

Министерство образования и науки Российской Федерации
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет Вычислительной математики и кибернетики



**СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
ВМК МГУ**



**Сборник тезисов
XXVII Международной научной конференции студентов,
аспирантов и молодых учёных
«ЛОМОНОСОВ-2020»
секция
«ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА»**



**Москва
МГУ имени М. В. Ломоносова
2020 г.**

УДК 517.6+519.8
ББК 22
Л75

**Организационный комитет
Международной молодежной научной олимпиады «Ломоносов-2020»**

Председатель
Организационного комитета
**Ректор МГУ им. М.В. Ломоносова,
академик В. А. Садовничий**

Организационный комитет
XXVII Международной научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Ломоносов-2020»
секции «Вычислительная математика и кибернетика»:

Соколов И.А. (председатель), **Атамась Е.И.** (ответственный секретарь), **Агаджанян Е.Г.**, **Артемьевая Л.А.**, **Гиязов Р.Р.**, **Гомзин А.Г.**, **Данилов Б.Р.**, **Дмитриев Л.В.**, **Исаков В.А.**, **Китов В.В.**, **Комаров Ю.А.**, **Мальцева А.В.**, **Минаева Ю.Ю.**, **Мокроусов И.С.**, **Никольский И.М.**, **Пашков В.Н.**, **Подымов В.В.**, **Романенко Т.Е.**, **Семенов А.Н.**, **Сенюкова О.В.**, **Сучков Е.П.**, **Холомеева А.А.**, **Целищев М.А.**, **Шевцова И.Г.**

Л75 **Ломоносов-2020:** Материалы XXVII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: секция «Вычислительная математика и кибернетика»; Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет ВМК: Сборник тезисов/Сост. Атамась Е.И., Мальцева А.В., Шевцова И.Г. – М.: Издательский отдел факультета ВМК МГУ (лицензия ИД 05899 от 24.09.2001)), 2020. – 200 с.
ISBN: 978-5-89407-608-9

В настоящий сборник вошли тезисы докладов участников Международной научной конференции «Ломоносов-2020» по секции «Вычислительная математика и кибернетика». Тематика тезисов очень разнообразна и охватывает многие актуальные проблемы современной фундаментальной науки. Все представленные в сборнике материалы были рекомендованы к публикации Экспертным советом секции. Тезисы публикуются в том виде, в котором были представлены авторами, они не редактировались, а были лишь приведены к единому формату.

УДК 517.6+519.8
ББК 22

ISBN 978-5-89407-608-9

© Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики
МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020
© Атамась Е.И., Мальцева А.В., Шевцова И.Г.,
составление, оформление, 2020

Содержание

Компьютерная графика

Грохольский Станислав Дмитриевич

- Разработка метода псевдоэталонной оценки качества сжатой видеопоследовательности..... 10

Захаров Артемий Юрьевич

- Нейросетевые методы генерации желёз на гистологических изображениях..... 12

Казинян Абел Каренович

- Определение двухмерной геометрии волос, при помощи трассировки видимых волосков..... 14

Кондранин Денис Сергеевич

- Быстрый метод повышения эффективности работы видеокодека, основанный на прогнозировании конфигураций кодирования для видео..... 16

Коптелов Дмитрий Андреевич

- Построение диаграммы Вороного многоугольной фигуры методом плоского заметания..... 18

Корнилов Антон Сергеевич, Макиенко Дарья Олеговна

- Способ аугментации данных для коррекции кольцевых артефактов на томографических изображениях..... 20

Крыжановская Светлана Юрьевна

- Моделирование движения пера на основе скелетного представления изображения рукописного текста..... 23

Лащенова Дарья Сергеевна

- Улучшение детектирования зубов на ортопантомограммах..... 24

Молодецких Иван Андреевич

- Разработка нейросетевого метода для стабильного во времени манипулирования видеопоследовательностей с людьми..... 26

Олохтонов Алексей Андреевич

- Эффективная реализация алгоритма Кэтмелла–Кларка..... 28

Плошкин Александр Игоревич

- Разработка нейросетевого алгоритма оценки карт визуального внимания для 360-градусных видео..... 29

Подопросоветов Андрей Валерьевич

- Параллельный алгоритм коррекции нормалей в STL-моделях..... 31

Реймерс Ирина Анатольевна

- Выравнивание слоев FIB-SEM изображения с ориентированными структурами..... 32

Черняев Сергей Дмитриевич

Сегментация фМРТ изображений на основе Байесовского подхода. 35

Шалимова Екатерина Алексеевна

Восстановление позы и комплекции человека по видео. 37

Математика

Айвазян Сагак Арамович

Многомерная центральная предельная теорема для взвешенных сумм. 40

Бегишев Руслан Ренатович

Об отыскании периодических решений в нелинейных динамических системах. 42

Боговский Антон Михайлович

О взаимодействии особых точек слабого решения эллиптической краевой задачи Дирихле с разрывным коэффициентом. 43

Валиахметов Булат Ильдарович

Оценка максимального ранга тензоров методом разделяющих подпространств. 45

Вдовин Николай Валерьевич

Аппроксимация динамики электрической активности мозга марковским процессом. 47

Габдуллин Руслан Айдарович, Макаренко Владимир Александрович

Неравномерные оценки скорости сходимости в центральной предельной теореме. 49

Гаджиев Серафим Рустамович

Исследование интегрального уравнения, возникающего в экологической модели после замыкания третьей степени. 51

Гончаров Василий Юрьевич

К вопросу существования положительной собственной функции в задаче о потере устойчивости колонны. 52

Гудков Сергей Михайлович

Вето-голосование в смешанном коллективе из близоруких и рациональных участников. 54

Донскова Мария Александровна, Башаров Илья Валерьевич

Восстановление цветных изображений с помощью низкоранговой матрицы кватернионов. 56

Дубровина Виктория Дмитриевна

О спектральных свойствах оператора с инволюцией. 59

Думбай Алексей Дмитриевич

Методы семплирования для генерации естественного текста нейросетевой языковой моделью. 61

Елохов Артур Владимирович

Анализ функциональных связей головного мозга с помощью сигналов электроэнцефалограмм. 63

Секция «Вычислительная математика и кибернетика»

<i>Емельянов Дмитрий Павлович</i>	
Асимптотика фундаментальной системы решений семейства вы- рождающихся дифференциальных уравнений	65
<i>Еникеев Разиль Радикович</i>	
Об одном признаке делимости чисел в двоичной системе счисления	66
<i>Зайцева Маргарита Владимировна</i>	
Математическая модель системы автономного регулирования по- тока людей в здании при чрезвычайных ситуациях.....	68
<i>Завалынева Екатерина Александровна</i>	
Стабилизация двухколесного робота на траектории с использо- ванием LMI.....	70
<i>Зеленков Виктор Константинович, Мисютин Данила Владимиро- вич</i>	
Расширение решения уравнения равновесия на случай произволь- ного количества видов.....	71
<i>Зуев Александр Андреевич</i>	
Применение безлимитерной квазиакустической схемы для числен- ного решения системы уравнений мелкой воды над произвольным рельефом дна.....	73
<i>Ильяшенко Илья Дмитриевич, Насретдинов Рауф Салаватович</i>	
Шумоочистка аудиосигналов на основе дискретного вейвлет- преобразования с аддитивными порогами.....	75
<i>Иоффе Виталий Леонидович</i>	
Оценка функции Грина задачи Коши для одного дифференциаль- ного оператора второго порядка с инволюцией.....	78
<i>Киселева Анна Викторовна</i>	
О резольвенте оператора Дирака с периодическими краевыми условиями.....	80
<i>Кодрян Максим Станиславович</i>	
Разработка методов оптимизации лечения в неврологии и психиат- рии, основанных на поиске достоверных закономерностей в данных	82
<i>Ковалев Валентин Юрьевич</i>	
Распознавание стиля произведений живописи по их изображениям с помощью глубоких нейронных сетей.....	83
<i>Круглова Светлана Ивановна</i>	
Разработка методов защиты систем биометрической идентифика- ции от таргетированных атак.....	86
<i>Куркин Максим Леонидович, Гаряева Эльвина Очировна, Косакин Да- ниил Юрьевич, Данг Куинь Ны</i>	
Сравнение аналитического и численного подходов в исследовании модели стационарных биологических сообществ.....	89
<i>Лебедева Мария Александровна</i>	
Применение алгоритмов машинного обучения для заполнения про- пущенных значений в данных о загрязнении почвы.....	91

<i>Лебедь Федор Сергеевич</i>	
Оптимизация раскладки клавиатуры методом имитации отжига	93
<i>Макаренко Владимир Александрович, Габдуллин Руслан Айдарович</i>	
Об оптимальном неравенстве, связывающем центральный и нецентральный абсолютные моменты третьего порядка	94
<i>Мазуренко Анастасия Павловна</i>	
О графах с почти реберно непересекающимися оставными деревьями	95
<i>Меркулов Михаил Владимирович</i>	
Прогнозирование доходов пользователей социальных сетей	96
<i>Михайлова Арсений Денисович</i>	
Рандомизированный алгоритм спектрального разрежения графов .	98
<i>Мордвинцев Михаил Константинович</i>	
Использование модифицированного алгоритма SVP для заполнения неизвестных элементов тензора	100
<i>Николаев Михаил Викторович</i>	
Исследование зависимости первого пространственного момента от параметров ядер в модели биологических сообществ	102
<i>Огнева Ирина Сергеевна</i>	
Обнаружение нарушений в работе мозга с помощью сигналов электроэнцефалограммы	104
<i>Парастаев Григорий Сергеевич</i>	
О связующем звене между задачами математического моделирования транспортных потоков и управления электросетью	105
<i>Переладова Анна Борисовна</i>	
Генераторы псевдослучайных последовательностей на основе цепочисленных операций	106
<i>Петров Андрей Викторович</i>	
Адаптивное управление светофорными объектами	108
<i>Пименова Диана Вячеславовна</i>	
Оптимальная терапия в математической модели рака простаты с учетом развития метастазных клеток	109
<i>Полищенко Наталья Алексеевна</i>	
Стабилизация систем иерархической нелинейной обратной связью .	112
<i>Попова Елизавета Александровна</i>	
Исследование свойств крипtosистемы типа Мак-Элиса-Сидельникова, построенной на основе случайных кодов	113
<i>Попов Дмитрий Олегович</i>	
Методы машинного обучения для предсказания распределения генетической информации по популяциям	115
<i>Прихно Мария Александровна, Бегишев Руслан Ренатович, Злобин Дмитрий Васильевич</i>	
Технология цифрового двойника как инструмент обучения роботики: программно-аппаратная архитектура, задачи и проблемы . . .	117

Секция «Вычислительная математика и кибернетика»

Самарин Алексей Игоревич

Методы управления группой объектов при наличии помех..... 120

Серов Сергей Сергеевич

Метод определения сходства жестов на основе сравнения видео... 121

Табалин Дмитрий Дмитриевич

Детерминированный синтез алгоритмов терминального управления с прогнозированием невязок краевых условий..... 123

Тарасенко Максим Валерьевич, Трусов Николай Всеолодович

Моделирование спроса на потребительское кредитование..... 125

Ткаченко Екатерина Викторовна, Дебольский Андрей Владимирович,

Мортиков Евгений Валерьевич

Воспроизведение суточного хода атмосферного пограничного слоя в моделях прогноза погоды и климата..... 128

Хайдич Мария Михайловна

Замкнутые классы в частичной 30-значной логике, содержащие все полиномы..... 130

Хрыльченко Кирилл Ярославович

Обобщенные модальности в вероятностных тематических моделях для транзакционных данных..... 131

Юдин Никита Евгеньевич

Адаптивный вариационный вывод..... 133

Януш Виктор Янович

Методы обучения стохастических бинарных нейронных сетей..... 135

Практическое применение математических методов и компьютерного зрения для железнодорожных задач

Базарова Александра Ильинична, Грабовой Андрей Валерьевич

Распознавание фигур на изображении с помощью ансамбля моделей..... 137

Потанин Марк Станиславович

Выбор оптимальной структуры нейросетевых моделей..... 138

Программирование

Андреев Павел Константинович

Разработка алгоритма классификации электрокардиограмм в двенадцати отведениях..... 141

Бикбулатов Тимур Русланович

Дедуктивная верификация программ на языке Python..... 142

Горшков Сергей Сергеевич

Оптимизация программ за счёт улучшения использования модуля предсказания перехода..... 144

Гущин Дмитрий Вадимович, Матющенко Анастасия Андреевна,

Меркулов Павел Владимирович, Пономарев Александр Сергеевич,

<i>Туракулов Акрамжон Улугбекович</i>	
Автоматизированная система выдачи материальных ценностей	146
<i>Костюкова Ольга Юрьевна, Духнай Екатерина Ивановна, Куделина Лилия Александровна</i>	
Система на кристалле для распознавания эмоций	148
<i>Ермаков Александр Васильевич</i>	
Программная реализация обработки лингвистического паттерна при принятии решений в коллективе автономных роботов	149
<i>Ермолаев Павел Альбертович</i>	
Методы решения задачи поиска похожих судебных решений	150
<i>Иванов Сергей Максимович</i>	
Внутренне мотивированное обучение с подкреплением	152
<i>Канзепаров Руслан Ринатович</i>	
Разработка прототипа архитектуры Интернета энергии	155
<i>Карпов Максим Евгеньевич</i>	
Метод переиспользования абстракций в статическом анализе для поиска состояний гонки	157
<i>Королев Артем Сергеевич</i>	
Разработка системы для помощи в проведении практических занятий по JavaScript	158
<i>Кузьмин Ярослав Константинович</i>	
Исследование применимости алгоритмов обработки пакетов с сохранением состояния в одной архитектуре сетевого процессора	160
<i>Кузнецова Ирина Владимировна</i>	
Разработка и реализация алгоритмов компьютерного анализа метроритмических характеристик русских поэтических текстов	161
<i>Лесцов Борис Андреевич</i>	
Решение задачи детекции с помощью обучения с частичным привлечением учителя	163
<i>Машигина Наталья Владимировна</i>	
Аспектный анализ научной статьи на основе дискурсивных маркеров	165
<i>Мещеряков Андрей Константинович</i>	
Модель функционирования системы управления войсками и оружием на основе аналитического и статистического моделирования	167
<i>Нгуен Khanh Khuен</i>	
Автоматическое построение словаря тональных модификаторов	169
<i>Никифоров Никита Игоревич</i>	
Анализ и исследование структур данных для поиска в таблицах классификации в архитектуре сетевого процессора без выделенного ассоциативного устройства	170
<i>Омаров Темирхан</i>	
Исследование алгоритмов поиска циклов в символьных последовательностях на примере Муравья Лэнгтона	172

Секция «Вычислительная математика и кибернетика»

<i>Паокин Андрей Викторович</i>	
Новый подход к взаимодействию объектов в программном пакете для поддержки работы в программном комплексе Octoshell	173
<i>Пашков Василий Николаевич</i>	
О методе организации отказоустойчивой распределенной платформы для программно-конфигурируемых сетей.	174
<i>Пашков Василий Николаевич, Антипина Анна Вячеславовна</i>	
О методе предотвращения DDoS атаки на контроллер в программно-конфигурируемых сетях.	175
<i>Полозов Илья Константинович</i>	
Применение технологии Word2vec в задаче получения инверторов тональности.	177
<i>Рожков Никита Олегович</i>	
Методы автоматического выявления устойчивых словосочетаний в научных текстах.	178
<i>Шевченко Олег Владимирович</i>	
Автоматические методы бимодального распознавания эмоций в речи.	180
<i>Шибаев Павел Павлович</i>	
Параллельная реализация алгоритма Simhash при помощи средств Cilk Plus.	182
<i>Симаков Сергей Александрович</i>	
Интерактивный алгоритм разметки гистологических изображений с обучением на слабо размеченных данных.	184
<i>Синюков Александр Сергеевич</i>	
Распознавание эмоций в человеской речи для мультиязыкового набора данных.	186
<i>Сируньян Баагн Телемакович</i>	
Поиск клонов фрагментов в исполняемом коде.	187
<i>Семенова Дарья Владимировна, Темиркаева Мария Рифинатовна</i>	
Сравнение методов выявления индивидуального эффекта от воздействия.	189
<i>Холодницкий Сергей Вадимович</i>	
Применение методов Subgroup Discovery для оценки эффекта от воздействия.	192
<i>Тони Кастильо Мартин</i>	
Анализ методов оптимизации глубоких нейронных сетей с использованием распределенных вычислений.	194
Именной указатель	197

Компьютерная графика

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПСЕВДОЭТАЛОННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЖАТОЙ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Грохольский Станислав Дмитриевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

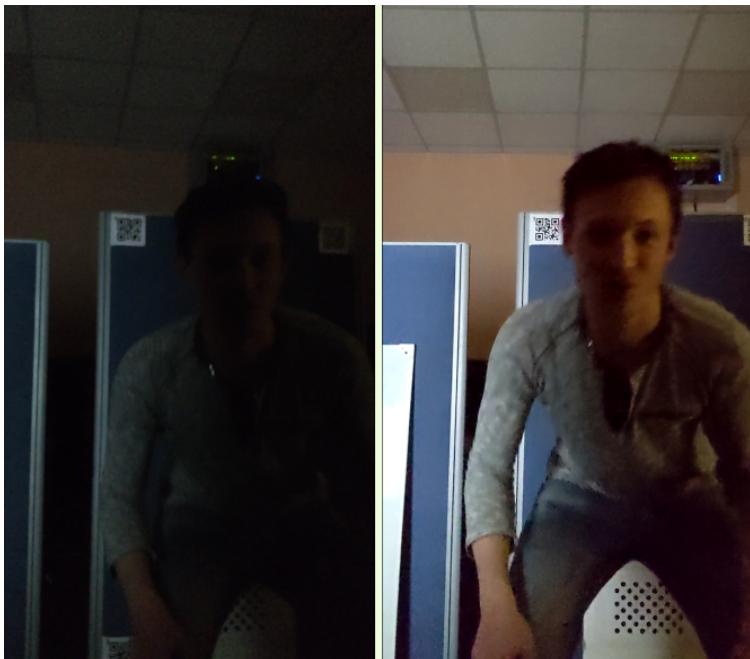
E-mail: stanislav.groholsky@graphics.cs.msu.ru

Научный руководитель – Ватолин Дмитрий Сергеевич

С развитием технологий связи, коммуникации все больше переходят от личных встреч к удаленным способам взаимодействия. Одним из развивающихся средств удаленной связи являются системы видеоконференцсвязи. Для улучшения качества восприятия видеоконференции необходимо разработать способ его оценки. Наиболее надежным способом оценки качества является усреднение субъективных оценок пользователей. Однако тестирование непосредственно с участием пользователей зачастую слишком дорого и занимает много времени. В рамках работы ставится задача разработки объективного метода оценки качества видеоконференции в связке приложение-устройство. Необходимым условием разрабатываемой объективной оценки является высокая корреляция с субъективной оценкой. Высокая корреляция с субъективной оценкой будет являться критерием эффективности разработанного метода.

Для объективной оценки предлагается использоваться дополнительный (псевдоэталонный) видеопоток: будет установлено несколько записывающих устройств, фиксированных относительно друг друга и записывающих сцену одновременно. Одно из устройств будет выбрано в качестве эталонного, а его параметры специально выбраны наилучшим образом для конкретной сцены. В качестве устройства для записи псевдоэталонного видеопотока будет выбрана профессиональная видеокамера. Требуется оценить качество визуального восприятия видеопотока на основе отклонения от псевдоэталонного видеопотока.

Иллюстрации



Кадры входного и псевдоэталонного видеопотоков, снятые на различные устройства при одинаковых условиях

Предложенная псевдоэталонная оценка состоит из текстурной и цветовой составляющих, полученных на основе анализа цветовых гистограмм блоков и коэффициентов разложения блоков в дискретное косинусное преобразование. Аналогичные методы оценок были представлены ранее: метод VQM [1] основан на вычислении разностей статистик, включающих градиент значений яркостей, значения цвета, контрастности и величины движения. Работа [2] — псевдоэталонный метод, вычисляющий норму отклонений в пространстве вейвлет-коэффициентов в выборочных позициях, сокращая объем данных, требуемый для оценки. Индекс STRRED, описанный в [3], также использует разницу вейвлет-коэффициентов в трехмерном пространстве с добавлением оси времени, анализируя гистограммы полученных разностей.

Литература

1. Masry M. A scalable wavelet-based video distortion metric and applications // In Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, Vol. 16, no. 2, P. 262–273.
2. Pinson M. A new standardized method for objectively measuring video quality // In Transactions on Broadcasting Television Receivers, 2004, Vol. 50, no. 3, P. 312–322.
3. Soundararajan R. Video quality assessment by reduced reference spatio-temporal entropic differencing // In Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2013, Vol. 23, no. 4, P. 684–694.

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ЖЕЛЁЗ НА ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Захаров Артемий Юрьевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: artemy00797@yandex.ru

Научный руководитель — Сорокин Дмитрий Васильевич

Анализ гистологических изображений важен для обнаружения и изучения различных заболеваний, например, таких как рак. Одним из направлений задач является обнаружение, сегментация и классификация желёз, расположенных на данных изображениях [1, 2]. Существует множество методов машинного обучения с учителем для решения данной задачи, однако все они требуют наличия обучающей выборки большого размера [2]. Для сегментации обучающие выборки должны быть размечены. Создание подобных наборов данных — очень дорогое и долгое занятие, занимающее большое количество времени экспертов данной области.

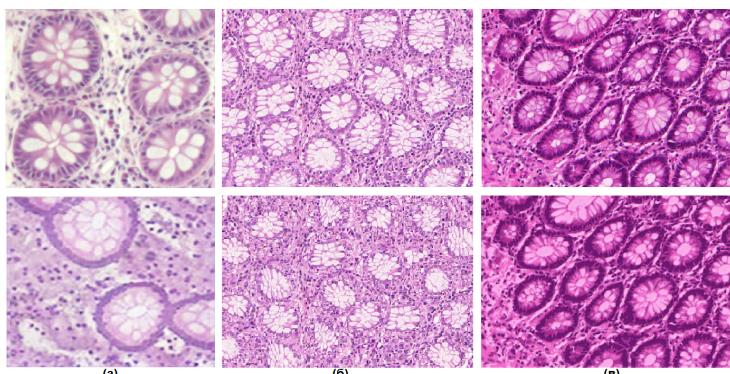
К решению проблемы наличия обучающей выборки достаточно-го размера можно подойти двумя способами: полноценная генера-ция набора данных с использованием методов машинного обучения или генерация изображений классическими методами с последую-щим улучшением их реалистичности с помощью дополнительных подходов.

В данной работе предлагается три метода генерации гистологи-ческих изображений. Первый способ основывается на синтезе ги-стологических изображений с железами с помощью классических

методов с последующим улучшением качества полученных текстур с помощью нейросетевых методов машинного обучения. Для данного метода используется сеть StyleGAN, позволяющая переносить стиль из одного домена изображений на изображения другого домена [3]. Второй способ позволяет синтезировать новые гистологические изображения за счет изменения положения, размеров и формы объектов на некотором реальном изображении с последующим сглаживанием с помощью нейронных сетей, например, с помощью того же StyleGAN [3]. Последний, третий, подход основывается на классическом начальном приближении, которое модифицируется сетью SinGAN [4].

Оценка качества сгенерированных изображений производится с помощью анализа улучшения сегментации при добавлении искусственных картинок в обучающую выборку.

Иллюстрации



Верхний ряд – реальные изображения, нижний – сгенерированные. (а) – изображение, сгенерированное с помощью первого подхода, (б) – с помощью второго, (в) – с помощью третьего.

Литература

1. Naik S., Doyle S., Agner S., Madabhushi A., Feldman M., Tomaszewski J. Automated gland and nuclei segmentation for grading of prostate and breast cancer histopathology //2008 5th IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro, Paris, France, 2008, P. 284–287.

2. Chen H., Qi X., Yu L., Heng P. A. DCAN: deep contour-aware networks for accurate gland segmentation //Proceedings of the IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, USA, 2016, P. 2487–2496.
3. Zhu J. Y., Park T., Isola P., Efros A. A. Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks //Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, Venice, Italy, 2017, P. 2223–2232.
4. Shaham T. R., Dekel T., Michaeli T. et al. Learning a generative model from a single natural image //Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Seoul, Korea, 2019, P. 4570–4580.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУХМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ ВОЛОС, ПРИ ПОМОЩИ ТРАССИРОВКИ ВИДИМЫХ ВОЛОСКОВ

Казинян Абел Каренович

Студент

Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова, Ереван, Армения

E-mail: ghazinyan.abel@gmail.com

Научный руководитель — Смирнов Илья Николаевич

Волосы — важная часть внешности человека. При моделировании внешностей виртуальных персонажей, сталкиваются с многими трудностями, так как волосы человека состоят из множества маленьких волосков.

Так как в наше время многие пытаются решить эту задачу, ставится вопрос нахождения алгоритма, который трассирует волосы человека. Это является необходимым этапом для моделирования волос.

Нам удалось трассировать видимые волоски, которые характеризуют двухмерную геометрию волос. Результат работы алгоритма можно использовать в качестве дальнейшей трехмерной реконструкции.

Для решения поставленной задачи используется набор из 32-ух нечётных фильтров Габора(1), с отклонением в 5.625 градусов.

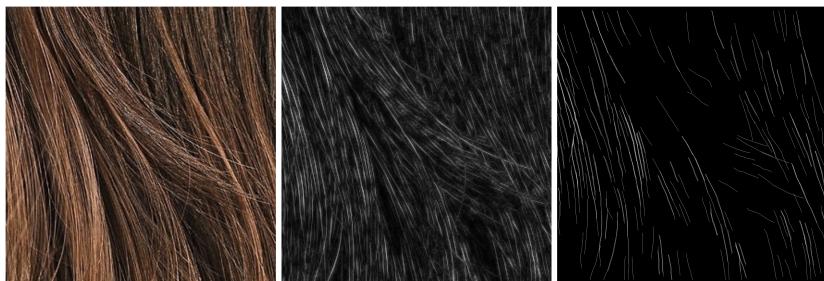
$$G_\theta(u, v) = G_\theta(u, v) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{\tilde{u}^2}{\sigma_u^2} + \frac{\tilde{v}^2}{\sigma_v^2}\right]\right) \cos\left(\frac{2\pi\tilde{u}}{\lambda}\right), \quad (1)$$

где $\tilde{u} = u \cos \theta + v \sin \theta$, $\tilde{v} = -u \cos \theta + v \sin \theta$, u и v координаты, λ — угол в радианах, σ_u и σ_v — параметры фильтра.

На первом этапе обработки изображения получается матрица направлений каждого пикселя, которая используется для определения направления волоска. Параллельно получается матрица, характеризующая вероятность принадлежности пикселя к волоску.

Используя эти две матрицы, при помощи итеративного алгоритма, получаются сегменты видимых волосков.

Иллюстрации



Процесс выполнения алгоритма.

Литература

1. JAIN A. K. AND FARROKHNAI F. 1991. Unsupervised texture segmentation using Gabor filters. *Pattern Recognition* 24 12 1167–1186.
2. PARIS S. BRICEÑO H. AND SILLION F. 2004. Capture of hair geometry from multiple images. *ACM Trans. Graph.* 23 3 712–719.
3. JAKOB W. MOON, J. T. AND MARSCHNER S. 2009. Capturing hair assemblies fiber by fiber. *ACM Trans. Graph.* 28 5 164:1–164:9

**БЫСТРЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАБОТЫ ВИДЕОКОДЕКА, ОСНОВАННЫЙ НА
ПРОГНОЗИРОВАНИИ КОНФИГУРАЦИЙ
КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВИДЕО**

Кондранин Денис Сергеевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: denis.kondranin@graphics.cs.msu.ru

Научный руководитель — Ватолин Дмитрий Сергеевич

Рост доли видеоконтента в интернете [1], а также развитие новых форматов высокой чёткости приводят к увеличению издержек на его передачу по сети Интернет, поэтому сокращение размера передаваемых видеофайлов является актуальной задачей. На практике видеопоследовательность можно сжать в несколько десятков раз из-за пространственной и временной избыточностью. Сжатие выполняют специальные программы — видеокодеки. Видеокодек имеет несколько десятков параметров, которые неочевидным влияют на скорость кодирования, на качество и размер сжатого видеопотока. Например, популярный видеокодек x264 имеет 49 параметров. Разработчики видеокодеков, как правило, предоставляют некоторые стандартные наборы параметров (стандартные конфигурации кодирования), которые демонстрируют приемлемую работу на всех видео в среднем, однако, для конкретного видео можно подобрать такие параметры, которые будут оптимальнее по Парето стандартных конфигураций кодирования. Так, стандартный пресет slow видеокодека x264 можно ускорить на 13% и уменьшить размер файла на 11% при фиксированном качестве сжатого видеопотока, а пресет placebo ускорить на 70% при том же уменьшении размера файла.

Данная работа посвящена задаче прогнозирования конфигураций параметров видеокодеков для повышения эффективности сжатия видео. Поставим задачу более формально:

- На вход алгоритма подаётся видеопоследовательность V и эталонная конфигурация кодирования $p_{ref} \in P$.
- Выходом алгоритма является закодированное видео, закодированное конфигурацией $p \in P$ таким, что $Q_{p,V} \leq Q_{p_{ref},V}$ и $S_{p,V} \leq S_{p_{ref},V}$, где $Q_{p,V}$ — относительный размер закодиро-

ванного файла для конфигурации p и видео V , $S_{p,V}$ — относительная скорость закодированного файла для конфигурации p и видео V .

Для оценки качества использовалась метрика качества SSIM [3], так как она является общепринятым методом для измерения качества закодированного видео и используется в популярных отчётах сравнения [2] видеокодеков.

Предложенный метод состоит из следующих шагов:

1. Составляется выборка из видеопоследовательностей, содержащая и пользовательские видео, и видеопоследовательности, используемые для тестирования видеокодеков.
2. Для каждой видеопоследовательности из тренировочной выборки подсчитываются относительные скорость и качество кодирования на наиболее оптимальных наборах параметров.
3. Затем обучается модель машинного обучения, которая на основе пространственной и временной сложности предсказывает такой набор параметров, при котором относительная скорость кодирования не ухудшается, а относительный размер файла как можно меньше.

Экспериментальная оценка предлагаемого показала, что для пресета slow кодека x264 относительное размер файла уменьшить на 12% при уменьшении относительной скорости кодирования на 9%, для пресета placebo — на 8% и 70% соответственно на тестовом наборе видеопоследовательностей.

Литература

1. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) // <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.
2. HEVC/AV1 Video Codecs Comparison 2019 // http://compression.ru/video/codec_comparison/hevc_2019/
3. Hore A., Ziou D. Image quality metrics: PSNR vs. SSIM // 2010 20th International Conference on Pattern Recognition. – IEEE, 2010. – С. 2366-2369.

ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ ВОРОНОГО МНОГОУГОЛЬНОЙ ФИГУРЫ МЕТОДОМ ПЛОСКОГО ЗАМЕТАНИЯ

Коптелов Дмитрий Андреевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: dimitar98@list.ru

Научный руководитель — Местецкий Леонид Моисеевич

Одним из ключевых терминов в анализе изображений является понятие скелета. Скелетом плоской многоугольной фигуры называется множество ее внутренних точек, имеющих не менее двух ближайших граничных точек. Скелет позволяет получить компактное и удобное для последующей обработки представление изображения. Ввиду того, что любую фигуру можно аппроксимировать многоугольной фигуруй, задача построения скелета произвольной фигуры часто сводится к построению скелета аппроксимирующей многоугольной.

Понятие скелета тесно связано с Диаграммой Вороного. Эта структура представляет собой разбиение плоскости для множества сайтов S , при котором каждая область разбиения образует множество точек, более близких к одному из элементов множества S , чем к любому другому элементу этого множества. Сайтами могут являться отрезки и точки, в нашем случае это ребра и вершины многоугольной фигуры. Построив диаграмму Вороного, легко получить скелет путём отсечения некоторых ребер.

Теоретически известно, что минимальная алгоритмическая сложность построения диаграммы Вороного $O(n \log n)$. Существует несколько алгоритмов, реализующих построение данной структуры с указанной сложностью. Главные два подхода к построению — методы «разделяй и властвуй» и заматающая прямая.

В данной работе разработан алгоритм для построения диаграммы Вороного многоугольной фигуры методом плоского заметания, описанный в [2] и с предложенной реализацией в [1]. В данных статьях предложен общий подход к построению диаграммы Вороного: разбиение строиться для произвольного набора сайтов типа сегмент и точка. В предлагаемом алгоритме диаграмма строится только для многоугольных фигур, а не для произвольного набора сайтов. Таким образом, мы можем достичь экономии в вычислениях по сравнению с алгоритмами, работающими для общих случаев, к примеру

мы можем строить диаграмму Вороного только для внутренней части многоугольной фигуры, а не для всей плоскости.

В предлагаемом алгоритме главенствуют две структуры данных: статус заметающей прямой и очередь событий. Вертикальная заметающая прямая движется слева направо в процессе пересекая всю нашу многоугольную фигуру. В каждом своем положении прямая разбивает плоскость на две полуплоскости, и для каждой точки прямой можно построить максимальный пустой круг в левой полуплоскости, который касается хотя бы одного сайта. Отдельно выделяется пуста зона, максимальный пустой круг которой лежит вне многоугольной фигуры, таким образом мы избегаем построения «внешней» диаграммы Вороного. Непрерывная совокупность таких точек, соответствующих одному сайту называется зоной, вся прямая разбивается на зоны, а совокупность всех зон и называется статусом заметающей прямой. Событиями же являются ситуации порождения и уничтожения данных зон в процессе перемещения прямой. На Рис. 1 представлен статус заметающей прямой, где у каждой зоны указано к какому из пронумерованных сайтов она относится, символ ϵ обозначает пустую зону.

Иллюстрации

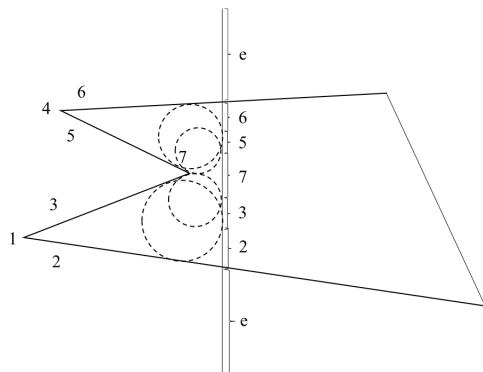


Рис.1 Статус заметающей прямой

Результатом прохода заметающей прямой слева направо будет являться набор ее статусов за все время. Имея это, мы можем постро-

ить диаграмму Вороного: если зоны соответствующие двум произвольным сайтам были смежными в статусе в какой-то момент движения заметающей прямой, значит существует ребро диаграммы Вороного, разделяющее области ближайших точек для этих двух сайтов. Начальная и конечная точка этого ребра легко восстанавливается с помощью информации о том, когда эти зоны стали смежными в статусе и когда перестали.

В ходе работы была разработана программа на языке C++, которая строит и визуализирует диаграмму Вороного для произвольного бинарного изображения. В дальнейших исследованиях планируется сравнение времени работы реализации данного алгоритма по сравнению с существующими программными реализациями других эффективных алгоритмов построения диаграммы Вороного, а также применение алгоритма в задачах обработки изображений, где используется скелетное представление изображения.

Литература

1. Местецкий Л. М. Скелетизация многоугольной фигуры на основе обобщенной триангуляции Делоне. Программирование, №3 (1999), 16-31.
2. Fortune S. A sweepline algorithm for Voronoi diagrams. Algorithmica, 2 (1987), 153 - 174

СПОСОБ АУГМЕНТАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ КОЛЬЦЕВЫХ АРТЕФАКТОВ НА ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

*Корнилов Антон Сергеевич^{1,2}
Макиенко Дарья Олеговна¹*

1: Стажёр-исследователь, Научно-исследовательский центр компании
Schlumberger, Москва, Россия

2: Аспирант, Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», Москва, Россия
E-mail: kranton94@mail.ru

Научный руководитель — Сафонов Илья Владимирович

Кольцевые артефакты являются одним из типичных дефектов изображений рентгеновской компьютерной томографии (КТ). Было предложено множество аппаратных и программных способов подавления кольцевых артефактов. Несмотря на применение подобных

способов в системах микроКТ, часть кольцевых артефактов остаётся на слоях трёхмерного реконструированного изображения. Они выглядят как тёмные и/или светлые царапины, образующие дуги окружности вокруг центра среза. Каждый такой артефакт может быть шириной и толщиной от одного до нескольких вокселей.

Целесообразно детектировать и корректировать рассматриваемые локальные артефакты с помощью глубоких свёрточных нейронных сетей. Восемь $3968 \times 3968 \times 1840$ изображений с глубиной цвета 8 бит на воксель различных типов песчаников и песка использовались для формирования обучающей и валидационной выборок. Однако, всего около 1500 областей, повреждённых кольцевыми артефактами, было обнаружено на этих изображениях. Для обнаружения областей использовался расширенный на 3D алгоритм, основанный на согласованной фильтрации в цилиндрической системе координат [1]. Такого количества областей недостаточно для обучения, даже если применять известные подходы к аугментации изображений [2].

Предлагается способ аугментации, в котором реальные кольцевые артефакты смешиваются с 3D неповреждёнными фрагментами рассматриваемых изображений в цилиндрической системе координат, что автоматически приводит к масштабированию и перемещению артефактов в декартовой системе.

На изображение в цилиндрической системе координат I^c переносится 3D область с артефактом I_a с началом в координатах вокселя $v_a = (x_a, y_a, z_a)$:

$$I^c(v) = \begin{cases} clip(I^c(v) + \Delta_a(v - v_a)) & x \in [x_a, x_a + N_a] \wedge \\ & y \in [y_a, y_a + M_a] \wedge \\ & z \in [z_a, z_a + D_a] \\ I^c(v) & \text{иначе} \end{cases}, \quad (1)$$

где (x, y, z) – координаты воксела v изображения; $x = 0, \dots, N - 1$, $y = 0, \dots, M - 1$, $z = 0, \dots, D - 1$; N , N_a – размер изображения и области артефакта по оси X ; M , M_a – размер изображения и области артефакта по оси Y ; D , D_a – размер изображения и области артефакта по оси Z ; $clip$ – функция отсечения значения воксела в диапазон $[0, 255]$; Δ_a – изображение размера $N_a \times M_a \times D_a$, определяемое формулами (2) и (3):

$$\Delta_a(v) = \mu(v) - median_{xz}[\mu(v)], \quad (2)$$

$$\mu(x, y, z) = M[I_a(v), I_a(x, y + 1, z), \dots, I_a(x, y + k_y, z)], \quad (3)$$

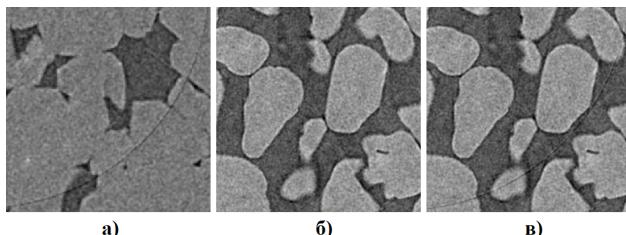
где $x = 0, \dots, N_a - 1$, $y = 0, \dots, M_a - 1$, $z = 0, \dots, D_a - 1$; $M[\bullet]$ – обозначает среднее значение; $median_{xz}[\bullet]$ – обозначает медианное значение относительно плоскости, параллельной XZ .

Случайно выбираемый артефакт из выборки обнаруженных артефактов смешивался с неповреждённым регионом изображений. Подобным образом на каждое исходное изображение было перенесено порядка $2 \cdot 10^4$ артефактов. Координата x_a начала артефакта в цилиндрической системе выбиралась случайным образом в диапазоне $[0, N - N_a]$, координата y_a изменялась с шагом, случайно выбираемым в диапазоне $[s_{y_{a1}}, s_{y_{a2}}]$ на каждом шаге добавления следующего артефакта, координата z_a выбиралась случайным образом в диапазоне $[0, D - D_a]$. Начальное значение y_a в нашем случае было установлено равным 200, $s_{y_{a1}} = 20$, $s_{y_{a2}} = 150$, а $k_y = 20$.

Дополнительно выполнялся биннинг (процедура объединения соседних элементов изображения в один элемент, что приводит к повышению контраста, но понижению пространственного разрешения изображения) и варьировалась интенсивность неповреждённых фрагментов и регионов, содержащих артефакты.

Результатом работы алгоритма является несколько миллионов 3D патчей (фрагментов изображений) для обучения и валидации нейронной сети. На рисунке показан настоящий кольцевой артефакт (а), неповреждённый фрагмент изображения (б), артефакт перенесённый на неповреждённый фрагмент (в). Как видно, сформированные в результате аугментации кольцевые артефакты визуально практически неотличимы от натуральных.

Иллюстрации



Настоящий кольцевой артефакт (а); неповреждённый фрагмент (б); перенесённый артефакт с первого изображения на второе (в).

Литература

1. Kornilov A., Safonov I., Yakimchuk I. Blind Quality Assessment for Slice of Microtomographic Image // In 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 2019, P. 170–178.
2. Buslaev A., Parinov A., Khvedchenya E., Iglovikov V. I., Kalinin A. A. Albulmentations: fast and flexible image augmentations // arXiv preprint arXiv:1809.06839, 2018.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПЕРА НА ОСНОВЕ СКЕЛЕТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА

Крыжановская Светлана Юрьевна

Студентка

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: kryzhanovskaya09@gmail.com

Научный руководитель — Местецкий Леонид Моисеевич

В настоящее время задача восстановления траектории пера в рукописных текстах является важным шагом в решении более общей задачи оффлайн распознавания рукописного текста. Универсального оффлайн метода для точного распознавания рукописного текста без ограничений на стиль и аккуратность написания до сих пор нет. Известно, что существующие онлайн методы решения этой задачи достигают лучших результатов, чем оффлайн методы, за счёт информации, которая содержится в траектории, оставляемой пером. Таким образом, решение задачи восстановления траектории пера делает возможным применение онлайн методов распознавания рукописного текста к изображениям.

Суть поставленной задачи заключается в том, что по заданному бинарному изображению, содержащему в себе некоторый связный участок рукописного текста, необходимо получить последовательность точек в порядке прохождения по ним пера. В основе предлагаемого подхода лежит скелетное представление фигуры, которое подробно описано в [1]. Для его построения входное дискретное изображение аппроксимируется многоугольной фигурой, а затем строится её скелет. Можно считать, что скелет, являясь серединной осью фигуры, моделирует линии, по которым движется перо в процессе написания слова. Таким образом, для восстановления траектории предлагается найти путь, проходящий по всем рёбрам скелета, воз-

можно, не один раз, который имитирует написание слова, т.е. задать некоторый обход графа с повторами.

Для поиска нужного обхода исходный скелетный граф, который, как правило, содержит циклы, сводится к ациклическому метаграфу. В основе алгоритма построения такого метаграфа лежит алгоритм обхода графа в глубину, описанный в [2]. Каждая вершина нового ациклического графа соответствует либо некоторой вершине исходного графа, либо подмножеству вершин, образующих смежные циклы. Таким образом, происходит декомпозиция задачи на две подзадачи: обход ациклического метаграфа и обход циклов.

Для задания обхода ациклического графа для каждой вершины определяется ее глубина – максимальная длина пути из данной вершины до терминальной вершины её поддерева. Последовательность вершин задаётся итеративно: на каждом шаге выбирается либо вершина с наименьшей глубиной, ещё не участвовавшая в обходе, либо происходит возврат к предыдущей вершине. Обход простых циклов осуществляется против часовой стрелки. Задание обхода смежных циклов является объектом дальнейших исследований.

В результате работы был реализован алгоритм обхода скелета и проведён ряд экспериментов. Для оценки качества работы алгоритма использовалась экспертная оценка. В дальнейшем для более точной оценки предполагается интеграция выхода реализованного алгоритма и онлайн методов распознавания рукописного текста.

Литература

1. Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
2. Корман Т., Лейзерсон Ч., Ривест К. Алгоритмы. Построение и анализ. 2013.

УЛУЧШЕНИЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗУБОВ НА ОРТОПАНТОМОГРАММАХ

Лашенова Дарья Сергеевна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: daria.laschenova@graphics.cs.msu.ru

Научный руководитель – Конушин Антон Сергеевич

Ортопантомограмма (ОПТГ) – это панорамный рентгеновский снимок челюсти. После снятия ОПТГ врачу необходимо описать состояние зубов пациента. Это трудоемкий процесс, который требует

большого вложения времени и сил, в ходе которого врач может совершать ошибки. Во избежание этого внедряются системы автоматической разметки ОПТГ, которые совершают большую часть работы за врача.

Разметку ОПТГ взрослого человека можно разбить на 3 этапа:

1. выделение региона с зубами;
2. детектирование зубов на изображении;
3. определение свойств зуба, таких как:
 - является ли зуб имплантом;
 - является ли зуб ретинированным;
 - является ли зуб дистопированным;
 - началичие лечения зуба и тип лечения;

В 2019 году Сергеем Дукановым была разработана система [1], реализующая указанную схему. В данной работе она была улучшена за счет повышения качества второго этапа.

В работе Дуканова Сергея использовалась нейросеть RetinaNet [2]. Ее особенностью является то, что она работает с помощью метода опорных прямоугольников, в котором для большого множества прямоугольников вычисляется, как нужно изменить каждый из них, чтобы он точнее ограничивал близлежащий объект. Такой подход имеет недостатки в работе с близко расположеными объектами, поскольку информация о соседних объектах может накладываться и вносить помехи при корректировке прямоугольников. В 2019 году появилась нейросеть CenterNet [3], которая использует совершенно иной подход. Во-первых, она предсказывает не левый верхний и правый нижний углы прямоугольника, как это обычно делают сети, а центр объекта и размеры прямоугольника. Во-вторых, она использует систему тепловых карт для их предсказания, что дает преимущество при работе с близко расположеными объектами, поскольку вычисляется возможность конкретного пикселя быть центром объекта, и информация от соседних объектов не так сильно влияет на вычисление.

