Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Сборник избранных тезисов работ лауреатов

Международной Весенней научной сессии СНО НИЯУ МИФИ

Москва, Россия. 30-31 мая 2025 года

УДК 001.8 [004:51:53:57] (06)
ББК 2
М43

Сборник избранных тезисов работ лауреатов Международной весенней научной сессии СНО НИЯУ МИФИ (30-31 мая 2025 г.)/ Студенческое научное общество НИЯУ МИФИ. – М.: НИЯУ МИФИ, 2025. – 36 с.

Сборник включает тезисы докладов, представленных обучающимися по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры НИЯУ МИФИ и Первого МГМУ им. И. М. Сеченова. Работа Научной сессии организована по секциям: машинное обучение и анализ данных, теоретическая физика, эксперимент и инженерные решения, технологии современной биомедицины, прикладная математика, программная инженерия, приборостроение и ядерная физика, информационные технологии и интеллектуальные системы.

Для специалистов в области технических наук, преподавателей, аспирантов, студентов технических специальностей.

Публикации изложены в авторской редакции с минимальными техническими исправлениями.

Тезисы получены до 31 мая 2025 года.

Ответственный редактор Морозова С. А.

© Авторы статей, 2025
© Оформление: НИЯУ МИФИ, 2025

Подписано в печать 27.06.2025. Формат 60x84 1/16.
Печ. л. 3,25. Изд. №007-3. Тираж 20 экз. Заказ №75.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Типография НИЯУ МИФИ
115409, Москва, Каширское ш., 31

Оглавление

Машинное обучение и анализ данных 5

Исследование переменных звёзд и их бинарная классификация по признаку переменности 5

Автоматизация процесса обработки данных геофизического метода МТЗ 7

Прогнозирование риска предрасположенности к генетическим заболеваниям при помощи машинного обучения 9

Теоретическая физика, эксперимент и инженерные решения 11

Восстановление работы стенда КАЛИФ-8 11

Моделирование моды распада бозонной и фермионной частиц темной материи 13

«Бегущие» космические источники гамма-излучения 15

Технологии современной биомедицины 17

Спектроскопическая верификация методов повышения контраста флуоресцентных изображений при флуоресцентной диагностике с возбуждением препаратов хлоринового ряда фиолетовым излучением 17

Прикладная математика 19

Использование алгоритмов машинного обучения для предсказания развития интракраниальной прогрессии 19

Аналитические свойства уравнения Бюргерса-Фишера 21

Динамические свойства уравнения Бюргерса-Хаксли 23

Программная инженерия 25

Разработка компонентно-ориентированного многопользовательского игрового движка с использованием модульной компиляции C++ и интерпретатора JavaScript 25

Создание динамической библиотеки для моделирования квантовых систем 27

Интерактивный трекер привычек 29

Приборостроение и ядерная физика 31

Исследование влияния термического отжига на поверхностное сопротивление и ТКС тонких резистивных пленок TaN 31

Информационные технологии и интеллектуальные системы 33

Обнаружение аномалий в мультивариативных временных рядах с помощью устойчивой гомологии..... 33

Адаптивный алгоритм поиска эпилептических активностей на ЭЭГ 35

Машинное обучение и анализ данных

Исследование переменных звёзд и их бинарная классификация по признаку переменности

Большакова Алиса Дмитриевна*, Борисов Ярослав Алексеевич, Начаров Тимур Дмитриевич

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *alisa.d.bolshakova@yandex.ru*

Аннотация

В данной работе проведено исследование методов машинного обучения для бинарной классификации переменных звёзд. Разработан ансамблевый классификатор на основе Random Forest, CatBoost и нейронной сети, показавший высокую эффективность (accuracy 0.96, F1-score 0.82) при обработке данных астрономических обзоров. Особое внимание уделено решению проблемы дисбаланса классов и оптимизации гиперпараметров моделей с использованием современных методов машинного обучения.

Ключевые слова: переменные звезды, машинное обучение, ансамбль моделей, SMOTE.

Создание эффективного бинарного классификатора для идентификации переменных звёзд с использованием методов машинного обучения представляет собой важную научную задачу. Основная сложность заключается в разработке модели, которая сможет достоверно определять переменные звёзды, несмотря на существенный дисбаланс классов и высокую размерность признакового пространства, типичную для современных астрономических наблюдений.

Актуальность этой работы особенно возрастает в связи с постоянным увеличением объёмов данных астрономических обзоров, где существующие методы классификации демонстрируют недостаточную точность и требуют улучшения устойчивости к дисбалансу классов.

В ходе исследования был успешно разработан ансамблевый классификатор, объединяющий Random Forest, CatBoost и многослойный перцептрон (MLP), который показал исключительную эффективность в решении поставленной задачи. Созданная модель достигла впечатляющей точности (accuracy) 96.0%, одновременно демонстрируя сбалансированную эффективность (F1=0.82 для класса переменных звёзд) и сохраняя

устойчивость к дисбалансу данных (recall=0.90). Особое внимание в работе было уделено разработке комплексной методики предварительной обработки астрономических данных, включающей три ключевых компонента: оптимальную балансировку классов с использованием метода SMOTE, научно обоснованный отбор наиболее значимых признаков на основе SHAP-анализа, а также эффективную стратегию обработки выбросов, позволяющую сохранять информативные объекты. Эти результаты подтверждают перспективность предложенного подхода для решения задач автоматической классификации в современной астрономии.

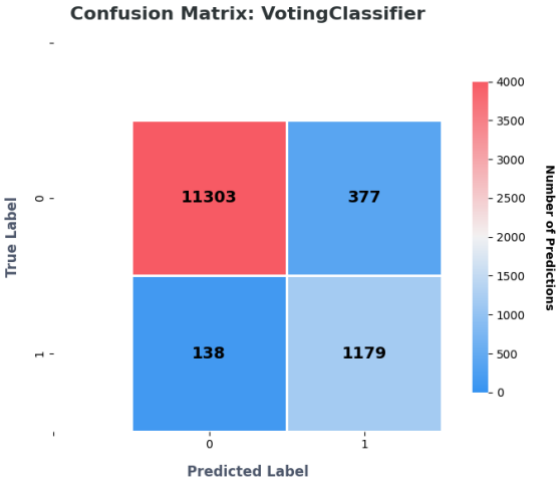

Рис. 1: Матрица ошибок финальной модели.

Список литературы

1. *Kim H., [et al.] Variable star classification with machine learning methods // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2020. — Vol. 491. — P. 3805–3816.*

2. *Balázs L. G., [et al.] Image-based classification of variable stars — First results on OGLE data // arXiv preprint. — 2020. — arXiv:2006.07614.*

Автоматизация процесса обработки данных геофизического метода МТЗ.

Пестов Николай Михайлович*, Авдеев Владимир Михайлович, Агринский Артём Евгеньевич, Антонов Кирилл Вадимович, Губайдуллина Полина Альбертовна, Валеев Рустам Ильгамович, Интрухин Никита Андреевич, Андреев Дмитрий Андреевич, Турчин Даниил Вадимович, Джазов Арслан Заурович

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *kolyan.p.penek@gmail.com*

Аннотация

Изучение перспектив применения машинного обучения для обработки данных метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ) в целях ускорения и упрощения анализа полевых данных.

Ключевые слова: МТЗ, машинное обучение, геологоразведка.

Использование машинного обучения предлагает новые пути решения проблемы в области автоматизации и ускорения обработки данных метода МТЗ.

Проблемы обработки вручную — это значительные временные затраты и вариации результатов в зависимости от опыта и стиля обработчика. Для оптимизации процесса необходим поиск новых решений.

В методе МТЗ снимаются показания приборов, которые регистрируют электромагнитное поле Земли. В полученных данных могут присутствовать выбросы, связанные с природными или техногенными явлениями. Для последующей интерпретации требуется длительная обработка данных человеком (обработчиком), которая вручную занимает порядка 30 - 60 минут.

Современные компьютеры и методы машинного обучения и обработки информации позволяют найти более перспективный подход, обеспечивающий существенное ускорение (до нескольких секунд) и повышение точности результатов.

