

Секция «Системы машинного и глубокого обучения»

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ БЛИЗОСТИ СГЕНЕРИРОВАННЫХ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РЕАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПАЦИЕНТОВ ИЗ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ

В.А. Ковалев

*Объединенный институт проблем информатики, Национальная академия наук
Беларуси, Минск, Беларусь*

E-mail: vassili.kovalev@gmail.com

Аннотация: Данное исследование оценивает степень сходства между гистологическими изображениями, сгенерированными с помощью диффузионной модели и реальными изображениями. В частности, оцениваем вероятность точного воспроизведения реальных изображений из обучающей выборки в зависимости от ее размера. Эксперименты проводились на изображениях биопсии 34 пациентов с раком яичников, окрашенных гематоксилином и эозином (H&E), а также иммуногистохимическими маркерами CD105, D240, FRES и Ki67. Пять обучающих наборов 50, 150, 450, 1350 и 4050 изображений были сформированы методом случайной выборки из репозитория, содержащего 208464 изображений. Все изображения имеют размер 256×256 пикселей. Для количественной оценки различий между реальными и сгенерированными изображениями использовались следующие метрики: попарная корреляция, расстояние Фреше по признакам Inception (FID) и класс-условное максимальное среднее расхождение (CMMD).

Ключевые слова: генерация изображений, гистологические изображения, диффузионные генеративные модели.

ГЕНЕРАТИВНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

В.А. Ковалев, С.А. Козловский

*Объединенный институт проблем информатики, Национальная академия наук
Беларуси, Минск, Беларусь E-mail: vassili.kovalev@gmail.com*

Аннотация: В данном исследовании изучается применение генеративных нейронных сетей, включая диффузионные модели и глубокие свёрточные сети типа DC-GAN для синтеза медицинских изображений с целью диагностики и научных исследований. Мы оцениваем эффективность этих моделей на трёх наборах данных: КТ-срезах лёгких пациентов, больных туберкулёзом легких, цифровые рентгенограммы грудной клетки, полученные в ходе массового регионального скрининга населения, а также на гистологических изображениях, используемых для диагностики рака. Качество генерации изображений оценивалось с помощью метрики CLIP-MMD (CMMD) и подходящих классификационных тестов. Результаты показали, что диффузионные модели генерируют высококачественные КТ-изображения, причём качество улучшается с увеличением объёма обучающей выборки. Для рентгеновских и гистологических изображений сети DC-GAN создают синтетические изображения, сохраняющие диагностическую ценность. Кроме того, классификационные тесты демонстрируют, что сгенерированные изображения могут полностью заменить реальные данные при обучении нейронных сетей с минимальными потерями точности. Полученные результаты подчёркивают потенциал генеративных моделей для решения проблем дефицита данных и соблюдения конфиденциальности в области медицинской визуализации.

Ключевые слова: генерация изображений, компьютерная томография, рентгеновские изображения, гистология

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ТОЧЕЧНОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ ЦЕНТРОВ ЯДЕР РАКОВЫХ КЛЕТОК НА ИММУНОГИСТОХИМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

М.М. Амелишко, В.В. Скакун

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь;

E-mail: bio.amelishkMM@bsu.by

Аннотация: Для решения классической задачи предсказания центров ядер раковых клеток на иммуногистохимических изображениях с точечной разметкой эффективно может быть применена сверточная нейронная сеть U-Net классической архитектуры с относительно небольшим числом слоев. Данная работа исследует влияние интеграции остаточных блоков и дополнительных слоев в архитектуру модели на ее обучаемость и показатели качества предсказаний. Установлено, что увеличение числа слоев в архитектуре модели значительно улучшает как скорость обучения, так и полноту демонстрируемых предсказаний в случае одновременной интеграции остаточных блоков.

Ключевые слова: глубокое обучение, предсказание центров ядер, остаточные нейронные сети, ResNet, сверточные нейронные сети.

ВЫДЕЛЕНИЕ ГОРОДСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Ван Тинян

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: wangtingyang9@gmail.com

Аннотация: Рассматривается задача выделения городской растительности по мультиспектральным изображениям БПЛА в условиях теневых помех, разнородных искусственных покрытий и высокой пространственной неоднородности. Показано, что наибольшей способностью для отделения растительности от других типов поверхности обладают признаки красного края и синего канала. Предложен индекс EREBAI, ориентированный на повышение устойчивости классификации к теням и ярким искусственным поверхностям. Экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенного подхода, его пригодность для городских условий.

Ключевые слова: дистанционное зондирование с БПЛА, мультиспектральные изображения, вегетационные индексы, красный край, городская растительность, EREBAI

R-YOLO: ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА СНИМКАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНИМАНИЯ К РЕЦЕПТИВНОМУ ПОЛЮ И УЛУЧШЕННОЙ ВЕРСИИ YOLO26 НА БАЗЕ REPVIT

Бу Сяньи, С. Абламейко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: tigerv5872@gmail.com

Аннотация: Обнаружение целей на изображениях дистанционного зондирования сталкивается с такими проблемами, как сложный фон и значительные различия в масштабе объектов. Для решения этой проблемы в статье предлагается 2R-YOLO — улучшенная структура детектирования на основе YOLO26. Данный метод внедряет свертку с вниманием к рецептивному полю (RFAConv) в начальные слои базовой сети для улучшения восприятия локальных деталей, а также встраивает легковесный модуль RepViT в верхние уровни заголовка детектора для захвата глобальной контекстной информации о крупномасштабных объектах. Оба компонента работают синергетически, обеспечивая многомасштабное улучшение признаков — от локального до глобального уровня. Экспериментальные результаты на наборе данных RSOD показывают, что 2R-YOLO достигает $mAP50 = 90,8\%$ и $mAP50-95 = 57,5\%$, что на 14,3 и 8,6 процентных пункта выше по сравнению с базовой версией YOLOv26n. Предложенный метод также превосходит такие популярные модели, как YOLOv11n и YOLOv12n, что подтверждает эффективность и преимущество разработанного модуля в задачах обнаружения объектов на снимках дистанционного зондирования.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, обнаружение объектов, рецептивное поле, внимание, RepViT.

ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКОВ СМЕН ВОДИТЕЛЕЙ АВТОБУСОВ

С.В. Гончаров, И.С. Войтешенко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: goncharov.sergei.21@gmail.com, voit@bsu.by

Аннотация: В данной работе представлено применение глубокого обучения с подкреплением для автоматизированного составления графиков смен водителей автобусов в городском общественном транспорте. Задача составления расписания экипажей (Crew Scheduling Problem, CSP) относится к классу NP-трудных комбинаторных задач оптимизации. Проблема формализована как процесс принятия решений Маркова с учетом трудовых ограничений. Выбранная архитектура агента основана на методе Actor-Critic и обучена с использованием метода проксимальной оптимизации политики (Proximal Policy Optimization, PPO). Эксперименты на реальных данных транспортной сети города Обнинска показали, что PPO превосходит по качеству методы Deep Q-Network (DQN), REINFORCE, а также генетический алгоритм.

Ключевые слова: обучение с подкреплением; глубокое обучение; PPO; составление графиков; расписание; общественный транспорт; нейронные сети.

ИНТЕПРЕТИРУЕМЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСХОДА ЛЕЧЕНИЯ В КАРДИОХИРУРГИИ

Г.В. Гренкин¹, К.И. Шахгельдян^{1,2}

¹Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

E-mail: grenkingv@yandex.ru

Аннотация: Работа посвящена прогнозированию внутригоспитальной летальности у пациентов с инфарктом миокарда с подъемом сегмента ST, которым выполнена операция чрескожного коронарного вмешательства. Предлагается интерпретируемый метод бинарной классификации, основанный на категоризации непрерывных предикторов. Прогнозируемая вероятность раскладывается по числам Шепли, чтобы выявить важность отдельных факторов риска. С помощью локальных объяснений формируется глобальное объяснение модели, и выделяются фенотипы факторов риска.

Ключевые слова: интерпретируемые методы машинного обучения, фенотипы факторов риска, категоризация непрерывных предикторов, инфаркт миокарда.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРИКЛАДНОЙ СТАТИСТИКИ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ УДАЛЕНИЯ ШУМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WOLFRAM LANGUAGE

У.С. Игнатчик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: uliana.ignatchik@gmail.com

Аннотация: В работе представлено исследование задачи удаления шума из двумерных данных на равномерной сетке узлов. Проведено сравнение методов статистической фильтрации (скользящее среднее, медианный, билатеральный, анизотропная диффузия Перона-Малика, фильтр Винера) и нейронной сети (DnCNN). Для оценки рассматривались следующие виды шума: гауссов, равномерный, импульсный, пуассонов и спекл-шум. Вычислительные эксперименты проведены в системе Wolfram Mathematica, получены метрики RMSE и PSNR, проведена качественная оценка на графиках.

Ключевые слова: удаление шума, фильтры, DnCNN, анизотропная диффузия, Wolfram Language.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕНЕРАТИВНО- СОСЯЗАТЕЛЬНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ БЕЗУСЛОВНОЙ ГЕНЕРАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Д. С. Карпенко

Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук
Беларуси, Минск, Беларусь

E-mail: karpenko.dima.s11@gmail.com

Аннотация: В данном исследовании представлен сравнительный анализ трех архитектур GAN для генерации медицинских изображений, в частности, рентгеновских и КТ изображений. Данная задача крайне актуальна в контексте дефицита данных и проблем конфиденциальности в медицинской сфере. Сравниваются стабильность обучения, вычислительная эффективность и качество генерации. В результате исследования становится ясно, что разработка и обучения GAN является сложной задачей, архитектурные улучшения не всегда приводят к стабильности, а большее количество параметров не означает лучшее качество.

Ключевые слова: генерация изображений, генеративные модели, GAN, DCGAN, SAGAN, BigGAN-deep, механизм внимания, рентгеновские изображения, КТ изображения, нейронные сети.

О СТАБИЛИЗАЦИИ СХОДИМОСТИ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ БЕЗУСЛОВНОЙ ГЕНЕРАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Д. С. Карпенко

*Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук
Беларуси, Минск, Беларусь*

E-mail: karpenko.dima.s11@gmail.com

Аннотация: Обучение генеративно-сопоставительных сетей для генерации изображений высокого разрешения представляет собой сложную задачу из-за коллапса мод и нестабильности градиентов. В данной работе исследуются несколько методов стабилизации процесса обучения модели BigGAN-deep для безусловной генерации КТ-изображений. Результаты показывают, что градиентная регуляризация стабилизирует обучение, предотвращает коллапс и улучшает качество, достигая наилучшего значения FID 28,61.

Ключевые слова: генерация изображений, генеративные модели, GAN, BigGAN-deep, градиентная регуляризация, сходимость, КТ изображения, нейронные сети.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ

Н.Л. Киселев

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: nkisialeu@gmail.com

Аннотация: Рассмотрены методы глубокого обучения с подкреплением для управления автономным транспортным средством в симуляционной среде CARLA. Задача автономного вождения формализована как марковский процесс принятия решений. Реализованы и сопоставлены два алгоритма: Deep Q-Network с дискретным пространством действий и Actor-Critic с непрерывным управлением. Для аппроксимации Q-функции разработана глубокая сверточная нейронная сеть с остаточными соединениями. Функция награды учитывает скорость, столкновения и удержание в полосе. Экспериментальные результаты показали, что DQN демонстрирует стабильное поведение на стандартных маршрутах, тогда как Actor-Critic лучше адаптируется к ночному времени и осадкам.

Ключевые слова: глубокое обучение с подкреплением, автономное вождение, нейронные сети, Deep Q-Network, Actor-Critic, CARLA.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОГО УТОЧНЕНИЯ РАЗМЕТКИ МАЛЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТОЧНОСТЬ YOLO

О. О. Колб¹⁾, М. М. Лукашевич²⁾

*¹⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: kolbaa@bsu.by*

*²⁾Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: LukashevichMM@bsu.by*

В задачах детекции малых объектов качество аннотаций часто определяет верхнюю границу достижимых метрик: небольшая геометрическая ошибка разметки приводит к резкому падению IoU и формирует шумный сигнал для ветви регрессии рамок. На этом фоне в работе исследуется влияние полуавтоматического уточнения bounding boxes с использованием Segment Anything Model (SAM) – promptable-модели сегментации, способной по подсказке (точка/рамка) выдавать маски объектов с предсказанием их качества.

Ключевые слова: компьютерное зрение, детекция, YOLO, Segment Anything, нейронные сети, обучение моделей.

ДЕТЕКЦИЯ ИИ-СГЕНЕРИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА

Р.О. Кохнович

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: roma3122001@gmail.com*

В данной работе рассматривается метод обнаружения изображений, созданных генеративными нейросетями, на основе анализа их частотного спектра. Представлена архитектура гибридной модели, сочетающей быстрое преобразование Фурье (FFT) для извлечения признаков и сверточную нейросеть (CNN) для классификации. Приведены результаты обучения модели на экспериментальном датасете и результаты валидации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, обнаружение дипфейков, частотный анализ, быстрое преобразование Фурье, сверточные нейронные сети, верификация изображений.

ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ЖИВОТНЫХ

Д.А. Краева

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: kra.eevaa@mail.ru*

Распознавание аффективных состояний, таких как боль и стресс у животных является сложной, но важной задачей для ветеринарии. Традиционные методы, основанные на визуальной оценке (например, шкалы гримас и FACS), подвержены субъективности, требуют длительного обучения и времени, при большом количестве данных. В данной статье представлен анализ современных подходов к автоматизации этого процесса с использованием методов компьютерного зрения и машинного обучения. На основе исследований, сфокусированных на кошках, собаках и мышах, мы рассматриваем две основные парадигмы: методы, основанные на геометрических ключевых точках, и сквозные модели глубокого обучения, работающие с "сырыми" изображениями. Отдельное внимание уделяется динамическому анализу видео как более информативному подходу по сравнению со статичными изображениями.