В данной работе была произведена адаптация модели CenterNet для работы с ОПТГ. В качестве метрики качества использовалось среднее значение точности — средняя площадь под графиками

точность-полнота для всех классов зубов.

$$mAP = \frac{1}{|C|} \sum_{cl=1}^{|C|} \left(\sum_n |R_n - R_{n-1}| P_n \right),$$

где $|C|$ — количество классов, n — количество порогов, R_n и P_n — значения полноты и точности при n -ом пороге.

В ходе работ были получены следующие результаты:

Model	mAP
RetinaNet (baseline)	0.971
CenterNet	0.986

Литература

1. Дуканов С. С. Распознавание ортопантомограмм. // Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2019», Москва, 2019, С. 50-52.
2. Lin T.Y., Goyal P., Girshick R., He K. and Dollár P. Focal loss for dense object detection // In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, 2017, P. 2980–2988.
3. Duan K., Bai S., Xie L., Qi H., Huang Q. and Tian Q. Centernet: Keypoint triplets for object detection // In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, 2019, P. 6569–6578.

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА ДЛЯ СТАБИЛЬНОГО ВО ВРЕМЕНИ МАТИРОВАНИЯ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ЛЮДЬМИ

Молодецких Иван Андреевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ivan.molodetskikh@graphics.cs.msu.ru

Научный руководитель — Ерофеев Михаил Викторович

Матирование, или нахождение карты прозрачности объекта переднего плана, является одной из основных операций обработки изображений и видеопоследовательностей. Результатом матирования является «вырезанное» изображение объекта, которое можно вставить на другой, произвольный фон при помощи композиции.

В общем случае задачи матирования неизвестно, какие из объектов являются объектами переднего плана, в связи с чем необходимы дополнительные входные данные.

Целью настоящей работы является создание стабильного во времени нейросетевого алгоритма для матирования видеопоследовательностей с людьми. Стабильность во времени означает, что на результирующих картах прозрачности отсутствует резкое изменение значений прозрачности между кадрами. Явное определение человеческих фигур как объектов переднего плана позволяет обойтись без дополнительных входных данных.

Для нахождения и сегментации человеческих фигур на входных кадрах видео используется нейросетевая архитектура DeepLab v3 [1]. На выходе данной сети — бинарная маска человеческой фигуры. Следующим шагом является нахождение значений прозрачности на полупрозрачных областях (границы, волосы, полупрозрачная одежда) и обеспечение стабильности во времени.

Здесь рассматриваются два подхода. Первый подход заключается в использовании нейросетевой архитектуры матирования изображений и последующей стабилизации полученных карт прозрачности во времени некоторым алгоритмом. Второй подход — построение нейросетевой архитектуры, выполняющей оба этих шага одновременно.

Обучение нейросети матирования изображений для первого подхода производится на нескольких наборах данных с картами прозрачности фотографий людей. Для сглаживания во времени предлагается подход с использованием карт расстояний.

Нейросетевая архитектура, рассматриваемая для второго подхода, обрабатывает одновременно несколько последовательных кадров видео. Это позволяет явно отобразить в функции потерь требование к стабильности результирующих карт прозрачности во времени. Для передачи информации между кадрами видео в архитектуре используются свёрточные LSTM-модули.

Главные сложности в реализации второго подхода — большой объём входных данных и отсутствие готового набора данных для обучения. Создание видеопоследовательностей для обучения происходит из наборов фоновых фотографий и видео и набора фотографий людей с картами прозрачности. К фотографиям людей и исходным картам прозрачности применяется случайная деформация, симулирующая движение. Деформация генерируется на нескольких масштабах для получения как движения человека в целом, так и локальных деформаций граничных областей. Последовательность кад-

ров получается путём многократного применения деформации и последующей композиции на кадры заднего плана.

Тестирование алгоритмов производится как при помощи объективных метрик [2], так субъективно. На рис. 1 приведён пример карты прозрачности, полученной одним из рассматриваемых подходов.

Иллюстрации



Рис. 1. Пример полученной карты прозрачности.

Литература

1. Chen L. C. Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation // In Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV), 2018, C. 801–818.
2. Erofeev M. Perceptually Motivated Benchmark for Video Matting // In Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC), 2015, C. 99.1–99.12

ЭФФЕКТИВНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КЭТМЕЛЛА-КЛАРКА

Олохтонов Алексей Андреевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: aolo2@yandex.ru

Научный руководитель — Никольский Илья Михайлович

Иерархическое разбиение (subdivision) позволяет представить гладкую поверхность как результат последовательного сгущения более грубой полигональной сетки. Существует множество алгоритмов иерархического разбиения, и одним из самых широко применяемых является алгоритм Кэтмелла-Кларка [1]. В ходе работы алгоритма

координаты точек полигональной сетки многократно пересчитываются, и для выполнения итерации алгоритма необходимо знать координаты точек на предыдущей итерации. Однако для эффективной работы алгоритма нужно также иметь возможность находить для заданной вершины грани и ребра, к которым эта вершина принадлежит, а для уметь находить смежные грани.

Данная работа посвящена эффективной реализации алгоритма Кэтмелла–Кларка. Сравниваются различные способы хранения и поиска информации о смежности, основанные на хеш-таблицах, чувствительному к локальности хешированию (locality sensitive hashing), а также использующие явную схему, при которой вся информация о смежности хранится непосредственно и обновляется после каждой итерации алгоритма [2,3]. При сравнении основными критериями являлись производительность и масштабируемость алгоритмов на системах с распределенной памятью.

Литература

1. Catmull, E., Clark, J. Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes. Computer-Aided Design, 1978.
2. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р., Штайн, К. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е изд. М.: Вильямс, 2005.
3. Leskovec J., Rajaraman A., Ullman J. Mining of Massive Datasets. 2010.

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ КАРТ ВИЗУАЛЬНОГО ВНИМАНИЯ ДЛЯ 360-ГРАДУСНЫХ ВИДЕО

Плошкин Александр Игоревич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: alexander.ploshkin@graphics.cs.msu.ru

Научный руководитель — Ерофеев Михаил Викторович

360-градусное видео — это видео, предназначенное для просмотра в шлемах виртуальной реальности (VR-шлемах). Поскольку во время просмотра зритель видит лишь небольшую его часть, оно должно иметь более высокое разрешение, чем видео, предназначенное для просмотра на экране. Стандартом в индустрии для 360-градусных видео сейчас считается разрешение 4K или 4096×2160 пикселей, но

для человеческого глаза этого недостаточно — из-за близкого расстояния от экрана до роговицы пиксели по-прежнему различимы, поэтому в будущем разрешение экранов и, соответственно, видео будет повышаться. Видео в высоком разрешении требует больше памяти для хранения и создаёт сильную нагрузку на сеть при передаче. Одним из способов снижения объёма видео являются методы контекстного сжатия видео [1], которые учитывают области визуального внимания человека, в результате чего кадры сжимаются неравномерно. Для эффективного контекстного сжатия необходимо наиболее точно оценить карту визуального внимания человека, то есть определить области, на которые более вероятно будет смотреть человек при просмотре видео.

Целью работы является создание нейросетевого алгоритма оценки карты визуального внимания человека для 360-градусных видео. На вход подаётся 360-градусное видео в виде равнопромежуточной проекции, на выходе — карта визуального внимания человека для каждого кадра входного видео.

К алгоритму предъявляются следующие требования:

1. скорость работы: >1 FPS на Nvidia GeForce GTX1080;
2. высокая точность работы в смысле общепринятых метрик, таких как Normalized Scanpath Saliency (NSS) и расстояние Кульбака–Лейблера (KL);
3. временная стабильность: карты внимания для соседних кадров не могут значительно отличаться друг от друга.

В качестве основной нейросетевой модели, извлекающей высокоравневые признаки изображения, была выбрана ResNeXt-50 [2]; для учёта временных зависимостей между кадрами была использована модель ConvLSTM [3].

Равнопромежуточная проекция сферы имеет геометрические эффекты, которые операция свёртки, лежащая в основе подавляющего большинства нейросетевых моделей для обработки изображений, не может адекватно обработать. Например, размеры объектов меняются в зависимости от расстояния до экваториальной линии, а их форма сильно искажается. Поэтому для обработки кадров 360-градусных видео в этой работе используется кубическая проекция: каждый кадр видео проецируется на поверхность куба, в таком случае краевые эффекты на гранях гораздо менее заметны. Затем изображения с граней полученной кубической проекции обрабатываются

нейросетевой моделью независимо, и итоговая карта внимания получается обратным проецированием куба на плоскость.

В качестве обучающей выборки был использован набор видео с записанными движениями глаз при просмотре, предоставленный ИППИ РАН им. А. А. Харкевича. Всего он включает в себя 20 видео, в просмотр которых участвовало 90 человек.

Литература

1. Lyudvichenko V et al. Improving Video Compression With Deep Visual-AttentionModels // In Proceedings of the 2019 International Conference on Intelligent Medicine and Image Processing, Firenze, Italy, 2019, P. 88–94.
2. Xie S et al. Aggregated residual transformations for deep neural networks // In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2017, P. 1492–1500.
3. Xingjian S. H. I. et al. Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting // In Advances in neural information processing systems, 2015, P. 802–810.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ НОРМАЛЕЙ В STL-МОДЕЛЯХ

Подопросоветов Андрей Валерьевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: andtpod123@gmail.com

Научный руководитель — Никольский Илья Михайлович

Развитие аддитивных технологий ставит задачу автоматизации конвертации 3-D моделей в те, что могут быть напечатаны [1]. Люди составляющие 3-D модели, ввиду сложности последних, совершают ошибки, которые не контролируются форматами хранения данных, и которые приводят к невозможности печати модели [2]. Современные автоматизированные методы исправления ошибок работают тривиально, и не всегда результат их работы соответствует задумке дизайнера. Проблема автоматизации упирается в проблему производительности алгоритмов. В больших моделях сложность алгоритмов быстро растёт.

В данной статье предлагается использование параллельного алгоритма коррекции нормалей в STL-моделях. Данный алгоритм позволяет определять и исправлять неправильно направленные норма-

ли полигонов STL-моделей с высокой долей параллелизма. Параллелизм с распределённой памятью достигается за счёт разделения модели на связанные подобласти. В алгоритме также используется и параллелизм с общей памятью, когда осуществляется поиск соседей каждого полигона.

В предлагаемой работе приведено сравнение качества параллельного алгоритма с популярными на текущий момент сервисами и инструментами, а также сравнение производительности последовательных алгоритмов с параллельным, протестированным на вычислительных системах суперкомпьютерного комплекса МГУ. Алгоритм демонстрирует вычислительную эффективность и качественно не уступает конкурентам.

Литература

1. Livesu M. Ellero S. Martínez J. et al.: From 3D models to 3D prints: an overview of the processing pipeline. *Comput. Graph. Forum* 36(2), 537–564 (2017).
2. Attene M. As-exact-as-possible repair of unprintable STL files. *Rapid Prototyping Journal*. Vol. 24 №5, 855-864 (2018).

ВЫРАВНИВАНИЕ СЛОЕВ FIB-SEM ИЗОБРАЖЕНИЯ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ СТРУКТУРАМИ

Реймерс Ирина Анатольевна

стажер-исследователь, научно-исследовательский центр компании

Schlumberger, Москва, Россия

аспирант, факультет управления и прикладной математики МФТИ,

Москва, Россия

E-mail: irene.ab18@gmail.com

Научный руководитель — Сафонов Илья Владимирович

Одним из передовых подходов, используемых в нефтегазовой промышленности, является проведение различного рода моделирований на цифровых образцах горной породы. Для получения модели породы с нанометровым разрешением используют FIB-SEM установки, состоящие из фокусируемого ионного пучка (FIB) и растрового электронного микроскопа (SEM). Ионный пучок удаляет слой вещества, а электронный микроскоп снимает изображение поверхности. В результате многократного повторения этих операций формируется набор двумерных слоёв, из которых требуется сформировать как можно более точную трехмерную модель.

Одной из проблем при построении 3D модели является смещение слоев друг относительно друга, вызванное различными случайными флюктуациями. В ряде случаев могут присутствовать не только смещения, но и скос или поворот на небольшой угол. Грубое выравнивание, как правило, выполняется по реперным точкам непосредственно в FIB-SEM установке. Точное выравнивание слоёв требуется выполнить программным способом.

Существующие способы выравнивания основаны на последовательной обработке соседних слоев: либо на их корреляции или сравнении; либо на поиске соответствующих друг другу характерных точек с последующим нахождением матрицы преобразования; либо на алгоритмах стабилизации видео с помощью анализа оптического потока [1]. В случае направленных структур в изображении, которые почти всегда присутствуют, по крайней мере, на локальных 3D фрагментах, все эти алгоритмы ошибочно стремятся выровнять структуру и, таким образом, искажают истинную форму образца. Это можно наглядно продемонстрировать на синтетическом изображении, содержащем ориентированные в заданном направлении цилиндры.

Мы предлагаем скорректировать ошибочные сдвиги, вызванные присутствием ориентированных структур, основываясь на том факте, что такие сдвиги имеют детерминированный характер на протяжении нескольких последовательных срезов, а смещения, вызванные флюктуациями в приборе, случайны. Таким образом, массивы смещений по осям X и Y в зависимости от номера слайса представляют собой одномерные сигналы, которые можно разделить на высокочастотную составляющую, соответствующую случайному флюктуациям, и низкочастотный тренд, соответствующий сдвигу по причине ориентированных структур. Данный тренд необходимо скорректировать. Для выделения низкочастотной компоненты используется фильтр Савицкого-Голея [2]. Результаты применения данного метода продемонстрированы на поперечном сечении FIB-SEM изображения, так называемом, боковом виде (рис. 1):

Данный подход может быть обобщен на случай, когда искажения представляют собой произвольные аффинные преобразования, включающие не только параллельный перенос, но и скос, масштабирование, поворот на небольшой угол. В таком случае выполняется декомпозиция каждой матрицы преобразования между двумя соседними слоями на произведение матриц масштабирования, скоса, поворота и параллельного переноса [3]. Далее сглаживаются сигналы углов поворота и скоса, коэффициентов масштабирования и парал-

ельного переноса. Подстановка отфильтрованных значений сигналов в соответствующие матрицы и вычисление их произведения дает, так называемые, сглаженные матрицы трансформации. Произведение исходных матриц трансформации на обратные сглаженные матрицы позволяет получить матрицы, соответствующие случайным флюктуациям, и затем скорректировать только их.

Иллюстрации

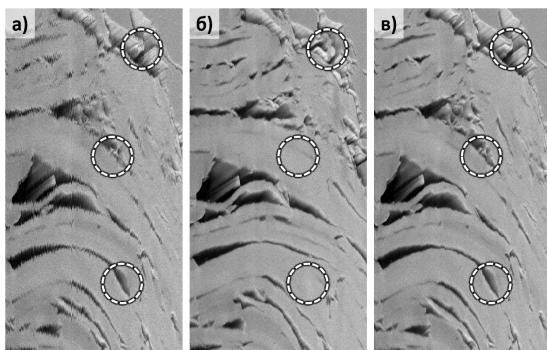


Рис. 1. а) Боковой вид исходного изображения со случайными смещениями слоев. По горизонтали изменяется номер слоя. б) Результат выравнивания с помощью поиска характерных точек SIFT и нахождения матриц преобразования с помощью RANSAC. Случайные смещения исправлены, но появляется тренд, искажающий изначальную направленность пор. в) Тренд скорректирован.

Литература

1. Reimers I., Safonov I., Yakimchuk I. Construction of 3D Digital Model of a Rock Sample Based on FIB-SEM Data // Proceedings of the 24th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2019. – C. 352–359.
2. Savitzky A., Golay M. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures // Analytical chemistry. – 1964. – T. 36. – № 8. – C. 1627-1639.
3. Путятин Е. П., Яковleva Е. В., Любченко В. А. Разложение матрицы центроаффинного преобразования для нормализации изображений // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – № 4(5).

СЕГМЕНТАЦИЯ ФМРТ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА

Черняев Сергей Дмитриевич

Студент

ИМИТ ПетрГУ, Петрозаводск, Россия

E-mail: schernyaev@gmail.com

Научный руководитель — Лукашенко Олег Викторович

Задача сегментации изображений, полученных в результате функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) является чрезвычайно востребованной в медицине. Традиционно для этого используются методы кластерного анализа, основанные на анализе независимых компонент, смесях вероятностных распределений, а также алгоритме k -средних и его модификациях. Основным недостатком такого рода подхода является игнорирование пространственной связи, тогда как в реальности функциональные нейронные сети объединены в пространственно согласованные области. Для учета пространственной структуры можно воспользоваться байесовским подходом, где в качестве априорного распределения берется марковское случайное поле (MRF – Markov Random Field) [3–4].

Пусть задан граф $G = (V, \mathcal{E})$, вершины которого соответствуют вокселям изображения, а множество дуг характеризует систему соседства. Рассмотрим случайный вектор $\mathbf{X} = (X_i, i \in V)$, у которого элементы X_i принимают значения из множества меток $\Lambda = \{1, \dots, L\}$, где L – число классов сегментации. Пусть совместное распределение случайного вектора \mathbf{X} определяется следующим образом:

$$P(\mathbf{x}) = \frac{1}{Z} \exp \left(- \sum_{(i,j) \in \mathcal{E}} V_{i,j}(x_i, x_j) \right), \quad \mathbf{x} \in \Lambda^{|V|}, \quad (1)$$

где Z – нормировочная константа, а $V_{i,j}$ – потенциалы дуг.

Наблюдаемому фМРТ изображению соответствует другой случайный вектор $\mathbf{Y} = (Y_i, i \in V)$, элементы которого, в свою очередь, также являются векторами размерности p (зависит от параметров фМРТ) и предполагаются условно независимыми, т. е. $P(\mathbf{y}|\mathbf{x}) = \prod_{i \in V} P(y_i|x_i)$. Распределение $f(y_i; \theta_\ell) = P(y_i|x_i = \ell)$, зависящее от параметра θ_ℓ , должно быть задано. Так, например, в работах [3–4] используется распределение фон Мизеса-Фишера.

Тогда апостериорное распределение с учетом сделанных предложений примет следующий вид

$$P(\mathbf{x}|\mathbf{y}) = \frac{1}{Z} \exp \left(\sum_{i \in V} \ln f(y_i; \theta_{x_i}) - \sum_{(i,j) \in \mathcal{E}} V_{i,j}(x_i, x_j) \right). \quad (2)$$

Качество полученной сегментации в рамках данной модели будет существенно зависеть от того, насколько хорошо значения параметров $\Theta = \{\theta_\ell, \ell \in \Lambda\}$ согласуются с наблюдаемыми данными. Во многих прикладных задачах обработки изображений размеченные обучающие данные могут отсутствовать. Поэтому рядом исследователей были разработаны процедуры, позволяющие оценивать параметры непосредственно на основе обрабатываемых изображений. Так, например, в работе [4] применяется процедура, аналогичная алгоритму GrabCut [2]. Основная идея заключается в построении итеративной процедуры, на каждой итерации которой сначала заново оценивается набор параметров, а затем находится максимум распределения (2). Другой подход [3] заключается в использовании ЕМ-алгоритма, где математическое ожидание на шаге Е аппроксимируется с помощью методов Монте-Карло по схеме марковских цепей (МСМС). Сравнительный анализ данных подходов рассматривался в работе [1]. В данном докладе предполагается уделить внимание вариационному подходу (variational inference), а также специальным методам МСМС, адаптированным для марковских случайных полей.

Литература

1. Лукашенко О. В., Черняев С. Д. Сравнительный анализ методов сегментации фМРТ изображений, основанных на марковских случайных полях // GraphiCon 2019: труды 29-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению. 2019. С. 143–147.
2. Blake A., Kohli P., Rother C. Markov Random Fields for Vision and Image Processing. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2011.
3. Liu W., Awate S. P., Anderson J., Fletcher P. A functional networks estimation method of resting-state fmri using a hierarchical Markov random field // NeuroImage. 2014. Vol. 100. pp. 520–534.
4. Ryali S., Chen T., Supekar K., Menon V. A parcellation scheme based on von Mises-Fisher distributions and Markov random fields for segmenting brain regions using resting-state fMRI // NeuroImage. 2013. Vol. 65. pp. 83–96.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЗЫ И КОМПЛЕКЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ВИДЕО

Шалимова Екатерина Алексеевна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ekaterina.shalimova@graphics.cs.msu.ru

Научный руководитель — Шальнов Евгений Вадимович

Одним из ключевых препятствий на пути развития методов распознавания поведения человека по видео является ограниченность эталонных данных. Большинство существующих эталонных коллекций получено съёмкой только с одного ракурса. Использование методов захвата движения по видео, восстанавливающих позу и фигуру человека на каждом кадре, позволит синтезировать новые ракурсы и расширить существующие датасеты. Однако существующие методы обладают недостаточной точностью и не обеспечивают временну́ю согласованность (гладкость) движения. В данной работе рассматривается задача восстановления позы и комплексии человека по видео на основе оценки параметров трёхмерной модели человека SMPL [1] с обеспечением временной согласованности параметров.

Наиболее точный на данный момент метод восстановления позы и комплексии человека (SPIN [2]) предназначен для применения к одному изображению. При покадровом применении алгоритма SPIN к видеопоследовательности на соседних кадрах наблюдаются нереалистичные изменения положения отдельных суставов и поворота фигуры в целом. Кроме того, при быстром изменении положения частей тела человека отдельные кадры видеопоследовательности получаются смазанными, из-за чего базовый метод допускает на таких кадрах заметные ошибки.

Для устранения вышеперечисленных недостатков базового метода в работе предлагается оптимизировать его покадровые результаты с использованием информации о положении фигуры человека на предшествующих и последующих кадрах видеопоследовательности. Предложено минимизировать с помощью градиентного спуска следующую функцию потерь:

$$L = \sum_{i=2}^{N_f} (\hat{X}_i - \hat{X}_{i-1})^2 + \sum_{i=1}^{N_f} (\hat{x}_i - x_i)^2 + L_{prior}, \quad (1)$$

$$L_{prior} = - \sum_{i=2}^{N_f} \log \left(\sum_k w_k \mathcal{N}(\hat{X}_i - \hat{X}_{i-1}; \mu_k, \sigma_k) \right), \quad (2)$$

где N_f — количество кадров видеопоследовательности, \hat{X}_i — трёхмерные координаты ключевых точек модели человека на кадре i , \hat{x}_i — проекция трёхмерных координат ключевых точек фигуры на кадре i на плоскость изображения, x_i — двумерные координаты ключевых точек фигуры на кадре i , предсказанные сторонним детектором позы. Для оценки правдоподобия изменения трёхмерных координат между соседними кадрами на наборе данных CMU MoCap [3] была обучена смесь нормальных распределений с числом компонент $N_k = 8$. L_{prior} (2) представляет собой оценку правдоподобия изменения трёхмерных координат между соседними кадрами для данной смеси нормальных распределений, где w_k , μ_k и σ_k — априорная вероятность и параметры нормального распределения компоненты смеси k .

Наиболее информативной метрикой качества результата могло бы быть расстояние между предсказанными и истинными трёхмерными координатами ключевых точек фигуры человека. Однако поскольку в имеющихся наборах данных походок нет информации о трёхмерных координатах ключевых точек фигуры, предлагается оценивать результат с помощью двух следующих метрик:

$$RE = \frac{1}{N_f} \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_f} (\hat{x}_i - x_i)^2, \quad (3)$$

$$TSm = \frac{1}{N_f - 1} \sum_{i=2}^{N_f} (\hat{X}_i - \hat{X}_{i-1})^2, \quad (4)$$

где $\frac{1}{N_j} = 19$ — количество ключевых точек фигуры человека. Метрика RE (ошибка реконструкции) представляет собой сумму расстояний между координатами проекций ключевых точек фигуры на плоскость изображения \hat{x}_i и двумерными координатами ключевых точек фигуры x_i , предсказанными детектором позы. Уменьшение ошибки реконструкции соответствует улучшению соответствия между предсказаниями детектора позы и метода восстановления позы и комплексии человека. Метрика TSm (временная гладкость предсказаний) представляет собой сумму расстояний между трёхмерными

координатами ключевых точек фигуры на соседних кадрах. Уменьшение TSm соответствует уменьшению расстояния между ключевыми точками фигуры на соседних кадрах и устраниению неправдоподобных скачков положения конечностей, вызванных ошибками базового метода.

Оценка работы предложенного алгоритма производилась на наборе данных TUM GAID [4]. В таблице 1 приводятся значения метрики для исходных предсказаний и для предсказаний, оптимизированных с помощью алгоритма.

Таблица 1: Средние значения метрик RE и TSm на наборе данных [4] до и после оптимизации

	RE, пикселей	TSm, см
Значение до оптимизации	10.75	81.89
Значение после оптимизации	8.22	67.92

Литература

1. Loper M., Mahmood N., Romero J., Pons-Moll G., Black M. SMPL: A Skinned Multi-Person Linear Model // In ACM TOG (Transactions on Graphics), 2015, vol. 34, no. 6, pp. 1-16.
2. Kolotouros N., Pavlakos G., Black M.J., Daniilidis K. Learning to Reconstruct 3D Human Pose and Shape via Model-fitting in the Loop // In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2019, pp. 2252-2261.
3. Набор данных CMU MoCap: <http://mocap.cs.cmu.edu>
4. Hofmann M., Geiger J., Bachmann S., Schuller B., Rigoll G. The TUM Gait from Audio, Image and Depth (GAID) Database: Multimodal Recognition of Subjects and Traits // In Journal of Visual Communication and Image Representation, Special Issue on Visual Understanding and Applications with RGB-D Cameras, vol. 25, no. 1, pp. 195-206, Elsevier, 2014.

Математика

МНОГОМЕРНАЯ ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРЕДЕЛЬНАЯ ТЕОРЕМА ДЛЯ ВЗВЕШЕННЫХ СУММ

Айвазян Сагак Арамович

Аспирант

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ayvazansky@yandex.ru

Научный руководитель — Ульянов Владимир Васильевич

Пусть $X_1, X_2..X_n$ независимые случайные векторы в R^k с конечным третьим моментом $\gamma_j^3 = \mathbb{E}\|X_j\|^3$, нулевым математическим ожиданием $\mathbb{E}X_j = \bar{0}$ и единичной ковариационной матрицей $cov(X_j) = I$ для $j = 1..n$. Обозначим \mathfrak{B} — множество всех измеримых выпуклых множеств, Φ — многомерное нормальное распределение с нулевым средним и единичной матрицей ковариаций и $\gamma^3 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_j^3$. В [1] была получена оценка для скорости сходимости нормированной суммы случайных векторов к многомерному стандартному нормальному распределению в виде следующего неравенства

$$\sup_{B \in \mathfrak{B}} |P\left(\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i \in B\right) - \Phi(B)| \leq C(k) \frac{\gamma^3}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

при этом $C(k)$ зависит только от размерности R^k .

В одномерном случае оценка (1) оптимальна, однако Б.Клартаг и С.Содин показали, что если рассматривать взвешенные суммы вида $\sum_{i=1}^n \theta_i X_i$, где $\sum_{j=1}^n \theta_j^2 = 1$, то порядок скорости сходимости можно существенно улучшить. В [2] была доказана теорема

Теорема 1. *Пусть $X_1, X_2..X_n$ независимые случайные величины с конечным четвертым моментом $\delta_j^4 = \mathbb{E}|X_j|^4$ и $\mathbb{E}X_j = \bar{0}$ для $j = 1..n$. Обозначим $\delta^4 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \delta_j^4$ и Θ как случайный вектор, равномерно распределенный на единичной сфере $S^{n-1} = \{(\theta_1, \theta_2, .., \theta_n) : \sum_{j=1}^n \theta_j^2 = 1\}$. Тогда для любого $\rho > 0$ существует подмножество $\mathfrak{S} \subseteq S^{n-1}$ с $P(\Theta \in \mathfrak{S}) > 1 - \rho$ и константа $C(\rho)$ такие, что для любого $\theta = (\theta_1, .., \theta_n) \in \mathfrak{S}$ выполняется*

следующее неравенство

$$\sup_{a,b \in R, a < b} |P(a \leq \sum_{i=1}^n \theta_i X_i \leq b) - \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{x^2}{2}) dx| \leq C(\rho) \frac{\delta^4}{n}. \quad (2)$$

При этом $C(\rho) \leq C \ln^2(\frac{1}{\rho})$, где C — универсальная константа.

Результат (2) был перенесен на многомерный случай, доказана следующая теорема.

Теорема 2. Пусть $X_1, X_2..X_n$ независимые случайные векторы в R^k с конечным четвертым моментом $\delta_j^4 = \mathbb{E}\|X_j\|^4$, нулевым математическим ожиданием $\mathbb{E}X_j = \bar{0}$ и единичной ковариационной матрицей $cov(X_j) = I$ для $j = 1..n$. Обозначим \mathfrak{B} — множество всех выпуклых множеств, Φ — многомерное нормальное распределение с нулевым средним и единичной матрицей ковариаций, $\delta^4 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \delta_j^4$ и Θ как случайный вектор, равномерно распределенный на единичной сфере $S^{n-1} = \{(\theta_1, \theta_2, .., \theta_n) : \sum_{j=1}^n \theta_j^2 = 1\}$. Тогда для любого $\rho > 0$ существует подмножество $\mathfrak{S} \subseteq S^{n-1}$ с $P(\Theta \in \mathfrak{S}) > 1 - \rho$ и константа $C(\rho, k)$ такие, что для любого $\theta = (\theta_1, .., \theta_n) \in \mathfrak{S}$ выполняется следующее неравенство

$$\sup_{B \in \mathfrak{B}} |P(\sum_{i=1}^n \theta_i X_i \in B) - \Phi(B)| \leq C(\rho, k) \frac{\delta^4 (\ln(n))^{\frac{k}{2}}}{n}.$$

При этом $C(\rho, k) \leq C \frac{2^k k^{\frac{k}{2}+1}}{\Gamma(\frac{k}{2})} \ln^2(\frac{1}{\rho})$, где C — универсальная константа.

Таким образом, результат Б.Клартага и С.Содина был обобщен на многомерный случай, но при этом возник дополнительный логарифмический множитель. Доказательство теоремы потребовало более тщательного анализа поведения характеристической функции в области $\frac{a\sqrt{n}}{\delta^2} \leq \|\bar{t}\| \leq \frac{n}{\delta^4}$, где a — константа.

Литература

- Бхаттачария Р. Н., Ранга Рао Р. Апроксимация нормальным распределением и асимптотические разложения. М.: Наука, 1982.
- Klartag B., Sodin S. Variations on the Berry–Esseen theorem, Теория вероятностей и ее применения. 2011. Т. 56, № 3. С. 514–533.

ОБ ОТЫСКАНИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Бегишев Руслан Ренатович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: begrusso@gmail.com

Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович

В данной работе рассматривается класс термоэлектромеханических систем, в которые входит пьезоэлектрик и элемент с памятью формы (далее СПФ). Данные установки позволяют перерабатывать тепловую энергию в электрическую.

Возьмём некоторую нелинейную динамическую систему уравнений (предварительно отбросив электрическую часть, пока несущественную для нашего моделирования), описывающую установку, в которой нить СПФ нагревается, после чего происходит её сжатие, возникает воздействие на пьезоэлектрик и вырабатывается электричество.

Пусть x_1 - растяжение (сжатие) нити, x_2 - скорость растяжения (сжатия) и T - температура нити:

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = -\frac{\beta}{m}x_2 - \frac{k_c}{m}x_1 + \frac{F_{SMA}}{m} \\ \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{T} = \begin{cases} \frac{1}{\rho V_s c_p}(\alpha_s A_c(T_h - T) + (A_s - A_c)h_c(T_\infty - T)), & x_1 = 0 \\ \frac{1}{\rho V_s c_p}(A_r \varepsilon_h \sigma_B(T_h^4 - T^4)) + A_s h_c(T_\infty - T), & x_1 > 0 \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

$$F_{SMA}(T, x) = \begin{cases} \frac{E(T)V_s(\Delta l_{s_0} - x + \Delta x_{c_0})}{l_{s_0}}, & x < \Delta x_{c_0} + \Delta l_{s_0} \\ 0, \text{ иначе} & \end{cases} \quad (2)$$

$E(T)$ - модуль Юнга, выражаящийся формулой:

$$E(T) = \frac{E_M + E_A}{2} + \frac{E_A - E_M}{2} \operatorname{tg} \frac{T - A_S}{k_E} \quad (3)$$

T_∞ - температура в комнате, T_h - температура источника тепла, E_M - модуль Юнга в мартенсите, E_A - модуль Юнга в аустените, V_s - площадь поперечного сечения нити, k_c - жесткость консоли,

Секция «Вычислительная математика и кибернетика»

m - масса нити, β - коэффициент демпфирования, h_c - конвективный коэффициент, T_h - температура пластины.

Заметим, что для постоянной выработки электрического тока необходимо периодически воздействовать на пьезоэлектрик. Отсюда получаем задачу о **нахождении периодических решений** данной системы.

Система (1) включает в себя переходы аустенит-мартенсит и мартенсит-аустенит, а также существует нелинейность, связанная с модулем Юнга (3), взятом из [1].

Так как при отхождении нити от нагревательного элемента температура понижается (нить остывает), то предлагается подробнее рассмотреть поиск периодических решений для T . Это необходимо для того, чтобы нить с неким периодом нагревалась заново, и на пьезоэлектрик оказывалось такое же периодическое воздействие.

В ходе работы было проведено моделирование (1)-(3) в среде **Simulink**. Задействовав при этом генетический алгоритм, можно с большей вероятностью получить необходимую конфигурацию системы. Полученные там периодические решения позволяют оценить эффективность и работоспособность обозначенной ранее термоэлектромеханической системы.

Литература

1. T. Todorov, N. Nikolov, G. Todorov, “Modelling and investigation of a hybrid thermal energy harvester” // MATEC Web of Conferences, 12002, 2018. p. 148.

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОСОБЫХ ТОЧЕК СЛАБОГО РЕШЕНИЯ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ С РАЗРЫВНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ

Боговский Антон Михайлович

Аспирант

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: abogovski@gmail.com

Научный руководитель — Денисов Василий Николаевич

Настоящая работа продолжает начатые в [1] исследования эффекта взаимодействия особенностей слабого решения задачи Дирихле для эллиптического уравнения в дивергентной форме с разрывным скалярным кусочно-постоянным коэффициентом $\varkappa > 0$ в функциональном классе L_p^1 -решений с первыми производными из L_p во

всей шкале значений показателя $p \in (1, \infty)$. В отличие от [1] теперь рассматривается случай кусочной C^1 -гладкости разрывного коэффициента \varkappa и допускаются точки излома его линий разрыва.

Как и в [1] особые точки $\partial\Omega$, т. е. точки негладкости, предполагаются угловыми с ненулевыми углами, а линии разрыва коэффициента \varkappa предполагаются C^1 -гладкими и допускаются их некасательные пересечения с $\partial\Omega$. По-прежнему допускаются случаи вхождения в граничную точку, в том числе и угловую, любого конечного числа линий разрыва в рамках оговоренных в [1] ограничений.

Как и в [1] случай слабой постановки задачи Неймана не рассматривается. Это объясняется установленной в [2] эквивалентностью слабых L_p^1 -постановок краевых задач Дирихле и Неймана для любой односвязной области $\Omega \subset \mathbb{R}^2$, в том числе и неограниченной, но с дополнением, имеющим непустую внутренность. Разумеется, в общем случае вопросы эквивалентности или неэквивалентности слабых постановок задач Дирихле и Неймана требуют отдельного исследования и здесь не затрагиваются.

Как и в [1] рассматриваются нетривиальные слабые L_p^1 -решения однородной задачи и изучается эффект взаимодействия особых точек, т. е. точек негладкости, этих решений. Сохраняя классификацию конечных и бесконечных граничных особых точек из [1], отметим, что в отличие от [1] число конечных особых точек может быть произвольным, и среди них допускаются исключавшиеся ранее точки излома линий разрыва.

Как и в [1] предполагается, что все особые точки характеризуются единственным простым собственным числом задачи Штурма-Лиувилля $\lambda = -\mu^2$ с параметром $\mu \in (0, 1)$. Установлено, что в случае, когда все особые точки являются конечными, размерность ядра рассматриваемого эллиптического оператора

$$L = \operatorname{div}(\varkappa \nabla \cdot) : \mathring{L}_p^1(\Omega) \rightarrow \mathring{L}_p^{-1}(\Omega) \stackrel{\text{def}}{=} \left(\mathring{L}_q^1(\Omega) \right)^*, \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1 \quad (1)$$

равна числу особых точек при $1 < p < 2/(1+\mu)$ и совпадает с коразмерностью замкнутой области значений оператора, сопряженного к (1), но уже с сопряженным показателем $p > 2/(1-\mu)$. В случае одной единственной бесконечной особой точки результат из [1] сохраняется, т. е. размерность ядра эллиптического оператора (1) равна единице при $p > 2/(1-\mu)$ и совпадает с коразмерностью замкнутой области значений сопряженного к (1) оператора, но уже с сопряженным показателем p : $1 < p < 2/(1+\mu)$.

В [1] было установлено, что при одной конечной и одной бесконечной особых точках с одним и тем же параметром $\mu \in (0, 1)$ размерности ядра и коядра оператора (1) равны нулю при $p \neq 2/(1 \pm \mu)$. Основным результатом настоящей работы является доказательство сохранения этого равенства в случае произвольного числа конечных особых точек при одной бесконечной, т.е. оператор (1) при $p \neq 2/(1 \pm \mu)$ осуществляет изоморфизм $\dot{L}_p^1(\Omega)$ на $\dot{L}_p^{-1}(\Omega)$. Последнее означает, что любое конечное число конечных особых точек при одной бесконечной с одним и тем же единственным спектральным параметром $\mu \in (0, 1)$ гасят взаимное влияние друг друга при значениях показателя $p \neq 2/(1 \pm \mu)$.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю профессору Василию Николаевичу Денисову за внимание к работе и конструктивное обсуждение подходов к решению поставленной им задачи.

Литература

1. Богословский А. М., Денисов В. Н. О взаимодействии граничных особых точек в задаче Дирихле для эллиптического уравнения с кусочно-постоянными коэффициентами в плоской области. // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2019. Т 59, № 12, С. 2155–2174.
2. В. Н. Денисов, А. М. Богословский О взаимосвязи слабых решений эллиптических краевых задач Дирихле и Неймана для плоской односвязной области // Матем. заметки. 2020. Т 107, № 1, С.32–48.

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО РАНГА ТЕНЗОРОВ МЕТОДОМ РАЗДЕЛЯЮЩИХ ПОДПРОСТРАНСТВ

Валиахметов Булат Ильдарович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: valiahmetovbulat@mail.ru

Научный руководитель — Тыртышников Евгений Евгеньевич

В задачах современной вычислительной математики постоянно возникает необходимость хранить и обрабатывать данные в виде многомерных массивов — тензоров. Для более эффективного использования машинных ресурсов весьма полезным является применение

следующих представлений тензоров:

$$T[i_1, i_2, i_3, \dots, i_p] = \sum_{\alpha=1}^r u_1[i_1, \alpha] u_2[i_2, \alpha] \dots u_p[i_p, \alpha]. \quad (1)$$

Наименьшее число слагаемых среди всех таких представлений называется *рангом тензора*. Процесс поиска разложения для произвольного тензора представляет большую сложность в силу сложности задачи поиска хотя бы минимального количества слагаемых в разложении. Из-за неустойчивости ранговой характеристики к малым возмущениям имеет смысл поиск *максимального ранга* для определённых классов тензоров.

В данной работе рассматривается максимальный ранг $3 \times 3 \times 5$ комплексных тензоров, обозначаемый $R(3, 3, 5)$. Из статьи [1] известны значения $R(3, 3, p)$ для всех натуральных p , кроме $p = 5$, для которого есть лишь оценки: $6 \leq R(3, 3, 5) \leq 7$. Доказательство левой части данного неравенства приведено в [2]. В данной работе мы приведём новое доказательство нижней оценки, основанное на тесной связи трёхмерных тензоров с билинейными отображениями и *методе разделяющих подпространств*.

Пусть имеется отображение $\varphi: \mathcal{X} \times \mathcal{Y} \mapsto \mathcal{Z}$ и его r -членное трилинейное разложение, вытекающее из (1):

$$\varphi(x, y) = \sum_{\alpha=1}^r f_{\alpha}(x) g_{\alpha}(y) z_{\alpha}, \quad (2)$$

в котором нет нулевых членов, то есть $z_{\alpha} \neq 0$ для всех α и нет тождественно нулевых функционалов f_{α} и g_{α} . Тройка подпространств $\mathcal{U} \subseteq \mathcal{X}, \mathcal{V} \subseteq \mathcal{Y}, \mathcal{W} \subseteq \mathcal{Z}$ называется *разделяющей* для разложения (2), если после перенумерации его слагаемых система функционалов f_1, \dots, f_p полна на \mathcal{U} , система g_{p+1}, \dots, g_{p+q} полна на \mathcal{V} и при этом соответствующие векторы z_1, \dots, z_{p+q} не лежат в \mathcal{W} .

Если r -членное трилинейное разложение разделяется тройкой подпространств $\mathcal{U}, \mathcal{V}, \mathcal{W}$, то можно доказать следующее неравенство:

$$r \geq \dim \mathcal{U} + \dim \mathcal{V} + \nu(\mathcal{W}),$$

где $\nu(\mathcal{W})$ — число индексов α , для которых $z_{\alpha} \in \mathcal{W}$. Из данного неравенства можно получать нижние оценки рангов конкретных тензоров. Остается лишь подбирать разделяющие тройки подпространств

достаточно больших размерностей, что также представляет собой нетривиальную задачу.

В данной работе нами построена тройка подпространств

$$\mathcal{U} = \mathbb{C}^3, \mathcal{V} = \mathcal{L}([1, 0, 0]^T, [0, 1, 0]^T), \mathcal{W} = \mathcal{L}([0, 1, 0, 0]^T),$$

которая является разделяющей для *любого* трилинейного разложения вида (2), соответствующего тензору T с сечениями: $I_{3 \times 3}, E_{12}, E_{13}, E_{23}, O_{3 \times 3}$. Далее показано, что от любого разложения (2) можно перейти к эквивалентному, в котором $\nu(\mathcal{W}) \geq 1$, откуда получается требуемая оценка: $R(3, 3, 5) \geq 6$.

Литература

1. Atkinson M. D., Stephens N. M. On the Maximal Multiplicative Complexity of a Family of Billinear Forms // Linear Algebra and its Applications Volume 27, October 1979, P. 1–8.
2. Sumi T., Miyazaki M., Sakata T. About the maximal rank of 3-tensors over the real and the complex number field // Ann Inst Stat Math 62, 2010, P. 807–822.

АППРОКСИМАЦИЯ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА МАРКОВСКИМ ПРОЦЕССОМ

Вдовин Николай Валерьевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: nikolay.vdovin95@gmail.com

Научный руководитель — Захарова Татьяна Валерьевна

Одним из главных вопросов, интересующих науку о мозге, является вопрос о связи между физиологическими процессами в мозгу и психологическими явлениями - настроениями, мыслительными процессами, эмоциями. Существует множество методов нейровизуализации, позволяющих измерять состояния, в которых находится мозг. Одним из таких методов является электроэнцефалография (ЭЭГ) - неинвазивный метод измерения суммарной электрической активности головного мозга с очень большим временным разрешением. Сигналы ЭЭГ измеряют активность как во времени, так и в пространстве, и характеризуются сложной нелинейной динамикой.

Применение теории динамических систем для анализа ЭЭГ сигналов в основном ограничивается описанием свойств непрерывных

траекторий ЭЭГ в фазовом пространстве. Существует другой подход, вдохновленный теорией символьной динамики, заключающийся в дискретизации фазового пространства с последующим кодированием непрерывной траектории символами из конечного алфавита. Разбиение фазового пространства на непересекающиеся области задает упрощенную модель ЭЭГ, в которой состояния системы описывается конечным числом микросостояний, каждое из которых соответствует пребыванию системы в одной из выделенных областей фазового пространства. Вне зависимости от того, являются ли динамические законы детерминированными или стохастическими, при предложенном подходе эти законы характеризуются стохастическим процессом с конечным числом состояний. Если разбиение фазового пространства корректно, то этот процесс будет марковским.

В данной работе, предложенный подход применяется для анализа топологических свойств фазового пространства ЭЭГ сигнала при различных ментальных состояниях. Анализ заключается в оценке так называемых почти инвариантных множеств фазового пространства – множеств, в которых траектории стремятся оставаться в течение длительного времени. Эти множества определяются по матрице переходных вероятностей Марковского процесса при помощи методов спектральной кластеризации.

Литература

1. Froyland G. Statistically optimal almost-invariant sets. // Physica D, vol. 200, pp. 205–219, 2005
2. Allesfeld H., Atmanspacher H., Wackermann J. Mental states as macrostates emerging from brain electrical dynamics. // Chaos, vol. 19, 2009

**НЕРАВНОМЕРНЫЕ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ
СХОДИМОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ
ТЕОРЕМЕ**

*Габдуллин Руслан Айдарович,
Макаренко Владимир Александрович*

Аспирант, Аспирант

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ruslixag@gmail.com, vlamakarenko@gmail.com

Научный руководитель — Шевцова Ирина Геннадьевна

Пусть $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ — независимые случайные величины (с.в.), с.в. X_k имеет функцию распределения (ф.р.) $F_k(x)$, $\mathbb{E}X_k = 0$, $\mathbb{E}X_k^2 = \sigma_k^2$, $\mathbb{E}|X_k|^{2+\delta} = \beta_k^{2+\delta} < \infty$, $\delta \in (0, 1]$, для всех $k \in \mathbb{N}$.

Обозначим $B_n^2 = \sum_{k=1}^n \sigma_k^2$, $S_n = B_n^{-1} \sum_{k=1}^n X_k$, пусть $\bar{F}_n(x)$ — ф.р. с.в. S_n , $\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$.

