

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА



Факультет
вычислительной математики
и кибернетики



Научная конференция
**ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ**

Тезисы докладов

4–14 апреля 2023 года

Москва

2023

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

Научная конференция

Ломоносовские Чтения

Тезисы докладов

04–14 апреля 2023 года



МОСКВА – 2023

УДК 519.7
ББК 22.18
Л75



<https://elibrary.ru/kmopkm>

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

Ломоносовские чтения. Научная конференция. 04–14 апреля 2023 г. :
Л75 тезисы докладов. – Москва : Издательский отдел факультета ВМиК
МГУ (лицензия ИД 05899 от 24.09.2001); МАКС Пресс, 2023. – 196 с.
e-ISBN 978-5-89407-630-0 (ВМК МГУ)
ISBN 978-5-317-06964-3 («МАКС Пресс»)

<https://doi.org/10.29003/m3163.978-5-317-06964-3>

В настоящий сборник вошли тезисы докладов секции Вычислительной математики и кибернетики конференции «Ломоносовские чтения–2023», проводимой Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова в 2023 году.

УДК 519.7
ББК 22.18

Lomonosov Readings. Scientific Conference. April 04–14, 2023 :
Abstracts. – Moscow : Publishing Department of CMC MSU (license ID
05899 from 24.09.2001); MAKS Press, 2023. – 196 p.

e-ISBN 978-5-89407-630-0 (CMC MSU)

ISBN 978-5-317-06964-3 (MAKS Press)

<https://doi.org/10.29003/m3163.978-5-317-06964-3>

The collection includes report's abstracts of the Computational Mathematics and Cybernetics section of the Lomonosov Readings–2023 conference conducted by the Moscow State University in 2023.

e-ISBN 978-5-89407-630-0
ISBN 978-5-317-06964-3

© Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М. В. Ломоносова, 2023
© Авторы докладов, 2023
© Оформление. ООО «МАКС Пресс», 2023

Научное издание
Научная конференция
ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ
Тезисы докладов
04–14 апреля 2023

Подготовка оригинал-макета :
Издательский отдел
Факультета вычислительной математики и кибернетики
МГУ имени М. В. Ломоносова

Подписано в печать 04.04.2023 г. Формат 60х90 1/16.
Усл.печ.л. 12,25. Тираж 100 (1–8) экз. Заказ 045.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных материалов в
ООО «Фотоэксперт» 109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42,
корп. 5, эт. 1, пом. I, ком. 6.3-23Н.

В соответствии с Уставом Московского университета и приказом Ректора МГУ № 149 от 16 февраля 2023 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 4 апреля по 14 апреля 2023 года.

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

Секция 1. Алгоритмические языки

(руководитель — профессор Соловьев С. Ю.);

Секция 2. Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

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

Секция 3. Суперкомпьютеры и квантовая информатика

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

Секция 4. Системное программирование

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

Секция 5. Кафедры системного анализа и нелинейных динамических систем и процессов управления (соруководители — академик РАН профессор Куржанский А. Б., профессор Фомичев В. В.);

Секция 6. Математическая физика

(руководитель — профессор Разгулин А. В.);

Секция 7. Теория вероятностей и математическая статистика

(руководитель — профессор Королев В. Ю.);

Секция 8. Интеллектуальные информационные технологии

(руководитель — профессор Машечкин И. В.);

Секция 9. Вычислительные технологии и моделирование

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

Секция 10. Дифференциальные уравнения

(руководитель — профессор Ломов И. С.);

Секция 11. Кафедра автоматизации научных исследований

(руководитель — профессор Попов А. М.);

Секция 12. Математическая кибернетика

(руководитель — профессор Ложкин С. А.);

Секция 13. Исследование операций

(руководитель — профессор Васин А. А.);

Секция 14. Вычислительные методы

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

Секция 15. Информационная безопасность

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

Секция 16. Оптимальное управление и дифференциальные игры

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

Содержание

Секция 1. Алгоритмические языки	17
<i>А. Ф. Абдрахманов, Е. А. Бордаченкова, А. А. Панфёров</i> Рекурсивный алгоритм проверки сильной цикличности вектора	17
<i>В. Г. Абрамов, А. А. Князев</i> Эквивалентные преобразования расписания занятий	18
<i>В. Г. Абрамов, Г. С. Хайбулаев</i> Построение вопросов массового анкетирования	19
<i>А. А. Вылиток, Ли Цзямянь</i> Алгоритмы преобразования бесконтекстных L-графов в бесконтекстные грамматики	20
<i>А. А. Вылиток, Му Цзинъюань</i> Алгоритмы поиска строк по бесконтекстному выражению с помощью L-графов	21
<i>Н. В. Груздева, Д. И. Франтовская</i> Разработка онтологии для систематизации знаний в области информационной безопасности	22
<i>Б. В. Добров, А. А. Дугин</i> Сравнение методов перефразирования текста	24
<i>И. В. Михальчук, Н. Э. Ефремова</i> Методы распознавания автоматически порожденных интернет-отзывов	25
<i>М. Д. Новиков</i> Автоматизированный практикум для студентов первого курса	26
<i>С. А. Погорельцев, И. Н. Полякова</i> Решение задачи визуального разрешения лексической многозначности с применением объединённых мультимодальных нейронных сетей	27
<i>И. Н. Полякова, Н. В. Сорокина</i> Автоматизированное модульное тестирование на платформе .NET	29

<i>С. Ю. Соловьёв, Э. З. Алиева</i> Метод прогнозирования трендов ценных бумаг с учетом новостных сообщений	30
<i>С. Ю. Соловьёв, А. С. Широкова</i> Исследования свойств терминологических сетей на основе алгоритма идентификации семантических связей	31
<i>С. Ю. Соловьёв, К. А. Бурлачко</i> Разработка эффективного метода подавления шумов	33
<i>С. Ю. Соловьёв, А. А. Федосов</i> Алгоритм оценки кредитоспособности клиентов коммерческого банка	34
<i>Р. В. Сульженко, Б. В. Добров</i> Аппроксимация смысла рубрики простыми представлениями	36
<i>Д. А. Чайчиц, С. Ю. Соловьёв</i> Интеллектуальная система управления творческими картотеками . . .	37
Секция 2. Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов	38
<i>Н. С. Барабанов, Т. О. Филенко, Д. Ю. Волканов, Г. В. Курячий</i> Разработка системы выявления программного плагиата с учетом специфики учебного курса «Язык программирования Python»	38
<i>А. П. Волчанинов, А. Н. Сальников</i> Структура серии измерений задержек между некоторыми парами узлов компьютерной сети	39
<i>Ю. А. Задорожная, В. Н. Пашков</i> О методе прогнозирования использования вычислительных ресурсов CPU в облаках	41
<i>Р. Р. Зайдуллин, Р. Л. Смелянский, Д. Ю. Волканов</i> Исследование и разработка методов разбора заголовков пакетов в сетевом процессорном устройстве	43
<i>В. Г. Морозова, Е. П. Степанов</i> Алгоритм случайного поиска для задачи оптимального распределения трафика в сети	44
<i>Н. И. Никифоров, Д. Ю. Волканов</i> Метод формальной верификации реализации сетевого протокола для сетевого процессорного устройства	46
<i>Д. А. Озерова, Е. П. Степанов, В. А. Антоненко</i> Исследование эффективности масштабирования алгоритма многоагентного обучения с подкреплением для балансировки трафика	47

<i>А. А. Оконишников, Е. П. Степанов</i>	
Применение методов машинного обучения для управления перегрузкой в каналах наложенной сети	48
<i>В. О. Писковский, Е. О. Лычева</i>	
Критерии аномального состояния узлов компьютерной сети и их взаимозависимости	50
<i>Г. К. Путилов, Е. П. Степанов</i>	
Исследование эффективности дисциплин очередизации в формировании виртуальных пластов	51
<i>Д. В. Скворцова, В. В. Балашов</i>	
Генетический алгоритм построения расписания с минимизацией пикового использования ресурса	53
<i>М. В. Тюшев, Р. Л. Смелянский</i>	
Сравнительный анализ эффективности графовых баз данных для маршрутизации в ПКС сетях	54
<i>Д. М. Хасанов, Е. П. Степанов</i>	
Разработка активного метода оценки качества каналов наложенной сети	55
<i>В. П. Цветкова, Е. П. Степанов</i>	
Эффективное общение в многоагентном обучении	56
<i>А. А. Чистобаев, Е. А. Степанов</i>	
Плагин-архитектура современного контроллера программно-конфигурируемых сетей	58
<i>П. П. Шibaев, В. О. Писковский</i>	
Об эффективности использования частных блокчейнов для хранения конфигураций на примере блокчейн-приложения для сетевого контроллера RUNOS	59
<i>Г. А. Шутков, В. В. Балашов</i>	
Алгоритм построения расписания с минимизацией пикового использования ресурса, основанный на выделении последовательно-параллельного подграфа из графа работ	61
Секция 3. Суперкомпьютеры и квантовая информатика	62
<i>Юрий Ожигов, Мяо Хуэйхуэй, Ли Ваншунь, Ю Цзянчунянь, Чэнь Жань</i>	
Влияние начальных условий на сценарий ассоциации искусственных атомов	62
<i>В. Р. Имашев, Д. Ю. Буряк</i>	
Исследование эффективности стратегий глобального и локального прорезживания нейронных сетей на примере задачи классификации изображений	63

<i>Р. М. Курпий, К. А. Жуков, Б. И. Краснопольский</i> Исследование эффективности SRICSR модификации базового CSR формата хранения разреженных матриц	65
<i>И. М. Никольский, А. Ю. Соловьёв</i> О восстановлении поверхности по облаку точек с помощью диаграмм Вороного	66
<i>А. В. Смирнов, К. С. Мокров</i> Сравнение производительности и внедрение библиотек для упрощения рациональных функций многих переменных	67
Секция 4. Системное программирование	68
<i>В. А. Бахтин, Н. А. Катаев, М. А. Федяшкин</i> Интерактивная оболочка системы SAPFOR как средство исследования и описания свойств программ	68
<i>Д. Ю. Герасимов, А. И. Аветисян</i> Оптимизации с битовой точностью в динамическом двоичном трансляторе	70
<i>И. С. Ефремов, Ф. В. Ниськов, Ш. Ф. Курмангалеев, А. А. Белеванцев, П. В. Голубцов</i> Предикаты безопасности для дополнительного анализа при частичной эмуляции	71
<i>В. Н. Игнатьев, М. В. Беляев, М. Г. Биктимиров</i> Поиск бесконечных циклов в исходном коде программ на языке C# с помощью статического анализа	73
<i>Ш. Ф. Курмангалеев, А. А. Белеванцев, Г. С. Иванов, А. А. Акопян</i> Использование символьного выполнения для анализа бинарного кода	74
<i>Ш. Ф. Курмангалеев, А. А. Белеванцев, Г. С. Иванов, А. А. Ильина</i> Поиск семантически эквивалентных участков кода	75
<i>Д. Ю. Матевосов, Д. И. Егоров, М. Г. Бакулин, В. А. Падарян</i> Оптимизация инструмента Лакмус: Эластичное распространение помеченных данных	77
<i>Д. Ю. Турдаков, Е. А. Карпулевич, Е. П. Гугучкин</i> Метод уменьшения ложно отрицательных генетических вариаций в задаче полногеномного ресеквенирования	78
Секция 5. Кафедры системного анализа и нелинейных динамических систем и процессов управления	79
<i>А. В. Арутюнов, З. Т. Жуковская, С. Е. Жуковский</i> Об оценках первой производной функции Лагранжа	80

<i>Е. И. Атамась</i>	
О двойственности в управляемых динамических системах	82
<i>К. Ю. Егоров, И. В. Востриков</i>	
Математическое моделирование движения руки и поведенческих движений	83
<i>А. В. Ильин, Р. Р. Бегжиев</i>	
Управление роем роботов в условиях неопределенности	84
<i>В. В. Китов, В. А. Полетаев</i>	
Учёт контуров в задаче нейросетевой стилизации изображений	86
<i>А. А. Мельникова, П. А. Точилин</i>	
О модификации процедуры построения множества разрешимости для линейной системы с неопределенностью	87
<i>А. С. Фурсов, Ю. М. Мосолова</i>	
Некоторые вопросы применения нейросетевого подхода в задаче стабилизации переключаемых интервальных систем	89
Секция 6. Математическая физика	90
<i>И. С. Барашков</i>	
Использование метода интегральных уравнений при решении обратной задачи магнитотеллурического зондирования для случая Е-поляризации	91
<i>О. А. Гаврилов, И. В. Тихонов</i>	
Восстановление решений эволюционных уравнений при помощи нелокальных интегральных условий	92
<i>С. Г. Головина, А. А. Долбнин</i>	
Исследование задачи дифракции электромагнитных волн на идеально проводящем теле	93
<i>О. И. Индычко, А. В. Хвостиков, А. С. Крылов</i>	
Цветовая адаптация изображений аншлифов геологических образцов	94
<i>В. В. Лопушенко, Ю. А. Ерёмин</i>	
Анализ эффекта пространственной дисперсии в магнитоплазменной наночастице с учетом динамического коэффициента диффузии	95
Секция 7. Теория вероятностей и математическая статистика	97
<i>А. Г. Белов, А. Е. Полиенко, О. А. Белова</i>	
Моделирование и анализ бинарных объектов по объединенным наблюдениям	97
<i>М. О. Воронцов, О. В. Шестаков</i>	
Асимптотика риска FDR-метода при наличии слабой зависимости в данных	98

<i>С. С. Гусейнов, А. А. Кудрявцев, И. К. Лохно</i> О численном оценивании параметров гамма-экспоненциального и дигамма-распределений	99
<i>А. Л. Козловская, А. К. Горшенин</i> О глубоких смешанных гауссовских моделях в задачах анализа трафика	100
<i>А. А. Кудрявцев, О. В. Шестаков</i> Об одной оценке скорости сходимости в обобщенной теореме Реньи для структурного смешанного дигамма-распределения	102
Секция 8. Интеллектуальные информационные технологии	102
<i>С. В. Герасимов, С. М. Васильев, А. В. Мецераков, С. М. Васильев</i> Применение нейросетевых моделей для построения карты далеких ядер галактик по данным цифровых обзоров неба	103
<i>О. Е. Горохов, С. И. Кирсанова</i> Обнаружение аномалий в данных системных журналов с помощью методов процессной аналитики	104
<i>И. В. Машечкин, М. А. Казачук, И. С. Попов, М. Ю. Трапезников</i> Определение бактериальной резистентности к антибиотикам на основе анализа микробиологических фотоизображений	105
<i>И. В. Машечкин, М. А. Казачук, И. С. Попов, Р. Р. Фазылов</i> Обнаружение и классификация колоний бактерий на микробиологических фотоизображениях	106
<i>И. В. Машечкин, М. И. Петровский, Ю. А. Васильев</i> Исследование и разработка вероятностного бустинг ансамбля анализа выживаемости	107
<i>И. В. Машечкин, М. И. Петровский, О. Е. Горохов</i> Методы глубокого обучения для задач обнаружения аномалий в данных системных журналов	109
<i>А. В. Мецераков, С. В. Герасимов, А. Г. Сорока, Г. В. Михельсон</i> Применение классических эвристических и точных методов оптимизации маршрутов в статической постановке задачи маршрутизации транспортных средств с реальными ограничениями	110
<i>А. В. Мецераков, А. А. Немешаева, С. В. Герасимов</i> Нейросетевые методы сегментации скоплений галактик и радиосточников в данных микроволнового космического обзора Planck	112
<i>А. В. Мецераков, А. Г. Сорока, С. В. Герасимов</i> Подходы к решению задач оптимизации маршрутов с большой размерностью (>1000).	113

<i>М. И. Петровский, И. С. Лазухин</i>	
Дискретная модель оптимального управления при ограничениях на основе нейросетей	114
<i>А. П. Рыжов, И. А. Шергин</i>	
Рекомендательная система на основе 3D-оценки позы человека: возможности и перспективы	116
<i>Д. В. Царёв, В. Е. Ломоносова</i>	
Применение методов машинного обучения в задаче обнаружения неисправностей оборудования	117
<i>А. В. Чернов, Г. П. Зверев</i>	
Оптимизация обменов в сетях блокчейн	119
Секция 9. Вычислительные технологии и моделирование	119
<i>М. А. Бочев</i>	
Итерации Ричардсона–Крылова для интегрирования по времени больших систем нелинейных дифференциальных уравнений	120
<i>С. В. Дорохин, В. А. Ляшев</i>	
Восстановление тензоров при структурных ограничениях на оператор измерений	121
<i>А. А. Кунавин, С. В. Дорохин, В. А. Ляшев</i>	
Разреженные измерения в задаче восстановления матрицы каскадного канала	122
<i>С. А. Матвеев, Р. Р. Загидуллин, А. П. Смирнов, Г. С. Жамсуева, А. С. Заяханов, В. А. Загайнов, Н. В. Бриллиантов</i>	
Качественное моделирование агрегации аэрозольных частиц в акватории озера Байкал	124
<i>А. И. Осинский</i>	
Быстрый поиск неотрицательных аппроксимаций матриц с помощью крестового разложения	125
<i>М. В. Рахуба</i>	
Методы римановой оптимизации на многообразии тензоров фиксированного ранга для нелинейных задач на собственные значения	128
<i>Р. М. Третьякова, А. В. Сетуха</i>	
Численное решение задачи рассеяния электромагнитной волны на металле с тонким диэлектрическим покрытием	129
Секция 10. Дифференциальные уравнения	130
<i>Д. Ю. Бородинова</i>	
Антиаприорные оценки корневых функций для возмущения оператора Бесселя	130

<i>А. В. Домрина</i>	
О пределах 3-унитонных решений некоммутативной сигма-модели	131
<i>Н. В. Зайцева</i>	
О единственности решений краевых задач для уравнения смешанного типа с оператором Бесселя	132
<i>М. В. Коровина</i>	
Построение равномерных асимптотик решений для уравнений 2-го порядка с мероморфными коэффициентами	133
<i>И. С. Ломов, Д. П. Емельянов</i>	
Решение задачи для эллиптического дифференциального уравнения с вырождением нецелого порядка	134
<i>А. М. Савчук, И. В. Садовничая</i>	
Операторная группа, порожденная одномерной системой Дирака	136
<i>Т. Н. Фоменко</i>	
О непрерывной ветви нулей у параметрического семейства поисковых функционалов	137
Секция 11. Кафедра автоматизации научных исследований	139
<i>О. В. Гирфанов, А. Г. Шишкин</i>	
Генеративные модели для устранения шума из речевых сигналов	139
<i>И. В. Зотов, Н. С. Дементьев</i>	
Моделирование системы электро-магнитной диагностики в токамаке МИФИСТ-0	141
<i>И. Б. Литвинов, А. Г. Шишкин</i>	
Оценка эффективности нейросетевых моделей обнаружения речевой активности в аудиосигнале при низком отношении сигнал/шум	142
<i>Е. А. Шешна, А. П. Смирнов</i>	
Расчет резонансных параметров диэлектрического цилиндра	143
<i>А. Г. Шишкин, С. В. Денисов</i>	
Нейросетевой подход к анализу изображений интрацитоплазматической инъекции сперматозоида	144
Секция 12. Математическая кибернетика	145
<i>Ю. С. Владимирова</i>	
О некоторых свойствах выражений логики Н.П.Брусенцова	145
<i>В. С. Зизов, С. А. Ложкин</i>	
Уточнённые оценки сложности клеточного универсального многополюсника	146

<i>С. А. Ложкин</i>	
О глубине мультиплексорной функции от «небольшого» числа адресных переменных	147
Секция 13. Исследование операций	148
<i>П. А. Арбузов, Д. Ю. Голембиовский</i>	
Прогнозирование базового актива на основе рыночных котировок опционов	148
<i>А. А. Белолипецкий, К. О. Семенов</i>	
О влиянии радиоактивного трития на время заполнения лазерных мишеней изотопами водорода	149
<i>А. А. Васин, Е. Г. Агаджанян</i>	
Об оптимизации инфраструктуры рынков электроэнергии с накопителями	150
<i>М. Р. Давидсон, В. М. Демихов</i>	
Моделирование ремонтных площадок для энергоблоков электростанций	151
<i>В. В. Морозов, Ж. Исинь</i>	
Построение k -равновесий в простейшей сетевой игре с неразделяемым трафиком	152
<i>В. В. Морозов, Р. А. Ковяшев</i>	
Расчет оптимального потребления при управлении финансовым портфелем для специальных функций полезности	153
<i>В. В. Морозов, Т. К. Тасжанов</i>	
О верхней оценке стоимости азиатского опциона	154
<i>Т. С. Назаренко, Н. М. Новикова</i>	
Механизм Кларка-Гровса с весами	155
<i>Н. И. Цыганов, Т. Р. Насыров</i>	
Задача оптимального управления микрогридом на рынке электроэнергии	157
Секция 14. Вычислительные методы	158
<i>М. В. Абакумов, Т. К. Козубская, Д. Д. Чернышева</i>	
О квазиодномерном подходе к применению схем МР на неструктурированных сетках	158
<i>Н. А. Афанасьев, Н. Э. Шагиров</i>	
Схема «Chair» для дифференциальных уравнений гиперболического типа и ее балансно-характеристическое представление	160
<i>С. В. Богомолов, А. Е. Кувшинников</i>	
Решение задачи Блазиуса разрывным методом частиц	161

<i>С. В. Богомолов, Е. А. Леонов</i> Могут ли нейронные сети стать новым этапом в развитии численных методов?	162
<i>А. Я. Буничева, Е. В. Кочетов, С. И. Мухин</i> Влияние методов математического моделирования на использование машинного обучения для задач диагностики	163
<i>В. М. Егоров, В. В. Терновский</i> О применении разностных методов в коэффициентных обратных задачах	165
<i>Г. Г. Еленин, Т. Г. Еленина</i> О процедурах автоматического выбора шага интегрирования при численном решении задачи Коши для гамильтоновых систем	166
<i>Т. М. Лысак, И. Г. Захарова, А. А. Калинович, Д. А. Чайковский</i> Солитонный режим распространения двуцветного лазерного излучения в РТ-симметричных периодических структурах	167
<i>С. И. Мухин, А. Я. Буничева, И. А. Босиев</i> Особенности спектра модели пульсовой волны	168
<i>С. И. Мухин, К. В. Почевалов</i> Исследование влияния области анализа пульсовой волны на характеристики ее спектра	169
<i>С. И. Мухин, А. Б. Хруленко, А. А. Брындина, В. С. Киселева</i> Детализированные модели кровообращения в почке и печени.	170
<i>Н. В. Песков, Т. М. Лысак</i> Численное моделирование теплового режима в тоннеле метро	171
<i>Л. И. Петрова</i> Значение вырожденных преобразований для уравнений математической физики	172
<i>В. А. Трофимов, В. А. Егоренков, М. М. Логинова</i> Проявление эффектов нелинейной градиентной оптики при формировании контрастных структур в полупроводнике	173
<i>И. А. Широков</i> Моделирование структуры недорасширенной сверхзвуковой газовой струи на основе квазигазодинамического алгоритма	174
<i>А. В. Шобухов</i> Нестационарная модель электролитической диссоциации	176

Содержание	15
Секция 15. Информационная безопасность	177
<i>М. В. Булыгин, Д. Е. Намиот</i>	
Об автоматизированной генерации отчетов в открытой платформе анализа транспортных данных	177
<i>Д. Ю. Гамаюнов, Д. А. Сигалов, Д. И. Назаров</i>	
Обнаружение уязвимых функций с помощью статического анализа закомментированного программного кода клиентской стороны веб-приложений	178
<i>Л. В. Дмитриев</i>	
Об использовании ошибок машинного обучения для получения лингвистической информации	180
<i>П. А. Карасев</i>	
Управление интернетом – тенденции и перспективы	181
<i>И. Ю. Терёхина</i>	
О поиске аномалий с использованием построенных моделей нескольких процессов	183
Секция 16. Оптимальное управление и дифференциальные игры	184
<i>Б. М. Арыстанбеков, Н. Б. Мельников</i>	
Проекционный метод для задач оптимального управления с бесконечным горизонтом в экономике	184
<i>М. Н. Гончарова, С. П. Самсонов</i>	
Построение множества управляемости для системы второго порядка с различными положительными собственными значениями	185
<i>В. П. Горьков, Н. Л. Григоренко</i>	
Синтез управления движением нелинейной системы по заданной пространственной траектории	186
<i>А. А. Дряженков</i>	
О поиске седла функции Лагранжа при наличии априорных ограничений на норму множителя	187
<i>Ю. Н. Киселёв, М. В. Орлов, С. Н. Аввакумов, С. М. Орлов, А. Н. Кацан</i>	
Исследование модели двухсекторной экономики с функцией Кобба –Дугласа с убывающей отдачей при изменении масштабов производства	189
<i>М. С. Никольский</i>	
Корректность задачи нахождения минимакса функции двух векторных переменных	190
<i>Е. А. Ровенская, С. М. Орлов</i>	
Модель экономического роста с разделением домохозяйств	191

Е. Н. Хайлов, Э. В. Григорьева

Об одной задаче минимизации для билинейной управляемой модели
лечения меланомы 192

Авторский указатель 193

РЕКУРСИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРОВЕРКИ СИЛЬНОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ ВЕКТОРА

**Абдрахманов Артур Фаритович, Бордаченкова Елена Анатольевна,
Панфёров Антон Александрович**

Кафедра алгоритмических языков, e-mail: a.arthur77777@gmail.com, lenabord@mail.ru,
ast.a_s@mail.ru

Пусть K — поле характеристики нуль. Воспользуемся стандартными обозначениями: $K[x]$ — кольцо *многочленов*, $K[[x]]$ — кольцо *формальных степенных рядов*:

$$K[x] = \{a(x) = \sum_{n=0}^t a_n x^n, a_n \in K, t \in \mathbb{N}_0\}, K[[x]] = \{a(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n, a_n \in K\}.$$

Будем рассматривать дифференциальные системы вида

$$y' = Ay, \tag{1}$$

где $A \in K[[x]]^{m \times m}$, y — вектор неизвестных размера m .

Важным для систем вида (1) является понятие *циклического вектора*. Циклический вектор находит (см. [1]) широкое применение не только в теории дифференциальных уравнений, но и на практике, в частности, в различных алгоритмах компьютерной алгебры.

Ряды по своей природе — *бесконечны*, что усложняет работу с ними на компьютере. Одним из способов решения этой проблемы является работа с усечениями (см. [2]).

Предположим, что вместо (1) мы имеем «приближенную» систему с матрицей A^\diamond , коэффициенты которой являются усечениями (начальными отрезками) коэффициентов исходной системы.

В данной работе рассматривается задача: является ли вектор v , циклический для «приближенной» системы, циклическим для системы (1).

Циклический вектор, который является циклическим для любого возможного продолжения данной системы, называется *сильно циклическим*. Проверка того, является ли заданный вектор сильно циклическим, представляет основной интерес данной работы.

В работе [3] описан метод проверки сильной циклическости вектора. В настоящей работе предложен алгоритм, представляющий собой модификацию данного метода. Алгоритм работает с «приближенной» системой A^\diamond и циклическим вектором v . Он пытается построить такое продолжение системы, для которого вектор v не будет циклическим. В результате получаем три возможности: найдено продолжение, для которого вектор v не является циклическим (таким образом, вектор v не является сильно циклическим); обнаружено, что

для всех возможных продолжений вектор v является циклическим (свойство сильной цикличности выполняется); за отведенное время не удастся получить ответ.

Особенностью алгоритма, предложенного в данной работе, является рекурсия. Использование рекурсии позволяет перебрать большее число вариантов продолжений A^\diamond , что увеличивает шансы дать содержательный ответ, но может увеличить время работы алгоритма. Ограничение максимальной глубины рекурсии решает проблему завершенности алгоритма, но он по-прежнему не всегда может дать содержательный ответ.

Алгоритм был реализован в среде компьютерной алгебры Maple.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] R. C. Churchill and J. Kovacic. Differential algebra and related topics, 2000
- [2] Абрамов С. А., Рябенко А. А., Хмельнов Д. Е. Линейные обыкновенные дифференциальные уравнения и усеченные ряды // Журнал вычислительной математики и математической физики, 2019, том 59, № 10, с. 1706–1717
- [3] Панфёров А. А. Сильно циклические векторы дифференциальных систем с полиномиальными коэффициентами // Ломоносовские чтения-2020. — М.: М., 2020. — С. 110–112.

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ

Абрамов Владимир Геннадьевич¹, Князев Андрей Александрович²

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

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: knyazev1514@gmail.com

Составление и преобразование расписания занятий – трудоёмкий процесс [1], который занимает много времени и требует постоянных проверок на возникновение конфликтов.

Основная задача состоит в том, чтобы создать инструмент, позволяющий создавать и редактировать расписание занятий с автоматической проверкой корректности введённых данных и автоматическим поиском конфликтов, разработать язык предикатов, позволяющий описывать правила определения оптимальности расписания и внедрить полученный алгоритм в разработанный инструмент.

Разработанный язык предикатов позволяет диспетчеру указывать уникальные правила оценки эффективности расписания, которые позволяют учитывать уникальные особенности учебного заведения, факультета или даже пожелания отдельных людей.

Метод оптимизации расписания использует алгоритм градиентного спуска [2, 3], используя для сравнения расписаний разработанный язык предикатов.

Оптимизация расписания происходит при помощи эквивалентных преобразований, таких как перенос или редактирование занятия. В работе так же вводится термин «почти эквивалентное преобразование», которое требует участия диспетчера в подтверждении возможности внесения изменения в расписание.

В работе получены следующие результаты: разработан язык предикатов, создан инструмент, позволяющий создавать, редактировать, осуществлять проверку корректности расписания, предоставляет возможности для оперативного управления ресурсами учебного заведения, а также осуществлять оптимизацию расписания в полуавтоматическом режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лазарев А. А., Гафаров Е. Р. ТЕОРИЯ РАСПИСАНИЙ. ЗАДАЧИ И АЛГОРИТМЫ – М.: Издательство МГУ, 2011. – 222 с.
- [2] М. В. Ульянов, РЕСУРСНО-ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ АЛГОРИТМЫ. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ – М.: ФИЗМАТЛИТ Москва, 2008. – 304 с.
- [3] Березин И. С., Жидков Н. П. Методы вычислений. Том 2 – М.: ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, Москва, 1959. – 620 с.

ПОСТРОЕНИЕ ВОПРОСОВ МАССОВОГО АНКЕТИРОВАНИЯ

Абрамов Владимир Геннадьевич¹, Хайбулаев Глеб Сергеевич²

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

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

При проведении массового анкетирования возникает необходимость в подтверждении искренности ответа респондента. Для проверки того, искренен ли респондент, в анкету добавляются контрольные вопросы, которые имеют разные формулировки, но по сути спрашивают об одном и том же. При анализе анкеты ответы на такие вопросы сопоставляются друг с другом и если возникло противоречие, то весь ответ на опросник считается недействительным.

Подготовка таких вопросов называется расширением анкеты. Часто это трудоемкий и длительный процесс, требующий объемной ручной работы экспертов.

Основная задача заключается в автоматизации процесса расширения анкеты. В работе предложены алгоритмы подбора контрольных вопросов, реализованные в виде программной системы, решающей задачу расширения анкеты. Система использует обширную базу данных с вопросами, которые выполняют роль контрольных. Реализована возможность дополнить базу данных системы своими вопросами. Системе на вход подается строка с вопросом, а результатом работы системы является ранжированный список вопросов, из которых эксперт может выбрать наиболее подходящие.

В работе используется несколько методов обработки естественного языка для построения ранжированного списка вопросов: tf-idf с выделением синонимов и гипонимов [1, 2], латентно-семантический анализ (LSA) [3], латентное размещение Дирихле (LDA) [4].

Разработанная модель системы, позволяет подбирать контрольные вопросы с помощью исследованных алгоритмов. Система успешно опробована на базе данных с вопросами из областей психологии и социологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Salton, G; McGill, M. J. «Introduction to modern information retrieval», 1986
- [2] Youngjoong Ko. «A study of term weighting schemes using class information for text classification», 2012
- [3] Landauer, Thomas; Foltz, Peter W.; Laham, Darrell. "Introduction to Latent Semantic Analysis 1998
- [4] David M. Blei, Andrew Y. Ng, Michael I. Jordan. «Latent Dirichlet Allocation» : Journal of Machine Learning Research., 2003.

АЛГОРИТМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БЕСКОНТЕКСТНЫХ L-ГРАФОВ В БЕСКОНТЕКСТНЫЕ ГРАММАТИКИ

Вылиток Алексей Александрович¹, Ли Цзямянь²

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

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: lijiamian0804@live.com

В середине прошлого века Н. Хомский предложил классификацию формальных грамматик и языков, в которой именно класс контекстно-свободных (бесконтекстных) грамматик обусловил своеобразное вращение теории формальных языков в информатику. Магазиновые автоматы долгое время использовались для анализа контекстно-свободных языков, но структура вычислений таких автоматов относительно громоздка и неудобна для исследования свойств распознаваемого языка. Более подходящим инструментом для анализа свойств является бесконтекстный L-граф [1, 2]. Этот относительно новый подход позволяет выявить внутреннюю общность различных характеристик бесконтекстных языков и получить ответы на достаточно трудные теоретические вопросы.

Алгоритмы преобразования бесконтекстных грамматик в эквивалентные L-графы описаны авторами ранее, а в настоящем докладе рассматривается построение обратного алгоритма, преобразующего бесконтекстный L-граф в эквивалентную бесконтекстную грамматику. Алгоритм использует понятие ядра L-графа. Построение ядра является первым этапом алгоритма. На втором этапе ядро преобразуется в грамматику. Ядро – это конечное подмножество множества всех маршрутов, рассмотрение которого необходимо и достаточно для

построения эквивалентной грамматики. Точнее, вводится понятие (w,d) -ядра, где параметры w и d обеспечивают определенные ограничения на вхождение циклов в рассматриваемые маршруты. Концепция ядра L-графа аналогична концепции ядра D-графа, предложенного Л.И. Станевичене [3].

Предлагаемый алгоритм реализован в виде программы на языке C++, которая преобразует заданный в текстовом виде бесконтекстный L-граф в бесконтекстную грамматику. При этом характеристики L-графа, обусловленные его структурой, отражаются в производимой алгоритмом грамматике. Например, для регулярных L-графов (без скобочных пометок на дугах) построенная грамматика будет регулярной, что фактически даёт алгоритм преобразования конечного автомата в регулярную грамматику. Для L-графов, скобочный след всех успешных маршрутов которых имеет равную единице ширину, построенная алгоритмом грамматика будет линейной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 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 года. 2010. – с. 82-83
- [2] Вылиток А. А., Ростовский А. В. О подклассах графовых представлений формальных языков // Сборник тезисов посвященных 300-летию М. В. Ломоносова: «Ломоносовские чтения», 2011 года. 2011. – с. 98-99.
- [3] Станевичене Л. И. К теории бесконтекстных языков – М. : Деп. в ВИНТИ РАН 29.05.2000. № 1546-B00, 2000.

АЛГОРИТМЫ ПОИСКА СТРОК ПО БЕСКОНТЕКСТНОМУ ВЫРАЖЕНИЮ С ПОМОЩЬЮ L-ГРАФОВ

Вылиток Алексей Александрович¹, Му Цзинъюань²

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

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

Понятие контекстно-свободной (бесконтекстной) грамматики является ключевым во многих приложениях теоретической информатики и служит основой для процессов компиляции, ассемблирования и многих других, включая методы искусственного интеллекта и проектирования аппаратуры вычислительных систем.

Бесконтекстные грамматики достаточно выразительны, чтобы представлять синтаксис большинства языков программирования, – почти все современные языки программирования описываются бесконтекстными грамматиками. С другой стороны, эти грамматики достаточно просты, чтобы алгоритмы синтаксического анализа для них были эффективны, – некоторые из таких алгоритмов

имеют линейную сложность для распознавания принадлежности цепочки языку, порождаемому грамматикой.

Альтернативой описанию языков с помощью бесконтекстных грамматик являются бесконтекстные выражения, введённые Л. И. Станевиче в [1], и бесконтекстные L-графы, введённые в [2, 3]. Бесконтекстные выражения являются аналогами регулярных выражений для класса бесконтекстных языков, а L-графы являются аналогами конечных автоматов на случай бесконтекстных языков.

В докладе рассматривается задача распознавания строк, принадлежащих языку, заданному бесконтекстным выражением. В качестве основы вычислений в процессе распознавания используется детерминированный L-граф. Чтобы получить такой L-граф, мы предлагаем алгоритм преобразования бесконтекстного выражения эквивалентный L-граф. L-граф представляет собой ориентированный граф, на дугах которого расположены пометки – символьные из алфавита основных символов и дополнительные скобочные, которые влияют на успешность прохождения пути из начальной вершины в заключительную (требуется баланс по скобкам).

Предлагается компьютерная программа, которая во входном тексте находит строки, соответствующие заданному бесконтекстному выражению, и выводит их позиции в тексте. Программа реализована на языке C++.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Станевиче Л. И. К теории бесконтекстных языков — М. : Деп. в ВИНТИ РАН 29.05.2000. № 1546-B00, 2000.
- [2] 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 года. 2010. – с. 82-83.
- [3] Вылиток А. А., Ростовский А. В. О подклассах графовых представлений формальных языков // Сборник тезисов посвященных 300-летию М. В. Ломоносова: «Ломоносовские чтения», 2011 года. 2011. – с. 98-99.

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИИ ДЛЯ СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Груздева Надежда Валерьевна, Франтовская Дарья Игоревна

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

С ростом количества информации как результата интеллектуальной деятельности человека, увеличивается значимость обеспечения не только её целостного хранения, но и информационной безопасности. Систематизация знаний

в области информационной безопасности способствует разработке новых и совершенствованию старых методик организации защиты информации. Одним из мощных способов концептуализации знаний о предметной области является онтология.

В работах [1], [2] приведены онтологии, описывающие ограниченные подмножества области информационной безопасности. Они описывают понятия и отношения некоторых разделов информационной безопасности, однако игнорируют значительную часть общих понятий данной предметной области.

Целью данной работы является разработка общей онтологии для систематизации знаний в области информационной безопасности. Так как ручное построение онтологии занимает значительное количество времени и требует использования больших ресурсов и экспертных знаний в предметной области, построение данной онтологии было автоматизировано. Для этого проанализированы способы автоматизированного выявления терминов и отношений предметной области.

Подобраны категории текстовых источников, содержащих знания о понятиях (терминах) и связях между ними в данной предметной области. С помощью лексико-синтаксических шаблонов [3] из текстов выявлены кандидаты в термины и отношения будущей онтологии. Вручную произведен анализ выделенных кандидатов, отфильтрованы понятия и связи, которые не относятся к предметной области информационной безопасности. Отобранные термины и отношения проанализированы и дополнены вручную с участием экспертов, а затем формализованы на языке OWL.

Разработанная онтология содержит актуальные термины области информационной безопасности, объединяя знания о различных подобластях и разделах предметной области. Онтология включает 554 класса, 8 экземпляров, 93 отношения синонимии и 9 других типов отношений. В дальнейшем она может быть расширена за счет добавления новых экземпляров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ворожцова Т. Н. Онтология как основа для разработки интеллектуальной системы обеспечения кибербезопасности // Онтология проектирования. 2014. № 4 (14). С. 69–77.
- [2] Петренко С. А., Ступин Д. Д. Новая онтология кибербезопасности самовосстанавливающихся энергосистем Smart Grid // Энергия единой сети. 2018. № 3 (38). С. 50–56.
- [3] Лексико-синтаксические шаблоны в задачах автоматической обработки текста / Е. И. Большакова, Н. В. Баева, Е. А. Бордаченкова, Н. Э. Васильева, С. С. Морозов // Труды международной конференции «Диалог 2007». М.: Изд-во РГГУ, 2007. С. 70–75.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ТЕКСТА

Добров Борис Викторович¹, Дугин Андрей Александрович²

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

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

Одной из ключевых особенностей естественного языка является его разнообразие. Оно позволяет передать информацию со схожим или идентичным смыслом разными способами. Такую передачу информации в данном случае можно назвать перефразированием. Как и многие другие задачи обработки естественного языка, задача перефразирования может быть автоматизирована. Для этого необходимо более точное ее описание.

Перефразирование текста - это процесс изменения слов и конструкций в тексте, не меняя их значения. Оно может применяться для решения ряда других задач, таких как аугментация данных и переписывание текстов. Одной из главных особенностей перефразирования текста является наличие двух, в некотором смысле противоположных, целей. С одной стороны, текст, полученный с помощью перефразирования должен быть как можно более похож на оригинальный текст по смыслу (сходство по смыслу должно быть максимально), а с другой - сходство по написанию должно быть минимально.

В рамках работы было проведено исследование и сравнение существующих моделей для перефразирования текста, была создана своя модель, а также она была улучшена для конкретной прикладной области.

В работе были выбраны модели mT5-small [1] и mT5-base [1] для дальнейшего дообучения, использовался набор данных ParaNMT-Ru-Leipzig [2]. Улучшение модели в прикладной области происходило для комментариев к товарам и услугам. Для этого был собран набор данных, состоящий из пар комментариев и их перефразирований. Для оценки перефразирования собранный набор данных был поделен на тренировочную и тестовую выборки. Оценка сходства по смыслу производилась по косинусной мере, а оценка по написанию производилась по метрике BLEU [3] и доле общих символьных n-грамм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Linting Xue, Noah Constant, Adam Roberts, Mihir Kale, Rami Al-Rfou, Aditya Siddhant, Aditya Barua, Colin Raffel mT5: A Massively Multilingual Pre-trained Text-to-Text Transformer // Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (июнь 2021 г.). Association for Computational Linguistics. С. 483–498.
- [2] David Dale Перефразирование русских текстов: корпуса, модели, метрики (28 июня 2021 г.). <https://habr.com/ru/post/564916/>.

- [3] Kishore Papineni, Salim Roukos, Todd Ward, Wei-Jing Zhu Bleu: a Method for Automatic Evaluation of Machine Translation //Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (июль 2002 г.). Association for Computational Linguistics. С. 311–318.

МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИ ПОРОЖДЕННЫХ ИНТЕРНЕТ-ОТЗЫВОВ

Михальчук Илья Владимирович¹, Ефремова Наталья Эрнестовна²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: ilya@miiilg.ru

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: nvasil@list.ru

Появление в 2017 году архитектуры глубоких нейронных сетей трансформер (transformer) [1] привело к созданию огромного количества языковых моделей, позволяющих автоматически генерировать достаточно качественные тексты на естественном языке. В связи с этим сильно вырос интерес к разработке методов, позволяющих распознавать такие тексты, а именно различать автоматически порожденные и написанные человеком тексты. На данный момент существует три основных подхода к распознаванию сгенерированных текстов [2]:

1. Статистический подход опирается на анализ статистических свойств текста (например, частоту символов, слов и пр.) для обнаружения особенностей, которые могут указывать на его искусственное происхождение.
2. Классическое машинное обучение использует традиционные алгоритмы, такие как логистическая регрессия, деревья решений или метод опорных векторов, для разделения обрабатываемых текстов на написанные человеком и автоматически порожденные.
3. Нейросетевой подход привлекает для решения указанной задачи методы глубокого обучения, в частности нейронные сети.

В данной работе были рассмотрены методы всех описанных подходов. По нашему предположению поскольку сейчас основным способом автоматического порождения текстов являются нейронные сети, демонстрирующие возможности приемлемого освоения естественного языка, именно методы нейросетевого подхода с большим успехом смогут обнаружить особенности, которые бы сигнализировали о том, что тексты были сгенерированы автоматически.

Нами был собран набор данных, который содержит интернет-отзывы, написанные людьми (10 тыс. отзывов) и сгенерированные моделью ruGPT-3 (10 тыс. отзывов). Отметим, что отзывы, написанные людьми, были получены из различных онлайн-источников, что обеспечило разнообразие их тем и авторов.

В качестве классических методов машинного обучения были рассмотрены вышеперечисленные методы. В рамках нейросетевого подхода была дообучена нейросетевая модель RoBERTa.

Для реализации всех методов был использован язык программирования Python, для построения и дообучения нейросетевой модели – библиотеки Transformers и PyTorch. Метод на основе нейронной сети, как и ожидалось, показал лучшие результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ashish Vaswani, Attention Is All You Need // ArXiv abs/1706.03762, 2017.
- [2] Machine Generated Text: Comprehensive Survey of Threat Models and Detection Methods / Crothers, Evan & Japkowicz, Nathalie & Viktor, Herna // ArXiv abs/2210.07321, 2022. С. 17–22.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА

Новиков Михаил Дмитриевич

Лаборатория вычислительного практикума и информационных систем, кафедра алгоритмических языков, МГУ им. М.В. Ломоносова, e-mail: novikov_57@mail.ru

На факультете ВМК МГУ с 2017 года разрабатываются две системы автоматического тестирования программ (САТП). Эти системы предназначены для проверки правильности программ, выполняемых студентами первого курса в рамках практикума на ЭВМ. Первая система тестирует программы на языке Паскаль, а вторая система тестирует программы на языке Ассемблера. Задачи для тестирования взяты из книг [1], [2], [3].

Возможности САТП

1. Можно тестировать как всю программу целиком, так и фрагмент программы, в частности, процедуру или функцию.
2. Производится проверка выполнения в тестируемой программе предъявляемых к ней требований, указанных в [1], [2] и [3].

Последние достижения

1. За последние два года созданы тесты для задач из последних глав книги [1] – это главы 16, 17 и 18. При этом: а) разработаны алгоритмы проверки корректной работы с динамической памятью – это отсутствие утечки памяти и освобождение памяти по окончании выполнения программы; б) реализовано представление на экране компьютера двоичных деревьев в виде последовательности путей от вершины к листьям; в) разработаны способы проверки правильности ответов к задачам главы 18 – это, в основном, сложные задачи, допускающие большое количество правильных ответов.
2. Созданы блоки дополнительной проверки корректности программ на языке Ассемблера: а) проверяется отсутствие выхода за границу области данных;

б) проверяется выполнение формальных требований к процедурам: отсутствие внешних объектов, сохранение значений регистров и способ передачи параметров.

Использование САТП. САТП используются в студенческом практикуме начиная с осеннего семестра 2017 года. Если ранее студенты приносили на проверку программы, зачастую содержащие ошибки, и преподавателю приходилось вручную набирать исходные данные для проверки правильности программ, то в настоящее время студенты приносят на проверку уже программы, отлаженные с помощью САТП. Преподавателю остается лишь просмотреть их текст и задать студенту необходимые вопросы.

Обе САТП написаны в среде Delphi, могут быть запущены на локальном компьютере и не требуют выхода в Интернет. Используются трансляторы Pascal 2.6.4. (в первой системе) и MASM 6.14 (во второй системе).

Последние публикации по теме: [4], [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пильшиков В.Н. Язык Паскаль. Упражнения и задачи. М.: Научный мир, 2003, 224 с.
- [2] Бордаченкова Е.А., Панферов А.А. Задания практикума. 1 курс. М.: МАКС Пресс, 2016, 48 с.
- [3] Бордаченкова Е.А. Задачи и упражнения по языку Ассемблера MASM. М.: МАКС Пресс, 2020, 92 с.
- [4] Новиков М.Д. Автоматическое тестирование студенческих программ. Всероссийская научная конференция. Тверь, 2021, с. 235-239.
- [5] Новиков М.Д. Автоматическое тестирование процедур на языке Ассемблера. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. №3-2 (66), 2022, с. 144-147.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВИЗУАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ ЛЕКСИЧЕСКОЙ МНОГОЗНАЧНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЪЕДИНЁННЫХ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Погорельцев Семён Александрович¹, Полякова Ирина Николаевна²

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

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

Задача визуального разрешения лексической многозначности (Visual Word Sense Disambiguation), представленная на соревновании SemEval-2023, предполагает выбор наиболее подходящего изображения из предложенных вариантов для слова и некоторого ограниченного контекста его употребления. В работе

рассматривается решение данной задачи с применением смешанной мультимодальной нейронной сети.

Данные соревнования. В соревновании предложены данные для обучения на английском языке, а тестирование моделей производится на мультязычной выборке (английский, итальянский и персидский языки). Обучающая выборка содержит 12869 примеров, состоящих из слова, короткого контекста (чаще всего словосочетания) и вариантов изображений.

Предобученная модель BLIP. Предобученная модель BLIP [1] объединяет модели BERT [2] (для английского языка) и Vision Transformer [3] с архитектурой на этапе предобучения, представленной на рисунке 1: ITC (image-text contrastive) функция потерь для сближения скрытых представлений текстовой и визуальной частей модели, ITM (image-text matching) лосс-функция при оптимизации задачи классификации положительных (соответствие смысла) и отрицательных примеров - пар изображений, LM - генерация подписей.

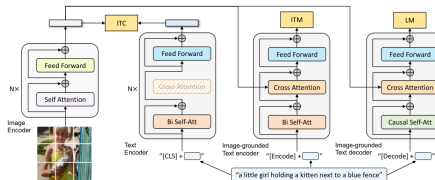


Рис. 1: Архитектура модели BLIP

Дообучение англоязычной модели. Для решения задачи к выходам ITM для 10 пар изображений и слова в контексте применялась функция $\text{softmax}(v)_i = \frac{e^{v_i}}{\sum_{k=1}^{\text{dim } v} e^{v_k}}$. В качестве функции потерь использована кросс-энтропия. Оптимизация производилась с помощью метода Adam с регуляризацией Weight Decay с уменьшением шага обучения после разогрева по \cos .

Результаты. Для других языков, кроме английского, в тестовой части применён zero-shot подход на основе XLM-RoBERTa [4] и Vision Transformer [3]. Результаты лучшей представлены в таблице 2.

Подвыборка	Hit rate	Mean reciprocal rank
Английский	66.31	78.54
Итальянский	44.6	60.33
Персидский	38	55.54
Среднее	49.64	64.8

Рис. 2: Результаты модели на тестовой части по подвыборкам

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Li J., Li D., Caiming X., Hoi S. BLIP: Bootstrapping Language-Image Pre-training for Unified Vision-Language Understanding and Generation //ICML
- [2] Devlin J., Chang M., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding //Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers), pages 4171–4186, Minneapolis, Minnesota. Association for Computational Linguistics
- [3] Dosovitskiy A., Beyer L., Kolesnikov A., Weissenborn D., Zhai X., Unterthiner T., Dehghani M., Minderer M., Heigold G., Gelly S, Uszkoreit J., Houlsby N. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale //International Conference on Learning Representations
- [4] Conneau A., Khandelwal K., Goyal N., Chaudhary V., Wenzek G., Guzmán F., Grave E., Ott M., Zettlemoyer L., Stoyanov V. Unsupervised Cross-lingual Representation Learning at Scale //In Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pages 8440–8451, Online. Association for Computational Linguistics

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ МОДУЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НА ПЛАТФОРМЕ .NET

Полякова Ирина Николаевна¹, Сорокина Надежда Вячеславовна²

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

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

С развитием информационных технологий наблюдается стремительный рост разработки программного обеспечения. Тестирование программных продуктов позволяет уменьшить количество некачественного обеспечения, которое не отвечает ожиданиям пользователей. При тестировании работы системы время и затраты стремительно возрастают с количеством всех возможных комбинаций. Автоматизация этого процесса дает возможность перенести тестирование большей части существующих возможностей системы на программу [1].

Одной из основных сложностей автоматизированного модульного тестирования является высокая частота повторяемости кода. Эта проблема значительно увеличивает время написания автоматизированных проверок, усложняет разработку на начальных этапах проекта, а также в условиях изменяющихся требований к системе [2].

Существующие на платформе .NET средства модульного тестирования Xunit, NUnit и MSTest дают возможность сократить количество тестовых методов путем автоматизации настройки входных данных через специальные конструкции языка C#. Это частично упрощает реализацию модульных тестов,

однако все еще требует реализации тестовых функций для набора выходных параметров [3]. В данной работе предлагается перенести процесс модульного тестирования на автоматизированное программное решение, которое использует помеченные пользователем методы для тестирования и переданные входные и ожидаемые значения модулей.

В рамках работы реализовано решение автоматизированного модульного тестирования для платформы .NET на языке C# в виде трех последовательных этапов - поиск методов для тестирования, динамическое создание экземпляра типа и сравнение полученного и ожидаемого результатов. Такое решение помогает в значительной степени упростить разработку программного продукта, проводить оптимизацию существующего кода и наращивание функциональности, сокращая время реализации автоматизированного тестирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Месарош Джерард. Шаблоны тестирования xUnit : рефакторинг кода тестов. : Пер. с англ. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2009. – 832 с. : ил. – Парал. тит. англ. ISBN 9785845914484, с. 75–84.
- [2] Мартин Роберт. Чистый код. Создание, анализ и рефакторинг. : Библиотека программиста. – СПб. : Питер, 2022. – 464 с. : ил. ISBN 9785446109609, с. 150–163.
- [3] Testing in .NET // Microsoft [Электронный ресурс]. – URL : <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/core/testing/> (дата обращения : 13.03.2023).

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРЕНДОВ ЦЕННЫХ БУМАГ С УЧЕТОМ НОВОСТНЫХ СООБЩЕНИЙ

Соловьев Сергей Юрьевич¹, Алиева Эльвира Залимхановна²

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

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: alieva.elwira@mail.ru

Прогнозирование цены акций является достаточно сложной задачей, потому что на цену акций влияет слишком много факторов, таких как экономические обстоятельства, политические события и другие факторы окружающей среды. Из-за этих факторов трудно выявить зависимость отдельного фактора от будущих цен и трендов.