Ключевые слова: автоматическое распознавание боли, компьютерное зрение, глубокое обучение, геометрические ключевые точки, видеоанализ.

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СТРУКТУР НА ФОТОННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

**А.С. Лазарев, Д.Е. Сороковых, С.В. Архипов, А.А. Савчук, А.Р. Габидуллин,
Н.А. Орликовский, А.А. Денисов, С.Г. Рыкованов**

Сколковский институт науки и технологий, Сколково, Россия

E-mail: a.lazarev@skoltech.ru

Индустрия интегральной фотоники активно развивается благодаря растущему спросу на энергоэффективные микросхемы для телекоммуникаций, сенсорных систем и задач искусственного интеллекта. Однако уровень автоматизации процессов тестирования фотонных интегральных схем (ФИС) остаётся ограниченным. В работе рассматривается применение методов машинного зрения для обнаружения оптических структур на поверхности ФИС. Предлагается модель детектирования структур на микроскопических изображениях, позволяющая определять расположение оптических вводов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем автоматизированного оптического тестирования ФИС.

Ключевые слова: интегральная фотоника; машинное зрение; нейронные сети.

МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ В АНАЛИЗЕ МЕЖСТРАНОВЫХ ТАБЛИЦ «ЗАТРАТЫ – ВЫПУСК» ДЛЯ ЕАЭС

В.А. Пархименко

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

E-mail: parkhimenko@bsuir.by

Цель работы – апробация метода главных компонент (РСА) для анализа межстрановых таблиц «затраты – выпуск» ЕАЭС и визуализация структуры взаимозависимостей стран-членов. На основе исходных таблиц сформирован многомерный массив данных о межотраслевых потоках добавленной стоимости и в пространстве двух первых главных компоненты выделены два основных кластера (Россия-Беларусь, Казахстан-Кыргызстан) и обособленная позиция Армении. Показана применимость и перспективность РСА при анализе межстрановых таблиц «затраты – Выпуск».

Ключевые слова: ЕАЭС, межстрановые таблицы «затраты – выпуск», метод главных компонент.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ АУДИТОРИИ НА ОСНОВАНИИ RFM-АНАЛИЗА

Д.М. Рагель

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: ragel@bsuir.by

Предлагается практическая реализация RFM-кластеризации с алгоритмом K-Means на примере набора данных, характеризующего поведение клиентов торговой сети. Новизна работы заключается не в разработке нового алгоритма, а в демонстрации целостной схемы: от расчёта RFM-показателей до выбора оптимального числа кластеров и интерпретации профилей сегментов для целей маркетинговых кампаний. Все процедуры проводятся на примере набора данных, который характеризует поведение группы потребителей на основании демографической и поведенческой информации.

Ключевые слова: анализ данных, кластеризация, сегментация, группы клиентов, RFM-анализ, покупательская активность.

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ГИБРИДНЫМ МЕТОДОМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ НА СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ КЛАСТЕРА ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

И.В. Саечников, Э.А. Чернявская, А.В. Саечников

Белорусский Государственный Университет, Минск, Беларусь
E-mail: SaetchnikIV@bsu.by

Предлагается новая методика решения обратной задачи определения длины волны с использованием масштабируемого кластера оптических сенсоров на базе тысяч оптических микрорезонаторов. Метод интегрирует гибридную модель глубокого обучения на основе ансамбля с аугментацией данных на базе вариационного автоэнкодера, обеспечивая высокоточное определение длины волны в спектральном диапазоне 10 нм видимого излучения с разрешением 100 фемтометров.

Ключевые слова: оптически сенсор, обратная задача, глубокое обучение, ансамбль.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД ГИБРИДНЫМ МЕТОДОМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С АНАЛИЗОМ МЕЖКОМПОНЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

И.В. Саечников, Э.А. Чернявская, А.В. Саечников

Белорусский Государственный Университет, Минск, Беларусь
E-mail: SaetchnikIV@bsu.by

Методы глубокого обучения эффективно справляются с анализом зашумленных сенсорных данных. Одним из ключевым направлением развития становится создание гибридных архитектур глубокого обучения для решения обратных задач — восстановления физических параметров динамических гетерогенных сред по данным мультисенсорных систем. В работе предложена методика детектирования гетерогенных сред с анализом межкомпонентного взаимодействия, объединяющая сверточные сети, двунаправленные LSTM и трансформерные блоки с кросс-канальным слиянием признаков. Метод обеспечивает динамическое детектирование компонентов сложных растворов с точностью классификации $>98\%$ и погрешностью концентраций в единицы нг/мл.

Ключевые слова: глубокое обучение, обратная задача, оптический сенсор, гетерогенные среды, динамических мониторинг.

ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ОТВЕТОВ ШКОЛЬНИКОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ ПОДГОТОВКИ К ЦЭ/ЦТ

А.О. Саханкова, К.Г. Чесюнайте, М.В. Лобанок

*Белорусский государственный университет, 220030, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 4
e-mail: rct.sahankovAO@bsu.by*

Предложен гибридный алгоритм оценки достоверности ответов школьников в дистанционной образовательной среде. Алгоритм объединяет три независимых контура: стилометрический анализ авторства, телеметрию процесса ввода текста и психометрический контроль согласованности ответов. Интегральный показатель достоверности D формируется как взвешенная сумма частных показателей и используется для трёхуровневой классификации ответа: автоматическое принятие, дополнительная верификация или передача на ручную проверку. Алгоритм предназначен для интеграции в интеллектуальную платформу дистанционной подготовки к централизованному экзамену (ЦЭ) и тестированию (ЦТ).

Ключевые слова: дистанционное образование; академическая добросовестность; генеративный ИИ; стилометрия; клавиатурная динамика; социальная желательность; адаптивное обучение.

РАЗРАБОТКА IDS НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СИСТЕМНЫХ ЛОГОВ И СЕТЕВОГО ТРАФИКА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Д. И. Селедцов, С. Д. Рундыгин

*БГУ, Минск, Беларусь
E-mail: rct.seledcov@bsu.by*

В данной работе рассматривается разработка системы обнаружения вторжений (Intrusion Detection System, IDS) на основе анализа системных логов и сетевого трафика с применением методов машинного обучения. Предлагаемый подход основан на анализе событий безопасности и сетевых соединений для выявления подозрительной активности и потенциальных атак. Рассматривается архитектура системы, включающая модули сбора и предварительной обработки данных, обучения модели и обнаружения аномалий, а также описывается прототип программного комплекса для анализа логов и сетевого трафика.

Ключевые слова: система обнаружения вторжений, анализ системных логов, сетевой трафик, информационная безопасность, машинное обучение, обнаружение аномалий, кибератаки.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СЖАТИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А. С. Степанова, Т. П. Янукович

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: rct.stepanovAS@bsu.by, rct.yanukovichTP@bsu.by

В статье рассматривается проблема сжатия изображений дистанционного зондирования Земли. Традиционные методы, такие как JPEG, не всегда обеспечивают оптимальный баланс между степенью сжатия и качеством восстановления. Проведен сравнительный анализ двух архитектур нейронных сетей: сверточного и вариационно-сверточного автоэнкодеров. Эксперименты выполнялись на датасете EuroSAT. Показано, что вариационно-сверточная архитектура обеспечивает более высокие показатели качества реконструкции и значительно больший коэффициент сжатия, что делает ее перспективной для применения в космических системах.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, сжатие изображений, глубокое обучение, сверточные автоэнкодеры, вариационные автоэнкодеры.

ПРОБЛЕМА ИНТЕРПРЕТИРУЕМОСТИ ПРИЗНАКОВ В МОДЕЛЯХ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ

А.А. Стеценко

*Санкт-Петербургский морской технический университет, Санкт-Петербург,
Россия*

E-mail: stsashacool@gmail.com

Современные модели глубокого обучения демонстрируют выдающуюся точность в классификации специфических паттернов поведения млекопитающих, таких как вокализации и двигательная активность, но при этом внутреннее устройство таких сетей затрудняет интерпретацию ключевых признаков, необходимых для биологических исследований и мониторинга. В нашей статье мы анализируем методы eXplainable AI (XAI), такие как локальные аппроксимации Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME) и SHapley Additive exPlanations (SHAP), так и градиентные методы Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) и Deep Learning Important FeaTures (DeepLIFT). Мы рассматриваем применение к оценке позиционирования мышей и пения птиц, выявляя биологически релевантные элементы.

Ключевые слова: XAI, SHAP, Grad-CAM, DeepLIFT, CNN, SLEAP.

АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ БЕСПИЛОТНИКА

Сунь Чжэнь

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: aairst@gmail.com

В данном исследовании предлагается аналитическая структура, объединяющая преимущества нескольких алгоритмов для динамического мониторинга и прогнозного анализа изменений изображений растительности в сложных условиях местности. Сочетая преимущества предварительной обработки, фильтрующей шумы и обнаружения целей YOLOv8 при извлечении локальных признаков изображения, дополнительно используется алгоритм случайного леса для точной классификации макроскопических пространственных участков. Для прогнозирования эволюции временных рядов используется сеть долговременной кратковременной памяти (FA-LSTM), оптимизированная с помощью алгоритма светлячков.

Ключевые слова: Мониторинг динамики растительности, данные дистанционного зондирования, YOLOv8, случайный лес, FA-LSTM, геопрограммный детектор.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТОМ НА БАЗЕ ФИЗИЧЕСКИ ИНФОРМИРОВАННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Д. А. Сьянов

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
syanov@bsu.by

Рассматривается метод компьютерного моделирования и оптимального управления многоэтапным редакционным документооборотом в системе Open Journal Systems. Динамика редакционных процессов описывается стохастической сетью Петри с автоматической идентификацией параметров по историческим данным. Её диффузионный предел приводит к эргодической краевой задаче Гамильтона–Якоби–Беллмана, для которой реализовано численное решение на основе физически-информированных нейронных сетей.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, стохастические сети Петри, диффузионное приближение, уравнение Гамильтона–Якоби–Беллмана, Physics-Informed Neural Networks, документооборот.

Секция «Биоинформатика»

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ И РАНЖИРОВАНИЕ ГЕН-КЛИНИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ ПРИ ПАТОЗООСПЕРМИИ

Е. А. Белько, О. В. Недзьведь

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: l.belko@igc.by

Представлен воспроизводимый конвейер анализа публикаций PubMed для извлечения и ранжирования ассоциаций «ген-клиническое состояние», релевантных формам патозооспермии. Упоминания генов и состояний извлекались методами распознавания сущностей и дополнительного шаблонного восстановления с оценкой контекстной специфичности. Итоговый каталог обеспечивает трассируемость до исходных источников и позволяет формировать приоритетные списки генов-кандидатов.

Ключевые слова: Распознавание именованных сущностей; NER-подход; ранжирование ассоциаций; оценка контекстной специфичности.

АНАЛИЗ ОДНОНУКЛЕОТИДНЫХ ВАРИАЦИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА АКТИВНОСТЬ САЙТОВ СПЛАЙСИНГА В КЛЕТКАХ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ПО ТРАНСЛОКАЦИИ Т(8;21) ОСТРОГО МИЕЛОИДНОГО ЛЕЙКОЗА ЧЕЛОВЕКА

Л.С. Воронюк¹, И.В. Пахомова², А.С. Романова², В.Д. Белобокова²,
М.В. Белевцев², В.В. Гринев¹

¹*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

²*ГУ «Республиканский научно-практический центр детской онкологии, гематологии и иммунологии», д. Боровляны, Минский р-н, Беларусь*

E-mail: bio.voronyuk@bsu.by, grinev_vv@bsu.by

Работа нацелена на выявление и характеристику однонуклеотидных вариаций в сайтах сплайсинга диагностической/прогностической панели генов острого миелоидного лейкоза, положительного по транслокации t(8;21). Обработка первичных данных таргетного NGS проводилась с помощью функций оригинального R-пакета huGSVcalleR. Влияние генетических вариантов на силу сайтов сплайсинга оценивалось с помощью энтропийных моделей MaxEnt. Приоритизация кандидатов включала визуальную проверку и перекрестную проверку с помощью *in silico* предикторов. Всего в 14-и образцах лейкозных клеток пациентов было обнаружено 223 однонуклеотидных варианта, принадлежащих сайтам сплайсинга. Из них 4 варианта значительно меняли состояние соответствующих сайтов сплайсинга.

Ключевые слова: острый миелоидный лейкоз, таргетное секвенирование, генетический полиморфизм, сайты сплайсинга, интеллектуальный анализ данных.

МАЛЫЕ ОТКРЫТЫЕ РАМКИ СЧИТЫВАНИЯ КАК ИСТОЧНИК НЕКАНОНИЧЕСКИХ БЕЛКОВ, ЭКСПРЕССИРУЕМЫХ В ЛЕЙКОЗНЫХ КЛЕТКАХ ЧЕЛОВЕКА

Е.В. Гузова, А.В. Состровчук, Т.В. Романовская, В.В. Гринев

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: k.guzowwa0099@gmail.com, grinev_vv@bsu.by

В настоящей работе описан биоинформатический анализ данных секвенирования транскриптома клеток Kasumi-1, а также результатов масс-спектрометрического анализа общего белка указанных клеток, нацеленный на идентификацию неканонических белков, кодируемых малыми открытыми рамками считывания. Детектирована экспрессия 4849 полипептидов – продуктов *in silico* трансляции таких рамок считывания. По результатам анализа создан каталог из 53 неизвестных либо плохо аннотированных на сегодняшний день белков человека.