Рассмотрим расстояние между функциями распределения $\Delta_n(x) = |\bar{F}_n(x) - \Phi(x)|$, $x \in \mathbb{R}$, а также равномерное расстояние Колмогорова $\Delta_n = \sup_x \Delta_n(x)$.

Знаменитая теорема Ляпунова [1] гласит, что $\Delta_n \rightarrow 0$, если дробь Ляпунова стремится к нулю:

$$L_n^{2+\delta} := \frac{1}{B_n^{2+\delta}} \sum_{k=1}^n \beta_k^{2+\delta} \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty.$$

Оценкой скорости сходимости в теореме Ляпунова является известное неравенство Берри–Эссеена:

$$\Delta_n \leq C_0(\delta) \cdot L_n^{2+\delta}, \quad \delta \in (0, 1].$$

При $\delta = 1$ в случае одинаково распределенных случайных величин (о.р.с.в.) неравенство Берри–Эссеена принимает вид

$$\Delta_n \leq \frac{C_0(1)}{\sqrt{n}} \cdot \frac{\beta_1^3}{\sigma_1^3}, \quad \text{где } C_0(1) \leq 0.4690.$$

Заметим, что неравенство Берри–Эссеена устанавливает *равномерную по x* оценку скорости сходимости $\bar{F}_n(x)$ к $\Phi(x)$. Но в силу того, что $\bar{F}_n(x)$ и $\Phi(x)$ являются функциями распределения, должно выполняться соотношение $\Delta_n(x) \rightarrow 0$, $|x| \rightarrow \infty$. В равномерных оценках этот факт не учитывается.

Этого недостатка лишен результат, полученный Нагаевым [2]

(для случая о.р.с.в. и при $\delta = 1$) и Бикялисом [3] (для общего случая и при $0 < \delta \leq 1$):

$$\sup_x (1 + |x|^{2+\delta}) \Delta_n(x) \leq C(\delta) L_n^{2+\delta}. \quad (1)$$

Значение функции $C(\delta)$ впервые было оценено Падитцем для разнораспределенных случайных величин (р.р.с.в.). В частности, первая полученная им в 1978 году оценка $C(1) \leq 1955$. Позже Падитц уточнил её до $C(1) \leq 114.7$. В работе Михеля (1981) была получена оценка $C(1) \leq C_0(1) + 8(1+e) \leq 30.2247$ для о.р.с.в. Улучшению верхних оценок функции $C(\delta)$ были посвящены работы Тысиака (1983), Миражмирова и Падитца (1984–1989), Нефедовой, Шевцовой, Григорьевой и Попова (2011–2017). В частности, наилучшая известная оценка константы $C(1)$ получена в работе [3]:

$$C(1) \leq 21.82, \text{ для р.р.с.в., } C(1) \leq 17.36, \text{ для о.р.с.в.}$$

Заметим, что данные оценки существенно грубее, чем в неравенстве Берри–Эссена, потому что они были получены из неравенства Берри–Эссена методом усечения распределений слагаемых.

В данной работе неравенство Нагаева–Бикялиса (1) было доказано с помощью метода характеристических функций. Благодаря использованию неравномерного аналога неравенства сглаживания Правитца, а также точных оценок близости характеристических функций удалось существенно улучшить оценки функции $C(\delta)$.

Работа поддержана грантами РФФИ 19-07-01220 и РФФИ 20-31-70054.

Литература

1. A. Liapunoff, Nouvelle forme du théorème sur la limite de probabilité, Mém. Acad. Sci. St-Pétersbourg, T. 12, No. 5, 1–24 (1901).
2. Нагаев С. В. Некоторые предельные теоремы для больших уклонений. Теория вероятностей и ее применения, 1965, Т. 10, в. 2, с. 231–254.
3. Бикялис А. Оценки остаточного члена в центральной предельной теореме. Литов. матем. сб., 1966, т. 6, в. 3, с. 323–346.
4. I. G. Shevtsova, On the absolute constants in Nagaev–Bikelis-type inequalities, in: Inequalities and Extremal Problems in Probability and Statistics, I. Pinelis (ed.), Elsevier, London, (2017), pp. 47–102.
5. I. Pinelis, On the nonuniform Berry–Esseen bound, arXiv:1301.2828 (2013).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ,
ВОЗНИКАЮЩЕГО В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПОСЛЕ ЗАМЫКАНИЯ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ**

Гаджисеев Серафим Рустамович

аспирант

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: gads06121994@yandex.ru

Научный руководитель — Никитин Алексей Антонович

В данной работе рассматривается экологическая модель, предложенная Ульфом Дикманом (Ulf Dieckmann). Данная модель позволяет найти экологическое равновесие при помощи замыкания следующей системы интегро-дифференциальных уравнений:

$$0 = (b - d)N - d' \int_A w(\xi)C(\xi)d\xi \quad (1)$$

$$\begin{aligned} 0 = bm(\xi)N - dC(\xi) - d'w(\xi)C(\xi) + \\ + b \int_A m(\xi')C(\xi + \xi')d\xi' - d' \int_A w(\xi')T(\xi, \xi')d\xi' \end{aligned} \quad (2)$$

Под замыканием полагается замена третьего момента T его приближённым значением. В данной работе третий пространственный момент заменяется линейной комбинацией замыкания третьего порядка и параметрического замыкания второго порядка:

$$\begin{aligned} T_{ijk}(\xi, \xi') \approx \frac{\alpha}{2} \left(\frac{C_{ij}(\xi)C_{ik}(\xi')}{N_i} + \frac{C_{ij}(\xi)C_{jk}(\xi - \xi')}{N_j} + \right. \\ \left. + \frac{C_{ik}(\xi')C_{jk}(\xi - \xi')}{N_k} - 1 \right) + \\ + (1 - \alpha) \frac{C_{ij}(\xi)C_{ik}(\xi')C_{jk}(\xi - \xi')}{N_i N_j N_k} \end{aligned} \quad (3)$$

В результате данной подстановки, система (1), (2) переходит в систему с двумя неизвестными функциями. Сложность полученной задачи состоит в наличии в одном из уравнений нелинейных членов, а именно самосвёртки второго момента C с весом w .

Полученная система уравнений была преобразована к виду, подходящему для численного метода рядов Неймана, а именно была произведена серия замен, гарантирующая, что второй момент C будет нормализованным и асимптотически сходящимся к 0.

Был реализован программный код для решения данной задачи методом рядов Неймана.

Настоящая работа представляет из себя дополнение работы [1].

Литература

1. Гаджиев С. Р., Никитин А. А. Об интегральном уравнении, возникающем в биологической модели после замыкания третьей степени // Современные информационные технологии и ИТ-образование, 15(2):1–9, 2019
2. Ulf Dieckmann, Richard Law. Relaxation Projections and the Method of Moments // pp. 412–455. Cambridge University Press, 2000

К ВОПРОСУ СУЩЕСТВОВАНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ СОБСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ В ЗАДАЧЕ О ПОТЕРЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛОННЫ

Гончаров Василий Юрьевич

Старший преподаватель

МАИ (НИУ), РГУ имени А. Н. Косыгина, Москва, Россия

E-mail: fulu.happy@gmail.com

Научный руководитель — Муравей Леонид Андреевич

Рассмотрим классическую задачу о потере устойчивости жестко фиксированной колонны. Пусть $d \in C^2[0, 1]$ — изгибная жесткость колонны, причем $d(x) \geq d_0 > 0$, где d_0 — некоторая константа. Краевая задача на собственные значения, описывающая потерю устойчивости жестко фиксированной на обоих концах колонны, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} (dy'')''(x) + \lambda y''(x) = 0, & \quad x \in (0, 1), \\ y(0) = y'(0) = 0, & \quad y(1) = y'(1) = 0. \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь наименьшее положительное собственное значение, которое в дальнейшем будем обозначать через λ_1 , отвечает критической силе, превышение которой приводит к потере устойчивости колонны. Собственная функция задачи (1), соответствующая параметру $\lambda = \lambda_1$,

определяет форму искривленной колонны. Хорошо известно, что собственное значение λ_1 может быть кратным, однако его кратность не превосходит двух.

Полагая в дальнейшем, что $d \in L_\infty(0, 1)$ и $d(x) \geq d_0$ для п. в. $x \in (0, 1)$, будем рассматривать обобщенную постановку задачи (1), которая формулируется в виде следующего интегрального тождества:

$$\int_0^1 d(x)y''(x)z''(x) dx = \lambda \int_0^1 y'(x)z'(x) dx, \quad z \in H_0^2(0, 1). \quad (2)$$

Проблема потери устойчивости жестко фиксированной на обоих концах колонны как в классической, так и в обобщенной постановке является основой для формулировки знаменитой задачи Лагранжа о наивыгоднейшем очертании колонны, которой посвящена обширная литература. Обзоры, охватывающие основные работы по этой теме, могут быть найдены в [1–3].

В настоящем исследовании изучается вопрос о существовании в собственном подпространстве, отвечающем наименьшему положительному собственному значению λ_1 , положительной на интервале $(0, 1)$ собственной функции. Указанное собственное подпространство в дальнейшем будем обозначать через Y_1 .

Хотя поставленный вопрос о существовании в собственном подпространстве Y_1 положительной собственной функции относится к предмету теории дифференциальных уравнений, по всей видимости, он впервые возник в прикладной работе Кокса и Овертона [3] при исследовании разрешимости вариации задачи Лагранжа с ограничениями на площадь поперечных сечений колонны в случае, когда d представляет собой симметричную на интервале $(0, 1)$ функцию. В работе Караа [4] выдвигалось предположение, что при том же ограничении на функцию d возможен случай, когда собственное значение λ_1 является простым, а все отвечающие ему собственные функции являются нечетными.

Основной результат исследования заключен в следующем утверждении.

Теорема 1. *Пусть d – симметричная функция, т. е.*

$$d(x) = d(1 - x), \quad x \in (0, 1).$$

Тогда в собственном подпространстве Y_1 , отвечающем наимень-

шему положительному собственному значению λ_1 задачи (2), найдется положительная на интервале $(0, 1)$ собственная функция.

В рамках доклада также планируется привести обобщение Теоремы 1 и некоторые результаты анализа литературы, относящиеся к основному утверждению.

Литература

1. Сейранян А. П. Задача Лагранжа о наивыгоднейшем очертании колонны. Препринт № 60-2000. Институт Механики МГУ. Москва. 2000.
2. Cox S. J. The shape of the ideal column // The Mathematical Intelligencer. 1992. Vol. 14, no. 1. pp. 16–24.
3. Cox S. J., Overton M. L. On the optimal design of columns against buckling // SIAM J. Math. Anal. 1992. Vol. 23, no. 2. pp. 287–325.
4. Karaa S. Properties of the first eigenfunctions of the clamped column equation // Theoret. Appl. Mech. 2003. Vol. 30, no. 4. pp. 265–276.

ВЕТО-ГОЛОСОВАНИЕ В СМЕШАННОМ КОЛЛЕКТИВЕ ИЗ БЛИЗОРУКИХ И РАЦИОНАЛЬНЫХ УЧАСТНИКОВ

Гудков Сергей Михайлович

Аспирант

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: sergey_goudkov@mail.ru

Научный руководитель — Новикова Наталья Михайловна

Рассмотрим процедуру выбора путем открытого вето-голосования [1]: n участников (игроков) и $n + 1$ кандидат. Каждый игрок имеет свои строгие предпочтения и поочередно отклоняет одного из оставшихся к его ходу кандидатов. Последний оставшийся кандидат будет выбран. Игра, описываемая данной процедурой, относится к играм с фиксированным порядком ходов и полной информацией, а значит, имеет сложное равновесие. Результат зависит от порядка ходов игроков. Игроки знают предпочтения партнеров. В [2] доказано, что кандидат K_0 может победить в ситуации сложного равновесия тогда и только тогда, когда выполнено условие Холла:

$$\forall I \subseteq N \mid \bigcup_{i \in I} J_i(K_0) \mid \geq |I|, \text{ где } N = \{1, \dots, n\}, \quad (1)$$

$| \dots |$ — число элементов множества, $J_i(K_0)$ — множество таких кандидатов K_j , которые менее предпочтительны, чем кандидат K_0 , для игрока V_i .

Очевидно, что не всегда все игроки будут вести себя таким образом, который соответствует сложному равновесию. В реальной жизни, наверняка найдутся игроки, которые при любых обстоятельствах, на своем ходе будут просто накладывать вето на худшего для них из оставшихся к их ходу кандидатов, даже если такой ход будет приводить к неоптимальному для них исходу игры. Этих игроков называют близорукими.

Теорема 1. *В игре, где часть игроков близорукие, а часть с рациональным поведением не всегда существует порядок ходов, при котором игрок с рациональным поведением может обеспечить победу лучшего для себя кандидата K_0 из числа кандидатов, удовлетворяющих условию (1).*

Например, такого порядка ходов не существует при трех играх и следующем профиле предпочтений:

$$P_1: K_0 \succ K_2 \succ K_1 \succ K_3$$

$$P_2: K_2 \succ K_1 \succ K_0 \succ K_3$$

$$P_3: K_2 \succ K_0 \succ K_1 \succ K_3$$

Теорема 2. *Пусть близорукие игроки ($i \in M$) ходят первыми и $\mathbf{K}'(\vec{M})$ — множество кандидатов, исключаемых ими при порядке их ходов \vec{M} . Для каждого множества $\mathbf{K}'(\vec{M})$ рассмотрим подыгру с $k = n - t$ игроками с рациональным поведением и множеством из $k + 1$ кандидата $\mathbf{K} \setminus \mathbf{K}'(\vec{M})$, где \mathbf{K} — множество всех кандидатов в игре. Если $\exists \vec{M}$ такой, что в подыгре для кандидата K_0 выполняется условие (1), то существует порядок ходов игроков, когда K_0 будет выбран в изначальной игре. Данное условие является необходимым и достаточным для возможности выбора K_0 .*

Необходимость: Если не существует такого порядка ходов между близорукими игроками, при котором в подыгре выполняется условие (1) для кандидата K_0 , то в подыгре кандидат K_0 будет исключен кем-то из рациональных игроков (рациональные игроки не будут исключать игроков, которые будут исключены близорукими игроками, так как это не имеет для них смысла). Таким образом, кандидата K_0 не будет выбран в исходной игре.

Достаточность: Если же существует порядок ходов между близорукими игроками, при котором в подыгре выполняется условие (1)

для кандидата K_0 , то существует порядок ходов между рациональными игроками, при котором кандидат K_0 будет выбран в подыгре. Таким образом, если первыми ходят близорукие игроки, а после них – рациональные, найдется порядок ходов между игроками, при котором кандидат K_0 будет выбран.

Литература

1. Новикова Н.М., Поспелова И.И. Свойства процедуры голосования путем последовательного наложения вето // Вестник Московского университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2018. № 4. С. 32–40.
2. Mueller D. C. Voting by veto // Journal of Public Economics. 1978. Vol. 10, P. 80–91.
3. Мулен Э. Теория игр с примерами из математической экономики // М.: Мир. 1985.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НИЗКОРАНГОВОЙ МАТРИЦЫ КВАТЕРНИОНОВ

*Донскова Мария Александровна¹
Башаров Илья Валерьевич²*

1: Студентка 4-го курса ФРТК МФТИ, Москва, Россия

2: Студент 4-го курса ФРТК МФТИ и ФТИ, Москва, Россия

E-mail: dons0306@yandex.ru, basharov@phystech.edu

Цель проекта — реализация эффективного алгоритма [1] восстановления цветных изображений. Простые методы низкоранговой аппроксимации матрицы с пропущенными или зашумленными значениями подходят только для одноканальных картинок, т.е. в градациях серого. Если изображение цветное, то оно имеет 3 канала, то оно приводится каким-нибудь эвристическим методом к одноканальному. Например, взвешеннойной суммой каналов.

Такой подход неоптimalен, поскольку из взаимодействия цветов можно извлечь дополнительную информацию.

Однако непосредственная работа с трёхмерными тензорами — это очень трудоёмкие вычисления, поскольку задача низкорангового приближения трёхмерного тензора является NP-полной. В традиционных методах на основе матриц используются два подхода: разложение низкого ранга и минимизация ядерной нормы. В нашем

проекте, объединяя два подхода в нашей модели на основе кватернионных матриц. Вместо ядерной нормы матрицы кватернионов будет использована сумма норм Фробениуса двух матриц кватернионов малого ранга. Основываясь на связи между матрицей кватернионов и ее эквивалентной комплексной матрицей, задача в конечном итоге преобразуется из поля чисел кватернионов в поле комплексных чисел [1]. Чередующийся метод минимизации применяется для решения модели. Результаты моделирования восстановления реальных цветных изображений показывают превосходную производительность и эффективность предложенного алгоритма по сравнению с некоторыми современными тензорными алгоритмами рис. 2.

Чтобы работать с двумерными тензорами, необходимо представлять изображение в виде матрицы кватернионов. Непосредственные вычисления с ними также сложны, но можно ввести взаимно обратное отображение матриц кватернионов в множество матриц комплексных чисел большего размера. Схема восстановления изображений следующая:

1. Трёхканальная картинка с пропущенными/зашумленными пикселями
2. Матрица кватернионов
3. Матрица комплексных чисел
4. Низкоранговая аппроксимация
5. Восстановленная матрица кватернионов
6. Восстановленная картинка.

Результатом работы является реализация алгоритма восстановления цветных изображений с помощью матрицы кватернионов низкого ранга и сравнительный анализ с некоторыми известными алгоритмами.

В работе используется математические теоремы и выкладки, а также поставлена модель оптимизации для заполнения матрицы, которые были представлены в статьях и докладах [1], [2], [3].

Иллюстрации

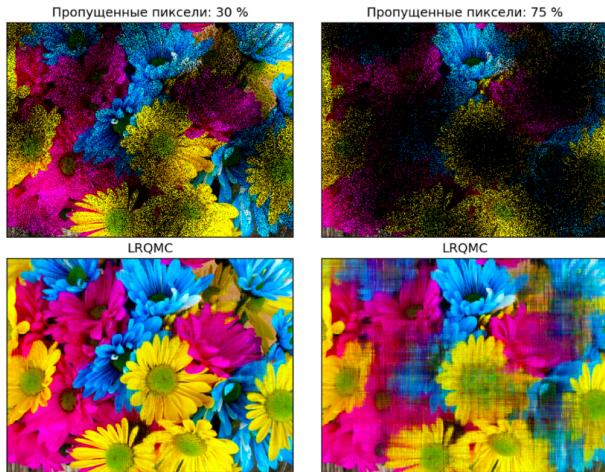


Рис. 1. Слева: работа алгоритма при пропуске 30 процентов пикселей.
Справа: работа алгоритма при пропуске 75 процентов пикселей

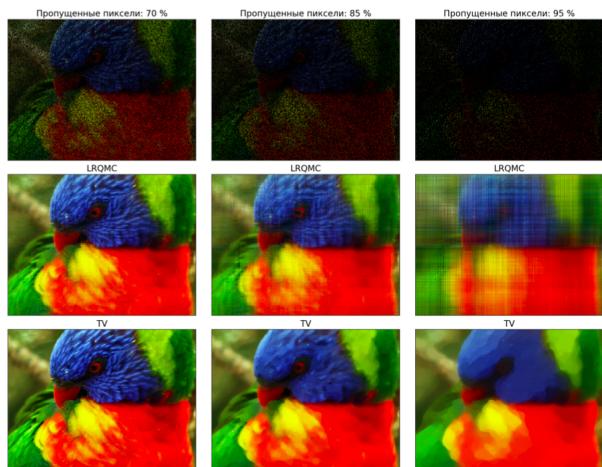


Рис. 2. Сравнение работы алгоритма, предложенного в [1] с алгоритмом минимизация градиента по матрице(Total Variation)

Литература

1. Miao J. Kou K. I. Color image recovery using low-rank quaternion matrix completion algorithm: Conference: 2013 6th International Congress on Image and Signal Processing.
2. Golub G. H. Gene;, Van Loan C. F. Matrix Computations: The John Hopkins University Press Baltimore and London, 1996.
3. Bengua J. A. , Phien H. N. ,Tuan H. D., Do M. N., Efficient tensor completion for color image and video recovery: Low-rank tensor train 26: IEEE Trans. Image Processing, 2017

О СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВАХ ОПЕРАТОРА С ИНВОЛЮЦИЕЙ

Дубровина Виктория Дмитриевна

Студент

*Математический факультет Воронежского государственного университета,
Воронеж, Россия*

E-mail: vichka.dubrovina.2000@mail.ru

Научный руководитель — Бурлуцкая Мария Шаукатовна

Рассматривается функционально-дифференциальный оператор с инволюцией

$$(Ly)(x) = y'(1-x) + q(x)y(x), \quad y(0) = y(1),$$

с областью определения $D_L = \{y \in C^1[0, 1] : y(0) = y(1)\}$.

Спектральные вопросы для дифференциальных и интегральных операторов с инволюцией активно исследуются (см., например, работы [1–7] и библиографию в них). Здесь используется техника работ [6, 7], где изучены смешанные задачи для уравнений с инволютивным отклонением, которые приводят к вопросам о сходимости разложений по собственным и присоединенным функциям таких операторов.

Предполагаем, что $q(x)$ непрерывна на $[0, 1]$ и комплекснозначна, а также $q(x) = q(1-x)$. Отметим, что решения спектральной задачи в случае такого симметричного потенциала дают главные части в асимптотических формулах для собственных значений и собственных функций оператора L с произвольным потенциалом (см. [6,7]). В [7] рассматривался оператор L лишь в случае вещественной $q(x)$.

Теорема 1. Собственные значения оператора L есть:

$$\lambda_n = a + 2\pi n \quad (n \in \mathbb{Z}), \quad a = \int_0^1 q(t)dt.$$

Соответствующие собственные функции имеют вид:

$$y_n(x) = p(1-x)e^{2n\pi i(1-x)} - ip(x)e^{2n\pi ix},$$

$$\text{где } p(x) = \exp\left\{i\left(ax - \int_0^x q(t)dt\right)\right\}.$$

Оператор L не является самосопряженным. Сопряженный оператор имеет вид $\underline{L}^*z = z'(1-x) + \overline{q(x)}z(x)$, $z(0) = z(1)$, его собственные значения есть $\bar{\lambda}_n$, а собственные функции $z_n(x)$ получаются из $y_n(x)$ заменой $p(x)$ на $\tilde{p}(x) = \exp\left\{i\left(\bar{ax} - \int_0^x \overline{q(t)}dt\right)\right\}$.

В работе устанавливается полнота в $L_2[0, 1]$ систем $\{y_n(x)\}$, $\{z_n(x)\}$, исследуются вопросы сходимости рядов Фурье по данным биортогональным системам.

Литература

- Хромов А. П. Об обращении интегральных операторов с ядрами, разрывными на диагоналях // Математические заметки. 1998. Т. 64, № 6. С. 932–949.
- Бурлуцкая М. Ш., Курдюмов В. П., Луконина А. С., Хромов А. П. Функционально-дифференциальный оператор с инволюцией // Доклады Академии наук. 2007. Т. 414, № 4. С. 1309–1312.
- Бурлуцкая М. Ш. О некоторых свойствах дифференциальных уравнений и смешанных задач с инволюцией // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Физика. Математика. 2019. № 1. С. 60–68.
- Baskakov A. G., Krishtal I. A., Romanova E. Yu. Spectral analysis of a differential operator with an involution // J. Evolut. Equat. 2017. V. 17. P. 669–684.
- Владыкина В. Е., Шкаликов А. А. Спектральные свойства обыкновенных дифференциальных операторов с инволюцией // Доклады Академии наук. 2019. Т. 484. № 1. С. 12–17.
- Бурлуцкая М. Ш., Хромов А. П. Метод Фурье в смешанной задаче для уравнения первого порядка с инволюцией // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2011.

- Т. 51. № 12. С. 2233–2246.
7. Бурлуцкая М. Ш. О смешанной задаче для уравнения первого порядка с инволюцией и с периодическими краевыми условиями // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2014, Т. 54, № 1. С. 3–12.

**МЕТОДЫ СЕМПЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ
ЕСТЕСТВЕННОГО ТЕКСТА НЕЙРОСЕТЕВОЙ
ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛЬЮ**

Думбай Алексей Дмитриевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: dumbay.aleksey.97@gmail.com

Научный руководитель — Дьяконов Александр Геннадьевич

Одной из задач обработки естественного языка является генерация текстов, приближенных к человеческим. Для этого используется контекст – начало некоторого текста, для которого необходимо построить продолжение. Сложность данной задачи заключается как в выборе методов генерации новых слов, так и в формулировке критериев для определения нужных текстов. Современные методы опираются на стратегии декодирования некоторой языковой модели, основанной на вероятностях появления слов. Максимизация правдоподобия генерируемого предложения приводит к проблемам повторения и неестественности текста, что приводит к необходимости использования методов семплирования. Основными методами семплирования являются *Top-k* [1] и *Top-p* [2], выбирающие слова из наиболее вероятных.

В данной работе рассматриваются методы семплирования, опирающиеся на фиксированную модель для предсказания вероятности слов и дополнение ее некоторой базовой моделью, а так же предлагаются формальные способы оценки качества сгенерированных текстов.

В общем случае генерация начинается с контекста – некоторого предварительно заданного текста. Модель предлагает вероятности кандидатов, после чего из них выбирается следующее слово. Для качественной генерации необходимо, зачастую, запускать параллельно несколько цепочек слов, выбирая наилучшую по правдоподобию.

В работе рассматривается идея добавления семантической информации в процесс декодирования. Для этого можно использовать

более простую модель, которая будет предсказывать не сами слова, а части речи. С помощью полученных таким образом последовательности можно проводить сэмплирование из языковой модели только из слов, относящихся к данной части речи.

При прямом процессе генерации мы последовательно получаем слова, что не дает нам использовать всю информацию о полученном предложении. Вторая рассмотренная методика выбора опирается на удаление некоторых слов и попытке заменить их с помощью другой языковой модели. Данный процесс может повторяться некоторое число итераций.

Для верификации результатов в работе рассматриваются как стандартные методы перплексии [3] текста и ассесорской оценки, так и предлагается другой метод, основанный на применении некоторой базовой модели классификации для задачи классификации текста на сгенерированный и естественный. Данная модель должна быть достаточно простой, что бы сохранять некоторые теоретические гарантии. В работе предлагаются методы классификации на основе tf-idf, такие как логистическая регрессия и решающий лес [4]. Важным моментом является то, что контекст для генерации текстов должен быть взят из набора данных, используемого для проверки. В ином же случае качество классификации не может служить разумной метрикой, так как ключевыми факторами для отличия текстов могут стать различные тематики, стиль и др.

Литература

1. Angela Fan, Mike Lewis, and Yann Dauphin. Hierarchical neural story generation. In Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), volume 1, pp. 889–898, 2018.
2. Holtzman A. et al. The curious case of neural text degeneration //arXiv preprint arXiv:1904.09751. – 2019.
3. Ramaciotti Morales, Pedro; et al. (September 2019). "Role of the Website Structure in the Diversity of Browsing Behaviors". Proceedings of the 30th ACM Conference on Hypertext and Social Media: 133–142. Retrieved 2020-02-13.
4. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. — Springer, 2006. — 738 p.

**АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ ГОЛОВНОГО
МОЗГА С ПОМОЩЬЮ СИГНАЛОВ
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ**

Елохов Артур Владимирович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: elofov-artur@yandex.ru

Научный руководитель — Захарова Татьяна Валерьевна

Исследование активности головного мозга является сложной, но чрезвычайно важной задачей современной биологии и медицины. На сегодняшний день существует множество методов измерения мозговой активности, таких как электроэнцефалография (ЭЭГ) и магнитоэнцефалография (МЭГ). Представление работы мозга в виде подобных сигналов позволяет широко использовать математический аппарат в исследованиях.

Цель настоящей работы — выявление функциональных связей корковых зон головного мозга, обеспечивающих обработку зрительных образов. Данное исследование позволит улучшить понимание процессов, происходящих в мозге при обработке информации. Эта задача интересна как с точки зрения фундаментальной науки, так и для прикладного применения, например для выявления нарушений когнитивных функций мозга, создания умных протезов и интерфейсов человек–компьютер.

Исследование проводится путем статистического анализа электроэнцефалограмм. Важными достоинствами ЭЭГ, как метода измерения мозговой активности, являются неинвазивность и высокое временное разрешение. С другой стороны, низкое пространственное разрешение и подверженность зашумлению значительно усложняют работу с ЭЭГ. В электроэнцефалограмме обычно присутствует большое количество артефактов, появляющихся в результате влияния посторонних источников на электроды при записи сигнала.

На стадии предобработки проводится анализ сигналов ЭЭГ и фильтрация дефектных записей. Затем сигнал очищается от артефактов и шума с помощью пороговых фильтров и метода независимых компонент [1].

Для выявления функциональных связей используется анализ статистических зависимостей между различными областями мозга. Статистическая зависимость может быть оценена с помощью корреляционной функции. Однако данный метод не дает информации о

причинно-следственных связях. Такие связи, учитывающие направление влияния, обозначаются термином «эффективные связи». Для учета причинно-следственных связей используется тест Грейндже-ра [2].

В основе теста Грейнджера на причинность лежит идея о том, что переменная X_2 является причиной переменной X_1 , если учёт прошлых наблюдений X_2 снижает ошибку предсказаний X_1 при построении линейной регрессии по переменным X_1 и X_2 .

Таким образом, для выявления функциональных связей мозга строится некоторая предиктивная модель временных рядов на очищенных сигналах ЭЭГ, например векторная авторегрессия. Далее с помощью теста Грейнджера определяются причинно-следственные связи между компонентами ЭЭГ. Каждой компоненте сигнала становится в соответствие некоторая область мозга. В результате получаются численные характеристики взаимосвязи различных областей мозга.

Литература

1. Hyvärinen A. Independent Component Analysis: Algorithms and Application // Neural Networks. 2000. Vol. 13, № 4-5, P. 411–430.
2. Granger C. W. J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods // Econometrics. 1969. Vol. 37, № 3 P. 424–440.
3. Курганский А. В. Некоторые вопросы исследования кортико-кортикальных функциональных связей с помощью векторной авторегрессионной модели многоканальной ЭЭГ // Журнал высшей нервной деятельности. 2010. Т. 60, № 5. С. 630–649.

**АСИМПТОТИКА ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
РЕШЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ВЫРОЖДАЮЩИХСЯ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**

Емельянов Дмитрий Павлович

Магистрант

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: wpgrussia@gmail.com

Научный руководитель — Ломов Игорь Сергеевич

Рассматривается последовательность вырождающихся обыкновенных дифференциальных уравнений

$$Ly(x) = xy'' + c(x)y' - (a(x) + \pi^2 k^2)y = 0, x \in (0, b), k \in \mathbb{N}. \quad (1)$$

Данная последовательность возникает, например, при разделении переменных в задаче Дирихле для следующего уравнения с частными производными

$$u''_{xx} + yu''_{yy} + c(y)u'_y - a(y)y = f(x, y), (x, y) \in D = (0, 1) \times (0, b). \quad (2)$$

Коэффициенты $a(x), c(x)$ полагаются аналитическими функциями в комплексном круге $U = \{x \in \mathbb{C} : |x| < R\}, R > b$. Коэффициент $a(x)$ при этом является не отрицательным на отрезке $[0, b]$ исследования дифференциальных уравнений.

Положим первым элементом ФСР решение следующей задачи

$$\begin{cases} Ly_{1,k}(x) = 0, x \in (0, b), k \in \mathbb{N}, \\ y_{1,k}(0) = 1. \end{cases} \quad (3)$$

В качестве второго элемента $y_{2,k}(x)$ можно взять решение, имеющее асимптотику $O^*(x^{1-c_0})$ в нуле ($O^*(\ln x)$ в случае $c_0 = 1$).

Будет показано, что имеют место следующие асимптотики

$$\begin{aligned} y_{1,k}(x) &= O\left(\frac{a_0 \Gamma(\alpha+1)}{(i\pi k \sqrt{x})^\alpha} J_\alpha(2i\pi k \sqrt{x})\right), \\ y_{2,k}(x) &= O\left(x^{1-c_0} \frac{a_0 \Gamma(\alpha+1)}{(i\pi k \sqrt{x})^\alpha} J_\alpha(2i\pi k \sqrt{x})\right), c_0 \neq 1, \\ y_{2,k}(x) &= O\left(\ln x \frac{a_0 \Gamma(\alpha+1)}{(i\pi k \sqrt{x})^\alpha} J_\alpha(2i\pi k \sqrt{x})\right), c_0 = 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь $c_0 = c(0)$, $a_0 = a(0)$, i – мнимая единица, $J_\alpha(x)$ – функция Бесселя первого рода, $\alpha = c_0 - 1$ если $c_0 \geq 1$, $\alpha = 1 - c_0$ если $c_0 < 1$. Асимптотики равномерные по $x \in [0, b]$. Аналогичные оценки имеют место снизу всюду, за исключением сколь угодно малых окрестностей концов отрезка.

Литература

1. Келдыш М. В. Избранные труды. Математика. М.: Наука. 1985. – 448 стр.
2. Емельянов Д. П., Ломов И. С. Построение точных решений нерегулярно вырождающихся эллиптических уравнений с аналитическими коэффициентами // Дифференциальные уравнения. 2019. Т. 55, № 1. С. 45–58.

ОБ ОДНОМ ПРИЗНАКЕ ДЕЛИМОСТИ ЧИСЕЛ В ДВОИЧНОЙ СИСТЕМЕ СЧИСЛЕНИЯ

Еникеев Разиль Радикович

ассистент

*Институт вычислительной математики и информационных технологий
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия*

E-mail: renikeev@kpfu.ru

Научный руководитель – Ишмухаметов Шамиль Талгатович

Еще со школы известны быстрые способы проверки делимости одного числа на другое, представленных в десятичной системе счисления. Например, делимость числа a на 2, 5, 10: необходимо, чтобы последний десятичный разряд a делился на соответствующее число; делимость числа a на 3 и 9: необходимо, чтобы сумма цифр a делилась на соответствующее число.

Однако, в подобных критериях используется представление чисел в десятичной системе счисления, что затрудняет применение этих признаков для вычислений на компьютере, в котором числа хранятся в двоичной системе. Также из этих примеров видно, что признаки делимости отличаются друг от друга, а это опять же затрудняет реализацию вычисления остатка по модулю на компьютере.

В нашей работе предлагается общий признак делимости a на нечетное число b , где a представлено в двоичной системе счисления.

Рассмотрим число $a = (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)_2 = \sum_{i=0}^n a_i 2^i$. Остаток от

деления a на b можно найти по формуле

$$a \bmod b = \left(\sum_{i=0}^n (a_i 2^i \bmod b) \right) \bmod b. \quad (1)$$

Рассмотрим в (1) равный единице i -й бит числа a и перенесем этот бит на j -ую ($i > j$) позицию (j -й бит сохраняется), или по-другому заменим 2^i на 2^j , сохранив остаток от деления, тогда имеем

$$\begin{aligned} 2^i &\equiv 2^j \pmod{b}, \\ 2^{i-j} &\equiv 1 \pmod{b}. \end{aligned} \quad (2)$$

Определим шаг сдвига с сохранением остатка, или шаг, как минимальное натуральное число $s = i - j$, удовлетворяющее (2). Например, для 3 значение шага равно 2. Из формулы (1) видно, что на s можно сдвинуть и i -й бит, равный нулю, с сохранением значения остататка от деления на b . Следовательно, можно произвольный i -й ($i \geq s$) бит сдвинуть на s бит вправо, сохраняя значение остатка от деления. Такой сдвиг можно выполнять до тех пор, пока $i \geq s$. Тогда, записав $a = (a'_m \dots a'_0)_{2^s}$, получим следующий признак делимости

$$a \bmod b = \left(\sum_{i=0}^m a'_i \right) \bmod b. \quad (3)$$

Например, для $b = 3$ мы суммируем числа длины 2 бита.

Описанный выше способ эффективен для вычисления человеком, а для эффективной реализации на компьютере лучше всего представить a в виде $a = (a'_m \dots a'_0)_{2^{ks}}$, где k — натуральное число, а ks — наибольшее кратное числа s , не превосходящее длины машинного слова. Для этого представления будет выполняться признак делимости (3), но в то же время количество слагаемых будет меньше. Таким образом, вычисление остатка деления произвольного большого числа можно свести к суммированию чисел длины ks .

По теореме Эйлера шаг s для нечетного числа b существует всегда [1], а следовательно предлагаемый признак делимости можно применять при вычислениях по модулю произвольного нечетного числа, меняя лишь значение шага.

Преимущества предложенного метода: возможность распараллеливания алгоритма и эффективная реализация на компьютерах.

Недостаток предложенного метода — для эффективной реализа-

ции на компьютере необходимо выбирать в качестве модуля такие числа, шаг которых будет малым (менее 32 или 64).

Наиболее эффективным применением предложенного признака является нахождение остатка от деления длинного числа (произвольно высокой точности) на малое. Эта задача может возникнуть в следующих ситуациях: алгоритмы на основе китайской теоремы об остатках [2], проверка наличия малых делителей в тестах простоты длинных чисел [2], первый шаг при удалении ложных делителей [3].

Литература

1. Виноградов И. М. Основы теории чисел. М.: Наука, 1981.
2. Ишмухаметов Ш. Т. Методы факторизации натуральных чисел. Казань: Казанский университет, 2011.
3. Sorenson J. Two fast GCD algorithms // J. Algorithms. 1994. V. 16, № 1. P. 110–144.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ЛЮДЕЙ В ЗДАНИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Зайцева Маргарита Владимировна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: zaimarko@gmail.com

Научный руководитель — Точилин Павел Александрович

Рассматривается план помещения достаточно большого размера, в котором имеется несколько входов/выходов, разветвлённая система комнат, коридоров и лестниц. Требуется построить математическую модель эвакуации людей из данного помещения в случае, если произошло чрезвычайное происшествие (пожар, взрыв и т.п.).

При математическом моделировании движения групп людей обычно выделяют микроскопический и макроскопический подход. Предполагается, что в здании находится большое количество людей, поэтому учитывать движение отдельного человека (микроскопическое моделирование) не представляется возможным. Вместо этого будем использовать макроскопический подход, учитывающий усреднённую характеристику — плотность людей на квадратный метр $\rho = \rho(t, x)$, где $t \in [t_0, t_1]$ — текущий момент времени, а x — вектор координат.

В работе [1] предложена математическая модель движения толпы, являющаяся обобщением гидродинамической модели, аналогично тому, как это делается при моделировании транспортных потоков. Однако изложенный подход не применим в практическом решении задач эвакуации из-за отсутствия информации о точечной плотности людей в заданный момент времени. Кроме того, моделирование движения людей существенно отличается от моделирования транспортных потоков, так как люди, в отличие от автомобилей, могут мгновенно менять направление движения, поэтому необходимо учитывать разнонаправленные и конфликтующие потоки.

Зависимость потока людей от плотности в произвольной точке, как и в случае транспортных потоков, будем называть *фундаментальной диаграммой*. В качестве основы для построения модели будем использовать треугольную фундаментальную диаграмму [2] (модель Гриншильдса):

$$f(\rho) = \min\{v\rho, w(\rho_{\max} - \rho)\}, \quad \rho \in [0, \rho_{\max}],$$

где $\rho_{\max} > 0$ – максимальная возможная плотность толпы, $f_{\max} = \frac{vw\rho_{\max}}{v+w}$ – максимальный поток, v – скорость свободного движения, w – скорость распространения затора.

Для предварительной оценки основных параметров модели была проведена серия численных экспериментов, основанная на молекуллярной модели взаимодействия людей [3].



Пример моделирования процесса эвакуации из одной комнаты.

В ходе работы предложена математическая модель эвакуации людей и разработан субоптимальный алгоритм управления процессом безопасной эвакуации, минимизирующий время. Такой алгоритм может быть применим в виде информационных табло в некоторых

комнатах, а также в виде инструкций специально обученных сотрудников (спасателей).

Литература

1. Kachroo P., Al-nasur S.J., Wadoo S.A., Shende A. Pedestrian Dynamics. Feedback Control of Crowd Evacuation. Springer, 2008.
2. Куржанский А.Б., Куржанский А.А., Варайя П. Роль макромоделирования в активном управлении транспортной сеть // Труды МФТИ, Т. 2, № 4, 2010, с. 100 – 118.
3. Helbing D., Shen G., Farcas I., Vicsek T. Simulating Dynamical Features of Escape Panic. Nature V. 407, pp. 487–490, 2000.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВУХКОЛЕСНОГО РОБОТА НА ТРАЕКТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LMI

Завальнева Екатерина Александровна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: katezaval@gmail.com

Научный руководитель — Атамась Евгений Иванович

Актуальной темой является разработка новых и исследование уже существующих методов управления. Особый интерес представляют методы управления нелинейными системами, в частности, мобильными роботами [1]. Мобильные роботы вызывают с каждым годом все больше и больше интереса в связи с тем, что растет область их применения. К примеру, мобильные роботы могут использоваться в космических исследованиях, автоматизации производства, сельском хозяйстве, военных целях, подводных исследованиях, медицине.

В работе рассматривается задача построения метода стабилизации движения двух-колёсного робота вдоль заданной кривой, при условии сохранения им постоянной линейной скорости, а также моделирование полученных результатов. В качестве прообраза робота была взята модель робота Khepera.

В качестве кинематической модели робота рассматривается система вида:

$$\begin{cases} \dot{x} = U_1 \cos(\theta), \\ \dot{y} = U_1 \sin(\theta), \\ \dot{\theta} = U_2, \end{cases}$$

Где U_1 — линейная скорость робота, U_2 — угловая скорость робота, x и y — координаты выбранной точки. Для построения управления совершаются переход к системе в отклонениях, после чего совершаются переход к её линейному приближению, для которого поставленную задачу стабилизации можно решать с помощью метода функций Ляпунова. В рамках этого метода записываются и решаются линейные матричные неравенства (LMI), что позволяет построить стабилизирующее управление для максимальной области притяжения [2,3].

Литература

1. Юревич Е. И. Основы робототехники. - СПб : БХВ-Петербург, 2005. - С. 416
2. Ким Д. П. Теория автоматического управления: в 2-х. т. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. Т. 1. Линейные системы. - 312 с. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. - 440 с.
3. Баландин Д. В., Коган М. М. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств. Физматлит, 2007

Расширение решения уравнения равновесия на случай произвольного количества видов.

*Зеленков Виктор Константинович,
Мисютин Данила Владимирович*

Студент, Студент

*Факультет компьютерных наук НИУ ВШЭ, Факультет ВМК МГУ имени
М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

E-mail: zelenkvik@gmail.com, fueldanich@yandex.ru

Научный руководитель — Никитин Алексей Антонович

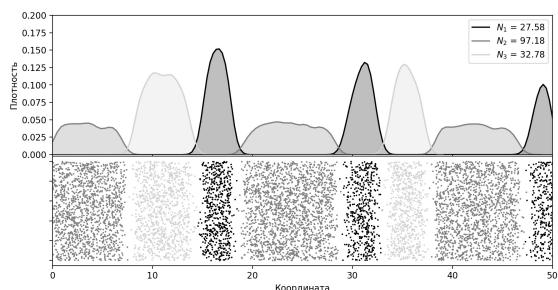
Настоящая работа посвящена обобщению модели стационарных экологических сообществ (Ulf Dieckmann, Richard Law) [1–2] при поиске положения равновесия (конфигурации расположения особей при явно заданных начальных условиях, которая не меняется во времени). При этом виды характеризуются при помощи средних ожидаемых плотностей каждого вида N_i и средних ожидаемых плотностей всевозможных видовых пар на расстоянии ξ : $C_{ij}(\xi)$, используя различные приближения, описывающие среднюю ожидаемую плотность видовых троек $T_{ijk}(\xi, \xi')$. В работе исследуется расширение

этой модели с двухвидового на многовидовой случай при использовании одного из возможных приближений (замыканий).

В результате такого обобщения мы получаем систему, содержащую большее количество уравнений и неизвестных, но с теми же «нелинейностями», как и в одно- и двухвидовых вариантах, что позволяет использовать уже известные в контексте данного исследования численные методы. Также появляется возможность оценить вычислительную сложность всех этих методов в зависимости от количества видов в модели. Проверка на соответствие «реальности» полученных решений производится их сопоставлений с результатами работы стохастических симуляций.

Данная симуляция реализована для ограниченной области, которая ограничена многомерным кубом, с убывающими границами. Это позволяет изучить влияние граничных условий на среднюю численность особей в зависимости от близости к границам. Моделирование происходит путём последовательной итерации событий, которые бывают двух типов. Первый это рождение особи, а второй это смерть. Таким образом, особи не имеют способности самостоятельно передвигаться. А потомки рождаются на некотором расстоянии от родителя. В статье [3] более подробно разобрана работа симуляции.

Иллюстрации



Пример работы трёхвидовой симуляции. Видно кластеризацию особей по видам. Они отображены различными цветами. В легенде указана средняя плотность особей для каждого вида. Сверху нарисован график плотностей, а снизу расположение особей. Вертикальная координата выбрана равномерно.

Доклад подготовлен в результате проведения исследования (№ проекта 18-05-0011) в рамках Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2018 – 2019 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Литература

1. Law R., Dieckmann U. 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. Law R., Murrel D., Dieckmann U. Population Growth in Space and Time: Spatial Logistic Equations// Ecology. 2003, V. 84, № 1, P. 252–262. <http://www.jstor.org/stable/3108013>
3. Е. Г. Галкин, В. К. Зеленков, А. А. Никитин Компьютерные симуляции и численные методы в двухвидовой модели пространственных сообществ // International Journal of Open Information Technologies Т. 7 № 12, 2019

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗЛИМИТЕРНОЙ КВАЗИАКУСТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МЕЛКОЙ ВОДЫ НАД ПРОИЗВОЛЬНЫМ РЕЛЬЕФОМ ДНА

Зуев Александр Андреевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: aleksander.zuev@gmail.com

Научный руководитель — Исааков Виктор Александрович

Система уравнений мелкой воды представляет собой нелинейную систему уравнению гиперболического типа, описывающую движение несжимаемой жидкости в областях, характерные размеры которых сильно преобладают над глубиной. Уравнения находят широкое применение при расчете течений в прибрежной зоне рек, озер и морей; при расчете приливных и отливных течений; моделировании набегания волн цунами на береговую линию, а также в задачах прогноза погоды.