Рынок ценных бумаг является динамической системой, которая постоянно изменяется, в том числе под влиянием происходящих потрясений, которые трудно объяснить и предсказать даже опытным аналитикам. За короткий период времени рынок могут значительно трансформировать независимые движущие силы, в том числе информационный поток. Гипотеза эффективного рынка (ГЭР) утверждает, что движения финансового рынка зависят от новостей, текущих

событий и выпусков продуктов, и все эти факторы будут оказывать существенное влияние на стоимость акций компании [1]. И совокупное общественное настроение вполне может коррелировать с индексом промышленного индекса Доу-Джонса (DJIA).

Цель данной работы заключается в наблюдении за тем, насколько хорошо изменения цен на акции компании, взлеты и падения коррелируют с новостным фоном о компании.

Для работы были собраны новости о компаниях из разных областей за последний год, такие как: медицина, энергетика, банковская сфера, финтех, производство микрочипов и компьютерных игр и др. Новости были подобраны таким образом, чтобы использовать только данные за те даты, когда фондовый рынок был открыт (приблизительно 252 торговых дня в году). Для анализа настроений новостей использовалась модель для сентиментного анализа - ROBERTA[2]. Yahoo Finance использовалась в качестве источника информации по акциям для анализа исторических данных и прогнозирования цен/трендов акций. Ежедневные цены на акции были объединены вместе с параметрами характеризующих окраску текста новостей за этот день, и был создан окончательный файл csv, который использовался в качестве базовых данных.

В результате разработанный метод позволил спрогнозировать тренды цен на акции компаний из 18 индустрий, которые были рассчитаны с использованием трех моделей: XGBoost Regressor, Random forest, LSTM. Результаты оценивались с использованием метрики RMSE.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] E.F. Fama, The behavior of stock-market prices, The Journal of Business 38 (1) (1965) 34105, <http://www.e-m-h.org/Fama65.pdf>
- [2] Saketh Kotamraju, Everything you need to know about ALBERT, RoBERTa, and DistilBERT (Jul 7, 2022), <https://towardsdatascience.com/everything-you-need-to-know-about-albert-roberta-and-distilbert-11a74334b2da>

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ СЕМАНТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

Соловьев Сергей Юрьевич¹, Широкова Анастасия Сергеевна²

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

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: astasiya2000@icloud.com

В наше время каждый человек ежедневно сталкивается с большим количеством информации как в повседневной жизни, так и в профессиональной деятельности, а объемы новых знаний стремительно увеличиваются с развитием различных областей знаний. Значительная часть информации обычно

представлена в виде набора статей, что делает важными задачи структурирования знаний и систематизации терминов предметных областей.

Одним из известных и традиционных вариантов описания предметной области являются семантические сети, представляющие собой графы, в которых вершинами являются термины и понятия, а дугами — определенные для них семантические отношения [1]. На практике чаще всего встречаются так называемые терминологические сети — семантические сети с ограниченным множеством возможных семантических связей между терминами, поскольку создание даже таких сетей требует огромных трудозатрат и ресурсов. Такая модель данных позволяет говорить, что процесс раскрытия понятия состоит из выявления связанных с ним терминов и семантических отношений между ними [2]. Работы в области семантических сетей и системности терминов [3, 4] позволяют говорить о возможности исследований свойств терминологических сетей. Например, в работе [5] описываются формальные и побочные свойства семантических сетей.

Целью данной работы является выявление и исследование свойств терминологических сетей на основе ранее реализованного алгоритма идентификации семантических связей, который определяет бинарную связь между введенными терминами в терминологической сети предметной области.

В ходе данной работы на основе научных работ и возможностей алгоритма идентификации семантических связей были сформулированы основные свойства терминологических сетей и их отличительные черты. Исследование показало, что свойства зависят не только от математической модели представления предметной области, но и от особенностей естественного языка. Систематизация полученных результатов позволила формализовать свойства для дальнейшего внедрения в алгоритм возможности выявлять данные свойства у загруженной терминологической сети.

Результатом данной работы является программная реализация дополнительного функционала алгоритма идентификации семантических связей в терминологической сети. Таким образом, пользователю предоставляется выбор варианта взаимодействия с алгоритмом для исследования выбранной им терминологической сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Мальковский М. Г., Соловьев С. Ю. Терминологические сети // Материалы II Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирование интеллектуальных систем (OSTIS-2012)». Минск : БГУИР, 2012. С. 77–82.
- [2] Орлова М. В. Теоретические обоснования термина как языкового явления // Учёные записки. Научный журнал Курского государственного университета, 2010. С. 64–68.

- [3] Фогель А. Б. Системность как свойство термина (на материале автомобильной терминологии) // Культура народов Причерноморья, 2002. С. 154–157.
- [4] Лату М. Н., Левит А. А. Изучение системности термина при помощи семантической сети // Вестник КИГИ РАН, 2016. С. 116–124.
- [5] Мальковский М. Г., Соловьёв С. Ю. Универсальное терминологическое пространство // Труды международного семинара «Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии». М: Наука, 2002. Т. 1. С. 266–270.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ

Соловьёв Сергей Юрьевич¹, Бурлачко Константин Александрович²

¹ Кафедра алгоритмических языков, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: glosscom@mail.ru

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

В последнее время вместо традиционных подходов подавления шумов в речевых сигналах, используют методы, основанные на нейронных сетях, которые хоть и эффективны, но приводят к высоким в сравнении с традиционными методами вычислительным затратам. Данная работа посвящена разработке метода подавления шума в речевом сигнале с гибридным подходом, включающим применение как традиционных подходов обработки сигнала, так и использование нейронных сетей.

Описание алгоритма. На подготовительном этапе из речевого сигнала выделяются окна длиной 20 мс с 50% перекрытием. К каждому окну применяется быстрое преобразование Фурье с оконной функцией Ханна для получения спектра сигнала. Полученные спектры делятся на 34 полосы логарифмически увеличивающейся ширины. На этом же этапе применяется алгоритм поиска тонов (RAPT) [1].

Все полученные данные для 34 полос передаются на вход нейронной сети, состоящей из двух свёрточных слоёв и пяти управляемых рекуррентных блоков (GRU), что позволяет на выходе получить 34 коэффициента усиления полос и 34 коэффициента усиления гребчатого фильтра.

Для коэффициентов усиления полос дополнительно применяется сглаживающий алгоритм, позволяющий сделать итоговое звучание менее резким. После применения коэффициентов в частотной области производится обратное дискретное преобразование Фурье с перекрытием для получения итогового сигнала с подавленными шумами.

Используемые данные. Для обучения нейронной сети использовались синтезированные записи, состоящие из чистой речи и добавленного шумового сигнала различной громкости. Чистая речь представлена набором из 23000 записей со средней длиной 2,6 с. Для шума использовался набор DEMAND,

включающий различные виды шума различной громкости. Для проверки использовались записи чистой речи в количестве 4720 экземпляров и средней продолжительностью 10 с.

Оценка эффективности. В качестве критерия оценивания качества шумоподавления использовался стандарт PESQ [2], который включает методологию тестирования для автоматизированной оценки качества речи пользователем телефонной системы. Минимальная оценка - 1, максимальная - 4,5.

Результаты. Предложенная модель показала хорошие результаты при различных уровнях отношения сигнал/шум, результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Отношение сигнал/шум, дБ	0	5	10	15	20
Зашумленный сигнал	1.443	1.52	1.718	1.955	2.381
Обработанный сигнал	1.517	1.791	2.346	2.6	2.92

Табл. 1: Результаты для различных уровней сигнал/шум по шкале PESQ.

Таким образом, был разработан гибридный метод для подавления шумов в речевых сигналах, основанный на применении как традиционных подходов обработки сигнала, так и использование нейронных сетей. Метод является универсальным и показывает высокую эффективность независимо от внешних условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Talkin D. A Robust Algorithm for Pitch Tracking (RAPT) // Speech Coding and Synthesis. USA, 2003, Т. 1, С. 497-518
- [2] Rix A. W., Beerends J. G., Hollier M. P., Hekstra A. P. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)-a new method for speech quality assessment of telephone networks and codecs // 2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. USA, 2001, Т. 1, С. 749-752

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ КЛИЕНТОВ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

Соловьёв Сергей Юрьевич¹, Федосов Андрей Александрович²

¹ Кафедра алгоритмических языков, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: glosscom@mail.ru

² Кафедра алгоритмических языков, e-mail: and-fedosov@mail.ru

Становление российской банковской системы идёт в условиях жесткой конкуренции. Стратегические цели любого банка достигаются не текущими выгодами, а разумной долгосрочной политикой в вопросе управления пассивными и активными операциями.

Основную прибыль в настоящее время коммерческие банки получают от проводимых кредитных операций. От того, как кредитная организация их осуществит, напрямую зависит устойчивость и надежность банка. По этой причине приоритетным направлением при разработке и реализации кредитной политики в банке является разработка способов оценки кредитоспособности заемщиков, направленных на уменьшение кредитных рисков и объемов просроченной задолженности.

На сегодняшний день коммерческие банки применяют в своей работе несколько выработанных методик для оценки кредитоспособности заемщиков, самыми распространенными среди которых являются следующие:

- способ оценки кредитоспособности клиента, основанный на расчете его платежеспособности на основе величины среднемесячного дохода за последние 6 месяцев за вычетом всех обязательных платежей;
- система скоринга (наиболее распространенная) и аналогичные ей балльные системы оценки кредитоспособности клиента.

Для более полного определения надёжности потенциального клиента банка необходимо принять во внимание активы, которые могут перейти к заёмщику по наследству. Юридические нормы получения такового, зафиксированные в Российской Федерации на законодательном уровне [1-3], могут быть основой одного из методов оценки кредитоспособности клиента коммерческого банка. Принимая во внимание риски, связанные с использованием такого метода, можно дать возможность некоторым заёмщикам, которым было отказано ранее, всё же получить кредит, а банку, соответственно, прибыль [4].

Учитывая сложность наследственного права, оценка наследственных активов представляет собой нетривиальную задачу, для решения которой предлагается вопросно-ответная система, аккумулирующая основные положения наследственного права и позволяющая получить искомую оценку, а также оценку риска [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 21 октября 1994г.
- [2] Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 22 декабря 1995 г.
- [3] Федеральный закон РФ «О банках и банковской деятельности» от 3 февраля 1996 г № 17-ФЗ
- [4] Федеральный закон «О кредитных историях» от 30 декабря 2004 г. № 218-ФЗ
- [5] Банковское дело / Г. Н. Белоглазовой, Л. П. Кроливецкой. – М.: Финансы и статистика. – 2003. – 592 с.: ил.

АППРОКСИМАЦИЯ СМЫСЛА РУБРИКИ ПРОСТЫМИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯМИ

Сульженко Родион Вадимович¹, Добров Борис Викторович²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: rodion13par@gmail.com

² НИВЦ МГУ, e-mail: dobrov_bv@mail.ru

В реальных сервисах часто возникает задача классификации (рубрикации) текстов, а именно, отнесение текста к одной или нескольким заданным категориям. В широких предметных областях для достаточно больших рубрикаторов решение такой задачи методами машинного обучения затруднено из-за проблем с подготовкой представительного и непротиворечивого обучающего множества. Актуальной проблемой является разработка интерпретируемых методов рубрикации, что облегчает анализ противоречивых данных при разметке коллекций для обучения.

На реальных коллекциях данных — авторской (редакторской) разметке рубриками (по 7500 документов) научно-популярных статей и новостных текстов портала habr.com по тематике ИТ, рассматривались разные методы аппроксимации разметки, как с использованием больших предобученных моделей типа BERT, методов опорных векторов, так и интерпретируемых моделей.

В работе рассматриваются методы интерпретации смысла рубрики с помощью простых представлений. Рассмотрен т. н. алгоритм построения формул (ПФА) [1]. Алгоритм строит описание рубрики в виде булевой формулы – по сути, запроса к полнотекстовой информационной системе. Алгоритм основан на оптимизированном переборе различных логических предикатов на словах и терминах из онтологии RuTez [3]. Также рассматривались интерпретируемые методы деревьев решений [2].

Разработан интерфейс поддержки исследователя, который позволяет анализировать ошибки применяемых методов, противоречия в разметке данных.

В работе получены следующие результаты: разработаны методы для аппроксимации рубрики простыми представлениями, проведены эксперименты по оценке качества предложенных методов для широкой предметной области. Получены оценки применимости статистических и интерпретируемых методов классификации текстов на реальных коллекциях с зашумленной экспертной разметкой. Описываемые методы могут использоваться для классификации текстов, экспертной оценки содержания рубрики, оценки сложности описания рубрики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Агеев М. С., Добров Б. В., Макаров-Землянский Н. В. Метод машинного обучения, основанный на моделировании логики рубрикатора // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции:

- Труды 5- й Всерос. науч. кон. RCDL'2003 - СПб.: НИИ Химии СПбУ, 2003. С. 150158. <http://rcdl.ru/doc/2003/B2.pdf>
- [2] Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A. & Stone C.J. Classification and regression trees. Monterey // CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software, 1984. – 368 p.
- [3] Алексеев А. А., Добров Б. В., Лукашевич Н. В. Лингвистическая онтология – тезаурус рутез // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2013) : материалы III Междунар. научн.-техн. конф. (Минск, 21-23 февраля 2013г.) / редкол. : В. В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2013. – С. 153 – 158.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТВОРЧЕСКИМИ КАРТОТЕКАМИ

Чайчиц Даниил Александрович¹, Соловьёв Сергей Юрьевич²

¹ Кафедра алгоритмических языков, e-mail: chay-chitsd@mail.ru

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

В современном мире многие виды человеческой деятельности переходят в электронный формат, исключением не стала и творческая сфера. Каждый человек, занятый творчеством, создает что-либо исходя из своего опыта и знаний. Всю жизнь он копит свою коллекцию материалов, из которых черпает вдохновение. Однако простой набор материалов породит беспорядок и в коллекции, и в голове, поэтому необходима система упорядочивания имеющихся материалов [1]. Все материалы нужно отсортировать, промаркировать, разложить по полочкам. Раньше такая система оформлялась в виде бумажной картотеки [2,3]. В текущих реалиях разумнее такую картотеку вести в электронном виде.

Созданию такой системы и посвящена данная работа. В ней проведен обзор существующих решений, разработана схема системы, выделены ее основные качества.

По итогам обзора существующих аналогов и выбора требуемой функциональности была создана прототипная система. Карточки реализованы в блочном формате, позволяющем гибко менять структуру карточки и легко добавлять в нее новые компоненты. Видов блоков несколько - простой текст с форматированием, картинка, \LaTeX -формула. Карточки пользователей хранятся в качестве записей в БД и предоставляются для редактирования в виде web-страницы. Каждой карточке автор может присвоить определенное множество тегов, что позволит осуществить поиск по карточкам, их группировку и линеаризацию. Также в системе поддержана сортировка карточек. При желании пользователь может выбрать сортировку по времени создания/последнего редактирования, упорядочить по количеству тегов, а также по индексу качества карточки. Этот

индекс показывает качество заполнения и высчитывается на основе объема текста, количества различных блоков, количество использованных форматирований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Архангельский Г. и др. Тайм-менеджмент. Полный курс: Учебное пособие //Альпина Паблишер, 2012.
- [2] Альтшуллер Г. Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач //Альпина Паблишер, 2008.
- [3] Личные картотеки - фундамент творчества [Электронный ресурс].- электрон. дан. – URL: <https://www.trizland.ru/trizba/articles/312/>

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ПЛАГИАТА С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ УЧЕБНОГО КУРСА «ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON»

Барабанов Никита Сергеевич¹, Филенко Тимофей Олегович², Волканов Дмитрий Юрьевич³, Курячий Георгий Владимирович⁴

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: barabanov.ns@gmail.com

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: timofey.filenko@yandex.ru

³ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: volkanov@lvk.cs.msu.ru

⁴ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: FrBrGeorge@gmail.com

Плагиат встречается в любой сфере деятельности человека, в том числе и в сфере информационных технологий [1]. Для решения проблемы программного плагиата было создано и продолжает создаваться множество автоматизированных систем, каждая из которых разрабатывается с учетом конкретных требований и специфики.

Важно отметить, что грань между плагиатом и реализацией схожих идей очень тонка, что делает критичным участие человека в принятии окончательного решения. Поэтому задача распознавания плагиата является задачей предоставления максимального количества информации о схожих (с учетом намеренного исправления) участках программ.

В данной работе рассматривается задача построения системы выявления программного плагиата в условиях учебных курсов (в частности "Язык программирования Python"), объединенных по некоторым свойствам, а именно: малый размер программ (как правило не больше 50 строк) и большое количество очень похожих решений, при этом не являющихся плагиатом.

Задача построения такой системы включает в себя реализацию алгоритма выделения наиболее подозрительно похожих решений в отдельные группы, создание интерфейсов взаимодействия с другими модулями системы проверки домашних заданий, добавление функциональности для вынесения преподавателем окончательного решения (белый список заданий и решений, предло-

ставление информации о подозрительных элементах программ в удобном для восприятия человеком виде).

В ходе выполнения работы были рассмотрены различные способы представления программных текстов и алгоритмы их сравнения [2, 3], выбрано одно из уже реализованных средств выявления программного плагиата для решения подзадачи. Было проведено экспериментальное сравнение различных алгоритмов в условиях специфики задачи. А также предложено архитектурное устройство системы и интерфейсы взаимодействия с другими модулями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Cesare S., Xiang Y. Software Similarity and Classification // SpringerBriefs in Computer Science, 2012. 87 p.
- [2] Bulychev P. E., Kostylev E. V., Zakharov V. A. Anti-unification Algorithms and Their Applications in Program Analysis // PSI. 2009. p. 413–423
- [3] Comparison of similarity metrics for refactoring detection / B. Biegel, Q. D. Soetens, W. Hornig, S. Diehl, S. Demeyer // Proceeding of the 8th Working Conference on Mining Software Repositories – MSR '11. 2011. p. 53–62

СТРУКТУРА СЕРИИ ИЗМЕРЕНИЙ ЗАДЕРЖЕК МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ПАРАМИ УЗЛОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

Волчанинов Алексей Павлович¹, Сальников Алексей Николаевич²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: mr.volchaninov@yandex.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: salnikov@cs.msu.ru

Постановка задачи. В данной работе рассматривается проект Clustbench, предоставляющий набор средств для тестирования коммутационной среды Вычислительного кластера. При тестировании происходит сбор информации о задержках при передаче данных между MPI-процессами. Величины задержки сохраняются в трехмерной матрице $A \in R^3$, измерениям которой соответствуют: первое – номер процесса-отправителя, второе – номер процесса-получателя, третье – длина передаваемого сообщения. При этом, в ячейке матрицы записан вектор из четырёх компонент, содержащий статистические данные о задержке: дисперсию, математическое ожидание, медиану и минимум. Эти параметры вычисляются по серии измерений задержек. С целью более полного понимания процессов в коммуникационном оборудовании было решено изучить структуру собираемых данных.

Структура задержек. Для углубленного анализа получаемых измерений в серии в программный код проекта была добавлена функциональность, позволяющая собирать данные в виде четырехмерной матрицы $B \in R^4$, где три измерения совпадают с измерениями матрицы A , а четвертое измерение – номер итерации измерения задержки. Данные, собранные в виде матриц A и B ,

были получены при запуске программы в режимах `one_to_one` и `all_to_all` на кластерах ФИЦ ИУ РАН. Для анализа данных написана программа, создающая трехмерный срез матрицы B при заданной длине сообщения. При анализе полученных данных, была выдвинута гипотеза о «цикличности» наблюдаемых измерений. Для проверки этой гипотезы было решено провести дискретное преобразование Фурье. В результате чего была написана программа, формирующая матрицу $C \in R^4$, первые два измерения которой совпадают с соответствующими измерениями матрицы B . Третье – номер окна для преобразования Фурье, а четвертое – номер гармоники. В ячейках этой матрицы содержатся мощности соответствующих гармоник. Все результаты преобразования Фурье подтверждают цикличность, а также выделяется наиболее мощная гармоника, что говорит о наличии очень часто наблюдаемого значения задержки. Замечено, при тестировании в режиме `all_to_all` происходят резкие скачки в величине задержки. Выдвинуты две гипотезы о причинах подобного поведения. Первая заключается в том, что из-за большого количества сообщений, коммутатор определяет происходящее как DDoS атаку и меняет режим работы. Суть второй гипотезы состоит в том, что коммутатор, испытывая высокую нагрузку, перегревается. Обе причины могут привести к вынужденному уменьшению пропускной способности сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хабирова Э. Р., Сальников А. Н., Лебедев Р. Д. Метод описания топологической структуры вычислительных кластеров основанный на операциях произведений подграфов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика 2022.
- [2] Сальников А. Н., Андреев Д. Ю., Лебедев Р. Д. Инструментальная система для анализа характеристик коммуникационной среды вычислительного кластера на основе функций стандарта MPI // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика.
- [3] Сальников А. Н., Бегаев А. А. Инструментальная система покомпонентного тестирования сети вычислительного кластера // Труды Международной конференции «Параллельные вычислительные технологии (PaVT) 2021»
- [4] Кандидов В. В., Чесноков С. С., Шленов С. А. Дискретное преобразование Фурье // Москва 2019.

О МЕТОДЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ CPU В ОБЛАКАХ

Задорожная Юлия Андреевна¹, Пашков Василий Николаевич²

¹ Кафедра автоматизации систем и вычислительных комплексов, e-mail: s02190029@gse.cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем и вычислительных комплексов, e-mail: pashkov@lvk.cs.msu.su

Прогнозирование использования CPU является важной и актуальной задачей, так как этот вычислительный ресурс является одним из самых критически важных ресурсов в облачных вычислениях. Если недостаточно ресурсов CPU, приложения могут работать медленно, а пользователи могут столкнуться с задержками и проблемами доступа к сервисам. Если же ресурсов CPU избыток, то есть одна из виртуальных машин сервера работает непрерывно, превышая допустимую нагрузку, а другая имеет минимальную загрузку CPU - это может привести к неоправданным расходам на облачные услуги со стороны провайдера, например, из-за неэффективного использования вычислительного ресурса.

Если ресурсов CPU избыток, это означает, что компьютерная система имеет свободные ресурсы CPU, которые не используются в настоящее время. Это может происходить в различных сценариях, например, если система работает с небольшим количеством задач или если оборудование CPU в системе превышает требования для запущенных задач.

Для облачных провайдеров ключевыми требованиями к прогнозу ресурсов является точность, временное окно прогнозирования, скорость и ресурсоемкость. Знание того, как будет использоваться CPU в будущем, позволяет проводить превентивные меры для балансировки нагрузки, оптимизировать и вовремя масштабировать ресурсы, чтобы обеспечить бесперебойную работу системы и улучшить качество обслуживания клиентов.

Пусть сервер обладает следующим набором физических ресурсов, заданным в виде вектора $H = (V_{CPU}^{host}, V_{RAM}^{host}, V_{SSD}^{host}, \dots)$. Рассмотрим:

— V_{CPU} - объем физических ресурсов CPU сервера;

Пусть на заданном сервере запущено N виртуальных машин (VM). Каждая виртуальная машина характеризуется набором показателей потребления физических ресурсов сервера в каждый момент времени:

$$VM_i(t) = (v_i^{CPU}(t), v_i^{RAM}(t), v_i^{SSD}(t), \dots), i = 1..N$$

Таким образом, для поставленной задачи при нормальном режиме функционирования облака, в каждый момент времени суммарное количество потребляемых физических ресурсов сервера всеми запущенными виртуальными машинами на нем не должно превышать его доступных объемов CPU.

Для предотвращения перегрузок и сбоев системы, возникающих при недостатке физических ресурсов, необходимо иметь время для принятия решения о выключении виртуальной машины, ее миграции или для запроса дополнительных ресурсов и подготовкой их к использованию. Это время можно сократить, заранее спрогнозировав потребление ресурсов на некоторый краткосрочный период времени, используя методы глубокого машинного обучения [1].

Задача прогнозирования CPU в облаке в данной работе ведется на основе данных Alibaba Cloud trace 2018 [2], собранных за месяц. Она заключается в использовании исторических данных о загрузке CPU сервера в облачной среде Alibaba Cloud для предсказания будущей нагрузки на CPU в данной среде на краткосрочный период времени. Датасет содержит информацию о ресурсах сервера, использованных в течение дня, включая использование CPU, памяти, сети и диска.

В работе проводится сравнительный анализ существующих подходов и методов краткосрочного прогнозирования использования основных ресурсов сервера виртуальными машинами и их сравнительный анализ, исследуя статистическую модель для анализа временных рядов ARIMA [3], однородные нейронные сети такие, как LSTM [3], GRU [4], а также гибридные нейронные сети в виде LSTM и CNN [5].

В экспериментальной части исследования предлагаемое решение основывается на прогнозировании CPU, используя такие вычислительные ресурсы сервера, как CPU, RAM и загрузка дискового пространства, и сравнение результатов однородных и гибридных методах, состоящих из нейронных сетей (ResNet, 1D-CNN, BI-LSTM) и статистической модели для анализа временных рядов (ETS - Error-Trend-Seasonality). По итогам прогноза формируются стандартные метрики показателя качества прогноза (MAE, RMSE, SMAPE) на несколько шагов дискретного времени вперед.

Анализ, описание и предобработка данных выполнена с помощью Python-библиотек (Pandas, NumPy, Prophet и Statsmodels). Она заключается в исследовании временного ряда CPU, в нахождении зависимостей CPU от других вычислительных ресурсов виртуальной машины. Реализация выбранных методов для экспериментального исследования проведена на языке Python3 с помощью технологий PyTorch, TensorFlow и Keras.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Hsieh S. Y. et al. Utilization-prediction-aware virtual machine consolidation approach for energy-efficient cloud data centers //Journal of Parallel and Distributed Computing. – 2020. – Т. 139. – С. 99-109.
- [2] <https://github.com/alibaba/clusterdata/tree/master/cluster-trace-v2018>
- [3] Janardhanan D., Barrett E. CPU workload forecasting of machines in data centers using LSTM recurrent neural networks and ARIMA models //2017

12th international conference for internet technology and secured transactions (ICITST). – IEEE, 2017. – С. 55-60.

- [4] Cheng Y. et al. Gru-es: Resource usage prediction of cloud workloads using a novel hybrid method //2019 IEEE 21st International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 17th International Conference on Smart City; IEEE 5th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS). – IEEE, 2019. – С. 1249-1256.
- [5] Ouham S., Hadi Y., Ullah A. An efficient forecasting approach for resource utilization in cloud data center using CNN-LSTM model //Neural Computing and Applications. – 2021. – Т. 33. – С. 10043-10055.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАЗБОРА ЗАГОЛОВКОВ ПАКЕТОВ В СЕТЕВОМ ПРОЦЕССОРНОМ УСТРОЙСТВЕ

**Зайдуллин Ризван Рустемович¹, Смелянский Руслан Леонидович²,
Волканов Дмитрий Юрьевич³**

¹ Кафедра Автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: s02190101@gse.cs.msu.ru

² Кафедра Автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: smel@cs.msu.su

³ Кафедра Автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: volkanov@asvk.cs.msu.ru

Основной минус традиционных компьютерных сетей - определение их в терминах физической топологии, потому что после того, как сеть создана, изменить ее сложно. Решить эту проблему могут программно-конфигурируемые сети (ПКС). В рамках подхода ПКС, программное обеспечение может динамически конфигурировать сеть, что позволяет ей адаптироваться к меняющимся требованиям, поэтому можно перенести некоторые функции, реализованные аппаратно, на программный уровень.

Первым этапом обработки пакета в сетевых устройствах является разбор заголовка. При реализации этого этапа физически, добавить новый функционал не представляется возможным без изменения производственного процесса изготовления устройства и последующей замены старого оборудования новым, что очень трудоемко и дорого [1]. Решением этой проблемы может быть программируемый процесс разбора. Сравнение различных подходов такого решения и является целью этой работы.

Формальная постановка заключается в следующем: Пусть дан битовый массив (пакет) и пустая структура полей заголовков, которую необходимо заполнить в процессе разбора пакета. Каждое поле в структуре может либо заполненным соответствующим ему полем из заголовка, либо быть пустым. Представим множество полей заголовков в виде алфавита

$D = \{A_{E_1}, \dots, A_{E_k}, B_{VL_1}, \dots, B_{VL_i}, \dots, N_{U_1}, \dots, N_{U_j}\}$, в котором каждому слову соответствует поле определенного заголовка, например, A_{E_1} - первое поле

заголовка Ethernet. Представим разбираемый пакет битовой строкой. Тогда наша задача сведется к представлению этой строки в виде набора слов из алфавита D. Концом разбора будем считать заполнение всей структуры.

В работе был проведен обзор известных вариантов архитектур методов разбора заголовков [1-4]. На основе этого обзора для реализации были выбраны модульная и конвейерная схема. Эти схемы были исследованы по критерию скорости обработки пакетов на различных вариантах входного трафика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Design principles for packet parsers / Glen Gibb, George Varghese, Mark Horowitz, Nick McKeown // Architectures for Networking and Communications Systems / IEEE. — 2013. — Pp. 13–24
- [2] Attig, Michael. 400 Gb/s programmable packet parsing on a single FPGA / Michael Attig, Gordon Brebner // 2011 ACM/IEEE Seventh Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems / IEEE. — 2011. — Pp. 12–23.
- [3] Leaping multiple headers in a single bound: Wire-speed parsing using the Kangaroo system / Christos Kozanitis, John Huber, Sushil Singh, George Varghese // 2010 Proceedings IEEE INFOCOM / IEEE. — 2010. — Pp. 1–9.
- [4] Puš, Viktor. Low-latency modular packet header parser for FPGA / Viktor Puš, Lukáš Kekely, Jan Kořenek // 2012 ACM/IEEE Symposium on Architectures for Networking and Communications Systems (ANCS) / IEEE. — 2012. — Pp. 77–78.

АЛГОРИТМ СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАФИКА В СЕТИ

Морозова Вероника Геннадьевна¹, Степанов Евгений Павлович²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: morozovavg@ty.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: estepanov@lvk.cs.msu.ru

Задача оптимизации динамически-изменяющихся систем имеет важное значение во многих сферах современности, например, в управлении дорожной сетью, производством, Интернет-трафиком. В данной работе рассматривается применение алгоритма из класса методов случайного поиска.

Рассмотрим задачу поиска оптимального распределения потоков в сети. Распределение трафика задается значениями весов для каналов, с помощью подбора которых можно управлять построением маршрутов.

В исследованиях, посвященных балансировке трафика, традиционно рассматривается средняя и максимальная загрузка канала [1]. В ходе исследования будем считать распределение трафика оптимальным, если сумма дисперсий показателя загрузки каналов (обозначаемая Ф-функцией) является минимальной.

Существует множество алгоритмов случайного поиска, которые применяются для различных практических и исследовательских задач [2]. Эффективность поиска оптимального решения определяется рядом характеристик, которые делятся на локальные (потери на поиск, вероятность ошибки) и нелокальные (критерий точности решения, критерий числа шагов, критерий надежности поиска) [3]. По результатам обзора схожих работ принято решение использовать генетический алгоритм, построенный на основе модели биологической эволюции и методов случайного поиска [4, 5]. Выбор производился по следующим критериям: средняя локальная скорость оптимизации, точность решения, надежность поиска (вероятность оптимизации системы с заданной точностью).

В предложенном алгоритме популяция представляет собой набор весов для каналов, а целевая функция выступает функцией приспособленности. Она направляет эволюцию в сторону оптимального решения, и на основании нее отбираются лучшие «представители» популяции.

Проведено исследование по сопоставлению значения целевой функции для двух подходов к распределению весов. Рассматривались случай составления распределения потоков без учета точки назначения каждого потока, и случай, когда потоки распределяются на основании каждой такой точки. При этом стоит отметить, что расчет весов для каждой точки назначения расширяет пространство поиска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] A SDN-Based Dynamic Traffic Scheduling Algorithm / H. Ren, X. Li, J. Geng, J. Yan // 2016 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC), Chengdu, China, 2016. P. 514–518.
- [2] Минаков И. А. Сравнительный анализ некоторых методов случайного поиска и оптимизации // Известия Самарского научного центра РАН. 1999. № 2. С. 286–293.
- [3] Кушербаева В. Т., Сушков Ю. А. Статистическое исследование алгоритма случайного поиска // Стохастическая оптимизация в информатике, издательство Санкт-Петербургского государственного университета. 2007. № 3. С. 21–36.
- [4] Растринин Л. А. Статистические методы поиска // М. :Наука, 1968.
- [5] Курейчик В. М. Генетические алгоритмы // Известия ЮФУ. Технические науки. 1998. № 2. С. 4–7.

МЕТОД ФОРМАЛЬНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕВОГО ПРОТОКОЛА ДЛЯ СЕТЕВОГО ПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА

Никифоров Никита Игоревич¹, Волканов Дмитрий Юрьевич²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: nickiforov.nik@gmail.com

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: volkanov@asvk.cs.msu.ru

В современном мире идёт активная разработка сетевых устройств. Они должны поддерживать сетевые протоколы для передачи пакетов по сети. Для функционирования сетевых протоколов на сетевых устройствах создаётся реализация сетевого протокола.

В данной работе проводится исследование методов верификации реализации сетевого протокола для архитектуры сетевого процессорного устройства (СПУ).

Пусть даны спецификация сетевого протокола TTEthernet в виде формальных требований, реализация сетевого протокола TTEthernet в командах ассемблера СПУ. Необходимо разработать метод верификации реализации по спецификации рассматриваемого сетевого протокола TTEthernet [1].

Предлагаемый в этой работе метод состоит из следующих этапов. На первом этапе необходимо разработать полную модель реализации. На втором этапе необходимо построить отношение абстракции [2], которое позволит уйти от некоторых особенностей архитектуры и упростить модель. На третьем этапе необходимо разработать отношение би-симуляции [2,3], которое позволит также сократить модель для проведения автоматической верификации. Четвёртый этап заключается в трансляции модели в описание данной модели на языке средства автоматической верификации. На пятом этапе проводится автоматическая верификация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ammar, M., Mohamed, O. A. Formal verification of Time-Triggered Ethernet protocol using PRISM model checker // IEEE, 2011. С. 1–5.
- [2] Klein, G., Elphinstone, K., Heiser, G., Andronick, J., Cock, D., Derrin, P., Winwood, S. seL4: Formal verification of an OS kernel // Proceedings of the ACM SIGOPS 22nd symposium on Operating systems principles. 2009. С. 207–220.
- [3] Репинский, У. Верификация на основе симуляции с нахождением и исправлением ошибок для С-дизайнов. // Программные продукты и системы. 2012. № 4. С. 229-237.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСШТАБИРОВАНИЯ АЛГОРИТМА МНОГОАГЕНТНОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ ТРАФИКА

**Озерова Дарья Александровна¹, Степанов Евгений Павлович², Антоненко
Виталий Антоненко³**

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: s02190164@gse.cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: estepanov@lvk.cs.msu.ru

³ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: anvial@lvk.cs.msu.ru

Инженерия трафика (Traffic Engineering, TE) — хорошо зарекомендовавший себя механизм, который играет фундаментальную роль в производительности современного Интернета. Его основной целью является обеспечение эффективной и надежной работы сети при условии оптимизации использования сетевых ресурсов. Одной из реализаций TE является алгоритм балансировки трафика, критерием оптимизации которого является минимизация максимальной нагрузки на сетевой канал. В данном алгоритме реализована архитектура, сочетающая в себе многоагентное обучение с подкреплением (Multi-Agent Reinforcement Learning, MARL), графовые нейронные сети (Graph neural networks, GNN) и консистентное хеширование (Consistent Hashing, CH). На начальном этапе алгоритма запускается графовая нейросеть MPNN (Message Passing Neural Network), которая принимает на вход сетевую топологию в виде ориентированного мультиграфа и возвращает его векторное представление, где на выходе для каждого узла будет сформирован собственный вектор значений, который в дальнейшем будет использоваться для формирования хеш-весов для ребер сетевой топологии.

Недостаток алгоритма заключается в сложности масштабирования данной модели с точки зрения роста размера топологии сети. Работа MPNN на больших сетевых топологиях требует большого объема оперативной памяти для хранения векторного представления полного графа на каждой итерации и характеризуется долгим временем выполнения.

Данная работа посвящена разработке и реализации модуля динамического масштабирования вышеописанного алгоритма. Для минимизации использования ресурсов вычислительной системы было принято решение распараллелить работу MARL-GNN-CH алгоритма на разных частях сетевой топологии. Для решения поставленной задачи был проведен обзор алгоритмов разбиения графа на подграфы, основными критериями которого были сбалансированность разбиения и минимизация размера среза. Также было проведено функциональное и нагрузочное тестирование оптимизированного алгоритма и откалиброваны значения метрик масштабирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bernárdez, G., Suárez-Varela, J., López, A., Wu, B., Xiao, S., Cheng, X., ... & Cabellos-Aparicio, A. (2021, November). Is machine learning ready for traffic engineering optimization?. In 2021 IEEE 29th International Conference on Network Protocols (ICNP) (pp. 1-11). IEEE.
- [2] Kernighan, B. W., & Lin, S. (1970). An efficient heuristic procedure for partitioning graphs. The Bell system technical journal, 49(2), 291-307.
- [3] Gupta, J. K., Egorov, M., & Kochenderfer, M. (2017). Cooperative multi-agent control using deep reinforcement learning. In Autonomous Agents and Multiagent Systems: AAMAS 2017 Workshops, Best Papers, São Paulo, Brazil, May 8-12, 2017, Revised Selected Papers 16 (pp. 66-83). Springer International Publishing.
- [4] Zeng, H., Zhou, H., Srivastava, A., Kannan, R., & Prasanna, V. (2019). Graphsaint: Graph sampling based inductive learning method. arXiv preprint arXiv:1907.04931.
- [5] Chiang, W. L., Liu, X., Si, S., Li, Y., Bengio, S., & Hsieh, C. J. (2019, July). Cluster-gcn: An efficient algorithm for training deep and large graph convolutional networks. In Proceedings of the 25th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery & data mining (pp. 257-266).

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКОЙ В КАНАЛАХ НАЛОЖЕННОЙ СЕТИ

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.

В работе основное внимание уделено АУП, которые учитывают 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 сами оценивают параметры качества сервиса во время работы. Их оценки не всегда корректны, что приводит к установке неоптимального окна перегрузки, и как следствие - заполнению буфера получателя или неполному использованию доступной пропускной спо-

собности. В работе рассматривается задача нахождения оптимального размера окна перегрузки на основе данных описанного прогноза.

В формальной постановке задачи входные параметры представлены тройкой RTT, L, R. Требуется найти окно перегрузки - CWND. В работе предложен алгоритм на основе BBR FORECAST [9]. Особенность алгоритма BBR FORECAST заключается в состоянии FORECAST, в котором АУП находится в начале работы и до тех пор, пока прогноз остается верным. Ошибка в прогнозе обнаруживается при отклонении круговой задержки и процента потери пакетов на заданный долю. В таком случае АУП переходит в состояние PROBE_RTT [3] и действует далее по алгоритму BBRv2 [3].

Основной идеей рассматриваемого в работе подхода является поиск окна перегрузки решением задачи регрессии методом машинного обучения (ML) с учителем [5] в состоянии FORECAST. Для выбора такого алгоритма проведен обзор, в результате которого выбраны случайный лес [6], градиентный бустинг [7], полиномиальная регрессия [8] по следующим критериям: длительность обучения модели, количество гиперпараметров, доля ошибки, интерпретируемость. Для выбранных методов проведен сравнительный анализ, по итогам которого самый точный регрессор встроен в АУП. Предлагается методика сравнения соблюдения прогноза предложенного алгоритма и алгоритма без прогноза на модели клиент-сервера реализации протокола QUIC ngtcp2 [4].

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] Neal Cardwell, Yuchung Cheng - BBR Congestion Control. Сентябрь 2022
- [4] ngtcp2 [HTML] <https://github.com/ngtcp2/ngtcp2/>
- [5] scikit-learn - Supervised Learning [HTML] https://scikit-learn.org/stable/supervised_learning.html
- [6] scikit-learn - Random Forest [HTML] <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestRegressor.html>
- [7] scikit-learn - Gradient Boosting [HTML] <https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/parameter.html>
- [8] scikit-learn - Polynomial Features [HTML] <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.PolynomialFeatures.html>
- [9] Степанов Е. П., Оконишников А. А. Разработка алгоритма управления перегрузкой на основе прогноза состояния канала для протокола пользовательских дейтаграмм // Ломоносовские чтения-2022: научная конференция,

факультет ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова. Тезисы докладов. — СЕКЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ. — Москва: Москва, 2022. — С. 160–161.

КРИТЕРИИ АНОМАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ И ИХ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ

Писковский Виктор Олегович¹, Лычева Екатерина Олеговна²

¹ Факультет ВМК, МГУ имени М.В.Ломоносова, e-mail: vpiskovski@lvk.cs.msu.ru

² Факультет ВМК, МГУ имени М.В.Ломоносова, e-mail: elycheva@lvk.cs.msu.ru

В настоящее время облачные вычислительные среды (ОВС) с применением программно-конфигурируемых сетей (ПКС) стали практически безальтернативным способом построения информационных инфраструктур. Для выбора модели при их создании существенное значение имеет оценка текущего ОВС, выявления периодов аномальной загрузки её узлов и компонентов, формулировки статистических гипотез появления аномальной загрузки в наблюдаемой выборке данных и определения меры подтверждения этих гипотез.

Задача авторов заключается в установлении зависимостей между использованием виртуальными машинами различных предоставленных им физических ресурсов и определении направления, в котором возможна оптимизация.

В ходе исследования были проанализированы имеющиеся данные о использовании виртуальными машинами выделенных им ресурсов аппаратной платформы. Всего 25% машин используют более 30% предоставленной им мощности ЦПУ. Такие результаты указывают на то, что имеется потенциал в области оптимизации использования ресурсов при распределении нагрузки в ОВС. Аналогичные выводы делаются в статье [1].

В работе рассматривается исследование взаимозависимости между использованием ресурсов узла компьютерной сети, построенной в ОВС. Метод исследования с применением коэффициента корреляции Спирмена позволил получить более информативные результаты по сравнению с методом на основе коэффициента корреляции Пирсона, так как использует ранжированные данные и менее чувствителен к выбросам [2].

В результате исследования подтверждены гипотезы о наличии взаимозависимости между использованием ресурсов вычислительной машины. Ожидается, что в дальнейшем будут сформулированы критерии аномального состояния узлов компьютерной сети и их взаимозависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Rahul Ghosh, Vijay K. Naik Biting off Safely More than You Can Chew: Predictive Analytics for Resource Over-commit in IaaS Cloud

- [2] Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации // Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСЦИПЛИН ОЧЕРЕДИЗАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Путилов Георгий Константинович¹, Степанов Евгений Павлович²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: georg-putilov@mail.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: estepanov@lvk.cs.msu.ru

Технология сетей 5G является очень привлекательной для промышленных и научных областей благодаря своей гибкости и эффективности [1]. Технология разбиения сети на виртуальные пласты является ключевой возможностью в сетях 5G и играет важную роль в улучшении эффективности сети и поддержке различных промышленных приложений, например, путем выделения определенных ресурсов для конкретных приложений, что позволяет сократить время задержки и обеспечить более высокую скорость передачи данных.

Разбиение сети на виртуальные пласты позволяет разделять одну физическую сеть на несколько виртуальных сетей, каждая из которых может быть настроена для обеспечения определенных требований QoS (Quality of Service) [2], таких как скорость передачи данных, задержка и пропускная способность. Главный вопрос возникающий при разбиении сети на виртуальные пласты – распределение разделяемых ресурсов сети таким образом, чтобы выполнялись требования к QoS заявок всех пользователей. В настоящей работе рассматривается распределение следующих ресурсов: буферная память коммутатора и пропускная способность каналов. Для регулирования доступа к этим ресурсам используются различные дисциплины очередизации. Настоящая работа посвящена исследованию влияния дисциплин очередизации на количество виртуальных пластов, которым сеть может гарантировать требуемое QoS.

Рассмотрим сеть с произвольной топологией. Пусть поступило множество заявок на выделение виртуальных пластов (C). Будем считать, что новые заявки не поступают и множество остаётся неизменным. Каждая заявка представляет из себя требования к задержке и пропускной способности, а также маршрут следования. Маршрут следования – это список узлов сети, на которых необходимо выделить ресурсы, гарантирующие выполнение требований QoS. Будем считать, что множество заявок разбито на классы обслуживания. Множество заявок считается удовлетворённым, если выделенные ресурсы ($\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_n$) сети гарантируют обеспечение требуемого QoS для каждой заявки ($\alpha(C, \vec{q}_1, \dots, \vec{q}_n) = 1$).

Целью работы является выбор дисциплины очередизации (d), которая удовлетворит максимальное количество заявок среди исследуемых дисциплин (Q), для заданного распределения по классам обслуживания.

$$\operatorname{argmax}_{d \in Q, S \subseteq C: \alpha(S, \vec{q}_1, \dots, \vec{q}_n) = 1} |S|$$

В работе проводится исследование дисциплин очередизации: Weighted fair queuing (WFQ) [3], Worst-case fair weighted fair queuing (WF^2Q) [4], Deficit weighted round robin queuing (DWRR) [5], Low Latency Queuing (LLQ) [6] с использованием эмулятора сети Mininet [7] и существующих алгоритмов расчёта параметров дисциплин очередизации. Для каждой из перечисленных дисциплин на заданном наборе топологий сети решается описанная выше задача. В докладе будут представлены результаты сравнительного анализа эффективности дисциплин очередизации в решении задачи разбиения сети на виртуальные пласты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Patrick Filkins Private 5G: «Empowering Digitalization for Enterprise and Industrial Organizations» November 2021, IDC #US48341321
- [2] Vegesna S. IP quality of service. – Cisco press, 2001.
- [3] Demers A., Keshav S., Shenker S. Analysis and simulation of a fair queueing algorithm // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 1989. – Т. 19. – №. 4. – С. 1–12.
- [4] Zhang H., Bennett J. C. R. WF2Q: worst-case fair weighted fair queueing // IEEE INFOCOM. – 1996. – Т. 96. – С. 120–128.
- [5] Shreedhar M., Varghese G. Efficient fair queueing using deficit round robin // Proceedings of the conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication. – 1995. – С. 231–242.
- [6] Fischer M. J., Masi D. M. B., Shortle J. F. Approximating low latency queueing buffer latency // 2008 Fourth Advanced International Conference on Telecommunications. – IEEE, 2008. – С. 188–194.
- [7] Kaur K., Singh J., Ghumman N. S. Mininet as software defined networking testing platform // International conference on communication, computing & systems (ICCCS). – 2014. – С. 139–42.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЯ С МИНИМИЗАЦИЕЙ ПИКОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА

Скворцова Дарья Владимировна¹, Балашов Василий Викторович²

¹ Кафедра АСВК, e-mail: s_dasha-00@mail.ru

² Кафедра АСВК, e-mail: hbd@cs.msu.ru

В докладе рассматривается задача построения однопроцессорного расписания, минимизирующего пиковое потребление ресурса в вычислительной системе (ВС). Рабочая нагрузка на ВС задана в виде ориентированного ациклического графа, определяющего отношение частичного порядка между работами, соответствующими вершинам. Каждой работе сопоставлено неотрицательное целое число - объем ресурса, занимаемого работой. Ресурс высвобождается после завершения выполнения последнего непосредственного последователя работы. Примером ресурса может служить память, выделяемая под результат работы.

В работе [1] предложен оптимальный алгоритм решения схожей задачи, в которой ресурс сопоставлен ребрам графа, а сам граф является последовательно-параллельным. Однако реальные графы работ далеко не всегда относятся к этому классу, поэтому представляет интерес разработка алгоритмов решения задачи для более общего случая.

Корректное расписание для рассматриваемой задачи представимо в виде перестановки номеров работ, удовлетворяющей ограничению частичного порядка. Для таких перестановок известны генетические операции мутации и скрещивания, в связи с чем целесообразно построение и исследование генетических алгоритмов (ГА) решения задачи.

В докладе рассмотрены различные варианты построения ГА для поставленной задачи, такие как: островные ГА; ГА с формированием начальной популяции при помощи рандомизированного жадного алгоритма; традиционный ГА с различными вариантами операций. Приведены результаты экспериментального исследования рассмотренных вариантов ГА. Для сравнения приведены результаты работы жадного алгоритма, последовательно достраивающего расписание и на каждом шагу минимизирующего значение целевой функции на частичном расписании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kayaaslan E., Lambert T., Marchal L., Ucar B. Scheduling Series-Parallel Task Graphs to Minimize Peak Memory : Research Report RR-8975. Inria Grenoble Rhone-Alpes, Universite de Grenoble. 2016. 35 p.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАФОВЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦИИ В ПКС СЕТЯХ

Тюшев Максим Владимирович¹, Смелянский Руслан Леонидович²

¹ Кафедра Автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: s02200498@gse.cs.msu.ru

² Кафедра Автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: sme1@cs.msu.ru

Программно конфигурируемые сети (ПКС) – это сети с централизованным программным управлением, которые стали доминирующей технологией в сетях передачи данных [1]. Процесс внедрения в практику ПКС сетей заставляет переосмысливать решения проблем, которые были разработаны для традиционных сетей. Одной из таких проблем является проблема маршрутизации.

Традиционные алгоритмы маршрутизации адаптированы для ПКС сетей. Однако одним из критических параметров таких алгоритмов является сложность, определяющая время сходимости сети. В ПКС сети на этот параметр существенное влияние оказывают количество сетевых устройств в контуре данных и их максимальная удаленность от контура управления. Традиционные сети не используют базы данных для управления топологией, так как размер топологии в автономной системы выбирают так, чтобы ее можно было бы представить структурой данных с операциями поиска пути в графе приемлемой сложности. Для ПКС сетей такой подход не годится из-за сложности контура управления. В настоящее время становятся популярными графовые базы данных (ГБД) [2], которые оптимизированы для хранения, обработки и анализа данных, представленных в виде структуры графа.

Дана транспортная сеть с графом, на котором задана функция разметки. Известен поток отказов линий в сети в дискретный момент времени. Требуется выбрать алгоритм маршрутизации из двух возможных - стандартный и использующий графовую базу данных - для минимизации функции стоимости. Функция стоимости для каждого алгоритма определяется как время, затраченное на расчет маршрутов. Дополнительно требуется определить границы применимости обоих алгоритмов в зависимости от размеров топологии сети и степени заполненности матрицы смежности.

Исследование проводится методом статистических испытаний на стенде, который включает имитационную модель сети (контура данных), сетевую операционную систему RunOS [1] и ее приложения: стандартное приложение «маршрутизация» и приложение маршрутизации, использующее графовую базу данных Neo4j [2]. Эта ГБД была выбрана выбрана за ее эффективность, мощный язык запросов и встроенную поддержку сложных графовых операций. Топология сети задается с помощью сетевого эмулятора Mininet [3]. Задавая топологию и поток ошибок будем измерять время сходимости сети для обоих приложений. По результатам экспериментов будет построена зависимость

времени сходимости сети от входных параметров для каждого алгоритма маршрутизации.

В докладе сравнивается традиционный метод расчета маршрута в ПКС сети, управляемой контроллером RunOS, с модифицированным подходом, использующим графовую базу данных Neo4j. Ожидается, что модифицированный подход уменьшит время сходимости сети в больших топологиях, которое не может быть обеспечено стандартным приложением маршрутизации.

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] Emil Eifrem, Ian Robinson, Jim Webber. Graph Databases New Opportunities For Connected Data. O'Reilly, Year: 2015. ISBN: 978-1491930892.
- [3] Kaur K., Singh J., Ghumman N. S. Mininet as software defined networking testing platform //International conference on communication, computing & systems (ICCCS). – 2014. – С. 139-42.

РАЗРАБОТКА АКТИВНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КАНАЛОВ НАЛОЖЕННОЙ СЕТИ

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 наложенной сети решение задачи оценки качества канала затруднено из-за недостатка информации о физической сети и маршруте. В [1] показывается необходимость в оценке качества каналов наложенной сети, например, при выборе оптимального вычислительного узла для удовлетворения SLA. Примерами наложенной сети могут служить VPN-сети, NPC [1].

Предлагается рассматривать задачу оценки качества канала наложенной сети, как оценку следующих параметров: доступная пропускная способность (ДПС), процент потерь пакетов, круговая задержка (RTT), джиттер. В данной работе предполагается неизменность физического маршрута между хостами.

Методы оценки параметров качества сервиса можно разделить на *активные*, посылающие служебные пакеты, и *пассивные*, анализирующие сторонний пользовательский трафик. Предлагается разработать активный метод для возможности оценивать качество канала между хостами независимо от наличия пользовательского трафика.

Были проведены обзоры существующих методов оценки ДПС и процента потерь пакетов, по результатам которого были выбраны:

— методы оценки ДПС: yuz [2], assolо [3] — активные методы;

— метод оценки процента потерь — EULR [4], использующий данные о задержке для определения процента потерь.

Yaz и assolo используют UDP-пакеты, EULR — пассивный метод, поэтому для оценки RTT и джиттера предложено использовать утилиту ping [5].

