

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Объект авторского права
УДК 004.932**

**СОРОКИНА
Виктория Вадимовна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА
ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности
05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации**

Минск – 2024

Научная работа выполнена в **Белорусском государственном университете**.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ – Абламейко Сергей Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
академик НАН Беларуси,
профессор кафедры веб-технологий и
компьютерного моделирования
Белорусского государственного
университета.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: **Головко Владимир Адамович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой интеллектуальных
информационных технологий
УО «Брестский государственный
технический университет»;
Лукашевич Марина Михайловна,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационных систем
управления Белорусского
государственного университета;

ОППОНИРУЮЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ –
**ГНУ «Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси».**

Защита состоится **13 июня 2024** года в 10.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.02 при Белорусском государственном университете (Минск, ул. Ленинградская 8, корпус юридического факультета, ауд. 407).

Почтовый адрес: пр-т Независимости 4, Минск, 220030.

Телефон ученого секретаря: 209 57 09; e-mail: Kochyn@bsu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «27» марта 2024 года.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций
кандидат технических наук доцент

 В.П. Кочин

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря всеобщей компьютеризации и распространению Интернета появилась такая отрасль как электронная коммерция. Из-за пандемии COVID-19 все больше потребителей начали делать покупки в Интернете. Согласно новым данным IBM Retail Index, пандемия ускорила переход от физических магазинов к цифровым покупкам примерно на пять лет. Как следствие, увеличилось количество задач редактирования изображения, так как одним из важнейших аспектов презентации товара являются его изображения.

Изображения для электронной коммерции часто требуют дополнительной обработки из-за стандартов качества сферы. Без специальных условий съемки, таких как фотофоны, фотографии могут иметь переходы, неровности заднего плана и другие недостатки, требующие коррекции. Ручная обработка в редакторах, например, Photoshop, занимает до 10 минут на одну фотографию, что делает задачу трудозатратной по времени, поскольку товары в среднем имеют от 3 до 7 фотографий. В связи с этим остро стоит проблема автоматической обработки изображений, что включает в себя задачи анализа, распознавания и сегментации.

Разработка алгоритмов анализа изображений электронной коммерции с использованием нейронных сетей может помочь в нескольких аспектах, таких как повышение точности классификации, распознавания и сегментации товаров на изображениях, определение наиболее важных характеристик продукта и улучшение общего пользовательского опыта.

Одной из проблем при анализе изображений электронной коммерции является большой объем данных, который трудно анализировать вручную. Разработка алгоритмов с использованием нейронных сетей может автоматизировать этот процесс, экономя время и ресурсы.

Существующие технологии анализа изображений товаров электронной коммерции в большей степени не ориентированы на одновременную обработку большого числа изображений и требуют использования мануальных ресурсов.

В диссертационной работе предлагается система автоматической обработки изображений в сфере электронной коммерции, которая включает в себя алгоритмы по распознаванию и сегментации объектов, распознаванию состава ткани, автоматической обрезки и генерации реалистичных теней.

В работе описаны примеры практической реализации разработанных алгоритмов: алгоритм сегментации товаров с использованием стандартизации весов, система умной обрезки изображений, алгоритм для распознавания состава ткани предметов одежды на изображении путем использования генеративно-состязательных сетей для создания синтетических изображений

предметов одежды с известным составом ткани, алгоритм генерации реалистичной тени с использованием модели трансформера.

Актуальность, научная и практическая значимость работы заключается в разработке и интеграции передовых алгоритмов сегментации изображений, обнаружения объектов и определения материалов, автоматической обрезки изображений и генерации теней, специально предназначенных для изображений электронной коммерции. Используя нейронные сети и их возможности, эти алгоритмы стремятся преодолеть ограничения существующих подходов и обеспечить более точный, подробный и эффективный анализ изображений продуктов электронной коммерции. Предлагаемые алгоритмы, как и система, построенная на их основе, способствуют совершенствованию методов анализа изображений в контексте электронной коммерции и могут значительно улучшить презентацию продукта, пользовательский опыт и общий успех бизнеса.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Диссертационная работа выполнена на кафедре веб-технологий и компьютерного моделирования механико-математического факультета Белорусского государственного университета в рамках следующих программ и заданий:

- задание 1.1.17 «Разработка теоретических основ и технологий интеллектуального анализа данных на основе методов машинного обучения и распознавания» государственной программы научных исследований на 2016–2020 гг. «Информатика, космос и безопасность», подпрограмма «Информатика и космические исследования»;
- задание 1.1.1 «Математические модели и программные технологии для задач интеллектуального анализа данных на основе методов машинного обучения» (НИР) государственной программы научных исследований на 2021–2025 годы «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства», подпрограмма «Цифровые технологии и космическая информатика».

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Цель исследования: исследование и разработка алгоритмов анализа изображений электронной коммерции с применением нейронных сетей для повышения качества и эффективности процесса их обработки.

