

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ
ЛУЧШИХ ВЫПУСКНЫХ
КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ
ФАКУЛЬТЕТА ВМК МГУ 2019 ГОДА**

Оглавление

Кафедра математической физики	9
<i>Д. А. Люков</i>	
Регуляризирующий метод анализа перфузионных изображений мозга	9
<i>М. А. Пенкин</i>	
Гибридный метод подавления шума на изображениях	10
<i>А. А. Шумов</i>	
Метод совмещения биомедицинских изображений	11
Кафедра вычислительных технологий и моделирования	13
<i>М. С. Смирнов</i>	
Функции Грина модельных задач на уравнение Лапласа	13
Кафедра вычислительных методов	15
<i>Д. В. Василенко</i>	
Математическое моделирование гемодинамики в прикладных задачах акушерства	15
<i>А. Е. Парфёнов</i>	
Математическое моделирование течения крови в сосудах со сложной морфологией	16
<i>Д. Д. Чернышева</i>	
Математическое моделирование течений вязкого газа между коаксиально вращающимися цилиндрами в изотермическом приближении	18
Кафедра общей математики	19
<i>В. Л. Иоффе</i>	
Спектральные свойства задачи Коши для оператора второго порядка с инволюцией	19
<i>М. В. Николаев</i>	
Исследование нелинейного интегрального уравнения, возникающего в модели биологических сообществ	21
Кафедра исследования операций	23
<i>А. В. Блохина</i>	
Применение генерирующих матриц для решения задач оптимизации	23

<i>И. С. Родин</i>	
Ускорение сходимости метода Ньютона к особым решениям систем нелинейных уравнений	25
Кафедра оптимального управления	26
<i>А. Д. Клименкова</i>	
Модель конкуренции Лотки—Вольтерры в задачах оптимального управления лечением рака	26
Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления	28
<i>П. А. Крылов</i>	
Робастная стабилизация неопределенных нестационарных линейных объектов	28
<i>В. М. Новиков</i>	
Децентрализованные алгоритмы управления в группах автономных роботов	31
Кафедра системного анализа	32
<i>А. В. Корушкина</i>	
Математическая модель противоопухолевой вакцинотерапии	32
<i>О. С. Чмерева</i>	
Континуальная модель гиперциклической репликации	33
Кафедра математической статистики	35
<i>С. С. Горячев</i>	
Статистический анализ биосигналов	35
<i>И. М. Меньших</i>	
Асимптотически оптимальные второго порядка размещения станций обслуживания	37
<i>О. Е. Сороколетова</i>	
Прогнозирование временных рядов рынка криптовалют	38
<i>Д. В. Фомина</i>	
Сеточные методы оценивания параметров распределений Миттаг-Леффлера и Линника	39
<i>Д. Н. Харчев</i>	
Свойства генеративно-состязательных нейронных сетей	41
Кафедра математических методов прогнозирования	44
<i>Н. А. Драгунов</i>	
Поиск минимальных нечастых наборов в частично упорядоченных базах данных	44
<i>В. А. Полетаев</i>	
Стилизация изображений с сохранением контуров	46

<i>В. С. Руднев</i>	
Вариационный байесовский вывод с матричными нормальными распределениями	48
<i>Н. А. Скачков</i>	
Тематико-стилистические векторные представления текстовых пользовательских запросов.	50
<i>А. Н. Шестакова</i>	
Распознавание тактильных образов	51
Кафедра математической кибернетики	53
<i>А. Р. Гнатенко</i>	
О верификации автоматов-преобразователей с помощью темпоральной логики	53
<i>Н. Ю. Куцак</i>	
Темпоральная логика троичных цифровых сигналов	55
<i>А. А. Назаров</i>	
О билинейных алгоритмах умножения матриц с параметрами $\langle m, 2, 2 \rangle$	57
<i>Д. Э. Хзмалян</i>	
О сложности реализации функций алгебры логики мультиплексорного типа в некоторых классах контактных схем	58
Кафедра информационной безопасности	59
<i>А. Д. Бельская</i>	
Создание системы оптимального фрод-мониторинга счетов физических лиц на основе теоретико-игровой модели Штакельберга	60
<i>А. П. Беспалова</i>	
Атака по побочным каналам по времени на криптосистемы типа Мак-Элиса	61
<i>Л. О. Никифорова</i>	
Исследование возможности обхода одного алгоритма идентификации по лицам	62
<i>В. Г. Силаева</i>	
Разработка методов распознавания и классификации вредоносного кода в исполняемых файлах	64
Кафедра интеллектуальных информационных технологий	66
<i>А. Д. Васильченко</i>	
Применение сверточных нейронных сетей в задаче детектирования астрономических объектов на рентгеновских изображениях	66
<i>С. С. Горшков</i>	
Использование методов машинного обучения для установления авторства программы	67

<i>А. К. Слабоузова</i>	
Алгоритмы диагностики и прогнозирования заболеваний по интервалам электрокардиограммы	69
<i>Г. М. Шорошов</i>	
Нейросетевые алгоритмы сегментации зубов на изображениях конусно-лучевой компьютерной томографии	70
Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов	72
<i>Ю. О. Васильева</i>	
Алгоритм планирования вычислений в центрах обработки данных с опциональным выполнением политик размещения запросов	72
<i>В. В. Королев</i>	
Методы автоматической генерации рекомендаций по улучшению кода/архитектуры программы	74
<i>М. А. Синякова</i>	
Анализ задержки потоков виртуального пласта в программно-конфигурируемой сети с помощью стохастического сетевого исчисления	76
<i>А. Ю. Чернышева</i>	
Разработка системы генерации правил для работы с гетерогенными коммутаторами в программно-конфигурируемых сетях	78
Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики	80
<i>В. В. Семак</i>	
Предсказание производительности параллельных приложений с использованием характеристик входных данных на примере задачи множественного структурного выравнивания биологических последовательностей	80
<i>К. М. Соколова</i>	
Разработка гибридных параллельных алгоритмов и программ для различных стратегий распределения вычислений между процессорами	81
<i>И. А. Тимохин</i>	
Исследование эффективности использования графических процессоров для решения задачи множественного структурного выравнивания белков	83
Кафедра алгоритмических языков	84
<i>И. О. Зайцев</i>	
Автореферирование русскоязычных текстов с учетом синонимии	84
<i>А. А. Давлетов</i>	
Методы разрешения неоднозначности в задачах автоматической обработки текстов	85

<i>А. А. Дорофеева</i>	
Методы оценки устойчивости словосочетаний на русском языке . . .	87
<i>Ф. В. Ивачев</i>	
О модификации алгоритма обращения матриц с элементами из кольца скалярных дифференциальных операторов	88
<i>Д. В. Кожевников</i>	
Система программирования, основанная на принципах разработки через поведение	89
<i>И. А. Корнеева</i>	
Автоматическая классификация коротких русскоязычных текстов . .	90
<i>М. Ю. Сухов</i>	
Выявление плагиата в функциональных программах на языке Лисп .	91
<i>А. А. Хахмович</i>	
Разработка методов автоматического аннотирования текстов	92
<i>Б. А. Шелудько</i>	
Методы использования неразмеченных текстовых коллекций в задачах обработки текстов	94
<i>Н. С. Якунина</i>	
Методы выявления связей терминов	96
Кафедра системного программирования	97
<i>А. А. Аветисян</i>	
Исследование и разработка методов оценки популярности информационных сюжетов на ранних стадиях	97
<i>В. Н. Василькин</i>	
Статический анализ обращений к массивам в последовательных Си-программах	99
<i>Г. В. Кибанов</i>	
Автоматическая проверка целостности моделей программного обеспечения, разрабатываемого по унифицированному процессу . .	100
<i>Ф. В. Ниськов</i>	
Разработка и реализация метода поиска уникальных аварийных завершений среди результатов динамического анализа	102
<i>А. Г. Раснюк</i>	
Методы глубокого активного обучения алгоритмов обработки текстов	104
<i>В. Д. Трифонов</i>	
Методы извлечения отношений с частичным привлечением учителя	106
Отделение второго высшего образования	107
<i>И. П. Макарычев</i>	
Мобильные приложения, основанные на концепции сетевой близости	107

Е. В. Никулин

Статистические методы снижения размерности географических объектов
на спутниковых снимках 109

С. К. Прокопчук

Разработка специализированной системы хранения коллекций
изображений 110

**Темы выпускных квалификационных работ, защищённых
в 2019 году 111**

Темы магистерских диссертаций, защищённых в 2019 году 134

Именной указатель 152

Регуляризирующий метод анализа перфузионных изображений мозга

Работа удостоена диплома I степени

Люков Дмитрий Александрович

Кафедра математической физики

e-mail: d@lyukov.com

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Крылов Андрей Серджемич

Перфузионная компьютерная томография позволяет количественно оценить движение крови в тканях головного мозга. Подобное исследование позволяет у пациентов с острым ишемическим инсультом локализовать поражённые участки мозга, которые ещё можно спасти срочным хирургическим вмешательством.

Получение данных заключается во внутривенном введении в кровь контрастного вещества и дальнейшем измерении его концентрации в головном мозге с помощью компьютерной томографии [1]. Исходными данными в задаче являются концентрации контрастного вещества в артерии $c_{artery}(t)$ и в ткани $c_{tissue}(t)$. Необходимо вычислить характеристики мозгового кровотока, определяемые в каждой точке головного мозга: среднюю скорость мозгового кровотока, средний объём мозгового кровотока и среднее время доставки крови [2, 3].

Данные характеристики выражаются через функцию $k(t)$, которая задает связь между известными концентрациями с помощью уравнения свёртки:

$$c_{tissue}(t) = (c_{artery} * k)(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} c_{artery}(\xi)k(t - \xi) d\xi.$$

Для повышения качества перфузионных изображений на этапе предобработки был применён метод деформации пиксельной сетки. Для оценки оптимальных параметров алгоритма использовалась свёрточная нейронная сеть [4].

Задача обращения свёртки для поиска функции $k(t)$ является некорректной. Для её решения был использован метод регуляризации с помощью минимизации функционала полной вариации. Задача минимизации решалась с помощью метода ускоренного градиентного спуска Нестерова.

Для тестирования метода были сгенерированы модельные данные. К ним был добавлен белый аддитивный гауссовский шум. Метод был успешно протестирован на модельных данных и на данных реального пациента. Качество полученных результатов превосходит качество результатов, полученных классическим методом сингулярного разложения с использованием регуляризации Тихонова.

Работа проводилась в сотрудничестве с Национальным медицинским исследовательским центром нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко.

Литература

- [1] Axel Leon. Cerebral blood flow determination by rapid-sequence computed tomography: theoretical analysis // Radiology. 1980. Vol. 137, No. 3. P. 679–686.

- [2] Исследование тканевой перфузии головного мозга методом компьютерной томографии / В. Н. Корниенко, И. Н. Пронин, О. С. Пьяных, Л. М. Фадеева // Медицинская визуализация. 2016. № 2. С. 70–81.
- [3] Deconvolution-based CT and MR brain perfusion measurement: theoretical model revisited and practical implementation details / Andreas Fieselmann, Markus Kowarschik, Arundhuti Ganguly et al. // Journal of Biomedical Imaging. 2011. Vol. 2011. P. 14.
- [4] Nasonov A., Krylov A., Lyukov D. Image sharpening with blur map estimation using convolutional neural network // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019. Vol. XLII-2/W12. P. 161–166.

Гибридный метод подавления шума на изображениях

Работа удостоена диплома III степени

Пенкин Максим Александрович

Кафедра математической физики

e-mail: penkin97@gmail.com

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Крылов Андрей Серджемич

Подавление шума на изображениях — это классическая некорректная обратная задача обработки сигналов, состоящая в получении аппроксимации $z(\vec{x})$ оригинального изображения $z_0(\vec{x})$ по имеющемуся зашумленному изображению $u(\vec{x})$.

В работе был разработан гибридный метод шумоподавления на изображениях, позволяющий дополнительно улучшить существующие подходы уменьшения шума. Задачей выпускной квалификационной работы являлось проведение исследования возможностей такого метода. Предлагаемый подход заключается в двухэтапной обработке зашумлённого изображения: 1 этап — применение нейронной сети; 2 этап — применение классического метода шумоподавления.

Исследование алгоритма осуществлялось на аддитивном гауссовском шуме различной интенсивности $\sigma = \{15, 25, 50\}$. В качестве алгоритмов первого этапа были выбраны рекуррентные свёрточные нейронные сети:

- DRCN [1];
- NLRN [2].

В качестве алгоритмов второго этапа:

- билатеральная фильтрация [3];
- нелокальная фильтрация [4];
- метод полной вариации [5].

Дополнительно исследована модель DRCN для задачи шумоподавления, эмпирически выявлено оптимальное число рекурсий для гауссовского шума каждой рассматриваемой интенсивности $\sigma = \{15, 25, 50\}$.

Для анализа предлагаемой двухэтапной модели уменьшения шума была разработана программа на языке Python 3.6 с использованием фреймворка глубокого обучения TensorFlow 1.13. Нейронные сети были обучены на наборах данных BSD200 (обучение), BSD100 (валидация) с использованием оптимизатора Adam, облачного сервиса Google Colab и графического ускорителя NVIDIA Tesla K40.

Результаты исследования доказали эффективность разработанного двухэтапного гибридного подхода подавления шума на изображениях. Оптимальной архитектурой, исходя из средних показаний метрик оценки качества изображений PSNR/SSIM на выбранной тестовой базе данных Urban100, является DRCN плюс метод полной вариации.

Литература

- [1] Kim J., Kwon Lee J., Mu Lee K. Deeply-recursive convolutional network for image super-resolution // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. P. 1637–1645.
- [2] Liu D. et al. Non-local recurrent network for image restoration // Advances in Neural Information Processing Systems. 2018. P. 1673–1682.
- [3] Tomasi C., Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images // Iccv. 1998. Vol. 98. No 1. P. 2.
- [4] Buades A., Coll B., Morel J. M. A non-local algorithm for image denoising // 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). 2005. Vol. 2. P. 60–65.
- [5] Rudin L. I., Osher S. Total variation based image restoration with free local constraints // Proceedings of 1st International Conference on Image Processing. IEEE, 1994. Vol. 1. P. 31–35.

Метод совмещения биомедицинских изображений

Шумов Артём Алексеевич

Кафедра математической физики

e-mail: artemshumov498@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. с.н.с. Сорокин Дмитрий Васильевич

Совмещение изображений — процесс преобразования различных источников данных в одну систему координат. Совмещение является фундаментальной задачей обработки изображений, используемой для сопоставления двух или более снимков, взятых, например, в разное время, с разных датчиков или с разных точек зрения. Нежёсткий тип совмещения изображений включает в себя различные преобразования, способные локально деформировать целевое изображение для выравнивания его с эталонным изображением. Этот тип необходим в биомедицине [1], как, например, в моей задаче при работе с произвольно перемещающимся ядром живой клетки (рис. 1а, 1б).

В данной работе предложен и реализован метод совмещения биомедицинских изображений [2]. Поле деформации от изображения g_k к изображению

g_{k-1} вычисляется по следующей итерационной схеме:

$$\begin{cases} u_i(g_k, g_{k-1}) = G_D \cdot (u_{i-1}(g_k, g_{k-1}) + G_U \cdot u_i^*(g_k^*, g_{k-1})) \\ g_k^* = g_k(x + u_{i-1}(g_k, g_{k-1})) \end{cases}$$

где операция $*$ — свёртка с функцией Гаусса, $u_i^*(g_k^*, g_{k-1})$ — обновлённое поле деформации для $u_i(g_k, g_{k-1})$, а g_k^* — преобразованное изображение в момент времени k . Итоговое поле деформации $u(g_k, g_{k-1})$ получается после определённого количества итераций или когда среднеквадратичное отклонение интенсивности между изображениями g_{k-1} и g_k^* ниже определенного порогового значения.

В этой схеме поле $u_i^*(g_k^*, g_{k-1})$ вычислялось по-разному, в зависимости от рассматриваемого алгоритма совмещения изображений. Было рассмотрено 6 алгоритмов: алгоритм оптического потока (аналог метода наискорейшего спуска), алгоритм Лукаса—Канаде (аналог метода оптимизации Гаусса—Ньютона), взвешенный подход алгоритма Лукаса—Канаде (аналог метода оптимизации Левенберга—Марквардта), а также их симметричные версии, в которых используются оба градиента изображений g_k и g_{k-1} , что позволяет вычислить вектор $u_i^*(g_k^*, g_{k-1})$ областях, где хотя бы один из градиентов равен нулю [3].

Для численной оценки качества совмещения изображений с помощью рассмотренных алгоритмов мы использовали метрику, основанную на ключевых точках. Для последовательности изображений нашей задачи были размечены ключевые точки, которые соответствуют стабильным структурам в клетке изображения, не имеющим локального движения, а движущимся только за счет движения и деформации самой клетки. Используя эти ключевые точки можно посчитать величину ошибки отклонения приведённого изображения от первоначального.

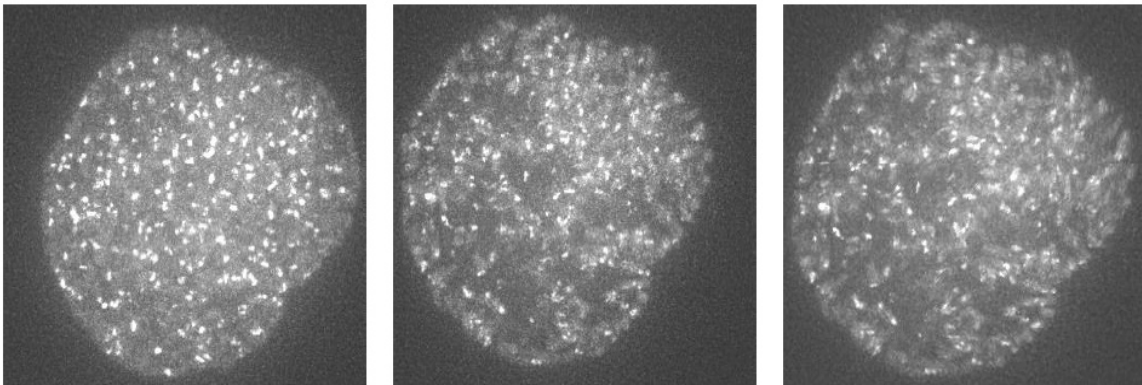


Рис. 1: Слева направо: а) — Ядро клетки в момент времени 0; б) — Ядро клетки в момент времени 35; в) — Совмещённое ядро клетки в момент времени 35 с помощью взвешенного алгоритма Лукаса—Канаде.

По результатам данной метрики были выявлены два наиболее эффективных алгоритма для решения моей задачи: симметричный подход алгоритма оптического потока и взвешенный алгоритм Лукаса—Канаде (рис. 1в).

Также рассмотренные алгоритмы были применены к последовательности изображений ткани мозга живого грызуна, что помогло частично избавиться от деформации сосудов и ткани.

Литература

- [1] Kim I. et al. Non-rigid temporal registration of 2D and 3D multi-channel microscopy image sequences of human cells // Biomedical Imaging: From Nano to Macro. ISBI 2007. IEEE, 2007. P. 1328–1331.
- [2] Kim I. H. et al. Nonrigid registration of 2-D and 3-D dynamic cell nuclei images for improved classification of subcellular particle motion // IEEE Transactions on Image Processing. 2011. Vol. 20, No. 4. P. 1011–1022.
- [3] Thirion J. P. Image matching as a diffusion process: an analogy with Maxwell's demons // Medical image analysis. 1998. Vol. 2, No. 3. P. 243–260.

Функции Грина модельных задач на уравнение Лапласа

Работа удостоена диплома II степени

Смирнов Матвей Станиславович

Кафедра вычислительных технологий и моделирования

e-mail: matsmir98@gmail.com

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Богатырев Андрей Борисович

Данная работа посвящена получению различных формул для функций Грина задачи Дирихле уравнения Лапласа. Для произвольной ограниченной области доказана теорема о представимости функции Грина сходящимся рядом по собственным функциям оператора Лапласа. Отдельно рассмотрена область в пространстве $\mathbb{R}^3$, являющаяся внутренностью двугранного угла (клина) с произвольным углом раствора α , и получена формула для функции Грина этой области в виде суммы двух контурных интегралов.

Функции Грина оператора Лапласа в ограниченных областях. Для ограниченной области можно получить разложение в ряд Фурье по собственным функциям оператора Лапласа. Более точно, выполнена теорема:

Теорема. Пусть $U \subset \mathbb{R}^n$ - ограниченная область. Тогда задача Дирихле оператора Лапласа Δ в области U обладает ортонормированным базисом собственных функций $\Delta f_n = -\lambda_n f_n$, $\lambda_n > 0$, $n = 1, 2, \dots$, и для функции Грина G области U имеет место равенство в пространстве $\mathcal{D}'(U \times U)$:

$$G(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda_n} f_n(x) f_n(y). \quad (1)$$

Этот ряд сходится в $L_2(U \times U)$ тогда и только тогда, когда $n \leq 3$.

Стоит отметить, что ряд (1), даже если он сходится в $L_2(U \times U)$, сложно использовать для вычислений. Тем не менее, данная формула может оказаться полезной из теоретических соображений, а также она может служить промежуточным шагом на пути получения более удобных формул.

Формула Макдональда. Результаты предыдущего параграфа можно также использовать для получения формул для функций Грина в неограниченных областях. Для этого, используя разделение переменных, выпишем формулу для функции Грина в области U , заданной в цилиндрической системе координат следующими ограничениями: $r < R$, $z \in (0, h)$, $\phi \in (0, \alpha)$.

$$G(r, \phi, z, r_0, \phi_0, z_0) = \frac{8}{h\alpha R^2} \times \sum_{n,m,p=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{\pi n \phi}{\alpha} \sin \frac{\pi m z}{h} J_{\frac{\pi n}{\alpha}} \left(\frac{\mu_p \left(\frac{\pi n}{\alpha} \right)}{R} r \right) \sin \frac{\pi n \phi_0}{\alpha} \sin \frac{\pi m z_0}{h} J_{\frac{\pi n}{\alpha}} \left(\frac{\mu_p \left(\frac{\pi n}{\alpha} \right)}{R} r_0 \right)}{\left(\left(\frac{\pi m}{h} \right)^2 + \left(\frac{\mu_p \left(\frac{\pi n}{\alpha} \right)}{R} \right)^2 \right) J_{\frac{\pi n}{\alpha}}^2 \left(\mu_p \left(\frac{\pi n}{\alpha} \right) \right)}. \quad (2)$$

Далее из (2) при помощи предельного перехода по параметрам h и R получается формула для функции Грина в клине с углом раствора α (Макдональд получил эту формулу из других соображений в статье [1]).

$$G(r, \phi, z, r_0, \phi_0) = \frac{1}{4\pi\alpha\sqrt{2rr_0}} \int_{\eta}^{+\infty} \left(\frac{\operatorname{sh} \frac{\pi\xi}{\alpha}}{\operatorname{ch} \frac{\pi\xi}{\alpha} - \cos \frac{\pi(\phi-\phi_0)}{\alpha}} - \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi\xi}{\alpha}}{\operatorname{ch} \frac{\pi\xi}{\alpha} - \cos \frac{\pi(\phi+\phi_0)}{\alpha}} \right) \frac{d\xi}{\sqrt{\operatorname{ch} \xi - \operatorname{ch} \eta}}, \quad (3)$$

$$\text{где } \operatorname{ch} \eta = \frac{r^2 + r_0^2 + z^2}{2rr_0}.$$

Формула в виде суммы двух контурных интегралов. Для клина с углом раствора $\alpha < \pi/2$ можно получить еще одно представление функции Грина. Богатырев А. Б. в 1991 году вывел эту формулу, используя преобразование Фурье—Лапласа и методы ТФКП. Получается следующая формула ($\gamma = x + iy$, $\gamma_0 = x_0 + iy_0$):

$$G(\gamma, z, \gamma_0) = \frac{i}{16\pi\alpha} \int_{\Gamma_2} \frac{t^{\frac{\pi}{\alpha}} + 1}{t^{\frac{\pi}{\alpha}} - 1} \frac{dt}{t} \frac{1}{\sqrt{z^2 + \left(\gamma - \frac{\gamma_0}{t} \right) (\bar{\gamma} - \gamma_0 t)}} - \frac{i}{16\pi\alpha} \int_{\Gamma_1} \frac{t^{\frac{\pi}{\alpha}} + 1}{t^{\frac{\pi}{\alpha}} - 1} \frac{dt}{t} \frac{1}{\sqrt{z^2 + \left(\gamma - \frac{\gamma_0}{t} \right) (\bar{\gamma} - \gamma_0 t)}} + \frac{1}{4\pi\sqrt{z^2 + |\gamma - \gamma_0|^2}}. \quad (4)$$

Контур Γ_1 есть пара полупрямых на комплексной плоскости, выходящих из точки 0 под углом α к положительной вещественной полуоси. Направление обхода этого контура следующее: от бесконечности к нулю по прямой в нижней полуплоскости и затем обратно по прямой в верхней полуплоскости. Контур Γ_2 есть контур Γ_1 , повернутый на угол α по часовой стрелке. Особые точки 1 и $e^{-2i\alpha}$ обходятся на контуре Γ_2 с внутренней стороны.

При $\alpha = \pi/n$, $n \in \mathbb{N}$, интегралы в формуле (4) вычисляются при помощи теории вычетов. Получается сумма потенциалов точечных зарядов, совпадаю-

шая с формулой метода отражений:

$$G(\gamma, z, \gamma_0) = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{4\pi} \frac{1}{\sqrt{z^2 + |\gamma - \gamma_0 e^{-\frac{2\pi i k}{n}}|^2}} - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{4\pi} \frac{1}{\sqrt{z^2 + |\gamma - \bar{\gamma}_0 e^{-\frac{2\pi i k}{n}}|^2}}. \quad (5)$$

Литература

- [1] Macdonald H. M. The electrical distribution on a cylinder bounded by two spherical surfaces cutting at any angle // Proc. London Math. Soc. 1895. 206. P. 156–172
- [2] Владимиров В. С. Уравнения математической физики. М. : Наука, 1981. 512 с.
- [3] Шубин М. А. Лекции об уравнениях математической физики. М. : МЦНМО, 2003. 303 с.

Математическое моделирование гемодинамики в прикладных задачах акушерства

Василенко Дарья Валерьевна

Кафедра вычислительных методов

e-mail: dariavasilenko0702@yandex.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Мухин Сергей Иванович

В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с математическим моделированием течения крови по сердечно-сосудистой системе человека. Эта задача представляет собой математическое моделирование течения жидкости (крови) по системе эластичных трубок (сосудов).

Существует множество практически важных медицинских проблем, которые требуют очень аккуратных и точных исследований течения крови, как во всем организме, так и в отдельных органах или сосудах. Достаточно упомянуть исследование течения крови в стенозированных и тромбированных сосудах, моделирование кровотока при наличии стентов, шунтов и фильтров, течений в бифуркациях сосудов и при аневризмах и ряд других исследований, связанных с проблемами сердечно-сосудистой системы человека. Непосредственное (экспериментальное) исследование таких процессов очень часто затруднено. Тем самым математическое моделирование кровообращения является одним из важных методов исследования.

В данной работе рассматривается одна из таких проблем, возникающая в области гинекологии и акушерства. Это преэклампсия — тяжелый токсикоз беременности, который может возникать у женщин во время вынашивания ребенка, во время родов, либо в послеродовом периоде, то есть в течение 6–8 недель после родов.

Кровоснабжение внутреннего слоя матки происходит за счет мельчайших спиральных сосудов [1]. В ходе беременности, часть этих сосудов, снабжающая кровью развивающуюся плаценту, меняет свою форму, ремоделируется. С целью увеличения кровотока между плацентой и плодом и обеспечения

плода достаточным количеством питательных веществ спиральные сосуды превращаются в широкие воронки. И большинство ученых-медиков склоняется к теории, что недостаточное расширение этих самых спиральных сосудов как раз и может приводить к осложнениям течения беременности, таким как преэклампсия.

Данная выпускная квалификационная работа посвящена разработке модели маточного кровообращения с использованием программного комплекса CVSS [2, 3] и дальнейшей интеграции построенной модели в общую модель сердечно-сосудистой системы человека. В работе изучается физиология сосудистой системы внутренних половых органов женщины, и особое внимание уделяется выделению отличительных особенностей кровоснабжения стенок матки.

В данной работе были проведены расчеты по верификации модели, которые показывают, что построенная система кровеносных сосудов внутренних женских половых органов правильно описывает кровоток в маточных, влагалищных, яичниковых, аркуатных, радиальных, трубных сосудах не только количественно, но и качественно. Так, например, построенная модель правильно воспроизводит такую качественную особенность кровотока, как ее «спектр».

Также с помощью построенных моделей было проведено исследование распределения значений функций скорости, потоков и давлений в радиальных сосудах в зависимости от места их расположения в стенках матки.

Литература

- [1] Сергиенко В. И., Петросян Э. А., Фраучи С. И. Топографическая анатомия и оперативная хирургия; В 2 т. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2007. Т. 2. 592 с.
- [2] Буничева А. Я., Лукшин В. А., Мухин С. И., Соснин Н. В., Фаворский А. П. Численное исследование гемодинамики большого круга кровообращения: Препринт. М. : МАКС Пресс, 2001. 21 с.
- [3] Кошелев В. Б., Мухин С. И., Соснин Н. В., Фаворский А. П. Математические модели квазиодномерной гемодинамики: Методическое пособие М. : МАКС Пресс, 2010. 116 с.

Математическое моделирование течения крови в сосудах со сложной морфологией

Работа удостоена диплома II степени

Парфёнов Арсений Евгеньевич

Кафедра вычислительных методов

e-mail: arс-parfenov@yandex.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Мухин Сергей Иванович

Для описания течения крови в сердечно-сосудистой системе используется квазиодномерная модель гемодинамики [1]. При решении некоторых прикладных задач возникает необходимость более детального воспроизведения

особенностей течения в отдельных сосудах. В работе рассматривается трехмерная модель течения в спиральном сосуде при некоторых упрощениях, далее производится редукция к квазиодномерной модели.

Уравнения Навье—Стокса для несжимаемой жидкости [2] записываются в специальной системе координат относительно компонент скорости u, v, w и давления p [3], после чего для их решения используется асимптотическое разложение по безразмерной кривизне сосуда ϵ , полагающейся малой [4]:

$$u = u_0(r) + \epsilon u_1(r, \beta) + \epsilon^2 u_2(r, \beta) + \dots, \quad v = \epsilon v_1(r, \beta) + \epsilon^2 v_2(r, \beta) + \dots, \\ p = p_0(s) + \epsilon p_1(r, \beta) + \epsilon^2 p_2(r, \beta) + \dots, \quad w = \epsilon w_1(r, \beta) + \epsilon^2 w_2(r, \beta) + \dots.$$

Данное представление приводит к последовательности линейных систем уравнений, которые могут быть схематично записаны следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial r} p_n + \frac{1}{Re} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \beta} M_n &= A_n & \frac{\partial}{\partial r} v_n + \frac{1}{r} v_n + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \beta} w_n &= C_n \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \beta} p_n - \frac{1}{Re} \frac{\partial}{\partial r} M_n &= B_n & \frac{\partial}{\partial r} w_n + \frac{1}{r} w_n - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \beta} v_n &= M_n \\ \frac{\partial^2}{\partial r^2} u_n + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} u_n + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} u_n &= \Delta_n \end{aligned}$$

Алгоритм решения систем описан и реализован в работе.

Для одномерного описания спиральных сосудов можно использовать соотношение для потоков $Q/Q_s = 1 - \frac{\epsilon^2}{48} \left[\frac{1541}{67200} \left(\frac{Re}{6} \right)^4 + \frac{11}{10} \left(\frac{Re}{6} \right)^2 - 1 \right] + O(\epsilon^4)$. В работе предлагаются два способа редукции:

1. Пренебрегая изменением параметров течения, можно скорректировать длину и поперечное сечение прямого сосуда с сохранением объема и требуемым изменением сопротивления.

2. Можно скорректировать выражение для силы трения в правой части уравнения движения квазиодномерной системы уравнений с требуемым изменением потока в предположении стационарности.

Литература

- [1] Математические модели квази-одномерной гемодинамики: Методическое пособие / В. Б. Кошелев, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, А. П. Фаворский : М. МАКСПресс, 2010.
- [2] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. VI. Гидродинамика. М. : Наука, 1986.
- [3] Germano M. On the effect of torsion on a helical pipe flow // Journal of Fluid Mechanics. 1982. Vol. 125. P. 1–8.
- [4] Vasudevaiah M., Rajalakshmi R. Flow in a helical pipe // Journal of Pure and Applied Mathematics. 1988. 19(1). P. 75–85.

Математическое моделирование течений вязкого газа между коаксиально вращающимися цилиндрами в изотермическом приближении

Чернышева Дарьяна Дмитриевна

Кафедра вычислительных методов

e-mail: dariana1997@yandex.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Абакумов Михаил Владимирович

Рассматривается система уравнений газовой динамики [1]. Система содержит уравнение неразрывности, движения и замыкается изотермическим уравнением состояния. Диссипативные свойства газа описываются тензором вязких напряжений в уравнении движения.

Для численного решения указанной системы уравнений используются явные консервативные разностные схемы годуновского типа [2]. Потoki в схеме первого порядка рассчитываются методом Роу, основанном на приближенном решении задачи Римана. Модификация Эйнфельдта позволяет избежать нефизических разрывов, возникающих в случае, когда волна разрежения содержит звуковую точку. Для повышения порядка аппроксимации до третьего разностные потоки корректируются методом Ошера, основанном на использовании нелинейных ограничителей потока. Разностные схемы тестируются на одномерных задачах о распаде произвольного разрыва [3]. В работе проводится сравнение результатов расчетов по схемам первого и повышенного порядка аппроксимации. В частности, показывается, что решение по схеме Роу—Эйнфельдта—Ошера [4] практически совпадает с точным.

Разностные схемы для расчета течений вязкого газа в цилиндрических координатах строятся по методике, описанной в работе [5]. За основу берется произвольная декартова схема годуновского типа. Аппроксимируются интегральные соотношения баланса массы и импульса по объему криволинейной разностной ячейки. Полученные соотношения выражаются через потоки базовой декартовой схемы. Для учета влияния тензора вязких напряжений вводятся добавки к разностным потокам.

В качестве основной задачи рассматривается задача моделирования течений вязкого газа в пространстве между двумя соосными вращающимися цилиндрами в изотермическом приближении. При этом периодические вихревые течения между бесконечными цилиндрами приходится моделировать в ограниченной расчетной области. Это требует подбора ее высоты в зависимости от прочих параметров расчета. На поверхностях цилиндров задаются условия прилипания, а на верхней и нижней границах области — условия непротекания. Условие непротекания означает отсутствие осевой компоненты скорости и является характерным для границы между двумя вихревыми ячейками. Характер течения между цилиндрами определяется такими параметрами, как соотношение угловых скоростей цилиндров, число Маха и число Рейнольдса.

В начальный момент времени газ находится в состоянии покоя и приходит в движение исключительно за счет вязкого трения. Расчеты проводятся в одном слое разностных ячеек при фиксированном значении полярного угла в предположении цилиндрической симметрии. На начальной стадии наблюдается безвихревое течение, далее развивается так называемое вторичное вихревое течение. При сонаправленном вращении по высоте цилиндра возникает один ряд вихревых ячеек, при разнонаправленном — два ряда. Проведенные в работе исследования показывают, что характерной особенностью изотермического приближения по сравнению с более общим случаем [5] являются малые отклонения плотности от изначального распределения.

Коротко перечислим основные результаты. В работе построены схемы Роу—Эйнфельдта и Роу—Эйнфельдта—Ошера для изотермического приближения. Проведены расчеты течений вязкого газа между вращающимися цилиндрами в предположении, что температура газа постоянна. Проанализирован характер течения в зависимости от безразмерных параметров задачи. В частности, показано, что с увеличением числа Маха сильнее проявляется фактор сжимаемости газа, а число Рейнольдса оказывает существенное влияние на размеры вихревых ячеек.

Литература

- [1] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. VI. Гидродинамика. М. : Наука, 1986. 736 с.
- [2] Годунов С. К. Разностный метод численного расчета разрывных решений гидродинамики // Математический сборник. 1959. Т. 47(89), № 3. С. 271–306.
- [3] Самарский А. А., Попов Ю. П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М. : Наука, 1992. 424 с.
- [4] Chakravarthy S. R., Osher S. A new class of high accuracy TVD schemes for hyperbolic conservation laws // AIAA Pap. 1985. № 85-0363. P. 1–11.
- [5] Абакумов М. В. Математическое моделирование течений вязкого газа в пространстве между двумя коаксиально вращающимися концентрическими цилиндрами и сферами // ЖВМ и МФ. 2019. Т. 59, № 3. С. 409–428.

Спектральные свойства задачи Коши для оператора второго порядка с инволюцией

Работа удостоена диплома III степени

Иоффе Виталия Леонидовна

Кафедра общей математики

e-mail: vitaioffe@yandex.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Крицков Леонид Владимирович

Рассматривается дифференциальная операция $Lu = -u''(x) + \alpha u''(-x)$, на интервале $x \in (-1, 1)$ с параметром $\alpha \in (-1, 0) \cup (0, 1)$, в аргументе второго

слагаемого которой присутствует простейшая инволюция — отражение. Для данной операции исследуется краевая задача на собственные значения:

$$\begin{cases} Lu = \rho^2 u(x), \\ u(-1) = 0, \\ u'(-1) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Данная задача не является самосопряжённой.

Утверждение 1. *Сопряжённой задачей к задаче (1) является задача:*

$$\begin{cases} Lv = \rho^2 v(x), \\ \alpha v(-1) = v(1), \\ v'(1) = -\alpha v'(-1). \end{cases} \quad (2)$$

Кратность спектра исследуемой задачи зависит от значения параметра $\varkappa$, $\varkappa = \frac{\sqrt{1-\alpha}}{\sqrt{1+\alpha}}$.

Утверждение 2. *При любом рациональном параметре $\varkappa$ вида $\frac{2k}{2n+1}$, где $k, n \in \mathbb{Z}$, спектр задачи (1) содержит бесконечно много трёхкратных собственных значений. Более того, при остальных положительных значениях параметра $\varkappa$ кратных собственных значений нет.*

Далее исследуется частный случай задачи (1) при $\varkappa = 2$ (т. е. при $\alpha = -3/5$). Задача при данном значении параметра имеет характерную особенность — все собственные значения трёхкратны. Доказан ряд утверждений, описывающих вид собственных и присоединённых функций прямой и сопряжённой задач, а также их функциональные свойства.

Утверждение 3. *Система корневых функций при $\varkappa = 2$ задачи (1) состоит из функций (здесь $\mu = \frac{\rho}{\sqrt{1-\alpha}} = \frac{\pi}{2} + \pi k$, $\lambda = \rho^2$ — собственные значения):*

$$\begin{aligned} u_k^{(0)}(x) &= (-1)^k \sin 2\mu x + 2 \cos \mu x, \\ u_k^{(1)}(x) &= \frac{1}{(1-\alpha)\mu} x (-\sin \mu x + (-1)^k \cos 2\mu x), \\ u_k^{(2)}(x) &= -\frac{1}{2(1-\alpha)^2 \mu^2} \left(x^2 (2(-1)^k \sin 2\mu x + \cos \mu x) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{x}{\mu} ((-1)^k \cos 2\mu x - \sin \mu x) - \frac{3}{2} (-1)^k \sin 2\mu x \right). \end{aligned}$$

Для сопряжённой задачи (2):

$$\begin{aligned} v_k^{(0)}(x) &= 2(-1)^{k+1} \sin 2\mu x + \cos \mu x, \\ v_k^{(1)}(x) &= \frac{1}{2(1-\alpha)\mu} x (-\sin \mu x + 4(-1)^{k+1} \cos 2\mu x), \end{aligned}$$

$$v_k^{(2)}(x) = \frac{1}{8(1-\alpha)^2\mu^2} \left(x^2(8(-1)^k \sin 2\mu x - \cos \mu x) + \right. \\ \left. + \frac{x}{\mu}(\sin \mu x + 4(-1)^k \cos 2\mu x) - 6(-1)^k \sin 2\mu x \right).$$

Здесь $u_k^{(0)}(x)$, $v_k^{(0)}(x)$ — собственные функции, остальные же являются соответствующими присоединёнными функциями.

Утверждение 4. Корневые функции задач (1) и (2) можно модифицировать так, чтобы они образовывали биортогональную систему, при этом модифицированные функции равномерно по μ удовлетворяют неравенствам:

$$\exists C > 0 : \|\tilde{u}_k^{(0)}\| \|\tilde{v}_k^{(2)}\| \leq C, \|\tilde{u}_k^{(1)}\| \|\tilde{v}_k^{(1)}\| \leq C, \|\tilde{u}_k^{(2)}\| \|\tilde{v}_k^{(0)}\| \leq C.$$

Теорема 1. Системы собственных и присоединённых функций задач (1) и (2) полны в $L_2[-1, 1]$ при любом $\alpha \in (-1, 0) \cup (0, 1)$.

Теорема 2. Системы собственных и присоединённых функций задач (1) и (2) образуют безусловные базисы в $L_2[-1, 1]$, т. е. спектральные разложения произвольной функции $f \in L_2[-1, 1]$ сходятся абсолютно по норме $L_2[-1, 1]$ к f .

Литература

- [1] Крицков Л. В., Сарсенби А. М. Базисность Рисса системы корневых функций дифференциального оператора второго порядка с инволюцией // Дифференциальные уравнения, Т. 53, № 1, С. 35–48.
- [2] Ильин В. А., Крицков Л. В. Свойства спектральных разложений, отвечающих несамосопряженным дифференциальным операторам // Функциональный анализ. Т. 96 серии Итоги науки и техники. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. М. : ВИНТИ, 2006. С. 190–231.
- [3] Наймарк М. А. О некоторых признаках полноты системы собственных и присоединённых векторов линейного оператора в гильбертовом пространстве // Докл. АН СССР. 1954. 98:5. С. 727–730.
- [4] Cabada A., Tojo F. Adrián F. Differential Equations with Involutions // Atlanta Press. 2015.

Исследование нелинейного интегрального уравнения, возникающего в модели биологических сообществ

Работа удостоена диплома I степени

Николаев Михаил Викторович

Кафедра общей математики

e-mail: nikolaev.mihail@inbox.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Никитин Алексей Антонович

В данной работе рассматривается модель самоструктурирующихся биологических сообществ, предложенная Ульфом Дикманом и Ричардом Лоу в [1, 2].