В работе предложен метод *ChEst*, согласно которому оценка качества канала проводится при помощи двух агентов на отправителе и получателе, между которыми устанавливаются потоки ping и метода оценки ДПС. В зависимости от объема собранной статистики по задержке и потерям на агентах, процент потерь пакетов в наложенном канале может быть оценен либо методом EULR, либо как отношение количества потерянных пакетов к общему количеству отправленных методом пакетов.

Для предложенного подхода исследована точность оценки параметров канала в среде Mininet [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Smeliansky R. Network Powered by Computing //2022 International Conference on Modern Network Technologies (MoNeTec), Moscow, Russian Federation. 2022, pp. 1–5.
- [2] Sommers J., Barford P., Willinger W. A proposed framework for calibration of available bandwidth estimation tools //11th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'06). – IEEE, 2006. – С. 709–718.
- [3] Goldoni E., Rossi G., Torelli A. Assolo, a new method for available bandwidth estimation //2009 Fourth International Conference on Internet Monitoring and Protection. – IEEE, 2009. – С. 130–136.
- [4] Ishibashi K., Aida M., Kuribayashi S. Estimating packet loss-rate by using delay information and combined with change-of-measure framework //GLOBECOM'03. IEEE Global Telecommunications Conference (IEEE Cat. No. 03CH37489). – IEEE, 2003. – Т. 7. – С. 3878–3882.
- [5] Ping [HTML] (<https://linux.die.net/man/8/ping>)
- [6] Mininet [HTML] (<http://mininet.org/>)

ЭФФЕКТИВНОЕ ОБЩЕНИЕ В МНОГОАГЕНТНОМ ОБУЧЕНИИ

Цветкова Вера Павловна¹, Степанов Евгений Павлович²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: tsvetkova.vp@yandex.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: estepanov@lvk.cs.msu.ru

Балансировка трафика является важнейшей задачей в управлении сетью, поскольку она обеспечивает справедливое распределение трафика между сетевыми ресурсами. Это помогает предотвратить такие проблемы, как перегрузка

сети, узкие места и простои, которые могут привести к снижению производительности, замедлению времени отклика и даже полному отказу системы. Для балансировки трафика в данной работе рассматривается многоагентный алгоритм “Актер-критик” - это распределенный алгоритм обучения с подкреплением, который состоит из двух обучающихся агентов: актера и критика. Актер в качестве входных данных принимает текущее состояние среды, которое включает в себя вес и загрузку канала, и выполняет действие, определенное как изменение веса. Критик оценивает качество действий актера и предоставляет обратную связь для обновления политики актера. Основная цель многоагентного алгоритма - правильно изменять веса каналов, на основании которых происходит распределение потоков по каналам.

Многоагентные алгоритмы обучения *с эффективным общением* помогают уменьшать вычислительные затраты, возникающие при передаче данных между узлами сети, повышать скорость за счет сокращения задержек передачи и уменьшать накладные расходы, так как ресурсы сети используются в меньшем объеме, что в свою очередь снижает нагрузку на сеть. На основе анализа многоагентных методов с эффективным общением была предложена следующая классификация методов:

1. Работающие с уменьшением количества сообщений: LAPG[1], Message-Dropout[2], CE HMG[3]
2. Направленные на минимизацию объема самих сообщений: CEAC[4], VAC[5]

По результатам обзора был выбран метод CEAC[4]: агенты могут сжимать передаваемые данные при помощи нейронных сетей с целью уменьшения объема сообщения.

Проведенные на топологии «ромб» эксперименты показали, что при уменьшении объема сообщения с 64 до 12 байт скорость сходимости алгоритма не стала хуже, то есть без потери качества передаваемый объем сократился более, чем в 5 раз. В работе представлены зависимости изменения скорости сходимости алгоритма от объема сообщений для топологий разного размера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Communication-Efficient Policy Gradient Methods for Distributed Reinforcement Learning / Tianyi Chen, Kaiqing Zhang, Georgios B. Giannakis, Tamer Başar // IEEE Transactions on Control of Network Systems, 2021
- [2] Woojun Kim, Myungsik Cho, Youngchul Sung Message-Dropout: An Efficient Training Method for Multi-Agent Deep Reinforcement Learning // The 33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI), 2019
- [3] Dingyang Chen, Yile Li, Qi Zhang O. Communication-Efficient Actor-Critic Methods for Homogeneous Markov Games // International Conference on Learning Representations, 2022

- [4] Communication-Efficient Multi-Agent Actor-Critic Algorithm for Distributed Reinforcement Learning / Yixuan Lin, Kaiqing Zhang, Zhuoran Yang, Zhaoran Wang, Tamer Başar, Romeil Sandhu, Ji Liu // IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC), 2019
- [5] Sai Qian Zhang, Qi Zhang, Jieyu Lin Efficient Communication in Multi-Agent Reinforcement Learning via Variance Based Control // 2019

ПЛАГИН-АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ

Чистобаев Андрей Андреевич, Степанов Евгений Павлович

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: chistobaevandrey123@gmail.com, estepanov@lvk.cs.msu.ru

В области программно-конфигурируемых сетей стабильно велик интерес к оркестрации — управлению сетевыми службами, возможно, состоящими из нескольких служб, и их координации, включая оптимальное выделение ресурсов для удовлетворения их нужд [1]. Оркестратор управляет в том числе загрузкой и удалением приложений контроллера, необходимых для работы служб. Плагины — один из вариантов реализации приложений контроллера.

Работа направлена на реализацию оркестрации в отечественном контроллере программно-конфигурируемых сетей RunOS [2]. Для обеспечения возможности оркестрации в ядро контроллера было необходимо встроить плагин-архитектуру. Требования к архитектуре были сформулированы по результатам обзора, а именно:

(общие требования)

1. поддерживается установка, запуск, остановка и удаление плагина без остановки основного процесса (в котором выполняется код ядра);
2. поддерживается версионирование плагинов;
3. поддерживается аутентификация плагинов;
4. поддерживается экспорт классов из плагинов;

(RunOS-специфичные требования)

5. поддерживается взаимодействие плагинов и ядра через Qt-сигналы;
6. интерфейс архитектуры реализован на языке C++.

В ходе работы был произведен обзор плагин-архитектур современных контроллеров с открытым исходным кодом, по результатам которого была выбрана OSGi-подобная архитектура на основе фреймворка CommonTK [3]. Выбранная архитектура была внедрена в ядро контроллера, проведены интеграционные тесты, подтвердившие соответствие требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Orchestration: A More Holistic View // Open Networking Foundation : [сайт]. [2017]. URL: https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/TR-540_Orchestration-_A_More_Holistic_View_1.50.47_PM.pdf (дата обращения: 05.03.2023).
- [2] The Runos Openflow Controller / Shalimov A., Nizovtsev S., Morkovnik D., Smeliansky R. //2015 Fourth European Workshop on Software Defined Networks. – IEEE, 2015. – С. 103-104.
- [3] The Medical Imaging Interaction Toolkit: challenges and advances: 10 years of open-source development / Nolden M., Zelzer S., Seitel A., Wald D., Müller M., Franz A. M., Maleike D., Fangerau M., Baumhauer M., Maier-Hein L., Maier-Hein K. H., Meinzer H.-P., Wolf I. // International journal of computer assisted radiology and surgery. – 2013. – Т. 8. – С. 607-620.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИВАТНЫХ БЛОКЧЕЙНОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ КОНФИГУРАЦИЙ НА ПРИМЕРЕ БЛОКЧЕЙН-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СЕТЕВОГО КОНТРОЛЛЕРА RUNOS

Шибяев Павел Павлович¹, Писковский Виктор Олегович²

¹ Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: pshibaev@lvk.cs.msu.ru

² Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов, e-mail: vpiskovskii@lvk.cs.msu.ru

RUNOS — распределенный контроллер SDN/OpenFlow с открытым исходным кодом, который позволяет сетевым администраторам писать приложения для расширения его возможностей. Одним из таких приложений является самообучающийся коммутатор уровня 2 [1], который облегчает обмен кадрами между устройствами в сети.

Однако метод хранения, используемый приложением L2 Learning Switch в RUNOS, ненадежен, поскольку данные теряются при перезапуске приложения. Для решения этой проблемы было предложено распределенное решение для хранения данных, основанное на технологии блокчейн. В данной работе сравнивается надёжность и производительность предлагаемого решения для хранения данных на основе блокчейна для RUNOS с традиционным решением на основе NoSQL базы данных типа «ключ-значение» Redis. В код существующего приложения L2 Learning Switch были внесены изменения, позволяющие делать запросы на запись и чтение данных к API блокчейна.

Основываясь на сравнении предлагаемого решения для хранения данных на основе блокчейна и кластера Redis, предполагается, что решение на основе блокчейна обеспечит лучшую безопасность и надежность для приложения

Layer 2 Learning Switch в RUNOS. Однако из-за накладных расходов, связанных с механизмом консенсуса Tendermint [2], используемым решением на основе блокчейна, ожидается, что его производительность будет немного уступать производительности кластера Redis с точки зрения скорости хранения и извлечения данных.

Результаты экспериментов показали, что решение для хранения данных на основе блокчейна [3] имеет более высокую среднюю задержку по сравнению с кластером Redis, со средней задержкой 1,45 секунды по сравнению с 0,85 секунды для Redis. Это можно объяснить накладными расходами для достижения консенсуса между тремя узлами блокчейна и сложностью структуры данных, которую он поддерживает. Однако важно отметить, что блокчейн-решение гарантирует более высокий уровень безопасности данных, неизменяемости и устойчивости к вредоносным атакам [2], которые являются решающими факторами в определенных случаях использования, таких как вычислительная инфраструктура для финансовых транзакций.

Дальнейшие исследования могли бы быть сосредоточены на оптимизации алгоритма консенсуса, используемого блокчейном, изучении альтернативных фреймворков блокчейна с более быстрыми алгоритмами консенсуса или внедрении гибридного решения, которое использует сильные стороны как блокчейна, так и Redis. Кроме того, производительность решения на основе блокчейна может быть дополнительно оценена в различных сценариях рабочей нагрузки и с использованием больших наборов данных, чтобы обеспечить более всесторонний анализ его возможностей. В целом, результаты экспериментов дают представление о компромиссах между производительностью и безопасностью при выборе между блокчейном и традиционными базами данных, такими как Redis.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Пример из документации с L2 Learning Switch: https://arccn.github.io/runos/docs-2.0/eng/31_tutorial_01.html
- [2] Amoussou-Guenou Y., Del Pozzo A., Potop-Butucaru M., Tucci-Piergiovanni S. Dissecting Tendermint. // Networked Systems. NETYS 2019. Lecture Notes in Computer Science(). 2019. Vol. 11704. doi: 10.1007/978-3-030-31277-0_11
- [3] Репозиторий с исходными кодами блокчейн-приложения: https://github.com/shibaieff/runos_chain

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЯ С МИНИМИЗАЦИЕЙ ПИКОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА, ОСНОВАННЫЙ НА ВЫДЕЛЕНИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОДГРАФА ИЗ ГРАФА РАБОТ

Шутков Геннадий Алексеевич¹, Балашов Василий Викторович²

¹ Кафедра АСВК, e-mail: shutkov6914@gmail.com

² Кафедра АСВК, e-mail: hbd@cs.msu.ru

В докладе рассматривается задача построения однопроцессорного расписания, минимизирующего пиковое потребление ресурса в вычислительной системе (ВС). Рабочая нагрузка на ВС задана в виде ориентированного ациклического графа, определяющего отношение частичного порядка между работами, соответствующими вершинам. Каждой работе сопоставлено неотрицательное целое число - объем ресурса, занимаемого работой. Ресурс высвобождается после завершения выполнения последнего непосредственного последователя работы. Примером ресурса может служить память, выделяемая под результат работы.

Схожая задача, но с сопоставлением ресурса ребрам графа, решается в [1], где предложен оптимальный алгоритм для случая последовательно - параллельного графа работ.

В докладе предложен алгоритм решения исходной задачи, основанный на следующей схеме:

- 1) выделение в графе работ последовательно-параллельного подграфа;
- 2) переход от исходной задачи к задаче [1];
- 3) построение оптимального расписания для задачи [1] существующим алгоритмом;
- 4) обратный переход к исходной задаче;
- 5) дополнение расписания для учета вершин и ребер, удаленных на шаге 1.

Авторами разработана схема перехода между задачами на шаге 2 и эвристическая схема дополнения расписания на шаге 5.

Приводятся результаты экспериментального исследования предложенного алгоритма в сравнении с жадным алгоритмом, последовательно достраивающим расписание и на каждом шагу минимизирующим значение целевой функции на частичном расписании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kayaaslan E., Lambert T., Marchal L., Ucar B. Scheduling Series-Parallel Task Graphs to Minimize Peak Memory : Research Report RR-8975. Inria Grenoble Rhone-Alpes, Universite de Grenoble. 2016. 35 p.

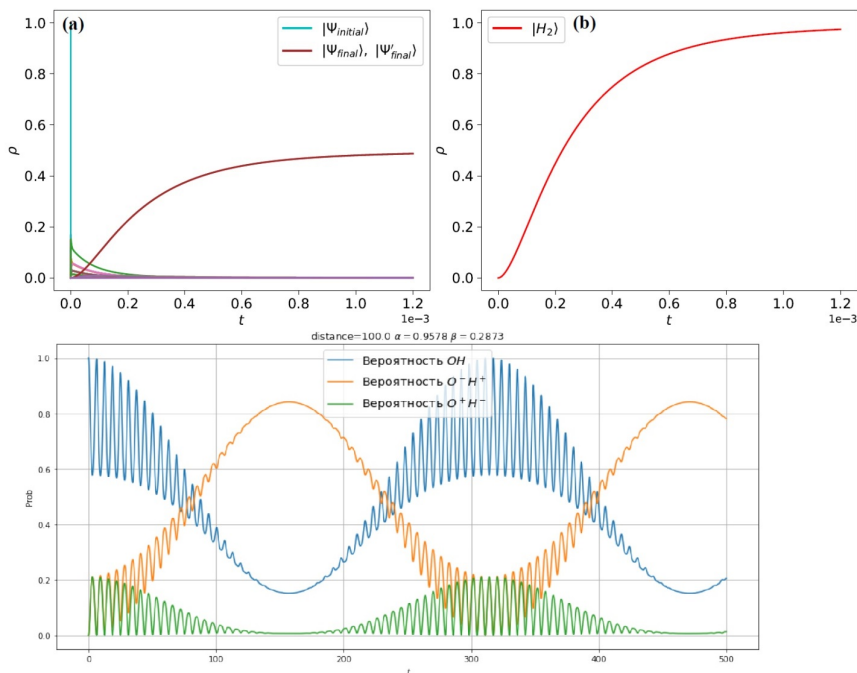
ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА СЦЕНАРИЙ АССОЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ АТОМОВ

Юрий Ожигов¹, Мяо Хуэйхуэй, Ли Ваншунь, Ю Цзянчюань, Чэнь Жэнь²

¹ МГУ, ВМК, ФТИАН РАН, e-mail: ozhigov_oo@cs.msu.ru

² МГУ, ВМК, e-mail:

Квантовая компьютерная модель химии, построенная нами, показала свою адекватность, что иллюстрируется следующими рисунками. На первом изображена зависимость вероятности образования молекулы водорода от времени. На втором - динамика электронных переходов в двухатомной молекуле при взаимодействии с модой возбуждения электронной оболочки.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 2021 About Chemical Modifications of Finite Dimensional QEDModels Ozhigov Y.I., Kulagin A.V., Afanasiev V.Y., Keli Z., Vanshun L., Huihui M., Victorova N.B. в журнале Nonlinear Phenomena in Complex Systems, том 24, № 3, с. 230-241

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ ГЛОБАЛЬНОГО И ЛОКАЛЬНОГО ПРОРЕЖИВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Имашев Владислав Родиславович¹, Буряк Дмитрий Юрьевич²

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

² Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики, e-mail: dyb04@yandex.ru

Актуальность задачи прореживания больших глубоких нейронных сетей вытекает из общей тенденции увеличения размеров моделей, повсеместно используемых в настоящее время для решения задач компьютерного зрения. Большое количество параметров позволяет таким сетям лучше решать поставленную проблему, но вызывает трудности при их развёртывании на устройствах с ограниченным объемом ресурсов.

Прореживание нейронной сети — метод сжатия, который заключается в удалении нейронов, смещений и весов из модели. Главная цель процесса прореживания – сжать модель нейронной сети до необходимого размера, удалив при этом наименее значимые параметры, и при этом не уменьшить точность модели ниже допустимого порога. Различают две основные стратегии прореживания - **локальную и глобальную**.

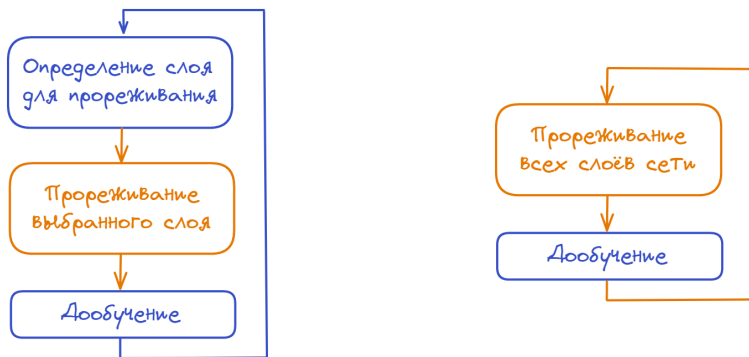


Рис. 1: Локальный и глобальный сценарии прореживания соответственно

При локальном прореживании на каждой итерации прореживанию подвергается лишь конкретный слой сети, после чего проводится несколько эпох дообучения. При этом гиперпараметры прореживания (число параметров для удаления из модели, число эпох дообучения и т.д.) подбираются индивидуально для каждого слоя. При глобальном сценарии прореживания за одну

итерацию прореживаются одновременно сразу все слои сети: удаляется некоторый процент параметров сразу по всем слоям архитектуры, после производится дообучение.

Целью данной работы является экспериментальное сравнение эффективности глобального и локального методов прореживания глубоких свёрточных нейронных сетей на примере задачи классификации изображений. В качестве критериев для оценки эффективности рассматриваемых сценариев и реализуемых методик прореживания были взяты такие показатели, как снижение точности модели (разница между исходной и прореженной моделями на тестовой выборке), уменьшение размера (разница между количеством параметров исходной и прореженной сетей, выраженная в процентах от изначального объема) и снижение количества операций умножения-накопления (MACs). В работе были рассмотрены следующие методы прореживания свёрточных нейронных сетей: удаление фильтров слоёв свёртки на основе их L1 нормы [1, 3], удаление фильтров на основе их процента близких к нулю активаций [2]. Для экспериментов была выбрана модельная задача распознавания кошек и собак и использованы глубокие свёрточные нейронные сети ResNet-18, VGG-16 и AlexNet, обученные на базе изображений “Dogs vs. Cats” (www.kaggle.com/c/dogs-vs-cats).

Предварительный эксперимент на сети ResNet-18 (производилось удаление 20% фильтров свёрточных слоёв на основе их L1 нормы с 3 эпохами дообучения) показал, что локальный сценарий прореживания позволяет добиться меньших потерь в точности: 3% в случае локального прореживания, 6% в случае глобального. Эксперименты на сетях VGG-16 и Alexnet показывают, что при локальном сценарии прореживания можно выделить наименее чувствительные слои и при прореживании удалить фильтры только из них без особых потерь в точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Jiayi Liu, Samarth Tripathi, Unmesh Kurup, Mohak Shah: Pruning Algorithms to Accelerate Convolutional Neural Networks for Edge Applications: A Survey // arXiv preprint arXiv:2005.04275. – 2020.
- [2] Hengyuan Hu, Rui Peng, Yu-Wing Tai, Chi-Keung Tang: Network Trimming: A Data-Driven Neuron Pruning Approach towards Efficient Deep Architectures // arXiv preprint arXiv:1607.03250. – 2016.
- [3] Hao Li, Asim Kadav, Igor Durdanovic, Hanan Samet, and Hans Peter Graf. Pruning filters for efficient convnets. // arXiv preprint arXiv:1608.08710v3. - 2017.
- [4] Sergey Zagoruyko. 92.45% on CIFAR-10 in Torch. <http://torch.ch/blog/2015/07/30/cifar.html>, 2015.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ SRICSR МОДИФИКАЦИИ БАЗОВОГО CSR ФОРМАТА ХРАНЕНИЯ РАЗРЕЖЕННЫХ МАТРИЦ

Куприй Роман Михайлович, Жуков Константин Андреевич¹,
Краснополяский Борис Иосифович²

¹ Кафедра Суперкомпьютеров и Квантовой Информатики, e-mail: roman.kupry@gmail.com, zhukov_k@cs.msu.ru

² Институт механики МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: krasnopolsky@imec.msu.ru

Умножение разреженной матрицы на вектор (SpMV) является важным этапом работы многих численных алгоритмов. Однако, такая операция обладает очень низкой производительностью. Это обусловлено тем, что операция SpMV требует многократного доступа к памяти для каждой арифметической инструкции и характеризуется очень низкой арифметической интенсивностью, которая обычно составляет от 0.1 до 0.25 [1].

Одним из способов повышения производительности SpMV является увеличение арифметической интенсивности за счёт использования более эффективных методов хранения разреженных матриц. В представленной работе исследуется Successive Row Incremental Compressed Sparse Row (SRICSR) формат, расширение формата Row Incremental Compressed Sparse Row (RICSR), который подробно рассмотрен в работе [2]. Эти модификации основаны на базовом формате Compressed Sparse Row (CSR) [3] и их целью является сокращение объема памяти для хранения индексов столбцов ненулевых элементов матрицы. Таким образом, обе модификации позволяют повысить арифметическую интенсивность для ряда матриц. Рассматриваемый формат использует два массива для хранения номеров столбцов вместо одного массива, как в формате CSR. Первый массив хранит номера столбцов первых ненулевых элементов каждой строки. Во втором массиве содержатся смещения индексов последующих элементов от индексов предыдущих. За счет этого, SRICSR позволяет увеличить число матриц, для которых повышается арифметическая интенсивность SpMV, по сравнению с форматом RICSR, при этом сохраняя преимущества последнего.

Представленный формат реализован в библиотеке численных методов XAMG [4, 5]. Для оценки эффективности модификации использовались матрицы из SuiteSparse Matrix Collection [6]. Показано, что для операции SpMV достигается ускорение порядка 1.28 и 1.16 раза относительно формата CSR при вычислениях с плавающей точкой одинарной и двойной точности. В результате исследований также получено уменьшение времени решения систем линейных алгебраических уравнений примерно на 15% и 10% для одинарной и двойной точности соответственно.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 18-71-10075).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Williams S., Waterman A., Patterson D. Roofline: An insightful visual performance model for multicore architectures // Communications of the ACM. 2009. Т 52, №4. С. 65–76.
- [2] Kuprii R., Krasnopolsky B., Zhukov K. RICSr: A modified CSR format for storing sparse matrices // Lecture Notes in Computer Science. 2022. № 13708. С. 486–500.
- [3] Saad Y. Iterative methods for sparse linear systems // SIAM: 2nd edition, 2003. 528 с.
- [4] Krasnopolsky B., Medvedev A. XAMG: A library for solving linear systems with multiple right-hand side vectors // SoftwareX. 2021. Т. 14, № 100695.
- [5] Krasnopolsky B., Medvedev A. XAMG: Source code repository [Электронный ресурс] // URL: <https://gitlab.com/xamg/xamg>. (дата обращения: 18.03.2023).
- [6] Davis T. A., Hu Y. The university of Florida sparse matrix collection // ACM Trans. Math. Software. 2011. Т 38, № 1. С. 1–25.

О ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ ПО ОБЛАКУ ТОЧЕК С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММ ВОРОНОГО

Никольский Илья Михайлович¹, Соловьёв Александр Юрьевич²

¹ Факультет ВМК МГУ, e-mail: inikolsky@cs.msu.ru

² Факультет ВМК МГУ, e-mail: solovyov.it@gmail.com

В настоящее время наблюдается проникновение технологий трёхмерного сканирования в различные области человеческой деятельности. Сканеры становятся дешевле, что расширяет область их применения. Развитие технологий позволяет получать всё более точные цифровые образы трёхмерных объектов реального мира за счёт увеличения количества генерируемых точек, которые составляют так называемое облако точек (point cloud). Работа с облаками больших размеров (сотни тысяч точек) требует новых подходов для преобразования облака в полигональные поверхности, пригодные для использования в компьютерной графике и других приложениях.

В работе предложен метод реконструкции поверхности из облака точек с помощью диаграмм Вороного, являющийся модификацией метода описанного в [1]. Основным его отличием от оригинального метода состоит в том, что ограниченная диаграмма Вороного вычисляется с помощью пересечения ячеек Вороного с восьмиугольниками, а не с кругами, что упрощает генерацию множества треугольников-кандидатов для вычисляемой триангуляции.

Кроме того была разработана параллельная версия алгоритма для супер-ЭВМ с распределённой памятью. Соответствующая программа написана с

использованием технологию MPI и протестирована на суперкомпьютере Polus, входящем в суперкомпьютерный комплекс МГУ. Для ускорения поиска соседних точек для каждой точки облака применялась индексация с помощью распределённого kd-дерева. Благодаря использованию параллельных вычислений предложенный алгоритм позволяет эффективно обрабатывать большие и сложные облака точек, что делает его пригодным для широкого спектра применений в таких областях, как компьютерная графика, робототехника и геология.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Boltcheva, D., L'evy, B., 2017. Surface reconstruction by computing restricted Voronoi cells in parallel. *Computer-Aided Design* 90, 123–134.

СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ВНЕДРЕНИЕ БИБЛИОТЕК ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ

Смирнов Александр Владимирович¹, Мокров Кирилл Сергеевич²

¹ НИВЦ МГУ, e-mail: asmirnov80@gmail.com

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

Для решения некоторых из задач физики высоких энергий и квантовой теории поля есть необходимость вычислять фейнмановские интегралы. На современном уровне исследований приходится находить миллионы таких интегралов, в [1] был предложен способ их вычисления, он состоит из двух этапов: редукция к так называемым мастер-интегралам и нахождение значений этих мастер-интегралов. Задачу редукции интегралов можно рассматривать, как задачу решения огромной системы разреженных линейных уравнений с полиномиальными коэффициентами.

Из-за сложной природы коэффициентов, их нужно хранить в специальном виде, что самое главное, эти коэффициенты нужно периодически упрощать. Если этого не делать, то арифметические операции над ними, возникающие в процессе решения СЛАУ, будут занимать всё больше времени, а их хранение требовать значительное количество памяти. Время работы современных программ, которые выполняют задачу редукции, может достигать до десятков дней, из которых до 95% может быть затрачено исключительно на упрощение коэффициентов.

В данной работе в рамках поиска библиотек, которые позволили бы ускорить этот этап работы, в одну из программ, FIRE [2], выполняющую задачу редукции, были внедрены три новые библиотеки [3, 4, 5]. Уже существующие и только внедрённые библиотеки, подключались к FIRE одинаковым способом, порождается новый процесс, в котором выполняется упрощение, общение с

ним осуществляется через неименованные каналы. Такая унификация позволила выделить все библиотеки в отдельный модуль, а позднее репозиторий [6], независимый от основной программы. Теперь любая программа, которой нужно упростить полиномиальные коэффициенты может им воспользоваться.

Все десять библиотек были протестированы на производительность. Для тестирования использовались три набора коэффициентов. Библиотеки сравнивались по скорости работы и по количеству необходимой для упрощения оперативной памяти. Все запуски были проведены на двух вычислительных системах. Полученные результаты были проанализированы, выделены лучшие по совокупности параметров библиотеки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Chetyrkin K. G., Tkachov F. V. Integration by Parts: The Algorithm to Calculate beta Functions in 4 Loops // Nucl. Phys. B192. 1981. 159–204.
- [2] Smirnov A. V., Chuharev F.Š. FIRE6: Feynman Integral REDuction with Modular Arithmetic // Comput. Phys. Commun. 247.
- [3] Vermaseren J. A. M. The FORM project // Nucl. Phys. Proc. Suppl. 183. 2009. 19–24.
- [4] Maxima, a Computer Algebra System. Version 5.43.2. URL: <https://maxima.sourceforge.io/> (дата обращения: 18.02.2023).
- [5] Abbott J., Bigatti A. M. CoCoA: a system for doing Computations in Commutative Algebra. URL: <http://cocoa.dima.unige.it> (дата обращения: 18.02.2023).
- [6] Репозиторий с кодом, позволяющим упрощать полиномиальные коэффициенты с помощью различных библиотек. URL: <https://bitbucket.org/feynmanIntegrals/fuel/src/main/> (дата обращения: 18.03.2023)

ИНТЕРАКТИВНАЯ ОБОЛОЧКА СИСТЕМЫ SAPFOR КАК СРЕДСТВО ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПИСАНИЯ СВОЙСТВ ПРОГРАММ

Бахтин Владимир Александрович¹, Катаев Никита Андреевич²,
Федяшкин Максим Алексеевич³

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: max181199@yandex.ru

Современные архитектуры вычислительных систем и технологии параллельного программирования позволяют получить более эффективные решения, но при этом существенно возрастают сложности их проектирования и реализации.

Использование инструментов для автоматического распараллеливания и анализа программ, позволяет частично решить данную проблему. Одним из таких инструментов является SAPFOR (System FOR Automated Parallelization) [1] разрабатываемый в ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. Частями проекта являются анализатор TSAR (Traits Static Analyzer), который предоставляет пользователям аналитическую информацию и графическая интерактивная оболочка для взаимодействия с TSAR — TSAR Advisor [2, 3].

В процессе распараллеливания программы с помощью SAPFOR пользователь системы имеет возможность уточнять и корректировать решения системы, задавать свойства программы, которые не могут быть найдены автоматически. В настоящее время такая информация предоставляется при помощи файла в формате JSON с заранее известной структурой [4]. Создание такого файла достаточно трудоемкий и сложный процесс. Цель данной работы - упростить взаимодействие пользователя с системой. Для этого предлагается реализовать следующие возможности: получать информацию с результатами анализа свойств программы, интерактивно задавать свойства и автоматически генерировать файл с описанием свойств, визуализировать дополнительно заданные свойства (если был указан путь к JSON файлу). Далее приводится краткое описание архитектуры, построенной для реализации этих возможностей.

TSAR Advisor представляет собой расширение для редактора VSCode [5]. Он отвечает за взаимодействие с анализатором, обработку команд от редактора, подготовку и хранение данных для визуализации и генерацию HTML страниц. При этом его можно рассматривать как сервер, с которым может общаться HTML страница посредством системы внутренних сообщений редактора. Пользователь же может управлять расширением, посылая команды через интерфейс редактора. Страницы содержат аналитическую информацию о программе пользователя, полученную от анализатора, и компоненты для взаимодействия, которые обладают состоянием. Любое новое состояние компоненты на странице сохраняется в глобальное хранилище состояний. При генерации страницы состояние восстанавливается из хранилища. На основе состояний компонент и информации предоставляемой анализатором интерактивная оболочка способна сгенерировать нужный JSON файл.

Полученная архитектура позволяет пользователям использовать интерактивную оболочку для исследования и описания свойств программы. Архитектура спроектирована с возможностью легкого масштабирования для дальнейшего развития проекта.

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.

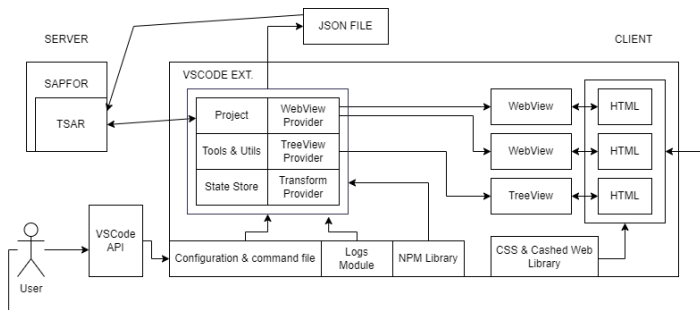


Рис. 1: Упрощенное представление архитектуры.

- [2] Катаев Н.А., Колганов А.С., Смирнов А.А. Поддержка интерактивности в системе САПФОР // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2017 г., г. Новосибирск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2017. — С. 243-249. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/57.pdf> doi:10.20948/abrau-2017-57
- [3] Катаев Н.А. Средства интерактивного взаимодействия с пользователем в системе САПФОР // Электронные библиотеки. 2021. Т. 24. No 1.
- [4] Катаев Н.А. Документация к анализатору TSAR Advisor // Руководство пользователя. External Analysis Results. URL: <https://github.com/dvm-system/tsar/wiki>
- [5] Visual Studio Code // URL: <https://code.visualstudio.com/>

ОПТИМИЗАЦИИ С БИТОВОЙ ТОЧНОСТЬЮ В ДИНАМИЧЕСКОМ ДВОИЧНОМ ТРАНСЛЯТОРЕ

Герасимов Денис Юрьевич¹, Аветисян Арутюн Ишханович²

¹ Кафедра Системного программирования, e-mail: dengzmm@gmail.com

² Кафедра Системного программирования, ИСП РАН, e-mail: arut@ispras.ru

Данная работа посвящена использованию битовой точности для проведения оптимизаций в динамическом двоичном трансляторе[1]

Двоичный транслятор значительно ограничен в возможностях проведения оптимизаций. Во-первых это следует из того, что требуется поддерживать семантику гостевого приложения максимально детально, для недопущения ошибок связанных с архитектурными и иными различиями приложений. А во-вторых, тяжеловесные оптимизации не допустимы, поскольку время компиляции кода в нашем случае будет добавляться ко времени исполнения приложений.

Использование битовой точности является полезным при трансляции архитектуры $x86 \rightarrow ArmV8$. Поскольку $x86$ в отличие от Arm может оперировать регистрами разной ширины, то при трансляции инструкций с операндами размера отличного от 32/64 бит возникает необходимость строить дополнительные операции. В случае нескольких подряд идущих инструкций, оперирующих регистрами малой ширины, в таком случае возможно избавиться от лишних выделений узких операндов и значительно упростить код.

В данной работе предлагается эффективный метод вычисления, хранения и распространения информации об известных значениях битов переменных внутреннего представления в виде битовых масок. Сам алгоритм подсчёта масок представляет собой анализ потока данных[2]. Вместе с тем представлены оптимизации, использующие битовую информацию для удаления избыточных операций.

Проведены исследования влияния данных оптимизаций на производительность результирующего кода на примере задач из пакета SPEC CPU2006[3], которые показали высокую эффективность оптимизаций. В среднем получено улучшение производительности на 0.8%, а отдельные тесты ускорились до 1.8%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Smith J., Nair R. Virtual machines: versatile platforms for systems and processes – Isevier, 2005.
- [2] Ахо А. В. и др. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий: пер. с англ. М.:«ИД Вильямс»; 2017.
- [3] SPEC CPU2006. Available at <https://www.spec.org/cpu2006/>

ПРЕДИКАТЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ЭМУЛЯЦИИ

Ефремов Иван Сергеевич¹, Ниськов Фёдор Владимирович², Курмангалеев Шамиль Фаимович³, Белеванцев Андрей Андреевич⁴, Голубцов Пётр Викторович⁵

¹ Физический факультет МГУ, ИСП РАН, e-mail: nendensu@ispras.ru

² СП ВМК МГУ, ИСП РАН, e-mail: fedor.niskov@ispras.ru

³ ИСП РАН, e-mail: kursh@ispras.ru

⁴ СП ВМК МГУ, ИСП РАН, e-mail: abel@ispras.ru

⁵ Физический факультет МГУ, e-mail: golubtsov@physics.msu.ru

Безопасность программного обеспечения имеет основополагающую роль в современном мире, поэтому разработчики уделяют много внимания поиску ошибок в программах. Для обнаружения потенциальных уязвимостей было разработано множество инструментов, позволяющих автоматизировать процесс

поиска ошибок. Одним из способов поиска является фаззинг [1] — метод динамического анализа программы, состоящий в поиске входных данных, которые расширяют покрытие программы и приводят к её аварийному завершению. Для более эффективного расширения покрытия можно воспользоваться динамическим символьным выполнением (DSE), с помощью которого возможно найти входные данные, открывающие новые пути.

Одним из подходов в анализе ПО является частичная эмуляция [2] — выполнение фрагмента кода, при котором происходит моделирование только необходимых механизмов процессора и памяти. При символьной частичной эмуляции мы можем учесть предикаты безопасности — дополнительные символьные уравнения и неравенства, описывающие состояние программы, приводящее к проявлению ошибки. На основе идеи предикатов безопасности, в ходе данной работы в символьный эмулятор была добавлена возможность обнаруживать следующие типы ошибок:

1. Выполнение кода по произвольному адресу
 - 1.1. Выполнение произвольного кода
2. Чтение памяти по произвольному адресу
3. Запись в память по произвольному адресу
 - 3.1. Запись в память произвольного значения по произвольному адресу
4. Пересечение областей в memspy
5. Попадание произвольных значений в указатель или размер для функций работы со строками и динамической памятью
6. Деление на ноль

В каждой точке с потенциальной ошибкой к предикату пути (условие попадания в эту точку) добавляется предикат безопасности (условие активации ошибки). Решая построенный набор ограничений, можно получить вариант входных данных, приводящий к проявлению ошибки.

Работа ведётся на базе фаззера Crusher [3], разрабатываемого в ИСП РАН. Предикатный детектор был проверен на различных модельных и реальных программах, и позволяет обнаруживать ошибки реализации математических алгоритмов и ошибки при работе с оперативной памятью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Fuzzing : State of the art / Hongliang Liang, Xiaoxiao Pei, Xiaodong Jia, Wuwei Shen, Jian Zhang. // IEEE Transactions on Reliability 67, no. 3 (2018), pp. 1199–1218.
- [2] Fedor Niskov, Maxim Mishechkin, and Shamil Kurmangaleev. Overcoming Challenges of Firmware Analysis : Fuzzing and Symbolic Execution Based on Partial Emulation. // CSIT 2021 Conference.

[3] Crusher (Фаззер ИСП РАН). URL : <https://www.ispras.ru/technologies/crusher>

ПОИСК БЕСКОНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ В ИСХОДНОМ КОДЕ ПРОГРАММ НА ЯЗЫКЕ C# С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Игнатъев Валерий Николаевич¹, Беляев Михаил Владимирович²,
Биктимиров Михаил Геннадьевич³

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

² ИСП РАН, e-mail: mbelyaev@ispras.ru

³ Кафедра системного программирования ВМК МГУ, ИСП РАН, e-mail: bikmish@ispras.ru

Обнаружение бесконечных циклов в коде является одной из важных задач анализа безопасности кода программ. Бесконечные циклы могут привести как к зависанию программы, так и, в многопоточном случае, перегрузить один поток и уменьшить эффективность всей системы в целом.

В самом простом случае бесконечные циклы могут возникнуть в циклах `for`, циклах `while` с предусловием или постусловием в тех случаях, если условие продолжения цикла всегда истинно, а тело цикла не содержит операторов выхода. В более сложных случаях можно говорить о заикливаниях вследствие непредусмотренного переполнения итератора цикла, бесконечной рекурсии или из-за некорректного использования оператора `goto`. Также стоит отметить, что при анализе важно отличать бесконечный цикл, нарочно созданный разработчиком с конкретной целью, от ошибочного бесконечного цикла, как правило вызывающего нарушения в работе программы.

Таким образом, для нахождения бесконечных циклов необходимо провести анализ исходного кода исследуемого ПО. Чаще всего для этой цели используется анализ абстрактного синтаксического дерева, но помимо этого в работе предложен метод анализа с использованием символьного выполнения, что позволяет более детально анализировать код и, как следствие, даёт возможность находить новые паттерны ошибок.

Также в работе реализован анализ графа вызовов для срабатываний паттерна `while (true)`, чтобы выделить среди них те, которые выполняются в отдельном потоке, а значит, что бесконечные циклы могли быть созданы преднамеренно.

Кроме того, с помощью символьного выполнения проверяются случаи, когда размер типа переменной-итератора меньше размера типа переменной-границы цикла, что приводит к переполнению переменной-итератора и последующему непредвиденному бесконечному циклу.

Рассматриваемый детектор, осуществляющий поиск бесконечных циклов, был реализован в статическом анализаторе кода `SharpChecker` [1], протестирован на наборе ПО с открытым исходным кодом из 6 млн строк кода, показав

точность в 83%: всего найдено 30 срабатываний, 5 из которых ложные. На наборе тестов Juliet [2] детектор показал полноту 50%, обнаружив 3 срабатывания, связанные с бесконечными циклами, из 6.

Таким образом, использование графа вызовов и символьного выполнения позволило как повысить точность на срабатываниях, которые анализатор уже находил прежде, так и находить новые ошибки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Koshelev V. K., Ignatiev V. N., Borzilov A. I., Belevantsev A. A. SharpChecker: Static analysis tool for C# programs //Programming and Computer Software. – 2017. – Т. 43. – С. 268-276.
- [2] Juliet Test Suite for C# version 1.3, National Institute of Standards and Technology - <https://samate.nist.gov/SARD/test-suites/110>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИМВОЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА БИНАРНОГО КОДА

Курмангалеев Шамиль Фаимович, Иванов Григорий Сергеевич, Акопян
Артур Арамович¹, Белеванцев Андрей Андреевич²

¹ ИСП РАН, e-mail: kursh@ispras.ru, gregory@ispras.ru, aa.akopyan@ispras.ru

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

Поиск ошибок в бинарном коде имеет свои преимущества: он применим, даже если исходный код недоступен, он работает на том представлении, которое будет исполняться на машине, что позволяет, например, отлавливать ошибки компилятора, и он не зависит от конкретного языка, на котором была написана программа. Однако статический анализ бинарного кода может быть менее результативен, чем анализ исходного кода. Например, из-за отсутствия исходного кода становится трудно восстановить высокоуровневые ограничения на значения регистров и памяти, возникающие после инструкций условных переходов. Это приводит к увеличению количества ложных предупреждений инструмента анализа. Для устранения этого недостатка можно воспользоваться методом символического исполнения.

Описание метода Разрабатываемый нами инструмент поиска ошибок в бинарном коде Binside [1] строит граф вызовов функций, затем удаляет из него обратные ребра и анализирует функции начиная с листовых вершин [2]. На каждой функции проводится несколько видов внутрипроцедурного анализа, например, анализ потока данных и анализ значений, в процессе которых собирается краткая информация о функции, которая может пригодиться при анализе вызывающих ее функций и поиске дефектов. Кроме того, проводится анализ значений, на которые мог оказать воздействие пользователь. На основе этих данных получается построить трассу ошибки от точки входа контролируемых пользователем данных до точки возникновения самой ошибки. Для проверки

возможности воспроизведения этой трассы при реальном запуске используется инструмент символического исполнения `angr` [3]. Трасса ошибки определенным образом модифицируется и передается в `angr`, который пробует ее запустить, и в случае неудачи заключает, что найденный дефект невоспроизводим в реальных условиях и ошибка является ложной. Кроме того, с помощью `angr` для ошибок переполнения буфера проверяется, возможна ли ситуация, при которой размер копируемого буфера превышает размер целевого. Использование `angr` позволяет избежать запуска анализируемого ПО, что даёт возможность анализировать ПО для разных архитектур и систем, в том числе и для таких, на которых нет возможности его запустить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] BinSide: статический анализатор бинарного кода // <https://www.ispras.ru/technologies/binside/>
- [2] Белеванцев А. А. Многоуровневый статический анализ исходного кода для обеспечения качества программ: дис. ... д-ра физ.-мат. наук 05.13.11 / Белеванцев Андрей Андреевич. Москва, 2017
- [3] SoK: (State of) The Art of War: Offensive Techniques in Binary Analysis / Yan Shoshitaishvili, Ruoyu Wang, Christopher Salls, Nick Stephens, Mario Polino, Audrey Dutcher, John Grosen, Siji Feng, Christophe Hauser, Christopher Kruegel, Giovanni Vigna // 2016, IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), San Jose, CA, USA, 2016, pp. 138-157, doi: 10.1109/SP.2016.17.

ПОИСК СЕМАНТИЧЕСКИ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ УЧАСТКОВ КОДА

Курмангалеев Шамиль Фаимович, Иванов Григорий Сергеевич, Ильина Анна Александровна¹, Белеванцев Андрей Андреевич²

¹ ИСП РАН, e-mail: kursh@ispras.ru, gregory@ispras.ru, ilina@ispras.ru

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

Во время анализа бинарного кода может оказаться полезным поиск шаблонов некоторых программных дефектов в коде исследуемой программы. Одним из вариантов решения такой задачи является использование инструментов, предназначенных для поиска клонов бинарного кода. В данной работе большее внимание уделяется поиску семантических клонов кода (фрагментов программ, являющихся независимой реализацией одного и того же функционала).

Описание метода. В рамках исследования рассматриваются способ, в основе которого лежат **трассеты** (частичные трассы выполнения). Используется предположение о том, что вычисление метрик для трассетов позволяет выявить семантику программы. Предлагаемый алгоритм поиска клонов состоит из нескольких этапов: 1) для двух бинарных файлов генерируются трассеты

следующими способами: инструментом Crusher [1] и Angr [2] (первый инструмент позволяет получать более длинные траслеты, а второй даёт более полное покрытие и не требует запуска программ), 2) для траслетов вычисляются метрики, позволяющие выявить семантику: множество строк, констант, библиотечных функций и т.д., 3) метрики траслетов сравниваются между собой, а затем результаты сравнения преобразуются в число, равное проценту схожести двух траслетов, 4) в качестве процента схожести бинарных файлов выбирается максимальный процент схожести двух траслетов.

Оптимизации. С целью сокращения затрат по времени из траслета удаляются повторные вхождения ассемблерных инструкций. Также для улучшения качества сравнения из траслетов удаляется "холодное покрытие" (инструкции, семантика которых не представляет интерес при сравнении).

	lightftp	pureftpd	dhcp_server	vlandhcpd	bash	zsh	readelf	objdump
lightftp	99.999500	86.236230	22.960543	4.218540	44.070108	52.501204	42.559629	61.212469
pureftpd	86.236230	99.999500	16.440778	3.468707	59.201019	63.268495	42.316707	46.300047
dhcp_server	22.960543	16.440778	99.999500	68.345729	3.404480	5.900831	2.972850	6.385724
vlandhcpd	4.218540	3.468707	68.345729	99.999500	1.380457	4.465834	2.787662	1.635259
bash	44.070108	59.201019	3.404480	1.380457	99.999500	75.769653	34.736030	50.336512
zsh	52.501204	63.268495	5.900831	4.465834	75.769653	99.999500	35.112121	42.516309
readelf	42.559629	42.316707	2.972850	2.787662	34.736030	35.112121	99.999500	93.953011
objdump	61.212469	46.300047	6.385724	1.635259	50.336512	42.516309	93.953011	99.999500

Рис. 1: Результаты тестирования.

Результаты. Тестирование метода производилось на следующих примерах: lightftp и pureftpd (FTP-серверы), vlandhcpd и dhcp_server (DHCP-серверы), bash, zsh, readelf и objdump. Для получения процента схожести двух траслетов была применена логистическая регрессия. В таблице на рисунке 1 показаны полученные предложенным методом проценты схожести бинарных файлов. Проводилось попарное сравнение всех примеров. Результат сравнения схожих по семантике программ оказался выше, чем у не схожих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ИСП Crusher: комплекс динамического анализа программ. // <https://www.ispras.ru/technologies/crusher/>
- [2] SoK: (State of) The Art of War: Offensive Techniques in Binary Analysis / Yan Shoshitaishvili, Ruoyu Wang, Christopher Salls, Nick Stephens, Mario Polino, Audrey Dutcher, John Grosen, Siji Feng, Christophe Hauser, Christopher Kruegel, Giovanni Vigna // 2016, IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), San Jose, CA, USA, 2016, pp. 138-157, doi: 10.1109/SP.2016.17.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТА ЛАКМУС: ЭЛАСТИЧНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОМЕЧЕННЫХ ДАННЫХ

Матевосов Димитрий Юльевич¹, Егоров Даниил Игоревич², Бакулин Максим Геннадьевич³, Падарян Варган Андроникович⁴

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

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

³ Институт системного программирования РАН, e-mail: bakulinm@ispras.ru

⁴ Кафедра системного программирования, e-mail: vartan@ispras.ru

Инструмент Лакмус основан на базе полносистемного эмулятора QEMU [1] и реализует динамический анализ помеченных данных [2]. Это известная техника анализа, используемая во многих приложениях и инструментах, позволяющая отслеживать распространение внешних непроверенных или чувствительных данных по программе во время ее исполнения. Чувствительными данными является различная конфиденциальная информация, а внешними непроверенными данными — любая информация, доверять которой мы не можем в силу природы ее происхождения. Основная идея такого анализа заключается в том, чтобы пометить некоторые входы программы (это может быть сетевой сокет или файл скачанный из интернета) и отслеживать распространение данных, считанных с этих входов, в процессе исполнения программы.

Схема работы и оптимизация инструмента Лакмус. В эмуляторе QEMU код гостевой машины транслируется в промежуточное представление TCG, после чего TCG-инструкции преобразовываются в код, который будет исполняться на хостовой машине. Для работы анализатора на уровне TCG-кода добавляются инструкции, отвечающие за внесение, распространение и детектирование помеченных данных. Целью анализа являются информационные сообщения о том, что отслеживаемые данные попали в некоторый поток вывода или же вовсе скомпрометировали выполнение программы.

Для усовершенствования схемы работы инструмента было предложено инструментировать лишь в ту часть гостевых инструкций, которая непосредственно работает с помеченными данными. Данная идея построена на основе статьи, посвященной инструменту DECAF++ [3]. Оптимизация заключается в том, чтобы добавить в анализатор два режима работы: режим проверки и режим отслеживания. Так в режиме проверки инструментуются только инструкции обращения к памяти, а в режиме отслеживания происходит полная инструментация гостевого кода. Переключение из режима проверки в режим отслеживания происходит при чтении данных из помеченной памяти, а обратно — через заданное количество инструкций при условии отсутствия помеченных данных в регистрах общего назначения. Это позволят увеличить скорость работы анализатора при сохранении той же точности анализа.

Результаты. В инструменте Лакмус была реализована описанная выше оптимизация. В результате с сохранением точности анализа удалось достичь уменьшения времени работы анализатора в среднем на 20%.

Работа выполнена при поддержке Института Системного Программирования РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Интернет-ресурс : wiki.qemu.org
- [2] Schwartz E. J., Avgerinos T., Brumley D., All You Ever Wanted to Know About Dynamic Taint Analysis and Forward Symbolic Execution (but might have been afraid to ask) // 31st IEEE Symposium on Security and Privacy. 2010.
- [3] DECAF++: Elastic Whole-System Dynamic Taint Analysis / A. Davanian, Z. Qi, Y. Qu, H. Yin // the 22nd International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses (RAID). 2019.

МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ЛОЖНО ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ В ЗАДАЧЕ ПОЛНОГЕНОМНОГО РЕСЕКВЕНИРОВАНИЯ

Гугучкин Егор Павлович¹, Карпулевич Евгений Андреевич², Турдаков
Денис Юрьевич³

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

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

³ Кафедра системного программирования, e-mail: turdakov@ispras.ru

Введение. Задача полногеномного секвенирования — это процесс определения последовательности образующих её нуклеотидных оснований (последовательностей, состоящих из символов алфавита с мощностью 4). В случае ресеквенирования производится поиск индивидуальных отличий конкретного образца по известной референсной нуклеотидной последовательности. Можно выделить следующие этапы полногеномного ресеквенирования: выравнивание и последующая пост-обработка коротких последовательностей (прочтений) на известную референсную последовательность; поиск генетических вариаций (отличий в полученной последовательности относительно известной референсной).

Краткое описание алгоритма. Теоретической основой исследования является вычисление «минимайзеров» и их расположения в референсной последовательности — вычислении подстрок конкретной длины (k-меров), имеющих минимальное хэш-значение в заданном окне. В качестве базового алгоритма был выбран алгоритм поиска «минимайзеров», описанный в статье [1]. Алгоритм был модифицирован таким образом, что после нахождения всех «минимайзеров» в референсной последовательности, занесения хэш-значений

Эксперимент	Покрытие 30X			Покрытие 60X		
	TYPE	TP	FN	TYPE	TP	FN
Стандартный индекс	SNP	3206999	47387	SNP	3218108	36278
	INDEL	461501	6201	INDEL	464474	3228
Добавление SNP в индекс	SNP	3210000	44386	SNP	3219938	34448
	INDEL	461552	6150	INDEL	464500	3202
Добавление SNP и инделей в индекс	SNP	3210003	44383	SNP	3219941	34445
	INDEL	461552	6150	INDEL	464499	3203

Таблица 1: Результаты.

найденных «минимайзеров» и их позиций в хэш-таблицу, алгоритм также учитывает известные часто встречаемые генетические вариации [2]. Создается модифицированная подпоследовательность референсной последовательности, в которую была внесена генетическая вариация, после этого происходит вычисление новых «минимайзеров» с учетом уже существующих. Модифицированная хэш-таблица затем используется при выравнивании коротких прочтений.

Оценка работы алгоритма. Алгоритм тестировался на данных из GIAB NIST (The Genome in a Bottle Consortium by National Institute of Standards and Technology) для образца NA12878 [3]. Для оценки работы были взяты метрики полученные с помощью инструмента, описанного в статье [4].

