопрос о преобладающей роли инвариантов при построении разностных схем для систем нелинейных уравнений Шредингера. В данной работе обсуждаются две консервативные конечно-разностные схемы второго порядка аппроксимации: первая

– сохраняющая разностный аналог закона сохранения энергии и вторая – сохраняющая разностный аналог Гамильтониана. При этом каждая из этих схем сохраняет другой инвариант со вторым порядком по координате распространения волн.

Другой подход к построению конечно-разностных схем основан на методе суммарной аппроксимации: дисперсионные и нелинейные слагаемые учитываются на разных шагах метода. Для аппроксимации нелинейных слагаемых используются два подхода: аппроксимация, аналогичная одной из консервативных схем или двух-этапный метод Рунге-Кутты. Обе схемы сохраняют инварианты со вторым порядком точности.

Компьютерное моделирование показало преимущества консервативных разностных схем, которые, в частности, позволяют проводить расчеты с более грубым шагом сетки по сравнению со схемами, основанными на методе расщепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Strang G. On the construction and comparison of difference schemes //SIAM journal on numerical analysis. – 1968. – Т. 5. – №. 3. – С. 506-517.
- [2] Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. //Киев: Наукова думка. – 1980.
- [3] Weideman J. A. C., Herbst B. M. Split-step methods for the solution of the nonlinear Schrödinger equation //SIAM Journal on Numerical Analysis. – 1986. – Т. 23. – №. 3. – С. 485-507.
- [4] Карамзин Ю. Н. О разностных схемах для расчетов трехчастотных взаимодействий электромагнитных волн в нелинейной среде с квадратичной поляризацией //Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1974. – Т. 14. – №. 4. – С. 1058-1062.
- [5] Карамзин Ю. Н., Сухоруков А. П., Трофимов В. А. Математическое моделирование в нелинейной оптике. – МГУ, 1989.

ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ ЭКЗОТИЧЕСКИХ АМЕРИКАНСКИХ ОПЦИОНОВ НА ОДИН ПУЛ БАЗОВОГО АКТИВА

Арбузов Петр Андреевич¹, Голембиовский Дмитрий Юрьевич²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: arbuzov.parb@gmail.com

² Кафедра исследования операций, e-mail: golemb@cs.msu.ru

В работе рассматривается ситуация, возникающая, в частности, в результате сделок мезонинного финансирования. Термин «мезонинное финансирование» используется в инвестиционной практике для обозначения схем, занимающих промежуточное положение между долговым финансированием и прямыми инвестициями в капитал компании.

Сделка по предоставлению мезонинного финансирования разделяется на две составляющие. Кредитная часть сделки, гарантирующая кредитору получение определенной доходности, оформляется между кредитором и заемщиком путем заключения кредитного договора и подписания обеспечительной документации. Мезонинная часть сделки состоит, как правило, в приобретении кредитором пакета акций компании заемщика по актуальной на момент заключения сделки цене и заключении американских опционов колл и пут на полученный пакет акций. Кредитор получает опцион пут, а заемщик — опцион колл. Такие сделки имеют место и на российском рынке.

Данная бизнес-модель порождает игровую задачу, т. к. базовым активом заключенных опционов является один и тот же пул акций. Исполнение одного из опционов приводит к аннулированию другого опциона. Необходимо определить ситуации, при которых выгодно досрочное исполнение каждого из опционов, а также начальную стоимость портфеля опционов. Оценка стоимости опционов по отдельности на основании известных методов [1] в рассматриваемой ситуации не имеет смысла.

В работе приведена формальная постановка задачи, представлен алгоритм решения, основанный на методе обратной рекурсии, приведены примеры использования алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Hull J.C. Options, Futures and Other Derivative Securities. 8 ed. — Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall. — 2011.

О ВОЗМОЖНОСТИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ РАЗРЕЖЕНИЯ В ПОЛОСТИ ЛАЗЕРНОЙ МИШЕНИ

Белолипецкий Александр Алексеевич¹, Семенов Константин Олегович²

¹ Кафедра исследования операций ВМК; Федеральный исследовательский центр ИУ РАН, e-mail: abelolipet@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр ИУ РАН, e-mail: kostya_24@mail.ru

Одним из путей использования энергии термоядерной реакции является инерциальный термоядерный синтез. Идея инерциального термоядерного синтеза состоит в том, что лазерная мишень — сферическая оболочка, внутренняя стенка которого покрыта твердым слоем водородных изотопов, охлажденных до температуры вымерзания (криогенный топливный слой), облучается мощным лазерным пучком и зажигается термоядерная реакция. В результате лазерного облучения этот криогенный слой сжимается в «точку» так, чтобы плотность и температура сжатого топлива достигли критических значений, при которых ядра топливного вещества сблизилась настолько, чтобы вступить в термоядерную реакцию. Сам процесс сжатия неустойчив и сильно зависит от степени симметрии и однородности криослоя. Один из способов достижения заданных

параметров симметрии состоит в следующем. Перед тем, как облучить мишень мощным лазерным импульсом, она подсвечивается менее мощным предимпульсом так, чтобы часть криогенного слоя испарилась, и испарившаяся часть газа начала сжиматься к центру мишени, образуя разреженную ударную волну. В работе [1] была теоретически обоснована гипотеза существования в природе разреженных ударных волн, а в статье [2] эта гипотеза была подтверждена экспериментально.

Пусть D скорость фронта волны, P_1, V_1, u_1, c_1 давление, удельный объем, скорость вещества и скорость звука перед волной, а P_2, V_2, u_2, c_2 - те же переменные за фронтом волны. Известно [1], что в волне разрежения $P_1 > P_2, V_1 < V_2, u_1 > 0, c_1 > D > c_2$. В работе [1] показано, что для некоторого значения температуры изменение энтропии S при переходе через волновой фронт равно $T(S_2 - S_1) = \frac{1}{12} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial P^2} \right)_S (P_2 - P_1)^3$. Поскольку $S_2 > S_1$ то для волны разрежения $\left(\frac{\partial^2 V}{\partial P^2} \right)_S < 0$. Задача состоит в том, чтобы в плоскости P, V определить область, в которой для D-T газа, подчиняющегося закону Ван-дер-Ваальса, это неравенство выполняется. Оказывается, что для определенных значений мощности предимпульса количество испарившегося криотоплива таково, что данное условие справедливо, и ударную волну разрежения в лазерной мишени можно осуществить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Зельдович Я. Б. О возможности ударных волн разрежения // ЖЭТФ. Т. 16, вып. 4. С. 363–364.
- [2] Эволюция волн разрежения вблизи термодинамической критической точки / Борисов Ал. А., Борисов А. А., Кутателадзе С. С., Накоряков В. Е. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 31, вып. 11. С. 619–622.

ОПТИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Васин Александр Алексеевич, Григорьева Олеся Максимовна

Кафедра исследования операций, e-mail: foravas@yandex.ru, olesyagrigez@gmail.com

Проблема оптимального использования накопителей энергии представляет интерес для широкого круга потребителей, покупающих энергию на оптовых рынках или по фиксированным тарифам. В обоих случаях ночные цены обычно в несколько раз ниже дневных, поэтому накопление дешевой энергии и ее потребление в пиковые периоды может дать значимую прибыль. Накопители также способствуют эффективному использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) потребителями, поскольку объем электроэнергии, которую поставляет ВИЭ, является случайной величиной, зависящей от погодных условий.

Оптимальные алгоритмы для систем хранения энергии в приложениях к микросетям широко обсуждаются в литературе. Согласно недавнему обзору [1], с 2010 по 2020 г. было опубликовано около 7000 статей на эту тему. Рассмотрим некоторые работы, относящиеся к нашему исследованию.

В документе [2] исследуются преимущества ресурсов гибкого спроса в микросетях для оптимальной торговли энергией на рынках энергии на сутки вперед и в режиме реального времени. В качестве ресурсов с гибким спросом рассматриваются электромобили и аккумуляторы. В статье не формулируется соответствующая задача стохастической оптимизации, а предлагается эвристический метод двухэтапной оптимизации. В работе [3] рассматривается мультиэнергетическая микросеть с выработкой ветровой и солнечной энергии и нагрузками по электричеству, теплу и газу. В статье [4] рассматриваются разные типы существующих систем накопления энергии, обсуждаются их характеристики и тенденции их развития.

В настоящей работе рассматривается задача оптимального управления накопителями энергии потребителями, покупающими энергию на оптовых рынках или по фиксированным тарифным ставкам. Поскольку максимальные цены обычно в несколько раз меньше минимальных цен, эффективное управление хранилищем может дать ценную прибыль. Определяется оптимальный график потребления и оптимальное управление хранением с учетом почасового удельного потребления, а также подвижной нагрузки, которую можно перераспределить в течение дня. Модель учитывает случайные факторы, в том числе производство энергии возобновляемыми источниками энергии и спрос в зависимости от погоды. Сначала исследуется случай, когда управление накопителем основано на надежном прогнозе случайных факторов для интервала планирования, а затем исследуется соответствующая задача стохастической оптимизации, где будущие значения случайных факторов характеризуются распределением вероятностей. Определяется оптимальная стратегия для рынков, где потребитель может продать избыточную энергию обратно рынку по той же цене, а также рассматривается задача, где такая продажа невозможна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Reza M. S., et al. Optimal Algorithms for Energy Storage Systems in Microgrid Applications: An Analytical Evaluation Towards Future Directions // IEEE Access. 2022. V. 10. P. 10105–10123.
- [2] Eseye A. T., Lehtonen M., Tukia T., Uimonen S., Millar R. J. Optimal Energy Trading for Renewable Energy Integrated Building Microgrids Containing Electric Vehicles and Energy Storage Batteries // IEEE Access. 2019. V. 7. P. 106092–106101.

- [3] Shen Y., Hu W., Liu M., Yang F., Kong X. Energy storage optimization method for microgrid considering multi-energy coupling demand response // Journal of Energy Storage. 2022. V.45.
- [4] Nadeem F., Suhail Hussain S. M., Kumar Tiwari P., Kumar Goswami A., Selim Ustun T. Comparative review of energy storage systems, their roles, and impacts on future power systems. // IEEE Access. 2018. V. 7. P.4555–4585.

ВЗАИМНО КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ ТОЧНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД

Денисов Дмитрий Витальевич¹, Мареев Глеб Олегович²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: dvden@bk.ru

² Кафедра исследования операций, e-mail: gleb.mareev@bk.ru

В работе рассматривается проблема восстановления структуры пористых сред по некоторым представительным данным, в том числе реконструкция $3D$ изображений по $2D$. Получение информации о свойствах некоторых трехмерных сред может быть достаточно дорогим и неэффективным, а их моделирование требует детальной $3D$ информации о строении объекта. Сложность получения двумерного среза в большинстве случаев на порядок ниже полной трехмерной репрезентации. Поэтому постановка задачи о воссоздании статистически подобной $3D$ структуры по $2D$ изображениям естественно возникает во многих областях научной деятельности начиная от стереологии и заканчивая физикой пористых сред. Во многих приложениях полезной является и возможность создания $2D$ статистически подобных изображений.

Постановка задачи. Математически поставленная задача формулируется как проблема оптимизации разницы между двумя и более изображениями – зон пересечения участков заданного размера на реконструкции и оригинальном изображении.

Поставленная задача решается с использованием двух алгоритмов: алгоритма восстановления слоя по фиксированным точкам изображения и алгоритма выделения статичных областей изображения, которые необходимо перенести на следующий слой для сохранения связности. При этом для восстановления изображений использовались два типа функций схожести участков. Во-первых, это классическая для геостатистики функция суммы модуля разницы. Во-вторых, это функция взаимной корреляции

$$C(i, j) = \sum_{x=0}^{l_x-1} \sum_{y=0}^{l_y-1} D(x+i, y+j) D_T(x, y)$$

, которая является сравнительно новым предложенным вариантом для подобного класса задач. При использовании существующих решений на основе функции взаимной корреляции мы столкнулись с некоторыми трудностями:

результат выбора участков сильно несбалансирован относительно участков различной интенсивности цвета. В настоящей работе для задачи восстановления бинарной среды (состоящей из пор и твердой фазы) нам удалось предложить решение этой проблемы.

Таким образом, в работе был сформулирован подход на основе взаимной корреляции правильно выбирающий участки изображения с разной интенсивностью цвета. Это позволило проводить более точные реконструкции. Помимо разработки этого метода в работе проведен целый ряд вычислительных экспериментов, на основе которых удалось получить новые результаты о сравнении двух различных подходов между собой. Задача восстановления трехмерной среды является задачей с большой вычислительной сложностью, и функция взаимной корреляции должна несколько снизить вычислительную нагрузку относительно функции модуля разницы. Был проведен сравнительный анализ двух функций и по его результатам было показано, что функция взаимной корреляции несколько проигрывает функции суммы модуля разницы по точности, однако она дает существенный выигрыш в скорости, что, учитывая большую вычислительную сложность задачи, является сильным аргументом в пользу ее использования. Однако текущее решение для взаимно корреляционной функции является эффективным только для бинарных сред. В задачах, в которых восстанавливаемая среда представлена в градациях серого, использование классической функции суммы модуля разницы позволяет проводить реконструкции высокого визуального качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sahimi M., Tahmasebi P. Reconstruction, optimization, and design of heterogeneous materials and media: Basic principles, computational algorithms, and applications //Physics Reports. – 2021. – Т. 939. – С. 1-82.
- [2] Карсанина М. В. Моделирование и реконструкция структуры и свойств пористых сред с помощью корреляционных функций : дис. – МВ Карсанина. М.: ИДГ РАН, 2016, 2016.

МОДЕЛЬ «НАПАДЕНИЕ-ЗАЩИТА» С НЕЛИНЕЙНЫМИ ФУНКЦИЯМИ УЩЕРБА

Морозов Владимир Викторович¹, Лыков Александр Андреевич²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: vmorosov@mail.ru

² Кафедра исследования операций, e-mail: alex.lykov.95@gmail.com

Имеется n пунктов возможного прорыва средств нападения в количестве A . Нападение распределяет свои силы, используя стратегию $x = (x_1, \dots, x_n)$ из множества $X = \{x \in R_+^n \mid \sum_{i=1}^n x_i = A\}$. Защита распределяет свои силы в количестве B , используя стратегию $y = (y_1, \dots, y_n) \in Y = \{y \in R_+^n \mid \sum_{i=1}^n y_i = B\}$.

На i -м пункте прорывается $t_i = \max(x_i - \mu_i y_i, 0) = (x_i - \mu_i y_i)^+$ средств нападения, где μ_i — количество средств нападения, которое может уничтожить единица средств защиты. Пусть функция $L_i(t_i)$ задает величину ущерба, наносимого нападениями на i -м пункте.

В классических моделях Гросса и Гермейера выигрыш нападения задается суммой линейных функций ущерба. Максиминная чистая стратегия нападения состоит в нанесении концентрированного удара по одному из пунктов, а значение игры равно минимаксу. При решении в смешанных стратегиях защита использует минимаксную чистую стратегию, а оптимальная смешанная стратегия нападения состоит в нанесении концентрированного удара по пункту, выбранному в соответствии с вероятностным распределением. Для игры с выпуклыми функциями ущерба оптимальное поведение сторон аналогично.

В докладе будет рассмотрена модель с вогнутыми функциями ущерба вида $L_i(t_i) = a_i(1 - \exp(-\lambda_i t_i))$, где a_i — максимальный ущерб, который нападение может нанести защите на i -м пункте. Для случая $n = 2$ показано, что оптимальное поведение сторон существенно отличается от решения антагонистических игр в классических моделях. Если $A = B$ и $\mu_1 = \mu_2 = 1$, то функция выигрыша нападения

$$F(x_1, y_1) = a_1(1 - \exp(-\lambda_1(x_1 - y_1)^+)) + a_2(1 - \exp(-\lambda_2(y_1 - x_1)^+)), \quad x_1, y_1 \in [0, A].$$

Оптимальные смешанные стратегии нападения и защиты имеют скачки функций распределения в концах отрезка $[0, A]$ и положительные плотности на интервале $(0, A)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике. М.: Мир, 1964. 838 с.
- [2] Васин А. А., Морозов В. В. Теория игр и модели математической экономики. М.: МАКС Пресс, 2005. 271 с.

КВАНТИЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРТФЕЛЯ В МОДЕЛИ ОРНШТЕЙНА-УЛЕНБЕКА

Морозов Владимир Викторович¹, Полушкин Андрей Алексеевич²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: vmorosov@mail.ru

² Кафедра исследования операций, e-mail: polushkinandrey95@gmail.com

На финансовом рынке имеется n активов, стоимости которых $S_i(t)$ задаются средне-возвратными процессами Орнштейна-Уленбека [1] (называемых также процессами Васичека)

$$S_i(t) = m_i + (S_i(0) - m_i)e^{-\theta_i t} + \sigma_i e^{-\theta_i t} \int_0^t e^{\theta_i s} dz_i(s), \quad i = 1, \dots, n,$$

где $z_i(t)$ — винеровские процессы с коэффициентами корреляции ρ_{ij} .

Пусть финансовый портфель содержит бумаги i -го актива в доле w_i по отношению к другим бумагам, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. Положим $w = (w_1, \dots, w_n)$. Стоимость портфеля $\Pi(t) = \sum_{i=1}^n w_i S_i(t)$ имеет нормальное распределение с математическим ожиданием $m(w, t) = \sum_{i=1}^n w_i (m_i + (S_i(0) - m_i)e^{-\theta_i t})$ и дисперсией

$$\sigma^2(w, t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} \frac{1}{\theta_i + \theta_j} (1 - e^{-(\theta_i + \theta_j)t}).$$

Пусть $\alpha = P\{\Pi(t) \leq Q(w, t)\}$ — уровень значимости, т.е. вероятность того, что стоимость портфеля $\Pi(t)$ не превышает $Q(w, t)$, Z_α — α -квантиль функции Φ стандартного нормального распределения, т.е. корень уравнения $\Phi(x) = \alpha$. Тогда $Q(w, t) = m(w, t) + Z_\alpha \sigma(w, t)$ — нижняя граница стоимости портфеля при заданном уровне значимости α . Рассмотрим следующую антагонистическую игру инвестора против природы. Цель инвестора состоит в максимизации функции $Q(w, t)$ по векторам w , удовлетворяющим условию $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, а природа минимизирует $Q(w, t)$ по $t \in [0, T]$, где T задает горизонт планирования. Пусть $\alpha < \frac{1}{2}$. Тогда $Z_\alpha < 0$ и функция $Q(w, t)$ вогнута по w . В докладе будут указаны случаи, когда функция $Q(w, t)$ имеет седловую точку. Инвестор использует оптимальную (максиминную) стратегию, чтобы обеспечить наибольшую гарантированную величину стоимости портфеля при заданном уровне значимости.

В докладе обсуждаются условия закрытия позиции по портфелю [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Оксендаль Б. Стохастические дифференциальные уравнения. М.: Мир, АСТ, 2003. 406 с.
- [2] Baily D. H., Prado M. L. Stops-outs under serial correlation and "the triple penance rule" // J. of Risk. 2014. Vol. 18. No. 2. P. 61–63.

ТРИНОМИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПОЛНОГО БЕЗАРБИТРАЖНОГО РЫНКА ДВУХ АКТИВОВ

Морозов Владимир Викторович¹, Узакбай Каби Куанышбекулы²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: vmorosov@mail.ru

² Кафедра исследования операций, e-mail: kabi888u@gmail.com

Рассмотрим дискретный финансовый рынок, на котором торги происходят через временные интервалы длины Δt . Пусть $r > 1$ — величина, показывающая рост банковского вклада за время Δt . Тогда $1/r$ — соответствующий коэффициент дисконтирования. Пусть S_1, S_2 — стоимости активов в начальный момент времени. При переходе к следующему моменту времени выделим три состояния рынка: u — стоимости S_1, S_2 возросли в $u_1, u_2 > r$ раз, d — стоимости активов изменились в $d_1, d_2 < r$ и m — стоимости активов изменились в

m_1, m_2 раз, где $m_i = \sqrt{u_i d_i}, i = 1, 2$. Последнее условие позволяет приписать стоимости активов узлам триномиального дерева.