Ставится задача о нахождении ненулевого состояния равновесия одновидового сообщества. Показывается, что данная задача эквивалентна задаче о нахождении нетривиального решения уравнения

$$\left(\bar{\omega} + b - \frac{\alpha}{2} \left(b - d - \frac{d'(b-d)}{Y} \right) \right) Q = \frac{Y\bar{m}}{b-d} - \bar{\omega} + [\bar{m} * Q] - \alpha \frac{b-d}{2Y} \left((Q+2)[\bar{\omega} * Q] + [\bar{\omega}Q * Q] \right). \quad (1)$$

Здесь $Q = Q(x)$ — неизвестная функция, b, d, d' — неотрицательные константы, определяющие характеристики биологического вида и изотропной среды обитания, α — число из отрезка $[0; 1]$, $\bar{m} = bm$, $\bar{\omega} = d'\omega$, $m = m(x)$ и $\omega = \omega(x)$ — неотрицательные суммируемые сферически симметричные стремящиеся к нулю на бесконечности функции, удовлетворяющие условию $\int_{\mathbb{R}} m(x) dx = \int_{\mathbb{R}} \omega(x) dx = 1$, а $Y = Y(Q) = \int_{\mathbb{R}} (Q(x) + 1) \bar{\omega}(x) dx$. Численное исследование данной задачи было проведено в [3].

Введем оператор

$$\mathcal{A}f = \frac{\frac{Y\bar{m}}{b-d} - \bar{\omega} + [\bar{m} * f] - \alpha \frac{b-d}{2Y} \left((f+2)[\bar{\omega} * f] + [\bar{\omega}f * f] \right)}{\bar{\omega} + b - \frac{\alpha}{2} \left(b - d - \frac{d'(b-d)}{Y} \right)}, \quad (2)$$

называемый оператором равновесия. Видно, что разрешимость уравнения (1) равносильна существованию неподвижной точки оператора (2).

В работе найдены достаточные условия существования и единственности неподвижной точки оператора равновесия в случае, когда функции $m(x)$ и $\omega(x)$ дополнительно являются непрерывными. Отметим, что оператор (2) рассматривается как действующий в пространстве $L_1(\mathbb{R})$. В дальнейшем под $B(R)$ будем обозначать множество $\{f \in L_1(\mathbb{R}) : \|f\|_1 \leq R\}$.

Представим оператор (2) в виде суммы $\mathcal{A} = \mathcal{K} + \mathcal{S}$, где

$$\mathcal{K}f = \frac{\frac{Y\bar{m}}{b-d} - \bar{\omega} + [\bar{m} * f] - \alpha \frac{b-d}{Y} [\bar{\omega} * f]}{\bar{\omega} + b - \frac{\alpha}{2} \left(b - d - \frac{d'(b-d)}{Y} \right)},$$

$$\mathcal{S}f = -\alpha \frac{b-d}{2Y} \cdot \frac{f[\bar{\omega} * f] + [\bar{\omega}f * f]}{\bar{\omega} + b - \frac{\alpha}{2} \left(b - d - \frac{d'(b-d)}{Y} \right)}.$$

Идея такого разложения заключается в отделении компактной части оператора от некомпактной.

Теорема 1. Пусть $b > d \geq 0$, $d' > 0$, $\alpha \in [0; 1]$, тогда, при условии, что $R < \frac{1}{\|\omega\|_C}$, оператор $\mathcal{K}$ определен, как действующий из $B(R)$ в $L_1(\mathbb{R})$ и является компактным.

Теорема 2. В условиях теоремы 1, если $\rho = 1 - R\|\omega\|_C > 0$ и $\alpha > 0$, то $\exists d' \in \left(0; \frac{3}{4}\rho\right)$ такое, что оператор $\mathcal{K}$ имеет в $B(R)$ неподвижную точку.

Теорема 3. Пусть выполнены условия теорем 1 и 2. Если $\alpha > 0$, то при достаточно малом d' оператор $\mathcal{A}$ имеет в $B(R)$ неподвижную точку.

Теорема 4. В условиях теоремы 3 существуют такие константы $b > d \geq 0$ и настолько малое $d' > 0$, что оператор $\mathcal{A}$ имеет в шаре $B(R)$ единственную неподвижную точку.

Основным результатом работы является нахождение достаточных условий, гарантирующих существование и единственность нетривиального состояния равновесия одновидового биологического сообщества. Отметим, что тривиальное состояние равновесия существует всегда.

Литература

- [1] Dieckmann U., Law R. Moment approximations of individual-based models // The Geometry of Ecological Interactions: Simplifying Spatial Complexity / Ed. by U. Dieckmann, R. Law, J. Metz. Cambridge University Press. 2000. P. 252–270.
- [2] Dieckmann U., Law R. Relaxation projections and the method of moments // The Geometry of Ecological Interactions: Simplifying Spatial Complexity / Ed. by U. Dieckmann, R. Law, J. Metz. Cambridge University Press. 2000. P. 412–455.
- [3] Никитин А. А., Николаев М. В. Исследование интегрального уравнения равновесия с ядрами-куртозианами в пространствах различных размерностей // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. 2018. № 3. С. 11–19.

Применение генерирующих матриц для решения задач оптимизации

Блохина Анна Владимировна

Кафедра исследования операций

e-mail: anyta0160@gmail.com

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

Пусть $\{X_n\}_{n \geq 0}$ — цепь Маркова с непрерывным временем, $P(t)$ — матрица переходов с непрерывным временем, S — пространство состояний и Q — генерирующая матрица

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1N} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{N1} & q_{N2} & \dots & q_{NN} \end{pmatrix}$$

где элементы q_{ij} определяют скорость перехода из состояний i в состояние j . Связь элементов генерирующей матрицы и матрицы переходов:

$$q_{ij} = \lim_{h \rightarrow 0+} \frac{p_{ij}(h) - 0}{h} \quad i \neq j$$

$$q_{ii} = \lim_{h \rightarrow 0+} \frac{p_{ii}(h) - 1}{h}$$

где h — временной шаг.

Оценка размера досоздаваемого банковского резерва. Рассмотрим генерирующие матрицы как инструмент оценки размера досоздаваемого резерва [1, 2]. Пусть $S = \{1, 2, \dots, n\}$ — множество рейтинговых оценок, где 1 — лучший рейтинг, n — состояние дефолта, α_k — размер резерва (в процентах от ссуды), который должен быть сформирован по ссуде заемщика, входящего в группу k , $\{L_m\}_{m \in N}$ — множество ссуд, составляющих кредитный портфель банка. Тогда досоздаваемый резерв для ссуды L_m :

$$R_{m_{ij}} = L_m(\alpha_j - \alpha_i).$$

Средний размер резерва, который должен быть доформирован для ссуды L_m :

$$R_m = \sum_{j>i} L_m(\alpha_j - \alpha_i)q_{ij}.$$

Тогда размер резерва для всего портфеля будет иметь вид

$$R = \sum_{m \in N} \sum_{j>i} L_m(\alpha_j - \alpha_{i_m})q_{i_m j}.$$

Проблема регуляризации. Моделирование кредитного портфеля требует расчета вероятностей переходов за промежутки времени менее одного года, поэтому возникает проблема нахождения матрицы переходов X такой, что $X^t = A$, где t — временной период.

При прямом извлечении корня из матрицы A результат может не принадлежать множеству матриц переходов $TM(n)$. Решение проблемы: аппроксимация матрицы переходов [3], т. е. найти $\tilde{X} \in TM(n)$ такую, что

$$\|\tilde{X}^t - A\| = \min_{X \in TM(n)} \|X^t - A\|.$$

Некоторые методы решения вышеуказанной задачи.

Задача квази-оптимизации корневой матрицы (Quasi-optimization of the root matrix, QOM): найти $\hat{X} \in TM(n)$ такую, что

$$\|\hat{X} - A^{1/t}\| = \min_{X \in TM(n)} \|X - A^{1/t}\|.$$

Задача квази-оптимизации генерирующей матрицы (Quasi-optimization of the generator, QOG): найти $\hat{G} \in G(n)$ такое, что

$$\|\hat{G} - \ln(A)\| = \min_{X \in G(n)} \|X - \ln(A)\|.$$

Исследование результатов. Были проведены исследования, которые показали, что:

- Метод QOM лучше аппроксимирует исходную матрицу переходов на меньшие промежутки времени;
- Метод QOG более устойчив к возмущениям исходной матрицы переходов в сравнении с методом QOM;
- Метод QOM более устойчив во времени;
- Метод QOG не так вычислительно затратен (вычисляя логарифм исходной матрицы однажды, мы можем использовать результат для вычисления многих последующих матриц переходов).

Литература

- [1] Стежкин А. А. Применение матриц миграций в задачах оценки и управления кредитным риском банков в рамках подхода на основе внутренних рейтингов заемщиков // Пробл. управл., 2016. № 4. С. 37–44.
- [2] Gunnvald R. Estimating Probability of default using migrations in discrete and continuous time, 2014.
- [3] Kreinin A., Sidelnikova M. Regularization algorithms for transition matrices // Algo Research Quarterly 4, 2001. P. 23–40.

Ускорение сходимости метода Ньютона к особым решениям систем нелинейных уравнений

Работа удостоена диплома III степени

Родин Иван Сергеевич

Кафедра исследования операций

e-mail: del.ris@yandex.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Измаилов Алексей Феридович

Метод Ньютона является эффективным средством численного решения нелинейных уравнений. При традиционных предположениях метод Ньютона обладает сверхлинейной скоростью сходимости. Однако при наличии неизолированных решений, такой метод имеет тенденцию сходимости к решениям, вблизи которых скорость сходимости снижается [1].

В [2] было показано, что при естественных предположениях имеет место линейная сходимость метода Ньютона к особому решению из асимптотически плотной звёздной относительно него области. При этом указанные предположения могут выполняться только в критических решениях. Ускорить сходимость можно с помощью известных средств, таких как экстраполяция и оверрелаксация [3].

Основной целью данной работы является численное исследование и тестирование средств ускорения метода Ньютона при сходимости к особым решениям: экстраполяции, двухшаговой и трёхшаговой оверрелаксации метода Ньютона. При этом особое внимание уделяется вопросу о совмещении этих

средств с глобализацией сходимости метода Ньютона посредством одномерного поиска. Тестирование подтверждает установленную ранее теоретически тенденцию к асимптотическому принятию такими алгоритмами полного ньютоновского шага, что является ключевым фактором для успеха алгоритмов с ускорением [4].

В результате локальных экспериментов было установлено, что поведение методов экстраполяции и двухшаговой оверрелаксации вблизи решения соответствует теоретическим результатам о локальной сходимости данных методов. В частности, использование этих средств значительно уменьшает требуемое количество итераций по сравнению с методом Ньютона.

Глобальные эксперименты демонстрируют, что все рассматриваемые в данной работе алгоритмы имеют одинаковую робастность. Алгоритм, использующий экстраполяцию, имеет преимущество над другими алгоритмами по эффективности, поэтому теоретические результаты о сходимости метода Ньютона, глобализованного с помощью одномерного поиска, делают экстраполяцию перспективным способом ускорения метода Ньютона. Оверрелаксация также имеет высокие показатели эффективности, но уступает по этому показателю экстраполяции. Последнее может быть следствием того, что рассматриваемые в этой работе способы глобализации алгоритмов с оверрелаксацией носят эвристический характер. Разработка более эффективных и теоретически обоснованных способов глобализации станет темой дальнейших исследований.

Литература

- [1] Izmailov A. F., Solodov M. V. Critical Lagrange multipliers: what we currently know about them, how they spoil our lives, and what we can do about it // TOP. 2015. V. 23. P. 27–31.
- [2] Griewank A. O. Starlike domains of convergence for Newton's method at singularities // Numer. Math. 1980. V. 35 P. 95–111.
- [3] Griewank A. O. Analysis and modification of Newton's method at singularities: Dissertation. Australian National University, Canberra, 1980.
- [4] Fischer A., Izmailov A. F., Solodov M. V. Unit stepsize for the Newton method close to critical solutions. 2019. Manuscript.

Модель конкуренции Лотки—Вольтерры в задачах оптимального управления лечением рака

Работа удостоена диплома I степени

Клименкова Анна Дмитриевна

Кафедра оптимального управления

e-mail: klimenkovaad@mail.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Хайлов Евгений Николаевич

На сегодняшний день рак является одной из самых распространённых причин смерти в мире. В 2018 году врачи диагностировали более 18 млн. случаев онкологических заболеваний и около 9,6 млн. из них имели летальный исход.

Причины такой высокой смертности заключаются в том, что рак — многоуровневое заболевание с множеством различных проявлений. Поэтому возникает острая необходимость в разработке методов и средств ранней диагностики и лечения этого заболевания.

Значительный вклад в решение данной проблемы вносит математическое моделирование, которое позволяет описать поведение клеток и органов до болезни, при её развитии и лечении. Для описания взаимодействия раковых и здоровых клеток в процессе лечения таких раковых заболеваний, как лимфома, миелома и лейкоз, используется модель конкуренции Лотки—Вольтерры. Для поиска эффективных стратегий лечения широко используется теория оптимального управления.

Постановка задачи. На заданном отрезке времени лечения $[0, T]$ рассматривается нелинейная автономная управляемая система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = r(1 - \kappa_1 w(t))(1 - x(t) - a_{12}y(t))x(t) - m_1 u(t)x(t), \\ \dot{y}(t) = (1 - \kappa_2 w(t))(1 - y(t) - a_{21}x(t))y(t) - m_2 u(t)y(t), \\ x(0) = x_0, y(0) = y_0; x_0, y_0 > 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $x(t)$ и $y(t)$ отражают концентрации здоровых и раковых клеток соответственно. Управляющие функции $u(t)$ и $w(t)$ отражают разные виды терапии, а именно: $u(t)$ задаёт концентрацию лекарственного препарата или интенсивность терапии, непосредственно убивающей раковые клетки, а $w(t)$ определяет концентрацию лекарственного препарата или интенсивность терапии, подавляющей пролиферацию (деление) раковых клеток. Коэффициенты r, a_{12}, a_{21} являются положительными параметрами системы: r отражает внутреннюю скорость роста здоровых клеток, a_{12} — скорость инактивации здоровых клеток раковыми, a_{21} — скорость инактивации раковых клеток здоровыми. Положительные величины m_1, m_2 задают уровни смертности популяций соответственно здоровых и раковых клеток при лечении, убивающей раковые клетки. Положительные величины κ_1, κ_2 определяют уровни пролиферации популяций соответственно здоровых и раковых клеток при лечении, подавляющем деление раковых клеток. Управляющие функции здесь подчинены ограничениям:

$$0 \leq u(t) \leq u_{\max} \leq 1, \quad 0 \leq w(t) \leq w_{\max} < \min\{\kappa_1^{-1}, \kappa_2^{-1}\}. \quad (2)$$

Считаем справедливыми неравенства:

$$a_{12}a_{21} \neq 1, \quad m_2 > m_1, \quad \kappa_2 > \kappa_1.$$

Второе и третье неравенства отражают естественное требование более сильного воздействия рассматриваемых способов лечения на популяцию раковых клеток, чем на популяцию здоровых клеток.

Под множеством допустимых управлений $\Omega(T)$ понимаются всевозможные пары измеримых по Лебегу функций $(u(t), w(t))$, которые при почти всех $t \in [0, T]$ удовлетворяют ограничениям (2). Тогда ограниченность, положительность и продолжимость решений системы (1) устанавливаются следующей леммой.

Лемма 1. Для произвольных допустимых управлений $u(t)$, $w(t)$ соответствующее абсолютно непрерывное решение $(x(t), y(t))$ системы (1) определено на всем отрезке $[0, T]$, и выполнены неравенства:

$$0 < x(t) < x_0 e^{rT}, \quad 0 < y(t) < y_0 e^T, \quad t \in (0, T].$$

Для системы (1) на множестве допустимых управлений $\Omega(T)$ рассматриваем задачу минимизации функционала:

$$J(u, w) = y(T) - \alpha x(T), \quad (3)$$

который представляет собой взвешенную разность концентраций раковых и здоровых клеток в конечный момент времени T периода лечения $[0, T]$. Здесь α есть положительный весовой коэффициент.

Рассматриваются задачи поиска оптимальных стратегий для трёх частных случаев лечения: при терапии, непосредственно уничтожающей раковые клетки ($w(t) \equiv 0$); при терапии, подавляющей деление раковых клеток ($u(t) \equiv 0$); при терапии, одновременно уничтожающей и подавляющей деление раковых клеток ($w(t) \equiv u(t)$).

Лемма 1 гарантирует существование в соответствующих задачах минимизации (3) оптимальных управлений $u_*(t)$ и $w_*(t)$ и отвечающих им оптимальных решений $(x_*(t), y_*(t))$.

В работе для каждого случая приведено аналитическое исследование, найдены виды оптимальных управлений и даны результаты численных расчётов, выполненных в среде «ВОСОР-2.1.0», иллюстрирующие теоретические выводы. Присутствуют примеры лечений, которые приводят пациента к полному выздоровлению или же к замедлению развития болезни.

Литература

- [1] Ли Э. Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления : перев. с англ. М. : «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1972. 576 с.
- [2] Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. М. : «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1983. 392 с.

Робастная стабилизация неопределённых нестационарных линейных объектов

Работа удостоена диплома I степени

Крылов Павел Александрович

Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления

e-mail: pavel@leftsystem.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Фурсов Андрей Серафимович

В настоящей работе предлагается алгоритм решения задачи робастной стабилизации неопределённой нестационарной динамической системы второго

порядка

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} u, \quad (1)$$

где $\forall t \ A(t) \in \Omega^t \subset \mathbb{R}^{2 \times 2}$, Ω^t — компакт, $a_{ij} \in C(\mathbb{R})$, $b \in \mathbb{R}^2$.

Пусть задана некоторая неограниченная последовательность $t_0, t_1, t_2, \dots$, такая что для любого номера i известна опорная функция компакта Ω^{t_i} , и непрерывная функция $r_i(t')$, ограничивающая скорость изменения компакта Ω^t во времени таким образом, что $\forall t' \geq 0 \ \Omega^{t_i+t'} \subset \text{conv } \Omega^{t_i} + S_{r_i(t')}$, где знаком $+$ для двух компактов обозначена сумма Минковского.

Предлагается алгоритм решения задачи на основе метода прогнозирующих моделей [1] и метода сверхстабилизации [2, 3].

1. Построение прогнозирующей модели для текущего момента времени t_i .

$$\dot{\bar{x}} = A'(t)\bar{x} + bu, \quad (2)$$

где $A'(t) \in \text{conv } \Omega^{t_i}$.

2. Решение задачи стабилизации для прогнозирующей модели методом сверхстабилизации.
3. Прогнозирование поведения исходной системы.
4. Применение найденной обратной связи к исходной системе на промежутке $[t_i, t_{i+1})$.
5. Вернуться к шагу 1 для момента t_{i+1} .

Прогнозирующая модель так же является неопределённой нестационарной системой, однако на каждом шаге задающий неопределённость компакт $\text{conv } \Omega^{t_i}$ фиксирован и не зависит от времени.

Сверхстабилизация. Метод сверхстабилизации основан на том, что если у линейной стационарной системы матрица обладает свойством отрицательного диагонального преобладания, то для вектора состояния этой системы справедлива оценка

$$\|x(t)\|_\infty \leq \|x_0\|_\infty e^{-\sigma t}. \quad (3)$$

Такие системы называют сверхустойчивыми. Известно, что матрица линейной нестационарной системы в каждый момент времени является сверхустойчивой, то для этой системы так же верна оценка (3).

Заметим, что множество матриц с отрицательным диагональным преобладанием образует в линейном пространстве матриц $\mathbb{R}^{2 \times 2}$ конус, поэтому задача робастной стабилизации прогнозирующей модели (2) сводится к сверхстабилизации одной линейной стационарной системы, матрица которой определяется через опорную функцию компакта Ω^{t_i} .

Погрешность прогнозирующей модели. Ограничения на скорость изменения компакта Ω^t позволяют оценить расхождение траекторий прогнозирующей модели и исходной системы на каждом шаге алгоритма.

Лемма 1. Рассмотрим две замкнутые системы

$$\dot{x} = \hat{A}(t)x \quad \dot{\bar{x}} = \hat{A}'(t)\bar{x}.$$

Пусть $\hat{A}'(t)$ — сверхустойчивая равномерно ограниченная матрица, и справедлива оценка $\|\hat{A}(t) - \hat{A}'(t)\| \leq r(t) \in C(\mathbb{R})$. Тогда при любом $x_0 = \bar{x}(0) = x(0)$ для соответствующих решений выполняется

$$\|x(t) - \bar{x}(t)\| \leq R(t)e^{Mt+R(t)}\|x_0\|,$$

где $R(t) = \int_0^t r(\tau)d\tau$, и $M \geq \|\hat{A}'(t)\| \forall t$

Однако последняя лемма требует оценки сверху нормы замкнутой системы. Для сверхстабилизирующей обратной связи необходимая оценка определяется следующей леммой.

Лемма 2. При осуществлении сверхстабилизации линейной стационарной системы, обратную связь можно выбрать таким образом, что будет справедлива оценка

$$\|A - bk\|_1 \leq C_b\|A\|_1, \quad C_b = \begin{cases} \frac{3\|b\|_1}{\min(|b_1|, |b_2|)} + 1, & b_1b_2 \neq 0 \\ 2, & b_1b_2 = 0 \end{cases}$$

Основным результатом работы является теорема о достаточных условиях разрешимости поставленной задачи.

Теорема 1. Пусть для системы (1) выполняются условия:

1. Для любого i возможна сверхстабилизация соответствующей прогнозирующей модели с показателем $\sigma_i > 0$.
2. Существует $p < 0$, такое что для любого i : $\frac{\ln g_i(t_{i+1}-t_i)}{t_{i+1}-t_i} < p$, где $g_i(t) = \sqrt{2}R_i(t)e^{C_bM_it+R_i(t)} + e^{-\sigma_it}$, $R_i(t) = \int_0^t r_i(\tau)d\tau$, $C_b = \text{const}$ из леммы 2, $M_i = \max_{A \in \Omega^{t_i}} \|A\|_1$.

Тогда для любого $t \geq t_i$: $\|x(t)\|_\infty \leq 2\|x_0\|_\infty e^{p(t_i-t_0)}$.

Литература

- [1] Richards A. G. Robust constrained model predictive control // Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Aeronautics and Astronautics. Massachusetts, 2005.
- [2] Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков Робастная устойчивость и управление. Москва : Наука, 2002.
- [3] Б. Т. Поляк. Обобщенная сверхустойчивость в теории управления // Автоматика и Телемеханика. 2004. № 4.

Децентрализованные алгоритмы управления в группах автономных роботов

Новиков Василий Максимович

Кафедра нелинейных динамических систем и процессов управления

e-mail: pistudent@yandex.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Фомичев Василий Владимирович

Навигация многочисленных групп роботов становится актуальной задачей с развитием мобильной беспилотной техники. Децентрализованный подход к построению управления приобретает особый приоритет ввиду своих ключевых преимуществ: устойчивости исполнения при выходе из строя единичных агентов и низких затрат на передачу данных между агентами.

В работе приводится параметрическое семейство алгоритмов, основанное на модели Voids поведения диких стайных птиц [1]. Базовые правила сдерживания, уклонения от соседей и выравнивания ориентации дополняются правилами обхода препятствий, следования за лидером и усиленными законами уклонения. Взвешенная сумма описанных правил составляет вектор моментального сдвига, вычисляющийся для каждого робота группы в каждый момент времени.

Посредством непрерывных монотонно неубывающих функций от величины проекции полученного вектора сдвига на ось ориентации строится управление динамической системы, задающей поведение каждого робота:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos\theta, \\ \dot{y} = v \sin\theta, \\ \dot{\theta} = u \in [-\bar{u}; \bar{u}], \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{p}(0) = \vec{p}_0 \notin D, \\ \theta(0) = \theta_0, \end{cases}$$

Для оценки эффективности и оптимальности алгоритмов построенного семейства приводятся метрики порядка [2] и энтропии [3], отражающие степени ориентационной и позиционной организации системы соответственно. Демонстрируется формирование структур характерной топологии, называемых α -решетками [4], свидетельствующих о компенсации воздействий и образовании устойчивых конфигураций роботов минимального потенциала.

Производится построение программируемой моделирующей среды в пакете MATLAB Simulink. На примере блуждания группы внутри замкнутой арены показано аperiodическое формирование α -решеток в областях наименьшего сопротивления. На примере прохождения группой роботов узкой щели с помощью одного лидера показано желаемое асимптотическое поведение определенных метрик и минимизация коллизий. Экспериментальные данные свидетельствуют, что основанное на сравнительно простых правилах семейство применимо в реальных прикладных задачах управления при надлежащей калибровке коэффициентов.

Литература

- [1] Reynolds C. / Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model // Computer Graphics, 21 (4), pp. 25-34, July 1987.

- [2] Novel type of phase transition in a system of self-driven particles / T. Vicsek, A. Czirok, E. Ben-Jacob, I. Cohen, and O. Shochet // Physical Review Letters, vol. 75, no. 6, August 1995.
- [3] Balch T. / Hierarchic Social Entropy: An Information. Theoretic Measure of Robot Group Diversity // Autonomous Robots, vol. 8, no. 3, July 2000.
- [4] Olfati-Saber R. / Flocking for Multi-Agent Dynamic Systems: Algorithms and Theory // IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 51, no. 3, March 2006.

Математическая модель противоопухолевой вакцинотерапии

Корушкина Анастасия Вячеславовна

Кафедра системного анализа

e-mail: nacta21011997@gmail.com

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

Введение. Терапевтические вакцины играют большую роль в иммунотерапии, которая является наиболее действенным способом лечения рака в настоящее время. В работе была рассмотрена математическая модель противоопухолевой вакцинотерапии дендритными клетками, предложенная в статье [1], с учетом введения моноклонального антитела anti-PD-L1.

Математическая модель. Рассматриваются три области: селезенка, кровь и опухоль. В селезенке происходит активация и размножение эффекторных клеток. В опухоли — взаимодействие между активными эффекторными и раковыми клетками. Кровь является связующим звеном между селезенкой и опухолью. Она переносит дендритные и эффекторные клетки между двумя другими областями.

Математическая модель состоит из 12 нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамику иммунных и опухолевых клеток.

Исследование динамики системы. При заданных параметрах без воздействия лекарственных средств в системе существует единственное нетривиальное асимптотически устойчивое положение равновесия. Полученный результат не противоречит биологическим представлениям: опухоль будет расти только до максимально возможного размера, который может выдержать хозяин.

Постановка задачи выбора оптимальной терапии. Для поиска стратегии терапии ставится задача оптимального управления с фазовыми ограничениями. Для решения задачи применяется принцип максимума Л. С. Понтрягина. Ограничения на количество эффекторных клеток в конечный момент времени и на суммарную дозу моноклонального антитела учитываются с помощью штрафных функций. Исходная задача с фазовыми ограничениями приводится к эквивалентной задаче без фазовых ограничений, но с расширенным функционалом. Решение получается численно с помощью модификации метода последовательных приближений, описанной в [2].

Результаты. В представленной работе при различных начальных условиях были найдены дозы моноклонального антитела anti-PD-L1, удовлетворяющие поставленным ограничениям и показывающие наилучший результат. В большинстве случаев выполнение фазового ограничения на суммарную дозу anti-PD-L1 приводит к выполнению ограничения на эффекторные клетки.

Литература

- [1] A. Radunsкая, R. Kim, T. Woods II. Mathematical Modeling of Tumor Immune Interactions: A Closer Look at the Role of anti-PD-L1 Inhibitor in Cancer Immunotherapy // Spora: A Journal of Biomathematics. 2018. Vol. 4. Iss. 1. P. 25–41.
- [2] Крылов И. А., Черноусько Ф. Л. Алгоритм метода последовательных приближений для задач оптимального управления // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1972. Т. 12. № 1. С. 14–34.

Континуальная модель гиперциклической репликации

Работа удостоена диплома III степени

Чмерева Ольга Сергеевна

Кафедра системного анализа

e-mail: o.s.ch@yandex.ru

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

Введение. Классическая дискретная модель гиперциклической репликации [1], разработанная М. Эйгеном и П. Шустером в 1971 году, играет большую роль в математической биологии, в частности, в теории предбиологической эволюции.

Гиперцикл представляет собой систему из n видов, каждый из которых индуцирует воспроизводство последующего вида, и вместе эти виды образуют замкнутый цикл. Таким образом, гиперцикл представляет собой простейшую форму взаимной помощи: каждый вид, прямо или косвенно, извлекает пользу из всех других, находящихся в гиперцикле. [2]

В работе рассмотрена задача о распространении классической системы гиперциклической репликации на случай бесконечно большого числа видов.

Континуальная модель. Для нахождения численности $u(x, t)$ вида x в популяции в момент времени t была построена модель, описываемая следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = u(x, t) (k(x)u(x - \tau, t) - f(t)) \\ f(t) = \int_0^{2\pi} k(x)u(x, t)u(x - \tau, t) dx \\ \int_0^{2\pi} u(x, t) dx = 1 \\ u(0, t) = u(2\pi, t); \quad k(x + 2\pi) = k(x) \\ u(x - \tau, t) = \begin{cases} u(x - \tau, t), & \text{если } x - \tau \geq 0; \\ u(2\pi + (x - \tau), t), & \text{если } x - \tau < 0; \end{cases} \\ u(x, 0) = \varphi(x) : \quad \int_0^{2\pi} \varphi(x) dx = 1 \\ \varphi(x - \tau) = \begin{cases} \varphi(x - \tau), & \text{если } x - \tau \geq 0; \\ \varphi(2\pi + (x - \tau)), & \text{если } x - \tau < 0; \end{cases} \end{array} \right. \quad (1)$$

Здесь функция $k(x)$ — коэффициент репликации вида x , $\varphi(x)$ — значение численности вида x в начальный момент времени, $f(t)$ — средний фитнес системы. Функция $u(x - \tau, t)$ определяет влияние некоторого вида на рассматриваемый вид в популяции.

Первое уравнение системы (1) является основным и представляет собой интегро-дифференциальное уравнение с запаздыванием по пространственной переменной, рассматриваемое на интегральном симплексе.

На функцию $u(x, t)$ накладываются дополнительные условия периодичности, являющиеся аналогом цикличности классической модели.

Основные результаты. Для построенной модели (1) была доказана локальная разрешимость задачи Коши, найдено стационарное положение равновесия и показана его неустойчивость.

Система была проинтегрирована численно с помощью среды MATLAB. Полученные решения представляют собой незатухающую волну, которая распространяется по поверхности с течением времени. Найденные решения качественно соответствуют общему виду решений в классической модели гиперциклической репликации.

Далее была рассмотрена модификация модели (1) с учётом распределения видов в пространстве, полученная путём введения однородной диффузии — оператора Лапласа — в правую часть основного уравнения.

Введение диффузии видов в рассматриваемую модель привело к возникновению сглаженных решений задачи. При этом общий характер поведения системы не изменился.

Литература

- [1] Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации молекул. М. : Мир, 1982. 270 с.

- [2] Братусь А. С., Новожилов А. С., Платонов А. П. Динамические системы и модели биологии. М. : Физматлит, 2010. 400 с.

Статистический анализ биосигналов

Горячев Степан Сергеевич

Кафедра математической статистики

e-mail: whelvet@ya.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Захарова Татьяна Валерьевна

Введение. В области методов анализа цифровых сигналов, значительная часть прикладных задач связана с обработкой многомерных временных рядов, получаемых в результате наблюдений в биомедицине. В данной работе описываются возможные подходы к выделению признаков в сильно зашумлённых продолжительных биосигналах и практические результаты, полученные при применении этих подходов к экспериментальным данным, представляющим собой записи электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и предоставленных Институтом высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН.

О сигнале. Запись ЭЭГ позволяет исследовать функциональное состояние головного мозга путём регистрации его биоэлектрической активности. Обычно оригинальный сигнал оказывается сильно зашумлённым, потому его анализ начинают с процесса очистки от артефактов, который включает в себя полосовую фильтрацию, разложение сигнала на независимые компоненты и исключение из записи тех из них, которые относятся шуму [1].

Постановка задачи. Первым этапом решения задачи извлечения признаков из биосигнала X является его разбиение на сегменты Y_i . Далее, каждому сегменту сопоставляется вектор y_i описывающих его признаков. Наконец, в пространстве этих признаков вводится метрика ρ и для полученных сегментов решается задача кластеризации, то есть отнесение каждого сегмента Y_i к одному из кластеров Z_k так, чтобы выполнялось условие:

$$\forall Y_i, Y_j \in Z_k, Y_l \notin Z_k \quad \rho(y_i, y_j) < \rho(y_i, y_l) \quad \rho : R^n \times R^n \rightarrow [0, \infty).$$

Самоорганизующиеся карты Кохонена. Перед началом работы алгоритма [2] задаётся множество кластеров Ω из q элементов. Каждому из них сопоставляется вес $w \in R^n$ и координата $r \in R^m$ на дискретной сетке.

1. На каждом шаге t алгоритма для входного вектора $x \in X \subset R^n$ выбирается «кластер-победитель» по следующему правилу:

$$v(t) = \arg \min_{k \in \Omega} \|x(t) - w_k(t)\|.$$

2. Осуществляется обновление весов соразмерно близости соответствующих им кластеров к «победителю»:

$$\Delta w_k(t) = \alpha(t) \eta(v, k, t) [x(t) - w_k(t)],$$

где $\eta(v, k, t)$ — «функция окрестности», $\alpha(t)$ — величина шага алгоритма.

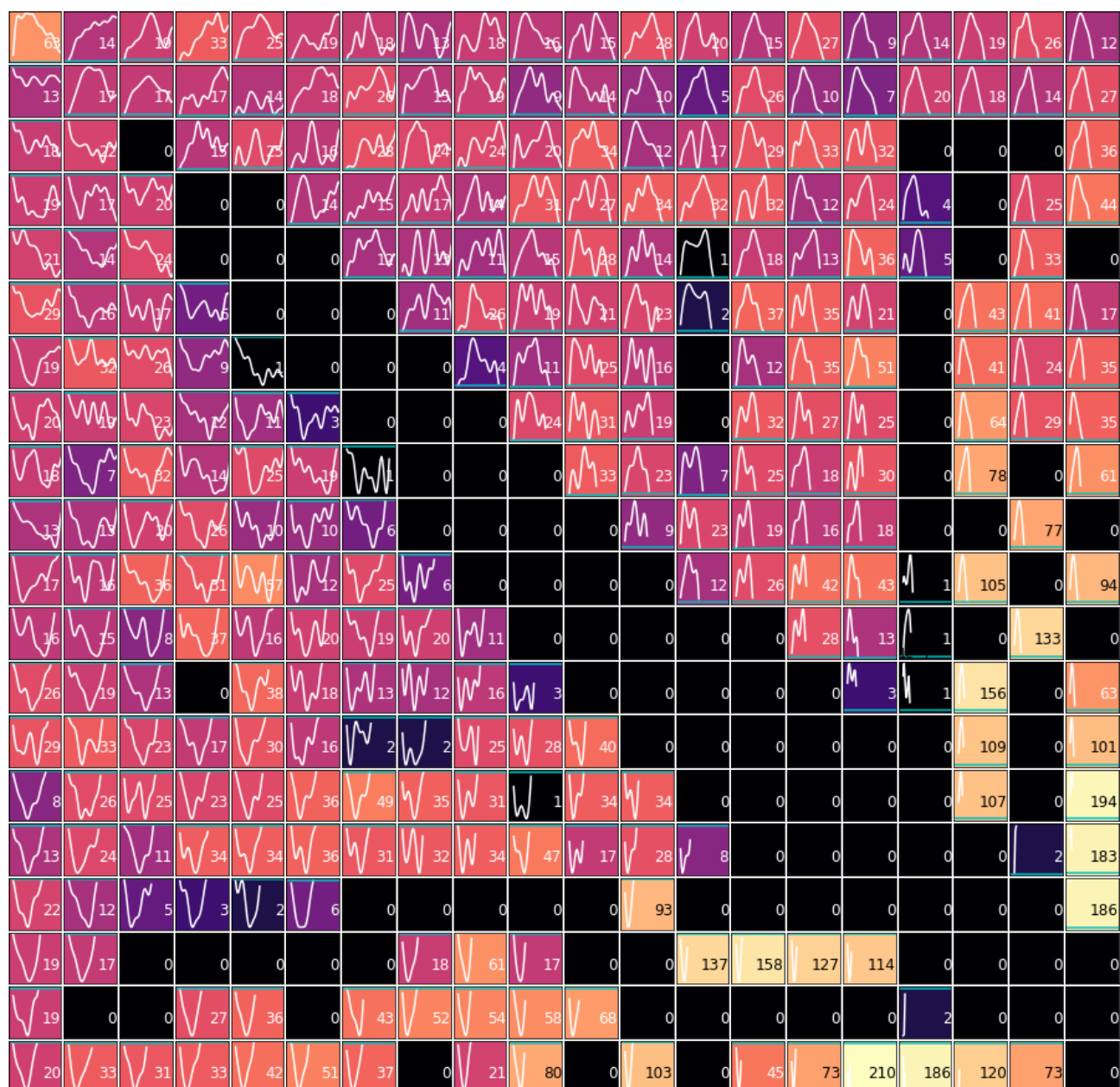


Рис. 1: Карта кластеров сегментов ЭЭГ

Интерпретация результатов. На Рис. 1 видно, что локально каждый кластер упорядочен с точки зрения связности со своими соседями, формируя совместно с ними группы ЭЭГ-ритмов общепринятой классификации. Глобально ячейки сгруппированы соответственно изменению выпуклости сегментов, их длины, амплитуды и сложности профиля волны.

Итоги. По результатам обзора подходов к очистке ЭЭГ от артефактов проведён и подробно описан процесс их удаления, получен очищенный сигнал. Для него в свою очередь решена задача извлечения признаков с использованием алгоритма, реализованного в виде программного модуля на языке Python. Для каждой записи из экспериментальных данных построены визуализации, которые функционально выполняют роль краткой сводки по сигналу ЭЭГ любой длительности, позволяя регистрировать аномальные значения интересующих исследователя типов волн или ритмов мозговой активности.

Литература

- [1] MEG and EEG data analysis with MNE-Python / A. Gramfort, M. Luessi, E. Larson, D. A. Engemann, D. Strohmeier, C. Brodbeck, R. Goj, M. Jas, T. Brooks, L. Parkkonen, M. Hämäläinen // *Frontiers in Neuroscience*, 2013. Т. 7, № 1. С. 267.
- [2] Kohonen T. Self-organized formation of topologically correct feature maps // *Biological Cybernetics*, 1982. Т. 43, № 1. С. 59.

Асимптотически оптимальные второго порядка размещения станций обслуживания

Работа удостоена диплома I степени

Меньших Игорь Михайлович

Кафедра математической статистики

e-mail: s02160118@stud.cs.msu.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Захарова Татьяна Валерьевна

Постановка задачи. Рассматривается неклассическая задача теории массового обслуживания. На прямой возникают вызовы, и для их обслуживания имеется n станций, координаты которых образуют множество—размещение $\{x_1, \dots, x_n\}$. Вызов поступает на ближайшую к нему станцию. Точка—источник вызова ξ есть случайная величина с заданной плотностью распределения ρ . Время обслуживания вызова есть некоторая возрастающая функция, зависящая от расстояния между вызовом и станцией. Требуется так расположить станции, чтобы минимизировать время обслуживания появляющихся вызовов, а именно параметрический критерий $\varphi(x) = \mathbb{E} \min_{1 \leq i \leq n} |\xi - x_i|^s, \quad s > 0$.

Результат. Приведен алгоритм построения асимптотически оптимальных второго порядка ($k = 2$) размещений для семейства критериев оптимальности с вещественным положительным параметром s , то есть таких размещений $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, которые удовлетворяют $\lim_{n \rightarrow \infty} (\varphi(x^*) - \varphi(x))n^{s+k-1} = 0$, где $x^* = \{x_1^*, \dots, x_n^*\}$ — оптимальное размещение по критерию φ . Результат является обобщением полученных ранее результатов в [1, 2, 3]. Это обобщение нацелено на повышение гибкости подхода к конкретной задаче: появилась возможность строить описанные размещения для $s < 1$, то есть эффективно обрабатывать вызовы из «интенсивных» областей.

Литература

- [1] Захарова Т. В. Оптимизация расположения в пространстве систем массового обслуживания : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.01.05 / Захарова Татьяна Валерьевна. Москва, 2008. 106 с.
- [2] Захарова Т. В., Фисак А. А. Необходимое условие оптимального размещения станций обслуживания на отрезке для параметрического семейства критериев оптимальности // Издательство Пермского государственного университета. Статистические методы оценивания и проверки гипотез. 2015. Т. 26. С. 86–94.

- [3] Захарова Т. В., Фисак А. А. Об оптимальных размещениях станций обслуживания // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2018. № 2. С. 40–47.

Прогнозирование временных рядов рынка криптовалют

Сороколетова Ольга Евгеньевна

Кафедра математической статистики

e-mail: olgas020697@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Захарова Татьяна Валерьевна

Работа посвящена рассмотрению применения метода случайного отбора (RSM) на задаче классификации (прогнозировании динамики) нестационарных временных рядов рынка криптовалют. RSM представляет собой метод глубокого обучения. Одним из основных методов глубокого обучения среди использовавшихся ранее для решения данной задачи и показавших свою эффективность являются рекуррентные LSTM-нейросети. В настоящей работе представлена более гибкая архитектура, построенная на базе LSTM-ячеек и имеющая таким образом все преимущества традиционного алгоритма, однако более устойчивая к проблеме дисбаланса классов и призванная справляться с высокой нестационарной динамикой цифровых активов. Основным отличительным признаком RSM является использование метрического обучения.

Постановка задачи классификации. Формальная постановка задачи предсказания движения цены акции на рынке может быть представлена следующим образом.