Работа посвящена применению оригинальной, конечно-объемной квазиакустической схемы для численного решения уравнений мелкой воды над неровным дном в одномерном случае [4]. В основе

квазиакустической схемы лежит вертикальное разбиение линейной реконструкции численного решения на блоки малых возмущений, перемещающиеся со своей характеристической скоростью по индивидуальному постоянному фону согласно решению линеаризованной системы уравнений мелкой воды.

Предложен способ вычисления интегральных потоков в схеме на границе с областью с «сухим» рельефом дна. Проведена верификация схемы на ряде тестовых и модельных задач. Полученные результаты расчетов показали, что квазиакустическая схема позволяет достаточно хорошо рассчитывать разрывные решения как в случае ровного, так и неровного дна, физически корректно воспроизводить решение в окрестности звуковой точки. Главным достоинством квазиакустической схемы является возможность построения численного решения без использования лимитерных функций, искусственных регуляризаторов, а также разного рода надстроечных параметров.

Предложенный квазиакустический подход хорошо зарекомендовал себя при численном решении уравнений Эйлера газовой динамики как в одномерном [1], так и в многомерном случае [2–3].

Литература

1. Абакумов М. В., Галанина А. М., Исаков В. А., Тюрина Н. Н., Фаворский А. П. Квазиакустическая схема для уравнений Эйлера газовой динамики // Дифференциальные уравнения. 2011. Т. 47, № 8. С. 1092–1098.
2. Исаков В. А., Фаворский А. П. Квазиакустическая схема для уравнений Эйлера газовой динамики в случае двух пространственных измерений // Математическое моделирование. 2012. Т. 24, № 12. С. 55–59.
3. Isakov V. A. Application of a Quasi-Acoustic Scheme to Many-Dimensional Gas-Dynamic Problems // Computational Mathematics and Modeling. 2014. Т. 25, № 3. С. 334–341.
4. Isakov V. A. Application of a quasi-acoustic scheme to solve shallow-water equations with an uneven bottom // Computational Mathematics and Modeling. 2018. Т. 29, № 3. С. 319–333.

ШУМООЧИСТКА АУДИОСИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С АДАПТИВНЫМИ ПОРОГАМИ

*Ильяшенко Илья Дмитриевич,
Насретдинов Рауф Салаватович*

*Студент, Студент
ИЦТЭФ АлтГУ, Барнаул, Россия*

E-mail: ilyashenko.594m@stud.asu.ru, nasretdinov.594m@stud.asu.ru

Научный руководитель — Лепендин Андрей Александрович

Современные технологии улучшения качества записанной речи предполагают разработку новых методов очистки аудиосигналов от шумов различной природы, связанных с наличием фоновых звуков, ревербераций и помех в канале связи. Одним из эффективных методов очистки речевого сигнала от шума является фильтрация на основе вейвлетов. Суть данного метода заключается в декомпозиции сигнала с помощью дискретного вейвлет-преобразования [1], последующем применении пороговой функции к полученным коэффициентам декомпозиции и обратном вейвлет-преобразованию. Однако при использовании такого подхода значения порогов являются фиксированными и не гарантируют наилучшего качества очистки аудиосигнала. В данной работе предложен новый модифицированный метод пороговой фильтрации речевых сигналов на основе дискретного вейвлет-преобразования с обучаемыми значениями порогов.

Суть предлагаемой модификации заключалась в следующем. Вводился вектор пороговых значений T , который подавался на функцию «мягкого» порогового преобразования [2]:

$$y = \text{sign}(x)(|x| - T), \quad (1)$$

где x – значения коэффициентов вейвлет-преобразования сигнала. После обратного восстановления аудиосигнала вычислялась целевая функция C , оценившая его среднеквадратичное отклонение от соответствующего чистого сигнала. Полученное значение использовалось для оценки градиента целевой функции по вектору пороговых значений методом обратного распространения ошибки [3] (рисунок 1). Фильтрация зашумленных сигналов осуществлялась двумя способами: с использованием одного и того же значения порога T для всех уровней вейвлет-разложения (глобальный пороговый алгоритм) и с независимыми значениями $T(J)$ для каждого уровня J (поуров-

невый пороговый алгоритм). Предложенный подход сравнивался с методом без адаптации, в котором значения вектора порогов вычислялись по формулам (2) и (3) для глобального и поуровневого пороговых алгоритмов соответственно:

$$T = \sigma \sqrt{2 \log N}, \quad (2)$$

$$T = \sigma \sqrt{2 \log \frac{N}{2^J}}, \quad (3)$$

где σ - интенсивность шума, N - длина сигнала (в отсчетах), J – номер уровня разложения. Для оценки эффективности шумоочистки использовались отношение сигнал-шум и среднеквадратичное отклонение, представленные в формулах (4) и (5) соответственно:

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i=1}^N \hat{Y}_i^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}, \quad (4)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N}}, \quad (5)$$

где Y_i – очищенный от шума сигнал, \hat{Y}_i – чистый сигнал. Апробация проводилась на образцах из голосовой базы данных CSTR VCTK Corpus с аддитивным белым гауссовым шумом, который генерировался из нормального распределения со средним значением 0 и стандартным отклонением 0.03.

Результаты тестирования предложенного метода представлены в таблице 2. Для запущенных сигналов значения среднеквадратичного отклонения и отношения сигнал-шум были равны RMSE=0.03 и SNR=5.8 соответственно. В качестве базиса применялись вейвлеты Добеши четвертого порядка (db4).

Тип порогового алгоритма	Адаптивный метод	SNR	RMSE
глобальный	Нет	7.21	0.0291
поуровневый	Нет	9.82	0.0216
глобальный	Да	12.93	0.0151
поуровневый	Да	14.53	0.0126

Таблица 2: Сравнение качества работы неадаптивного и адаптивного методов очистки аудиосигналов.

В данной работе было показано, что предложенный новый метод шумоочистки аудиосигналов, продемонстрировал лучшее качество в сравнении с «классическим» подходом с использованием фиксированных значений вектора порогов. Данный метод может найти широкое применение при решении практических задач обработки речевых сигналов в криминалистике, коммуникациях и информационной безопасности.

Иллюстрации

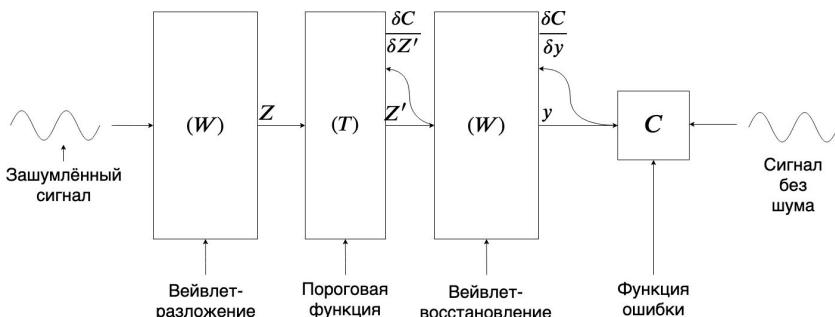


Рисунок 1 – Схема обучения вектора пороговых значений.

W – базис вейвлет-преобразования, T – вектор пороговых значений, Z – вейвлет-разложение, Z' – результат фильтрации, y – восстановленный сигнал, C – функция ошибки

Литература

- Stephane M. A Wavelet Tour of Signal Processing: The Sparse Way Burlington: Academic Press, 2009.
- Shemi P. M., Ali M. A. An Improved Method of Audio Denoising Based on Wavelet Transform // In Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing, Thrissur, India, 2015, P. 1–6.
- Ilyashenko I. D., Nasretdinov R. S., Filin Y. A., Lependin A. A. Trainable wavelet-like transform for feature extraction to audio classification // Journal of Physics: Conference Series. 2019. T. 1333 012136.

ОЦЕНКА ФУНКЦИИ ГРИНА ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ ОДНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ИНВОЛЮЦИЕЙ

Иоффе Виталия Леонидовича

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: vitaioffe@yandex.ru

Научный руководитель — Крицков Леонид Владимирович

Исследованию задач для дифференциальных операторов с инволюцией уделяется в последнее время все большее внимание (см., например, [1]). Интерес к ним вызван как имеющимися приложениями, так и их специфическими спектральными свойствами [2].

В данной работе для дифференциальной операции $Lu = -u''(x) + \alpha u''(-x)$, $-1 < x < 1$, с параметром $\alpha \in (-1, 0) \cup (0, 1)$ и преобразованием инволюции $\nu(x) = -x$ во втором слагаемом рассматривается задача Коши:

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

Задача (1) является несамосопряженной. Ее спектр не пуст и собственные значения как корни характеристического многочлена

$$\Delta(\rho) = \alpha_1 \rho \cos \alpha_0 \rho \cos \alpha_1 \rho + \alpha_0 \rho \sin \alpha_0 \rho \sin \alpha_1 \rho,$$

где $\alpha_0 = \frac{1}{\sqrt{1-\alpha}}$, $\alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{1+\alpha}}$, образуют на комплексной плоскости счетное множество без конечных предельных точек, расположенное в некоторой полосе $|\operatorname{Im} \rho| \leq C_0$.

В работе получены оценки функции Грина задачи (1), из которых известными методами (см. [3]) обосновывается полнота системы корневых функций этой задачи в пространстве $L_2(-1, 1)$.

Функция Грина имеет следующий вид:

$$G(x, t; \rho) = -\frac{1}{\Delta(\rho)} \left(\alpha_0 \sin \alpha_0 \rho \sin \alpha_1 \rho x - \alpha_1 \cos \alpha_1 \rho \cos \alpha_0 \rho x \right) \cdot \left(\frac{\alpha_0}{2} \sin \alpha_0 \rho \cos \alpha_0 \rho t + \frac{\alpha_1}{2} \cos \alpha_1 \rho \sin \alpha_1 \rho t \right) - \frac{1}{\Delta(\rho)} \left(\sin \alpha_1 \rho \cos \alpha_0 \rho x + \cos \alpha_0 \rho \sin \alpha_1 \rho x \right) \left(\frac{\alpha_0^2}{2} \cos \alpha_0 \rho \cos \alpha_0 \rho t - \frac{\alpha_1^2}{2} \sin \alpha_1 \rho \sin \alpha_1 \rho t \right) + g(x, t; \rho),$$

$$g(x, t; \rho) = \frac{1}{2\rho} \begin{cases} \alpha_0 \cos \alpha_0 \rho x \sin \alpha_0 \rho t - \alpha_1 \sin \alpha_1 \rho x \cos \alpha_1 \rho t, & -1 < t < -|x|; \\ \operatorname{sgn} x (\alpha_1 \sin \alpha_1 \rho t \cos \alpha_1 \rho x - \alpha_0 \cos \alpha_0 \rho t \sin \alpha_0 \rho x), & -|x| < t < |x|; \\ -\alpha_0 \cos \alpha_0 \rho x \sin \alpha_0 \rho t + \alpha_1 \sin \alpha_1 \rho x \cos \alpha_1 \rho t, & |x| < t < 1. \end{cases}$$

Теорема 1. Для функции Грина задачи (1) выполнена оценка вне любой δ -окрестности спектра выполнена:

$$|G(x, t; \rho)| \leq \frac{C}{|\rho|} \exp \left\{ -\min(\alpha_0, \alpha_1) |\operatorname{Im} \rho| (|t| - |x|) \right\},$$

где $x \in (-1, 1)$, $t \in (-1, 1)$, а константа $C > 0$ зависит лишь от величины δ .

Теорема 2. Система собственных и присоединённых функций задачи (1) полна в $L_2(-1, 1)$ при любом $\alpha \in (-1, 0) \cup (0, 1)$.

Литература

1. A. Cabada, F.A.F. Tojo. Differential Equations with Involutions, Atlantis Press, Paris, 2015.
2. Крицков Л. В., Сарсенбі А. М. Базисность Рисса системы корневых функций дифференциального оператора второго порядка с инволюцией // Дифференциальные уравнения, 2017, т. 53, № 1, С. 35–48.
3. Наймарк М. А. О некоторых признаках полноты системы собственных и присоединенных векторов линейного оператора в гильбертовом пространстве // Докл. АН СССР, 1954, т. 98, № 5, С. 727–730.

О РЕЗОЛЬВЕНТЕ ОПЕРАТОРА ДИРАКА С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ КРАЕВЫМИ УСЛОВИЯМИ

Киселева Анна Викторовна

Студент

Математический факультет Воронежского государственного университета,
Воронеж, Россия

E-mail: anyutka.kiseleva@gmail.com

Научный руководитель — Бурлуцкая Мария Шаукатовна

В пространстве вектор-функций $z(x) = (z_1(x), z_2(x))^T$ (T — знак транспонирования) с непрерывно-дифференцируемыми компонентами рассматривается оператор L , заданный дифференциальным выражением

$$(Lz)(x) = l[z](x) = Bz'(x) + Q(x)z(x),$$

где $B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$, $Q(x) = \begin{pmatrix} 0 & q_2(x) \\ q_1(x) & 0 \end{pmatrix}$, $q_j(x) \in C[0, 1]$, отвечающий периодическим краевым условиям

$$z(0) = z(1).$$

Оператор L является частным случаем оператора Дирака [1]. Спектральные вопросы для оператора L (асимптотические формулы для собственных значений и собственных функций, вопросы базисности, теоремы равносходимости и др.) изучались в работах [2]–[6]. В [7] методом Фурье исследовалась смешанная задача для системы уравнений в частных производных, приводящая к системе Дирака, но с краевыми условиями типа Дирихле $z_1(0) = z_2(0)$, $z_1(1) = z_2(1)$. В задаче с периодическими условиями применение техники из [7] затруднительно, так как здесь собственные значения могут быть кратными, и нет необходимой информации о собственных функциях. Для использования в случае такой задачи подходов из [8], основанных на представлении суммы ряда Фурье через контурные интегралы от резольвенты соответствующего оператора, требуется исследование резольвент оператора L и простейшего (невозмущенного) оператора $(L^0 z)(x) = Bz'(x)$, $z(0) = z(1)$.

Легко устанавливается, что собственные значения оператора L^0 двукратны: $\lambda_n = 2\pi n$ ($n \in \mathbb{Z}$). Уточненная асимптотика для собственных значений оператора L приведена в [4, Теоремы 3, 4].

Обозначим $R_\lambda = (L - \lambda E)^{-1}$, $R_\lambda^0 = (L^0 - \lambda E)^{-1}$ резольвенты операторов L и L^0 (E — единичный оператор, λ — спектральный

параметр).

Теорема 1. Для $z = R_\lambda^0 f$, где $z = (z_1, z_2)^T$, $f = (f_1, f_2)^T$, справедливы следующие формулы:

$$z_k = z_k(x, \lambda) = \Omega_k^0(x, \lambda, f) + (M_{k\lambda}^0 f_k)(x), \quad k = 1, 2, \quad \text{где}$$

$$\Omega_1^0(x, \lambda, f) = \frac{e^\lambda}{1-e^\lambda} (e^{-\lambda t}, f_1(t)) e^{\lambda x}, \quad \Omega_2^0(x, \lambda, f) = \frac{1}{1-e^\lambda} (e^{\lambda t}, f_2(t)) e^{-\lambda x},$$

$$(M_{k\lambda}^0 f_k)(x) = (-1)^{k-1} \int_0^x e^{(-1)^{k-1} \lambda(x-t)} f_k(t) dt, \quad (f, g) = \int_0^1 f(t)g(t) dt.$$

В докладе также будет представлена удобная для дальнейших исследований формула для резольвенты оператора L и оценки ее компонент.

Литература

1. Левитан Б. М., Саргсян И. С. Операторы Штурма-Лиувилля и Дирака. М.: Наука, 1988.
2. Джаков П. В., Митягин Б. С. Зоны неустойчивости одномерных периодических операторов Шредингера и Дирака // Успехи мат. наук. 2006. Т. 61, № 4. С. 77–182.
3. Баскаков А. Г., Дербушев А. В., Щербаков А. О. Метод подобных операторов в спектральном анализе несамосопряженного оператора Дирака с негладким потенциалом // Изв. РАН. Серия матем. 2011. Т. 75, № 3. С. 3–28.
4. Бурлуцкая М. Ш., Корнев В. В., Хромов А. П. Система Дирака с недифференцируемым потенциалом и периодическими краевыми условиями // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2012. Т. 52, № 9. С. 1621–1632.
5. Савчук А. М., Садовничая И. В. Асимптотические формулы для фундаментальных решений системы Дирака с комплекснозначным суммируемым потенциалом // Дифференциальные уравнения. 2013. Т. 49, № 5. С. 573–584.
6. Savchuk A. M., Shkalikov A. A. Dirac operator with complex-valued summable potential // Mathematical Notes. 2014. V. 96, № 5. P. 777–810.
7. Бурлуцкая М. Ш. Классическое и обобщенное решение смешанной задачи для системы уравнений первого порядка с непрерывным потенциалом // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2019. Т. 59, № 3. С. 380–390.
8. Бурлуцкая М. Ш., Хромов А. П. Резольвентный подход для волнового уравнения // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2015. Т. 55, № 2. С. 51–63.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕЧЕНИЯ В НЕВРОЛОГИИ И ПСИХИАТРИИ, ОСНОВАННЫХ НА ПОИСКЕ ДОСТОВЕРНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ДАННЫХ

Кодрян Максим Станиславович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: max-kodr@rambler.ru

Научный руководитель — Сенько Олег Валентинович

Работа посвящена разработке метода поиска и верификации закономерностей, связывающих прогресс лечения больных, страдающих психическими расстройствами, с принимаемыми препаратами и конкретными биологическими показателями.

Метод *оптимальных достоверных разбиений* (ОДР) [1] позволяет производить поиск и статистическую верификацию различных закономерностей в данных посредством некоторого *функционала качества* закономерности. Вычисленное по имеющейся выборке значение функционала характеризует «силу» присутствующей связи в данных. Статистическая верификация найденной закономерности проводится при помощи *перестановочного теста*, который заключается в перемешивании переменных в данных, переподсчёте значения функционала качества и сравнении его значения на исходной выборке с значениями, полученными на фиктивных выборках с перемешанными переменными. Метод также позволяет учитывать *эффект множественного тестирования*, подразумевающий повышение вероятности совершить ошибку первого рода при верификации множества закономерностей, то есть принять случайную связь за статистическую зависимость.

Основным недостатком данного метода, однако, считается его вычислительная сложность, в связи с которой метод, как правило, применяется для выявления лишь одно- и двумерных зависимостей. В данной работе предлагается расширить применимость метода ОДР путём внедрения технологии *непараметрических комбинаций* (НПК) [2]. НПК используются для проверки комплексных гипотез путём агрегации результатов проверки маргинальных гипотез, составляющих исходную комплексную, и также базируются на перестановочном тестировании. Комбинирование данной технологии с методом ОДР является естественным и позволяет производить по-

иск и верификацию сложных многофакторных закономерностей в данных.

Модифицированный метод ОДР был применён для решения реальной прикладной задачи в психиатрической медицине: по имеющейся выборке, содержащей данные о больных, страдающих различными психическими расстройствами, требуется установить достоверные связи между прогрессом лечения и принимаемыми препаратами, а также биологическими показателями. В силу того, что состояние пациента описывается многомерным вектором оценок по различным критериям (не говоря о множестве биологических факторов и типов медицинских препаратов), для выявления объективных связей требуется осуществлять поиск именно многомерных зависимостей, что успешно осуществляется с помощью технологии НПК. Таким образом, были установлены и верифицированы некоторые интересные для медиков закономерности, которые могут послужить основой для разработки более эффективных методов лечения в психиатрии и неврологии.

Литература

1. Сенько О. В. Перестановочный тест в методе оптимальных разбиений // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2003. Т. 43, № 9. С. 1422–1431.
2. Pesarin, Fortunato, and Luigi Salmaso. Permutation tests for complex data: theory, applications and software. John Wiley & Sons, 2010.

РАСПОЗНАВАНИЕ СТИЛЯ ПРОИЗВЕДЕНИЙ ЖИВОПИСИ ПО ИХ ИЗОБРАЖЕНИЯМ С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ковалев Валентин Юрьевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: kovalev.vyu@google.com

Научный руководитель — Шишкин Алексей Геннадиевич

В изобразительном искусстве существует огромное разнообразие стилей, начиная с ренессанса и заканчивая стрит-артом. Во многих случаях они не имеют четко определенных границ, что в ряде случаев затрудняет их идентификацию даже экспертами. Поэтому задача

автоматического определения стиля картин является весьма актуальной в настоящее время. В целом ее можно рассматривать как составную часть другой задачи, заключающейся в определении авторства картин по их цифровым изображениям.

Целью данной работы является построение модели и разработка на ее основе программной системы для определения стиля произведения живописи по его цифровому изображению, а также изучение различных факторов, влияющих на эффективность решения поставленной задачи.

В качестве входного набора данных был использован большой набор картин [1] с частичной разметкой. Большая часть данных собрана с сайта wikiart.org. Всего в наборе представлено 103250 картин, которые относятся к 136 стилям. Все данные были предварительно обработаны: картины, которые не были полностью размечены, исключались из дальнейшего анализа (их количество – 27392). Для оставшихся изображений были изменены размеры (меньший размер равен 224 пикселям). При изучении распределения картин по стилям выяснино, что их большая часть относится к 5 стилям, которые и были выбраны в качестве целевых классов. Окончательное число изображений, пригодных для анализа, составило 43242, каждое из которых относилось к одному из 5 стилей: импрессионизм, реализм, романтизм, экспрессионизм, постимпрессионизм. Вследствие ограниченности имеющихся вычислительных мощностей было оставлено только 25% имеющихся данных – 10810 изображений с сохранением распределения картин по стилям.

Для создания классификатора использовалась заранее обученная для классификации на 1000 классов на наборе данных ImageNet [2] архитектура сверточной сети ResNet [3], последний слой которой был изменен на полно связанный слой с числом выходов, равному числу стилей – в данном случае – 5. Веса данной нейросети были изменены при обучении в соответствии с имеющимися данными. После завершения процесса обучения, были проведены эксперименты по ускорению и уменьшению размера графа вычислений, используя алгоритмы обрезания весов (pruning) нейронной сети.

Помимо этого, были проведены эксперименты с использованием дополнительных данных о картине, из которых видно, что их использование позволяет повысить эффективность классификации. На основе нейросетевой модели была разработана программная система, позволяющая для входного изображения произведения живописи быстро и с хорошей точностью определять его стиль. Также, в

качестве готового решения представлен Telegram бот, который способен провести классификацию входного изображения по пяти стилям используя предложенный алгоритм.

В результате данной работы был реализован алгоритм, который решает поставленную задачу с точностью 52,03% (табл. 1) и обладает рядом существенных отличий от уже имеющихся решений. Так, для определения стиля произведения живописи были использованы методы глубокого обучения. Кроме того, большой объем входных данных был собран из открытых источников, в то время как в аналогичных исследованиях обычно использовались проприетарные базы данных, с относительно небольшим числом изображений.

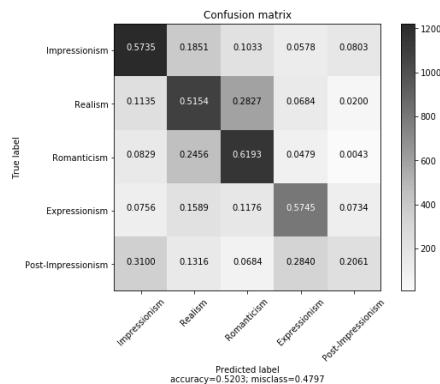


Таблица 1. Матрица ошибок реализованного алгоритма.

Литература

1. Painter by numbers kaggle competition
www.kaggle.com/c/painter-by-numbers/
2. ImageNet database
<http://www.image-net.org>
3. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun. Deep Residual Learning for Image Recognition // arXiv:1512.03385 [cs.CV], 2015

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ СИСТЕМ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОТ ТАРГЕТИРОВАННЫХ АТАК

Круглова Светлана Ивановна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ms.kr666@mail.ru

Научный руководитель — Применко Эдуард Андреевич

Одним из наиболее широко распространенных типов атак на биометрические системы идентификации являются так называемые спуфинг-атаки или состязательные атаки [1], заключающиеся в подмене биометрического образа. Состязательные атаки преобразуют биометрический образ так, чтобы он позволял получить доступ к системе, и одновременно в некотором смысле не раскрывал факт атаки.

Выявление слабых сторон системы распознавания и возможностей состязательных атак приводит к эффективным средствам защиты [2]. В данной работе исследуется возможность построения устойчивого к состязательным атакам метода биометрической идентификации на основе выделения характеристик с помощью модифицированного алгоритма LBP. Эффективность предложенного метода оценивается с помощью ошибок 1 и 2 рода, а именно, полученные значения ошибок для модифицированного алгоритма сравниваются с результатами системы идентификации, построенной на основе стандартного алгоритма LBP.

Метод LBP основан на операторе, применяемом к пикселям изображения [4]. Оператор сопоставляет окрестность пикселя с двоичным представлением выбранной области. Пусть $A = (a_{ij})_{m \times n}$ — матрица яркости изображения, $a_{ij} \in [0, 255]$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$. $P = (p_{ij})_{l \times l}$ — подматрица изображения A , к которой применяется оператор LBP, l — параметр оператора LBP, определяющий размер окрестности пикселя и, соответственно, длину итогового двоичного вектора, l — нечетное. Оператор LBP: $[0, 255]^{l \times l} \rightarrow V_{4(l-1)}$ действует на подматрицу P функцией:

$$LBP(P) = \sum_{t=0}^{4(l-1)} 2^t s(b_t - p_{i_c j_c}),$$

где (i_c, j_c) — координаты центрального пикселя P с яркостью $p_{i_c j_c}$, b_t — яркость пикселя с номером t из множества

$B = p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1l}, p_{2l}, \dots, p_l, p_{l,l-1}, \dots, p_{l1}, p_{l-1,1}, \dots, p_{21}$ мощности $4(l-1)$, которое состоит из граничных элементов подматрицы P . $s(x)$ - функция Хевисайда.

Для модификации метода LBP предлагается для каждого изображения выработать перестановку $\sigma \xrightarrow{U} \mathcal{S}_n$, где $n = 4(l-1)$, U – равномерное распределение на множестве перестановок \mathcal{S}_n . В соответствии с этой перестановкой изменяется множество B . Таким образом функция оператора LBP принимает вид:

$$LBP(P) = \sum_{t=0}^{4(l-1)} 2^t s(b_{\sigma(t)} - p_{i_c j_c}).$$

В алгоритме распознавания исходное изображение разделяется на подблоки фиксированного размера $(m' \times n')$, для каждого подблока формируются подматрицы P . К подматрицам P применяется оператор LBP, который возвращает для каждой подматрицы некоторый двоичный вектор. Все полученные вектора переводятся в десятичные числа и объединяются в гистограмму. Сформированная гистограмма соответствует рассматриваемому блоку изображения. Все гистограммы блоков конкатенируются в одну гистограмму исходного изображения, которая называется локальными бинарными гистограммой(LBPH) и используется для дальнейшей классификации изображений, с помощью метода ближайшего соседа, который определяет наименьшее расстояние между характеристиками по метрике χ^2 :

$$d(H_1, H_2) = \sum_i \frac{(H_1(i) - H_2(i))^2}{H_1(i) + H_2(i)}.$$

Исследование модифицированного алгоритма проводилось на основе базы данных, разработанной компьютерной лабораторией Кембриджского университета (AT&T Database).

В рамках исследования сравниваются ошибки 1 и 2 рода при использовании стандартного и модифицированного алгоритмов LBP при построении системы аутентификации, описанной ранее. Так же были построены ошибки обоих родов для случая, когда для рассматриваемой базы данных используется один способ построения характеристик, а для входного изображения другой. Результаты исследования при $l = 3$ представлены в таблице 3.

Алгоритм LBP для базы	Алгоритм LBP для образа	Порог	Ошибка 1 рода, %	Ошибка 2 рода, %
Станд.	Станд.	50	24.4	11.3
	Станд.	55	58.5	6.1
Станд.	Модиф.	50	0	100
	Модиф.	55	1.8	97.5
Модиф.	Модиф.	50	24.4	11.3
	Модиф.	55	58.5	6.1
Модиф.	Станд.	50	0	100
	Станд.	55	1.3	96.2

Таблица 3: Таблица результатов идентификации для стандартного и предложенного методов при $l = 3$

Результаты показывают принципиальную возможность противодействия состязательным атакам с помощью предлагаемого подхода.

Литература

1. Лаврентьева Г. М., Новосёлов С. А., Козлов А. В., Кудашев О. Ю., Щемелинин В. Л., Матвеев Ю. Н., Де Марсико М. Методы детектирования спуфинг-атак повторного воспроизведения на голосовые биометрические системы. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 428–436.
2. Määttä J., Hadid A., Pietikäinen M. Face spoofing detection from single images using micro-texture analysis. // 2011 international joint conference on Biometrics (IJCB). IEEE. 2011. P. 1–7.
3. Chingovska I., Anjos A., Marcel S. On the effectiveness of local binary patterns in face anti-spoofing. // 2012 BIOSIG-proceedings of the international conference of biometrics special interest group (BIOSIG). IEEE. 2012. P. 1–7.
4. Ahonen T., Hadid A., Pietikäinen M. Face description with local binary patterns: Application to face recognition. // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2006. Т. 28. № 12. P. 2037–2041.

**СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ЧИСЛЕННОГО
ПОДХОДОВ В ИССЛЕДОВАНИИ МОДЕЛИ
СТАЦИОНАРНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ**

*Куркин Максим Леонидович,¹
Гаряева Эльвина Очировна, Косакин Даниил Юрьевич
Данг Куинь Ны²*

1: Студент, Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

2: Студент, факультет компьютерных наук НИУ ВШЭ, Москва, Россия

E-mail: maxkurkin@inbox.ru, eogaryeva@edu.hse.ru, danburnout@gmail.com,
dqnhu00@gmail.com

Научный руководитель — Никитин Алексей Антонович

Настоящая работа посвящена исследованию поведения модели (Ulf Dieckmann, Richard Law) [1] стационарных биологических сообществ в состоянии равновесия, описываемом неизменностью по времени средней ожидаемой плотности вида N и средней ожидаемой плотности пар особей, расположенных на расстоянии ξ друг от друга: $C(\xi)$. Также используется приближение ожидаемой плотности троек $T(\xi, \xi')$. В случае аналитического решения модель можно описать следующей системой интегральных уравнений и замыканием для неё:

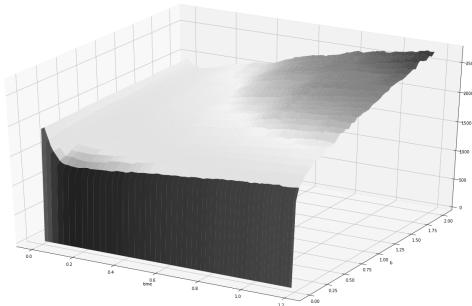
$$\begin{cases} 0 = \frac{dN}{dt} = (b - d)N - d' \int_{\mathbb{R}} C(\xi) \omega(\xi) d\xi \\ 0 = \frac{dC(\xi)}{dt} = bm(\xi)N + \int_{\mathbb{R}} bm(\xi') C(\xi + \xi') d\xi' - (d + d' \omega(\xi)) C(\xi) \\ \quad - \int_{\mathbb{R}} d' \omega(\xi') T(\xi, \xi') d\xi' \\ T(\xi, \xi') \approx \frac{1}{\alpha + \gamma} \left(\alpha \frac{C(\xi)C(\xi')}{N} + \beta \frac{C(\xi)C(\xi - \xi')}{N} + \gamma \frac{C(\xi')C(\xi - \xi')}{N} - \beta N^3 \right) \end{cases}$$

Эта система решается численным методом рядов Неймана, сходимость которого обоснована в работе [2].

При численном же подходе модель описывается стохастическим Пуассоновским процессом, подробно описанным в статье [3]. Для точного сравнения скорости и точности аналитического и численного подходов требуется определить норму, позволявшую бы прерывать симуляцию по достижении состояния, достаточно приближенного к состоянию равновесия, а так же проанализировать погрешность под-

ходов в зависимости от параметров $b, d, \alpha, \beta, \gamma$. Получены и проанализированы результаты численного подхода: при $\frac{b}{d} < 1$ популяция вырождается и значения N, C быстро стремятся к нулю.

Иллюстрации



Значение средней плотности C в зависимости от параметра b , полученное в результате симуляций. Видно, что значение с течением времени стабилизируется и начинает возрастать после короткого провала в начале, а с увеличением параметра b растёт и скорость уплотнения популяции.

Литература

1. Law R., Dieckmann U. 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. Николаев М. В., Никитин А. А. О существовании и единственности решения одного нелинейного интегрального уравнения // Доклады Академии наук. — 2019. — Т. 488, № 6. — С. 501–507.
3. Галкин Е. Г., Никитин А. А. Стохастическая геометрия для моделирования популяционной динамики: модель Дикмана с неподвижными особями // Вестник Моск. ун-та. Сер. 15 — 2020. — № 2. — С. 11–18.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ В ДАННЫХ О ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ

Лебедева Мария Александровна

Студент, магистр

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: mash.lebedeva2010@yandex.ru

Научный руководитель — Королев Виктор Юрьевич

Анализ загрязнения почвы, важного параметра состояния окружающей среды, на практике осложняется не только природой своей изменчивости, но и наличием пропущенных значений, которые препятствуют применению статистических методов работы с временными рядами. Алгоритмы обработки данных часто очень чувствительны к наличию пропусков, поскольку они могут серьезно исказить результаты анализа. В частности, статистические тесты и пороги для экстремальных значений загрязнения, основанные на неполных данных, могут быть неверными [1]. Следовательно, требуется эффективный метод для определения количества загрязняющих веществ в почве. В данном исследовании рассматриваются различные подходы для заполнения пропусков с использованием алгоритмов машинного обучения. Для построения и тестирования моделей были взяты данные по содержанию тяжелых металлов, таких как свинец (Pb) и кадмий (Cd), так как они являются двумя наиболее часто встречающимися загрязняющими веществами [4]. В работе были использованы временные ряды концентрации свинца и кадмия по Воронежскому и Приокско-Террасному биосферным заповедникам за период с 6 декабря 1983 года по 30 сентября 2017 года.

В исследовании применяются регрессионные методы машинного обучения для заполнения непрерывных значений загрязнения почвы. В первой части используются такие алгоритмы, как k ближайших соседей (k-NN), случайный лес (RF), метод опорных векторов (SVM) и экстремальный градиентный бустинг (XGBoost). Рассматривается применение этих подходов к реальным данным о количестве тяжелых металлов с различным числом пропущенных значений — от 1 до 40%. Также считаются метрики качества RMSE (среднеквадратичная ошибка) и MAE (средняя абсолютная ошибка). В результате сравнительного анализа можно отметить, что предсказательная способность значительно снижается с увеличением недостающих значений. Тем не менее для методов XGBoost и RF она

остается на более высоком уровне, то есть ошибка растет медленнее по сравнению с k-NN и SVM. Более того, скорость обучения для всех алгоритмов относительно быстрая, поэтому наиболее точные из них вполне можно использовать для решения задач в реальном времени.

Во второй части данной работы рассматриваются архитектуры рекуррентных нейронных сетей для заполнения пропущенных значений содержания свинца и кадмия в почве. В частности, используется архитектура LSTM (Long Short-Term Memory) с различными конфигурациями гиперпараметров, таких как количество слоев, число нейронов, алгоритм оптимизации. Dropout rate выбирается в качестве случайного числа от 0 до 0,3. Нейронная сеть создается для каждой возможной архитектуры с учетом всех ограничений, в общей сложности около 150 сетей. В качестве функции потерь была выбрана среднеквадратичная ошибка. Обучение прекращается, когда прошло больше 1000 эпох или если функция потерь не уменьшалась в течение 35 эпох. Наилучшая точность, с точки зрения RMSE и MAE, достигается для конфигураций с двумя скрытыми слоями из 50 нейронов и оптимизаторами Adam / Adamax.

Предложенные в первой части исследования методы машинного обучения также могут быть успешно использованы для обработки информационных потоков в режиме реального времени [3]. Например, это может быть полезно для телекоммуникационных нагрузок или трафика. С другой стороны, нейронные сети, несмотря на достаточно медленную скорость обучения, дают более высокую точность прогнозирования. Соответственно, данный подход может найти свое применение в финансах, метеорологии, физике и медицине [2].

Литература

1. Горшенин А. К., Королев В. Ю. // Определение экстремальности объемов осадков на основе метода превышения порогового значения. Информ. и ее примен. 2018. № 12(4). С. 16–24.
2. Akkar H., Jasim F. // Intelligent training algorithm for artificial neural network EEG classifications. Int. Journ. Intell. Syst. Appl. (IJISA). 2018. No. 10(5). P. 33–41.
3. Gorshenin A., Kuzmin V. // On an interface of the online system for a stochastic analysis of the varied information flows. AIP Conf. Proc. 1738(220009), 2016.
4. Loux N., Hassan S., Chafin C. // Empirical models of Pb and Cd partitioning using data from 13 soils, sediments, and aquifer materials. U.S. EPA, 2005.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКЛАДКИ КЛАВИАТУРЫ МЕТОДОМ ИМИТАЦИИ ОТЖИГА

Лебедь Федор Сергеевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: fedorlebed.cs@yandex.ru

Научный руководитель — Дьяконов Александр Геннадьевич

Клавиатура является наиболее популярным средством ввода данных. Подавляющее большинство людей, взаимодействующих с полноразмерными клавиатурами, пользуются раскладкой QWERTY. Однако эта раскладка не была оптимизирована для скорости набора, минимизации травм или даже удобства пользователя, — она явилась решением проблемы задевания рычажков первых печатных машинок. Для современных клавиатур эта проблема неактуальна. С течением времени были предложены альтернативные раскладки: Dvorak, Colemak, Arensito и другие. Однако они были выбраны из интуитивных соображений и без построения математической модели и оптимизации.

В данной работе предлагается решение задачи оптимизации раскладки с помощью метода дискретной оптимизации. Для этого была построена математическая модель взаимодействия рук и клавиатуры, определен критерий качества раскладки и предложен метод оптимизации.

Модель взаимодействия рук и клавиатуры состоит из следующих постулатов:

- За нажатие каждой клавиши отвечает определенный палец;
- Для каждого пальца определена клавиша, с которой он начинает и на которую он возвращается, если он не отвечает за нажимаемую в данный момент клавишу;
- Текст набирается последовательно символ за символом.

В качестве критерия качества было взято среднее расстояние, пройденное пальцами за время набора текста:

$$L_T(P) = \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N L_{c_i}(P), \quad (1)$$

где T — текст, N — длина текста, P — перестановка клавиш, c_i — i -я диаграмма текста.

Для решения поставленной оптимизационной задачи был применен метод имитации отжига [1], заключающийся в случайном буждании по пространству решений.

Результаты применения предложенного метода оптимизации сравнивались против наиболее распространённых раскладок клавиатуры (QWERTY, Dvorak, Colemak, Arensito) на корпусе английского текста [2]. Полученные в результате оптимизации раскладки превзошли существующие аналоги в выбранном функционале качества.

Литература

1. Kirkpatrick, S.; Gelatt Jr, C. D.; Vecchi, M. P. (1983). "Optimization by Simulated Annealing". *Science*. 220 (4598): P.671–680.
2. Corpus of Contemporary American English
<https://www.english-corpora.org/coca/>

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ НЕРАВЕНСТВЕ, СВЯЗЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ И НЕЦЕНТРАЛЬНЫЙ АБСОЛЮТНЫЕ МОМЕНТЫ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

*Макаренко Владимир Александрович,
Габдуллин Руслан Айдарович*

Аспирант, аспирант

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: vlamakarenko@mail.ru, ruslixag@gmail.com

Научный руководитель — Шевцова Ирина Геннадьевна

В работе доказана следующая теорема.

Теорема 1. Для любого $0 < t < 1$

$$\inf_{X: \mathbb{E}X=t, \mathbb{E}X^2=1} \frac{\mathbb{E}|X-t|^3}{\mathbb{E}|X|^3} = N(t) := \min\{N_1(t), N_2(t)\},$$

$$N_1(t) = \frac{u^2(t) + 1}{a(t)\sqrt{1-u^2(t)} - 2u(t)}, \quad \frac{1}{N_2(t)} = \frac{6t^2}{1-t^2} \cdot \frac{b(t) \cdot v(t) + 1}{v^2(t) + 2} + 1,$$

$$a(t) = \frac{t^3 + 3t(1-t^2)}{(1-t^2)^{3/2}}, \quad b(t) = \frac{4t^2 - 3}{6t\sqrt{1-t^2}},$$

$$u(t) = \min\{u_1(t), 2t^2 - 1\},$$

$$v(t) = \begin{cases} \frac{2t^2 - 1}{\sqrt{t^2(1-t^2)}}, & t_0 \leq t < 1, \\ \frac{-1 + \sqrt{2b^2(t) + 1}}{b(t)}, & 0 < t < t_0, \end{cases}$$

$u_1(t)$ – единственное решение уравнения

$$\frac{4(1-u^2)^3}{u^2(3-u^2)^2} = a^2(t)$$

на интервале $-1 < u < 0$, точка $t_0 = \sqrt{\frac{5}{6} - \frac{\sqrt{7}}{6}} = 0.626398\dots$ – единственное решение уравнения

$$\frac{3(2t^2 - 1)}{4t^2 - 3} \cdot \left(\sqrt{2b^2(t) + 1} + 1 \right) = 1$$

на интервале $0 < t < \frac{\sqrt{2}}{2}$.

Литература

1. Шевцова И. Г. Моментное неравенство с применением к оценкам скорости сходимости в глобальной ЦПТ для пуассон-биномиальных случайных сумм // Теория вероятностей и ее применения. 2017. Т. 62, вып. 2. С. 345–364.

О ГРАФАХ С ПОЧТИ РЕБЕРНО НЕПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ОСТОВНЫМИ ДЕРЕВЬЯМИ

Мазуренко Анастасия Павловна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: anapmazurenko@gmail.com

Научный руководитель – Селезнева Светлана Николаевна

Деревом называется связный граф, не содержащий циклов. Деревья – достаточно просто устроенные графы, но, несмотря на это, они встречаются в огромном количестве прикладных задач [1]. Особое место среди деревьев занимают остовные деревья графов: подграф на всех вершинах, являющийся деревом. Они используются в задачах проектирования линий электропередачи, трубопроводов, дорог, сетей компьютеров и др. В работе рассматривается задача нахождения почти реберно–непересекающихся остовных деревьев в связных графах. Пусть дан связный граф G и натуральные числа k и r .

Требуется вывести k оствовых деревьев графа G , удовлетворяющих свойствам, описанным ниже, или доказать, что таких не существует. Требуемые свойства:

1. существует не более r ребер графа G , которые могут входить в любое количество оствовых деревьев;
2. остальные ребра графа G могут входить не более чем в одно из k оствовых деревьев.

В 1961 году К. Нэш-Уильямсом [2] и независимо У. Т. Татом [3] был доказан критерий существования в графе k реберно–непересекающихся оствовых деревьев (т.е. для $r = 0$). Они доказали, что граф содержит k реберно–непересекающихся оствовых деревьев тогда и только тогда, когда для любого разбиения P его вершин на $|P|$ множеств существует хотя бы $k(|P| - 1)$ ребер между вершинами разных множеств разбиения.

В докладе представляется полученный критерий существования в графе k почти реберно–непересекающихся оствовых деревьев для $r = 1$.

Литература

1. Емеличев В. А., Мельников О. И., Сарванов В. И., Тышкевич Р. И. Лекции по теории графов. М.: Либроком, 2009. № 36.
2. Nash-Williams C. St. J. A. Edge-disjoint spanning trees of finite graphs // J. London Math. Soc. 1961. P. 445–450.
3. Tutte W. T. On the problem of decomposing a graph into connected factors // J. London Math. Soc. 1961. P. 221–230.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОХОДОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ.

Меркулов Михаил Владимирович

Студент

Факультет №8 Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

E-mail: hungryangry666@gmail.com

Научный руководитель — Филимонов Александр Борисович

Доход пользователей играет значительную роль во многих прикладных задачах. Многие политологические, социологические и мар-

кетинговые модели используют доход как один из ключевых показателей респондента. В данной работе представлен новый способ прогнозирования дохода пользователя, основанный на использовании алгоритма Nod2Vec, для случайного блуждания по графам социальных сетей, и обучении классификатора Random forest по данным блуждания и характеристикам сетевого профиля.

Материалы резюме были получены через публично доступный API ресурса HeadHunter.ru, сетьевая информация о сетевых профиях была взята через публично доступный API ресурса VK.com за 2018 год. Для сбора были использованы запросы по заранее составленному словарю профессий: менеджер, программист, бухгалтер, инженер, слесарь и т.д. Публично доступный профиль ресурса HeadHunter.ru не предоставляет информации о контактных данных и имени пользователя, но содержит точные данные об образовании, поле и возрасте, чего достаточно для поиска в социальных сетях. Поскольку поиск по данным характеристикам задает достаточно широкий коридор, в среднем 10-20 страниц на каждый запрос, для омонимичных пользователей было реализовано дополнительное сопоставление фотографии профиля социальной сети и резюме при помощи компонента openface. Предложенный метод имеет высокие характеристики точности, но низкую полноту, удалось сопоставить порядка 3,000 резюме из 10,645. Для полученных профилей были собраны данные, включающие следующие атрибуты: ФИО, дата рождения, пол, возраст, данные об образовании, место жительства, место работы, должность, заработка плата, группы в социальных сетях, друзья и аналогичная информация для друзей.