Ключевые слова: лейкозные клетки, транскриптом, протеом, малые открытые рамки считывания.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНСКРИПТОМ МОЛЕКУЛ РНК С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

М.Д. Гуцева

БГУ, Минск, Беларусь

E-mail: marinagutseva@gmail.com

В статье рассматривается решение задачи классификации транскриптов РНК на кодирующие и не кодирующие. Приведены результаты сравнительного анализа различных подходов к векторизации 3-мер частоты, Word2vec, pwm2vec, crf и алгоритмов классификации логистической регрессии, случайного леса, градиентного бустинга, многослойного перцептрона. В результате получилось определить подход, работающий на 3,88% точнее, чем имеющиеся подходы, а также проведены более глубокие исследования на устойчивость модели.

РАЗРАБОТКА БИОИНФОРМАТИЧЕСКОГО КОНВЕЙЕРА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДЕТЕКЦИИ И АННОТАЦИИ СОБЫТИЙ ТРАНС-СПЛАЙСИНГА В ТРАНСКРИПТОМЕ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА

М.А. Демидюк, В.В. Гринев

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: bio.demidyuk@bsu.by, grinev_vv@bsu.by

Разработан биоинформатический конвейер на языке программирования R для идентификации, многоуровневой фильтрации и аннотации событий транс-сплайсинга на основе данных транскриптомного секвенирования RNA-Seq. Конвейер имеет модульную архитектуру и включает как стандартные модули оценки качества первичных данных, картирования, поиска кандидатов на транс-сплайсинг, так и специализированные модули по разрешению неоднозначности

картирования, устранения технических и биологических артефактов, а также геномной аннотации идентифицированных событий сплайсинга. Работоспособность конвейера подтверждена в ходе сравнительного транскриптомного анализа нормальных незрелых гемопоэтических клеток и клеточной острой миелоидной лейкемии человека.

Ключевые слова: RNA-Seq, химерные транскрипты, транс-сплайсинг, биоинформатический конвейер, клетки человека.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИСКРЕТНЫХ И НЕПРЕРЫВНЫХ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЛЕКУЛ

А.С. Довгий

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: fpm.dovgiy@bsu.by

Проведён сравнительный анализ дискретных и непрерывных графовых нейронных сетей в задаче бинарной классификации молекулярных графов на датасете ogbg-molhiv из коллекции Open Graph Benchmark, содержащем 41127 молекул с задачей предсказания анти-ВИЧ активности. Рассмотрены три архитектуры: GCN, GRAND и CDE-GRAND. Показано, что CDE-GRAND превосходит как дискретный GCN, так и чисто диффузионную модель GRAND. Конвекционный член, обеспечивающий направленный перенос информации между атомами, оказывается ключевым фактором, позволяющим непрерывной модели на основе уравнения конвекции-диффузии превзойти дискретную архитектуру на молекулярных данных.

Ключевые слова: графовые нейронные сети, уравнение конвекции-диффузии, молекулярные графы, классификация графов, сравнительный анализ.

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭСТЕРАЗ E4/FE4 ТЛИ *BREVICORYNE BRASSICAE* НА ОСНОВЕ КОНСЕНСУСНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

А.В. Дубина-Красковская, С.С. Левыкина

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: dubinahannav@gmail.com

Капустная тля, один из ключевых вредителей крестоцветных, характеризуется формированием устойчивости к инсектицидам благодаря системе детоксикации, в которую входят эстеразы. В данной работе проводится структурное моделирование на основе консенсусной последовательности эстераз E4/FE4 *B. brassicae* с использованием AlphaFold 3. Получена модель с высокой достоверностью (pTM = 0,91), которая демонстрирует характерную для эстераз E4/FE4 α/β -гидролазную укладку.

Ключевые слова: *Brevicoryne brassicae*, эстеразы, AlphaFold 3, структурное моделирование, резистентность к инсектицидам.

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДОКИНГ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСКРИПЦИОННОГО ФАКТОРА SLyA С ПРОМОТОРАМИ ГЕНОВ ПЕКТИНАЗ У PECTOBACTERIUM SPP.

Н. С. Зенченко, М. А. Шарангович

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: 6261064@gmail.com

Транскрипционный фактор SlyA – один из ключевых регуляторов вирулентности фитопатогенных бактерий рода *Pectobacterium*. Методом молекулярного докинга смоделированы комплексы SlyA с промоторами генов пектиназ *pelA* и *pelC* трёх штаммов. Показана высокая консервативность механизма узнавания ДНК (остатки Arg65, Arg86, Lys88, Gln49, Thr32). Выявлены штамм-специфические особенности (Glu59, Ile50). Анализ сдвига электрофоретической подвижности (EMSA) позволил выявить специфичное взаимодействие SlyA с регуляторной ДНК гена *pelC*. Данные могут быть использованы для поиска ингибиторов взаимодействия.

Ключевые слова: молекулярный докинг, SlyA, пектиназы, *Pectobacterium*, HDOCK, белок-ДНК.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ МОРФОЛОГИИ КЛЕТОК МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA VULGARIS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

И.Д. Климович, О.В. Недзьведь

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: posket.klimovich@gmail.com

В работе представлена разработка и применение сверточной нейронной сети на базе архитектуры ResNet-18 для автоматизированного феномного анализа (количественного определения морфологических и цветовых характеристик) клеток микроводоросли *Chlorella vulgaris*. Модель позволяет одновременно сегментировать клетки и оценивать их феномные параметры. Сеть была применена для анализа влияния различных источников железа и его депривации на культуру *C. vulgaris*. Результаты продемонстрировали высокую эффективность модели, позволив выявить статистически достоверные различия в количестве клеток и их площади между экспериментальными группами.

Ключевые слова: глубокое обучение, сверточная нейронная сеть, ResNet-18, феномный анализ, *Chlorella vulgaris*.

ПРЕДСКАЗАНИЕ ОПЕРАТОРНЫХ МОТИВОВ БАКТЕРИЙ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Е.С. Колос, Е.А. Николайчик, В.В. Скакун

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: ekaterinakolos11@gmail.com

В данной работе предложен вариант нейросетевой модели для предсказания сайтов связывания прокариотических транскрипционных факторов (операторов) по аминокислотной последовательности и критичным остаткам. Реализована архитектура трансформера с предобученным энкодером ESM2, мостом, предиктором длины оператора и неавторегрессионным декодером для предсказания позиционно-весовой матрицы (PWM) модели оператора. Полученные результаты показывают, что текущий подход способен корректно реконструировать PWM операторных мотивов как минимум для половины транскрипционных факторов.

Ключевые слова: регуляторные мотивы, трансформер, КО-тег.

ДЕТЕКЦИЯ ЦИС-СПЛАЙСИНГА МЕЖДУ СОСЕДНИМИ ГЕНАМИ В ЛЕЙКОЗНЫХ И НОРМАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

**А.П. Кривошеева¹, М.А. Лиховец¹, Shuo Zhou², Hanxi Zhao²,
Yixun Yu², Hsiang-Ying Lee², В. В. Гринев¹**

¹*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

²*Школа естественных наук, Пекинский университет, Пекин, Китай*

E-mail: bio.krivosheAP@bsu.by, grinev_vv@bsu.by

Разработан биоинформатический конвейер для идентификации химерных РНК, образующихся в результате цис-сплайсинга между соседними генами в лейкозных и нормальных клетках крови человека. Конвейер включает обнаружение потенциальных химер на основе данных RNA-Seq и оценку дифференциальной экспрессии cis-SAGe РНК с использованием оригинальной R-функции. Конвейер был протестирован на наборе данных RNA-Seq, включающем образцы t(8;21)-позитивных лейкозных клеток с различным уровнем экспрессии гибридного онкогена RUNX1::RUNX1T1, а также образцы нормальных гемопоэтических стволовых клеток крови на разных стадиях развития. Обсуждаются преимущества, недостатки и дальнейшие перспективы разработанного конвейера.

Ключевые слова: клетки крови, RNA-Seq, цис-сплайсинг между соседними генами, биоинформатический конвейер, дифференциальная экспрессия.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СКОРОСТИ ЭВОЛЮЦИИ В БЕЛОККОДИРУЮЩИХ ГЕНАХ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОМОВ ТЛЕЙ И БЕЛОКРЫЛОК

А.А. Швед, Е.А. Спасюк, С.С. Левыкина

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: shwed.alina@gmail.com

В данной работе представлены результаты сравнительного анализа скорости эволюции в митохондриальных геномах тлей и белокрылок на основе соотношения несинонимичных нуклеотидных замен к синонимичным.

Ключевые слова: митохондриальный геном, скорость эволюции, тли, белокрылки.

PROTEIN POSTMODERN STUDIO: ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОСТТРАНСЛЯЦИОННЫХ МОДИФИКАЦИЙ БЕЛКОВ

О.Е. Мискевич, В.В. Хрусталёв

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Email: olga@arusnavi.ru

Посттрансляционные модификации – это важный механизм регуляции структуры и функций белков, они влияют на активность, локализацию и межмолекулярные взаимодействия. В работе представлено программное средство Protein Studio для моделирования фосфорилирования, ацетилирования и S-ацелирования белковых структур. Программное средство моделирует геометрию модификаций без использования эталонных шаблонов, выполняет анализ атомных столкновений, геометрическую валидацию и экспорт структур для дальнейшего вычислительного анализа.

Ключевые слова: посттрансляционные модификации, молекулярное моделирование, фосфорилирование, ацетилирование, S-ацелирование.

ПОЛНОГЕНОМНЫЙ АНАЛИЗ РЕГУЛЯТОРНЫХ СИГНАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ФИТОПАТОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ

Е.А. Николайчик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: nikolaichik@bsu.by

Депонированные в базах данных последовательности геномов за редким исключением не имеют аннотации регуляторных сигналов и, соответственно, не содержат информации об условиях активации/инактивации экспрессии генов, что осложняет практическое использование геномных данных. В настоящей работе выполнена попытка максимально полной аннотации регуляторных сигналов (промоторов, операторов и терминаторов) в двух геномах фитопатогенных бактерий. Идентифицированные с помощью наших программных разработок регуляторные сигналы определяют контроль экспрессии до 70% генов, присутствующих в проанализированных геномах. Будут обсуждены пути дальнейшего повышения эффективности идентификации регуляторных сигналов и применимость методов исследований регулонов *in silico* для решения биологических проблем.

Ключевые слова: регулом, промотор, оператор, терминатор, BacRegDB, SigmaID

РЕКОНСТРУКЦИЯ НУКЛЕОТИДНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЛЕНТИВИРУСНОГО ВЕКТОРА PHR-SINCRPT-SIEW НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАНОПОРОВОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ

Я.А. Новикова, Т.В. Романовская, И.Н. Ильюшёнков, В.В. Гринев

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: bio.novikovaYA@bsu.by

Выполнена реконструкция нуклеотидной последовательности лентивирусного вектора pHRSINcPPT-SIEW на основе данных высокопроизводительного секвенирования Oxford Nanopore. Сформирован вычислительный конвейер, включающий предварительный контроль качества и фильтрацию ридов с использованием NanoPlot и NanoFilt, этап *de novo* сборки с Minimap2 и Miniasm, а также полировку последовательности с помощью Raco. В ходе работы проведена оптимизация набора ридов по длине и качеству, что позволило снизить долю фоновых последовательностей и исключить артефакты сборки. Анализ реконструированной последовательности показал наличие всех ранее известных маркерных элементов; их порядок в составе плазмиды соответствует порядку, представленному на карте вектора. Длина собранной последовательности составила 10264 п.н., что близко к известному размеру вектора и свидетельствует об эффективности примененных методов и высокой точности обработки длинных ридов.

Ключевые слова: высокопроизводительное секвенирование, сборка *de novo*, Oxford Nanopore, лентивирусный вектор.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЛИГАНДОВ ТРАНСКРИПЦИОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ GALR И CBL PECTOBACTERIUM VERSATILE

А.В. Осипенко, М.А. Шарангович

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: bio.osipenkoAV@bsu.by

Разработан алгоритм для поиска эффекторов транскрипционных регуляторов GalR и Cbl *Pectobacterium versatile* среди метаболитов полигалактуроновой кислоты. Конвейер включает моделирование ДНК-белковых комплексов, подготовку протомеров лигандов, молекулярный докинг и анализ контактов белок-лиганд с расчётом индекса Жаккара устойчивости сайта. Для GalR и Cbl введена метрика идентичности кармана относительно D-галактозы и аденозин-5'-фосфосульфата соответственно. Показано, что ряд уронат-содержащих метаболитов ПГК воспроизводимо занимает D-галактозный карман GalR. Для Cbl выделена группа кандидатов со стабильным сайтом в ДНК-связанном состоянии, занимающие потенциальный альтернативный карман.

Ключевые слова: молекулярный докинг, транскрипционный фактор, PLIP, индекс Жаккара, *Pectobacterium versatile*.

СЕГМЕНТАЦИЯ ЗОН ФОВЕА И ФОВЕОЛЫ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ СЕТЧАТКИ ПРИ ВОЗРАСТНОЙ МАКУЛЯРНОЙ ДЕГЕНЕРАЦИИ

В. А. Пинчук¹⁾, С. В. Кезик^{1, 2)}, О. В. Недзьведь¹⁾

¹⁾ *Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

²⁾ *ЛИКТ НИИ ЭиКМ БГМУ, Минск, Беларусь*

E-mail: {bio.PinchukVA, bio.Kezik}@bsu.by

Предложен эффективный метод сегментации зон фовеа и фовеолы на основе 5 ключевых точек на В-сканах оптической когерентной томографии сетчатки. Пайплайн метода объединяет сегментационную модель для выделения профиля сетчатки и регрессор координат ключевых точек.