Для решения поставленной задачи разработана модульная система на языке Python, включающая себя следующие этапы: генерация синтетических данных, предварительная обработка (удаление явных выбросов с помощью библиотек Pandas и NumPy), обучение нейронной сети с использованием методов из TensorFlow/Keras и Scikit-learn, визуализация результатов в виде графиков с помощью Matplotlib. Так же имеется возможность дальнейшего

масштабирования и интеграции в другие приложения за счет использования FastAPI с автоматической документацией (Swagger) и базы данных SQLite для хранения данных. В качестве функции ошибок выбрана стандартная для регрессии MSE, в дополнение к которой добавлены штрафы, обусловленные физическими ограничениями (кривая фазы должна лежать в определенных пределах, а также кривые не должным резко возрастать или убывать).

Исследование продемонстрировало эффективность применения машинного обучения для повышения надежности и скорости обработки данных метода МТЗ. Результаты подтверждают возможность снижения расходов и исключения ошибок, обусловленных человеческим фактором, что делает такую систему перспективной для дальнейшего развития. Таким образом, разработанная система обладает значительным потенциалом для внедрения в процессы геологоразведки.

Список литературы

1. *Назаров В. И. Теоретические основы методов изучения земной коры электромагнитными зондированиями. — Новосибирск: СО РАН, 2003.*
2. *Родкин М. В. Теория обработки геофизических данных. — Москва: Изд-во МГУ, 2012.*
3. *Барский В. В. Машинное обучение на Python с использованием TensorFlow и Keras. — Москва: ДМК Пресс, 2021. — 320 с.*
4. *Герон А. TensorFlow для глубокого обучения / пер. с англ. — Санкт-Петербург: Питер, 2022. — 400 с.*

Прогнозирование риска предрасположенности к генетическим заболеваниям при помощи машинного обучения

Тулюсин Вячеслав Владимирович, Астрова Ульяна Александровна, Стерхова Екатерина Павловна

НИЯУ МИФИ

Аннотация

В работе представлен подход к оценке вероятности развития генетических заболеваний с использованием комбинации математической статистики и глубоко обученной нейронной сети. Предложена модель на основе взвешенной оценки ключевых генетических факторов, позволяющая выявлять группы повышенного риска. Метод сочетает метод взвешенной суммы для анализа редких вариантов и DeepVariant для высокоточного вызова генетических вариантов, обеспечивая быструю обработку данных без потери точности.

Ключевые слова: Машинное обучение, биоинформатика, прогнозирование, математическая статистика, DeepVariant.

Актуальность работы обусловлена растущим спросом на персонализированную медицину и необходимостью быстрых, точных методов прогнозирования генетических заболеваний. Современная медицина всё чаще обращается к генетической диагностике как к инструменту для раннего выявления предрасположенности к заболеваниям, что открывает возможности для профилактики и персонализированного лечения. Однако существующие подходы к обработке геномных данных сталкиваются с проблемами одновременного достижения точности, скорости анализа и высокой интерпретируемости результатов, особенно при работе с полигенными заболеваниями, такими как диабет 1-го типа.

Целью исследования стало создание системы, объединяющей методы машинного обучения и статистический анализ для повышения эффективности прогнозирования генетических рисков. Для достижения этой цели были решены задачи сравнительного анализа современных нейросетевых моделей (BioGPT, Evo, MedPalm, BioMistral, DeepVariant) для выбора оптимальной архитектуры и разработки метрики оценки силы влияния генетических маркеров, учитывающей частоту аллеля, отношение шансов и ширину доверительного интервала и другие параметры, предоставленные каталогом

GWAS.

На основе анализа современных нейросетевых архитектур был выбран DeepVariant — модель, разработанная специально для точного определения SNP и инделов. В отличие от аналогов, DeepVariant преобразует данные секвенирования в изображения (pileup images), которые анализируются с помощью сверточных нейронных сетей (CNN). Это позволяет учитывать качество чтения, ориентацию фрагментов и поддержку варианта, обеспечивая высокую точность выявления мутаций.

Для повышения эффективности прогнозирования предложен метод взвешенной суммы.

Также был проведен анализ каталога GWAS с заполнением пропущенных полей и создание интерактивного генератора выборок генов, наибольшим образом влияющих на риск заболевания, что позволяет экономить вычислительные ресурсы, не рассматривая малозначимые в рамках исследования варианты.

Основой для дальнейшей обработки данных стали две характеристики. Метрика силы влияния гена (V): V = RAF * OR / CI, где RAF — частота рискового аллеля, OR — отношение шансов, CI — доверительный интервал. Коэффициент «контекста» (CONTEXT): учитывает фоновые факторы, такие как независимость SNP и связь с потомством.

Предложенная система демонстрирует высокую эффективность в прогнозировании риска генетических заболеваний и может быть применена для массового скрининга, ранней диагностики и персонализированной медицины. В дальнейших работах планируется интеграция модели в клинические протоколы и расширение выборки за счёт использования открытых баз данных (UK Biobank, dbGaP).

Список литературы

1. Madsen B. E., Browning S. R. A groupwise association test for rare mutations using a weighted sum statistic // PLOS Genetics. — 2009. — DOI: 10.1371/journal.pgen.1000384.

2. Poplin R., [et al.] A universal SNP and small-indel variant caller using deep neural networks // Nature Biotechnology. — 2018. — DOI: 10.1038/nbt.4235

3. Leung M. K. K., [et al.] Machine learning in genomic medicine: a review of computational problems and data sets // Proceedings of the IEEE. — 2016. — Vol. 104, № 1. — DOI: 10.1109/JPROC.2015.2494198.

4. Shah D., Patel S., Bharti S. K. Heart disease prediction using machine learning techniques // SN Computer Science. — 2020. — DOI: 10.1007/s42979-020-00365-y.

Теоретическая физика, эксперимент и инженерные решения

Восстановление работы стенда КАЛИФ-8

Акинин Георгий Сергеевич*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *georgy-02@mail.ru*

Аннотация

Работа посвящена восстановлению работоспособности стенда КАЛИФ-8, предназначенного для калибровки фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). Показаны результаты анализа литературы, обнаружения и решения проблем в работе стенда.

Ключевые слова: Фотоэлектронный умножитель, КАЛИФ-8.

В Научно-образовательном центре НЕВОД поводятся масштабные эксперименты, в которых широко используются ФЭУ. Так, например в черенковском водном детекторе (ЧВД) НЕВОД [1] используется 576 ФЭУ-200, установка ПРИЗМА-32 [2] – 32 ФЭУ, НЕВОД-ШАЛ [3] - 180 ФЭУ. Для поддержания работоспособности установок, необходимо обеспечивать их необходимым количеством ФЭУ. В связи с этим стоит задача восстановить работоспособность стенда КАЛИФ-8, предназначенного для исследования характеристик различных типов ФЭУ.

Предшественником стенда КАЛИФ-8 [4] является стенд КАЛИФ-80, однако с момента своего создания стенд морально и физически устарели требовал замены. Принципиальная схема подключения частей установки КАЛИФ-8 можно увидеть на рисунке 1. Светодиоды подключены к плате управления подсветкой, которая в свою очередь подключается к основной плате управления и к компьютеру с управляющей программой. ФЭУ запитывается от внешнего источника высокого напряжения, а сигнальный провод подключен к плате цифровой обработки сигналов БААК 12-У7-200. Для тестирования различных ФЭУ имеются переходные кольца различных диаметров.

Программное обеспечение стенда включает в себя скетч для микроконтроллера Arduino Nano, управляющего ЦАП для светодиодной подсветки, программы на языке Python, осуществляющие основную работу стенда и соединяющие воедино платы подсветки, управления и

вычислительные функции.

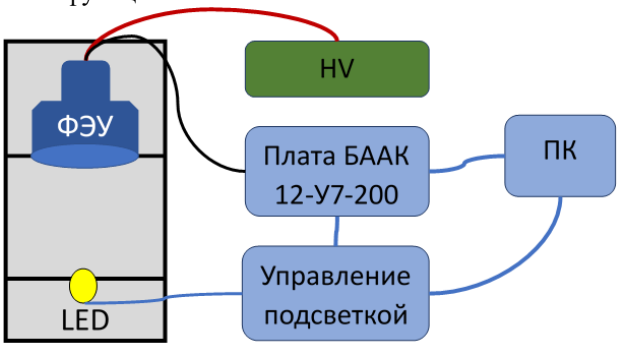

Рис. 1: Принципиальная схема стенда КАЛИФ-8.