Полученные профили были полностью анонимизированы, данные об именах были исключены из анализа, данные о дне рождения были преобразованы в возраст. Данные об образовании и городе проживания были также предобработаны. Университеты прокодированы в соответствии с рейтингом: для университетов из первой десятки ставился в соответствие код - 2, для вузов с 11 по 40 код - 1, для остальных код - 0.

Модель обученная на основе данных случайного блуждания (embedings) и таких признаков как пол, возраст и образование и т.д. при двух-классовой классификации показывает хорошие результаты, до 77.18%. Увеличивая точность базовой модели, обученной без данных случайного блуждания на 5-7%.

РАНДОМИЗИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗРЕЖЕНИЯ ГРАФОВ

Михайлов Арсений Денисович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: sarasderas@gmail.com

Научный руководитель — Тиртышников Евгений Евгеньевич

Разрежение графа - процесс приближения исходного графа графом с меньшим числом вершин и сохранением некоторых свойств. Эта задача широко используется в различных областях, таких как физика, машинное обучение, дискретная математика и так далее. Соответственно и слово «приближение» может пониматься совершенно по-разному, в зависимости от изначальной постановки задачи.

Для решения проблем в области линейной алгебры и спектральной теории графов вводится понятие спектрального разрежения:

Пусть имеется простой взвешенный граф $G = (V, E, w)$, $|V| = n$, $|E| = m$, $w_{(u,v)}$ – вес ребра $(u, v) \in G$. Лапласианом графа G называется:

$$L \in \mathbb{R}^{n \times n}, L = D - A, \quad (1)$$

где A - взвешенная матрица смежности G , D - диагональная матрица: $D(v, v) = \sum_z w_{(v,z)}$, $z \in G$ (если ребро (v, z) отсутствует, то его вес полагается равным 0).

Пусть $H = (V, \tilde{E}, \tilde{w})$ - подграф G , $|\tilde{E}| = \tilde{m}$, и его Лапласиан - \tilde{L} . Тогда H является *спектральным разрезителем* G (с точностью $\varepsilon > 0$), если $\tilde{m} < m$ и:

$$(1 - \varepsilon)x^T Lx \leq x^T \tilde{L}x \leq (1 + \varepsilon)x^T Lx, \forall x \in \mathbb{R}^n \quad (2)$$

Причём чем меньше \tilde{m} , тем лучше.

Ориентируем все ребра графа G произвольным образом. Тогда можно составить его матрицу инцидентности:

$$B(e, v) = \begin{cases} 1, & \text{если } v \text{ - начало } e \\ -1, & \text{если } v \text{ - конец } e \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (3)$$

Так же введём диагональную весовую матрицу $W \in \mathbb{R}^{m \times m}$,

$W(e, e) = w_e$. Существует представление Лапласиана:

$$L = B^T W B = B^T W^{1/2} W^{1/2} B \quad (4)$$

На основе алгоритма RowSampleL2 из [1], был построен алгоритм спектрального разрежения графов:

Algorithm 1: GSS($G(V, E, w), \varepsilon$)

Построение $B(e, v)$

Построение $W(e, e)$

$C = W^{1/2} B$

Выбор констант c, θ

$R = d^\theta$

$D = \text{RowSampleL2}(C, R, \varepsilon)$

return $D^T D$

Также была сформулирована и доказана теорема, гарантирующая работу алгоритма:

Теорема 1. $\tilde{L} = \text{GSS}(G(V, E, w), \varepsilon)$ с вероятностью $1 - \frac{1}{\sqrt{n}}$ является спектральным разрежителем графа G с точностью ε , и имеет $O(n \log n \varepsilon^{-2})$ ребер. Асимптотика алгоритма: $O(n^3 \varepsilon^{-2}) \approx O(m \sqrt{m} \varepsilon^{-2})$.

Было проведено сравнение **GSS** с алгоритмом **Sparsify** из [2] (один из лучших алгоритмов в области). Результаты сравнения приведены в таблице:

Алгоритм	Время	Ребра	p	ε
Sparsify	$\tilde{O}(m \varepsilon^{-2})$	$9C^2 n \log n \varepsilon^{-2}$	$1/2$	$(1/\sqrt{n}; 1]$
GSS	$\tilde{O}(m \sqrt{m} \varepsilon^{-2})$	$O(n \log n \varepsilon^{-2})$	$1 - \sqrt{n}^{-1}$	$(0, \infty)$

Литература

1. Mu Li, Gary L. Miller, Richard Peng. Iterative Row Sampling. April 5, 2013. [arXiv:1211.2713v2]
2. Daniel A. Spielman and Nikhil Srivastava. Graph sparsification by effective resistances. Proceedings of the 40th Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC), pages 563–568, 2008

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА SVP ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕНЗОРА

Мордвинцев Михаил Константинович

студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: mordvincevmisha@mail.ru

Научный руководитель — Тиртышников Евгений Евгеньевич

Для многих современных проблем (например для создания рекомендательных систем коллаборативной фильтрации [2]) необходимо решать задачу дополнения матрицы - по известным значениям восстановить матрицу, имеющую заданный ранг. Одно из возможных обобщений этой задачи для случая тензора: найти тензор, совпадающий с заданным в определенном множестве индексов, чтобы он имел ранги Таккера не выше данных.

Разложением Таккера тензора X называется представление X в виде:

$$X(i_1, i_2, \dots, i_n) = \sum g(\alpha_1, \dots, \alpha_n) u_1(i_1, \alpha_1) \dots u_n(i_n, \alpha_n) \quad (1)$$

Мощности множеств $r_1 = |\{\alpha_1\}|, \dots, r_n = |\{\alpha_n\}|$ называются рангами разложения Таккера, их минимальные значения среди всех возможных разложений Таккера - рангами Таккера тензора X .

Согласно [1] для любого тензора $a(i_1, \dots, i_n)$ над произвольным полем \mathbb{P} существует минимальное разложение Таккера, для которого ранги r_k совпадают с рангами Таккера данного тензора и равны рангам матриц развертки a_k по измерениям данного тензора.

Определим задачу заполнения неизвестных значений тензора.

Пусть $P_\Omega(X) : \mathbb{R}^{m_1 \times \dots \times m_n} \rightarrow \mathbb{R}^{m_1 \times \dots \times m_n}$ - линейное преобразование, которое сохраняет значения X , соответствующие индексам из множества Ω . Более формально, $P_\Omega(X)_{i_1 i_2 \dots i_n} = X_{i_1 i_2 \dots i_n}$ при $(i_1, i_2, \dots, i_n) \in \Omega$ и $P_\Omega(X)_{i_1 i_2 \dots i_n} = 0$ иначе.

Тогда задачу заполнения неизвестных значений тензора $X \in \mathbb{R}^{m_1 \times \dots \times m_n}$ с множеством индексов Ω , которые необходимо сохранить, и вектором натуральных чисел l_1, \dots, l_n можно сформулировать таким образом: найти Y такой, что $P_\Omega(Y) = P_\Omega(X)$ и $r_i \leq l_i \forall i = \overline{1, n}$, где r_i - ранги Таккера тензора Y .

Тензор Y буду считать заполненным тензором - ответом на поставленную задачу.

В [2] приводится алгоритм, называющийся SVP, решающий поставленную задачу для матриц. Обобщая его, я получил алгоритм со схожей идеей для тензоров. Ключевой идеей матричного алгоритма SVP является поиск наилучшего приближение на множестве матриц с рангом не выше заданного. В случае тензоров получение подобного приближения на множестве тензоров с рангами Таксера не выше заданных затруднительно, однако можно получить достаточно хорошее приближение с помощью ортогонального разложения Таксера. Основным моим результатом является реализация изложенной идеи в виде следующего алгоритма:

Algorithm 2: Алгоритм для дополнения тензора с маской M

Result: X

$$X^0 = 0$$

η_t - итерационный параметр, соответствующий шагу t

k_1, \dots, k_n - ранг, который мы хотим получить

M - "маска" - тензор, состоящий из 0, если элемент тензора не сохраняется, и 1, если его нужно сохранить

A - исходный тензор

while $\|M * (X^t - A)\|_F \geq \varepsilon$ **do**

$$Y^t = X^t - \eta_t * M * (X^t - A)$$

Вычисляем ортогональное разложение Таксера,

производим редукцию к разложению с рангами k_1, \dots, k_n ,

перемножаем элементы разложения, получаем тензор Y'

$$X^{t+1} = Y'$$

end

В этой работе получен следующий результат: при выборе Ω по схеме Бернули с плотностью p выше некоторой константы и при выполнении некоторых ограничений на исходный тензор, алгоритм сходится с вероятностью не менее $(1 - \exp(-r \log r))^d$, где r - меньшее измерение тензора, d - количество измерений.

Литература

1. Тыртышников Е. Е. Матрицы, тензоры, вычисления //М.: МГУ им. МВ Ломоносова. – 2013.
2. Jain P., Meka R., Dhillon I. S. Guaranteed rank minimization via singular value projection //Advances in Neural Information Processing Systems. – 2010. – С. 937-945.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРВОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОМЕНТА ОТ ПАРАМЕТРОВ ЯДЕР В МОДЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ

Николаев Михаил Викторович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: nikolaev.mihail@inbox.ru

Научный руководитель — Никитин Алексей Антонович

В данной работе рассматривается модель стационарных биологических сообществ, предложенная Ульфом Дикманом и Ричардом Лоу в ([1]). Данная модель является стохастической, однако посредством введения так называемых *пространственных моментов* (см. [2]), имеющих смысл средних количественных характеристик, её анализ можно сделать детерминированным.

В рамках данной работы изучается одновидовое стационарное сообщество в изотропной среде обитания при количестве размерностей пространства $n = 1, 2, 3$. Основными характеристиками сообщества являются константы b, d, d' , имеющие смысл плодовитости, естественной смертности и агрессивности вида соответственно, а также функции $m(x)$ и $\omega(x)$, описывающие пространственную структуру рождаемости и конкуренции. Эти функции называются соответственно *ядрами рассеивания* и *конкуренции*. Это неотрицательные радиально симметричные интегрируемые по Лебегу функции, исчезающие на бесконечности, с единичной $L_1(\mathbb{R})$ нормой. Ядра можно считать плотностями вероятности некоторых случайных величин, описывающих процесс рождения новых индивидов и конкуренции в популяции.

Основной задачей работы является изучение зависимости первого пространственного момента сообщества от двух основных характеристик данных ядер, а именно от их среднеквадратичных отклонений (σ_m и σ_ω) и коэффициентов эксцесса (k_m и k_ω) в пространствах различных размерностей. Пространственные моменты сообщества в стационарном случае удовлетворяют системе интегральных уравнений (см. [3]):

$$\begin{cases} 0 = (b - d)N - d' \int_{\mathbb{R}^n} C(\xi)w(\xi) d\xi, \\ 0 = bm(\xi)N + \int_{\mathbb{R}^n} bm(\xi')C(\xi + \xi') d\xi' - (d + d'\omega(\xi))C(\xi) - \\ - \int_{\mathbb{R}^n} d'\omega(\xi')T(\xi, \xi') d\xi'. \end{cases}$$

Здесь, N , $C(\xi)$ и $T(\xi, \xi')$ — это первый, второй и третий пространственные моменты соответственно, являющиеся неизвестными функциями. Путём, например, параметрического *замыкания* третьего момента через первые два количество неизвестных может быть сокращено до двух, что позволяет решить данную систему (см. [4]). Искомая зависимость первого момента от характеристик ядер — $N = N(\sigma_m, k_m, \sigma_\omega, k_\omega)$ — задаётся неявно через преобразованную систему: меняя ядра и находя решение, мы будем получать соответствующий первый момент.

Основным результатом работы является тот факт, что первый момент почти не зависит от конкретного вида ядер. Основное значение имеют лишь их среднеквадратичные отклонения и коэффициенты эксцесса. Таким образом, именно эти величины являются главными биологическими характеристиками ядер.

Литература

1. Law R., Murrell D. J., Dieckmann U. Population growth in space and time: spatial logistic equations // Ecology. 84. №1. P. 252–262. 2003.
2. Dieckmann U., Murrell D. J. On moment closures for population dynamics in continuous space // J. Theor. Biology. 229. P. 421–432. 2004
3. 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.
4. Никитин А.А., Николаев М.В. Исследование интегрального уравнения равновесия с ядрами-куртозианами в пространствах различных размерностей // Вестник Московского университета. Сер 15: Вычисл. матем. и киберн. № 3. С. 11–19. 2018.

ОБНАРУЖЕНИЕ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ МОЗГА С ПОМОЩЬЮ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Огнева Ирина Сергеевна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: irina.ogneva.sarov@yandex.ru

Научный руководитель — Захарова Татьяна Валерьевна

Задача изучения активности головного мозга и различных нарушений работы сознания является сложным и важным вопросом современной медицины. Ее решение позволяет на ранних стадиях определять заболевание и выяснить механизмы протекания нарушений, а значит — и методы лечения.

Целью работы было сравнение активности мозга у здоровых пациентов и пациентов, страдающих паническими атаками на основе данных, записанных на 128-канальном энцефалографе сигналов, полученных в ходе экспериментов Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской Академии Наук.

На первом этапе была решена задача подготовки сигнала электроэнцефалограммы (ЭЭГ) к анализу. Для этого были выделены основные источники шумов и артефактов, а так же изучены и реализованы методы их удаления с помощью частотных фильтров и метода независимых компонент [3].

На втором этапе, очищенные сигналы были исследованы с помощью корреляционного и спектрального анализа, вейвлет-анализа [2]. Для дальнейшей классификации результатов было необходимо сравнить полученные данные между пациентами и вычленить закономерности внутри каждой группы. Решение этой проблемы было получено с помощью изучения ритмов ЭЭГ-сигналов [1]. С их помощью, был разработан метод получения характеристик ЭЭГ-сигналов пациента.

Также в работе были определены критерии для классификации пациентов по группам. При поиске критериев, на основании распределений характеристик, были выделены наиболее значимые и исследовано их распределение внутри каждой группы и между двумя группами. Таким образом, были определены интервалы, присущие каждой группе по каждой характеристике.

Литература

1. Гусельников В. И. Электрофизиология головного мозга. М: Высшая школа, 1976.

2. Захарова Т. В., Шестаков О. В. Вейвлет-анализ и его приложения: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М: ИНФРА-М, 2012.
3. Jung T. P., Makeig S., Humphries C., Lee T. W., McKeown M. J., Iragui V., Sejnowski T. J. Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. // Psychophysiology. 2000. Vol. 37. P. 163–178.

**О СВЯЗУЮЩЕМ ЗВЕНЕ МЕЖДУ ЗАДАЧАМИ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОСЕТЬЮ**

Паастаев Григорий Сергеевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: parastaew1996@yandex.ru

Научный руководитель — Куржанский Александр Борисович

Динамическое развитие рынка электромобилей – автомобилей, работающих на электрической тяге – обуславливает неизбежность формирования нового класса задач, имеющих интердисциплинарный характер.

С одной стороны, имеет место быть многообещающий подкласс автотранспортных средств (АТС), для которых на протяжении нескольких десятилетий активно разрабатывается математический аппарат, позволяющий заниматься математическим моделированием транспортных потоков [1] и вопросами управления ими. В то же время, представители данного класса обладают особенностью, которой не обладает никакой другой тип АТС: они являются электрическими нагрузками, способными перемещаться в пространстве, тем самым имея возможность оказывать воздействие на работу электросети в самых разных её участках. Кроме того, появление на свет технологии «vehicle-to-grid» (V2G) позволило расширить возможности владельцев электрокаров и сделать их активными участниками процесса управления спросом на электроэнергию (demand response) наравне с диспетчерами электрических сетей.

Вышеуказанные соображения приводят к непосредственному столкновению областей транспорта и электроэнергетики. Возникают следующие вопросы: как обеспечить координированное управление транспортными потоками на автостраде и электросетью с целью

уменьшения затора на дорогах и сглаживания спроса в пиковые часы? Как правильно распределять избыток приходящей электроэнергии? И, наконец, какой математический аппарат использовать для решения задач совокупной оптимизации подобного рода?

Попытка ответить на данные вопросы посредством рассмотрения модификации клеточной модели Даганзо [2] и задачи диспетчирования электрооборудования (unit commitment problem) отражена в настоящей работе.

Литература

1. Гасников А. В. [и др.] Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие / Издание 2-е, испр. и доп. Под ред. А. В. Гасникова. – М.: МЦНМО, 2013.
2. Wang H., Fang Y., Zio E. An improved cell transmission model of traffic considering electric vehicles and charging stations // 2019 IEEE Milan PowerTech, Milan, Italy, 2019, pp. 1-5.

ГЕНЕРАТОРЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ

Переладова Анна Борисовна

Студентка

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: pereladova.ann@yandex.ru

Научный руководитель — Анашин Владимир Сергеевич

Основная идея настоящей работы заключается в построении генератора псевдослучайной последовательности в виде сплетения автоматов. Такая задача обусловлена тем, что при правильном построении сплетений можно получить равномерно распределенную последовательность с максимально возможным периодом равным произведению максимальных периодов последовательностей, вырабатываемых каждым из сплетаемых автоматов. В представленной работе в качестве одного из автоматов используется автомат, реализующий целочисленные операции.

В [1] рассматривается задача построения рекуррентной последовательности максимального периода $m2^n$ с помощью 2-адической арифметики. В данной работе приводятся достаточные условия, которым должно удовлетворять сплетение, чтобы порождать рекуррентную последовательность с длиной кратчайшего периода равной mp^n , в случае p -адической арифметики, где p — составное число.

В Теореме 1 принятые следующие обозначения:

- $\delta_r(z)$ — значение r -го разряда представления z в p -ичной системе счисления.
- $\psi_n^j(\delta_0(z), \dots, \delta_{n-1}(z)) : A^n \rightarrow A$, где $A = \{0, 1, \dots, p-1\}$ — функция «переноса единицы», соответствующая преобразованию g_j .

Теорема 1. Пусть p — некоторое составное число. Выберем m такое, что $(m, p) = 1$. Пусть c_0, \dots, c_{m-1} последовательность некоторых констант, пусть g_0, \dots, g_{m-1} конечная последовательность биективных по модулю p^n преобразований в \mathbb{Z}_p и эти последовательности удовлетворяют следующим условиям:

- $g_j(x) \equiv (x + c_j)(mod\ p)$ для всех $j = 0, 1, \dots, m-1$;
- $\sum_{j=0}^{m-1} c_j \equiv a (mod\ p)$, где $(a, p) = 1$;
- последовательность $(c_i \bmod m \bmod p)_{i=0}^{\infty}$ чисто периодическая, а m — длина её кратчайшего периода;
- $\delta_k(g_j(z)) \equiv \zeta_k + \psi_k^j(\zeta_0, \dots, \zeta_{k-1})(mod\ p)$, $k = 1, 2, \dots$, где $\zeta_r = \delta_r(z)$, $r = 0, 1, 2, \dots$;
- $\sum_{j=0}^{m-1} \sum_{z \in \mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z}} \psi_n^j(\delta_0(z), \dots, \delta_{n-1}(z)) \equiv b (mod\ p)$, где $(b, p) = 1$.

Тогда рекуррентная последовательность $X = (x_i)_{i=0}^{\infty}$, определяемая соотношением $x_{i+1} = g_i \bmod m(x_i)$, равномерно распределена над \mathbb{Z}_p (то есть на каждом периоде каждое слово встречается ровно t раз), а именно, последовательность $X \bmod p^k = (x_i \bmod p^k)_{i=0}^{\infty}$ чисто периодическая для всех $k = 1, 2, \dots$ и длина кратчайшего периода такой последовательности равна tp^k .

Литература

1. Anashin V., Khrennikov A. Applied algebraic dynamics. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2009

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СВЕТОФОРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Петров Андрей Викторович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: pav_96@bk.ru

Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович

Постоянный рост транспортной нагрузки на улично-дорожную сеть крупных городов приводит к неспособности обеспечения необходимой пропускной способности при управлении движением транспортного потока светофорными объектами с фиксированными циклами в течение дня. Поэтому важной прикладной задачей достижения необходимой пропускной способности улично-дорожной сети в условиях повышенной загруженности является адаптивное управление ее светофорными объектами, основанное на наблюдении за физическими характеристиками транспортного потока, проходящего через них. На основе получаемой в реальном времени информации будет происходить автоматическая корректировка как светофорных фаз отдельных объектов, так и фаз работающих в связке светофорных групп внутри улично-дорожной сети.

Подходы к моделированию транспортного потока можно разделить на микроскопические, в моделях которых рассматривается взаимодействие отдельных автомобилей в потоке, и макроскопические, в которых транспортный поток рассматривается как единое целое. В настоящей работе используется макроскопическая модель Танака движения однополосного транспортного потока:

$$\frac{d\rho}{dt} + \frac{dQ(\rho)}{dx} = 0, \quad (1)$$

$$Q(\rho) = \rho \cdot V(\rho), \quad (2)$$

$$\rho(v) = \frac{1}{d(v)}, \quad (3)$$

$$d(v) = L + c_1 v + c_2 v^2. \quad (4)$$

Где $v(t, x)$ — скорость транспортного потока, $\rho(t, x)$ — плотность транспортного потока, $Q(\rho)$ — интенсивность транспортного потока, $d(v)$ — безопасное расстояние между транспортными средствами, L — средняя длина автомобиля, c_1 — время, характеризующее реак-

цию водителей, c_2 — коэффициент пропорциональности тормозному пути при нормальных условиях.

В рамках описанной модели движения транспортного потока в настоящей работе рассматривается модель улично-дорожной сети со светофорными объектами, фазы работы которых автоматически изменяются относительно физических характеристик транспортного потока на всех наблюдаемых участках сети.

Для рассматриваемых в работе адаптивных алгоритмов проводится анализ на примере модели улично-дорожной сети, разработана программа в среде MATLAB для расчета модели.

Литература

1. Гасников А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. М.: МЦНМО, 2013.
2. Захаров Е. В., Дмитриева И. В., Орлик С. И. Уравнения математической физики, М.: Издательский центр «Академия», 2010.
3. Луканин В. Н., Буслаев А. П., Трофимов Ю. В., Яшина М. В. Автотранспортные потоки и окружающая среда. М.: ИНФРА-М, Ч. 1, 2. 1998, 2001.
4. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы, М.: Наука, 1989.

ОПТИМАЛЬНАЯ ТЕРАПИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАКА ПРОСТАТЫ С УЧЕТОМ РАЗВИТИЯ МЕТАСТАЗНЫХ КЛЕТОК

Пименова Диана Вячеславовна

Студент магистратуры

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: lina5254@yandex.ru

Научный руководитель — Братусь Александр Сергеевич

Рак предстательной железы — одно из наиболее распространённых злокачественных образований у мужчин. В рамках работы было проведено исследование математической модели этого заболевания с учетом личных особенностей организма и метастазных раковых клеток(на основе статьи [2]). Обозначим E — здоровые клетки, N — раковые, M — метастазные, резистентные к лечению, h — количество химиотерапевтического средства.

$$\frac{dE}{dt} = \mu_E(A_E, A_{E_t}, h)E \left(1 - \frac{E}{E_0}\right) - \delta_E(A_E, A_{E_t})E,$$

$$\frac{dN}{dt} = (1 - \alpha_{mut})prolif_N(h) - \delta_N(A_N, A_{N_t})N,$$

$$\frac{dM}{dt} = prolif_M(h) - \delta_M(A_M, A_{M_t})M + \alpha_{mut}prolif_N(h),$$

$$\frac{dh}{dt} = -\gamma h + u(t), 0 < h(t) < H.$$

Скорость роста клеток зависит, как от биологических факторов, так и от количества применяемого лекарственного средства.

Лекарство влияет на скорость роста клеток таким образом, где для каждого вида клеток свои коэффициенты:

$$\mu(A, A_t, h) = \mu_0 \left(1 - \frac{kh}{h+1}\right).$$

Значение μ_{E0} считаем на основе биологических параметров.

$$\mu_{E0} = q_1^E \frac{A_E^2}{(q_2^E)^2 + (A_E)^2} + q_1^Et \frac{A_{Et}^2}{(q_2^{Et})^2 + (A_{Et})^2},$$

$$\frac{dT_i}{dt} = f(T_s) - \lambda_t T_i - \beta_T \frac{T_i}{K_T + T_i} - k_f^T R_i T_i + k_r^T A_{it}, T_S = a_{TS} t^2 + b_{TS} t + c_{TS},$$

$$\frac{dR_i}{dt} = \alpha_{R_i} R_i - \lambda_{R_i} R_i - k_f^D R_i D_i + k_R^D A_i - k_f^T R_i T_i + k_r^T A_{it},$$

$$\frac{dD_i}{dt} = \beta_T \frac{T_i}{K_T + T_i} - \lambda_D D_i - k_f^D R_i D_i + k_r^D A_i,$$

$$\frac{dA_i}{dt} = -\lambda_{A_i} A_i + k_f^D R_i D_i - k_r^D A_i,$$

$$\frac{dA_{it}}{dt} = -\lambda_{A_{it}} A_{it} + k_f^T R_i T_i - k_r^T A_{it}.$$

Суммарно получаем более 15 уравнений для системы.

Введем новую переменную, которая будет отвечать за общее количество раковых клеток в организме $Z(t) = M(t) + N(t)$.

Поставим задачу выбора стратегии лечения с целью минимиза-

ции числа больных клеток:

$$J(u) = Z(t) \rightarrow \min_h, h = \text{const}, h \leq h_{\max}.$$

Теорема 1. Для задачи минимизации числа раковых клеток оптимальное управление примет вид $h^*(t) = h_{\max}$

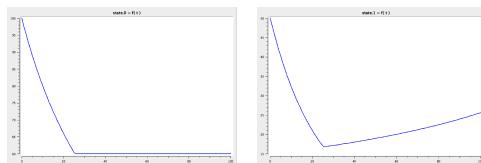
Доказательство опирается на принцип максимума Понтрягина с дальнейшем анализом функций сопряженных переменных.

Основным недостатком такого похода к выбору стратегии лечения является то, что в некоторый момент времени количество здоровых клеток становится критически низким. Поэтому необходимо рассмотреть задачу, в которой минимальное значение количества здоровых клеток ограничено E_{lim} , с управлением $h(t)$ из класса кусочно постоянных функций.

$$J(u) = Z(t) \rightarrow \min_h, E(t) > E_{lim}.$$

А также была исследована динамика поведения числа здоровых и раковых клеток при использовании различных доз лекарственного средства.

Иллюстрации



Слева динамика здоровых клеток, справа динамика раковых клеток

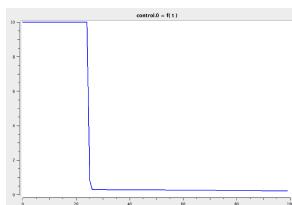
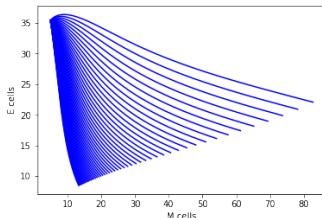


График лечения.



Динамика здоровых и резистентных клеток при различных значениях лечения.

Литература

1. Антипов А. В. Братусь А. С. Математическая модель оптимальной стратегии химиотерапии с учетом динамики числа клеток неоднородной опухоли. // Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2009.
2. Jaina H. V., Clintonb S. K., Bhinderb A., Friedman A. Mathematical modeling of prostate cancer progression in response to androgen ablation therapy // PNAS, USA, 2011.

СТАБИЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Полиенко Наталья Алексеевна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: natapolienko@yandex.ru

Научный руководитель — Фомичёв Василий Владимирович

Одной из наиболее ярко выраженных тенденций развития техники является автоматизация работы сложных систем. В основе всех методов автоматического регулирования, разработанных человеком или созданных природой, лежит принцип обратной связи.

Иерархическая нелинейная обратная связь используется при построении наблюдателей и стабилизаторов для линейных систем. В случае работоспособности, системы при большом коэффициенте усиления, обладают повышенной точностью и робастной устойчивостью по отношению к неопределенности параметров и внешним низкочастотным воздействиям. Однако в ряде систем при больших коэффициентах передачи и некоторых структурах объекта управления возможна

потеря устойчивости движения, а также появление ошибок из-за высокочастотных помех.

В данной работе проводятся исследования, направленные на изучение условий устойчивости систем с иерархической нелинейной обратной связью в зависимости от начальных условий и значений параметров. Для более тщательного анализа взята система 3 порядка:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 - k_1 \operatorname{sgn}(x_1) |x_1|^{\gamma_1} \\ \dot{x}_2 = x_3 - k_2 \operatorname{sgn}(x_1) |x_1|^{\gamma_2} \\ \dot{x}_3 = f - k_3 \operatorname{sgn}(x_1) |x_1|^{\gamma_3} \end{cases} \quad (1)$$

$$\gamma_i = 1 - \alpha_i \quad (2)$$

$$|f| \leq F_0 \quad (3)$$

Были выведены следующие закономерности параметров:

$$k_1 k_2 > k_3 \quad (4)$$

$$0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < 1 \quad (5)$$

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КРИПТОСИСТЕМЫ ТИПА МАК-ЭЛИСА-СИДЕЛЬНИКОВА, ПОСТРОЕННОЙ НА ОСНОВЕ СЛУЧАЙНЫХ КОДОВ

Попова Елизавета Александровна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: lady-lizochka@yandex.ru

Научный руководитель — Чижов Иван Владимирович

С приходом эры квантовых компьютеров крипtosистемы, построенные на сложности задач факторизации и дискретного логарифмирования, потеряют свою стойкость. Поэтому крайне актуальным является исследование крипtosистем с открытым ключом, стойкость которых основана на других сложных задачах, например, на задаче декодирования кода общего положения. Примером такой крипtosистемы является крипtosистема Мак-Элиса.

Одна из модификаций этой крипtosистемы, описанная в статье [1], явилась основой данной работы. Была рассмотрена крипtosистема Мак-Элиса, открытый и секретный ключи которой имеют вид $K_{pub} = S(RM|Rand)P$, $K_{sec} = (M, P)$, где $RM = RM(m, r)$ —

порождающая матрица кода Рида-Маллера порядка r и размерности m , $Rand$ — порождающая матрица случайного $[n, k]$ -кода, S — невынужденная, а P — перестановочная матрицы.

Для исследования была взята модель, в которой противнику кроме открытого ключа известна порождающая матрица случайного кода $Rand$, и целью является восстановление перестановочной матрицы P . В рамках данной работы с использованием сигнатурного метода [2] была разработана атака, восстанавливающая P в описанной выше модели. Алгоритм данной атаки приведен ниже.

Вход: матрицы K_{pub} и $(RM|Rand)$.

1. Посчитать все спектры оболочек кодов, полученных выкалыванием каждого столбца из порождающей матрицы $(RM|Rand)$. Сделать те же расчеты при выкалывании всех пар столбцов. На выходе данного шага имеется таблица соответствия вектора спектра и столбца, при выкалывании которого получается данный вектор.
2. Для кода с порождающей матрицей K_{pub} посчитать спектры оболочек выколотых кодов. При этом выделить те столбцы, при выкалывании которых получается уникальный спектр. Эти столбцы однозначно идентифицируемы по таблице из пункта 1. Обозначим их множество за I_0 .
3. Посчитать спектры оболочек кодов, полученных выкалыванием из кода с порождающей матрицей K_{pub} двух столбцов i, j , где $i \in I_0, j \notin I_0$, добавляя при этом в множество I_0 столбцы, однозначно идентифицируемые по полученным спектрам дважды выколотых кодов. Данный процесс продолжается, пока появляются новые столбцы в I_0 .
4. Посчитать матрицу квадрата кода с порождающей матрицей K_{pub} . Для квадрата кода выполнить шаги 2 и 3
5. Если после шага 4 остались столбцы, которые нельзя однозначно идентифицировать по их спектрам, то для полного восстановления матрицы P используется полный перебор всех возможных вариантов по оставшимся столбцам.

Сложность предложенной атаки $\leq n \cdot 2^{S_1} + \binom{n}{2} \cdot 2^{S_2} + L!$, где S_1, S_2 — размерности оболочек выколотых и дважды выколотых кодов соответственно, L — количество неразличимых столбцов. На основе [3] было доказано, что с наибольшей вероятностью $S_1 = 1$ и $S_2 = 1$.

Результаты применения данной атаки к ключам разного размера представлены в таблице ниже.

Размеры $K_{pub} = (k \times n)$	S_1	S_2	L
(22 × 128)	1	1	7
(93 × 512)	1	1	10
(130 × 1024)	1	1	25

Литература

1. Kabatiansky G., Tavernier C. A new code-based cryptosystem via pseudorepetition of codes, In Proceedings of Sixteenth International Workshop on Algebraic and Combinatorial Coding Theory, Svetlogorsk,Russia, 2018, P. 189-191
2. Sendrier N. The Supporting Splitting Algorithm, IEEE Transactions on Information Theory, 2000, V. 46, P. 1193-1203
3. Sendrier N. On the Dimension of the Hull, SIAM Journal on Discrete Mathematics, 1997, P. 282-293.

МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ПОПУЛЯЦИЯМ

Попов Дмитрий Олегович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: o3vh7etsbccg@maskedmails.com

Научный руководитель — Дьяконов Александр Геннадьевич

Оценка происхождения людей по их генетической информации является важной задачей для коррекции результатов биологических исследований. Регулярно проводятся исследования, результаты которых оказываются невоспроизводимы на других континентах и в других популяциях из-за неизвестной заранее связи исследуемого явления с генотипом человека. Именно поэтому проведение тестирования на далёких друг от друга популяциях является важным критерием для определения уровня доверия к результатам экспериментов. Надёжными способами оценивать происхождение людей являются математические методы обработки генетической информации в виде значений нуклеотидов в заранее выбранных участках генома — позициях однонуклеотидных полиморфизмов.

В биологических исследованиях наиболее часто используются алгоритмы кластеризации с обучением без учителя, основанные на EM-алгоритме. Примерами самых популярных служат ADMIXTURE [1–2], EIGENSTRAT [3] и sNMF [4]. Используемые алгоритмы имеют одинаковую основополагающую идею, а различаются эвристиками для ускорения процесса оптимизации. Будучи методами обучения без учителя, они не способны принимать во внимание размеченные выборки данных, например, собранных в рамках фундаментального исследования «1000 Геномов» [5]. Кроме того, в сравнении с результатами данной работы, они обладают низкой скоростью из-за невозможности прямой оптимизации, рассчитаны на малое (менее 10) количество популяций и малое (до 10^4) количество признаков. Для возможности включения в метод решения данных о нескольких десятках популяций, представленных 10^6 признаками на объект необходима разработка более эффективных методов.

В рамках данной работы были представлены локальный и глобальный подход к обработке данных, а также применен ряд метрических, линейных, вероятностных и ансамблевых методов обучения с учителем. Кроме того, был представлен авторский способ тестирования методов, учитывающий специфику задачи и основанный на знаниях из предметной области, который таким образом лучше отражает качество решения на реальных данных.

Для сравнения методов использовался публичный набор данных проекта «1000 Геномов», объекты которого представляют собой последовательности значений пар нуклеотидов людей, вошедших в исследование, отнесённых каждый к одной из 25 популяций. Способ тестирования заключается в применении алгоритмов к смешанным геномам, искусственно синтезированным из объектов отложенной выборки согласно теоретическим представлениям наследования информации в генетике.

Проведённые эксперименты включали в себя сравнительное тестирование рассматриваемых в работе алгоритмов на полной выборке данных с использованием предложенного метода тестирования. Также они сравнивались с приведёнными выше уже используемыми в биологических исследованиях методах обучения без учителя на выборке с усечёнными множествами признаков, поскольку на полной готовые методы работали неразумно долгое время. Наибольшее качество показал ансамблевый метод, включающий в себя локальный и глобальный подходы. На меньшей выборке он продемонстрировал более быстрое и качественное решение, чем эталонные алгоритмы.

Литература

1. Alexander D. H., Lange K. Enhancements to the admixture algorithm for individual ancestry estimation. BMC Bioinformatics 2011;12:246.
2. Alexander D., Novembre J., Lange K. Fast model-based estimation of ancestry in unrelated individuals. Genome Research 2009, 19:1655–1664.
3. Price A. L., Patterson N. J., Plenge R. M., Weinblatt M. E., Shadick N. A., Reich D. Principal components analysis corrects for stratification in genome-wide association studies. Nat Genet. 2006;38:904–9.
4. Eric F., François M., Théo T., Guillaume B., Olivier F.: Fast and Efficient Estimation of Individual Ancestry Coefficients. Genetics April 1, 2014 vol. 196 no. 4 973-983.
5. Официальная страница проекта «1000 Геномов»:
<https://www.internationalgenome.org/>

**ТЕХНОЛОГИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КАК
ИНСТРУМЕНТ ОБУЧЕНИЯ РОБОРУКИ:
ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА,
ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ**

Прихно Мария Александровна¹

Бегишев Руслан Ренатович²

Злобин Дмитрий Васильевич³

1: Студент, физический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва,
Россия

2: Студент, факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

3: Аспирант, факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва,
Россия

E-mail: markprihno@gmail.com, begrusso@gmail.com, dimz94@mail.ru

Научный руководитель — Запуниди Сергей Александрович

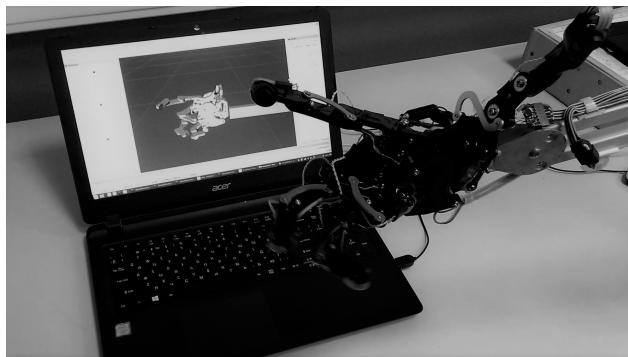
Ближайшую индустриальную революцию (переход к индустрии 4.0) связывают с внедрением в производство интеллектуальных систем управления. Такие системы должны быть способны выполнять сложные задачи в неопределенной среде при большой неполноте информации. Один из способов создания таких систем — использование машинного обучения, которое требует множества итераций для

успешного выявления зависимостей в данных. Однако повторы эпизодов на реальных роботах быстро их изнашивают и нуждаются в больших времязатратах. Использование компьютерного моделирования и последующий перенос обученных алгоритмов в реальность — возможный подход к решению возникающей проблемы [1]. В симуляции используется цифровой двойник, то есть идентичная модель робота с аналогичным интерфейсом управления [2].

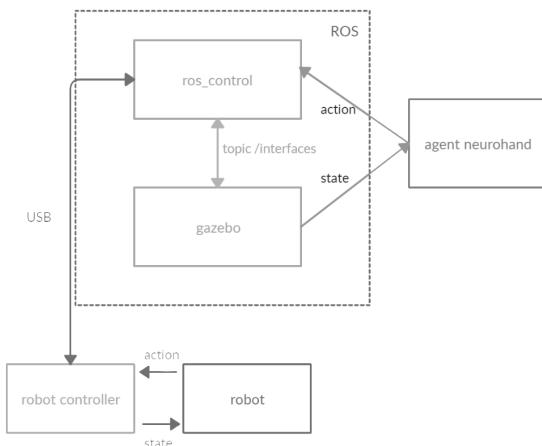
В работе был создан цифровой двойник робота-манипулятора со схватом, имитирующим человеческую кисть, для последующего обучения поиску и захвату объектов. Существующие подходы к решению такой задачи есть, например, использование камер для захвата предметов или распознавание объектов на ощупь с помощью множества датчиков давления на ладони [3]. Разработанный нами манипулятор имеет шесть степеней свободы: сгиб пяти пальцев, управляющихся сервомашинками, и переносная степень свободы для поднесения схвата к предмету; на пальцах установлены датчики давления.

Чертежи манипулятора были перенесены в систему моделирования и визуализации динамики твердых тел Gazebo с физическим движком ODE (Open Dynamic Engine); написаны плагины для моделирования приводов схвата и прочих упругих элементов. Одной из проблем моделирования стало трение, так как контакт твердых тел описывается точным совпадением координат, что в системе дискретного времени почти не происходит. Система управления строится на фреймворке для программирования роботов ROS (Robot Operating System) с использованием `ros_control`, на основе которого написаны плагины как для связи с реальным роботом, так и с Gazebo. Такой общий интерфейс — одна из важных характеристик цифрового двойника. При создании подходящей среды для обучения с подкреплением использовался инструментарий OpenAI Gym, дающий возможность использовать универсальные алгоритмы обучения. Интеграция была осуществлена с помощью пакета `openai_ros`, позволяющего построить на основе абстрактных классов специфическую среду для решения конкретных задач. Была выбрана функция награды, стимулирующая к поиску объекта. Дальнейший цикл обучения и управления включал в себя последовательное считывание состояния системы и выбор управляющего воздействия, максимизирующего награду.

Иллюстрации



Реальная модель манипулятора и ее цифровой двойник.



Используемая архитектура модели.

Литература

1. El-Shamouty M., Kleeberger K., Lämmle A., Huber M.. Simulation-driven machine learning for robotics and automation // tm - Technisches Messen, 2019

2. Malykhina G., Tarkhov D. Digital Twin Technology As A Basis Of The Industry In Future. // 18th PCSF 2018 - Professional Culture of the Specialist of the Future, St. Petersburg, Russia, 2018, P. 416-428.
3. Sundaram S., Kellnhofer P., Li Y. et al. Learning the signatures of the human grasp using a scalable tactile glove. // Nature. 2019. № 569, P. 698–702.

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ ОБЪЕКТОВ ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ

Самарин Алексей Игоревич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: liotbiu1@gmail.com

Научный руководитель — Фомичев Василий Владимирович

Рассматривается множество одинаковых агентов, каждый из которых описывается системой линейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = Ax_i + Bu_i + w_i \\ y_i = Cx_i + v_i \end{cases} \quad (1)$$

где $x_i \in \mathbb{R}^n$ — состояние агента, $u_i \in \mathbb{R}^m$ — управление, $y_i \in \mathbb{R}^l$ — измеряемый выход, векторные возмущения w_i размерности n и ошибки измерения v_i размерности l представляют собой векторные белые случайные процессы.

Для каждого агента строится наблюдатель полного порядка:

$$\dot{z}_i = Az_i + Bu_i + F(Cz_i - y_i). \quad (2)$$

Управление выбирается в виде:

$$u_i = K \sum_{j \in I_i} (z_i - z_j), \quad (3)$$

где K — матрица коэффициентов обратной связи, которую требуется найти, а I_i — множество агентов, информация о наблюдателях которых доступна i -му агенту.

Задача консенсуса заключается в поиске таких матриц K и F , которые минимизируют отклонение системы от состояния консенсуса. Система находится в состоянии консенсуса, когда у всех агентов

одинаковый вектор состояния:

$$x_i = x_j, \forall i, j. \quad (4)$$

Задача является решенной для случая без помех [2]. В данной работе рассматривается система со стохастическими возмущениями. Было проведено численное моделирование системы, исследованы ее стохастические свойства. Матрица F ищется методом фильтрации Калмана–Бьюси, а матрица K ищется методом покоординатного спуска.

Литература

1. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. - М.: Наука, 1982.
2. Li Z., Duan Z., Chen G. and Huang L, "Consensus of Multiagent Systems and Synchronization of Complex Networks: A Unified Viewpoint," in IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 57, no. 1, pp. 213-224, Jan. 2010.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СХОДСТВА ЖЕСТОВ НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ ВИДЕО

Серов Сергей Сергеевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: sergey.s.serov@gmail.com

Научный руководитель — Местецкий Леонид Моисеевич

Задача сравнения жестов на видео является актуальной задачей обработки изображений, так как её решение необходимо для построения алгоритма распознавания жестов. В отличие от других работ, в данном исследовании предпринята попытка построить универсальную метрику сравнения жестов по видео, непосредственно использующую данные о перемещении объектов в кадре и не опирающуюся на семантику конкретных жестов [2].

Основными признаками, различающими жесты между собой, являются траектория движения и динамика формы кистей рук и лица. Целью данного исследования является разработка метрики сравнения жестов на видео, учитывающей эти ключевые факторы, но универсальной для разных жестов. В качестве экспериментальной базы исследования используется один из индийских языков жестов.

Идея предлагаемого метода состоит в декомпозиции задачи на две подзадачи: обработка кадра и межкадровая обработка.

На этапе обработки кадра необходимо произвести сегментацию лица и кистей рук, а также определить их местоположение. Сегментация может быть проведена с помощью выделения на кадре соответствующих пятен. В случае записи трехканального RGB-видео для этого можно использовать бинаризацию, а в случае записи видео с данными о глубине изображения RGB-d — карту глубины.

Для регистрации траекторий движения и формы пятен будем выполнять построение *морфологических скелетов* пятен [1]. Каждое пятно может быть представлено в виде графа, для которого известны координаты x, y вершин, рёбра и радиусы r максимальных кругов, соответствующих вершинам.

На этапе межкадровой обработки, если известны местоположения пятен кистей рук и лица на отдельных кадрах, становится возможным вычисление траекторий этих пятен на видео (рис. 1). Каждая траектория в таком случае представляется в виде множества упорядоченных троек вида (x_i, y_i, r_i) . На основе этой информации сформируем признаковое описание каждого жеста.

После регистрации траекторий движения пятен для сравнения признаковых описаний жестов предлагается следующая метрика. Для каждой пары соответствующих пятен двух жестов будем выполнять попарное *выравнивание* их траекторий с помощью метода *динамического программирования*. В качестве расстояния между пятнами выберем сумму евклидовых расстояний между точками выровненных траекторий. Расстоянием между жестами будем считать сумму расстояний между пятнами кистей рук.

Построенная метрика сравнения признаковых описаний жестов теперь позволяет провести их классификацию с использованием базы эталонов. Разработка метода распознавания жестов на видео, а также регистрация и учёт положения пальцев на основе построенных морфологических скелетов продолжат исследования в этом направлении.