Пусть p_u, p_m, p_d — вероятности переходов рынка в состояния u, m, d . Условие мартингальности вероятностной меры $p = (p_u, p_m, p_d)$ имеет вид

$$d_i < p_u u_i + p_m m_i + p_d d_i = r < u_i, i = 1, 2, p_u + p_m + p_d = 1, p_u, p_m, p_d > 0. \quad (1)$$

Пусть X — множество таких векторов $x = (u_1, d_1, u_2, d_2)$, для которых существует мартингальная вероятностная мера, удовлетворяющая (1). Отметим, что при заданном x эта мера существует и единственна. Поэтому построенный рынок двух активов является полным и безарбитражным. Следовательно, любое обязательство европейского типа на рассматриваемые активы может быть реплицировано с помощью портфеля, состоящего из акций двух типов и денежной суммы в виде депозитного вклада (или кредита) в банке. Множество X не является выпуклым. В докладе будет показано, как можно выделить замкнутое подмножество $X_1 \subset X$ для его использования в следующей оптимизационной задаче.

Дерево сценариев формируется экспертом, который для последовательных состояний рынка указывает стоимости акций: $S_{iu}, S_{im}, S_{id}, S_{iuu}, S_{ium}, S_{iud}, \dots$. Дерево сценариев можно аппроксимировать триномиальным деревом, минимизируя по $x \in X_1$ функцию

$$f(x) = \sum_{i=1}^2 [(S_{iu} - S_i u_i)^2 + (S_{im} - S_i m_i)^2 + (S_{id} - S_i d_i)^2 + (S_{iuu} - S_i u_i^2)^2 + \dots].$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Фельмер Г., Шид А. Введение в стохастические финансы. М. : МЦНМО, 2008. 496 с.

ПОСТРОЕНИЕ ОДНОПРОЦЕССОРНОГО РАСПИСАНИЯ С МИНИМИЗАЦИЕЙ ПИКОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ПРИ ПОМОЩИ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА

Абрамов Алексей Владимирович, Чупахин Андрей Андреевич

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: avabramov@mail.asvk.cs.msu.ru, andrewchup@lvk.cs.msu.ru

В данной работе рассматривается проблема построения оптимального расписания не с точки зрения уменьшения времени его выполнения, а с точки зрения уменьшения пикового потребления ресурса (например, памяти). ВС состоит из одного процессора, способного в каждый момент времени обрабатывать лишь одно задание. Входными данными является ориентированный ациклический граф заданий, в котором узлы представляют собой задания, а рёбра — зависимости по данным между ними. Результат выполнения каждого задания

хранится в вычислительной среде, то есть занимает определённое количество уникального ресурса, до тех пор, пока не выполняются все непосредственные потомки данного задания (то есть, вершины в графе, которые связаны ребром с текущей вершиной). Необходимо построить расписание, минимизирующее пиковое потребление ресурса.

В [1] показано, что в общем случае задача является NP-трудной, но алгоритмы, решающие задачу в общем случае, в литературе не рассматривались. Однако, были рассмотрены различные частные случаи данной задачи, в которых граф предшествования задан определённым образом: деревом [1, 2], множеством параллельных цепей [3, 4], последовательно-параллельным графом [5]. Для каждого из частных случаев были предложены полиномиальные алгоритмы со сложностями $O(n \log_2 n)$, $O(n \log_2 s)$, $O(n^2)$ соответственно (здесь: n — количество вершин в графе, s — количество параллельных цепей).

В данной работе проведён обзор алгоритмов построения расписаний, приведено описание алгоритмов, в числе которых жадный алгоритм, алгоритм имитации отжига, генетический алгоритм и муравьиный алгоритм. Разработан муравьиный алгоритм для решения задачи минимизации пикового использования ресурсов, рассмотрены различные модификации алгоритма, в числе которых локальный поиск и подход Ant-Q, основанный на обучении с подкреплением, а также проведено сравнение реализованного муравьиного алгоритма с другими кандидатами. На рис. 1 изображено сравнение двух разработанных алгоритмов: муравьиного алгоритма и алгоритма имитации отжига. Алгоритмы и исследования расположены в репозитории по ссылке [6].

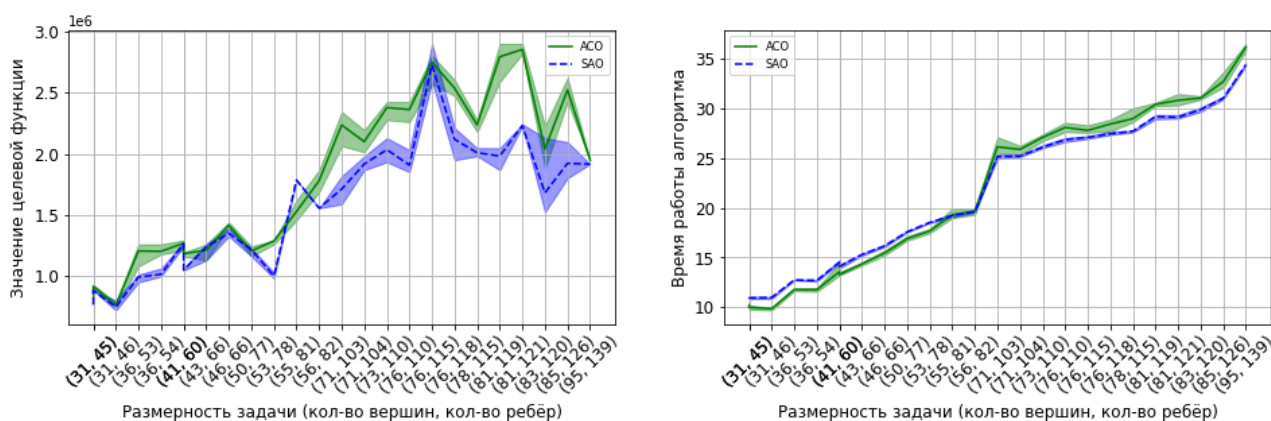


Рис. 1: Слева изображена зависимость целевой функции, а справа зависимость времени работы алгоритма от размерности задачи для алгоритмов имитации отжига (SAO) и муравьиного алгоритма (ACO).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] R. Sethi, Complete Register Allocation Problems // SIAM Journal on Computing. 1975. Vol. 4. № 3. P. 226–248.

- [2] R. R. Redziejowski, On Arithmetic Expressions and Trees // Communications of the ACM. 1969. Vol. 12. № 2. P. 81–84.
- [3] P. G. Hebalkar, Coordinated Sharing of Resources in Asynchronous Systems // Record of the Project MAC conference on concurrent systems and parallel computation, Massachusetts, USA, 1970, P. 151–168.
- [4] E.G. Coffman, Jr., and P. J. Denning, Operating Systems Theory, New Jersey, Prentice-Hall, 1973.
- [5] H. Abdel-wahab and T. Kameda, Scheduling to minimize maximum cumulative cost subject to series-parallel precedence constraints// Operations Research. 1978. Vol. 26. № 1. P. 141–158.
- [6] <https://github.com/Crotokot/SchedulingProblem>

АЛГОРИТМ СОВМЕСТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ОБЩЕЙ ШИННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Балашов Василий Викторович¹, Чехонина Екатерина Андреевна²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: hbd@cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: katerinasheps@gmail.com

При планировании вычислений и информационного обмена в вычислительных системах (ВС) реального времени, в т.ч. модульных ВС [1], решаются следующие подзадачи:

- а) распределение вычислительной нагрузки по процессорам;
- б) построение конфигурации сети (для сетей с виртуальными каналами) или расписания обмена данными через сеть;
- в) построение расписания вычислений.

При этом решения подзадач а), б), в) должны быть согласованы между собой. Эта согласованность достигается либо последовательным решением подзадач в порядке а), б), в) с полным решением каждой подзадачи перед переходом к следующей, либо совместным решением подзадач, при котором частичные решения достраиваются "одновременно", оставаясь при этом согласованными.

Известен ряд работ, в которых совместно решаются две из перечисленных выше задач. Например, в [2] задача а) предполагается решенной, а задачи б) и в) решаются совместно.

В докладе представлен алгоритм совместного решения всех трёх задач а), б), в) при планировании вычислений и информационного обмена в многопроцессорных ВС с общей шиной передачи данных, поддерживающей распределение пропускной способности в виде виртуальных каналов. Алгоритм построен по

жадной схеме с элементами ограниченного перебора. В ходе выполнения алгоритма, при движении по оси времени от начального момента к концу интервала планирования выполняется размещение работ на процессорные ядра и выделение пропускной способности канала для потоков данных (периодических сообщений) между задачами, работы которых запланированы на различные модули. Ограниченный перебор выполняется при попадании алгоритма в тупик и заключается в переназначении ранее запланированных работ на другие процессорные ядра и перераспределении пропускной способности канала между сообщениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Парамонов П. П., Жаринов И. О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 1. С. 1–17.
- [2] Craciunas S. S., Oliver R. S. Combined task-and network-level scheduling for distributed time triggered systems // Real-Time Systems. 2015. Vol. 52, No. 2. P. 161–200.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СЕРВИСА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В СЕТЯХ ИНТЕРНЕТ-ПРОВАЙДЕРА ПРИ ПОМОЩИ НАСТРОЙКИ ДИСЦИПЛИН ОЧЕРЕДИЗАЦИИ

Беляева Ольга Константиновна¹, Степанов Евгений Павлович²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: olya_bel@arccn.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: estepanov@lvk.cs.msu.ru

С развитием сетей приобретает актуальность идея разделения приложений со схожими требованиями по качеству сервиса в группы, каждой из которых предоставляется различный сервис. В качестве примера можно привести «расслоение сети» в сетях нового поколения 5G. Группе приложений выделяется виртуальная сеть, которая должна предоставлять определенное качество сервиса. Например, в отдельную группу можно выделить приложения для проведения конференций, чтобы предоставить гарантию по задержке для голосового и видеотрафика. При помощи настройки дисциплин очереди можно изменить время нахождения пакета в очереди, тем самым повлиять на сквозную задержку.

Для подбора параметров дисциплины очереди, требуется оценить задержку пакетов транспортного потока. В предыдущей работе [1] в качестве математической модели, описывающей очередь, выбрана модель M/G/1 с относительными приоритетами, которая характеризует систему с пуассоновским

входным потоком и произвольным распределением времени обслуживания пакета [3][4]. В работе [1] был предложен алгоритм настройки параметров дисциплины очередизации LLQ на основе оценки задержки пуассоновского потока. Но данная оценка не подходит для описания работы дисциплины очередизации в сетях Интернет-провайдера, так как трафик в сетях Интернет-провайдера лучше всего описывается самоподобными случайными процессами [3].

Таким образом, в данной работе стоит задача адаптировать алгоритм из [1] для случая работы дисциплины очередизации в сетях Интернет-провайдера, т.е. адаптировать модель из [1] для случая самоподобного случайного процесса.

Модель M/G/1 не позволяет описать систему, в которой поступление заявок является самоподным случайным процессом. В данной работе мы рассчитываем значение задержки для модели очереди G/G/1 с относительными приоритетами, которая характеризует систему с произвольным входным потоком и произвольным временем обработки пакета [3][4]. Для оценки задержки для данной модели используется метод максимальной энтропии [2].

Эффективность исследуется с помощью генерации трафика согласно распределениям, характеризующим самоподобные процессы: распределение Вейбулла, Парето, логнормальное распределение [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Степанов Е. П., Синякова М. А. Метод управления качеством сервиса транспортных потоков виртуальных пластов на основе стохастического сетевого исчисления. – 2021.
- [2] Kouvatsos D., Tabet-Aouel N. A maximum entropy priority approximation for a stable G/G/1 queue // Acta informatica. – 1989. – Т. 27. – №. 3. – С. 247–286.
- [3] Карташевский В. Г. Основы теории массового обслуживания. – 2006.
- [4] Shortle J. F. et al. Fundamentals of queueing theory. – John Wiley & Sons, 2018. – Т. 399.

СИСТЕМА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПКС КОММУТАТОРОВ

Зайдуллин Ризван Рустемович¹, Смелянский Руслан Леонидович²

¹ Кафедра Автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: s02190101@gse.cs.msu.ru

² Кафедра Автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: smel@cs.msu.ru

Программно конфигурируемые сети (ПКС) в настоящее время являются активно развивающейся технологией [1]. Они позволяют значительно повысить автоматизацию и оптимальность управления сетями передачи данных и снизить затраты на эксплуатацию сетей.

ПКС – это сети с централизованным программным управлением. Архитектура ПКС состоит из двух контуров – контура управления и контура передачи данных или просто контура данных. Контур управления состоит из двух уровней: уровень приложений и уровень контроллера. Приложения – это програм-

мы, которые генерируют программы работы для сетевых устройств в контуре данных. Контроллер обеспечивает загрузку этих программ и предоставление информации о контуре данных приложениям. По существу, контроллер – это сетевая операционная система, т.е. система управления сетью. Сегодня есть несколько протоколов управления, с помощью которых контроллер взаимодействует с сетевыми устройствами и в контуре данных. Одним из основных является протокол OpenFlow (OF). Однако OF протокол предоставляет для управления сетевыми устройствами средства уровня ассемблера, что неудобно для программирования и усложняет его. Кроме этого, применение протокола OF предполагает, что каждый коммутатор на маршруте, который сформировало одно из приложений контроллера, для потока должен обратиться хотя бы один раз за программой обработки пакетов этого потока к контроллеру. Это увеличивает нагрузку на контроллер и каналы управления, усложняет разработку соответствующего приложения - его программист должен предусмотреть несколько вариантов функционально одинаковых действий для разных ПКС коммутаторов. Для устранения указанных выше недостатков были предложены высокоуровневые средства программирования приложений ПКС более высокого уровня, чем те, что предлагает OF протокол. Эти средства позволяют программисту приложения абстрагироваться от технических особенностей программ для каждого ПКС коммутатора, и написать программу общего вида, которая автоматически подстраивается под особенности того или иного ПКС коммутатора.

Были предложены реализации описанного выше подхода в системах NetKAT [2,3] и fNetKAT [4,5]. В докладе представлена реализация системы программирования ПКС приложений, которая позволяет программисту разрабатывать приложения в понятном программисту императивном стиле и гибко управлять композицией независимых приложений. Как и в предшествующих системах программирования в основу предлагаемой системы была положена алгебра Клини [2], которая позволяет абстрагироваться от специфики конкретного коммутатора при написании программы работы сетевого устройства. Предложенное решение позволяет абстрагироваться от конкретного маршрута потока и гарантирует непротиворечивость установленных правил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Смелянский Р.Л., Антоненко В.А. Концепции программного управления и виртуализации сетевых сервисов в современных сетях передачи данных // "Курс Москва, ISBN 978-5-907228-29-0, 2019, 160 с
- [2] Anderson C. J., Foster N., Guha A., Jeannin J. B., Kozen D., Schlesinger C., Walker D. NetKAT: Semantic foundations for networks // *Acm sigplan notices*. – 2014. – Т. 49. – №. 1. – С. 113-126

- [3] Steffen Smolka, Spiridon Eliopoulos, Nate Foster, Arjun Guha. A Fast Compiler for NetKAT // ICFP 2015: Proceedings of the 20th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming. – 08/2015. – С. 328-341
- [4] Есенин Егор Евгеньевич. Выпускная квалификационная работа. 2021 asvk.cs.msu.ru
- [5] Чернышева А.Ю., Швецов Д.А., Шалимов А.В. Расширение системы Maple для работы с несколькими OpenFlow таблицами // Программные Системы и Инструменты Тематический сборник №18, Москва, 2018 с. 115-127

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МУЛЬТИАГЕНТНОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Казантаев Алексей Дмитриевич¹, Чупахин Андрей Андреевич²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: adkazantaev@lvk.cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: andrewchup@lvk.cs.msu.ru

Балансировка рабочей нагрузки в неоднородных вычислительных средах (ВС), состоящих из вычислительных устройств (ВУ) различной мощности, является одной из современных задач теории расписаний. Рассмотрим неоднородную ВС, на ВУ которой поступают вычислительные задания. Интервалы поступления заданий на разные ВУ могут иметь разное распределение, в результате разные ВУ нагружаются неравномерно. Это влечет за собой увеличение времени обработки заданий — снижение производительности всей ВС. Чтобы решить эту проблему, необходимо иначе балансировать входящий поток заданий между узлами.

Мультиагентное обучение с подкреплением (MARL – Multi-Agent Reinforcement Learning) обучает множество агентов взаимодействовать в общей среде: сотрудничать, конкурировать или коллективно выполнять определенную задачу. Эта концепция контрастирует с одноагентным обучением с подкреплением (RL – Reinforcement Learning), где на состояние всей среды влияют действия одного агента.

В данной работе рассматривается многокритериальная оптимизационная задача построения многопроцессорного расписания. Предполагается, что известны время выполнения и пересылки заданий между ВУ, распределение времени поступления заданий. Задания независимы по данным и выполняются без прерываний.

Разработан алгоритм [1] построения расписаний выполнения заданий на заданных ВУ, оптимизирующий равномерность использования ресурсов ВУ, т.е.

минимизацию суммы абсолютных отклонений загрузки ВУ от средней загрузки по всем ВУ, и время выполнения каждого задания.

Разработанная мультиагентная среда сравнима с традиционными подходами, решающими задачу построения расписания заданий [2], если установить нулевое время пересылки заданий между ВУ. В статье [2] приведено сравнение MARL с традиционными алгоритмами решения многокритериальной задачи оптимизации.

В статье [3] приведено сравнение RL и MARL алгоритмов выгрузки заданий [4] на MEC (Multi-access Edge Computing) сервер. В результате экспериментов было установлено, что MARL алгоритм ведёт себя стабильней и находит решение задачи быстрее, чем RL алгоритм.

Данное исследование направлено на проверку гипотезы, что многокритериальная оптимизационная задача построения многопроцессорного расписания сводится к однокритериальной и разрешима методами мультиагентного обучения с подкреплением. При этом результаты могут оказаться лучше по сравнению с другими подходами. Это следует из проведенного обзора, в частности статей [2, 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] MARL Load Balancing Environment [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/alexey-kaz/customenv> (дата обращения: 21.03.2021)
- [2] Méndez-Hernández B. M. et al. A multi-objective reinforcement learning algorithm for jssp //International Conference on Artificial Neural Networks. – Springer, Cham, 2019. – С. 567-584.
- [3] Xu Y. et al. Decentralized Multi-Agent Reinforcement Learning for Task Offloading Under Uncertainty //arXiv e-prints. – 2021. – p. arXiv: 2107.08114.
- [4] Голицына В. М., Сопин Э. С. К анализу механизма выгрузки задач в системе туманных вычислений на основе двухпараметрического критерия //Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем. – 2019. – С. 374-378.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ПАКЕТОВ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ

Кузьмин Ярослав Константинович¹, Волканов Дмитрий Юрьевич²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: yaroslav_konst@lvk.cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: volkanov@asvk.cs.msu.ru

Графическое процессорное устройство (ГПУ) — это специализированное вычислительное устройство, работающее как сопроцессор центрального процессорного устройства (ЦПУ) [1]. ГПУ предназначено для параллельного

выполнения множества потоков, выполняющих одну и ту же последовательность команд. Таким образом, ГПУ реализует программную модель SIMT (single instruction, multiple threads) [2].