Для проверки светодиодной подсветки использовали осциллограф, из осциллограмм было видно, что при увеличении, кода ЦАП амплитуда сигнала увеличивается, однако в конце управляющего сигнала снова присутствует импульс с ФЭУ, при этом всегда одинаковой амплитуды, в следствии чего программа выдает неверные результаты.

Так же была проведена калибровка платы БАК 12-У7-200, все её 12 каналов рабочие и линейны в диапазоне от 50 до 3450 мВ.

В результате были восстановлены основные функции стенда КАЛИФ-8. Дальнейшая работа направлена на устранение выявленных проблем.

Список литературы

1. *Киндин В. В. [и др.] Черенковский водный калориметр на базе квазисферических модулей // ПТЭ. — 2018. — № 5. — С. 1.*
2. *Громушкин Д. М. Установка для регистрации нейтронной компоненты ШАЛ: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.01 / Нац. исслед. ядер. ун-т "МИФИ". — Москва, 2014.*
3. *Шульженко И. А. [и др.] Проект установки НЕВОД-ШАЛ для регистрации широких атмосферных ливней // Известия РАН. Серия физическая. — 2013. — Т. 77, № 5. — С. 710-712.*
4. *Умаров М. Ф. Автоматизированный стенд КАЛИФ-8 для исследования характеристик фотоэлектронных умножителей: магистерская диссертация / / Нац. исслед. ядер. ун-т "МИФИ". — Москва, 2020.*

Моделирование моды распада бозонной и фермионной частиц темной материи

Басов Ярослав Алексеевич*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *yabasov@mephi.ru*

Аннотация

В данной работе проводится поиск возможного решения проблемы позитронной аномалии путем рассмотрения подавления гамма-излучения в моделях распада частиц темной материи разных типов. На основе сравнения моделей были получены энергетические спектры позитронов и фотонов для дальнейшего моделирования распространения излучения в Галактике.

Ключевые слова: темная материя, позитронная аномалия.

В эксперименте PAMELA [1] была обнаружена позитронная аномалия: при энергиях более 1 ГэВ наблюдается повышенное содержание позитронов в общем потоке электронов и позитронов, что указывает на наличие ранее неизвестных первичных источников позитронов. В настоящее время аномалия не объяснена, так как в существующих моделях с наличием первичных источников позитронов присутствует избыточное сопутствующее гамма-излучение, не наблюдаемое по результатам эксперимента Fermi-LAT [2].

В данной работе предполагается существование частиц темной материи, распад которых может являться источником позитронов. В качестве исследуемой частицы X взята частица массы 1000 ГэВ со спином 0, 1 или 1/2 и зарядом 0, +1 или +2, которая может распадаться на позитрон и частицу Y массой 0,1 ГэВ со спином 0, 1 или 1/2 и зарядом 0, -1 или +1. В качестве сравнения взята модель с распадом частицы X^0 на электрон-позитронную пару [3].

Моделирование производилось с помощью программ CompHEP и MadGraph 5 с использованием пакетов FeynRules. Для определения модели с наименьшим выделением гамма-излучения было получено отношение энергетических спектров фотонов исследуемой модели к модели с X^0.

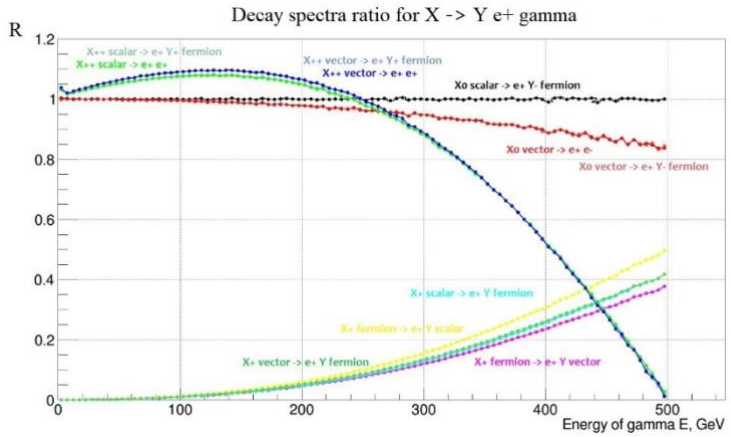

Рис. 1: Отношение энергетических спектров фотонов исследуемой модели к модели распада скалярной частицы X на позитрон и электрон.

Наименьшее количество гамма-излучения наблюдается в случае существования частицы с зарядом +1 (рис. 1), но этот случай требует дальнейшего рассмотрения и проверки по ограничениям, полученным из экспериментов.

В будущем планируется уточнить полученные результаты с помощью теоретических расчетов и провести моделирование распространения позитронов и гамма-излучения в Галактике.

Список литературы

1. *Adriani O., [et al.] An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5-100 GeV // Nature. — 2009. — Vol. 458. — P. 607-609. — DOI: 10.1038/nature07942.*

2. *Abdollahi S., [et al.] Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog // Astrophysical Journal Supplement Series. — 2020. — Vol. 247, № 1. — P. 33. — DOI: 10.3847/1538-4365/ab6bcb.*

3. *Barak R., Belotsky K., Shlepkina E. Proposition of FSR photon suppression employing a two-positron decay dark matter model to explain positron anomaly in cosmic rays // Universe. — 2023. — Vol. 9, № 8. — P. 370. — DOI: 10.3390/universe9080370.*

«Бегущие» космические источники гамма-излучения

Васильева Елизавета Владимировна*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *6meoww.meoww6@gmail.com*

Аннотация

В данной работе производится оценка эффекта смещения неидентифицированных гамма-источников на основе данных каталогов FERMI-LAT 1FGL и 4FGL.

Ключевые слова: неидентифицированные гамма-источники, FERMI-LAT, смещение источников гамма-излучения.

Несмотря на большой прогресс в исследовании гамма-излучения Галактики, около 30% гамма-источников (ГИ) в последнем представленном каталоге FERMI-LAT 4FGL-DR4 остаются неидентифицированными и не ассоциированными с известными ранее ГИ [1]. Например, обновление способа анализа данных может приводить к «исчезновению» ранее обнаруженных источников. Это связано, в частности, с уточнением газовых структур через декомпозицию спектров [2]. А также может быть связано с кинематическими смещениями источников. Интересно отметить, что некоторые из неидентифицированных источников рассматриваются как потенциальные кандидаты на тёмную материю [3].

При рассмотрении гипотезы о смещающихся источниках, был выполнен анализ их смещения на основе данных из каталогов 1FGL и 4FGL: расчет величины смещения R_0 , максимального (критического) расстояния r_c на котором может находиться источник, чтобы его смещение было заметно для телескопа FERMI-LAT, а также, с учетом предположения о существовании сгустков темной массы [3], было рассчитано их возможное количество в объеме с радиусом r_c. Была получена плотность вероятности обнаружения источника в диапазоне координат от (b_2, l_2) до ($b_2 + db_2$, $l_2 + dl_2$). Был произведен отбор источников по таким параметрам, как: принадлежность к диску галактики (отбирались только те источники, которые к нему не принадлежат, $|b| < 15^\circ$.); спектральный индекс; выход из эллипса ошибок и максимальное расстояние между источниками.

Так, например, для спектрального индекса $\gamma = 2$ и расстояния $d = 5^\circ$ было получено 42 пары кандидатов в смещение по результатам отбора из каталогов 1FGL и 4FGL (рис. 1).

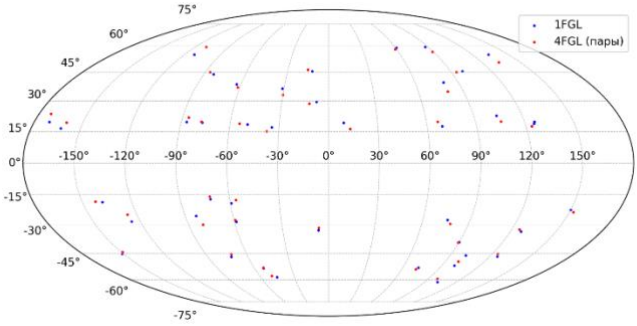

Рис.1. Карта небесной сферы кандидатов в смещение по результатам отбора при γ = 2 и d = 5◦

Затем также была выявлена зависимость от спектрального индекса и максимального расстояния между источниками.