Продemonстрирована высокая точность детекции ключевых точек в условиях нормальной и патологически изменённой при возрастной макулярной дегенерации анатомии.

Ключевые слова: возрастная макулярная дегенерация, оптическая когерентная томография, детекция ключевых точек, глубокое обучение.

ОЦЕНКА СОЛЕВОГО СТРЕССА В РАСТЕНИЯХ *TRITICUM AESTIVUM* L. МЕТОДАМИ ЦИФРОВОГО ФЕНОТИПИРОВАНИЯ

А.С. Савич, Т.О. Кошиц, П.О. Прохорчик, Н.Л. Пшибытко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,

E-mail: an.sav1298@gmail.com

В работе исследована возможность классификации двух линий пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и вариантов обработки (контроль/солевой стресс) на основе многомерных временных рядов, полученных с помощью платформы фенотипирования Phenospex TraitFinder. Проведен анализ динамики признаков, выявлены статистически значимые различия в траекториях спектральных индексов NDVI и PSRI между генотипами. Для классификации использованы основные алгоритмы машинного обучения. Наивысшая точность (89%) достигнута с помощью метода дерева решений на полном наборе временных рядов. Результаты демонстрируют информативность цифровых фенотипических временных рядов для классификации генотипов и условий стресса.

Ключевые слова: высокопроизводительное фенотипирование, машинное обучение, классификация.

ПРОГРАММНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА И АННОТАЦИИ САЙТОВ ОДНОНУКЛЕОТИДНОГО ПОЛИМОРФИЗМА В ГЕНОМЕ ЧЕЛОВЕКА

**Д. Д. Сарнацкий, И. Н. Ильющенок, Н. А. Боева, Л. С. Воронюк,
Н. Н. Яцков, В. В. Скакун, В. В. Гринев**

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: yatskou@bsu.by

Разработано программное приложение для автоматического поиска и аннотации сайтов однонуклеотидного полиморфизма в геноме нормальных и раковых клеток человека. Приложение объединяет под единой программной оболочкой этапы анализа данных геномного секвенирования, в том числе включает новейшую и наиболее точную из существующих методологию интеллектуального исследования однонуклеотидных полиморфизмов в молекулах ДНК человека с использованием метода генеративного имитационного моделирования. Работоспособность приложения подтверждена в ходе анализа смоделированных данных и экспериментальных данных секвенирования генома человека.

Ключевые слова: геномное секвенирование, анализ больших данных, генетический полиморфизм, программное приложение, интеллектуальный анализ данных.

ВЛИЯНИЕ РЕФЕРЕНСНЫХ БАЗ ДАННЫХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРРЕКЦИИ С УЧЁТОМ ЧИСЛА КОПИЙ ГЕНА 16S рРНК В МЕТАТАКСОНОМИКЕ

М.А. Сиколенко, Л.Н. Валентович

Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

E-mail: sikolenko@mbio.bas-net.by

Эффективность корректировки оценок таксономического состава сообществ микроорганизмов с учётом числа копий генов 16S рРНК повышается при замене баз данных по умолчанию соответствующих программ на наиболее репрезентативные базы данных последовательностей генов 16S рРНК: RiboGrove и *rrnDB*. Было показано, что устранение дисбаланса в обучающей выборке (низкой представленности в ней геномов с высоким числом копий генов 16S рРНК) снижает величину ошибок, допускаемых программой ANNA16 при предсказании числа копий генов для таких геномов.

Ключевые слова: метатаксономика, гены 16S рРНК, число копий генов.

РЕАЛИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО ЛИГАНДАМ ТРАНСКРИПЦИОННЫХ ФАКТОРОВ В ИНФОРМАЦИОННО- АНАЛИТИЧЕСКОМ ПОРТАЛЕ BACREGDB

В.В. Скакун, А.В. Дигрис, Е.А. Николайчик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,

E-mail: skakun@bsu.by

Быстрый и удобный доступ к информации по низкомолекулярным лигандам, переключающих активность транскрипционного фактора: индукторах, корепрессорах и коактиваторах, востребован во многих приложениях биоинформатики и биотехнологий. В данной работе описана реализация хранения и обработки данных по лигандам транскрипционных факторов в крупнейшей в мире базе данных экспериментально подтвержденных моделей сайтов связывания транскрипционных факторов BackRegDB.

Ключевые слова: BackRegDB, регуляция транскрипции, транскрипционные факторы, лиганды, Sigmoid, базы данных.

ПРИМЕНЕНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ СТРУКТУР БЕЛКА

М. А. Токарев, А. А. Халин

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», Курск, Российская Федерация

E-mail: maxim.tokaref@gmail.com, khalin_andrey@rambler.ru

В работе проводится обсуждение применения белковых языковых моделей (protein language models, pLM) для предсказания структуры белков. Описаны концептуальные основы подхода,

архитектура Трансформера и принцип самообучения на аминокислотных последовательностях. Проведён сравнительный анализ rLM и метода AlphaFold, рассмотрены задачи предсказания вторичной структуры, функциональной аннотации и предсказания эффектов мутаций. Обсуждаются текущие ограничения и перспективы интеграции структурных знаний в языковые модели.

Ключевые слова: белковые языковые модели, предсказание структуры белка, глубокое обучение, AlphaFold, Трансформер, биоинформатика.

ДИХОТОМИЯ ПРОТЕОМНОГО СХОДСТВА КАК ФАКТОР ИММУНОГЕННОСТИ ВИРУСНЫХ ЭПИТОПОВ И ОПУХОЛЕВЫХ НЕОАНТИГЕНОВ

И.С. Трусов, В.В. Гринев

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: ivan.trusau@yandex.by

В исследовании представлен биоинформатический подход, основанный на использовании векторного поиска для количественной оценки сходства коротких пептидов с целыми протеомами. Целью работы является использование данного метода для повышения предсказательной способности моделей, оценивающих вероятность иммунного ответа. Использование косинусного расстояния в качестве метрики позволило выявить новые паттерны узнавания эпитопов, что имеет значение для фундаментальной иммунологии. Внедрение данного метода способно существенно ускорить процесс разработки индивидуальных протоколов иммунотерапии.

Ключевые слова: Python, прогнозирование иммуногенности, иммунотерапия.

ВЫЯВЛЕНИЕ ВОДНОГО СТРЕССА ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Е.А. Шапыр, Н.В. Овчаренко, П.О. Прохорчик, Т.О. Кощиц, Н.Л. Пшибытко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: eshapyr@gmail.com

Гиперспектральная визуализация является перспективным инструментом для неинвазивного мониторинга растений, тем не менее, остаётся открытым вопрос о её эффективности в сравнении с вегетационными индексами при обнаружении водного стресса. В данной работе проведен сравнительный анализ модификаций гиперспектральных снимков *Triticum aestivum* при осмотическом стрессе с изменением вегетационных индексов (NDVI, NDWI, MSI) с использованием методов машинного обучения. Применение моделей SVM и Random Forest дало возможность выделить наиболее информативные спектральные диапазоны, оценить способность гиперспектральных признаков детектировать наличие стресса и описывать изменение водного статуса.

Ключевые слова: гиперспектральная визуализация, водный стресс, машинное обучение, SVM, Random Forest, спектральные индексы.

АНАЛИЗ СОМАТИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ОСТРЫМ МИЕЛОИДНЫМ ЛЕЙКОЗОМ, И ЕГО ВОЗМОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕРАПИИ

Ю.Н. Шибут, Е.С. Покрова

*Клинико-диагностическая лаборатория молекулярной биологии и медицинской
генетики ГУ «Минский НПЦ хирургии, трансплантологии и гематологии»
E-mail: www.julia.shibut@bk.ru*

Острый миелоидный лейкоз – злокачественное клональное заболевание гетерогенной природы, в 96% случаев вызванное соматическими мутациями в миелоидных клетках-предшественниках в костном мозге. В этой статье мы провели статистический анализ данных секвенирования нового поколения (NGS) соматических вариантов у 42 пациентов обоих полов возрастом от 21 до 66 лет и проанализировали терапевтическое значение 6 самых часто встречаемых генов на основании литературных источников.

Ключевые слова: острый миелоидный лейкоз (ОМЛ), NGS, соматические варианты, терапия.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРАЦИИ ОДНОНУКЛЕОТИДНЫХ ВАРИАНТОВ В ДАННЫХ RNA-SEQ

В.Г. Яковлева, И.Н. Ильюшёнков, В.В. Гринев

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: valeria.yakovleva2004@gmail.com*

В работе проведён сравнительный анализ стратегий фильтрации однонуклеотидных вариантов, обнаруженных по данным RNA-Seq, с использованием параметров DP, QUAL, QD и VAF. Подбор пороговых значений осуществлялся на основе анализа распределений показателей качества и данных литературы. Показано, что выбор критериев фильтрации существенно влияет на итоговый набор обнаруженных вариантов. Наиболее строгие результаты достигаются при использовании комбинированного подхода, включающего все параметры фильтрации. Полученные данные подтверждают, что применение универсальных подходов к фильтрации однонуклеотидных вариантов, обнаруженных по данным RNA-Seq, требует осторожности, а при выборе пороговых значений должна учитываться структура транскриптомных данных.

Ключевые слова: однонуклеотидные варианты, RNA-Seq, фильтрация, параметры качества.

Секция «Компьютерное моделирование процессов и систем»

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ФОТОПРОВОДИМОСТИ СУБМИКРОННОГО КНИ-МОП-ТРАНЗИСТОРА

А.В. Борздов, В.М. Борздов

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: borzdov@bsu.by*

С помощью численного моделирования многочастичным методом Монте-Карло рассчитаны выходные вольтамперные характеристики субмикронного КНИ-МОП-транзистора с длиной канала 0,25 мкм. Исследована фотопроводимость транзистора при воздействии излучения видимого спектрального диапазона с длиной волны 650 нм.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, КНИ-МОП-транзистор, фотопроводимость.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОПЛЕРОВСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА БАЗЕ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВ

Гао Жуньчэнь, А.А. Спиридонов, Цуй Фуцян

*Belarusian State University, Minsk, Belarus
E-mail: rct.gaoZH@bsu.by, spirid@bsu.by, rct.cuy@bsu.by*

В данной статье исследуется отказоустойчивая автономная система позиционирования, навигации и синхронизации объектов с использованием низкоорбитальных спутников и доплеровского метода навигации. Рассмотрены модели нулевых разностей (Zero-Difference -ZD) и межспутниковых разностей (Between-Satellite-Difference -BSD) измерений для оценки влияния орбитальных погрешностей и атмосферных задержек с помощью высокоточных симуляций. Результаты показывают, что BSD модель улучшает стабильность матрицы Якоби и снижает геометрический фактор ухудшения точности доплеровских измерений (Doppler Dilution of Precision – DDOP) на 12,3% за счет устранения дрейфа часов приемника. Кроме того, определен порог сходимости 300 км для начальных ошибок положения. Это исследование обеспечивает теоретическую основу для будущего проектирования и инициализации навигационных сигналов LEO.

Ключевые слова: Созвездие LEO, доплеровское позиционирование, DDOP, межспутниковые разности измерений, анализ сходимости.

ПРМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ МОЛЕКУЛ РНК

М.Д. Гуцева

*БГУ, Минск, Беларусь
E-mail: marinagutseva@gmail.com*

В статье рассматривается решение задачи устранения дисбалансов классов с применением генеративно-состязательных сетей. Для оценки качества такой генерации проводилось сравнение различных классификаторов, обученных только на реальных данных, и классификаторов, обучающие выборки для которых дополнялись синтетическими последовательностями. В качестве данных использовались кодирующие и не кодирующие РНК. Эксперимент показал, что GAN-аугментация позволяет повысить точность определения миноритарного класса в условиях большого количества признаков и малой их информативности.

Ключевые слова: дисбаланс классов, генеративно-состязательная сеть, машинное обучение, РНК.

МОДЕЛЬ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЗАЩИЩЁННОЙ ФАЙЛОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

А.С. Курочкин, С.Д. Рундыгин

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: kurockinanton63@gmail.com

Во встраиваемых системах задача хранения данных осложняется ограниченностью вычислительных ресурсов, разнообразием аппаратных платформ и необходимостью обеспечения конфиденциальности и целостности информации. Существующие файловые системы, как правило, ориентированы либо на конкретный тип носителя, либо не содержат встроенных механизмов криптографической защиты. В данной работе предлагается модель универсальной защищённой файловой системы, предназначенной для использования на различных микроконтроллерах и типах энергонезависимой памяти.

Ключевые слова: встраиваемые системы, файловые системы, защита данных

ВЫСОКОИМПЕДАНСНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕТОК ИЗ ПРОВОДЯЩИХ ВОЛОКОН

С.В. Малый

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: maly@bsu.by

Предложена и численно исследована модель высокоимпедансной поверхности на основе периодической решетки из проводящих волокон в плоском диэлектрическом слое. Модель базируется на методе минимальных автономных блоков и алгоритме рекурсивной рекомпозиции. Рассмотрена возможность практической реализации предложенной модели.

Ключевые слова: высокоимпедансная поверхность, электромагнитная волна, метод минимальных автономных блоков, алгоритм рекурсивной рекомпозиции, пористая керамика.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ ПО СТБ 34.101.31-2020 НА СИМУЛЯТОРЕ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА QISKIT С ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КО ВЗЛОМУ

В.А. Матюк, П.И. Гайдук

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: vladmatiouk@gmail.com

С использованием симулятора квантового компьютера Qiskit реализован алгоритм блочного шифрования по стандарту СТБ 34.101.31-2020. Построена обратимая квантовая схема шифрования, с помощью которой проведена оценка глубины квантовой схемы ($C \sim 5900$) и ресурсов, необходимых для квантового криптоанализа алгоритмом Гровера. Был проведен сравнительный анализ полученной оценки с возможностями современных квантовых компьютеров.