Результаты. В таблице 1 представлено количество правильно положительных и ложно отрицательных генетических вариаций до и после модификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Li H. Minimap2: pairwise alignment for nucleotide sequences // Bioinformatics. 2018. Т. 34, №. 18. С. 3094-3100.
- [2] Sudmant P. H. et al. An integrated map of structural variation in 2,504 human genomes // Nature. 2015. Т. 526, №. 7571. С. 75-81.
- [3] Zook J. M. et al. Extensive sequencing of seven human genomes to characterize benchmark reference materials // Scientific data. 2016. Т. 3, №. 1. С. 1-26.
- [4] Cleary J. G. et al. Comparing variant call files for performance benchmarking of next-generation sequencing variant calling pipelines // BioRxiv. 2015. С. 023754.

ОБ ОЦЕНКАХ ПЕРВОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ФУНКЦИИ ЛАГРАНЖА

Арутюнов Аам Владимирович¹, Жуковская Зухра Тагировна², Жуковская
Сергей Евгеньевич³

¹ лаб. 45 ИПУ РАН, e-mail: arutyunov@cs.msu.ru

² лаб. 45 ИПУ РАН, e-mail: zyxra2@yandex.ru

³ лаб. 45 ИПУ РАН, e-mail: s-e-zhuk@yandex.ru

Пусть $(X, \|\cdot\|)$ — банахово пространство, $f_0, f_1, \dots, f_k : X \rightarrow \mathbb{R}$ — дифференцируемые функции. Рассмотрим задачу

$$f_0(x) \rightarrow \min, \quad f_1(x) = 0, \quad \dots, \quad f_k(x) = 0. \quad (1)$$

Определим функцию Лагранжа $L : X \times \mathbb{R}^{k+1} \rightarrow \mathbb{R}$ по формуле

$$L(x, \lambda) := \lambda_0 f_0(x) + \lambda_1 f_1(x) + \dots + \lambda_k f_k(x), \\ x \in X, \quad \lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_k) \in \mathbb{R}^{k+1}.$$

Пусть $|\cdot|$ — заданная норма в пространстве \mathbb{R}^{k+1} . Обозначим через \mathcal{M} множество допустимых точек, т.е.

$$\mathcal{M} := \{x \in X : f_1(x) = \dots = f_k(x) = 0\}.$$

В настоящем сообщении мы представим утверждения об оценках первой производной функции Лагранжа в точках допустимого множества.

Обозначения и предварительные сведения. Обозначим через $B_X(x, r)$ замкнутый шар с центром в точке $x \in X$ радиуса $r \geq 0$, через X^* обозначим пространство, топологически сопряженное с X , а через $\|\cdot\|_*$ — норму в X^* .

Классическое необходимое условие минимума 1 состоит в следующем. Если точка $\hat{x} \in X$ является локальным решением задачи (1), то существует ненулевой вектор $\lambda \in \mathbb{R}^{k+1}$ такой, что

$$\frac{\partial L}{\partial x}(\hat{x}, \lambda) = 0, \quad \lambda_0 \geq 0.$$

Пусть задана точка $x_0 \in \mathcal{M}$ и число $R > 0$. Положим

$$\gamma(x_0, R) := \inf\{f_0(x) : x \in \mathcal{M} \cap B_X(x_0, R)\}.$$

Здесь $\gamma(x_0, R)$ может принимать значение $-\infty$. Однако, всюду далее мы будем предполагать, что

$$\gamma(x_0, R) > -\infty.$$

Известно, что если в задаче (1) ограничения отсутствуют (в этом случае $\mathcal{M} = X$), то для любого $\varepsilon > 0$ существует точка $\hat{x} \in B_X(x_0, R)$ такая, что

$$f_0(\hat{x}) \leq f_0(x_0), \quad f'_0(\hat{x}) \leq (1 + \varepsilon) \frac{f_0(x_0) - \gamma(x_0, R)}{R}.$$

Это утверждение в разных модификациях было получено, например, в [1, глава 5], [2], [3] и др. Ниже мы приведем аналогичное утверждение для задачи (1) в общем случае.

Отметим также, что в случае, когда пространство X является гильбертовым, подобные утверждения об оценке производных первого и второго порядка были получены в [4] и [5]. Для задачи без ограничений аналогичные оценки первой и второй производной минимизируемой функции были получены в [6, §2.5.2].

Основной результат. Сформулируем оценку первой производной функции Лагранжа для задачи (1).

Теорема 1. Пусть $\gamma(x_0, R) > -\infty$. Тогда для любого $\varepsilon > 0$ существует вектор $\lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_k) \in \mathbb{R}^{k+1}$ и точка $\hat{x} \in \mathcal{M} \cap B_X(x_0, R)$ такие, что

$$|\lambda| = 1, \quad \lambda_0 \geq 0, \quad f_0(\hat{x}) \leq f_0(x_0),$$

$$\left\| \frac{\partial L}{\partial x}(\hat{x}, \lambda) \right\|_* \leq (1 + \varepsilon) \lambda_0 \frac{f_0(x_0) - \gamma(x_0, R)}{R}. \quad (2)$$

Отметим, что если множество $\mathcal{M} \cap B_X(x_0, R)$ содержит точку x , для которой векторы $\frac{\partial f_i}{\partial x}(x)$, $i = \overline{0, k}$ линейно зависимы $f_0(x) \leq f_0(x_0)$, то утверждение теоремы 1 очевидно. В этом случае $\hat{x} = x$ и единичный вектор $\lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_k)$, удовлетворяющий равенству

$$\sum_{i=0}^k \lambda_i \frac{\partial f_i}{\partial x}(x) = 0$$

и неравенству $\lambda_0 \geq 0$, отвечают утверждению теоремы. В этом случае, левая часть неравенства (2) равна нулю, а правая — неотрицательна.

Если для каждого $x \in \mathcal{M} \cap B_X(x_0, R)$, для которого $f_0(x) \leq f_0(x_0)$, система векторов $\frac{\partial f_i}{\partial x}(x)$, $i = \overline{0, k}$ линейно независима, то утверждение теоремы 1 нетривиально. В этом случае, из неравенства (2) следует, что $\lambda_0 > 0$.

Отметим также, что из (2) вытекает следующая более слабая оценка

$$\left\| \frac{\partial L}{\partial x}(\hat{x}, \lambda) \right\|_* \leq (1 + \varepsilon) \frac{f_0(x_0) - \gamma(x_0, R)}{R},$$

поскольку $|\lambda| = 1$. Для задачи без ограничений эта оценка совпадает с известной ранее из работ [1], [2] и [3].

Положительность ε в приведенных оценках существенна. Если пространство X конечномерно и все функции f_i непрерывно дифференцируемы, то приведенные утверждения выполняются и с $\varepsilon = 0$.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-11-00042).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Aubin J.-P., Ekeland I., Applied nonlinear analysis. N.Y.: J. Wiley & Sons, 1984. 518 p.
- [2] Clarke F., Ledyaev Yu. S. Mean value inequalities // Proc. Am. Math. Soc. 1994. V. 122, no. 4. P. 1075–1083.
- [3] Arutyunov A. V., Zhukovskiy S. E. Variational Principles and Mean Value Estimates // J. Optim. Theory Appl. 2022. V. 193. P. 21–41.
- [4] Arutyunov A. V. Necessary extremum conditions and an inverse function theorem without a priori normality assumptions // Proc. Steklov Inst. Math. 2002. V. 236. P. 25–36.
- [5] Arutyunov A., Bobylev N., Korovin S. One remark to Ekeland's variational principle // Computers Math. Appl. 1997. V. 34, no. 2–4. P. 267–271.
- [6] Bobylev N. A., Emel'yanov S. V., Korovin S. K. Geometrical methods in variational problems. M.: Magistr. 1998. 504 p.

О ДВОЙСТВЕННОСТИ В УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Атамась Евгений Иванович

Кафедра Нелинейных динамических систем и процессов управления, e-mail: eatamas@cs.msu.ru

В классической математической теории управляемых систем хорошо известно понятие двойственности. Так, двойственными являются системы

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad \begin{cases} \dot{x} = A^T x \\ y = B^T x \end{cases}$$

Обычно это понятие возникает в следующем контексте: после введения матриц управляемости и наблюдаемости и доказательства соответствующих критериев указывается, что первая из систем является управляемой тогда и только тогда, когда вторая система является наблюдаемой. Данное наблюдение любопытно, но малополезно, поскольку перенести его на другие связанные с управляемостью и наблюдаемостью вопросы нельзя. В этой схеме мы отталкиваемся от определений управляемости и наблюдаемости, получаем характеризующие их алгебраические свойства и лишь потом замечаем двойственность. Вместе с тем, представляется заманчивым сначала установить двойственность этих понятий, после чего доказательство некоторого свойства для управляемости автоматически повлечет справедливость аналогичного свойства для наблюдаемости. Естественным языком для подобных рассуждений является теория категорий. И действительно, имеет место следующий результат [1]

Теорема 1. *Линейная конечномерная система с дискретным временем управляема, если и только если двойственная ей система наблюдаема.*

Использованные при доказательстве идеи легко переносятся на более сложные понятия, связанные с управляемостью и наблюдаемостью, например управляемо-инвариантные и условно-инвариантные подпространства. Не менее естественным представляется и перенос этих методов на случай систем с непрерывным временем. К большому удивлению автора, обнаружить такого рода результаты в литературе ему не удалось. Данный доклад призван восполнить этот пробел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Arbib M. A., Manes E. G. Foundations of system theory: decomposable machines Automatica, 1974. Vol. 10, pp. 285-302

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РУКИ И ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Егоров Кирилл Юлианович¹, Востриков Иван Васильевич²

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

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

Модель оптимального управления биологическим движением обеспечивает отправную точку для описания наблюдаемого повседневного поведения и может быть использована для конструирования интеллектуальных систем замены поврежденных частей тела.

В работе методом Эйлера–Лагранжа [1] построены уравнения движения планарной модели руки человека «плечо-предплечье» как бисекционного маятника:

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + L(\theta, \dot{\theta}),$$

где θ — вектор углов сочленений, $M(\theta)$ — положительно определенная матрица инерции, $L(\theta, \dot{\theta})$ — вектор центробежных и кориолисовых сил, τ — вектор крутящих моментов, которыми можно управлять.

Для данной модели решается задача на достижение цели, в которой рука должна начать движение с некоторого исходного положения и двигаться к цели за указанный интервал времени T . При этом движение должно происходить с минимальными затратами энергии. Есть веские основания полагать, что минимизация энергетических затрат имеет прямое отношение к нейронному контролю движения [2]. Затраты учитываются интегрально-квадратичным критерием, минимизирующий скорость изменения крутящего момента [3]:

$$V_{energy} = \frac{1}{2} \int_0^T \|\dot{\tau}\|^2 dt.$$

Большинство современных моделей оптимальности имеют серьезное ограничение — они основаны на линейно-квадратичном гауссовом формализме [4], в то время как в действительности биомеханические системы сильно нелинейны. Данное ограничение решается методом дифференциального динамического

программирования [5], позволяющего итеративно проводить линеаризацию системы вокруг референсной траектории с целью вычисления локально оптимального закона управления с обратной связью.

Исходное референсное управление предлагается выбирать путем преобразования исходной динамики к линейной [6], применяя подходы линейного управления. Затем градиентным методом [7] итеративно строится поправка на референсное управление до достижения заданной точности ε .

Для данной задачи было реализовано программное обеспечение для поиска целевого управления и моделирования оптимальной траектории для заданных начальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Колюбин С. А. Динамика робототехнических систем // Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2017. — 117 с.
- [2] E. Todorov, M. Jordan. Optimal feedback control as a theory of motor coordination // Nature Neuroscience, Vol.5, No.11, 1226-1235, 2002.
- [3] Y. Uno, M. Kawato, R. Suzuki. Formation and control of optimal trajectory in human multijoint arm movement — minimum torque-change model // Biological Cybernetics 61, 89-101, 1989.
- [4] B.D.O. Anderson, J.B. Moore. Optimal Control: Linear Quadratic Methods // Prentice Hall, Upper Saddle River, 1990.
- [5] D. H. Jacobson. Differential dynamic programming methods for determining optimal control of non-linear systems // University of London, 1967.
- [6] E. Guechi, S. Bouzoualegh, Y. Zennir, S. Blažič. MPC Control and LQ Optimal Control of A Two-Link Robot Arm: A Comparative Study // Machines 6, no. 3: 37, 2018.
- [7] A. Babazadeh, N. Sadati. Optimal control of multiple-arm robotic systems using gradient method // IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, pp. 312-317 vol.1, 2004.

УПРАВЛЕНИЕ РОЕМ РОБОТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Ильин Александр Владимирович¹, Бегишев Руслан Ренатович²

¹ Кафедра нелинейных систем и процессов управления, e-mail: iline@cs.msu.su

² Кафедра нелинейных систем и процессов управления, e-mail: begrusso@gmail.com

Современная робототехника ставит перед учёными в области управления всё более сложные задачи. С развитием возможностей одного агента появилась мысль использовать мультиагентные группы. Каноническая модель их взаимодействия была предложена К.Рейнольдсом[1]. Однако, одним из важнейших

вопросов групповой робототехники до сих пор является обход препятствий группой.

Модель агента Была рассмотрена следующая простая модель агентов в виде двухколёсных роботов, из которых будет организована группа:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = v_i \cos \theta_i \\ \dot{y}_i = v_i \sin \theta_i \\ \dot{\theta}_i = w_i, \end{cases}$$

где x_i, y_i – положение центра масс робота, θ_i – угол поворота робота относительно заданной системы координат, $i \in \overline{1, N}$, v_i – прямолинейная скорость робота, w_i – поворотная скорость, $0 \leq v_i < v_{max}$, $|w_i| < w_{max}$, а v_{max} и w_{max} – максимальные значения прямолинейной и поворотной скоростей робота соответственно.

Предлагаемая организация взаимодействия Для обхода препятствий разработаны различные методы, как, например, метод потенциальных полей, позволяющий как бы «скользить» по поверхности выпуклой поверхности.

Было предложено использовать идею «ведущий - ведомый», но разбивать группу на несколько независимых подгрупп. Группа получает задачу обойти препятствие, разбивается на несколько подгрупп, если в поле действия роя попадает правый и левый край преграды. Далее выбирается лидер в каждой подгруппе, который и ведёт подопечных к назначенной точке сбора.

Важной частью этого процесса является выбор лидера в группе. Такие задачи уже были рассмотрены, например, в работах [2-3]. Однако, на наш взгляд, интересно рассмотреть модели социального взаимодействия в группах роботов [4].

Было проведено моделирование экспериментальной версии алгоритма в среде Matlab.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] C. W. Reynolds, "Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model," in ACM SIGGRAPH Computer Graphics, vol. 21. ACM, 1987, pp. 25–34.
- [2] Karpov, V.; Karpova, I. "Leader election algorithms for static swarms". Biol. Inspired Cogn. Archit. 2015, 12, 54–64.
- [3] A. H. B. M. Tavares, S. P. Madruga, A. V. Brito, and T. P. Nascimento, "Dynamic leader allocation in multi-robot systems based on nonlinear model predictive control," Journal of Intelligent and Robotic Systems, Jul 2019.
- [4] Карпов В.Э. "Модели социального поведения в групповой робототехнике Управление большими системами. 2016. № 59. С. 165–232.

УЧЁТ КОНТУРОВ В ЗАДАЧЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СТИЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Китов Виктор Владимирович¹, Полетаев Всеволод Андреевич²

¹ Кафедра математических методов прогнозирования ВМК МГУ, e-mail: v.v.kitov@yandex.ru

² in3d, e-mail: poletaev.va@gmail.com

Предметная область. Нейросетевая стилизация изображений (*neural style transfer*) [1] заключается в автоматической перерисовке пользовательского изображения, называемого *контентом*, в стиле другого изображения, называемого *стилем* или *стилевым изображением*. Результат перерисовки называется *стилизацией*. Например, это может быть фотография пользователя, перерисовываемая в стиле картины известного художника.

Актуальность. Стилизация изображений активно используется в индустрии развлечений. Например, мобильное приложение *Prisma* [2] было самым скачиваемым приложением на сервисе Google Play в странах СНГ в течение 10 дней после выхода. Также стилизация позволяет существенно упростить наложение сложных художественных эффектов и реализована в редакторе *Adobe Photoshop*. Использование стилизационных эффектов может находить применение в создании визуальной рекламы и дизайне сайтов и интерьеров.

Задача. Классический метод стилизации, накладывая требуемый стиль на контентное изображение, искажает его. Это приемлемо для фона, но крайне нежелательно искажение объектов на изображении, таких как текст и лица людей. Ключевой характеристикой узнаваемости объектов являются их контуры [3]. Существует метод [4], позволяющий сохранять контуры в процессе стилизации за счёт введения дополнительной функции потерь, штрафующей расхождение карты контуров контента и стилизации, извлечённых оператором Лапласа, но он обладает рядом недостатков. Используемая в архитектуре операция пулинга перед функцией потерь снижает пространственное разрешение карт контуров, уменьшая их детализацию. Также в методе расхождение карт контуров стилизации и контента штрафуются по квадрату L_2 нормы, что, с одной стороны, усиливает контуры контента (желаемый эффект), но, с другой — препятствует полноценному наложению стиля, особенно если сам стиль содержит много контуров, что препятствует решению исходной задачи.

Предложенный метод. Предлагается другой способ сохранения контуров в задаче стилизации. Карта контуров с контента и стилизации извлекается оператором Собеля без операции пулинга, что позволяет сохранить больше контурных деталей. Для устранения противоречия между сохранением контуров контента и свободой в наложении стиля (если стиль предполагает наличие

контуров) предлагается использовать несимметричную функцию потерь:

$$\mathcal{L}_{edge}(R, C) = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H \mathbb{I}\{R_{ij} < C_{ij}\} (R_{ij} - C_{ij})^2$$

где $R, C \in \mathbb{R}^{H \times W}$ — карты контуров стилизации и контента, а индикаторная функция $\mathbb{I}\{\text{условие}\}$ принимает значение 1, если условие выполнено, и 0 — иначе. По сути, расхождение контуров штрафуются, если контуры присутствуют на контенте, но отсутствуют на результате стилизации. Перенос же дополнительных контуров со стиля не штрафуются, что улучшает свободу и качество стилизации.

Результаты. Предложенный метод позволил, с одной стороны, точнее сохранять контуры, а, с другой — не препятствовать свободному наложению стиля, особенно если стиль содержит много контурных линий. Преимущество метода, по сравнению с существующими, подтверждается как сопоставлением результатов стилизаций на качественном уровне, так и путём опроса респондентов, которые при выборе наиболее предпочтительных стилизаций среди результатов разных методов предпочитали стилизацию предложенным подходом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Gatys L. A., Ecker A. S., Bethge M. Image style transfer using convolutional neural networks //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – С. 2414-2423.
- [2] <https://prisma-ai.com> // Официальный сайт приложения Prisma (дата обращения: 2022.03.21).
- [3] Shapley R. M., Tolhurst D. J. Edge detectors in human vision //The Journal of physiology. – 1973. – Т. 229. – №. 1. – С. 165-183.
- [4] Li S. et al. Laplacian-steered neural style transfer //Proceedings of the 25th ACM international conference on Multimedia. – 2017. – С. 1716-1724.

О МОДИФИКАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОЖЕСТВА РАЗРЕШИМОСТИ ДЛЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ

Мельникова Анастасия Алексеевна¹, Точилин Павел Александрович²

¹ Кафедра системного анализа, e-mail: nastya.a.melnikova@gmail.com

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

Работа посвящена задаче попадания на целевое множество на конечном временном отрезке несмотря на действие помехи из заданного начального положения для линейной системы дифференциальных уравнений с управляющими параметрами и неопределенностью, на которые наложены жесткие

ограничения [1, 2]. Существуют различные подходы к решению указанной задачи, среди которых построение альтернированного интеграла Понтрягина [3], а также нахождение функции цены как обобщенного решения уравнения Гамильтона-Якоба-Беллмана-Айзекса [4]. В докладе рассматривается пример указанной задачи для случая плоскости, когда на положение системы влияет только помеха, не зависящая от времени.

Система задается уравнением

$$\dot{x}(t) = v(t), \quad x(t) \in \mathbb{R}^2, \quad t \in [t_0, t_1], \quad (1)$$

где помеха

$$v(t) \in Q = 0 \times [-1, 1], \quad (2)$$

а целевое множество $M = B_1(0, 0)$ – единичный шар с центром в начале координат.

Для системы (1) с ограничением (2) в явном виде выписывается вид множества разрешимости W в момент времени t , а также предлагается способ построения множества $\hat{W}[t] = W[t]$ с заменой множества помехи Q на некоторое множество \hat{Q} таким образом, что для вычисления опорной функции возникающей на каждом шаге операции геометрической разности $M - \sigma Q$ (σ – длина временного отрезка) в многозначном интеграле не требуется овыпукления разности опорных функций соответствующих множеств. В этом случае функция цены, равная расстоянию до множества разрешимости, удовлетворяет модифицированному уравнению типа Гамильтона-Якоба-Беллмана-Айзекса, где помеха берется из множества \hat{Q} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Понтрягин Л. С. О линейных дифференциальных играх II // Доклады АН СССР. 1967. Т. 175, № 4. С. 910–912.
- [2] Понтрягин Л. С. Линейные дифференциальные игры преследования // Математический сборник. 1980. Т. 112, № 3. С. 307–330.
- [3] Куржанский А. Б. Альтернированный интеграл Понтрягина в теории синтеза управлений // Труды МИАН. 1999. Т. 224, С. 234–248.
- [4] Fleming W. H., Soner H. M. *Controlled Markov processes and viscosity solutions* // Springer-Verlag, New York, 1993.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА В ЗАДАЧЕ СТАБИЛИЗАЦИИ 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 непрерывная скалярная переключаемая линейная интервальная система

$$\dot{x} = [A_\sigma]x + [b_\sigma]u, \quad \sigma \in S_\tau, \quad (1)$$

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 всех переключающих сигналов σ , для которых время между любыми двумя соседними переключениями не меньше τ ($\tau > 0$); I — множество индексов, нумерующих режимы функционирования системы (1); $[A_\sigma] = [A] \circ \sigma$ — композиция отображения $[A] : I \rightarrow \{[A_1], \dots, [A_m]\}$ ($[A_i] \in \mathbb{R}^{n \times n}$) и переключающего сигнала σ , $[b_\sigma] = [b] \circ \sigma$ — аналогичная композиция для отображения $[b] : I \rightarrow \{[b_1], \dots, [b_m]\}$ ($[b_i] \in \mathbb{R}^n$); пары интервальных матриц ($[A_i], [b_i]$), $i = 1, \dots, m$, определяют режимы функционирования системы (1); $x \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния, $u \in \mathbb{R}^1$ — управляющий вход. Далее считаем, что переключающий сигнал $\sigma(t)$ не доступен для измерения в процессе функционирования системы (1).

Требуется стабилизировать систему (1) в некоторой кубической окрестности нуля $D(0, \gamma)$, т.е. построить обратную связь $u = u(x)$ такую, что для любых $x(0) \in D(0, \gamma)$, $\sigma \in S_\tau$ и любых наборах $\{A_1, \dots, A_m\}$ ($A_i \in [A_i]$), $\{b_1, \dots, b_m\}$ ($b_i \in [b_i]$) норма соответствующего решения $\|x(t)\|_2 \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$. Здесь $D(0, \gamma) = \{x \in \mathbb{R}^n : \|x\|_\infty < \gamma\}$. При этом вектор-функция $x(t)$ определяется как решение линейной нестационарной системы с кусочно-постоянными коэффициентами

$$\dot{x} = A_{\sigma(t)}x + b_{\sigma(t)}u, \quad x(0) = x_0 \in D(0, \gamma), \quad \sigma \in S_\tau, \quad (2)$$

где $A_{\sigma(t)} \in \{A_1, \dots, A_m\}$, $b_{\sigma(t)} \in \{b_1, \dots, b_m\}$.

Один из возможных подходов к решению поставленной задачи заключается в построении переключаемого регулятора [1]

$$u = -k_\sigma x, \quad (3)$$

каждый режим которого является стабилизирующей обратной связью $u = -k_i x$ для, соответственно, i -го режима $\dot{x} = [A_i]x + [b_i]u$ переключаемой системы (1), т.е. обеспечивает асимптотическую устойчивость замкнутой системы $\dot{x} = ([A_i] - [b_i]k_i)x$.

Возможное решение, позволяющее использовать данный регулятор, заключается в построении “наблюдателя”, который определял бы номер активного режима для текущего момента времени. В качестве такого “наблюдателя” предлагается использовать нейронную сеть [2].

Пару — переключаемый регулятор и нейронную сеть — далее будем называть *нейрорегулятором*. Перенумеруем (от 1 до n^2) все возможные режимы $\dot{x} = ([A_i] - [b_i]k_j)x$ ($i, j = 1 \dots m$) системы (1), замкнутой переключаемым регулятором (3). Основная работа нейронной сети состоит в следующем: выбирается дискретная последовательность моментов времени εl , $l = 0, 1, 2, \dots$, где ε — достаточно малая положительная константа ($\varepsilon < \tau$) и далее по каждой паре измерений вектора состояния ($x(\varepsilon l), x(\varepsilon(l+1))$) нейронная сеть должна определять номер текущего режима замкнутой переключаемой системы в момент $t = \varepsilon(l+1)$. Используя данную информацию, осуществляется переключение векторов k_i стабилизирующей обратной связи в переключаемом регуляторе.

Можно выделить несколько основных шагов настройки нейрорегулятора:

- 1) выбор структуры нейросети;
- 2) выбор регуляторов $u = -k_i x$, обеспечивающих устойчивость соответствующих i -х замкнутых режимов переключаемой системы;
- 3) расчет времени задержки τ^* , обеспечивающего устойчивость переключаемой системы (1) с режимами, замкнутыми построенными в п. 2 регуляторами и проверка неравенства $\tau^* \leq \tau$;
- 3) выбор величины ε_p с учётом ограничений на ошибку оценивания и времени задержки τ^* ;
- 4) построение обучающей выборки для нейросети с учётом окрестности $D(0, \gamma)$, в которой осуществляется стабилизация переключаемой системы;
- 5) обучение нейросети на промежутке $[0; \varepsilon_p]$;
- 6) проверка работоспособности нейросети по определению текущего активного режима;
- 7) моделирование переключаемой системы (1) замкнутой построенным нейрорегулятором.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Фурсов А.С., Мосолова Ю.М. Теоретические аспекты построения нейрорегулятора для переключаемых систем // Дифференц. уравнения, 2022, Т. 58, N. 11, с. 1548-1556.
- [2] Хайкин С. Нейронные сети // Издательский дом “Вильямс”. 2006.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ СЛУЧАЯ Е-ПОЛЯРИЗАЦИИ

Барашков Игорь Сергеевич

Кафедра математической физики, e-mail: baraskov@cs.msu.ru

Постановка задачи. При решении обратной задачи магнитотеллурического зондирования определяется функция проводимости под поверхностью земли по измеренным на поверхности земли значениям импеданса естественного электромагнитного поля земли. Поле возбуждается плоской электромагнитной волной, вертикально падающей на поверхность земли. В настоящей работе рассмотрена модель, в которой двумерная неоднородность с неизвестной переменной проводимостью находится в ограниченной области, погруженной в горизонтально однородную слоистую среду. В случае Е-поляризации модельный импеданс электрического типа вычисляется как частное от деления горизонтальной компоненты электрического поля на горизонтальную компоненту магнитного поля.

Итерационный процесс. Решение обратной задачи начинается с расчёта электрического поля в области неоднородности с некоторым первоначальным заданным значением распределения проводимости. Расчёт удобно проводить методом интегральных уравнений. Этот метод позволяет решать интегральное уравнение для электрического поля только в ограниченной области неоднородности. Затем с помощью интегральных представлений выполняется пересчёт на поверхность земли электрического и магнитного поля и вычисляется модельный импеданс. По разности модельного и измеренного импеданса строится функционал невязки. Поскольку обратная задача некорректна, то к функционалу невязки прибавляется ещё стабилизирующий функционал и полученный регуляризирующий функционал минимизируется [1]. Для этого проводится линеаризация модельного импеданса по проводимости в окрестности предыдущего решения прямой задачи. Затем приращение проводимости вычисляется из условия минимума регуляризирующего функционала. Уточнённая проводимость находится как сумма старого приближения и приращения проводимости. После этого заново решается прямая задачи в области неоднородности с уточнённым значением проводимости. Итерационный процесс завершается, когда функция проводимости стабилизируется. При решении прямой задачи необходимо рассчитывать значения функции Грина, которая является ядром интегрального уравнения. Этот расчёт не надо проводить заново на каждой итерации метода решения обратной задачи. Достаточно сделать это только

один раз и хранить вычисленные значения в течение всего времени решения обратной задачи. Это позволяет минимизировать количество арифметических операций при решении обратной задачи. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дмитриев В. И. Обратные задачи геофизики. М. : МАКС Пресс, 2012. 340 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕШЕНИЙ ЭВОЛЮЦИОННЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ НЕЛОКАЛЬНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

Гаврилов Олег Алексеевич¹, Тихонов Иван Владимирович²

¹ Филиал МГУ в Сарове, e-mail: oa.gavr@yandex.ru

² Кафедра математической физики, e-mail: ivtikh@mail.ru

Обсуждается вопрос корректной разрешимости специальных нелокальных задач для эволюционных дифференциальных уравнений. Общая постановка выглядит так. В банаховом пространстве E на отрезке $[0, T] \subset \mathbb{R}$ рассмотрим соотношения

$$\frac{du(t)}{dt} = Au(t), \quad \int_0^T u(t)\eta(t) dt = u_1. \quad (1)$$

Считаем, что A — линейный замкнутый оператор в E с плотной областью определения $D(A) \subset E$, порождающий полугруппу $U(t)$ класса C_0 (см. [1]). Весовая скалярная функция $\eta(t)$ имеет ограниченную вариацию на $[0, T]$ и нормировку $\eta(0) = \eta(0+0) = 1$. Требуется подобрать неизвестное начальное состояние $u_0 \in E$ так, чтобы векторная функция $u(t) = U(t)u_0$ давала интеграл, указанный в задаче (1) с заданным элементом $u_1 \in D(A)$.

Отметим сейчас следующие ключевые моменты.

1. Задача (1) эквивалентна операторному уравнению $u_0 - Bu_0 = g$ с линейным ограниченным оператором B и элементом $g = -Au_1$.
2. При некоторых дополнительных ограничениях возможно нахождение спектра оператора B .
3. Имеются новые эффективные оценки спектрального радиуса оператора B , позволяющие находить элемент u_0 методом итераций через ряд Неймана.
4. Указанная общая схема проверена вычислительными экспериментами на примерах нелокальных задач для уравнения теплопроводности.

Наши результаты дополняют прежнее исследование [2]. Более подробные формулировки представлены в работе [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Pazy A. Semigroups of linear operators and applications to partial differential equations. — N. Y.: Springer-Verlag, 1983.
- [2] Тихонов И. В. О разрешимости задачи с нелокальным интегральным условием для дифференциального уравнения в банаховом пространстве // Дифференц. уравнения. — 1998. — Т. 34. — № 6. — С. 841-843.
- [3] Гаврилов О. А., Тихонов И. В. О методе итераций при решении нелокальных задач для абстрактных параболических уравнений // Воронежская зимняя математическая школа: материалы Международной научной конференции (г. Воронеж, 27 января – 1 февраля 2023 г.). — Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2023. — С. 103–105.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩЕМ ТЕЛЕ

Головина Светлана Георгиевна¹, Долбнин Андрей Алексеевич²

¹ МГУ им. М. В. Ломоносова, кафедра математической физики, e-mail: sgolovina-msu@mail.ru

² МГУ им. М. В. Ломоносова, кафедра математической физики, e-mail: andredolbnin@gmail.com

Рассматривается задача дифракции электромагнитного поля на идеально проводящем экране Σ в однородной среде Ω с параметрами ε, μ - диэлектрическая и магнитная проницаемости. Первичное поле $\mathbf{E}^0(P)e^{-i\omega t}$, $\mathbf{H}^0(P)e^{-i\omega t}$, $P \in \mathbb{R}^3$, возбуждает поверхностные электрические токи, которые порождают вторичное поле $\mathbf{E}(P)$, $\mathbf{H}(P)$ и удовлетворяют уравнениям Максвелла в Ω :

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \mathbf{E} = i\mu\omega \mathbf{H}, \\ \operatorname{rot} \mathbf{H} = -i\varepsilon\omega \mathbf{E}. \end{cases} \quad (1)$$

Для напряжённости электрического поля рассмотрена краевая задача для уравнения Гельмгольца [1]:

$$\begin{cases} \Delta \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} = 0, & P \in \Omega, \\ \mathbf{E} \times \mathbf{n} = -\mathbf{E}^0 \times \mathbf{n}, & P \in \Sigma, \end{cases} \quad (2)$$

где \mathbf{n} — вектор внешней нормали к поверхности Σ , $k = \omega/c$ — волновое число. Кроме того, выполнены условия излучения Зоммерфельда на бесконечности и условия Майкснера на ребре.

Краевая задача (2) сводится к интегральному уравнению от неизвестного векторного поля $\mathbf{j}(M)$ на поверхности Σ :

$$\iint_{\Sigma} \mathbf{n}(P) \times \mathbf{K}(\mathbf{j}(M), P, M) dS_M = -\mathbf{n}(P) \times \mathbf{E}^0(P), \quad P \in \Sigma, \quad (3)$$

$$\mathbf{K}(\mathbf{j}, P, M) = \text{grad div}(\mathbf{j} F(P, M)) + k^2 \mathbf{j} F(P, M), \quad (4)$$

где $F(P, M) = e^{ikR}/R$, R — расстояние между точками P и M . Для решения уравнения (3) используется регуляризованный метод кусочно—непрерывных аппроксимаций и коллокаций [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дмитриев В. И., Захаров Е. В. Метод интегральных уравнений в вычислительной электродинамике. М. : МАКС Пресс, 2008. 316 с.
- [2] Захаров Е. В., Рыжаков Г. В., Сетуха А. В. Численное решение трехмерных задач дифракции электромагнитных волн на системе идеально проводящих поверхностей методом гиперсингулярных интегральных уравнений // Дифференциальные уравнения. 2014. Т. 50. № 9. С. 1253–1263.

ЦВЕТОВАЯ АДАПТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ АНШЛИФОВ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Индычко Олеся Игоревна¹, Хвостиков Александр Владимирович²,
Крылов Андрей Серджевич³

¹ Кафедра математической физики факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, e-mail: olindyv@mail.ru

² Кафедра математической физики факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, e-mail: khvostikov@cs.msu.ru

³ Кафедра математической физики факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, e-mail: kry1@cs.msu.ru

В работе предложен метод цветовой адаптации изображений аншлифов геологических образцов для использования ранее обученной нейросетевой модели, осуществляющей сегментацию минералов.

Одной из трудностей в применении моделей автоматической сегментации минералов является неоднородность данных. Разработанный алгоритм призван решить эту проблему и позволяет приблизить цветовые и яркостные характеристики изображений к значениям на снимках аншлифов, ранее использованных при обучении нейросетевой модели [1].

Метод цветовой коррекции основан на векторном представлении цветового пространства. Извлеченные из изображения при помощи полной маски сегментации цвета определенных минералов составляют матрицу цветового пространства. Задача цветокоррекции сводится к поиску матрицы перехода от одного цветового пространства к другому и решается численно методом наименьших квадратов [2].

Алгоритм цветовой коррекции отличается высокой скоростью работы (полная обработка одного изображения занимает порядка 10 секунд) и возможностью обучения на небольшом количестве данных.

Результаты экспериментов показали, что цветовая адаптация изображений с помощью разработанного метода существенно повышает качество нейросетевой сегментации минералов.

Работа выполнена при поддержке междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ имени М. В. Ломоносова «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Khvostikov A. V., Korshunov D. M., Krylov A. S., Boguslavskiy M. A. Automatic Identification of Minerals in Images of Polished Sections // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2021. Vol. 44. P. 113–118.
- [2] Vrhel M. J., Trussel H. J. Color correction using principal components // Color Research & Application. 1992. Vol. 17, no. 5. P. 328–338.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИСПЕРСИИ В МАГНИТОПЛАЗМОННОЙ НАНОЧАСТИЦЕ С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ

Лопушенко Владимир Васильевич¹, Еремин Юрий Александрович²

¹ Лаборатория математической физики, e-mail: lpushnk@cs.msu.ru

² Лаборатория вычислительной электродинамики, e-mail: eremin@cs.msu.ru

При возникновении поверхностного плазмонного резонанса (ПР) в металлических частицах из благородных металлов происходит концентрация и удержание значительной электромагнитной энергии в сверхмалых объемах, намного превосходящих Рэлеевский предел. Большая часть этой энергии удерживается вблизи поверхности с экспоненциальным убыванием на порядки при удалении от нее на субнанометровые расстояния [1]. Изучающая явление ПР наноплазмоника в настоящее время находит широкое применение во многих разработках: метаповерхности, нанобиосенсоры, биметаллические частицы для улавливания и трансформации солнечной энергии, магнитолазмонные наночастицы для выявления, диагностики и лечения онкологических образований.

При создании магнитолазмонных композитных наноструктур синтезируются наноматериалы с заданными физико-химическими свойствами, четко определенными размерами, формой и составом [2]. Значительный интерес представляют наноструктуры 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. Возможность управления оптическими свойствами подобных гибридных наночастиц в широком спектральном диапазоне за счет регулируемых размеров ядра и оболочки делает эти структуры важным объектом исследований в наномедицине [3].

Следует отметить, что современные технологии позволяют синтезировать частицы со средним размером 15–25 нм, включая толщину золотой оболочки, составляющую 2–5 нм. При такой малой толщине золотой оболочки электронные взаимодействия в благородных металлах приходится учитывать гораздо строже. Дело в том, что когда характерный размер металлической оболочки становится сравнимым с длиной волны Ферми электронов (5 нм), возникает пространственная дисперсия металла. В этом случае нарушаются обычные локальные соотношения между электрическим полем и смещением, входящие в систему уравнений Максвелла. Как следствие, возникает квантовый эффект пространственной дисперсии (ПД) [4]. Для изучения подобных эффектов можно использовать чисто квантовый подход, основанный на решении уравнения Шредингера для облака электронов в металле, без учета спина электрона. Однако такой подход становится обременительным 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).

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 [5]. 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 [6].

В настоящей работе на основе метода Дискретных источников (МДИ) [7] строится математическая модель слоистой наночастицы magnetit@Au , учитывающая ПД в золотой оболочке на основе теории ОНО. Исследовано влияние ПД на коэффициент усиления поля на внешней границе слоистой частицы, а также изучено влияние динамического коэффициента диффузии [8], зависящего от длины волны, на сечение поглощения и коэффициент усиления поля сфероидальных гибридных магнитоплазмонных частиц.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-00110, <https://rscf.ru/project/22-21-00110/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Pelton M. and Bryant G. *Introduction to Metal-Nanoparticle Plasmonics*. Wiley, New York, 2013.

- [2] Kalambate P. K., Dhanjai, Huang Z., Li Y., et al. Core@shell nanomaterials based sensing devices: A review // Trends Anal. Chem. 2019. Vol. 115. pp. 147–161.
- [3] Wang X., Li H., Chen G. 6 - Core-shell nanoparticles for cancer imaging and therapy // In Core-Shell Nanostructures for Drug Delivery and Theranostics. 2018. pp. 143–175.
- [4] David C., Garcia de Abajo F. J. Spatial Nonlocality in the Optical Response of Metal Nanoparticles // J. Phys. Chem. C. 2011, Vol. 115, pp. 19470–19475.
- [5] Ciraci C., Pendry J. B., Smith D. R. Hydrodynamic model for plasmonics: a macroscopic approach to a microscopic problem // Chem. Phys. Chem. 2013. Vol. 14, pp. 1109–1116.
- [6] Mortensen N. A., Raza S., Wubs M., et al. A generalized non-local optical response theory for plasmonic nanostructures // Nat. Commun. 2014. Vol. 5, pp. 3809–3815.
- [7] Еремин Ю. А., Свешников А. Г. Квазиклассические модели квантовой нано-плазмоники на основе метода дискретных источников // ЖВМ и МФ, 2021. Т. 61, № 4, С. 34–62.
- [8] Svendsen M. K., Wolff C., Jauho A.-P., Mortensen N. A. and Tserkezis C. Role of diffusive surface scattering in nonlocal plasmonics. // J. Phys.: Condens. Matter. 32. 395702.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ БИНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ОБЪЕДИНЕННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

**Белов Андрей Григорьевич¹, Полиенко Александра Евгеньевна², Белова
Оксана Андреевна³**

¹ ВМК МГУ, лаборатория обратных задач, e-mail: belov@cs.msu.ru

² ФГБНУ "ФНЦИРИП им. М.П.Чумакова РАН", e-mail: polienko.ae@yandex.ru

³ ФГБНУ "ФНЦИРИП им. М.П.Чумакова РАН", e-mail: mikasusha@bk.ru

В самых разных областях, включая медицину, биологию, сельское хозяйство и промышленное производство, используется объединенное (групповое) тестирование, которое включает в себя любую процедуру диагностики бинарного состояния исследуемой единицы не индивидуально, а в группе. Более 80 лет групповое тестирование является активной областью исследований в статистической науке. Она разветвилась на две активные подобласти исследований: идентификацию единиц и оценивания распространенности бинарного исхода в совокупности. В работе решается вторая задача в области эпидемиологии. Типичный эксперимент по объединенному тестированию проводится следующим образом. В совокупности находится некоторое число зараженных и здоровых объектов. Вся совокупность случайно разбивается на некоторое количество групп с фиксированным числом образцов в каждой. После диагностического

исследования с помощью теста, каждой группе присваивается статус “заражен”, при наличии хотя бы одного зараженного объекта в группе, или “незаражен”, при отсутствии зараженных объектов в группе. В итоге, из общего числа групп получаем число зараженных (здоровых) групп. По этим данным необходимо оценить число зараженных объектов в совокупности. При этом следует учитывать несовершенство теста. Последнее обычно описывается двумя характеристиками: “чувствительность” (“sensitivity”) — вероятность дать положительный диагноз “заражен” для действительно зараженного объекта; “специфичность” (“specificity”) — вероятность правильно дать отрицательный результат теста.

В работе проведен объединенный анализ данных нескольких реальных ограниченных совокупностей объектов (иксодовых клещей) с разной степенью зараженности на основе двух моделей, в которых учтена несовершенство теста. Оценивание степени зараженности вирусом клещевого энцефалита и бактериями *Borrelia burgdorferi sensu lato* выполняется методами максимального правдоподобия и моментов, проведен их сравнительный анализ. Показана необходимость учета характеристик “чувствительность” и “специфичность” несовершенности теста при групповой обработке.

АСИМПТОТИКА РИСКА FDR-МЕТОДА ПРИ НАЛИЧИИ СЛАБОЙ ЗАВИСИМОСТИ В ДАННЫХ

Воронцов Михаил Олегович¹, Шестаков Олег Владимирович²

¹ Кафедра математической статистики, e-mail: m.vtsov@mail.ru

² Кафедра математической статистики, e-mail: oshestakov@cs.msu.su

Во многих прикладных областях возникают задачи обработки больших массивов данных. При этом в некоторых приложениях — таких, как обработка изображений и аудиосигналов, исследования в области генетики и в ряде других областей знаний — массив данных зачастую полагается зашумленным и допускающим некоторое разреженное представление, при котором абсолютное значение большинства элементов массива равно нулю или достаточно мало. Возникающая при этом задача выявления значимых элементов массива (значимых признаков) и удаления шума математически эквивалентна задаче множественной проверки гипотез.

В работе [1] для решения задачи множественной проверки гипотез был предложен метод, основанный на контроле ожидаемой доли ложных отклонений (false discovery rate, FDR) гипотез при помощи алгоритма Бенжамини–Хочберга. В работе [2] проведено исследование асимптотики среднеквадратичного риска указанного метода в случае, когда вектор данных является разреженным и состоит из независимых элементов.

В то же время в определенных приложениях — например, при анализе полученных в результате использования ДНК-микрочипов данных, исследовании

геофизических процессов и анализе помех в телекоммуникационных каналах — условие независимости компонент вектора данных может не выполняться. В докладе исследуется асимптотика среднеквадратичного риска FDR-метода в случае, когда компоненты разреженного вектора данных являются слабо зависимыми — имеют соответствующим образом убывающий коэффициент сильного перемешивания.

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. 289–300.
- [2] Abramovich F., Benjamini Y., Donoho D., Johnstone I. Adapting to Unknown Sparsity by controlling the False Discovery Rate // The Annals of Statistics. 2006. Vol. 34. № 2. P. 584–653.

О ЧИСЛЕННОМ ОЦЕНИВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ГАММА-ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО И ДИГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Гусейнов Саид Сайпудинович, Кудрявцев Алексей Андреевич, Лохно Иван Константинович

Кафедра математической статистики, e-mail: guseynov.ss@yandex.ru, aakudryavtsev@cs.msu.ru, ivanlokhno@mail.ru

Большую роль в прикладной теории вероятностей и математической статистике играют гамма- и бета-классы распределений, зарекомендовавшие себя удобными и эффективными инструментами при моделировании многих реальных процессов. В докладе рассматривается распределение, тесно связанное с перечисленными популярными классами.

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

$$\mathcal{M}_{\zeta}(z) = \frac{\delta^z \Gamma(p + z/\nu) \Gamma(q - rz/\nu)}{\Gamma(p)\Gamma(q)}, \quad p + \frac{\operatorname{Re}(z)}{\nu} > 0, \quad q - \frac{r\operatorname{Re}(z)}{\nu} > 0. \quad (1)$$

К частным видам дигамма-распределения относятся обобщенное гамма-распределение (распределение Аморозо с нулевым сдвигом), обобщенное бета-распределение второго рода (распределение Макдональда) и гамма-экспоненциальное распределение.

В случае моделирования реального процесса при помощи дигамма-распределения неизбежно возникает вопрос оценивания неизвестных параметров по реальным данным. Ввиду представления плотности дигамма-распределения

в терминах специальной H -функции Фокса, метод максимального правдоподобия представляется затруднительным. То же можно сказать и о прямом методе моментов. Кроме того, поскольку параметры концентрации входят в преобразование Меллина (1) как аргументы гамма-функции, известные методы оценивания, основанные на логарифмических кумулянтах, не могут дать позитивного результата, ввиду аналитической сложности обращения полигамма-функций.

В докладе обсуждаются подходы к оцениванию пяти параметров дигамма-распределения и гамма-экспоненциального распределения как его частного случая, основанные на численных методах.

Исследования проводились в рамках программы Московского центра фундаментальной и прикладной математики.

О ГЛУБОКИХ СМЕШАННЫХ ГАУССОВСКИХ МОДЕЛЯХ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА ТРАФИКА

Козловская Анастасия Леонидовна¹, Горшенин Андрей Константинович²

¹ ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, кафедра математической статистики, e-mail: analeokoz@gmail.com

² Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, e-mail: agorshenin@frccsc.ru

В данной работе предложено применение такой нейросетевой архитектуры, как глубокие гауссовские смеси [1], к данным соты мобильного оператора. В них содержатся объемы загруженных и отправленных данных по каждому пользователю и приложению за час с 10.02.2018 по 22.02.2018 и с 01.03.2018 по 04.03.2018, часовые метки внутри суток, идентификаторы пользователей (всего – более 94 тысяч уникальных пользователей за период наблюдений) и одного из 16 различных типов приложений. В качестве тестовой выборки используется 20% значений начиная с 01.03.2018.

Пусть y_i – p -мерный случайный вектор, содержащий p вещественных переменных. Тогда y_i имеет плотность распределения гауссовской смешанной модели с k компонентами: $f(y_i; \theta) = \sum_{j=1}^k \pi_j \phi^{(p)}(y_i; \mu_j, \Sigma_j)$. Известно [1], что для y_i возможно следующее представление с помощью линейной модели с априорной вероятностью π_j : $y_i = \mu_j + \Lambda_j z_i + u_i$, где z_i – p -мерная нормально распределенная латентная переменная, а u_i – независимый вектор случайных ошибок, $u_i \sim N(0, \Psi_j)$, а Ψ – такие диагональные матрицы, что $\Sigma_j = \Lambda_j \Lambda_j^T + \Psi_j$.

Таким образом, модель глубокой гауссовской смеси состоит из набора вложенных смесей линейных моделей, которые в сумме реализуют нелинейную модель, способную очень гибко описывать данные. При этом неизвестные параметры в слоях модели оцениваются с использованием некоторой модификации EM-алгоритма [2].

Данная модель была изначально предложена для решения задач кластеризации [1], однако в работе [3] предложено расширение архитектуры для решения задач классификации и регрессии.

Для анализа трафика предлагается подход, использующий реализацию классических регрессионных моделей. Для обучения модели выбирается базовый алгоритм, обучается модель глубокой гауссовой смеси, объекты из обучающей выборки кластеризуются, а затем для каждого кластера строится своя модель базового класса. Прогноз для объекта вычисляется с использованием одной из обученных базовых моделей в зависимости от предсказанного кластера.

Для прогнозирования объемов данных (см. пример на рисунке 1) и числа пользователей в час используется модель глубокой гауссовской смеси и линейная регрессия в качестве базового алгоритма.

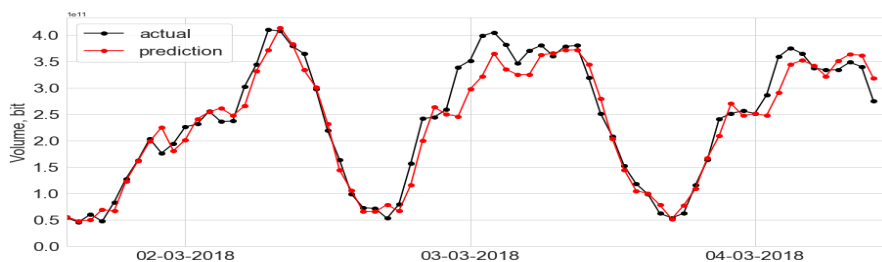


Рис. 1: Прогнозирование объемов потребляемого трафика в час

Для оценки качества прогнозов используется среднее абсолютное процентное отклонение (MAPE). Предложенная регрессионная версия алгоритма позволила уменьшить ошибку до 10.3% для объемов данных и до 1.9% для количества пользователей на тестовой выборке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Viroli C., McLachlan G.J. Deep Gaussian Mixture Models Statistics and Computing, 29:1 (2006), 43-51.
- [2] Wu X., Kumar V., Quinlan J. Top 10 algorithms in data mining Knowledge and Information Systems, 14:1 (2008), 1-37.
- [3] Ибрагимова А. Р., Горшенин А. К. О глубоких гауссовских моделях в задачах машинного обучения // Интеллектуальные системы. Теория и приложения. 2021. Т. 25, № 4. С. 121–124.

ОБ ОДНОЙ ОЦЕНКЕ СКОРОСТИ СХОДИМОСТИ В ОБОБЩЕННОЙ ТЕОРЕМЕ РЕНЬИ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО СМЕШАННОГО ДИГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Кудрявцев Алексей Андреевич, Шестаков Олег Владимирович

Кафедра математической статистики, e-mail: aakudryavtsev@cs.msu.ru, oshestakov@cs.msu.ru

Доклад посвящен оцениванию скорости сходимости в обобщенной теореме Реньи со структурным дигамма-распределением.

Определение. Будем говорить, что случайная величина ρ 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

$$M_\rho(z) = \frac{\delta^z \Gamma(p + z/\nu) \Gamma(q - rz/\nu)}{\Gamma(p)\Gamma(q)}, \quad p + \frac{\operatorname{Re}(z)}{\nu} > 0, \quad q - \frac{r\operatorname{Re}(z)}{\nu} > 0.$$

К частным видам дигамма-распределения относятся обобщенное гамма-распределение (распределение Аморозо с нулевым сдвигом), обобщенное бета-распределение второго рода (распределение Макдональда) и гамма-экспоненциальное распределение.

Пусть $\Lambda \sim D(\dots, \delta)$ — неотрицательная случайная величина с параметром масштаба δ . Рассмотрим стандартный пуассоновский процесс $N_1(t)$ и последовательность одинаково распределенных случайных величин ξ_1, ξ_2, \dots с конечным математическим ожиданием $E\xi_1 = a \neq 0$. Предположим, что $N_1(t), \Lambda, \xi_1, \xi_2, \dots$ независимы для любого $t > 0$. Обозначим $S_n = \xi_1 + \dots + \xi_n$.

Справедливо следующее обобщение теоремы Реньи.

Теорема. Пусть $\hat{\Lambda} \stackrel{d}{=} \Lambda/\delta$. Тогда

$$\frac{S_{N_1(\delta t)}}{a\delta t} \implies \hat{\Lambda}, \quad \delta t \rightarrow \infty.$$

В докладе приводятся оценки скорости сходимости в обобщенной теореме Реньи со структурным дигамма-распределением, основанные на дзета-метрике

$$\zeta_s(X, Y) = \sup_{f \in \mathcal{F}_s} |E(f(X) - f(Y))|,$$

где $\mathcal{F}_s = \{f : |f^{(m)}(x) - f^{(m)}(y)| \leq |x - y|^\varepsilon, s = m + \varepsilon, 0 < \varepsilon \leq 1\}$.

Исследования проводились в рамках программы Московского центра фундаментальной и прикладной математики. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-11-00212).