Список литературы

1. *S. Abdollahi [et al.] Fermi Large Area Telescope Fourth Source Catalog // The Astrophysical Journal Supplement Series. — 2020.— Vol. 247, № 1. — P. 33*

2. *F. Acero [et al.] Development of the Model of Galactic Interstellar Emission for Standard Point-source Analysis of Fermi Large Area Telescope Data // Astrophys. J. Suppl. — 2016.— Vol. 223, № 2. — P. 26*

3. *Belotsky K., Kirillov A., Khlopov M. Gamma-ray evidence for dark matter clumps // Gravitation and Cosmology. — 2014.— Vol. 20, № 1. — P. 47–54.*

Технологии современной биомедицины

Спектроскопическая верификация методов повышения контраста флуоресцентных изображений при флуоресцентной диагностике с возбуждением препаратов хлоринового ряда фиолетовым излучением

Фебенчукова Анастасия Александровна*[1], Уденеев Андрей Михайлович[1], Писарева Татьяна Николаевна[2], Ширяев Артём Анатольевич[2], Лощенов Максим Викторович[1]

[1]*НИЯУ МИФИ*

[2]*Первый МГМУ им. И. М. Сеченова*

*e-mail: *asyf04@mail.ru*

Аннотация

В данной работе пациентам была проведена флуоресцентная диагностика с возбуждением в фиолетовой области спектра препарата с действующим веществом хлорин е6. Спектрометрическим способом были проверены методы повышения контраста деления сигнала флуоресценции хлорина е6 на аутофлуоресцентный сигнал и вычитания аутофлуоресценции из флуоресценции препарата. Оба метода показали возможность повышения контраста опухоль-здоровая ткань.

Ключевые слова: флуоресцентная диагностика (ФД), фотодинамическая терапия (ФДТ), повышение контраста, спектроскопическая верификация.

Клиническая практика показывает не всегда достаточный для точного определения границ опухоли контраст флуоресцентных изображений при повторных сеансах ФДТ с фотосенсибилизаторами хлоринового ряда (Се6) из-за наличия рубцовой ткани, осложняющей обнаружение флуоресценции Се6, поэтому необходимо повышение контраста.

Цель исследования – проверка наличия Се6 в рубцовой ткани и спектроскопическая верификация методов повышения контраста, основанных на попиксельном делении и красного канала цветной камеры на зелёный и попиксельном вычитании зелёного канала из красного.

Данные получены при повторной ФДТ базальноклеточный рака кожи стадии TxN0M0 с ФС Се6. На рис. 1 (а, б) – соответственно результаты,

попиксельное деление красного канала цветной камеры на зелёный (метод 1, R/G) и попиксельное вычитание зелёного канала из красного (метод 2, R-G). Графики иллюстрируют зависимость интенсивности флуоресценции от длины волны (спектры флуоресценции). Гистограммы (рис. 1 в, г) показывают индексы флуоресценции, соответственно, для методов 1 и 2, вычисляемые по формулам:

$$I_1 = \frac{R_{(643-708)}}{G_{(458-644)}}, \quad I_2 = R_{(643-708)} - G_{(458-644)}, \qquad (1)$$

где I — Индекс флуоресценции (отн. ед для (1) и безразмерн. для (2)), R — интенсивность флуоресценции в области спектра 643-708 нм (отн. ед.), G — интенсивность флуоресценции в области спектра 458-644 нм (отн. ед.).

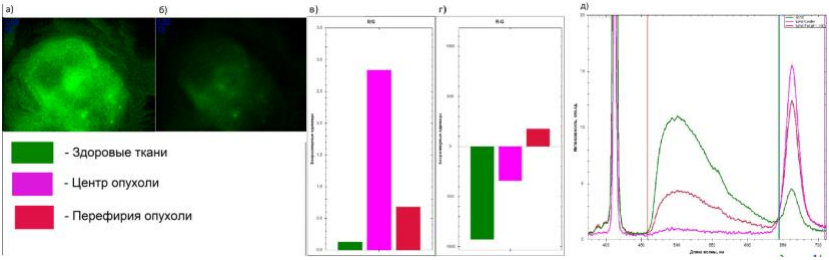

Рис.1. Флуоресцентные изображения и спектрометрический данные.

Анализ рис. 1а, показывает интенсивную флуоресценцию, полученную методом R/G в центре опухоли и более тусклую на периферии, что подтверждается гистограммой на рис. 1в и спектрами 1д. Анализ рис. 1б показывает сигнал, более интенсивный на периферии, чем в центре опухоли, что подтверждается гистограммой на рис. 1г. Значения сигнала для здоровых тканей и в центре опухоли меньше нуля, на флуоресцентных изображениях значения сигнала в таких пикселях приравнивают к нулю. Данные подтверждаются гистограммой на рис. 1д.

Список литературы

1. *Udeneev A., [et al.] Comparison of chlorin-e6 detection efficiency by video systems with excitation wavelengths of 405 nm and 635 nm // Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. — 2023. — Vol. 43. — Art. 103729. — DOI: 10.1016/j.pdpdt.2023.103729.*

2. *Udeneev A. M., [et al.] Cost-effective device for locating and circumscribing superficial tumors with contrast enhancement and fluorescence quantification // Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. — 2023. — Art. 103827. — DOI: 10.1016/j.pdpdt.2023.103827.*

3. *Meerovich G. A., [et al.] Devices for photodynamic studies based on light-emitting diodes // Journal of Biomedical Photonics & Engineering. — 2021. — Vol. 7, № 4. — Art. 040308. - DOI: 10.18287/JBPE21.07.040308.*

Прикладная математика

Использование алгоритмов машинного обучения для предсказания развития интракраниальной прогрессии

Будников Никита Евгеньевич*, Васильева Екатерина Васильевна, Степанюченко Софья Павловна

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *budnikov_nikita@list.ru*

Аннотация

Подготовлены алгоритмы для обработки данных. Рассмотрено с их помощью влияние различных признаков на развитие интракраниальной прогрессии у пациентов.

Ключевые слова: машинное обучение, матрица корреляции, значения Шепли.

Для больных онкологическими заболеваниями важно вовремя выявить возникающие метастазы в головном мозге [1]. Для исследования влияния на это разных факторов были подготовлены оптимальные алгоритмы машинного обучения.

Рассмотрены пять самых известных алгоритмов обучения: дерево решений (Decision Tree), k-ближайших соседей (KNN), случайный лес (Random Forest), метод опорных векторов (SVM) и логистический регрессор (Logistic Regressor). Эти алгоритмы были применены на тестовой выборке из 585 пациентов, после были выявлены лучшие по различным параметрам.

Для удобства работы с таблицей данных была произведена предобработка информации, подразумевающая удаление пациентов с малым количеством данных. Также некоторые значения были перекодированы с помощью метода One-Hot Encoding.

После приведения всех данных к численным была построена матрица корреляции с целью выявления и удаления линейно зависимых данных, были нормализованы оставшиеся [2]. Произведена балансировка данных.

Для уже подготовленных данных осуществлён выбор метрики, основываясь на минимизации количества ложно-здоровых пациентов. Для исследования был выбран индекс Жаккара, так как он наиболее строг к подобным ошибкам.

Была произведена оценка важности всех признаков при помощи метода значений Шепли [3]. На различных типах данных результаты обучения также отличались. Для несбалансированных данных наилучшие результаты показали Random Forest и SVM. Для данных же с повторным использованием хорошо себя показали уже Random Forest и Decision Tree, как и для данных, сбалансированных синтетической генераций (для генерации был использован алгоритм SMOTE [4]). На рисунке 1 отмечены результаты таких сравнений для Decision Tree при использовании балансировки SMOTE.