Исследование поддержано грантом РФФИ 20-01-00664.

Иллюстрации



Рис. 1. Пример зарегистрированных на видео траекторий и окружностей максимальных кругов пятен лица и кистей рук

Литература

1. Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М.: Физматлит, 2009
2. Bandini A., Zariffa J. Analysis of the hands in egocentric vision: A survey. 2019. ArXiv preprint arXiv:1912.10867

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ
ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С
ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ НЕВЯЗОК КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ

Табалин Дмитрий Дмитриевич

Студент, Инженер

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова,

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

E-mail: corovan@mail.ru

Научный руководитель — Ильин Александр Владимирович

Рассматривается задача терминального управления системой вида

$$\frac{dx_1}{dt} = f_1(x_1(t), x_2(t)) \quad (1)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = f_2(x_2(t), u(t)), \quad (2)$$

где $x_1 \in \mathbb{R}^{n_1}$, $x_2 \in \mathbb{R}^{n_2}$, $u(t) \in U \subset \mathbb{R}^m$, U — компакт. Задача состоит в нахождении управления $u(\cdot) : [t_0, T] \rightarrow U$, обеспечивающего выполнение $\psi(x_1(T)) = 0$, где $\psi(x) : \{\psi_i(x_{1i})\}$. Система (1–2) получена путем выделения в исходной системе уравнений для координат состояния $x_2(t)$, на производные которых непосредственно воздействует управление $u(t)$. При этом уравнения (2) описывают относительно быстродействующие процессы стабилизации x_2 относительно u . Момент времени T либо фиксирован, либо определяется первым моментом времени выполнения выделенного краевого условия ψ_p .

В момент времени $t \in [t_0, T]$ определим прогнозирующую модель

$$\begin{cases} \frac{d\hat{x}_1}{d\tau} = f_1(\hat{x}_1(\tau), \hat{x}_2(\tau)) \\ \frac{d\hat{x}_2}{d\tau} = 0 \\ \hat{x}_1(t) = x_1(t), \hat{x}_2(t) = x_2(t). \end{cases} \quad (3)$$

Прогнозом состояния системы на момент времени T , осуществленным в момент времени t будем называть

$$\hat{x}_1(T|t) = x_1(t) + \int_t^T f_1(\hat{x}_1(\tau), \hat{x}_2(\tau)) d\tau,$$

где интегрирование производится в силу (3). Прогнозируемой невязкой краевых условий назовем $z(T|t) = \psi(\hat{x}_1(T|t))$. Методами из [1] доказывается следующее утверждение

Лемма 1. *Пусть $\hat{x}(T|t), \psi(\hat{x}_1)$ дифференцируемы, а момент времени T фиксирован. Тогда*

$$\frac{dz(T|t)}{dt} = \frac{\partial \psi}{\partial \hat{x}_1(T)} \frac{\partial \hat{x}_1(T)}{\partial x_2(t)} f_2(x_2(t), u(t)). \quad (4)$$

Получено обобщение данной формулы для случая с переменным T .

После дискретизации (4) примет вид

$$z(T|t_{i+1}) = z(T|t_i) + \frac{\partial \psi}{\partial \hat{x}_1(T)} \frac{\partial \hat{x}_1(T)}{\partial x_2(t_i)} f_2(x_2(t_i), u(t_i)). \quad (5)$$

Введём обозначение $\frac{\partial z}{\partial x_2}$ — коэффициент при f_2 в (5).

Для (5) рассматривается стратегия управления основанная на минимизации $\sum_j f_2^2(x_2(t_j), u(t_j))$ при условии

$$z(T|t_i) + \sum_{j=i}^J \frac{\partial \psi}{\partial \hat{x}_1(T)} \frac{\partial \hat{x}_1(T)}{\partial x_2(t_j)} f_2(x_2(t_j), u(t_j)) = 0.$$

Рассматривается стратегия управления, приближающая будущее управление на $(t, T]$ одним или несколькими неограниченными управлениями в моменты времени $\{t_j\} \subseteq \{t_i\}$.

Для задачи с переменным моментом времени T рассматриваются соответствующие модификации уравнений (3–5), и алгоритмов управления.

Произведено численное моделирование рассмотренных алгоритмов управления для модельной задачи вывода на орбиту из [2, с.73–74] с учетом заданных краевых условий на остатки окислителя и горючего.

Литература

- Гулько Ф. Б. Новосельцева Ж. А. Применение методов прогнозирования в задачах синтеза систем автоматического управления // VIII Всесоюзное совещание по проблемам управления. Эстония, Таллин, 1980, Т. 1, С. 32–34.
- Сихарулидзе Ю. Г. Баллистика и наведение летательных аппаратов. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПРОСА НА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЕ КРЕДИТОВАНИЕ

*Тарасенко Максим Валерьевич,
Трусов Николай Всеволодович*

Студент, студент

*Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет ВМК
МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*

E-mail: tarasenko.m12@gmail.com, trunick.10.96@gmail.com

Научный руководитель – Шананин Александр Алексеевич

По состоянию на 2020 г. в России продолжается кредитный бум, начавшийся в 2017 г. и вызванный по большей части ускорением темпов роста потребительского и, в частности, необеспеченного потребительского кредитования. Так, на протяжении 2017–2019 гг. совокупная задолженность населения по жилищным кредитам выросла

на 61%, а доля потребительских кредитов в общей массе кредита физическим лицам составила 57%. Вместе с этим, высокие темпы роста кредита населению выступают поддержкой положительных темпов роста российской экономики. Так, на временном горизонте 2017–2019 гг. вклад роста необеспеченного кредитования в рост ВВП оценивается на уровне 0.4–0.7 п.п., в то время как в среднем рост ВВП составил 1.7% ежегодно в том же периоде. Исследование направленно на изучение эффектов, оказываемых ростом кредитования на положение различных слоёв домохозяйств. Актуальность исследования продиктована тем, что наиболее закредитованной является группа наиболее бедных заёмщиков. В группе таких заёмщиков каждый третий заёмщик имеет проблемы с возвратом кредита, а каждый пятый — высокую долговую нагрузку, определяемую как соотношение платежей по кредиту к доходам заёмщика. Увеличение объемов выдачи кредитов таким заёмщикам может привести к неожиданному скачку просроченной задолженности, а также к усугублению проблемы бедности, борьба с которой является одной из основных целей развития России до 2024 года.

В данной работе проводится анализ долговой нагрузки по потребительским кредитам с помощью базы данных ВШЭ РМЭЗ, а также предпринимается попытка смоделировать долговую нагрузку на населения России с помощью модифицированной модели Рамсея и провести сценарный прогноз дальнейшей эволюции совокупной потребительской задолженности населения.

Основываясь на данных ВШЭ РМЭЗ, были выявлены 4 группы домашних хозяйств:

1. закредитованные;
2. не имеющие активных кредитов и не имеющие сбережения;
3. имеющие возможность расплатиться с текущими кредитами;
4. имеющие сбережения.

Домашние хозяйства не берут кредит и не сберегают одновременно. Учитывается баланс благосостояния $x = M + D - L$, где M — денежная масса, D — сбережения, L — долги по потребительским кредитам. Домашние хозяйства, принадлежащие группам 1, 3 — описываются моделью спроса на потребительские кредиты ($D = 0$), а принадлежащие группе 4 описываются моделью спроса на наличные

деньги ($L = 0$) [1-2]:

$$J = \int_0^{\infty} M^{\alpha} e^{-(\Delta - \alpha\gamma)t} dt \rightarrow \max_{M \geq \tilde{M}},$$

$$\dot{x} = S - \left(r_L + \frac{1}{\theta} \right) M + D(r_D - r_L) + (r_L - \gamma)x,$$

$$M \geq \tilde{M}, D \geq 0, M + D \geq x, x(0) = x_0, x \geq -\frac{S}{r_L - \gamma}.$$

Здесь \tilde{M} — минимальная денежная масса, x — богатства, S — доходы, γ — темп роста доходов домашних хозяйств; θ , Δ — коэффициенты ликвидности и дисконтирования; r_L , r_D — банковские ставки по кредитам и депозитам; $\alpha \in (0, 1)$.

Основываясь на данных ВШЭ РМЭЗ, восстанавливается динамика спроса на потребительские кредиты за период 2009–2019 гг., что позволяет строить прогнозы о дальнейшей динамике благосостояния заёмщиков, а также оценить потенциальные эффекты на их благосостояние от различных мер экономической политики:

Иллюстрации

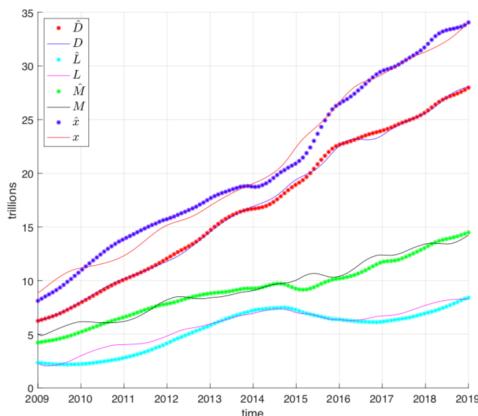


Рис. 1. Сопоставление расчётных данных реальным. Здесь \hat{D} , \hat{L} , \hat{M} , \hat{x} — статистические данные, D , L , M , x — расчётные.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 20-07-00285).

Литература

1. Гималтдинов И. Ф. Исследование спроса на потребительские кредиты и наличные деньги // Математическое моделирование. 2012. Т. 24, № 2. С. 84–98.
2. Рудева А. В., Шананин А. А. Синтез управления в модифицированной модели Рамсея с учетом ограничения ликвидности // Дифференциальные уравнения. 2009. Т. 45, № 12. С. 1799–1803.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СУТОЧНОГО ХОДА АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА

Ткаченко Екатерина Викторовна¹

Дебольский Андрей Владимирович²

Мортиков Евгений Валерьевич³

1: Студент, факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

2: Специалист, НИВЦ МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

3: Научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук, НИВЦ МГУ имени

М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: evtkachenko@hotmail.com

Научный руководитель — Лыкосов Василий Николаевич

В данном исследовании была рассмотрена возможность использования стандартной модели $k-\varepsilon$ для воспроизведения динамики атмосферного пограничного слоя (АПС), в частности для переходных периодов суточного цикла, определяемых следующим образом: утренний — к конвективному пограничному слою за счёт нагревания поверхности; вечерний — к устойчивому пограничному слою [1].

Для воспроизведения АПС в моделях прогноза погоды используются турбулентные замыкания 1-го и 2-го порядка [2]. С их помощью модели позволяют с достаточной точностью описать основные характеристики стационарных или квазистационарных пограничных слоев при стратификации близкой к нейтральной, однако для воспроизведения течений при сильной стратификации и нестационарной турбулентной динамике необходимо уточнение замыканий. Это связано, в частности, с тем, что существующие замыкания некорректно описывают приземную температуру — поток тепла завышается ночью и занижается днём [3]. Утренний и вечерний переходные периоды являются такими нестационарными процессами.

В данной работе рассматривается стандартная модель $k-\varepsilon$, включающая в себя уравнения для турбулентной кинетической энергии (ТКЭ) и скорости её диссипации, а коэффициенты турбулентной вязкости и диффузии определяются соотношениями подобия [4].

Для моделирования суточного хода были использована постановка эксперимента GEWEX Atmospheric Boundary Layer Study (GABLS-2) [3]. Для определения переходных периодов использовались формулировки из эксперимента-проекта Boundary Layer Late Afternoon and Sunset Turbulence (BLLAST) [1]. Для утреннего: начинается с ростом температуры поверхности и заканчивается, когда поток тепла переходит из отрицательного в положительный. Для вечернего: начинается, когда поток тепла переходит из положительно го в отрицательный и заканчивается при достижении стационарного состояния по высоте пограничного слоя [1].

Было исследовано влияние параметризации турбулентного числа Прандтля Pr_t (описывает соотношение турбулентного обмена импульса к обмену теплом) и феноменологического уравнения для скорости диссипации. Была проверена чувствительность к параметру плавучести $k-\varepsilon$ (влияет на изменение скорости диссипации за счёт сил плавучести) и турбулентному числу Шмидта σ_ε . Известно [4,5], что описание диффузионных процессов и, соответственно, величина коэффициента диффузии K_m/σ_ε в уравнении для скорости диссипации может влиять на воспроизведение нестационарной динамики.

В ходе численных экспериментов также была рассмотрена возможность существования степенной зависимости вида $E_k/E_{k_0} \sim ((t - t_0)/l)^p$ (p — некоторая степень, l — длительность переходного периода) для изменения ТКЭ по времени.

Результаты экспериментов продемонстрировали слабую чувствительность модели к $C_{3\varepsilon}$ и значительную — к σ_ε . Такой результат показывает необходимость уточнения уравнения для скорости диссипации, в частности в отношении коэффициента диффузии. К числу Прандтля Pr_t была отмечена слабая чувствительность для утренне го переходного периода и заметная — для вечернего.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента России МК-1867.2020.5

Литература

1. Carreras E. B. Transitional periods of the atmospheric boundary layer. Catalonia, Spain : Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
2. Stull R.B. An Introduction To Boundary Layer Meteorology. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.

3. Svensson G. et al. Evaluation of the Diurnal Cycle in the Atmospheric Boundary Layer Over Land as Represented by a Variety of Single-Column Models: The Second GABLS Experiment // Boundary-Layer Meteorology, 2011, 140:177–206.
4. Мортиков Е.В., Глазунов А.В., Дебольский А.В., Лыкосов В.Н., Зилинкевич С.С. О моделировании скорости диссипации кинетической энергии турбулентности // ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК, 2019, том 489, № 4, с. 414–418.
5. Burchard H. Applied Turbulence Modelling in Marine Waters. Berlin, Germany: Springer, 2002.

ЗАМКНУТЫЕ КЛАССЫ В ЧАСТИЧНОЙ 30-ЗНАЧНОЙ ЛОГИКЕ, СОДЕРЖАЩИЕ ВСЕ ПОЛИНОМЫ

Хайдич Мария Михайловна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: marianneliash@gmail.com

Научный руководитель — Алексеев Валерий Борисович

Описание всех замкнутых классов функций двузначной логики было осуществлено Э. Постом [4,5]. Имеющиеся результаты позволяют судить о том, что структура замкнутых классов в k -значных логиках P_k при $k \geq 3$ гораздо сложнее и их множество имеет континуальную мощность [1]. В связи с этим возник интерес к исследованию отдельных фрагментов структур, в частности надструктур предполных классов в P_2 [2,3]. В свою очередь, структуры замкнутых классов в k -значных частичных логиках отличаются большей сложностью, при этом при составном k класс полиномов даже не предполон в P_k . В работе исследована надструктура класса полиномов в P_{30}^* . Такое значение k было выбрано, потому как это наименьшее составное число, являющееся произведениями трех различных простых множителей, что позволяет использовать трехмерное представление для описания классов функций. В связи с этим были найдены определенные закономерности такого представления для функций класса полиномов, которые позволили также выработать новые подходы к исследованию отдельных структур классов многозначных частичных логик. Результатом работы является серия теорем, описывающих надструктуру класса полиномов в тридцатизначной частичной логике.

Литература

1. Янов Ю. И., Мучник А. А. О существовании k -значных замкнутых классов, не имеющих конечного базиса. // Либроком. 2009. № 36.
2. Черепов А. Н. Описание структуры замкнутых классов в P_k , содержащих класс полиномов. // Проблемы кибернетики. 1983. Т. 40.
3. Ларионов В. Б. О положении самодвойственных k -значных функций в решетке замкнутых классов. // Сборник статей молодых ученых ВМК МГУ. 2009. № 6.
4. Post E. L. Introduction to a general theory of elementary propositions // Amer. J. Math. 1921. Volume 43, No 4. P 163–165.
5. Post E. L. Two valued iterative systems of mathematical logic // Annals of Math. Studies, Princeton Univ. Press. 1951. V. 5.

ОБОБЩЕННЫЕ МОДАЛЬНОСТИ В ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ДЛЯ ТРАНЗАКЦИОННЫХ ДАННЫХ

Хрыльченко Кирилл Ярославович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: e1ightelol@gmail.com

Научный руководитель — Воронцов Константин Вячеславович

Транзакционные данные, которые с точки зрения реляционной алгебры содержат информацию в кортежах вида (*продавец, покупатель, дата, сумма транзакции, текст платежного поручения*), позволяют выявлять профили экономической деятельности для юридических лиц, а также потребительские профили для физических лиц. Основным инструментом моделирования является тематическое моделирование — математическая модель, которая формализует понятие документа $d \in D$, слова в документе $w \in d$ и темы $t \in T$, порождающей слово w в документе d , за счет введения гипотезы условной независимости: $p(w|t, d) = p(w|d)$.

Такая модель не является достаточно сложной для моделирования разнородной информации. Если документом в коллекции является статья, то примером разнородной информации могут выступать текст статьи и список цитирований, которые некорректно моделировать в одном распределении $p(w|t)$. Решением данной проблемы

выступает мультимодальное тематическое моделирование, которое позволяет моделировать разнородные источники информации путем введения модальностей, которые задаются распределениями $p(w|t)$ и словарями $W_m, m \in M$. Для такой модели подбор оптимальных параметров осуществляется максимизацией взвешенного правдоподобия по всем модальностям, причем веса модальностей задаются исключительно эмпирически.

Для транзакционных данных юридических лиц документом выступает фирма, а в качестве модальностей используются следующие характеристики: товарные слова платежных поручений, в которых фирма выступает как продавец; товарные слова платежных поручений, в которых фирма выступает как покупатель; контрагенты-покупатели; контрагенты-продавцы и сегмент бизнеса фирмы-документа.

Данная работа исследует влияние весов модальностей на результат моделирования, во многом опираясь на результат теоремы о мультимодальном разложении:

Теорема 1. *Тематическое векторное представление документа $d \in D$ представляется в виде выпуклой комбинации модальных тематических представлений:*

$$\theta_{td} = \sum_{m \in M} \frac{\lambda_m n_d^m}{\sum_{\hat{m} \in M} \lambda_{\hat{m}} n_d^{\hat{m}}} \theta_{td}^m, \quad t \in T, d \in D, \quad (1)$$

где $\theta_{td} = p(t|d)$, M — множество модальностей, n_d^m — мощность модальности m в документе d , $(\theta_{td}^m)_{t \in T}$ — тематическое представление документа d для модальности m , λ_m — вес модальности m .

Теорема 1 позволяет формализовать понятие равного вклада модальностей в векторные представления документов, а также явным образом задать веса $\lambda_m, m \in M$, обеспечивающие равный вклад.

Другим существенным следствием теоремы 1 является возможность подбора весов модальностей, оптимизирующих вспомогательный критерий, путем решения на каждом шаге ЕМ-алгоритма задачи вида $J(\Theta) \rightarrow \min_{\lambda}$. Такая возможность исследуется в данной работе на примере задач классификации, в которых объектами классификации являются документы исходной коллекции.

Еще одним результатом данной работы является введение понятия вещественных модальностей — например, модальность логарифмов сумм транзакций, в которых фирма выступает как продавец. В

вещественной модальности каждая тема отождествляется с гауссианой, то есть отвечает своим параметрам (μ_t, σ_t^2) , задающим нормальное распределение. Тогда тематическое представление документа d позволяет получить смесь нормальных распределений, аппроксимирующую гистограмму логарифмов сумм транзакций документа d . В данной работе также проводится формализация понятия вещественной модальности и вывод необходимой модификации ЕМ-алгоритма для подбора параметров тематической модели.

Литература

1. Hoffman T. Probabilistic latent semantic indexing // 22nd ACM SIGIR conference, 1999, P. 50–57.
2. Воронцов К. В. Аддитивная регуляризация тематических моделей коллекций текстовых документов // Доклады РАН. 2014. Т. 455, № 3.

АДАПТИВНЫЙ ВАРИАЦИОННЫЙ ВЫВОД

Юдин Никита Евгеньевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: yudin@stud.cs.msu.ru

Научный руководитель — Рудаков Константин Владимирович

Байесовский вывод является одним из важных методов статистики. Однако точный вывод возможен только в случае относительно небольшого количества проблем, во многих практических важных случаях приходится проводить релаксацию с помощью методов приближённого байесовского вывода, в том числе вариационного [1]. В данной работе предлагается обобщение методов приближённого байесовского вывода с помощью модификации оптимизируемых функционалов, рассматриваемых в данных методах. В частности, предлагается заменить KL-дивергенцию в нижней оценке на логарифм обоснованности в вариационном выводе на следующий функционал:

$$D_{\alpha, \beta}[q||p] = \frac{\alpha}{\beta(\alpha + \beta)} \ln \int q(z)^{\alpha+\beta} dz + \frac{1}{\alpha + \beta} \ln \int p(z)^{\alpha+\beta} dz - \frac{1}{\beta} \ln \int q(z)^\alpha p(z)^\beta dz. \quad (1)$$

Данный функционал позволяет непрерывно объединить в себе

сразу несколько используемых на практике функционалов: робастные γ -дивергенции $D_{1,\gamma}[q||p]$, α -Реньи дивергенции $D_{\alpha,1-\alpha}[q||p]$, KL-дивергенция $D_{1,0}[q||p]$ [2, 3]. $D_{\alpha,1-\alpha}[q||p]$ расширяет семейство оценок на логарифм обоснованности $\ln(p_\theta(x))$ с параметром θ и вариационным приближением апостериорного распределения $q_\varphi(z|x)$ с параметром φ [4]:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_\alpha^{N,M,K}(\varphi, \theta) &= \mathbb{E}_{X,Z} \left[\hat{\mathcal{L}}_\alpha^{N,M,K}(\varphi, \theta) \right] = \\ &= \frac{1}{1-\alpha} \mathbb{E}_{X,Z} \left[\frac{1}{NM} \sum_{n=1,m=1}^{N,M} \ln \left(\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left(\frac{p_\theta(x_n|z_{nk}^m)p_\theta(z_{nk}^m)}{q_\varphi(z_{nk}^m|x_n)} \right)^{1-\alpha} \right) \right], \\ X &= \{x_n\}_{n=1}^N, Z = \{z_{nk}^m\}_{n,m,k=1}^{N,M,K}, x_n \sim p(x), z_{nk}^m \sim q_\varphi(z|x_n). \end{aligned} \quad (2)$$

$\mathcal{L}_\alpha^{N,M,K}(\varphi, \theta)$ предоставляет возможность непрерывно выбирать между наиболее часто применяемыми оценками $\mathcal{L}_0^{N,M,K}(\varphi, \theta)$ и $\mathcal{L}_1^{N,M,K}(\varphi, \theta)$, сохраняя при этом информативные оценки на градиенты φ, θ в смысле отношения сигнала к шуму, позволяя эффективно настраивать модели при любом $K \in \mathbb{N}$ и $\alpha \neq 0$ [5], что подтверждают графики на рис. 1, описывающие результаты экспериментов с моделью вариационного автокодировщика на выборке MNIST [1]. Эксперименты показали, что оценка правдоподобия тестовой выборки максимальна при $\alpha \in (0, 1)$, различия в качестве при варьировании α лучше заметны для $K \gg 1$.

Иллюстрации

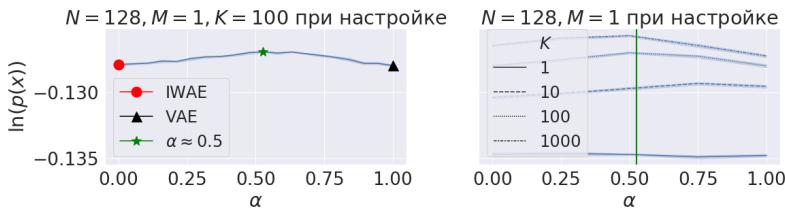


Рис. 1. Оценка логарифма обоснованности тестовой выборки, нормализованная на объём и размерность выборки.

Литература

1. Kingma D. P. Welling M. Auto-encoding variational bayes // arXiv preprint arXiv:1312.6114. — 2013.
2. Fujisawa H. Eguchi S. Robust parameter estimation with a small bias against heavy contamination // Journal of Multivariate Analysis. — 2008. — Т. 99. — №. 9. — С. 2053–2081.
3. Van Erven T. Harremos P. Rényi divergence and Kullback–Leibler divergence // IEEE Transactions on Information Theory. — 2014. — Т. 60. — № 7. — С. 3797–3820.
4. Li Y. Turner R. E. Rényi divergence variational inference // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2016. — С. 1073–1081.
5. Rainforth T. et al. Tighter variational bounds are not necessarily better // arXiv preprint arXiv:1802.04537. — 2018.

МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ БИНАРНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Януш Виктор Янович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: yanushviktor@gmail.com

Научный руководитель — Кропотов Дмитрий Александрович

Нейронные сети с бинарными весами и активациями являются крайне эффективными с вычислительной точки зрения моделями. В [1] говорят об ускорении операции свертки в 58 раз по сравнению с обычными вычислениями с плавающей запятой, а также об уменьшении размера модели в 32 раза благодаря переходу от чисел одинарной точности к однобитному представлению.

Было показано, что сети с квантизацией весов и активаций, в частности, с бинаризацией способны достигать того же качества работы, что и базовые методы, работающие с действительными числами [4]. Тем не менее, при обучении бинарных нейронных сетей зачастую используются эвристики, не обоснованные математически, например, такие как Straight-Through Estimator [5].

Основная проблема, возникающая при обучении бинарных сетей это то, что состояния нейронов изменяются дискретно при изменении параметров, что приводит к необходимости использования методов комбинаторики или сглаживания для поиска направлений оптимизации. Стохастические бинарные нейронные сети [2] внедряют шум

перед дискретными функциями активации. Это приводит к тому, что выход нейросети становится гладкой функцией после матожидания по всем шумам, а следовательно производная функции потерь корректно определена. Более того, внедренный во все слои шум превращает сеть в глубокую модель с латентными переменными с очень гибким прогнозным распределением. Такие модели могут оценивать неопределенность в данных. Работая с весами как со случайными переменными можно также оценить неопределенность модели используя байесовские методы (например, см. [3]).

В работе рассматривается метод обучения бинарной нейронной сети на основе последовательного сэмплинга. Вычисление градиента функции потерь по выходу определенного слоя происходит следующим образом: аналитически подсчитывается и дифференцируется матожидание по сэмплам отличающимся не более чем в одном бите. Такой подсчет происходит в каждом последующем слое и на выходе получается аппроксимация градиента матожидания функции потерь. Полученный метод похож по форме на обычный метод обратного распространения ошибки и может быть реализован через него, однако позволяет работать с дискретными переменными и имеет ту же вычислительную сложность.

Литература

1. Rastegari, Mohammad, et al. "Xnor-net: Imagenet classification using binary convolutional neural networks." European conference on computer vision. Springer, Cham, 2016.
2. Raiko, Tapani, et al. "Techniques for learning binary stochastic feedforward neural networks." arXiv preprint arXiv:1406.2989 (2014).
3. Neal, R. M. Bayesian learning for neural networks, volume 118. Springer Science & Business Media, 2012.
4. Bethge, Joseph, et al. "Training competitive binary neural networks from scratch." arXiv preprint arXiv:1812.01965 (2018).
5. Bengio, Yoshua, Nicholas Léonard, and Aaron Courville. "Estimating or propagating gradients through stochastic neurons for conditional computation." arXiv preprint arXiv:1308.3432 (2013).

Практическое применение математических методов и компьютерного зрения для железнодорожных задач

РАСПОЗНАВАНИЕ ФИГУР НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ПОМОЩЬЮ АНСАМБЛЯ МОДЕЛЕЙ

Базарова Александра Ильинична,

Грабовой Андрей Валерьевич

Студентка бакалавриата, студент магистратуры

ФУПМ МФТИ, Долгопрудный, Россия

E-mail: bazarova.ai@phystech.edu, grabovoy.av@phystech.edu

Научный руководитель — Стриижев Вадим Викторович

В данной работе решается задача распознавания заданного набора фигур на изображении в предположении, что фигуры являются кривыми второго порядка. Построение моделей машинного обучения основывается на информации о виде этих кривых и множестве их возможных преобразований. Такую информацию называют *экспертными знаниями*, а метод машинного обучения, основанный на *экспертных знаниях*, называют *обучением с экспертом* [1, 3].

В работе предлагается отобразить точки, принадлежащие кривым второго порядка, в новое признаковое пространство, в котором каждая кривая второго порядка аппроксимируется линейной моделью, называемой локальной. При распознавании нескольких кривых на одном изображении на основании локальных моделей строится мультимодель, называемая смесью экспертов [3]. Эта мультимодель взвешивает локальные модели с помощью шлюзовой функции и аппроксимирует выборку. Значения весовых коэффициентов зависят от того объекта, для которого производится предсказание. Таким образом, набор кривых высших порядков распознается при помощи композиции линейных моделей. В работе поставлена и решена задача оптимизации параметров мультимодели.

Качество работы предложенного метода сравнивается на синтетических данных и на реальных изображениях, которые включают в себя кривые второго порядка [4].

Литература

1. Graboviy A. V., Strijov V. V. Analysis of prior distributions for a mixture of experts // Computational Mathematics and Mathematical Physics, to appear in 2020.
2. Scheres S. H. W. A Bayesian view on Cryo-EM structure determination. // Journal of Molecular Biology. 2012. Vol. 415. № 2. P. 406–418.
3. Yuksel S. E., Wilson J. N., Gader P. D. Twenty years of mixture of experts // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2012. Vol. 23, № 8, P. 1177–1193.
4. Matveev I. A. Detection of iris in image by interrelated maxima of brightness gradient projections // Applied and Computational Mathematics. 2010. Vol. 9. № 2. P. 252–257.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Потанин Марк Станиславович

Аспирант

Факультет ФИВТ МФТИ, Долгопрудный, Россия

E-mail: mark.potanin@phystech.edu

Научный руководитель — Стрижов Вадим Викторович

Исследуется проблема выбора оптимальной структуры модели. Моделью является суперпозиция обобщенных линейных моделей, элементами которой являются линейная регрессия, логистическая регрессия, метод главных компонент, автознекодер и нейросеть. Исследуется зависимость ошибки от вида суперпозиции автокодировщиков [1] и многослойной нейронной сети. Функция ошибки состоит из двух слагаемых: ошибка восстановления элементов выборки после кодирования и ошибка восстановления зависимых переменных. Слагаемые используют одни и те же независимые переменные, но разные зависимые переменные. Для автокодировщика зависимая переменная — это сами признаки объекта, для нейронной сети, следующей за ним, зависимая переменная — ответ y на объекте. Точка разделения — это место в суперпозиции, где автокодировщик, имеющий оптимальные параметры, передает преобразованный вектор призна-

ков в нейросеть. Необходимо найти оптимальное расположение разделения автокодировщика и сети, которое минимизирует ошибку аппроксимации выборки. Под структурой такой модели понимаются величины, задающие вид итоговой суперпозиции — то есть число слоев автокодировщика и нейросети, а также число нейронов в слоях. Процедура минимизации ошибки аппроксимации выборки следующая: сначала максимизируется точность реконструкции кодировщиков, затем оптимизируются параметры нейросети. Исследуются зависимость точности, сложности и устойчивости модели от способа задания структуры.

Вместе с точностью оптимизируется сложность модели. Под сложностью понимается структурная сложность модели — это число параметров модели, с учетом их области определения. Альтернативой этому определению является статистическая сложность модели — минимальная длина описания, т.е. минимальное количество информации, которое требуется для передачи информации о модели и о выборке [2].

Предложен алгоритм выбора оптимальной структуры нейронной сети. Задается множество случайных начальных значений структурных параметров. Затем вычисляется значение функции ошибки аппроксимации, которое характеризует качество модели в наборе. Согласно этой функции выбираются модели, которые обмениваются структурными параметрами, образуя новую структуру. Многократное повторение этой операции позволяет получить оптимальную структуру модели. Проведен вычислительный эксперимент с использованием реальных и синтетических данных. В результате эксперимента существенно понижена структурная сложность моделей с сохранением точности аппроксимации.

Таблица 4: Результат применения генетического алгоритма для прореживания сети

Выборка \mathcal{D}	Ошибка сети с прореживанием	Ошибка сети без прореживания	Сложность без прореживания	Сложность после прореживания
Credit Card	0.3204 ± 0.0032	0.2681 ± 0.0034	68	25
Protein	4.4968 ± 0.0238	4.4968 ± 0.0238	16	1
Airbnb	35.0773 ± 0.5909	33.9163 ± 0.5978	32	12
Wine quality	0.5818 ± 0.0147	0.5941 ± 0.0149	20	4
Synthetic, 10^{-3}	0.3005 ± 0.0081	0.303 ± 0.0079	60	12

Литература

1. *Hinton G. E., Salakhutdinov R. R.* Reducing the dimensionality of data with neural networks // Science, 2006. Vol. 313. No. 5786. P. 504–507.
2. *Бахтеев О.Ю., Стрижсов В.В.* Выбор моделей глубокого обучения субоптимальной сложности // Автомат. и телемех., 2018. Вып. 8. С. 129–147.

Программирование

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ В ДВЕНАДЦАТИ ОТВЕДЕНИЯХ

Андреев Павел Константинович

Студент

Факультет общей и прикладной физики МФТИ (ГУ), Долгопрудный, Россия

E-mail: Andreev.PK@phystech.edu

Научный руководитель — Карпулевич Евгений Андреевич

Правильная интерпретация электрокардиограмм имеет большое клиническое значение. На основе последних успехов в области искусственного интеллекта было разработано множество методов автоматической интерпретации ЭКГ [1]. Однако большинство из них используют данные только одного из двенадцати стандартных отведений, и потенциальный выигрыш от добавления остальных отведений не был должным образом изучен [2]. Кроме того, актуальной является задача оценки влияния предобработки ЭКГ сигналов на качество классификации.

В рамках данной работы был получен новый датасет, содержащий записи ЭКГ в двенадцати стандартных отведениях. Данные были размечены российскими врачами-кардиологами в виде описаний диагнозов соответствующих пациентов. Из текстовых описаний диагнозов по ключевым словам были выделены несколько наиболее распространенных патологий, среди которых мерцательная аритмия, атриовентрикулярная блокада, блокады ножек пучка Гиса и гипертрофии левых отделов сердца. Для решения задачи классификации на приведенные выше патологии была разработана одномерная сверточная нейросеть с остаточными блоками и мультиклассовой функцией активации на конце.

Качество классификации оценивалось на кросс-валидации по значению взвешенной кросс-энтропии на тестовой выборке, для оценки значимости улучшений был использован односторонний критерий знаковых рангов Уилкоксона. Проведенные эксперименты продемонстрировали значительное улучшение качества классификации при добавлении в модель всех двенадцати стандартных отведений. Предобработка в виде коррекции плавущей изолинии на основе

локальной взвешенной непараметрической регрессии также положительно сказалась на качестве классификации. Напротив, удаление высокочастотного шума с помощью широко используемого для этих целей дискретного вейвлет-преобразования [3] никак не отразилось на качестве прогнозов нейросети.

Работа поддержана грантом РФФИ 19-57-06004 МНТИ_а.

Литература

1. Hagiwara Y. et al. Computer-aided diagnosis of atrial fibrillation based on ECG signals: a review //Information Sciences. – 2018. – Т. 467. – С. 99-114.
2. Hannun A. Y. et al. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network //Nature medicine. – 2019. – Т. 25. – №1. – С. 65.
3. Addison P. S. Wavelet transforms and the ECG: a review //Physiological measurement. – 2005. – Т. 26. – №5. – С. R155.

ДЕДУКТИВНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММ НА ЯЗЫКЕ РУТНОН

Бикбулатов Тимур Русланович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: bikbulatovtimur96@yandex.ru

Научный руководитель — Корухова Юлия Станиславовна

Возрастающая сложность программного обеспечения становится причиной большого количества ошибок в нём, а одновременный рост критичности выполняемых им функций влечёт ущерб от этих ошибок. Для обеспечения надежности большое значение имеет верификация, выявляющая ошибки на этапе разработки. Она проверяет соответствие программы заранее заданным требованиям, сформированным в виде набора логических условий. При верификации исходного кода анализируются следующие характеристики [2]:

- Код написан в соответствии с синтаксическими и семантическими правилами выбранных языков программирования.
- В исходном коде отсутствуют пути выполнения, достижимые в условиях работы программы и приводящие к её сбоям.

Одним из методов верификации является дедуктивный анализ. Проверка программы организована следующим образом [1]:

1. Спецификация программы в виде её предусловия и постусловия определяется в рамках исчисления высказываний.
2. В коде программы выбираются точки сечения так, чтобы любой цикл содержал по крайней мере одну такую точку.
3. Для каждой точки находится предикат, характеризующий отношения между переменными. В начале программы в качестве предиката выбирается предусловие, в конце — постусловие.
4. Программа разбивается на набор возможных линейных путей между парами точек сечения. Для каждого такого пути P_{ij} между точками i и j проверяется истинность тройки $iP_{ij}j$, обозначающая, что после выполнения Р будет истинным.

Существуют различные инструменты верификации программ методом дедуктивного анализа. Преимущественно все верификаторы работают с языком Си. В рамках работы сделан сравнительный анализ таких систем. Эксперименты показали, что перевод программы с Python на Си на выходе выдаёт текст программы во много раз превышающий размер изначального, поэтому такие инструменты не подошли.

Был реализован алгоритм верификации программ на языке Python методом дедуктивного анализа. Данный язык программирования является динамическим и нетипизированным, потому существуют сложности, затрудняющие полноценную проверку кода. Было принято решение взять подмножество синтаксиса Python, позволяющее применить верификацию. В качестве инструмента выбрана платформа Why3 с использованием доказывателей Alt-Ergo, CVC4, Z3 [3]. Для взаимодействия с данной платформой был создан модуль перевода кода с Python в код на языке внутреннего представления WhyML платформы Why3.

В результате была создан прототип системы, позволяющий выполнить проверку программы на языке Python методом дедуктивного анализа.

Литература

1. Камкин А. С. Введение в формальные методы верификации программ: учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2018.
2. Fitting M. First-Order Logic and Automated Theorem Proving // Graduate Texts in Computer Science, New York, 1990, pp. 45-50.
3. Описание работы платформы Why3:
<http://why3.lri.fr/ssft-16/notes-why3.pdf>

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММ ЗА СЧЁТ УЛУЧШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПЕРЕХОДА

Горшков Сергей Сергеевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: serggorsar@yandex.ru

Научный руководитель — Сухомлин Владимир Александрович

С распространением современных конвейерных микропроцессорных архитектур стало возможно сделать независимыми разные шаги выполнения инструкции. Это позволяет сократить время простоя отдельных элементов конвейера и существенно уменьшить время выполнения программы. Но возникают конфликты, которые затормаживают работу конвейера. Например, конфликты по данным — некоторый этап зависит от значения/побочных эффектов, получаемых на предыдущем этапе выполнения инструкции. В работе рассмотрим конфликты по управлению, то есть ветвления/переходы в коде.

В программах часто встречаются блоки кода, которые выполняются в зависимости от выполнения некоторого условия; в случае его невыполнения управление передается другой ветви. Обычно это реализуется с помощью инструкции условного перехода. Пока не будет выяснена истинность условия, неизвестно, какой ветви будет передано управление, поэтому отдельные этапы конвейера будут проходить. Механизм предсказания ветвлений угадывает, какой ветви будет передано управление, и начинает спекулятивное выполнение инструкций на выбранной ветви. Однако если после вычисления условия выясняется, что предсказание ошибочно, то выполненные инструкции сбрасываются и конвейер запускается с нужной ветвью, что вызывает задержку и может привести к изменению кэшей, блокировкам участка памяти и др. В настоящее время есть немало решений — спекулятивное выполнение обеих ветвей в ожидании результатов вычисления условия, использование статических методов предсказания перехода, опирающихся исключительно на вид инструкций, и динамических, основывающихся на истории выполнения переходов. Последние наиболее распространены и позволяют делать успешные предсказания с вероятностью, превышающей 0.9.

Как правило, программист не задумывается о вышеизложенном, когда пишет код. Некоторые компиляторы очень хорошо могут делать корректные предсказания, но во многих случаях не решают са-

мостоятельно две проблемы, связанные с конфликтами по управлению — предоставление возможности использовать модуль предсказания ветвления (это возможно не для всех инструкций) и уменьшение количества обращений к нему в рамках всей программы. Опишем некоторые из ситуаций, которые оптимизируются в данной работе с помощью методов лексического и синтаксического анализа.

1. Для реализации операторов множественного выбора или таблиц виртуальных функций на уровне ассемблера может создаваться таблица переходов (массив адресов, на которые может быть сделан переход), использующая возможность косвенного перехода/вызова подпрограмм. Для этого случая типовая реализация предсказателя не подходит, поскольку наблюдается множественное ветвление. Делаем преобразование кода, разворачивая операторы множественного выбора в последовательность условных выражений с сохранением `fallthrough`-переходов и корректной работой с атрибутами (с C++17), используя, возможно, условия, соединенные логическим ИЛИ.

2. В случае условия, состоящего из нескольких выражений, соединенных логическими И/ИЛИ, в языках программирования с реализованными «ленивыми» вычислениями на уровне ассемблера будут условные переходы после каждого из входящих в состав условия выражений, что увеличивает количество однотипных ветвлений. В зависимости от побочных эффектов во второй и последующих частях выражения разделяем вычисления и логические операции над составными частями и используем битовые операции. Падения производительности не будет из-за того, что временные переменные все равно будут положены на регистры при оптимизациях компилятора.

3. Внутри цикла часто встречаются ветвления, не зависящие от состояния программы. В такой ситуации, как правило, будут переходы в конце каждой итерации цикла (проверка условия нахождения в цикле) и ветвление внутри цикла. После надлежащих проверок меняем местами инвариантный переход и цикл, тем самым уменьшая количество обращений к предсказателю во столько раз, сколько ветвлений на каждой итерации.

Литература

1. Fog A. The microarchitecture of Intel, AMD and VIA CPUs. An optimization guide for assembly programmers and compiler makers. Technical University of Denmark, 2018.
2. Jimenez D. A. Fast path-based neural branch prediction // in Proceedings of the 36th annual IEEE/ ACM International Symposium on Microarchitecture, 2003, p. 243.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЫДАЧИ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЦЕННОСТЕЙ

*Гущин Дмитрий Вадимович, Матющенко Анастасия
Андреевна, Меркулов Павел Владимирович, Пономарев
Александр Сергеевич, Туракулов Акрамжон Улугбекович*

Студент, Студент, Студент, Студент, Студент

*Московский институт электроники и математики имени А. Н. Тихонова,
Москва, Россия*

E-mail: asponomarev@edu.hse.ru

Научный руководитель — Романов Александр Юрьевич

В рассматриваемой работе проводится исследование возможностей существующей системы выдачи материальных ценностей в корпусах НИУ ВШЭ, рассматривается разработка базы данных (далее — БД) и управляющего приложения. Кроме того, описываются алгоритм будущей системы и особенности разрабатываемого «умного шкафа».

В данный момент система выдачи материальных ценностей (ключей от аудиторий, корпоративных ноутбуков, пультов и т.д.) во многих образовательных учреждениях является устаревшей. Процедура получения ключей от аудиторий занимает достаточно большое количество времени, поэтому одной из главных задач проекта является уменьшение времени, затраченного преподавателем или сотрудником университета на получение вещей для работы в аудитории. Целью данной работы является создание системы для оптимизации процессов учета, выдачи и приема материальных ценностей, которая была бы полезна большому кругу пользователей.

Для хранения информации используется реляционная база данных под управлением СУБД Oracle. БД располагается на сервере наряду с управляющим приложением, написанном на высоконивневом языке программирования (далее — ЯП). В базе хранятся все необходимые сведения о пользователях системы, «умных шкафах» и имеющихся материальных ценностях. Также фиксируется информация о таких действиях пользователей, как получение и возврат ценностей. К тому же, предусмотрено периодическое архивирование данных во избежание потерь данных и формирования статистики работы системы.

Для создания приложения используется среда разработки Visual Studio с использованием ЯП C# (v8.0). Управляющее приложение располагается на сервере вместе с БД. Приложение предоставляет

ет возможность просмотра, добавления, редактирования и удаления данных, хранящихся в базе. Приложение при необходимости отправляет исходящие команды и данные «умным шкафам», а также принимает и обрабатывает входящие от «умных шкафов» сообщения и исполняет при этом в зависимости от команды требуемые действия с базой данных.

Данное устройство представляет собой закрытый с помощью электромагнитного замка шкаф со считывателем RFID меток [1]. Для управления работой шкафа используется микроконтроллер семейства AVR производства фирмы Atmel. Данный модуль системы располагается в корпусе считывателя меток. К нему подключен RFID-модуль, предназначенный для считывания и записи данных на метки (пропуска), работающие на частоте 125 кГц. По контуру шкафа располагается рамка-считыватель, которая фиксирует выдачу и возврат ценностей [2]. Также плата осуществляет управление электромагнитным замком и взаимодействие с экраном пользователя.

С помощью управляющего приложения в базу заносятся все необходимые данные. При прикладывании пользователем пропуска к считывателю выполняется запрос в базу, и при наличии прав доступа у пользователя электромагнитный замок открывается. После этого пользователь может брать или возвращать ценностии. При этом считыватель фиксирует все произведенные действия, а соединенная с ним плата записывает их и отправляет на сервер. Для снижения количества запросов в БД плата отправляет информацию о каждом совершенном действии не сразу, а запоминает и отправляет периодически одним пакетом данные обо всех действиях, совершенных за определенный период времени. Возможно также частичное хранение данных из базы (например, плата, управляющая работой «шкафа», обладает данными о вещах, которые должны храниться в определенном «шкафу», или о пользователях, имеющих к нему доступ), чтобы не отправлять постоянно запросы для проверки прав доступа на сервер. Также плата отправляет данные о различных ошибках (например, попытках открыть «шкаф» пользователями без прав доступа, попытках положить в «шкаф» ценность, которая должна храниться не в нем, и т.д.).