Одна из задач, возникающих при передаче сетевого пакета по сети — это задача классификации пакета [3]. В случае большого размера таблицы классификации (несколько десятков тысяч правил) поиск может занимать существенное время. Для увеличения производительности классификатора пакетов может быть использовано ГПУ, так как оно имеет высокую вычислительную мощность по сравнению с ЦПУ.

В данной работе рассматриваются существующие подходы к классификации пакетов на ГПУ. Были рассмотрены следующие методы: Snap [4], PacketShader [5], APUNet [6], GASPP [7] и параллельный поиск по таблице классификации [3]. Проведён обзор данных методов по следующим критериям: скорость обработки пакетов (млн. пакетов в секунду) и время обработки пакета (мкс).

По итогам обзора выбран метод, предполагающий параллельный поиск по таблице классификации. Данный метод предполагает разделение таблицы классификации на сегменты. При получении пакета на ГПУ происходит запуск потоков, количество которых равно количеству сегментов. Каждый поток производит поиск правила в отдельном сегменте. После завершения этого этапа найдены подходящие правила с наивысшим приоритетом в каждом сегменте таблицы. На втором этапе происходит поиск правила с наивысшим приоритетом из всех правил, выбранных на первом этапе.

Для экспериментального исследования разработаны программные реализации предложенных методов на языке C++ с применением технологии Nvidia CUDA.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Parallel Thread Execution ISA Version 7.5 // Nvidia CUDA Toolkit Documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.nvidia.com/cuda/parallel-thread-execution/index.html> (дата обращения: 20.12.2021).
- [2] Cerovic D., Del Piccolo V., Amamou A., Haddadou K., Pujolle G. Fast packet processing: A survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2018. Т. 20, № 4. P. 3645-3676.
- [3] Zhou S., Singapura S. G., Prasanna V. K. High-performance packet classification on GPU // 2014 IEEE High Performance Extreme Computing Conference (HPEC). IEEE, 2014. P. 1-6.
- [4] Sun W., Ricci R. Fast and flexible: Parallel packet processing with GPUs and click // Architectures for Networking and Communications Systems. IEEE, 2013. P. 25-35.

- [5] Han S., Jang K., Park K., Moon S. PacketShader: a GPU-accelerated software router // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2010. Т. 40, №. 4. P. 195-206.
- [6] Go Y., Jamshed M. A., Moon Y., Hwang C., Park K. Apunet: Revitalizing GPU as packet processing accelerator // 14th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 17). 2017. P. 83-96.
- [7] Vasiliadis G., Koromilas L., Polychronakis M., Ioannidis S. Design and implementation of a stateful network packet processing framework for GPUs // IEEE/ACM Transactions on Networking. 2016. Т. 25, №. 1. P. 610-623.

УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПРОТИВОРЕЧИВОГО ПЕРЕСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ В ДОМЕНЕ ПКС СЕТИ

Лебединский Юрий Евгеньевич¹, Писковский Виктор Олегович²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: s02190141@gse.cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: vpiskovski@lvk.cs.msu.su

Программно-конфигурируемая сеть (ПКС) — это концепция построения сети, в которой контур управления сетью разделён с контуром передачи данных. Это достигается с помощью переноса функции управления в приложения, работающие на отдельном сервере (контроллере). Применение этой технологии в сетях передачи данных даёт ряд существенных преимуществ:

- повышение гибкости и скорости управления сетью;
- сокращение расходов на обслуживание сети;
- разработка новых сетевых сервисов и высокая скорость внедрения.

Процесс реконфигурации — это процесс изменения контроллером записей в таблицах коммутации пакетов в сетевых коммутаторах в ответ на запросы по маршрутизации потоков. Процедура реконфигурации может потребоваться во многих случаях, например, для балансировки нагрузки каналов, для поддержания и восстановления движения пакетов при отключении аппаратуры и так далее. При этом возникает ряд проблем конкурентной реконфигурации сети. Запросы на реконфигурацию сети могут приводить к возникновению нежелательных ситуаций (аномалий), когда вносимые изменения противоречат друг другу. Это связано с тем, что, как правило, политики безопасности действуют лишь для сконфигурированной сети, в то время как некорректные состояния могут возникать именно в процессе её реконфигурации.

В работе получены следующие основные результаты:

1. Выбран подход к управлению процессами реконфигурации ПКС при заданных условиях.
2. Сформулированы и доказаны необходимые и достаточные условия реконфигурации программно-конфигурируемой сети без потерь.

Условия реконфигурации без потерь опробованы на экспериментальном стенде, разработанном на базе эмулятора компьютерных сетей ns3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Смелянский Р.Л., Антоненко В.А. Концепции программного управления и виртуализации сетевых сервисов в современных сетях передачи данных, учебное пособие, КУРС, Москва, 2019, с. 25-70.
- [2] A. A. Grusho, I. Yu. Teryokhina, Consistency analysis of software-defined networks reconfiguration, *Sistemy i Sredstva Inform.*, 2017, Volume 27, Issue 3, 12–22
- [3] Грушо А.А., Забежайло М.И., Зацаринный А.А., Писковский В.О. “Безопасная автоматическая реконфигурация облачных вычислительных сред”, *Системы и средства информ.*, 26:3 (2016), 83–92
- [4] NS-3: Network simulator 3 <https://www.nsnam.org/>

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКОЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ КАНАЛА ДЛЯ ПРОТОКОЛА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДЕЙТАГРАММ

Оконишников Арий Ариевич¹, Степанов Евгений Павлович²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: a3.okonishnikov@mail.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: estepanov@lvk.cs.msu.ru

Одним из методов обеспечения качества сервиса являются алгоритмы управления перегрузкой (АУП) [1]. Они позволяют контролировать размер окна перегрузки, тем самым варьируя число пакетов, отправляемых в сеть.

При проектировании АУП можно учитывать прогноз параметров качества сервиса: вероятности потери пакета - L , задержки доставки пакета - RTT , доступной пропускной способности канала - R . Прогноз составляется на время существования транспортного потока на основе работы методов [2], позволяющих оценивать параметры качества сервиса. Существующие АУП не имеют доступа к такому прогнозу и должны оценивать параметры качества сервиса во время работы. В настоящей работе рассматривается задача нахождения размера окна перегрузки на основе описанного прогноза. Будем рассматривать протокол QUIC [3] как основу реализации предполагаемого алгоритма.

В формальной постановке задачи входные параметры представлены четверкой RTT, L, R, MSS , где MSS - размер пакета. Требуется найти окно перегрузки - $CWND$. Для решения задачи проведён обзор алгоритмов управления перегрузкой, которые находят значение окна перегрузки без прогноза, по результатам которого выбран BBR [4]. Выбор осуществлялся по трём критериям: эффективное использование пропускной способности канала, минимизация задержки пакетов, используемые параметры качества сервиса.

Алгоритм BBR можно рассматривать как конечный автомат, состоящий из четырёх состояний. Для решения задачи предлагается алгоритм управления перегрузкой с дополнительным состоянием FORECAST, в котором автомат находится в начале работы и до тех пор, пока прогноз остается верным. Ошибку в прогнозе обнаруживаем увеличением круговой задержки и процента потери пакетов. В таком случае мы переходим в PROBE_RTT [4] и действуем далее по алгоритму BBR. В случае кратковременности ошибки возвращаемся обратно в FORECAST. Предлагается методика оценки эффективности по сравнению с алгоритмом без прогноза на модели клиент-сервера реализации протокола QUIC ngtcp2 [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] M. Allman, V. Paxson. Request for Comments: 5681 - TCP Congestion Control. Сентябрь 2009
- [2] Dixon Salcedo, Cesar D. Guerrero and Roberto Martinez. Available Bandwidth Estimation Tools: Metrics, Approach and Performance. Декабрь 2018
- [3] J. Iyengar, M. Thomson. Request for Comments: 9000 - QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport. Май 2021
- [4] Neal Cardwell, Yuchung Cheng - BBR. Congestion-Based Congestion Control.
- [5] ngtcp2 [HTML] <https://github.com/ngtcp2/ngtcp2/>

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НЕРЕГУЛЯРНОЙ УКЛАДКИ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР

Порывай Максим Викторович¹, Чупахин Андрей Андреевич²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: mvporyvaj@lvk.cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: andrewchup@lvk.cs.msu.ru

Актуальность. Во многих областях индустрии регулярно возникает задача вырезать из больших листов материала заготовки произвольной формы. При этом группировать места размещения контуров этих заготовок для раскроя листа материала требуется максимально плотно, чтобы минимизировать незадействованную часть листа.

Такие задачи называются в литературе задачами раскроя. Они могут значительно варьироваться по входным данным и по требованиям к решению. Так, область размещения заготовок может быть конечной, полубесконечной и бесконечной; заготовки могут быть исключительно прямоугольниками, выпуклыми/невыпуклыми многоугольниками, фигурами произвольной формы, с отверстиями и без, с возможностью поворота и отражения и без; на остаток от исходного листа материала могут накладываться или не накладываться дополнительные ограничения.

Постановка задачи. Пусть имеется лист прямоугольной формы, длина и ширина заданы. Также задано конечное множество заготовок, которые нужно разместить на листе. Ширина каждой заготовки не более, чем в 2 раза, меньше длины заготовки. Заготовки не имеют отверстий и могут быть повернуты на углы, кратные 90 градусам, относительно своего начального положения. Требуется найти такую раскладку деталей на листе, чтобы: а) максимизировать площадь, занятую размещенными деталями, б) размещение было как можно более плотным, в) из оставшейся части можно было отрезать прямоугольник, максимальный по площади среди тех, которые подобны исходному листу. Эти требования формализуются в задачу максимизации функции эффективности, определяемую как взвешенную сумму трех метрик: а) площади, занятой размещенными деталями, б) площади оставшегося прямоугольника, подобного исходному листу, в) величины, обратной площади области, не занятой размещенными фигурами в минимальном обрамляющем все размещенные фигуры прямоугольнике. Веса предлагается подбирать эмпирически.

Цель исследования. Целью данного исследования является создание библиотеки, содержащей реализации различных алгоритмов, решающих задачу раскроя в заданной выше постановке, реализованных на одном из языков программирования, оформленные в едином стиле, с единой иерархией классов. Возможно также частичное использование готовых проектов с открытым исходным кодом, их модификация.

Рассмотренные алгоритмы. Задачи раскроя — NP-трудные [1], а значит для их решения разумно использовать эвристические алгоритмы. В процессе обзора предметной области были рассмотрены следующие алгоритмы решения поставленной задачи: природные (эволюционные [2], роя частиц [3], муравьиный [2], имитация отжига [2]), смешанно-целочисленное линейное программирование [4], поиск с запретами [2], другие эвристики [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Garey, M. R., David S. Johnson. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness // W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1979, x + 338 pp.
- [2] Верхотуров М. А. Задача нерегулярного раскроя фигурных заготовок: оптимизация размещения и пути режущего инструмента // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, vol. 9, no. 2, 2007, pp. 106-118
- [3] Shalaby M., Kashkoush M. (2013). A Particle Swarm Optimization Algorithm for a 2-D Irregular Strip Packing Problem // American Journal of Operations Research. 3. 268-278. 10.4236/ajor.2013.32024
- [4] Fischetti, M., Luzzi, I. Mixed-Integer Programming Models for the Nesting Problem // Journal of Heuristic, Vol. 15, No. 3, 2009, pp. 201-226

- [5] An effective heuristic for the two-dimensional irregular bin packing problem (2013) / Lopez E., Ochoa G., Terashima-Marin H., Burke E. // Annals of Operations Research. 206. 241-264. 10.1007/s10479-013-1341-4

РАЗРАБОТКА МНОГОПОТОЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПРОТОКОЛА, ОСНОВАННОГО НА ПРОТОКОЛЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ДЕЙТАГРАММ

Хасанов Дмитрий Максимович¹, Степанов Евгений Павлович²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: KhasanovDima17@yandex.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: estepanov@lvk.cs.msu.ru

В качестве метода улучшения качества сервиса в сети можно использовать разделение потока данных на несколько подпотоков и передачу их через отдельные транспортные соединения. Такой подход называется многопоточной маршрутизацией, которая реализуется с помощью многопоточных транспортных протоколов. В работе рассматривается следующий режим работы многопоточных транспортных протоколов: передача пакетов по одному (главному) подпотоку с возможностью переключения на вспомогательный подпоток в случае выхода из строя главного подпотока.

Рассматривается реализация многопоточного протокола на основе протокола QUIC [1] — протокола транспортного уровня, работающего поверх протокола UDP. Благодаря устройству протокола QUIC решаются некоторые проблемы, с которыми сталкивались предыдущие реализации многопоточных протоколов, например, вмешательство промежуточных сетевых устройств и трудоемкость внедрения и обновления.

Чтобы уменьшить задержки на фазу медленного старта алгоритма управления перегрузкой при переключении на вспомогательный подпоток, предлагается оценивать состояние вспомогательного маршрута и использовать полученные данные для расчета начального размера окна отправителя. Под состоянием маршрута подразумеваются следующие параметры: доступная пропускная способность (ДПС) и круговая задержка на маршруте.

Оценивать состояние маршрута можно с помощью генерации служебных пакетов. Был проведен обзор существующих методов оценки ДПС [2][3][4][5], по результатам которого выбраны методы pathChirp и pathQuick3. Выбор был сделан на основании следующих критериев: минимизация генерируемого трафика, надежная работа с беспроводными сетями и недооценочный характер ошибок при оценке ДПС.

Предлагается методика исследования эффективности разрабатываемого метода, заключающаяся в сравнении начальной скорости отправки данных при переключении на вспомогательный маршрут в случае однопоточного соединения и в случае нашей реализации многопоточного соединения с разными

методами оценки ДПС. Предлагаемый метод реализован для реализации QUIC - LSQUIC [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Langley A. et al. The quic transport protocol: Design and internet-scale deployment // Proceedings of the conference of the ACM special interest group on data communication. – 2017. – С. 183–196.
- [2] Ribeiro V.J. et al. pathchirp: Efficient available bandwidth estimation for network paths // Passive and active measurement workshop. – 2003.
- [3] Sato N. et al. Experimental comparison of machine learning-based available bandwidth estimation methods over operational LTE networks // 2017 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). – IEEE, 2017. – С. 339–346.
- [4] Strauss J., Katabi D., Kaashoek F. A measurement study of available bandwidth estimation tools // Proceedings of the 3rd ACM SIGCOMM conference on Internet measurement. – 2003. – С. 39-d-44.
- [5] Jain M., Dovrolis C. End-to-end available bandwidth: Measurement methodology, dynamics, and relation with TCP throughput // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 2002. – Т. 32. – №. 4. – С. 295–308.
- [6] litespeedtech/lsquic: LiteSpeed QUIC and HTTP/3 Library [HTML] (<https://github.com/litespeedtech/lsquic>)

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИСУТСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ WiFi-СКАНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ RSSI

Шибает Павел Павлович¹, Чупахин Андрей Андреевич²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: pshibaev@lvk.cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: andrewchup@lvk.cs.msu.ru

В данной работе рассматривается задача определения присутствия человека в комнате при помощи Wi-Fi устройства с использованием данных показателя уровня принимаемого сигнала Received Signal Strength Information (RSSI). RSSI — показатель уровня принимаемого сигнала, который измеряется в децибеллах на милливатт (dBm).

Алгоритмы WiFi-сканирования, работающие с данными RSSI, зачастую являются фильтрами, которые очищают шум, делая возможным верное обнаружение аномалий, что соответствует факту присутствия человека в комнате. Например, исследовались возможности применения фильтра Калмана [1]. Применяются и методы машинного обучения, например, метод k-средних [2].

В данной работе было проведено экспериментальное исследование. Его целью было определение перемещения человека в помещении (жилое помещение — площадь 10 м², малое количество приборов и препятствий; офисное помещение — площадь 20 м², наличие препятствий в виде мебели, больше оборудования). Был подготовлен экспериментальный стенд из WiFi-устройства под управлением операционной системы OpenWRT и мобильного устройства (смартфона), подключенного к нему. В первой части эксперимента производился замер RSSI. В результате применения фильтра Колмогорова–Винера определялось базовое значение RSSI и уровня шума в покое. Во второй части эксперимента человек сначала ходил по помещению (первые 50 с), а в конце удалялся из помещения (последние 150 с).

Рассмотрены алгоритмы: фильтр Колмогорова–Винера, Gradient Boosting, Random Forest, Ada Boost. Фильтр Колмогорова–Винера удаляет шум из экспериментальных данных, которые соответствуют всему ходу эксперимента. Для определения аномалий используется фильтр Хампеля [3] с последующим сглаживанием медианным фильтром. В случае алгоритмов машинного обучения для обучения используются данные, полученные в жилом помещении, а для оценки качества и обобщающей способности — в офисе. Данные о точности рассмотренных алгоритмов представлены на Табл. 1. Всего в датасете 200 точек, из них 50 соответствуют присутствию человека в помещении, 150 — отсутствию.

Алгоритм	Точность	True Positive	False Positive
Gradient Boosting	0.995	0.75	0
Random Forest	0.995	0.75	0
Ada Boost	0.995	0.75	0
Фильтр Винера	0.9875	0.725	0.025

Табл. 1: Точность использованных алгоритмов.

Таким образом, алгоритмы машинного обучения точнее алгоритма, основанного на фильтре Колмогорова–Винера, который, кроме этого, требует определения уровня шума в помещении. Алгоритмы машинного обучения специальной настройки под уровень шума не требуют. Результаты и алгоритмы находятся в открытом доступе [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Wang H., Zhang F., Zhang W. Human Detection through RSSI Processing with Packet Dropout in Wireless Sensor Network // Journal of Sensors. 2020. Vol. 1(9). doi: 10.1155/2020/4758103
- [2] Yuan Y., Zhao J., Qiu C., Xi W. Estimating Crowd Density in an RF-Based Dynamic Environment // IEEE Sensors Journal. 2013. Vol. 13(10). P. 3837-3845. doi: 10.1109/JSEN.2013.2259692.

- [3] Hampel F. R. The influence curve and its role in robust estimation // J. Am. Stat. Assoc. 1974. Vol. 69(346). P. 383–393.
- [4] Репозиторий с исходными кодами эксперимента: <https://github.com/shibaeff/RSSISensing>

ОБ ОБОБЩЁННОМ ГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИИ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА МОБИЛЬНОГО ТРАФИКА

Горбунов Сергей Алексеевич¹, Горшенин Андрей Константинович²

¹ ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, кафедра математической статистики, e-mail: s.gorbunov.smc@gmail.com

² ФИЦ ИУ РАН; ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, кафедра математической статистики, e-mail: agorshenin@frccsc.ru

Интернет-трафик является приоритетным способом обмена данными для большинства пользователей мобильных устройств. Исследование структуры статистических параметров трафика позволяет спрогнозировать нагрузку на цифровую сеть.

В качестве модели обслуживания трафика мобильного оператора рассматривается сота, в зоне действия которой находятся подвижные устройства. Данные содержат более 44 млн наблюдений. Каждое устройство имеет свой номер мобильного абонента цифровой сети с интеграцией служб MSISDN. Величины объёмов переданного и загруженного трафика имеют метки одного из 16 типов приложений, инициирующих обмен данными. Каждый час по каждому активному устройству суммируется отправленный и полученный трафик в битах.

Было установлено, что выборки объёма отправленного и полученного трафика за различные временные промежутки, а также по различным типам приложений, имеют обобщённое гамма-распределение.