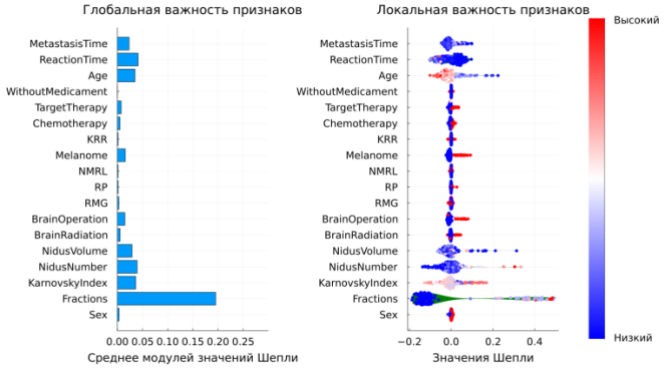

Рис. 1: Дерево решений (SMOTE).

Таким образом, были исследованы различные алгоритмы машинного обучения и выбраны наиболее подходящие для поставленной задачи. В дальнейшем можно продолжить работу, рассмотрев эти алгоритмы на более широких выборках данных или исследовав менее распространённые алгоритмы обучения.

Список литературы

1. *Губенко И. А. Метастатические опухоли мозга, 2022 // Красота и медицина. — URL: https://www.krasotaimedicina.ru/diseases/oncologic/metastatic-brain-tumor (дата обращения: 16.05.2025).*

2. *Hubert M., Vandervieren E. An adjusted boxplot for skewed distributions // Computational Statistics & Data Analysis. — 2008. — Vol. 52, № 12. — P. 5186-5201. — DOI: 10.1016/j.csda.2007.11.008*

3. *Lundberg S. M., Lee S.-I. A unified approach to interpreting model predictions // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2017. — Vol. 30.*

4. *Chawla N. V., [et al.] SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique // Journal of Artificial Intelligence Research. — 2002. — Vol. 16. — P. 321-357. — DOI: 10.1613/jair.953.*

Аналитические свойства уравнения Бюргерса-Фишера

Хадонов Марат Константинович*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *khadonov.marat@yandex.ru*

Аннотация

Изучается интегрируемость и симметрии уравнения Бюргерса-Фишера. С использованием преобразования Коула-Хопфа находятся аналитические решения уравнения. Полученные решения выражаются через гиперболические функции.

Ключевые слова: уравнение Бюргерса-Фишера, групповой анализ, тест Пенлеве.

В биологии нелинейные волновые явления играют ключевую роль в развитии эмбрионов, распространении эпидемий и движении микроорганизмов. Эти процессы, включая медленную диффузию биохимических веществ с коэффициентами порядка 10^{-9} – 10^{-11}, $\frac{\text{см}^2}{\text{сек}}$ критически важны для передачи информации в живых системах, например, при эмбриогенезе [1].

В работе рассматривается уравнение Бюргерса-Фишера, являющееся объединением известных уравнений Бюргерса и Фишера [2]:

$$u_t + \alpha u u_x = \lambda u_{xx} + \beta u(u - 1), \quad (1)$$

где α, β, λ — параметры, а $u = u(x, t)$ — действительная функция.

Уравнение (1) допускает только простейшие операторы трансляции по координате и времени $X = C_1 \frac{\partial}{\partial t} + C_2 \frac{\partial}{\partial x}$. Следовательно, дальнейшее исследование можно провести для редукции уравнения (1) в переменных бегущей волны

$$u(x,t) = y(z), \text{где } z = x - c_0 t. \quad (2)$$

Посредством анализа устойчивости системы получено ограничение на существование волнового фронта для c_0 (2):

$$c_0 \geq 2\sqrt{\beta\lambda}\,. \quad (3)$$

Результаты теста Пенлеве для редукции уравнения Бюргерса- Фишера в переменных бегущей волны показывают, что уравнение (1) не обладает

свойством Пенлеве.

Аналитические решения уравнения (1) найдены с использованием подстановки Коула-Хопфа

$$u(x,t) = u_0 \frac{z_x(x,t)}{z(x,t)} + u_1(x,t) + u_2(x,t) \cdot z(x,t), \quad (4)$$

где u_1, u_2 — поправки. Точное решение (4) уравнения (1) в виде волнового фронта выражается через гиперболический тангенс (рис. 1)

$$u(x,t,C) = -\frac{\tanh\left(-\frac{(\alpha^2+4\beta\lambda)t}{8\lambda} + \frac{\alpha x}{4\lambda} + \frac{C}{2}\right)}{2} + \frac{1}{2}. \quad (5)$$

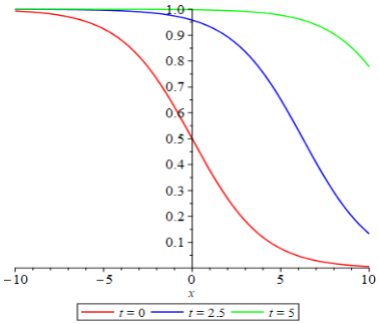

Рис. 1: Зависимость профиля решения (5) от времени t (при α=1, β=1, λ=1, C=0).

Список литературы

1. *Murray J. D. Mathematical Biology: I. An Introduction. — 3rd ed. — New York : Springer, 2002. — 551 p. — ISBN 0-387-95223-3.*

2. *Mendoza J., Muriel C. New exact solutions for a generalised Burgers-Fisher equation // Chaos, Solitons & Fractals. — 2021. — Vol. 152. — Art. 111360. – DOI: 10.1016/j.chaos.2021.111360*

Динамические свойства уравнения Бюргерса-Хаксли

Комаров Никита Михайлович*, Бородина Агния Геннадьевна

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *nmkomarov1@mephi.ru*

Аннотация

Рассматривается уравнение Бюргерса-Хаксли, описывающее взаимодействие между механизмами реакции, эффектами конвекции и диффузионного переноса. Проводится анализ устойчивости для редукции уравнения в переменных бегущей волны.

Ключевые слова: уравнение Бюргерса-Хаксли, нелинейная динамика, фазовые портреты.

В работе рассматривается известное уравнение Бюргерса-Хаксли

$$u_t + a\,u\,u_x = b\,u_{xx} + \alpha\,u + \beta\,u^2 - g\,u^3, \quad (1)$$

где $u(x,t)$ — действительная функция, b — коэффициент диффузии, a — характеристика нелинейного переноса, α, β, g — характеристики нелинейного источника [1]. Множество инфинитезимальных операторов, допускаемых уравнением (1), ограничивается простейшими операторами трансляции по координате и времени

$$X = C_1\frac{\partial}{\partial x} + C_2\frac{\partial}{\partial t}. \quad (2)$$

Поэтому далее в работе исследуется редукция уравнения (1) в переменных бегущей волны в виде $u(x,t) = y(x - C_0 t = z)$

$$a\,y\,y_z - C_0 y_z = b\,y_{zz} + \alpha\,y + \beta\,y^2 - g\,y^3, \quad (3)$$

где C_0 — произвольная постоянная. Динамические свойства уравнения (3) эквивалентны [2] свойствам нелинейной системы дифференциальных уравнений (4)-(5)

$$\dot{x_1} = x_2, \quad (4)$$

$$\dot{x_2} = Qx_1x_2 - C_1x_2 - Ax_1 - Bx_1^2 + Cx_1^3, \quad (5)$$

где $Q = \frac{a}{b}$, $C_1 = \frac{C_0}{b}$, $A = \frac{\alpha}{b}$, $B = \frac{\beta}{b}$, $C = \frac{g}{b}$. Рассматриваемая система имеет три положения равновесия, каждое из которых лежит на прямой с координатой $x_2 = 0$:

$$E_1 = (0,0), \quad (6)$$

$$E_2 = \left(\frac{B+\sqrt{B^2+4AC}}{2C}, 0\right), \quad (7)$$

$$E_3 = \left(\frac{B-\sqrt{B^2+4AC}}{2C}, 0\right). \quad (8)$$

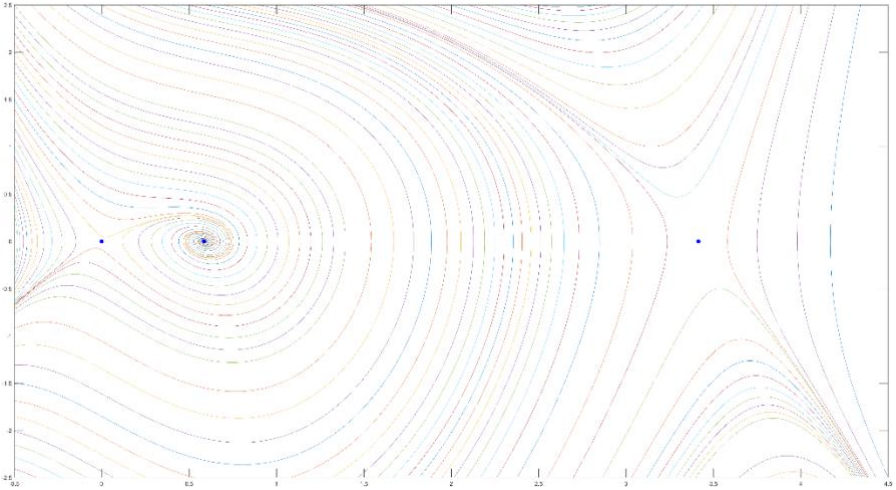

Рис. 1: Фазовый портрет системы (4)-(5) при $Q = 1, C_1 = 1, A = -2, B = 4, C = 1$.

В работе исследована устойчивость положений равновесия (6)-(8). Получены условия существования седловой точки и найдены ограничения на параметры, при которых положение равновесия является устойчивым фокусом (рис. 1).

Список литературы

1. *Yefimova, O.Y., Kudryashov, N.A. Exact solutions of the Burgers-Huxley equation. // Applied Mathematics and Mechanics. — 2004. — № 68(3). — P. 413–420.*

2. *Kudryashov, N.A., Lavrova, S.F. Dynamical properties of the periodically perturbed Triki–Biswas equation. // Optik. — 2022. — № 253. — Art. 168553.*

Программная инженерия

Разработка компонентно-ориентированного многопользовательского игрового движка с использованием модульной компиляции C++ и интерпретатора JavaScript

Баскаков Михаил Витальевич*, Могильный Вячеслав Андреевич, Симановский Марк Анатольевич

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *mikbas31@gmail.com*

Аннотация

Целью данного проекта является проектирование и реализация ядра минималистичного, модульного гибридного игрового движка, способного исполнять высокопроизводительную C++ логику, гибкую скриптовую логику JavaScript совместно с WebAssembly для распределения общей скриптовой логики WASM по сети.

Ключевые слова: Игровой движок, гибридные системы, C++, boost Asio, SDL, WebAssembly, QuickJS.

Современные игровые проекты требуют сложного баланса между производительностью, достигаемой нативным исполнением, и гибкостью, обеспечиваемой скриптовыми языками для реализации специфичной логики. Особенно остро этот вопрос стоит в контексте кроссплатформенной разработки многопользовательских игр, где критически важна возможность непрерывной доставки обновлений серверной логики без необходимости отключения игроков от сервера на время технического обслуживания.

Технология WebAssembly (WASM) предоставляет возможность скомпилировать нативную логику и исполнять ее в безопасной, изолированной среде с высокой эффективностью. Одновременно, построение игрового мира и его динамических элементов часто требует логики, которая может меняться быстро или должна легко добавляться игровыми дизайнерами. Встраиваемые JavaScript-интерпретаторы, такие как QuickJS, представляют собой легковесное и быстрое решение для выполнения скриптов WASM непосредственно в рантайме движка. Это позволяет отделить часто изменяющуюся логику от стабильного ядра движка, написанного на C++. Сами пакеты WASM являются эффективным и современным решением для

передачи исполняемого частично-компилируемого байт-кода по сети.

Ключевой особенностью является использование технологии WebAssembly не только для компиляции и исполнения отдельной C++ логики, но и для обеспечения эффективного межсетевого взаимодействия и распределения компонентов-скриптов, исполняющихся непосредственно на QuickJS на клиенте.

В ядро движка интегрированы собственная физическая библиотека для обработки коллизий и гибридная система акторов-компонентов, вдохновленная архитектурой Unreal Engine. Особое внимание уделено мультиплеерной real-time составляющей с использованием низкоуровневой библиотеки Boost Asio. Рендеринг игрового мира реализован на C++ с использованием библиотеки SDL. Разработана прослойка для взаимодействия между C++/WebAssembly кодом, а также внедрены механизмы обработки ошибок, специфичные для гибридного рантайма.

Список литературы

1. Нейронные сети и компьютерное зрение [Электронный ресурс]: курс / авт.-сост. Романо М. в, [и др.]— URL: https://stepik.org/course/50352/syllabus (дата обращения: 15.12.2024).

2. Малахов И. Аналоговые приборы учета: модернизировать или менять на цифровые? // ИКС медиа. — 2022. — № 1— URL: https://www.iksmedia.ru/articles/5874161-Analogovye-pribory-ucheta-modernizi.html (дата обращения: 17.12.2024).

Создание динамической библиотеки для моделирования квантовых систем

Кузнецов Алексей Александрович, Денисов Антон Павлович, Вершинин Андрей Дмитриевич

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *denisov.ap005@gmail.com*

Аннотация

Данный проект заключается в разработке и реализации библиотеки для решения задач линейной алгебры, используемых в моделировании бездиссипативных систем, в виде динамической библиотеки, написанной на языке C с применением численных методов, доступной для использования в программах на языке Python. Эта библиотека отличается высокой скоростью работы, что позволит существенно снизить время проектирования квантовых систем (в том числе кубитов).

Ключевые слова: C, численные методы, квантовая система, линейная алгебра.

В ходе работы был изучен алгоритм составления матрицы Гамильтона, описывающей заданную квантовую систему [1], и выбран численный метод, позволяющий быстро найти собственный вектор, соответствующий наибольшему по модулю собственному числу [2].

Степенной метод описывается следующим алгоритмом: генерация единичного вектора, умножение его на данную матрицу, нормирование полученного вектора. Если изменение направления вектора больше заданной точности, умножение на матрицу и нормирование вектора выполняется еще раз.

На основе алгоритма на языке C была разработана библиотека, способная помимо поиска собственного вектора, осуществлять основные операции над матрицами. Также было проведено сравнение эффективности полученной библиотеки с эффективностью стандартных библиотек (numpy).

Созданная библиотека позволяет совершать основные операции над матрицами: умножение, сложение, разность, нахождение определителя над полем комплексных чисел. Также присутствует функция нахождения собственного вектора матрицы. Программа продемонстрировала корректную работу в моделировании потокового кубита, гамильтониан которого описан в формуле:

$$\widehat{H} = \frac{4e^2}{3C}\left(\hat{n}_1{}^2 + \hat{n}_1\hat{n}_2 + \hat{n}_2{}^2\right) + E_j(-cos\,\hat{\varphi}_1 - cos\,\hat{\varphi}_2 - cos(\hat{\varphi}_2 - \hat{\varphi}_1)). \quad (1)$$

Скорость выполнения программы оказалась выше скорости моделирования при помощи пакета numpy в среднем в 8 раз. На рисунке 1 изображены волновые функции потокового кубита, найденные при помощи реализованной библиотеки.

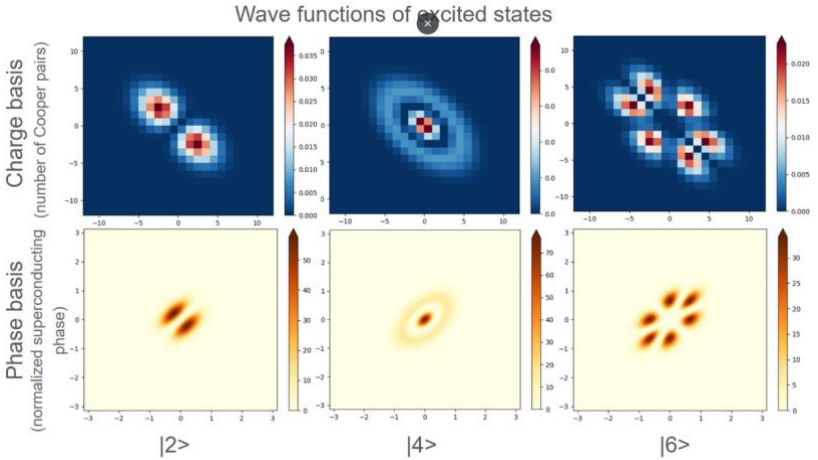

Рис. 1: Волновые функции потокового кубита.