В соответствии с поставленной целью в диссертации были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Определить требования к обработке изображений электронной коммерции;

2. Разработать алгоритмы анализа изображений электронной коммерции с применением нейронных сетей, включая алгоритмы сегментации изображений, обнаружения объектов, автоматической обрезки изображений и автоматической генерации трех различных видов теней, а также подход к распознаванию состава ткани предметов одежды на изображении и метод аугментации данных;

3. Подготовить наборы данных для обучения, валидации и тестирования – сбор, предварительная обработка и аннотация данных;

4. Произвести оценку производительности алгоритмов с использованием различных метрик;

5. На основе разработанных алгоритмов создать систему автоматической обработки изображений электронной коммерции для создания каталога товаров;

6. Применить разработанную систему для автоматической обработки изображений электронной коммерции путем использования ее как ядра приложения Retouchpro.ai.

Объект исследования: цветные изображения электронной коммерции с произвольным фоном.

Предмет исследования: процесс анализа изображений электронной коммерции.

Научная новизна

Научная новизна исследования заключается в разработке и апробации алгоритмов сегментации изображений, обнаружения объектов, автоматических обрезки изображений и генерации трех различных видов теней, аугментации изображений, формирующих систему, специально предназначенную для анализа и обработки изображений электронной коммерции.

1. В диссертации разработан алгоритм сегментации изображений электронной коммерции. Алгоритм ориентирован на распознавание попиксельно (задача сегментации) объектов 26 классов на изображениях, его отличительная черта – акселерация обучения нейронной сети, получаемая при помощи стандартизации весов, направленной на обучение микропакетами, для которых характерны 1–2 изображения на графическом процессоре, что позволяет получить результаты, сравнимые либо превосходящие полученные при обучении с нормализацией пакетами.

2. Разработан алгоритм распознавания объектов на изображениях электронной коммерции, предоставляющий ценную информацию для последующего анализа и обработки. Новизна – модель внимания, модифицирующая архитектуру нейронной сети и позволяющая нейронной сети фокусироваться на более релевантных признаках объектов.

3. Разработан алгоритм автоматической обрезки изображений: новизна заключается в том, что алгоритм основан на сверточной нейронной сети, которая использует непараметрическое представление для связывания частей тела с людьми на изображении, в сочетании с новой моделью внимания, которая учится сосредотачиваться на определенных областях входного изображения.

4. Разработан новый подход к распознаванию состава ткани предметов одежды на изображении в сфере электронной коммерции. Отличием алгоритма от известных является новый подход для распознавания состава ткани предметов одежды путем использования GAN для создания синтетических изображений предметов одежды с известным составом ткани (вместо классического изображения предмета одежды генерируется копия, у которой материал увеличен до волокон и структуры ткани), которые затем используются для обучения CNN для классификации состава ткани реальных изображений одежды.

5. Разработан алгоритм автоматической генерации тени на изображении товара электронной коммерции, включающий создание зеркальной, падающей и реалистичной теней: инновационность данного алгоритма заключается в создании автоматизированного инструмента для генерации реалистичных теней на изображениях товаров, повышая их визуальное качество.

6. Разработан метод аугментации данных для улучшения качества распознавания изображений электронной коммерции. Метод позволяет решить проблемы, связанные с классовым дисбалансом, усилить обобщения модели, а также улучшить качество распознавания.

Предлагаемые алгоритмы используют передовые методы в сфере компьютерного зрения и нейронных сетей. Эта автоматизация значительно сокращает объем ручных операций, необходимых для редактирования изображений, и повышает общее качество презентации продукта.

Таким образом, в диссертации представлена комплексная основа для анализа изображений электронной коммерции с использованием нейронных сетей. Полученные результаты способствуют совершенствованию методов анализа изображений в сфере электронной коммерции и могут революционизировать способ представления и анализа продуктов на платформах онлайн-покупок.

Положения, выносимые на защиту

1. Алгоритм сегментации изображений электронной коммерции на основе применения метода стандартизации весов в нейросети и его использование в системе автоматической обработки изображений электронной коммерции. Алгоритм позволяет проводить более быстрый и точный анализ и обработку за счет использования стандартизации весов.

2. Алгоритм распознавания изображений товаров электронной коммерции с использованием модели внимания и нейронной сети. Основным отличием данного алгоритма от существующих является то, что он учитывает специфику сферы электронной коммерции. В дополнение модель внимания позволяет сети более точно сосредоточиться на признаках объекта, что влияет на качество обученной сети и скорость сходимости.

3. Алгоритм для автоматической обрезки изображений путем выделения отдельных участков тела человека на изображении с использованием модели внимания и нейронных сетей.

4. Алгоритм определения состава ткани предметов одежды в сфере электронной коммерции с использованием комбинации генеративно-сопоставительной (GAN) и сверточной нейронной сетей (CNN). Основная идея – вместо классического изображения предмета одежды при помощи генеративно-сопоставительной сети генерируется копия, у которой материал увеличен до волокон и структуры ткани.

5. Алгоритм генерации реалистичных теней товаров электронной коммерции на основе трансформера. Основной особенностью алгоритма является способность обрабатывать сложные сценарии освещения и создавать реалистичные тени с различной степенью непрозрачности.

6. Метод аугментации данных для улучшения качества распознавания изображений электронной коммерции. Метод позволяет решить проблемы, связанные с классовым дисбалансом, усилить обобщения модели, а также улучшить качество распознавания.