Имеется три возможных варианта движения цены после временной отметки t : вверх (up), вниз (down) или без изменений (static). Будем рассматривать распределение логарифмической доходности R_t :

$$R_t = \log\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right),$$

где P_t — значение цены в момент времени t , взятое из временного ряда. Обозначим через $p_t^{(up)}$, $p_t^{(down)}$ и $p_t^{(static)}$ вероятности наступления соответствующих верхним индексам событий. Эти вероятности будут получены в результате обучения модели. Таким образом, возникает задача трехклассовой классификации:

$$X_t \in \{up, down, static\}.$$

Схема отбора. Схема отбора — это алгоритм, по которому осуществляется выбор тройки эталонных последовательностей, подающейся затем на вход модели. Она построена, основываясь на предположении о том, что финансовые данные нестационарны, и это обуславливает необходимость выбора последовательностей исключительно среди недавнего прошлого. Более формально, для заданной входной последовательности x_t схема подразумевает выбор последовательностей из интервала $[t - k - l, t - k]$, где k — размер окна для простого скользящего среднего, а l — гиперпараметр, определяющий размер этого интервала.

Основная идея метода случайного отбора (RSM). В основе метода лежит предположение о том, что схожесть пары последовательностей может быть охарактеризована при помощи классов, к которым они принадлежат: последовательность с меткой «up» более близка последовательности с меткой «up», чем последовательности с меткой «down» или «static».

На вход модели подаются пары элементов, один из которых — это последовательность, подлежащая классификации, а другой — набор последовательностей (три последовательности, помеченные как «up», «down» и «static» соответственно), выбранных из недавнего прошлого. Затем осуществляется получение внутренних представлений путем независимого кодирования каждой последовательности и сравнение внутреннего представления входной последовательности и внутренних представлений выбранных последовательностей. Выходным значением является класс, к которому предположительно принадлежит целевая последовательность.

Оптимизация параметров модели производится таким образом, чтобы достигались внутренние представления, для которых верно: среди внутренних представлений последовательностей из тройки более близко внутреннему представлению целевой последовательности, то, которое имеет метку класса, совпадающую с истинной в данном случае меткой. Близость внутренних представлений оценивается при помощи косинусной меры сходства. Кодировщик, осуществляющий эту работу, состоит из двух частей: LSTM и двунаправленной LSTM, где LSTM (долгая краткосрочная память) — разновидность архитектуры рекуррентных нейронных сетей, способная к обучению долгосрочным зависимостям.

Литература

- [1] Lake B., Salakhutdinov R., Tenenbaum J. Human-level concept learning through probabilistic program induction // Science 350: 2015. С. 1332–1338.
- [2] Forecasting of jump arrivals in stock prices: New attention-based network architecture using limit order book data / M. Makinen, J. Kanninen, M. Gabbouj, A. Iosifidis // 2018.
- [3] Zhang Z., Zohren S., Roberts S. Deeplob: Deep convolutional neural networks for limit order books // 2018.

Сеточные методы оценивания параметров распределений Миттаг-Леффлера и Линника

Фомина Диана Вадимовна

*Кафедра математической статистики
e-mail: diana.fom42@gmail.com*

Научный руководитель — д.ф.-м.н. профессор Королев Виктор Юрьевич

Распределения Миттаг-Леффлера и Линника представляют особый интерес как «тяжелохвостые» модели статистических закономерностей, при которых большие значения наблюдаемых характеристик встречаются намного чаще, чем

предписывают классические нормальные или экспоненциальные модели. Эти распределения возникают в некоторых задачах физики, астрономии, финансовой математики и других областях. При этом часто возникает необходимость по выборке оценить параметр распределения. Особенность задачи заключается в том, что плотности этих распределений не допускают явного представления в терминах элементарных функций, поэтому распространенные методы, как например, метод максимального правдоподобия, оказываются малоприменимыми при статистическом оценивании параметра.

Распределением Линника (также иногда называемое α -Laplace distribution) называют распределение с характеристической функцией

$$f_{\alpha}^L(t) = (1 + |t|^{\alpha})^{-1}, \quad 0 < \alpha \leq 2, \quad t \in \mathbb{R}.$$

Распределение Миттаг-Леффлера — это распределение неотрицательной случайной величины M_{α} соответствующее преобразованию Лапласа-Стилтьеса

$$\psi_{\alpha}(s) = E \exp\{-sM_{\alpha}\} = (1 + s^{\alpha})^{-1}, \quad 0 < \alpha \leq 1, \quad s \geq 0.$$

Предлагаемый в работе сеточный метод основан на возможности представления распределений Линника и Миттаг-Леффлера соответственно в виде масштабной смеси распределения Лапласа и смешанного показательного распределения. Как показано в работах [1, 2], в обоих случаях смешивающее распределение одно и то же и соответствует отношению двух независимых односторонних строго устойчивых случайных величин с одним и тем же характеристическим показателем. Оказалось, что плотность этого распределения может быть выражена в терминах элементарных функций и имеет довольно простой явный вид.

На первом шаге алгоритма строится аппроксимация смешивающего распределения в виде кусочно-линейной функции, которая параметризуется набором узлов сетки $u_1, \dots, u_k$ и соответствующих весов $w_1, \dots, w_k$. На втором этапе путем минимизации невязки между полученной дискретной оценкой и теоретической смешивающей плотностью находится оценка параметра анализируемого распределения.

При построении аппроксимации смешивающего распределения веса w_i вычисляются с помощью ЕМ-алгоритма. Ключевую роль на этом этапе играет выбор сетки. Были рассмотрены различные способы выбора узлов сетки, и наиболее удачной оказалась адаптивная интегральная сетка, которая сгущается пропорционально плотности смешивающего распределения.

Для оценки качества предложенного сеточного метода проводилось имитационное моделирование и сравнение с методом логарифмических моментов, описанным в работах [3, 4]. Методы дают примерно одинаковые результаты, а при α близких к правому концу отрезка возможных значений сеточный метод оказывается несколько точнее, а именно среднеквадратичное отклонение оценок полученных сеточным методом становится меньше.

Литература

- [1] Korolev V. Yu., Zeifman A. I. Convergence of statistics constructed from samples with random sizes to the Linnik and Mittag-Leffler distributions and their generalizations // Journal of Korean Statistical Society, 2017. Vol.46. No2. P. 161–181.
- [2] Королев В. Ю. Некоторые свойства распределения Миттаг-Леффлера и связанных с ним процессов // Информ. и её примен., 11:4, 2017, С. 26–37
- [3] Cahoy D. O. Estimation of Mittag-Leffler Parameters // Communications in Statistics - Simulation and Computation, 42:2, 2012, P. 303–315
- [4] Cahoy D. O. An estimation procedure for the Linnik distribution // Statistical Papers, 2012, Vol.53., P. 617–628

Свойства генеративно-согласительных нейронных сетей

Работа удостоена диплома III степени

Харчев Дмитрий Николаевич

Кафедра математической статистики

e-mail: hd898@yandex.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. профессор Ульянов Владимир Васильевич

Генеративно-согласительные сети получили на сегодняшний день огромную популярность в связи с задачами восстановления плотности распределений высокой размерности со сложными зависимостями внутри переменных. Классическим примером такой задачи является задача генерации фотореалистичных изображений. Сложная структура зависимости между пикселями изображения не позволяет задать исчерпывающее параметрическое семейство плотностей и оценить параметры методом максимального правдоподобия, а высокая размерность объектов выборки делает плохо применимыми методы непараметрического восстановления плотности, тогда как генеративно-согласительные сети справляются с этой задачей.

С математической точки зрения в качестве генераторов у нас есть некоторое параметрическое семейство функций $\{G_\theta\}_{\theta \in \Theta} \forall \theta \in \Theta G_\theta : R^{d'} \rightarrow R^d$. Каждая из этих функций в нашей схеме принимает на входе низкоразмерный шум, а возвращает сгенерированный объект.

Также у нас есть некоторое параметрическое семейство функций $\mathcal{D} = \{D_\lambda\}_{\lambda \in \Lambda} \forall \lambda \in \Lambda D_\lambda : R^d \rightarrow [0, 1]$. Можно считать, что каждая функция D оценивает вероятность того, что поданный объект пришел из реальных данных, а не был сгенерирован генератором.

Свое название модель получила потому, что на практике в качестве параметрических семейств берут нейронные сети.

Пусть $Z_1, \dots, Z_n$ -выборка из некоторого шумового распределения. $X_1, \dots, X_n$ -выборка из распределения, которое мы хотим аппроксимировать, тогда обучение генеративно-согласительных сетей сводится к решению минимаксной задачи

$$\inf_{\theta \in \Theta} \sup_{D \in \{D_\lambda\}_{\lambda \in \Lambda}} \hat{L}(\theta, D)$$

где

$$\hat{L}(\theta, D) = \sum_{i=1}^n \ln(D(X_i)) + \sum_{j=1}^n \ln(1 - D(G_\theta(Z_j))) \quad (1)$$

Т.е мы хотели бы выбрать генератор, который лучше всех "обманывает" все доступные дискриминаторы.

Генеративно-сопоставительные сети имеют хорошие теоретические свойства, если предположить, что плотности, порожденные генераторами, и плотность данных имеют общий носитель, но на практике не всегда это предположение можно считать выполненным. Для преодоления этой трудности, т.е. чтобы порождаемые генераторами плотности и плотность данных находились на одном носителе, к объектам выборки можно добавлять высокоразмерный шум. Тогда хотелось бы иметь некоторую оценку на расстояние между оценкой плотности и плотностью данных без шума. Именно такая оценка и была получена в работе. Чтобы сформулировать основной результат опишем требования на модель. Пусть

$$L(\theta, D) = \int \ln(D(x))p_{data}(x)d\mu + \int \ln(1 - D(x))p_\theta(x)d\mu \quad (2)$$

Предположим, что распределение данных и распределения, порожденные генераторами, абсолютно непрерывны относительно некоторой меры μ . p_θ - плотность порожденная генератором G_θ .

Заметим, что (1) это выборочный аналог введенного функционала (2). Не сложно заметить, что

$$\frac{p_{data}}{p_{data} + p_\theta} \in \arg \max_{D \in \mathcal{D}_\infty} L(\theta, D) \quad (3)$$

$\mathcal{D}_\infty$ множество всех борелевских функций, отображающих R^d в $[0, 1]$. Т.е $\frac{p_{data}}{p_{data} + p_\theta}$ идеальный дискриминатор для генератора G_θ , обозначим его как D_θ^*

Предположение (H_0) существует константа $t \in (0, 1/2]$ такая, что:

$$\min(D_\theta^*, 1 - D_\theta^*) \geq t \quad \forall \theta \in \Theta$$

Условие, что в нашей модели недопустимы однозначные дискриминаторы, говорит лишь о том, что

$$\frac{t}{1-t}p_{data} \leq p_\theta \leq \frac{1-t}{t}p_{data}$$

т.е., чтобы плотности имели один и тот же носитель, не зависящий от параметра

Предположение (H_ϵ) Существует $\epsilon \in (0, t)$ и $\forall \theta \in \Theta \exists \lambda \in \Lambda$ $\|D_\lambda - D_\theta^*\|_\infty \leq \epsilon$

говорит о том, что наш класс дискриминаторов достаточно богат. Если вспомнить теорему об универсальном аппроксиматоре, то нейросети это достаточно богатый класс. [5]

Предположения (H_{reg}):

(H_D) существует $k \in (0, 1/2)$ такое, что $\forall \alpha \in \Lambda$, $k \leq D_\alpha \leq 1 - k$. К тому же функция $(x, \alpha) \rightarrow D_\alpha(x)$ из класса C^1 с равномерно ограниченными первыми производными.

(H_G) Для всех $z \in R^d$ функция $\theta \rightarrow G_\theta(z)$ из класса C^1 равномерно ограничена с равномерно ограниченными первыми производными.

(H_p) Для всех $x \in R^d$ функция $\theta \rightarrow p_\theta(x)$ из класса C^1 равномерно ограничена с равномерно ограниченными первыми производными.

Теорема. Пусть $\hat{L}(\theta, D)$, $L(\theta, D)$ соответствуют введенным ранее функционалам, но построенным по выборке из распределений $p_{data} + \epsilon$ и $p_\theta + \epsilon$ и распределениям $p_{data} + \epsilon$ и $p_\theta + \epsilon$ соответственно, где ϵ это шум со средним 0, дисперсией V , такой что для любого $\theta \in \Theta$, $p_\theta + \epsilon$ имеет в качестве носителя шар радиуса C в R^d . Также допустим, что $p_{data} \in \{p_\theta\}_{\theta \in \Theta}$. $\hat{\theta}$ оценивается путем решения минимаксной игры с функционалом $\hat{L}(\theta, D)$. Пусть также верны (H_0), (H_{reg}), (H_ϵ) для плотностей $p_{data} + \epsilon$ и $\{p_\theta + \epsilon\}_{\theta \in \Theta}$ и семейства дискриминаторов $\mathcal{D}$. Тогда:

$$\mathbb{E}W(p_{data}, p_{\hat{\theta}}) = O(\epsilon + \frac{1}{\sqrt[4]{n}} + \sqrt{V})$$

$W(p_{data}, p_{\hat{\theta}})$ - расстояние Васерштейна между плотностью данных и оценкой плотности, n - количество примеров в обучающей выборке, V - дисперсия добавляемого шума, ϵ - насколько хорошо наше параметрическое семейство дискриминаторов может приблизить идеальный дискриминатор по равномерной метрике.

Требование с шаром можно выполнить, если, например, прибавлять гауссов шум и обрезать значения, если они получились слишком большими.

Полученные результаты важны, так как дают теоретическую основу того, что математическое ожидание метрики Васерштейна между приближаемой плотностью и оценкой можно сделать в процессе обучения генеративно-состязательных сетей методом с зашумлением достаточно малым, при определенных условиях, введенных в работе, на модель.

Литература

- [1] Generative Adversarial Nets / I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, Bing Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, Y. Bengio // Advances in Neural Information Processing Systems 27, pages 2672–2680
- [2] Some Theoretical Properties of GANs / G. Biau, B. Cadre, M. Sangnier, U. Tanielian // arXiv:1803.07819v1 [stat.ML]
- [3] Arjovsky M., Bottou L. Towards Principled Methods For Training Generative Adversarial Networks // arXiv:1701.04862v1 [stat.ML]
- [4] van Handel. Probability in High Dimension // APC 550 Lecture Notes, Princeton University - 2016

- [5] Hornik K. Approximation Capabilities of Multilayer Feedforward Networks // Neural Networks, 4(2) - 1991

Поиск минимальных нечастых наборов в частично упорядоченных базах данных

Драгунов Никита Аркадьевич

Кафедра математических методов прогнозирования

e-mail: ndragunovstudy@gmail.com

Научный руководитель — д.ф.-м.н. доц. Дюкова Елена Всеволодовна

Задача поиска минимальных нечастых наборов в базах данных занимает важное место в области информационного поиска. Данная задача ставится следующим образом.

Дано некоторое множество элементов V . Подмножества $X \subseteq V$ называются наборами. Пусть D — база данных, содержащая некоторые, не обязательно различные наборы. Наборы, содержащиеся в базе данных D , называются транзакциями. Под частотой набора $\nu(X)$ понимается доля транзакций в базе данных D , содержащих X . Если $\nu(X) \geq s$, где $s \in [0, 1]$, то набор X называется s -частым, иначе он называется s -нечастым. Если набор нечастый и при этом он не содержит в себе никакого другого нечастого набора, то такой набор называется минимальным нечастым. Если набор частый и он не содержится ни в каком другом частом наборе, то он называется максимальным частым. Требуется найти все минимальные нечастые и/или максимальные частые наборы при заданном s .

Важным приложением поиска частых и нечастых наборов является нахождение ассоциативных правил в базах данных. В случае больших данных множества максимальных частых наборов X_{max} и минимальных нечастых наборов Y_{min} позволяют компактно хранить информацию о всех частых и нечастых наборах соответственно. Наиболее изучены алгоритмы поиска X_{max} и Y_{min} в бинарных базах данных.

В [1] рассмотрен случай небинарных баз данных, элементы которых принимают значения из частично упорядоченных множеств, и предложен подход к поиску X_{max} и Y_{min} , основанный на решении задачи дуализации над произведением частично упорядоченных множеств.

Пусть $\mathcal{P} = \mathcal{P}_1 \times \dots \times \mathcal{P}_n$ — декартово произведение частично упорядоченных множеств и пусть $R \subseteq \mathcal{P}$. Тогда $R^- = \{x \in \mathcal{P} | \exists a \in R, x \preceq a\}$. Множество $I(R^-)$, состоящее из всех минимальных элементов множества $\mathcal{P} \setminus R^-$, называется минимальным независимым от R . Аналогично определяется максимальное независимое от R множество $I(R^+)$. Задачи поиска $I(R^-)$ и $I(R^+)$ являются одними из центральных труднорешаемых перечислительных задач дискретной математики. Каждая из этих задач называется задачей дуализации над произведением частично упорядоченных множеств.

Совокупность наборов из $\mathcal{P}$ называется частично упорядоченной базой данных и обозначается $\mathcal{D}(\mathcal{P})$.

Подход к поиску X_{max} и Y_{min} при заданной $\mathcal{D}(\mathcal{P})$, основанный на последовательном перечислении множеств X_{max} и Y_{min} , является достаточно очевидным. В подходе используется свойство двойственности: $I(X_{max}^-) = Y_{min}$, $I(Y_{min}^+) = X_{max}$. Множество X_{max} ищется стандартным алгоритмом Apriori [2], а множество $Y_{min} = I(X_{max}^-)$ — путём дуализации.

Предложенный в [1] подход к поиску X_{max} и Y_{min} основан на совместном перечислении этих множеств и автором экспериментально не изучен. Метод работает итеративно. В результате строятся две вложенные последовательности: $X_1 \subset X_2 \subset \dots \subset X_{max}$, $Y_1 \subset Y_2 \subset \dots \subset Y_{min}$. На первом шаге $X_1 = \{x\}$, $Y_1 = \{y\}$. На $i + 1$ ($i \geq 1$) шаге происходит дуализация либо $I(X_i^-)$, либо $I(Y_i^+)$ и формирование X_{i+1} , Y_{i+1} . Таким образом, происходит дуализация всё больших по мощности множеств, вследствие чего, как показано в настоящей работе, метод не применим на практике для задач большой размерности.

Основным результатом данной работы является разработка и обоснование нового подхода к поиску X_{max} и Y_{min} в случае $D = \mathcal{D}(\mathcal{P})$, основанного на последовательно-совместном перечислении множеств. Предложенный подход является синтезом последовательного и совместного подходов. Метод работает итеративно. Строится последовательность $X_1 \subset X_2 \subset \dots \subset X_{max}$. На первом шаге $X_1 = \{x\}$. На $i + 1$ ($i \geq 1$) шаге решается задача дуализации $I((X_i \setminus X_{i-1})^-)$, $X_0 = \emptyset$. Множество $Y_{min} = I(X_{max}^-)$ получается путём дуализации X_{max} . Корректность метода базируется на приведённых ниже утверждениях 1 и 2.

Утверждение 1. Пусть $X \subseteq X_{max}$. Тогда, если $y \in I(X^-)$ — нечастый набор, то y — минимальный нечастый набор.

Утверждение 2. Если $X \subseteq X_{max}$, $Y \subseteq Y_{min}$ и при этом $I(X^-) = Y$ ($I(Y^+) = X$), то $X = X_{max}$ и $Y = Y_{min}$.

Проведено экспериментальное сравнение трёх названных выше подходов в случае базы данных, определённой над произведением цепей, и выявлены условия их эффективности. Задача дуализации решалась с помощью алгоритма дуализации цепей RUNC-M+, предложенного в [3]. Экспериментально показано, что эффективность рассматриваемых подходов зависит как от числа всех максимальных частых и минимальных нечастых наборов, так и от соотношения между числом частых наборов и числом нечастых наборов.

Литература

- [1] Elbassioni K. M. On Finding Minimal Infrequent Elements in Multi-dimensional Data Defined Over Partially Ordered Sets // arXiv:1411.2275. 2014.
- [2] Agrawal R., Srikant R. Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Databases // VLDB '94 Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases. 1994. P.487–499.
- [3] Дюкова Е. В., Масляков Г. О., Прокофьев П. А. О дуализации над произведением частичных порядков // Машинное обучение и анализ данных. 2017. Т. 3, № 4. С.239–249.

Стилизация изображений с сохранением контуров

Работа удостоена диплома I степени

Полетаев Всеволод Андреевич

Кафедра математических методов прогнозирования

e-mail: poletaev.va@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Китов Виктор Владимирович

Задача переноса стиля, то есть создания изображения, на котором находятся те же объекты, что и на изображении—контенте, но отображённые в стиле, похожем на изображение—стиль, является актуально задачей компьютерного зрения и машинного обучения. Существующее решение [1] обладает недостатком: если на изображении—стиле мало деталей, то на стилизации могут отсутствовать контуры, которые важны для нашей способности распознавать объекты. Попытка решить эту проблему была предпринята в [2]. В данной работе будет предложена модификация этого подхода, позволяющая расширить область его применимости и повысить количество сохранённых контуров.

Базовый подход. Предложенное в [1] решение заключается нахождении изображения $\hat{X}$, заданного формулой (1), где α позволяет регулировать силу наложения стиля.

$$\hat{X} = \arg \min_X \mathcal{L}_{content}(X) + \alpha \mathcal{L}_{style}(X) \quad (1)$$

При этом $\mathcal{L}_{content}(X)$ и $\mathcal{L}_{style}(X)$ задаются формулами 2 и 3 соответственно, в которых X_C — изображение—контент, X_S — изображение—стиль, δ_c^l, δ_s^l — веса, контролирующие, какие слои нейросети использовать для контента и стиля соответственно, $G(F_l(z)) = \frac{1}{W_l H_l} F_l(z)^T F_l(z)$ — матрица Грамма, $F_l(z)$ — внутреннее представление z в сети F на слое l , $\|\cdot\|_F^2$ — норма Фробениуса, а W_l, H_l, C_l — размер представления на слое l . В качестве нейросети используется предобученная сеть VGG16.

$$\mathcal{L}_{content}(X) = \sum_{l=0}^L \frac{\delta_c^l}{W_l H_l C_l} \|F_l(X) - F_l(X_C)\|_F^2 \quad (2)$$

$$\mathcal{L}_{style}(X) = \sum_{l=0}^L \frac{\delta_s^l}{C_l^2} \|G(F_l(X)) - G(F_l(X_S))\|_F^2 \quad (3)$$

Подход на основе фильтра Лапласа. Подход к сохранению контуров, предложенный в [2] заключается в добавлении к минимизируемой в формуле 1 функции третьего слагаемого $\mathcal{L}_{edge}(X)$, вычисляемого по формуле 4, в которой W, H — размеры карт границ, $(\cdot \star \cdot)$ — операция свёртки, $P_\sigma(\cdot)$ — пулинг с усреднением с окном размера $\sigma \in \{2, 4, 6\}$, β — коэффициент, регулирующий силу сохранения границ, K_L — ядро фильтра Лапласа.

$$K_L = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathcal{L}_{edge}(X) = \frac{1}{WH} \sum_{i,j=0}^{H,W} [P_\sigma(X) \star K_L - P_\sigma(X_C) \star K_L]_{i,j}^2 \quad (4)$$

Предложенное решение обладает существенными недостатками: ярко выраженные контуры выделяются слабо, фильтр Лапласа сильно подвержен шумам, добавляемые в стилизацию дополнительные контуры размываются, а так же появляются различные артефакты.

Предлагаемые модификации. Для решения обозначенных выше проблем было предложено заменить связку пулинга и фильтра Лапласа на фильтр Собеля, а так же заменить т.н. симметричную функцию потерь на несимметричную. С помощью первой модификации удалось снизить чувствительность к шумам, избавиться от артефактов и сделать контуры на стилизации более яркими. С помощью второй — избавиться от размытия дополнительных контуров. Предложенная функция потерь контуров представлена формулой 5, в которой $\mathbb{I}$ — индикаторная функция.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}$$

$$I(X) = 0.21X^R + 0.71X^G + 0.07X^B \quad G(X) = \sqrt{(I(X) \star G_x)^2 + (I(X) \star G_y)^2}$$

$$\mathcal{L}_{edge}(X) = \frac{1}{WH} \sum_{i,j=1}^{W,H} [\mathbb{I}[G(X_C) > G(X)] (G(X_C) - G(X))]_{i,j}^2 \quad (5)$$

Предложенный подход был реализован на языке Python с применением фреймворка PyTorch. Ранее известные методы так же были реализованы заново.

Оценки пользователей. Для подтверждения преимущества предложенного подхода были проведены эксперименты, в которых пользователям было необходимо выбрать из пар изображений то, которое им нравится больше. При сравнении с базовым подходом пользователи выбрали результат работы нашего метода в 97% случаев, а при сравнении с подходом на основе фильтра Лапласа — в 96%. Сбор оценок осуществлялся с помощью специально разработанной для этого системы. Система была реализована на языке Python, с применением Django, W3CSS и SQLite.

Литература

- [1] Gatys L., Ecker A., Bethge M. A neural algorithm of artistic style // arXiv:1508.06576, 2015
- [2] Laplacian-Steered Neural Style Transfer / L. Shaohua, X. Xinxing, N. Liqiang, C. Tat-Seng // arXiv:1707.01253, 2017

Вариационный байесовский вывод с матричными нормальными распределениями

Руднев Виктор Сергеевич

Кафедра математических методов прогнозирования

e-mail: viktorrudnev@gmail.com

Научный руководитель — н.с. Кропотов Дмитрий Александрович

Применение вариационных байесовских методов к нейронным сетям ограничено выбором семейства приближения апостериорного распределения. Можно использовать простое семейство, например, нормальное распределение с независимыми компонентами, но это приводит к низкому качеству приближения и проблемам с оптимизацией. С другой стороны, известны более гибкие приближения такие, как нормализующие потоки или неявные распределения [1]. Их использование даёт лучшие предсказания и оценки уверенности моделей, но применение этих методов ограничено в связи с плохой масштабируемостью и проблемами со стабильностью оптимизации. Поэтому есть необходимость в новых классах семейств вариационных приближений, которые были бы стабильными и эффективными, но в то же время более гибкими, чем простые распределения.

Методы на основе тензорных разложений являются эффективным средством для манипуляции большими векторами и матрицами данных. Недавно эти методы были успешно применены к решению задач вывода в вероятностных графических моделях [2], для масштабируемого обучения в моделях гауссовских процессов [3] и других.

Одним частным случаем методов тензорного разложения является так называемое матричное нормальное (MN) распределение. Это нормальное распределение многих переменных, у которого ковариации хранятся как матрица формата TT ранга 1. Структура, наложенная TT -разложением, приводит к хранению только двух матриц — одна определяет распределение итоговой матрицы по строкам, а другая определяет распределение по столбцам.

Можно показать, что для однослойной полносвязной нейронной сети в задаче регрессии настоящее апостериорное распределение матрицы весов является в точности MN-распределением. Так, при использовании полностью факторизованного нормального приближения не будут учитываться множество корреляций в апостериорном распределении даже в этой простой модели. Поэтому применение MN-распределений кажется плодотворным в задачах вариационного байесовского вывода в больших нейронных сетях.

Данная работа посвящена исследованию применения семейства MN приближений в байесовском вариационном выводе, а также выводу эффективного метода оптимизации, учитывающего геометрию многообразия MN распределений.

Во-первых, исследуется эффект использования MN в обучении байесовских нейронных сетей с автоматическим определением релевантности для их раз-

реживания [4]. В работе рассматривается как независимое, так и групповое разреживание. При использовании MN наблюдается значительное улучшение как в точности предсказаний и правдоподобии, так и в достигаемой степени разреженности сети.

Во-вторых, MN применяется в обучении моделей вариационного автокодировщика (VAE). Здесь применение MN показывает лучшие значения правдоподобия на тестовой выборке и более эффективное использование латентного кода. Однако, улучшения этих показателей в этом случае не велики, так как латентное пространство VAE не имеет ярко выраженной матричной структуры — свойства, для которого MN-распределение используется в первую очередь.

Также в работе предлагается эффективный метод оптимизации по многообразию MN-распределений. Предлагаемый метод относится к классу так называемых «римановых» [5] методов оптимизации, которые учитывают геометрию пространства оптимизации. Используется тот факт, что в предложенной нами параметризации матрица ковариации MN-распределения обладает структурой произведения Кронекера двух положительно определенных матриц. Показывается, что применение этого метода к ранее рассмотренной задаче оптимизации байесовских нейронных сетей с автоматическим определением релевантности приводит к существенному ускорению сходимости по сравнению с методом стохастического градиентного спуска.

Литература

- [1] Huszár F. Variational inference using implicit distributions // arXiv preprint arXiv:1702.08235, 2017.
- [2] Putting MRFs on a tensor train / Alexander Novikov, Anton Rodomanov, Anton Osokin, Dmitry Vetrov // International Conference on Machine Learning, 2014, С. 811–819.
- [3] Izmailov P., Novikov A., Kropotov D. Scalable Gaussian processes with billions of inducing inputs via tensor train decomposition // arXiv preprint arXiv:1710.07324, 2017.
- [4] Kharitonov V., Molchanov D., Vetrov D. Variational dropout via empirical Bayes // arXiv preprint arXiv:1811.00596, 2018.
- [5] Steinlechner M. Riemannian optimization for high-dimensional tensor completion // SIAM Journal on Scientific Computing. Т. 48, № 5, С. S461–S484.

Тематико-стилистические векторные представления текстовых пользовательских запросов.

Скачков Николай Андреевич

Кафедра математических методов прогнозирования

e-mail: nikolaj-skachkov@yandex.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. доц. Воронцов Константин Вячеславович

Построение семантических векторных представлений (в. п.) для текстов — это получившая большое распространение в последнее время задача перевода текстов естественного языка в численные представления фиксированной длины. Данные векторные представления могут использоваться в качестве признакового описания текстов например для анализа коллекции и построения классификаторов.

В данной работе тексты представляют из себя пользовательские запросы в систему автоматического перевода. Тексты обычно небольшой длины и различаются по тематике и стилистике. Для каждого запроса известно из какой пользовательской сессии он пришёл.

Будем считать, что тема и стиль внутри пользовательской сессии сохраняются. Тогда задачу построения в. п. сведём к классификации принадлежности пар запросов одной пользовательской сессии на основе близости их векторных представлений.

Для построения векторных представлений используется нейросетевая архитектура Transformer [1] с агрегацией в. п. слов в в. п. запроса на основе механизма внимания. Обучение моделей происходит методом стохастического градиентного спуска [2] и заключается в минимизации значения функции потерь. Для обучения модели использовались стандартные для задачи построения в. п. функции потерь [3], основанные на сближении в. п. для запросов из одной сессии и удалении в. п. для случайных запросов, называемых положительными и отрицательными примерами соответственно.

Необходимость вычислять в. п. для отрицательных примеров на каждой итерации оптимизационного процесса вычислительно затратно для тяжёлых нейросетевых архитектур, поэтому обучение со стандартными функциями потерь оказалось неэффективным. В работе предложен подход борьбы с этой проблемой, основанный на использовании в качестве отрицательных примеров запроса уже использованных положительных примеров для других запросов.

Данная процедура превзошла по качеству аналогичные функции потерь, а обученная модель дала лучший результат, чем решающие данную задачу аналогичные предобученные модели [4].

Также было показано, что данные векторные представления заметно улучшают качество решения задач построения доменных классификаторов и кластерного анализа коллекции.

Литература

- [1] Attention Is All You Need / Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, L., Polosukhin, I. // NIPS, 2017
- [2] Robbins, Monro. A Stochastic Approximation Method. // Ann. Math. Statist. 22 (1951), no. 3, 400–407
- [3] Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. / Mikolov, Tomas Corrado, G.s Chen, Kai Dean, Jeffrey. // 1-12. Proceedings of the International Conference on Learning Representations , 2013
- [4] Universal Sentence Encoder / Cer, D., Yang, Y., Kong, S., Hua, N., Limtiaco, N., John, R.S., Constant, N., Guajardo-Cespedes, M., Yuan, S., Tar, C., Sung, Y., Strobe, B., Kurzweil, R.// CoRR 2018

Распознавание тактильных образов

Работа удостоена диплома II степени

Шестакова Анна Николаевна

Кафедра математических методов прогнозирования

e-mail: annashest@inbox.ru

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

В настоящее время активно фиксируются и анализируются зрительные и звуковые образы, в то время как тактильные образы до сих пор широко не использовались. При этом зачастую большую часть информации об объекте дает именно осязание. В частности, тактильные образы важны в медицине: хотя ультразвук, рентген и другие методы предоставляют врачу великолепные диагностические возможности, опытный врач обязательно «прощупает» пациента для более точной постановки диагноза.

В данной работе рассмотрено снятие тактильных сигналов с помощью тактильного механорецептора, разработанного в МГУ имени М. В. Ломоносова [1]. Целью работы является изучение распознавания тактильных сигналов, полученных с его помощью.

Механорецептор — система, состоящая из эластичной воспринимающей внешнее давление мембраны, прикрывающей одинаковые по объему полости, которые изменяются при контакте с «ощупываемым» объектом. Динамическое измерение давления в каждой из полостей производится дискретным датчиком давления. На конце механорецептора располагается мембрана с некоторым количеством каналов (их может быть, например, 4, 19 или 24). Каждый канал измеряет давление в текущий момент времени.

Обследование происходит следующим образом: в определенной точке надавливают прибором, потом отпускают, при этом через равные промежутки времени, например, через 100 мс, фиксируются значения давления в каждом из каналов. Таким образом, для каждой точки ткани получается многомерный (по числу каналов механорецептора) временной ряд. С помощью специального приспособления можно фиксировать перемещение прибора и обеспечивать его движение с постоянной скоростью вдоль одной оси.

Гипотеза заключается в том, что с помощью полученных таким образом сигналов можно решить задачу интегральной диагностики, сформулированную следующим образом: известно, какая именно биологическая ткань исследуется тактильным механорецептором, а также множество возможных диагнозов, требуется выбрать наиболее вероятный диагноз. Таким образом, поставленная задача является задачей классификации.

Первым этапом решения задачи является сглаживание сигналов с использованием низкочастотных фильтров [2, 3]. В данной работе использовался фильтр Баттерворта. Далее, на основании сглаженных сигналов формировалось 36-мерное признаковое пространство, включающее в себя такие признаки как максимальное значение, достигаемое на каждом из каналов, длина сигнала.

После получения признакового описания каждой точки применяются такие методы решения задачи классификации как метод ближайших соседей, метод ближайших центроидов или решающие деревья [4].

Данные для проведения исследований были собраны лично автором работы при исследовании удаленных после плановых операций частей желудка и кишечника человека. Они были разделены на две выборки, соответствующие разным типам тканей. Множество возможных диагнозов сводилась к здоровой ткани и опухоли.

В ходе выполнения работы была написана программа на языке программирования Python 3, реализующая обработку собранных данных и выделение признаков из обработанных сигналов. К полученным небольшим выборкам были применены несколько методов классификации. Удалось достичь точности равной 66% для желудка и 58% для кишечника, такое падение качества объясняется слишком разнообразными входными данными (разные исследуемые ткани и диагнозы, что по сути нарушает постановку задачи). Учитывая размер выборки и ее состав, результат считается удовлетворительным с точки зрения врачей, от которых была получена задача.

Несмотря на то, что использовалась очень маленькая выборка, получено достаточно высокое качество и можно ожидать, что в будущем удастся достичь лучшего результата за счет сбора данных, доработки обработки сигналов и использования других методов классификации.

В дальнейшем результаты работы могут быть использованы, например, в эндоскопической хирургии, для получения дополнительной информации о ткани, к которой хирург не имеет непосредственного доступа.

Литература

- [1] В. А. Садовничий, М. Э. Соколов, Н. А. Макаровец и др. Механорецепторная тактильная диагностика и тактильная трансляция в эндоскопической хирургии.—М.: Литтерра, 2013.
- [2] Э. Айфичер, Б. Джервис. Цифровая обработка сигналов: практический подход.—М.:Вильямс, 2004.

- [3] А. И. Солонина, Д. А. Улахович, С. М. Арбузов, Е. Б. Соловьева. Основы цифровой обработки сигналов: курс лекций / – 2-е изд., испр. и перераб. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
- [4] К. В. Воронцов. Математические методы обучения по прецедентам.
- [5] L. Breiman. Random forests // Machine Learning. — 2001..
- [6] A.N. Shestakova Processing and analysis of signals received from a tactile mechanoreceptor // Science, Technology and Life -2018 Proceedings of articles the V International scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary — Russia, Moscow, December 28-29, 2018
- [7] А.Н. Шестакова Распознавание тактильных образов // Ломоносов—2019: Сб. тезисов — М.:Издательский отдел ф-та ВМК МГУ; МАКС Пресс, 2019.

О верификации автоматов-преобразователей с помощью темпоральной логики

Работа удостоена диплома II степени

Гнатенко Антон Романович

Кафедра математической кибернетики

e-mail: gnatenko.cmc@gmail.com

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Захаров Владимир Анатольевич

При разработке программ большой практический интерес представляет задача их *верификации*, то есть формальной проверки данной программы или системы на соответствие спецификации. Верификация позволяет *гарантировать* отсутствие ошибок в программе, что недостижимо с помощью классических техник тестирования.

Один из современных подходов к решению задачи верификации, так называемый метод *проверки на модели* (model checking), основан на построении формальной модели программы с последующей автоматической проверкой этой модели на соответствие спецификации [1]. Этот метод широко распространён на практике в силу по меньшей мере двух обстоятельств. Во-первых, он может быть эффективно автоматизирован, в отличие от некоторых других методов верификации. Во-вторых, в случае нахождения ошибки в программе этот метод позволяет построить пример входных данных или трассы вычислений, на которых работа программы отличается от желаемой.

В этой работе задача проверки на модели ставится и исследуется для систем, моделируемых автоматами-преобразователями [2, 3]. Это довольно широкий класс программ и устройств, включающий, например, так называемые последовательные реагирующие системы [4]. *Реагирующая система* — это программа или цифровая схема, получающая управляющие сигналы (команды, запросы и т. п.) из внешней среды, и осуществляющая, в соответствии с этими сигналами и своими внутренними инструкциями, операции с данными, механические движения, взаимодействие с окружением и др.

Автомат-преобразователь $\pi = (Q, C, A, q_0, T)$, моделирующий реагирующую систему, определяется конечным набором управляющих состояний Q ,

множествами входных сигналов $\mathcal{C}$ и элементарных действий $\mathcal{A}$, начальным состоянием q_0 и отношением переходов $T \subseteq Q \times \mathcal{C} \times Q \times \mathcal{A}^*$. Находясь в управляющем состоянии q' и получив на вход сигнал c , автомат π совершает переход вида (q', c, q'', h) . При этом его управляющее состояние изменяется на q'' и считается, что автомат выполнил последовательность элементарных действий $h = a_1 a_2 \dots a_k$.

Требования к реагирующей системе необходимо формализовать с помощью подходящего языка спецификаций. В данной работе для этих целей разрабатывается и используется логическая система $\mathcal{LP}\text{-}CTL^*$, комбинирующая выразительные возможности темпоральных логик и регулярных выражений. Формулы $\mathcal{LP}\text{-}CTL^*$, таким образом, позволяют:

1. выражать требования к поведению системы с течением времени;
2. описывать связь между потоком входных сигналов и последовательностью действий, выполняемых системой.

Задача верификации формулируется следующим образом: *для заданных автомата π и формулы φ языка $\mathcal{LP}\text{-}CTL^*$ определить, удовлетворяет ли автомат π формуле φ .*

В каждый момент времени *полное состояние* системы задаётся текущим управляющим состоянием автомата и историей всех действий, совершённых автоматом с начала вычислений. Таким образом, вычисления преобразователя порождают бесконечное дерево, узлами которого являются полные состояния системы. В настоящей работе предлагается метод построения конечного представления дерева вычислений автомата, с точностью до истинности формулы φ и её подформул, в виде графа $\Gamma(\pi, \varphi)$. Это позволяет построить алгоритм верификации, основанный на последовательной разметке вершин графа $\Gamma(\pi, \varphi)$ подформулами формулы φ . Если в результате начальная вершина оказывается помеченной самой формулой φ , алгоритм заключает, что автомат π удовлетворяет формуле φ . В противном случае алгоритм строит контрпример — вычисление, на котором требование φ нарушается. В работе обоснованы полнота и корректность алгоритма, а так же получена верхняя оценка его трудоёмкости, линейная относительно размера автомата и экспоненциальная относительно размера формулы.

Кроме того, в работе предложена модификация алгоритма верификации на случай классических моделей программ — систем Крипке. Для этих моделей известны стандартные методы спецификации и верификации [1], однако язык $\mathcal{LP}\text{-}CTL^*$ и предлагаемый нами алгоритм позволяют описывать и проверять более тонкие свойства программ, недоступные для обычных методов.

Литература

- [1] Clarke E. M., Gramberg O., Peled D. A. Model Checking // MIT Press, 1999.
- [2] Alur R., Cerny P. Streaming transducers for algorithmic verification of single-pass list-processing programs // Proceedings of 38-th ACM SIGACT-SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages. 2011. p. 599-610.

- [3] Hu Q., D'Antoni L. Automatic Program Inversion using Symbolic Transducers // Proceedings of the 38th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation. 2017. p. 376-389.
- [4] Kozlova D. G., Zakharov V. A. On the model checking of sequential reactive systems // Proceedings of the 25th International Workshop on Concurrency, Specification and Programming. CEUR Workshop Proceedings. 2016. Vol. 1698, p. 233-244.

Темпоральная логика троичных цифровых сигналов

Работа удостоена диплома III степени

Куцак Нина Юрьевна

Кафедра математической кибернетики

e-mail: nina_svetik@mail.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. н.с. Подымов Владислав Васильевич

В наше время усиленными темпами развивается цифровая схемотехника [1] — дисциплина проектирования и исследования схем электронных устройств. Один из способов отладки схемы после ее описания основан на программной симуляции: моделировании выполнения в упрощенной программной семантике. Симуляция позволяет строить диаграммы сигналов, которые представляют собой совокупность графиков функциональной зависимости значений сигналов от времени. Часто используемым вариантом исследования работоспособности схемы, повышения эффективности разработки и обнаружения ошибок в функционировании, является изучение диаграммы вручную на предмет наличия несоответствий желаемому результату. Основная цель представленной работы заключалась в замене изучения диаграммы на ее автоматическую проверку удовлетворению записанному формулой свойству правильной работы схемы, то есть на формальную верификацию диаграммы.