Ключевые слова: квантовая реализация, СТБ 34.101.31-2020, Qiskit, алгоритм Гровера.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОНВЕЙЕР СИМУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА SPH

М.С. Минин

*ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Санкт-Петербург, Россия*

E-mail: wasp-33@mail.ru

Данная работа описывает конвейер симуляции жидкости методом гидродинамики сглаженных частиц в Unity и рассматривает, как выбор способа визуализации дискретного набора частиц влияет на производительность симуляции. Представлены три режима отображения в виде сфер, квадров и реконструкции поверхности жидкости. Показано влияние на производительность. Описан внешний контур постобработки результатов моделирования, в частности, показан результат рендера жидкости, а также анализ параметров симуляции.

Ключевые слова: гидродинамика сглаженных частиц, производительность, визуализация жидкости, постобработка параметров гидродинамики, конвейер SPH-симуляции.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПОЛОС ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Л.В. Лобанок, А.В. Король, М.Д. Павлова

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: smalanjs@gmail.com

Рассмотрена упрощенная аналитическая модель ослабления воздушного потока внутри придорожной лесополосы при предварительной оценке защиты транспортных магистралей. Получено экспоненциальное выражение для скорости ветра в зависимости от пройденного пути, введены сезонная зависимость коэффициента ослабления и параметр типа насаждений. Показано, что модель позволяет оценивать эффективность снижения скорости ветра и требуемую ширину

защитной полосы при заданном уровне ослабления. Разработана программа на языке C++ для расчета параметров ветрозащиты и визуализации изменения скорости ветра.

Ключевые слова: лесополосы, защита дорог, скорость ветра, математическое моделирование, снегозадержание, безопасность дорожного движения.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ТРЕНАЖЁРНОЙ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ БВС НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ

М.Ю. Серебряков

*Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: dop3fun@gmail.com*

Предложен подход к адаптивной тренажёрной подготовке операторов беспилотных воздушных судов, основанный на формализации процесса обучения в виде регрессионной модели навыков. Система состоит из двух уровней: нижний – симулятор полёта с четырьмя нормированными метриками навыков; верхний – адаптивный модуль, который по текущим оценкам и модели подбирает следующий сценарий тренировки.

Ключевые слова: БВС, адаптивное обучение, модель навыков, метрики компетенций, тренажёр.

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ФОТООТСЧЕТОВ ВО ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ФЛУКТУАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.В. Скакун, В.В. Апанасович

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь;
E-mail: skakun@bsu.by*

Методы флуоресцентной флукуационной спектроскопии позволяют проводить исследования динамики, взаимодействия и структурных изменений молекулярных систем как *in-vitro*, так *in-vivo* путем анализа распределения числа фотоотсчетов, зарегистрированных в течение интервала регистрации. Распределение числа фотоотсчетов в данных методах основано либо на выполнении последовательных сверток, либо на расчете производящей функции с последующим преобразованием в действительную область с помощью преобразования Фурье, что не является вычислительно эффективным. В данной работе на основе применения теории производящих функционалов предложен прямой и явный способ расчета распределения числа фотоотсчетов. Корректность выкладок подтверждена на основе сравнения с известными методами.

Ключевые слова: флуоресцентная флукуационная спектроскопия, поток фотоотсчетов, производящий функционал, распределение числа фотоотсчетов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ НАНООБОЛОЧЕК Ag И Au С СЕРДЦЕВИНОЙ ИЗ КРЕМНЕЗЕМА В БИОТКАНЯХ

Трусевич Л.А., Кугейко М.М.

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
kugeiko@bsu.by, TrusevichLA@bsu.by

С использованием компьютерного моделирования проведено исследование спектральных свойств плазмонного резонанса наноболочек серебра и золота с сердцевинкой из кремнезема для биообъектов (кожа, надпочечники, молочная железа). Показано, что наиболее эффективно использовать в тераностике в качестве контрастных агентов для методов оптической визуализации и терапии патологических очагов наноболочки золота с толщиной оболочки $h = 10$ нм (с резонансной длиной волны от 758 до 764 нм), или наноболочки серебра при $h = 5$ нм (с резонансной длиной волны от 845 до 855 нм).

Ключевые слова: наноболочки серебра и золота с сердцевинкой из кремнезема; спектральные свойства, моно-и полидисперсные наноболочки; биообъекты (кожа, надпочечники, молочная железа), тераностика.

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ВЫЖИВАЕМОСТИ ОНКОПАЦИЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В.Н. Яцков, Н.Н. Яцков

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: yatskou@bsu.by

Разработано веб-приложение для предсказания выживаемости онкопациентов с использованием эффективных методов имитационного моделирования, с учетом кластерной структуры данных, соответствующей стадиям онкозаболеваний, и машинного обучения, на основе бустинга регрессии Кокса, блочного леса и случайного леса выживаемости. Проверка работоспособности веб-приложения выполнена на примере анализа набора данных геномного секвенирования при исследовании рака груди.

Ключевые слова: предсказание выживаемости, веб-приложение, имитационное моделирование, машинное обучение, блочный лес.

АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ БИОФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В.Н. Яцков, Н.Н. Яцков, А.Л. Бурнович, В.В. Апанасович

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: yatskou@bsu.by

Разработана методика анализа больших данных с использованием инструментов искусственного интеллекта для исследования биофизических систем. Инструменты искусственного интел-

лекта используются для воспроизведения всевозможных адекватных сценариев поведения исследуемых систем, автоматического выбора имитационных моделей биофизических объектов исследования и оценки их параметров. Применение технологий искусственного интеллекта позволяет автоматизировать и упростить интеллектуальный анализ данных биофизических систем.

Ключевые слова: анализ больших данных, биофизическая система, искусственный интеллект, имитационная модель, интеллектуальный анализ данных.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.Н. Яцков, В.В. Апанасович

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: yatskou@bsu.by

Рассмотрен комплексный анализ больших данных флуоресцентной спектроскопии с использованием нейросетевого имитационного моделирования при исследовании сложных биомолекулярных систем. Нейросетевые подходы формально можно разделить на традиционные (аппроксимационные), физические (учитывающие физические основы законов описания процессов и систем) и генеративные (генерирующие наборы «реальных» данных по заданным, экспериментально-оцененным или смоделированным распределениям). Наиболее перспективные результаты получены для нейросетевого моделирования с использованием традиционных нейронных сетей, обученных на смоделированных данных. Нейросетевое имитационное моделирование расширяет возможности применения комплексного анализа, является быстрым и относительно точным способ моделирования.

Ключевые слова: флуоресцентная спектроскопия, комплексный анализ больших данных, имитационное моделирование, нейронная сеть.

Секция «Интеллектуальные системы»

МЕТОДЫ СЧИТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ЛАЗЕРНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО СТЕКЛА ДЛЯ СИСТЕМ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОГО АРХИВИРОВАНИЯ

**А.А. Астапович, Е.Д. Соломахо, Е.Е. Стручистый, М.В. Лобанок,
О.Р. Людчик**

*Белорусский государственный университет, 220030, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Независимости, 4
E-mail: lobanokMV@bsu.by*

Рассмотрены особенности считывания информации, записанной в объеме стекла в виде массивов лазерно-индуцированных дефектов. Установлено, что при создании стеклянных носителей для долговременного энергонезависимого архивирования достоверность восстановления данных определяется совокупностью параметров оптической регистрации и алгоритмов обработки изображения. Для укрупненных кодовых структур возможно прямое декодирование стандартными средствами регистрации, тогда как для плотных внутренних матриц требуется реконструкция координатной сетки и классификация ячеек по метрическим признакам.

Ключевые слова: объемное хранение данных; лазерно-модифицированное стекло; компьютерное зрение; считывание информации; QR-структуры; OpenCV

МОБИЛЬНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЗАПУСКА МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Аунг Зин Нейн, В.С. Баранова, А. Джунг, А.А. Спиридонов

*БГУ, Минск, Республика Беларусь
E-mail: Spirid@bsu.by*

В работе рассмотрены преимущества и недостатки запуска малоразмерных космических аппаратов с мобильных платформ. Запуск с мобильных платформ позволяет гибко сформировать требуемые значения наклона и долготы восходящего узла целевой орбиты за счет выбора направления азимута стрельбы, времени и координат точки запуска, в то время как на диапазоны изменения других орбитальных параметров ограничены возможностями использования ракет сверхлёгкого и лёгкого класса.

Ключевые слова: малоразмерный космический аппарат, запуск с мобильных платформ, орбитальные параметры.

ПРИМЕНЕНИЕ VR-БОС-КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

О. С. Бурделёв¹⁾, В. А. Фираго²⁾

¹⁾ Научно-методическое учреждение Белорусского государственного университета «Республиканский центр проблем человека», Минск, Беларусь

E-mail: jahhu@yandex.ru

²⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: firago@bsu.by

Рассматриваются подходы к разработке и применению VR-БОС-комплексов для объективной оценки психофизиологического состояния человека в условиях стрессовых и экстремальных нагрузок. Описываются принципы интеграции неинвазивных физиологических датчиков с виртуальной средой и реализации адаптивного управления тренировочными сценариями. Особое внимание уделяется влиянию особенностей зрительного восприятия в виртуальной реальности на достоверность регистрируемых физиологических показателей.

Ключевые слова: БОС-VR; фотоплетизмография; психическая напряжённость; виртуальная реальность; зрительное восприятие; адаптивное управление.

АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ГЕТЕРОГЕННОЙ ЯЧЕИСТОЙ СЕТИ

С.А. Войткус, Е.И. Козлова

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: VoitkusSA@bsu.by

В работе предложена архитектура платформы для гетерогенных беспроводных ячеистых сетей. Принятие решений о конфигурировании узлов и их взаимодействие реализуется через онтологию и механизм логического вывода, которые являются частью платформы. Приведены примеры сети, эвристики и принятия решений о доверенности соседних узлов.

Ключевые слова: интернет вещей, онтология, беспроводные сети.

МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА УЯЗВИМОСТЕЙ В АКТИВАХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Е.И. Войтович

Белорусский государственный университет, Минск,

Республика Беларусь

e-mail: rct.voytovicei@bsu.by

В статье представлена разработанная методика настройки и практического применения сканера уязвимостей на базе платформы AlienVault OSSIM. Представлены результаты эксперимен-

тов по сканированию тестовой сети в соответствии с разработанной методикой. Выявлены и проанализированы факторы, влияющие на полноту и достоверность результатов. Полученные результаты могут быть использованы при проведении работ по оценке эффективности защищенности информационных систем.

Ключевые слова: сканер уязвимостей, AlienVault OSSIM, OpenVAS, управление уязвимостями, оценка эффективности защищенности, информационная безопасность.

МОДЕЛИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

Ю. И. Воротницкий¹, Р.А. Румас², А.К. Шульган¹

¹*Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь,
vorotn@bsu.by*

²*Национальный центр обеспечения кибербезопасности и реагирования на киберинциденты, Минск, Республика Беларусь*

В работе рассмотрена проблема передачи данных в сетях интеллектуальных цифровых систем как задача двух взаимосвязанных уровней: маршрутизации внутри беспроводного сенсорного сегмента и защищенного вывода данных из шлюза во внешние сети и облачный центр обработки данных. Для внутрисетевого уровня обобщены результаты по многокритериальной маршрутизации в беспроводных MESH сетях: использование интегрального критерия QoS в совокупности с ограничениями на параметры качества обслуживания, учет времени жизни маршрута как энергетического показателя, итерационная настройка весов в сочетании с минимаксным критерием и двухуровневая маршрутизация в кластеризованной сети. Для пограничного уровня рассмотрены модели однонаправленной передачи данных, основанные на аппаратном обеспечении гарантированной односторонней передачи и специальном программном обеспечении прокси-серверов. Показано, что сочетание резервирования на стороне получателя с выделенным обратным каналом квитирования и вероятностным алгоритмом передачи квитанций позволяет повысить отказоустойчивость и одновременно снизить риск скрытой утечки по временным признакам. Предложена интегрированная архитектура передачи данных от сенсорных узлов к шлюзу и далее в облачную инфраструктуру для систем умного города, промышленного мониторинга и других интеллектуальных цифровых платформ.

Ключевые слова: интеллектуальные цифровые системы; беспроводные сенсорные сети; многокритериальная маршрутизация; однонаправленная передача данных; шлюз; кибербезопасность.

УЛУЧШЕННЫЙ МЕТОД СТЕГАНОГРАФИИ С ВЫСОКОЙ ЕМКОСТЬЮ НА ОСНОВЕ STEGANOGEN

Го Чжуню, В. С. Садов

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: guozhongyou1@gmail.com*

В статье предложена улучшенная модель SteganoGAN для стеганографии с высокой емкостью, решающая проблемы многомасштабного извлечения признаков, точности восстановления сообщений и неустойчивости обучения. В модель добавлены Inception для многомасштабного

извлечения признаков и механизм внимания SE, а также использованы остаточное внедрение и спектральная нормализация для повышения стабильности. Разработана совместная оптимизационная цель с динамическим регулированием емкости внедрения. Эксперименты на Div2K показали, что предложенный метод превосходит оригинальный SteganoGAN по точности восстановления, емкости и качеству изображения, особенно при высокой нагрузке.

Ключевые слова: стеганография, генеративные состязательные сети.

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ЦЕПЬЮ БЕЛЛА

Жевняк О. Г.