7. Программный комплекс анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции, который основан на использовании вышеуказанных алгоритмов.

Личный вклад соискателя ученой степени

Основные положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Научный руководитель и соавтор совместных работ академик НАН Беларуси, д.т.н., профессор Абламейко С.В. принимал участие в определении темы и целей диссертационной работы, выборе методов исследования, анализе и обобщении полученных результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные результаты диссертации были представлены на международных конференциях: XIX Международной конференции «Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНИТИ2020)» (Минск, 19 ноября 2020), The International Conference “Information and Digital Technologies” (Жилина, Словакия, 27-29 октября 2020, 20-22 июня 2023), 5-й Международной научно-практической конференции «Веб-программирование и интернет-технологии. WebConf2021» (Минск, 18-21 мая 2021), 15th International Conference «Pattern Recognition and Information Processing. Artificial Intelligence: Facing the Challenges (PRIP'2021)» (Минск, 21-24 сентября 2021), International Scientific Conference “Science, Technology and Education. – The Driving Force for Rapid and Sustainable Development” (Хошимин, Вьетнам, 23 сентября 2022), Международном научном конгрессе по информатике «Информационные системы и технологии (CSIST'2022)» (Минск, 27-28 октября 2022), Second International Workshop on Reliability Engineering and Computational Intelligence (RECI 2022)”; Second Workshop on ACeSYRI: Modern Experience for PhD students and Young Researchers (Делфт, Нидерланды, 13-15 ноября 2022).

Победитель Huawei Grant Program (2nd Huawei Grants Competition, Минск, 2022).

Результаты научных исследований внедрены в учебный процесс БГУ (имеется 2 акта о практическом использовании), а также в ООО «Коммерс Лаб» (имеется 1 акт о практическом применении).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 15 научных работах, из них 7 статей в научных изданиях в соответствии с пунктом 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий (4,3 авторского листа), 6 статей в сборниках материалов научных конференций, 2 тезиса.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из перечня сокращений и обозначений, введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных источников и 3 приложений. Полный объем диссертации составляет 140 страниц, в том числе 50 рисунков занимают 18 страниц, 8 таблиц на 8 страницах, 3 приложения занимают 10 страниц. Список использованных источников содержит 118 наименований, включая собственные публикации соискателя ученой степени (на 12 страницах).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В **первой главе** проведен анализ методов интерпретации изображений электронной коммерции, включающий определение особенностей изображений (качество изображений, фон, тени, тип файла, цветовое пространство, размер, оптимизация и др.), сделан вывод о необходимости учета специфики и требований сферы электронной коммерции, что в рамках мануальной обработки требует значительных временных ресурсов. Также была определена специфика задач компьютерного зрения в электронной коммерции, заключающаяся в потребности в качественных графических данных и необходимости точного и эффективного извлечения признаков.

Была произведена классификация задач компьютерного зрения в электронной коммерции, включающая классификацию товаров, обнаружение объектов, поиск изображений, семантическую сегментацию, улучшение изображения и дополненную реальность.

Проведенный анализ литературы показал сверточные нейронные сети и глубокое обучение как средство решения задач в сфере электронной коммерции, а также выявил их приложения.

Рассмотрены подходы к извлечению признаков из изображений товаров электронной коммерции: мануальное извлечение, глубокие сверточные нейронные сети, сиамские сети и модели на основе внимания.

Описаны существующие системы обработки изображений электронной коммерции на основе проведенного сравнительного анализа двух известных сервисов в этой сфере: Remove.bg и Deep-image.ai. В сравнительном анализе были рассмотрены предлагаемые в сервисе функции, автоматизация и пакетная обработка, настройка и гибкость, а также варианты использования. Дополнительно были изучены и проанализированы существующие научные работы для обработки изображений товаров электронной коммерции.

На основе результатов первой главы была обоснована актуальность разработки алгоритмов анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции с использованием нейронных сетей, заключающаяся в автоматизации процесса, выявлении общих закономерностей в данных и существенном сокращении времени обработки.

Во **второй главе** рассматривается предварительная обработка изображений электронной коммерции, включающая различные методы: фильтрация и удаление шума, изменение размера и масштабирование изображения, определение доминантных цветов и цветокоррекция, сжатие и оптимизация изображений.

Разработан алгоритм определения тусклости, размытости и однородности изображения. Он нацелен на автоматическую оценку ключевых характеристик изображения, позволяя оптимизировать и корректировать его визуальные параметры. Алгоритм определения тусклости включает в себя определение всех цветов RGB-изображения, сортировку пикселей, проверку темных пикселей и подсчет их процента, при условии, что если процент темных пикселей превышает 85, то изображение считается тусклым. Аналогично проводится анализ белизны – вместо темных пикселей рассматриваются светлые – со значением больше 244 по каждому из каналов. В алгоритме размытости используется дисперсия дискретного оператора Лапласа, происходит бинаризация изображения, затем производится свертка полученного единственного канала изображения с помощью фильтра. Если указанное значение меньше порогового значения – 100, то изображение будет размытым. Алгоритм однородности изображения использует метод Кэнни определения границ путем изучения краев и распределения интенсивности пикселей.