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ДАЛЕКИХ ЯДЕР ГАЛАКТИК ПО ДАННЫМ ЦИФРОВЫХ ОБЗОРОВ НЕБА

Герасимов Сергей Валерьевич¹, Васильев Семён Михайлович²,
Мещеряков Александр Валерьевич³

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: gerasimov@m1ab.cs.msu.ru

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: vasilyev.sem@gmail.com

³ Институт космических исследований РАН, Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: mesch@cosmos.ru

Данные о распределении вещества во Вселенной (карта крупномасштабной структуры Вселенной) позволяют делать выводы о процессах эволюции астрономических структур. Крупномасштабная структура Вселенной на больших расстояниях в основном состоит из квазаров (активные ядра галактик). Таким образом, для построения карты распределения вещества на больших расстояниях необходимо уметь точно оценивать расстояния (красные смещения, Z) до этих астрономических объектов. Большой интерес представляет применение моделей оценки расстояний до квазаров к современным каталогам рентгеновских источников, таких как SRG/eRosita. В астрономии существует два основных способа определения космологических расстояний до квазаров (спектроскопический и фотометрический). Спектрографический способ дает точную оценку расстояния, однако снятые спектры есть только у $\sim 1\%$ объектов. Фотометрические оценки красного смещения можно получить для всех наблюдаемых объектов, но для этого необходимо использовать модели машинного обучения.

В задаче оценки расстояния до рентгеновских источников используются данные, обладающие мультимодальным распределением. Текущие нейросетевые решения не учитывают эту особенность. Целью данной работы является построение модели оценки расстояний до активных ядер галактик на основе нейронных сетей, учитывающих мультимодальное распределение данных за счет оценки смеси нормальных распределений [1], и сравнение полученной модели с моделью на основе алгоритма случайного леса [2], обладающей на данный момент наибольшей точностью.

В качестве архитектуры базовой модели был выбран многослойный полносвязный перцептрон. Важным требованием к поставленной задаче является способность модели оценивать распределение получаемых оценок расстояний. Исходя из приведенного замечаний, было решено обучить глубокий ансамбль [3] базовых моделей для задачи оценки смеси нормальных распределений. Выборка составлена из объектов каталогов квазаров DR14Q и VHzQ (далекие квазары $Z > 5$). Признаки объектов - из объединенных данных 4-х фотометрических обзоров: DESI Legacy Imaging Surveys, Pan-STARRS1, SDSS, WISE.

Данная выборка была взята из работы [2] для корректного сравнения с моделью на основе случайного леса. Оценка моделей производилась на той же выборке за счет использования двойной перекрестной валидации. Для оценки качества моделей использовались стандартные метрики - нормализованное медианное отклонение и доля катастрофических выбросов:

$$\sigma_{nmad} = 1,48 * median(|\delta z_i|); n_{>0.15} = \frac{\#\{i = \overline{1, N} | \delta z_i > 0.15\}}{N}, \quad (1)$$

где $\delta z_i = \frac{z_{ph}^i - z_{spec}^i}{1 + z_{spec}^i}$. Метрики, рассчитанные по всей выборке (576176 объектов) и по объектам на $Z > 5$ (270 объектов), представлены в (2) и (3) соответственно.

$$\sigma_{nmad}^{nn} = 0.028, \sigma_{nmad}^{rf} = 0.281; n_{>0.15}^{nn} = 0.040, n_{>0.15}^{rf} = 0.048 \quad (2)$$

$$\sigma_{nmad}^{nn z>5} = 0.020, \sigma_{nmad}^{rf z>5} = 0.017; n_{>0.15}^{nn z>5} = 0.065, n_{>0.15}^{rf z>5} = 0.130 \quad (3)$$

Мы получили нейросетевую модель прогнозов космологических расстояний (photo-z), имеющую на 17,5% меньше выбросов (на всей выборке квазаров), и на 50% меньше для далеких объектов ($Z > 5$), чем модель на основе случайного леса из работы [2]. Таким образом показано, что в задаче измерения фотометрических красных смещений квазаров, модели на основе нейронных сетей, обученные оценивать смеси нормальных распределений, способны достигать лучшей точности, чем модели, использующие алгоритм случайного леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bishop C. M., Nasrabadi N. M. Pattern recognition and machine learning. – New York : springer, 2006. – Т. 4. – №. 4. – С. 738.
- [2] Borisov V. et al. Probabilistic photo-z machine learning models for X-ray sky surveys //arXiv preprint arXiv:2107.01891. – 2021.
- [3] Peirson A. L. Neural network analysis of X-ray polarimeter data //arXiv preprint arXiv:2206.10537. – 2022.

ОБНАРУЖЕНИЕ АНОМАЛИЙ В ДАННЫХ СИСТЕМНЫХ ЖУРНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ПРОЦЕССНОЙ АНАЛИТИКИ

Горохов Олег Евгеньевич¹, Кирсанова Софья Игоревна²

¹ МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет ВМК, кафедра ИИТ, e-mail: gorokhov-oe@cs.msu.ru

² МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет ВМК, кафедра ИИТ, e-mail: kirsanova.sofya@gmail.com

В современных условиях важно своевременно выявлять аномалии в поведении компьютерных систем. Информация о поведении систем хранится в системных журналах, и для определения поведения систем эффективными являются методы **процессной аналитики** (process mining). Важно также отметить, что данные системных журналов представляют собой набор текстовой

информации, и поэтому задача определения причин аномального поведения систем тесно связана с задачей обнаружения аномалий в текстовых данных.

Эффективные методы процессной аналитики включают в себя алгоритмы обнаружения процессов (такие как α -алгоритм, эвристический майнер и индуктивный майнер), алгоритмы улучшение процесса (интеллектуальный анализ решений и анализ процессов с учетом времени), классификация, кластеризация и регрессия. Среди методов обнаружения аномалий используются статистические методы и методы, основанные на синтаксической разности слов.

В современных условиях важно своевременно выявлять аномалии в поведении систем. Информация о поведении систем хранится в системных журналах. Для определения поведения систем эффективными являются методы процессной аналитики.

Применение процессной аналитики действительно улучшает классические подходы к обнаружению аномалий. Это подтверждает эффективность применения процессной аналитики в задаче обнаружения аномалий в системных журналах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] van der Aalst W.M.P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2011. Vol. 1, Iss. 1. P. 1-356.
- [2] Rozinat A., Mans R.S., Song M., van der Aalst W.M.P. Discovering Simulation Models // Information Systems Journal. 2009. Vol. 34, Iss. 3. P. 305–327.
- [3] Carmona J., Engelfriet J., Kumar A. A Formal Approach to Conformance Checking and Diagnosis in Process Mining // Information Processing Letters. 2018. Vol. 135, Iss. 4. P. 31-38.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К АНТИБИОТИКАМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ

Машечкин Игорь Валерьевич¹, Казачук Мария Андреевна², Попов Иван Сергеевич³, Трапезников Михаил Юрьевич⁴

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

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

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

⁴ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: s02190217@gse.cs.msu.ru

Целью данной работы является исследование существующих и разработка собственных алгоритмов определения степени бактериальной резистентности к антибиотикам на основе анализа микробиологических фотоизображений, показывающих высокое качество работы. Данные методы позволяют решать

одну из важнейших задач клинической микробиологии – задачу подбора индивидуальной антибиотикотерапии каждому конкретному пациенту. В работе рассматриваются существующие способы обнаружения дисков с антибиотиками, распознавания названия и дозы на антибиотиках, автоматического измерения диаметра ореола резистентности, основанные на использовании классических методов машинного обучения, компьютерного зрения и нейронных сетей [1, 2], анализируются их достоинства и недостатки. Предлагаются собственные эвристические подходы и нейросетевые методы решения поставленной задачи. По результатам экспериментального исследования, предложенные нейросетевые методы превосходят по качеству и эффективности все рассмотренные существующие решения. Предложенные эвристические подходы также обладают высоким качеством работы и могут применяться на практике. Дополнительно, разработаны эвристический подход и нейросетевой метод определения одного из вида дефектов процедуры микробиологического анализа – контаминированных проб, обладающие высоким качеством работы. Разработанные алгоритмы были встроены в программный прототип интеллектуальной системы анализа микробиологической информации лаборатории Технологий программирования кафедры ИИТ ВМК МГУ и могут применяться в современных медицинских лабораториях с целью автоматизации процесса анализа микробиологической информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 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>.
- [2] 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.

ОБНАРУЖЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОЛОНИЙ БАКТЕРИЙ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯХ

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

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

Целью данной работы является исследование и разработка методов распознавания колоний бактерий на микробиологических фотоизображениях. В работе проведено исследование современных методов обнаружения [1, 2, 3] и

классификации [4, 5] колоний бактерий на фотоизображениях. Было получено, что качество работы таких методов на предоставленном наборе данных не является достаточно высоким, и они не могут использоваться на практике. В связи с этим, в данной работе были предложены собственные методы сегментации и классификации колоний бактерий. Предложенный эвристический метод сегментации основан на бинаризации изображения с помощью анализа гистограммы распределения пикселей. Предложенный метод классификации найденных колоний бактерий основан на глубоком обучении с использованием сверточных нейронных сетей. Предложенные методы демонстрируют значительно более высокое качество работы по сравнению с существующими и могут использоваться в современных медицинских лабораториях с целью автоматизации процесса микробиологического анализа.

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.
- [4] Shaily T., Kala S. Bacterial image classification using convolutional neural networks //2020 IEEE 17th India Council International Conference (INDICON). – IEEE, 2020. – С. 1-6.
- [5] Zieliński B. et al. Deep learning approach to bacterial colony classification //PloS one. – 2017. – Т. 12. – №. 9. – С. e0184554.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОГО БУСТИНГ АНСАМБЛЯ АНАЛИЗА ВЫЖИВАЕМОСТИ

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

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

На данный момент наблюдается устойчивый рост объемов данных, позволяющих описывать и прогнозировать наступление событий. В области здравоохранения, событиями могут служить летальный исход, рецидив или выздоровление пациента. Однако, классические методы машинного обучения не позволяют прогнозировать персональную историю изменения риска события.

Для анализа событий используются методы анализа выживаемости, прогнозирующих вероятность и время до наступления события. Особенностью области является работа с цензурированными данными, для которых не известно истинное время наступления события из-за окончания исследования или потери наблюдения. Для оценки изменения вероятности наступления события во времени, определяются функции выживания и риска [1].

Наибольшее распространение в анализе выживаемости получил метод регрессии Кокса [2]. Однако, предположение о пропорциональности рисков не подтверждается на практике и ограничивает прогноз моделей [3].

Для преодоления ограничений строгости теоретических предположений используются древовидные подходы, основанные на рекурсивном разбиении признакового пространства на области с близкими функциями выживаемости. Существующие модели деревьев выживаемости [1] основаны на критерии log-rank с малой чувствительностью к особенностям в данных. Для увеличения качества прогнозирования используются подходы ансамблирования базовых алгоритмов. В частности, бустинг ансамблирование основано на последовательном построении моделей, целью которых является исправления ошибок предыдущих моделей.

В терминах анализа выживаемости, наиболее распространен градиентный бустинг, использующий время или вероятность наступления события в качестве целевой переменной [4]. Для решения проблемы малой функциональности, существующие ансамбли выживаемости применяют метод Кокса для построения функций выживания и риска на основе точечной оценки. В таком случае наследуется ограничения пропорциональности рисков.

Для преодоления недостатков существующих моделей, был разработан собственный комплекс методов. Метод дерева выживаемости позволяет строить интерпретированные модели, применим к категориальным признакам и пропускам в данных, а также имеет большую чувствительность, используя взвешенные критерии log-rank.

Для увеличения точности прогнозов, предлагаются бустинг ансамбли деревьев выживаемости. Метод адаптивного ансамблирования основан на идее обновления весов наблюдений исходя из качества прогноза на предыдущих итерациях ансамбля. Веса наблюдений используются для построения выборки следующей модели ансамбля. Наконец, взвешенный бустинг ансамбль деревьев выживаемости основан не на эмпирическом правиле обновления весов, а на оптимизации правдоподобия с помощью градиентного спуска.

По результатам экспериментов на открытых медицинских наборах данных PBC, GBSG, WUHAN, метод вероятностного бустинга показал лучшее качество по метрикам concordance index, integrated brier score и integrated AUC.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Wang, Ping, Yan Li, and Chandan K. Reddy. "Machine learning for survival analysis: A survey." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 51.6 (2019): 1-36.
- [2] Cox, David R. "Regression models and life-tables." *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 34.2 (1972): 187-202.
- [3] Stensrud, Mats J., and Miguel A. Hernán. "Why test for proportional hazards?." *Jama* 323.14 (2020): 1401-1402.
- [4] Pölsterl, Sebastian. "scikit-survival: A Library for Time-to-Event Analysis Built on Top of scikit-learn." *The Journal of Machine Learning Research* 21.1 (2020): 8747-8752.

МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ДАННЫХ СИСТЕМНЫХ ЖУРНАЛОВ

**Машечкин Игорь Валерьевич¹, Петровский Михаил Игоревич², Горохов
Олег Евгеньевич³**

¹ МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет ВМК, кафедра ИИТ, e-mail: mash@cs.msu.su

² МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет ВМК, кафедра ИИТ, e-mail: michael@cs.msu.su

³ МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет ВМК, кафедра ИИТ, e-mail: gorokhov-oe@cs.msu.ru

В последнее время большую роль в нашей жизни начинают играть так называемые крупномасштабные программные комплексы. Они представляют собой большие программные системы, позволяющие хранить и обрабатывать большие объемы данных. Как правило, такие системы взаимодействуют с большим количеством пользователей, поэтому возникновение ошибок может приводить к критическим последствиям. Поэтому, актуальной является задача обнаружения предотказного состояния крупномасштабных программных комплексов. Данное состояние можно обнаруживать путём обнаружения аномалий в содержимом системных журналов, в которых содержится информация о всех происходящих в системе событиях. Именно этой задаче и посвящена данная работа.

Анализ существующих работ показывает, что содержимое системных журналов представляет собой текст, поэтому в задаче применимы методы анализа текстовых данных (лемматизация, токенизация, тематическое моделирование и др.). При этом, в задаче обнаружения аномалий в последнее время наиболее эффективными являются методы, основанные на глубоком обучении [1, 2].

В текущей работе предлагается рассмотреть алгоритм обнаружения аномалий в данных, представляющий собой совокупность методов анализа текстовых данных и автокодировщика, основанного на свёрточных нейронных сетях и кластеризации посредством применения радиально-базисных функций [3].

Для экспериментальной оценки предлагаемого подхода было произведено сравнение с классическими методами обнаружения аномалий (одноклассовый SVM, Fuzzy и др.), а также классическими методами построения признакового пространства для текстовых данных (LDA, NMF и др.). На основании проведенных экспериментов было показано, что предлагаемый подход позволяет добиться лучшего результата.

В дальнейшем предлагается развитие предлагаемого подхода с использованием архитектуры автокодировщика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey // ACM Computing Surveys. 2009. V. 41, № 3, P. 15:1–15:58.
- [2] Le V.H., Zhang H. Log-based anomaly detection with deep learning: how far are we? // Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering. 2022. P. 1356–1367.
- [3] Gorokhov O., Petrovskiy M., Mashechkin I. Convolutional Neural Networks for Unsupervised Anomaly Detection in Text Data // Lecture Notes in Computer Science. 2017. V. 10585. P. 500–507.

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ ЭВРИСТИЧЕСКИХ И ТОЧНЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ В СТАТИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С РЕАЛЬНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Мещеряков Александр Валерьевич¹, Герасимов Сергей Валерьевич²,
Сорока Андрей Геннадьевич³, Михельсон Герман Владимирович⁴

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: soroka_irk@mail.ru

⁴ Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: 1069035F@mail.ru

Проблема маршрутизации транспортных средств (**Vehicle Routing Problem**) – это класс задач транспортной логистики, направленных на минимизацию затрат на транспортные ресурсы, стоимости маршрута и времени доставки груза группе клиентов. В условиях реального времени оптимизация маршрутов с учетом различных ограничений является актуальной проблемой для большинства компаний. По мере увеличения числа городов и клиентов становится необходимым разработать решение, которое позволит оптимально использовать выделенные ресурсы при сохранении качества услуг.

Цель данной работы провести сравнение различных эвристических алгоритмов [1, 2], таких как *Имитация отжига* [4], *2 Opt*, *3 Opt*, *Эвристика Лина-Кёрнигана* [5], с программным обеспечением *SCIP* [3, 6], выступающего в качестве точного метода. Эксперименты проводились с использованием случайно сгенерированных наборов данных из 50 и 100 точек, а также реальных наборов данных от 200 до 900 точек от компании *ORTEC*. Рассмотренные методы включают ограничения на вместимость транспортных средств и временные ограничения доставки товаров.

По результатам проведенных экспериментов на наборах данных из 50, 100 и от 200 до 900 точек лучшее качество среди эвристик продемонстрировала *Эвристика Лина-Кёрнигана*, качество которого хоть и хуже на $\sim 20\%$ чем у *SCIP* на примерах 50 и 100 точек, однако поиск решений осуществляется в ~ 35 раз быстрее, что мотивирует использовать эвристические подходы для решения задач *VRP* больших размерностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Talbi, El-Gh. *Metaheuristics for Bi-level Optimization* // Springer Publishing Company, Incorporated, 2013. 306 p.
- [2] https://tvim.info/files/56_72_Shcherbina.pdf
- [3] https://www.researchgate.net/publication/281003471_vehicle_Routing_Problem_solution_using_Mixed_Integer_Linear_Programming
- [4] Czech, Z.J. and Czarnas, P., 2002, January. Parallel simulated annealing for the vehicle routing problem with time windows // *Proceedings 10th Euromicro workshop on parallel, distributed and network-based processing* (pp. 376-383). IEEE.
- [5] Helsgaun, K., 2000. An effective implementation of the Lin-Kernighan traveling salesman heuristic // *European journal of operational research*, 126(1), pp.106-130.
- [6] <https://scipopt.org/>

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ СЕГМЕНТАЦИИ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК И РАДИОИСТОЧНИКОВ В ДАННЫХ МИКРОВОЛНОВОГО КОСМИЧЕСКОГО ОБЗОРА PLANCK

Мещеряков Александр Валерьевич¹, Немешаева Алиса Алексеевна²,
Герасимов Сергей Валерьевич³

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, Институт космических исследований РАН, e-mail: mesch@cosmos.ru

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: alisa.nemshaeva@gmail.com

³ Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: sergun@gmail.com

Скопления галактик играют важную роль в задачах определения параметров Вселенной и изучении эволюции галактик. Основными целями рентгеновского телескопа eROSITA являются обзор неба и поиск скоплений галактик. Данные этого телескопа позволят получить наиболее полные каталоги кандидатов скоплений галактик, однако в них может содержаться большое количество ложных объектов, поэтому требуется сопоставление с каталогами, полученными из других данных. Скопления видимы не только в рентгеновском диапазоне, но и в оптическом и микроволновом. В микроволновом диапазоне скопления галактик проявляются благодаря эффекту Сюняева–Зельдовича. Основная цель этой работы — создание алгоритма, позволяющего извлечь из данных микроволнового диапазона наиболее полный и точный каталог кандидатов в скопления галактик в области неба обзора eROSITA.

В данном исследовании изучается использование моделей глубокого обучения для сегментации скоплений галактик и радиисточников в данных Planck [1]. В исследовании созданы модели детектирования скоплений галактик и радио источников в данных Planck на базе архитектуры сегментации U-Net. На основе этих моделей построены карты сегментации и каталоги скоплений для всего неба. Для поиска скоплений также используются каталоги объектов eROSITA [3], отфильтрованные с помощью метода активного обучения. Проводится сравнение с предыдущей работой [5] по данным Planck (в той работе не используется каталог eROSITA).

Результаты показывают эффективность предложенных моделей в сегментировании скоплений. Полученная модель по сегментации получилась с гораздо меньшим количеством параметров, чем базовая модель из предыдущей работы. (Лучшая модель — 15 тыс параметров, базовая модель — 2 млн параметров). Таким образом новая модель в 133 раза легче базовой, что позволит ускорить создание каталогов. Базовая модель имеет полноту 9% при точности 33% на каталоге eROSITA на валидационной области, лучшая модель имеет полноту 11% при такой же точности. (Такие казалось бы низкие значения метрик имеют смысл, потому что каталог eROSITA создавался на гораздо более глубоких

данных, чем Planck, поэтому большую часть объектов в Planck детектировать невозможно. Основной целью создания этого каталога является поиск потенциальных источников, и финальная цель – в комбинировании этого каталога с другими). Точность каталога радио источников 13% при полноте 81%. Полнота $= \frac{TP}{TP+FN}$, точность $= \frac{TP}{TP+FP}$, где TP – true positive, FP – false positive, FN – false negative.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Planck Collaboration, Planck 2018 results. III. High Frequency Instrument data processing and frequency maps // SAO/NASA Astrophysics Data System (2018 г.)
- [2] Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox, U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // (2015 г.)
- [3] The eROSITA X-ray telescope on SRG Astronomy&Astrophysics (2021 г.)
- [4] Manu Joseph, Mixture Density Networks: Probabilistic Regression for Uncertainty Estimation // Deep and Shallow (2021 г.)
- [5] А.В. Мещеряков, А. Немешаева, Р.А. Буренин, М.Р. Гильфанов, Р.А. Сюняев, Расширенный каталог объектов Сюняева–Зельдовича по данным спутника Planck с использованием глубокого обучения // Письма в Астрономический журнал (2022 г.)

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ С БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТЬЮ (> 1000).

Мещеряков Александр Валерьевич¹, Сорока Андрей Геннадьевич²,
Герасимов Сергей Валерьевич³

¹ Институт космических исследований РАН, Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: mesch@cosmos.ru

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: andrew.soroka@student.msu.ru

³ Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: gerasimov@cs.msu.ru

Задача маршрутизации транспорта с ограничениями (VRP – Vehicle Routing Problem) является классической задачей оптимизации маршрутов доставки грузов или обслуживания клиентов с использованием транспортных средств. Она состоит в поиске оптимального маршрута доставки грузов или обслуживания клиентов с учетом временных окон, вместимости грузовиков и порядка доставки.

VRP находит широкое применение в логистической отрасли, например, при распределении товаров в магазины, доставке еды или в обслуживании клиентов в сервисных центрах. Основные методы решения VRP включают метаэвристические алгоритмы, такие как генетические алгоритмы, муравьиные алгоритмы, имитационное отжигание и симуляция отжига, а также точные

методы, такие как линейное программирование и динамическое программирование [1]. В последнее время популярность приобретают нейронные подходы, основанные алгоритмах внимания для решения задачи оптимизации маршрутов с ограничениями [2][3].

Несмотря на то, что сегодня существуют подходы успешно решающие задачи малых размерностей, не существует устойчивого алгоритма решения задач больших размерностей с ограничениями. Основной проблемой является то, что вычислительная сложность задачи зависит от размера входных данных экспоненциально, что делает невозможным нахождение оптимального решения за разумное время. Поэтому особо интересными являются попытки оптимизировать задачи больших размерностей при помощи нейронных сетей [4].

В данной работе исследованы сильные и слабые стороны классических подходов в сравнении с нейронными моделями внимания при обучении с подкреплением в рамках решения задач большой размерности (>1000 точек) с основными «практическими» ограничениями: объем груза, временные окна, последовательность доставок. По результатам исследования делается вывод о применимости предложенных подходов: нейронные модели позволяют получить до 15 % лучший результат в первые секунды оптимизации задач большой размерности по сравнению с эвристиками, асимптотически сходясь к уровню эвристик позднее.

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.

ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕЙ

Петровский Михаил Игоревич¹, Лазухин Иван Сергеевич²

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

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

Актуальность. Сегодня, производственные комплексы развиваются в направлении автоматизации управления, контроля и наблюдения за технологиче-

ским процессом. Один из таких производственных комплексов, отвечающий за процесс нефтепереработки, рассматривается в данной работе. Исследуемая система предоставляет дискретные показания десятков датчиков во времени, в совокупности описывающих технологический процесс. Однако, развернутые там средства управления основаны на простых линейных моделях, оценивающих динамику процесса исключительно как физические отношения переменных вне времени, к тому же являюстя проприетарным ПО.

Предметная область. Существующие в области исследования технологических процессов работы хоть и вводят специализированные нейросетевые архитектуры, фокусируются на отказоустойчивости процесса [1, 2]. Другие работы, исследующие, в свою очередь, прогнозирование процесса [3], не располагают достаточным объемом данных. Стоит отметить отсутствие непрерывных подходов к моделированию технологических данных — т.н. непрерывные рекуррентные сети [4] все так же моделируют дискретный шаг.

Исследуемые данные Основным объектом исследования является набор данных, включающий в себя ежеминутные показания полусотни датчиков технологического процесса за промежуток времени в четыре года (2,000,000 записей), плюс соответствующую метаинформацию. Каждый датчик обладает критическими границами, в рамках которых нужно поддерживать его отклик. Метаинформация делит датчики на три группы 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.

Задача. Таким образом, возникает проблема разработки нейросетевых моделей многомерного процесса, учитывающих управляющие воздействия, поддерживающих контролируемые отклики в допустимых пределах; средств дискретного оптимального управления заданных контролируемых выходов в рамках разработанных моделей.

Исследование. В качестве основной модели прогнозирование были экспериментально выбраны рекуррентные нейронные сети (в частности, LSTM). Сильный выигрыш в качестве прогноза показывают непрерывно обученные модели, сохраняющие рекуррентное внутреннее состояние сети в процессе моделирования. Формально, задача дискретного оптимального управления строится на основе нейросетевой многомерной модели, принимающей на вход управляющее воздействие и выдающей новые показания датчиков, попутно сменяющей внутреннее состояния (будь то вектор истории показаний, или рекуррентное состояние сети). В работе исследуются как классические подходы к оптимальному управлению в том числе обучение с подкреплением, так и

собственно предложенные методы. Предлагаются результаты как на исследуемом закрытом наборе данных, так и популярных датасетах области исследования технологических процессов [1]. В качестве основной оценки качества прогноза предлагается использовать метрику MASE.

Исследование выполняется при поддержке фонда «Интеллект».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Yu W., Zhao C. Broad convolutional neural network based industrial process fault diagnosis with incremental learning capability //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2019. – Т. 67. – №. 6. – С. 5081-5091.
- [2] Li T. et al. WaveletKernelNet: An interpretable deep neural network for industrial intelligent diagnosis //IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. – 2021. – Т. 52. – №. 4. – С. 2302-2312.
- [3] Geng Z. et al. Energy optimization and prediction modeling of petrochemical industries: An improved convolutional neural network based on cross-feature //Energy. – 2020. – Т. 194. – С. 116851.
- [4] Yu Z., Moirangthem D. S., Lee M. Continuous timescale long-short term memory neural network for human intent understanding //Frontiers in neurorobotics. – 2017. – Т. 11. – С. 42.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ 3D-ОЦЕНКИ ПОЗЫ ЧЕЛОВЕКА: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Рыжов Александр Павлович¹, Шергин Иван Андреевич²

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

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий, e-mail: i.a.shergin@gmail.com

В докладе рассматриваются системы 2D и 3D-оценки позы человека и возможные их приложения. Современные системы оценки позы человека возникли в 2014 г. [1]. К настоящему времени разработано более 10 различных вариантов систем оценки позы человека, рынок таких систем оценивается в сотни миллионов долларов [2].

Системы оценки позы человека позволяют не только фиксировать выполнение человеком каких-либо физических упражнений или операций, но и сравнивать их выполнение с «эталонным» (на основе записи выполнения упражнения или операции опытным спортсменом или мастером). Такая возможность позволяет поставить задачу разработки рекомендательной системы, позволяющей управлять процессом тренировки. Для разработки такой системы необходимо:

- изучить возможности сбора системами 2D и 3D-оценки позы человека статистической информации (логов) о ходе выполнения операции и сравнения логов двух операций

- исследовать возможность представления результатов сравнения в виде, которым оперирует «тренер» (например, «неправильное положение рук»)
- разработать систему персонализированных рекомендаций на основе сравнения логов и их обработки с помощью системы нечетких правил.

В докладе приводится результат обзора систем оценки позы человека с точки зрения решаемой задачи. Было проанализировано 28 статей, сделан вывод о возможности разработки рекомендательной системы.

Такие рекомендательные системы будут полезны в спорте (от фитнеса до подготовки спортсменов высшей квалификации) [3], здравоохранении (процессы реабилитации) [4], обучении выполнению физических операций (рынок массовых профессий). Реализация таких систем в удобном исполнении (например, в качестве приложения смартфона [5]) позволит проводить совершенствование физических навыков самостоятельно, сократит время обучения, снизит травматичность и другие негативные последствия отсутствия или слабого развития соответствующего навыка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Toshev A., Szegedy C. // DeepPose: Human Pose Estimation via Deep Neural Networks // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2014.
- [2] Market Growth Reports // Global pose estimation industry research report, competitive landscape, market size, regional status and prospect. 2022.
- [3] Mahendran N. // Deep Learning for Fitness. 2021.
- [4] Stenum J., Cherry-Allen K, Pyles C, Reetzke R, Vignos M, Roemmich R. // Applications of Pose Estimation in Human Health and Performance across the Lifespan. 2021.
- [5] Haoran J., Githinji K, Kenji T, Reetzke R. // AI Fitness Coach at Home using Image Recognition. 2022.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ

Царёв Дмитрий Владимирович¹, Ломоносова Вероника Евгеньевна²

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

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

Обнаружение неисправностей в оборудовании способно привести к снижению рисков несчастных случаев (таких как пожар), к раннему обнаружению поломок электроприборов и к выявлению потерь электроэнергии [1]. В работе исследуется подход, идея которого заключается в определении временных

участков аномального поведения оборудования, т.е. периодов, где признаки функционирования оборудования не соответствуют его обычным. При этом поведение оборудования описывается в виде временного ряда потребления его электроэнергии.

Из-за разнообразия существующих сейчас электроприборов следует необходимость разработать универсальные методы и подходы, способные обнаруживать поломки электроприборов вне зависимости от типа оборудования. К таким методам можно отнести машинное обучение без учителя. На данный момент существует не так много работ, уделяющих достаточное внимание представлению поведения потребления электроэнергии оборудованием, в то время как данные об электропотреблении имеют достаточно сложную структуру, обусловленную различными режимами работы оборудования, а также могут содержать шум [2]. Из этого следует, что актуальной задачей является исследование и разработка методов машинного обучения без учителя и методов представления данных для обнаружения аномального поведения потребления электроэнергии оборудования.

В ходе работы были проведены исследования методов обучения без учителя, таких как OCSVM (One-Class Support Vector Machine), Isolation Forest, LOF (Local Outlier Factor), CB-LOF (Cluster-Based Local Outlier Factor) и MCD (Minimum Covariance Determinant). Также рассматривались методы авторегрессии, с целью анализа отклонения реальных данных от прогнозируемых, для этого использовались методы градиентного бустинга, нейронные сети LSTM (Long short-term memory), RNN (Recurrent neural network) и GRU (Gated Recurrent Units). Был проведен анализ широкого набора подходов к представлению данных, включающий в себя комбинации таких методов, как EMD (Empirical Mode Decomposition), SSA (Singular spectrum analysis), фильтр Калмана и различных представлений временных характеристик. В экспериментальных исследованиях использовался набор данных IQDS, состоящий из поминутных данных об энергопотреблении оборудования вентиляции и кондиционирования коммерческих помещений. IQDS также содержит частичную экспертную разметку 8 подтверждённых поломок оборудования. В ходе исследований было получено, что авторегрессия, основанная на градиентном бустинге, в сочетании с применением фильтра Калмана показали лучший результат и способны выявить большинство аномалий набора данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Yeckle J., Tang B. Detection of electricity theft in customer consumption using outlier detection algorithms //2018 1st international conference on data intelligence and security (ICDIS). – IEEE, 2018. – С. 135-140.

- [2] Himeur Y. et al. Artificial intelligence based anomaly detection of energy consumption in buildings: A review, current trends and new perspectives //Applied Energy. – 2021. – Т. 287. – С. 116601.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБМЕНОВ В СЕТЯХ БЛОКЧЕЙН

Чернов Александр Владимирович¹, Зверев Глеб Петрович²

¹ Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: blackav@gmail.com

² Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМК МГУ, e-mail: glebzverev2001@gmail.com

Децентрализованные финансы становятся все более популярными, блокчейн решения призваны стать более эффективными, чем существующие рыночные инструменты традиционных финансов, и предоставить новые способы построения движения денежных ресурсов. Ликвидность - одна из главных проблем финансовой системы. Текущие реализации распределённых бирж используют дизайн Automated Market Making (AMM), также называемый пулом ликвидности, для решения этой проблемы [1]. Технология кардинально отличается от привычной orderbook модели и требует иных подходов для совершения обменов.

Высокая волатильность порождает дисбаланс ликвидности в пулах, в следствии чего становится актуальной задача маршрутизации обменов[2]. Высокие комиссии за транзакции, вызываемые высокой активностью в блокчейн сетях, также актуализируют задачу оптимизации стоимости газа[3].

В докладе рассматривается модель системы, основанная на динамических (то есть изменяющихся в процессе решения задачи) графах, предлагаются способы нахождения приближённого решения с допускаемой погрешностью и обосновываются алгоритмы решения задачи при наложенных ограничениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Jiahua Xu, Kryzstov Paruch, Simon Cousaert, Yebo Feng - SoK: Decentralized Exchanges with Automated Market Maker (AMM) Protocols, (2021)
- [2] Vincent Danos, Hamza El Khalloufi, Julien Prat - Global Order Routing on Exchange Networks, 2021
- [3] Lodovica Marchesi, Giuseppe Destefanis, Michele Marchesi, Danilo Tigano - Design patterns for Gas optimization in Ethereum, 2020

ИТЕРАЦИИ РИЧАРДСОНА—КРЫЛОВА ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАНИЯ ПО ВРЕМЕНИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Бочев Михаил Александрович

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Институт вычислительной математики им.
Г. И. Марчука РАН, e-mail: botchev@ya.ru

Постановка задачи В докладе рассматриваются итерационные методы решения задач Коши

$$y'(t) = F(y(t)) + g(t), \quad y(0) = v, \quad t \in [0, T], \quad (1)$$

где $F : \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}^N$, $g : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^N$, $v \in \mathbb{R}^N$ и $T > 0$ заданы, а $N \gg 1$. Пусть $k = 0, 1, 2, \dots$ — номер итерации, $y_k(t)$ — итерационное приближение, определённое для $t \in [0, T]$, и пусть F допускает зависящее от номера итерации расщепление

$$F(t, y) = -A_k y + f_k(y) + g(t), \quad \forall y \in \mathbb{R}^N, t \geq 0,$$

где $A_k \in \mathbb{R}^{N \times N}$, $f_k : \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}^N$. Рассматриваются итерации вида

$$y'_{k+1}(t) = -A_k y_{k+1}(t) + f_k(y_k(t)) + g(t), \quad y_{k+1}(0) = v, \quad t \in [0, T]. \quad (2)$$

Такие итерации для решения эволюционных задач, где итерационные приближения являются функциями времени, получили название итераций Ричардсона, динамических итераций (dynamic iteration) или релаксации формы волны (waveform relaxation) [1].

Содержание доклада Если линейная задачи Коши (2), возникающая на каждой итерации Ричардсона, решается экспоненциальной схемой на основе блочных подпространств Крылова [2], то, как показано в работах [3,4], получаем класс эффективных методов решения нелинейных задач (1), которые удобно распараллеливаются по времени. В докладе представлен анализ сходимости итераций Ричардсона-Крылова (2).

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 19-11-00338).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Horton G., Vandewalle S., Worley P. An algorithm with polylog parallel complexity for solving parabolic partial differential equations // SIAM Journal on Scientific Computing. 1995. T. 16. №. 3. С. 531–541. <https://doi.org/10.1137/0916034>
- [2] Botchev M. A. A block Krylov subspace time-exact solution method for linear ordinary differential equation systems // Numerical linear algebra with applications. 2013. T. 20. №. 4. С. 557–574. <https://doi.org/10.1002/nla.1865>

- [3] Kooij G.L., Botchev M.A., Geurts B.J. A block Krylov subspace implementation of the time-parallel Paraexp method and its extension for nonlinear partial differential equations // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2017. Т. 316. С. 229–246. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2016.09.036>
- [4] Kooij G.L., Botchev M.A., Geurts B.J. An Exponential Time Integrator for the Incompressible Navier–Stokes Equation // SIAM Journal on Scientific Computing. 2018. Т. 40. №. 3. С. B684–B705. <https://doi.org/10.1137/17M1121950>

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕНЗОРОВ ПРИ СТРУКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ОПЕРАТОР ИЗМЕРЕНИЙ

Дорохин Семён Владимирович, Ляшев Владимир Александрович

Кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций МФТИ, e-mail: dorohin.sv@phystech.edu, lyashev.va@mipt.ru

Задача восполнения тензора в общем виде может быть сформулирована следующим образом. Пусть $\mathcal{X} \in \mathbb{C}^{N_1 \times \dots \times N_D}$ — некоторый тензор, $\mathcal{P}_\Omega : \mathbb{C}^{N_1 \times \dots \times N_D} \rightarrow \mathbb{C}^{N_1 \times \dots \times N_D}$ — оператор измерений, приравнивающий к нулю все элементы тензора, кроме некоторых элементов $s_i \in \Omega \subseteq \mathcal{X}$. Требуется восстановить тензор \mathcal{X} по измерениям $\mathcal{Y} = \mathcal{P}_\Omega(\mathcal{X})$

Теоретический анализ задачи восполнения тензора традиционно ведётся в предположении, что элементы Ω выбираются случайным образом из \mathcal{X} . Можно выделить два основных подхода к решению таких задач: минимизация ядерной нормы [1] и её аналогов [2] или решение невыпуклой задачи методами оптимизации на римановых многообразиях для тензоров в формате Таккера [3, 4] или тензорного поезда [5].

Описанные выше методы восполнения тензоров имеют ограниченную применимость в контексте систем реального времени. Во-первых, эти методы итеративны и требуют анализа сходимости для последующего расчёта вносимой задержки.

Во-вторых, предположение о случайности выбора элементов Ω редко находит отражение в реальных задачах из-за ограничений измерительных систем. Ярким примером такой системы служит установка для функциональной магнитно-резонансной томографии [6].

В данной работе методы восполнения трёхмерных тензоров в каноническом формате в случае измерений по «слоям» $\mathcal{P}_{\Omega=\Omega_2 \times \Omega_3}(\mathcal{X}) = \{\sum_{i_2 \in \Omega_2} \mathcal{X}(:, i_2, :) \mathbf{e}_{i_2} \cup \sum_{i_3 \in \Omega_3} \mathcal{X}(:, :, i_3) \mathbf{e}_{i_3}\}$ и по «столбцам» $\mathcal{P}_\Omega(\mathcal{X}) = \sum_{(i_1, i_2) \in \Omega} \mathcal{X}(i_1, i_2, :) \mathbf{e}_{i_1} \mathbf{e}_{i_2}$, предложенные в статье [7], обобщаются на случай тензоров в формате Таккера и тензорного поезда. Вычислительная сложность таких алгоритмов ниже, чем у алгоритмов для канонического формата при сопоставимых требованиях на $|\Omega|$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Yuan M., Zhang C. H. On tensor completion via nuclear norm minimization //Foundations of Computational Mathematics. – 2016. – Т. 16. – №. 4. – С. 1031-1068
- [2] Yuan M., Zhang C. H. Incoherent tensor norms and their applications in higher order tensor completion //IEEE Transactions on Information Theory. – 2017. – Т. 63. – №. 10. – С. 6753-6766.
- [3] Kressner D., Steinlechner M., Vandereycken B. Low-rank tensor completion by Riemannian optimization //BIT Numerical Mathematics. – 2014. – Т. 54. – С. 447-468.
- [4] Мордвинцев М. К., Замарашкин Н. Л. Изучение алгоритма дополнения тензора с фиксированными рангами Таккера, использующего оптимизацию на римановых многообразиях //Ломоносовские чтения. – 2022. – С. 75-76.
- [5] Budzinskiy S., Zamarashkin N. Tensor train completion: local recovery guarantees via Riemannian optimization //arXiv preprint arXiv:2110.03975. – 2021.
- [6] Feinberg D. A., Yacoub E. The rapid development of high speed, resolution and precision in fMRI //Neuroimage. – 2012. – Т. 62. – №. 2. – С. 720-725.
- [7] Kanatsoulis C. I. et al. Tensor completion from regular sub-Nyquist samples //IEEE Transactions on Signal Processing. – 2019. – Т. 68. – С. 1-16.

РАЗРЕЖЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАТРИЦЫ КАСКАДНОГО КАНАЛА

Кунавин Андрей Алексеевич, Дорохин Семён Владимирович, Ляшев
Владимир Александрович

Кафедра мультимедийных технологий и телекоммуникаций МФТИ, e-mail: kunavin.aa@phystech.edu,
dorohin.sv@phystech.edu, lyashev.va@mipt.ru

Управляемая отражающая поверхность (УОП) — двумерная решётка, каждый элемент которой может регулировать фазу отраженной ЭМ-волны. M — число элементов. При передаче данных через УОП актуальна задача оценки каскадного канала БС-УОП-П, где БС — базовая станция (N_t антенн), П — одноантенный пользователь. Данную задачу можно представить в виде задачи метода разреженных измерений (англ. Compressed Sensing)[1]:

$$y = Fvec(L) = \Phi \Psi vec(L) = (W^T \bullet V^H) \Psi vec(L), \quad (1)$$

где y — вектор измерений (П измеряет), F — сканирующая матрица (известна П), L — пространственный спектр канала (П оценивает), Φ — матрица измерений, Ψ — словарь, $W \in \mathbb{C}^{N_t \times T}$, $V \in \mathbb{C}^{M \times T}$ — кодовые книги БС и УОП соотв., \bullet — транспонированное произведение Хатри-Рао

Цель данной работы — поиск кодовых книг W и V , использование которых обеспечит стабильность качества оценки канала вне зависимости от положения УОП и П при числе измерений $T < N_t + M$. В других работах [2], решающих задачу улучшения восстановительных свойств $F = \Phi\Psi$, на матрицу измерений не накладываются такие структурные ограничения как в нашем случае: $\Phi = W^T \bullet V^H$. Свойства F удобно анализировать с помощью суммы квадратов внедиагональных элементов соответствующей матрицы Грама $G_F = F^H F$. Можно свести задачу поиска кодовых книг к задаче минимизации данной величины:

$$[W_{opt}, V_{opt}] = \underset{W, V}{\operatorname{argmin}} \left(\sum_i \sum_{j \neq i} |(G_F)_{i,j}|^2 \right) \quad (2)$$

Физическая модель накладывает ограничения на W и V :

$$\|w_i\|_2^2 = 1, \quad |(V)_{ij}| = 1 \quad (3)$$

Для решения (2) используется метод сопряженного проецируемого градиентного спуска с выравниванием сингулярных чисел кодовых книг. Оценка канала осуществляется при помощи алгоритма *OMP* [3]. Оптимизация (Рис. 1) позволяет снизить необходимое число измерений до $T = M$. Использование меньшего числа измерений требует дальнейших исследований.

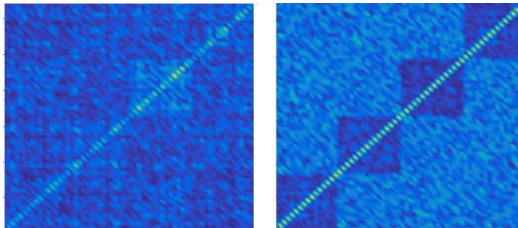


Рис. 1: Абсолютные значения матрицы Грама до оптимизации (слева) и после (справа). $T = M = 16$, $N_t = 4$, W_0 и V_0 берутся случайными

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Wang P. et al. Compressed Channel Estimation for Intelligent Reflecting Surface-Assisted Millimeter Wave Systems // IEEE Signal Processing Letters, vol. 27, pp. 905-909
- [2] Abolghasemi V. et al. On optimization of the measurement matrix for compressive sensing // 2010 18th European Signal Processing Conference. – IEEE, 2010. – С. 427-431.
- [3] Tropp J. A., Gilbert A. C. Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit // IEEE Transactions on information theory, 53(12), 4655-4666.

КАЧЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АГРЕГАЦИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В АКВАТОРИИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Матвеев Сергей Александрович¹, Смирнов Александр Павлович¹,
Загидуллин Ришат Раилевич², Бриллиантов Николай Васильевич²,
Жамсуева Галина Санжиевна³, Заяханов Александр Савельевич³,
Загайнов Валерий Анатольевич⁴

¹ факультет ВМК МГУ, e-mail: matseralex@cs.msu.ru, sap@cs.su.ru

² Сколковский институт науки и технологий, e-mail: R.Zagidullin@skoltech.ru,
N.Brilliantov@skoltech.ru

³ ИФМ СО РАН, e-mail: galinazham@gmail.com, Lrf@ipms.bscnet.ru

⁴ НИЯУ МИФИ, e-mail: vzagaynov@yandex.ru

В работе предложена модель динамики распределения атмосферных аэрозольных частиц по размерам, учитывающая влияние озона на скорость агрегации частиц. Мы полагаем, что аэрозоль попадает в акваторию в результате падения из атмосферы под силой гравитации. Тогда для моделирования процессов коагуляции аэрозолей в акватории озера Байкал можно использовать одномерное уравнение переноса-диффузии-коагуляции [1] с источником мономеров на одной из границ [2] по оси ОХ

$$\frac{\partial c_k}{\partial t} + \underbrace{V_k \frac{\partial c_k}{\partial x}}_{\text{перенос}} = \frac{1}{2} \underbrace{\sum_{i+j=k} K_{i,j} c_i c_j - c_k \sum_{j \geq 1} K_{k,j} c_j}_{\text{коагуляция}} + \underbrace{D_k \frac{\partial^2 c_k}{\partial x^2}}_{\text{диффузия}} + \underbrace{J \delta_{k,1} \delta(x)}_{\text{источник}}$$

где $c_k(t)$ — концентрации аэрозольных частиц, состоящих из k элементарных звеньев - мономеров, эволюцию которых мы моделируем. Здесь $K_{i,j}$ — коэффициенты скоростей (ядро коагуляции), характеризующие скорости реакции слияния кластеров, $[i] + [j] \rightarrow [i + j]$. Дополнительно необходимо учесть, что появление озона в атмосфере оказывает влияние на скорость коагуляции, поэтому предложены следующие вспомогательные уравнения:

$$\frac{dC_{oz}}{dt} = I(t) - \alpha C_{oz} - \beta \sum_{k=1}^{\infty} c_k k^{2/3} C_{oz}, \quad \frac{dq}{dt} = \gamma C_{oz} \cdot (q_{max} - q) \Theta(q_{max} - q) - \xi q$$

$$K_{ij}(q) = K_{ij} \cdot (1 + q),$$

где C_{oz} - концентрация озона, $I(t) \geq 0$ - его источник (концентрация озона возрастает с восходом солнца и падает с его заходом), Θ - функция Хевисайда. Результаты численного моделирования с использованием метода из [3] сопоставлены с экспериментальными наблюдениями в акватории оз. Байкал. Сформулированная модель позволяет на качественном уровне пояснить наблюдаемые эффекты изменения среднего диаметра аэрозольных частиц в течение суток. Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 19-11-00338).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Фукс Н.А. Успехи механики аэрозолей // Итоги науки. Химические науки, 5. - М., Изд-во АН СССР, 1961.

- [2] Zagidullin R. R., Smirnov A. P., Matveev S. A., Tyrtshnikov E. E. An efficient numerical method for a mathematical model of a transport of coagulating particles // Moscow University Computational Mathematics and Cybernetics. 2017. Т. 41, С. 179-186.
- [3] Zagidullin R., Smirnov A. P., Matveev S., Brilliantov N. V., Krapivsky P. L. Aggregation in non-uniform systems with advection and localized source // Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical. 2015 Т. 55 №26 , С. 265001.

БЫСТРЫЙ ПОИСК НЕОТРИЦАТЕЛЬНЫХ АППРОКСИМАЦИЙ МАТРИЦ С ПОМОЩЬЮ КРЕСТОВОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

Осинский Александр Игоревич

Сколтех, ИВМ РАН, e-mail: alexander.osinsky@skoltech.ru

Рассмотрим задачу построения неотрицательной аппроксимации ранга r , $\tilde{A} \in \mathbb{R}^{M \times N}$, $\text{rank } \tilde{A} = r$, $\tilde{A} \geq 0$ произвольной матрицы $A \in \mathbb{R}^{M \times N}$. Требование неотрицательности может возникать при обработке изображений и аудио, а также при решении физических задач, требующих неотрицательности решения. В частности, при решении уравнений Смолуховского наличие отрицательных компонент решения или матрицы коагуляции приводит к неустойчивости [1]. При этом использование алгоритмов построения неотрицательных аппроксимаций вида $\tilde{A} = UV$, $U \in \mathbb{R}^{M \times r}$, $V \in \mathbb{R}^{r \times N}$, где требуется неотрицательность факторов $U, V \geq 0$ [2] требует слишком высоких вычислительных затрат. С другой стороны, неотрицательной аппроксимации с $\tilde{A} \geq 0$ можно получить за разумное время с помощью метода переменных проекций [3].

Будем обозначать через A_r приближение ранга r произвольной матрицы A на основе сокращенного сингулярного разложения. Пусть $A_{(0)} = A_r$, а $A_{(s)}$ — аппроксимация на s -м шаге метода. Пусть $P_{\geq 0}$ — ортогональный проектор на множество неотрицательных матриц. Тогда метод переменных проекций можно записать в следующем виде:

$$A_{(s+1)} = (P_{\geq 0} A_{(s)})_r. \quad (1)$$

В случае, если начальная матрица A близка к некасательной точке пересечения многообразий неотрицательных матриц и матриц ранга r , такой алгоритм сходится [4]. Однако, на практике он требует большого числа итераций, а построение точной проекции ранга r с помощью сингулярного разложения требует существенных вычислительных затрат. В связи с этим в [5] было предложено использовать различные приближенные методы проекции на множество матриц ранга r и было численно показано, что они также приводят к сходимости метода вида (1).

В данной работе предлагается использовать крестовое разложение в качестве приближенного проектора на множество матриц ранга r . Предлагаемый метод построения крестовых аппроксимаций описан в [6]. А именно, в качестве начального приближения предлагается использовать матрицу вида

$$A_{(0)} = \left(C \hat{A}_k^+ R \right)_r,$$

где $C \in \mathbb{R}^{M \times n}$ — столбцы матрицы A , $R \in \mathbb{R}^{n \times N}$ — ее строки, $\hat{A}_k \in \mathbb{R}^{n \times n}$ — приближение ранга k с помощью сокращенного сингулярного разложения подматрицы \hat{A} на пересечении столбцов C и строк R . Для достижения высокого качества аппроксимации выбирается подматрица \hat{A} большого k -проективного объема [7]. При этом достаточно использовать $n \gtrsim k \gtrsim r$ строк и столбцов, что приводит к общей сложности алгоритма $O((M+N)r^2)$ [8]. Таким образом, крестовый метод позволяет строить аппроксимацию, не рассматривая при этом все элементы матрицы A .

Чтобы компенсировать возникающую при таком приближении погрешность аппроксимации предлагается заменить проектор $P_{\geq 0}$ на $P_{\geq \varepsilon}$ — ортогональный проектор на множество матриц с элементами не меньше ε . Значение ε при этом может быть оценено исходя из средней величины изменения элементов на первом шаге (на котором предлагается использовать $P_{\geq 0}$):

$$\varepsilon = \frac{\|A_{(1)} - A_{(0)}\|_F}{\sqrt{MN}}.$$

Использование проектора $P_{\geq \varepsilon}$ позволяет сократить число итераций метода в десятки раз, не внося при этом существенной погрешности в точность полученной в итоге неотрицательной аппроксимации, что было проверено на примерах из [5].

Один шаг метода переменных проекций с использованием крестовой аппроксимации можно записать следующим образом:

1. С помощью алгоритма `maxvol` [9] ищется $r \times r$ доминантная подматрица в матрице $A_{(s)}$.
2. К ней добавляются $n - r$ случайных строк, в них ищется подматрица $n \times k$ большого объема с помощью `column pivoting` ([10], страница 278).
3. К k найденным столбцам добавляются $n - k$ случайных столбцов, их строки также переставляются с помощью `column pivoting`. На пересечении полученных n строк и столбцов будет подматрица $\hat{A}_{(s)} \in \mathbb{R}^{n \times n}$.
4. Строится крестовое приближение ранга r :

$$A_{(s+1)} = \left(P_{\geq \varepsilon} C_{(s)} \left(P_{\geq \varepsilon} \hat{A}_{(s)} \right)_k^+ P_{\geq \varepsilon} R_{(s)} \right)_r,$$

где $C_{(s)} \in \mathbb{R}^{M \times n}$ и $R_{(s)} \in \mathbb{R}^{n \times N}$ — столбцы и строки, соответствующие подматрице $\hat{A}_{(s)} \in \mathbb{R}^{n \times n}$.

Сходимость метода можно проверять по наличию отрицательных элементов в C и R . В случае их отсутствия можно проверить всю матрицу $A_{(s+1)}$ или сделать еще несколько дополнительных шагов, чтобы с большей вероятностью гарантировать отсутствие отрицательных элементов построенного приближения.