На рисунке 1 приведен пример гистограммы загруженного трафика типа Web Applications с 3 до 4 часов для всех дней в анализируемой выборке и соответствующее подогнутое гамма-распределение. Аналогичные результаты справедливы и для агрегированных данных с четырёхчасовым окном и без разделения трафика по приложениям. Таким образом, открывается возможность выявления аномальных наблюдений с использованием статистической процедуры, описанной в статье [1], в выборках из обобщённого гамма-распределения. Дальнейшие исследования также ориентированы на решение задач прогнозирования с использованием различных нейронных сетей [2,3] в целях тонкой настройки объёмов выделяемых ресурсов при сегментации мобильной сети.

Исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект».

Web Applications DOWNLOAD 03:00:00

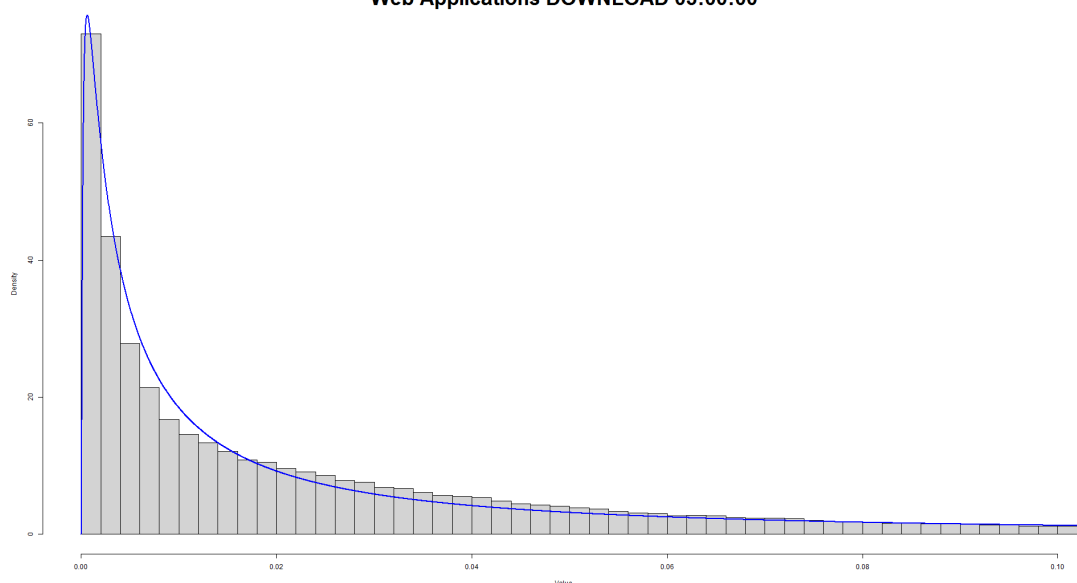


Рис. 1: Распределение объёма трафика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Korolev V. Yu., Gorshenin A. K. Probability models and statistical tests for extreme precipitation based on generalized negative binomial distributions // Mathematics. 2020. Vol. 8, Iss 4. Art. No. 604.
- [2] Sciancalepore V., Samdanis K., Costa-Perez X., Bega D., Gramaglia M., Banchs A. Mobile traffic forecasting for maximizing 5G network slicing resource utilization // IEEE INFOCOM 2017. P. 1–9.
- [3] Koochali A., Schichtel P., Dengel A., Ahmed S. Probabilistic Forecasting of Sensory Data With Generative Adversarial Networks - ForGAN // IEEE Access, 2019. Vol. 7. P. 63868–63880.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ТЕПЛА МЕЖДУ ОКЕАНОМ И АТМОСФЕРОЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕГО РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСЕЙ

Королев Виктор Юрьевич¹, Макеев Илья Сергеевич²

¹ Кафедра математической статистики, e-mail: vkorolev@smc.msk.su

² Кафедра математической статистики, e-mail: il_makeev@mail.ru

Описание базовой модели. Эволюцию потоков тепла между океаном и атмосферой традиционно описывают стохастическим дифференциальным уравнением вида

$$dX(t) = a(t)dt + b(t)dW,$$

где случайный процесс $X(t)$ — это либо явный, либо скрытый поток тепла, $W(t)$ — стандартный винеровский процесс. Коэффициенты $a(t)$ и $b(t)$ случай-

ны, причем вид их зависимости от самого процесса $X(t)$ и других факторов неизвестна [1]. При отсутствии априорной информации о «физической» структуре процесса $X(t)$ для успешного изучения и прогнозирования его эволюции первостепенную важность приобретает задача определения коэффициентов $a(t)$ и $b(t)$, то есть задача статистического оценивания этих коэффициентов. В силу случайности этих функциональных коэффициентов данная задача допускает как минимум две принципиально разные формулировки: можно попытаться найти оценки самих функций $a(t)$ и $b(t)$, т. е. найти их точечные аппроксимации или можно попытаться найти (статистически оценить) распределения случайных величин $a(t)$ и $b(t)$. В сообщении рассматривается вторая задача. Ее решение является базой для построения алгоритма прогнозирования процесса $X(t)$.

Расширение признакового пространства. СРС-метод [2] дает возможность получить дополнительные характеристики исходного временного ряда — динамически изменяющиеся параметры смеси, которые в дальнейшем можно использовать как дополнительные признаки при применении с этой целью алгоритмов машинного обучения для увеличения точности прогноза.

Полученные результаты. Приводятся результаты применения реализованного метода на океанологических данных, в частности, температур скрытых потоков Атлантического океана в регионах Лабрадор, Тропики и Гольфстрим. При сравнении с аналогичными результатами классических методов прогнозирования временных рядов, в числе которых использовались ARIMA-модели, а также модели, построенные на основе нейросетей (Forecast), реализованный метод обогащения признакового пространства за счет параметров модели дает увеличение точности до 30%. Обсуждается оптимальный выбор порядка авторегрессии, параметры которой добавляются к прогнозируемому временному ряду. Так, добавление параметров авторегрессии дает увеличение точности почти в два раза по сравнению с точностью прогнозов, основанных на чистом СРС-методе. Было показано, что увеличение точности происходит именно из-за добавления параметров компонент смеси и параметров авторегрессий, а не из-за увеличения размерности прогнозируемого ряда. Для доказательства этого факта были проанализированы прогнозы, полученные путем прогнозирования многомерного ряда, состоящего как из зашумленных временных рядов исходного ряда, так и из лагов разных порядков исходного ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] An optimal data assimilation method and its application to the numerical simulation of the ocean dynamics / K. Belyaev, A. Kuleshov, N. Tuchkova, C. A. S. Tanajura // Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems 2017. P. 1-14. DOI: 10.1080/13873954.2017.1338300

- [2] Королев В. Ю. Вероятностно-статистические методы декомпозиции волатильности хаотических процессов. – Москва: Изд-во Московского университета, 2011.

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ДИГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Кудрявцев Алексей Андреевич, Шестаков Олег Владимирович

Кафедра математической статистики, e-mail: aakudryavtsev@cs.msu.ru, oshestakov@cs.msu.ru

Обобщенное гамма-распределение и обобщенное бета-распределение второго рода представляют собой довольно широкие классы, играющие важную роль в прикладной теории вероятностей и математической статистике.

Обобщенное гамма-распределение, предложенное итальянским экономистом Л. Аморозо, доказало свою состоятельность во многих прикладных задачах, использующих для моделирования непрерывные распределения с неограниченным неотрицательным носителем. Гамма-класс распределений включает гамма-распределение; экспоненциальное распределение; χ^2 -распределение; распределение Эрланга; полунормальное распределение, или распределение максимума процесса броуновского движения; распределение Рэлея; распределение Максвелла—Больцмана; χ -распределение; m -распределение Накагами; распределение Вильсона—Хильферти; распределение Вейбулла—Гнеденко и многие другие, включая масштабированные и обратные аналоги перечисленных.

В качестве обобщения известных распределений бета-типа американский исследователь Дж. Б. Макдональд предложил рассматривать обобщенное бета-распределение второго рода, включающее в качестве частных случаев распределение Барра, или распределение Сингх—Маддала; распределение Дагума; распределение Пирсона; распределение Парето; распределение Ломакса; F-распределение Фишера—Снедекора и др.

В докладе рассматривается новый вид распределения, обобщающий перечисленные популярные распределения.

Определение. Будем говорить, что случайная величина ζ имеет дигамма-распределение $DiG(r, \nu, p, q, \delta)$ с характеристическим показателем $r \in \mathbb{R}$ и параметрами формы $\nu \neq 0$, концентрации $p, q > 0$ и масштаба $\delta > 0$, если ее преобразование Меллина задается соотношением

$$\mathcal{M}_{\zeta}(z) = \frac{\delta^z \Gamma(p + z/\nu) \Gamma(q - rz/\nu)}{\Gamma(p)\Gamma(q)}, \quad p + \frac{\operatorname{Re}(z)}{\nu} > 0, \quad q - \frac{r\operatorname{Re}(z)}{\nu} > 0.$$

Также в докладе приводятся основные вероятностные характеристики дигамма-распределения (плотность, моменты, кумулянты); обсуждается вопрос статистического оценивания его параметров; рассматриваются некоторые асимптотические свойства данного распределения.

Исследования проводились при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-07-00655); а также в рамках программы Московского центра фундаментальной и прикладной математики.

О СТАТИСТИЧЕСКОМ ОЦЕНИВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОТОКОВ ТЕПЛА МЕЖДУ ОКЕАНОМ И АТМОСФЕРОЙ

Осипова Анастасия Андреевна, Горшенин Андрей Константинович

ФИЦ ИУ РАН; ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, кафедра математической статистики, e-mail:
osipova.anastasiya.2020@gmail.com, agorshenin@frccsc.ru

Изучение климатических изменений является важной современной задачей, для которой востребовано создание математических моделей для описания природных процессов, оказывающих влияние на климат в целом.

В данной работе используется модель потоков тепла между океаном и атмосферой на основе стохастического дифференциального уравнения (СДУ) Ланжевена [1–3]:

$$dX(t) = a(t, X)dt + b(t, X)dW(t),$$

где X – значения потока, $a(t, X)$ и $b(t, X)$ – случайные коэффициенты сноса и диффузии. Статистический анализ проводится с использованием шестичасовых данных реанализа базы ERA-5 явного (sensible) и скрытого (latent) потоков тепла в Северной Атлантике на географической сетке размера 161×181 за период с января 1979 года по сентябрь 2021 года, предварительно усредненные по дням.

Точечные оценки коэффициентов СДУ Ланжевена в каждой географической точке сетки в каждый момент времени t имеют вид:

$$a_i(t, x_1, x_2)dt = \int_{-\infty}^{\infty} (y_i - x_i)dP(y_1, y_2/x_1, x_2),$$

$$b_{ij}^2(t, x_1, x_2)dt = \int_{-\infty}^{\infty} (y_i - x_i)(y_j - x_j)dP(y_1, y_2/x_1, x_2) - a(t, x_1, x_2)a^T(t, x_1, x_2)dt,$$

где $x_1 = x_1(t)$ и $x_2 = x_2(t)$ – значения явного и скрытого потока соответственно в момент времени t , $A = (a_1, a_2)$ – двумерный вектор, а $B = (b_{ij})$ – матрица 2×2 , где индексы $i = 1, 2$ соответствуют значениям явного или скрытого потока в моменты времени $t - 1$ и t .

Пример визуализации полученных оценок для коэффициента a для потоков в Северной Атлантике представлен на рисунке 1, причем их величина отображается на картах с использованием шкалы, расположенной справа от каждого из графиков. Также получены корреляции указанных коэффициентов в скользящем окне длиной в 7 дней и отношения $\frac{\|A\|}{\|B\|}$, $\frac{|a_1|}{|b_{11}|}$ и $\frac{|a_2|}{|b_{22}|}$.

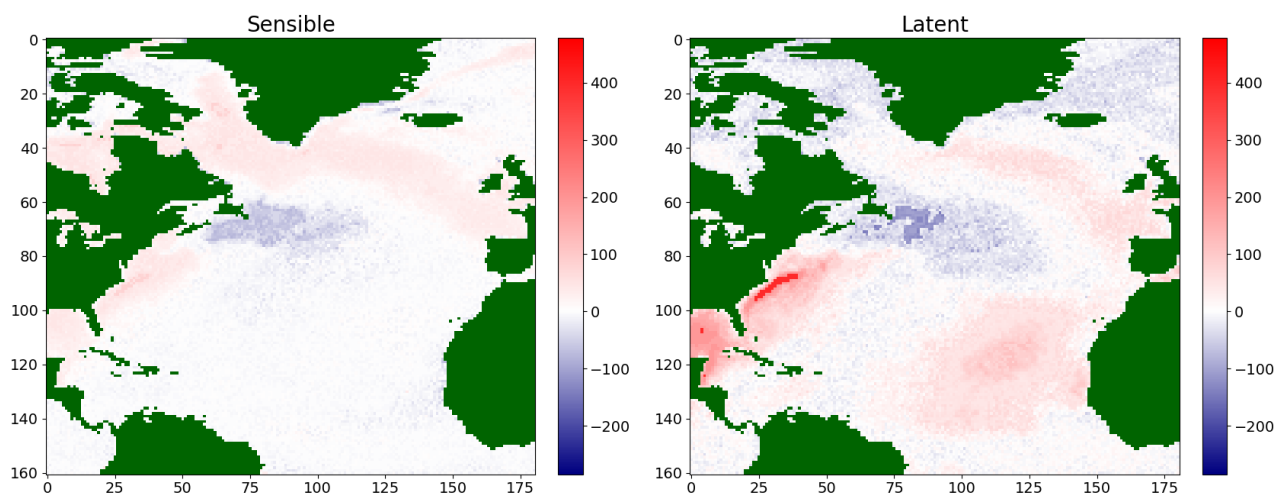


Рис. 1: Примеры оценок коэффициента диффузии для потоков

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Belyaev K. P., Tanajura C. A. S., O'Brien J. J. A data assimilation method used with an ocean circulation model and its application to the tropical Atlantic // *Applied Mathematical Modelling*, 2001. Vol. 25 (8). P. 655–670.
- [2] Tanajura C. A. S., Belyaev K. P. On the oceanic impact of a data assimilation method in a coupled ocean-land-atmosphere-model // *Ocean Dynamics*, 2002. Vol. 52. P. 123–132.
- [3] Беляев К. П., Королев В. Ю., Горшенин А. К. и др. Некоторые особенности внутригодовой изменчивости потоков тепла в Северной Атлантике // *Известия Российской Академии Наук. Физика атмосферы и океана*, 2021. Т. 57. Вып. 6. С. 707–720.

СВОЙСТВА ОЦЕНОК РИСКА В ЗАДАЧАХ ОБРАЩЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ FDR-МЕТОДА МНОЖЕСТВЕННОЙ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ

Палионная Софья Игоревна¹, Шестаков Олег Владимирович²

¹ Кафедра математической статистики, e-mail: palionnaya@gmail.com

² Кафедра математической статистики, e-mail: oshestakov@cs.msu.su

Задачи экономного представления больших массивов данных актуальны для различных областей знаний, таких как генетика, компьютерная графика, обработка аудио-, видеосигналов и т. д. Для решения подобного рода задач необходимо выявить значимые признаки и удалить шумовые. В современных исследованиях описаны различные методы фильтрации, основанные на разреженном представлении получаемых экспериментальных данных. Одним из них является метод множественной проверки гипотез о значимости наблюдений.

Для решения задачи множественной проверки гипотез в работе [1] была предложена мера, предполагающая контроль ожидаемой доли ложных отклонений нулевой гипотезы. Эта мера получила название FDR (false discovery rate) и стала широко применяться в случаях, когда число проверяемых гипотез настолько велико, что предпочтительнее допустить некоторое количество ошибок первого рода с целью увеличения статистической мощности. Для контроля над FDR в работе используется алгоритм множественной проверки гипотез Бенжамини—Хочберга [1].

Зачастую наблюдаемые данные представляют собой некоторое преобразование исходного сигнала [2]. В докладе рассматривается случай, когда исходный вектор данных подвергается действию линейного однородного оператора, и помимо подавления шума необходимо также решать задачу его обращения. В докладе исследуются асимптотические свойства оценки среднеквадратичного риска при решении данной задачи FDR-методом, такие как асимптотическая нормальность и сильная состоятельность. Аналогичные результаты для случая прямого наблюдения сигнала получены в работах [3], [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации программы Московского центра фундаментальной и прикладной математики по соглашению № 075-15-2019-1621).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Benjamini Y., Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing //Journal Of The Royal Statistical Society Series. 1995. Vol. 57. № 1. P. 28–300.
- [2] Кудрявцев А. А., Шестаков О. В. Асимптотика оценки риска при вейглет-вейвлет разложении наблюдаемого сигнала //T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2011. № 2. 54–57.
- [3] Палионная С. И. Сильная состоятельность оценки риска при множественной проверке гипотез с FDR-порогом //Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2020. Т. 4. С. 34–39.
- [4] Palionnaya S. I., Shestakov O. V. Asymptotic Properties of MSE Estimate for the False Discovery Rate Controlling Procedures in Multiple Hypothesis Testing //Mathematics. Vol. 8. № 11. 1913.

ДВУДИПОЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА МАГНИТОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

Пахненко Иван Петрович, Захарова Татьяна Валерьевна

Кафедра математической статистики, e-mail: vppmob@gmail.com, tvzaharova@mail.ru

Одним из самых малоизученных и сложных органов в живой природе является человеческий мозг, который очень чувствителен и требует безопасных

и безболезненных методов исследования. Мозг человека является органом центральной нервной системы. Он состоит из большого количества нейронов, объединенных особыми связями, создающими целую сеть из человеческого мозга. Взаимодействуя через эти связи, нейроны формируют электрические импульсы, управляющие деятельностью всего организма. Сверхслабые магнитные поля мозга обнаруживаются специальным устройством, называемым магнитоэнцефалографом. Технология, использующая это устройство для измерения и визуализации магнитных полей, называется магнитоэнцефалографией.

Магнитоэнцефалография может быть использована для определения функциональных областей мозга, активируемых по-разному в зависимости от эксперимента, и позволяет регистрировать слабые и сверхслабые изменения электрической активности мозга в ответ на раздражитель. Несомненным достоинством магнитоэнцефалографии является то, что это неинвазивный метод исследования зон активности головного мозга [1, 2], а точность определения таких зон может напрямую повлиять на исход лечебной операции.

Ввиду высокой сложности организации головного мозга его работа до сих пор остается недостаточно изученной областью. Одна из важнейших задач — точная локализация областей активности нейронов [3, 4]. Пока не существует универсального инструмента для достаточно точного решения такой обратной задачи. Однако в однодипольном случае обратная задача локализации решена авторами в работах [5, 6], что послужило базисом для исследования и нахождения решения в более общих моделях.

Для модели с двумя фиксированными источниками, где источники принадлежат к различным функциональным областям и имеют относительно неглубокое расположение был разработан метод локализации. В этом случае решением обратной задачи является мультидипольное приближение.

Предлагаемый алгоритм решения обратной задачи включает несколько шагов. Первый шаг включает в себя применение анализа независимых компонент к первичным сигналам магнитоэнцефалографии, на втором шаге проблема нахождения источников активности решается методами оптимизации при нахождении экстремума целевой функции.

В дальнейшем предполагается усложнить модель исследования и решить задачу с помощью суперкомпьютерных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Baillet S., Mosher J. C., Leahy R. M. Electromagnetic Brain Mapping // IEEE Signal Processing Magazine. 2001. P. 14–30.
- [2] Sarvas J. Basic mathematical and electromagnetic concepts of the biomagnetic inverse problem // Physics in Medicine and Biology. 1987. Vol. 32. P. 11–22.