Разработан алгоритм автоматического определения типа шума на изображении и его удаления. Нацелен на автоматическое выявление и коррекцию различных типов шума (яркостный, цветовой, артефакт сжатия и фиксированный структурный) на изображениях, способствуя улучшению четкости и качества изображений. Архитектура алгоритма представлена на рисунке 1.

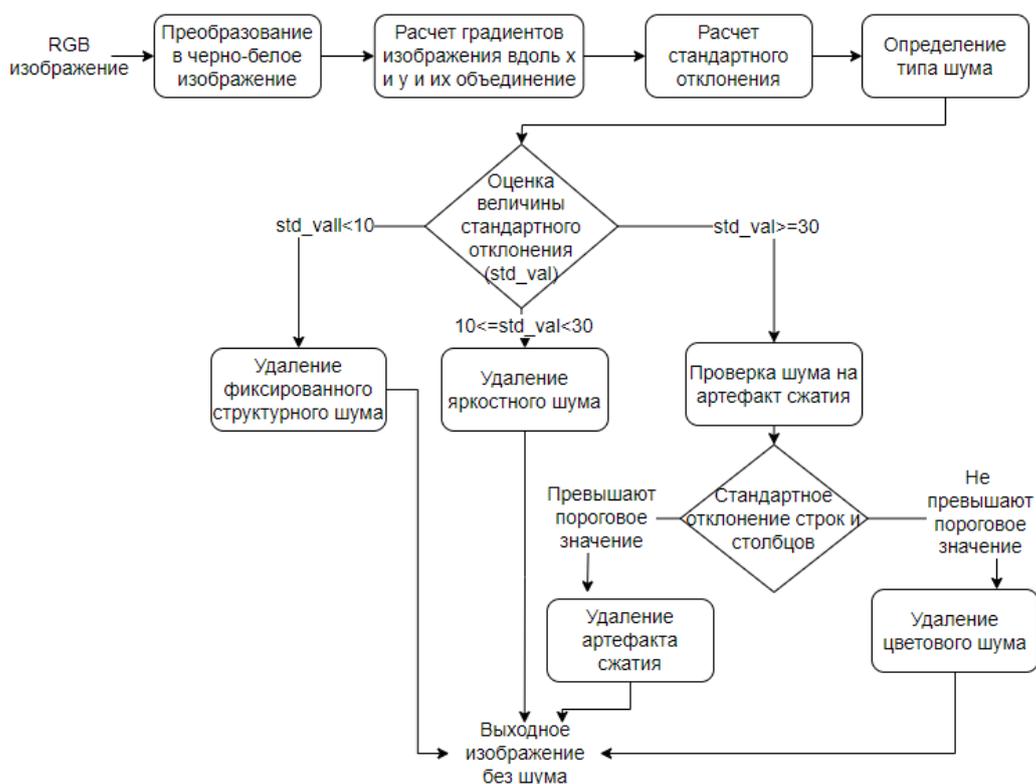


Рисунок 1 – Архитектура алгоритма для определения и удаления шума

Алгоритм проводит анализ величины градиента изображения, чтобы классифицировать тип присутствующего шума. Метод основывается на том, что разные типы шума могут по-разному влиять на края и мелкие детали изображения, что приводит к различным шаблонам градиента. Стандартное отклонение величины градиента рассчитывается по формуле стандартного отклонения:

$$std_{deviation} = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \left(GM_i - \frac{1}{N} \sum_{x,y} I(x,y) \right)^2}, \quad (1)$$

где GM – величина градиента, $I(x,y)$ – интенсивность пикселя (x,y) , N – количество всех пикселей изображения.

Разработан алгоритм классической обрезки изображения и определения ориентации. Он нацелен на автоматическое выделение ключевых областей изображения, обрезку ненужных элементов и определение оптимальной ориентации.

Определение ориентации изображения является задачей классификации, где определяется тип ориентации, такой как альбомная, портретная и другие.

При создании алгоритма было использовано 2 подхода: через EXIF (exchangeable image file format)-метаданные, где 8 значений (от 1 до 8) ориентации хранится в метаданных, и через метод главных компонент – включает в себя конвертацию изображения в черно-белый формат, расчет направлений градиента, построение матрицы данных с пикселями и направлениями градиента, применение метода главных компонент, а также анализ и интерпретацию основной компоненты.

Далее разработаны алгоритмы определения доминантных цветов изображения и цветокоррекции. Алгоритм для определения доминантных цветов основан на методе k-means. На вход подается сегментированное RGB-изображение (сегментация была выполнена при помощи разработанного алгоритма, основанного на сверточной нейросети и стандартизации весов, описан в главе 3). Используется метод k-means – алгоритм обучения без учителя для кластеризации данных в K кластеров. Идея метода заключается в минимизации суммарного квадратичного отклонения точек кластеров от центров этих кластеров. Конечным результатом является определение K доминирующих цветов изображения, представленных K центроидами кластера.

Для цветокоррекции были реализованы алгоритмы коррекции баланса белого, удаления цветового оттенка (любых неестественных цветовых оттенков, вызванных условиями освещения), манипуляции контрастностью и яркостью, а также настройки насыщенности.