Сигналы, возникающие в программной симуляции, обладают характерными особенностями: изменение значений в реальном времени, наличие неопределенного значения и фронтов (переходов между значениями). По имеющимся сведениям, математических понятий, учитывающих эти особенности и позволяющих описывать свойства диаграмм сигналов формулами, и соответствующих программных средств верификации не существует. Основными результатами работы являются обозначенные понятия и средство.

В работе введены два эквивалентных строгих определения цифрового сигнала, учитывающих три значения сигнала: положительное (1), отрицательное (0), неопределенное (x), — и наличие фронтов ($\updownarrow$). *Континуальным сигналом* названо специальное отображение временного отрезка действительных чисел в $\{0, 1, x, \updownarrow\}$. *Фронтальным сигналом* названо конечное представление континуального сигнала, согласованное с практическим представлением сигнала в программной симуляции. *Диаграмма сигналов* определена как именованная совокупность континуальных сигналов. Для описания содержательных свойств диаграммы и последующей вери-

фикации определен синтаксис *формул* с помощью формы Бэкуса-Наура: $\varphi ::= y \mid (\neg\varphi) \mid (\varphi \& \varphi) \mid (\varphi \vee \varphi) \mid (\varphi \rightarrow \varphi) \mid (\varphi = \varphi) \mid (\varphi \sqsubseteq \varphi) \mid (\mathbf{F}\varphi) \mid (\mathbf{G}\varphi) \mid (\varphi \mathbf{U}\varphi) \mid (\varphi \mathbf{L}\varphi)$, где: φ — формула; y — переменная; $\neg, \&, \vee, \rightarrow, =$ — операции троичной логики Стивена Клини [2], обобщенные на сигналы; $\sqsubseteq$ — естественно возникающая в рассуждениях о неопределенности операция вложения; $\mathbf{F}, \mathbf{G}, \mathbf{U}$ — темпоральные операторы [3], адаптированные к характерным особенностям сигналов, обозначенных выше; $\mathbf{L}$ — оператор «в момент последнего переднего фронта одного сигнала значение другого равно 1», не имеющий известных аналогов. Оператором $\mathbf{L}$ описываются характерные способы реакции одних сигналов на фронты других. Формулы предложенного логического языка интерпретируются на диаграммах сигналов как обязательно истинные, возможно истинные или ложные. В работе поставлена *задача формальной верификации* диаграмм сигналов: для заданных диаграммы D и формулы φ проверить, является ли φ обязательно истинной на D . Каждой операции формулы сопоставлены *функции преобразования сигналов*, в совокупности определяющих алгебру сигналов. Разработаны алгоритмы преобразования сигналов и основанное на них алгоритмическое решение задачи верификации. Данное решение реализовано в программном средстве, автоматически проверяющем истинность формулы предложенного языка на диаграмме, представленной в текстовом формате программной симуляции самых популярных языков разработки схем на уровне регистровых передач Verilog и VHDL [1].

Простым для понимания и при этом практически ценным примером того, к чему может быть применима разработанная логика, является проверка свойств правильности работы D-триггера [1]— устройства для запоминания двоичной информации. Триггеры широко используются для построения цифровых устройств с памятью и практически любых нетривиальных цифровых схем. Принцип работы D-триггера заключается в выставлении значения информационного входа in на выход out по синхросигналу clk . Пример правильной работы D-триггера изображен на Рис. 1. На нем показано изменение значений сигналов в зависимости от времени: нижний уровень— это значение 0, верхний— 1, черная область— x , переход между уровнями— фронт. Неопределенное значение на выходе out может возникать как при неопределенном значении на входе in , так и при метастабильном состоянии работы устройства, возникающем из-за одновременного изменения значений входных сигналов. Правильная работа D-триггера, с учетом указанных особенностей, описывается следующей формулой предложенной логики: $\mathbf{G}(out \sqsubseteq clk\mathbf{L}in)$, и может быть автоматически проверена реализованным программным средством.

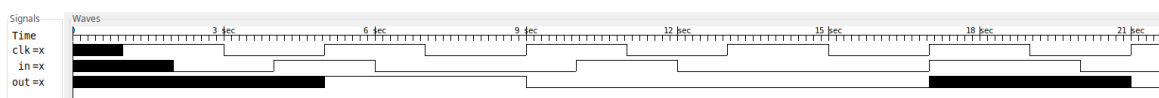


Рис. 1: Диаграмма сигналов D-триггера

Литература

- [1] D. Harris, S. Harris. Digital Design and Computer Architecture. – 2nd Edition. Elsevier, 2013.
- [2] G. Malinowski. Kleene logic and inference. Bulletin of the Section of Logic, vol. 43:1/2. 2014. – p. 43–52.
- [3] D. Basin, F. Klaedtke, E. Zălinescu. Algorithms for Monitoring Real-time Properties // Acta Informatica, vol. 55, issue 4. 2018. – p. 309–338.

О билинейных алгоритмах умножения матриц с параметрами $\langle m, 2, 2 \rangle$

Назаров Андрей Александрович

Кафедра математической кибернетики

e-mail: nazarovandry2@mail.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Алексеев Валерий Борисович

Сложность умножения матриц. Вообще, сложность умножения матриц — это наименьшее возможное количество арифметических операций в алгоритме, перемножающем две матрицы. Обычно операции сложения и вычитания не учитываются, так как они менее затратные по времени, чем операция умножения. Далее строгое определение билинейной сложности.

Определение. Билинейная сложность задачи умножения матрицы $\|a_{ij}\|$ размера $m \times n$ на матрицу $\|b_{kl}\|$ размера $n \times p$ (задача $\langle m, n, p \rangle$) над полем F — это минимальное число d выражений вида

$$\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^t a_{ij} \right) \left(\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^p \beta_{kl}^t a_{kl} \right), t = \overline{1, d}$$

линейными комбинациями которых можно получить все билинейные формы

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} b_{jl}, i = \overline{1, m}, l = \overline{1, p}$$

(все коэффициенты здесь берутся из F).

Задача. Данная работа посвящена получению нижних оценок билинейной сложности умножения матрицы $m \times 2$ на матрицу 2×2 (задача $\langle m, 2, 2 \rangle$).

Верхние оценки билинейной сложности. Из алгоритма Штрассена [3] известно, что билинейная сложность умножения матриц 2×2 на 2×2 не больше 7. Следовательно, разбивая матрицу $m \times 2$ на блоки 2×2 (при нечетном m останется еще один блок 1×2) и перемножая поблочно, мы получим сложность $\frac{7}{2}m$, при четном m , и сложность $\frac{7}{2}(m-1) + 4 = \frac{7}{2}m + \frac{1}{2}$, при нечетном. Это верхняя оценка билинейной сложности.

Новый результат для нижних оценок билинейной сложности. Известна [2] нижняя оценка для $m \geq 5$: $3m + 2$ (над произвольным полем). Также известно [1], что для случая, когда поле, над которым перемножаются матрицы, состоит из 2 элементов, верхняя оценка совпадает с нижней при любом натуральном m . Следующая теорема, доказанная в данной работе, обобщает результат из [1], улучшая известную нижнюю оценку $3m + 2$ [2] для любого конечного поля (из K элементов).

Теорема. *Билинейная сложность умножения матриц $m \times 2$ на 2×2 над полем из K элементов не менее $(3 + \frac{3}{K^2+2})m$.*

Нижняя оценка улучшена (по сравнению с оценкой из [2]) для $m > \frac{2(K^2+2)}{3}$.

Литература

- [1] Hopcroft J.E., Kerr L.R. On minimazing the number of multiplications necessary for matrix multiplication // Technical report No.69-44., September 1969, Department of Computer Science Cornell University Ithaca, New York 14850.
- [2] Алексеев В. Б. О билинейной сложности умножения матриц $m \times 2$ и 2×2 // Чебышевский сборник Т. 16, Вып. 4. С. 6–15.
- [3] Штрассен В. Алгоритм Гаусса не оптимален // Кибернетический сборник, Вып. 7. М. : Мир, 1970. С. 67–70.

О сложности реализации функций алгебры логики мультиплексорного типа в некоторых классах контактных схем

Хзмалян Давид Эдвардович

Кафедра математической кибернетики

e-mail: david.khzmalian@gmail.com

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

В данной работе рассматривается задача индивидуального синтеза в классе контактных схем (КС) для стандартной мультиплексорной функции алгебры логики порядка n , то есть для функции μ_n от $n + 2^n$ булевых переменных (БП), где первые n БП называются «адресными» БП, а оставшиеся 2^n — «информационными» БП. При этом значение функции μ_n равно значению той ее информационной переменной, номер которой поступил на ее адресные входы.

Напомним некоторые определения и факты, а также введем обозначения, связанные с реализацией функции алгебры логики (ФАЛ) в классе контактных схем. Те понятия, которые в данной работе не определяются, могут быть найдены, например, в [1, 2].

Сложностью $L(\Sigma)$ контактной схемы Σ будем называть количество контактов в ней. Будем рассматривать мультиплексорную ФАЛ порядка n от $n + 2^n$

переменных

$$\mu_n(x_1, x_2, \dots, x_n, y_0, y_1, \dots, y_{2^n-1}) = \bigvee_{\tilde{\sigma}=(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \in B^n} x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} \dots x_n^{\sigma_n} y_{\nu(\tilde{\sigma})},$$

где $\nu(\tilde{\sigma})$ это число, двоичная запись которого совпадает с $\tilde{\sigma}$.

Определение. Будем говорить, что контактная схема Σ , реализующая мультиплексорную ФАЛ μ_n , корректна, если выполнены следующие два условия:

1) в схеме Σ нет нулевых цепей, содержащих противоположные контакты одной и той же информационной переменной,

2) для любой проводящей цепи в схеме Σ верно, что если она содержит вершину инцидентную некоторому контакту информационной переменной, то она также содержит контакт информационной переменной инцидентный данной вершине.

В работе доказывается следующая теорема.

Теорема. Для любой корректной контактной схемы Σ , реализующей мультиплексорную ФАЛ μ_n , $n \geq 2$, справедливо следующее неравенство:

$$L(\Sigma) \geq 2^{n+1} + \frac{2^n}{4n} - 4.$$

Из работы [3], известно, что для сложности $L^\pi(\mu_n)$ мультиплексорной ФАЛ μ_n в классе параллельно-последовательных схем (π -схем) выполняется соотношение

$$L^\pi(\mu_n) = 2^{n+1} + \frac{2^n}{n} \pm O\left(\frac{2^n}{n \log n}\right).$$

Верхняя оценка этой работы достигается на корректной π -схеме, реализующей мультиплексорную ФАЛ.

Таким образом, для любой минимальной корректной контактной схемы Σ , реализующей мультиплексорную ФАЛ μ_n , $n \geq 2$, выполняются неравенства:

$$2^{n+1} + \frac{2^n}{4n} - 4 \leq L(\Sigma) \leq 2^{n+1} + \frac{2^n}{n} + O\left(\frac{2^n}{n \log n}\right).$$

Литература

- [1] Ложкин С. А. Лекции по основам кибернетики. — М.: Изд. отдел фак. ВМиК МГУ 2004. — 256 с.
- [2] Алексеев В. Б., Ложкин С. А. Элементы теории графов, схем и автоматов. — М.: Изд. отдел фак. ВМиК МГУ, 2000. — 58 с.
- [3] Ложкин С. А., Власов Н. В., О сложности мультиплексорной функции в классе π -схем // Физико-математические науки, Учен. зап. Казан. гос. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки, 151, №2, Изд-во Казанского ун-та, Казань, 2009, — 98–106 с.

Создание системы оптимального фрод-мониторинга счетов физических лиц на основе теоретико-игровой модели Штакельберга

Бельская Александра Дмитриевна

Кафедра информационной безопасности

e-mail: alexandra-belskaya@yandex.ru

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Грушо Александр Александрович

Работа посвящена задаче оптимизации контроля службой безопасности банка счетов физических лиц для защиты их от фрода. Поскольку ресурсы контроля по сравнению с общим количеством счетов малы, возникает задача оптимального выбора контролируемых счетов, минимизирующего возможности противника [1]. Эта задача приводит к антагонистической игре с нулевой суммой и к задаче оценки потерь при выборе чистой стратегии в соответствии с распределением оптимальной смешанной стратегии.

В данной работе был разработан и реализован алгоритм оптимального выбора счетов, подлежащих фрод-мониторингу, с расчетом на уменьшение потерь при действиях злоумышленника [2], проведены оценки возможного отклонения чистой стратегии от оптимального решения, предложены два метода построения доверительных интервалов [3] и проведено сравнение методов параметрической и непараметрической статистики на основе имитационного моделирования методом Монте-Карло [4].

Для оценки потерь при выборе чистой стратегии в соответствии с распределением оптимальной смешанной стратегии были вычислены доверительный интервал и интеквантильный размах и проанализирована зависимость точности обеих оценок от размера исследуемой выборки [5]. Для анализа выборка была проверена на предмет распределения по нормальному закону, для чего применялись различные аналитические и графические критерии, в частности критерий Лиллиефорса и графики квантилей [6].

Результатом работы является наличие разработанного алгоритма оптимального выбора контролируемых счетов и его программной реализации. Проведенные исследования на основе имитационного моделирования показали, что различие оценочных интервалов параметрической и непараметрической статистики в данном случае имеет распределение, близкое к нормальному, и более точную оценку отклонения решения в чистых стратегиях от оптимального решения игры будет давать оценка параметрической статистики – доверительный интервал

$$(\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma) = \left(\frac{1}{v} \sum_{j=1}^v U_A^{(j)} - 3\sigma; \frac{1}{v} \sum_{j=1}^v U_A^{(j)} + 3\sigma \right)$$

$$3\sigma = 3 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{v} \sum_{j=1}^v \left(U_A^{(j)} \right)^2 - \frac{2}{v^2} \left(\sum_{j=1}^v U_A^{(j)} \right)^2 + \frac{1}{v^3} \sum_{l=1}^v \left(\sum_{j=1}^v U_A^{(j)} \right)^2 \right)}$$

где $U_A^{(j)}(a^{(j)}, d^{(j)})$ - функция выигрыша атакующего игрока, a_i и d_i - ходы игроков на i -том шаге.

Литература

- [1] Manish J., Tambe M., Pita J. Bayesian Stackelberg Games and Their Application for Security at Los Angeles International Airport //ACM SIGecom Exchanges. June 2008.
- [2] Korzhyk D., Tambe M., Zhengyu Y. Stackelberg vs. Nash in Security Games: An Extended Investigation of Interchangeability, Equivalence, and Uniqueness //Journal of Artificial Intelligence Research 2011.
- [3] Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа: Сб. статей //М.: Финансы и статистика 1988.
- [4] Соболев И. М. Метод Монте-Карло //М.: Наука 1968.
- [5] Rouaud. Mathieu. Probability, Statistics and Estimation 2013.
- [6] Лемешко Б. Ю., Лемешко С. Б. Модели распределений статистик непараметрических критериев согласия при проверке сложных гипотез с использованием оценок максимального правдоподобия. 2009.

Атака по побочным каналам по времени на криптосистемы типа Мак-Элиса

Беспалова Анастасия Павловна

Кафедра информационной безопасности

e-mail: nastya_pb@mail.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Чижов Иван Владимирович

Механизмы инкапсуляции ключа предназначены для передачи симметричных ключей шифрования по открытому каналу. В основе данных алгоритмов лежит асимметричное шифрование. В работе рассматривается применимость атаки по побочным каналам на предложенный на конкурс NIST в [1] механизм инкапсуляции ключа на основе QC-MDPC криптосистемы Мак-Элиса.

В данной работе была предложена новая атака, построенная на основе атаки по времени на криптосистему Мак-Элиса на основе кодов Гоппы, опубликованной в статье [2]. После проведения подготовительной стадии атаки было обнаружено, что существует зависимость между весом вектора ошибки и временем, затраченным на декапсуляцию. Таким образом, было показано, что данный механизм инкапсуляции ключа уязвим к атаке по времени.

Также была выведена оценка сложности проведения полной атаки, зависящая от параметров криптосистемы:

$$O(t \cdot n^2 \cdot r^2 + t \cdot n^2 \cdot w \cdot r) \quad (1)$$

где t — максимальное количество ошибок, n — длина линейного кода, r — соразмерность кода, w — постоянный вес проверочной матрицы. Таким образом, на проведение атаки на алгоритм с оригинальным декодером на персональном компьютере было бы затрачено около 40 часов.

Для демонстрации работоспособности атаки при имеющихся вычислительных мощностях исходный алгоритм декодирования был изменен путем добавления дополнительных проверок синдрома. Данная модификация позволила провести атаку на механизм инкапсуляции ключа с параметрами, отвечающими актуальному уровню криптостойкости. На проведение атаки было затрачено около 10 часов.

Также в работе были продемонстрированы защитные меры против данной атаки. Был проанализирован алгоритм декодирования, предложенный в магистерской диссертации А.А.Соколовой [3]. Показано, что данный алгоритм является устойчивым к предложенной атаке по времени, однако имеет недостатки в виде существенного увеличения времени работы декапсуляции.

Литература

- [1] Yamada A., QC-MDPC KEM: A Key Encapsulation Mechanism Based on the QC-MDPC McEliece Encryption Scheme [HTML] <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Projects/Post-Quantum-Cryptography/documents/round-1/ip-statements/>
- [2] Avanzi R., Hoerder S., Page D., Tunstall M. Side-channel attacks on the McEliece and Niederreiter public-key cryptosystems // Journal of Cryptographic Engineering. 2011. С. 271–287
- [3] Соколова А. А. Вопросы программной реализации криптосистемы Мак-Элиса, построенной на квазициклических кодах с умеренной плотностью проверок на четность : дис. ... маг. физ.-мат. наук/ Соколова Анастасия Александровна. Москва, 2018. 23 с.

Исследование возможности обхода одного алгоритма идентификации по лицам

Работа удостоена диплома II степени

Никифорова Лидия Олеговна

Кафедра информационной безопасности

e-mail: lidanikiforova@mail.ru

Научные руководители — к.ф.-м.н. доц. Применко Эдуард Андреевич,

Маршалко Григорий Борисович (Технический комитет по стандартизации ТК 26)

В последние годы биометрические технологии активно внедряются в информационно-телекоммуникационные системы в качестве средства идентификации пользователей. Одним из актуальных направлений является удаленная биометрическая идентификация, которая находит свое применение, например, в системах интернет-банкинга.

Одним из широко используемых методов идентификации, реализованных, в частности, в мобильных устройствах, является распознавание человека по

лицу. Цель данной работы — проведение атаки на биометрическую систему идентификации, использующую алгоритм распознавания Eigenfaces [1], при которой атакующий образ модифицируется таким образом, чтобы он визуально был мало отличим от исходного изображения, но распознавался системой как атакуемый [2].

Алгоритм Eigenfaces. В основе алгоритма Eigenfaces лежит метод главных компонент применительно к изображениям лиц. Любое такое изображение может быть представлено в виде линейной комбинации собственных лиц и среднего лица. Каждое изображение описывается вектором весов. Идея распознавания состоит в сравнении вектора весов исследуемого изображения с векторами весов известных классов лиц.

Описание атаки. Способ реализации атаки заключается в применении одного варианта градиентного метода для направленного изменения весов атакующего изображения и в чем-то напоминает способ, использованный в работе [3]. Изменение проводится таким образом, чтобы норма разности весов модифицированного изображения на каждой итерации $\Gamma_{a,t}$ и атакуемого Γ_B была как можно меньше (если она меньше некоторого заданного в системе распознавания порога θ_k , то сгенерированное изображение признается представителем атакуемого класса), одновременно расстояние от генерируемого изображения до атакующего изображения Γ_a было как можно меньше: $\|\Omega_{\Gamma_{a,i}} - \Omega_B\| \rightarrow \min$ и $\|\Gamma_{a,i} - \Gamma_a\| \rightarrow \min$, $\Omega_{\Gamma_{a,i}} = (w_{a,1} \dots w_{a,M'})$ — вектор весов очередного модифицированного изображения, $\Omega_{\Gamma_B} = (w_{B,1} \dots w_{B,M'})$ — вектор весов атакуемого класса, M' — количество собственных лиц, используемое для распознавания. Последнее условие обеспечивает принадлежность строящегося изображения пространству лиц и визуальное сходство исходного и генерируемого изображений.

Экспериментальные результаты. Алгоритм атаки был реализован. Оценка качества получающихся изображений проводилась экспертным методом. Было проведено два социологических опроса. Первый был направлен на выявление естественности получающихся изображений. Результаты опроса показали, что модифицированные изображения воспринимаются людьми нормально. Второй — на выявление степени изменения исходного изображения. Результаты опроса показали принципиальную выявляемость вносимых в изображение изменений при наличии исходного.

Описанные результаты были представлены на конференции МиТСОБИ 2018 и опубликованы [4]

Модифицированный алгоритм. При применении градиентного метода, описанного в алгоритме атаки, возможна ситуация, так называемого, локального минимума расстояния между модифицированным изображением данной итерации и исходным изображением атакующего. В связи с этим, был произведён переход от описанного ранее «одномерного» алгоритма (на каждом шаге изменяется одно текущее модифицированное изображение) к «многомерному»

алгоритму, т. е. теперь на каждой итерации алгоритма запоминается несколько модифицированных образов.

Для обеспечения сходства строящегося и исходного изображения атакующего использовались три метрики. Первая основана на сравнении изображений в частотной области. Для перевода изображения в частотную область использовалось дискретное преобразование Фурье. Вторая основана на корреляции между изображениями. Третья — на зрительной системе человека — UIQI [5].

Модифицированный алгоритм был реализован. Сравнение значений метрик для изображений, построенных с помощью первоначального и модифицированного алгоритмов, показывает, что модифицированный алгоритм позволяет построить успешно атакующий образ более высокого качества.

Литература

- [1] Turk M., Pentland A. Eigenfaces for recognition //Journal of cognitive neuroscience. – 1991. – Т. 3. – №. 1. – С. 71-86.
- [2] Sharif M. et al. Accessorize to a crime: Real and stealthy attacks on state-of-the-art face recognition //Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – ACM, 2016. – С. 1528-1540.
- [3] Galbally J. et al. Hill-climbing attack to an eigenface-based face verification system //2009 First IEEE International Conference on Biometrics, Identity and Security (BIdS). – IEEE, 2009. – С. 1-6.
- [4] Маршалко Г. Б., Никифорова Л. О. Спуфинг атака на биометрическую систему идентификации, использующую алгоритм распознавания Eigenfaces //Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2018. – №. 3. – С. 37-44.
- [5] Al-Najjar Y. A. Y. et al. Comparison of image quality assessment: PSNR, HVS, SSIM, UIQI //Int. J. Sci. Eng. Res. – 2012. – Т. 3. – №. 8. – С. 1-5.

Разработка методов распознавания и классификации вредоносного кода в исполняемых файлах

Силаева Виктория Григорьевна

Кафедра информационной безопасности

e-mail: vika.silaeva94@mail.ru

Научный руководитель — м.н.с. Гилязов Руслан Раджабович

В данной работе проведен обзор научной литературы на тему анализа вредоносного кода в исполняемых файлах. Разработкой методов анализа программного обеспечения на предмет присутствия в них программных средств скрытого информационного воздействия (ПССИВ) занимались такие российские ученые, как С. В. Жернаков, Г. Н. Гаврилов [1], В. П. Иванников, А. И. Аветисян, С. С. Гайсарян [2], и т.д., а также многие иностранные специалисты: Мэтью Г. Шульц [3], Д. Видьярти [4], М. Джайн, П. Баджай [5] и т.д.

Было отмечено, что несмотря на актуальность темы и разнообразие существующих методов, имеющиеся механизмы распознавания вредоносных

программ не удовлетворяют современным требованиям. Кроме того, отсутствуют новые инструменты распознавания ПССИВ, позволяющие анализировать не один отдельно взятый файл, а все программное обеспечение сразу.

В ходе исследования были решены следующие частные задачи:

1. Сформирована система информативных признаков, позволяющих предположить наличие ПССИВ в исполняемых файлах PE формата, а также создана система классификации данных признаков;
2. Разработана и предложена математическая модель для решения задачи выявления и категоризации ПССИВ в исполняемых файлах PE (Portable Executable) формата;
3. Разработана и предложена методика выявления и категоризации ПССИВ в программном обеспечении;
4. Разработан программный инструмент, реализующий предложенную методику;
5. Выработаны предложения по классификации файлов, содержащих в себе ПССИВ.

Решение частных задач показывает, что была решена двуединая задача, которая заключается в выявлении наиболее опасных исполняемых файлов и в определении, на какие известные образцы вредоносного программного обеспечения похожи выявленные вредоносные исполняемые файлы.

На основе разработанной методики и дальнейшей кластеризации можно выявить не только известное и похожее на известное вредоносное программное обеспечение, а также неизвестные вредоносные программы, использующие для своей работы известные механизмы.

Результатом работы является наличие созданного автором научно-методического аппарата и программной реализации, показавшей свою работоспособность на реальных выборках вредоносных исполняемых файлов. К настоящему времени разработанный программный инструмент позволяет перейти от анализа одного отдельно взятого файла к анализу программного обеспечения в целом, независимо от его объема, а также позволяет проводить классификацию, то есть определять, на какое вредоносное программное обеспечение похожи исследуемые файлы.

Литература

- [1] Жернаков С. В., Гаврилов Г. Н. Детектирование вредоносного программного обеспечения с применением классических и нейросетевых методов классификации //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 4 (66).
- [2] Гайсарян С. С., Иванников В. П., Аветисян А. И. Анализ и трансформация программ //URL: <http://www.ict.edu.ru/ft/005642/62319e1-st06.pdf>. 2016.

- [3] Schultz M. G. et al. Data mining methods for detection of new malicious executables //Proceedings 2001 IEEE Symposium on Security and Privacy. S&P 2001. – IEEE, 2001. С. 38–49.
- [4] Vidyarthi D. et al. Malware Detection by Static Checking and Dynamic Analysis of Executables //International Journal of Information Security and Privacy (IJISP). – 2017. Т. 11. № 3. С. 29–41.
- [5] Jain M., Bajaj P. Techniques in detection and analyzing malware executables: A review //International Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2014. Т. 3. № 5. С. 930-935.

Применение сверточных нейронных сетей в задаче детектирования астрономических объектов на рентгеновских изображениях

Васильченко Андрей Дмитриевич

Кафедра интеллектуальных информационных технологий ВМиК МГУ

e-mail: ad.vasilchenko@yandex.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Мещеряков Александр Валерьевич

Летом 2019 году планируется запуск национальной космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма (SRG), главной задачей которой станет 4-х летний рентгеновский обзор всего неба в диапазоне 0.5–10 кэВ с беспрецедентной чувствительностью [1]. Уникальные данные позволят ученым нанести на карту неба миллионы сверхмассивных черных дыр (квазаров) и все крупные скопления галактик в видимой Вселенной. Ключевым образом на результаты предстоящей космической миссии влияют алгоритмы обработки данных, в частности, методы детектирования рентгеновских объектов с основного телескопа eROSITA. В данной работе впервые исследуется применение нейросетевых алгоритмов для детектирования астрономических объектов на рентгеновских изображениях и делается сравнение со стандартными методами поиска объектов в составе программного комплекса eSASS рентгеновского телескопа eRosita. Основными задачами данной работы являлись:

- Исследование возможности применения сверточных нейронных сетей в при детектировании источников на астрономических изображениях в рентгеновском диапазоне
- Включение высокоточного нейросетевого алгоритма поиска источников в цепочку обработки данных телескопа eROSITA.

Процесс детектирование рентгеновских источников в eSASS состоит из следующих этапов: (i) сегментирование областей с рентгеновскими объектами, (ii) оценка фоновой компоненты на изображении, (iii) повторное детектирование источников и измерение их характеристик (положение, яркость, размер) на основе модели максимального правдоподобия с учетом фоновой компоненты. В рамках данной работы, мы заменили один из этапов цепочки обработки данных eSASS, а именно блок сегментации источников, на обученную сверточную

нейронную сеть с модифицированной архитектурой на базе U-net [2]. Эксперименты на данных компьютерных симуляций телескопа eRosita показали, что предложенная нейросетевая модель по качеству сегментации источников значительно превосходит стандартный алгоритм erbox [3], работающий по принципу скользящего окна. Предложенный нейросетевой алгоритм, находит в 7 раз больше объектов (7% эффективность детектирования у erbox и 50% у U-net) на уровне яркости 10^{-14} эрг/с/см² в диапазоне 0.5-2кэВ (объекты на пороге детектирования для 4-х летнего обзора), при этом не увеличивается доля ложных детектирований (50% у erbox и 45% у U-net). В дальнейшем, мы планируем совершенствовать предложенные нейросетевые модели. Главной целью является замена всей цепочки детектирования астрономических объектов на рентгеновских изображениях на нейросетевую "end-to-end" архитектуру, что позволит значительно улучшить эффективность обработки данных национальной обсерватории SRG/eRosita.

Литература

- [1] Merloni A. eROSITA Science Book: Mapping the Structure of the Energetic Universe // arXiv:1209.3114
- [2] Ronneberger O. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III, pp. 234–241.
- [3] Clerc N. Synthetic simulations of the extragalactic sky seen by eROSITA. I. Pre-launch selection functions from Monte-Carlo simulations // Astronomy & Astrophysics, V. 617, id. A92, pp. 1–12

Использование методов машинного обучения для установления авторства программы

Работа удостоена диплома II степени

Горшков Сергей Сергеевич

Кафедра интеллектуальных информационных технологий

e-mail: serggorsar@yandex.ru

Научные руководители — д.т.н. профессор Сухомлин Владимир Александрович,

Ильюшин Евгений Альбинович

У каждого программиста есть свой стиль кодирования. Его можно достаточно нетрудно определить «на глаз», однако сложно сделать количественный анализ проблемы. Соблюдение стиля кодирования делает программу более понятной и удобной для поддержки, помогает соблюдать однородность кода в репозитории, если над ним работают много человек. Однако индивидуальный стиль всё равно проявляется в использовании каких-то собственных представлений о стиле, наработок и шаблонов, которые кажутся разработчику наиболее эффективными и удобными. С развитием навыков программиста его стиль может меняться. Основные задачи, которые решаются с использованием детек-

тирования стиля программирования — это задача деанонимизации программиста, проблема плагиата программного обеспечения, исследование авторских прав, обнаружение ghostwriting, экспертиза вредоносных программ. Эти проблемы актуальны и существует немало коммерческих решений некоторых из вышеперечисленных задач.

Исследованию описанных проблем посвящено множество научных статей, например, [1-3]. Традиционная методология получения программного продукта для поставленной задачи, используемая в данной области, предполагает, как правило, четыре шага: извлечение потенциально определяющих стиль автора программных метрик, фильтрация метрик и выделение действительно значимых из них, выбор модели машинного обучения для классификации и обучение модели с использованием выбранных метрик, применение модели на основании уже отфильтрованного набора метрик. Существует большое количество разнообразных метрик — лексические, расположения и стиля, управляющей и информационной структуры, архитектуры проекта, а также основанные на абстрактном синтаксическом дереве, n -граммах исходного текста или байт-кода и использовании парадигм программирования [4].

В рамках проводившихся исследований был разработан метод определения авторства исходного кода, который заключается в следующем: методами лексического анализа выделяем следующие категории лексем, в каждой из которых будем уточнять типы токенов (управляющие и разделительные символы, знаки нумерации и специальные символы, часто встречаемые слова языка, типы переменных, особенности нейминга). Большая часть метрик не зависит от выбранного языка программирования. При этом не рассматриваем в качестве часто встречаемых слов языка слова, которые зависят от предназначения программы или используются строго в этом типе файлов.

К выделенным токенам применяем алгоритм word2vec, который сопоставляет каждому слову вектор, причем токены, встречающиеся рядом с одинаковыми токенами (а значит, имеющие схожий смысл), в векторном представлении будут иметь близкие координаты. Согласно дистрибутивной гипотезе, смысл слова определяется распределением слов, в окружении которых оно встречается [5]. Далее между всеми парами векторов строится матрица расстояний, использующая евклидово расстояние. Затем на основе пар расстояний для объектов обучающей выборки вычисляется дисперсия, которая используется при конвертации расстояния в метрику похожести объектов. Определяем матрицу весов компонент, используя алгоритм оптимизации для функции потерь, содержащей взвешенные индексы (обычные индексы, умноженные на матрицу весов компонент). На основе близости взвешенных индексов оцениваем вероятности того, что тот или иной автор написал выбранную программу.

В рамках экспериментальной части работы проводилось тестирование для программ на C++, Java и JavaScript. Было проведено два способа тестирования — в первом случае часть программ каждого автора использовалась для обучения модели, а на остальное попадало в тестовую выборку. Для него были

получены следующие значения ассурасу: 97.25%, 98.89% и 97.45% соответственно. При втором подходе — все программы некоторых авторов составляют обучающую выборку, а программы остальных авторов составляют тестовую — были получены показатели 94.20%, 95.18% и 94.16% соответственно. Были выделены основные группы факторов, влияющие на стиль кодирования. В порядке убывания степени значимости это имеющие очевидную альтернативу в синтаксисе языка конструкции, особенности именования переменных и названий функций, длина переменных и проч.

Литература

- [1] A probabilistic approach to source code authorship identification / J. Kothari, M. Shevertalov, E. Stehle, S. Mancoridis // 4th International Conference on Information technology. IEEE Conference Publication, 2007.
- [2] De-anonymizing Programmers via Code Stylometry / A. Caliskan-Islam, R. Harang, A. Li, A. Narayanan, C. Voss, F. Yamaguchi, R. Greenstadt // Proceedings of the 24th Usenix Security Symposium. 2015.
- [3] Authorship attribution of source code by using back propagation neural network based on particle swarm optimization / X. Yang, G. Xu, Qi Li, Y. Guo, M. Zhang // PLoS ONE, 2017. Vol. 12. No 11.
- [4] Using Machine Learning Methods to Establish Program Authorship / S. Gorshkov, M. Nered, E. Ilyushin, D. Namiot // PLoS ONE, 2017. International Journal of Open Information Technologies. 2019. Vol. 7. P. 115–119.
- [5] Harris Z. Distributional structure // Word, 1954, Vol. 10. No 23. P. 146–162.

Алгоритмы диагностики и прогнозирования заболеваний по интервалам электрокардиограммы

Слабоузова Анна Константиновна

Кафедра интеллектуальных информационных технологий

e-mail: slabouzova@mail.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. асс. Сениюкова Ольга Викторовна

Заболевания сердца могут протекать в скрытой форме и быть причиной преждевременной смерти. К подобным заболеваниям относятся пароксизмальная фибрилляция предсердий (ПФП), ишемическая болезнь сердца (ИБС) и гипертония.

В выпускной квалификационной работе рассматривается задача диагностики данных заболеваний. Поскольку ПФП протекает эпизодически, то также рассматривается задача прогнозирования ближайшего приступа ПФП.

Диагностика и прогнозирование ПФП осуществляется по длинным записям ЭКГ. Диагностика ИБС и гипертонии может осуществляться по интервалам (расстояниям между ключевыми точками на ЭКГ) коротких записей ЭКГ. Для диагностики ИБС и гипертонии врач-кардиолог измеряет интервалы на ЭКГ. В условиях скорой помощи, для максимально быстрого диагностирования, врачу необходимо измерить как можно меньшее количество интервалов.

В работе проводится обзор существующих решений задач диагностики заболеваний по ЭКГ. По результатам проведенного обзора для решения задачи диагностики ПФП был разработан нейросетевой алгоритм на основе существующего [1], а для решения задачи прогнозирования ПФП предложен первый нейросетевой алгоритм. Разработанный алгоритм для решения задачи диагностики ПФП превосходит нейросетевые аналоги по точности.

Также в ходе обзора было показано, что ранее не было предложено алгоритмов диагностики ИБС и гипертензии по коротким записям ЭКГ. Для решения данной задачи был предложен автоматический метод с использованием всего двух интервалов одного сердечного цикла.

Данные для задачи диагностики гипертензии и ИБС предоставлены медицинским учреждением. В процессе работы над задачей были опубликованы тезисы доклада на международном симпозиуме 14th International Dead Sea Symposium (IDSS) on Innovations and Controversies in Cardiac Arrhythmias [2].

Литература

- [1] Pourbabaee B., Roshtkhari J. M., Khorasani K. Feature leaning with deep Convolutional Neural Networks for screening patients with paroxysmal atrial fibrillation // Proc. Int. Joint Conf. Neural Netw. 2016. V. 2016, P. 5057–5064.
- [2] A combination of ECG intervals and logistic regression in automatic detection of coronary heart disease / S. Gorokhova, O. Senyukova, R. Bulakh, A. Slabouzova, O. Atkov // 14th International Dead Sea Symposium (IDSS) on Innovations and Controversies in Cardiac Arrhythmias. 2018. Tel-Aviv, Israel.

Нейросетевые алгоритмы сегментации зубов на изображениях конусно-лучевой компьютерной томографии

Шорошов Григорий Максимович

*Кафедра интеллектуальных информационных технологий
e-mail: grigory.shorokhov@graphics.cs.msu.ru*

Научный руководитель — к.ф.-м.н. асс. Сеньюкова Ольга Викторовна

Сегментация зубов на изображениях конусно-лучевой компьютерной томографии является важной задачей, поскольку это необходимо для дальнейшего анализа формы и положения зубов при планировании ортодонтического или стоматологического лечения. Задача поставлена медицинской организацией.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и реализация алгоритма автоматической сегментации зубов на изображениях конусно-лучевой компьютерной томографии. Задача ставится как задача сегментации объектов: на вход алгоритму подается трехмерное полутоновое изображение, на выходе — матрица меток фона или одного из зубов.

В ходе обзора существующих решений не были найдены методы, решающие задачу в данной постановке. Поэтому были рассмотрены методы, решающие аналогичные задачи сегментации объектов. При построении решения применяются подходы, основанные на полносверточной архитектуре [1-3].

В задаче были выделены 4 подзадачи:

- грубая локализация региона интереса, содержащего зубы
- отделение зубов от фона в пониженном разрешении
- сегментация объектов в пониженном разрешении
- сегментация объектов в оригинальном разрешении

Для решения подзадачи локализации региона интереса на каждом слое входного изображения выполняется обнаружение объектов с применением алгоритма RetinaNet [4].

На шаге отделения зубов от фона в пониженном разрешении выполняется семантическая сегментация с классами «фон» и «зуб». Для решения данной подзадачи предложена модификация нейронной сети LinkNet с кодировщиком ResNet18, в которой все двумерные операции заменены на трехмерные.

На шаге сегментации объектов в пониженном разрешении выполняется поиск зубов и вычисление расстояния до границы зуба в каждом из вокселей зубов. Для поиска зубов предлагается подход, основанный на сегментации с 4 классами: «фон», «зуб», «граница» и «корень» нейронной сетью 3D U-Net. Для вычисления расстояния до границы зуба предлагается модификация метода Deep Watershed, в котором каждая из подсетей заменяется на сеть 3D U-Net и функция потерь модифицируется для работы с трехмерными изображениями.

На четвертом шаге результаты работы предыдущих шагов масштабируются до оригинального разрешения и применяется алгоритм водораздела.

Данные для экспериментальной оценки алгоритма предоставлены медицинской организацией. Набор данных состоит из 200 изображений. Критерий качества работы алгоритма — symmetric best dice. Алгоритм показывает результат 86.4 % по критерию качества. Проведено внедрение алгоритма в систему анализа изображений конусно-лучевой компьютерной томографии медицинской организации. По сравнению с коммерческим аналогом время работы уменьшилось в 3 раза, необходимость ручных операций на стадии контроля качества снизилась в 6 раз.

Проект был реализован на языке python3. Для реализации предложенных и существующих моделей использовались фреймворк TensorFlow и библиотека Keras. Время работы алгоритма на одном снимке составляет 33 с на NVidia GeForce RTX 2070 Intel Core i5-8400.

Литература

- [1] Chaurasia A., Culurciello E. LinkNet: Exploiting encoder representations for efficient semantic segmentation // IEEE Visual Communications and Image Processing. 2017. P. 1-4.
- [2] 3D U-Net: Learning Dense Volumetric Segmentation from Sparse Annotation / Özgün Çiçek, A. Abdulkadir, S. Lienkamp, T. Brox, O. Ronneberger // International conference on medical image computing and computer-assisted intervention. 2016. P. 424-432.

- [3] Bai M., Urtasun R. Deep Watershed Transform for Instance Segmentation // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017. P.2858-2866.
- [4] Focal Loss for Dense Object Detection / T. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, P. Dollár // IEEE International Conference on Computer Vision. 2017. P.2999-3007.

Алгоритм планирования вычислений в центрах обработки данных с опциональным выполнением политик размещения запросов

Васильева Юлия Олеговна

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

e-mail: vasilyeva.jo@gmail.com

Научный руководитель — к.т.н. доц. Костенко Валерий Алексеевич

В выпускной квалификационной работе рассматривается задача планирования вычислений в распределенных центрах обработки данных (ЦОД) с опциональным выполнением политик размещения запросов и возвратом запросов. В данной работе рассматривается распределенный центр обработки данных как группа ЦОД, работающих в режиме инфраструктура как услуга (IaaS — Infrastructure—as—a—Service). Распределенный центр обработки данных распределен на физическом уровне, но на уровне управления ресурсами должен работать как единое целое. Для управления ресурсами используются два вида планировщиков: локальный планировщик, осуществляющий построение отображения запросов на физические ресурсы конкретного центра обработки данных, и метапланировщик, распределяющий поступающие запросы между локальными планировщиками.

Вследствие удаления старых запросов и размещения новых при длительной работе ЦОД возникает фрагментация ресурсов. Таким образом, обладая необходимым суммарным количеством физических ресурсов для размещения запроса, его размещение может быть невозможно без нарушения условий корректности размещения. В распределенном центре обработки данных возникает фрагментация не только внутри отдельных ЦОД, но и во всем распределенном центре обработки данных в общем. В данной работе рассматривается решение этой проблемы путем снятия части «легких» запросов с физических ресурсов и перенаправления их метапланировщику для размещения в другой ЦОД с целью возможности размещения на освободившихся ресурсах более «тяжелого» запроса. При невозможности размещения снятых запросов на других ЦОД исходное назначение должно быть восстановлено. Такое решение было выбрано, так как при фрагментации ресурсов наиболее сложной задачей становится размещение «тяжелых» запросов, то есть запросов на получение большого количества ресурсов.