Список литературы

1. *Devoret M. H. Quantum Fluctuations in Electrical Circuits // Les Houches Lectures. — 1995. — Vol. 63. — P. 351-386. — ISBN: 0-444-82593-2*

2. *von Mises R., Pollaczek-Geiringer H. Praktische Verfahren der Gleichungsauflösung // Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. — 1929. — Bd. 9, H. 2. — S. 152-164.*

Интерактивный трекер привычек

Гранкин Лев Владиславович, Кураев Никита Ильич,
Панов Александр Максимович, Степанов Андрей Геннадьевич

НИЯУ МИФИ

e-mail: *levgrank@gmail.com*

Аннотация

Цифровой трекер привычек помогает пользователям эффективно вырабатывать и отслеживать новые привычки. Базовыми функциями таких трекеров являются: регистрация, отслеживание привычек и напоминания о регулярном выполнении. Данный проект — это web-приложение, в котором помимо базового функционала реализованы: отслеживание регулярности выполнения и настроения, концепция адаптивных рекомендаций, интеграция с Telegram-ботом и система достижений, - такие нововведения сохраняют интерес пользователя и стимулируют его достигать поставленных целей.

Ключевые слова: привычка, менеджмент, web.

Проект относится к области цифровых технологий, которые помогают повышать эффективность и управлять своим временем.

Формирование привычек — трудоемкий процесс, требующий времени и дисциплины. Цифровые трекеры облегчают его, напоминая о действиях и фиксируя прогресс, но чаще всего страдают сложным интерфейсом, неудобным учетом выполнения, слабой мотивацией, отсутствием командных функций и ограничениями бесплатной версии. Исследования подтверждают эффективность трекеров [1, 4], важность социальной поддержки для мотивации и ответственности [2] и сильную связь между депрессивным настроением и выгоранием [5]. В данном проекте эти выводы реализованы через мониторинг настроения и концепции адаптивных рекомендаций и командных событий.

Проект нацелен на облегчение и повышение эффективности формирования новой привычки благодаря поддержанию мотивации пользователя. Продукт должен быть прост и удобен в использовании, иметь механизмы для личной и групповой мотивации.

В проекте используются такие технологии, как: Dart, Python, Flutter, python-telegram-bot, FastApi, Clion, Visual Studio Code, GitHub

Разработка проекта состояла из нескольких пунктов: изучение трекеров привычек, исследование проблемы (недостатков аналогов), выбор

функционала, выбор инструментов, разработка прототипа, первичные тестирования, разработка MVP и его тестирование.

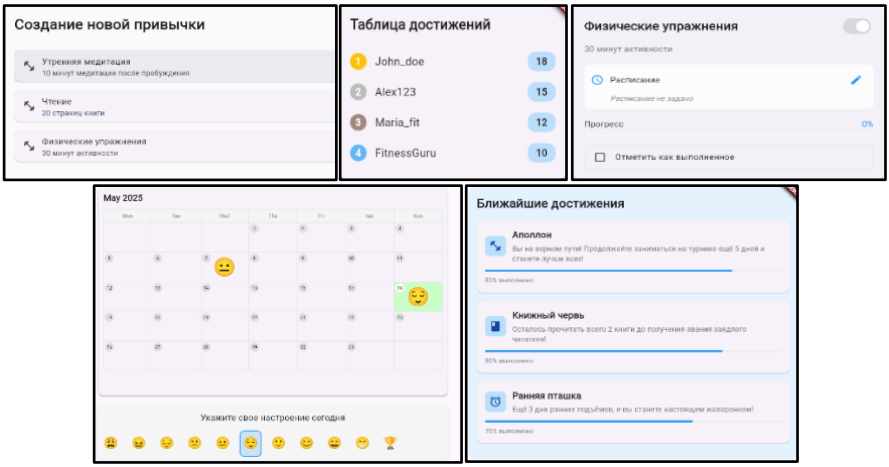

Рис. 1: Интерфейс приложения.

Конечным продуктом является web-приложение с функциями регистрации, добавления привычек и мониторинга настроения. Система отслеживает динамику выполнения и настроения, и если показатели падают, то будет предложено уменьшить регулярность. Оповещения можно получать в мессенджере Telegram для большего удобства.

Список литературы

1. *Stawarz K., Cox A., Blandford A. "Habit formation and behaviour change with personal informatics tools" // UCL Discovery. — 2015.*
2. *Gardner B., Rebar A.L. "How does habit form? Guidelines for tracking habit development" // Semantics Scholar.*
3. *Wicaksono R.S., Hendley R. "Using reinforced implementation intentions to foster habit formation" // Semantics Scholar.*
4. *Першина Е.П., Глачаева С.Е. // Вестник Современной Академии управления и маркетинга. — 2024. — с. 111–112.*
5. *Bianchi, R., Schonfeld, I. S., & Laurent, E. (2016). "Burnout is associated with a depressive cognitive style" // Personality and Individual Differences. — 2016 — Vol. 100. — P. 1–5.*

Приборостроение и ядерная физика

Исследование влияния термического отжига на поверхностное сопротивление и ТКС тонких резистивных пленок TaN

Кадыков Павел Юрьевич*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *booksever5@yandex.ru*

Аннотация

Работа посвящена исследованию термостабильности тонких резистивных пленок TaN, анализу зависимости их поверхностного сопротивления и ТКС от температуры отжига.

Ключевые слова: нитрид тантала, ТКС, термический отжиг.

Образцы пленок TaN на поликоровых подложках были получены методом реактивного магнетронного распыления в лаборатории НИЯУ МИФИ. Термический отжиг образцов проводился в воздушной среде в диапазоне от 300°C до 600°C с шагом 100°C в течение 2-х минут. Измерение поверхностного сопротивления проводилось четырехконтактным методом. Измерения ТКС проводились при температурах от комнатной (25°C) до 150°C с шагом 25°C.

ТКС – температурный коэффициент сопротивления. ТКС показывает, насколько изменяется сопротивление резистора при изменении температуры.

ТКС рассчитывается по формуле:

$$TCR = \frac{R_2 - R_1}{R_1 * (T_1 - T_2)} * 10^{-6}, \quad (1)$$

Где TCR — температурный коэффициент сопротивления (ТКС), (ppm/°C), R_1 — сопротивление при комнатной температуре +25°C, R_2 — сопротивление при рабочей температуре, T_1 — комнатная температура (+25°C), T_2 — рабочая температура, при которой производится тестовое измерение.

На рисунках 1, 2 представлены графики полученных зависимостей поверхностного сопротивления и ТКС тонких резистивных пленок TaN от температуры отжига.

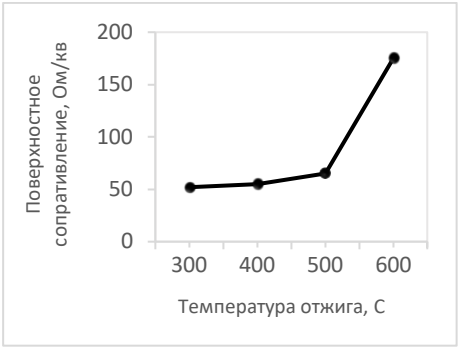

Рис. 1: Зависимость поверхностного сопротивления пленок от температуры отжига.

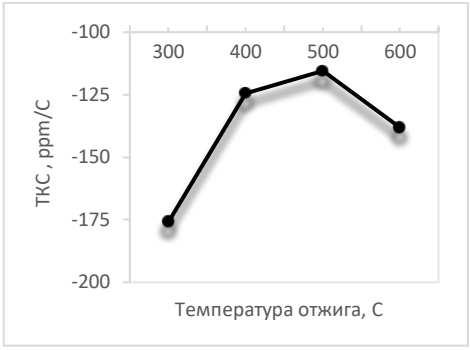

Рис. 2: Зависимость ТКС от температуры отжига.