Кроме представленных алгоритмов также были рассмотрены методы увеличения данных для обучения нейронных сетей, а именно аугментация данных и перенос обучения.

Был протестирован классический метод аугментации данных в задаче обнаружения 5 предметов одежды на изображении. Модель, обученная с применением аугментации данных, продемонстрировала улучшенные показатели точности, precision, recall и оценки F1 по сравнению с моделью, обученной без аугментации. Внедрение аугментации способствовало повышению устойчивости модели к изменениям положения одежды в кадре, освещения и окклюзии, что привело к улучшению ее производительности.

Также был разработан собственный метод аугментации данных для улучшения качества распознавания изображений электронной коммерции [7-А]: аугментация производится за счет сегментации изображения, замены фона, генерации тени и добавления логотипа либо надписи на изображения. Построенный метод позволяет решить проблемы, связанные с классовым дисбалансом, усилить обобщения модели, а также улучшить качество распознавания. Метод полностью автоматизирован. Для его создания использовались алгоритмы, выносимые на защиту (методы сегментации и генерации теней), рассмотренные в 3 главе.

Разработанный метод аугментации включает следующие шаги:

Вход: RGB изображение товара электронной коммерции.

Алгоритм:

1. Выделение объекта на изображении посредством сегментации;
2. Определение доминантного цвета объекта;
3. Случайный выбор нового фона: изображение с текстурой или сплошная заливка случайным цветом, не совпадающим с доминантным цветом объекта;
4. Генерация тени (зеркальной, падающей или реалистичной);
5. Добавление стикера / надписи на изображение.

Выход: аугментированное изображение.

Алгоритм был протестирован для решения задачи сегментации изображений товаров электронной коммерции при помощи модели U-Net. Полученные результаты обучения на аугментированном наборе данных показали значительное улучшение в точности (92%), IoU (0.85), и mAP (0.89) по сравнению с обучением на базовом наборе (точность: 85%, IoU: 0.72, mAP: 0.78), при этом время сходимости составило 120 эпох вместо 150 эпох на базовом, а общее время обучения увеличилось с 4 до 5 часов. Пример изображения, аугментированного при помощи построенного алгоритма, представлен на рисунке 2.

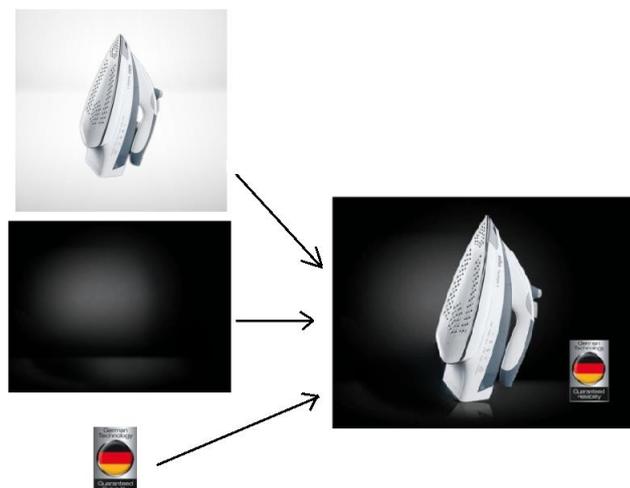


Рисунок 2 – Аугментированное изображение товара

Было произведено тестирование еще одного метода при небольшом количестве данных для обучения – переноса обучения. Для тестирования была использована предварительно обученная модель Mask R-CNN.

Перенос обучения обеспечил более быструю сходимость, лучшую производительность и сокращение времени обучения благодаря заранее изученным функциям.

Был сделан вывод об использовании двух подходов (аугментации данных и переноса обучения) вместе для дальнейшего повышения производительности моделей компьютерного зрения для приложений электронной коммерции.

На основе результатов 2 главы было показано, что предварительная обработка изображений – это важный аспект в обработке изображений электронной коммерции. Устраняя шум, изменяя размер, применяя цветокоррекцию и используя передовые алгоритмы, удастся решить 2 задачи одновременно: получить качественные данные для обучения нейронных сетей и создать первый модуль системы анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции.

Третья глава посвящена деталям создания методами глубокого обучения алгоритмов анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции. Были сформулированы требования к алгоритмам, выбраны и обоснованы архитектуры нейронных сетей, а также приведены детали их общих частей, такие как активационные функции, методы регуляризации, оптимизаторы и функции потерь, созданы и обучены алгоритмы, а также проведены их валидация и тестирование.

Разработан алгоритм сегментации изображений электронной коммерции на основе применения метода стандартизации весов в нейросети [1-А, 8-А], основная идея которого – акселерация обучения нейронной сети, сохранение

размеров изображений и точности предсказания, что позволяет учесть основные требования сферы электронной коммерции. В алгоритме производится калибровка весов в сверточных слоях для усиления сглаживания фона. Таким образом, нет необходимости беспокоиться о передаче сглаживающих эффектов с активаций на веса. Главной целью при построении алгоритма было решить задачу сегментации с ускорением процесса обучения нейронных сетей, таких как нормализация пакетами, но без использования больших пакетов данных в обучении.