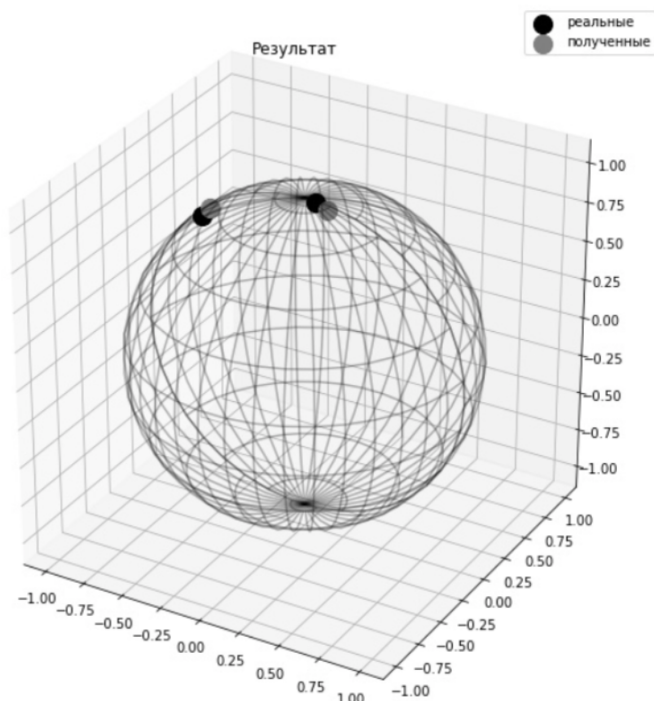


Рис. 1: Результат двудипольной локализации.

- [3] Multiple sparse priors for the MEEG inverse problem / K. Friston, L. Harrison, J. Daunizeau, S. Kiebel, C. Phillips, N. Trujillo—Barreto, R. Henson, G. Flandin, J. Mattoutf // *NeuroImage*. 2008. Vol. 39. P. 1104–1120.
- [4] Решение обратной задачи в многодипольной модели источников магнитоэнцефалограмм методом независимых компонент / В. Е. Бенинг, М. А. Драницына, Т. В., Захарова, П. И. Карпов // *Информатика и ее применения*. 2014.— Т. 8, No 2. С. 79–87.
- [5] Zakharova T. V., Karpov P. I., Bugaevskii V. M. Localization of the activity source in the inverse problem of magnetoencephalography // *Computational Mathematics and Modeling*. 2017. Vol. 28, No 2. P. 148–157.
- [6] Karpov P. I., Zakharova T. V. Magnetoencephalography inverse problem in the spheroid geometry // *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2019. Vol. 27, No 2. P. 159–169.

УЛУЧШЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИТЕРИЕВ ПУТЕМ РАНДОМИЗАЦИИ ИХ СТАТИСТИК

Пучкин Никита Андреевич¹, Ульянов Владимир Васильевич²

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт проблем передачи информации РАН, e-mail: npuchkin@hse.ru

² Кафедра математической статистики, e-mail: vulyanov@cs.msu.ru

Пусть имеются наблюдения $Y = (Y_1, \dots, Y_r)$, представляющие из себя реализацию r -мерного случайного вектора с мультиномиальным распределением

$\text{Mult}(n, \mathbf{p}_Y)$. Одной из фундаментальных задач математической статистики является проверка простой гипотезы $H_0 : \mathbf{p}_Y = \mathbf{p}$, где $\mathbf{p} = (p_1, \dots, p_r)$ — некоторый фиксированный вектор с неотрицательными компонентами, дающими в сумме 1. Предложен новый способ построения тестовой статистики, основанный на введении дополнительной рандомизации. Пусть $\boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ — случайный вектор с равномерным распределением на единичной сфере в $\mathbb{R}^n$. Представим вектор наблюдений в виде $\mathbf{Y} = \boldsymbol{\eta}_1 + \boldsymbol{\eta}_2 + \dots + \boldsymbol{\eta}_n$, где $\boldsymbol{\eta}_1, \dots, \boldsymbol{\eta}_n$ — независимые одинаково распределенные случайные векторы с распределением $\text{Mult}(1, \mathbf{p}_Y)$. Вычислим $\mathbf{X}^\theta = \sum_{1 \leq i \leq n} \theta_i (\boldsymbol{\eta}_i - \mathbf{p})$. Предложенная статистика имеет вид

$$\mathcal{T}_\phi = \frac{2n}{\phi''(1)} \sum_{j=1}^r p_j \phi \left(1 + \frac{X_j^\theta}{\sqrt{np_j}} \right).$$

где $\phi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}_+$ — выпуклая функция, удовлетворяющая условию

$$\phi(1) = \phi'(1) = 0, \quad \phi''(1) > 0.$$

Рандомизированная статистика $\mathcal{T}_\phi$ обладает лучшими асимптотическими свойствами по сравнению, например, с широко известными статистиками Пирсона [1] и Кресси-Рида [2]. В частности, доказано, что для любого $\delta \in (0, 1)$ с вероятностью не менее $(1 - \delta)$ расстояние Колмогорова между условным распределением $(\mathcal{T}_\phi | \boldsymbol{\theta})$ и $\chi^2(r - 1)$ убывает как $O((\log^4 n + \log^2(1/\delta))/n)$.

Работа Н. Пучкина выполнена при частичной финансовой поддержке конкурса «Молодая математика России».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Pearson K. On the Criterion that a Given System of Deviations from the Probable in the Case of a Correlated System of Variables Is Such That It Can Be Reasonably Supposed to Have Arisen from Random Sampling // The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 1900. Vol. 50, pp. 157–175.
- [2] Cressie N., Read T. Multinomial Goodness-of-Fit Tests // Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological). 1984. Vol. 46, pp. 440–464.

ИЗУЧЕНИЕ МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА С ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИЕЙ КОББА-ДУГЛАСА С УБЫВАЮЩЕЙ ОТДАЧЕЙ

Аввакумов Сергей Николаевич¹, Киселёв Юрий Николаевич², Орлов Михаил Владимирович³, Орлов Сергей Михайлович⁴

¹ Кафедра оптимального управления, e-mail: asn@cs.msu.su

² Кафедра оптимального управления, e-mail: kiselev@cs.msu.su

³ Кафедра оптимального управления, e-mail: orlov@cs.msu.su

⁴ Кафедра оптимального управления, e-mail: sergey.orlov@cs.msu.su

В докладе рассматривается двумерная модель экономического роста с производственной функцией Кобба–Дугласа с одинаковыми коэффициентами амортизации. Критерий качества, задаваемый в интегральном виде, характеризует интегральный объём потребления либо его полезность с учётом дисконтирования на бесконечном горизонте планирования. Изучается случай функции Кобба–Дугласа с убывающей отдачей, то есть когда сумма коэффициентов эластичности меньше единицы. В модели получен аналитический вид особого решения, вдоль которого экстремальное решение развивается во времени. Это биссектриса первого квадранта. Интересно отметить что вид особого луча не изменился в сравнении со случаем постоянной отдачи от масштаба. Основным аппаратом исследования является принцип максимума Понтрягина. С его помощью находятся экстремальные решения. Обоснование оптимальности полученных решений проводится с помощью теоремы о достаточных условиях в терминах конструкций принципа максимума, разработанной Ю.Н. Киселёвым.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Московского Центра фундаментальной и прикладной математики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М. : Наука, 1961.
- [2] Киселёв Ю. Н. Достаточные условия оптимальности в терминах конструкций принципа максимума Понтрягина // Материалы научного семинара «Математические модели в экономике и биологии». М. : МАКС Пресс, 2003. С. 57–67.
- [3] Ашманов С. А. Математические модели в экономике. М. : Изд-во МГУ, 1980.
- [4] Аввакумов С. Н., Киселёв Ю. Н., Орлов М. В., Тарасьев А. М. Задача максимизации прибыли для производственных функций Кобба–Дугласа // Нелинейная динамика и управление. Выпуск 5. М. : Физматлит. 2007. С. 309–350.

- [5] Киселёв Ю. Н., Орлов М. В., Орлов С. М. Исследование одной двухсекторной модели экономического роста с производственной функцией Кобба-Дугласа // Вестник Московского Университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2010. № 2. С. 56–63.
- [6] Киселёв Ю. Н., Аввакумов С. Н., Орлов М. В. Задача распределения ресурсов в двухсекторной экономической модели с производственной функцией типа CES // Труды международной конференции «Динамика систем и процессы управления», посвящённой 90-летию со дня рождения академика Н. Н. Красовского. УМЦ УПИ Екатеринбург. 2015. С. 220–227.

ДВУХЭТАПНЫЙ ГРАДИЕНТНЫЙ МЕТОД В ЗАДАЧЕ КВАДРАТИЧНОЙ МИНИМИЗАЦИИ С НЕРАВНОМЕРНО ВОЗМУЩЁННЫМ ОПЕРАТОРОМ

Артемяева Людмила Анатольевна¹, Дряженков Андрей Александрович²,
Потапов Михаил Михайлович³, Сирунян Ваагн Телемакович⁴

¹ Кафедра оптимального управления, e-mail: artemieva.luda@gmail.com

² Кафедра оптимального управления, e-mail: andrja@yandex.ru

³ Кафедра оптимального управления, e-mail: mmpotapovrus@gmail.com

⁴ Кафедра оптимального управления, e-mail: vahagnsirunyan@gmail.com

Рассматривается задача квадратичной минимизации без ограничений:

$$\|Au - f\|_F^2 \rightarrow \min_{u \in H}.$$

Здесь H и F — гильбертовы пространства, $A \in \mathcal{L}(H \rightarrow F)$ — линейный ограниченный оператор, $f \in F$ — заданный элемент. Требуется найти нормальное решение u_* :

$$u_* = \arg \min_{u \in U_*} \|u\|_H^2, \quad U_* = \text{Arg} \min_{u \in H} \|Au - f\|_F^2.$$

Предполагается, что вместо точных данных A, f известны некоторые их приближения $A_n \in \mathcal{L}(H \rightarrow F)$, $f_n \in F$, и по ним требуется построить соответствующую последовательность элементов $u_n \in H$, сильно сходящуюся в пространстве H к нормальному решению u_* . Задача решается в тех же неклассических информационных условиях, что и в [1], при которых уровни погрешностей в операторе известны не в исходных пространствах H и F , а в ослабленных нормах пространств линейных непрерывных отображений из H^- в F и из H в F^+ , где H^- и F^+ — вспомогательные пространства, связанные с H и F непрерывными и всюду плотными вложениями $H^- \subset H$ и $F \subset F^+$.

Для численного решения данной задачи предлагается двухэтапная регуляризованная по Тихонову процедура градиентного типа, подобная [1] и отличающаяся от [1] отказом от применения на её втором этапе метода штрафов. Доказана сходимость $\|u_n - u_*\|_H \rightarrow 0$ приближённых решений u_n , генерируемых

предложенным методом, к искомому нормальному решению u_* . Приведены соответствующие численные иллюстрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Артемьева Л.А., Дряженков А.А., Потапов М.М. Устойчивое решение задачи квадратичной минимизации с неравномерно возмущённым оператором регуляризованным градиентным методом // ЖВМ и МФ. 2022. Т. 62. № 1. С. 12 – 22.

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ В ПОЛЕ ДВУХ ПРИТЯГИВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ

Горьков Валерий Павлович¹, Григоренко Николай Леонтьевич²

¹ Лаборатория обратных задач, кафедра математической физики, e-mail: v-p-gorkov@yandex.ru

² Кафедра оптимального управления, e-mail: grigor@cs.msu.ru

Рассматривается ограниченная задача трех тел [1]. Гравитационным притяжением обладают два тела 1 и 2. Масса третьего тела пренебрежительно мала по сравнению с массами тел 1 и 2. Считается, что гравитационный центр 1 неподвижен и, следовательно, связанная с ним система координат инерциальная, а центр 2 вращается вокруг центра 1, в некоторой плоскости, с постоянной угловой скоростью ω на постоянном удалении r_0 . Движение тела 3, обладающего двигателями, происходит в той же плоскости и подвержено гравитационному воздействию тел 1 и 2. В рассматриваемой плоскости задана целевая кеплерова орбита с фокусом в теле 1 и фиксированными параметрами. Рассматривается задача перевода на целевую орбиту управляемого тела 3 из заданного начального положения. Приведен класс позиционных управлений радиальной и трансверсальной тягой двигательной системы зависящий от параметров, который решает задачу управляемости на заданную кеплеровскую орбиту. Приведена оценка времени прихода тела в заданную окрестность целевой орбиты. Позиционные управления получены в аналитической форме [2],[3]. Приведены результаты расчетов позиционного управления и траекторий движения для различных тестовых параметров процесса и вариантов целевых траекторий КА. Найденные управляющие функции позволяют оценить показатель расхода топлива, необходимого для движения по целевой орбите с требуемыми параметрами. Кроме того учитываются заданные параметры движения второго притягивающего тела, начальные условия задачи и желательное время перелета на целевую орбиту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гродзовский Г.Л., Иванов Ю.Н., Токарев В.В. Механика космического полета: Проблемы оптимизации. — М.: Наука, 1975. 702 с.
- [2] Колесников А.А. Новые нелинейные методы управления полетом. Физматлит. 2013. 196 с.

- [3] Горьков В.П. Лукьянова Л.Н. Шатков С.А. Позиционное управление движением космического аппарата с гибридной двигательной системой. 2021, Прикладная математика и информатика. Труды факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова; N 66, стр.80-88.

ТЕОРЕМА ДУБОВИЦКОГО—МИЛЮТИНА О ПОЧТИ ОТДЕЛИМОСТИ ВЫПУКЛЫХ КОНУСОВ В СОПРЯЖЕННЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

Дмитрук Андрей Венедиктович¹, Осмоловский Николай Павлович²

¹ Кафедра оптимального управления, e-mail: optcon@mail.ru

² Институт системных исследований ПАН, Варшава, e-mail: nikolai.osmolovskii@ibspan.waw.pl

Пусть в банаховом пространстве X заданы непустые выпуклые конусы $\Omega_0, \Omega_1, \dots, \Omega_m$, из которых m последних открыты. Известная теорема А.Я. Дубовицкого и А.А. Милютина [1] утверждает, что если эти конусы не пересекаются, то найдутся элементы $z_0, z_1, \dots, z_m$ из пространства X^* , не все равные нулю, такие что каждый $z_i \in \Omega_i^*$, и их сумма равна нулю:

$$z_0 + z_1 + \dots + z_m = 0. \quad (1)$$

Эта теорема фактически эквивалентна классической теореме Хана–Банаха об отделимости выпуклых множеств. Равенство (1) называется уравнением Эйлера–Лагранжа; оно играет ключевую роль в получении необходимых условий оптимальности в различных классах задач оптимизации. Однако это равенство становится малоэффективным, если пространство X^* “плохое”, т.е. не имеет описания в терминах стандартных функций. Например, если $X = L_\infty$, то сопряженное к нему пространство $X^* = L_\infty^*$, как известно, гораздо шире, чем L_1 и имеет сложную структуру. Именно этим объясняется трудность получения условий оптимальности в задачах управления со смешанными ограничениями равенства $g(t, x(t), u(t)) = 0$ и неравенства $\varphi(t, x(t), u(t)) \leq 0$. Поскольку управление $u(t)$ есть элемент пространства L_∞ , то левые части указанных ограничений также принадлежат этому пространству, и тогда множители Лагранжа, обеспечивающие равенство (1), суть элементы из L_∞^* .

В случае, когда данные ограничения в некотором смысле *регулярны* (мы не даем здесь точного определения), можно считать, что все z_i суть элементы пространства L_1 и получить содержательные условия оптимальности. Однако для нерегулярных ограничений это не так: пространством L_1 обойтись нельзя. Для преодоления этого препятствия А.Я. Дубовицкий и А.А. Милютин предложили следующий подход.

Предположим, что пространство X само есть сопряженное к некоторому нормированному пространству Y , т.е. $X = Y^*$, и пусть в пространстве Y имеются конусы $H_0, H_1, \dots, H_m$ такие, что $H_i^* = \bar{\Omega}_i$ для всех $i = 0, 1, \dots, m$.

(Будем называть их *предсопряженными* к конусам Ω_i). Напомним, что конусы Ω_i при $i > 0$ открыты. Пусть заданы также некоторые элементы $x_i^0 \in \Omega_i$ для $i = 1, \dots, m$. Тогда справедлива следующая теорема о приближенной (или почти) отделимости.

Теорема 1. $\Omega_0 \cap \Omega_1 \cap \dots \cap \Omega_m = \emptyset \iff \forall \varepsilon > 0$ найдутся $h_i \in H_i$, $i = 0, 1, \dots, m$, такие что

$$\sum_{i=1}^m \langle x_i^0, h_i \rangle = 1 \quad \text{и} \quad \|h_0 + \sum_{i=1}^m h_i\| < \varepsilon. \quad (2)$$

Первое из этих соотношений есть условие нормировки, а второе – приближенный аналог уравнения Эйлера–Лагранжа, в котором теперь участвуют элементы не сопряженных, а предсопряженных конусов. Отметим, что конус Ω_0 не участвует в первом условии, но участвует во втором.

Эта теорема использовалась авторами для вывода принципа максимума в задачах с нерегулярными смешанными ограничениями (см. книгу [2] и приведенную там литературу). Она также использовалась в [3] для вывода условий стационарности (т.н. локального принципа максимума) в этих задачах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дубовицкий А.Я., Милютин А.А. Задачи на экстремум при наличии ограничений // ЖВМ и МФ, 1965, Т. 5, № 3, с. 395–453.
- [2] Милютин А.А. Принцип максимума в общей задаче оптимального управления. Москва, Физматлит, 2001, 304 с.
- [3] Dmitruk A.V., Osmolovskii N.P. Local minimum principle for an optimal control problem with a nonregular mixed constraint // SIAM J. on Control and Optimization (to appear).

ПРИНЦИП СЭВИДЖА И УЧЕТ ИСХОДА В ОДНОКРИТЕРИАЛЬНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧЕ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Жуковский Владислав Иосифович¹, Жуковская Лидия Владиславовна²,
Смирнова Лидия Викторовна³, Мухина Юлия Сергеевна⁴**

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет ВМК, кафедра оптимального управления, e-mail: zhkvlad@yandex.ru

² Центральный экономико-математический институт РАН, e-mail: zhukovskaylv@mail.ru

³ Государственный гуманитарно-технологический университет, кафедра информатики, e-mail: smirnovvalidiya@rambler.ru

⁴ МГУ им. М.В. Ломоносова, механико-математический факультет, кафедра высшей алгебры, e-mail: js.mukhina@mail.ru

Рассматривается однокритериальная нелинейная задача при интервальной неопределенности

$$\Gamma_1 = \langle X, Y, f(x, y) \rangle,$$

где стратегии ЛПР $x \in X$, интервальные неопределенности $y \in Y$, скалярная целевая функция $f(x, y)$ определена на $X \times Y$. Общеизвестна задача принятия решения ЛПР в Γ_1 .

Гарантированные решения по Вальду:

$$(x^g, f^g) \in X \times \mathbb{R} : f^g = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} f(x, y) = \min_{y \in Y} \max_{x \in X} f(x, y),$$

ибо при $\forall y \in Y$ гарантия $f^g \leq f(x^g, y) \forall y \in Y$.

Принцип минимаксного риска:

$$(x^r, R_f^r) \in X \times \mathbb{R} : R_f^r = \max_{y \in Y} R_f(x^r, y) = \min_{x \in X} \max_{y \in Y} R_f(x, y),$$

где функция риска (по Нихансу-Сэвиджу)

$$R_f(x, y) = \max_{z \in X} f(z, y) - f(x, y) \geq 0.$$

Здесь гарантия риска $R_f[x] \leq \max_{y \in Y} R_f(x, y) \forall y \in Y$.