Проведённое исследование показало, что термическая обработка тонких резистивных плёнок TaN в воздушной среде при 300–600°C заметно влияет на их поверхностное сопротивление и ТКС. При 300–400°C изменения сопротивления не превышают 5%, что указывает на высокую термическую стабильность материала. Наиболее стабильные характеристики и минимальное значение ТКС наблюдаются при 400°C, что делает этот режим оптимальным. При 500°C сопротивление увеличивается на 10%, а при 600°C — на 64%, также возрастает ТКС, что связано с окислением и структурными изменениями. Таким образом, температура 400°C является наилучшей для термической стабилизации плёнок TaN.

Список литературы

1. *Корж И. А., Кузнецов А. Н. Тонкие резистивные плёнки на основе соединений тантала для изготовления мощных ВЧ-нагрузок и аттенюаторов // Электронные средства и системы управления : материалы XV Международной научно-практической конференции (Томск, 2016 г.). — Томск : Изд-во ТУСУР, 2016. — С. 69-76.*

2. *Иванов А. А., Петров Б. С., Сидорова В. Г. Влияние параметров реактивного магнетронного напыления на фазовый состав плёнок TaN // Физика твёрдого тела. — 2023. — Т. 65, № 4. — С. 567-574.*

3. *Petrovskaya A. S., [et al.] Hydrophilic properties of nanostructured coatings of oxides and nitrides of tantalum and aluminum // Coatings. — 2021. — Vol. 11, №. 6. — Art. 678.*

Информационные технологии и интеллектуальные системы

Обнаружение аномалий в мультивариативных временных рядах с помощью устойчивой гомологии

Новокрещенов Пётр Алексеевич*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *novokreshchenov@atomicmail.io*

Аннотация

В данной работе исследовалась возможность применения устойчивых гомологий для обнаружения аномалий в многомерных временных рядах. Использование топологического анализа данных для инжиниринга признаков значительно улучшило показатели как изоляционного леса, так и DBSCAN на нескольких реальных наборах данных с различной размерностью и числом аномалий.

Ключевые слова: обнаружение аномалий, устойчивая гомология, топологический анализ данных, временные ряды.

От предотвращения мошеннических транзакций до поиска поломок оборудования – обнаружение аномалий в многомерных временных рядах является актуальной задачей во всех областях науки, бизнеса и госрегулирования. И хотя топологический анализ данных (TDA) уже применяется для исследования временных рядов, его использование для детекции аномалий менее популярно [1]. В то же время TDA способен выявлять и обобщать интерканальную структуру многомерного ряда, способствуя формированию интерпретируемых признаков.

В данной работе был разработан метод расширения признакового пространства с помощью TDA и написана программа, реализующая его для таких алгоритмов обучения без учителя, как изоляционный лес и DBSCAN. На первом этапе каждый канал многомерного ряда разделялся на перекрывающиеся окна фиксированного размера. Затем, наблюдения в каждом окне интерпретировались как точки многомерного пространства, а для построения графиков устойчивой гомологии использовалась фильтрация Виеториса-Рипса [2]. После чего, на основе полученных моментов «рождения» и «смерти» комплексов (в частности, групп гомологии H_0 и H_1, соответствующих компонентам связности и циклам, соответственно),

вычислены такие характеристики, как: суммарное, среднее и максимальное время «жизни» группы, вариация данного показателя, число групп H_1 и отношения числа групп H_1 к H_0. Переход от окон к точкам реализован усреднением значений признаков.

В созданной программе данные характеристики затем обогащали уже существовавшее признаковое пространство. Для оценки кластеризации выбраны классические для задачи поиска аномалий метрики: precision, recall и f1-score. Оценка же производилась методом стратифицированной кросс-валидации на 10 фолдах для трёх датасетов.

Первый датасет состоял из 2 665 наблюдений, 5 каналов и включал в себя как аномальные точки, так и последовательности; загрязнённость аномалиями 37%. Второй датасет состоял из 650 000 наблюдений, 2 каналов; загрязнённость аномалиями 32%. Третий датасет состоял из 16 220 наблюдений, 18 каналов; загрязнённость аномалиями 0,3% [3].

Таблица 1: Модели с наилучшими F1-score

Датасет	Наилучшая модель	Признаки	F1 Score
1	DBSCAN	Новые	0.867 ± 0.044
2	Изоляционный лес	Новые	0.558 ± 0.012
3	Изоляционный лес	Новые	0.259 ± 0.147

Результаты, частично представленные в таблице 1, указывают на существенное улучшение по всем трём метрикам при использовании устойчивой гомологии, особенно в условиях редких аномалий (задача поиска иголки в стоге сена). Таким образом, подтверждается предположение о том, что топологический анализ данных крайне актуален не только в общем контексте анализа временных рядов, но и в поиске аномалий в многомерных временных рядах, в частности.

Список литературы

1. *Hong E., Jeong J.-H. Persistent homology of featured time series data and its applications // AIMS Mathematics. — 2024. — Vol. 9, № 10. — P. 27028-27057. — DOI: 10.3934/math.20241315*

2. *Chazal F., Oudot S. Y. Interleaved Filtrations: Theory and Applications in Point Cloud Data Analysis // Geometric Science of Informationo. — Berlin, Heidelberg : Springer, 2013. — P. 587-592.*

3. *Datasets [Электронный ресурс] // TimeEval Evaluation Paper. — URL: https://timeeval.github.io/evaluation-paper/notebooks/Datasets.html (дата обращения: 18.05.2025).*

Адаптивный алгоритм поиска эпилептических активностей на ЭЭГ

Перелыгин Егор Игоревич*

НИЯУ МИФИ

*e-mail: *egormcobakaster1@gmail.com*

Аннотация

В работе представлен адаптивный алгоритм поиска эпилептической активности на ЭЭГ с использованием сверточных нейронных сетей. Уникальной особенностью предлагаемого подхода является применение парадигмы metric learning при обучении модели. Проведено сравнение различных методов с целью выбора наиболее эффективного решения.

Ключевые слова: metric learning, ЭЭГ, эпилептические активности

В статье [1] показано, что для более точного исследования эпилепсии нужно использовать только те данные, которые соответствуют эпилептическим активностям. Поэтому важно создать алгоритм автоматического поиска нужных интервалов на ЭЭГ. В работе приводится результаты обучения сверточных нейронных сетей на данных ЭЭГ. Адаптивный подход, при котором врач отмечает одну из эпилептических активностей, после чего на ЭЭГ ищутся похожие участки, сравнивается с подходом, при котором задача решается как задача классификации. Результаты этого сравнения представлены на таблицах 1 и 2.

Таблица 1: Значения точности для различных моделей классификации

Модель	Accuracy
Resnet18	0.68
Resnet50	0.7
Resnet152	0.68

В таблице 1 показаны результаты обучения различных моделей классификации.

Таблица 2: Результаты при использовании metric learning подхода (resnet50)

Loss	Accuracy
Triplet	0.91
Triplet (cosine)	0.88
Arcface	0.88
Triplet + MetricSoftmax	0.93
Triplet (hard negative mining)	0.92
Triplet (Cosine, hard negative mining)	0.90
Arcface (hard negative mining)	0.91
Triplet + MetricSoftmax (hard negative mining)	**0.98**

В таблице 2 показаны результаты обучения различных моделей с использованием metric learning.

В работе также представлена постобработка результатов работы нейронной сети для уточнения границ интервалов эпилептических активностей. Она представляет собой поиск пиков длинных волн на основе амплитудных и частотных характеристик сигнала.

Список литературы

1. Гуляев С. А. [и др.] Вопрос сохранения интериктальной активности в длительных ЭЭГ-исследованиях эпилепсии // Медицина экстремальных ситуаций. — 2024. — Т. 26, № 2. — С. 140-145.

2. Wang J. [et al.] Deep metric learning with angular loss // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). — 2017. — P. 2593-2601.

3. Ha M. L., Blanz V. Deep ranking with adaptive margin triplet loss // arXiv preprint. — 2021. — arXiv:2107.06187. — DOI: 10.48550/arXiv.2107.06187

4. Deng J. [et al.] ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). — 2019. — P. 4690-4699. — DOI: 10.1109/CVPR.2019.00482