В реальной жизни часто необходимо повлиять на размещение виртуальных машин на физических ресурсах. Например, может возникнуть необходимость

перемещения виртуальных машин на конкретный сервер. Размещение некоторых виртуальных машин на разных серверах может повысить надежность, размещение же на одном сервере снижает задержку при взаимодействии этих виртуальных машин. Для решения этой проблемы добавлена возможность указывать политику размещения виртуальных машин в запросе, а также учет политик размещения при построении отображения запросов на физические ресурсы. Также в запросе необходимо указать, политика является обязательной или желательной. Запрос с обязательной политикой должен быть размещен в соответствии с ней, либо не размещен вовсе. Желательные политики выполняются по мере возможности.

Целью работы являлась разработка алгоритма планирования вычислений в центрах обработки данных, предусматривающего возврат запросов и опциональное выполнение политик размещения виртуальных машин, а также экспериментальное исследование свойств алгоритма.

В данной работе предложен алгоритм, сочетающий жадные стратегии и ограниченный перебор [1] и допускающий возврат запросов и опциональное выполнение политик размещения виртуальных машин [2]:

- сначала размещаются виртуальные машины, для которых заданы политики размещения виртуальных машин,
- для каждого элемента запросов делается локально оптимальный выбор варианта размещения, в соответствии с выбранной жадной стратегией,
- проверка, не закрывает ли жадный выбор пути к оптимальному решению,
- если проверка дала отрицательный результат, вызывается процедура ограниченного перебора,
- в процедуре ограниченного перебора сначала производится попытка перераспределить элементы внутри одного конкретного ЦОД,
- если текущий запрос «тяжелый» и процедура ограниченного перебора не дала результата, производится попытка назначить элемент за счет снятия части «легких» запросов и возврата их метапланировщику.

В ходе экспериментального исследования разработанного алгоритма было выявлено, что возврат запросов увеличивает количество размещенных запросов и загрузку распределенного центра обработки данных за счет перераспределения запросов в ЦОД таким образом, что размещение «тяжелых» запросов становится возможным. Выявлено, что высокий процент обязательных политик оказывает негативное влияние на количество размещенных запросов. Таким образом обязательный учет политик размещения виртуальных машин негативно сказывается на количестве размещенных запросов и загрузке центра обработки данных, если процент запросов с указанием политики достаточно высокий и среди них много обязательных политик.

Литература

- [1] Костенко В. А. Алгоритмы комбинаторной оптимизации, сочетающие жадные стратегии и ограниченный перебор // Известия РАН. Теория и системы управления. 2017. № 2. С. 48–56.
- [2] Васильева Ю. О., Костенко В. А., Морозов В. В. Планирование вычислений в территориально распределенном ЦОД // Программные системы и инструменты. Тематический сборник. Т. 18. МАКС Пресс Москва, 2018. С. 18–27.

Методы автоматической генерации рекомендаций по улучшению кода/архитектуры программы

Королев Владислав Вадимович

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

e-mail: vladkorolyov95@gmail.com

*Научные руководители — д.т.н. профессор Сухомлин Владимир Александрович,
Шитов Андрей Николаевич*

Введение. Тестирование программного обеспечения требует времени и ресурсов. Поскольку распределение дефектов между отдельными частями программного обеспечения варьируется, применение аналогичных усилий для тестирования всех частей системы не является оптимальным подходом. Следовательно, должны быть идентифицированы склонные к дефектам классы, и для них задачи тестирования должны быть приоритетными соответственно. Этот процесс называется прогнозирование дефектов программного обеспечения. Предсказание дефектов программного обеспечения получило внимание многих исследований и стало активной областью в исследовании разработки программного обеспечения [1].

Цель работы. Целью данной работы является разработка системы прогнозирования дефектов в коде программы, написанной на языке программирования JavaScript. Система должна принимать на вход функцию, написанную на JavaScript, обрабатывать, показывать на выходе вероятность того, что функция хорошая, то есть не содержит в своем коде дефектов.

Решение задачи. Общий алгоритм машинного обучения выглядит следующим образом: набор начальных данных, известно, какие из них плохие и хорошие, выделение особенных признаков в этих данных, обучение классификатора по этим признакам, тестирование обученного классификатора на новых данных. Для реализации поставленной задачи требуется определить набор изначальных данных, на которых можно будет обучаться. Изначальный набор данных должен состоять именно из функций содержащих и не содержащих ошибку. Набор данных должен быть широким и большим, что привело к исследованию Github [2]. Данные собирались по ключевым словам, которые содержатся в коммитах. Коммитом является внесение изменений в программный код. Github [2] хранит состояние данных до и после внесения коммита. Если есть ключевые слова fix или error в тексте коммита, то состояние функции до и

после выкачивалось, помечалось как плохое и хорошее соответственно. Для двух состояний функции считались метрики Холстэда, цикломатическая сложность, её плотность и строки кода функции. После этого происходит обучение на классификаторе по собранным данным. Именно эти метрики были выбраны из-за того, что использовались в задачах на схожую тематику.

Реализация. Реализовано решение на языке программирования Python. Для подсчёта метрик небольшая часть кода написана непосредственно на самом JavaScript. Сначала выкачиваются данные с Github [2], парсятся, анализируются, создаётся база данных для обучения. Для доступа к данным Github [2] была использована библиотека GitPython [3], для хранения данных использовался модуль pickle [4], для удобства работы с классификаторами использовалась библиотека scikit learn.

Экспериментальное исследование. Экспериментальное исследование проводилось на различных реализованных классификаторах и оценивалось по параметрам recall, precision, f measure и accuracy, так как именно эти показатели эффективности метода чаще всего встречаются в смежных работах. Среди реализованных классификаторов лучше всего себя показали метод ближайших соседей и случайный лес, которые помогли достичь точности прогнозирования дефекта функции, написанной на языке JavaScript, в 62 процента.

Заключение. JavaScript является одним из самых популярных языков программирования последние несколько лет. Количество написанных программ на нем растет. Необходимо иметь возможность сразу улавливать популярные ошибки при кодировании программ. Искусственный интеллект и машинное обучение, постепенно занимающие новые области, позволили упростить этот процесс. Экспериментальное тестирование подтвердило эффективность разработанного алгоритма, так как в работах данной области, решающих другие задачи, точность предсказания варьируется от 60 до 70 процентов [5].

Литература

- [1] Singh P., Verma S. Cross project software fault prediction at design phase //Int. J. Comput. Electr. Automat. Control Inf. Eng. – 2015. – Т. 9. – №. 3. – С. 800-805.
- [2] Github <https://github.com/>
- [3] GitPython <https://gitpython.readthedocs.io>
- [4] Pickle <https://docs.python.org/3/library/pickle.html>
- [5] Uchigaki S. et al. An ensemble approach of simple regression models to cross-project fault prediction //2012 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing. – IEEE, 2012. – С. 476-481.

Анализ задержки потоков виртуального пласта в программно-конфигурируемой сети с помощью стохастического сетевого исчисления

Работа удостоена диплома I степени

Синякова Марина Алексеевна

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

e-mail: msiniakova@lvk.cs.msu.su

Научный руководитель — программист Степанов Евгений Павлович

Введение. В настоящее время в связи с возросшими потребностями к качеству сервиса идет активное усовершенствование существующих сетевых технологий и разработка новых. Частным примером является разработка сетей нового поколения 5G. Одной из основных особенностей 5G является распределение сетевых ресурсов в зависимости от потребностей пользователей. Для разных типов приложений обеспечивается свое качество сервиса — ограничение на доступную пропускную способность каналов передачи данных и требуемая максимальная задержка. Под различные виды трафика выделяются отдельные ресурсы сети — виртуальные пласты, предназначенные для передачи пользовательских данных с одинаковыми требованиями качеством сервиса. В настоящей работе рассматривается только проблема обеспечения требуемой максимальной задержки. Вариация задержки может происходить при помощи изменения приоритета виртуального пласта, равному приоритету очереди на коммутаторе, в которой находится данный виртуальный пласт. Алгоритм выбора приоритета виртуального пласта в своей работе должен получать корректные оценки задержки в зависимости от распределения ресурсов.

Предлагаемый алгоритм вычисления оценки задержки. Рассмотрим алгоритм вычисления оценки задержки виртуального пласта:

1. *Формирование кривой нагрузки по собранной статистике.*

Для построения кривой нагрузки в виде $\alpha = \rho_A t + b_A$ необходимо найти значения ρ_A и b_A по заданной статистике. При помощи критерия согласия Пирсона проверяется, можно ли описать скорость прихода трафика Пуассоновским распределением с параметром $\lambda = x_{cp} = \frac{\sum_i x_i n_i}{\sum_i n_i}$. По распределению строим оценку MGF [1], из которой получаем величину ρ_A . Далее строим оценку EBB [1] и по формуле (31) из статьи [1] вычисляем параметр b_A .

2. *Формирование кривой обслуживания с учетом приоритетов.*

Для построения кривой обслуживания в виде $\beta = \rho_S t - b_S$ необходимо найти значения ρ_S и b_S . Ограничение на скорость передачи данных задается в параметрах рассматриваемого виртуального пласта. Данное ограничение берется как значение величины ρ_S . Тем самым необходимо вычислить значение b_S . Рассмотрим очередь на коммутаторе для выбранного интервала t . Пусть N_i — максимальное количество данных, которое может поступить в обработчик в виртуальном пласте i за время t . Время, необходимое на обработку данных виртуального пласта i , вычисляется как $b_i = \frac{N_i}{\vartheta}$, где ϑ —

пропускная способность канала. Величина b_S вычисляется как сумма b_i всех виртуальных пластов с большим приоритетом.

3. *Вычисление оценки задержки виртуального пласта.*

Для каждого потока строится множество задач линейного программирования (ЛП) на основе сформированных кривой нагрузки и кривой обслуживания по правилам, описанным в [2]. Количество задач зависит от возможных вариантов перестановок временных переменных и вариантов положения переменной u . Целевой функцией задачи ЛП является $\max(t_\phi - u)$, где u/t_ϕ — время входа/выхода из топологии данных, испытавших наибольшую задержку. Решая задачу ЛП при помощи средства lp-solve [3], получаем оценку задержки для одной задачи ЛП. Решая все задачи ЛП для одного потока и находя из них максимум, получаем оценку задержки для одного потока. Повторяя данный алгоритм для всех потоков и находя из них максимум, получаем оценку задержки виртуального пласта.

Экспериментальное исследование. Целью экспериментального исследования было выявление зависимостей количества задач и ограничений в ЛП от топологии и количества потоков. Рассматривались 2 вида топологий: линейная, состоящая из 1–35 обработчиков, через которую проходит от 1 до 50 потоков, и сеть прямого распространения для 13 обработчиков с изменением связности топологии. По результатам экспериментального исследования было выявлено несколько зависимостей для линейной топологии:

- Количество задач ЛП, необходимых решить для вычисления оценки задержки виртуального пласта, линейно зависит от числа обработчиков и от числа потоков.
- Количество ограничений в одной задаче ЛП зависит линейно от числа потоков и квадратично от числа обработчиков.

Для сети прямого распространения были произведены замеры общего времени работы алгоритма в зависимости от конфигурации топологии и от степени связности сети. По результатам исследования был сделан вывод, что данный метод плохо подходит для динамического вычисления оценки задержки в сети, в которой средняя связность вершины больше 3.0 (например, для связности больше 4.0 и 50 потоков в графе из 13 узлов время работы алгоритма достигало 150000 секунд).

Литература

- [1] Fidler M., Rizk A. : A guide to the stochastic network calculus. // IEEE Communications Surveys & Tutorials. — 2015. — Т. 17. — № 1. — С. 92–105.
- [2] Bouillard A., Thierry É. Tight performance bounds in the worst-case analysis of feed-forward networks // Discrete Event Dynamic Systems. — 2016. — Т. 26. — № 3. — С. 383–411.
- [3] <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>

Разработка системы генерации правил для работы с гетерогенными коммутаторами в программно-конфигурируемых сетях

Работа удостоена диплома III степени

Чернышева Анастасия Юрьевна

Кафедра автоматизации систем вычислительных комплексов

e-mail: achernyshova@lvk.cs.msu.su

Научный руководитель — к.ф.-м.н. программист Шалимов Александр Владиславович

Введение. Программно-конфигурируемые сети — новый вид архитектуры сетей, позволяющий облегчить управление сетевыми устройствами за счет наличия контроллера — устройства централизованного управления [1]. ПКС с использованием протокола OpenFlow, осуществляющего связь коммутаторов с контроллером [2], является наиболее популярной реализацией ПКС. В такой сети программист во время написания приложений для контроллера вынужден напрямую использовать низкоуровневые команды OpenFlow, что увеличивает возможность появления чисто технических ошибок, а также неудобно в использовании. Чтобы этого не происходило, проводится разработка более высокоуровневых абстракций и языков. Одной из таких реализаций является система Maple [3], которая используется в открытой версии контроллера Runos [4].

Когда пакет попадает на контроллер, он последовательно анализируется каждым из приложений, после чего в таблицы коммутатора, с которого был отправлен пакет, устанавливаются соответствующие OpenFlow правила. По умолчанию, система Maple умеет работать только с одной таблицей на коммутаторе, что может приводить к ее переполнению, в то время как какие-то таблицы останутся незанятыми. В рамках курсовой работы 2017/2018 был предложен алгоритм, расширяющий систему Maple для работы с несколькими таблицами, а именно: каждое приложение такой системы устанавливает правила OpenFlow в свою собственную таблицу [5]. Данная реализация позволяет уменьшить общее число OpenFlow правил в тех случаях, когда количество приложений, работающих на контроллере не превосходит числа доступных таблиц на каждом из коммутаторов. К сетям, не удовлетворяющим заданным ограничениям, алгоритм не может быть применен. Так как на практике такие сети встречаются в большинстве случаев, возникает необходимость решения данной проблемы.

Постановка задачи. Как следствие вышесказанного, целью данной дипломной работы было разработать и реализовать алгоритм, используемый при работе системы Maple с несколькими таблицами, способный определить, каким образом стоит распределять имеющиеся таблицы каждого конкретного коммутатора между приложениями на контроллере, чтобы число устанавливаемых OpenFlow правил было как можно меньше. Так как решение для каждого коммутатора принимается независимо и зависит только от числа доступных таблиц, такую

сеть можно назвать гетерогенной, т. е., состоящей из коммутаторов с разным количеством доступных OpenFlow таблиц.

Алгоритм. Назовем объединением набор приложений, устанавливающих OpenFlow правила в одну таблицу. Тогда алгоритм, предложенный для решения вышеуказанной проблемы, можно представить как последовательность итераций, на каждой из которых находится одно или более объединение. Алгоритм прекращает свою работу в тот момент, когда число вновь полученных, таким образом, приложений сравнивается с количеством доступных таблиц. Так как обычно резкое увеличение числа правил происходит за счет их установки несколькими приложениями, просматривающими различающиеся поля пакетов (таблица становится результатом декартова произведения двух независимых таблиц соответствующих приложений, а число правил увеличивается экспоненциально) в одну таблицу, объединение было принято находить как набор соседних приложений, содержащих наименьшее число различающихся полей. Увеличение правил может также являться следствием записи правил в различные таблицы несколькими приложениями, просматривающими одно и то же поле. В таком случае мы получаем линейный рост числа правил, что является незначительным увеличением по сравнению с результатом для различающихся полей и поэтому не учитывается в объединении, но помогает объяснить результаты экспериментов.

Реализация. Реализация была произведена в контроллере *Runos*, написанном на языке C++11 с использованием библиотек *Boost*, *Qt* и *LibFluid*, добавлено около 700 строк кода. Основными компонентами ООП в реализации являются абстракции: вновь созданного приложения, последовательности таких приложений, объединения, а также обработчика объединений. Также было написано несколько приложений для тестирования с использованием системы *Maple*.

Экспериментальное исследование. Экспериментальное исследование проводилось в системе эмуляции компьютерной сети *Mininet* с использованием коммутаторов *OpenvSwitch* и генерацией трафика функцией *pingall* для топологий *single*, *linear* и *tree*. Эксперименты показали, что для каждой отдельно заданной последовательности приложений можно найти свое оптимальное число таблиц T , такое что $1 \leq T \leq N$ (где N – общее число приложений), при котором количество установленных правил OpenFlow будет наименьшим. Это происходит в тот момент, когда различающиеся поля пакетов все еще просматриваются приложениями в различных таблицах, а совпадающие — уже в одной. Общий замер числа правил производился при помощи команды *ovs-ofctl OpenvSwitch* и его метода *dump-flows* и показал уменьшение общего числа правил на 30% и более.

Литература

- [1] Смелянский Р. Л. Программно-конфигурируемые сети // Открытые системы. СУБД. 2012. Т.9 С. 23–26.

- [2] McKeown N. et al. OpenFlow: enabling innovation in campus networks //ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2008. Т. 38, № 2. С. 69–74.
- [3] Voellmy A. et al. Maple: simplifying SDN programming using algorithmic policies //ACM SIGCOMM Computer Communication Review. ACM, 2013. Т. 43, № 4. С. 87–98.
- [4] Runos <https://github.com/ARCCN/runos>
- [5] Чернышева А. Ю., Шалимов А. В. Курсовая работа «Расширение системы Maple для работы с несколькими OpenFlow таблицами» ВМК МГУ, 2018

Предсказание производительности параллельных приложений с использованием характеристик входных данных на примере задачи множественного структурного выравнивания биологических последовательностей

Работа удостоена диплома II степени

Семак Владислав Викторович

Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики

e-mail: vlad.semak@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Попова Нина Николаевна

Современные высокопроизводительные вычислительные системы предоставляют пользователям значительные вычислительные ресурсы, эффективное использование которых является сложной задачей. В связи с этим активное развитие получила область анализа производительности параллельных приложений. Широкое распространение параллельных вычислений обуславливает большой спектр различных областей, использующих высокопроизводительные платформы в исследованиях. Одним из таких активно развивающихся направлений исследований является биоинформатика.

Рост числа известных пространственных структур белков стал причиной необходимости использования параллельных вычислений в задачах биоинформатики. Ярким примером такой задачи является пространственное выравнивание, используемое для исследования свойств и эволюционного происхождения белков. Задача пространственного выравнивания состоит в геометрическом сопоставлении трёхмерных структур белков, которое минимизирует выбранную метрику. parMATT [1] — алгоритм пространственного множественного выравнивания белков для систем с распределенной памятью, который был разработан коллективом МГУ имени М. В. Ломоносова.

Целью проводимого исследования являлась разработка метода для предсказания производительности приложения parMATT с учетом характеристик его входных данных. Необходимость подобной работы вызвана нерегулярной структурой вычислений данного типа алгоритмов, которая затрудняет их эффективное использование на высокопроизводительных системах. В качестве меры производительности в большинстве исследований рассматривают время вычислений, аналогичный подход использован в данной работе. Предложенный

метод позволяет оценить время вычислений алгоритма для задаваемых наборов входных данных.

Результатом работы является подход, который позволяет оценить производительность рассмотренного алгоритма множественного выравнивания с точностью, не уступающей существующим подходам в этой области. Предложенный подход может быть обобщен и для оценки производительности других параллельных алгоритмов, основанных на парном структурном выравнивании белков, являющемся базовой основой для алгоритма parMAT и многих других алгоритмов биоинформатики.

Литература

- [1] parmatt: parallel multiple alignment of protein 3d-structures with translations and twists for distributed-memory systems / M. V. Shegay, D. A. Suplatov, N. N. Popova, V. K. Švedas, V. V. Voevodin // Bioinformatics. — 2019.

Разработка гибридных параллельных алгоритмов и программ для различных стратегий распределения вычислений между процессорами

Работа удостоена диплома II степени

Соколова Ксения Максимовна

Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики

e-mail: ksenia.exler@gmail.com

Научный руководитель — чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. проф. Якобовский Михаил Владимирович

Для задач моделирования физических процессов активно развивается подход на основе адаптивных расчетных сеток, в частности декартовых [1]. Такие сетки позволяют существенно сократить объем вычислений, сохраняя при этом высокую точность решения.

Скорость вычислений на суперкомпьютере существенно зависит от равномерности распределения нагрузки между узлами, но не менее важно обеспечить высокую скорость выполнения вычислений каждым процессорным узлом. Следует отметить, что при использовании адаптивных расчетных сеток теряется регулярность доступа к ячейкам сеток и, тем самым, эффективность использования вычислительной мощности современных процессоров и процессорных ядер. Производительность вычислений во многом определяется структурами данных, используемыми для представления сетки в памяти.

Целью данной работы является исследование и разработка гибридных параллельных алгоритмов для различных стратегий распределения нагрузки между вычислительными узлами для различных способов представления декартовых локально-сгущающихся (ДЛС) сеток.

Существует два основных подхода к представлению ДЛС-сеток: блочно-ориентированный, при котором сетка представляется как множество слоев, каждый из которых является множеством регулярных блоков ячеек [2], и ячейко-ориентированный, при котором сетка представляется в виде четве-

ричного (окто- в трёхмерном случае) дерева [3]. Преимуществом блочно-ориентированного подхода является регулярность доступа к памяти внутри блока, однако послойная структура громоздка и негибка для декомпозиции. Для ячейко-ориентированного подхода существует способ преобразования дерева (только листья) в линейный массив с помощью кривой Мортон и соответствующая реализация [4], что сокращает объем памяти на внутренние узлах дерева, а также позволяет быстро и качественно декомпозировать сетку. Однако для проведения расчетов в каждой ячейке необходимо обращаться к её соседям, что приводит к необходимости сохранения указателей на них и к нелокальному доступу к памяти. Второй проблемой являются затраты на обработку границ получаемых при декомпозиции доменов.

Для решения представленных проблем можно использовать концепции блочно-ориентированного подхода и представить ДЛС-сетку в виде дерева блоков, которое, аналогично дереву ячеек, можно компактно представить в виде массива. Использование блоков позволяет организовать регулярный доступ к памяти и сократить объем памяти, используемой для хранения указателей на соседей, за счет чего повысить эффективность использования кэша. Для декомпозиции такой структуры на домены необходимо сопоставить каждому блоку его вес — количество ячеек в нем, и разбить массив блоков на примерно равные по сумме весов отрезки. В таком случае единица балансировки нагрузки будет крупнее, что может ухудшить баланс, но скорость упаковки данных для обменов при этом повысится за счет более ровной формы границ доменов.

Было проведено экспериментальное исследование для сравнения предложенной структуры со структурой, соответствующей ячейко-ориентированному подходу, на примере модельной задачи. Для экспериментов использовался вычислительный комплекс Blue Gene/P, запуски выполнялись на различном количестве вычислительных узлов с четырьмя потоками на каждом. Исследование подтвердило априорные предположения и, несмотря на естественное небольшое падение эффективности распараллеливания в сравнении с неоптимизированным алгоритмом, показало значительное преимущество в скорости выполнения расчетов за счет более эффективного использования процессоров.

Литература

- [1] Алгоритм многоуровневой адаптации сеток по критериям на основе вейвлет-анализа для задач газовой динамики / А. Л. Афендинов, А. А. Давыдов, И. С. Меньшов, К. Д. Меркулов, А. В. Плёткин// Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2015. 97, 22с.
- [2] Dubey A. et al. A survey of high level frameworks in block-structured adaptive mesh refinement packages // Journal of Parallel and Distributed Computing. 2014. Т. 74, № 12. С. 3217–3227.
- [3] Сухинов А. А. Построение декартовых сеток с динамической адаптацией к решению // Математическое моделирование. 2010. Т. 22, № 1. С. 86–98.

- [4] Burstedde C., Wilcox L. C., Ghattas O. p4est: Scalable algorithms for parallel adaptive mesh refinement on forests of octrees // SIAM Journal on Scientific Computing. 2011. T. 33, № 3. С. 1103–1133.

Исследование эффективности использования графических процессоров для решения задачи множественного структурного выравнивания белков

Тимохин Иван Александрович

Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики

e-mail: deadsonger@mail.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Попова Нина Николаевна

Биоинформатика – междисциплинарная область, основными задачами которой являются разработка и совершенствование методов обработки и хранения биологических последовательностей и структур. Основными объектами исследования бионформатики являются макромолекулы, такие как ДНК, РНК и белки. Важную роль в процессе исследования и обработки биополимеров играют алгоритмы выравнивания биологических последовательностей и структур. Основной задачей данных алгоритмов является преобразование входных данных таким образом, чтобы внося минимальные изменения, максимально сопоставить представление входных соединений, что в дальнейшем позволяет савнивать различные макромолекулы. Результаты работы этих алгоритмов являются основой для дальнейшего изучения соединений, построения гипотез и т. д.

В выпускной квалификационной работе проведен обзор основных алгоритмов выравнивания первичных структур белков (выравнивание последовательностей), рассмотрены методы выравнивания третичных структур соединений (структурное или пространственное выравнивание), проанализированы основные подходы к использованию графических ускорителей для решения задачи множественного выравнивания последовательностей и показана необходимость ускорения алгоритмов множественного структурного выравнивания.

Для исследования в работе выбран алгоритм множественного структурного выравнивания белков МАТТ [1]. Данный алгоритм был проанализирован с целью поиска вычислительноемких участков реализации, пригодных для переноса их выполнения на графические ускорители. С использованием профилирования приложения на различных наборах входных данных и анализа его исходного кода были выбраны две функции для дальнейшего рассмотрения: FindBestSet() и AlignSets(). Для каждой из этих функций были определены их роль в алгоритме выравнивания и детально изучен исходный код. Основываясь на результатах проведенного анализа предложены методы переноса вычислений на графические карты.

Программная реализация предложенных методов выполнена на языке C++ с использованием технологии CUDA. Основываясь на данной реализации проведено исследование эффективности предложенного метода. Основой для

исследования послужил численный эксперимент на вычислительной системе IBM Polus. В работе показано, что ускорение, получаемое при использовании предложенной программной реализации, зависит как от количества входных структур и их длин, так и от особенностей внутренней организации соединений. В работе показано, что предложенный метод позволяет получать 6-кратное ускорение по сравнению с исходной реализацией алгоритма.

Литература

- [1] Matthew Menke, Bonnie Berger, Lenore Cowen Matt: Local Flexibility Aids Protein Multiple Structure Alignment // PLOS Computational Biology, Vol. 4, No 1., 2008.

Автореферирование русскоязычных текстов с учетом синонимии

Работа удостоена диплома I степени

Зайцев Игорь Олегович

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: igorza97@mail.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Полякова Ирина Николаевна

Автореферирование — задача автоматической генерации краткого содержания исходного текста. Большинство существующих методов не учитывают семантическую составляющую обрабатываемого текста, а опираются лишь на синтаксис и морфологию.

В работе предложены такие модификации существующих методов, которые позволяют им учитывать семантическое сходство слов. А именно, модификации частотного и графового метода. В итоге, реализованы базовые и модифицированные версии методов и проведено сравнение их качества при помощи метрик автоматической оценки аннотаций ROUGE [1].

Идея частотного метода [2] заключается в оценке ценности информационных весов для слов данного текста, последующей оценке предложений и выборе самых ценных предложений для аннотации. Для оценки веса слова используется набор признаков, главными из которых являются частота, встречаемость слова в тексте, а так же часть речи слова и позиция в тексте.

Модификация заключается в объединении весов у семантически схожих слов, тем самым исключаются неразумные ситуации, когда слова синонимы получают разные веса, несмотря на то, что они обозначают одну сущность. То есть для слова w из документа d его объединенный вес может быть вычислен на основе базовых весов следующим образом:

$$combined_weight(w, d) = \sum_{w_i \in d} weight(w_i, d) * sim(w, w_i) \quad (1)$$

Графовый метод [3] вдохновлен алгоритмом PageRank [4], оценивающим значимость веб-страниц на основе ссылок между ними. Текст можно представить в виде графа, вершинами которого будут его предложения. Предложения

соединяются ребрами с весом, соответствующим сходству предложений. Для сравнения предложений обычно используют косинусную меру, либо меру Сёрнсена, основанные на совпадении слов. К данному графу применим алгоритм PageRank [4], в результате которого получается оценка значимости центральности предложений, и на основе этой оценки отбираются предложения для аннотации.

Модифицированный алгоритм использует иную меру сходства предложений при построении графа, основанную не на совпадении, а на мере сходства самих слов в предложениях. То есть, сходство предложений X и Y , согласно этой метрике, может быть вычислено следующим образом:

$$sent_sim(X, Y) = \frac{2 * \min(\sum_{w \in X} \max_{v \in Y} (sim(w, v)), \sum_{v \in Y} \max_{w \in X} (sim(w, v)))}{|X| + |Y|} \quad (2)$$

где $sim(x, y)$ — мера сходства между словами x и y .

В результате оценки и сравнения качества аннотаций метриками ROUGE [1] установлено, что модифицированный частотный метод показывает немного худшее качество, чем базовый. Тогда как модифицированный графовый имеет прирост качества как на англоязычных, так и на русскоязычных текстах.

Литература

- [1] Chin-Yew Lin. *ROUGE: A Package for Automatic Evaluation of Summaries* [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — URL: <https://www.aclweb.org/anthology/W04-1013>. (дата обращения 01.04.2019)
- [2] Ani Nenkova, Lucy Vanderwende. *The Impact of Frequency on Summarization* [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — URL: <https://www.cs.bgu.ac.il/~elhadad/nlp09/sumbasic.pdf>. (дата обращения 10.04.2019)
- [3] Rada Mihalcea, Paul Tarau. *TextRank: Bringing Order into Texts* [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — URL: <https://web.eecs.umich.edu/~mihalcea/papers/mihalcea.emnlp04.pdf>. (дата обращения 02.04.2019)
- [4] *The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web* [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — URL: <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf>. (дата обращения 10.04.2019)

Методы разрешения неоднозначности в задачах автоматической обработки текстов

Давлетов Адис Алмазбекович

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: dev.davletov@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. м.н.с. Арефьев Николай Викторович

Для решения многих задач автоматической обработки текстов применяются системы, которые разбивают исходную задачу на некоторое число дополни-

тельных подзадач. Такие системы решают задачу поэтапно, где на каждом этапе решается некоторая подзадача и ее результаты принимаются за входные данные следующего этапа.

Так во многих подобных системах на первом этапе стоит задача морфологического анализа. Качество решения данной задачи сильно влияет на результаты на следующих шагах и на качество системы в целом. Большинство ошибок морфологического анализа проявляется из-за наличия морфологической неоднозначности — морфологической омонимии.

В работе предлагается метод разрешения морфологической омонимии для русского языка, основанный на использовании информации о семантических ролях актантов в предложении. Каждое предложение описывает некоторое событие или действие. Слова в предложении, соответствующие участникам этого события, называют актантами. Семантической ролью называют некоторую характеристику, описывающую с различной степенью абстракции отношение участника события к самому событию [1]. Для разметки актантов их семантическими ролями, предлагаются методы извлечения общих и специфичных для фрейма семантических ролей. Фреймом называется выражающееся в предложении событие с характерными ему участниками [2].

Предложенные методы были протестированы на материале английского и русского языков. Результаты методов оказались лучшими среди участников соревнования SemEval 2019 Task 2 [3]. Экспериментально была показана эффективность предложенного метода разрешения морфологической омонимии на материале ГИКРЯ [4]. Результаты данной работы частично описаны в статье, принятой на конференцию NAACL—HLT 2019 и ожидающей публикации.

Литература

- [1] Jurafsky D., Martin J. Speech & language processing // Pearson Education India – 2000.
- [2] Fillmore C. J. Frame semantics // Cognitive linguistics: Basic readings. – 2006. – Т. 34. – С. 373–400.
- [3] Semeval-2019 Task 2: Unsupervised lexical frame induction / B. QasemiZadeh, M. Petruck, R. Stodden., L. Kallmeyer., M. Candito // In Proceedings of The 13th International Workshop on Semantic Evaluation. Association for Computational Linguistics. – 2019
- [4] Корпус как язык: от масштабируемости к дифференциальной полноте / Беликов В. И., Копылов Н. Ю., Пиперски А. Ч., Селегей В. П., Шаров С. А. // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: по материалам ежегодной международной конференции «Диалог 2013». – 2013. – Т. 12. – С. 84–95.

Методы оценки устойчивости словосочетаний на русском языке

Работа удостоена диплома III степени

Дорофеева Алла Александровна

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: alexdor@mail.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Большакова Елена Игоревна

Устойчивое словосочетание, или коллокация – это комбинация двух или более слов, которые имеют тенденцию к совместной встречаемости и отображают особенности конкретного естественного языка. Примерами таких словосочетаний являются *медвежья услуга, белая ворона, крепкий напиток, лошадиная сила* и другие.

В данной работе рассматривалась задача оценки и ранжирования словосочетаний системы КроссЛексика [1], большого электронного словаря, содержащего более 1,75 миллионов словосочетаний для словника из 185 тысяч единиц. Назначение КроссЛексики – обучение русскому языку и помощь при написании текстовых документов.

В выдаче системы в алфавитном порядке представлены как свободные словосочетания (*скучная мысль, простая мысль*), так и устойчивые словосочетания, или коллокации (*шальная мысль, блестящая мысль*). Очевидно, что требуется ранжирование выданных системой словосочетаний таким образом, чтобы в верхушке выдачи были устойчивые словосочетания, представляющие наибольший интерес для пользователя системы.

В работе был предложен и реализован метод упорядочения выдачи системы КроссЛексика, чтобы в ее начале содержались в первую очередь коллокации, характерные для русского языка. Метод оценки устойчивости основан на комбинировании результатов упорядочивания словосочетаний по значениям нескольких известных статистических мер ассоциаций [2]. Меры ассоциации – статистические формулы, вычисляющие степень связности элементов в составе словосочетания, учитывающие частоту сочетания слов, частоту входящих в него компонент и размер текстовой коллекции.

В рамках работы были написаны программные модули на языке Python, которые на больших коллекциях текстов подсчитывают меры ассоциации для словосочетаний системы КроссЛексика и ранжируют их по степени устойчивости. Вычисление пяти мер MI, MI3, t-score, log-Dice и minimum-sensitivity проводилось на наиболее типичной категории словосочетаний КроссЛексика – определительных парах вида Прилагательное + Существительное. Для вычисления использовались две большие текстовые коллекции: «Либрусек» (195 млн. слов) и «Лента.ру» (70 млн. слов), выбор которых обусловлен желанием охватить весь спектр словосочетаний системы.

Реализованные средства применены для упорядочения словосочетаний КроссЛексика, результаты ранжирования оценены с помощью метрики MRR. Таким

образом, был подобран способ комбинирования исследуемых мер – среднее рангов мер MI3, t-score и minimum-sensitivity.

Литература

- [1] Большаков И.А., Большакова Е.И., Гельбух А.Ф. Ассоциативная сеть понятий, образующих запросы к интернету, Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». Вып. 9(16). – М.: Изд-во РГГУ, 2010.
- [2] Захаров В.П., Хохлова М.В., Анализ эффективности статистических методов выявления коллокаций в текстах на русском языке, Диалог 2010, 2010.

О модификации алгоритма обращения матриц с элементами из кольца скалярных дифференциальных операторов

Ивачев Федор Владиславович

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: feodor.ivachev@gmail.com

Научный руководитель — д.ф.-м.н. проф. Абрамов Сергей Александрович

Умножение в кольце скалярных дифференциальных операторов некоммутативно, поэтому для матриц с элементами из этого кольца стандартные алгоритмы обращения неприменимы.

В то же время, в [1] предложен алгоритм (назовем его *InvRR*), позволяющий для матриц рассматриваемого вида проверять существование обратных и строить обратные матрицы в тех случаях, когда они существуют.

Вместе с этим, как было замечено, алгоритм *InvRR* может в ряде случаев использовать повторное дифференцирование строк. Одним из решений данной проблемы является хранение продифференцированных строк.

Чтобы не использовать большие объемы памяти для хранения всех продифференцированных строк, в представленной ВКР предложено пересчитывать некоторую вспомогательную матрицу не на каждом шаге, а через шаг алгоритма, сокращая общее количество дифференцирований строк, при этом не требуя дополнительной памяти для реализации.

Реализация предложенной модификации алгоритма добавлена как расширение существующей библиотеки EGRR ([2, 3]) на языке Maple. Помимо этого, проведено сравнение времени работы на матрицах разного порядка, показавшее преимущество модификации над алгоритмом, взятым за основу.

Литература

- [1] Abramov S. A. On the Differential and Full Algebraic Complexities of Operator Matrices Transformations // Computer Algebra in Scientific Computing, 18th International Workshop. 2016. С. 1–14.
- [2] Библиотека EGRR <http://www.ccas.ru/ca/egrr>
- [3] EGRR пакет на Github <https://github.com/FedorIvachev/EGRRInv>

Система программирования, основанная на принципах разработки через поведение

Кожеевников Дмитрий Вячеславович

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: alois9866@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Волкова Ирина Анатольевна

В последнее время набирают все большую популярность новые методологии разработки, основанные на одновременном выполнении тестирования и кодирования программного продукта. Одним из новейших методов, используемых в этой области является *разработка через поведение*. Эта методология появилась совсем недавно и пока практически не нашла применения в российской академической среде. Поэтому в данной работе представлено её подробное описание на основании существующих теоретических источников (к примеру, [1]), для того чтобы читатель мог в полной мере ознакомиться с этой методологией разработки и начать её использовать.

Помимо этого, производится обзор нескольких наиболее крупных реализаций систем, удовлетворяющих принципам разработки через поведение: определяются их достоинства и недостатки, а также критерии их оценивания. На основании этих данных создана экспериментальная система, ориентированная на русскоязычных пользователей, а также кириллический предметно-ориентированный язык для этой системы. Система содержит в себе транслятор, графические пользовательские средства (на основе [2]), систему сборки, а также непосредственно библиотеку для тестирования программ.

При построении экспериментальной системы разработки через поведение были подробно описаны шаги её создания, для того чтобы читатель мог с легкостью повторить процесс её разработки. Также подробно документирован процесс использования разработанных инструментов на примере популярной бизнес-задачи.

Таким образом, в рамках данной работы были представлены теоретические основы методологии разработки через поведение, произведен обзор существующих программных решений, создана полностью функциональная система разработки через поведение, а также описан алгоритм, позволяющий читателю повторить полученные результаты.

Литература

- [1] John Ferguson Smart. BDD in Action: Behavior-driven development for the whole software lifecycle. N.Y. : Manning Publications, 2014. 384 с.
- [2] Custom Language Support. [Электронный ресурс]. — Электрон.дан. — URL: https://www.jetbrains.org/intellij/sdk/docs/reference_guide/custom_language_support.html. (дата обращения: 6 июня 2019 г.).

Автоматическая классификация коротких русскоязычных текстов

Корнеева Ирина Александровна

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: rnkorneeva@yandex.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Полякова Ирина Николаевна

Задача классификации текстов является важной из-за увеличивающегося количества информации и разумного желания его структурировать. Тривиально, что количество отзывов, сообщений, а именно коротких текстов в интернете достигло большого числа, то есть их невозможно проанализировать и структурировать вручную, без автоматизации.

Целью выпускной работы является разработка методов автоматической классификации коротких русскоязычных текстов на категории: угроза, непристойность, оскорбление, ненависть и другие.

В работе описывается два подхода к решению данной задачи: на основе сверточной и рекуррентной нейронной сети. Для каждого из них подготовка корпуса данных и предварительная обработка текста является общей частью.

Для первого подхода была предложена архитектура нейронной сети, основанная на исследовании [1], в котором применяется сверточная нейронная сеть для задачи классификации текстов на английском языке.

Для подхода, основанного на рекуррентной нейронной сети, была предложена модифицированная архитектура, которая показала наилучшие результаты среди рассмотренных и разработанных в данном исследовании моделей. Также были подобраны методы регуляризации для предотвращения переобучения классификатора [2].

В рамках данной работы был реализован сбор коротких текстов, длина которых не превышает четырехсот слов, на русском языке из социальной сети Twitter с помощью языка Python [3]. Для разметки использовался сервис Яндекс.Толока, в котором для ассессоров были созданы задания по разметке текстов. Полученный корпус данных имеет следующее распределение классов:

Тип класса	Процентное содержание
Чистые	40
Угроза	3
Непристойность	30
Оскорбление	18
Ненависть	9

Табл. 1: Распределение классов.

Для исследования влияния структуры входных данных на результат предлагается несколько способов обработки текста. Лучший результат показал

способ, основанный на удалении общих, зависимых стоп-слов и структур текста, заранее не имеющих отношения к эмоциональной окраске.

В итоге, были получены следующие результаты: подготовлен корпус данных для обучения, рассмотрены и реализованы два подхода к решению задачи классификации текстов, исследовано влияние предварительной обработки текстов на результат классификации, для каждого из этих подходов произведен подбор гиперпараметров, получены и проанализированы результаты. **Литература**

- [1] Kim, Y. Convolutional neural networks for sentence classification / Yoon Kim // IEMNLP. 2014.Sep. 1746 -1751 p
- [2] Nitish Srivastava, Geoffrey Hinton, Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Ruslan Salakhutdinov Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting, Journal of Machine Learning Research, 2014
- [3] Лутц М. Программирование на Python, том I, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 992 с

Выявление плагиата в функциональных программах на языке Лисп

Сухов Максим Юрьевич

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: suhov85@mail.ru

Научный руководитель — м.н.с. Баева Наталия Валерьевна

В настоящее время программы, позволяющие выявить плагиат текстов как на естественном языке, так и в исходных кодах программ, продолжают активно развиваться, однако функциональной парадигме уделено меньше внимания.

В работе произведен сравнительный анализ методов проверки текстов на плагиат, написанных как на естественном языке, так и на различных языках программирования [1]. На основе данного анализа был предложен метод выявления плагиата в текстах функциональных программ на языке Лисп, основанный на методе сравнения графов вызовов [2], позволяющий отслеживать заимствование функций из одной программы в другую с указанием имен таких функций и их источников.

Определение. *Граф вызовов – взвешенный ориентированный граф, в вершинах которого находятся имена функций, а для пользовательских функций дополнительно хранится количество параметров. Исходящие ребра указывают на вызываемые функции. Вес ребра равен количеству вызовов.*

Алгоритм работы программы. При сравнении двух Лисп-программ происходит сравнение построенных по ним графов вызовов:

- Вершины пользовательских функций попарно сравниваются между собой с учетом исходящих из них ребер;
- Высчитывается коэффициент их схожести: 0 — совпадений нет, 1 — полное совпадение;

- Пара вершин схожа, если коэффициент их схожести выше заданного порога N ;
- Программа считается плагиатом, если отношение схожих в ней функций к общему числу функций выше заданного параметра K .