Этапы алгоритма:

- основа сети (извлечение признаков) со стандартизацией весов;
- стандартизация весов: вместо прямой оптимизации функции потерь L с исходными весами \hat{W} происходят перепараметризация весов \hat{W} как функции от W , то есть $\hat{W} = WS(W)$, и оптимизация функции потерь L на W методом стохастического градиентного спуска:

$$\hat{W} = \left[\hat{W}_{i,j} \vee \hat{W}_{i,j} = \frac{W_{i,j} - \mu w_{i,\cdot}}{\sigma w_{i,\cdot} + \varepsilon} \right], y = \hat{W} * x, \quad (2)$$

$$\text{где } \mu w_{i,\cdot} = \frac{1}{I} \sum_{j=1}^I W_{i,j}, \quad \sigma w_{i,\cdot} = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (W_{i,j} - \mu w_{i,\cdot})^2}; \quad (3)$$

- пирамида признаков;
- слои предсказания;
- протонет – отвечает за создание прототипов категорий, он интегрирован со стандартизированными по весу сверточными слоями;
- прогнозирование маски;
- сегментация без привязки к классификации;
- прогнозирование ограничивающей рамки (bounding box).

Результатом работы алгоритма являются предсказания классов объектов, ограничивающей рамки и масок сегментации, не зависящих от класса. Пример работы алгоритма представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Результат работы алгоритма по сегментации изображений электронной коммерции

Разработан алгоритм распознавания изображений товаров электронной коммерции с использованием модели внимания и нейронной сети [2-А] и [11-А]. В алгоритме предлагается модифицировать основу ResNet-101 нейронной сети YOLACT с помощью модели внимания для сосредоточения только на релевантных признаках изображения при решении поставленной задачи.

Вход алгоритма: изображение или карта признаков (feature map).

Этапы:

- группировка;
- операторы разделения внимания: фиксирование взаимозависимости карт признаков с помощью механизма внимания;
- прогнозирование веса внимания;
- применение модели внимания;
- объединение групп.

Таким образом, внутренняя структура блока сети ResNet-101 замещается блоком модели внимания (рисунок 4).

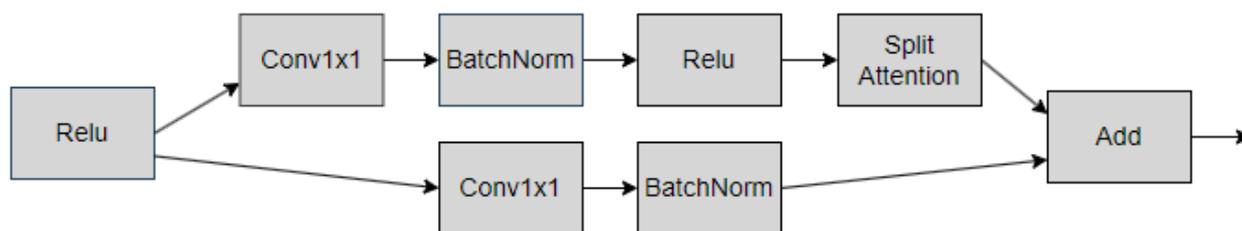


Рисунок 4 – Архитектура блока ResNet-101 с моделью внимания

Графически результат работы модели внимания внутри основы ResNet-101 сверточной сети YOLACT можно увидеть на рисунке 5.

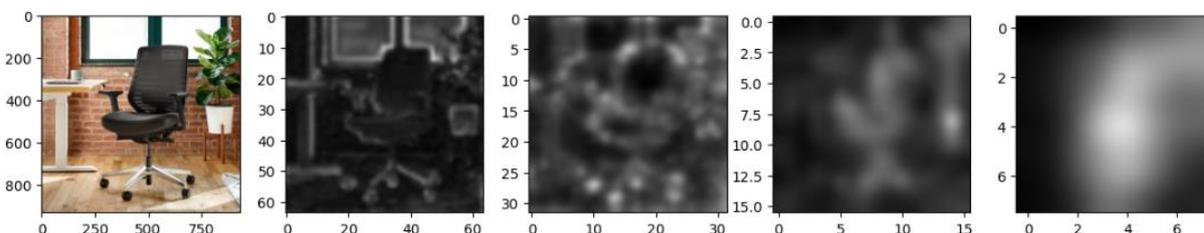


Рисунок 5 – Результат работы модели внимания во внутренних слоях основы

Разработан алгоритм для автоматической обрезки изображений электронной коммерции. Он получил название Smart Cropping.

Этапы:

- извлечение признаков изображения;
- построение тепловой и векторной карт для определения 2D-позиции частей тела человека на изображении:

○ тепловая карта C_i может быть сгенерирована с помощью операции Softmax, примененной к соответствующей карте признаков F_i :

$$C_i(x, y) = \frac{e^{F_i(x, y)}}{\sum_i e^{F_i(x, y)}}, \quad (4)$$

где $C_i(x, y)$ – значение достоверности в пикселе (x, y) на тепловой карте для части тела i , $F_i(x, y)$ – соответствующее значение в карте признаков для части тела i ;

- векторная карта – совокупность двумерных векторных полей, предоставляющих информацию о направлении и смещении точек тела;
- вычисление позиционных отношений полученных частей тела человека;
- обрезка в соответствии с predetermined правилами.