Поставим Γ_1 в соответствие двухкритериальную задачу

$$\Gamma_2 = \langle X, \{f[x] = \min_{y \in Y} f(x, y), R_f[x] = \max_{y \in Y} R_f(x, y)\} \rangle.$$

Определение. Тройка $(x^P, f^P, R_f^P) \in X \times \mathbb{R}^2$ называется максимальной по Парето (МП) в Γ_2 , если при $\forall x \in X$ несовместна система неравенств $f^P \geq f[x], R_f^P \leq R_f[x]$, из которых хотя бы одно строгое $(f^P = f[x^P], R_f^P = R_f[x^P])$.

Утверждение. Если $X \in \text{сотр } \mathbb{R}^n$, $Y \in \text{сотр } \mathbb{R}^m$ и $f(x, y)$ непрерывна на $X \times Y$, то МП существует.

Утверждение. Пусть в Γ множества $X = Y = \mathbb{R}^n$, функция $f(x, y) = x'Ax + 2x'Bu + y'Cy + 2a'x + 2c'y + d$, постоянные $n \times n$ -матрицы A и $-C$ определено положительно, $\det B \neq 0$, n -вектора a и c постоянны (штрих сверху означает операцию транспонирования). Тогда

$$\begin{aligned} x^P &= -[A - B'C^{-1}B]^{-1}(a - BC^{-1}c), \\ f[x^P] &= (a' - c'C^{-1}B')(A - BC^{-1}B')^{-1}(a - BC^{-1}c), \\ R[x^P] &= 0. \end{aligned}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Wald A. Statistical decision functions. N.Y. : Wiley, 1950.

- [2] Savage L. J. The theory of statistical decision // Journal of the American Statistical Association. 1951. Vol. 46, № 253. P. 55–67.
- [3] Niehans J. Zur preisbildung bei ungewissen erwartungen // Swiss journal of economics and statistics. 1948. Vol. 84, № 5. P. 433–456.
- [4] Zhukovskii V. I., Salukvadze M. E. The vector-valued maximin. N.Y. : Academic Press, 1994.

О ЗАДАЧАХ МИНИМАКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Никольский Михаил Сергеевич

Математический ин-т им. В.А.Стеклова РАН, кафедра оптимального управления ф-та ВМК МГУ, e-mail: mni@mi-ras.ru

В теории игр и в теории исследования операций нередко возникает операция вычисления минимакса для функций и функционалов. Сам минимакс в теории исследования операций при наличии двух или более оперирующих субъектов часто выступает, как наименьший гарантированный результат для данного субъекта.

В докладе рассматриваются динамические конфликтно управляемые объекты с двумя управляющими субъектами, где первый распоряжается управлением $u(t)$, а второй – управлением $v(t)$. Задано начальное условие для рассматриваемого объекта. Фиксирован функционал качества, определенный на траекториях управляемого объекта, а также заданы классы U , V управлений управляющих сторон. Считается, что первый субъект стремится к минимизации функционала, причем управление $v(t)$ ему не известно. При таких условиях для первого игрока в качестве наилучшего гарантированного результата выступает минимакс функционала.

В работах [1,2] обосновывается корректность определения соответствующего минимакса для некоторых конфликтно управляемых объектов весьма общего вида. Отметим, что такого рода результаты являются естественными аналогами теорем существования оптимального управления из теории оптимального управления.

Также в этих работах был исследован вопрос о зависимости исследуемого минимакса от начального условия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Никольский М.С. Об одной задаче минимизации разброса траекторий управляемого объекта // Вестник Моск. ун-та. Серия 15. Вычисл. матем. и киберн. 2021. №3. С. 26 – 30.
- [2] Никольский М.С. Исследование одной минимаксной модели управления // Вестник Моск. ун-та. Серия 15. Вычисл. матем. и киберн. 2022. № 1. С. 13 – 19.

УПРАВЛЕНИЕ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ

Орлов Сергей Михайлович

Кафедра оптимального управления, e-mail: sergey.orlov@cs.msu.ru

В докладе рассматривается математическая модель экономической интеграции, являющаяся модификацией модели Солоу [1], записанной для нескольких экономических регионов. Между регионами происходит миграция рабочей силы в сторону того региона, где зарплата выше, с некоторой заданной эластичностью. Также происходит отток капитала в тот регион, где ставка процента выше, с заданной эластичностью. Управлениями в модели являются указанные эластичности для каждого региона.

Проводится сравнение режима автаркии, когда невозможна миграция и потоки капитала между регионами, и режима экономической интеграции, когда эластичности ненулевые. Для простоты рассматривается случай двух регионов, а именно модель откалибрована для случая, когда первый регион — развитые страны, а второй — все остальные (развивающиеся) страны. Ставятся следующие вопросы исследования:

- Будет ли выгоден режим экономической интеграции по сравнению с режимом автаркии для развитых стран?
- Уменьшится ли степень экономического неравенства при режиме экономической интеграции?
- Как отразится интеграция на общем социальном благосостоянии?
- Будет ли сходимость основных экономических показателей в режиме экономической интеграции на бесконечном горизонте планирования?

При помощи численного исследования математической модели получены следующие результаты при данных параметрах откалиброванной модели:

- Режим экономической интеграции не выгоден развитым странам по сравнению с режимом автаркии с точки зрения потребления.
- При режиме экономической интеграции уменьшается тем больше, чем больше открыты границы для рабочей миграции.
- Экономическая интеграция способствует увеличению общего социального благосостояния.
- На бесконечном горизонте планирования происходит частично сходимость ставок процента для развитых и развивающихся стран, зарплат и ВВП на душу населения остаются раздичными для двух регионов.

Автор выражает благодарность академику Кряжимскому А. В. и научному сотруднику Ровенской Е. А. за постановку задачи.

Работа выполнена при поддержке Московского Центра фундаментальной и прикладной математики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Solow R. M. A contribution to the theory of economic growth // Quarterly Journal of Economics. 1956. Vol. 70. Iss. 1. P. 65–94. doi:10.2307/1884513

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Самсонов Сергей Петрович

Кафедра оптимального управления, e-mail: samsonov@cs.msu.su

Рассмотрим следующую задачу оптимального управления (см. [1]). Работа посвящена рассмотрению численных методов решения линейных задач оптимального управления с терминальным и интегральным функционалами качества. Использование линейности управляемой системы позволяет построить эффективно работающие численные алгоритмы. Разработке численных методов для линейных задач оптимального управления посвящен целый ряд работ. В большинстве опубликованных работ исследуется только сходимость методов и задается какой-то критерий остановки вычислений, который обеспечивает «близость» вычисляемых величин искомым, но не гарантирует заданной точности. Обычно используемые численные алгоритмы требуют численного решения некоторых задач из теории дифференциальных уравнений, линейной алгебры и т.д. Однако вычислительные погрешности решения этих вспомогательных задач могут оказаться весьма значительными, поэтому большой интерес представляют такие численные методы, для которых удастся получить оценку точности вычислений с учетом вычислительных погрешностей. Данный доклад как раз и посвящен численным методам, решающим линейные задачи оптимального управления с интегральным функционалом качества с заданной точностью и с учетом вычислительных погрешностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Самсонов С.П. Численный метод решения линейных задач оптимального управления с заданной точностью // Проблемы динамического управления, 2009, вып. 4, стр.156–158.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МОДЕЛИ ЛЕЧЕНИЯ РАКА С ПОМОЩЬЮ СОЧЕТАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННОЙ И ОНКОЛИТИЧЕСКОЙ ВИРУСНОЙ ТЕРАПИЙ

Хайлов Евгений Николаевич

Кафедра оптимального управления, e-mail: khailov@cs.msu.su

В докладе для описания на заданном отрезке времени (периоде лечения) взаимодействия между концентрациями неинфицированных (здоровых) и инфицированных раковых клеток при проведении онколитической вирусной терапии раковой опухоли используется двумерная математическая модель, которая подобна модели хищник-жертва Лотки–Вольтерры. Эта модель содержит две ограниченные управляющие функции, одна из которых задает эффективность лекарственной терапии в блокировании вирусной инфекции, а вторая отражает эффективность уничтожения инфицированных раковых клеток. Для рассматриваемой управляемой модели ставится задача минимизации суммы концентраций неинфицированных и инфицированных раковых клеток (опухолевая нагрузка) в конечный момент времени заданного периода лечения.

В поставленной задаче минимизации обсуждается существование оптимального решения, состоящего из оптимальных управлений и отвечающего им оптимального решения управляемой модели. Далее, с помощью принципа максимума Понтрягина аналитически устанавливаются свойства этих оптимальных управлений:

- они имеют релейный вид и переключаются между соответствующими минимальными и максимальными значениями. При этом, эти управления имеют одинаковую оценку числа переключений, которая зависит от параметров задачи минимизации;
- к концу заданного периода лечения примыкает интервал, на котором оптимальные управления одновременного принимают соответствующие максимальные значения;
- переключение значений таких управлений происходит не одновременно, а в соответствии с определенным правилом.

Полученные результаты подтверждаются соответствующими численными расчетами, выполненными в среде “ВОСОР–2.0.5”, для различных значений параметров и начальных условий рассматриваемой задачи минимизации.

О ПРИНЦИПЕ СОСУЩЕСТВОВАНИЯ ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЕЙ Н.П. БРУСЕНЦОВА

Владимирова Юлия Сергеевна

Лаборатория дискретных управляющих систем и их приложений, кафедра математической кибернетики, e-mail: vladimirova@cs.msu.ru

Н. П. Брусенцов предложил [1] использовать в качестве основы компьютеризации рассуждения метод индексов Кэрролла, выражающий суждения силлогистики Аристотеля конъюнкциями суждений существования. Было установлено важнейшее условие выразимости всех имеющихся в силлогистике взаимосвязей — принцип сосуществования противоположностей [2]. Предложенный вариант развития метода индексов Кэрролла [3] позволяет оперировать посылками с произвольным количеством терминов. Доклад посвящен применению принципа сосуществования противоположностей для этих случаев, подробно ранее не рассматривавшийся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Брусенцов Н. П. Начала информатики. — М. : Новое тысячелетие, 1994. 176 с.
- [2] Брусенцов Н. П. Алгебраическая реконструкция силлогистики // Информационные технологии, 2008, №2. С. 7–10.
- [3] Владимирова Ю. С. Метод индексов Льюиса Кэрролла как основа компьютеризации рассуждения // Программные системы и инструменты № 12. Под ред. Л. Н. Королева. М. : Издательский отдел ВМиК МГУ, 2011. С. 23–26.

УСТРАНЕНИЕ ОПЕРАТОРОВ ПРОШЛОГО В СИГНАЛЬНОЙ ЛОГИКЕ

Куцак Нина Юрьевна, Подымов Владислав Васильевич

Кафедра математической кибернетики, e-mail: nina_svetik@mail.ru, valdus@yandex.ru

Языки темпоральных логик уже давно признаны удобным формализмом для рассуждений о параллельных и реагирующих системах. Обычно в логиках используют только операторы будущего времени, но операторы прошедшего времени также могут быть полезны. Добавление операторов прошлого в темпоральную логику обычно (но не всегда) не увеличивают выразительности языка [1], но даже в этих случаях иногда операторы прошлого невозможно выразить через другие операторы, и методы устранения таких операторов из языка устроены сложнее. Например, в [2] представлен технически непростой алгоритм устранения операторов прошлого из языка темпоральной логики линейного времени, а в [3] предложен более эффективный алгоритм, основанный на трансляции в автоматы над бесконечными словами и обратно.

Основная цель работы — показать возможность устранения темпоральных операторов прошлого из языка сигнальной логики [4] с сохранением выразительных возможностей.

Сигнальная логика обладает следующими особенностями: троичность, реальное время и особые операторы, предназначенные для формализации поведения схемных сигналов. В работе предложен подход устранения операторов прошлого в сигнальной логике, состоящий из следующих этапов:

1. Трансляция языка сигнальной логики реального времени (далее $\mathcal{L}^s$) в троичный вариант логики линейного времени с операторами прошлого на конечных трассах, предложенный нами в [5] (далее $\mathfrak{L}^3$).

2. Трансляция языка $\mathfrak{L}^3$ в двоичный аналог этого языка (далее $\mathfrak{L}^2$), основанная на кодировании троичного значения двумя двоичными. Эта трансляция подробно изложена в [6].

3. Применение известных результатов об устранении операторов прошлого в $\mathfrak{L}^2$ [2].

4. Обратные трансляции с сохранением выразительности языков: из $\mathfrak{L}^2$ без операторов прошлого в $\mathfrak{L}^3$ без операторов прошлого, из $\mathfrak{L}^3$ без операторов прошлого в $\mathcal{L}^s$ без операторов прошлого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Laroussinie F., Schnoebelen P. A hierarchy of temporal logics with past // Theoretical Computer Science. 1995. Vol. 148(2). P. 303–324.
- [2] Gabbay Dov M. The Declarative Past and Imperative Future: Executable Temporal Logic for Interactive Systems. In Behnam Banieqbal, Howard Barringer, and Amir Pnueli, editors // Proceedings of the 1st Conference on Temporal Logic in Specification, Springer-Verlag. 1987. Vol. 398 of Lecture Notes in Computer Science. P. 409–448.
- [3] Markey N. Temporal Logic with Past is Exponentially More Succinct // Bulletin of the EATCS. 2003. N79. P. 122–128.
- [4] Куцак Н. Ю., Подымов В. В. Формальная верификация диаграмм троичных цифровых сигналов // Моделирование и анализ информационных систем. 2019. N26(3). С. 332–350.
- [5] Куцак Н. Ю. Дискретизация сигнальной логики // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2021» / Отв. ред. И. А. Алешковский и др. М.: МАКС Пресс, 2021.
- [6] Куцак Н. Ю., Подымов В. В. Устранение операторов прошлого в троичной логике линейного времени на конечных трассах // Всероссийская конференция «Математические основы информатики и информационно-коммуникационных технологий». Сборник трудов. Тверь : ТвГУ, 2021. С. 181–189.

СИНТЕЗ АСИМПТОТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО СЛОЖНОСТИ СХЕМ В НЕКОТОРЫХ БАЗИСАХ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ЗАЩИЩЁННОСТИ ОТ РАСКРЫТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ

Ложкин Сергей Андреевич, Павлова Анастасия Фёдоровна

Кафедра математической кибернетики, e-mail: lozhkin@cs.msu.ru, nastyapavlova7@gmail.com

Продолжается (см. [1, 2]) исследование возможности построения для «типичных» и «самых сложных» функций алгебры логики (ФАЛ) таких реализующих их схем из функциональных элементов (СФЭ) в конечном полном базисе* $\mathcal{B} = \{\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_b\}$, которые имеют асимптотически оптимальную сложность и характеризуются высоким уровнем защищённости от раскрытия их функциональности путём сокрытия некоторых локальных соединений. Предложенные в [1, 2] методы синтеза СФЭ в стандартном базисе $\mathcal{B}_0 = \{x_1 \cdot x_2, x_1 \vee x_2, \bar{x}_1\}$, обладающих указанными свойствами, обобщаются на случай т. н. *несимметричного* [6] базиса $\mathcal{B}$, для которого его минимальный приведённый вес $\rho_{\mathcal{B}}$ достигается на элементах, реализующих либо только конъюнкции переменных, либо только дизъюнкции переменных, либо только линейные ФАЛ.

Напомним, что согласно [6] для построения искомой СФЭ Σ_f , которая реализует произвольную ФАЛ $f(x_1, \dots, x_n)$, используется разложение Шеннона этой ФАЛ по последним $(n - q)$ булевым переменным (БП) $x'' = (x_{q+1}, \dots, x_n)$. После этого каждая из остаточных функций $f_{\sigma''}(x') = f(x', \sigma'')$, где $x' = (x_1, \dots, x_q)$, а σ'' — произвольный набор единичного куба B^{n-q} размерности $(n - q)$, реализуется на основе представления

$$f_{\sigma''} = \psi(g_{\sigma'',1}, \dots, g_{\sigma'',p}) \quad (1)$$

с использованием функции $\psi = \psi(y_1, \dots, y_p)$, вычисляемой схемой формульного типа Ψ , состоящей из элементов базиса $\mathcal{B}$ с приведённым весом $\rho_{\mathcal{B}}$, а также построенного на основе селекторного d -компонентного разбиения $D = (Y_1, \dots, Y_d)$ множества БП $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$ этой функции и соответствующего ему d -компонентного ψ -универсального множества (УМ) ФАЛ $G = G^{(1)} \cup \dots \cup G^{(d)}$ порядка q от БП x' .

Пусть Σ_A — та подсхема схемы Σ_f , в которой реализуются функции множества G , а Σ_B — подсхема, реализующая систему всех функций $f_{\sigma''}$, $\sigma'' \in B^{n-q}$, на основе (1), используя выходы схемы Σ_A для снятия соответствующих функций $g_{\sigma'',i}$.

Заметим, что вместо любой БП y_i из компоненты Y_s разбиения D может подставляться любая ФАЛ из соответствующего ей подмножества $G^{(s)}$ множества

*Те понятия, которые здесь не определяются, могут быть найдены, например, в [3, 4, 5].

G , причём любые две различные подстановки указанного вида соответствуют реализации различных ФАЛ. Таким образом, разрывая все или часть соединений, связывающих в подсхеме Σ_B входы формул Ψ с выходами блока Σ_A мы получаем одну и ту же схему для целого ряда попарно неэквивалентных исходных схем Σ_f .

На основе описанных выше конструкций доказывается следующее утверждение.

Теорема. *Существует алгоритм, который для произвольной ФАЛ $f(x_1, \dots, x_n)$ строит реализующую её СФЭ Σ_f над несимметричным базисом B такую, что её сложность $\mathcal{L}(\Sigma_f)$, равная сумме «весов» всех элементов схемы Σ_f , удовлетворяет неравенству*

$$\mathcal{L}(\Sigma_f) \leq \rho_B \frac{2^n}{n} \left(1 + \frac{2 \log_2 n + O(1)}{n}\right).$$

При этом в схеме Σ_f можно выделить множество S , состоящее из связных непересекающихся одновыходных подсхем глубины, не превосходящей четыре, с двумя выделенными входами в каждой такое, что: 1) $|S|$ асимптотически не меньше, чем $\Omega(\frac{2^n}{n})$; 2) если q — количество таких подсхем в S , на два выделенных входа которых поступают две различные ФАЛ, то схема Σ' , полученная из СФЭ Σ_f удалением всех дуг, заходящих в выделенные входы указанных подсхем, допускает не менее 2^q попарно не эквивалентных вариантов восстановления (в рамках тех же подсхем и их выделенных входов) удалённых дуг; 3) для почти всех ФАЛ $f(x_1, \dots, x_n)$ число $q = q(n)$ при $n = 1, 2, \dots$ асимптотически равно $|S|$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Об одной модели сокрытия функциональности схем и оценках степени их защищённости при асимптотически оптимальной реализации «типичных» функций / Ложкин С. А., Павлова А. Ф., Данилов Б. Р., Шуплецов М. С. // Проблемы теоретической кибернетики. Материалы XVIII Международной конференции (Пенза, 19-23 июня 2017 г.). 2017. С. 145–147.
- [2] Lozhkin S. A., Shupletsov M. S., Danilov B. R. Synthesis of asymptotically size-optimal Boolean circuits protected from functionality inference // Mathematical Aspects of Cryptography. Vol. 8, n 2, pp. 87–96, 2017.
- [3] Лупанов О. Б. Асимптотические оценки сложности управляющих систем. М. : Изд. Изд-во Моск. ун-та, 1984. 136 с.
- [4] Ложкин С. А. Лекции по основам кибернетики. М. : Изд. отдел фак. ВМиК МГУ им. М. В. Ломоносова, 2004. 256 с.
- [5] Яблонский С. В. Введение в дискретную математику. М. : Наука, 1979. 384 с.