На основе предложенного метода была реализована кроссплатформенная программа на языке C++ с использованием графической библиотеки FLTK. Созданное программное средство было протестировано на предоставленной коллекции Лисп-программ, содержащей около 120 файлов. Кандидаты на плагиат, полученные в процессе работы программы, были просмотрены экспертом и плагиат был подтвержден для большинства пар функций с высокой вероятностью заимствования.

Литература

- [1] Roy C.K., Cordy J.R. A Survey on Software Clone Detection Research. 2007. p. 43–56.
- [2] Krinke J. Identifying Similar Code with Program Dependence Graphs // Proceedings of the 8th Working Conference on Reverse Engineering (WCRE'01). Stuttgart, Germany, 2001. p. 301–309.

Разработка методов автоматического аннотирования текстов

Работа удостоена диплома III степени

Хахмович Александр Александрович

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: hahmovich@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Волкова Ирина Анатольевна

Введение. В современных условиях при поиске информации в Интернете по той или иной тематике часто приходится прочитывать тексты целиком, что занимает немало времени. В связи с этим бывает полезно иметь аннотацию документа — некоторую краткую его версию, из которой можно извлечь, хотя бы частично, необходимую нам информацию в зависимости от цели.

По структуре аннотации можно подразделить на следующие категории:

- Аннотация, ориентированная на запрос пользователя. Она используется в поисковых системах в дополнение к ссылке на веб-страницу с документом и кратко называется *сниппетом*. Сниллет содержит отрывки документа, содержащие ключевые слова запроса.
- Аннотация ключевыми словами. Такая упрощенная форма текста используется, например, на новостных форумах. Она позволяет быстро определять главные детали и предмет повествования автора.
- Классическая аннотация. Универсальная форма, подходящая для текстов из различных предметных областей. Представляет собой отрывок из нескольких предложений, передающих основной смысл текста.

В данной работе рассматриваются методы создания классической аннотации в рамках первого подхода по следующей классификации:

- подход с выделением части предложений исходного текста, которые формируют аннотацию (*extractive summarization*)
- порождающий подход, при котором аннотация состоит из сгенерированных предложений, которых не было в тексте (*abstractive summarization*)

Методы аннотирования. Первым методом в работе рассматривается расширенная версия графового метода Textrank авторов работы [1]. Идея метода состоит в представлении текста в виде графа. Вершинами являются предложения, рёбра между вершинами проводятся в соответствии с функциями сравнения предложений. В дополнение к предложенной авторами алгоритма функции сравнения — нормализованному количеству общих для предложений слов, используется косинусная мера сходства между векторными представлениями предложений, хранящих TF-IDF значения слов. Также используется дополнительный множитель к функциям, который отслеживает порядок общих для предложений слов. Значения описанных функций служат весами на соответствующих рёбрах. После построения графа начинается итерационный процесс подсчёта сопоставленных вершинам значений по формуле, аналогичной используемой в алгоритме Pagerank ранжирования веб-страниц. Формула с детальным описанием представлена в тексте работы. Процесс сходится, вершины сортируются по убыванию значений и отсекаются по количественному порогу. Соответствующие им предложения включаются в аннотацию.

Вторым в работе рассматривается метод с использованием нейросети Encoder-Decoder архитектуры, основанный на модели из [2]. Нейросетевая модель состоит из 3х частей. Кодировщик предложений представляет собой рекуррентную нейросеть, получающую на вход векторные представления слов и формирующую на выходе последней LSTM ячейки векторное представление предложения. Закодированные предложения передаются на вход рекуррентной нейросети-кодировщику (Encoder части архитектуры). Она аналогичным образом формирует векторное представление документа, передающееся на вход нейросети-декодера. Перед декодером ставится задача предсказания для каждого предложения его вероятности принадлежности аннотации. Предложения сортируются по убыванию вероятности и отсекаются по количественному порогу. Так предложения с наибольшими вероятностями формируют аннотацию.

Оценка качества алгоритмов аннотирования. Для автоматической оценки качества алгоритмов аннотирования традиционно используются метрики ROUGE и METEOR, сравнивающие выданные алгоритмами аннотации с экспертными.

Метрика ROUGE отслеживает сходство аннотаций на уровне общих n-грамм. Как правило, отслеживается показатель F-меры.

Метрика METEOR модернизирует F-меру метрики ROUGE при помощи добавления специального штрафа. Идея метрики состоит в следующем: две аннотации являются наиболее похожими, если общие для них слова стоят в одном и том же порядке в обеих аннотациях и неразрывны другими словами, уникальными для одной из них. Таким образом, множество общих слов де-

лится на группы, максимально число групп равняется числу общих слов для аннотаций. Большее число групп даёт больший штраф, использующийся как коэффициент от 0 до 1, домножающийся к значению F-меры.

Литература

- [1] Mihalcea R., Tarau P. Textrank: Bringing order into texts. In *Proceedings of EMNLP 2004*, pp. 404–412.
- [2] Lapata M., Cheng J. Neural summarization by extracting sentences and words. In *Proceedings of the 54th Annual Meeting of ACL*, 2016, pp. 484–494.

Методы использования неразмеченных текстовых коллекций в задачах обработки текстов

Шелудько Борис Александрович

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: bs.sheludko@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. м.н.с. Арефьев Николай Викторович

Введение. Word Sense Induction (WSI) - Задача автоматического извлечения смысла неоднозначного слова в заданном фрагменте текста, которая заключается в том, чтобы сгруппировать вхождения целевого слова в соответствии со значением в котором оно употребляется. Метод решения этой задачи, с помощью нейронной языковой модели, генерирует контекстуальные замены для неоднозначного слова, а затем кластеризует вектора, построенные на основе этих замен. В задаче извлечения смысла слова вектора подстановок зарекомендовали себя лучше, чем внутренние состояния языковой модели. В настоящей работе этот метод с двумя существенными модификациями применяется на материалах русского языка. Во-первых предлагается метод комбинации правого и левого контекстов, в результате которого вектора подстановок лучше кластеризуются. А во-вторых, вместо использования фиксированного числа кластеров на все слова предлагается метод выбора индивидуального числа кластеров для каждого слова. С помощью данного метода удалось значительно превзойти предыдущий лучший результат на тестовых наборах данных соревнования RUSSE-WSI 2018.

Метод. В качестве базового метода решения задачи извлечения смысла слов был взят метод из [1]. Он состоит из трех основных этапов:

1. Генерация подстановок (с помощью предобученной языковой модели).
2. Векторизация подстановок.
3. Кластеризация полученных векторов.

В настоящей работе были предложены несколько существенных модификаций базового метода:

1. Подстановки в нем генерировались на основе правого и левого контекстов, независимо друг от друга. Был предложен метод 'байесовской комбинации' распределений с прямого и обратного проходов языковой модели, с

помощью которого получается общее распределение для правого и левого контекстов:

$$P(w|l_c, r_c) = P_{bayes_comb} = \frac{P(w|l_c)P(w|r_c)}{P(w)}$$

Где $P(w|l_c)$ и $P(w|r_c)$ - распределения на основе левого и правого контекстов, соответственно. Для генерации подстановок использовалась предобученная на русском языковая модель ELMo [2].

2. Также, в предложенном методе был изменен этап кластеризации. Вместо того, чтобы использовать фиксированное число кластеров для всех неоднозначных слов, в настоящей работе предлагается автоматический метод выбора числа кластеров для каждого слова. Сначала происходит кластеризация векторов с разными параметрами (например числом кластеров), для каждого разбиения на кластеры подсчитывается метрика под названием силуэт, и затем выбирается то разбиение на кластеры, которому соответствует максимальное значение этой метрики.

Результаты. Был реализован метод выявления значений многозначных слов, предложены и реализованы модификации этого метода. Удалось улучшить качество выявления значений многозначных слов на материалах русского языка. Оценка методов происходила на наборах данных соревнования RUSSE WSI 2018 [3]. На «bts-rnc» (набор данных указанного соревнования), с большим разрывом удалось превзойти результаты участников соревнования, которые достигли значения 0.351, а предложенный метод достиг значения 0.502. На «active-dict» также удалось превзойти результаты участников соревнования, но с меньшим отрывом - было 0.307, стало 0.331. Также было произведено сравнение языковых моделей, и разных методов их комбинации, с точки зрения способности к выявлению значений многозначных слов. Результаты данной работы частично описаны в статье, принятой на конференцию NAACL-HLT 2019. Также по материалам настоящей работы была написана еще одна статья, и подана на конференцию AIST 2019.

Литература

- [1] Amrami A., Goldberg Y. Word Sense Induction with Neural biLM and Symmetric Patterns //arXiv preprint arXiv:1808.08518. – 2018.
- [2] Deep contextualized word representations / Peters M. E., Neumann M., Iyyer M., Gardner M., Clark C., Lee K., Zettlemoyer L. // arXiv preprint arXiv:1802.05365. - 2018.
- [3] RUSSE'2018: a shared task on word sense induction for the Russian language / Panchenko A., Lopukhina A., Ustalov D., Lopukhin K., Arefyev N., Leontyev A., Loukachevitch N. // arXiv preprint arXiv:1803.05795. - 2018.

Методы выявления связей терминов

Якунина Надежда Сатурниновна

Кафедра алгоритмических языков

e-mail: nadynady98@mail.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Ефремова Наталья Эрнестовна

В выпускной квалификационной работе рассматривается задача извлечения семантических отношений терминов из текстов на естественном языке. Под термином понимается слово или словосочетание, которое является названием некоторого понятия предметной области. Задача выявления отношений заключается в поиске в тексте пар терминов, связанных некоторым отношением, и определении типа этого отношения. Например, *такса* и *собака* связаны отношением *гипоним-гипероним* (род-вид).

В рамках выпускной квалификационной работы был проведен обзор основных методов извлечения отношений. По его результатам были выбраны несколько методов для извлечения терминов, связанных отношением *гипоним-гипероним* из текстов на русском языке. Среди них:

- метод инженерного подхода;
- методы, использующие машинное обучение с учителем;
- методы дистрибутивного подхода.

Для реализации метода инженерного подхода вручную были составлены лексико-синтаксические шаблоны на языке LSPL [1], извлекающие пары терминов из неразмеченного корпуса.

В качестве методов машинного обучения были рассмотрены следующие классификаторы: *k* ближайших соседей, метод Наивного Байеса, метод опорных векторов, дерево решений, алгоритм Random Forest. Они были применены для классификации пар терминов в рамках предложения; в качестве признаков рассматривались части речи слов до/после терминов, наличие в предложении определенных знаков препинания и другие.

Для использования дистрибутивного подхода были обучены те же классификаторы, но здесь они классифицировали пары терминов. В качестве признаков использовались сумма, разность или конкатенация векторных представлений слов в паре. Под векторным представлением слова понимается числовой вектор, полученный в результате статистической обработки текста и показывающий семантическую близость слов (то есть слова, встречающиеся в схожих контекстах, будут иметь близкие вектора) [2].

Для оценки качества работы реализованных методов была собрана коллекция текстов, в которой с помощью тезаурусов были найдены пары терминов, состоящие в отношении *гипоним-гипероним*. Затем предложения, содержащие некоторую пару терминов, размечались вручную как положительные и отрицательные. Например, предложение «Многие **вещества** при окислении способны светиться, в том числе некоторые **жиры**.» было размечено как положитель-

ное, а предложение «*Целевая культура требует совершенно другого взгляда на организацию и проблемы управления ([рис.]*» – как отрицательное.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были реализованы выбранные методы извлечения отношений, оценено качество их работы и в рамках каждого рассмотренного подхода был выбран наилучший метод.

Литература

- [1] Большакова Е.И., Баева Н.В., Бордаченкова Е.А., Васильева Н.Э., Морозов С.С. Лексико-синтаксические шаблоны в задачах автоматической обработки текстов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды Международной конференции Диалог '2007 – М.: Издательский центр РГГУ, 2007, с. 70-75.
- [2] Julie Weeds, Daoud Clarke, Jeremy Reffin, David J. Weir, Bill Keller. Learning to distinguish hypernyms and co-hyponyms // Proceedings of the 25th International Conference on Computational Linguistics. - 2014. - P. 2249–2259.

Исследование и разработка методов оценки популярности информационных сюжетов на ранних стадиях

Работа удостоена диплома III степени

Аветисян Арам Арутюнович

Кафедра системного программирования

e-mail: a.a.avetisyan@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Турдаков Денис Юрьевич

Определение. Информационный сюжет или каскад – множество публикаций сообщений по одной теме в сети какими-либо пользователями. Сообщение распространяется по сети, когда другой пользователь публикует его у себя.

Определение. Информационный сюжет популярный, если количество репостов информационного сюжета больше, чем у $n\%$ сюжетов из потока,

Определение. Ранняя стадия информационного сюжета – количество репостов информационного сюжета меньше k

Распространение информации имеет огромное влияние на жизнь современного общества, вследствие чего анализ потоков распространения имеет важное значение для понимания происходящих процессов и способов влияния на них.

Выделяют 4 основных свойства распространения информации:

- Временные динамические свойства: время публикации первыми источниками, день недели, время суток
- Структурные свойства: Свойства социального графа влияния в случае его существования
- Свойства поведения пользователей: Атрибуты пользователя, роли источников в распространении информации

Данные	Accuracy	Precision	Recall
Lastfm Temp. features, n=50%	0.780	0.813	0.708
Lastfm Temp.+Graph features, n=50%	0.785	0.820	0.725
Yandex Temp. features, n=50%	0.671	0.690	0.600
Yandex Temp.+Graph features, n=50%	0.704	0.710	0.670
Yandex Temp.+Graph+Text features, n=50%	0.750	0.746	0.735

Таблица 1: результаты экспериментов модели на данных Lastfm и Yandex для различных групп признаков

— Информационные свойства: Анализ текста передаваемой информации

Авторы, описывающие модели распространения, в основном рассматривают в качестве сети распространения социальные сети, в которых опускают исследование информационных свойств. При рассмотрении других новостных сюжетов отсутствует социальный граф, поэтому не учитываются структурные свойства.

В рамках данной работы был проведен обзор решений, посвященных данной задаче. По его результатам написана обзорная статья [1]. Была реализована модель, которая использует все описанные свойства каскадов и которая является устойчивой к отсутствию социального графа. В качестве основного свойства текста распространения была выбрана тема передаваемой информации, для выявления которой использовалось тематическое моделирование lda [2]. В случае отсутствия социального графа, строился скрытый граф влияния по алгоритму Netinf [3], из которого после извлекались структурные признаки.

В качестве сравнения была взята модель [4], от авторов которой были получены данные распространения в сети lastfm. Были собраны сюжеты Яндекс новостей, для которых был построен скрытый граф влияния. На данных lastfm и yandex были проведены экспериментальные исследования модели, которые показали улучшение результатов модели [4] и устойчивость реализованной модели к отсутствию социального графа.

Литература

- [1] Аветисян А. А., Дробышевский М. Д., Турдаков Д. Ю. Методы анализа информационных потоков в сети Интернет // Труды института системного программирования РАН. 2018. Т. 30, № 6. С. 199–220.
- [2] Blei D. M., Ng A. Y., Jordan M. I. Latent dirichlet allocation // Journal of machine Learning research. 2003. Т. 3, № Jan. С. 993–1022.
- [3] Gomez-Rodriguez M., Leskovec J., Krause A. Inferring networks of diffusion and influence // ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD). 2012. Т. 5, №. 4. С. 21.
- [4] Shulman B., Sharma A., Cosley D. Predictability of popularity: Gaps between prediction and understanding // Tenth International AAAI Conference on Web and Social Media. 2016.

Статический анализ обращений к массивам в последовательных Си-программах

Василькин Владислав Николаевич

Кафедра системного программирования

e-mail: volandtymim@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Бахтин Владимир Александрович

Разработка эффективной параллельной программы становится сложной задачей для программиста как с точки зрения особого стиля мышления при разработке алгоритма, так и с точки зрения использования различных технологий параллельного программирования. Также, часто параллельные программы разрабатываются на базе последовательных реализаций, что приводит к дополнительным трудностям.

Для помощи в создании параллельных программ создаются автоматизированные средства разработки, полностью автоматические распараллеливающие компиляторы и диалоговые распараллеливающие системы. Одной из таких систем является система SAPFOR (System FOR Automated Parallelization) [1, 2], разрабатываемая в Институте Прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН. Целью работы системы является получение эффективной параллельной версии программы в модели DVMH [3] для запуска на гетерогенном вычислительном кластере. Важным компонентом системы является автоматически распараллеливающий компилятор, который на основании данных анализа программы и дополнительной информации, предоставленной пользователем системы, строит схемы распараллеливания и позволяет оценивать эффективность этих схем.

Для формирования параллельной программы SAPFOR необходима информация об обращениях к массиву для каждого его измерения, причем каждое индексное выражение должно иметь вид полинома не выше первой степени, такая форма нужна для повышения качества анализа зависимостей, в том числе между витками циклов, что способствует более оптимальному распределению данных и вычислений на узлы кластера при распараллеливании. Но в памяти ЭВМ массивы хранятся в линеаризованном виде, и для работы с памятью все обращения к массиву так же линеаризуются, а встроенный в систему LLVM функционал делинеаризации является недостаточным, в следствие чего возникла задача реализации прохода делинеаризации обращений к массивам в анализаторе TSAR системы SAPFOR для работы системы с прикладными программами на языке Си.

В процессе построения решения была проанализирована общая структура обращений к массивам в LLVM IR и влияющие на конечный код факторы, такие как: типы размеров измерений массивов (константные, динамические и смешанные), положение переменной массива в коде (глобальная, локальная или переданная как аргумент), нулевые обращения по измерениям. На основании результатов этого анализа был разработан алгоритм вычисления размеров из-

мерений, использующий его алгоритм делинеаризации обращений к массивам и алгоритм выделения коэффициентов из выражений смещений.

Для проверки работы прохода разработан и выложен в открытый доступ инструмент для генерации и тестирования программ на языке Си[4]. С использованием этого инструмента, было проведено успешное тестирование работы прохода более чем на 300 тысячах тестов. Так же при тестировании использовались проекты NAS Parallel Benchmarks 3.3, Polybench/C the Polyhedral Benchmark suite 4.2.1, Powder-2D, связанные с различными вычислительными задачами и содержащие большое количество различных операций с массивами.

В результате выполнения данной работы был реализован проход, делинеаризующий обращения к массивам и восстанавливающий размеры измерений. Результаты работы прохода увеличивают глубину проводимого анализа исходного кода программ, позволяют реализовать новые этапы анализа зависимостей и предоставить автоматически распараллеливающему компилятору системы SAPFOR необходимую для распараллеливания информацию.

Литература

- [1] Автоматизация распараллеливания программных комплексов / В. А. Бахтин, О. Ф. Жукова, Н. А. Катаев, А. С. Колганов, В. А. Крюков, Н. В. Поддерюгина, М. Н. Притула, О. А. Савицкая, А. А. Смирнов //Научный сервис в сети Интернет: труды XVIII Всероссийской научной конференции (19-24 сентября 2016 г., г. Новороссийск), М.: ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2016. – С. 76-85.
- [2] Клинов М. С., Крюков В. А. Автоматическое распараллеливание Фортран-программ. Отображение на кластер //Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2009. – №. 2. – С. 128-134.
- [3] Расширение DVM-модели параллельного программирования для кластеров с гетерогенными узлами / В. А. Бахтин, М. С. Клинов, В. А. Крюков, Н. В. Поддерюгина, М. Н. Притула, Ю. Л. Сазанов //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2012. – №. 18 (277). – С. 82-92.
- [4] Ctestgen. [HTML] (<https://github.com/VolandTymim/ctestgen>)

Автоматическая проверка целостности моделей программного обеспечения, разрабатываемого по унифицированному процессу

Кибанов Григорий Викторович

Кафедра системного программирования

e-mail: gkibanov@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Малышко Виктор Васильевич

Работа посвящена проблеме проверки с помощью программных средств целостности моделей, составленных на языке UML [1]. Поиск способов проверки UML-моделей является актуальной темой в силу использования технологий

программной инженерии на базе UML, таких как Unified Process [2]. Исправление дефектов моделей — часть процесса обеспечения качества продукта.

Модели, создаваемые в рамках технологии Unified Process, (UP-модели) имеют ряд особенностей, по сравнению с другими UML-моделями. Первая их особенность — более широкое, чем обычно, подмножество UML. Вторая особенность — определение целостности модели с нескольких точек зрения: модель должна удовлетворять ограничениям, накладываемым стандартом UML; на модель накладываются ограничения, продиктованные технологией [3]; целостность модели может быть обусловлена соглашениями внутри конкретной проектной группы.

В рамках поставленной задачи входными данными являются исследуемая UML-модель и набор формально описанных ограничений. На выходе ожидается результат проверки — набор сведений о найденных нарушенных ограничениях. В нём сообщается о том, нарушения каких именно ограничений обнаружены, и какие именно элементы и связи в составе модели приводят к нарушениям целостности. Исследуемые модели составлены в соответствии со стандартом UML 2.5.1 при помощи среды моделирования Visual Paradigm 15.2. Подмножество языка UML, за пределы которого исследование модели не выходит, включает диаграммы классов, диаграммы объектов, диаграммы пакетов, диаграммы вариантов использования, диаграммы состояний и диаграммы последовательности. Входные ограничения относятся к одному из трёх видов: стандартным ограничениям (определённым в положениях стандарта UML в той части, где Visual Paradigm позволяет создавать модели, нарушающие стандарт); технологическим ограничениям (определённым в руководствах по Unified Process); проектным ограничениям (определёнными особенностями работы конкретных проектных групп). Входной набор ограничений может быть пополнен или уточнён без модификации способа проверки и без изменения его программной реализации. Предъявляются достаточные требования по части качества проверки. Если при помощи программного средства дефекты будут обнаруживаться быстрее и не хуже, чем это делает эксперт вручную, то качество работы средства будет сочтено приемлемым.

В обзоре рассмотрены инструменты исследования моделей: Paragus и USE. Они позволяют проверять несколько стандартных ограничений из фиксированного набора. Расширить этот набор, охватить технологические и проектные ограничения, можно, только создавая дополнения к инструментам. Работа со средой USE обязывает переводить визуальные модели в текстовые описания на языке этой среды — SOIL [4]. Из обзора можно заключить, что поставленная задача не имеет готового решения.

Как искомое решение в работе предлагается метод с использованием «мета-описаний». Они генерируются по исследуемым моделям и подаются на вход среде USE. Сгенерированные «метаописания» отображают модель в виде набора экземпляров метаклассов UML, как предложено в монографии [5]. Среда USE выявляет нарушения или приходит к выводу, что все ограничения соблю-

дены. Генерация «метаописаний» обеспечивает сохранение свойств исходной модели, поэтому выводы USE справедливы для исходной модели.

Базовая идея, почерпнутая в работе [5], дополнена необходимыми компонентами: способом формального описания ограничений на языках OCL и XML, в котором ограничения формулируются в терминах метамодели UML; составленным перечнем ограничений, учитывающим положения стандарта UML и руководств по Unified Process; сформулированными правилами генерации «метаописаний» на языке SOIL; созданным описанием подмножества метамодели UML 2.5.1 на языке SOIL.

В практической части описывается разработанное программное средство для проверки целостности моделей — UmlUpChecker. В работе UmlUpChecker использует предложенные правила генерации, описание метамодели UML и набор ограничений. Реализация UmlUpChecker позволяет варьировать проверяемые ограничения в широких границах без внесения изменений в исходный код. UmlUpChecker проверен в работе при исследовании ряда UML-моделей. Он справляется с проверкой моделей разного объема, даже довольно больших. Он проверяет быстрее, чем эксперт, выявляя при этом нарушения, пропущенные экспертом. Можно считать качество его работы приемлемым.

Литература

- [1] Буч Г., Якобсон А., Рамбо Д. Язык UML. Руководство пользователя. М.: ДМК Пресс, 2006.
- [2] Арлоу Д., Нейштадт А. UML 2 и унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование. СПб, М.: Символ-Плюс, 2008.
- [3] Кватрани Т., Палистрант Дж. Визуальное моделирование с помощью IBM Rational Software Architect и UML. М.: Кудиц-Пресс, 2007.
- [4] Buttner F., Gogolla M. On OCL-based imperative languages // Science of Computer Programming. 2014. T. 92. P. 162-178.
- [5] Richters M. A Precise Approach to Validating UML Models and OCL Constraints, volume 14 of BISS Monographs // Berlin: Logos, 2002.

Разработка и реализация метода поиска уникальных аварийных завершений среди результатов динамического анализа

Ниськов Федор Владимирович

Кафедра системного программирования

e-mail: fedor.niskov@ispras.ru

Научный руководитель — чл.-кор. РАН д.ф.-м.н. проф. Аветисян Арутюн Иишханович

Обеспечение безопасности программного обеспечения имеет огромную важность в современном мире. Разработчики уделяют большое внимание тестированию и отладке. В связи с этим, они сталкиваются со следующей проблемой:

обнаружено настолько большое количество различных наборов входных данных, приводящих к аварийному завершению программы, что практически невозможно проанализировать их вручную за разумное время. При этом многие аварийные завершения могут соответствовать одному и тому же дефекту в программе. Особенно остро эта проблема возникает при использовании автоматических инструментов динамического анализа (например, фаззинг). Таким образом, возникает необходимость в автоматической фильтрации, выделяющей уникальные аварийные завершения, соответствующие различным дефектам программы.

В данной работе рассмотрены различные существующие методы решения этой задачи, описаны их недостатки. Наиболее подробно рассмотрен метод фильтрации, который используется в фаззере AFL [1, 2]. В методе используется информация о графе потока управления (ГПУ) аварийного завершения. Информация о ГПУ собирается с помощью специальной инструментации.

Согласно критерию AFL, очередное аварийное завершение считается уникальным по отношению к предыдущим, если выполнено одно из двух условий:

- В ГПУ присутствует дуга, которая отсутствовала в ГПУ во всех предыдущих аварийных завершениях.
- В ГПУ отсутствует дуга, которая присутствовала в ГПУ во всех предыдущих аварийных завершениях.

В некоторых ситуациях фильтр AFL ошибочно пропускает большое количество похожих аварийных завершений.

Предлагается новый метод фильтрации аварийных завершений [3], который является улучшением метода AFL. Сравнение аварийных завершений также основано на информации о ГПУ, а для сбора этой информации используется инструментация по методу AFL.

Для сравнения ГПУ была введена специальная метрика. Для графов $G_1(V_1, E_1)$ и $G_2(V_2, E_2)$ метрика вычисляется по формуле:

$$\rho(G_1, G_2) = \frac{|E_1 \triangle E_2|}{|E_1 \cup E_2|}$$

Два аварийных завершения считаются похожими, если:

1. их ГПУ похожи (метрика не превосходит заданного уровня)
2. совпадает точка завершения (адрес инструкции, вызвавшей исключение)

Фильтрация производится по следующему правилу: аварийное завершение добавляется ко множеству уникальных, если оно не похоже ни на одно из них. Заданный уровень метрики является параметром фильтрации.

Метод был реализован на базе фаззера ИСП РАН. Используется динамическая инструментация бинарного кода. Метод применим к исполняемым файлам без отладочной информации.

Разработанный фильтр был успешно протестирован на различных модельных и реальных программах. Для каждой программы было обнаружено большое количество аварийных завершений, причём все они ошибочно считаются уникальными по методу AFL. В каждом случае было показано, что разработанный фильтр при некотором значении метрики верно выделяет уникальные аварийные завершения (т. е. по одному завершению для каждого дефекта программы).

Работа также содержит теоретическое обоснование введённой метрики, технические детали реализации, практические рекомендации по использованию фильтра, подробное описание тестирования и исходные тексты модельных программ.

Литература

- [1] American Fuzzy Lop. URL: <http://lcamtuf.coredump.cx/afl/>
- [2] Michal Zalewski. Technical “whitepaper” for afl-fuzz. URL: http://lcamtuf.coredump.cx/afl/technical_details.txt
- [3] Ниськов Ф. В., Федотов А. Н., Курмангалеев Ш. Ф. Обработка аварийных завершений с целью выявления уникальных дефектов // Программирование. 2018. Т. 44, № 6. С. 445–452.

Методы глубокого активного обучения алгоритмов обработки текстов

Работа удостоена диплома I степени

Раснюк Александр Геннадьевич

Кафедра системного программирования

e-mail: ralegen@gmail.com

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Корухова Людмила Сергеевна

Активное обучение нейросетевых моделей используется в ситуациях, когда затруднительно или вовсе невозможно собрать достаточную по размеру обучающую выборку для применения полноценного обучения с учителем.

Проблема. Для задач классификации изображений с помощью сверточных нейросетей известен (см. [1]) метод активного обучения, позволяющий получить наиболее точный (в смысле метрики Ассигасу) классификатор. Тем не менее попытки прямого переноса этого метода на задачи обработки текстов сталкиваются с трудностями, поскольку, во-первых, для подобных задач применяются преимущественно рекуррентные нейросети, а не сверточные, а во-вторых, указанный метод фактически сводит проблему выбора данных для разметки к решению задачи k -центров, которая является NP-трудной, и, следовательно, имеет вычислительную сложность в худшем случае выше полиномиальной, что делает его практически неприменимым.

Теоретические результаты. В данной работе разрешаются обе возникшие проблемы. Сначала, подобно тому как это делалось в [1], устанавливается, что константа Липшица для рекуррентных нейросетей имеет вид $\lambda = \sum_{k=1}^n B^k$,

где n — длина входной последовательности, а исход, при котором величина B окажется меньше 1, практически невероятен. Как следствие, при использовании исследуемого метода активного обучения такие нейросети применимы лишь к анализу выборок, состоящих из относительно коротких предложений.

Далее исследуется алгоритм построения приближенного решения задачи k -центров, состоящий из двух этапов: получения грубого начального приближения и его итеративного улучшения. В частности, указывается, что сложность второго этапа может быть понижена до $\mathcal{O}(N^3)$ по времени и $\mathcal{O}(N^2)$ по памяти (относительно общего объема входных данных) при замене оригинального неполиномиального подхода, фактически решающего задачу ЦЛП, на жадный алгоритм, предложенный в [2].

Наконец, приводится доказательство того, что в схему работы второго этапа могут быть внесены модификации, такие что при выполнении определенных предположений относительно характера распределения выходных векторов нейросети классификатора, во-первых, точность получаемых классификаторов не уменьшится, а во-вторых, вычислительная сложность этапа снизится до $\mathcal{O}(N^2)$ по времени и $\mathcal{O}(N)$ по памяти, что фактически будет означать, что модифицированный метод активного обучения становится возможным применять на выборках из миллиона предложений и больше.

Экспериментальные результаты. Опыты проводились на общедоступных наборах IMDb Reviews (см. [3]) и News Category Dataset (см. [4]). В ходе экспериментов были выработаны простые рекомендации, при следовании которым выполняются все предположения, использованные при доказательстве квадратичной сложности модифицированного метода активного обучения.

Также исследуемый метод сравнивается с простыми альтернативами, производящими выбор подмножества данных для разметки случайно, по степени «неуверенности» классификатора или по уровню энтропии. На обоих наборах в среднем по результатам нескольких запусков подтверждено превосходство модифицированного метода над указанными альтернативами.

Литература

- [1] Sener O., Savarese S. Active Learning for Convolutional Neural Networks: A Core-Set Approach // arXiv:1708.00489, 2017. 13 с.
- [2] Schwartz R. An Efficient Implementation of the Robust k -Center Clustering Problem // 2010. 13 с.
- [3] Learning Word Vectors for Sentiment Analysis / A.L. Maas, R.E. Daly, P.T. Pham, D. Huang, A.Y. Ng, C. Potts // Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, 2011. T. 1. С. 142–150.
- [4] Misra R. News Category Dataset // 2018.

Методы извлечения отношений с частичным привлечением учителя

Трифонов Владислав Дмитриевич

Кафедра системного программирования

e-mail: trifonov@ispras.ru

Научный руководитель — д.т.н. профессор Кузнецов Сергей Дмитриевич

Задача извлечения отношений является одной из актуальных задач автоматической обработки текстов на естественном языке. С помощью методов её решения становится возможным автоматическое извлечение фактов из больших коллекций текстов, а также построение и дополнение баз знаний.

Одной из важнейших областей применения методов извлечения отношений являются массивы биологических и медицинских научных статей, представленных в базах РМС и PubMed, т. к. из-за высокой скорости появления публикаций возможен только автоматический анализ и структурирование новых работ. В основе современных методов извлечения отношений [1, 2, 3] лежат нейронные сети, обладающие высокой обобщающей способностью, но требующие при обучении большого объема вручную размеченных данных. К сожалению, в данной предметной области разметка требует больших усилий, поэтому для повышения обобщающей способности актуально использование методов с частичным привлечением учителя, основанных на использовании неразмеченных данных.

При извлечении отношений важными являются признаки, полученные с помощью синтаксического дерева разбора предложения, а именно информация о кратчайшем пути между рассматриваемыми сущностями [4, 5]. Это влечет за собой использование автоматических методов разбора при обучении и применении метода извлечения отношений. Задача синтаксического разбора предложения является трудной задачей обработки текстов, в то время как методы ее решения являются вычислительно сложными, поэтому сложность метода извлечения отношений при использовании данных признаков повышается.

В работе предлагаются базовые нейросетевые методы, не использующие синтаксические признаки из дерева разбора, а также их модификация, направленная на обучение метода самостоятельно извлекать важную синтаксическую информацию с помощью дополнительного рекуррентного слоя. При обучении метода с помощью данного слоя решается задача предсказания кратчайшего пути в синтаксическом дереве между двумя существительными с использованием дополнительных данных. Используя выходы данного слоя, следующий рекуррентный слой при обучении решает непосредственно задачу извлечения отношений. При обучении данного метода предлагается совместно решать основную и дополнительную задачи. Такой подход позволяет отказаться от использования методов синтаксического разбора при обучении и предсказании, что является преимуществом разработанного метода.

В ходе работы разработанные методы были реализованы и была проведена их экспериментальная оценка на биомедицинском корпусе ChemProt, посвященном отношениям между генами и химическими веществами. Результаты предложенного метода, основанного на совместном обучении, превосходят базовые методы, что подтверждено статистическими тестами. Кроме того, разработанный метод без использования автоматических методов синтаксического разбора показывает сопоставимые результаты с лучшим существующим методом для данного корпуса, требующим построения синтаксического дерева.

Литература

- [1] Relation Classification via Convolutional Deep Neural Network / D. Zeng, K. Liu, S. Lai, G. Zhou, J. Zhao // COLING: ACL. 2014. С. 2335–2344.
- [2] Relation Classification via Multi-Level Attention CNNs / L. Wang, Z. Cao, G. de Melo, Z. Liu // Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). 2016. Т. 1. С. 1298–13079
- [3] Cai R., Zhang X., Wang H. Bidirectional recurrent convolutional neural network for relation classification // Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). 2016. Т. 1. С. 756–765
- [4] Bunescu R., Mooney R. A shortest path dependency kernel for relation extraction // Proceedings of the conference on human language technology and empirical methods in natural language processing: ACL. 2005. С. 724–731
- [5] Classifying Relations via Long Short Term Memory Networks along Shortest Dependency Paths / Y. Xu, L. Mou, G. Li, Y. Chen, H. Peng, Z. Jin // Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: ACL. 2015. С. 1785–1794.

Мобильные приложения, основанные на концепции сетевой близости

Макарычев Иван Павлович

Отделение второго высшего образования

e-mail: makyvan@yandex.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. с.н.с. Намиот Дмитрий Евгеньевич

С распространением мобильных устройств и беспроводных сетей стало возможным проектировать мобильные приложения, основанные на концепции сетевой близости. Концепция сетевой близости может как заменять другие концепции и технологии (например, глобальное геопозиционирование), так и привносить новые аспекты во взаимодействие пользователя с самим приложением и с окружающими его людьми и объектами. Мобильные приложения, основанные на концепции сетевой близости, используются в разных областях деятельности, начиная от медицины и образования и заканчивая торговлей и сферой развлечений. Детали реализации таких приложений могут быть различны в зависимости от того, на какой технологии они построены.

В работе рассмотрена концепция сетевой близости, приведен сравнительный анализ технологий, лежащих в основе этой концепции, описано применение данной концепции в существующих мобильных приложениях. Под сетевой близостью понимают меру того, насколько мобильные узлы сети близки или далеки от элементов сетевой инфраструктуры [1]. Сетевая близость применяется для разработки контексто-зависимых приложений. Контекст — это местоположение, идентификаторы и состояние людей, групп, физических и виртуальных объектов и изменения этих объектов [2]. В свою очередь, контексто-зависимые приложения — это приложения, обладающие информацией о своем контексте и тем или иным образом реагирующие на него. Сетевая близость позволяет мобильному приложению получить информацию о местоположении устройства, на котором оно запущено, окружающих физических объектах и людях.

В работе предложена архитектура интеграции модели Physical Web с социальными сетями. Physical Web — это способ представления веб-страниц в физическом мире на основе сетевой близости. Согласно этому подходу, идентификатор узла беспроводной сети (Bluetooth, Wi-Fi) используется для рассылки пользовательской информации — ссылки на веб-страницу [3]. В предложенной архитектуре мобильный телефон пользователя распространяет в беспроводной сети ссылку на страницу пользователя в социальной сети. Построенное на основе описанной архитектуры приложение получит информацию о своем социальном контексте, то есть о том, кто находится поблизости.

Предложенная архитектура реализована в виде мобильного приложения для платформы Android на основе протокола Bluetooth. Разработанное приложение позволяет мобильному телефону транслировать ссылку на профиль пользователя социальной сети ВКонтакте, отыскивать такие ссылки, созданные другими пользователями, и отображать информацию о найденных поблизости пользователях на экране телефона. Приложение может быть использовано на конференциях, выставках и других подобных мероприятиях для установления контактов между участниками.

Результаты работы представлялись на конференции «Ломоносовские чтения 2019» (секция ВМК МГУ). Тезисы доклада опубликованы [4].

Литература

- [1] Namiot D. Network proximity on practice: Context-aware applications and Wi-Fi proximity // International Journal of Open Information Technologies. 2013. Т. 1, № 3. С. 1–4.
- [2] Selecting computing devices to support mobile collaboration / L. A. Guerrero, S. F. Ochoa, J. A. Pino, C. A. Collazos // Group Decision and Negotiation. 2006. Т. 15, № 3. С. 243–271.
- [3] Sneps-Sneppe M., Namiot D. On physical web models // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) (Moscow, 12–14 May 2016). М. : IEEE, 2016. С. 1–6.

- [4] Намиот Д. Е., Макарычев И. П. Использование Physical Web как расширения социальных сетей // Ломоносовские чтения: научная конференция (Москва, 15–25 апреля 2019 г.). М. : Издательский отдел факультета ВМиК МГУ; МАКС Пресс, 2019. С. 81–82.

Статистические методы снижения размерности географических объектов на спутниковых снимках

Работа удостоена диплома II степени

Никулин Евгений Владимирович

Отделение второго высшего образования

e-mail: nikulinevgeni@yandex.ru

Научный руководитель — к.ф.-м.н. доц. Захарова Татьяна Валерьевна

Выпускная квалификационная работа посвящена актуальной проблеме такой как: снижение размерности данных, необходимой сегодня, так как остро стоит проблема нехватки вычислительных ресурсов, для решения прикладных задач в области анализа данных.

У операторов систем наблюдения возникают задачи в ходе решения которых необходимо определить — пересек ли объект интереса заданную область (дорогу, русло реки и т. д.). Прямое решение требует больших вычислительных затрат, так как сложность этого класса задач $O(n^2)$ от размера области в пикселях, а размер географической области может быть сотни тысяч пикселей.

В работе в качестве анализируемых данных рассмотрены цифровые спутниковые снимки поверхности земли. На спутниковых изображениях запечатлены географические объекты как природного, так и антропогенного происхождения.

В данной работе предложены алгоритмы снижения размерности географических объектов на спутниковых снимках на основе существующих методов снижения размерности данных. При помощи разработанных алгоритмов анализируемые области можно описать, как набор статистик, что позволяет снизить вычислительную сложность исходных задач до $O(n)$ или даже $O(1)$ от размерности области в пикселях.

Были рассмотрены следующие методы: метод главных компонент [1], ЕМ алгоритм [2], GTM метод [3] и метод упругих карт [4]. Так же в ходе исследования был выявлен существенный недостаток алгоритмов, а именно — при нелинейности рассматриваемых объектов, методы имеют низкую точность аппроксимации.

В работе был разработан алгоритм, использующий сплайны для построения главных компонент, который более точно аппроксимирует анализируемые области.

Литература

- [1] Jolliffe I. T. Principal Component Analysis, Second Edition. Springer, 2002. 488 с.
- [2] Королёв В. Ю. ЕМ-алгоритм, его модификации и их применение к задаче разделения смесей вероятностных распределений. 2007. 94 с.

- [3] Svensen M. J. GTM: The Generative Topographic Mapping. Aston University, 1998. 112 с.
- [4] Gorban A. N., Zinovyev A. Y. Elastic Maps and Nets for Approximating. Principal Manifolds and Their Application to Microarray Data Visualization. 2002. 130 с.

Разработка специализированной системы хранения коллекций изображений

*Работа удостоена диплома I степени
Прокончук Станислав Константинович*

*Отделение второго высшего образования
e-mail: cyk.800@gmail.com*

Научный руководитель — в.н.с. доц. Леонов Михаил Васильевич

Для хранения и обработки коллекций электронных изображений необходим удобный программный инструмент. Часто работа специалистов проходит в архивах и библиотеках, где отсутствует свободный выход в сеть, для работы в таких условиях требуется универсальный инструмент, не привязанный к платформе и операционной системе, на которой он будет запускаться, обладающего возможностью легкого переноса информации.

В работе проводится обзор наиболее распространенных инструментов для решения данной задачи, делается обоснованный выбор наиболее подходящих. Проводится анализ предметной области и строится модель данных. Дается детальное описание разработанного пакета, особенностей использованных алгоритмов и программных средств.

На основании проведенных исследований спроектировано и реализовано клиент-серверное приложение, реализующее паттерн MVC [1] и предоставляющее интерфейс взаимодействия, который построен на принципах REST и протоколе HTTP. Для удобства работы с приложением добавлен веб-интерфейс. Реализованы механизмы пакетного ввода данных в систему и загрузки информации из системы в файл в универсальном формате JSON.