В <https://github.com/RodniO/Projective-volume-low-rank> доступен код для построения неотрицательных аппроксимаций с помощью крестового метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Галкин В. А. Уравнение Смолуховского. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. 336 с.
- [2] Gillis N. Nonnegative matrix factorization. Philadelphia : SIAM, 2020. 376 p.
- [3] Guang-Jing S., Ng M.K. Nonnegative low rank matrix approximation for nonnegative matrices // Applied Mathematics Letters. 2019. V. 105. P. 106300.
- [4] Andersson F., Carlsson M. Alternating projections on nontangential manifolds // Constructive Approximation. 2013. V. 38. P. 489–525.
- [5] Matveev S., Budzinskiy S. Sketching for low-rank nonnegative matrix approximation: a numerical study [Электронный ресурс] arXiv.org. 2022. Дата обновления: 26.01.2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2201.11154> (дата обращения: 06.03.2023).
- [6] Лебедева О. С., Осинский А. И., Петров С. В. Приближенные алгоритмы малоранговой аппроксимации в задаче восполнения матрицы на случайном шаблоне // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2021. Т. 61, № 5. С. 827–844.
- [7] Osinsky A. I., Zamarashkin N. L. Pseudo-skeleton approximations with better accuracy estimates // Linear Algebra and its Applications. 2018. V. 537. P. 221–249.
- [8] Osinsky A. I. Rectangular maximum volume and projective volume search algorithms [Электронный ресурс] arXiv.org. 2018. Дата обновления: 11.04.2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1809.02334> (дата обращения: 06.03.2023).
- [9] How to find a good submatrix / S.A. Goreinov, I.V. Oseledets, D. V. Savostyanov, E. E. Tyrtyshnikov, N. L. Zamarashkin // Matrix Methods: Theory, Algorithms, Applications. 2010. P. 247–256.
- [10] Golub G.H., Van Loan C.F. Matrix Computations, 4th Edition. Baltimore, MD : The Johns Hopkins University Press, 2013. 784 p.

МЕТОДЫ РИМАНОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА МНОГООБРАЗИИ ТЕНЗОРОВ ФИКСИРОВАННОГО РАНГА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ НА СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Рахуба Максим Владимирович

Факультет компьютерных наук НИУ ВШЭ, e-mail: mrahuba@hse.ru

В работе предлагается новый эффективный численный метод для решения уравнения Гросса-Питаевского, являющегося нелинейной задачей на собственные значения. Решение задачи сразу ищется в виде малопараметрического тензорного представления — разложения тензорного произведения [1, 2] (ТТ разложение), что позволяет избежать быстрого роста числа параметров от размерности и при увеличении числа узлов сетки. Ключевой особенностью метода является использование итерационных методов римановой оптимизации на пересечении единичной сферы и многообразия ТТ тензоров фиксированного ранга, которое будем обозначать за \mathcal{N} . Для получения быстрой сходимости итерационного процесса, вместо стандартной ортогональной проекции градиента на касательные плоскости многообразия \mathcal{N} , мы используем проекцию относительно некоторого скалярного произведения, связанного с линеаризованной задачей. Метод реализован с использованием библиотеки `ttax*`, поддерживающей запуски на графических ускорителях, а также автоматическое дифференцирование для эффективных вычислений проекций градиентов [2].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-71-00119).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Oseledets I. V., Tyrtshnikov E. E. Breaking the curse of dimensionality, or how to use SVD in many dimensions // *SIAM Journal on Scientific Computing*. 2009. 31(5), pp.3744-3759.
- [2] Oseledets I. V. Tensor-train decomposition // *SIAM Journal on Scientific Computing*. 2011. 33(5), pp.2295-2317.
- [3] Novikov A., Rakhuba M., Oseledets I. Automatic differentiation for Riemannian optimization on low-rank matrix and tensor-train manifolds // *SIAM Journal on Scientific Computing*. 2022. 44(2), A843-A869.

*<https://ttax.readthedocs.io>

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА МЕТАЛЛЕ С ТОНКИМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ

Третьякова Руфина Максимовна¹, Сетуха Алексей Викторович²

¹ Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука, e-mail: r.tretyakova@inm.ras.ru

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

В работе рассматривается задача рассеяния электромагнитной волны на идеально проводящем теле, покрытом тонким слоем диэлектрика. Тело представляет из себя экран или систему экранов. На поверхность нанесено покрытие из материала, характеризующегося относительной диэлектрической и магнитной проводимостями ε' и μ' , которые в общем случае являются комплексными. Покрытие является тонким, то есть его высота мала по сравнению с размерами тела.

Задачу для уравнений Максвелла в частотной области можно рассматривать как задачу о нахождении электрического и магнитного полей, гармонически зависящих от времени. Тогда задача для пространственных компонент напряженностей электрического E и магнитного H полей записываются следующие уравнения во всем пространстве кроме тела.

$$\Delta E + k^2 E = 0, \quad \operatorname{div} E = 0, \quad (1)$$

$$\Delta H + k^2 H = 0, \quad \operatorname{div} H = 0, \quad (2)$$

Также на бесконечности ставится условие Зоммерфельда.

В работе рассматриваются два подхода нахождения электрического и магнитного поля. В первом случае ставятся следующие граничные условия: непрерывность касательных составляющих электрического и магнитного поля на границе раздела сред, причем магнитное поле имеет непрерывные касательные только на диэлектрической границе. На металлической поверхности касательная компонента электрического поля равна нулю.

$$n \times E_{tot}^+ = n \times E_{tot}^-, \quad (3)$$

$$n \times H_{tot}^+ = n \times H_{tot}^-, \quad (4)$$

$$n \times E_{tot}^+ = 0, \quad (5)$$

Второй метод основан на применении импедансного условия со стороны, где нанесено покрытие.

$$n \times [n \times E_{tot}^+] = \mathcal{Z} [n \times H_{tot}^+], \quad (6)$$

где коэффициент импеданса \mathcal{Z} выражается формулой

$$\mathcal{Z} = \sqrt{\frac{\varepsilon^- e^{ik^-h} - e^{-ik^-h}}{\mu^- e^{ik^-h} + e^{-ik^-h}}}. \quad (7)$$

На металлической поверхности ставится условие $n \times E_{tot}^- = 0$.

Краевые задачи для обоих методов сводятся к системам граничных интегральных уравнений, которые решаются численно, методом Галеркина. Далее проводится сравнение результатов на пластинке и на угольном отражателе с диэлектрическим покрытием. Оба метода дают качественно схожие результаты. Первый метод является более универсальным, в то время как импедансный метод применим только к небольшому кругу задач, но является более эффективным, если сравнивать время решения и затраты памяти.

АНТИПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ КОРНЕВЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ВОЗМУЩЕНИЯ ОПЕРАТОРА БЕССЕЛЯ

Бородинова Дарья Юрьевна

Кафедра общей математики, e-mail: dashaborodinova@gmail.com

Для операторов, отвечающих дифференциальным операциям:

$$L_0 = -\frac{d^2}{dx^2} + \frac{\nu^2 - \frac{1}{4}}{x^2}, \quad L_1 = -\frac{d^2}{dx^2} + \frac{\nu^2 - \frac{1}{4}}{x^2} + q(x)$$

на интервале $(0,1)$, где $q(x)$ — комплекснозначный потенциал из $L_\infty(0,1)$, изучаются системы их корневых функций. Собственные и присоединенные функции понимаются в обобщенном смысле, т.е., как почти всюду решения уравнений $L_\alpha y_n = \mu^2 y_n + \text{sgn} n \cdot y_{n-1}$; здесь $n = 0, 1, \dots, s(\mu)$, $\mu \in M$, где $M \subset \mathbb{C}$ — некоторое счетное множество.

Интерес к подобным системам возникает при исследовании спектральных разложений для общих краевых задач, связанных с дифференциальной операцией L_0 и её возмущением L_1 (см., например, [1-2]).

Для операции L_0 была построена цепочка корневых функций вида:

$$u_n(x, \mu) = \sum_{k=0}^n \frac{c_k}{\mu^{2(n-k)}} u_k^*(x, \mu);$$

$$u_0^*(x, \mu) = u_0(x, \mu) = a j_\nu(\mu x) + b \gamma_\nu(\mu x); \quad j_\nu(z) = \sqrt{z} J_\nu(z); \quad \gamma_\nu(z) = \sqrt{z} Y_\nu(z);$$

$$u_k^*(x, \mu) = \frac{1}{\mu^k} x^k (a j_{\nu+n}(\mu x) + b \gamma_{\nu+n}(\mu x)).$$

В случае возмущенной операции L_1 построена интегральная формула "сдвига" для корневых функций, вида:

$$y_n(x \pm t, \mu) = u_n(t, \mu) + \sum_{k=0}^n \mathcal{W}_\pm^{k+1}(q(x \pm t) y_{n-k}(x \pm t)),$$

$$\text{где } \mathcal{W}_\pm f(t) = \frac{\pi}{2\mu} \int_0^t W(x \pm t, x \pm \tau) f(\tau) d\tau,$$

x — любое фиксированное число из интервала $(0,1)$.

Основным полученным результатом является так называемая антиаприорная оценка для L_2 -норм корневых функций операций L_0 и L_1 .

Теорема. Пусть в системах $\{u_n(x, \mu)\}$ и $\{y_n(x, \mu)\}$ корневых функций операций L_0 и L_1 множество M удовлетворяет условию: $|\operatorname{Im} \mu| \leq A$ и порядок $s(\mu) \leq B$. Тогда выполнена равномерная оценка в норме $L_2(0, 1)$:

$$\|u_n(x, \mu)\|_2 \leq c(1 + |\mu|)\|u_{n+1}(x, \mu)\|_2, \quad \|y_n(x, \mu)\|_2 \leq c(1 + |\mu|)\|y_{n+1}(x, \mu)\|_2.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ильин В. А. О безусловной базисности на замкнутом интервале систем собственных и присоединенных функций дифференциального оператора второго порядка // Доклады АН СССР. 1983. Т. 273, № 5. С. 1048–1053.
- [2] Крицков Л. В. Представление и оценки корневых функций сингулярных дифференциальных операторов на отрезке // I: Дифференц. уравнения. 1992. Т. 28, № 8. С. 1291–1302; II: Дифференц. уравнения. 1993. Т. 29, № 1. С. 64–73.

О ПРЕДЕЛАХ 3-УНИТОННЫХ РЕШЕНИЙ НЕКОММУТАТИВНОЙ СИГМА-МОДЕЛИ

Домрина Александра Владимировна

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

Некоммутативная унитарная сигма-модель теории поля получается квантованием Вейля [1] из теории гармонических отображений сферы Римана в унитарную группу. На эту модель переносится теория унитарных [2–7]. Решениями этой модели являются унитарные операторы в сепарабельном гильбертовом пространстве. В докладе приводятся достаточные условия для того, чтобы предел сходящейся по операторной норме последовательности решений тоже был решением. Показано, что петлевые поднятия такой последовательности решений сходятся к петлевому поднятию предела. Показано также, что предел последовательности решений с унитарным числом 3 может иметь унитарное число только 2 или 3. Приводится пример последовательности решений с унитарным числом 3, которая сходится к решению с унитарным числом 2. Результаты опубликованы в работе [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хёрмандер Л. Анализ линейных дифференциальных операторов с частными производными. Т. 3: Псевдодифференциальные операторы. М.: Мир, 1989.
- [2] Домрин А. В. Некоммутативные унитары // ТМФ. 2008. Т. 154, № 2. С. 220–239.

- [3] Домрин А. В. Пространства модулей решений некоммутативной сигма-модели // ТМФ. 2008. Т. 156, № 3. С. 307–327.
- [4] Домрина А. В. Петлевые поднятия в некоммутативной сигма-модели // Аналитические и геометрические вопросы комплексного анализа. 2012. С. 72–80. (Тр. МИАН; Т. 279).
- [5] Домрина А. В. Целочисленные характеристики решений некоммутативной сигма-модели // ТМФ. 2014. Т. 178, № 3. С. 307–321.
- [6] Домрина А. В. Домрин А. В. О размерности пространств решений некоммутативной сигма-модели в случае унитарного числа 2 // Комплексный анализ и его приложения. 2017. С. 112–126. (Тр. МИАН; Т. 279).
- [7] Домрина А. В. Описание решений с унитарным числом 3 в случае одного собственного значения. Контрпример к гипотезе о размерности // ТМФ. 2019. Т. 201, № 1. С. 3–16.
- [8] Домрина А. В. О свойствах пределов решений в некоммутативной сигма-модели // Труды ММО. 2022, Т. 83, выпуск 2, С. 23–38.

О ЕДИНСТВЕННОСТИ РЕШЕНИЙ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ СМЕШАННОГО ТИПА С ОПЕРАТОРОМ БЕССЕЛЯ

Зайцева Наталья Владимировна

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

Пусть $D = \{(x, y) : 0 < x < l, -\alpha < y < \beta\}$ — прямоугольная область; l , α , β — заданные положительные действительные числа; $D_+ = D \cap \{y > 0\}$ и $D_- = D \cap \{y < 0\}$. Исследован вопрос единственности решений двух нелокальных задач (см. статьи [1, 2]).

Задача 1. Пусть $p \geq 1$. Требуется найти функцию $u(x, y)$, удовлетворяющую условиям

$$u(x, y) \in C(\overline{D}) \cap C^2(D_+ \cup D_-), \quad x^p u_x(x, y) \in C(\overline{D}), \quad (1)$$

$$u_{xx} + (\operatorname{sgn} y) u_{yy} + \frac{p}{x} u_x = 0, \quad (x, y) \in D_+ \cup D_-, \quad (2)$$

$$u(x, \beta) = \varphi(x), \quad u(x, -\alpha) = \psi(x), \quad 0 \leq x \leq l, \quad (3)$$

$$\int_0^l x^p u(x, y) dx = A, \quad -\alpha \leq y \leq \beta, \quad (4)$$

где A — заданное действительное число, $\varphi(x)$, $\psi(x)$ — заданные достаточно гладкие функции, удовлетворяющие равенствам

$$\int_0^l x^p \varphi(x) dx = \int_0^l x^p \psi(x) dx = A. \quad (5)$$

Задача 2. Пусть $|p| < 1$, $p \neq 0$. Требуется найти функцию $u(x, y)$, которая удовлетворяет (1)–(5) и условию

$$\lim_{x \rightarrow 0+} x^p u_x(x, y) = 0, \quad -\alpha \leq y \leq \beta.$$

Методами спектрального анализа изучены вопросы существования и устойчивости решений обеих задач, построенных в виде ряда Фурье–Бесселя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Zaitseva N. V. Boundary value problem with integral condition for the mixed type equation with a singular coefficient // *Transmutation Operators and Applications, Trends in Mathematics*. Cham : Birkhäuser, 2020. P. 671–686.
- [2] Зайцева Н. В. Нелокальная краевая задача с интегральным условием для уравнения смешанного типа с сингулярным коэффициентом // *Дифференциальные уравнения*. 2021. Т. 57, № 2. С. 224–234.

ПОСТРОЕНИЕ РАВНОМЕРНЫХ АСИМПТОТИК РЕШЕНИЙ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ 2-ГО ПОРЯДКА С МЕРОМОРФНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Коровина Мария Викторовна

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

Рассмотрим уравнение 2-го порядка с мероморфными коэффициентами

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

Здесь $B(r) = \sum_{j=0}^{\infty} b_j r^j$, $C(r) = \sum_{j=0}^{\infty} c_j r^j$ — голоморфные функции. Без ограничения общности будем считать, что $b_0 \neq 0$, $c_0 \neq 0$.

Теорема. Все асимптотики решения уравнения (1) в пространствах функций k -экспоненциального роста представимы в виде:

1. При $k > 2m$,

если $k > 2$ тогда при $k = 2n + 1$, $n = 1, 2, \dots$

$$u(r) \approx \exp\left(\frac{p_1}{r^{n-\frac{1}{2}}} + \sum_{i=1}^{2n-2} \frac{\alpha_i^1}{r^{n-\frac{1}{2}-\frac{i}{2}}}\right) r^{\sigma_1} \sum_{i=0}^{\infty} b_i^1 r^{\frac{i}{2}} + \\ + \exp\left(\frac{p_2}{r^{n-\frac{1}{2}}} + \sum_{i=1}^{2n-2} \frac{\alpha_i^2}{r^{n-\frac{1}{2}-i}}\right) r^{\sigma_2} \sum_{i=0}^{\infty} b_i^2 r^{\frac{i}{2}}. \quad u(r) \in E_{n-\frac{1}{2}}(S_R)$$

если $k = 2n$, $n = 2, 3, \dots$

$$u(r) \approx \exp\left(\frac{p_1}{r^{n-1}} + \sum_{i=1}^{n-2} \frac{\alpha_i^1}{r^{n-1-i}}\right) r^{\sigma_1} \sum_{i=0}^{\infty} b_i^1 r^i + \\ + \exp\left(\frac{p_2}{r^{n-1}} + \sum_{i=1}^{n-2} \frac{\alpha_i^2}{r^{n-1-i}}\right) r^{\sigma_2} \sum_{i=0}^{\infty} b_i^2 r^i$$

Здесь $u(r) \in E_{n-1}(S_R)$, числа p_1, p_2 являются корнями многочлена

$$H_0(p) = p^2 + \left(\frac{1}{\frac{k}{2}-1}\right)^2 c_0.$$

При $k = 2$ или $k = 1$, $m = 0, -1, \dots$ асимптотики являются конормальными.

При $k \leq 0$ решение голоморфно.

2. $k < 2m$

Если $m > 1$

$$u(r) \approx \exp\left(\sum_{i=2}^{m-1} \frac{\alpha_i^1}{r^{m-i}}\right) \sum_{i=0}^{\infty} b_i^1 r^i + r^{\sigma} \exp\left(-\frac{p_2}{r^{m-1}} + \sum_{i=2}^{m-1} \frac{\alpha_i^2}{r^{m-i}}\right) \sum_{i=0}^{\infty} A_i^2 r^i$$

Здесь $u(r) \in E_{n-1}(S_R)$, $p_2 = \frac{b_0}{m-1}$.

Если $m = 1$ то асимптотика является конормальной

Если $m < 1$ то решение голоморфно.

3. $k = 2m$

Если $m = 1$ то асимптотики решения конормальны

Если $m > 1$ то если корни p_1, p_2 многочлена $H_0(p) = p^2 - \frac{b_0}{m-1}p + c_0 \left(\frac{1}{m-1}\right)^2$ не совпадают

$$u(r) \approx r^{\sigma_1} \exp\left(-\frac{p_1}{r^{m-1}} + \sum_{i=2}^{m-1} \frac{\alpha_i^1}{r^{m-i}}\right) \sum_{i=0}^{\infty} b_i^1 r^i + \\ + r^{\sigma_2} \exp\left(-\frac{p_2}{r^{m-1}} + \sum_{i=2}^{m-1} \frac{\alpha_i^2}{r^{m-i}}\right) \sum_{i=0}^{\infty} b_i^2 r^i$$

При $p_1 = p_2 = \alpha$ то задача сводится к предыдущим случаям.

Через $\sum_{i=0}^{\infty} b_i^j r^i$, $j = 1, 2$ обозначены соответствующие асимптотические ряды, через α_i^j, σ_j — некоторые комплексные числа.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ С ВЫРОЖДЕНИЕМ НЕЦЕЛОГО ПОРЯДКА

Ломов Игорь Сергеевич, Емельянов Дмитрий Павлович

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

Постановка задачи. В области $\Omega = (0, 1) \times (0, b)$ рассматривается следующая краевая задача Дирихле

$$\begin{cases} u''_{xx} + y^m u''_{yy} + c(y)u'_y - a(y)u = f(x, y), & (x, y) \in \Omega, \\ u(x, y) = 0, & (x, y) \in \partial\Omega, \end{cases} \quad (1)$$

где m — некоторое фиксированное число из интервала $(1, 2)$, а $a(y), c(y)$ и $f(x, y)$ — аналитические функции аргумента y в области $y \in G \supset [0, b]$. Также мы предполагаем, что выполнены условия $c(0) = 0$ и $a(y) \geq 0, y \in [0, b]$ на коэффициенты уравнения. При выполнении данных условий, классическое решение задачи (1) из класса $C^2(\Omega) \cap C(\bar{\Omega})$ единственно, что было доказано М. В. Келдышем в работе [1].

Продолжая исследования, начатые в работах [2,3,4,5], мы построим решение данной задачи (1) в виде разложения в ряд по функциям $\sin \pi kx, k \in \mathbb{N}$, для коэффициентов которого неаналитическая зависимость от переменного y в окрестности прямой $y = 0$ будет указана явно. При этом коэффициенты ряда будут аналитичны всюду в области G , за исключением точки $y = 0$, которая для коэффициентов ряда будет трансцендентной особой точкой.

Таким образом, получен аналог теоремы Коши-Ковалевской для данного класса эллиптических уравнений с вырождением.

Структура решения. Решение задачи (1) ищется в виде ряда

$$u(x, y) = \sum_{k=1}^{+\infty} Y_k(y) \cdot \sin \pi kx, \quad (x, y) \in \bar{\Omega}, \quad (2)$$

где функции $Y_k(y)$ являются решениями следующего параметрического семейства ОДУ:

$$\begin{cases} y^m Y_k'' + c(y) Y_k' - (\pi^2 k^2 + a(y)) Y_k = f_k(y), & y \in (0, b), \\ Y_k(0) = Y_k(b) = 0, & k \in \mathbb{N}, \end{cases} \quad (3)$$

функции $f_k(y)$ — коэффициенты разложения правой части уравнения (1) по системе функций $\sin \pi kx$:

$$f(x, y) = \sum_{k=1}^{+\infty} f_k(y) \cdot \sin \pi kx, \quad (x, y) \in \Omega.$$

Теорема 1. Пусть выполнены все условия на коэффициенты и правую часть задачи (1). Тогда решение $Y_k(y)$ задачи (3) существует, единственно и может быть представлено рядом

$$Y_k(y) = \sum_{n=0}^{+\infty} y^{n(2-m)} \cdot \psi_{k,n}(y),$$

где функции $\psi_{k,n} \in A(G)$, ряд сходится в пространствах $A(G \setminus \{0\})$ и $C[0, b]$.

Сходимость ряда. Сформулируем достаточные условия сходимости ряда (2) к классическому решению задачи (1).

Теорема 2. Пусть выполнены все условия на коэффициенты и правую часть задачи (1). Пусть, кроме того, правая часть $f(x, y)$ имеет вторую

непрерывную производную по y в $\bar{\Omega}$, при каждом фиксированном $y \in (0, b)$ принадлежит классу Гёльдера как функция переменного x . Тогда существует классическое решение задачи (1), представимое в виде следующего ряда

$$\sum_{k=1}^{+\infty} \left[\sum_{n=0}^{+\infty} y^{n(2-m)} \cdot \psi_{k,n}(y) \right] \cdot \sin \pi k x, \quad (x, y) \in \bar{\Omega},$$

который сходится абсолютно и равномерно в $\bar{\Omega}$, допускает двукратное почленное дифференцирование по x и по y внутри Ω , функции $\psi_{k,n}(y)$ аналитичны в G , $\psi_{k,0}(0) = 0$, внутренний ряд сходится в $A(G \setminus \{0\})$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Келдыш М. В. О некоторых случаях вырожденных уравнений эллиптического типа на границе области // Доклады АН СССР. 1951. Т. 77, № 2. С. 181–183.
- [2] Ломов И. С. Метод спектрального разделения переменных для нерегулярно вырождающихся эллиптических дифференциальных операторов // Доклады РАН. 2001. Т. 376, № 5. С. 593–596.
- [3] Емельянов Д. П., Ломов И. С. Построение точных решений нерегулярно вырождающихся эллиптических уравнений с аналитическими коэффициентами // Дифференциальные уравнения. 2019. Т. 55, № 1. С. 45–58.
- [4] Емельянов Д. П., Ломов И. С. Использование рядов Пуассона в аналитической теории нерегулярно вырождающихся эллиптических дифференциальных операторов // Дифференциальные уравнения. 2021. Т. 57, № 5. С. 655–672.
- [5] Емельянов Д. П. Эллиптические дифференциальные операторы с аналитическими коэффициентами и линейным вырождением // Дифференциальные уравнения. 2022. Т. 58, № 5. С. 607–627.

ОПЕРАТОРНАЯ ГРУППА, ПОРОЖДЕННАЯ ОДНОМЕРНОЙ СИСТЕМОЙ 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

$$\mathcal{L}y = By' + P(x)y, \quad \text{где} \tag{1}$$

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

— дифференциальное выражение, порождающее вместе с краевыми условиями U в пространстве $\mathbb{H} = (L_2[0, \pi])^2$ одномерный оператор Дирака. $P(x)$ — комплекснозначная матрица, $p_j \in L_1[0, \pi]$. Краевые условия имеют вид

$$U\mathbf{y} = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} \\ u_{21} & u_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1(0) \\ y_2(0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{13} & u_{14} \\ u_{23} & u_{24} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1(\pi) \\ y_2(\pi) \end{pmatrix} = 0, \quad (2)$$

и регулярны по Биркгофу: $J_{14} \cdot J_{23} \neq 0$. Оператор Дирака $\mathcal{L}_{P,U}$ определен на области $\mathfrak{D}(\mathcal{L}) = \{\mathbf{y} \in W_1^1[0, \pi] : \mathcal{L}\mathbf{y} \in \mathbb{H}, U\mathbf{y} = 0\}$. Результаты можно эквивалентным образом сформулировать на языке параболических уравнений:

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

$$\mathbf{u}(x, 0) = \mathbf{u}_0(x), \quad U(\mathbf{u}) = 0, \quad \mathbf{u}(\cdot, t) \in C(\mathbb{R}, X).$$

Теорема 1. Пусть X — одно из пространств \mathbb{H}_θ^θ , $\theta \in [0, 1]$. Для любой функции $\mathbf{u}_0 \in X$ решение $\mathbf{u}(x, t)$ уравнения

$$i \cdot \mathbf{u}_t = \text{Вu} + P(x)\mathbf{u}, \quad t \in \mathbb{R}, \quad \mathbf{u}(x, 0) = \mathbf{u}_0,$$

существует и единственно в пространстве $C(\mathbb{R}, X)$. При этом, $\|\mathbf{u}(\cdot, t)\|_X \leq C(1 + |t|^p)e^{\beta|t|}\|\mathbf{u}_0\|_X$, где $\beta = \sup_{\lambda \in \sigma(\mathcal{L}_{P,U})} |\text{Im } \lambda|$, а оценки неулучшаемы.

Теорема 2. Пусть $\mathcal{L}_{P,U}$ — регулярный оператор Дирака с суммируемым внедиагональным потенциалом. Тогда оператор $i\mathcal{L}_{P,U}$ является генератором сильно непрерывной операторной группы $T(t)$, $t \in \mathbb{R}$ в $(L_\mu[0, \pi])^2$ для любого $\mu \in [1, \infty)$. При этом справедливы оценки вида $\|T(t)\| \leq C \exp(bt)\|T_0(t)\|$, T_0 — группа, порожденная оператором с нулевым потенциалом, числа b и C зависят только от $\|P\|_{L_1}$.

Первые результаты без оценки, для периодических краевых условий, были получены в [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

О НЕПРЕРЫВНОЙ ВЕТВИ НУЛЕЙ У ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СЕМЕЙСТВА ПОИСКОВЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ

Фоменко Татьяна Николаевна

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

Ниже \Rightarrow обозначает многозначное отображение.

Определение 1. (X, d) – метрическое пространство, $Y \subseteq X$, $0 \leq \beta < \alpha$. Функционал $\Phi : Y \rightrightarrows \mathbb{R}_+$ называется (α, β) -поисковым на Y , если для любой пары $(x, c) \in \text{Graph}(\Phi)$, где $x \in Y$, $c \in \Phi(x)$, $c \leq (\alpha - \beta)r$, и $\overline{B_r(x)} \subset Y$, существует пара $(x', c') \in \text{Graph}(\Phi)$, для которой $d(x, x') \leq \frac{1}{\alpha}c$, $c' \leq \frac{\beta}{\alpha}c$.

В $\text{Graph}(\Phi)$ метрика: $D((x', c'), (x'', c'')) = d(x', x'') + |c' - c''|$. Для подмножеств Z, Y , $Z \subseteq Y \subseteq X$ и семейства $\Phi = \{\Phi_t : Y \rightrightarrows \mathbb{R}_+\}_{t \in [0;1]}$
 $M_Z(\Phi) := \{(x, t) \in Z \times [0; 1] \mid 0 \in \Phi_t(x)\}$. Семейство Φ называется θ -непрерывным на $M_Z(\Phi)$, если $\forall (x, t) \in M_Z(\Phi)$ и $\forall t' \in [0; 1] \exists c' \in \Phi_{t'}(x)$, $|c'| \leq |\theta(t') - \theta(t)|$, для некоторой непрерывной возрастающей функции θ .

Определение 2. Пусть (Z, μ) метрическое пространство, $0 \leq \beta < \alpha$, $\varphi : Z \rightarrow \mathbb{R}_+$. Функционал φ называется слабо (α, β) -поисковым на Z , если $\forall z \in Z, \forall r > 0$, что $0 < \varphi(z) \leq r$, $\exists z' \in Z$, $\varphi(z') \leq \frac{\beta}{\alpha}r$, $\mu(z, z') \leq r + \varphi(z')$. Его график называется поисково-замкнутым, если любая поисковая последовательность $\{x_n\} \subseteq Z$, то есть $\varphi(x_{n+1}) \leq \frac{\beta}{\alpha}r$ и $\mu(x_n, x_{n+1}) \leq r + \varphi(z')$, сходится к некоторому $\xi \in \text{Nil}(\varphi)$.

Пусть (X, d) – полно, $\Phi = \{\Phi_t : \overline{U} \rightrightarrows \mathbb{R}_+\}_{t \in [0;1]}$ – семейство (α, β) -поисковых на \overline{U} функционалов с $\{0\}$ -замкнутыми графиками, $U \subseteq X$ – открыто и ограничено. Пусть $M_Z(\Phi)$ замкнуто, и семейство Φ θ -непрерывно на $M_Z(\Phi)$. Обозначим $N : [0; 1] \rightrightarrows X$, $N(t) := \text{Nil}(\Phi_t) \cap U$, $\text{Nil}(\Phi_t) := \{x \in X \mid 0 \in \Phi_t(x)\}$. Пусть μ – метрика в $C(I, X)$, $\mu(f, g) := \sup_{t \in I} \rho(f(t), g(t))$, $f, g \in C(I, X)$. Пусть $\varphi : C(I, X) \rightarrow \mathbb{R}_+$, $\varphi(f) = \mu(f, N) := \sup_{t \in I} \rho(f(t), N(t))$, $f \in C(I, X)$, $d(f(t), N(t)) := \inf_{x \in N(t)} d(f(t), x)$.

Теорема 1. В описанной ситуации пусть $\exists \bar{\alpha}, \bar{\beta}, 0 \leq \bar{\beta} < \bar{\alpha}$, что функционал φ является слабо $(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$ -поисковым на $C(I, X)$, и его график $\text{Graph}(\varphi)$ поисково-замкнут.

Тогда для любого $f \in C(I, X)$, $0 < \varphi(f) \leq r$, существует такое однозначное непрерывное сечение $\zeta \in C(I, X)$ отображения N , что $\mu(f, \zeta) \leq \frac{(\bar{\alpha} + \bar{\beta})r}{\bar{\alpha} - \bar{\beta}}$.

Доказательство основано на результатах работ [2-5]. Терминологию теории многозначных отображений см., например, в [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Борисович Ю. Г., Гельман Б. Д., Мышкис А. Д., Обуховский В. В. Введение в теорию многозначных отображений и дифференциальных включений // ЛИБРОКОМ, М. – 2011.
- [2] Фоменко Т. Н. Каскадный поиск прообразов и совпадений: глобальная и локальная версии // Мат. заметки. 2013. Т 93, № 1, С. 127–143.

- [3] *Fomenko T.N.* Cascade search principle and its applications to the coincidence problem of n one-valued or multi-valued mappings//*Topol. and its Appl.* 2010. Т 157, С. 760–773.
- [4] *Fomenko T.N.* Zeros of Functionals and a Parametric Version of Michael Selection Theorem//*Lobachevskii Journal of Mathematics.* Kazan State University (Russian Federation). 2022. Т 43, № 3, С. 1314–1321.
- [5] *Fomenko T.N., Zakharyan Ju.N.* Preservation of the Existence of Zeros in a Family of Set-Valued Functionals and Some Consequences// *Mathematical Notes, Pleiades Publishing.* 2020. Т 108, № 6, С. 802–813.

ГЕНЕРАТИВНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ШУМА ИЗ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

Гирфанов Олег Владимирович¹, Шишкин Алексей Геннадьевич²

¹ Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: girfanov.ov@yandex.com

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

Задача очищения речевых сигналов заключается в получении чистых речевых сигналов из аудиозаписей, подверженных акустическому шуму. Большая часть существующих методов основана на дискриминативных моделях, которые мини- мизируют расстояние между чистым и зашумленным сигналами [1]. В силу специфики задачи обучения с учителем и конечности обучающей выборки, такие методы могут плохо обобщаться на примеры, не встреченные во время обучения, а именно, на примеры с другими типом внешнего шума, отношением сигнал/шум и т.д. [2].

В настоящей работе рассматривается альтернативный подход [3] к устранению шума из речевых сигналов, основанный на применении генеративных моделей, которые обучаются моделировать распределение входных данных.

Постановка задачи заключается в следующем. Пусть x_0 - чистый сигнал, y - зашумленный сигнал. В основе модели лежат стохастические дифференциальные уравнения (СДУ) [4]:

$$dx_t = \gamma(y - x_t)dt + g(t)dw$$

$$g(t) = \sigma_{\min}(\sigma_{\max}/\sigma_{\min})^t \sqrt{2\log(\sigma_{\max}/\sigma_{\min})}$$

Данное уравнение описывает процесс преобразования чистого сигнала x_0 в гаусовский шум x_T , параметры σ_{\min} и σ_{\max} называется жесткостью и определяет степень зависимости от зашумленного образца. Для получения чистого сигнала строится обратное СДУ [5], которое описывает процесс преобразования x_T в x_0 при условии y .

Обратное СДУ решается при помощи глубокой нейронной сети (U-Net), которая итеративно очищает сигнал. Для обучения модели был собран и подготовлен собственный набор данных, который содержит более 150ч. аудиозаписей

чистой речи на русском языке в формате wav с частотой дискретизации 16kHz. Для зашумления данных использовались аудиозаписи из набора DEMAND (фоновый шум). В процессе обучения использовались различные фоновые шумы и различные уровни SNR (0, 5, 10, 15, 20 dB). Перед обучением аудиозаписи были разделены на короткие фрагменты и преобразованы в комплексную спектрограмму при помощи оконного преобразования Фурье.

Для оценки работы модели использовались метрики scale-invariant signal-to-distortion ratio (SI-SDR) - 17.4, signal-to-interference ratio (SI-SIR) - 31.0 и signal-to-artifacts ratio (SI-SAR) - 17.9, которые показали результаты, близкие или превосходящие лучшие дискриминативные модели (MetricGAN, Conv-TasNet)[6,7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Zhao S., Nguyen, T. H., Ma B. Monaural speech enhancement with complex convolutional block attention module and joint time frequency losses // In ICASSP 2021-2021 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 6648-6652). IEEE.
- [2] Wang P, Tan K, Wang D.L. Bridging the gap between monaural speech enhancement and recognition with distortion independent acoustic modeling // IEEE Trans. on Audio, Speech, and Language Proc. (TASLP), vol. 28, pp. 39–48, 2020.
- [3] Variational autoencoder for speech enhancement with a noise-aware encoder / H. Fang, G. Carbajal, S. Wermter, T. Gerkmann // IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Proc. (ICASSP), pp. 676–680, 2021.
- [4] Ho J., Jain A., Abbeel P. // Denoising diffusion probabilistic models. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 6840-6851.
- [5] Anderson B. D., Reverse-time diffusion equation models // Stochastic Processes and their Applications, vol. 12, no. 3, pp. 313–326, 1982. 2006. 448 с.
- [6] Metricgan: Generative adversarial networks based black-box metric scores optimization for speech enhancement / Fu S. W., Liao C. F., Tsao Y., Lin S. D. // (2019, May) In International Conference on Machine Learning (pp. 2031-2041). PMLR.
- [7] Luo Y., Mesgarani N. // Conv-tasnet: Surpassing ideal time–frequency magnitude masking for speech separation. / (2019) IEEE/ACM transactions on audio, speech, and language processing, 27(8), 1256-1266.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРО-МАГНИТНОЙ ДИАГНОСТИКИ В ТОКАМАКЕ МИФИСТ-0

Зотов Игорь Викторович¹, Дементьев Николай Сергеевич²

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

² Кафедра автоматизации научных исследований, e-mail: s02170610@gse.cs.msu.ru

В НИЯУ МИФИ введена в эксплуатацию новая учебно-демонстрационная установка МИФИСТ-0, которая относится к классу компактных сферических токамаков. Одной из основных задач, которая ставится перед этой установкой, является создание системы управления положением плазмы с целью получения максимальной продолжительности удержания плазмы. Для решения этой задачи необходимо получение в режиме реального времени информации о параметрах плазмы и удерживающих ее магнитных полях с помощью системы электромагнитной диагностики (СЭМД). Данная система включает в себя различные проводящие петли (полоидальные, диамагнитные, седловые), магнитные зонды, пояса Роговского для измерения полоидального и тороидального магнитных потоков, различных компонент магнитного поля, электрических токов в плазме, на поверхности камеры и в управляющих катушках полоидального поля.

Целью данной работы являлось изучение работы СЭМД с учетом конструктивных особенностей установки. С помощью кода TOKSCEN для расчета эволюции плазмы [1] моделировалось несколько опорных точек сценария разряда и вычислялись данные измерений на электромагнитных датчиках. Затем с помощью полученных данных на основе решения обратной задачи с помощью кода RPB [2] определялась граница плазмы. Проводилось сравнение восстановленной и точной границы, полученной из прямой задачи. Исследовалась зависимость качества решения обратной задачи от числа датчиков, их расположения на камере, относительной погрешности исходных данных. Получены требования к параметрам СЭМД, необходимые для успешного контроля границы, а также сепаратрисы с приемлемой точностью из решения обратной задачи в процессе разряда. Результаты данного исследования позволят при планировании следующих экспериментальных компаний разработать и применить новую систему электромагнитных зондов, гарантирующую контроль границы плазмы с точностью, соответствующей характеристикам применяемых датчиков.

Работа поддержана грантом РФФИ № 20-07-00391.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 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.
- [2] Зотов И.В., Белов А.Г. Вычислительный код RPB для расчета границы плазмы по магнитным измерениям (модуль библиотеки «Виртуальный

токамак») // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, т.37 (2014), вып.1, с. 97-102.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ РЕЧЕВОЙ АКТИВНОСТИ В АУДИОСИГНАЛЕ ПРИ НИЗКОМ ОТНОШЕНИИ СИГНАЛ/ШУМ

Литвинов Иван Борисович¹, Шишкин Алексей Геннадиевич²

¹ Кафедра фундаментальной и прикладной математики, ФКИ МГУ, e-mail: litvan007@gmail.com

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

Задача обнаружения речи в зашумленных сигналах является актуальной и востребованной во многих областях. Одним из примеров применения такой задачи является распознавание голосовых команд механического манипулятора, работающего на международной космической станции. В основе решения этой задачи лежит архитектура нейронной сети, состоящая из трех слоев двумерных сверток с последующим преобразованием данных в массив длины отсчетов сигнала с помощью трех транспонированных слоев [1]. Для обучения и тестирования моделей был создан и автоматически размечен набор данных, содержащий речь в условиях сильного шума, имитирующего реальные ситуации с соотношением сигнал/шум, равным 1 или 3.

На основе рассматриваемой архитектуры были построены три модели, отличающиеся типом входных данных. Первая модель использовала в качестве входных данных мел-частотные кепстральные коэффициенты (MFCC), вторая — признаки eGeMAPSv02 [2], выделенные библиотекой openSMILE [3], а третья — набор признаков для распознавания эмоций eMObase, также выделенный с помощью библиотеки openSMILE. При сравнении распределений входных признаков для трех моделей на метках (шум, речь) было выявлено, что признаки из eGeMAPSv02 имеют близкое к равномерному распределение в отличие от остальных моделей. Это может плохо сказываться на обучении модели, так как не позволяет отразить различия между классами. Признаки MFCC и eMObase показали большую вариативность значений на метках.

По результатам исследования на тестовом наборе данных лучшие результаты показала модель с признаками eMObase, которые включают MFCC, качество голоса, основную частоту (F0), огибающую F0, линейные спектральные пары (LSP) и интенсивность с их производными. Метрики качества для данной модели: точность (precision) — 0.981, полнота — 0.93, F1-мера — 0.953. Модели с признаками MFCC и eGeMapsV02 имели следующие значения метрик: точность — 0.982 и 0.972, полнота — 0.92 и 0.927, F1-мера — 0.948 и 0.947 соответственно. Таким образом, проведенные эксперименты позволяют сделать

вывод, что модель на основе признаков етоbase является наиболее эффективной для сегментации речи в зашумленных сигналах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Процеров С. Д., Шишкин А. Г. Сегментация зашумленных речевых сигналов // Искусственный интеллект и принятие решений — 2021. No1. — С. 75-85.
- [2] The Geneva minimalistic acoustic parameter set (GeMAPS) for voice research and affective computing / Флория Э., Шерер К. Р., Шуллер Б. В., Сундберг Й., Андре Э., Буссо К., Девиллерс Л. И., Эппс Дж., Лаукка П., Нараянан Ш. С., Труонг К. П. // IEEE Transactions on Affective Computing. 2016. Vol. 7, no. 2. Pp. 190–202.
- [3] openSMILE3.0 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.audeering.com/research/opensmile/> (дата обращения: 19.03.2023).

РАСЧЕТ РЕЗОНАНСНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА

Шейна Елена Анатольевна¹, Смирнов Александр Павлович²

¹ Факультет ВМК, e-mail: sheina_elena@mail.ru

² Факультет ВМК, e-mail: sap@cs.msu.ru

В работе изучаются свойства установившихся гармонических решений двумерной системы уравнений Максвелла. Рассматриваются решения задачи о рассеянии плоской волны на бесконечном диэлектрическом цилиндре — как точное в виде рядов Рэлея, так и численное, найденное с помощью метода FDTD. Для них изучается зависимость функции сечения рассеяния от радиуса цилиндра и его диэлектрической проницаемости. Для ряда диэлектриков найдены точки локальных максимумов, в некоторых случаях имеющие вид точек резонанса, и соответствующие им распределения магнитного поля в ТН-моде, имеющие вид монополя, диполя или квадруполья.

Полученные данные могут быть использованы для решения обратной задачи определения диэлектрической проницаемости включений по результатам измерений рассеянного электромагнитного поля.

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИНТРАЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ ИНЪЕКЦИИ СПЕРМАТОЗОИДА

Шишкин Алексей Геннадьевич¹, Денисов Степан Вячеславович²

¹ МГУ им. М.В.Ломоносова, ф-т ВМК, каф. автоматизации научных исследований, e-mail: shishkin@cs.msu.ru

² МГУ им. М.В.Ломоносова, ф-т ВМК, каф. автоматизации научных исследований, e-mail: svdenrus@gmail.com

Интрацитоплазматическая инъекция сперматозоида (ИКСИ) - это один из методов вспомогательной репродуктивной технологии, в котором искусственно проводится процесс введения одного живого сперматозоида внутрь женской яйцеклетки. Хотя метод ИКСИ широко распространен в качестве операции экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), некоторые технические аспекты этой процедуры являются недостаточно изученными. Более того, несмотря на унификацию последовательности действий во время операции и наличия общих рекомендаций, успешность процедуры может варьироваться в зависимости от оператора, выполняющего ее.

Целью данной работы является разработка нейросетевой модели для автоматического анализа изображений интрацитоплазматической инъекции сперматозоида для выработки рекомендаций оператору для успешного проведения процедуры, а также для предсказания с высокой вероятностью результата операции.

В качестве входного набора рассматривались видеок cadры операции ИКСИ, предоставленные Центром репродуктивной медицины «Линия жизни».

Исходные видеоизображения (350 шт.) обладают высоким разрешением 1024x768, однако на большинстве кадров присутствуют артефакты и шумы, не относящиеся к исследованию. Из различных видеопоследовательностей были отобраны и размечены вручную около 1600 кадров.

Для обработки данных была использована глубокая сверточная сегментационная нейронная сеть. Для создания оптимальной модели было проведено большое число экспериментов, в ходе которых тестировались различные архитектуры сети и изменялись гиперпараметры моделей с добавлением регуляризации различного типа. В результате была выбрана архитектура FPN (Feature Pyramid Network).

В ситуации ограниченного датасета, был использован метод Supervised Contrastive Learning, подразумевающий изменение исходных изображений путём аугментации различного рода: наклона, приближения, обрезания кадра и т.д. Таким образом, была значительно увеличена обучающая выборка. Для оценивания точности модели была выбрана метрика IoU (Intersection over Union) метрика.

Точность сегментации полученной модели составила 0.976.

Для разработки классификационной модели, позволяющей на основе имеющейся сегментационной маски для каждого кадра предсказать исход операции ИКСИ, были выделены характерные признаки, которые можно получить из видеозаписи, такие как: степень деформации яйцеклетки (сравнение размеров до вхождения иглы и после), скорость вхождения иглы, угол вхождения иглы, скорость выхода иглы из яйцеклетки, количество попыток проникновения в яйцеклетку. Большая часть признаков была извлечена путём трекинга иглы на видеоизображении.

Кроме того, была применена нейросеть D2-Net [2] - глубокая сверточная сеть для совместного описания и обнаружения локальных признаков, которая является одновременно плотным дескриптором и детектором признаков. Сеть выдаёт 3 массива: массив состоящий из позиций ключевых точек; массив состоящий из ключевых точек наибольшего интереса; массив дескрипторов с L2 нормализацией.

Для окончательной классификации использовалась глубокая сверточная нейронная сеть, которая обучалась на 3 вариантах входных данных: вручную отобранных признаках; признаках D2-Net; их комбинации. В итоге была получена модель с достаточно высокой точностью классификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Charlie Bourigault . Python DIC from Fraunhofer IWM 2016
- [2] Mihai Dusmanu, Ignacio Rocco, Tomas Pajdla, Marc Pollefeys, Josef Sivic, Akihiko Torii, Torsten Sattler. D2-Net: A Trainable CNN for Joint Detection and Description of Local Features 2019

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ВЫРАЖЕНИЙ ЛОГИКИ

Н.П.БРУСЕНЦОВА

Владиминова Юлия Сергеевна

Лаборатория дискретных управляющих систем и их приложений, e-mail: vladimirova@cs.msu.ru

Предложенный Н.П. Брусенцовым метод анализа логических отношений [1] основан на их выражении конъюнкцией суждений существования. Выражения булевой алгебры $f(x_1, \dots, x_n)$, $g(x_1, \dots, x_n)$ над набором из n переменных понимаются в логике Брусенцова как характеристики исследуемых объектов, оцениваемых посредством критериев x_1, \dots, x_n . Имеются два оператора \bigvee и \bigvee' , посредством которых строятся суждения существования. Возможны два контрарных суждения: $\bigvee f$ обозначает необходимое существование объекта с характеристикой f , $\bigvee' f$ – невозможность такого объекта. Отношение следования $f \Rightarrow g$ в логике Брусенцова определяется как необходимое существование f и $f\bar{g}$ и невозможность $f\bar{g}$ [2]: $f \Rightarrow g = \bigvee fg \bigvee f\bar{g} \bigvee' f\bar{g}$.

Отметим, что это отношение контрапозитивно и не может выполняться, если $f = 0$, либо $g = 0$ и несовместимо с $\bigvee' f$ и с $\bigvee' \bar{g}$.

Наряду с отношением следования используется отношение эквивалентности: $(f = g) = (f \Rightarrow g) \& (g \Rightarrow f)$.

Метод Брусенцова позволяет получать логические выводы из набора суждений, а в случае отсутствия вывода находить условия, необходимые для его наличия. Программная реализация данного метода требует исследования свойств выражений суждений существования. Данный доклад посвящен некоторым из них, в частности: устанавливаются ограничения на функции, которые могут быть совмещаться в рамках одного выражения; приводится оценка количества булевых выражений над n переменными, которые удовлетворяют указанных ограничениям; показывается достаточность выявления двух отношений из трех для отношений, заданных конъюнкциями переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Брусенцов Н. П. Воссоздание аристотелевой безукоризненной силлогистики // Современные информационные технологии и ИТ-образование». Доиздание сборника избранных трудов – М.: ИНТУИТ.РУ, 2011. С. 73-76.
- [2] 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.

УТОЧНЁННЫЕ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ КЛЕТЧНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО МНОГОПОЛЮСНИКА

Зизов Вадим Сергеевич¹, Ложкин Сергей Андреевич²

¹ Кафедра математической кибернетики, e-mail: vzs815@gmail.com

² Кафедра математической кибернетики, e-mail: lozhkin@cs.msu.ru

Впервые в работе [1] в 1967 году С. С. Кравцовым была предложена модель клеточных схем (КС), где под сложностью КС понималась её площадь. В этой работе был получен порядок соответствующей функции Шеннона, а в работе А. Альбрехта [2] доказано, что при $n \rightarrow \infty$ она асимптотически равна $\sigma 2^n$, $\sigma = const$. При этом точное значение константы σ остается неизвестным до настоящего времени.

В работе [3] были установлены асимптотически точные верхние и нижние оценки для площади схем, реализующих дешифратор порядка n , которые имеют вид $n2^{n-1} \left(1 \pm O\left(\frac{1}{n}\right)\right)$ и аналогично работе [4] могут считаться асимптотическими оценками высокой степени точности (АОВСТ).

В работе [5] были установлены верхние и нижние АОВСТ для сложности $A(\vec{P}_{2n})$ системы всех булевых функций от n булевых переменных - так называемого универсального многополюсника $\vec{P}_2(n)$ порядка n - в модели клеточных

схем, имеющие вид

$$n2^{2^n-1} - O(2^{2^n}) \leq A(\vec{P}_2(n)) \leq (n+6)2^{2^n-1} + \frac{3n}{2^n}2^{2^n-1} \quad (1).$$

В настоящей работе нижние оценки (1) уточняются следующим образом.

Теорема Для любого натурального n справедливо неравенство

$$A(\vec{P}_2(n)) \geq n \cdot 2^{2^n-1} - O(n^2).$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кравцов С. С. О реализации функций алгебры логики в одном классе схем из функциональных и коммутационных элементов // Проблемы кибернетики. М.: Наука, 1967. Вып. 19. С. 285–292.
- [2] Альбрехт А. О схемах из клеточных элементов // Проблемы кибернетики. М.: Наука, 1975. Вып. 33. С. 209–214.
- [3] Ложкин С. А., Зизов В. С. Уточненные оценки сложности дешифратора в модели клеточных схем из функциональных и коммутационных элементов // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки, 162, № 3, Изд-во Казанского ун-та, Казань, 2020, 322–334 doi: 10.26907/2541-7746.2020.3.322-334
- [4] Ложкин С. А. Оценки высокой степени точности для сложности управляющих систем из некоторых классов // Математические вопросы кибернетики. Вып. 6, М., Наука, Физматлит. 1996, С. 189–214.
- [5] Ложкин С. А., Зизов В. С. Уточненные оценки сложности универсального многополюсника в модели клеточных схем // Материалы XIV Международного семинара "Дискретная математика и её приложение" имени академика О.Б. Лупанова (Москва, МГУ, 20-25 июня 2022 г.) Под редакцией В.В. Кочергина - М.: ИМП им. Келдыша, 2022. С. 80-81.

О ГЛУБИНЕ МУЛЬТИПЛЕКСОРНОЙ ФУНКЦИИ ОТ «НЕБОЛЬШОГО» ЧИСЛА АДРЕСНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Ложкин Сергей Андреевич

Кафедра математической кибернетики, e-mail: lozhkin@cs.msu.ru

В данной работе продолжается исследование глубины т. н. мультиплексорной функции порядка n , $n = 1, 2, \dots$, то есть функции алгебры логики (ФАЛ) M_n от $n+2^n$ булевых переменных (БП), где первые n БП являются её «адресными» БП, оставшиеся 2^n БП — «информационными» БП, а значение функции M_n равно значению той её информационной БП, номер которой (в двоичной системе счисления) поступил на адресные БП. При этом под глубиной $D(f)$ ФАЛ f понимается минимальная глубина реализующих её формул в «стандартном

базисе» $\hat{B}_0 = \{x_1 \cdot x_2, x_1 \vee x_2, \bar{x}_1\}$, где глубина элементов $x_1 \cdot x_2$ и $x_1 \vee x_2$ равна 1, а глубина элемента \bar{x}_1 равна 0.

В работах [1, 2] были разными способами доказано, что $D(M_n) \leq n + 3$. В работе [3] было установлено, что $D(M_1) = 2$, $D(M_n) = n + 2$ при $n \geq 20$ и $2 \leq n \leq 5$, а также доказано, что $n + 2 \leq D(M_n) \leq n + 3$ при $6 \leq n \leq 19$.