Таким образом, создание автоматизированной системы выдачи и приема материальных ценностей, позволит сократить затраты времени на выдачу корпоративных вещей, а также избавиться от лишних перемещений вещей, так как система предполагает наличие «умного шкафа» на каждом этаже учебных зданий.

Литература

1. Higham J. RFID cabinet,pat. 7348884 USA, 2008.
2. Marino R. A. Storage cabinet with improved RFID antenna system, pat. 7648065 USA, 2010.

СИСТЕМА НА КРИСТАЛЛЕ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ

*Костюкова Ольга Юрьевна, Духнай Екатерина Ивановна,
Куделина Лилия Александровна*

Студенты

*3 курс бакалавриата, Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Московский институт электроники и
математики им. А.Н. Тихонова, Москва, Россия*

E-mail: oyukostyukova@edu.hse.ru

Научный руководитель — Романов Александр Юрьевич

Определение эмоционального состояния человека является одной из наиболее актуальных проблем в машинном обучении. В настоящей работе представлена система, способная определить, какие эмоции испытывает индивид, на основе измеряемых нейроинтерфейсом ЭЭГ-сигналов и предсказаний нейронных сетей, получающих в качестве входных данных фотографии человека. Комплекс также включает в себя ПЛИС OpenVINO GX Cyclone V в качестве ускорителя нейронных сетей и пользовательское приложение, объединяющее в себе как программные, так и аппаратные части проекта.

Две параллельно работающие сверточные нейронные сети реализуют пространственную модель распознавания эмоций [1]: эмоция представляется как пара чисел с плавающей запятой, где одно показывает, насколько сильно человек испытал эмоцию, и другое — в какой степени она является для него позитивной или негативной. Придавая этим числам разные значения, можно распознать спектр эмоций, совпадающий с теми, которые может определить нейроинтерфейс: волнение, вовлеченность, расслабление, интерес, стресс, концентрация. Нейронные сети получают на вход выделенное на фотографии лицо человека. Лицо, в свою очередь, распознается с помощью алгоритма, написанного на языке высокого уровня C++ с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Нейроинтерфейс представляет собой специальный шлем с набором датчиков, который снимает ЭЭГ человека, и с помощью определенных

программных средств определяет, какие эмоции испытывает человек [2]. Передавать в приложение и обрабатывать данные, полученные с нейроинтерфейса, позволяют программный продукт Cortex UI и специальный API.

Для того чтобы увеличить скорость вычислений, используется ПЛИС OpenVINO GX и специальное программное обеспечение OpenVINO Toolkit, в состав которого входят программы ModelOptimizer и Inference Engine. Первая программа позволяет оптимизировать граф нейронной сети под аппаратную платформу и преобразовать в компактное отображение, а затем, используя вторую программу, с помощью высокогорневых вызовов прямо из пользовательского приложения загрузить это отображение на ПЛИС. Inference Engine также позволяет обращаться с запросами на обработку данных к сконфигурированному ПЛИС и получать от него ответ.

Литература

1. Коваленко А. А. и др. Анализ вызванных ЭЭГ-потенциалов при отрицательной эмоциональной активации у человека: временные и топографические характеристики // Ученые записки Крымского федерального университета имени ВИ Вернадского. Биология. Химия. – 2009. – Т. 22. – №. 1 (61).
2. Kim H. R. et al. Building emotional machines: Recognizing image emotions through deep neural networks // IEEE Transactions on Multimedia. – 2018. – Vol. 20. – No. 11. – P. 2980-2992.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ПАТТЕРНА ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ В КОЛЛЕКТИВЕ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ

Ермаков Александр Васильевич

Аспирант

АлтГТУ, Барнаул, Россия

E-mail: tour00ya.ru

Научный руководитель — Сучкова Лариса Иннокентьевна

Многоагентные системы используются для коллективного поведения роботов P и обеспечения совместной работы с координацией выполняемых действий одновременно в пространстве и во времени. Взаимодействие возможных действий агента $A = \{a_0, a_1 \dots a_m\}$

и состояния внешней среды $S = \{s_0, s_1 \dots s_n\}$ описывается упорядоченной последовательностью пар состояния-действие — историей $h : s_0 \xrightarrow{a_0} s_1 \xrightarrow{a_1} \dots$ [1]. Логика альтернативного времени (ATL) явно описывает возможности агентов и кластера из агентов $A_{p \in P}$. Для описания агентов и моделирования действий используют интерпретируемые языки программирования. Код, написанный на таком языке, является лингвистическим паттерном и состоит из описаний множества доступных состояний среды s , описаний доступных действий a , правил перехода из одного состояния в другое h , правил перехода состояний при межагентном взаимодействии h_a . Нами было разработано программное обеспечение, которое обеспечивает такие функции, как проверку валидности паттерна ($a \subseteq A, s \subseteq S$) и его обработку. Эмулируемое аппаратное обеспечение агента содержит модуль принятия решения, датчики, исполнительные механизмы и модуль сети [2] для межагентного взаимодействия. В результате работы были описаны принципы функционирования коллектива автономных роботов, как многоагентной системы, разработан язык описания лингвистических паттернов и программная реализация обработки паттернов.

Литература

1. Бугайченко Д. Ю., Соловьев И. П. Абстрактная архитектура интеллектуального агента и методы её реализации // Системное программирование. – 2005. – Т. 1. – №1. – С. 36-67.
2. Ermakov A., Suchkova L. (2019, October). Development of Data Exchange Technology for Autonomous Robots Using a Self-Organizing Overlay Network. FarEastCon-2019. IEEE, pp. 1-5.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА ПОХОЖИХ СУДЕБНЫХ РЕШЕНИЙ

Ермоляев Павел Альбертович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ermolaev.p.a@yandex.ru

Научный руководитель — Полякова Ирина Николаевна

С момента возникновения человеческого общества между людьми и группами людей неизменно происходили конфликты. В современном мире в любом правовом государстве межличностные и юридические отношения регулируются законодательством, и для разре-

шения конфликтов создается специальная государственная структура - судебная система, позволяющая в специальных учреждениях - судах - разрешать споры.

За продолжительную историю существования судов накопился большой объем информации по судебным тяжбам: заявления сторон, ход рассмотрения дела, решения суда, апелляции. Современные методы обработки больших объемов данных и компьютерная лингвистика позволяют извлечь, структурировать этот объем данных, а также применить полученную агрегированную информацию на благо людям.

Одной из задач, которую можно решить, обладая архивными данными по судебной практике, является задача поиска похожих судебных решений. Задача состоит в том, чтобы, имея текст решения суда или произвольный запрос по теме судебного решения, найти похожие судебные решения из некоторого множества уже имеющихся решений.

Поиск похожих судебных решений может использоваться при определении степени схожести судебных дел, при принятии решения о подаче апелляции и пр. Поиском пользуются юристы, адвокаты, судьи, простые граждане, не имеющим специального юридического образования. На первый взгляд может показаться, что задача поиска судебных решений сводится к задаче обычного органического поиска, однако это не так.

Проведенные эксперименты показывают, что из-за специфики предметной области для эффективного поиска требуется особая предварительная обработка исходных документов и запроса, например, в данной задаче становится критичным корректное определение и удаление некоторых именованных сущностей (названий организаций, ФИО, геолокаций). Также в этой задаче требуется использование нестандартных методов поиска, например примитивный полнотекстовый поиск основанный на tf-idf взвешивании word2vec векторов слов проигрывает поиску с выделением шаблонных частей в документах и последующему поиску в этих шаблонах. Так как структура судебных решений поддается шаблонизации, т.е. их структура в целом похожа и можно выделить общие важные фрагменты, например, обстоятельства дела, доказательства, вынесенное решение, то наиболее эффективным является выделение этих шаблонных фрагментов и их последующее независимое использование при поиске нужных фрагментов. Именно поиск по этим фрагментам, а не по всему документу дает наилучший результат.

Таким образом, поиск по судебным решениям плохо сводится к стандартной задаче поиска и требует более серьезной и осмысленной предварительной обработки, а также методов поиска, основанных в первую очередь на шаблонизации исходных данных, и поиска внутри найденных шаблонных структур.

Литература

1. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., Dean, J. (2013): Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space. In Proceedings of Workshop at ICLR.
2. Word2Vec, Doc2vec, GloVe: Neural Word Embeddings for Natural Language Processing
<https://deeplearning4j.org/word2vec.html>.
3. Pagliardini, M., Gupta P., Jaggi, M. (2018) Unsupervised Learning of Sentence Embeddings using Compositional n-Gram Features. Proceedings of NAACL-HLT 2018, pages 528–540

ВНУТРЕННЕ МОТИВИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

Иванов Сергей Максимович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: qfrick@mail.ru

Научный руководитель — Дьяконов Александр Геннадьевич

В обучении с подкреплением типичной ситуацией является сильная разреженность функции награды, например, когда агент получает подтверждение успешного решения на последнем шаге эпизода и константный сигнал в остальных ситуациях. Если траектории для инициализирующей (обычно случайной) стратегии оцениваются средой одинаково, ни один алгоритм глубокого обучения с подкреплением [1] принципиально не может начать обучение.

Введение внутренней мотивации означает создание отдельного модуля в обучающей системе агента, ответственного за автоматическую генерацию «виртуальной» награды для описания универсальных вспомогательных задач. Решая их, агент может начать понимать законы мира, не используя основную сколь угодно разреженную функцию награды, которая в данной концепции называется внешней мотивацией. Главным примером универсальной задачи является исследование окружающей среды.

Любопытством называется ошибка модели мира агента. Под моделью мира понимается любая обладающая прогнозирующей способностью функция. Если в некоторой области пространства состояний модель мира делает неверный прогноз о будущем, это сигнализирует о непонимании агента законов окружения, и агент должен быть мотивирован вернуться в эту область в ходе дальнейшего обучения с целью набрать больше прецедентов для улучшения модели. Соответственно, любопытство является хорошим сигналом для внутренней мотивации.

В простейшем виде, в качестве модели мира может использоваться модель прямой динамики, которая по состоянию и действию предсказывает следующее состояние. Напрямую такой подход сопряжён с рядом проблем, хотя бы потому, что исходное пространство состояний содержит огромное количество трудно предсказуемой излишней информации.

Основной фундаментальной проблемой любопытства является так называемая проблема «шумного телевизора». В среде в силу стохастичности функции переходов могут присутствовать источники принципиально непредсказуемой нерелевантной для агента информации (простым примером может являться гауссовский шум на сенсорах или генератор случайных текстур в видеоиграх). Непредсказуемость приводит к не уменьшающемуся со временем поощрению агентом самого себя и вызывает эффект прокрастинации, когда агент отвлекается от основной задачи на источники шума.

Для защиты от эффекта [3] модель прямой динамики $f: \mathbb{R}^d \times \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}^d$ строится в пространстве \mathbb{R}^d представлений, полученных из некоторой функции $\varphi: \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^d$, называемой фильтром. Обучить фильтр φ можно, строя на его выходах модель обратной динамики $g: \mathbb{R}^d \times \mathbb{R}^d \rightarrow \mathcal{A}$, пытающейся по отфильтрованным представлениям состояния и следующего состояния предсказывать действие, которое привело к переходу между ними. По построению на выходе из такого фильтра останется информация только о тех объектах среды, с которыми агент может непосредственно взаимодействовать, на которые может повлиять своими решениями. Итого, генерация внутренней мотивации сводится к решению двух вспомогательных задач регрессии¹:

$$\mathbb{E}_{s,a,s'} \|g(\varphi(s), \varphi(s')) - a\|_2^2 \rightarrow \min_{g,\varphi}$$

¹для непрерывных пространств действий \mathcal{A} ; для дискретных же пространств действий модель обратной динамики является классификатором и для неё должна оптимизироваться соответствующая функция потерь.

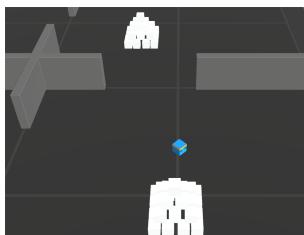
$$\mathbb{E}_{s,a,s'} \|f(\varphi(s), a) - \varphi(s')\|_2^2 \rightarrow \min_f$$

Ошибка последнего функционала используется в качестве любопытства и полагается значением сигнала внутренней мотивации агента.

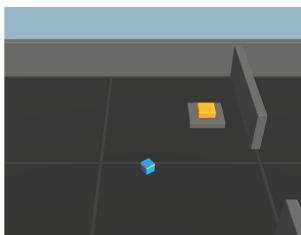
В работе исследуются возможности данной концепции и её потенциала для решения задач с разреженной функцией награды. В качестве тестовой среды для экспериментов рассматривается задача Unity ML Agents: Pyramids [2], описанная на рис. 1, которую алгоритмы без модуля внутренней мотивации решить неспособны. В экспериментах удалось увидеть, что введение любопытства позволяет решить задачу для всех рассматривавшихся базовых алгоритмов обучения с подкреплением (A2C, PPO и QR-DQN) [1].

Результаты получены в рамках проекта «Центра хранения и анализа больших данных» МГУ имени М.В.Ломоносова по договору с Фондом поддержки проектов НТИ № 13/1251/2018 от 11.12.2018.

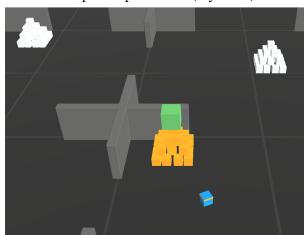
Иллюстрации



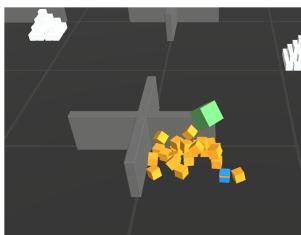
а) В начале эпизода агент располагается в случайной из девяти комнат. На вход ему поступает 172 значения сенсоров о дальности до объектов каждого типа вдоль набора направлений (ray-casts).



б) Агент должен найти случайно расположенную кнопку и нажать её (пересечься с ней). Нажатие не приводит к награде от среды.



в) В случайном месте среды появится пирамидка выделенного цвета (агент различает её от остальных пирамидок в среде).



г) Агенту нужно разбить пирамидку и добраться до большого куба, который упадёт с вершины. Только после этого агент получит награду от среды +1.

Задача Unity ML Agents: Pyramids.

Литература

1. Ivanov S., D'yakonov A. Modern Deep Reinforcement Learning Algorithms //arXiv preprint arXiv:1906.10025. – 2019.
2. Juliani A. et al. Unity: A general platform for intelligent agents //arXiv preprint arXiv:1809.02627. – 2018.
3. Pathak D. et al. Curiosity-driven exploration by self-supervised prediction //Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2017. – С. 16-17.

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕРНЕТА ЭНЕРГИИ

Канзепаров Руслан Ринатович

Студент

*Факультет прикладной математики и информатики МФТИ(ГУ), Москва,
Россия*

E-mail: kanzeparov@yandex.ru

Научный руководитель —

Кондратьева Татьяна Владимировна

На данный момент на рынке электроэнергетики возникает большое количество проблем и вызовов: растет характер спроса потребителей, растут издержки, снижается собственная экономическая эффективность, осваиваются новые территории. Для работы над данной проблемой была придумана новая концепция архитектуры Интернета энергии (IDEA – Internet of Distributed Energy Architecture).

Интернет энергии – это тип архитектуры, при котором осуществляется децентрализованная передача электроэнергии, также в нем реализована автоматическая система управления. [1] Данный тип автоматического управления системой реализовано за счет межмашинного взаимодействия, основной особенностью которого является самостоятельность при принятии решения о работе в том или ином режиме, связано это с тем, что система обладает полной информацией об окружении и может в режиме реального времени согласовывать все свои действия исходя из текущей ситуации. Основные характеристики Интернета энергии [2]:

- децентрализованность при работе всей системы;
- система автоматического управления;
- peer-to-peer операций;

- прямая транзакция между энергоячейками;

На данный момент был разработан прототип с использованием принципов IDEA, где в качестве IoT устройств был взят Raspberry Pi. Вместо основного регулирующего механизма, который осуществляет процедуру оплаты между ячеек, был взят смарт-контракт, написанный на платформе Ethereum. Основным механизмом, который позволяет сократить транзакционные издержки, является “каналы оплаты” (payment channels). Payment channels – это транзакции в сеть блокчейна, которые требуют минимальную стоимость за одну транзакцию (только за открытие канала и его закрытие). Все эти механизмы помогают системе пользоваться преимуществом блокчейна и уменьшать транзакционные издержки системы.

Иллюстрации

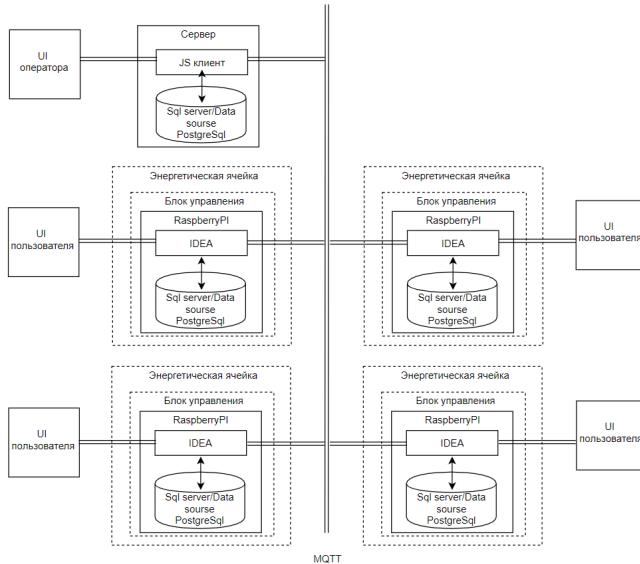


Рис. 1. Архитектура прототипа IDEA.

В конечном итоге имеется система, которая позволяет нам заменить существующие подходы в централизованной электроэнергетике и уменьшить количество издержек.

Литература

1. Инфраструктурный центр EnergyNet. Архитектура Интернета энергии (White paper), 2018.
2. Yuba R K., Khizir M., Sayidul M., Graham T. Towards an internet of energy // 2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON). 2016. P.40–46.

МЕТОД ПЕРЕИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБСТРАКЦИЙ В СТАТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ДЛЯ ПОИСКА СОСТОЯНИЙ ГОНКИ

Карпов Максим Евгеньевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: me@m-k.msk

Научный руководитель — Хорошилов Алексей Владимирович

Контроль качества — важный этап жизненного цикла разработки ПО. Для его обеспечения создано множество подходов: инспекция кода, тестирование, статический анализ и др. Из них формальная верификация, как разновидность статического анализа, дает самые сильные гарантии, но и требует больше всего ресурсов: как человеческих, так и вычислительных.

В основе подходов проверки моделей лежит исследование множества достижимых состояний программы и проверка на нём заданных свойств. Так как в реальных программах количество состояний может быть огромным, применяются абстракции, делящие пространства состояний на классы эквивалентности, в которых опущены несущественные для анализа детали.

В ИСП РАН разрабатывается инструмент CPALockator[1] на основе фреймворка для статической верификации CPAchecker. Новшество CPALockator — существенно улучшенная абстракция чередования потоков, которая избегает комбинаторного взрыва состояний. Однако, оно сделало неприменимым имеющийся механизм переиспользования абстракций, который ускорял анализ повторяющихся фрагментов кода.

В работе представлен альтернативный метод переиспользования абстракций, совместимый с изменениями в CPALockator. Разработанная реализация сохраняет многопоточную семантику программы и позволяет эффективно переиспользовать результаты анализа

повторяющихся частей. Реализация была протестирована на параллельных программах из набора SV-COMP.

Литература

1. Andrianov P.S. Analysis of correct synchronization of operating system components. Proceedings of the Institute for System Programming, vol. 31, issue 5, 2019, pp. 203-232

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОМОЩИ В ПРОВЕДЕНИИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО JAVASCRIPT

Королев Артем Сергеевич

Студент

Космический факультет МФ МГТУ им. Н. Э. Баумана, Мытищи, Россия

E-mail: korolian31@yandex.ru

Научный руководитель — Афанасьев Алексей Викторович

JavaScript входит в десятку самых популярных языков программирования[1]. Кроме того, это самый популярный язык, используемый для программирования графического интерфейса веб-сайта (другие языки, например, TypeScript и CoffeeScript транслируются в JavaScript). С появлением NodeJS в 2009 году и Electron в 2013 году появилась возможность использовать JavaScript для создания полноценных приложений и серверных программ.

Таким образом, обучение данному языку является актуальной задачей. Однако, для эффективного первоначального обучения языку программирования необходимо некоторое количество практики в виде решения алгоритмических задач. Ручная проверка тратит большое количество времени преподавателя, а распространённые системы автоматической проверки задач по программированию (например, Ejudge) сложны в настройке и требовательны к ресурсам сервера.

Цель работы - разработка системы для автоматической проверки решений алгоритмических задач, написанных на JavaScript. Основные требования к системе: простота в установке, настройке и использовании, низкое потребление ресурсов сервера.

Система реализована в виде веб-приложения на стеке технологий (HTML/CSS/JavaScript) и состоит из:

- задачника, который отображает список задач (задачи хранятся на веб-сервере в формате JSON)

- модуля отображения задачи (отображение условия и демонстрационных тестов)
- редактора кода для написания решения задачи в веб-браузере (используется веб-редактор Ace)
- проверяющей системы (осуществляется тестирование с помощью библиотеки ChaiJS[2])

Обучение языку JavaScript с помощью данной системы может выглядеть следующим образом: преподаватель составляет несколько задач и загружает на веб-сервер, студенты в рамках занятия решают данные задачи и проверяют их средствами системы. После успешного прохождения тестов, преподаватель просматривает код задачи, убеждается в прохождении тестов и засчитывает решение задачи.

Решением задачи является функция. Проверка осуществляется аналогично юнит-тестированию в промышленном программировании[3]: множество раз функция вызывается с аргументами из тестов и результат её выполнения сравнивается с правильным. Кроме того, существует возможность проверить завершилось ли корректно выполнение функции для недопустимых входных данных.

Преимуществами данной системы является её автономность и монолитность. Для работы веб-приложения достаточно веб-браузера, а для его доставки браузеру - любого веб-сервера (например, nginx), что значительно снижает системные требования к серверу-компьютеру и позволяет быстро разворачивать систему в учебных классах. По результатам проведённого тестирования, одноплатного компьютера Raspberry Pi 3 Model B+[4] достаточно, чтобы 500 клиентов получили веб-приложение. Отображение задачи, написание кода решения и его проверка осуществляется на одной странице в браузере.

Перспективы развития системы: внедрение проверки решений на сервере (с использованием среды для изолированного выполнения JavaScript - DenoJS) для скрытия тестов от студентов, аутентификация пользователей, добавление поддержки других языков программирования (C, C++, Haskell) с помощью технологии WebAssembly, перевод интерфейса системы на другие языки (английский).

Литература

1. Страница рейтинга популярности языков программирования «TIOBE index»: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>

2. Официальный веб-сайт библиотеки «ChaiJS»: <https://www.chaijs.com/>
3. Kent Beck Test Driven Development: By Example. Addison-Wesley Professional, 2002
4. Официальное описание одноплатного компьютера Raspberry Pi 3 Model B+: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ПАКЕТОВ С СОХРАНЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ В ОДНОЙ АРХИТЕКТУРЕ СЕТЕВОГО ПРОЦЕССОРА

Кузьмин Ярослав Константинович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: yaroslav_konst@lvk.cs.msu.ru

**Научный руководитель — Волканов Дмитрий Юрьевич,
Скобцова Юлия Александровна**

Сетевой процессор (СП) — это специализированная интегральная схема, предназначенная для обработки пакетов сетевыми устройствами и являющаяся основным функциональным элементом сетевых устройств [3]. В настоящее время активно развиваются программируемые СП. СП данного типа позволяют как загружать новые алгоритмы обработки пакетов, так и определять новые протоколы передачи данных [1].

В настоящее время высокопроизводительные сетевые устройства, способные реализовывать алгоритмы обработки пакетов с хранением состояния, становятся всё более востребованными, например, для построения сетей передачи данных в центрах обработки данных или в сетях телекоммуникационных провайдеров [1]. В подобных сетях применяются алгоритмы обработки пакетов, такие как алгоритм балансировки нагрузки, алгоритм port-knocking или алгоритм быстрого восстановления потока пакетов после отключения канала [2], требующие хранения своего состояния в памяти СП (stateful algorithms). Важно отметить, что состояние такого алгоритма обработки пакетов должно храниться и после завершения обработки пакета. Таким образом, современные требования к сетям приводят к необходимости разработки программируемого СП, позволяющего реализовывать алгоритмы обработки пакетов с хранением состояния.

В ходе работы был проведён анализ существующих аппаратных и программных подходов к хранению состояния алгоритма обработки пакетов с целью выявления особенностей построения архитектур СП. В работе предложена архитектура СП, позволяющая использовать алгоритмы обработки пакетов с хранением состояния. Данная архитектура разработана на основе эмулятора существующего программируемого СП без механизма хранения состояния алгоритма обработки пакетов.

На основе эмулятора было разработано программное средство для исследования разработанной архитектуры. В рамках экспериментального исследования были исследованы параметрические характеристики разработанной архитектуры СП.

Литература

1. Bifulco R., Rétvári G. A Survey on the Programmable Data Plane: Abstractions, Architectures, and Open Problems // 2018 IEEE 19th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR), IEEE, 2018, P. 1–7.
2. Cascone C. et al. Traffic Management Applications for Stateful SDN Data Plane // 2015 Fourth European Workshop on Software Defined Networks, IEEE, 2015, P. 85–90.
3. Kornaros G. (ed.). Multi-core embedded systems. CRC Press, 2018.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА МЕТРОРИТМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУССКИХ ПОЭТИЧЕСКИХ ТЕКСТОВ

Кузнецова Ирина Владимировна

Аспирант

Факультет ФИТ НГУ, Новосибирск, Россия

E-mail: Kirina92@rambler.ru

Научный руководитель — Барахнин Владимир Борисович

В литературоведении существует необходимость автоматизации анализа различных уровней структуры стиха, а также автоматизированного составления на основе такого анализа метрических справочников к корпусам стихов, словарей рифм и конкордансов.

Целью настоящей работы является разработка и практическая реализация подходов и технологий для автоматизации комплексного анализа русского поэтического текста. Результаты такого ана-

лиза позволяют существенно расширить возможности филологов, в том числе уменьшить зависимость качества сравнительного анализа от личной эрудиции исследователя, а также применять различные методы интеллектуального анализа данных. В работе представлена реализация программного модуля, отвечающего за анализ структурного уровня – выделение метроритмики стихотворения (метр, стопность и рифма) в русских поэтических текстах. Алгоритм определения метра и стопности учитывает проблему неоднозначности расстановки ударений в омографах, возможные пропуски схемных ударений (пиррихии), наложение сверхсхемных ударений (спондии), которые решаются методом “по аналогии”. Описан алгоритм выявления случаев переноса ударения с одной части речи на другую (проклитик). Представлен алгоритм поиска рифм, результатом работы которого является установление строфики стихотворения. Простейший алгоритм определения размера был предложен в работе [1]. Именно этот алгоритм и используется в разрабатываемой в ИВТ СО РАН системе автоматизированного анализа поэтических текстов [3]. Однако в работе [2] был предложен намного более подробный алгоритм, учитывающий некоторые возможные нарушения стандартного размера и перечисленные выше проблемы. Реализация этого алгоритма является основной целью данной работы.

Для реализации алгоритма [1] была произведена:

1. акцентуация слов в тексте согласно словарю А.А.Зализняка,
2. разбиение слов в тексте на слоги,
3. получение метрико-ритмической схемы стиха,
4. сравнение полученной метрико-ритмической схемы с набором метрико-ритмических шаблонов.;

Другой задачей настоящей работы являлось тестирование реализуемого алгоритма и алгоритма системы автоматического анализа поэтических текстов [3], созданной в ИВТ СО РАН, а также сравнение результатов их работы. В качестве тестовой выборки был использован корпус текстов лирических произведений А. С. Пушкина, предварительно размеченный по метру, стопности, рифме.

Проект реализуется на языке программирования Python 3.4.

Литература

1. Бойков В. Н., Каряева М. С., Соколов В. А., Пильщиков А. И. Об автоматической спецификации стиха в информационно-

- аналитической системе // CEUR Workshop Proceedings. 2015.
V. 1536. P. 144-151.
2. Козьмин А. В. Автоматический анализ стиха в с системе Starling / Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды международной конференции "Диалог 2006" (Бекасово, 31 мая – 4 июня 2006 г.). М.: Издательский центр РГГУ, 2006. С. 265-268.
 3. URL: <http://poem.ict.nsc.ru>

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДЕТЕКЦИИ С ПОМОЩЬЮ
ОБУЧЕНИЯ С ЧАСТИЧНЫМ ПРИВЛЕЧЕНИЕМ
УЧИТЕЛЯ**

Лесцов Борис Андреевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: boris.lestsov@graphics.cs.msu.ru

Научный руководитель – Конушин Антон Сергеевич

В последние годы сверточные нейронные сети (СНС) стали повсеместно применяться для решения множества задач компьютерного зрения, таких как, например, классификация изображений, детекция и сегментация объектов на изображениях. Для обучения СНС с учителем требуются большие объемы данных, размеченные человеком, которые, к сожалению, доступны не всегда: разметка данных часто является трудоемким и продолжительным процессом, особенно в таких задачах как детекция и сегментация. В связи с этим за последние годы был разработан ряд методов, позволяющих использовать неразмеченные данные в процессе обучения СНС для повышения их итогового качества работы. Неразмеченные данные используются вместе с доступной размеченной выборкой, поэтому это семейство подходов называется обучением с частичным привлечением учителя. Целью данной работы является проверка возможности использования данных методов для решения задачи детекции.

Существует широкий класс современных методов обучения с частичным привлечением с учителя, использующих специальную функцию потерь, называемую функцией согласованности (consistency loss function) [1]. Использование функции согласованности позволяет добиться того, что предсказания СНС становятся инвариантными к некоторому классу преобразований исходного изоб-

ражения, что повышает качество работы СНС. Использование функции согласованности не требует разметки изображений, что позволяет использовать ее в применении к неразмеченным данным в процессе обучения.

В методе предполагается наличие некоторого обратимого стохастического преобразования F (аугментации), применимого к изображению и предсказанию детектора. В рассматриваемом подходе в качестве F используются геометрические преобразования.

Обозначим за $nn(x^{sup})$ — результат работы детектора nn на размеченном изображении x^{sup} , а за $prob^{sup}$ и reg^{sup} — предсказанные векторы вероятностей и регрессии соответственно:

$$prob^{sup}, reg^{sup} = nn(x^{sup}).$$

В режиме обучения с учителем, оптимизируется функционал:

$$L^{sup} = BCE(y, prob^{sup}) + ||reg^{sup} - reg_{true}||_2^2,$$

где $BCE(y_{true}, prob^{sup})$ — функция потерь для классификации (бинарная кросс-энтропия), y_{true} — метка класса, а reg_{true} — истинный вектор регрессии.

При обучении с частичным привлечением учителя дополнительно вычисляются предсказания вероятностей $prob^{unsup}$ и регрессии reg^{unsup} для неразмеченного изображения x^{unsup} :

$$prob^{unsup}, reg^{unsup} = nn(x^{unsup}),$$

а также предсказания $prob_{aug}^{unsup}$ и reg_{aug}^{unsup} для $F(x^{unsup})$ — аугментированной версии исходного неразмеченного изображения:

$$prob_{aug}^{unsup}, reg_{aug}^{unsup} = F^{-1}(nn(F(x^{unsup}))),$$

где F^{-1} применяется к предсказаниям детектора.

Суть метода состоит в добавлении в итоговую функцию потерь компоненты L^{unsup} , отвечающей за обучение без учителя:

$$L^{unsup} = JS(prob^{unsup}, prob_{aug}^{unsup}) + ||reg^{unsup} - reg_{aug}^{unsup}||_2^2,$$

где JS — расстояние Дженсона-Шеннона.

Тогда, итоговый оптимизируемый функционал L :

$$L = L^{sup} + L^{unsup}.$$

При тестировании на открытом наборе изображений Pascal VOC [2] метод позволил получить на валидационной выборке метрику 72.5 mAP, против 69.4 mAP при обыкновенном обучении с учителем.

Литература

1. Qizhe Xie, Zihang Dai, Eduard H. Hovy, Minh-Thang Luong, and Quoc V. Le. Unsupervised Data Augmentation, // CoRR, abs/1904.12848, 2019
2. Страница конкурса Pascal VOC Challenge: <http://host.robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/>

АСПЕКТНЫЙ АНАЛИЗ НАУЧНОЙ СТАТЬИ НА ОСНОВЕ ДИСКУРСИВНЫХ МАРКЕРОВ

Машигина Наталья Владимировна

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: mashigina.nata@mail.ru

Научный руководитель — Ефремова Наталья Эрнестовна

В связи с возрастающим количеством текстов особую актуальность приобретает задача их всестороннего анализа, в том числе и дискурсивного, при котором из текста извлекается главная мысль, отношение автора к предмету обсуждения, его культурное окружение и пр.

Фундаментальной теорией в области дискурсивного анализа является Теория риторических структур (TPC) [2], представляющая дискурс в виде множества дискурсивных единиц, связанных между собой дискурсивными отношениями. Слова-индикаторы дискурсивных отношений называются дискурсивными маркерами.

В данной работе рассматривается аспектный анализ, являющийся разновидностью дискурсивного и ставящий перед собой задачу выделения определенного аспекта научного текста, например, постановки проблемы или описания результатов.

Существует три основных подхода, которые можно применить для аспектного анализа:

- лингвистический;
- статистический;
- машинное обучение.

Лингвистический подход подразумевает поиск в тексте аспектов, опираясь на лингвистические правила. В статистическом подходе учитываются слова-индикаторы, наиболее часто указывающие на аспекты научного текста. При использовании машинного обучения задачу аспектного анализа рассматривают как задачу классификации фрагментов текста по искомым аспектам.

Поскольку задача аспектного анализа научных текстов не является широко исследованной, на данный момент нет размеченного корпуса, который можно было бы использовать для машинного обучения. Поэтому наиболее перспективным выглядит комбинированный метод, сочетающий в себе элементы лингвистического и статистического подходов [1].

Для решения поставленной задачи был реализован метод выявления слов-индикаторов, помогающих определить аспекты текста. Полученный в результате список был разделен на группы, соответствующие каждому из аспектов. К примеру, аспекту *постановка проблемы* соответствуют индикаторы *проблема заключается, в работе рассматривается* и пр.

Заметим, что с помощью слов-индикаторов можно найти в тексте только место, где упоминается определенный аспект. Для выделения текстового фрагмента, именно описывающего аспект статьи, предложено использовать дискурсивные маркеры. Они отвечают за организацию рассуждений и могут помочь понять, где описание аспекта начинается и заканчивается. Для сбора маркеров были проанализированы существующие корпуса с дискурсивной разметкой на основе ТРС. В результате, к примеру, для отношения *противопоставление* были получены маркеры *несмотря на, однако, however, alternatively*.

Сейчас проводится оценка результатов работы предложенного метода. Одним из способов оценки является сравнение выделенных фрагментов с аннотациями статей, в которых обычно присутствует краткое описание основных аспектов.

Литература

1. Саломатина Н. В., Гусев В. Д. Автоматизация формирования индикаторных словарей и возможности их использования // Труды международной конференции «Диалог 2006». М., 2006. С. 459-463.
2. Mann W. C., Thompson S. A. Rhetorical structure theory: A theory of text organization. University of Southern California, 1987.

**МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ И ОРУЖИЕМ НА ОСНОВЕ
АНАЛИТИЧЕСКОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Мещеряков Андрей Константинович

Курсант

*Факультет ракетного вооружения Военной академии Ракетных войск
стратегического назначения имени Петра Великого, Балашиха, Россия*

E-mail: andrew.mescheryakov@gmail.com

Научный руководитель — Казарин Владимир Ефимович

Опыт применения современных высокоточных средств поражения в САР показывает, что в первую очередь воздействию подвергаются критически важные структуры. [1] К таким структурам в полной мере можно отнести систему управления войсками (СУВ) и оружием. При этом необходимо отметить, что СУВ в современных условиях должна обеспечивать оперативное доведение информации до получателя.

Существующие модели функционирования СУВ по передаче информации от источника до получателя не в полной мере позволяют учитывать временные характеристики обработки и передачи информации на элементах системы и возможности противника по воздействию на них. С учётом недостатков математических моделей и методик нами была разработана новая математическая модель, которая на основе учёта временных параметров обработки и передачи информации на отдельные элементы системы позволяет построить вероятностно-временные характеристики процесса передачи информации от источника до получателя. Разработанная модель функционирования была реализована с использованием программных сред «QT Creators» и «Microsoft Excel». Данная программа позволяет на основе метода направленного перебора определить все возможные пути доведения информации от источника до получателя:

для каждого выделенного пути построить вероятностно-временную характеристику доведения информации от источника до получателя на основе использования метода PERT;

на основе анализа всех возможных путей доведения информации определить критические элементы в структуре с учётом вероятностно-временных характеристик доведения информации по каждому отдельному пути;

на основе статистического моделирования оценить вероятность своевременного доведения информации от источника до получателя с учётом возможности противника по воздействию на её элементы.

Для проверки адекватности разработанной модели был сформирован исследовательский комплекс исходных данных, и на его основе были проведены расчёты вероятности доведения информации от источника до получателя для различных условий воздействия противника на элементы системы. В результате были выявлены основные закономерности изменения вероятности доведения информации от источника до получателя и на этой основе сформулированы основные рекомендации повышения эффективности функционирования СУВ по управлению войсками и оружием в различных условиях складывающейся обстановки. В частности, мы выяснили, что в текущих СУВ необходимо повышать уровень маскировки пунктов, отвечающих за передачу информации, и их защищенность. Программа поможет в исследовании возможных способов передачи информации от источника до получателя, а также в выборе оптимальных способов на основе установленных критериев.

Иллюстрации

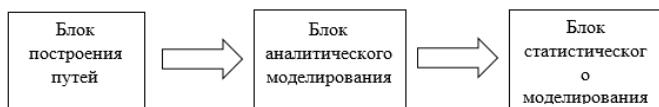


Рис. 1. Модель СУВ.

Разработанная модель состоит из трех блоков, показанных на рисунке 1. Первый блок отвечает за построение всех возможных путей передачи информации, на основе которых путём аналитического и статистического (блоки 2 – 3) моделирования проводятся расчёты вероятностей доведения информации.

На модель получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020611572.

Литература

1. Мясников Е. Высокоточное оружие и стратегический баланс. Долгопрудный: Издание Центра по изучению проблем разоружения, энергетики и экологии при МФТИ, 2000 г. – 43 с.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ СЛОВАРЯ ТОНАЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ

Нгуен Khanь Kхуен

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: nguenkhan@ya.ru

Научный руководитель — Ефремова Наталья Эрнестовна

Тональные модификаторы играют важную роль при определении тональности текстов: с их помощью составляются правила композиции тональности и выделяются признаки для применения методов машинного обучения.

Выделяют следующие виды модификаторов:

- **модификаторы конверсии** преобразуют исходную тональность выражения в обратную, например, не, отсутствие: новость меня обрадовала (+) – новость меня не обрадовала (-);
- **модификаторы-доминаторы** определяют тональность выражения независимо от тональности соседнего слова: красивая/грустная смерть (-);
- **модификаторы-распространители** «распространяют», т.е. усиливают или снижают тональность соседнего слова: увеличение безработицы (-) – уменьшение безработицы (+).

Данная работа посвящена автоматическому составлению словаря модификаторов для русского языка. Для этого была проведена адаптация и доработка метода, описанного в [2]. Метод позволяет автоматически генерировать словарь модификаторов для различных предметных областей и не требует размеченных данных для обучения, кроме тонального словаря, который содержит позитивные и негативные слова.

Генерация словаря включает несколько этапов:

- предсказание тональности слов и выражений с помощью метода опорных векторов (SVM);
- использование правил для определения принадлежности слова к одному из классов модификаторов на основе статистических признаков.

Сначала для всех слов и выражений вычисляется вектор признаков совместной встречаемости с заведомо положительными и отрицательными словами из тонального словаря с использованием меры Positive Pointwise Mutual Information. На основе полученных векторов признаков для слов из тонального словаря обучается SVM, который предсказывает тональности остальных слов и выражений.

Далее, на основе полученных предсказаний, с помощью правил формируются слова-кандидаты в классы и для каждого из них вычисляется вероятность отнесения к выбранному классу. Для каждого класса выбираются пороги значений вероятности для окончательного определения принадлежности слов к классам.

В данной работе предложенный метод был реализован для новостного корпуса, а в качестве тонального словаря использовался словарь РуСентиЛекс [1]. В дальнейшей работе планируется оценить полученный словарь в задаче анализа тональности выражений и рассмотреть вопрос его адаптации к различным предметным областям.

Литература

1. Лукашевич Н. В., Левчик А. В. Создание лексикона оценочных слов русского языка РуСентиЛекс // Труды конференции OSTIS-2016. 2016. С.377–382.
2. Orith T., Roy B. Learning Sentiment Composition from Sentiment Lexicons // Association for Computational Linguistics, 2018. P. 2230–2241.

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР ДАННЫХ ДЛЯ ПОИСКА В ТАБЛИЦАХ КЛАССИФИКАЦИИ В АРХИТЕКТУРЕ СЕТЕВОГО ПРОЦЕССОРА БЕЗ ВЫДЕЛЕННОГО АССОЦИАТИВНОГО УСТРОЙСТВА

Никифоров Никита Игоревич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: nickiforov.nik@gmail.com

***Научный руководитель — Волканов Дмитрий Юрьевич,
Скобцова Юлия Александровна***

В настоящее время активно развивается технология программно-конфигурируемых сетей [1], в которых требуются высокопроизводительные коммутаторы [2]. Возникает задача разработки програм-

мируемого сетевого процессора, являющегося основным элементом коммутаторов [2].

В данной работе будет рассматриваться задача классификации пакетов в рамках архитектуры исследуемого сетевого процессора без выделенного ассоциативного устройства памяти. Под классификацией понимается процесс идентификации пакета по его заголовку. Для этапа классификации в рамках рассматриваемой архитектуры сетевого процессора требуется реализация структур данных для хранения таблиц классификации.

В рамках работы проведён обзор существующих структур данных, в котором были учтены ограничения рассматриваемой архитектуры сетевого процессора, а именно ограничение тактов сетевого процессора на обработку одного пакета, объём доступной памяти и отсутствие адресуемой памяти. В качестве критериев выбора структур данных были выбраны объём используемой памяти и время классификации одного пакета. На основе обзора было выбрано АВЛ дерево, с использованием алгоритма представления префиксов, как скалярных величин [3], для дальнейшей адаптации под архитектуру сетевого процессора.

Для проведения экспериментального исследования адаптированная структура данных была реализована на эмуляторе сетевого процессора. Использование АВЛ дерева позволило сократить, по сравнению с использующимся решением, объём используемой памяти программируемого сетевого процессора, а также количество тактов процессора на классификацию пакета.

Литература

1. Смелянский Р. Л. Программно-конфигурируемые сети // Открытые системы, № 9, 2012. С. 15–26.
2. Bifulco R., Rétvári G. A survey on the programmable data plane: Abstractions, architectures, and open problems //2018 IEEE 19th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR). – IEEE, 2018. – С. 1-7.
3. Behdadfar, Mohammad, et al. "Scalar prefix search: A new route lookup algorithm for next generation internet." IEEE INFOCOM 2009. IEEE, 2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ЦИКЛОВ В СИМВОЛЬНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯХ НА ПРИМЕРЕ МУРАВЬЯ ЛЭНГТОНА

Омаров Темирхан

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: shestuha@mail.ru

Научный руководитель — Ульянов Михаил Васильевич

Вопрос нахождения периодов в символьных последовательностях – это фундаментальная проблема, которая возникает во многих областях науки и информационных технологий. Нахождение периодов в словах активно исследуется учеными по всему миру. Разными специалистами было предложено множество алгоритмов, решающих данную проблему. В этой работе будет проведен сравнительный анализ таких алгоритмов.

В работе рассматриваются наивный алгоритм поиска цикла в символьных последовательностях, а также алгоритмы WARP [1] и STNR [2]. Проводится сравнительный анализ этих алгоритмов на словах, построенных по логу пути муравья Лэнгтона для различных изначальных раскрасок поля.

Литература

1. Elfeky M. G., Aref W. G., Elmagarmid A. K. WARP: time warping for periodicity detection // Data Mining, Fifth IEEE International Conference on. – IEEE, 2005. – pp 8.
2. Rasheed F., Alhajj R. STNR: A suffix tree based noise resilient algorithm for periodicity detection in time series databases // Applied Intelligence. – 2010. – Т. 32. – №. 3. – pp. 267-278.

**Новый подход к взаимодействию объектов
в программном пакете для поддержки
работы в программном комплексе Octoshell**

Паокин Андрей Викторович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: andrejpaokin@yandex.ru

Научный руководитель — Никитенко Дмитрий Александрович

Octoshell – система управления доступом к суперкомпьютерным центрам [1]. На данный момент она используется в самом крупном в России Суперкомпьютерном центре Московского Государственного Университета имени М.В.Ломоносова. Octoshell работает удаленно с суперкомпьютерами по SSH и может работать без доступа к вычислительной системе.

Octoshell v2.5 заменяет собой сразу несколько инструментов в едином веб-интерфейсе для организации доступа, техподдержки, рассылок, для информирования пользователей о статусе задач, для управления доступом к программному обеспечению. Octoshell v2.5 построен на платформе веб-приложений Ruby on Rails v5, которая следует архитектурному шаблону Model-View-Controller, и функциональность системы распределена между модулями. Модульность позволяет достичь между модулями слабой связности, а внутри них – сильной связности, что упрощает разработку системы [2]. Обычные подходы для платформы Ruby on Rails рассматривают модуль как подсистему, которая взаимодействует только с основным приложением, что противоречит многомодульной организации Octoshell. В результате классы из разных модулей взаимодействуют точно так же, как и классы в одном модуле, что делает межмодульные зависимости жесткими.