- [6] Ложкин С. А. Оценки высокой степени точности для сложности управляющих систем из некоторых классов // Математические вопросы кибернетики. Вып.6. – М. : Наука, 1996. С. 189–214.

ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ И ДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СХЕМ ИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА БАЗИСОВ

Ложкин Сергей Андреевич, Шуплецов Михаил Сергеевич, Пименов Никита Владимирович, Местецкий Михаил Александрович

Кафедра математической кибернетики, e-mail: lozhkin@cs.msu.ru, mikle.shupletsov@gmail.com, nikitapimenov0702@gmail.com, mixail1005001@mail.ru

Продолжается (см. [1, 2]) исследование возможности построения для «типичных» и «самых сложных» функций алгебры логики (ФАЛ) таких реализующих их схем из функциональных элементов (СФЭ) в конечном полном базисе[†] $\mathcal{B} = \{\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_b\}$, которые имеют асимптотически оптимальную сложность и линейную статическую или динамическую активность.

Под *сложностью* $L(\Sigma)$ и *размером* $\mathcal{L}(\Sigma)$ СФЭ Σ в базисе $\mathcal{B}$ будем, как обычно, понимать число и суммарный «вес» её функциональных элементов (ФЭ). Пусть Σ — произвольная СФЭ в базисе $\mathcal{B}$, имеющая n входов, которым сопоставлены булевы переменные набора $\tilde{x} = (x_1, \dots, x_n)$ и $k = L(\Sigma)$, причём на выходе ФЭ с номером i в Σ реализуется ФАЛ $\varphi_i(x)$, $i = 1, \dots, k$.

Определим для произвольных наборов $\tilde{\alpha}$ и $\tilde{\beta}$ из B^n , где $B = \{0, 1\}$, величину $S(\Sigma, \tilde{\alpha}, \tilde{\beta}) = \sum_{i=1}^k (\varphi_i(\tilde{\alpha}) \oplus \varphi_i(\tilde{\beta}))$, которую назовем *динамической активностью* СФЭ Σ на паре наборов $(\tilde{\alpha}, \tilde{\beta})$. При этом *динамической активностью* $S(\Sigma)$ СФЭ Σ назовем максимальное значение величины $S(\Sigma, \tilde{\alpha}, \tilde{\beta})$, взятое по всем парам наборов $(\tilde{\alpha}, \tilde{\beta})$ из $B^n \times B^n$.

Для функционального элемента $\mathcal{E}_i$, $i = 1, \dots, b$, базиса $\mathcal{B}$ определим его приведённый вес $\rho_i = \frac{L_i}{k_i - 1}$, где k_i — число входов $\mathcal{E}_i$, а L_i — его сложность. Тогда приведённый вес $\rho_{\mathcal{B}}$ базиса $\mathcal{B}$ определим как минимальное значение ρ_i среди всех ФЭ базиса $\mathcal{B}$.

Будем говорить, что ФАЛ f , $f \in P_2(n)$, имеет изолированный ноль (единицу), если существует такой набор $\tilde{\tau} = (\tau_1, \dots, \tau_n) \in B^n$, что $f(\tilde{\tau}) = 0$ ($f(\tilde{\tau}) = 1$) и $\forall i \in [1, n]$: $f(\tau_1, \dots, \tau_{i-1}, \bar{\tau}_i, \tau_{i+1}, \dots, \tau_n) = 1$ ($f(\tau_1, \dots, \tau_{i-1}, \bar{\tau}_i, \tau_{i+1}, \dots, \tau_n) = 0$). Соответствующий набор $\tilde{\tau}$ будем называть *изолированным нулём (единицей)* ФАЛ f .

Конечный полный базис $\mathcal{B}$ назовём *базисом специального вида*, если среди его функциональных элементов, обладающих минимальным приведённым весом $\rho_{\mathcal{B}}$, хотя бы один реализует ФАЛ, имеющую изолированный ноль, и хотя бы один реализует ФАЛ, имеющую изолированную единицу.

[†]Те понятия, которые здесь не определяются, могут быть найдены, например, в [3, 4, 5].

Теорема. Для любого базиса $\mathcal{B}$ специального вида существуют неотрицательная и стремящаяся к нулю последовательность действительных чисел $\varepsilon(1), \varepsilon(2), \dots$, и положительная константа c_1 такие, что для любого n , $n = 1, 2, \dots$, любая ФАЛ $f, f \in P_2(n)$, может быть реализована в базисе $\mathcal{B}$ некоторой СФЭ Σ_f , удовлетворяющей неравенствам

$$\mathcal{L}(\Sigma_f) \leq \rho_{\mathcal{B}}(1 + \varepsilon(n)) \frac{2^n}{n}, \quad S(\Sigma_f) \leq c_1(1 + \varepsilon(n))n.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ложкин С. А., Шуплецов М. С. О динамической активности схем из функциональных элементов и построении асимптотически оптимальных по сложности схем с линейной динамической активностью // Ученые записки Казанского университета. Серия Физико-математические науки. 2014. Т. 156, № 3. С. 84–97.
- [2] Касим-Заде О. М. Об одновременной минимизации сложности и мощности схем из функциональных элементов // Проблемы кибернетики. М. : Наука. 1978. Вып. 33. С. 215–220.
- [3] Лупанов О. Б. Асимптотические оценки сложности управляющих систем. М. : Изд. Изд-во Моск. ун-та, 1984. 136 с.
- [4] Ложкин С. А. Лекции по основам кибернетики. М. : Изд. отдел фак. ВМиК МГУ им. М. В. Ломоносова, 2004. 256 с.
- [5] Яблонский С. В. Введение в дискретную математику. М. : Наука, 1979. 384 с.

ОБЗОР МЕТОДОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГЛИАЛЬНЫХ ОПУХОЛЕЙ ПО ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКИХ ПЭТ - ИССЛЕДОВАНИЙ

Айрапетьянц Каринэ Арсеновна¹, Малоян Нарек Гагикович²

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: karine.ayrps@gmail.com

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: maloyan.narek@gmail.com

Опухоли головного мозга - это группа различных внутричерепных новообразований (доброкачественных и злокачественных), возникающих вследствие запуска процесса аномального неконтролируемого деления клеток, которые в прошлом являлись нормальными составляющими различных тканей головного мозга, или возникающих вследствие метастазирования первичной опухоли, находящейся в другом органе. На возникновение новообразований влияют различные факторы: некоторые внутренние редкие дефекты генов, внешние воздействия - ультрафиолетовые лучи или рентгеновское излучение, химические вещества, инфекции, - приводят к спонтанному появлению мутации, что

повышает риск развития онкологических заболеваний. Одной из наиболее часто встречающихся злокачественных патологий центральной нервной системы является глиальная опухоль.

Глиальная опухоль (глиома) является патологическим новообразованием, расположенным внутри мозга. Она развивается из глии – вспомогательных клеток нервной ткани. Число глиом составляет более 60% от всех опухолей центральной нервной системы. Заболевание нуждается в дифференцировке от гематомы, абсцесса, эпилепсии, прочих опухолевых процессов в центральной нервной системе, последствий инсульта. Поэтому важна ранняя диагностика заболевания, которая способствует высоким результатам лечения.

На данный момент «золотым стандартом» в диагностике объемных образований головного мозга, определении степени злокачественности, тактики лечения и прогноза заболевания является магнитно-резонансная томография (МРТ) с контрастным усилением. Однако, МРТ относится к методам, нацеленным в основном на оценку структурных изменений головного мозга и обладает невысокой точностью в выявлении микроструктурных и метаболических перестроек в опухолевой ткани, что ограничивает раннюю диагностику глиального образования, поэтому используется ПЭТ-сканирование.

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) — технология визуализации, основанная на количественной и качественной оценке биохимических процессов, происходящих в тканях *in vivo*. В ходе исследования патологические изменения фиксируются на молекулярном уровне, благодаря чему заболевания выявляются уже на начальной стадии, до появления симптоматики. Преимуществами ПЭТ-исследования являются: высокая достоверность результатов диагностики, возможность выявления опухолей на бессимптомной стадии, безболезненность и безопасность, возможность одновременного обследования разных органов.

В настоящее время все больше внимания уделяется автоматическим методам диагностики злокачественных новообразований (классификация, сегментация), разработанных на основе нейронных сетей, что в перспективе позволит ускорить процесс диагностики патологического процесса, сокращая время между проведением исследования и началом лечения, а также уменьшить нагрузку на врачей и медработников, которые смогут более эффективно проводить лечение заболевания. В работе рассматриваются различные нейросетевые методы, в основе которых используются:

- UNet-подобные модели - NormResSE-UNet3+ [1], AFTer-UNet [2];
- модели на основе трансформеров - ViT-V-Net [3], Medical-Transformer (MedT) [4];
- а также некоторые методы для реконструкции и генерации ПЭТ-изображений по МРТ/КТ изображениям [5].

Сложность работы с медицинскими данными заключается в том, что зачастую качественных наборов данных очень мало, а для разметки нужно несколько специалистов - в некоторых случаях возникают спорные моменты и требуется дополнительное мнение. Рассмотренные модели показали хорошие результаты производительности в своей области применения, с помощью них можно эффективно обрабатывать, реконструировать медицинские данные, что отражает прогресс в разработке автоматических систем медицинской диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Emmanuelle Bourigault, et al. Multimodal PET/CT Tumour Segmentation and Prediction of Progression-Free Survival using a Full-Scale UNet with Attention // 2021
- [2] Xiangyi Yan, et al. AFter-UNet: Axial Fusion Transformer UNet for Medical Image Segmentation // 2021
- [3] Junyu Chen, et al. ViT-V-Net: Vision Transformer for Unsupervised Volumetric Medical Image Registration // 2021
- [4] Jeya Maria Jose Valanarasu, et al. Patel, Medical Transformer: Gated Axial-Attention for Medical Image Segmentation // 2021
- [5] Direct PET Image Reconstruction Incorporating Deep Image Prior and a Forward Projection Model / Fumio Hashimoto, Kibo Ote // 2021

ОБ АРХИТЕКТУРЕ ПРОГРАММНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С ТРАНСПОРТНЫМИ ДАННЫМИ

Булыгин Марк Валерьевич¹, Намиот Дмитрий Евгеньевич²

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: messimm@yandex.ru

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: dnamiot@gmail.com

Умный город - это концепция управления ресурсами городской инфраструктуры с широким использованием информационных технологий и технологий Интернета вещей. Одной из самых главных составляющих умного города является современный комфортный транспорт, отвечающий потребностям жителей города.

Важным этапом при построении инфраструктуры города является анализ данных транспортных систем. В настоящее время исследователям доступны агрегированные по времени и районам отправления/прибытия данные об общих транспортных потоках и потоках метро. Также доступны индивидуальные транспортные данные, описывающие передвижения отдельных пассажиров, например, данные с валидаторов транспортных карт в метро и автобусах.

Для анализа подобных данных необходим инструмент, который позволит специалистам предметной области и аналитикам данных проводить анализ

транспортных данных в целях улучшения существующей транспортной сети и принятия решений в случаях важных социальных событий.

Мы предлагаем возможную модульную архитектуру подобного программного решения.

Первый модуль - это модуль загрузки и хранения данных. Этот модуль должен обеспечивать чтение файлов, проверку корректности полученных данных с точки зрения формата файлов и типов значений, а также осуществлять их хранение в базе данных таким образом, чтобы данные были легко доступны для других модулей.

Файлы с транспортными данными получаются в результате их сбора из источников. Для индивидуальных данных такими источниками могут быть валидаторы в метро, а для агрегированных данных - базовые станции. При их работе могут возникать сбои. Для защиты алгоритмов анализа от некорректных значений, являющихся следствиями таких сбоев необходим второй модуль, осуществляющий проверку корректности данных при помощи простых эвристик и правил с точки зрения самих значений.

После того, как данные загружены, а их корректность проверена, к ним могут применяться инструменты из модуля анализа данных. Для агрегированных данных сотовых операторов нами предложены методы детекции аномалий, соответствующих важным социальным событиям [1], кластеризации районов города [2]. Для индивидуальных данных возможно включение инструментов их агрегации, кластеризации пассажиров, остановок и станций общественного транспорта.

Результаты анализа необходимо представлять в понятной и удобной для восприятия форме. Для этого необходим модуль визуализации данных. Одной из наиболее важных форм визуализации транспортных данных является визуализация на картах. По причине большого количества транспортных потоков в городе важно предусмотреть механизмы фильтрации визуализируемых транспортных потоков, а также их настройку.

Для удобного расширения возможностей программного решения необходимо предоставить разработчикам API, позволяющий оперативно получать загруженные данные, вызывать методы их анализа и получать результаты их работы как в графической форме после применения модуля визуализации, так и в некотором текстовом представлении. Это позволит разработчикам использовать результаты работы программного решения в собственных аналитических решениях.

Предложенное программное решение позволит специалистам выявить места потенциального улучшения транспортной инфраструктуры города, а также предложить соответствующие способы этих улучшений.

Работа поддержана Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bulygin M., Namiot D. Anomaly detection method for aggregated cellular operator data //2021 28th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – IEEE, 2021. – С. 42-48.
- [2] Bulygin M., Namiot D. A New Approach to Clustering Districts and Connections Between Them Based on Cellular Operator Data //2021 29th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). – IEEE, 2021. – С. 71-80.

ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ АТАК И ЗАЩИТЫ НА ГРАФОВЫЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНС

Ильюшин Евгений Альбинович¹, Киржинов Довлет Азаматович²

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: e.ilyushin@cs.msu.ru

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: dovlet.kirzhinov@mail.ru

Исследователи уже более десяти лет [1,2] разрабатывают нейронные сети, оперирующие графовыми данными. Последние разработки расширили их возможности и демонстрируемые результаты, практическое применение которых наблюдается в таких областях, как изучение социальных сетей, обнаружение фейковых новостей, рекомендательные системы и другие [3]. С ростом актуальности графовых нейронных сетей возросла необходимость в исследованиях вопросов безопасности графовых ИНС, как и любых систем машинного обучения [4].

В работе [5] исследователи сосредоточились на атаках, которые обманывают модель ГНС путем изменения комбинаторной структуры данных, а также предлагают алгоритмы атак, основанные на обучении с подкреплением обобщенной методики атаки, требуя только результаты предсказаний от целевого классификатора.

В работе [6] рассматривают форму атак отравлением узлов графовых данных. Авторы моделируют ключевые шаги атак отравления узлов, таких как установление связей между отравленными вершинами с другими при помощи Марковских процессов принятия решений.

Исследователи [7] предложили три новые атаки, которые потенциально могут быть распространены на большие графы, встречающиеся в реальных задачах. Эксперименты показали, что устойчивость атак противника уменьшается с ростом размера графа, и, более того, защита от добавленных узлов представляется совершенно иной, чем от добавления или удаления ребер в существующей структуре графа.

Авторы [8] помимо обзора атак на графовые ИНС, также провели эмпирические исследования при помощи DeepRobust продемонстрировав, как различные методы защиты ведут себя при различных атаках, а также изменения свойств графов под воздействием обозреваемых атак.

Спектр атак на графовые архитектуры ИНС очень широк, и для каждого из методов атак требуется разработать и выявить эффективные методы защиты, а также исследовать атаки с точки зрения вычислительной сложности для их возможного применения на больших графах, используемых в практических приложениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Franco Scarselli et al. “The Graph Neural Network Model”. In: IEEE Transactions on Neural Networks 20.1 (Jan. 2009), pp. 61–80. doi: 10.1109/TNN.2008.2005605.
- [2] M. Gori, G. Monfardini, and F. Scarselli. “A new model for learning in graph domains”. In: Proceedings. 2005 IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 2005. Vol. 2. July 2005, 729–734 vol. 2. doi: 10.1109/IJCNN.2005.1555942.
- [3] Benjamin Sanchez-Lengeling et al. “A Gentle Introduction to Graph Neural Networks”. In: Distill 6.8 (Aug. 2021), 10.23915/distill.00033. doi: 10.23915/distill.00033. url: <https://distill.pub/2021/gnn-intro>.
- [4] Dan Hendrycks et al. “Unsolved Problems in ML Safety”. In: arXiv:2109.13916 [cs] (Sept. 2021). arXiv: 2109.13916. url: <http://arxiv.org/abs/2109.13916>.
- [5] Hanjun Dai et al. “Adversarial Attack on Graph Structured Data”. In: arXiv:1806.02371 [cs, stat] (June 2018). arXiv: 1806.02371. url: <http://arxiv.org/abs/1806.02371>
- [6] Yiwei Sun et al. “Adversarial Attacks on Graph Neural Networks via Node Injections: A Hierarchical Reinforcement Learning Approach”. In: Proceedings of The Web Conference 2020. Association for Computing Machinery, Apr. 2020, pp. 673–683. isbn: 9781450370233. url: <https://doi.org/10.1145/3366423.3380149>
- [7] Simon Geisler et al. “Attacking Graph Neural Networks at Scale”. In: Deep Learning for Graphs at AAAI Conference on Artificial Intelligence. Vol. 2021. 2021.
- [8] Wei Jin et al. “Adversarial Attacks and Defenses on Graphs: A Review, A Tool and Empirical Studies”. In: arXiv:2003.00653 [cs, stat] (Dec. 2020). arXiv: 2003.00653. url: <http://arxiv.org/abs/2003.00653>.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АТАК ОТРАВЛЕНИЕМ ОБУЧАЮЩИХ ДАННЫХ НА НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ

Лозинский Иван Павлович¹, Ильюшин Евгений Альбинович²

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: ivan@ya-email.ru

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: eugene.ilyushin@gmail.com

Системы нейросетевых моделей быстро увеличиваются в размерах, приобретают новые возможности и все чаще используются в условиях повышенной ответственности. Как и в случае с другими технологиями, безопасность для нейросетевых моделей должна быть одним из основных исследовательских приоритетов.

Обученные нейросетевые модели плохо поддаются интерпретации, и, в большой степени, представляют собой чёрный ящик. Это свойство делает их уязвимыми к различным отравляющим атакам, поскольку проверка корректности работы модели на всём пространстве признаков зачастую является практически невыполнимой задачей. [1]

Методы атак отравлением входных данных. В данном докладе рассмотрены методы отравления обучающих данных на примере нейросетевых моделей для классификации изображений. Однако идеи данных методов также могут быть применены для других модальностей данных и задач машинного обучения.