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Предложена схема модифицированной цепи Белла. Рассмотрены свойства этой цепи при пропуске через неё различных кубитов. Показано, что она может быть использована в квантовых вычислениях для разработки новых квантовых алгоритмов, в частности, решения задачи идентификации симметричного кубита.

Ключевые слова: Квантовые вычисления; кубиты; цепь Белла.

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ЛЁТНОГО ОБРАЗЦА СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ФОРМАТА ROCKETQUBE

А.С. Ильюшенко, В.С. Баранова, А.А. Спиридонов, В.А. Саечников

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: rct.ilyushenAS@bsu.by, vbaranova@bsu.by, spirid@bsu.by,
saetchnikov@bsu.by

Представлены основные принципы построения и конструктивные особенности сверхмалых космических аппаратов формата RocketQube. Описаны концептуальные решения, ключевые параметры модели RocketQube, а также приведены компоновочные решения и детали, необходимые для последующей разработки лётного образца.

Ключевые слова: Малый космический аппарат, пикоспутник, RocketQube.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.С. Каплич, В.С. Садов

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: vladimirnom8@gmail.com

В данной работе рассматривается задача обнаружения скрытой информации в цифровых изображениях с использованием статистических методов стеганоанализа. Анализируются существующие подходы и выявляются особенности обнаружения скрытых данных с учётом свойств

анализируемых изображений, при этом изучается комплексное применение нескольких статистических методов и сопоставление их результатов.

Ключевые слова: стеганоанализ, стеганография, LSB-встраивание, статистические методы, цифровые изображения.

АЛГОРИТМ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО СКРЫТИЯ С ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ НЕКРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ХЭШ-ФУНКЦИЙ

М.Ю. Колос, В.С. Садов

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: miroslav.kolos@inbox.ru

В данной работе описаны алгоритмы встраивания и извлечения информации из стеганографических контейнеров, основанные на использовании некриптографических хеш-функций. Особое внимание уделено адаптивности методов (оценке текстуры блока, динамическому определению объема встраиваемого фрагмента).

Ключевые слова: стеганография, блочный метод, пропускная способность, гладкость блока, некриптографические хеш-функции.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ МИМИКИ КАК ИНДИКАТОРА ОБМАНА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ FACS

К.А. Котова, В.С. Садов

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: ksyu.kotova.79@gmail.com

В работе исследуется динамика мимики при правдивых и ложных высказываниях на основе FACS и автоматического извлечения AU с помощью ru-feat. Для каждого AU рассчитывались частота активации, вариабельность, скорость изменений и длительность эпизодов, после чего проведён многоуровневый статистический анализ. Результаты показали выраженные индивидуальные паттерны лжи, однако единственным универсальным маркером, устойчивым к межличностным различиям, оказался AU24 (сжатие губ).

Ключевые слова: система кодирования лицевых движений (FACS), двигательные единицы (AUs), библиотека ru-feat.

МЕТОДЫ ОБЪЯСНИМОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И РИСКИ НЕПРОЗРАЧНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Д.А. Крамко¹, В.С. Садов²

¹*Республиканский научно-практический центр «Мать и дитя»*

²*Белорусский государственный университет*

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: kramko.dzmitry@gmail.com

В статье рассматривается проблематика объяснимого искусственного интеллекта в контексте возрастающих рисков использования «непрозрачных» нейросетевых моделей в высокорисковых сферах — медицине, финансах, автономном транспорте и правоприменении. В качестве ключевых методов объяснимого искусственного интеллекта анализируются локальная аппроксимация с генерацией возмущений (LIME) и аддитивное разложение прогноза на основе значений Шепли из теории кооперативных игр (SHAP).

Ключевые слова: искусственный интеллект, искусственные нейросетевые модели, прогнозирование, интерпретация, практическая иллюстрация.

КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМИСТОРА НА ОСНОВЕ НОВЫХ НИТРИДНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{CuN/SiO}_2$

Е.Ю. Нестерова, М.В. Лобанок, И.А. Романов, В.А. Зайков

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: nestserava.lizaveta@gmail.com

В работе предложена схема контроля и регулирования температуры при проведения электрофизических измерений в широком диапазоне температур. В качестве датчика температуры использован разработанный нами пленочный нитридный термистор со структурой $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{CuN/SiO}_2$. С помощью измерителя параметров полупроводниковых приборов ИППП – 6, обнаружено, что структуры $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{CuN/SiO}_2$ в диапазоне значений $0,33 < x = \text{Al}/(\text{Al}+\text{Ti}) < 0,62$ имеют отрицательный температурный коэффициент сопротивления (ТКС) и являются перспективными для разработки высокотемпературных термисторов. С целью повышения точности измерений проведена аппроксимация зависимости сопротивления термисторных структур от температуры с помощью уравнения Стейнхарта-Харта.

Ключевые слова: термистор, тонкие пленки, температурный коэффициент сопротивления, ТКС, уравнение Стейнхарта-Харта, термостатирование.

EDGE-AI ПЛАТФОРМА ДЛЯ АНАЛИЗА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Никифоров, А.П. Крень

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: physnikiforov@gmail.com

В современных реалиях производства все чаще сталкиваются с необходимостью оперативного и автономного анализа механических свойств металлических изделий непосредственно в условиях производства, где облачные решения не всегда обеспечивают требуемые быстродействие и надежность. В работе представлены результаты разработки Edge-AI платформы, предназначенной для обработки данных беспроводного измерительного комплекса и прогнозирования механических характеристик металлических изделий.

Ключевые слова: микрокомпьютер, машинное обучение, измерительные системы, Edge-AI.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УЧЕБНЫХ МЕСТ В ЛАБОРАТОРИИ

А.А. Гринкевич, М.В. Лобанок, М.А. Павлышко, С.Л. Прокопьев

Белорусский государственный университет, 220030, Республика Беларусь, г.

Минск, пр. Независимости, 4

E-mail: paulyshka@bsu.by

Предложена архитектура автоматизированного контроля учебных мест в учебной лаборатории, предназначенной для сопровождения работ по основам радиоэлектроники, микроконтроллерам, схемотехнике, сенсорике и основам программно-определяемых радиосистем. Рассматриваемая система объединяет осциллограф DS1202, программируемый источник питания ODP3063, спектроанализатор, генератор сигналов и макетную плату в единый программный контур. В отличие от решений, основанных на прямом централизованном управлении приборами, предложенная схема предусматривает локальный вычислительный узел рабочего места, адаптерный слой унификации интерфейсов и локальное исполнение защитных алгоритмов. Такой подход обеспечивает идентификацию конфигурации стола, нормализацию телеметрии и перевод источников питания в безопасное состояние при нарушении допустимых режимов или потере связи с центральным сервером. Рассмотрены состав уровней системы, функции преподавательской панели и принципы интеграции приборов с интерфейсами SCPI, USBTMC, LXI и RS-232

Ключевые слова: учебная лаборатория; автоматизированный контроль; приборные интерфейсы; SCPI; USBTMC; LXI; преподавательская панель; безопасность эксперимента.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ПРИБОРОВ

Н.В. Полонский, М.В. Лобанок, М.А. Павлышко

Белорусский государственный университет, 220030, Республика Беларусь, г.

Минск, пр. Независимости, 4

E-mail: lobanokMV@bsu.by

Предложена архитектура программного комплекса для интеграции лабораторных приборов в единый контур автоматизированного эксперимента. Архитектура включает приборные адаптеры, общую событийно-командную модель, графический редактор сценария, механизм идентификации подключаемых устройств и ядро защитной обратной связи. Комплекс ориентирован на совместную работу измерителя иммитанса МНИПИ Е7-28, измерителя удельного сопротивления SZ Jingge ST2258C, цифрового вольтметра GW Instek GDM-79061, программируемого источника питания OWON ODP3063, осциллографа Rigol DS1202 и анализатора спектра Tektronix RSA603A. Показано, что адаптерный принцип и унифицированная временная модель обеспечивают подключение приборов различных производителей без переработки пользовательского интерфейса и базовой логики сценария, а измерительные данные могут непосредственно использоваться для ограничения режима воздействия и точного сопоставления результатов.

Ключевые слова: автоматизация измерений; лабораторные приборы; SCPI; VISA; приборные адаптеры; защитная обратная связь.

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ДАТЧИКОВ

А.С. Потоцкий, М.В. Лобанок, И.А. Романов

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: romivan@bsu.by

В работе представлена система дистанционного мониторинга температуры и влажности почвы, реализованная на базе распределенной сети углеродных композитных датчиков. В качестве материала для резистивно-емкостных датчиков использован угленаполненный полилактид (PLA). Предложено аппаратно-программное решение на базе микроконтроллеров STM32L052 и CC2530, использующее алгоритм определения параметров почвы путем анализа переходных характеристик измерительной цепи. Описаны принципы организации передачи данных по протоколу Zigbee с использованием mesh-топологии, обеспечивающей высокую надежность и масштабируемость сети в полевых условиях.

Ключевые слова: датчики температуры и влажности; углеродный композит; дистанционный мониторинг; Zigbee; mesh-топология.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ НЕЧЕТКОГО ОЦЕНИВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВЫХ СРЕД НА ВОВЛЕЧЕННОСТЬ СТУДЕНТОВ

С.В. Разумников

Юргинский технологический институт (филиал) «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,

Российская Федерация, 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26;

razumnikov@tpu.ru

В статье рассматривается задача оценки влияния цифровых образовательных сред на уровень вовлеченности студентов. Для учета субъективности и неопределенности экспертных суждений предложено использовать аппарат нечетких множеств. Описано разработанное программное обеспечение на языке Python, предназначенное для построения и визуализации функций принадлежности лингвистических переменных. Программа предоставляет графический интерфейс для задания параметров трапециевидных функций, отображения их графиков и вычисления степеней принадлежности для произвольных значений.

Ключевые слова: нечеткие множества, функции принадлежности, вовлеченность студентов, цифровые образовательные среды, программное обеспечение, Python.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЯДРА НОМИНАТИВНОГО ПОЛЯ КОНЦЕПТА

К.А. Сазонова, А.А. Халин

*Курский государственный университет, г. Курск, Россия
sazonova.kursk.ks@gmail.com, halin_aa@kursksu.ru*

В данной статье рассматривается возможность использования больших языковых моделей для построения номинативного поля концепта, проведено сравнение номинативных полей концепта, вербализуемого словом «Солнце», построенных с их помощью, с полем, построенным вручную с использованием словарей.

Ключевые слова: концепт, номинативное поле, большая языковая модель.

ПРИМЕНЕНИЕ LORA-MESH СЕТИ ДЛЯ СБОРА ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СОБЫТИЙ

А.С. Семенович, С.Н. Семенович, И.П. Стецко

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: rct.semenoviAS1@bsu.by*

В работе приведены результаты проектирования распределенной программно-аппаратной платформы для автоматизации мониторинга учащихся высших учебных заведений на базе иерархической LoRa-mesh сети.

Ключевые слова: RFID-метки, LoRa-mesh сеть, облачные технологии, сбор, передача и хранение данных, бесконтактные идентификаторы.

ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМЫЕ КЛЮЧИ ДЛЯ ЗАЩИЩЕННЫХ QR-СТРУКТУР В СТЕКЛЕ И ПОЛИМЕРАХ

Е.Д. Соломахо, А.А. Астапович, С.С. Гринько, М.В. Лобанок, О.Р. Людчик

Белорусский государственный университет, 220030, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 4

Рассмотрен подход к повышению стойкости физических QR-меток, основанный на совместном использовании QR-кода и физически неклонируемой функции (PUF), формируемой микроструктурой лазерно-модифицированных областей. Показано, что при записи в стекле и полимерах макроструктура кода может использоваться для быстрого идентификационного считывания, тогда как уникальные морфологические и фотометрические признаки отдельных ячеек - для подтверждения подлинности. Предложена двухуровневая схема регистрации и верификации, включающая первичное декодирование QR стандартными средствами и последующее сравнение выбранных лазерно-сформированных областей с эталонной базой.

Ключевые слова: физически неклонируемая функция; лазерная маркировка; QR-структуры; компьютерное зрение; считывание информации; OpenCV.

СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В СОСТАВЕ ПРОЕКТА УМНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

И.А. Шалатонин, А.А. Стрежик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: rct.strezhik@bsu.by

В статье рассматривается процесс проектирования и реализации интегрированной системы видеонаблюдения в рамках образовательного проекта «Умная лаборатория». Описана аппаратная база системы, включающая промышленные IP-камеры, сервер, маршрутизатор и PoE-коммутатор, а также обоснован выбор программного обеспечения Хеомта для записи видеопотоков. Реализованная инфраструктура позволяет эффективно контролировать образовательный процесс и может использоваться в качестве практического лабораторного стенда для учебных дисциплин, связанных с компьютерными и промышленными сетями.

Ключевые слова: компьютерные сети, умная лаборатория, системы видеонаблюдения.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСПЕРТНЫХ ДАННЫХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Судариков Е.В., С.В. Разумников, В.Г. Лизунков

*Юргинский технологический институт (филиал) «Национальный исследователь-
ский Томский политехнический университет»,
Российская Федерация, 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26;
Email: razumnikov@tpu.ru*

Аннотация. В статье рассматривается программная реализация метода порогового (некомпенсаторного) агрегирования для многокритериального анализа альтернатив. Программа предназначена для поддержки принятия решений при выборе индивидуальной образовательной траектории. Описываются функциональные возможности, алгоритм расчёта индексов предпочтения, пользовательский интерфейс и приводятся инструкции по работе с приложением. Эффективность подхода демонстрируется на примере оценки семи гипотетических образовательных траекторий.