В общем случае предлагается блоки кода, используемые для межмодульного взаимодействия, оборачивать if-конструкциями, которые будут осуществлять проверку того, что необходимые ассоциации и модели присутствуют в Octoshell. С другой стороны, этот подход не решает проблемы модулей, которые встраиваются в функциональность других модулей. Например, при просмотре информации о конкретном пользователе может понадобиться вся информация, распределенная между модулями: проекты, отчеты, опросы, SSH-ключи. В таких случаях используются хуки, т.е. конкретные места в веб-интерфейсе получает имя, которые модули используют для встраивания.

ивания. В работе выделены наиболее частые типы межмодульного взаимодействия, для каждого из которых разработано своё решение.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-29-03230).

Литература

1. Nikitenko D.A., Voevodin Vad.V., Zhumatiy S.A. Driving a Petascale HPC Center with Octoshell Management System // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2019. Т. 40, № 11. С. 1817–1830
2. Официальный сайт Ruby on Rails: <https://rubyonrails.org/>

О МЕТОДЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ

Пашков Василий Николаевич

Ассистент кафедры АСВК

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: pashkov@vfk.cs.msu.su

Научный руководитель — Смелянский Руслан Леонидович

В работе приводится архитектура и принципы организации отказоустойчивой распределенной платформы управления (РПУ) для программно-конфигурируемых сетей (ПКС)[1,2]. Отказоустойчивость РПУ ПКС достигается за счет резервирования контроллеров, активных управляющих соединений между сетевыми устройствами и контроллерами, резервирования вычислительных ресурсов контроллеров и программных средств обнаружения угроз и восстановления управления[3,4].

Для повышения надежности РПУ разработаны алгоритм выбора основного и резервного контроллеров для каждого коммутатора ПКС, позволяющий минимизировать время восстановления управления сетью в случае одиночных отказов контроллеров, алгоритм синхронизации состояния контроллеров, алгоритм обнаружения отказов. Для предотвращения перегрузок контроллеров предлагается алгоритм балансировки нагрузки, обеспечивающий перераспределение управления коммутаторами между контроллерами РПУ и минимизирующий количество операций передачи управления коммутаторами. Предложенные алгоритмы реализованы для контроллера RUNOS. Проведена экспериментальная оценка времени восстановления управления сетью после одиночных отказов контроллеров.

Литература

1. Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks // ONF White Paper, 2012.
2. Смелянский Р. Л. Программно конфигурируемые сети. // Открытые системы. СУБД. 2012. №9. С. 15–26.
3. Pashkov V., Shalimov A., Smeliansky R. Controller Failover for Enterprise SDN. // MoNeTec 2014, 28-29 октября 2014, Moscow, Russia. Proceedings of the Modern Networking Technologies, IEEE, pp. 27-32.
4. Пашков В. Н. Разработка высокодоступной платформы управления для программно-конфигурируемых сетей // Материалы 19-ой международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСПС'2015), 24-31 мая 2015 г, Алушта. — Изд-во МАИ М, 2015. — С. 169–171.

О МЕТОДЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ DDoS АТАКИ НА КОНТРОЛЛЕР В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

*Пашков Василий Николаевич,
Антипина Анна Вячеславовна*

Ассистент кафедры АСВК, студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: pashkov@lvk.cs.msu.su, anya_antipina@lvk.cs.msu.su

Научный руководитель — Пашков Василий Николаевич

Одной из серьезнейших угроз безопасности для программно-конфигурируемых сетей (ПКС) является DDoS атака на контроллер [1]. Инициатором DDoS атаки выступает злоумышленник, имеющий точки присутствия в ПКС сети в виде *зараженных хостов* с установленным на них специальным вредоносным программным обеспечением (ВПО). ВПО позволяет злоумышленнику удаленно инициировать большое количество новых потоков (*фиктивных потоков*) трафика в сети. Отсутствие соответствующих правил в таблицах потоков коммутаторов для них приводит к формированию запросов к ПКС контроллеру на их установление. Это влечет за собой существенный рост задержек на установление правил для легитимных пользовательских потоков, истощение вычислительных ресурсов и перегрузку сервера контроллера, нарушение работоспособности

сти всей сети с соответствующими прерываниями и отказами в работе пользовательских сетевых сервисов. Поэтому задача своевременного обнаружения, предотвращения и устранения последствий DDoS атаки на контроллер является актуальной и важной задачей, без решения которой внедрение технологий ПКС в реальных сетях невозможно.

В работе предполагается, что топология и структура ПКС сети зафиксирована и не изменяется, контроллер управляет коммутаторами посредством протокола OpenFlow не ниже версии 1.3 [2].

Предлагаемый метод основан на двухэтапной фильтрации потоков трафика на граничных коммутаторах доступа пользователей к сети и на контроллере с целью выявления зараженных хостов.

В методе предотвращения DDoS атак на контроллер выделены три фазы: фаза инициализации, фаза мониторинга и фаза противодействия атаки. В фазе инициализации контроллер формирует «таблицу привязок», содержащую MAC и IP адреса всех хостов в сети, номера физических портов и идентификаторы коммутаторов их подключения. В таблицах потоков граничных коммутаторов устанавливаются правила для первого этапа фильтрации: пакеты сбрасываются, если их MAC и IP адреса источника, входной порт и/или MAC адрес коммутатора не совпадают или отсутствуют в таблице привязок.

В фазе мониторинга осуществляется контроль количества инициируемых потоков для каждого хоста. При превышении заранее установленного порогового значения фиксируется факт обнаружения атаки в сети.

В фазе противодействия атаки выполняется второй этап фильтрации с целью предотвращения DDoS атаки, на котором для каждого хоста осуществляется оценка надежности и поведения хоста и производится корректировка оценки с помощью фактора забывания. В результате каждый хост классифицируется как зараженный, пользовательский или неопределенный.

Метод предотвращения DDoS атак на контроллер был реализован в виде приложения на языке C++ для контроллера RUNOS [3]. Экспериментальное исследование метода проводилось на топологиях с количеством хостов от 4 до 128 и с долей зараженных хостов до 50%. В результате экспериментов было выявлено, что метод позволяет уменьшить утилизацию CPU сервера контроллера до 50% во время атаки, уменьшить задержку на установление новых потоков для пользовательского трафика до 6 раз и увеличить пропускную

способность каналов до 2 раз во время атаки.

Литература

1. Сычева Е. А., Пашков В. Н. Исследование и разработка алгоритмов обнаружения и предотвращения DDoS атак на контроллер в программно-конфигурируемых сетях // Программные системы и инструменты. — Т. 16 из Тематический сборник № 16. — М: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ МАКС Пресс, 2016. — С. 19–29.
2. Open Networking Foundation. OpenFlow Switch Specification. Version 1.3.0 (Protocol version 0x04).
3. RUNOS SDN/OpenFlow Controller. URL: <https://github.com/ARCCN/runos>

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ WORD2VEC В ЗАДАЧЕ ПОЛУЧЕНИЯ ИНВЕРТОРОВ ТОНАЛЬНОСТИ

Полозов Илья Константинович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ilya-polozov@mail.ru

Научный руководитель — Волкова Ирина Анатольевна

Автоматический анализ тональности является актуальной задачей. Во многих таких системах используются списки тональных слов. При этом тональность может меняться специальными словами — инверторами тональности, например, «избежать», «убрать». Поэтому особенно важной задачей является составление именно таких словарей. Многие системы используют словари инверторов тональности. Например, они используются в работе [3]. Внедрение словарей помогло увеличить точность классификации отзывов. В работе [2] строится классификатор, в котором одним из признаков является частота тональных слов в отзыве.

Большинство работ по составлению словарей инверторов тональности основано на ручном отборе. Например, в работе [1] описана система правил извлечения инверторов для китайского языка. Авторы размечают часть предложений вручную. Затем эта информация используется для пополнения множества инверторов.

В данной работе реализован новый подход к решению такой проблемы. Используются векторные представления слов, полученные с помощью Word2vec. Сначала из текста удаляются стоп-слова, знаки пунктуации, все слова переводятся в начальную форму. Потом

для всех нетональных слов подсчитывается частота их встречаемости рядом с тональными словами. Если она выше порога, то такие слова считаются кандидатами в инверторы. Затем каждое появление инвертора в тексте рядом с тональным словом заменяется единым токеном «кандидат_тональное слово».

После этого обучается Word2vec. Определяется тональность каждого токена «кандидат_тональное слово». Считается среднее расстояние по косинусной мере между комбинированным токеном и тональными словами. Если расстояние до положительных слов меньше, чем до отрицательных, то токен имеет положительную тональность. При этом если само тональное слово, входящее в такой токен, является отрицательным, то значит его тональность поменялась инвертором. Нетональное слово из комбинированного добавляется в список инверторов.

Литература

1. Xu G. Huang C. Mining Chinese Polarity Shifters // Chinese Lexical Semantics: 16th Workshop, Beijing, China, 2015, P. 244–251.
2. Morsy S. A. Rafea A. Improving Document-Level Sentiment Classification Using Contextual Valence Shifters The American University in Cairo // International Conference on Application of Natural Language to Information Systems, Groningen, The Netherlands, 2012, P. 253–258.
3. Ye Z. Li F. Encoding Sentiment Information into Word Vectors for Sentiment Analysis // Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics, Santa Fe, USA, 2018, P. 997–1007.

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫЯВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ СЛОВОСОЧЕТАНИЙ В НАУЧНЫХ ТЕКСТАХ

Рожков Никита Олегович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: ronikita98.07@gmail.com

Научный руководитель — Ефремова Наталья Эрнестовна

В настоящее время во многих задачах, связанных с автоматической обработкой текстов, используются различные словари устойчи-

вых словосочетаний. Из-за быстрого развития языка и ввиду большой сложности ручного формирования подобных словарей задачи их автоматического составления и последующего обновления не теряют своей актуальности.

Для выявления устойчивых словосочетаний из текстов используют два подхода: лингвистический и статистический. Основная идея лингвистического подхода заключается в том, что потенциальными единицами словаря являются словосочетания, имеющие определенный вид, к примеру, такие, которые удовлетворяют синтаксическому образцу «Существительное» + «Прилагательное».

В статистических методах считается, что потенциальные единицы словаря – это словосочетания, имеющие определенное значение той или иной меры ассоциации. В общем случае, меры учитывают частотность и совместную встречаемость слов, их значения вычисляются на достаточно большой коллекции текстов. Отметим, что среди мер можно выделить две подгруппы:

- не использующие контрастную коллекцию (MI, MI3, T-score, Log-Dice и др.);
- использующие контрастную коллекцию (Weirdness, Relevance, Contrastive Weight и пр.).

Как правило, при выявлении устойчивых словосочетаний сложно опираться на значение какой-то одной меры, поскольку разные меры по-разному ранжируют получаемые словосочетания. Например, мера MI сильно завышает значение словосочетаний с редкими словами (в частности, со словами с опечатками). Поэтому сейчас наиболее часто используют комбинации значений мер, которые подбирают исходя из рассматриваемой задачи [1].

Помимо комбинирования можно использовать значения мер как признаки для машинного обучения [2]. При этом, в качестве признаков также могут выступать типичные для устойчивых словосочетаний синтаксические образцы.

В рамках данной работы рассматриваются задача выявления устойчивых словосочетаний русскоязычной научной прозы, для которых не существует актуальных словарей (последний из словарей был выпущен в 70-е годы прошлого века).

Для решения рассматриваемой задачи был составлен список известных общенаучных устойчивых словосочетаний (с опорой на имеющиеся словари) и собрана коллекция научных текстов, включающая статьи, учебники, энциклопедии и т. п. В качестве контрастной

коллекции были рассмотрены произведения художественной литературы и новостные статьи. Для словосочетаний из словаря были вычислены значения 10 наиболее часто используемых мер и предложены несколько способов их комбинирования; один из способов основан на среднем ранге мер M13, T-score, Minimum-sensitivity, Log-Dice и MI. Также были выявлены признаки, которые будут использованы в методах машинного обучения.

Литература

1. Дорофеева 2019 – Дорофеева А. А. Методы оценки устойчивости словосочетаний на русском языке. Выпускная квалификационная работа. МГУ им. М.В. Ломоносова. 2019
2. Нокель 2015 – Нокель М. А. Методы улучшения вероятностных тематических моделей текстовых коллекций на основе лексико-терминологической информации. Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. МГУ им. М.В. Ломоносова. 2015.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ БИМОДАЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ В РЕЧИ

Шевченко Олег Владимирович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: shevchenko.cmc@gmail.com

Научный руководитель — Лукашевич Наталья Валентиновна

В последние годы задача автоматического распознавания эмоций все больше вызывает интерес исследователей в области искусственного интеллекта. Наибольшая возможность применения подобных технологий есть в таких областях как медицина, распознавание состояния водителя, маркетинговые исследования, системы видеоаналитики, носимые устройства и др.

Методы автоматического распознавания эмоций обычно основаны на одной или нескольких модальностях. Модальность – это форма выражения некоего действия, такого как написанный текст, устная речь или выражение лица человека. Таким образом методы распознавания эмоций могут делиться на одномодальные, которые распознают эмоции на каком-то одном конкретном входе, например, устной речи, и на мультимодальные, которые распознают эмоции из нескольких входных каналов, к примеру, по видео, броя в расчет го-

лос и мимику говорящего. В данной работе была рассмотрена бимодальная модель распознавания эмоций, которая основана на устной и письменной речи.

Рассматривалось следующее множество классов эмоций: грусть, счастье, страх, удивление, гнев, отвращение, а также нейтральное состояние. В качестве размеченного набора примеров была использована база данных RAMAS [2]. В результате было получено 10835 аудио фрагментов продолжительностью от 3 до 10 секунд. Фрагменты представлены в виде диалога двух людей.

Из голосовых сообщений извлекались различные признаки такие, как список мел-кепстральных коэффициентов, энергия, подача и др. Так как в используемом наборе данных не было текстовой информации, то текст распознавался из аудио примеров при помощи сторонних методов по распознаванию речи [3]. Распознанный текст переводился в векторное представление tf-idf [1]. Объединенный вектор признаков из двух каналов подавался на вход общему мультиклассовому классификатору. В данной работе были рассмотрены такие методы классификации, как деревья решений, градиентный бустинг, метод опорных векторов, наивный байес, линейная регрессия, многослойный перцептрон и рекуррентная нейронная сеть.

Для анализа результатов использовались такие метрики, как точность, полнота, F-мера и др. Результаты работы, представленные на Рис. 1, показывают несовершенство предложенных подходов и дают возможность для их улучшения путем построения более сложных архитектур нейронных сетей и рассмотрения большего набора признаков.

Иллюстрации

Models	Accuracy	F1	Precision	Recall
RF	51.0	51.2	51.2	51.3
XGB	53.6	52.8	52.9	52.8
SVM	33.7	15.2	17.4	21.5
MNB	31.3	9.1	19.6	17.2
LR	33.4	14.9	17.8	20.9
MLP	41.0	36.5	42.2	35.9
LSTM	53.6	51.3	53.2	49.6

Рис. 1: Результаты метрик на различных алгоритмах.

Литература

1. Manning C. D., Raghavan P., Schutze H. Introduction to information retrieval. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
2. Perepelkina O., Kazimirova E, Konstantinova M. 2018. RAMAS: Russian Multimodal Corpus of Dyadic Interaction for studying emotion recognition. PeerJ Preprints 6:e26688v1.
3. Страница облачного сервиса по распознаванию речи Yandex.SpeechKit:
<https://cloud.yandex.ru/docs/speechkit/>

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА SIMHASH ПРИ ПОМОЩИ СРЕДСТВ CILK PLUS

Шибаев Павел Павлович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: shiba.p@ya.ru

Научный руководитель — Колосов Алексей Михайлович

На данный момент существуют различные подходы к решению задачи поиска дубликатов или похожих записей в большом массиве данных (в бинарных файлах, логах, генетических данных, среди записей в базе данных). В 1997 А. Бродер [1] предложил алгоритм MinHash, который основан на идее вероятностной оценки похожести двух токенизованных текстов. Его основная идея заключается в использовании векторов значений нескольких хэш-функций для аппроксимации индекса похожести Жаккара, посчитанного над множествами токенов, соответствующих двум сравниваемым текстам. Этот алгоритм широко зарекомендовал себя на практике. Более того, он хорошо подвергается распараллеливанию [2].

В начале 2000-х в Google был разработан алгоритм Simhash [3], крайне эффективный как по памяти, так и по времени. Этот алгоритм нашел широкое практическое применение для решения задачи поиска дубликатов в случае веб-поиска. Алгоритм также основан на применении хэш-функций для вероятностной оценки похожести двух множеств. Однако, несмотря на простоту и эффективность этого алгоритма, не предпринималось попыток его параллельной реализации на CPU.

В настоящей работе приводятся результаты параллельной реализации Simhash с помощью инструментов Cilk++. Cilk++ (Cilk

Plus) является эффективным языковым расширением С/C++ [4] и предоставляет широкий спектр средств для распараллеливания. В данной работе используется версия Cilk++, поставляемая как часть Intel Parallel Studio XE. Реализована простейшая последовательная версия алгоритма Simhash. В данной работе представляет интерес именно быстродействие алгоритма, поэтому настройка параметров хэш-функций не производится. С помощью инструкций `cilk_for` и `cilk_spawn` собраны различные параллельные конфигурации алгоритма. На основе статистики, полученной с помощью утилиты `cilkscreen`, произведен отбор наиболее оптимальной конфигурации [5]. Произведены пробные запуски оптимизированной программы при различном количестве ядер на четырехъядерном процессоре *Intel Core i5-10210U*. Важной характеристикой является ускорение - отношение времени работы программы в n -ядерном случае к времени работы при последовательном запуске, а также т.н. параллелизм - прогнозируемая верхняя граница ускорения в случае очень большого числа ядер. Практические запуски показали, что предложенная реализация имеет линейное ускорение в случае малого количества ядер. Верхняя граница ускорения при любом количестве ядер до 32-х также линейна. Согласно данным, полученным с помощью утилиты `cilkview`, верхняя граница ускорения 22.5 может быть достигнута при 32-х ядрах, т.е. далее с ростом количества ядер алгоритм ускоряться не будет. Ниже на Рис.1 представлены данные анализа предложенной параллельной реализации, полученные с помощью утилиты `cilkplot`.

Иллюстрации

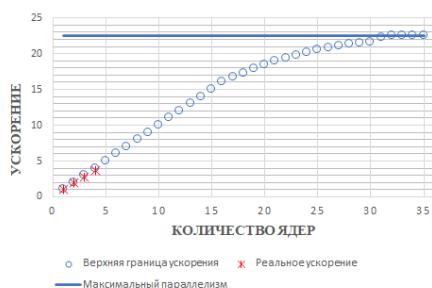


Рис.1 Зависимость ускорения от количества ядер при параллельной реализации Simhash

Литература

1. Broder A. Z. On the resemblance and containment of documents // In Proceedings. Compression and Complexity of Sequences 1997, Salerno, Italy, 1997, P. 21-29.
2. Cruz S., Kozawa Y., Amagasa T., Kitagawa H. GPU Acceleration of Set Similarity Joins. // In Database and Expert Systems Applications. Globe 2015, DEXA 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9261. Springer, Cham
3. Charikar M. Similarity estimation techniques from rounding algorithms // In STOC '02: Proceedings of the thiry-fourth annual ACM symposium on Theory of computing. Association for Computing Machinery, New York, United States, 2002, P. 380-388
4. Страница сообщества Cilk++:
<https://www.cilkplus.org/>
5. Репозиторий с кодом параллельной реализации Simhash:
<https://github.com/shibaeff/SimHashCilk>

ИНТЕРАКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАЗМЕТКИ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ОБУЧЕНИЕМ НА СЛАБО РАЗМЕЧЕННЫХ ДАННЫХ

Симаков Сергей Александрович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: simsergy@gmail.com

Научный руководитель — Хвостиков Александр Владимирович

Для осуществления сегментации медицинских изображений с применением сверточных нейронных сетей [1] требуется наличие большого объема обучающих данных. Как правило, разметка осуществляется с помощью построения многоугольников вдоль границ объектов, что является трудозатратным.

В данной работе предложен интерактивный алгоритм для разметки изображений, основанный на использовании штрихов [2], ориентированный на выделение желез на гистологических изображениях желудочно-кишечного тракта, (рис. 1).

Процесс обучения с помощью штрихов состоит в оптимизации графической модели. Графическая модель распространяет информацию от штрихов на не размеченные пиксели, основываясь на пространственных ограничениях, положении и семантическом контексте. Данный шаг реализован с использованием алгоритма Graph

Cuts [3]. В то же время происходит обучение нейронной сети, которая использует информацию о метках объектов, полученную от штрихов, и, в свою очередь, производит предсказания на основе графической модели.

Интерактивный алгоритм, предложенный в данной работе, использует описанную выше графическую модель для получения первичной сегментации изображения и предлагает возможность уточнения полученных результатов пользователем. Интерактивное взаимодействие пользователя проявляется так же, как и в случае создания обучающих данных, с помощью штрихов. Пользователь может добавлять дополнительные уточняющие штрихи в процессе сегментации, тем самым подавая на вход алгоритму все больше точных данных о метках конкретных пикселей. Дообучение модели на новых порциях размеченных данных позволяет повысить результирующее качество алгоритма.

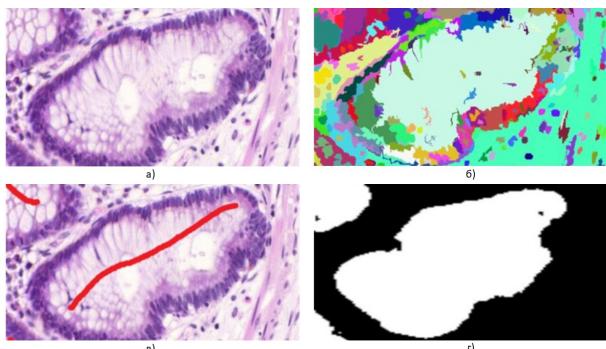


Рис.1 а) Исходное изображение. б) Первичная грубая сегментация на связные компоненты. в) Пример разметки штрихами. г) Результат работы алгоритма.

Литература

1. Kainz P., Pfeiffer M., Urschler M. Semantic segmentation of colon glands with deep convolutional neural networks and total variation segmentation // arXiv preprint arXiv:1511.06919.— 2015.
2. Lin D., Dai J., Jia J. et al. Scribblesup: Scribble-supervised convolutional networks for semantic segmentation // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2016. — P. 3159-3167.

3. Boykov Y., Veksler O., Zabih R. Fast approximate energy minimization via graph cuts // Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision / IEEE. — Vol. 1. — 1999. — P. 377-384.

Распознавание эмоций в человеческой речи для мультиязыкового набора данных

Синюков Александр Сергеевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: a_sinyukov@cs.yaconnect.com

Научный руководитель — Глазкова Валентина Владимировна

Автоматическое распознавание речи является активной областью изучения искусственного интеллекта и машинного обучения, целью которой является создание устройств, взаимодействующих с людьми посредством речи. Речь — это информационный сигнал, который содержит лингвистическую информацию, а также паралингвистическую информацию.

Эмоции являются одним из ключевых примеров паралингвистической информации, которая передается с помощью речи. Проблема классификации эмоций имеет большой потенциал для использования в прикладных отраслях, где существуют системы с интерактивным взаимодействием с пользователем. Решение этой проблемы позволит получать отклик от пользователя естественным образом, не требуя каких-либо дополнительных действий, упрощая и ускоряя взаимодействие между приложением и человеком.

В текущем исследовании была изучена проблема классификации эмоций для набора данных, состоящего из аудиозаписей на разных языках. Решение данной задачи, поможет в создании классификатора, который не будет зависеть от конкретного языка.

Для исследования были выбраны размеченные наборы данных немецкого [1], английского [2] и итальянского [3] языков, которые были объединены в мультиязыковой набор данных. Проведена предварительная обработка записей для улучшения их характеристик: подавление шумов, нормализация громкости, выделение характерных для человеческой речи частот. Для увеличения объема набора данных с целью повышения качества классификации использовалось обогащение данных за счет синтетических образцов, полученных из

первоначального набора. К исходным записям с некоторой вероятностью применялись следующие преобразования: дополнение белым гауссовским шумом, ускорение/замедление речи, случайные сдвиги. В дальнейшем аудиозаписи были преобразованы в спектрограммы с помощью оконного преобразования Фурье [4].

Для классификации эмоций предложена и реализована смешанная модель сети глубинного обучения, которая использует сверточные слои для автоматической генерации признаков. Чтобы учитывать изменения речи по времени модель содержит рекуррентный слой. Точность классификации для мультиязыкового набора данных составила 67%. Также проведены эксперименты с данной моделью для кросс-языковой классификации, где один из языков не участвовал в обучении и применялся только для тестирования.

Литература

1. Burkhardt F., Paeschke A., Rolfes M., Sendlmeier W. F., Weiss B. A database of german emotional speech. // Interspeech, 2005, Vol. 5, P. 1517–1520.
2. Haq S., Jackson P., Edge J. Speaker-dependent audio-visual emotion recognition. // AVSP, 2009, P. 53–58.
3. Costantini G., Iaderola I., Paoloni A., Todisco M. Emovo corpus: an italian emotional speech database. // LREC, 2014, P. 3501–3504.
4. Oppenheim A. V. Speech spectrograms using the fast Fourier transform. // IEEE Spectrum, 1970, Vol. 7, P. 57–62.

ПОИСК КЛОНОВ ФРАГМЕНТОВ В ИСПОЛНЯЕМОМ КОДЕ

Сирунян Ваагн Телемакович

Студент

Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова в г. Ереване, Ереван, Армения

E-mail: sirunyan@ispras.ru

Научный руководитель — Вылиток Алексей Александрович

Разработчики программного обеспечения часто копируют и вставляют фрагмент кода (последовательность строк кода) в проект. Исследования показали, что до 20 процентов кода могут являться похожими фрагментами (клонами) [1]. Данная работа посвящена поиску клонов фрагментов исполняемого кода. Обнаружение клонов фрагмента исполняемого кода может использоваться для анали-

за вредоносного программного обеспечения, обнаружения ошибок, выявления нарушений авторских прав и т. д.

Существует ряд методов и инструментов поиска клонов исполняемого кода — основанные на сравнении хешей кода [2], метрические [3,4] и семантические [5,6] методы. Методы описанные в работах [2-4] не требуют большой вычислительной мощности и работают сравнительно быстро. Однако они не учитывают поток управления и поток данных (частично используется только в [3]). Этот пробел восполняется в работе [5], где используется динамическое символьное выполнение. Однако, такой метод немасштабируемый и непригодный для анализа нескольких мегабайтов исполняемых файлов (ИФ).

Целью данной работы является создание метода поиска клонов фрагментов кода, который учитывает поток управления, поток данных и также реализовать инструмент, который может масштабироваться для анализа нескольких десятков мегабайт ИФ за несколько часов.

На вход метод принимает фрагмент исполняемого кода (адреса начала и конца) в первом ИФ и второй ИФ для поиска в нем клонов фрагмента. Предложенный метод состоит из следующих шагов: 1) дизассемблирование обоих ИФ с помощью дизассемблера IDA Pro [7]; 2) приведение ассемблера в промежуточное представление REIL, предоставляемое средой BinNavi [8]; 3) построение графа зависимостей программы фрагмента (ГЗП) и ГЗП [9] для всех функций второго ИФ, вершинам ГЗП соответствуют инструкции REIL, а ребрам – зависимости по данным и по управлению; 4) поиск изоморфных подграфов ГЗП фрагмента во всех ГЗП второго ИФ, используя разработанный эвристический алгоритм; 5) фрагменты исполняемого кода, соответствующие полученным подграфам, выводятся как клоны фрагмента. Описанный метод основан на методе из [10], предназначенном для обнаружения клонов на уровне функций.

Алгоритм хорошо зарекомендовал себя для поиска клонов фрагментов: средний результат на тестовых ИФ — обнаружение 95% фрагмента. Дальнейшей работой является использование разработанного метода для поиска семантических ошибок и для поиска вредоносного кода.

Литература

1. Roy C.K., Cordy J.R. An empirical study of function clones in open source software systems // Proceedings of the 15th Working Conference on Reverse Engineering, 2008, P. 81–90.
2. Jang J., Brumley D. Bitshred: Fast, scalable code reuse detection

- in binary code // CyLab, 2009, P. 28.
3. Bruschi D., Martignoni L., Monga M. Code normalization for self-mutating malware // IEEE Security & Privacy, 2007, P. 46–54.
 4. Sæbjørnson A., Willcock J., Panas T., Quinlan D., Su Z. Detecting code clones in binary executables // Proceedings of the 18th International Symposium on Software Testing and Analysis, 2009, P. 117–128.
 5. Ramtine Tofighi-Shirazi, Maria Christofi, Philippe Elbaz-Vincent, Thanh-Ha Le. DoSE: Deobfuscation based on Semantic Equivalence // SSPREW-8, San Juan, United States, 2018.
 6. Liu B., Huo W., Zhang Ch., Li W., Li F., Piao A., Zou W. α -Diff: cross-version binary code similarity detection with DNN // Proceedings of the 2018 33rd ACM/IEEE International Conference on Automated Software Engineering (ASE '18), 2018, Montpellier, France. ACM, New York, NY, USA, 12 pages.
 7. IDA Pro:
<https://www.hex-rays.com/products/ida>
 8. BinNavi:
<https://www.zynamics.com/binnavi.html>
 9. Ferrante J., Ottenstein K.J., Warren J.D. The Program Dependence Graph and Its Use in Optimization // ACM Transactions on Programming Languages and Systems, 1987, Vol. 9 № 3.
 10. Aslanyan H.K. Effective and Accurate Binary Clone Detection // Mathematical Problems of Computer Science, 2017. Т. 48. Р. 64–73.

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

*Семенова Дарья Владимировна, Темиркаева Мария
Рифинатовна*

Студент, Студент

НИУ ВШЭ, Пермь, Россия

E-mail: mariya.temirkaeva@mail.ru, dvteterina@gmail.com

Научный руководитель — Бузмаков Алексей Владимирович

Мы живем в мире постоянно растущей информации, в связи с чем возникает множество вопросов по хранению, обработке и использованию этих данных. В частности, все чаще задаются вопросы о

наиболее релевантных методах решения проблем, связанных с большими объемами данных. В данной работе мы сравниваем несколько подходов решения одной из широко обсуждаемых задач последнего десятилетия – оценки индивидуального эффекта от воздействия. Под воздействием в литературе понимается некое действие, направленное на человека, с целью вызова его ответной реакции. Например, в бизнесе о наличии эффекта от воздействия будет говорить факт отклика покупателя на рекламное сообщение.

Воздействие, оказываемое на людей, может оцениваться как неэффективное для всей выборки, но при этом может быть эффективным для определенной группы людей. Это связано с тем, что популяция индивидов зачастую гетерогенна, поэтому действие эффекта для одних индивидов может быть сильным и положительным, для других – слабым и положительным, а для третьих вовсе отсутствовать. Поэтому методы оценки эффекта от воздействия в среднем по популяции потеряли свою актуальность, им на смену пришли методы оценки индивидуального эффекта от воздействия (PTE). В нашей работе мы сравним разные методы машинного обучения (линейную логистическую регрессию, случайный лес, бустинг и SVM) применительно к некоторым подходам измерения PTE: к методу двух моделей и методу преобразования зависимой переменной, предложенным Jaskowski и Jaroszewicz [3], и Weisberg и Pontes [4]. Также, сравним вышеупомянутые методы измерения PTE с подходом Uplift Random forest [2].

Для сравнения различных комбинаций методов и подходов оценки эффекта от воздействия мы используем набор данных, созданный Diemert и др. [1]. Данные были получены в ходе проведения рекламной кампании, целью которой было увеличение посещений сайта рекламодателя. Набор данных состоит из 25 миллионов наблюдений. По каждому человеку известны 12 характеристик, его принадлежность к одной из двух групп (экспериментальной – той, которая подвергалась воздействию, или контрольной) и целевая переменная – посетил ли пользователь сайт рекламодателя в течение тестового периода (две недели). Согласно предварительному анализу полученных данных, отклик потребителей в экспериментальной и контрольной группах составил 4,41% и 2,61% соответственно. Разница отклика в контрольной и экспериментальной группах не столь велика. Поэтому крайне важно найти комбинацию подхода и метода, которые позволят наиболее точно оценить PTE. Наш алгоритм, описанный ниже, направлен на достижение этой цели.

1. Случайное деление выборки на обучающую и тестовую: случайным образом распределяем наблюдения либо в обучающую выборку, либо в тестовую. 2. Оценивание модели: на обучающей выборке происходит обучение модели. 3. Предсказание: предсказываем PTE на тестовой выборке. Далее рассчитывается средний эффект от воздействия (AVE) и общий эффект от воздействия (TTE) на подвыборке (30% наблюдений с самым высоким значением PTE) для сравнения методов.

Стоит отметить, что использовалась кросс-валидацию для уменьшения разброса получаемых результатов. Каждая итерация кросс-валидации включала в себя шаги 1-3, описанные выше.

Согласно полученным результатам, метод двух моделей, оцененный логистической регрессией, оказался лучшим среди всех. Далее с небольшой, но статистически значимой разницей следует Uplift random forest. Одной из причин высокого качества метода двух моделей подхода может быть специфика набора данных. В частности, если модель зависимости целевой переменной от характеристик человека и факта, было ли оказано на него воздействие, хорошо вписывается в данные, то данный подход может обеспечить хорошие результаты. Таким образом, для формирования окончательных выводов, необходимо произвести дополнительное сравнение методов на других наборах данных.

Литература

1. Diemert E. Betlei A. Renaudin C. Massih-Reza A. A large scale benchmark for uplift modeling. In: Proceedings of the AdKDD and TargetAd Workshop. 2018.
2. Guelman L. Guillén M. Pérez-Marín A. M. Uplift random forests. Cybernetics and Systems. 2015. No 46(3-4). P. 230–248.
3. Jaskowski M. Jaroszewicz S. Uplift modeling for clinical trial data. In: ICML Workshop on Clinical Data Analysis. 2012.
4. Weisberg H. I. Pontes V. P. Post hoc subgroups in clinical trials: Anathema or analytics? Clinical trials. 2015. No 12(4). P. 357–364.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ SUBGROUP DISCOVERY
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Холодницкий Сергей Вадимович

Студент

*Факультет экономики, менеджмента и бизнес-информатики НИУ ВШЭ,
Пермь, Россия*

E-mail: serega.holodnitsky@yandex.ru

Научный руководитель — Бузмаков Алексей Владимирович

Введение: Задача оценки эффекта от воздействия востребована в случаях, когда необходимо сделать выводы об эффективности, например, нового лекарственного препарата или новой маркетинговой кампании. При этом, распространенного А/В тестирования недостаточно ввиду потребности получения информации о распределении эффекта от воздействия, и его использовании для улучшения характеристик самого воздействия.

Цель исследования: Основной целью этой работы является проверка гипотезы об эффективности использования методов Subgroup Discovery (далее SD) для анализа данных А/В тестов с целью поиска способов улучшения характеристик производимого воздействия.

Методология исследования: В данной работе демонстрируется применение методов SD для решения задачи оценки эффекта от воздействия. SD — это группа методов раздела Data Mining, направленных на поиск человеко-читаемого описания подгруппы наблюдений, которые значительно отличаются от «среднего» наблюдения с точки зрения некоторой целевой переменной, как правило, в терминах задач классификации и регрессии.

В то же время, постановка задачи оценки эффекта от воздействия включает не только целевую переменную, но и переменную воздействия, и поэтому не относится к классическим задачам классификации или регрессии. Для ее решения существуют специальные методы [1,2]. Также эта задача может быть сведена к задаче классификации или регрессии [3]. В частности, бинарная целевая переменная Y и переменная воздействия T , могут быть заменены на бинарную переменную $Z = Y \cdot T + (1 - Y)(1 - T)$. Именно этот подход используется в этой работе, так как позволяет воспользоваться уже существующими методами SD.

Описание и результаты эксперимента: Эксперимент проводился на данных продуктовой сети, с использованием библиотеки `pysbgroup` для `Python`. В качестве признаков бралась информация о сумме покупок, среднем чеке, времени последней покупки, времени жизни клиента и др. В качестве воздействия выступает информация об отправке или не отправке клиенту смс-сообщения. Целевой является бинарная переменная – пришел ли клиент в течение следующих двух недель после получения рассылки.

Получены следующие результаты: подгруппа клиентов, которые более 14 дней не посещали магазин и чье суммарное время жизни не более 180 дней имеет наибольший шанс прихода после получения смс-сообщения. Общий размер этой подгруппы составил чуть более 10 процентов от общего количества клиентов.

Для сравнения была построена логистическая регрессия и замерены коэффициенты перед признаками. Значимыми признаками в модели оказались: время жизни и время с последней покупкой. Здесь логистическая регрессия дала общее представление о значимости переменных, однако методы SD позволили дополнительно описать клиентов с высоким откликом на воздействие.

Выводы: Полученные результаты свидетельствуют о том, что при использовании методов SD для анализа подобных экспериментов можно получить интерпретируемую информацию о клиентах, на которых эффект от воздействия оказался выше среднего. Такую информацию можно учесть при разработке последующих маркетинговых кампаний, для повышения их эффективности и/или снижения затраты на их реализацию.

Благодарность: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-70047

Литература

1. Buzmakov A. “Machine Learning for Subgroup Discovery under Treatment Effect”, arXiv:1902.10327, 2019.
2. Chekroud A. M. et al. Cross-trial prediction of treatment outcome in depression: a machine learning approach // The Lancet Psychiatry. — 2016. — Vol. 3, no. 3. — Pp. 243–250.
3. Weisberg H. I., Pontes V. P. Post hoc subgroups in clinical trials: Anathema or analytics? // Clinical Trials — 2015 — Vol 12 — no. 4 — Pp. 357–364.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Тони Кастильо Мартин

студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: cmtony4@gmail.com

Научный руководитель — Попова Нина Николаевна

За последние несколько лет достижения в области глубокого обучения привели к огромному прогрессу в обработке изображений, распознавании речи и прогнозировании. Однако, алгоритмы машинного обучения являются дорогостоящими (с точки зрения времени и ресурсов) для проведения настройки модели с нуля для конкретных приложений. Некоторые автоматизированные подходы пытаются ускорить этот процесс путем поиска подходящих существующих моделей. Примерами таких подходов являются Neural Architecture Search и AdaNet[1], использующих машинное обучение для поиска пространства проектирования, чтобы найти улучшенные архитектуры. В качестве альтернативы можно использовать существующую архитектуру для решения аналогичной проблемы и в один прием оптимизировать ее для решения поставленной задачи.

В докладе рассматривается метод оптимизации модели глубокой нейросети, реализованный на базе пакета Morg-Net[2], и проводится сравнение этого метода с распределенной реализацией метода оптимизации, выполненной с использованием фреймворков Tensorflow и Horovod, принимая существующую нейронную сеть в качестве входных данных и создавая новую нейронную сеть, которая меньше, быстрее и предлагает лучшую производительность, адаптированную к новой проблеме. Оптимизация осуществляется путем сокращения и расширения сети, выявляя неэффективные нейроны и удаляя их из сети, применяя разреживающего регуляризатор [3], так что функция полной потери сети включает стоимость каждого нейрона. В процессе обучения оптимизатор оценивает стоимость ресурсов при расчете градиентов и таким образом узнает, какие нейроны являются ресурсоэффективными, а какие могут быть удалены.

Экспериментальное исследование рассмотренных методов проводится на примере сети Inception v2 [4] в качестве модели нейронной входной сети и наборов данных ImageNet и JFT. В докладе об-

суждаются основные полученные результаты. Во-первых, было достигнуто лучшее использование имеющихся ресурсов в процессе обучения модели в предлагаемой реализации с использованием Horovod в качестве основы. Было увеличено на 10% количество обрабатываемых изображений в секунду, а также снижено на 8% (Tensorflow) и 12% (Horovod) количество используемых вещественных операций без ущерба для точности обучения. Реализация распределенных вычислений с использованием Horovod также показала улучшение точности на 2,5% и 1,3% по отношению к наборам данных JTF и ImageNet соответственно.

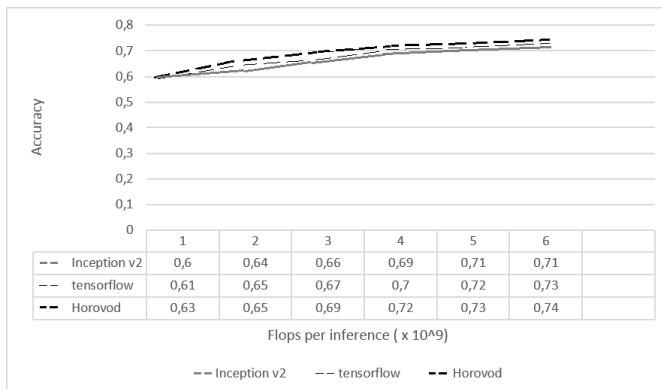


Рис. 1. Поведение достигаемой точности модели в зависимости от числа выполненных операций.

На рисунке 1 представлено поведение достигаемой точности в зависимости от числа выполненных операций для различных вариантов построения модели: заданного базового варианта Inception v2; модели, построенной с использованием morph-net в Tensorflow и модели, полученной с использованием распределенных вычислений с помощью Horovod. Применение morph-net снижает число используемых операций (FLOP) на 8% (TF) и 12% (HRV) соответственно по отношению к базовому варианту в дополнение к увеличению точности на 2,5% при тех же затратах.

Литература

1. Barret Zoph, Quoc V. Le., Neural Architecture Search with Reinforcement Learning, International Conference on Learning Representations, 2017.
2. Ariel Gordon, Elad Eban, Ofir Nachum, Bo Chen, Hao Wu, Tien-Ju Yang, Edward Choi MorphNet: Fast & Simple Resource-Constrained Structure Learning of Deep Networks, 2018.
3. Rosasco, Lorenzo; Poggio, Tomasso. "A Regularization Tour of Machine Learning". 2014, MIT-9.520 Lectures Notes.
4. Szegedy C., Vanhoucke V., Ioffe S., Shlens J., Wojna. Rethinking Z. The inception architecture for computer vision. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016, P. 2818—2826,

Index

- Айвазян С. А., 40
Андреев П. К., 141
Антипина А. В., 175
Базарова А. И., 137
Башаров И. В., 56
Бегишев Р. Р., 42, 117
Бикбулатов Т. Р., 142
Боговский А. М., 43
Валиахметов Б. И., 45
Вдовин Н. В., 47
Габдуллин Р. А., 49, 94
Гаджиев С. Р., 51
Гаряева Э. О., 89
Гончаров В. Ю., 52
Горшков С. С., 144
Грабовой А. В., 137
Грохольский С. Д., 10
Гудков С. М., 54
Гущин Д. В., 146
Данг К. Н., 89
Дебольский А. В., 128
Донскова М. А., 56
Дубровина В. Д., 59
Думбай А. Д., 61
Духнай Е. И., 148
Елохов А. В., 63
Емельянов Д. П., 65
Еникеев Р. Р., 66
Ермаков А. В., 149
Ермолаев П. А., 150
Завальнева Е. А., 70
Зайцева М. В., 68
Захаров А. Ю., 12
Зеленков В. К., 71
Злобин Д. В., 117
Зуев А. А., 73
Иванов И. И., 23, 95
Иванов С. М., 152
Ильяшенко И. Д., 75
Иоффе В. Л., 78
Исаков В. А., 73
Казинян А. К., 14
Канзепаров Р. Р., 155
Карпов М. Е., 157
Киселева А. В., 80
Ковалев В. Ю., 83
Кодрян М. С., 82
Кондранин Д. С., 16
Коптелов Д. А., 18
Корнилов А. С., 20
Королев А. С., 158
Косакин Д. Ю., 89
Костюкова О. Ю., 148
Круглова С. И., 86
Куделина Л. А., 148
Кузнецова И. В., 161
Кузьмин Я. К., 160
Куркин М. Л., 89
Лащенова Д. С., 24
Лебедева М. А., 91
Лебедь Ф. С., 93
Лесцов Б. А., 163
Макаренко В. А., 94
Макиенко Д. О., 20
Матюшенко А. А., 146
Машигина Н. В., 165

- Меркулов М. В., 96
Меркулов П. В., 146
Мещеряков А. К., 167
Мисютин Д. В., 71
Михайлова А. Д., 98
Молодецких И. А., 26
Мордвинцев М. К., 100
Мортиков Е. В., 128
Насретдинов Р. С., 75
Нгусен К. К., 169
Никифоров Н. И., 170
Николаев М. В., 102
Огнева И. С., 104
Олохтонов А. А., 28
Омаров Т., 172
Паокин А. В., 173
Парастаев Г. С., 105
Пашков В. Н., 174, 175
Переладова А. Б., 106
Петров А. В., 108
Пименова Д. В., 109
Плошкин А. И., 29
Подопросветов А. В., 31
Полиенко Н. А., 112
Полозов И. К., 177
Пономарев А. С., 146
Попов Д. О., 115
Попова Е. А., 113
Потанин М. С., 138
Прихно М. А., 117
Реймерс И. А., 32
Рожков Н. О., 178
Самарин А. И., 120
Семенова Д. В., 189
Серов С. С., 121
Симаков С. А., 184
Синюков А. С., 186
Сирунян В. Т., 187
Табалин Д. Д., 123
Тарасенко М. В., 125
Темиркаева М. Р., 189
Ткаченко Е. В., 128
Тони Кастильо Мартин, 194
Трусов Н. В., 125
Туракулов А. У., 146
Хайдич М. М., 130
Холодницкий С. В., 192
Хрыльченко К. Я., 131
Черняев С. Д., 35
Шалимова Е. А., 37
Шананин А. А., 125
Шевченко О. В., 180
Шибаев П. П., 182
Юдин Н. Е., 133
Януш В. Я., 135