Архитектура алгоритма представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Архитектура алгоритма Smart Cropping

Для построения алгоритма автоматической обрезки был использован тот же концепт модели внимания – разбить сложные задачи на более мелкие области внимания, которые обрабатываются последовательно.

Разработан алгоритм определения состава ткани предметов одежды на изображениях электронной коммерции. Для создания более детализированных изображений материала ткани используется сеть pix2pix, входящая в категорию условных генеративно-сопоставительных сетей cGAN [5-A], [6-A].

Разработанный алгоритм включает в себя 4 основных этапа.

Вход алгоритма: RGB – изображение.

Этапы:

- сегментация изображения для выделения предмета одежды;
- генерация карты текстуры;
- выделение образца ткани;
- классификация образца ткани.

Выход алгоритма: определенный состав ткани с меткой класса одежды (например, платье-шерсть).

Схема последовательности блоков алгоритма показана на рисунке 7.



Рисунок 7 – Схема последовательности блоков алгоритма

В алгоритме были использованы три нейронные сети:

- сеть для сегментации товаров электронной коммерции на основе сети YOLACT с применением стандартизации весов (алгоритм, описанный в разделе 3.2);
- модифицированная сеть pix2pix;
- сеть VGG-19, модифицированная моделью внимания.

Процесс расчета в блоке внимания можно представить следующим образом:

$$F' = M_S(F) \cdot F, F'' = M_C(F) \cdot F', \quad (5)$$

где F – это промежуточный признак (feature map), $M_S(F)$ – пространственная карта внимания, F' – пространственно уточненный признак, $M_C(F)$ – карта внимания канала.

Были разработаны алгоритмы автоматической генерации 3 видов теней: зеркальной, падающей и реалистичной.

Основная идея процесса создания зеркальной тени для товаров электронной коммерции включает в себя зеркальное отражение исходного изображения и его маски, определение точек зеркала, вычисление длины тени, размытие тени с использованием фильтра Гаусса и бинарной маски объекта, состыковку изображения и зеркала, добавление прозрачности в соответствии с параметрами, что приводит к получению изображения с эффектом зеркальной тени. Пример работы алгоритма представлен на рисунке 8, а.

Основная идея алгоритма генерации падающей тени для товаров электронной коммерции включает смещение и инвертирование бинарной маски, операцию добавления резкости/мягкости маске, размытие тени с использованием фильтра Гаусса, определение размеров тени и ее обрезку, добавление прозрачности, совмещение исходного изображения с полученной тенью, что создает окончательное изображение с эффектом падающей тени. Пример работы алгоритма представлен на рисунке 8, б.



**Рисунок 8 – Примеры сгенерированных теней:
а – зеркальной; б – падающей; в – реалистичной.**

Для генерации реалистичной тени было создано 2 алгоритма: на основе маски сегментации и определении ключевых точек объекта и алгоритм генерации 2D-теней с использованием сети Soft Shadow (SSN), модифицированной UNet Vision Transformer.

Алгоритм генерации реалистичной тени на основе маски сегментации и определении ключевых точек объекта основывается на идее определения ключевых точек товара на изображении, а именно основания объекта, и направления обхода, а также последующей деформации маски сегментации согласно полученным ключевым точкам для создания эффекта реалистичной тени.

Пример определения базовых точек, по которым строится тень, показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Базовые точки для создания реалистичной тени

Идея алгоритма генерации реалистичных теней с использованием нейронной сети, модифицированной UNet Vision Transformer состоит в том, чтобы использовать сеть Soft Shadow Network (SSN), которую быстрее и проще обучать, чем сети на основе GAN, модифицировав ее с помощью модели трансформера, для повышения точности генерации теней и достижения передовых результатов [13-А]. В архитектуре построенной модели признаки, извлеченные с помощью кодера U-Net, передаются в Vision Transformer. Это позволяет модели извлечь признаки из глобальной контекстной информации, собранной механизмом внимания. Пропускные соединения, характерные для U-Net, также используются для передачи высокочастотных характеристик из кодера в декодер.

Схематическое представление построенного модуля рендеринга теней (SR) показано на рисунке 10.

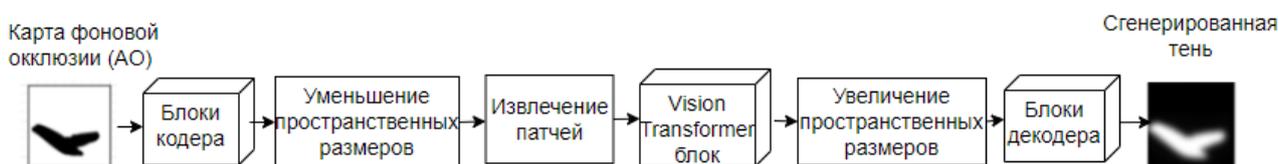


Рисунок 10 – Структура модуля SR

Пример работы алгоритма представлен на рисунке 8, в.