Ключевые слова: индивидуальная образовательная траектория, многокритериальный анализ, метод порогового агрегирования, программная реализация, экспертное оценивание.

СОЗДАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ БИБЛИОТЕКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПЛК SIEMENS S7-1200/1500

И.А. Шалатонин, В.С. Шевеленко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: rct.shevelen@bsu.by

В статье рассматривается актуальность использования систем автоматизации, применение ПЛК в интеллектуальных системах, пример использования программируемого логического контроллера в системе автоматизации и возможные диагностические проблемы, решаемые созданной библиотекой функциональных блоков. Приведены преимущества разработанной библиотеки по сравнению с аналогами. Реализованный стенд может использоваться в качестве лабораторного стенда для изучения особенностей систем автоматизации на основе ПЛК Siemens S7-1200/1500.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер, ПЛК, диагностика, Siemens.

СИСТЕМА МНОГОКАМЕРНОЙ КИНЕМАТИКИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

А. Дин, А. М. Недзьведь

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: aodiding541@gmail.com, nedzved@tut.by

В статье представлена система захвата движений по видео для количественной оценки позы человека в медицинских сценариях. Рассматривается модель RTMPose для 2D-оценки позы на основе обнаружение ключевых точек на синхронизированных видеопотоках в реальном времени. На ее основе разработан метод многоперспективной триангуляции, который объединяет 2D-результаты с нескольких камер для восстановления 3D-позы человека. Система автоматически вычисляет углы в коленных и голеностопных суставах, обеспечивая количественную базу для реабилитационной оценки. Экспериментально подтверждены точность и практичность системы, что делает её эффективным инструментом для клинической реабилитации и дистанционного анализа движений.

Ключевые слова: Многоперспективная 3D-реконструкция, кинематический анализ, оценка позы, медицинская диагностика

Подсекция «Кибербезопасность»

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СКРЫТЫХ КОММУНИКАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛОВ TCP/IP

А.Л. Варвашевич, С. Д. Рундыгин

БГУ, Минск, Беларусь

E-mail: rct.varvashe@bsu.by

В данной работе рассматривается подход к организации скрытой передачи данных в компьютерных сетях на основе стека протоколов TCP/IP с использованием современных веб-технологий. Предлагается стеганографический метод сокрытия информации в трафике протокола HTTP/3 поверх QUIC, а также программный комплекс клиент–серверной архитектуры, реализующий скрытый канал управления (C2) с динамическим шифрованием и возможностью масштабирования. Разработанный комплекс ориентирован на моделирование и исследование скрытых коммуникаций в условиях действия средств мониторинга и систем обнаружения вторжений (IDS/IPS).

Ключевые слова: скрытая передача данных, стеганография, TCP/IP, HTTP/3, QUIC, covert channel, C2-канал, IDS/IPS.

РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЁННОЙ СИСТЕМЫ УДАЛЁННОЙ ВИРТУАЛИЗАЦИИ

Д. В. Дубина, С. Д. Рундыгин

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, rct.dubina@bsu.by*

Представлена система безопасного удалённого доступа к контейнерным средам с аппаратным хранением ключей Ed25519 на микроконтроллере ESP32-C3 и двухуровневым анализом поведения пользователей. Первый уровень выполняет статистическое обнаружение аномалий в сессионных паттернах (z-score), второй — анализ истории команд локальной языковой моделью Qwen2.5 с пятиуровневой защитой от инъекций в промпт.

Ключевые слова: аппаратное хранение ключей; ESP32; Ed25519; SSH-агент; контейнерная виртуализация; LXU; LUKS; обнаружение аномалий; LLM; Ollama.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ ASTRA LINUX SPECIAL EDITION И WINDOWS SERVER

А.А. Жулаев, В.А. Цирук

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: rct.zhulaev@bsu.by*

В статье проводится сравнительный анализ подсистем централизованного управления и информационной безопасности серверных ОС Astra Linux Special Edition 1.7 с ALD Pro 3.0 и Microsoft Windows Server 2025 с Active Directory. Рассматриваются архитектурные решения доменных служб, механизмы групповых политик, модели разграничения доступа, средства криптографической защиты и контроля целостности. Выявлено, что Astra Linux реализует превентивную модель на основе мандатного контроля доступа с формальными гарантиями разделения информации по уровням конфиденциальности. В контексте Республики Беларусь определяющими факторами являются сертификация ОАЦ, санкционные ограничения и курс на импортозамещение.

Ключевые слова: информационная безопасность, Astra Linux, Windows Server, мандатный контроль доступа, импортозамещение.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АТАК И ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

М. В. Иноземцева

*Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: margo_rined@mail.ru*

В статье обоснована необходимость применения компьютерного моделирования для прогнозирования кибератак и оценки уязвимостей информационной инфраструктуры. Проведён сравнительный анализ четырёх существующих моделей (AppSec.GenAi, ПК МПСИБ, Picas Complete Security Control Platform, MITRE CALDERA) по таким критериям, как тип угроз, методы моделирования, форма отчётности и применимость. Выявлены общие свойства и различия рассмотренных решений, определена их специализация. Предложено перспективное направление интеграции данных подходов в единую систему.

Ключевые слова: кибербезопасность, компьютерное моделирование, прогнозирование атак, оценка уязвимостей, сравнительный анализ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛОГОВ ВЕБ-СЕРВЕРА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КИБЕРИНЦИДЕНТОВ И АНОМАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Р.А. Лешок, Д.С. Штукатер

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: leshokroma@gmail.com, dshtukater@gmail.com*

Рассматривается задача выявления киберинцидентов и аномального поведения на основе анализа логов веб-сервера. Предложен гибридный подход, объединяющий сигнатурный анализ, поведенческие признаки и модель обнаружения аномалий. Сформулирована интегральная оценка риска, описана архитектура программного прототипа системы, ориентированной на обработку

журналов доступа и ошибок. Полученные результаты могут быть использованы для автоматизированного мониторинга веб-сервисов и предварительного отбора подозрительных событий для последующего экспертного анализа.

Ключевые слова: веб-сервер, логи, киберинцидент, аномальное поведение, обнаружение аномалий.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ПРОВЕРКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФУНКЦИЙ ПО ЗАДАНЫМ ПАРАМЕТРАМ

М.В. Лось, А.Л. Труханович

БГУ, Минск, Беларусь

E-mail: rct.los@bsu.by

В работе описывается разработка программного приложения для проверки корректности и производительности реализаций криптографических и математических функций. Рассматривается комплексная оценка четырех различных криптографических структур: шифров Цезаря и Виженера, математических операций с большими числами (метод Монтгомери), СТБ 34.101.31-2020 (Belt) и хеш-функции SHA-256. Представлена схема работы тестового приложения, включающая модули юнит-тестирования, мок-тестирования для зависимостей, а также средства измерения времени выполнения. Результатом разработки стало приложение на базе Google Test, обеспечивающее оценку качества пользовательской реализации функций.

Ключевые слова: тестирование, криптография, Google Test, производительность, тестовый модуль.

РАЗРАБОТКА ПРОТОКОЛА АУТЕНТИФИКАЦИИ НА БАЗЕ АЛГОРИТМОВ ВЫРАБОТКИ ОБЩЕГО СЕКРЕТА

Роловец М. Я., С. Д. Рундыгин

БГУ, Минск, Беларусь

E-mail: mirag20071@gmail.com

В работе рассмотрены проблемы безопасной аутентификации в распределённых информационных системах. Проанализированы уязвимости классического алгоритма Диффи–Хеллмана, связанные с отсутствием аутентификации и подверженностью атакам типа «человек посередине» (MITM). Предложен протокол аутентификации DH-SS-Salt, основанный на модифицированном алгоритме выработки общего секрета с использованием предустановленного криптографического ключа, случайной соли и функции PBKDF2. Показано, что разработанное решение обеспечивает взаимную аутентификацию сторон, устойчиво к офлайн-атакам и формирует стойкий сессионный ключ при минимальном количестве раундов обмена.

Ключевые слова: аутентификация, Диффи–Хеллман, PBKDF2, HMAC, соль, общий секрет, защита от MITM, IoT.

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ТЕСТИРОВАНИЯ МОДУЛЯ CRYPTOKI РЕАЛИЗОВАННОГО ПО СТАНДАРТУ СТБ 34.101.21

А.Д. Рундыгин, А.Л. Труханович

БГУ, Минск, Беларусь

E-mail: rct.rundyginAD@bsu.by

В статье представлена разработанная библиотеки тестирования программного интерфейса Cryptoki API для проверки корректности выполнения функций по стандарту СТБ 34.101.21. Приведены выбранные программно-аппаратные средства, основные модули библиотеки и результат её работы. Создано приложение, предоставляющее графический интерфейс для использования Cryptoki API в задачах автоматизированного тестирования средств данного программного интерфейса.

Ключевые слова: СТБ 34.101.21, криптография, тестирование, верификация, программный комплекс, белорусские стандарты.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ И ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ УДАЛЁННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПИТАНИЕМ ПО РАДИОКАНАЛУ 433 МГц

Д.А. Сейтжанов, А.Л. Труханович

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: rct.seytdzha@bsu.by

В работе представлена модель нарушителя для систем удалённого управления питанием по радиоканалу 433 МГц (FSK) и модель защищённого протокола передачи данных. На основе построенных моделей разработана аппаратно-программная система и проведена её верификация методом имитационного моделирования трёх классов атак. Моделирование подтвердило корректность предложенных механизмов защиты: шифрования XTEA (128 бит) и монотонного счётчика сообщений против атак повторной передачи.

Ключевые слова: моделирование угроз, модель нарушителя, радиоканал 433 МГц, FSK, верификация защиты, XTEA, replay-атака, STM32, CC1101.

РАЗРАБОТКА УДОСТОВЕРЯЮЩЕГО ЦЕНТРА НА ОСНОВЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

П. И. Финова, С. Д. Рундыгин

БГУ, Минск, Беларусь

E-mail: rct.finova@bsu.by

Доклад описывает проектированию трехуровневой PKI-архитектуры удостоверяющего центра (УЦ) на основе национальных криптографических стандартов. Рассматриваются иерархия доверия, криптографическое ядро на базе библиотеки bee2, архитектура модулей мастера установки и автоматизированного рабочего места (АРМ) администратора. Приводятся диаграммы PKI-иерархии, процесса выпуска сертификата, use-case АРМ и скриншот мастера установки.

Ключевые слова: удостоверяющий центр, PKI, СТБ 34.101, bee2, X.509, электронная цифровая подпись.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ В КОРПОРАТИВНЫЕ СЕТИ

С. Д. Рундыгин, М. М. Шклянков

БГУ, Минск, Беларусь
E-mail: rct.shklyank@bsu.by

В данной работе рассматривается разработка автономной портативной платформы для автоматизированной проверки безопасности корпоративных сетей, ориентированной на специалистов в области информационной безопасности. Устройство построено на базе микрокомпьютера, оснащено Wi-Fi адаптером с поддержкой режима мониторинга и инъекции пакетов, а также портом LAN (разъём RJ45) для подключения к проводным сегментам сети. Управление комплексом осуществляется через сенсорный дисплей, а для отображения ключевых метрик в реальном времени предусмотрен OLED-дисплей.

Ключевые слова: кибербезопасность, автоматизация аудитов безопасности, программно-аппаратный комплекс, мониторинг, обработка данных, визуализация.

Секция «Прикладной анализ данных»

ТРАНСФОРМЕРНЫЕ АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ДЛИННОЙ ПАМЯТЬЮ

Д.Д. Бондаренко, С.Н. Сталевская

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: fpm.bondarendd@bsu.by

В работе исследуется применение архитектуры трансформера для прогнозирования цен закрытия акций на основе минутных котировок. Рассматриваются теоретические основы механизма внимания и его преимущества перед классическими рекуррентными моделями при работе с долгосрочными зависимостями. Основной акцент сделан на практической реализации модели на PyTorch, этапах предобработки данных и анализе полученных результатов. Качество прогноза оценивается с использованием метрик MSE, RMSE, MAE и R^2 . Экспериментально подтверждена высокая эффективность трансформера, объясняющая более 98% дисперсии исходного ряда.

Ключевые слова: трансформер, временные ряды, длинная память, механизм внимания, прогнозирование.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБФУСКАТОРА ДЛЯ ЗАЩИТЫ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ УЧАСТКОВ КОДА ANDROID ПРИЛОЖЕНИЙ

Д. С. Борисевич

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: barysevichdzianis@gmail.com

В работе рассмотрены методы обфускации Android-приложений и реализация собственного обфускатора. Описан алгоритм преобразования проекта, включающий внедрение ложной логики, перестройку структуры и обфускацию строк. Проведено сравнение с известными инструментами, демонстрирующее преимущества решения для защиты кода от реверс-инжиниринга.

Ключевые слова: Обфускация кода, статический анализ, защита кода.

КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ЛЕКАРСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА

**Е.А. Демишкевич*, А.С. Зозуля, А.Ю. Зюбин, А.А. Аношин,
П.О. Мамаева, С.А. Стефанова, В.В. Рафальский, И.Г. Самусев**

Балтийский федеральный университете им. И. Канта

E-mail: ldemishkevich@gmail.com

Работа посвящена применению методов классического машинного обучения для классификации спектральных данных для задач терапевтического лекарственного мониторинга. В качестве объектов исследования были выбраны спектры комбинационного рассеяния света от образцов

сыворотки пациентов после приема лекарственного препарата метотрексат и здоровых волонтеров. В результате работ было показано, что разработанный алгоритм классифицирует спектры комбинационного рассеяния света от образцов сыворотки с пороговой концентрацией и демонстрирует значения метрик Precision, Recall и F1 – score выше 85 %.