В настоящей работе доказано, что $D(M_n) = n + 2$ при $11 \leq n \leq 19$. Тем самым, отрезок «неопределенности» для глубины $D(M_n)$ сократился до отрезка [6, 10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Tardos G., Zwick U. The communication complexity of the universal relation // Proceedings of the 12th Annual IEEE Conference on Computation Complexity (CCC). 1997. P. 247–259.
- [2] Ложкин С.А. О синтезе формул, сложность и глубина которых не превосходят асимптотически наилучших оценок высокой степени точности // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Матем. мех. 2007. № 3. С. 19–25.
- [3] Ложкин С.А. Власов Н.В. О глубине мультиплексорной функции // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 15. Вычисл. матем. и киберн. 2011. № 2. С. 40–46.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БАЗОВОГО АКТИВА НА ОСНОВЕ РЫНОЧНЫХ КОТИРОВОК ОПЦИОНОВ

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

Рыночные цены опционов зачастую отличаются от цен, предполагаемых теоретическими моделями. Это означает, что у участников рынка есть свое представление о будущем распределении стоимости базового актива. Рыночные цены опционов определяют так называемую подразумеваемую волатильность базового актива, которая может отличаться от исторической волатильности. В работе показано, как от кривой подразумеваемой волатильности перейти к подразумеваемому распределению будущей цены базового актива. Используется метод интерполяции кубическими сплайнами для сглаживания кривой волатильности. Полученное распределение базового актива может быть аппроксимировано некоторыми известными распределениями, такими как логнормальное, распределение S_U -Джонсона и другими. В работе представлено статистическое исследование точности полученных распределений будущей цены базового актива на исторических данных.

О ВЛИЯНИИ РАДИОАКТИВНОГО ТРИТИЯ НА ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ МИШЕНЕЙ ИЗОТОПАМИ ВОДОРОДА

Белоліпецкі Александр Алексеевич¹, Семенов Константин Олегович²

¹ Кафедра исследования операций ВМК, e-mail: abelolipet@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр ИУ РАН, e-mail: kostya_24@mail.ru

В работе [1] исследовалась математическая модель заполнения лазерных мишеней (ЛМ) газообразным дейтерий – тритиевым топливом. Такие мишени представляют собой многослойные полистироловые оболочки, наполненные изотопами водорода, и используются в инерциальном термоядерном синтезе [2]. В работе [3] приведен обзор задач, возникающих в области технологии производства ЛМ. Одной из таких проблем является доставка топлива внутрь ЛМ. С применением безподвесной технологии, разработанной в ФИАН имени П.Н.Лебедева, сферическую оболочку помещают в камеру с $D - T$ газообразной смесью, находящейся под давлением. Созданный перепад давлений заставляет газ проникать через стенки мишени и постепенно заполнять ее. При увеличении давления газа внутри мишени увеличивается и внешнее давление, но так, чтобы не разрушить оболочку. Присутствие в газе радиоактивного трития приводит к повышению газопроницаемости оболочки, и как следствие, к уменьшению времени заполнения. Однако снижение прочностных характеристик стенок ЛМ требует уменьшения перепада давлений внутри и вне её, что замедляет процесс заполнения. Математическая модель процесса заполнения двухслойной ЛМ представляет начально - краевую задачу для двух полулинейных параболических уравнений с нелинейными краевыми условиями [1].

Используя методы малого параметра, можно показать, что оценка времени заполнения мишени t_f от начального давления p_i до конечного давления p_f задается формулой

$$t_f = \frac{\ln[1 + t^*(\gamma_1 - \gamma_2)(p_f - p_i)/(p_0\theta)]}{\gamma_1 - \gamma_2}$$

Для оболочек типа HiPER характерное время $t^* = 10^5 c$, характерный перепад давлений $p_0 = 5$, безразмерный параметр $\theta = 10^5$, характерные времена релаксации проницаемости и прочности стенок мишени $\gamma_1^{-1}, \gamma_2^{-1}$. На Рис.1 изображены графики зависимости времени заполнения оболочек типа HiPER от конечного давления. На Рис.1а эта зависимость практически линейная, так как характерные времена релаксации $\gamma_1^{-1} = 2.5 \cdot 10^6, \gamma_2^{-1} = 2 \cdot 10^6$ почти совпадают. А на Рис.1б эта зависимость уже нелинейная, так как характерные времена релаксации сильно разнятся. То есть наличие в газе трития может значительно повлиять на процесс заполнения.

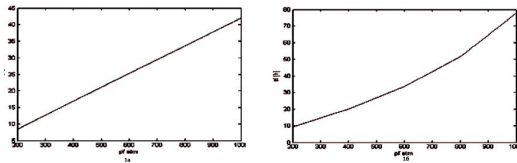


Рис. 1: Зависимость времени заполнения от конечного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Белолипецкий А. А., Семенов К. О. Исследование математической модели заполнения двухслойных пористых оболочек газом // Вестн. Моск. ун-та. Серия 15. Вычисл. матем. и киберн. 2011. №4. С. 3–10.
- [2] Дюдерштадт Дж., Мозес Г. Инерциальный термоядерный синтез. М. : Энергоатомиздат, 1984. 302 с.
- [3] Александрова И. В., Белолипецкий А. А., Корешева Е. Р. Состояние проблемы криогенных топливных мишеней в современной программе инерциального термоядерного синтеза // Вестн. РАН. 2007, №2. С. 15–20.

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЫНКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С НАКОПИТЕЛЯМИ

Васин Александр Алексеевич, Агаджанян Елизавета Георгиевна

Кафедра исследования операций ВМК МГУ, e-mail: vasin@cs.msu.su, a_lizzi@mail.ru

В настоящее время во многих странах мира происходит обновление электроэнергетики путем внедрения накопителей энергии (см. [1, 2]). Для рынков электроэнергии характерны большие перепады цен между пиковыми периодами с большими объемами потребления и ночными периодами с низким потреблением. В этой ситуации полезную роль может сыграть накопитель энергии: потребитель накапливает в нем энергию при низких ценах и использует ее при высоких ценах, когда у него большая потребность в энергии.

Цель настоящего исследования - разработать математическую модель для расчета оптимальных объемов внедрения накопителей разных типов, а также оптимального расширения электроэнергетической сети, исходя из заданной структуры мощностей и спроса на электроэнергию. Мы исследуем двухуровневую модель рынка. Первый уровень предназначен для анализа краткосрочных задач принятия решений экономическими агентами. При этом инфраструктура рынка, включая накопители энергии в его узлах и линии передачи между ними, считается заданной. Задачи выбора оптимальных стратегий и расчета конкурентного равновесия рассматриваются для суточного интервала планирования. Выводится система соотношений, позволяющая рассчитать оптимальные стратегии агентов и состояние конкурентного равновесия.

Далее для расчета оптимальных параметров инфраструктуры рынка предлагается модель экономического равновесия второго уровня. Она описывает долгосрочное функционирование данного рынка. Внешние факторы характеризуются вероятностным распределением, отражающим их зависимость от времени года. Параметры накопителей и пропускные способности линий передачи энергии выбираются, исходя из максимизации средних значений прибылей экономических агентов. Эти прибыли с учетом затрат на строительство и ожидаемых сроков эксплуатации.

Исходя из известной теоремы благосостояния, оптимальная структура рынка соответствует состоянию конкурентного равновесия. Расчет конкурентного равновесия основан на решении задач оптимального управления накопителями и определения спроса на них, а также задачи оптимального расширения транспортной сети энергетического рынка. Последняя задача рассмотрена в работе [3]. Задача оптимального управления накопителем и расчета краткосрочного конкурентного равновесия подробно исследуется в работах [4, 5].

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. 10. P. 10105–10123.
- [2] Nguyen N. T. A. et al. Optimal Power Flow with energy storage systems: Single-period model vs. multi-period model // 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015.
- [3] Vasin A. A., Grigoryeva O. M., Tsyganov N. I. Optimization of an Energy Market Transportation System // Doklady Mathematics. 2017. V. 96. №1, P. 1–4.
- [4] Васильковская Т. А., Ключ Б. А. Проектирование рынка электроэнергии с накопителями энергии // Электричество, 2020, № 12, с. 31–43
- [5] Васин А. А., Григорьева О. М., Серегина И. Ю. Оптимизация параметров накопителей для потребителей на рынке электроэнергии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 15. Вычисл. матем. и киберн. 2023, № 1, с. 21–27.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕМОНТНЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Давидсон Михаил Рувимович, Демихов Валентин Михайлович

Кафедра исследования операций, e-mail: mikhail.davidson@gmail.com, vmdemikhov@mail.ru

Перспективное планирование электрических режимов энергосистем является одной из важных задач Системного оператора Единой энергосистемы. При решении данной задачи необходимо оценивать достаточность имеющейся в

распоряжении мощности генерирующего оборудования для покрытия прогнозируемого спроса. При этом не всегда вся установленная мощность доступна для работы по причинам как плановых, так и аварийных ремонтов. В то время как аварийные остановки оборудования связаны с нерегулярными событиями, их моделирование выполняется на основе статистической информации о таких событиях в прошлом. Что касается плановых ремонтов, нормативная документация предполагает определенную периодичность и продолжительность средних и капитальных ремонтов. Это позволяет корректнее моделировать снижение рабочей мощности генерирующего оборудования в связи с плановыми ремонтами, что является предметом данной работы.

Модель плановых ремонтов формулируется в виде задачи смешанного целочисленного программирования. Бинарные переменные моделируют состояния блоков в каждый интервал времени, а также обеспечивают непрерывность периода времени, в течение которого блок находится в ремонте. Ряд условий используется для ограничения количества блоков, находящихся в ремонте одновременно. Это с одной стороны станционные условия, требующие наличия минимального доступного объема рабочей мощности в рамках одной станции, а с другой стороны системные ограничения, которые аналогично определяют минимальный объем доступной мощности, но уже в рамках энергообъединения по условиям системной надежности и покрытия спроса. Последние ограничения формулируются для каждого расчетного интервала и связывают блоки разных станций, что делает задачу сложной. Так как заранее неизвестно, возможно ли осуществить все запланированные ремонты с учетом указанных ограничений, вводятся переменные нежесткости, позволяющие нарушать эти ограничения, однако по цене штрафа. Целевой функцией для данной задачи является минимизация суммы таких штрафов.

Периодом планирования для такой задачи является один год. Крупное энергообъединение может насчитывать порядка сотен блоков, так что характерная размерность составит более 300 тысяч переменных, из которых около 200 тысяч бинарных. Решение задачи такой размерности является достаточно сложным процессом. В ходе численного эксперимента была выявлена сильная зависимость времени решения от количества и длительности ремонтов.

ПОСТРОЕНИЕ k -РАВНОВЕСИЙ В ПРОСТЕЙШЕЙ СЕТЕВОЙ ИГРЕ С НЕРАЗДЕЛЯЕМЫМ ТРАФИКОМ

Морозов Владимир Викторович¹, Исинь Жэнь²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: vmorosov@mail.ru

² Кафедра исследования операций, e-mail: renyixin8@gmail.com

Рассмотрим сеть, состоящую из m параллельно соединенных каналов пропускных способностей $c_1 \geq \dots \geq c_m$. Пусть n игроков должны передать по сети неделимую информацию объемов w_i , $i \in I = \{1, \dots, n\}$, $n \geq m$.

Каждый игрок i выбирает чистую стратегию — канал l_i . При этом образуется профиль стратегий $l = (l_1, \dots, l_n)$ и множества $S_j = \{i | l_i = j\}$ игроков, выбравших канал j . Игрок i стремится минимизировать функцию выигрыша $F_i(l) = \lambda_j = \sum_{s \in S_j} w_s / c_j$, $i \in S_j$, — задержку передачи информации. Профиль l называется k -равновесием, если для любого множества игроков K с $|K| \leq k$ не существуют таких стратегий l'_s , $s \in K$, что для профиля $l' = (l_s, s \notin K, l'_s, s \in K)$ выполнены неравенства $F_s(l') < F_s(l)$, $s \in K$. В частности, 1-равновесие является равновесием по Нэшу. В [1] приведен эффективный алгоритм построения одного 1-равновесия.

В докладе будет предложен алгоритм построения семейства k -равновесий. Сначала строится семейство 1-равновесий. Для этого фиксируется начальное разбиение множества I на подмножества S_j , в которых определяются игроки $i(j)$ с минимальными w_i . Для канала с максимальным λ_j производится проверка неравенств $\lambda_j > \lambda_r + w_{i(j)}/c_r$, $r \neq j$. В случае его выполнения множества S_j и S_r переопределяются: $S_j := S_j - \{i(j)\}$, $S_r = S_r + \{i(j)\}$ и так далее. В результате будет построено 1-равновесие. Изменяя нумерацию множеств S_j начального разбиения в соответствии с перестановками множества $J = \{1, \dots, m\}$ и повторяя указанную процедуру, получим некоторое семейство 1-равновесий. Из полученных 1-равновесий отбираются 2-равновесия, затем из 2-равновесий отбираются 3-равновесия и так далее. При этом используются некоторые приемы сокращения проверок на k -равновесия. Например, для проверки 1-равновесий на 2-равновесия достаточно для каждого двух упорядоченных множеств S_l и S_j ограничиться проверкой неравенств

$$w_r - w_s > \left(\sum_{i \in S_l} w_i - \sum_{i \in S_j} w_i \right)^+, \quad \frac{\sum_{i \in S_j} w_i - w_s + w_r}{\sum_{i \in S_l} w_i} < \frac{c_j}{c_l} < \frac{\sum_{i \in S_j} w_i}{\sum_{i \in S_l} w_i - w_r + w_s},$$

где $r = \arg \max_{i \in S_l} w_i$, $s = \arg \min_{i \in S_j} w_i$ и $a^+ = \max(a, 0)$ для $a \in \mathbb{R}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Fotakis D., Kontogiannis S., Koutsoupias E., Mavronicolas M., Spirakis P. The structure and complexity of Nash equilibria for a selfish routing game// Theoretical Computer Science. 2009, Vol. 410. No. 36. P. 3305–3326.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ФИНАНСОВЫМ ПОРТФЕЛЕМ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ПОЛЕЗНОСТИ

Морозов Владимир Викторович¹, Ковяшев Роман Алексеевич²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: vmorosov@mail.ru

² Кафедра исследования операций, e-mail: koviashev@gmail.com

Пусть финансовый портфель содержит один рисковый и один безрисковый активы. Стоимость рискового актива $S(t)$ удовлетворяет уравнению геометри-

ческого броуновского движения $dS(t) = S(t)(\alpha dt + \sigma dz(t))$, где α — средняя доходность актива, σ — волатильность, а $z(t)$ — винеровский процесс. Пусть $w(t)$ — стоимость портфеля в момент времени $t \geq 0$, $\pi(t)$ — доля рискованного актива в стоимости портфеля, а $c(t)$ — интенсивность потребления. Рассмотрим задачу максимизации средней полезности потребления

$$J(w) = \max_{c(\cdot), \pi(\cdot)} \mathbb{E} \left[\int_0^{T_0} e^{-\beta t} U(c(t)) dt + P e^{-\beta T_0} \right],$$

где T_0 — момент разорения ($w(T_0) = 0$), β — ставка дисконтирования, P — полезность терминального потребления, а $U(c)$ — функция полезности от интенсивности потребления c . При известной функции $J(w)$ оптимальная позиционная стратегия $(\pi(w), C(w))$ определяется соотношениями

$$\pi(w) = -\frac{(\alpha - r)J'(w)}{\sigma^2 w J''(w)}, \quad J'(w) = U'(C(w)), \quad w > 0.$$

В [1] предложен метод построения функции $J(w)$ для широкого класса функций полезности $U(c)$. При $c \geq a$ строится функция $W(c)$, обратная к $C(w)$:

$$W(c) = BU'(c)^{\lambda_1} + \frac{c}{r} - \frac{1}{\gamma(\lambda_1 - \lambda_2)} \left\{ \frac{U'(c)^{\lambda_1}}{\lambda_1} \int_0^c \frac{d\theta}{U'(\theta)^{\lambda_1}} + \frac{U'(c)^{\lambda_2}}{\lambda_2} \int_c^\infty \frac{d\theta}{U'(\theta)^{\lambda_2}} \right\},$$

где λ_1 и λ_2 — корни уравнения $\gamma \lambda^2 - (r - \beta - \gamma)\lambda - r = 0$, $\gamma = 0.5((\alpha - r)/\sigma)^2$, а параметры $a \geq 0$ и $B \leq 0$ подходящим образом подбираются.

Далее, $J(w) = H(C(w))$, где вид функции $H(c)$ аналогичен $W(c)$. Рассмотрим функции полезности $U_1(c) = (c + \eta)^\delta$, $0 < \delta < 1$, $U_2(c) = -(c + \eta)^\delta$, $\delta < 0$, $U_3(c) = \ln(c + \eta)$, $\eta \geq 0$, где $c \geq 0$. В [1] для этих функций оптимальные стратегии $C(w)$ и $\pi(w)$ в виде явных формул получены при $\eta = 0$ и $P = U_i(0)/\beta$, $i = 1, 2, 3$. В докладе оптимальные стратегии $C(w)$ и $\pi(w)$ будут указаны в ряде других случаев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Karatzas I., Legoczky J. P., Sethi S. P., Shreve S. E. Explicit solution of a general consumption/investment problem// Mathematics of Operations Research. 1986. Vol. 11, No. 2. P. 261–294.

О ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКЕ СТОИМОСТИ АЗИАТСКОГО ОПЦИОНА

Морозов Владимир Викторович¹, Тасжанов Тимур Канатович²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: vmorosov@mail.ru

² Кафедра исследования операций, e-mail: timurtaszhanov@gmail.com

На финансовом рынке стоимость актива $S(t)$ удовлетворяет уравнению геометрического броуновского движения $dS(t) = S(t)(rdt + \sigma dz(t))$, $S = S(0)$, где r — банковская процентная ставка, σ — волатильность, а $z(t)$ — винеровский

процесс. Обозначим через $\bar{S}(T) = \int_0^T S(t)dt/T$ среднее значение стоимости актива на отрезке $[0, T]$. Рассмотрим азиатский опцион европейского типа с платежом $(\bar{S}(T) - K)^+$, где T — момент исполнения опциона, а K — резервная цена. Опцион дает возможность инвестору продать в момент T актив по средней цене исполнения $\bar{S}(T)$ вместо продажи его по резервной цене K . Стоимость опциона в момент $t = 0$ дается формулой $\bar{c}(S, 0) = e^{-rT} E_0[(\bar{S}(T) - K)^+]$, где E_0 — символ математического ожидания при условии $S = S(0)$.

В докладе предложена следующая модификация метода получения верхней оценки для $\bar{c}(S, 0)$ (см. [1,2]). Пусть H — множество абсолютно интегрируемых на отрезке $[0, T]$ функций h , удовлетворяющих условию нормировки $\int_0^T h(t)dt = T$, а $Z(T) = \int_0^T z(t)dt$. Тогда для любой функции $h \in H$ и для любого значения параметра a имеем $E_0[(\bar{S}(T) - K)^+] \leq B(h, a)$, где

$$B(h, a) = \frac{1}{T} \int_0^T E_0[S(t) - Kh(t) - aK(Tz(t) - Z(T))]^+ dt.$$

Положим $c_t = Se^{(r-\sigma^2/2)t}b - aKt$, где b — параметр. Определим функцию

$$h(t, a, b) = \frac{1}{K} \left(Se^{(r-\sigma^2/2)t} + \gamma \sqrt{c_t^2 + \frac{1}{3}a^2K^2T^3 + 2c_t aKt \left(T - \frac{t}{2}\right)} \right),$$

где константа γ находится из условия нормировки. Искомая верхняя оценка $U_2 = e^{-rT} \min_{a,b} B(h(a,b), a)$. В [1] получена оценка $U = e^{-rT} B(h(\sigma, \sigma), \sigma)$, а в [2] — оценка $U_1 = e^{-rT} \min_a B(h(a, \sigma), a)$.

Пример. Пусть $r = 0.09$, $\alpha = 0.5$, $S = 100$, $K = 90$. Тогда верхняя оценка $U_2 = 18.2114$ достигается при $a = 0.4709$, $b = 0.421$, а оценка $U_1 = 18.2140$ — при $a = 0.4684$. Оценка $U = 18.2208$ найдена при нижней оценке стоимости опциона $L = 18.1829$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Thompson G. W. P. Fast narrow bounds on the value of Asian options. Preprint. Cambridge: Cent. Finance Res., Univ. Cambridge, 1999.
- [2] Новиков А. А., Кордзахия Н. Е. Нижние и верхние оценки для цен опционов азиатского типа// Труды МИАН. 2014, Т. 287. С. 234–241.

МЕХАНИЗМ КЛАРКА-ГРОВСА С ВЕСАМИ

Назаренко Тарас Сергеевич¹, Новикова Наталья Михайловна²

¹ Кафедра исследования операций, e-mail: t.nazarenko@cs.msu.ru

² ФИЦ ИУ РАН, e-mail: N_Novikova@mail.ru

Механизм Кларка-Гровса, также известный как механизм ключевых агентов, был введен в начале 70-х годов Кларком [1] и Гровсом [2] и сразу вызвал значительный интерес в литературе, связанной с областью исследования в теории игр и экономической теории, относящейся к созданию механизмов общественного выбора, когда действия участников некоторого коллектива

приводят к оптимальному решению для этого коллектива. Пусть участники должны совместно выбрать альтернативу a из конечного множества A .

В механизме Кларка-Гровса каждый участник i сообщает свою функцию полезности x_i на множестве альтернатив, которая является необязательно истинной, а истинную функцию полезности будем обозначать v_i . Затем принимается эффективное решение на основе набора x заявленных участниками полезностей. Эффективное решение выбирается исходя из максимизации суммарной полезности для участников. Далее каждый участник облагается налогом, отражающим потери, которые несут остальные участники из-за его присутствия. Указанный налог называется налогом Кларка. Исходно налог для данного участника — это разница в суммарной полезности для остальных игроков между выбранным коллективным решением и решением, которое было бы принято, если бы данного участника не было в коллективе.

В реальном коллективе зачастую объединяются игроки, которые оказывают разное влияние на принимаемое оптимальное решение. Поэтому в настоящей работе совершенствуется механизм Кларка-Гровса так, чтобы он учитывал вес каждого игрока. Игроку i присваивается вес α_i , который будет применяться механизмом при вычислении оптимального решения. Если же в механизме веса всех игроков будут равны, то оптимальное решение будет принято то же самое, что и в механизме Кларка-Гровса.

Механизм Кларка-Гровса с весами опишем игрой в нормальной форме:

$$G = (X_i, u_i; i \in N), \quad u_i(x) = v_i(a^*(x)) + t_i(x),$$

где отображение $x \rightarrow a^*$ любое, удовлетворяющее условию:

$$\sum_{i \in N} \alpha_i x_i(a^*) = \max_{b \in A} \left\{ \sum_{i \in N} \alpha_i x_i(b) \right\}.$$

Налог Кларка $t_i(x)$ определяется следующим образом:

$$\alpha_i t_i(x) = \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \alpha_j x_j(a^*) - \max_{b \in A} \left\{ \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \alpha_j x_j(b) \right\}.$$

В работе сформулированы свойства механизма и проинтерпретированы полученные результаты, в частности, что искренняя стратегия $x_i = v_i$ является доминирующей. Показана применимость механизма Кларка-Гровса на примере программы субсидирования производства медицинских масок в Гонконге [3]. Данный пример использования механизма Кларка-Гровса был предложен Э. Маскиным в [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Clarke E. Multipart pricing of public goods.// Public Choice. 1971. V. 11, P. 17–33.
- [2] Groves T. Incentives in teams.// Econometrica. The Econometric Society. 1973. V. 11, No. 4, P. 617–631.

- [3] LCQ5: Local Mask Production Subsidy Scheme.// <https://www.info.gov.hk/gia/general/202005/13/P2020051300273.htm>
- [4] Maskin E. Mechanism Design for Pandemics.// Review of Economic Design. 2022. V. 26(3), P. 255-259.

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОГРИДОМ НА РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цыганов Никита Игоревич, Насыров Тимур Ринатович

Кафедра исследования операций, e-mail: nikita--93@mail.ru, zerorfrost@gmail.com

Рассматривается модель микрогрида, состоящего из потребителей, источников и накопителей электроэнергии и соединенного с внешней электросетью. Данная модель является обобщением модели из [1, 2]. Функционирование модели рассматривается на фиксированном промежутке времени, разбитом на T периодов одинаковой длины. В частном случае промежуток может представлять собой один год, а период $t \in \{1, \dots, T\}$ - t -й час в году.

Потребители электроэнергии могут быть различных типов: промышленные, бытовые, общественно-коммунальные и другие. Для каждого потребителя различаются два вида потребностей: несдвигаемые и сдвигаемые. К несдвигаемым относятся потребности, связанные с конкретным периодом времени (напр., освещение и отопление помещения). Сдвигаемые потребности могут быть реализованы в различные периоды (как минимум в двух). В случае бытовых потребителей к сдвигаемым потребностям можно отнести стирку и приготовление пищи. Для каждой потребности соответствующая функция полезности не убывает и вогнута.

Источники электроэнергии делятся на традиционные и возобновляемые. К традиционным в основном относятся электрогенераторы на углеводородном топливе (уголь, природный газ и др.), возобновляемые используют неисчерпаемую по человеческим масштабам энергию, т.е. энергию солнца, ветра, воды и других ресурсов. Отличие возобновляемых источников от традиционных заключается в небольших переменных затратах и сильной зависимости объема выработки электроэнергии от временных и погодных условий. Для каждого источника соответствующая функция издержек линейная.

Накопители электроэнергии позволяют запастись электроэнергией в одни периоды времени и расходовать ее в другие периоды, тем самым, сглаживая возможные неравномерности в спросе и предложении электроэнергии для различных периодов и позволяя микрогриду функционировать более эффективно. Возможности одного накопителя характеризуются минимальным и максимальным уровнями заряда, максимальными скоростями зарядки и разрядки, коэффициентами эффективности зарядки и разрядки и коэффициентом эффективности хранения.

Внешняя электросеть предоставляет микрогриду возможность покупки и продажи электроэнергии по известным тарифам. Для каждого периода цена продажи не превышает цену покупки.

Суммарный выигрыш микрогрида зависит от количества и типов приобретенных источников и накопителей, объемов потребления, производства и накопления и определяется как сумма совокупной полезности потребления и выручки от продажи электроэнергии во внешнюю электросеть за вычетом суммарных затрат на покупку электроэнергии из внешней электросети, производство и накопление электроэнергии и инвестиций в источники и накопители. Ставится задача оптимального развития микрогрида, при котором максимизируется его суммарный выигрыш.

Утверждение. *Задача оптимального развития микрогрида является задачей выпуклого программирования.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Васин А. А., Григорьева О. М., Шендяпин А. С. Новые инструменты и задачи регулирования рынка электроэнергии // Известия РАН. Теория и системы управления. 2021. № 3. С. 85–97.
- [2] Vasin A. A., Grigoryeva O. M. Optimization of regulation and infrastructure of the electricity market // Mathematical Optimization Theory and Operations Research. Lecture Notes in Computer Science. 2021. Vol. 12755. P. 430–444.

О КВАЗИОДНОМЕРНОМ ПОДХОДЕ К ПРИМЕНЕНИЮ СХЕМ МР НА НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТКАХ

Абакумов Михаил Владимирович¹, Козубская Татьяна Константиновна², Чернышева Дарьяна Дмитриевна³

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmabk@cs.msu.ru

² ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, e-mail: tatiانا.kozubskaya@gmail.com

³ Кафедра вычислительных методов, e-mail: dariana1997@yandex.ru

Важным требованием к численным методам газовой динамики являются высокая точность на гладких участках решений и корректное разрешение разрывов. Однако при использовании высокоточных разностных схем зачастую возникают нефизические осцилляции, сглаживание которых приводит к увеличению схемной вязкости и влечет за собой понижение порядка точности в том числе на гладких экстремумах.

Схемы МР (Monotonicity-Preserving, [1]) позволяют эффективно распознавать гладкие и разрывные участки решения за счет использования пятиточечного шаблона, в то время как многие распространенные схемы (в т. ч. TVD) реализуются на шаблоне из трех точек. МР-схемы характеризуются экономичным алгоритмом реконструкции, основанном на интерполяции пятого порядка

точности и последующей коррекции искомых значений в окрестностях разрывов.

В качестве метода обобщения схем МР на случай неструктурированных сеток рассматривается реберно-ориентированный подход с квазиодномерной реконструкцией переменных (Edge-Based Reconstruction, EBR, [2]). Основная идея этого подхода заключается в том, что разностная схема записывается относительно значений в сеточных узлах, а численные потоки в центрах ребер определяются на основе МР-реконструкции по значениям в узлах данного ребра и точках его продолжения, полученных с помощью линейной интерполяции. В случае уравнений газовой динамики возможно применение оператора МР-реконструкции к различным типам переменных. В данной работе реконструкция применяется как к характеристическим переменным, так и к расщепленным характеристическим потокам.

Схема EBR-MP5 тестируется на модельных одномерных и двумерных задачах с использованием декартовых, треугольных трансляционно-симметрических [3] и неструктурированных сеток. Проводится сравнение результатов, полученных по схемам EBR-MP5 и EBR-WENO5 [4]. Показано, что схема EBR-MP5 обладает меньшим уровнем схемной вязкости и позволяет достичь разрешения разрывных участков с более высокой точностью по сравнению со схемой EBR-WENO5 при тех же вычислительных затратах на шаг по времени.

Работа выполнена с использованием программного комплекса «NOISEtte» Сектора вычислительной аэродинамики и аэроакустики ИПМ им. М.В.Келдыша РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Suresh A., Huynh H. T. Accurate Monotonicity-Preserving Schemes with Runge–Kutta Time Stepping // *Journal of Computational Physics*. 1997. Vol. 136, Iss. 1. P. 83–99.
- [2] Numerical simulation of 3-D hypersonic Euler flows around space vehicles using adapted finite elements / B. Stoufflet, J. Periaux, F. Fezoui, A. Dervieux // *AIAA Paper*. 1987. No. 87–0560.
- [3] Abalakin I., Bakhvalov P., Kozubskaya T. Edge-based reconstruction schemes for unstructured tetrahedral meshes // *International Journal for Numerical Methods in Fluids*. 2016. Vol. 81, Iss. 6. P. 331–356.
- [4] Bakhvalov P., Kozubskaya T. EBR-WENO scheme for solving gas dynamics problems with discontinuities on unstructured meshes // *Computers and Fluids*. 2017. Vol. 157. P. 312–324.

СХЕМА «СНАИР» ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА И ЕЕ БАЛАНСНО-ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

Афанасьев Никита Александрович¹, Шагиров Николай Эльдарович²

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmaf@cs.msu.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: nikkey.shagirov@yandex.ru

Математическое моделирование многих физических процессов сводится к решению дифференциальных уравнений и систем уравнений в частных производных гиперболического типа. Такими уравнениями описываются задачи газовой динамики, океанологии, аэроакустики и ряд других задач промышленной математики.

Одним из активно развивающихся подходов к численному решению таких уравнений являются балансно-характеристические методы [1], сочетающие в себе преимущества консервативных и характеристических методов. Широко используемая схема КАБАРЕ обладает рядом недостатком, среди которых стоит отметить ограниченность сферы ее применения сетками с четырехугольными и гексагональными расчетными ячейками. Таким образом, актуальным представляется разработка новых балансно-характеристических методов, обобщаемых на сетки с более общей структурой ячеек.

В данной работе рассматривается явная трехслойная разностная схема третьего порядка, имеющая вычислительный шаблон, представленный на рисунке 1. Приводятся дисперсионные и диссипативные поверхности. Для получения

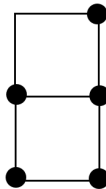


Рис. 1: Сеточный шаблон, на котором определена схема «Chair»

монотонного решения исследованы различные варианты нелинейной коррекции данной схемы.

Для дальнейшего обобщения рассматриваемой схемы на более сложные уравнения и системы уравнений построено двухслойное трехфазное балансно-характеристическое представление, укладывающееся в одну пространственно-временную ячейку. Для монотонизации полученной двухслойной схемы использовался алгоритм, предложенный в работе [2] для схемы КАБАРЕ. На

тестовых расчетах демонстрируется успешное применение указанного подхода к построенной двухслойной схеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов / В. М. Головизнин, М. А. Зайцев, С. А. Карабасов, И. А. Короткин. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2013. 472 с.
- [2] Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О монотонности двухслойной по времени схемы кабре // Матем. моделирование, 2012. Т. 24, № 9. С. 97–112.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ БЛАЗИУСА РАЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ ЧАСТИЦ

Богомолов Сергей Владимирович¹, Кувшинников Артем Евгеньевич²

¹ Кафедра вычислительной математики, e-mail: bogomo@cs.msu.ru

² ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, e-mail: kuvsh90@yandex.ru

Разрывный метод частиц уже применялся для решения одномерных [1] и двумерных [2] задач газовой динамики. Модификация разрывного метода частиц без опоры на их форму позволила достичь высокой точности решения в задаче об образовании косоугольного скачка уплотнения, а именно, размазывания разрыва на одну ячейку. Для этого был введен инвариант, который можно интерпретировать как след сохранения массы в пространстве между двумя наиболее интенсивно взаимодействующими частицами, сводя этап корректора к локально одномерному распространению возмущения.

В качестве тестовой задачи для развития возможностей метода частиц рассматривается задача об обтекании пластины сжимаемым потоком газа. Граничные условия на пластине — стандартное условие прилипания ($u = v = 0$). Существенное отличие задачи Блазиуса в том, что на носике пластины образуется сингулярность.

Для ламинарного пограничного слоя толщина слоя для несжимаемого случая определяется соотношением [3]:

$$\delta_n = 5.0 \frac{x}{\sqrt{\text{Re}}}.$$

Из чего можно вычислить толщину пограничного слоя для сжимаемого газа:

$$\delta_{\text{сж}} = \delta_n \left(1 + 0.72r \frac{\gamma - 1}{2} M_w^2 \right)^{0.85}.$$

Полученная численным моделированием толщина слоя сравнивается с данной теоретической оценкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Богомолов С. В., Кувшинников А. Е. Разрывный метод частиц на газодинамических примерах // Математическое моделирование. 2019. Т. 31, № 2. С. 63–77.
- [2] Bogomolov S. V., Bondarev A. E., Kuvshinnikov A. E. Comparative verification of numerical methods involving the discontinuous shapeless particle method // Scientific Visualization. 2022. Т. 14, № 4. С. 97 - 109.
- [3] Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М. : Наука, 1974. 712 с.

МОГУТ ЛИ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ СТАТЬ НОВЫМ ЭТАПОМ В РАЗВИТИИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ?

Богомолов Сергей Владимирович¹, Леонов Елисей Александрович²

¹ Д.ф.-м.н., проф. ф-та ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, Кафедра вычислительных методов, e-mail: bogomo@cs.msu.ru

² Аспирант ф-та ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, Кафедра вычислительных методов, н.с. ИПЭИ РАНХиГС, н.с. ИЭП имени Е.Т. Гайдара, e-mail: elishaleonov@gmail.com

В последние годы в литературе набирает популярность нейросетевой подход к численному решению широкого круга задач. Актуальность этого направления связана с попыткой одновременно решить три проблемы: проклятие размерности, учет особенностей решения (разрывы, "уголки" и т.д.) и учет нелинейностей [1]. Решение многих актуальных сегодня моделей требует как раз преодоления этих проблем [2].

В настоящей работе сравниваются два подхода к решению задач: сеточный и нейросетевой. Для этого выбрано две задачи, которые сводятся к работе с уравнениями типа конвекции-диффузии. Сначала внимание уделяется решению уравнения Колмогорова-Фоккера-Планка (1), которое отражает эволюцию плотности $g(\mathbf{x}, t)$ распределения вероятностей величин \mathbf{x} :

$$\frac{\partial}{\partial t}g(\mathbf{x}, t) = \sum_{x_i} \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu(\mathbf{x})g(\mathbf{x}, t)] + \sum_{x_i} \sum_{x_j} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} [\psi(\mathbf{x})g(\mathbf{x}, t)]. \quad (1)$$

Затем рассматривается задача стохастического оптимального управления (SOC) вида (2):

$$\begin{cases} V(t) = \max_{\mathbf{x}, \mathbf{q} \in D} E_0 \int_0^\infty e^{-\rho t} u[\mathbf{x}(t), \mathbf{q}(t)] dt \\ d\mathbf{x}_t = \mathbf{f}[\mathbf{x}(t), \mathbf{q}(t)] dt + \boldsymbol{\sigma}_x^{1/2}[\mathbf{x}(t)] dW_{\mathbf{x}, t} \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $V(t)$ – функция стоимости (ценности), $D(s)$ – множество допустимых управлений, $e^{-\rho t}$ – дисконтирующий множитель, $u[*]$ – функция мгновенной полезности, $\mathbf{x}(t)$ – переменные состояния, $\mathbf{q}(t)$ – переменные управления, $\sigma^{1/2}$ – ковариационная матрица, W_t – Винеровский процесс.

Работа с задачей стохастического оптимального управления во многом сводится к решению уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана, которое повторяет

структуру уравнения конвективной-диффузии и в данной постановке задачи SOC позволяет использовать свойства сжимающих отображений. Сеточные методы при этом позволяют получить нужную точность [3], однако с увеличением размерности достижимая точность снижается. Нейросети позволяют искать решение на стохастической сетке, что дает возможность работать с многомерными задачами [4]. Расчеты в рамках данной работы проводились в среде «Python + CUDA + TensorFlow» с использованием ускорителя NVIDIA GeForce RTX 3070Ti. Обученные нейронные сети доставляют глобальное решение хорошей точности, в частности позволяют хорошо приблизить стохастическое стационарное состояние в задаче стохастического оптимального управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Fernandez-Villaverde J., Nuno G., Vogler M., Solving High-Dimensional Dynamic Programming Problems using Deep Learning // Working Paper, 2020, Princeton University
- [2] Lythe G., Habib S. Kinks in a Stochastic PDE// IUTAM Symposium on Nonlinear Stochastic Dynamics, Kluwer Academic Publishers, Netherland, 2003, pp. 435-443.
- [3] Oberman A. Convergent Difference Schemes for Degenerate Elliptic and Parabolic Equations: Hamilton–Jacobi Equations and Free Boundary Problems//SIAM Journal on Numerical Analysis, Vol.44, №2, 2006.
- [4] Maliar L., Maliar S., Winant P. Deep Learning for Solving Dynamic Economic Models // Journal of Monetary Economics, Vol. 122., 2021, pp. 76–101.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ

**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

В настоящее время популярность использования методов машинного обучения для решения прикладных задач в различных областях сложно переоценить. Соответственно, возрастают требования к входным данным, чем содержательнее данные, тем качественней может получиться итоговая модель, так как её качество напрямую зависит от подбора данных. И хотя эта проблема актуальна для любой области, однако для медицинской диагностики она имеет принципиальный характер. В практической медицине получение единообразных данных определенного качества сопряжено с трудностями. Поэтому, для

разработки средств интеллектуального анализа, в качестве альтернативы клиническим данным предлагается использовать данные, полученные с помощью математического моделирования.

Осуществляется математическое моделирование сердечно-сосудистой системы человека в квазиодномерном приближении на основе программного комплекса CVSS, подробно описанного в [1, 2]. Сердечно-сосудистая система рассматривается как ориентированный граф. Ребра соответствуют эластичным сосудам, по которым течет вязкая несжимаемая жидкость (аналог крови). Сосуды различаются своими гемодинамическими параметрами. Также учитывается работа сердца, которое имеет свои параметры кровотока. Совокупность конкретной топологии системы и заданных параметров является, вообще говоря, индивидуальной характеристикой системы и отождествляется с некоторым «виртуальным пациентом».

Рассматриваются различные вариации параметров сосудов для построения базы данных «пациентов». Также рассматриваются принципиально отличающиеся системы, в которых происходит линейное изменение всей топологии графа. Именно таким образом формируется выборка из «пациентов», которые отличаются сердечно-сосудистыми системами, но относятся к одному классу – в данном случае к классу без нарушений потока системы («здоровые пациенты»). Выделяются нарушения кровотока, которые на практике могут соответствовать некоторым патологиям, и для каждого нарушения проводится аналогичный процесс накопления данных. Рассматриваются различные группы сосудов для диагностики как отдельных патологий (задача бинарной классификации) так и патологий в совокупности (задача многоклассовой классификации).

Построены различные модели машинного обучения для решения соответствующих задач, исследованы их особенности и получены теоретические оценки точности диагностики для каждого случая.

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.

О ПРИМЕНЕНИИ РАЗНОСТНЫХ МЕТОДОВ В КОЭФФИЦИЕНТНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧАХ

Егоров Виталий Михайлович¹, Терновский Владимир Владимирович²

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vital04frost@gmail.com

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: vladimir@chatroulette.com

Рассматривается задача быстрогодействия для оптимального управления колебаниями линейного маятника с трением [1]. Данный процесс описывается задачей оптимального управления для линейного уравнения:

$$\begin{cases} \ddot{x} + \mu\dot{x} + \omega(t)x = 0 \\ x(0) = A \\ \dot{x}(0) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Ищется такое решение $x = x(t)$, что

$$\begin{cases} x(T) = B \\ \dot{x}(T) = 0 \\ T \rightarrow \inf \\ 0 \leq \omega(t) \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Наряду с задачей (1), (2) рассматриваются различные разностные аппроксимации поставленной задачи [2]. Для дискретной задачи были разработаны алгоритмы, позволяющие найти приближенное решение. В работе проверяется корректность работы построенных разностных методов путем сравнения сеточных решений с аналитическими решениями дифференциальной задачи (1), (2).

Рассмотрены различные разностные схемы задачи быстрогодействия, получено условие разрешимости.

Одним из главных результатов работы является выбор наилучшего способа аппроксимации и исследование сходимости сеточного решения к решению дифференциальной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1988. 552с.
- [2] Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. М.: Наука, 1989. 432с.

О ПРОЦЕДУРАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫБОРА ШАГА ИНТЕГРИРОВАНИЯ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМ

Еленин Георгий Георгиевич¹, Еленина Татьяна Георгиевна²

¹ Кафедра вычислительных методов, Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М. В. Ломоносова, e-mail: elenin2@rambler.ru

² Кафедра математического моделирования и информатики, Физический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, e-mail: t.yelenina@gmail.com

При математическом моделировании в небесной механике и классической молекулярной динамике возникает необходимость в численном решении задачи Коши для систем гамильтоновых уравнений. Довольно часто решения таких задач содержат интервалы резкого изменения компонент решения, разделенные участками плавного изменения искомых величин. В таких случаях численные алгоритмы решения задачи с постоянным шагом интегрирования являются крайне неэффективными.

Требуются алгоритмы автоматического выбора шага интегрирования не разрушающие тонкие свойства решений задачи Коши для гамильтоновых систем. К таким свойствам относятся симплектичность отображения начального состояния системы в текущее состояние, обратимость во времени, наличие первых интегралов. Эти свойства имеют глубокий геометрический и физический смысл и должны быть сохранены в приближенных решениях в рамках точной арифметики. Требование сохранения перечисленных свойств точного решения задачи Коши для гамильтоновых уравнений особенно важно при решении задач на больших промежутках времени.

Как известно [1], попытки построения приемлемых алгоритмов автоматического выбора шага интегрирования на основе правила Ричардсона и вложенных методов Рунге-Кутты в случае гамильтоновых систем потерпели неудачу.

Доклад посвящен подходу, основанному на замене независимой переменной с целью «выпрямления» решения и расширении исходного фазового пространства для сохранения гамильтоновости на основе преобразования Зюндмана. Для получения численного решения в расширенном фазовом пространстве используются симметрично-симплектические методы Рунге-Кутты и метод Верле. В качестве примера рассматривается задача о движении материальной точки в центральном поле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] E. Hairer, C. Lubich, G. Wanner. Geometric Numerical Integration. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 644 p.

СОЛИТОННЫЙ РЕЖИМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДВУЦВЕТНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В PT-СИММЕТРИЧНЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

**Лысак Татьяна Михайловна¹, Захарова Ирина Гургеновна², Калинович
Алексей Андреевич³, Чайковский Дмитрий Александрович⁴**

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: lysak@cs.msu.ru

² Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления, Факультет ВМК Университета МГУ-ППИ в Шэньчжэне, e-mail: zaharova@physics.msu.ru

³ Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, e-mail: kalinovich@gmail.com

⁴ Факультет ВМК Университета МГУ-ППИ в Шэньчжэне, e-mail: mitichya@yandex.ru

Среди задач преобразования оптической частоты особое место занимает солитонное распространение двуцветного лазерного излучения в периодических средах с квадратичной нелинейностью и симметрией четность-время (PT-симметричных структурах). Чередование поглощающих и генерирующих слоев в таких структурах в сочетании с брэгговским отражением приводит к проявлению необычных свойств параметрических солитонов. В работе [1] была показана возможность солитонного распространения волн на обеих частотах в условиях самозахвата в пассивной среде (без активных генерирующих и поглощающих элементов). Наличие активных элементов существенно изменяет отражательные свойства периодической структуры, оказывая влияние на возможность распространения волн в условиях самозахвата [2,3]. В настоящем докладе приводятся результаты численного исследования влияния ширины падающего пучка на отражающие свойства активной периодической структуры и солитонное распространение двуцветного излучения.

В основе математической модели лежат четыре связанных уравнения Шредингера для прямой и обратной волны на основной частоте и частоте второй гармоники. В уравнениях учитывается поперечная дифракция и брэгговский резонанс на обеих частотах. Численное моделирование проводилось на основе консервативной конечно-разностной схемы, записанной на характеристиках [4]. Результаты моделирования показали, что режим самозахвата волн наблюдается преимущественно для широких пучков, причем наличие активных элементов может приводить к заметной филаментации захваченных пучков.

Работа выполнена при поддержке National Key Research and Development Program of China (No. 2022YFC3310300), Beijing Natural Science Foundation (No. Z210001), National Natural Science Foundation of China (No. 12171036) и научно-образовательной школы МГУ "Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина."

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Conti C., Assanto G., Trillo S., Excitation of self-transparency Bragg solitons in quadratic media // *Opt. Lett.* 1997. V. 22, № 17. P. 1350.
- [2] Волновые пучки в активных периодических структурах с квадратичной нелинейностью / М. В. Комиссарова, И. Г. Захарова, Т. М. Лысак, А. А. Калинин // *Известия Российской академии наук. Серия физическая.* 2021. Т. 85, № 12. С. 1720–1726.
- [3] Parametric gap solitons in PT-symmetric optical structures / M. V. Komissarova, T. M. Lysak, I. G. Zakharova, A. A. Kalinovich // *Journal of Physics: Conference Series.* 2022. V. 2249. P. 012008.
- [4] Рождественский Б. Л., Яненко Н. Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Наука, 1978. 688 с.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА МОДЕЛИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

Мухин Сергей Иванович¹, Буничева Анна Яковлевна², Босиев Игорь Александрович³

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmmus@cs.msu.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: bunicheva@cs.msu.ru

³ Кафедра вычислительных методов, e-mail: s02180601@gse.cs.msu.ru

Работа входит в серию работ по математическому моделированию кровообращения на графе сосудов и посвящена исследованию спектра пульсовой волны (см. [1]).

В работе используется математическая модель кровообращения, реализованная в программном комплексе CVSS (см., например, [2]). В этой модели сердечно-сосудистая система представляется в виде графа, в котором ребра графа соответствуют сосудам, а узлы графа - участкам ветвления сосудов, органам или мышечным тканям. На основе этой математической модели проводится изучение зависимости спектральной картины волн давления и скорости кровотока от различных параметров течения крови. В частности, рассматривается влияние на спектральную картину таких параметров как пропускная способность некоторых участков кровеносной системы, время сердечного цикла, время сердечного сокращения (систола). Проведена серия вычислительных экспериментов с варьированием указанных параметров и последующий сравнительный анализ спектральных картин, получаемых при разных значениях параметров.

Показано, что изменение пропускной способности некоторых участков кровеносной системы влияет на амплитуду спектра, а варьирование времени сердечного цикла и сердечного сокращения сказывается на распределении гармоник по амплитудам и по частотам.

Проведенные исследования являются первым шагом в предполагаемых дальнейших исследованиях возможности диагностики патологий кровообращения по изменению спектральной картины модели пульсовой волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Краевая задача для ЛГД уравнений на графе / И. В. Ашметков, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, А. П. Фаворский // Препринт. – М.: МАКС Пресс, 2002. 88 с.
- [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, № 8. — С. 1417–1428.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЛАСТИ АНАЛИЗА ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЕ СПЕКТРА

Мухин Сергей Иванович¹, Почевалов Константин Валерьевич²

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmmus@cs.msu.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: kpochevalov@mail.ru

Предполагается, что одним из возможных способов исследования особенностей течения при мат.моделировании кровообращения на графе [1] может являться исследование спектра периодических пульсовых волн давления и скорости крови в некоторых точках этого графа. При этом необходимо выяснить, как спектр зависит от отрезка разложения. В работе рассматривается влияние на спектр кратности отрезка разложения периоду пульсовой волны. Изучаются факторы, влияющие на сходимость спектра в случае разложения на отрезке, не кратном периоду пульсовой волны.

Показана связь между спектрами периодической функции при разложении на периодах разной длины. Для спектра периодической функции, полученного при разложении на периоде, и спектра этой функции при разложении на отрезке не кратном периоду получены оценки связи между ними. Рассмотрены способы сравнения спектров, соответствующих разным частотным решеткам. Исследована сходимость спектра периодической функции при разложении на отрезке не кратном периоду в зависимости от длины отрезка разложения и от сдвига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 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, № 8. — С. 1417–1428.

ДЕТАЛИЗИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ПОЧКЕ И ПЕЧЕНИ.

Мухин Сергей Иванович¹, Хруленко Александр Борисович², Брындина Анна Андреевна³, Киселева Виолетта Сергеевна⁴

¹ Кафедра вычислительных методов, e-mail: vmmus@yandex.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: khrulenko@cs.msu.ru

³ Кафедра вычислительных методов, e-mail: ann.bryndina@mail.ru

⁴ Кафедра вычислительных методов, e-mail: violettak111@mail.ru

В настоящее время множество работ посвящено математическому моделированию функционирования печени и почек. Обычно они нацелены на описание имитации кровотока в сгенерированных структурах сосудистой сети органов. Особенностью данной работы является включение разработанных моделей и учет базовых топологических и функциональных характеристик печени и почек в рамках программного солвера CVSS.

До данной работы в программном комплексе CVSS [1], [2], [3] использовался граф большого круга кровообращения, в котором топология почек и печени моделировалась малым количеством узлов. Данный доклад посвящен детализации существующей модели почек и печени и изучению методами математического моделирования кровообращения в почках и печени в рамках большого круга кровообращения при различных заболеваниях.

Предложены принципиальные детализированные модели сосудистой сети в печени и в почках, где эффективно воспроизводятся топологическая система и основные параметры общего кровотока (давления, потока, скорости), а также учтены обменные процессы. Для определения эффективных значений параметров построенных графов сосудов нефрона и долики печени были использованы фрактальные размерности, найденные по алгоритму Box-counting. Результаты расчетов показали работоспособность предложенных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] М. В. Абакумов, И. В. Ашметков, Н. Б. Есикова, В. Б. Кошелев, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, В. Ф. Тишкин, А. П. Фаворский, А. Б. Хруленко, Методика математического моделирования сердечно-сосудистой системы, Матем. моделирование, 2000, том 12, номер 2, 106–117.
- [2] М. В. Абакумов, К. В. Гаврилюк, Н. Б. Есикова, А. В. Лукшин, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, В. Ф. Тишкин, А. П. Фаворский, Математическая модель гемодинамики сердечно-сосудистой системы, Дифференц. уравнения, 1997, том 33, номер 7, 892–898.
- [3] В.Б.Кошелев, С.И.Мухин, Н.В.Соснин, А.П.Фаворский, Математические модели квази-одномерной гемодинамики. С. 10–25.
- [4] Р. Шмидт, Г. Тевс. Физиология человека в 3-х томах. Том 3.

- [5] А.Вандер, Физиология почек.
- [6] Diana White1, Dennis Coombe2, Vahid Rezania, Jack Tuszynski "Building a 3D Virtual Liver: Methods for Simulating Blood Flow and Hepatic Clearance on 3D Structures".

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА В ТОННЕЛЕ МЕТРО

Песков Николай Владимирович, Лысак Татьяна Михайловна

Кафедра вычислительных методов, e-mail: peskov@cs.msu.ru, lysak@cs.msu.ru

Математическое моделирование теплового режима метрополитена представляет интерес как для обеспечения оптимального режима его эксплуатации, так и для возможного использования тепловой энергии, накопленной в окружающем грунте вследствие работы метрополитена [1, 2]. В работе [3] была предложена математическая модель для расчёта распределения температуры в системе два тоннеля метро - окружающий грунт. Модель представляет собой систему, составленную из уравнения теплопроводности для температуры грунта и уравнения баланса тепла для температуры воздуха в тоннеле. Модель учитывает конвективный теплообмен на поверхности земли и стенке тоннеля, генерацию тепла в тоннеле и воздухообмен между тоннелем и атмосферой. Модель предназначена для расчёта долгосрочных изменений температуры грунта и средней температуры в тоннеле. Однако использование детальных данных о генерации тепла и метеорологических данных позволяет оценивать краткосрочные изменения температуры в тоннеле. На основе этих оценок можно определять скорость воздухообмена с атмосферой, необходимую для поддержания комфортной температуры в тоннеле.