Построенное приложение может быть запущено локально, с переносного накопителя, не требует установки на компьютере пользователя и поддерживает большинство современных операционных систем (Linux, MacOS, Windows). В ходе работы была построена универсальная система, которая может решать целый ряд однотипных прикладных задач, связанных с наполнением и хранением коллекций изображений, относящихся к различным предметным областям.

В заключении работы приводятся рекомендации по повышению производительности и стабильности приложения в случае роста объема обрабатываемой информации и количества пользователей, осуществляющих одновременный доступ к приложению.

Литература

- [1] Лутц М. Изучаем Python, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб. : Символ-Плюс, 2014. 1280 с.

Темы выпускных квалификационных работ, защищённых в 2019 году

Аблов Антон Дмитриевич Неподвижные точки и совпадения отображений ультраметрических и некоторых квази-метрических пространств

Научный руководитель — Фоменко Татьяна Николаевна, д.ф.-м.н., проф.

Абрамов Михаил Борисович Различные методы приближения систем с широтно-импульсно модулированными переключениями

Научный руководитель — Гончаров Олег Игоревич, к.ф.-м.н., доц.

Аветисян Арам Арутюнович Исследование и разработка методов оценки популярности информационных сюжетов на ранних стадиях

Научный руководитель — Турдаков Денис Юрьевич, к.ф.-м.н., доц.

Адамова Ирина Олеговна Малоресурсный сервер обмена файлами для рабочих групп

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

Акентьева Анна Борисовна Построение бинарной маски капиллярной сети по видеозаписи с компьютерного капилляроскопа

Научный руководитель — Сеньюкова Ольга Викторовна, к.ф.-м.н., асс.

Алещенко Денис Сергеевич Управление системой второго порядка с фазовыми ограничениями

Научный руководитель — Терновский Владимир Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Астапов Андрей Сергеевич Нейросетевой алгоритм сегментации тела человека

Научный руководитель — Шальнов Евгений Вадимович, к.ф.-м.н., м.н.с.

Бабаян Сергей Варданович Модифицированная задача Чаплыгина

Научный руководитель — Киселев Юрий Николаевич, к.ф.-м.н., доц.

Бардеев Юрий Евгеньевич Задача целевого управления движением с огибанием недоопределённых препятствий

Научный руководитель — Точилин Павел Александрович, к.ф.-м.н., доц.

Башин Владимир Александрович Численный метод решения задачи быстрого действия с заданной точностью

Научный руководитель — Самсонов Сергей Петрович, к.ф.-м.н., доц.

Бельская Александра Дмитриевна Создание системы оптимального фрод-мониторинга счетов физических лиц на основе теоретико-игровой модели Штакельберга

Научный руководитель — Грушо Александр Александрович, д.ф.-м.н., проф.

Белянков Олег Олегович Тестирование неповторных функций

Научный руководитель — Кафтан Дарья Владимировна, м.н.с.

Беляцкий Александр Сергеевич Динамическая модель оптимального инвестирования в рекламу

Научный руководитель — Асеев Сергей Миронович, д.ф.-м.н., проф.

Беспалова Анастасия Павловна Атака по побочным каналам по времени на криптосистемы типа Мак—Элиса

Научный руководитель — Чижов Иван Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Блохина Анна Владимировна Применение генерирующих матриц для решения задач оптимизации

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

Болотников Игорь Васильевич Повышение точности нумерации значений для поиска дефектов

Научный руководитель — Белеванцев Андрей Андреевич, д.ф.-м.н., доц.

Борзов Сергей Геннадьевич Алгоритмы определения столкновения объектов на основе трассировки лучей

Научный руководитель — Зипа Кристина Сергеевна

Бучкин Александр Игоревич Разработка системы поддержки расписания занятий

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

Василенко Дарья Валерьевна Математическое моделирование гемодинамики в прикладных задачах акушерства

Научный руководитель — Мухин Сергей Иванович, д.ф.-м.н., проф.

Васильева Юлия Олеговна Алгоритм планирования вычислений в центрах обработки данных с опциональным выполнением политик размещения запросов

Научный руководитель — Костенко Валерий Алексеевич, к.т.н., доц.

Василькин Владислав Николаевич Статический анализ обращений к массивам в последовательных Си-программах

Научный руководитель — Бахтин Владимир Александрович, к.ф.-м.н., доц.

Васильченко Андрей Дмитриевич Применение нейронных сетей в задаче детектирования астрономических объектов на рентгеновских изображениях

Научный руководитель — Герасимов Сергей Валерьевич, м.н.с.

Васьков Александр Олегович Определение авторства русскоязычных текстов с использованием методов машинного обучения

Научный руководитель — Полякова Ирина Николаевна, к.ф.-м.н., ст. преп.

Винарский Евгений Максимович Алгоритмы анализа поведения реагирующих систем реального времени

Научный руководитель — Захаров Владимир Анатольевич, д.ф.-м.н., проф.

Винокуров Алексей Владимирович Разработка и реализация программного модуля выделения и анализа поисковых запросов из сетевого трафика

Научный руководитель — Падарян Вартаан Андроникович, к.ф.-м.н., доц.

Волкович Максим Сергеевич Алгоритм построения нейронной сети для решения задачи классификации с использованием методов Transfer Learning

Научный руководитель — Буряк Дмитрий Юрьевич, к.ф.-м.н., н.с.

Володькин Владислав Константинович Автоматическая расстановка регионов в параллельных Фортран-программах

Научный руководитель — Крюков Виктор Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Воробьев Евгений Юрьевич Оптимизация движения транспорта на перекрестке

Научный руководитель — Смирнов Алексей Игоревич, асс.

Воронцов Михаил Олегович Алгоритмы вычисления и аналитические свойства гамма-экспоненциальной функции

Научный руководитель — Кудрявцев Алексей Андреевич, к.ф.-м.н., доц.

Воцалевская Любовь Владиславовна Математическая модель распространения эпидемий посредством сети железнодорожных пассажирских сообщений

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

Гаврилюк Олеся Алексеевна Стабилизация нелинейных систем с использованием кусочно-линейной аппроксимации

Научный руководитель — Фурсов Андрей Серафимович, д.ф.-м.н., проф.

Галинова Вера Дмитриевна Методы разрешения лексической многозначности с использованием новостных кластеров

Научный руководитель — Лукашевич Наталья Валентиновна, д.т.н., доц.

Галов Дмитрий Дмитриевич Разработка системы для анализа и детектирования трафика вредоносного программного обеспечения для платформы Андроид

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

Гатилов Виталий Дмитриевич Прогнозирование временных рядов с помощью нейронных сетей

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

Герасимов Илья Юрьевич Схемы цифровой подписи на основе эллиптических кривых

Научный руководитель — Черепнёв Михаил Алексеевич, д.ф.-м.н., доц.

Глущенко Майя Сергеевна Автоматизация поиска небезопасных настроек для сетевых сервисов

Научный руководитель — Петухов Андрей Александрович, м.н.с.

Гнатенко

Антон Романович О верификации конечных автоматов–преобразователей с помощью темпоральной логики

Научный руководитель — Захаров Владимир Анатольевич, д.ф.-м.н., проф.

Гончаренко Дмитрий Александрович Алгоритм изменения времени суток на изображении

Научный руководитель — Зипа Кристина Сергеевна

Горбонос Алексей Игоревич Технология Nvidia RTX для фотореалистичной визуализации

Научный руководитель — Фролов Владимир Александрович, к.ф.-м.н., н.с.

Горбунов Александр Александрович Оценка стоимости опциона в биномиальной модели рынка

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

Горбушин Михаил Георгиевич Определение вероятностей принадлежности песни к четырем жанрам музыки

Научный руководитель — Ульянов Михаил Васильевич, д.т.н., проф.

Горемыкин Алексей Вячеславович Инфраструктура анализа потока данных для поиска ошибок нулевых указателей

Научный руководитель — Белеванцев Андрей Андреевич, д.ф.-м.н., доц.

Горчакова Александра Андреевна Реализация неточечных источников света в рендеринге в реальном времени

Научный руководитель — Боресков Алексей Викторович, к.ф.-м.н., м.н.с.

Горшков Сергей Сергеевич Использование методов машинного обучения для установления авторства программы

Научный руководитель — Сухомлин Владимир Александрович, д.т.н., проф.

Горячев Степан Сергеевич Статистический анализ биосигналов

Научный руководитель — Захарова Татьяна Валерьевна, к.ф.-м.н., доц.

Григорьев Яков Андреевич Исследование аномальных задач

Научный руководитель — Арутюнов Арам Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Гриценко Богдан Анатольевич Решение задачи определения оптимальной структуры теплозащитного пакета

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

Гулиев Юрий Мамедович Модель анализа уязвимости сети метро

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

Давлетов Адис Алмазбекович Методы разрешения неоднозначности в задачах автоматической обработки текстов

Научный руководитель — Арефьев Николай Викторович, к.ф.-м.н., м.н.с.

Данилова Александра Сергеевна Математическое моделирование компартментной структуры и процессов переноса в лимфатической системе

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

Дженаков Дмитрий Даниилович Генерация и отбор признаков в логических моделях распознавания

Научный руководитель — Рязанов Владимир Васильевич, д.ф.-м.н., доц.

Димов Илья Николаевич Обнаружение уязвимостей в модулях обработки шаблонов веб-страниц

Научный руководитель — Петухов Андрей Александрович, м.н.с.

Дмитриев Илья Владиславович Алгоритм управления железнодорожными потоками

Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Долганов Александр Михайлович Реализация связанного представления различных алгоритмических подходов решения задач в рамках Открытой энциклопедии свойств алгоритмов AlgoWiki

Научный руководитель — Антонов Александр Сергеевич, к.ф.-м.н., в.н.с. НИВЦ МГУ

Донской Иван Дмитриевич Модель анализа уязвимости по отношению к повреждению узлов для сети метро

Научный руководитель — Пospelова Ирина Игоревна, к.ф.-м.н., доц.

Дорофеева Алла Александровна Методы оценки устойчивости словосочетаний на русском языке

Научный руководитель — Большакова Елена Игоревна, к.ф.-м.н., доц.

Драгунов Никита Аркадьевич Поиск минимальных нечастых наборов в частично упорядоченных базах данных

Научный руководитель — Дюкова Елена Всеволодовна, д.ф.-м.н., доц.

Евграфов Владимир Андреевич Исследование методов автоматической генерации входных данных для тестирования модулей обработки шаблонов веб-страниц

Научный руководитель — Петухов Андрей Александрович, м.н.с.

Егоров Илья Игоревич Методы решения обратной задачи продолжения потенциала

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

Енина Наталья Сергеевна Стилизация изображений при помощи глубокого обучения

Научный руководитель — Боресков Алексей Викторович, к.ф.-м.н., м.н.с.

Ершов Максим Алексеевич Прямой экстраградиентный метод коррекции противоречивых задач линейного программирования

Научный руководитель — Васильев Федор Павлович, д.ф.-м.н., проф.

Жандарович Никита Игоревич Модифицированная алгебраическая атака на линейно фильтруемые нелинейные регистры сдвига

Научный руководитель — Анашин Владимир Сергеевич, д.ф.-м.н., проф.

Жиганов Роман Дамирович Система тестирования преобразования текстов из формата ODT в HTML

Научный руководитель — Хорошилов Алексей Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Жирнов Михаил Денисович Неравенства концентрации и анти-концентрации для гауссовых мер

Научный руководитель — Ульянов Владимир Васильевич, д.ф.-м.н., проф.

Жуков Павел Николаевич Методы визуальной одометрии в астрономии

Научный руководитель — Герасимов Сергей Валерьевич, м.н.с.

Журавлева Дарья Юрьевна Метод повышения качества изображений с использованием фазовой информации

Научный руководитель — Павельева Елена Александровна, к.ф.-м.н., асс.

Зайцев Игорь Олегович Автореферирование русскоязычных текстов с учетом синонимии

Научный руководитель — Полякова Ирина Николаевна, к.ф.-м.н., ст. преп.

Захаренко Вадим Валерьевич Методы обнаружения новых тем в вероятностных тематических моделях

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

Зизов Вадим Сергеевич Программное исследование алгоритмов быстрого преобразования Фурье

Научный руководитель — Ульянов Михаил Васильевич, д.т.н., проф.

Зотин Иван Владимирович Разработка и моделирование прибора для помощи слабовидящим людям

Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Зуев Александр Андреевич Применение двух конечно-объемных схем с линейной реконструкцией для численного решения уравнений мелкой воды над неровным дном

Научный руководитель — Исаков Виктор Александрович, к.ф.-м.н., асс.

Зырянов Дмитрий Владимирович Реализация АВС-подобного шифратора на базе программируемой логической интегральной схемы

Научный руководитель — Анашин Владимир Сергеевич, д.ф.-м.н., проф.

Иванов Александр Валерьевич Разработка алгоритма оптимизации сети для рынков типа «звезда-цепочка»

Научный руководитель — Васин Александр Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Иванов Илья Владимирович Разработка метода автоматического масштабирования для системы прототипирования компьютерных сетей

Научный руководитель — Антоненко Виталий Александрович, к.ф.-м.н., с.н.с.

Ивачев Федор Владиславович О модификации алгоритма обращения матриц с элементами из кольца скалярных дифференциальных операторов

Научный руководитель — Абрамов Сергей Александрович, д.ф.-м.н., проф.

Илюхина Анастасия Сергеевна Использование решателей задачи выполнимости конъюнктивной нормальной формы в криптоанализе криптосистемы Мак—Элиса, построенной на квазициклических кодах с ограниченной плотностью проверок на чётность

Научный руководитель — Чижов Иван Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Иоффе Виталия Леонидовна Спектральные свойства задачи Коши для оператора второго порядка с инволюцией

Научный руководитель — Крицков Леонид Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Исаев Василий Игоревич О задаче синтеза управления в системах с запаздыванием

Научный руководитель — Востриков Иван Васильевич, к.ф.-м.н., доц.

Ишелев Глеб Евгеньевич Прогнозирование субъективной оценки качества 3D-видео по его техническим данным

Научный руководитель — Ватолин Дмитрий Сергеевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Каледин Артем Владимирович Предсказание поведения пользователей методами машинного обучения

Научный руководитель — Целищев Михаил Андреевич, к.ф.-м.н., асс.

Капитанов Филипп Дмитриевич Динамически формируемые маршрутные сети

Научный руководитель — Поспелова Ирина Игоревна, к.ф.-м.н., доц.

Каплунова Екатерина Павловна Задача управления для математической модели движения квадрокоптера в вертикальной плоскости

Научный руководитель — Точилин Павел Александрович, к.ф.-м.н., доц.

Капридов Антон Андреевич Разработка методов представления разнородных статистических данных на основе технологии D3 в комплексе Octoshell и рейтинге Top50

Научный руководитель — Никитенко Дмитрий Александрович, к.ф.-м.н., с.н.с. НИВЦ МГУ

Капустин Андрей Сергеевич Инструменты визуализации и исследования работы нейронных сетей в задачах обработки текстов

Научный руководитель — Арефьев Николай Викторович, к.ф.-м.н., м.н.с.

Карабутов Дмитрий Юрьевич Исследование и разработка методов построения рабочей области, свободной от сингулярностей, для планарных механизмов с шаговым двигателем

Научный руководитель — Посыпкин Михаил Анатольевич, д.ф.-м.н., проф.

Карнушин Валерий Вячеславович Статистический анализ рядов данных о загрязнении атмосферы

Научный руководитель — Королев Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., проф.

Кашлинов Алексей Владимирович Разработка и реализация мобильного приложения для голосовой верификации пользователя

Научный руководитель — Шишкин Алексей Геннадьевич, д.ф.-м.н., в.н.с.

Кеба Анна Валерьевна Методы распознавания и отслеживания полос для самоуправляемого автомобиля

Научный руководитель — Сухомлин Владимир Александрович, д.т.н., проф.

Кисель Дмитрий Владимирович Стохастическая модель терапии больных клеток с учётом погрешности воздействия лекарственного средства

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

Клименкова Анна Дмитриевна Модель конкуренции Лотки—Вольтерры в задачах оптимального управления лечением рака

Научный руководитель — Хайлов Евгений Николаевич, к.ф.-м.н., доц.

Ковалев Валентин Юрьевич Разработка некоторых методов улучшения качества изображений, получаемых с помощью малопиксельных терагерцевых и инфракрасных камер

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

Кожевников Дмитрий Вячеславович Система программирования, основанная на принципах разработки через поведение

Научный руководитель — Волкова Ирина Анатольевна, к.ф.-м.н., доц.

Коленикова Вера Андреевна Применение символьных методов к доказательству стойкости криптографических протоколов

Научный руководитель — Фёдоров Сергей Николаевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Коляскин Кирилл Константинович Исследование поведения и моделирование системы управления, описывающей распространение раковой опухоли
Научный руководитель — Бобылева Ольга Николаевна, к.ф.-м.н., асс.

Кононов Сергей Владиславович Исследование модельной игры преподавателя и студента с применением свёртки Гермейера у студента
Научный руководитель — Поспелова Ирина Игоревна, к.ф.-м.н., доц.

Конопаткин Олег Владимирович Автоматическая кластеризация данных психологических исследований
Научный руководитель — Груздева Надежда Валерьевна, к.ф.-м.н., н.с.

Копылов Олег Павлович Обучающая программа по английскому языку с автоматической генерацией заданий
Научный руководитель — Грацианова Татьяна Юрьевна, к.ф.-м.н., доц.

Корнеева Ирина Александровна Автоматическая классификация коротких русскоязычных текстов
Научный руководитель — Полякова Ирина Николаевна, к.ф.-м.н., ст. преп.

Коробова Екатерина Владимировна Методы и алгоритмы восстановления эллиптических предложений
Научный руководитель — Мальковский Михаил Георгиевич, д.ф.-м.н., проф.

Королев Владислав Вадимович Методы автоматической генерации рекомендаций по улучшению кода/архитектуры программы
Научный руководитель — Сухомлин Владимир Александрович, д.т.н., проф.

Королева Светлана Александровна Нелинейные ожидания как меры риска
Научный руководитель — Целищев Михаил Андреевич, к.ф.-м.н., асс.

Корушкина Анастасия Вячеславовна Математическая модель противоопухолевой вакцинотерапии
Научный руководитель — Братусь Александр Сергеевич, д.ф.-м.н., проф.

Кравченко Алексей Иванович Одновременная стабилизация линейных объектов с использованием эволюционных вычислений
Научный руководитель — Фурсов Андрей Серафимович, д.ф.-м.н., проф.

Кравченко Егор Викторович Методы автоматического предсказания эмоциональной реакции на новостные сообщения в социальных сетях
Научный руководитель — Турдаков Денис Юрьевич, к.ф.-м.н., доц.

Красильникова Анна Андреевна Исследование методов аппаратной реализации операции умножения для некоторых классов разреженных матриц на базе программируемых логических интегральных схем
Научный руководитель — Шуплецов Михаил Сергеевич, к.ф.-м.н., доц.

Красичкова Дарья Сергеевна Реализация подсистемы выявления дублетных записей в базах вакансий

Научный руководитель — Соловьев Сергей Юрьевич, д.ф.-м.н., проф.

Кривенко Михаил Владимирович Исследование задачи определения источников в уравнении колебаний

Научный руководитель — Денисов Александр Михайлович, д.ф.-м.н., проф.

Крылов Павел Александрович Робастная стабилизация неопределенных нестационарных линейных объектов

Научный руководитель — Фурсов Андрей Серафимович, д.ф.-м.н., проф.

Куваев Даниил Юрьевич Реализация освещения с использованием сферических гармоник

Научный руководитель — Боресков Алексей Викторович, к.ф.-м.н., м.н.с.

Кувшинов Евгений Эдуардович Оценки вероятности разорения в некоторых многомерных моделях коллективного риска

Научный руководитель — Хохлов Юрий Степанович, д.ф.-м.н., проф.

Кудрявцева Анастасия Руслановна Эффективные алгоритмы в обратных задачах рационального поведения

Научный руководитель — Шананин Александр Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Кузнецов Владислав Алексеевич Оценка скорости сходимости метода Монте–Карло с марковской цепью при условии геометрической эргодичности

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

Кузнецова Екатерина Дмитриевна Методы обработки временных рядов с помощью вейвлет-преобразований

Научный руководитель — Шестаков Олег Владимирович, д.ф.-м.н., доц.

Купцов Евгений Вадимович Устойчивое во времени преобразование стереовидео в многоракурсное с использованием методов глубокого обучения

Научный руководитель — Ватолин Дмитрий Сергеевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Курилин Владимир Алексеевич Выявление аномалий движения цен инструментов на биржах

Научный руководитель — Чернов Александр Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Куцак Нина Юрьевна Темпоральная логика троичных цифровых сигналов

Научный руководитель — Подымов Владислав Васильевич, к.ф.-м.н., н.с.

Лаврентьев Иван Сергеевич Построение алгоритмов приватных транзакций на криптоплатформе Quorum с нелинейной асимптотикой по размеру блока

Научный руководитель — Серебряков Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Лазухин Иван Сергеевич Методы прогнозирования временных рядов для задач анализа технологических процессов

Научный руководитель — Петровский Михаил Игоревич, к.ф.-м.н., доц.

Лапкина Анна Вадимовна Исследование распространенности ошибок конфигурирования в веб-приложениях российского сегмента сети Интернет

Научный руководитель — Петухов Андрей Александрович, м.н.с.

Ларичев Никита Михайлович Решение дискретной задачи Марковица

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

Лебедев Михаил Валерьевич Разработка оптимизированной системы отображения виртуальных ресурсов на физические в программно-конфигурируемых сетях

Научный руководитель — Шалимов Александр Владиславович, к.ф.-м.н., программист

Лебедева Екатерина Игоревна Определение транскрипций для слов русского языка

Научный руководитель — Серебряков Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Лемешева София Васильевна Вычисление оптимального синтеза управления движением в априорно заданном классе

Научный руководитель — Востриков Иван Васильевич, к.ф.-м.н., доц.

Лешков Михаил Евгеньевич Исследование задачи оптимизации прибыли двух конкурирующих фирм с использованием модели Лотки—Вольтерры

Научный руководитель — Хайлов Евгений Николаевич, к.ф.-м.н., доц.

Лисицина Ксения Андреевна Задача классификации запросов в службу поддержки с использованием методов машинного обучения

Научный руководитель — Лаврентьев Виктор Владимирович, к.ф.-м.н., н.с.

Лобанов Алексей Андреевич О слабых функциях почти единогласия в некоторых замкнутых классах трехзначной логики

Научный руководитель — Селезнева Светлана Николаевна, д.ф.-м.н., доц.

Люков Дмитрий Александрович Регуляризирующий метод анализа перфузионных изображений мозга

Научный руководитель — Крылов Андрей Серджевич, д.ф.-м.н., проф.

Малоян Нарек Гагикович Потокowo-чувствительный поиск уязвимостей помеченных данных

Научный руководитель — Белеванцев Андрей Андреевич, д.ф.-м.н., доц.

Мальцев Александр Николаевич Синтез легкотестируемых схем при отождествлениях входов элементов

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

Мареев Глеб Олегович Взаимно корреляционная функция для точного восстановления гетерогенных сред

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

Марков Игорь Сергеевич Исследование и разработка методов построения рабочей области и прокладка траектории для планарных механизмов призматических двигателей

Научный руководитель — Посыпкин Михаил Анатольевич, д.ф.-м.н., проф.

Мартынов Иван Александрович Задача управления инерционным объектом с трением и ограничениями

Научный руководитель — Терновский Владимир Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Мартынов Олег Павлович Методы интеллектуального анализа данных об осадках

Научный руководитель — Королев Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., проф.

Мацук Егор Александрович Алгоритм планирования запуска заданий на кластерных системах с учётом динамических требований

Научный руководитель — Жуматий Сергей Анатольевич, к.ф.-м.н., в.н.с. НИВЦ МГУ

Медведев Алексей Владимирович Автоматический подбор параметров алгоритмов машинного обучения с помощью обучения с подкреплением

Научный руководитель — Дьяконов Александр Геннадьевич, д.ф.-м.н., проф.

Медведев Дмитрий Владимирович Методы повышения обобщающей способности, основанные на различных способах построения ансамблей

Научный руководитель — Сенько Олег Валентинович, д.ф.-м.н., проф.

Меледин Станислав Александрович Методы анализа маркетинговой информации

Научный руководитель — Белянкин Георгий Андреевич, к.ф.-м.н., доц.

Меньших Игорь Михайлович Асимптотически оптимальные второго порядка размещения станций обслуживания

Научный руководитель — Захарова Татьяна Валерьевна, к.ф.-м.н., доц.

Мешина Злата Владиславна Оптимизация страховой премии в договорах с участием в прибыли

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

Минаева Елизавета Алексеевна Веб-приложение для редактирования расширяемых эссе

Научный руководитель — Панфёров Антон Александрович, программист

Минькина Дарья Константиновна Алгоритмы построения функциональных наблюдателей на основе линейных матричных неравенств

Научный руководитель — Фомичев Василий Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Миронов Артем Владимирович Автоматическое выделение контекстов цитирований в научных статьях

Научный руководитель — Гомзин Андрей Геннадьевич, асс.

Михайленко Александра Игоревна Реализация поточного шифратора на случайной эргодической T-функции на базе программируемой логической интегральной схемы

Научный руководитель — Анашин Владимир Сергеевич, д.ф.-м.н., проф.

Михайлов Дмитрий Вячеславович Определение отсутствия рациональных решений для систем дифференциальных и разностных уравнений на ранних стадиях вычислений

Научный руководитель — Абрамов Сергей Александрович, д.ф.-м.н., проф.

Можаровский Евгений Александрович Разработка и реализация средств анализа профиля потока задач суперкомпьютерного комплекса

Научный руководитель — Никитенко Дмитрий Александрович, к.ф.-м.н.

Моргунова Ольга Максимовна Исследование методов анализа сетевой статистики в программно-конфигурируемых сетях

Научный руководитель — Петров Иван Сергеевич, программист

Мочалов Никита Сергеевич Методы машинного обучения для анализа потоков текстовых сообщений

Научный руководитель — Петровский Михаил Игоревич, к.ф.-м.н., доц.

Мунирова Альбина Ильясовна Математические модели распознавания речи

Научный руководитель — Дойников Александр Николаевич, к.ф.-м.н., н.с.

Нагаева Варвара Олеговна Модель эндогенного технологического изменения

Научный руководитель — Пospelов Игорь Гермогенович, д.ф.-м.н., проф.

Назаров Андрей Александрович О билинейных алгоритмах умножения матриц с параметрами $\langle m, 2, 2 \rangle$

Научный руководитель — Алексеев Валерий Борисович, д.ф.-м.н., проф.

Некрасова Мария Геннадьевна Исследование модельной игры студента и преподавателя при применении свертки Гермейера у преподавателя

Научный руководитель — Пospelова Ирина Игоревна, к.ф.-м.н., доц.

Никитина Ольга Петровна Взаимная классификация популяционных алгоритмов и задач непрерывной оптимизации

Научный руководитель — Ершов Николай Михайлович, к.ф.-м.н., с.н.с.

Никифорова Алла Александровна Спектральные свойства систем с астатизмом

Научный руководитель — Атамась Евгений Иванович, м.н.с.

Никифорова Анастасия Сергеевна Применение метода динамического программирования для задачи целевого управления динамической системой
Научный руководитель — Востриков Иван Васильевич, к.ф.-м.н., доц.

Никифорова Лидия Олеговна Исследование возможности обхода одного алгоритма идентификации по лицам
Научный руководитель — Применко Эдуард Андреевич, к.ф.-м.н., доц.

Николаев Михаил Викторович Исследование нелинейного интегрального уравнения, возникающего в модели биологических сообществ
Научный руководитель — Никитин Алексей Антонович, к.ф.-м.н., доц.

Николаева Айталиня Владимировна Методы переноса знаний о синтаксической структуре в задаче извлечения отношений
Научный руководитель — Кузнецов Сергей Дмитриевич, д.т.н., проф.

Николашкин Алексей Герасимович Адаптация алгоритмов роевой оптимизации к решению поисковых задач роевого интеллекта
Научный руководитель — Ершов Николай Михайлович, к.ф.-м.н., с.н.с.

Ниськов Федор Владимирович Разработка и реализация метода поиска уникальных аварийных завершений среди результатов динамического анализа
Научный руководитель — Аветисян Арутюн Ишханович, д.ф.-м.н., проф.

Новиков Василий Максимович Децентрализованные алгоритмы управления в группах автономных роботов
Научный руководитель — Фомичев Василий Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Новиков Георгий Константинович Алгоритмы управления транспортными потоками
Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Новиков Федор Александрович Предобучение нейросетевых детекторов объектов
Научный руководитель — Конушин Антон Сергеевич, к.ф.-м.н., доц.

Омаров Ахмед Маммаевич Двумерная деконволюция методом Тихонова со стабилизатором дробной гладкости
Научный руководитель — Разгулин Александр Витальевич, д.ф.-м.н., проф.

Осадчий Александр Ильич Определение подмены лица по данным с сенсора глубины
Научный руководитель — Конушин Антон Сергеевич, к.ф.-м.н., доц.

Осипова Маргарита Александровна Тестирование на наличие единичных корней в многомерном временном ряде
Научный руководитель — Хохлов Юрий Степанович, д.ф.-м.н., проф.

Очиров Арслан Саналович Генетический алгоритм балансировки вычислительной нагрузки в условиях наличия отказов узлов суперкомпьютера
Научный руководитель — Никольский Илья Михайлович, к.ф.-м.н., доц.

Павлов Антон Сергеевич Генерация сценарной решетки для алгоритма стохастического двойственного динамического программирования на основе алгоритмов классификации данных
Научный руководитель — Голембиовский Дмитрий Юрьевич, д.т.н., проф.

Павлов Илья Владимирович Технология процедурных текстур в фотореалистичном синтезе изображений
Научный руководитель — Фролов Владимир Александрович, к.ф.-м.н., н.с.

Парастаев Григорий Сергеевич Электросеть для электротранспорта
Научный руководитель — Куржанский Александр Борисович, д.ф.-м.н., проф.

Парфёнов Арсений Евгеньевич Математическое моделирование течения крови в сосудах со сложной морфологией
Научный руководитель — Мухин Сергей Иванович, д.ф.-м.н., проф.

Пархоменко Александр Александрович Модель конкурса проектов для нескольких лиц
Научный руководитель — Морозов Владимир Викторович, к.ф.-м.н., доц.

Пенкин Максим Александрович Гибридный метод подавления шума на изображениях
Научный руководитель — Крылов Андрей Серджевич, д.ф.-м.н., проф.

Пестерева Ольга Александровна Методы планирования траектории движения мобильного робота
Научный руководитель — Сухомлин Владимир Александрович, д.т.н., проф.

Петренко Сергей Александрович Вероятностные методы анализа атаки на протокол защиты транспортного уровня
Научный руководитель — Грушо Александр Александрович, д.ф.-м.н., проф.

Петропавловских Марина Алексеевна Автоматическая расстановка областей распараллеливания в Фортран-программах
Научный руководитель — Крюков Виктор Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Письменный Алексей Алексеевич Перенос стиля текста с помощью нейронных сетей
Научный руководитель — Соколов Евгений Андреевич, матем. 1 кат.

Пичугина Анастасия Валерьевна Исследование величины больших простых делителей чисел вида $p - 1$ и их свойств
Научный руководитель — Черепнёв Михаил Алексеевич, д.ф.-м.н., доц.

Побегайло Глеб Игоревич Исследование механизмов доверия в файлообменных сетях для предотвращения атаки насыщения вредоносными узлами
Научный руководитель — Гамаюнов Денис Юрьевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Подопросветов Андрей Валерьевич Прогнозирование времени работы алгоритма диффузной балансировки нагрузки с учётом отказов процессоров с помощью нейросети
Научный руководитель — Никольский Илья Михайлович, к.ф.-м.н., доц.

Подосинникова Мария Александровна Статическая верификация компонентов операционной системы реального времени «Zephyr»
Научный руководитель — Хорошилов Алексей Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Полетаев Всеволод Андреевич Стилизация изображений с сохранением контуров
Научный руководитель — Китов Виктор Владимирович, к.ф.-м.н., асс.

Пономарева Любовь Игоревна Адаптация стилизации изображений к результатам сегментации
Научный руководитель — Китов Виктор Владимирович, к.ф.-м.н., асс.

Портнов Сергей Дмитриевич Алгоритм цифровой подписи на основе эллиптических кривых и его применение
Научный руководитель — Черепнёв Михаил Алексеевич, д.ф.-м.н., доц.

Прошина Алена Дмитриевна Управление в модели трехмерной пищевой цепи
Научный руководитель — Рублев Илья Вадимович, к.ф.-м.н., доц.

Радченко Руслан Дмитриевич Анализ эффективности и статистики использования прикладных программных пакетов на суперкомпьютерных системах
Научный руководитель — Воеводин Вадим Владимирович, к.ф.-м.н., с.н.с.
НИВЦ МГУ

Раснюк Александр Геннадьевич Методы глубокого активного обучения алгоритмов обработки текстов
Научный руководитель — Корухова Людмила Сергеевна, к.ф.-м.н., доц.

Родин Иван Сергеевич Ускорение сходимости метода Ньютона к особым решениям систем нелинейных уравнений
Научный руководитель — Измаилов Алексей Феридович, д.ф.-м.н., проф.

Романчик Анна Вячеславовна Численное решение задач оптимального управления для моделей экономической динамики и космической навигации
Научный руководитель — Григоренко Николай Леонтьевич, д.ф.-м.н., проф.

Руднев Виктор Сергеевич Вариационный байесовский вывод с матричными нормальными распределениями
Научный руководитель — Кропотов Дмитрий Александрович, н.с.

Русанов Георгий Владимирович О минимальных полных системах аксиом вложения в трёхзначной логике

Научный руководитель — Нагорный Александр Степанович, к.ф.-м.н., ст. преп.

Сабурова Анна Ивановна Математическая модель предсказания ухода клиента

Научный руководитель — Давидсон Михаил Рувимович, к.ф.-м.н., доц.

Сагайдак Олег Игоревич Метод поиска циклических зависимостей при наличии мешающих переменных

Научный руководитель — Сенько Олег Валентинович, д.ф.-м.н., проф.

Саурин Константин Александрович Исследование проблем создания многоплатформенных приложений на примере системы Котлин

Научный руководитель — Головин Игорь Геннадьевич, к.ф.-м.н., доц.

Сафило Ильдар Ринатович Усреднение прогнозов с весами, зависящими от качества

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

Свидовский Кирилл Андреевич Алгоритмическое моделирование формирования моторной программы движения когнитивной системой человека методами машинного обучения

Научный руководитель — Корчагин Александр Юрьевич, к.ф.-м.н., м.н.с.

Секретарев Тихон Алексеевич Определение тематических тенденций на корпусе текстов

Научный руководитель — Серебряков Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Селякин Арсений Сергеевич Синтез управления при условии неполной обратной связи

Научный руководитель — Куржанский Александр Борисович, д.ф.-м.н., проф.

Семак Владислав Викторович Предсказание производительности параллельных приложений с использованием характеристик входных данных на примере задачи множественного структурного выравнивания биологических последовательностей

Научный руководитель — Попова Нина Николаевна, к.ф.-м.н., доц.

Семенихин Дмитрий Алексеевич Групповые защищенные коммуникации на основе пост-квантовой криптографии

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

Сивков Антон Александрович Применение нейронных сетей для моделирования систем управления

Научный руководитель — Фомичев Василий Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Силаева Виктория Григорьевна Разработка методов распознавания и классификации вредоносного кода в исполняемых файлах

Научный руководитель — Гилязов Руслан Раджабович, м.н.с.

Синякова Марина Алексеевна Анализ задержки потоков виртуального пласта в программно-конфигурируемой сети с помощью стохастического сетевого исчисления

Научный руководитель — Степанов Евгений Павлович, программист

Скачков Николай Андреевич Тематико-стилистические векторные представления текстовых пользовательских запросов

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

Слабоузова Анна Константиновна Алгоритмы диагностики и прогнозирования заболеваний по интервалам электрокардиограммы

Научный руководитель — Сеньюкова Ольга Викторовна, к.ф.-м.н., асс.

Сливинский Вадим Андреевич Доказательство линейности решений функционального уравнения Коши в предположении аксиомы детерминированности

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

Сметанин Даниил Алексеевич Исследование алгоритма стохастического двойственного динамического программирования на примере задачи производства, хранения и продажи товара

Научный руководитель — Голембиовский Дмитрий Юрьевич, д.т.н., проф.

Смирнов Александр Александрович Справедливое управление топливно-энергетической системой при крупномасштабных повреждениях

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

Смирнов Лев Михайлович Разработка метода построения карт визуального внимания на основе зрительских данных

Научный руководитель — Фролов Владимир Александрович, к.ф.-м.н., н.с.

Смирнов Матвей Станиславович Функции Грина модельных задач на уравнение Лапласа

Научный руководитель — Богатырев Андрей Борисович, д.ф.-м.н., проф.

Соколов Сергей Алексеевич Приближённое вычисление множеств достижимости управляемых объектов

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

Соколова Ксения Максимовна Разработка гибридных параллельных алгоритмов и программ для различных стратегий распределения вычислений между процессорами

Научный руководитель — Якобовский Михаил Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Соловьев Павел Олегович Автоматическая расстановка интервалов для анализа эффективности распараллеливания

Научный руководитель — Крюков Виктор Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Солонин Михаил Андреевич Разработка диалоговой системы

Научный руководитель — Лаврентьев Виктор Владимирович, к.ф.-м.н., н.с.

Солоткий Михаил Вероятностные тематические модели на основе данных о со-встречаемости слов

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

Сомов Иван Сергеевич Восстановление траектории пера на цифровых изображениях рукописных документов

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

Сороколетова Ольга Евгеньевна Прогнозирование временных рядов рынка криптовалют

Научный руководитель — Захарова Татьяна Валерьевна, к.ф.-м.н., доц.

Степанова Евгения Владимировна Динамический анализ Фортран-программ для их распараллеливания

Научный руководитель — Крюков Виктор Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Степко Анна Олеговна Система определения тональности отзывов покупателей

Научный руководитель — Волкова Ирина Анатольевна, к.ф.-м.н., доц.

Сударева Валерия Анатольевна Решение некоторых моделей игры нападение-оборона

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

Сумин Даниил Леонидович Составление расписаний в многопроцессорных системах с дополнительными ресурсами

Научный руководитель — Фуругян Меран Габибуллаевич, к.ф.-м.н., доц.

Сухов Максим Юрьевич Выявление плагиата в функциональных программах на языке Лисп

Научный руководитель — Баева Наталья Валерьевна, м.н.с.

Сухова Анастасия Алексеевна Исследование применимости ядер RISC-V в сетевом процессорном устройстве

Научный руководитель — Волканов Дмитрий Юрьевич, к.ф.-м.н., доц.

Сычева Анна Дмитриевна Автоматизация поиска ошибок в парсерах сложных форматов данных

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

Сяпина Елена Геннадьевна Построение алгоритма оценки вредоносности процессов по журналам информационной системы

Научный руководитель — Петровский Михаил Игоревич, к.ф.-м.н., доц.

Танаев Владислав Владимирович Компьютерный метод удаления отражений с изображений

Научный руководитель — Насонов Андрей Владимирович, к.ф.-м.н., с.н.с.

Тимохин Иван Александрович Исследование эффективности использования графических процессоров для решения задачи множественного структурного выравнивания белков

Научный руководитель — Попова Нина Николаевна, к.ф.-м.н., доц.

Тихонов Михаил Дмитриевич Задача выбора состава включенного генерирующего оборудования

Научный руководитель — Давидсон Михаил Рувимович, к.ф.-м.н., доц.

Тишина Полина Романовна Исследование математических моделей движения жидкости в анизотропной пористой среде

Научный руководитель — Абакумов Михаил Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Торосян Армине Арменовна Исследование выходящих потоков в приоритетных моделях

Научный руководитель — Ушаков Владимир Георгиевич, д.ф.-м.н., проф.

Трифонов Владислав Дмитриевич Методы извлечения отношений с частичным привлечением учителя

Научный руководитель — Кузнецов Сергей Дмитриевич, д.т.н., проф.

Турсунов Азамат Шерзодович Численное решение линейной задачи оптимального управления с терминальным функционалом

Научный руководитель — Самсонов Сергей Петрович, к.ф.-м.н., доц.

Тутушкин Артем Евгеньевич Разработка генератора презентаций электронных книг

Научный руководитель — Соловьев Сергей Юрьевич, д.ф.-м.н., проф.

Урван Максим Олегович Исследование применимости алгоритма «RAFT» для синхронизации контроллеров в программно-конфигурируемых сетях

Научный руководитель — Пашков Василий Николаевич, программист

Уткина Юлия Владимировна Некоторые аналитические свойства q -ичных бент-функций

Научный руководитель — Логачев Олег Алексеевич, к.ф.-м.н., доц.

Федотова Алена Андреевна Применение метода тонкой пластины для интерполяции климатических данных

Научный руководитель — Березин Сергей Борисович, к.ф.-м.н., доц.

Феофилактос Андрей Дмитриевич Моделирование системы домашней автоматизации

Научный руководитель — Большакова Елена Игоревна, к.ф.-м.н., доц.

Филимонов Владислав Аскольдович Сегментация и преобразование изображений в модели дополненной реальности

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

Фомина Диана Вадимовна Сеточные методы оценивания параметров распределений Миттаг—Леффлера и Линника

Научный руководитель — Королев Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., проф.

Фоминская Галина Евгеньевна Проблема несбалансированности тем в вероятностных тематических моделях

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

Ханин Павел Яковлевич Устойчивость нейронных сетей к атакам состязательными примерами

Научный руководитель — Сухомлин Владимир Александрович, д.т.н., проф.

Харчев Дмитрий Николаевич Свойства генеративно-состязательных нейронных сетей

Научный руководитель — Ульянов Владимир Васильевич, д.ф.-м.н. проф.

Хахмович Александр Александрович Разработка методов автоматического аннотирования текстов

Научный руководитель — Волкова Ирина Анатольевна, к.ф.-м.н., доц.

Хачатрян Артем Всеволодович Выявление влияния тональности высказываний политических лидеров на фондовый рынок

Научный руководитель — Кузина Лариса Николаевна, к.ф.-м.н., асс.

Хзмалян Давид Эдвардович О сложности реализации функций алгебры логики мультиплексорного типа в некоторых классах контактных схем

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

Хохлов Олег Александрович Преобразование последовательных Си-программ для их автоматизированного отображения на кластер

Научный руководитель — Бахтин Владимир Александрович, к.ф.-м.н., доц.