Ключевые слова: машинное обучение, дискриминантный анализ, метод частичных наименьших квадратов, спектроскопия комбинационного рассеяния света.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ DFT МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ЭЛЕМЕНТОВ РЕЦЕПТОРОВ ТРОМБОЦИТОВ

А.Ю. Зюбин, А.А. Кундалевич, И.Г. Самусев

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

E-mail: azubin@mail.ru

В работе обозначены подходы к моделированию биомаркеров ответа на антиагрегантную терапию с применением методов теории функционала плотности (DFT). Для этого была выбрана часть рецептора циклооксигеназы COX-1, а также часть рецептора P2Y12 тромбоцитов, которые связывались с антитромботиками – аспирином и клопидогрелем, после чего проводился расчет соответствующих связыванию колебательных полос выбранных соединений. Выявленные колебательные полосы являются потенциальными биомаркерами взаимодействия клопидогреля/аспирина с соответствующими рецепторами тромбоцитов (P2Y12/COX-1) и могут быть использованы для разработки новых средств оценки эффективности антитромбоцитарной терапии, а также для уточнения спектральных данных структуры органических соединений в целом.

Ключевые слова: спектроскопия комбинационного рассеяния света, спектральные биомаркеры, метод функционала плотности, рецептор тромбоцита.

МНОГОЭТАПНАЯ ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

С.Р. Зубарева, А.Ю. Зюбин, И.Г. Самусев

*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,
Калининград, Россия*

E-mail: SRZubareva@stud.kantiana.ru

В данной работе приведены результаты по разработке алгоритма предварительной обработки спектров комбинационного рассеяния света для их последующего анализа. Применены алгоритм airPLS и 2 метода машинного обучения: Isolation Forest, Random Forest Regressor. Обработка была применена к 401 экспериментальному спектру КРС тромбоцитов человека. Показано, что применение многоэтапной обработки позволяет быстро и без потери информации получать спектр многокомпонентных объектов с улучшенным соотношением сигнал/шум, что повышает эффективность анализа спектров КРС.

Ключевые слова: спектроскопия комбинационного рассеяния света, airPLS, Isolation Forest, Random Forest Regressor, машинное обучение.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СТЕРЕОЗРЕНИЯ.

Д. Колесников, Н. Н. Яцков, О. Ф. Ковалев

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: kolesnikovkirilld@gmail.com

В работе проводится сравнительный анализ актуальных алгоритмов стереозрения. Исследуемые алгоритмы включают как классические – SGBM, MBM, так и бинокулярные нейросети – S2M2 и FoundationStereo. Наилучший результат по качеству продемонстрировал метод S2M2, по быстродействию – MBM. Современные нейросетевые подходы показали достаточную стабильность при заданных условиях.

Ключевые слова: монокулярное зрение, бинокулярное зрение, карта глубины, машинное обучение, нейронные сети, сравнительный анализ.

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ *HORDEUM VULGARE*, ИНФИЦИРОВАННЫХ *F.CULMORUM*

Т.О. Кошиц, П.О. Прохорчик, А.В. Вачинская, Н.Л. Пшибытко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: tanya.koschits@icloud.com

В данной работе исследована возможность диагностики фузариоза зерновых культур с использованием гиперспектральной визуализации. Объектом исследования являлись проростки ячменя, инфицированные *Fusarium culmorum*. Выявлено существенное повышение интенсивности отражения листьев видимой и ближней ИК областях до появления видимых признаков фузариоза. Полученная закономерность ляжет в основу метода диагностики заболевания на ранних стадиях с помощью нейронных сетей.

Ключевые слова: фузариоз, гиперспектральные данные, интенсивность отражения.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРМОГРАФИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЗДАНИЙ: МНОГОМОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И ТЕКСТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ

А.А. Кугайдо, А.А. Богданович, Ю.В. Черепанова, Е.С. Максимович

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: kugaydo@mail.ru

Тепловизионная диагностика зданий — один из ключевых методов неразрушающего контроля, однако разовые обследования не учитывают влияние тепловой инерции конструкций и переменной инсоляции. В работе представлен метод динамического мониторинга, основанный на серии термограмм, полученных с одинаковым интервалом в течение суточного цикла (фасадная и дворовая части здания).

Ключевые слова: термограмма, многомодальный анализ, лаг-корреляционный анализ, пространственно-статистический анализ.

МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И РАСПОЗНАВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Д. А. Кузьмицкий, О. В. Недзьведь

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

E-mail: KuzmitskiDA@bsu.by

Описан алгоритм определения объема городской растительности для оценки углеродного баланса на основе мультиспектральных данных БПЛА. Реализация выполнена на Python (OpenCV, NumPy, Earthpy) в геоинформационной среде QGIS. Вычислительный конвейер включает геопривязку ортофотопланов, расчёт вегетационных индексов ($NDVI_{re}$, REVI), пороговую сегментацию и интеграцию с цифровыми моделями высот для автоматической ярусной классификации. Применение спектрального канала Red Edge повышает точность детектирования в затенённых участках. Разработанное решение формирует масштабируемую IT-инфраструктуру для оперативного экологического мониторинга и поддержки управленческих решений в городском планировании.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, мультиспектральные изображения, вегетационные индексы, городская растительность, Red Edge.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ МУЛЬТИКОПТЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

И.А. Кураков, В.С. Баранова, А.А. Спиридонов, В.А. Сачников

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

*E-mail: rct.kurakov@bsu.by, vbaranova@bsu.by, spirid@bsu.by,
saetchnikov@bsu.by*

Представлен анализ аудиосигналов излучаемых мультикоптером компании DJI в лабораторных условиях. Исследованы спектрограммы на наличие устойчивых сигнатур, позволяющих обнаруживать и осуществлять пеленгацию мультикоптерных систем.

Ключевые слова: мультикоптер, аудиосигнал, спектральный анализ.

МАКСИМИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ ИЗ ВЕБ-СТРАНИЦ С ПОМОЩЬЮ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ПАКЕТНОЙ ОБРАБОТКИ

И.С. Лазук, С.Н. Нестеренков

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

E-mail: i.lazuk@bk.ru

Большие языковые модели всё активнее применяются для извлечения структурированных данных из веб-страниц, однако наивная пакетная обработка разнородных HTML-документов приводит к низкой утилизации GPU и снижению пропускной способности. В данной работе исследуются и сравниваются четыре стратегии составления пакетов на корпусе из 100 000 страниц с использованием Llama 3 8B Instruct и vLLM на NVIDIA A100 40GB. Группировка по длине повышает пропускную способность на 44%, увеличивая эффективность использования токенов с 48% до 85%. Динамическое распределение по корзинам обеспечивает прирост 34% без предварительной сортировки данных.

Ключевые слова: большие языковые модели, извлечение структурированных данных, пакетная обработка, оптимизация инференса, утилизация GPU, пропускная способность.

АВТОКОМПЕНСАТОР УЗКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ ДЛЯ ОДНОКАНАЛЬНОГО ПРИЁМНИКА ГНСС

Я. И. Лойко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: yan.loyka@gmail.com

В статье описывается алгоритм подавления узкополосных помех для одноканального приёмника сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Компенсатор реализован на базе адаптивного цифрового режекторного БИХ-фильтра 2-го порядка, работающего по алгоритму LMS. Представлены результаты моделирования в среде Matlab на примере воздействия гармонической помехи на сигнал GPS L1 C/A, представлены оценки степени подавления помехи и потерь полезного сигнала.

Ключевые слова: ГНСС, компенсатор помех, режекторный БИХ-фильтр, адаптивная фильтрация, LMS.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОСВОЕНИЕ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ QISKIT

А.С. Мандрик, П.И. Гайдук

БГУ Минск Беларусь

E-mail: rct.mandrik@bsu.by

В работе представлены результаты практического освоения среды программирования квантовых компьютеров QISKIT (IBM). Рассмотрены ключевые этапы: установка и инициализация среды, построение квантовых схем, работа с примитивами Estimator и Sampler, а также использование динамических схем для реализации далекодействующих квантовых операций. Исследования проводились на реальных квантовых процессорах через IBM Quantum Platform и IBM Cloud.

Ключевые слова: квантовые вычисления, QISKIT, квантовые схемы, IBM Quantum Platform, динамические схемы, примитивы, QPU.

ПРИМЕНЕНИЕ РЯДОВ ФУРЬЕ И СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА К ВЫЯВЛЕНИЮ ЦИКЛИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НА КРИПТОВАЛЮТНОМ РЫНКЕ

М.К. Плехов, А.П. Чумак, Л.В. Лобанок

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрен подход к выявлению циклических компонент в динамике биткоина на основе спектрального анализа логарифмических доходностей. Используются дневные и часовые ряды за период 17.09.2014–19.03.2026, загруженные средствами пакета *ufinance*. Для уменьшения спектральной утечки применено окно Ханна; значимость локальных максимумов оценивалась сравнением со спектрами 100 суррогатных реализаций случайного блуждания той же дисперсии. Показано, что на дневном масштабе большинство обсуждаемых календарных циклов статистически не подтверждается. На часовом масштабе обнаружены устойчивые пики с периодами 24, 12 и 8 ч, а максимумы волатильности приурочены к началу американской и азиатской торговых сессий. Полученные результаты указывают на преобладание внутрисуточной сезонности над долгосрочными календарными компонентами.

Ключевые слова: ряды Фурье, спектральный анализ, окно Ханна, FFT, DFT, криптовалюты, биткоин, логарифмические доходности, внутрисуточная сезонность.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНОВ

Ф.Ю. Снипич¹, А.А. Денисов^{1,2}

¹*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

²*Институт физиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

E-mail: falestflot@gmail.com

В работе рассматривается задача автоматической классификации электрофизиологических сигналов при регистрации электрической активности нейронов гиппокампа крысы. Для решения задачи реализована предобработка, включающая сегментацию исходных временных рядов на окна фиксированной длины, нормализацию каждого окна и обучение нейросетевых моделей различного типа. В качестве базовых архитектур исследованы глубокая одномерная CNN, многослойная LSTM и гибридная CNN-BiLSTM. Показано, что сверточные и гибридные модели обеспечивают существенно более высокое качество классификации по сравнению с чистой рекуррентной сетью.

Ключевые слова: электрофизиологические сигналы, микроэлектродная регистрация, нейросетевые модели, CNN, LSTM.

ВЛИЯНИЕ ПОРЯДКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ГАРМОНИК В RCWA/FMM НА ГЕОМЕТРИЧЕСКУЮ АППРОКСИМАЦИЮ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СЛОЯ И СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ

Н.В. Трапенюк, П.И. Гайдук

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: MikitaTrapianok@gmail.com

Рассмотрены особенности представления распределения диэлектрической проницаемости периодического слоя конечным набором пространственных гармоник в методе строгого анализа связанных волн (Rigorous Coupled-Wave Analysis, RCWA), также известном как метод Фурье-мод (Fourier Modal Method, FMM). На основе исследования периодической профилированной микроструктуры проанализировано влияние порядка пространственных гармоник на точность гармонической аппроксимации геометрии поперечного сечения слоя и на сходимость спектра поглощения. Показано, что увеличение числа учитываемых гармоник уточняет описание геометрии и приводит к выходу спектральных характеристик на устойчивый режим, что позволяет выбирать порядок разложения с учетом компромисса между точностью и вычислительными затратами.

Ключевые слова: RCWA, FMM, профилированные микроструктуры, пространственные гармоники, коэффициенты Фурье, геометрическая аппроксимация.

ОНЛАЙН-КАЛЬКУЛЯТОР ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАР

А.Ю. Трасковский, А.В. Леонтьев

БГУ, Минск, Беларусь

E-mail: avl141055@gmail.com

Представлен онлайн-калькулятор, позволяющий рассчитывать выходные характеристики всех основных типов термопар, представленных в ГОСТ Р8.585-2001, а также на сайте Международной электротехнической комиссии (IEC). Доступ к ресурсу по адресу: <https://mrspor20.github.io/thermocouple-calculator/>

Ключевые слова: онлайн-калькулятор, термопары, github.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CCD И CMOS-МАТРИЦ

А.С. Черник, А.Л. Труханович

БГУ, Минск, Беларусь

E-mail: rct.chernik@bsu.by

Доклад описывает разработку программного обеспечения для предварительной обработки астрономических изображений, полученных с использованием CCD и CMOS-матриц. В работе рассматриваются основные источники инструментальных и статистических искажений, присутствующих на наблюдательных данных, а также представлен алгоритм калибровки изображений

с использованием bias-, dark- и flat-кадров. Разработанное приложение обеспечивает автоматизированную обработку изображений в формате FITS, получение калиброванных изображений и вычисление контрольных сумм для проверки целостности данных.

Ключевые слова: астрономические изображения, калибровка изображений, целостность данных, FITS, CCD/CMOS-матрицы, Python.

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ УДАЛЁННОГО ДОСТУПА К ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ И СЕГМЕНТУ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СЕТИ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ

Е.Д. Юшкевич, В.С. Баранова, А.А. Спиридонов, В.А. Саечников

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: rct.yushkeviED@bsu.by, vbaranova@bsu.by, spirid@bsu.by, saetchnikov@bsu.by

В статье представлены архитектура и реализация образовательного веб-сервиса, обеспечивающего доступ к телеметрическим данным и командному интерфейсу образовательной сети наземных станций. Описана микросервисная архитектура системы с асинхронным информационным обменом через брокер сообщений и хранением данных в базе данных. Приведены детали реализации пользовательского интерфейса, включающего дэшборд телеметрии, эмулятор командного терминала и базу данных наблюдений.

Ключевые слова: наземные станции, телеметрия, микросервисная архитектура.