В настоящем докладе обсуждаются алгоритмы выбора значения скорости воздухообмена, позволяющие уменьшить влияние годовых колебаний температуры атмосферного воздуха на среднюю температуру воздуха в тоннеле. Численное моделирование проводилось для характерных параметров тоннелей московского метрополитена и типового климатического года города Москва [4]. Результаты моделирования показывают, что предложенные алгоритмы позволяют существенно уменьшить амплитуду сезонных колебаний температуры воздуха в тоннеле метрополитена, приблизив ее значение к оптимальному.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57918X0159.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ground source heat pumps and their interactions with underground railway tunnels in an urban environment - a review / A. Revesz, I. Chaer, J. Thompson, M. Mavroulidou, M. Gunn, G. Maidment // Applied Thermal Engineering. 2016. V. 93. P. 147–154.

- [2] Experimental study on evolution characteristics of the heat storage of surrounding soil in subway tunnels / L. Wang, X. Zou, H. Tao, J. Song, Y. Zheng // *Procedia Engineering*. 2017. V. 205. P. 2728–2735.
- [3] Vasilyev G. P., Peskov N. V. , Lysak T. M. Heat balance model for long-term prediction of the average temperature in a subway tunnel and surrounding soil // *International Journal of Thermal Sciences*. 2022. V. 172. P. 107344.
- [4] International standard ISO 15927-5:2004, Hygrothermal performance of buildings — Calculation and presentation of climatic data —Part 5: Data for design heat load for space heating.

ЗНАЧЕНИЕ ВЫРОЖДЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Петрова Людмила Ивановна

Кафедра вычислительных методов, e-mail: ptr@cs.msu.ru

Роль вырожденных преобразований (преобразований не сохраняющих дифференциал) для дифференциальных уравнений связана с тем, что такое преобразование приводит дифференциальное уравнение к интегрируемому виду. Примером вырожденного преобразования является преобразование Лежандра, которое применялось при исследовании интегрируемости дифференциальных уравнений в работах Куранта и Гильберта, при исследовании уравнения Гамильтона Якоби и уравнения Эйлера (переход от Лагранжевого многообразия к интегрируемому Гамильтоновому многообразию).

Вырожденные преобразования связаны с кососимметричными дифференциальными формами, которые в отличие от внешних форм, определены на неинтегрируемых многообразиях. Значение вырожденных преобразований заключается в том, что при вырожденном преобразовании происходит переход от неинтегрированного пространства к структурам интегрируемого многообразия. Такое свойство вырожденного преобразования, которого нет ни в одном математическом формализме, имеет решающее значение для дифференциальных уравнений математической физики. При вырожденном преобразовании уравнение математической физики становится интегрируемым.

В докладе акцентируется внимание на том, что вырожденные преобразования, которые реализуются при решении уравнений математической физики, приводят не только к реализации интегрируемости уравнений, но и раскрывают уникальные возможности уравнений математической физики, позволяющие описывать дискретные переходы, квантовые эффекты и процессы возникновения различных структур.

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ГРАДИЕНТНОЙ ОПТИКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОНТРАСТНЫХ СТРУКТУР В ПОЛУПРОВОДНИКЕ

Трофимов Вячеслав Анатольевич¹, Егоренков Владимир Александрович,
Логинова Мария Михайловна²

¹ Южно-китайского технологического университета, e-mail: vatro@cs.msu.ru

² Кафедра вычислительных методов, e-mail: egorenkov-v-a@cs.msu.ru, mloginova@cs.msu.ru

В работе рассматривается двумерная задача прохождения оптического импульса через полупроводник. Для описания процесса предложена новая математическая модель, в которой, в отличие от традиционного подхода, эволюция оптического импульса описывается с помощью нелинейного уравнения Шрёдингера, записанного относительно комплексной амплитуды падающей оптической волны A и учитывающего продольную дифракцию (вдоль координаты распространения импульса) оптического пучка:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + iD_x \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + iD_y \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\beta_A \delta_0}{2} \delta(N, n)A = 0.$$

Таким образом, комплексная амплитуда является медленно изменяющейся функцией только во времени и быстро осциллирующей вдоль координаты распространения. Математически это означает отказ от традиционно используемого в нелинейной оптике приближения медленно изменяющейся амплитуды по координате распространения оптического излучения.

Как известно, при определенных условиях рассматриваемый процесс может сопровождаться формированием контрастных структур с высокими градиентами на границах (доменов высокого поглощения или доменов высокой концентрации заряженных частиц) (рис. 1). Из оптики известно [1], что градиент показателя преломления или коэффициента поглощения вещества приводит к появлению отраженной волны от границы, на которой имеет место данный градиент [2]. Для её учета надо принимать во внимание дифракцию оптического пучка вдоль координаты его распространения, что ранее другими авторами не проводилось. В частности, в работах [3, 4] (и в других работах авторов) учитывалась только поперечная дифракция. Важно подчеркнуть, что в исследуемом случае, градиент характеристик среды индуцируется самим падающим излучением из-за возрастающего поглощения и на нем же происходит отражение излучения (рис. 1). Такие задачи относятся к новому направлению – нелинейной градиентной оптике.

На основе компьютерного моделирования продемонстрировано проявление эффектов нелинейной градиентной оптики, а также исследовано влияние параметров системы на форму и амплитуду отраженной волны для случая модельной задачи с фиксированным доменом высокого поглощения.

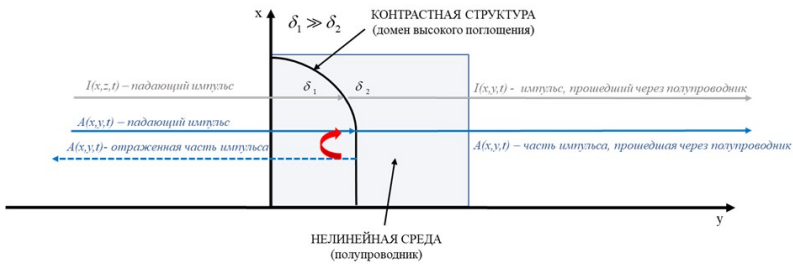


Рис. 1: Схема взаимодействия оптического импульса с индуцированной им контрастной структурой: без учета дифракционных эффектов (серые линии) и с их учетом (синие линии)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Борн М., Вольф Э. Основы оптики: Пер. с англ. М. : Наука, 1973. 719 с.
- [2] Shvartsburg A. B., Maradudin A. A. Waves in Gradient Metamaterials. Singapore : World Scientific, 2013. 340 с.
- [3] Гуназе О. А., Трофимов В. А. Дифракционные многодоменные лазероиндуцированные структуры в химически активной газовой смеси // Письма в Журнал технической физики. 1996. Т. 22, № 16. С. 1-6.
- [4] Выслоух А. В., Трофимов В. А. Формирование продольных многодоменных структур в оптически бистабильной системе под воздействием коллимированного трубчатого пучка // Письма в Журнал технической физики. 2000. Т. 26, № 22. С. 44-49.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕДОРАСШИРЕННОЙ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ НА ОСНОВЕ КВАЗИГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Широков Иван Анатольевич

Кафедра вычислительных методов, e-mail: ivanshirokov@inbox.ru

Изучение струйных течений газа является важной задачей аэродинамики в силу многочисленных научных и практических приложений таких процессов. В литературе описаны экспериментальные и расчетные результаты, полученные при исследовании газовых струй в различных постановках [1, 2]. Такие течения сопровождаются появлением ударно-волновых областей сложной структуры, а также турбулентных зон, что часто вызывает трудности при компьютерном моделировании.

В данной работе для моделирования струйного течения применен квазигазодинамический (КГД) алгоритм [3], позволивший достаточно хорошо разрешить

структуру ударно-волновых областей в сверхзвуковой ($Ma = 2$) недорасширенной ($p_{in}/p_{atm} = 1.46$) затопленной струе. За основу взята постановка из работы [1], в которой приведены экспериментальные результаты, полученные в лабораторных условиях при изучении истечения воздушных струй в область неподвижного воздуха.

Моделирование на основе КГД алгоритма в трехмерной постановке позволило исследовать процесс развития струйного течения во времени. При этом происходит формирование нескольких ударно-волновых областей в ближней зоне течения, и появление турбулентной области в дальней зоне. (рис. 1)

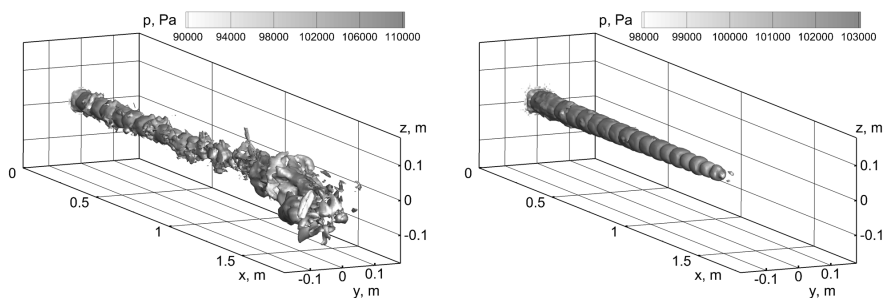


Рис. 1: Мгновенные (слева) и осредненные (справа) уровни давления, нанесенные на изоповерхности модуля градиента давления

При анализе результатов численного моделирования получены оценки оптимальных времен осреднения для исследования различных зон течения, что дает возможность эффективно использовать вычислительные ресурсы при моделировании струйных течений в подобных постановках. При сравнении осевого распределения давления с экспериментальными данными получено достаточно хорошее количественное соответствие, что подтверждает перспективность использования КГД алгоритма при численных исследованиях струйных течений.

Вычисления проведены с помощью суперкомпьютера К-100, установленного в Центре коллективного пользования ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Автор выражает благодарность Т. Г. Елизаровой, М. В. Крапошину и А. С. Епихину за обсуждение представленной тематики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Seiner J. M., Norum T. D. Experiments of shock associated noise on supersonic jets // AIAA 12th fluid and plasms dynamic conference. 1979.
- [2] Глушко Г. С., Иванов И. Э., Крюков И. А. Моделирование турбулентности в сверхзвуковых струйных течениях // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2010. Т. 9

- [3] Shirokov I. A., Elizarova T. G. Simulation of laminar–turbulent transition in compressible Taylor–Green flow basing on quasi-gas dynamic equations // J. of Turbulence. 2014. V. 15. Issue 10. P. 707–730.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ДИССОЦИИ

Шобухов Андрей Вадимович

Кафедра вычислительных методов, e-mail: shobukhov@cs.msu.ru

Ввиду активного развития производственных процессов с характерными размерами порядка миллимикрона, внимание исследователей в последнее десятилетие привлекает математическое моделирование течений электролитов в тонких каналах. Приложения в этой области связаны с управлением потоками ионов: это насосы и миксеры для электролитов, источники тока, опреснители воды и сепараторы белков. Математическое моделирование является важным инструментом разработки таких устройств [1-5].

Основой для моделирования динамики концентраций частиц в приближении сплошной среды является система уравнений Пуассона-Нернста-Планка, которая может быть дополнена системой уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости [6]. Однако в такую модель также необходимо включить адекватное описание диссоциации молекул и ассоциации ионов, как это делается, например, в [7].

При внесении электролита в растворитель диссоциация происходит не мгновенно и не одновременно во всём растворе, а с конечной скоростью и сопровождается диффузией электролита. При этом характерное время диссоциации и ассоциации намного меньше, чем характерное время диффузии, миграции или конвекции. Поэтому концентрации молекул и ионов в растворе быстро достигают состояния химического равновесия. Однако наличие диффузии может привести к неустойчивости этого состояния.

В настоящей работе предложена математическая модель электролитической диссоциации, имеющая вид смешанной задачи для системы уравнений типа "реакция-диффузия". Отличительной особенностью модели является вырожденность равновесного однородного стационарного распределения концентраций, которое зависит от начальной концентрации реагентов. Будучи устойчиво при отсутствии диффузии, оно может потерять устойчивость в результате бифуркации Тьюринга. При этом наблюдается формирование пространственных структур. Проведённые расчёты показывают устойчивость возникающего распределения концентраций. Тем самым показано, что при моделировании течений электролита весьма важно учитывать как их нестационарность, так и их возможную пространственную неоднородность, что может оказать огромное влияние на скорость протекания химических реакций.

Автор выражает благодарность Г. А. Цирлиной и И. Рубинштейну за многократное обсуждение темы данного сообщения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Posner J. D., Santiago J. G. Convective instability of electrokinetic flows in a cross-shaped microchannel // *J. of Fluid Mechanics*. 2006. V. 555. P. 1-42.
- [2] Ronen R., Gat A., Bazant M., Suss M. Single-flow multiphase flow batteries: Theory // *Electrochimica Acta*. 2021. V. 389. P.138554(10).
- [3] Bercovici M., Lele S.K., Santiago J.G. Open source simulation tool for electrophoretic stacking, focusing and separation // *J. of Chromatography A*. 2009. V. 1216. P. 1008-1018.
- [4] Khaldi A. A., Nehari D., Aichouni M., Eren S. S. Numerical investigations of AC electrokinetic forces to enhance the rate of transport of reactants in a microchannel // *Mechanika*. 2013. V. 19, N. 4. P. 437-444.
- [5] Kumar P., Rubinstein S., Rubinstein I., Zaltzman B. Mechanisms of hydrodynamic instability in concentration polarization // *Physical Review Research*. 2020. V. 2. P. 033365(12).
- [6] Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. *Электрохимия*. М.: Химия, КолосС, 2006. 672 с.
- [7] Leaist D. G., Lyons P. A. Multicomponent Diffusion of Electrolytes with Incomplete Dissociation. Diffusion in a Buffer Solution // *J. of Physical Chemistry*. 1981. V. 85, N. 12. P. 1756-1762.

ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ОТЧЕТОВ В ОТКРЫТОЙ ПЛАТФОРМЕ АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНЫХ ДАННЫХ

Булыгин Марк Валерьевич¹, Намиот Дмитрий Евгеньевич²

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: messimm@yandex.ru

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: dnamiot@gmail.com

Комфортный и безопасный транспорт является неотъемлемой частью современных городов. Для своевременного реагирования на изменения, происходящие в городе, работникам транспортной сферы необходимо постоянно получать отчеты об объеме этих изменений. Важно отметить, что главной задачей является именно детальное описание изменений, а не их предсказание, так как в части случаев изменения не могут быть предсказаны заранее или же дата их наступления является известной заранее.

В работах [1,2] нами предложена концепция решения задач цифровой урбанистики, а также разработана архитектура открытой платформы для анализа

транспортных данных, реализующая эту концепцию. В рамках данной платформы может быть разработано решение для автоматизированной генерации отчетов об изменениях, происходящих в транспортных системах. При этом нет необходимости разрабатывать систему создания отчетов полностью, так как в платформе определены базовые методы для считывания данных, их проверки и визуализации.

Изменения в транспортных потоках могут быть поделены на краткосрочные (например, изменение транспортного потока метро из-за человека на путях), сезонные (например, изменения, вызванные каникулами у студентов), а также структурные (например, вызванные строительством новых жилых районов). Для каждого типа изменений необходимо использовать собственные методы описания, виды текстовых отчетов и приемы визуализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Bulygin M., Namiot D. On the possibilities of using the data of cellular operators to solve the problems of digital urbanism //International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9. – №. 1. – С. 48-57.
- [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.

ОБНАРУЖЕНИЕ УЯЗВИМЫХ ФУНКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЗАКОММЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО КОДА КЛИЕНТСКОЙ СТОРОНЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

**Гамаюнов Денис Юрьевич¹, Сигалов Даниил Алексеевич², Назаров
Дмитрий Ильич³**

¹ Кафедра информационной безопасности, e-mail: gamajun@seclab.cs.msu.ru

² Кафедра информационной безопасности, e-mail: asterite@seclab.cs.msu.ru

³ Кафедра информационной безопасности, e-mail: moon-1vzn@seclab.cs.msu.ru

В модели анализа приложения на уязвимости методом “черного ящика” любое улучшение методов извлечения информации о серверных точках входа в клиентской части повышает вероятность обнаружения уязвимостей в серверной части. В данной работе исследована гипотеза о том, что закоментированный JavaScript-код клиентской части веб-приложения может содержать полезную информацию о серверных точках входа, недоступную в “живом” коде клиентской части. Зачастую, неиспользуемую или устаревшую со временем часть кода программисты прячут внутри блока комментариев вместо удаления (см. Рис. 1). Поскольку клиентский и серверный код исполняются изолированно друг от друга, то возможна такая ситуация, что часть клиентского кода окажется

закомментированной, при этом с сервера соответствующая функциональная возможность удалена не будет.

```
var isGuest =true;

function goBackOnly()
{
    googleActionEvent('Eski Sürüm','Eskiye Dön', 'V1 e geçti');
    setCookie('backtothefuture', '2', 365);
    window.location.reload();

    //$.ajax({
    //    type: "POST",
    //    url: "/data/ReturnBackDeleteCookie",
    //    success: function (response) {
    //        if(response)
    //            {
    //                window.location.reload();
    //            }
    //    }
    //});
}

function readResponse(form, response) {
    form.find('.uyari').hide();
    if (response.HasError) {
        if (response.Message) {
            form.find('.uyari.kirmizi').html('<strong>Hata! </strong>' + response.Message).
        }
    }
}
```

Рис. 1: Пример закомментированного кода с сайта <https://www.donanimhaber.com/>.

В данной работе предложен подход на основе статического анализа кода на языке JavaScript, при котором блоки комментариев подвергаются простым преобразованиям (удаление экранирующих символов, пустых строк и т.д.) так, чтобы получить синтаксически допустимый программный код, пригодный для статического анализа в контексте остальной части программы. Предложенный в данной работе подход к извлечению информации о серверных точках входа с помощью анализа закомментированного клиентского кода является новым. В рамках работы были изучены статические анализаторы кода с поддержкой языка JavaScript, такие как TAJIS [2], SAFE [3] или WALA [4] — ни один из них не позволяет анализировать закомментированный код.

В рамках работы было проведено экспериментальное исследование на выборке из 100 тыс. приложений из рейтинга Alexa Top 1 Million, которое показало, что закомментированные запросы с оставленной функциональностью на сервере действительно встречаются в реальных приложениях в интернете. В проведенном эксперименте они нашлись в 2.78% от исследованных веб-приложений, более того, примерно 40% из них имеют соответствующую “живую” точку входа на сервере. Выборочный ручной анализ показал, что подобные запросы нередко оказываются уязвимыми: в “забытых” серверных API были найдены Reflected XSS, SQL Injection, PHP code injection и другие. Таким образом, закомментированный код представляет особую опасность для разра-

ботчиков приложений, так как "невидим" для существующих инструментальных средств автоматического тестирования и поиска уязвимостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Hedin D., Sabelfeld A. Information-Flow Security for a Core of JavaScript // IEEE 25th Computer Security Foundations Symposium. – 2012, pp. 3–18.
- [2] Jensen S. H., Møller A., Thiemann P. Type Analysis for JavaScript // International Static Analysis Symposium. — 2009, pp. 238–255.
- [3] S. Ryu et al. Safe: Formal specification and implementation of a scalable analysis framework for ECMAScript // International Workshop on Foundations of Object-Oriented Languages. — 2012
- [4] The T. J. Watson Libraries for Analysis (WALA) // URL: <http://wala.sourceforge.net/> (дата обращения: 02.03.2023)

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОШИБОК МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Дмитриев Леонид Вадимович

Лаборатория открытых информационных технологий, e-mail: leozub@cs.msu.ru

Технологии машинного обучения широко применяются для обработки естественного языка, так как в классических прикладных лингвистических задачах нейросетевые языковые модели превзошли по качеству счетные методы [1]. Часть результатов с точки зрения человека ошибочна, но значительное количество ошибок вызвано не проблемами и недостатками применяемых методов машинного обучения, а отражают содержание использованных при обучении текстов.

Векторное представление слов обеспечивает интерпретируемость и прослеживаемость (в семантическом векторном пространстве применимы и осмысленны классические векторные операции), позволяющие выявление лингвистических закономерностей [2]. Последующие большие нейросетевые языковые модели интерпретируются существенно тяжелее.

Векторное представление слов позволяет проводить содержательный анализ через проекции векторов терминов на ось, соответствующую распределению некоторой конкретной характеристики. В статье [3] таким способом проанализировано распределение ассоциаций профессий по гендерному признаку. В статьях [4, 5] векторное пространство анализируется через семантические проекции по многим характеристикам, таким как *маленький — большой, хороший — плохой, формальный — неформальный*. Получается срез человеческих представлений и оценок, содержащихся в текстах: например, дельфины и ал-

лигаторы похожи по размеру, но отличаются по опасности [5], а виды спорта ассоциируются с разным уровнем финансового достатка [4].

Вышеописанные результаты получены для английского языка, а в данной работе проводится сравнительный анализ для разных языков. Межкультурные различия находят свое отражение в семантическом векторном пространстве и могут быть частично измерены численно. Простым примером являются различия в популярности видов спорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Baroni M., Dinu G., Kruszewski G. Don't count, predict! A systematic comparison of context-counting vs. context-predicting semantic vectors // Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). 2014. P. 238–247. DOI: 10.3115/v1/P14-1023
- [2] Mikolov T., Yih W., Zweig G. Linguistic Regularities in Continuous Space Word Representations // Proceedings of the 2013 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. 2013. P. 746–751.
- [3] Man is to Computer Programmer as Woman is to Homemaker? Debiasing Word Embeddings / T. Bolukbasi, K. Chang, J. Zou, V. Saligrama, A. Kalai // Advances in Neural Information Processing Systems 29 (NIPS 2016). 2016. P. 4349–4357.
- [4] Kozłowski A., Taddy M., Evans J. The Geometry of Culture: Analyzing the Meanings of Class through Word Embeddings // American Sociological Review. 2019. Vol. 84, Iss. 5. P. 905–949. DOI: 10.1177/0003122419877135
- [5] Semantic projection recovers rich human knowledge of multiple object features from word embeddings / G. Grand, I. Blank, F. Pereira, E. Fedorenko // Nature Human Behaviour. 2022. Vol. 6. P. 975–987. DOI: 10.1038/s41562-022-01316-8

УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕРНЕТОМ – ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Карасев Павел Александрович

Центр проблем информационной безопасности, e-mail: karpaul@mail.ru

Представленный в 1994 г. [2] проект глобальной сети, который впоследствии вырос в сеть «Интернет», был необходим для продвижения и сохранения доминирования США в сфере информационно-коммуникационных технологий, и одновременно – как инструмент реализации национальных интересов. Разработка стека протоколов TCP/IP была отчасти профинансирована Управлением перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США.[1] Корпорация по управлению доменными именами и IP-адресами

(ICANN), которая с 1998 г. занимается регулированием вопросов, связанных с доменными именами, IP-адресами и прочими аспектами функционирования интернета, по-прежнему находится под опосредованным контролем США. В то же время, сегодня в развитии сети интернет можно наблюдать нарастание центробежных тенденций. С одной стороны, это находит отражение в целенаправленной политике отдельных государств по развитию параллельного технико-технологического потенциала, направленного на сохранение устойчивости, доступности и целостности национальных сегментов глобальной сети. С другой стороны, появляются и политические предпосылки реформирования концепции глобальной сети. Так, в США всё более громко звучит идея о консолидации с союзниками и единомышленниками и обособления от всех «злонамеренных» акторов в ИКТ-среде. В частности, она находит отражение и в опубликованной в марте 2022 г. Национальной стратегии кибербезопасности, где говорится, что она «позволит Соединенным Штатам, их союзникам и партнерам вместе построить цифровую экосистему, сделав её более простой и изначально защищенной, устойчивой и соответствующей нашим ценностям».[4, р.1] В то же время Китай предложил своё видение будущего глобальной сети: «для создания сообщества единой судьбы в киберпространстве следует придерживаться концепции глобального управления, основанной на совместных консультациях, совместном строительстве и совместном пользовании, и продвигать многостороннюю, демократическую и прозрачную международную систему управления интернетом».[3, р.3] В условиях обозначившегося движения к раздроблению и регионализации глобальной сети Россия и Китай могут предпринять упреждающие шаги – во-первых, продолжить укрепление собственного цифрового суверенитета в рамках взаимовыгодного и равноправного сотрудничества. Во-вторых, необходимо активизировать работу по практической реализации альтернативного видения развития международной компьютерной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] How the Internet Came to Be by Vinton Cerf, as told to Bernard Aboba // The Wayback Machine [Internet source] URL: <https://web.archive.org/web/20170926042220/http://elk.informatik.hs-augsburg.de/tmp/cdrom-oss/CerfHowInternetCame2B.html>
- [2] Inauguration of the First World Telecommunication Development Conference (WTDC-94) Remarks prepared for delivery by Mr. Al Gore U.S. Vice President // ITU [Official website] URL: <https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/4.144.57.en.104.pdf>

- [3] Jointly Build a Community with a Shared Future in Cyberspace // Xinhua [website] URL: <https://english.news.cn/20221107/fba9dd1afb7e47f08c863d5d18afac55/c.html>
- [4] National Cybersecurity Strategy // The White House [official website] URL: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/03/National-Cybersecurity-Strategy-2023.pdf>

О ПОИСКЕ АНОМАЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСТРОЕННЫХ МОДЕЛЕЙ НЕСКОЛЬКИХ ПРОЦЕССОВ

Терёхина Ирина Юрьевна

Кафедра информационной безопасности, e-mail: iteryokhina@cs.msu.ru

Рассматривается задача поиска аномалий с использованием моделей процесса, заданных в виде ациклических ориентированных графов. Под процессом понимается описание технологии, некоторое множество конечных последовательностей атомарных инструкций, предназначенное для создания некоторого продукта или предоставления некоторых услуг для пользователя. Задача поиска аномалий с использованием моделей процесса является актуальной, например, при анализе логов событий многопользовательских систем, анализе трафика в межсетевых экранах для веб-приложений, обеспечении консистентного доступа к базам данных. Основные результаты по решению данной задачи предложены в работе [1].

Пусть задан некоторый журнал событий (лог) L , содержащий данные s процессов. По логу строятся формальные модели в виде конформных графов, которые задают все легальные (правильные) исполнения данных процессов. Алгоритмы построения таких графов, которые являются подмножеством ациклических ориентированных графов с дополнительным наложением условий минимальности и соответствия логу L , были предложены в работе [1]. Данная работа затрагивает ранее нерасмотренный случай наличия следов нескольких процессов в трассе, проверяемой на аномальность.

Рассматриваются s процессов, с непустыми множествами действий V_1, \dots, V_s и соответствующими конформными графами $G_1 = (V_1, E_1), \dots, G_s = (V_s, E_s)$. Пусть $n = \max_i |V_i|$, $e = \max_i |E_i|$, $i = 1, \dots, s$.

Теорема 1 (Поиск аномалий для трассы, содержащей следы множества процессов, имеющих различные множества действий). Пусть множества действий для s процессов не пересекаются, то есть $V_i \cap V_j = \emptyset$, при $i \neq j$, $i, j = 1, \dots, s$. Пусть для s процессов построено s конформных графов зависимостей. Пусть в некоторой трассе t могут содержаться следы множества процессов. Тогда поиск аномалий в трассе t может быть выполнен за $O(s^2 + s|t| + sn^2 + se)$.

Доказательство теоремы заключается в разбиении проверяемой трассы t на подтрассы, каждая из которых содержит в себе след только одного процесса, и в решении задачи поиска аномалий для каждой из полученных подтрасс (их может быть не более s штук) и соответствующего процессу конформного графа. Показано, что разбиение трассы t возможно осуществить за один проход. Таким образом, для данной задачи остается актуальной оценка решения задачи поиска аномалий, предложенная в работе [1], для случая, когда в трассе содержится след только одного процесса. Более того, если для задачи поиска аномалий уже были построены модели процессов в виде ациклических ориентированных графов, тогда параметры s , n , e будут константами и справедливо:

Следствие (Поиск аномалий для трассы, содержащей следы множества процессов, имеющих различные множества действий). Пусть выполнены условия Теоремы 1. Тогда поиск аномалий в трассе t может быть выполнен за $O(|t|)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Teryokhina I. Anomaly detection in several running processes // International Journal of Open Information Technologies. — 2021. — Т. 10, вып. 1. — С. 21–27.

ПРОЕКЦИОННЫЙ МЕТОД ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С БЕСКОНЕЧНЫМ ГОРИЗОНТОМ В ЭКОНОМИКЕ

Арыстанбеков Батыр Маратович¹, Мельников Николай Борисович²

¹ Назарбаев Университет, Астана, Казахстан, e-mail: arysbatyr@gmail.com

² Кафедра оптимального управления, e-mail: melnikov@cs.msu.ru

Большинство численных методов, используемых для решения краевых задач принципа максимума Понтрягина, основаны на конечно-разностных аппроксимациях по времени. Альтернативный подход к решению краевых задач состоит в использовании проекционных (спектральных) методов. Проекционный метод, описанный в работе [1], использует аппроксимацию решения на конечном отрезке. Метод, предложенный в работе [2], является обобщением [1] для задач на бесконечном интервале. Оба метода сформулированы для задач с дискретным временем (см. [3]).

Для задач экономического роста на бесконечном интервале с непрерывным временем [4] проекционный метод предложен в работе [5]. Краевым условием на бесконечности является предельное соотношение (условие трансверсальности). Решение параметризуется следующим образом:

$$x(t, \mathbf{a}) = \sum_{i=0}^n a_i \varphi_i(t) e^{-\lambda t} + x_{ss} (1 - e^{-\lambda t}).$$

Здесь $\varphi_i(t) = L_i(\lambda t)$ — базисные функции, где $L_i(t)$ — ортогональные полиномы Лагерра, а проекции невязки вычисляются с помощью соответствующего скалярного произведения. Наилучшая сходимость метода достигается, если параметр λ в показателе экспоненты выбран равным отрицательному собственному значению матрицы линеаризации гамильтоновой системы в неподвижной точке x_{ss} .

В предложенном нами методе есть ряд отличий по сравнению с дискретным аналогом [2], касающихся выбора базисных функций и скалярного произведения. Для иллюстрации метода и анализа сходимости мы используем интегрируемые случаи в модели Рамсея (см. [4]). Проекционный метод на бесконечном интервале мы сравниваем с методом разностной аппроксимации по времени, методом стрельбы и методом динамического программирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Judd K. L. Projection Methods for Solving Aggregate Growth Models // Journal of Economic Theory. 1992. Vol. 58. P. 410–452.
- [2] Judd K. L. The parametric path method: an alternative to Fair-Taylor and L-B-J for solving perfect foresight models // Journal of Economic Dynamics and Control. 2002. Vol. 26. P. 1557–1583.
- [3] Melnikov N.B., Gruzdev A.P., Dalton M.G., Weitzel M., O'Neill B.C. Parallel Extended Path Method for Solving Perfect Foresight Models // Computational Economics. 2021. Vol. 58. P. 517–534.
- [4] Асеев С.М., Кряжмский А.В. Принцип максимума Понтрягина и задачи оптимального экономического роста // Труды МИАН. 2007. Т. 257. С. 3–271.
- [5] Arystanbekov B.M., Melnikov N.B. Projection Method for Infinite-Horizon Economic Growth Problems // Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics, 2022, Vol. 319, Suppl. 1, P. S53–S64.

ПОСТРОЕНИЕ МНОЖЕСТВА УПРАВЛЯЕМОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВТОРОГО ПОРЯДКА С РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ СОБСТВЕННЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ

Гончарова Марина Николаевна¹, Самсонов Сергей Петрович²

¹ Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, e-mail: m.gonchar@grsu.by

² Кафедра оптимального управления, e-mail: samsonov@cs.msu.ru

В работе построено множество управляемости в начало координат для одной задачи оптимального быстрогодействия.

Фазовые координаты объекта подчиняются системе дифференциальных уравнений второго порядка, линейной относительно фазовых переменных и

относительно переменных управления. Матрица коэффициентов при фазовых переменных имеет различные положительные собственные значения. Класс допустимых управлений состоит из кусочно-непрерывных векторных функций, принимающих значения из выпуклого четырехугольника, стороны которого не параллельны осям координат и который включает в качестве внутренней точки начало координат.

С целью решения поставленной задачи сначала строится опорная функция множества управляемости. Затем, на основании того, что в предположениях задачи множество управляемости является выпуклым, искомое множество восстанавливается по его опорной функции. Граница построенного множества управляемости описывается параметрически заданными функциями.

Для каждой фиксированной длины интервала движения определена точка множества управляемости, имеющая максимальную ординату.

Показано что даже при увеличении интервала движения до бесконечности, множество управляемости является ограниченным.

СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПО ЗАДАННОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ

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 задача аналитического синтеза управления для математической модели летательного аппарата, обеспечивающего движение части координат фазового вектора по заданной траектории в R^3 . Используется математическая модель движения центра масс твердого тела в трехмерном пространстве [1]:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -g \sin \theta + gv_1, & \dot{H} &= V \sin \theta, \\ \dot{\theta} &= -\frac{\cos \theta}{V}g + \frac{g}{V}v_2, & \dot{L} &= V \cos \theta \cos \psi, \\ \dot{\psi} &= -\frac{g}{V \cos \theta}v_3, & \dot{Z} &= -V \cos \theta \sin \psi, \end{aligned} \quad (1)$$

где V - земная скорость твердого тела, м/с; θ - угол наклона траектории, рад; ψ - угол пути, рад; H - высота, м; L - дальность, м; Z - боковая дальность, м; (v_1, v_2, v_3) - вектор управления, м/с². Рассматривается задача определения вектора управления (v_1, v_2, v_3) как функции координат состояния $v_i = v_i(H, L, Z, V, \theta, \psi)$, $i = 1, 2, 3$, обеспечивающих асимптотическое движение компонент фазового вектора (H, L, Z) к заданной траектории в R^3 и движение вдоль нее с заданной скоростью. Заданная траектория представляет собой кривую в R^3 в виде пересечения двух поверхностей

$$f_1(H, L, Z) = 0, \quad f_2(H, L, Z) = 0, \quad (2)$$

где f_1, f_2 - дифференцируемые функции. Решение классов задач управления движением по определенной траектории для нелинейных систем содержится в работах [2,3,4], в которых предложены подходы к аналитическому конструированию соответствующих управлений. В настоящей работе предложен алгоритм управления, гарантирующий асимптотическое сближение и удержание части компонент фазового вектора нелинейной системы (1) на заданной траектории (2) и движение вдоль нее с заданной скоростью. Предлагаемый алгоритм управления может быть востребован для реализации различных задач робототехники, например, задач мониторинга окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Канатников А. Н., Шагина Е. А. Задача терминального управления движением летательного аппарата // Нелинейная динамика и управление, М., Физматлит, 2010, Вып. 7, с. 79-94.
- [2] Игнатьев М. Б. Голономные автоматические системы // М.-Л., Издательство АН СССР, 1963, с. 204.
- [3] Колесников А. А. Новые нелинейные методы управления полетом // М., Физматлит, 2013, с. 196.
- [4] Бойчук Л. М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления // М., Энергия, 1971, с. 160.

О ПОИСКЕ СЕДЛА ФУНКЦИИ ЛАГРАНЖА ПРИ НАЛИЧИИ АПРИОРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА НОРМУ МНОЖИТЕЛЯ

Дряженков Андрей Александрович

Кафедра оптимального управления, e-mail: dryazhenkov@cs.msu.ru

Рассматривается линейное операторное уравнение при наличии квадратичного ограничения:

$$Au = f, \quad \|Bu - g\|_G^2 \leq R^2.$$

Здесь предполагается, что элементы $f \in F, g \in G$ заданы вместе с линейными ограниченными операторами $A \in \mathcal{L}(H \rightarrow F), B \in \mathcal{L}(H \rightarrow G)$, число $R > 0$, а пространства H, F, G являются гильбертовыми. Требуется найти нормальное решение операторного уравнения, т. е. решение $u_* \in H$ следующей задачи условной минимизации:

$$\|u\|_H^2 \rightarrow \min_{u \in U}, \quad U = \{u \in H \mid Au = f, \|Bu - g\|_G^2 \leq R^2\}.$$

В предположении о выполнении условий регулярности

$$R(\mathcal{A}^*) = \overline{R(\mathcal{A}^*)}, \quad \mathcal{B}^*(\mathcal{B}u_* - g) \notin R(\mathcal{A}^*)$$

эта задача может быть сведена к задаче поиска седловой точки функции Лагранжа

$$L(u; \lambda, \mu) = \|u\|_H^2 + \langle \lambda, Au - f \rangle_F + \mu(\|Bu - g\|_G^2 - R^2).$$

Предполагается, что известны константы r_u , r_λ и r_μ , ограничивающие нормы решения u_* и множителей Лагранжа λ^* и μ^* :

$$\|u_*\|_H \leq r_u, \quad \|\lambda^*\|_F \leq r_\lambda, \quad |\mu^*| \leq r_\mu.$$

Предлагается метод поиска седловой точки функции Лагранжа $L(u; \lambda, \mu)$, устойчивый к неравномерным возмущениям в операторах \mathcal{A} , \mathcal{B} . Предположения о неточных данных $\mathcal{A}_n \in \mathcal{L}(H \rightarrow F)$, $\mathcal{B}_n \in \mathcal{L}(H \rightarrow G)$, $f_n \in F$, $g_n \in G$ так же, как и в [1], включают предположения о сильной поточечной сходимости приближённых операторов \mathcal{A}_n , \mathcal{A}_n^* , \mathcal{B}_n , \mathcal{B}_n^* к точным \mathcal{A} , \mathcal{A}^* , \mathcal{B} , \mathcal{B}^* . В методе составляется приближённая функция Лагранжа

$$L_n(u; \lambda, \mu) = \|u\|_H^2 + \langle \lambda, \mathcal{A}_n u - f_n \rangle_F + \mu (\|\mathcal{B}_n u - g_n\|_G^2 - R_n^2).$$

и ищется её седловая точка $(u_n; \lambda_n, \mu_n)$ на множестве

$$\{(u; \lambda, \mu) \in H \times F \times \mathbb{R} \mid \|u\|_H \leq r_u, \|\lambda\|_F \leq r_\lambda, 0 \leq \mu \leq r_\mu\}.$$

В работе доказана теорема о сильной сходимости в H первых компонент седловой точки u_n к точному нормальному решению исходной задачи u_* .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Васильев Ф. П., Куржанский М. А., Потапов М. М., Разгулин А. В. Приближённое решение двойственных задач управления и наблюдения. М. : МАКС Пресс, 2010. 384 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ДВУХСЕКТОРНОЙ ЭКОНОМИКИ С ФУНКЦИЕЙ КОББА –ДУГЛАСА С УБЫВАЮЩЕЙ ОТДАЧЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МАСШТАБОВ ПРОИЗВОДСТВА

**Киселёв Юрий Николаевич¹, Орлов Михаил Владимирович², Аввакумов
Сергей Николаевич³, Орлов Сергей Михайлович⁴, Кацан Анна
Николаевна⁵**

¹ Кафедра оптимального управления, e-mail: kiselev@cs.msu.su

² Кафедра оптимального управления, e-mail: orlov@cs.msu.su

³ Кафедра оптимального управления, e-mail: asn@cs.msu.su

⁴ Кафедра оптимального управления, e-mail: sergey.orlov@cs.msu.su

⁵ Кафедра оптимального управления, e-mail: anyuta.katsan3@gmail.com

В докладе рассматривается двумерная модель экономического роста с производственной функцией Кобба –Дугласа с одинаковыми коэффициентами амортизации. Критерий качества, задаваемый в интегральном виде типа логарифм, 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 в зависимости от начальной позиции. Это биссектриса первого квадранта. Интересно отметить что вид особого луча не изменился в сравнении со случаем постоянной отдачи 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.

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.

КОРРЕКТНОСТЬ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ МИНИМАКСА ФУНКЦИИ ДВУХ ВЕКТОРНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Никольский Михаил Сергеевич

МИАН РАН им. В.А.Стеклова, факультет ВМК МГУ, e-mail: mni@mi-ras.ru

В теории игр (см., например, монографии Н.Н.Красовского, А.И.Субботина, Л.А.Петросяна, В.И.Жуковского и др.), в теории управления с неполной информацией (см. ,например, монографии А.Б.Куржанского и др.), а также в теории исследования операций (см. ,например, монографии Ю.Б.Гермейера, Н.Н.Моисеева и др.) часто возникают операции минимакс или максимин от функции двух векторных переменных. Изучению этих операций посвящены, например, монографии В.Ф.Демьянова, В.Н.Малоземова, Дж.Данскина, В.В.Федорова и др.. Отметим, что как и в оптимизационных задачах (см, например, работы А.Н.Тихонова, Ф.П.Васильева и др.), в теории минимаксных задач возможны различные постановки задач о корректности. Одной из таких задач посвящен настоящий доклад.

Рассматривается следующий минимакс :

$$\gamma(P, Q) = \min_{x \in P} \max_{y \in Q} f(x, y), \quad (1)$$

где P -непустой компакт из R^k , причем $k \geq 1$, Q -непустой компакт из R^l , причем $l \geq 1$, а функция $f(x, y)$ определена и непрерывна на $R^k \times R^l$. Отметим, что величина $\gamma(P, Q)$ обычно трактуется, как наименьший гарантированный результат, на который может претендовать игрок, выбирающий вектор $x \in P$ и стремящийся к минимизации функции $f(x, y)$, при отсутствии знания выбора вектора $y \in Q$.

В докладе обосновывается непрерывность функционала $\gamma(P, Q)$ в метрике

$$h_1 = h(P_1, P_2) + h(Q_1, Q_2), \quad (2)$$

где первое слагаемое означает расстояние Хаусдорфа между компактами P_1, P_2 , а второе слагаемое означает расстояние Хаусдорфа между компактами Q_1, Q_2 . Такого рода непрерывность функционала $\gamma(P, Q)$ естественно трактовать, как корректность задачи вычисления исследуемого минимакса. Отметим, что малые отклонения компактов P, Q приходится учитывать при наличии неточной информации относительно компактов P и Q .

Рассмотрен пример применения полученного результата.

МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА С РАЗДЕЛЕНИЕМ ДОМОХОЗЯЙСТВ

Ровенская Елена Александровна¹, Орлов Сергей Михайлович²

¹ ИААА, Laxenburg Austria, и Кафедра оптимального управления ВМК МГУ, Москва, e-mail: rovenska@iiasa.ac.at

² Кафедра оптимального управления ВМК МГУ, Москва, и ИААА, Laxenburg Austria, e-mail: sergey.orlov@cs.msu.ru

Рассматривается модификация моделей Солоу и Рамсея [1], в которой домохозяйства разбиваются на два класса: «рабочие» и «инвесторы». Рабочие обладают всеми трудовыми ресурсами, которые они отдают фирмам, получая за это зарплату. Часть зарплаты идёт в уплату налога, оставшаяся часть потребляется. Инвесторы обладают капиталом, который они сдают в аренду фирмам, получая с этого доход, одну часть которого они реинвестируют в капитал, а другую потребляют.

Исследуются свойства новых моделей, их связь с классическими моделями Солоу и Рамсея, также анализируется случай, когда государственные затраты оплачиваются не только при помощи налогов, но и с привлечением государственных облигаций.

Анализируется возможность модификации модели DICE [2] с учётом двух классов домохозяйств. Рассматриваются различные функции полезности, которые учитывают интересы двух классов домохозяйств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Acemoglu D. Introduction to Modern Economic Growth. Princeton University Press, 2009. 1008 pp.
- [2] Nordhaus, W.D.. Revisiting the social cost of carbon. Proc Natl Acad Sci USA 114, 2017. P. 1518–1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ МИНИМИЗАЦИИ ДЛЯ БИЛИНЕЙНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ МОДЕЛИ ЛЕЧЕНИЯ МЕЛАНОМЫ

Хайлов Евгений Николаевич¹, Григорьева Элина Валерьевна²

¹ Кафедра оптимального управления, e-mail: kha1lov@cs.msu.ru

² Техасский женский университет, Дентон, США, e-mail: krasavizha@yahoo.com

В настоящем докладе на заданном отрезке времени, являющемся общим периодом лечения меланомы, рассматривается билинейная управляемая модель, задаваемая системой дифференциальных уравнений, которая описывает взаимодействие между лекарственно-чувствительными и лекарственно-устойчивыми раковыми клетками как при проведении лекарственной терапии, так и при ее отсутствии. Эта модель также содержит управляющую функцию времени, отвечающую за переход от этапа проведения такой терапии к этапу ее отсутствия и наоборот. Для нахождения оптимальных моментов переключения между этими этапами ставится задача минимизации раковой нагрузки как на всем общем периоде лечения меланомы, так и в его конечный момент. Такая задача минимизации имеет невыпуклую область управления, что может привести к отсутствию оптимального решения в поставленной задаче минимизации в традиционных для приложений классах допустимых режимов. Чтобы избежать этой проблемы, берется выпуклая оболочка области управления. В результате возникает ослабленная задача минимизации, в которой оптимальное решение уже существует. Аналитическое исследование этой задачи минимизации осуществляется благодаря применению принципа максимума Понтрягина. Как следствие этого, находится соответствующее оптимальное решение в форме синтеза. К сожалению, он показывает, что существуют значения параметров билинейной управляемой модели, ее начальных условий и отрезка времени, для которых исходная задача минимизации не имеет оптимального решения, поскольку в ней присутствует скользкий режим. Тогда для таких значений возможно отыскание приближенного оптимального решения исходной задачи минимизации в классе кусочно-постоянных управлений с заданным числом переключений. В докладе приводятся результаты анализа связи такого приближенного решения исходной задачи минимизации с оптимальным решением ослабленной задачи минимизации на основе численных расчетов, выполненных в среде MAPLE, для значений параметров билинейной управляемой модели, ее начальных условий и отрезка времени, взятых из реальной клинической практики.

Авторский указатель

- Абакумов М. В., 158
Абдрахманов А. Ф., 17
Абрамов В. Г., 18, 19
Аввакумов С. Н., 189
Аветисян А. И., 70
Агаджанян Е. Г., 150
Акопян А. А., 74
Алиева Э. З., 30
Антоненко В. А., 47
Арбузов П. А., 148
Арутюнов А. В., 80
Арыстанбеков Б. М., 184
Атамась Е. И., 82
Афанасьев Н. А., 160
Бакулин М. Г., 77
Балашов В. В., 53, 61
Барабанов Н. С., 38
Барашков И. С., 91
Бахтин В. А., 68
Бегишев Р. Р., 84
Белеванцев А. А., 71, 74, 75
Белов А. Г., 97
Белова О. А., 97
Белолипецкий А. А., 149
Беляев М. В., 73
Биктимиров М. Г., 73
Богомоллов С. В., 161, 162
Бордаченкова Е. А., 17
Бородинова Д. Ю., 130
Босиев И. А., 168
Бочев М. А., 120
Бриллиантов Н. В., 124
Брындина А. А., 170
Булыгин М. В., 177
Буничева А. Я., 163, 168
Бурлачко К. А., 33
Буряк Д. Ю., 63
Васильев С. М., 103
Васильев Ю. А., 107
Васин А. А., 150
Владимилова Ю. С., 145
Волканов Д. Ю., 38, 43, 46
Волчанинов А. П., 39
Воронцов М. О., 98
Востриков И. В., 83
Вылиток А. А., 20, 21
Гаврилов О. А., 92
Гамаюнов Д. Ю., 178
Герасимов Д. Ю., 70
Герасимов С. В., 103, 110, 112, 113
Гирфанов О. В., 139
Голембиовский Д. Ю., 148
Головина С. Г., 93
Голубцов П. В., 71
Гончарова М. Н., 185
Горохов О. Е., 104, 109
Горшенин А. К., 100
Горьков В. П., 186
Григоренко Н. Л., 186
Григорьева Э. В., 192
Груздева Н. В., 22
Гугучкин Е. П., 78
Гусейнов С. С., 99
Давидсон М. Р., 151
Дементьев Н. С., 141
Демихов В. М., 151
Денисов С. В., 144
Дмитриев Л. В., 180

- Добров Б. В., 24, 36
Долбнин А. А., 93
Домрина А. В., 131
Дорохин С. В., 122
Дорохин С. В., 121
Дряженков А. А., 187
Дугин А. А., 24
Егоренков В. А., 173
Егоров В. М., 165
Егоров Д. И., 77
Егоров К. Ю., 83
Еленин Г. Г., 166
Еленина Т. Г., 166
Емельянов Д. П., 134
Ерёмин Ю. А., 95
Ефремов И. С., 71
Ефремова Н. Э., 25
Жамсуева Г. С., 124
Жуков К. А., 65
Жуковская З. Т., 80
Жуковский С. Е., 80
Загайнов В. А., 124
Загидуллин Р. Р., 124
Задорожная Ю. А., 41
Зайдуллин Р. Р., 43
Зайцева Н. В., 132
Захарова И. Г., 167
Заяханов А. С., 124
Зверев Г. П., 119
Зизов В. С., 146
Зотов И. В., 141
Иванов Г. С., 74, 75
Игнатъев В. Н., 73
Ильин А. В., 84
Ильина А. А., 75
Имашев В. Р., 63
Индычко О. И., 94
Исинь Ж., 152
Казачук М. А., 105
Казачук М. А., 106
Калинович А. А., 167
Карасев П. А., 181
Карпулевич Е. А., 78
Катаев Н. А., 68
Кацан А. Н., 189
Кирсанова С. И., 104
Киселева В. С., 170
Киселёв Ю. Н., 189
Китов В. В., 86
Князев А. А., 18
Ковяшев Р. А., 153
Козловская А. Л., 100
Козубская Т. К., 158
Коровина М. В., 133
Кочетов Е. В., 163
Краснопольский Б. И., 65
Крылов А. С., 94
Кувшинников А. Е., 161
Кудрявцев А. А., 99, 102
Кунавин А. А., 122
Куприй Р. М., 65
Курмангалеев Ш. Ф., 71, 74, 75
Курячий Г. В., 38
Лазухин И. С., 114
Леонов Е. А., 162
Ли Ваншунь, 62
Ли Цзямянь, 20
Литвинов И. Б., 142
Логинова М. М., 173
Ложкин С. А., 146, 147
Ломов И. С., 134
Ломоносова В. Е., 117
Лопушенко В. В., 95
Лохно И. К., 99
Лысак Т. М., 167, 171
Лычева Е. О., 50
Ляшев В. А., 121, 122
Матвеев С. А., 124
Матевосов Д. Ю., 77
Машечкин И. В., 105–107, 109
Мельников Н. Б., 184
Мельникова А. А., 87

- Мещеряков А. В., 103, 110, 112, 113
Михальчук И. В., 25
Михельсон Г. В., 110
Мокров К. С., 67
Морозов В. В., 152–154
Морозова В. Г., 44
Мосолова Ю. М., 89
Му Цзинъюань, 21
Мухин С. И., 163, 168–170
Мяо Хуэйхуэй, 62
Назаренко Т. С., 155
Назаров Д. И., 178
Намиот Д. Е., 177
Насыров Т. Р., 157
Немешаева А. А., 112
Никифоров Н. И., 46
Никольский И. М., 66
Никольский М. С., 190
Ниськов Ф. В., 71
Новиков М. Д., 26
Новикова Н. М., 155
Озерова Д. А., 47
Оконишников А. А., 48
Орлов М. В., 189
Орлов С. М., 189, 191
Осинский А. И., 125
Падарян В. А., 77
Панфёров А. А., 17
Пашков В. Н., 41
Песков Н. В., 171
Петрова Л. И., 172
Петровский М. И., 107, 109, 114
Писковский В. О., 50, 59
Погорельцев С. А., 27
Полетаев В. А., 86
Полиенко А. Е., 97
Полякова И. Н., 27, 29
Попов И. С., 105, 106
Почевалов К. В., 169
Путилов Г. К., 51
Рахуба М. В., 128
Ровенская Е. А., 191
Рыжов А. П., 116
Савчук А. М., 136
Садовничая И. В., 136
Сальников А. Н., 39
Самсонов С. П., 185
Семенов К. О., 149
Сетуша А. В., 129
Сигалов Д. А., 178
Скворцова Д. В., 53
Смелянский Р. Л., 43, 54
Смирнов А. В., 67
Смирнов А. П., 124, 143
Соловьёв С. Ю., 30, 31
Соловьёв А. Ю., 66
Соловьёв С. Ю., 33, 34, 37
Сорока А. Г., 110, 113
Сорокина Н. В., 29
Степанов Е. А., 58
Степанов Е. П., 44, 47, 48, 51, 55, 56
Сулъженко Р. В., 36
Тасжанов Т. К., 154
Терновский В. В., 165
Терёхина И. Ю., 183
Тихонов И. В., 92
Точилин П. А., 87
Трапезников М. Ю., 105
Третьякова Р. М., 129
Трофимов В. А., 173
Турдаков Д. Ю., 78
Тюшев М. В., 54
Фазылов Р. Р., 106
Федосов А. А., 34
Федяшкин М. А., 68
Филенко Т. О., 38
Фоменко Т. Н., 137
Франтовская Д. И., 22
Фурсов А. С., 89
Хайбулаев Г. С., 19
Хайлов Е. Н., 192
Хасанов Д. М., 55

Хвостиков А. В., 94
Хруленко А. Б., 170
Царёв Д. В., 117
Цветкова В. П., 56
Цыганов Н. И., 157
Чайковский Д. А., 167
Чайчиц Д. А., 37
Чернов А. В., 119
Чернышева Д. Д., 158
Чистобаев А. А., 58
Чэнь Жань, 62
Шагиров Н. Э., 160
Шеина Е. А., 143
Шергин И. А., 116
Шестаков О. В., 98, 102
Шибает П. П., 59
Широков И. А., 174
Широкова А. С., 31
Шишкин А. Г., 144
Шишкин А. Г., 139, 142
Шобухов А. В., 176
Шутков Г. А., 61
Ю Цзянчунянь, 62
Юрий Ожигов, 62