Худзиев Валерий Махарбекович Сшивание нескольких изображений в единую панораму

Научный руководитель — Капалин Иван Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Цыганков Александр Евгеньевич Разработка системы визуализации и редактирования структуры модели сетевого процессорного устройства

Научный руководитель — Волканов Дмитрий Юрьевич, к.ф.-м.н., доц.

Цыпин Артем Андреевич Определение интенсивности отказов для систем, описываемых временными рядами

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

Чернышева Анастасия Юрьевна Разработка системы генерации правил для работы с гетерогенными коммутаторами в программно-конфигурируемых сетях

Научный руководитель — Шалимов Александр Владиславович, к.ф.-м.н., программист

Чернышева Дарьяна Дмитриевна Математическое моделирование течений вязкого газа между коаксиально вращающимися цилиндрами в изотермическом приближении

Научный руководитель — Абакумов Михаил Владимирович, к.ф.-м.н., доц.

Чернявский Максим Александрович Разностное свойство некоторых классов функций, определенных на произвольном ограниченном интервале

Научный руководитель — Кулешов Александр Андреевич, к.ф.-м.н., асс.

Чичаева Анастасия Александровна Исследование предельных возможностей интегральных атак на блочные криптографические алгоритмы

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

Чмерева Ольга Сергеевна Континуальная модель гиперциклической репликации

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

Шагиров Николай Эльдарович Исследование методов нахождения спектра квантовых точек

Научный руководитель — Попов Александр Михайлович, д.ф.-м.н., проф.

Шалудин Александр Сергеевич Разработка алгоритма целевого управления динамической системой по результатам наблюдений

Научный руководитель — Востриков Иван Васильевич, к.ф.-м.н., доц.

Шамшиев Мамат Мамбетович Контекстный поиск в изображениях текстовых документов

Научный руководитель — Рудаков Константин Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Шарыгин Федор Георгиевич Условия регулярности языков, определенных L- графами

Научный руководитель — Вылиток Алексей Александрович, к.ф.-м.н., ст. преп.

Шаталов Николай Алексеевич Методы обучения без учителя для автоматического выделения составных терминов в текстовых коллекциях

Научный руководитель — Рудаков Константин Владимирович, д.ф.-м.н., проф.

Шелудько Борис Александрович Методы использования неразмеченных текстовых коллекций в задачах обработки текстов

Научный руководитель — Арёфьев Николай Викторович, к.ф.-м.н., м.н.с.

Шестакова Анна Николаевна Распознавание тактильных образов
Научный руководитель — Гуров Сергей Исаевич, к.ф.-м.н., доц.

Ширяев Павел Александрович Некоторые динамические задачи принятия решений
Научный руководитель — Морозов Владимир Викторович, к.ф.-м.н., доц.

Шмитов Никита Олегович Разработка методов сохранения и обработки хронологии изменения состояний информационных объектов в комплексе «Octoshell»
Научный руководитель — Никитенко Дмитрий Александрович, к.ф.-м.н.

Шорошов Григорий Максимович Нейросетевые алгоритмы сегментации зубов на изображениях конусно-лучевой компьютерной томографии
Научный руководитель — Сеньюкова Ольга Викторовна, к.ф.-м.н., асс.

Шубная Анна Геннадьевна Разработка алгоритмов для решения некоторых типов задач привязки логической схемы к библиотеке
Научный руководитель — Шуплецов Михаил Сергеевич, к.ф.-м.н., доц.

Шуган Алёна Игоревна Поведенческие финансы: иррациональное поведение инвесторов на фондовом рынке
Научный руководитель — Давидсон Михаил Рувимович, к.ф.-м.н., доц.

Шумов Артём Алексеевич Метод совмещения биомедицинских изображений
Научный руководитель — Сорокин Дмитрий Васильевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Шурыгин Дмитрий Михайлович Сложность систем функций над некоторыми конечными полями в классе поляризованных полиномов
Научный руководитель — Селезнева Светлана Николаевна, д.ф.-м.н., доц.

Щербаков Дмитрий Андреевич Оптимизация блочного алгоритма Ланцоша решения разреженных систем линейных уравнений
Научный руководитель — Черепнёв Михаил Алексеевич, д.ф.-м.н., доц.

Эфендиев Филипп Марат оглы Автоматизация поиска уязвимостей в исполняемых файлах
Научный руководитель — Гилязов Руслан Раджабович, м.н.с.

Яворская Мария Сергеевна Применение методов интерпретации моделей для улучшения методов обучения
Научный руководитель — Соколов Евгений Андреевич, матем. 1 кат.

Яковлева Алина Александровна Применение методов машинного обучения для анализа пропущенных значений в метеорологических данных
Научный руководитель — Королев Виктор Юрьевич, д.ф.-м.н., проф.

Якунина Надежда Сатурниновна Методы выявления связей терминов
Научный руководитель — Ефремова Наталья Эрнестовна, к.ф.-м.н., асс.

Яцко Евгений Александрович Выявление фальшивых аккаунтов в социальных сетях

Научный руководитель — Серебряков Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н., проф.

Темы магистерских диссертаций, защищённых в 2019 году

Абрамова Ирина Валерьевна Стойкая обфускация в модели облачных вычислений с вспомогательными криптосерверами

Научный руководитель — Логачев О.А., к.ф.-м.н., доц.

Абухович Станислав Викторович Численное решение трехмерной задачи рассеяния акустической волны на кусочно-однородном включении

Научный руководитель — Сетуха А.В., д.ф.-м.н., проф.

Агаджанян Елизавета Георгиевна Математическая модель оптимизации ценообразования

Научный руководитель — Денисов Д.В., к.ф.-м.н., доц.

Алексеев Кирилл Павлович Модель децентрализованной системы с настраиваемыми правами доступа на примере файлообменного сервиса

Научный руководитель — Столяров А.В., к.ф.-м.н., доц.

Алескин Александр Сергеевич Модельная вопросно-ответная система на основе синтаксических структур

Научный руководитель — Грацианова Т.Ю., к.ф.-м.н., доц.

Алиев Руслан Эминович Модификация алгоритма стохастического двойственного динамического программирования с помощью кусочно линейной аппроксимации

Научный руководитель — Голембиовский Д.Ю., д.т.н., проф.

Амир Мирас Межъязыковая доменная адаптация

Научный руководитель — Дьяконов А.Г., д.ф.-м.н., проф.

Анзина Александра Борисовна Нейросетевой алгоритм поиска областей открытия/закрытия в видеопоследовательностях

Научный руководитель — Ватолин Д.С., к.ф.-м.н., с.н.с.

Аношина Надежда Алексеевна Быстрый метод совмещения биомедицинских изображений

Научный руководитель — Сорокин Д.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Ануприенко Денис Валерьевич Численное моделирование фильтрации в безнапорных условиях и коллоидного переноса в пористых средах

Научный руководитель — Василевский Ю.В., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Астахов Константин Александрович Система автоматического выбора подмножества тестов регрессии для проектов на Си++

Научный руководитель — Головин И.Г., к.ф.-м.н., доц.

Багаев Дмитрий Владиславович Динамическая оптимизация параметров линейных решателей в гидрогеологическом коде GeRa

Научный руководитель — Василевский Ю.В., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Бажев Кантемир Юрьевич Исследование безопасности протоколов электронного голосования, основанных на технологии блокчейн

Научный руководитель — Применко Э.А., к.ф.-м.н., доц.

Байкалова Анастасия Андреевна Применение алгоритма обращения к задаче обнаружения неисправностей

Научный руководитель — Мальцева А.В., м.н.с.

Байрамкулов Аслан Магомедович Исследование некоторых моделей покера двух лиц

Научный руководитель — Белянкина Т.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Белобородов Дмитрий Сергеевич Преобразование и распознавание изображений на основе контурной глубины формы

Научный руководитель — Местецкий Л.М., д.т.н., проф.

Белялова Мария Мидихатовна Метод отслеживания объектов в видеопотоке

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

Берговин Алексей Константинович Анализ приоритетной системы обслуживания с гиперэкспоненциальным входящим потоком авторегрессионного типа

Научный руководитель — Ушаков В.Г., д.ф.-м.н., проф.

Бобров Евгений Александрович Привлечение бандитов к решению задач на финансовом рынке

Научный руководитель — Соколов Е.А., матем.

Бобров Роман Алексеевич Нейросетевые модели для обнаружения аномалий в многомерных временных рядах

Научный руководитель — Кропотов Д.А., н.с.

Боговский Антон Михайлович Размерности ядра и коядра в задаче Дирихле для Эллиптического оператора с разрывными кусочно-постоянными коэффициентами в плоской области с угловыми точками

Научный руководитель — Денисов В.Н., д.ф.-м.н., проф.

Богомоллов Эмиль Николаевич Задачи электротранспорта: оптимизация электросети

Научный руководитель — Куржанский А.Б., акад. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Бондаренко Антон Николаевич Оптимизация порядка установления телефонных контактов с должниками коллекторского агентства
Научный руководитель — Голембиовский Д.Ю., д.т.н., проф.

Бугаевский Владимир Михайлович Уточнение оценок погрешности для обратной задачи магнитоэнцефалографии
Научный руководитель — Захарова Т.В., к.ф.-м.н., доц.

Булатова Екатерина Сергеевна Алгоритмы имитации микрорельефа в приложениях фотореалистичной визуализации
Научный руководитель — Фролов В.А., к.ф.-м.н., н.с.

Булгакова Анна Сергеевна Исследование метода восстановления секретного ключа криптосистемы Мак—Элиса на основе кодов Гоппы при помощи решателей задачи ВЫПОЛНИМОСТЬ
Научный руководитель — Чижов И.В., к.ф.-м.н., доц.

Буякова Ксения Сергеевна Исследование обратной задачи восстановления изображений в оптической системе с аберрациями
Научный руководитель — Разгулин А.В., д.ф.-м.н., проф.

Вальков Павел Игоревич Разработка метрики масштабируемости параллельных приложений
Научный руководитель — Антонов А.С., к.ф.-м.н., в.н.с. НИВЦ МГУ

Варламова Арина Олеговна Активное обучение при разметке корпуса несколькими аннотаторами
Научный руководитель — Турдаков Д.Ю., к.ф.-м.н., доц.

Васильева Мария Александровна Математические модели статистических закономерностей экстремальных осадков
Научный руководитель — Королев В.Ю., д.ф.-м.н., проф.

Вдовин Николай Валерьевич Исследование свойств шумовой компоненты сверхслабых нестационарных биосигналов
Научный руководитель — Захарова Т.В., к.ф.-м.н., доц.

Виноградова Дарья Алексеевна Применение алгоритмов обращения динамических систем в задаче слежения
Научный руководитель — Атамась Е.И., м.н.с.

Воеводин Кирилл Оценка защищенности открытой платформы коммуникации промышленных протоколов
Научный руководитель — Грушо А.А., д.ф.-м.н., проф.

Волков Александр Сергеевич Использование аугментации для улучшения точности распознавания кода
Научный руководитель — Гайсарян С.С., к.ф.-м.н., доц.

Воробьев Антон Георгиевич Оценка качества обслуживания в многомерных моделях риска

Научный руководитель — Хохлов Ю.С., д.ф.-м.н., проф.

Воронкова Полина Сергеевна Исследование влияния экономической конъюнктуры на стоимость нефтедобывающей компании

Научный руководитель — Шананин А.А., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Габдуллин Руслан Айдарович Структурные уточнения оценок скорости сходимости в центральной предельной теореме типа неравенств Эссеена и Розовского

Научный руководитель — Шевцова И.Г., д.ф.-м.н., доц.

Гарипов Тимур Исмагилевич Исследование свойств поверхностей уровня функций потерь глубинных нейронных сетей

Научный руководитель — Журавлёв Ю.И., д.ф.-м.н., проф.

Головин Александр Владимирович Анализ и разработка распределенных алгоритмов управления системами роевого интеллекта

Научный руководитель — Ершов Н.М., к.ф.-м.н., с.н.с.

Гончарова Анна Юрьевна Методы унификации морфологических тегов

Научный руководитель — Ефремова Н.Э., к.ф.-м.н., асс.

Горохов Олег Евгеньевич Методы анализа содержания текстовых данных при обнаружении аномалий в работе пользователей для задач компьютерной безопасности

Научный руководитель — Петровский М.И., к.ф.-м.н., доц.

Григорьева Олеся Максимовна Метод переноса баланса для оптимизации сети энергетического рынка

Научный руководитель — Васин А.А., д.ф.-м.н., проф.

Гудков Сергей Михайлович Приближенное решение повторяющихся игр

Научный руководитель — Новикова Н.М., д.ф.-м.н., проф.

Гузов Владимир Владимирович Построение трёхмерной модели человека по видео с сенсора глубины

Научный руководитель — Конушин А.С., к.ф.-м.н., доц.

Деб Натх Денис Методы выявления неестественного поведения субъектов социальных медиа

Научный руководитель — Добров Б.В., к.ф.-м.н.

Джусупекова Зинель Проверка эквивалентности и минимизация конечных префиксных автоматов преобразователей

Научный руководитель — Захаров В.А., д.ф.-м.н., проф.

Досанова Акерке Численное и аналитическое исследование модели распределения ресурсов на бесконечном интервале времени
Научный руководитель — Орлов М.В., к.ф.-м.н., доц.

Драпак Степан Николаевич Применение машинного обучения в задаче портфельной оптимизации
Научный руководитель — Соколов Е.А., матем.

Дуканов Сергей Сергеевич Распознавание ортопантомограмм
Научный руководитель — Конушин А.С., к.ф.-м.н., доц.

Евдокимов Илья Александрович Решение обратной задачи при анализе магнитоэнцефалограмм в параболической модели головы
Научный руководитель — Захарова Т.В., к.ф.-м.н., доц.

Ермакова Валерия Валериановна Робастные алгоритмы стабилизации линейных нестационарных систем
Научный руководитель — Фомичев В.В., д.ф.-м.н., проф.

Ермакова Татьяна Ивановна Метод и средства передачи данных в реальном времени в программно-конфигурируемых сетях
Научный руководитель — Балашов В.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Жаболенко Антон Сергеевич Исследование надёжности механизмов защиты памяти процессоров архитектуры E2K (Elbrus 2000)
Научный руководитель — Гамаюнов Д.Ю., к.ф.-м.н., с.н.с.

Жаботинский Евгений Андреевич Легковесное обеспечение целостности потока управления программ
Научный руководитель — Аветисян А.И., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Жилин Антон Сергеевич Метод многокадрового суперразрешения изображений с компенсацией эффекта построчного считывания
Научный руководитель — Насонов А.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Жорина Александра Александровна Расшифровка слабо положительных дизъюнкций некоторых рангов
Научный руководитель — Селезнева С.Н., д.ф.-м.н., доц.

Жумагулов Адильхан Адаптивный фильтр Калмана для модели оценки долгосрочных активов
Научный руководитель — Бобылева О.Н., к.ф.-м.н., асс.

Зенкин Николай Викторович Исследование возможности обхода биометрических систем идентификации по лицам
Научный руководитель — Логачев О.А., к.ф.-м.н., доц.

Зими́на Ольга Николаевна Исследование одной задачи управляемой Фурье-фильтрации с интегральным функционалом

Научный руководитель — Разгулин А.В., д.ф.-м.н., проф.

Зимони́на Алина Некоторые аспекты стабилизации интервальных минимально-фазовых объектов

Научный руководитель — Фурсо в А.С., д.ф.-м.н., проф.

Ибраева Айдана Оценка стоимости американского опциона

Научный руководитель — Белянкина Т.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Иванов Дмитрий Александрович Синтез трехмерных моделей методами машинного обучения

Научный руководитель — Ватолин Д.С., к.ф.-м.н., с.н.с.

Ивашко Алексей Романович Задача оптимального управления выловом рыбы, описываемая структурированной по возрасту моделью динамики популяции при наличии депенсации

Научный руководитель — Артемьева Л.А., к.ф.-м.н., асс.

Иконникова Мария Кирилловна Методы выявления именных групп

Научный руководитель — Корухова Л.С., к.ф.-м.н., доц.

Казьмина Кристина Павловна Разработка метода прогнозирования масштабируемости приложений на сверхбольшие конфигурации суперкомпьютеров

Научный руководитель — Антонов А.С., к.ф.-м.н., в.н.с. НИВЦ МГУ

Камбиев Заур Мухамедович Некоторые методы вычислений над конфиденциальными данными

Научный руководитель — Захаров В.А., д.ф.-м.н., проф.

Карнов Алексей Александрович Специализированный язык моделирования отказов программно-аппаратных систем

Научный руководитель — Петренко А.К., д.ф.-м.н., проф.

Кахирманова Малика Задача управления для портфеля производных финансовых инструментов

Научный руководитель — Бобылева О.Н., к.ф.-м.н., асс.

Каюмов Эмиль Марселевич Сборка кубика Рубика с помощью обучения с подкреплением

Научный руководитель — Дьяконов А.Г., д.ф.-м.н., проф.

Кириченко Михаил Михайлович Гарантированное для рисконейтрала решение однокритериальной задачи: аналог векторной седловой точки

Научный руководитель — Жуковский В.И., д.ф.-м.н., проф.

Кишмирян Арсен Оганесович Исследование динамики макроэкономических и социально-политических показателей в модели эволюции состояния современного армянского социума

Научный руководитель — Шведовский В.А., к.ф.-м.н., доц.

Коваленко Павел Антонович Использование случайных блужданий по графу для повышения качества рекомендаций

Научный руководитель — Дьяконов А.Г., д.ф.-м.н., проф.

Ковалёв Александр Иванович Анализ эффективности применения адаптивных механизмов управления перегрузкой для транспортных потоков

Научный руководитель — Смелянский Р.Л., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Кожевников Борис Николаевич Анализ активности мозга с помощью нейронных сетей

Научный руководитель — Захарова Т.В., к.ф.-м.н., доц.

Козодой Антон Евгеньевич Методы решения задачи формирования безрискового портфеля

Научный руководитель — Морозов В.В., к.ф.-м.н., доц.

Колесова Анна Сергеевна Исследование экономико-математических моделей рынка методами нелинейного анализа

Научный руководитель — Арутюнов А.В., д.ф.-м.н., проф.

Колосов Алексей Михайлович Информационно-ориентированные сети: система именования текстовых объектов

Научный руководитель — Смелянский Р.Л., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Комиссаров Александр Сергеевич Комбинация свёрток в многокритериальной игре двух лиц

Научный руководитель — Новикова Н.М., д.ф.-м.н., проф.

Константинова Мария Константиновна Оптимальные кризисные стратегии регулирования

Научный руководитель — Денисов Д.В., к.ф.-м.н., доц.

Константинова Татьяна Сергеевна Сервер для обучающих игр с двухуровневым скриптингом

Научный руководитель — Столяров А.В., к.ф.-м.н., доц.

Корниевская Анастасия Андреевна Асимптотические свойства дефектов некоторых оценок, основанных на выборках случайных объемов

Научный руководитель — Бенинг В.Е., д.ф.-м.н., проф.

Кострюков Александр Сергеевич Граничное Дирихле-управление гиперболической системой

Научный руководитель — Потапов М.М., д.ф.-м.н., проф.

Кочемасова Татьяна Александровна Исследование эффективности линейной фильтрации гауссовских марковских процессов по непрерывным наблюдениям

Научный руководитель — Белянкина Т.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Кравцова Маргарита Эдуардовна Динамический контроль прогресса обучаемых на примере шахматных задач

Научный руководитель — Полякова И.Н., к.ф.-м.н., ст. преп.

Кузнецов Дмитрий Константинович Обратные задачи об источнике для уравнения теплопроводности с классическими краевыми условиями

Научный руководитель — Тихонов И.В., д.ф.-м.н., проф.

Кулик Артем Юрьевич Вывод выражения справедливой стоимости участия в прибыли для контракта с инвестиционной стратегией, использующей опционы различных типов

Научный руководитель — Белянкин Г.А., к.ф.-м.н., доц.

Куликов Максим Алексеевич Моделирование транспортных потоков

Научный руководитель — Ильин А.В., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Курашова Анастасия Николаевна Оптимальные стратегии распространения информации с нелинейной функцией насыщения

Научный руководитель — Хайлов Е.Н., к.ф.-м.н., доц.

Лазарев Никита Алексеевич Распределенное и консистентное сквозное кэширование документоориентированных запросов для РСУБД (Реляционная Система Управления Базами Данных)

Научный руководитель — Кузнецов С. Д., д.т.н., проф.

Лебедев Алексей Владимирович Исследование решетки замкнутых классов для экспоненциально-полиномиальных функций

Научный руководитель — Марченков С.С., д.ф.-м.н., проф.

Лебедь Роман Сергеевич Выделение индикаторов компрометации с помощью сравнительного анализа вредоносного программного обеспечения

Научный руководитель — Гамаюнов Д.Ю., к.ф.-м.н., с.н.с.

Леменков Даниил Дмитриевич Распределённая децентрализованная среда для виртуальных машин на базе Linux containers

Научный руководитель — Жуматий С.А., к.ф.-м.н., в.н.с. НИВЦ МГУ

Леонов Елисей Александрович Численный анализ динамической стохастической модели общего равновесия для российской экономики

Научный руководитель — Богомолов С.В., д.ф.-м.н., проф.

Линейцева Екатерина Олеговна Алгоритмы стабилизации периодических систем

Научный руководитель — Фомичев В.В., д.ф.-м.н., проф.

Лукоянов Кирилл Андреевич О задаче синтеза управления для математической модели беспилотного автомобиля, движущегося по автостраде
Научный руководитель — Востриков И.В., к.ф.-м.н., доц.

Лунин Дмитрий Игоревич Методы повышения эффективности генеративно-состязательных сетей
Научный руководитель — Сенько О.В., д.ф.-м.н., проф.

Люттов Владимир Сергеевич Нейросетевые методы поиска похожих людей в видео
Научный руководитель — Ерофеев М.В., к.ф.-м.н., младший н.с.

Макаренко Владимир Александрович Структурные уточнения неравенств типа Ванга—Ахмада и нижние оценки
Научный руководитель — Шевцова И.Г., д.ф.-м.н., доц.

Макаренкова Марьяна Сергеевна Анализ возможных атак на криптосистему Мак—Элиса, построенную на основе модифицированных кодов Риды—Маллера
Научный руководитель — Чижов И.В., к.ф.-м.н., доц.

Маленкова Валерия Юрьевна Приложения статистик, построенных по выборкам случайного размера, и приближения распределениями Стьюдента и Лапласа
Научный руководитель — Ульянов В.В., д.ф.-м.н., проф.

Малышев Никита Сергеевич Исследование эволюционных алгоритмов для решения задачи оптимизации надёжности в системах реального времени
Научный руководитель — Волканов Д.Ю., к.ф.-м.н., доц.

Мамонов Николай Викторович Исследование влияния асимметрии на сложность решения задачи коммивояжера методом ветвей и границ
Научный руководитель — Ульянов М.В., д.т.н., проф.

Мануйлович Наталия Андреевна Минимизация и знакоопределенность вырожденных квадратичных функционалов
Научный руководитель — Дмитрук А.В., д.ф.-м.н., проф.

Маркитантова Наталья Константиновна Генерация тренировочных задач по матем.е с применением символьных преобразований
Научный руководитель — Столяров А.В., к.ф.-м.н., доц.

Марьина Ангелина Александровна Оценка риска в модели цены, зависящей от потока заказов
Научный руководитель — Назаров Л.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Масло Михаил Юрьевич Исследование структур нейронных сетей для оптимизации распознавания тональности отзыва
Научный руководитель — Решетов В.Ю., к.т.н., доц.

Маслов Никита Сергеевич Метод и средства синтеза архитектуры и обучения сверточных нейросетей

Научный руководитель — Костенко В.А., к.т.н., доц.

Минаев Виталий Юрьевич Оценки точности приближения распределения статистики Бартлетта—Нанда—Пиллай

Научный руководитель — Ульянов В.В., д.ф.-м.н. проф.

Минибаев Евгений Маратович Предметно-ориентированный отладчик для системы динамической двоичной трансляции QEMU

Научный руководитель — Аветисян А.И., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Морозов Василий Васильевич Разработка и исследование методов отображения запросов на ресурсы распределенного центра обработки данных

Научный руководитель — Костенко В.А., к.т.н., доц.

Морозов Никита Михайлович Построение проективных плоскостей различных размерностей

Научный руководитель — Анашин В.С., д.ф.-м.н., проф.

Московченко Анастасия Юрьевна Оптимальное ценообразование в платформах совместного использования поездок

Научный руководитель — Евтушенко Ю.Г., акад. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Мосолова Юлия Михайловна Стабилизация переключаемых линейных интервальных систем

Научный руководитель — Фурсов А.С., д.ф.-м.н., проф.

Мочалин Павел Витальевич Алгоритмы реалистичной визуализации зубной эмали

Научный руководитель — Ватолин Д.С., к.ф.-м.н., с.н.с.

Мошкин Георгий Николаевич Применение комбинированного анализа программ для повышения эффективности обнаружения программных ошибок

Научный руководитель — Гайсарян С.С., к.ф.-м.н., проф.

Мукин Николай Михайлович Математическое моделирование автомобильного движения на круговой автострате

Научный руководитель — Куржанский А.Б., акад. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Мухаев Дамир Управления в компьютерных сетях с задержкой

Научный руководитель — Атамась Е.И., м.н.с.

Никифоров Дмитрий Александрович Исследование и разработка механизмов биометрической аутентификации пользователей в операционных системах семейства Windows на основе данных о работе со стандартными устройствами ввода

Научный руководитель — Попов И.С., м.н.с.

Николаев Владимир Владимирович Применение нейронных сетей в задачах молекулярной биологии

Научный руководитель — Соколов Е.А., матем.

Носков Глеб Михайлович Использование обобщенной линейной модели для тарификации ОСАГО на страховом рынке России

Научный руководитель — Белянкин Г.А., к.ф.-м.н., доц.

Облыгина Олеся Романовна Математическая модель оптимизации учебного расписания

Научный руководитель — Денисов Д.В., к.ф.-м.н., доц.

Окунева Анна Сергеевна Универсальные функции для специальных классов линейных функций

Научный руководитель — Вороненко А.А., д.ф.-м.н., проф.

Онищенко Михаил Романович Анализ экстремальных значений случайных величин

Научный руководитель — Королев В.Ю., д.ф.-м.н., проф.

Павлов Дмитрий Сергеевич Эксплуатация уязвимостей десериализации в веб-приложениях на языке PHP (Hypertext Preprocessor)

Научный руководитель — Гамаюнов Д.Ю., к.ф.-м.н., с.н.с.

Палионная Софья Игоревна Обобщенное обратное гамма-распределение факторов в байесовских моделях баланса

Научный руководитель — Кудрявцев А.А., к.ф.-м.н., доц.

Пантелеев Игорь Валерьевич Антикоординационные игры с учетом структуры связей

Научный руководитель — Поспелова И.И., к.ф.-м.н., доц.

Петров Илья Алексеевич Нейросетевой алгоритм восстановления параметров 3D модели фигуры и позы человека по изображениям

Научный руководитель — Конушин А.С., к.ф.-м.н., доц.

Петухов Иван Андреевич Разработка среды для построения систем анализа Интернет-трафика

Научный руководитель — Мальковский М.Г., д.ф.-м.н., проф.

Пиджакова Анна Геннадьевна Построение криволинейного скелета полигональной модели с помощью срединных осей её проекций

Научный руководитель — Местецкий Л.М., д.т.н., проф.

Пинаева Надежда Михайловна Мониторинг динамической виртуальной сети для междоменного взаимодействия

Научный руководитель — Антоненко В.А., к.ф.-м.н., с.н.с.

Пирогов Роман Владимирович Об асимптотическом поведении резерва страховой компании

Научный руководитель — Бенинг В.Е., д.ф.-м.н., проф.

Полушин Владимир Владимирович Инструменты унифицированного доступа к библиотекам программ для обработки текстов на естественном языке

Научный руководитель — Большакова Е.И., к.ф.-м.н., доц.

Полушкин Андрей Алексеевич Исследование игровой задачи оптимизации затрат в модели интернет-торговли

Научный руководитель — Решетов В.Ю., к.т.н., доц.

Полыковский Даниил Александрович Нейронные сети для генерации молекулярных структур

Научный руководитель — Журавлёв Ю.И., д.ф.-м.н., проф.

Попенова Полина Сергеевна Статистические свойства методов гибридной пороговой обработки

Научный руководитель — Шестаков О.В., д.ф.-м.н., проф.

Попов Артём Сергеевич Выделение множества тематик в неразмеченной коллекции диалогов

Научный руководитель — Воронцов К.В., д.ф.-м.н., доц.

Попов Всеволод Витальевич Исследование структурирования видео на основе признаков кадров

Научный руководитель — Добров Б.В., к.ф.-м.н.

Постников Михаил Михайлович Методы формирования обучающих выборок для классификации объектов на изображениях

Научный руководитель — Добров Б.В., к.ф.-м.н.

Потапов Юрий Юрьевич Параллельные реализации теста Linpack для мобильных платформ с поддержкой ускорителей

Научный руководитель — Никитенко Д.А., к.ф.-м.н., с.н.с.

Прокопенко Валерия Валерьевна Экстремальные свойства ландшафта приспособленности в модифицированной системе Кроу—Кимуры

Научный руководитель — Братусь А.С., д.ф.-м.н., проф.

Пучкин Данила Андреевич Анализ сетевых графиков в управлении проектами

Научный руководитель — Абрамов В.Г., к.ф.-м.н., доц.

Пчелинцев Яков Антонович Повышение качества изображений клеточных структур

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

Разина Наталья Михайловна Исследование вопросов безопасности алгоритмов шифрования, сохраняющих формат

Научный руководитель — Применко Э.А., к.ф.-м.н., доц.

Ракитько Сергей Сергеевич Обратная коэффициентная задача для уравнения первого порядка в частных производных с дополнительной информацией на характеристиках

Научный руководитель — Щеглов А.Ю., к.ф.-м.н., доц.

Рослов Глеб Владиславович Использование решателей задачи выполнимости КНФ (Конъюнктивная Нормальная Форма) в криптоанализе кодовых систем, построенных на QC-MDPC кодах

Научный руководитель — Чижов И.В., к.ф.-м.н., доц.

Сабырова Тогжан Моделирование системы управления летательного аппарата

Научный руководитель — Ильин А.В., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Савинкина Дарья Игоревна Преобразование изображений для обучения детекторов объектов

Научный руководитель — Ерофеев М.В., к.ф.-м.н., младший н.с.

Сагиндыков Тамерлан Бехмухамбетович Метод совмещения последовательностей биомедицинских изображений

Научный руководитель — Сорокин Д.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Саликов Павел Михайлович Методы машинного обучения для кластеризации событий в системах управления событиями и информацией о безопасности

Научный руководитель — Петровский М.И., к.ф.-м.н., доц.

Сальменов Нурсултан Фильтры пониженного порядка для дискретных систем

Научный руководитель — Фомичев В.В., д.ф.-м.н., проф.

Сахнов Александр Максимович Методы генеративно-состязательных сетей для информационного поиска

Научный руководитель — Ульянов В.В., д.ф.-м.н. проф.

Себко Екатерина Сергеевна Методика поиска закономерностей в результатах анкетирования

Научный руководитель — Абрамов В.Г., к.ф.-м.н., доц.

Секулич Славен Борисович Простые базисы в двузначных логиках

Научный руководитель — Алексеев В.Б., д.ф.-м.н., проф.

Сидоров Александр Сергеевич Линейные регистры сдвига с ограниченно-детерминированной функцией в качестве усложняющей

Научный руководитель — Анашин В.С., д.ф.-м.н., проф.

Сидоров Дмитрий Александрович Классификация событий на видеоизображении при помощи трехмерных сверточных нейросетей

Научный руководитель — Шишкин А.Г., д.ф.-м.н., доц.

Синельников Игорь Валентинович Разработка и исследование методов переноса вычислений на графические ускорители с использованием технологии OpenMP на примере приложений биоинформатики

Научный руководитель — Попова Н.Н., к.ф.-м.н., доц.

Синельникова Екатерина Константиновна Семантический анализ и категоризация статей математической энциклопедии

Научный руководитель — Серебряков В.А., д.ф.-м.н., проф.

Скобцова Юлия Александровна Прогнозирование нагрузки контроллера в программно-конфигурируемых сетях

Научный руководитель — Смелянский Р.Л., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Сливкина Анна Разработка метода анализа биоэквивалентности лекарственных препаратов

Научный руководитель — Захарова Т.В., к.ф.-м.н., доц.

Смирнов Алексей Сергеевич Методы сокращения пространства признаков для тематической классификации текстов

Научный руководитель — Ефремова Н.Э., к.ф.-м.н., асс.

Сташевский Андрей Сергеевич Динамическая модель назначения заказов в сервисе такси

Научный руководитель — Евтушенко Ю.Г., акад. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Степанюк Александра Олеговна Обнаружение ошибок в системе с использованием одновременного наблюдателя

Научный руководитель — Атамась Е.И., м.н.с.

Суранович Дмитрий Игоревич Программные инструменты создания экспертных систем для анализа автогонок

Научный руководитель — Корухова Ю.С., к.ф.-м.н., доц.

Тагаев Азизбек Авезович Оценивание параметров обобщенных дисперсионных гамма-распределений

Научный руководитель — Королев В.Ю., д.ф.-м.н., проф.

Тагирова Рената Альбертовна Построение наблюдателей для автономного аппарата

Научный руководитель — Капалин И.В., к.ф.-м.н., доц.

Тархов Алексей Андреевич Оценка уровня значимости в задаче проверки гипотезы биоэквивалентности

Научный руководитель — Захарова Т.В., к.ф.-м.н., доц.

Таскынов Ануар Римановый метод семплирования Монте—Карло для низкоранговых матриц и тензоров

Научный руководитель — Кропотов Д.А., н.с.

Терёшина Мария Сергеевна Методы выявления семантически близких терминов в научном тексте

Научный руководитель — Большакова Е.И., к.ф.-м.н., доц.

Титов Владислав Александрович О глубине мультиплексорных функций и поведении функции Шеннона для глубины в некоторых базисах

Научный руководитель — Ложкин С.А., д.ф.-м.н., проф.

Титова Анастасия Игоревна Байесовские модели баланса факторов, имеющих априорное распределение Вейбулла

Научный руководитель — Кудрявцев А.А., к.ф.-м.н., доц.

Тихонова Екатерина Андреевна Автоматическое порождение таксономии интересов пользователей по аккаунтам в социальных сетях

Научный руководитель — Лукашевич Н.В., д.т.н.

Токарева Елена Александровна Совместное построение маршрутов и расписаний передачи данных в сетях Ethernet с временной синхронизацией

Научный руководитель — Балашов В.В., к.ф.-м.н., с.н.с.

Трубицын Юрий Алексеевич Распознавание жестов дактильной азбуки на основе видеоряда карт глубины

Научный руководитель — Журавлев Ю.И., д.ф.-м.н., проф.

Труфанова Юлия Анатольевна Исследование теоретико-вероятностных свойств биометрических данных в связи с обоснованием безопасности нечетких экстракторов

Научный руководитель — Применко Э.А., к.ф.-м.н., доц.

Тулупцева Нина Сергеевна Обнаружение аномальных изображений с помощью генеративных состязательных сетей

Научный руководитель — Сеньюкова О.В., к.ф.-м.н., асс.

Туркина Анна Александровна Численное решение линейной задачи оптимального управления с терминальным функционалом

Научный руководитель — Самсонов С.П., к.ф.-м.н., доц.

Урусов Антон Магомедович Численное исследование устойчивости двумерной страты в наносекундных разрядах

Научный руководитель — Ильютко В.П., к.ф.-м.н., доц.

Филатова Мария Александровна Применение графовых вероятностных моделей для восстановления траектории дрейфа объектов

Научный руководитель — Березин С.Б., к.ф.-м.н., доц.

Филин Максим Дмитриевич Система автоматизированного тематического информационного поиска

Научный руководитель — Грацианова Т.Ю., к.ф.-м.н., доц.

Хашаев Артур Акрамович Обнаружение уязвимостей класса DOM XSS методом динамического анализа потоков данных инструментированного JavaScript-кода

Научный руководитель — Гамаюнов Д.Ю., к.ф.-м.н., с.н.с.

Хвостов Александр Владимирович Сравнительный анализ возможностей адаптивных и универсальных регуляторов при решении задачи стабилизации переключаемых линейных систем

Научный руководитель — Фурсов А.С., д.ф.-м.н., проф.

Холкина Мария Дмитриевна Моделирование массовой эмиграции творческой и продуктивной части среднего класса России

Научный руководитель — Шведовский В.А., к.ф.-м.н., доц.

Холмогорова Мария Сергеевна Оценка стоимостей некоторых видов опционов на один и два актива

Научный руководитель — Морозов В.В., к.ф.-м.н., доц.

Царев Михаил Дмитриевич Задача оценивания дискретной компоненты состояния кусочно-линейной системы с переключениями на основании неполных и неточных измерений

Научный руководитель — Точилин П.А., к.ф.-м.н., доц.

Цыбров Евгений Германович Некоторые математические модели дифракции электромагнитных волн на диэлектрических телах вращения

Научный руководитель — Захаров Е.В., д.ф.-м.н., проф.

Чабан Олег Олегович Метод разрушения и восстановления для задачи оптимизации городских перемещений

Научный руководитель — Евтушенко Ю.Г., акад. РАН, д.ф.-м.н., проф.

Чаплыгин Андрей Викторович Метод балансировки нагрузки вычислений с использованием фрактальных кривых Гильберта для модели INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model)

Научный руководитель — Дианский Н.А., д.ф.-м.н.

Чернышев Анатолий Владимирович Расширения оператора позитивного замыкания на множестве частичных булевых функций

Научный руководитель — Марченков С.С., д.ф.-м.н., проф.

Четыз Кирилл Эдуардович Математическое моделирование образования пор в биополимере

Научный руководитель — Смирнов А.П., к.ф.-м.н., доц.

Чибиляев Василий Альбертович Оценки вклада отдельного фактора в общий риск портфеля со смешанным многомерным распределением
Научный руководитель — Хохлов Ю.С., д.ф.-м.н., проф.

Чикунев Максим Николаевич Методы машинного обучения для выявления экстремизма в сети Интернет
Научный руководитель — Петровский М.И., к.ф.-м.н., доц.

Чучелов Илья Юрьевич Автоматическое квазиреферирование русскоязычных текстов с использованием семантического анализа
Научный руководитель — Полякова И.Н., к.ф.-м.н., ст. преп.

Швецов Денис Андреевич Высокоуровневая система разработки приложений для программно-конфигурируемых сетей
Научный руководитель — Шалимов А.В., к.ф.-м.н., программист

Шергина Анастасия Геннадьевна Математическая модель эволюции континуальной системы квазивидов в изменчивой среде
Научный руководитель — Братусь А.С., д.ф.-м.н., проф.

Шестаков Иван Лазаревич Модель контроля техники безопасности на угледобывающей промышленности для различных типов нарушений
Научный руководитель — Васин А.А., д.ф.-м.н., проф.

Шиков Артем Михайлович Методы регуляризации в задаче расчета режима работы энергосистемы
Научный руководитель — Давидсон М.Р., к.ф.-м.н., доц.

Шолохова Татьяна Николаевна Распознавание таблиц на цифровых изображениях документов с геометрическими искажениями
Научный руководитель — Местецкий Л.М., д.т.н., проф.

Щербаков Александр Станиславович Динамическая и иерархическая излучательность
Научный руководитель — Фролов В.А., к.ф.-м.н., н.с.

Щербаков Виктор Андреевич Пространственная кластеризация булевых функций
Научный руководитель — Логачев О.А., к.ф.-м.н., доц.

Эккоре Николай Дмитриевич Файловая система в энергозависимой памяти для операционных систем реального времени
Научный руководитель — Хорошилов А.В., к.ф.-м.н., доц.

Южаков Тимофей Алексеевич Построение модели прогнозирования курса криптовалют на основе рекуррентных нейронных сетей и нахождение аналитического вида ошибки модели в виде смеси нормальных распределений
Научный руководитель — Захарова Т.В., к.ф.-м.н., доц.

Юмашев Артём Владимирович Модель Курно как иерархическая или кооперативная игра

Научный руководитель — Морозов В.В., к.ф.-м.н., доц.

Яшин Сергей Владимирович Реализация областей распараллеливания в системе автоматизации разработки параллельных программ

Научный руководитель — Крюков В.А., д.ф.-м.н., проф.

Именной указатель

- Аветисян А. А., 97
Бельская А. Д., 60
Беспалова А. П., 61
Блохина А. В., 23
Василенко Д. В., 15
Васильева Ю. О., 72
Василькин В. Н., 99
Васильченко А. Д., 66
Гнатенко А. Р., 53
Горшков С. С., 67
Горячев С. С., 35
Давлетов А. А., 85
Дорофеева А. А., 87
Драгунов Н. А., 44
Зайцев И. О., 84
Ивачев Ф. В., 88
Иоффе В. Л., 19
Кибанов Г. В., 100
Клименкова А. Д., 26
Кожевников Д. В., 89
Корнеева И. А., 90
Королев В. В., 74
Корушкина А. В., 32
Крылов П. А., 28
Куцак Н. Ю., 55
Люков Д. А., 9
Макарычев И. П., 107
Меньших И. М., 37
Назаров А. А., 57
Никифорова Л. О., 62
Николаев М. В., 21
Никулин Е. В., 109
Ниськов Ф. В., 102
Новиков В. М., 31
Парфёнов А. Е., 16
Пенкин М. А., 10
Полетаев В. А., 46
Прокопчук С. К., 110
Раснюк А. Г., 104
Родин И. С., 25
Руднев В. С., 48
Семак В. В., 80
Силаева В. Г., 64
Синякова М. А., 76
Скачков Н. А., 50
Слабоузова А. К., 69
Смирнов М. С., 13
Соколова К. М., 81
Сороколетова О. Е., 38
Сухов М. Ю., 91
Тимохин И. А., 83
Трифонов В. Д., 106
Фомина Д. В., 39
Харчев Д. Н., 41
Хахмович А. А., 92
Хзмалян Д. Э., 58
Чернышева А. Ю., 78
Чернышева Д. Д., 18
Чмерева О. С., 33
Шелудько Б. А., 94
Шестакова А. Н., 51
Шорошов Г. М., 70
Шумов А. А., 11
Якунина Н. С., 96