Классические методы атак ставят своей целью изменить набор обучающий данных таким образом, чтобы заранее выбранное изображение неверно классифицировалось в заранее выбранный класс. Примеры методов: Feature Collision, Convex Polytope. [2]

Методы атак внедрением отравляющей метки нацелены на изменение обучающего набора данных таким образом, что применение некоторого изменения к изображению приводит к изменению результата классификации этого изображения на заранее определенный. Такое изменение изображения называют меткой или триггером. Примером может быть помещение небольшого квадрата из чёрных пикселей в угол изображения. Примеры методов: Clean Label Backdoor, Hidden Trigger Backdoor. [2]

Методы атак без возможности чтения обучающих данных нацелены на ухудшение классификации заданного набора примеров с минимизацией изменений классификации для остальных данных. Пример метода: Subpopulation Attack. [3]

Методы атак на модели с обучением в реальном времени ставят своей целью придание модели определённых свойств в таких условиях, когда атакующий может обзирать только данные из прошлого и может отравлять только данные

поступающие в данный момент времени. Пример метода: Online poisoning with deep deterministic policy gradient. [4]

Обзор современных методов атак отравлением обучающих данных на нейросетевые модели показывает, что на данный момент такие атаки активно развиваются и представляют собой реальную угрозу ввиду своей эффективности в определенных конфигурациях. Например, при определённых условиях, при отравлении 1% обучающего набора данных можно достигнуть поставленной цели на более чем 90% моделей обученных на этих данных. [3]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] B. Chen и др., «Detecting Backdoor Attacks on Deep Neural Networks by Activation Clustering», arXiv:1811.03728 [cs, stat], ноя. 2018, Просмотрено: 5 ноябрь 2021 г. [Онлайн]. Доступно на: <http://arxiv.org/abs/1811.03728>
- [2] A. Schwarzschild, M. Goldblum, A. Gupta, J. P. Dickerson, и T. Goldstein, «Just How Toxic is Data Poisoning? A Unified Benchmark for Backdoor and Data Poisoning Attacks», arXiv:2006.12557 [cs, stat], июн. 2021, Просмотрено: 5 ноябрь 2021 г. [Онлайн]. Доступно на: <http://arxiv.org/abs/2006.12557>
- [3] M. Jagielski, G. Severi, N. Pousette Harger, и A. Oprea, «Subpopulation Data Poisoning Attacks», в Proceedings of the 2021 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, New York, NY, USA, ноя. 2021, сс. 3104–3122. doi: 10.1145/3460120.3485368.
- [4] X. Zhang, X. Zhu, и L. Lessard, «Online Data Poisoning Attacks», в Proceedings of the 2nd Conference on Learning for Dynamics and Control, июл. 2020, сс. 201–210. Просмотрено: 19 декабрь 2021 г. [Онлайн]. Доступно на: <https://proceedings.mlr.press/v120/zhang20b.html>

ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ЗАДАНЫМ КРИТЕРИЯМ

Мамаев Павел Вячеславович¹, Нутфуллин Булат Маратович², Ильюшин Евгений Альбинович³

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: pav.mamaew@yandex.ru

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: bulat15g@gmail.com

³ Кафедра информационной безопасности, e-mail: e.ilyushin@cs.msu.ru

Исследуется задача генерации изображений по заданным критериям с помощью моделей машинного обучения. Одна из основных проблем, возникающих при решении задач, использующих нейросетевые модели, – получение достаточного количества исходных данных для обучения и тестирования. Для обучения современных алгоритмов компьютерного зрения требуются наборы данных изображений значительного объема: десятки и сотни тысяч изображений для обучения. Набор данных должен быть сбалансирован относительно представления в нём разных классов.

Одна из ключевых архитектур моделей машинного обучения для задачи синтеза изображений является GAN. Generative adversarial networks (GAN) [1] обеспечивают способ глубокого изучения представлений без обширных аннотированных обучающих данных. Они достигают этого путем получения сигналов обратного распространения посредством конкурентного процесса, включающего пару сетей. Представления, которые могут быть изучены с помощью GAN, могут использоваться в различных приложениях, включая синтез изображений, семантическое редактирование изображений, перенос стиля, суперразрешение изображений и классификацию.

В рамках обзора рассматриваются такие модели, как Fusion GAN [2, 3], BlendGAN [4], DCGAN [5], Conditional Variational Auto-Encoder (CVAES) [6] и др. В результате исследования приведены методы генерации лиц, их переноса и наложения реалистичных эффектов на изображения, также были рассмотрены наборы данных и способы оценки качества полученных моделей. В ходе обзора была продемонстрирована вариативность постановки задачи и показано многообразие результатов, которые возможно получить с помощью использования рассмотренных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Creswell, A., White, T., Dumoulin, V., Arulkumaran, K., Sengupta, B., Bharath, A. A. (2018). Generative adversarial networks: An overview. *IEEE Signal Processing Magazine*, 35(1), 53-65.
- [2] Zhan, F., Zhu, H., Lu, S. (2019). Spatial fusion gan for image synthesis. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3653-3662).
- [3] Joo D., Kim D., Kim J. Generating a fusion image: One's identity and another's shape // *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. — 2018. — С. 1635—1643.
- [4] Liu, M., Li, Q., Qin, Z., Zhang, G., Wan, P., Zheng, W. (2021). BlendGAN: Implicitly GAN Blending for Arbitrary Stylized Face Generation. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 34.
- [5] Radford A., Metz L., Chintala S. Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks. *arXiv preprint arXiv:1511.0643* 2015.
- [6] Doersch, C. (2016). Tutorial on variational autoencoders. *arXiv preprint arXiv:1606.05908*.
- [7] Wang, L., Chen, W., Yang, W., Bi, F., Yu, F. R. (2020). A state-of-the-art review on image synthesis with generative adversarial networks. *IEEE Access*, 8, 63514-63537.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМАЛЬНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Тонких Алексей Александрович¹, Строева Екатерина Николаевна²,
Ильюшин Евгений Альбинович³

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: s02210238@gse.cs.msu.ru

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: enstroeva@cs.msu.ru

³ Кафедра информационной безопасности, e-mail: eugene.ilyushin@gmail.com

Нейронные сети используются для решения все более важных задач, и в некоторых случаях неправильные выходные данные могут привести к дорогостоящим последствиям. Традиционно проверка нейронных сетей сосредоточена на тестировании — оценке сети на большом наборе точек во входном пространстве и определении того, соответствуют ли выходы желаемым. Однако, поскольку входное пространство фактически бесконечно по мощности, невозможно проверить все возможные входные данные. Формальная проверка обеспечивает ортогональную альтернативу тестированию, которая предоставляет формальные (математические) гарантии в отношении производительности искусственной нейронной сети на всей области входных данных.

Под нейронной сетью будем понимать функцию f , которая переводит множество X в множество Y .

Постановка задачи. Рассмотреть проблему формальной верификации искусственных нейронных сетей (ИНС); исследовать существующие методы формальной верификации ИНС; изучить алгоритмы на основе исследуемых методов; провести сравнительный анализ изученных алгоритмов.

Определение. *Свойство нейронной сети — это утверждение, что если для любого входного значения x из заданной области X выход нейронной сети y будет принадлежать заданной области Y :*

$$\forall x \in X \quad \exists y = f(x) : \quad y \in Y$$

Определение. *Контрпример — это отрицание свойства:*

$$\exists x \in X \quad \forall y = f(x) : \quad y \notin Y$$

Определение. *Алгоритм верификации нейронной сети — функция, принимающая на вход свойство нейронной сети и результатом которой является утверждение, выполняется заданное свойство или нет.*

Определение. *Формальная верификация свойства нейронной сети — процесс выполнения алгоритма, результатом которого является подтверждение свойства или нахождение контрпримера.*

Определение. *Формальная верификация нейронной сети — верификация всех выбранных свойств нейронной сети.*

Методы. Использование формальной верификации для аппаратного и программного обеспечения существует давно. Тем не менее, исследования по верификации нейронных сетей, активно велись всего лишь последние 10 лет. Существует 4 основных способа верификации: решение SAT/SMT, линейное программирование, доказательство теорем и неполная проверка. На основе выбранных методов были разработаны алгоритмы верификации. В данной работе исследуются и сравниваются следующие алгоритмы: ReluPlex, ReluVal, AI2, Neurify, NSVerify, ConvDual.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Robust Machine Learning Systems Challenges, Current Trends, Perspectives, and the Road Ahead / M. Shafique, M. Naseer, T. Theodoridis, C. Kyrkou, O. Mutlu, L. Orosa, J. Choi
- [2] Algorithms for Verifying Deep Neural Networks / C. Liu, T. Arnon, C. Lazarus, C. Strong, C. Barrett, M. J. Kochenderfer

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ СВЕРХГЛУБОКИХ ИНС

Шалагин Никита Дмитриевич¹, Ильюшин Евгений Альбинович²

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: shalagin.nikita99@gmail.com

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: eugene@ilyushin.science

В течение последних десятилетий наблюдается устойчивый рост интереса к задачам обработки текста на естественном языке. С развитием отрасли список задач значительно расширился, и в настоящий момент, включает в себя свыше 20 подзадач [6].

Первоначально доминирующим решением для обработки текста были модели, основанные на сложных рекуррентных или сверточных нейронных сетях, далее им на смену пришла более простая и эффективная архитектура - Transformer [7]. Модели данной архитектуры показывают отличное качество на подавляющем большинстве существующих задач [1 2 3], относительно быстро обучаются, и хорошо поддаются параллелизации.

Как показывают современные работы, эффективность данных моделей увеличивается с увеличением числа параметров [1]. За счет этого значительно возрастает сложность, цена и время необходимые для обучения каждой отдельной модели. В силу вышеупомянутых свойств появилась тенденция к созданию моделей, которые или нуждаются лишь в относительно дешевом дообучении на конкретной подзадаче [4], или же способны понимать и обобщать задачу по нескольким примерам, поданным с входными данными [1], и в силу чего вообще не нуждающиеся в дообучении.

Для реализации моделей требующих дообучения в большинстве современных работ выбирается подход основанный на эмбедингах - заранее обучается

большая модель, которая строит некоторое векторное представление текста (эмбединг), а потом под каждую отдельную подзадачу обучается сравнительно небольшая модель, опирающаяся на эмбединг предобученной модели. Данный подход хорошо себя зарекомендовал на множестве задач, однако качество конечной модели критически зависит от качества предобученного ядра, которое в свою очередь в значительной степени зависит от задач, данных, и гиперпараметров используемых в предобучении. Ярким примером данной закономерности являются достигнутые улучшения модели RoBERTa [2] относительно BERT [4] от Google. Исследователи увеличили время обучения, размер батча, и размер исходных данных, переработали список задач предобучения, оставив только одну - предсказание замаскированного слова в предложении, а также увеличили минимальную длину предложений, используемых в тренировке. Новое ядро позволило обновить SOTA результаты в 4 из 9 задачах NLP бенчмарка GLUE.

Независимо от выбранного подхода к постановке задачи для модели можно выделить два основных этапа: предобучение и тонкая настройка. Как показывают исследования, подготовка неразмеченных данных для предобучения, а также выбор набора задач и подбор гиперпараметров значительно влияют на конечный результат [2]. В задачах тонкой настройки помимо данных и гиперпараметров, также важную роль играет формат постановки задачи [5].

В рамках работы произведены обзор и сравнительный анализ сверхбольших нейросетевых архитектур, процессов подготовки неразмеченных данных для предобучения, постановки задач предобучения, процесса подбора гиперпараметров

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., & others. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877–1901.
- [2] Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Joshi, M., Chen, D., Levy, O., Lewis, M., Zettlemoyer, L., & Stoyanov, V. (2019). Roberta: A robustly optimized bert pretraining approach. *ArXiv Preprint ArXiv:1907.11692*.
- [3] Yang, Z., Dai, Z., Yang, Y., Carbonell, J., Salakhutdinov, R. R., & Le, Q. V. (2019). Xlnet: Generalized autoregressive pretraining for language understanding. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32.
- [4] Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *ArXiv Preprint ArXiv:1810.04805*.
- [5] Schick, T., & Schütze, H. (2020). Exploiting cloze questions for few shot text classification and natural language inference. *ArXiv Preprint ArXiv:2001.07676*.

-
- [6] Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., Zhou, Y., Li, W., & Liu, P. J. (2019). Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. ArXiv Preprint ArXiv:1910.10683.
 - [7] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems, 30.

Авторский указатель

- Абалов Д. А., 62
Абрамов А. В., 150
Абрамов В. Г., 48, 49, 51
Аввакумов С. Н., 176
Айрапетьянц К. А., 191
Аксенова Е. Л., 95
Аношина Н. А., 133
Арбузов П. А., 142
Арефьев Н. В., 54
Арсенин Н. М., 59
Артемяева Л. А., 177
Арутюнов А. В., 79
Астафьева С. В., 68
Афанасьев В. И., 115
Афанасьев Н. А., 121, 124
- Балашов В. В., 152
Барашков И. С., 135
Бахтин В. А., 94
Бегишев Р. Р., 81
Белеванцев А. А., 102, 108
Белолипецкий А. А., 143
Беляева О. К., 153
Бирюков А. М., 95
Богомолов С. В., 125
Большакова Е. И., 52
Будзинский С. С., 73
Булыгин М. В., 193
Буничева А. Я., 123
Бурдуковская С. Ю., 69
Быков Д. А., 54
- Валиахметов Б. И., 70
Васильев С. М., 17
Васильев Ю. А., 26
- Васин А. А., 144
Вертелецкий Н. В., 42
Ветров А. Г., 56
Владимирова Ю. С., 186
Воеводин В. В., 109
Волканов Д. Ю., 157
Волкова И. А., 57
Востриков И. В., 82, 83
Вылиток А. А., 59
Высоцкий А. О., 85
- Герасимов С. В., 17, 18, 32, 34
Глазкова В. В., 19, 20
Голембиовский Д. Ю., 142
Головизнин В. М., 124
Горбунов С. А., 166
Горохов О. Е., 22, 27
Горшенин А. К., 166, 170
Горьков В. П., 178
Григоренко Н. Л., 178
Григорьева О. М., 144
Груздева Н. В., 60
Губанов Ф. Д., 34
Гусев Г. Д., 101
- Дебольский А. В., 77
Денисов В. Н., 37
Денисов Д. В., 146
Димитриенко А. Ю., 32
Дмитриев И. В., 61
Дмитрук А. В., 179
Дряженков А. А., 177
Дудина И. А., 103
- Егоров К. Ю., 82

- Егорова В. В., 48
Ерёмин Ю. А., 136
Ершов Н. М., 112

Желтков Д. А., 70
Жилкин А. С., 46
Жуковская Л. В., 180
Жуковский В. И., 180
Жуковский С. Е., 79
Журавский М. И., 28

Зайдуллин Р. Р., 154
Зайцева М. В., 87
Зайцева Н. В., 39
Замарашкин Н. Л., 74, 75
Захаров В. Б., 62–64
Захарова Т. В., 172
Зотов И. В., 42
Зяблова М. П., 49

Иванов Д. А., 109
Игнатъев В. Н., 97
Измайлов М. Б., 43
Ильин А. В., 81
Ильютко В. П., 129
Ильюшин Е. А., 195, 197, 198, 200, 201

Казантаев А. Д., 156
Казачук М. А., 30
Казачук М. А., 28, 31
Калашников Д. П., 22
Калякина А. Д., 35
Каменщиков М. А., 91
Катаев Н. А., 94
Киржинов Д. А., 195
Киселевская-Бабинина В. Я., 71
Киселёв Ю. Н., 176
Колганов А. С., 101
Конов М. А., 23
Коровина М. В., 40
Королев В. Ю., 167
Корухова Л. С., 95, 99
Корухова Ю. С., 65
Корябкин Д. А., 97
Кочетов Е. В., 123
Кошкин В. А., 105
Крат С. А., 46
Кривоноса Р. А., 34
Кригер К. П., 65
Крюков В. А., 101
Кудрявцев А. А., 169
Кудряшов Е. А., 102
Кузьмин Я. К., 157
Кулагин А. В., 115
Кулагин И. И., 105
Курмангалеев Ш. Ф., 108
Куцак Н. Ю., 186

Лабутин А. А., 83
Лазухин И. С., 24
Ланбин Н. А., 103
Лапенко Ю. А., 94
Ларионов-Тришкин Т. А., 108
Лебединский Ю. Е., 159
Леонов М. В., 66
Леонов Е. А., 125
Ли Ваньшунь, 115
Ложкин С. А., 188, 190
Лозинский И. П., 197
Лопушенко В. В., 136
Лыков А. А., 147

Мазеев А. В., 111
Макеев И. С., 167
Малоян Н. Г., 191
Мамаев П. В., 198
Мареев Г. О., 146
Матвеев С. А., 73
Машечкин И. В., 24, 26–28, 30, 31
Машкова О. А., 106
Мельник Д. М., 102
Мельников А. В., 46
Местецкий М. А., 190
Мещеряков А. В., 17, 18, 32, 34

- Михайлов А. Д., 74
Мордвинцев М. К., 75
Морозов В. В., 147–149
Мортиков Е. В., 77
Мосолова Ю. М., 92
Мударова Р. Р., 19
Мухин С. И., 123, 126, 130
Мухина Ю. С., 180
Мысова К. М., 126
Мяо Хуэй-хуэй, 115

Намиот Д. Е., 193
Никитенко Д. А., 117
Николашкин А. Г., 112
Никольский И. М., 114
Никольский М. С., 182
Новиков Г. К., 52
Нутфуллин Б. М., 198

Обросова Н. К., 84
Ожигов Ю. И., 115
Оконишников А. А., 160
Орлов М. В., 176
Орлов С. М., 176, 183
Осипова А. А., 170
Осмоловский Н. П., 179

Павельева Е. А., 140
Павлова А. Ф., 188
Падарян В. А., 105
Палионная С. И., 171
Паокин А. В., 117
Пахненко И. П., 172
Петрова А. А., 63
Петровский М. И., 24, 26–28
Пименов Н. В., 190
Писковский В. О., 159
Плужников И. Р., 115
Подымов В. В., 186
Покладюк А. Ю., 126
Полушкин А. А., 148
Полякова И. Н., 61, 68, 69
Попандопуло Г. П., 20

Попов А. М., 45
Попов И. С., 30, 31
Попова Н. Н., 111, 118, 120
Порывай М. В., 161
Пославский А. В., 64
Потапов М. М., 177
Притугин М. А., 51
Пучкин Н. А., 174

Разгулин А. В., 139
Раснюк А. Г., 99
Романенко Т. Е., 139
Романюха А. А., 78

Саблин М. Н., 128
Савчук А. М., 41
Сагиндыков Т. Б., 140
Садовничая И. В., 41
Сайбель Т. А., 114
Самарин А. И., 85
Самсонов С. П., 184
Санникова Т. Е., 71
Семенов К. О., 143
Сивцов Д. Т., 36
Сирунян В. Т., 177
Смелянский Р. Л., 154
Смирнов А. П., 47
Смирнова Л. В., 180
Соловьев С. Ю., 46
Сорока А. Г., 18
Сорокин Д. В., 133
Спиридонов А. А., 84
Степанов Е. П., 153, 160, 163
Строева Е. Н., 200
Суплатов Д. А., 111
Суплатов Д. А., 120
Сычугов Д. Ю., 46

Терновский В. В., 129
Тимохин И. А., 120
Ткаченко Е. В., 77
Тонких А. А., 200
Точилин П. А., 87, 88

- Трапезников М. Ю., 30
Трофимов В. А., 141
Трусов Н. В., 90
Турдаков Д. Ю., 106
- Уваркин И. Г., 130
Узакбай К. К., 149
Ульянов В. В., 174
- Фазылов Р. Р., 31
Федотов М. В., 141
Фомичев В. В., 85, 91
Фурсов А. С., 92
- Хайлов Е. Н., 185
Хапаева Т. М., 129
Харитонов Д. М., 141
Хасанов Д. М., 163
Хруленко А. Б., 126
- Царев Д. В., 23
Царёв Д. В., 35, 36
- Чан Ти Тхиен, 108
Чень Жань, 115
Червяков Н. М., 78
Чехонина Е. А., 152
Чистяков И. А., 88
Чупахин А. А., 150, 156, 161, 164
- Шагиров Н. Э., 121
Шалагин Н. Д., 201
Шалимова Е. В., 60
Шананин А. А., 84, 90
Шеина Е. А., 47
Шестаков О. В., 169, 171
Шешуков А. Д., 57
Шибает П. П., 164
Широков И. А., 132
Шишкин А. Г., 43
Шубин М. В., 118
Шуплецов М. С., 190
- Ю Цзянчуань, 115