В **четвертой** главе проводится исследование эмпирической оценки алгоритмов анализа изображений электронной коммерции – проверяется точность, скорость и масштабируемость алгоритмов, а также другие ключевые показатели.

Был произведен анализ существующих наборов данных для обучения моделей компьютерного зрения, а также представлен собственный набор для решения задач обнаружения и сегментации товаров электронной коммерции, состоящий из 62 032 изображений, на которых представлено 26 классов объектов.

Определены основные метрики качества, с помощью которых можно оценить эффективность построенных моделей.

Для построенных алгоритмов, представленных в главе 3, были получены экспериментальные результаты и произведен их сравнительный анализ.

- Алгоритм сегментации изображений продемонстрировал высокую точность, превосходя базовые модели. Более того, эффективность алгоритма (FPS=28.31) делает его решением для приложений реального времени.
- Алгоритм распознавания изображений показал сбалансированную производительность с высокой точностью, а также универсальность и

пригодность для широкого спектра приложений электронной коммерции. Установлено, что модель внимания позволяет сети более точно сосредоточиться на признаках объекта. По сравнению с обучением классической сети YOLACT применение модели внимания дает улучшение на 3 % для задачи распознавания.

- Алгоритм автоматической обрезки изображения: точность обученной модели составила 86% для набора изображений товаров электронной коммерции, что обусловлено спецификой области.

- Алгоритм определения состава ткани: переход от обычного изображения предмета одежды к анализу его ткани значительно улучшает точность модели. Использование модели внимания привело к улучшению качества обучения и ускорению сходимости модели.

- Алгоритм автоматической генерации тени: был разработан метод для создания 2D-теней на изображениях продуктов электронной коммерции путем модификации сети SSN с помощью UNet Vision Transformer. Исследование продемонстрировало значительные улучшения по сравнению с исходной архитектурой, демонстрируя потенциал улучшения системы Smart Cropping.

Экспериментальная оценка представленных алгоритмов подчеркнула их потенциал. Эти алгоритмы предлагают решения основных проблем, с которыми сталкиваются платформы электронной коммерции. Высокая точность, эффективность и надежность, продемонстрированные алгоритмами, делают их ценными инструментами в конкурентной среде электронной коммерции.

Пятая глава посвящена программному комплексу для анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции. Этот комплекс включает в себя алгоритмы сегментации, распознавания объектов, обработки цвета, обрезки изображений, определения состава ткани и генерации теней. Его цель – автоматизировать и оптимизировать процессы визуальной обработки, повышая качество изображений и улучшая пользовательский опыт в онлайн-магазинах и других платформах электронной коммерции.

Была сформирована компонентная архитектура предлагаемого решения, включающая 3 подсистемы:

- пользовательскую (Front End) часть;
- серверную (Back End) часть;
- подсистему для анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции.

Архитектура комплекса представлена на рисунке 11.

Для реализации модуля анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции была разработана технология обработки информации. Ее схема представлена на рисунке 12.

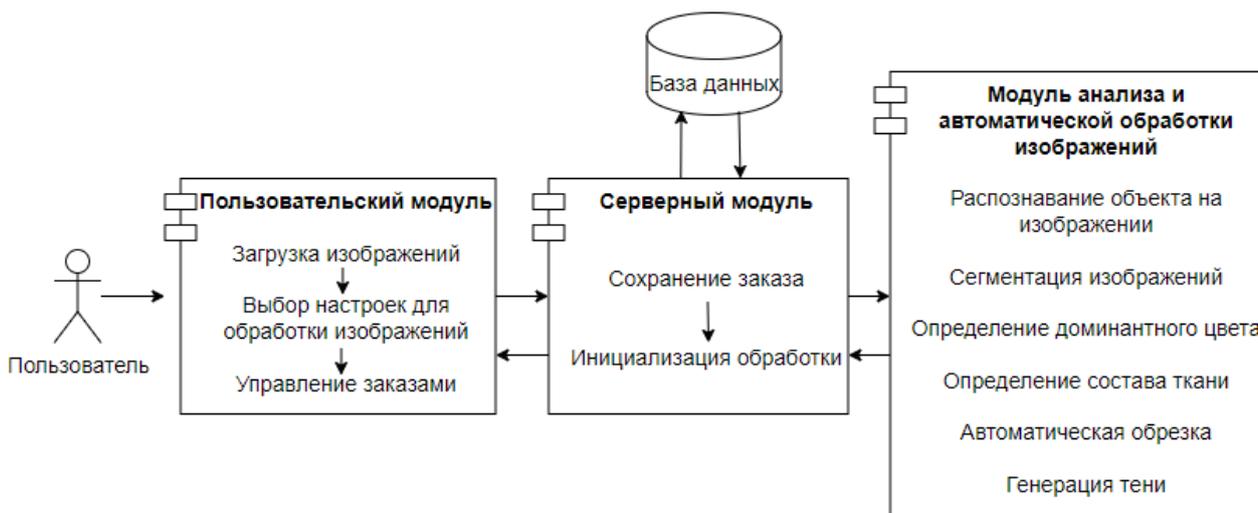


Рисунок 11 – Архитектура программного комплекса для автоматической обработки изображений электронной коммерции

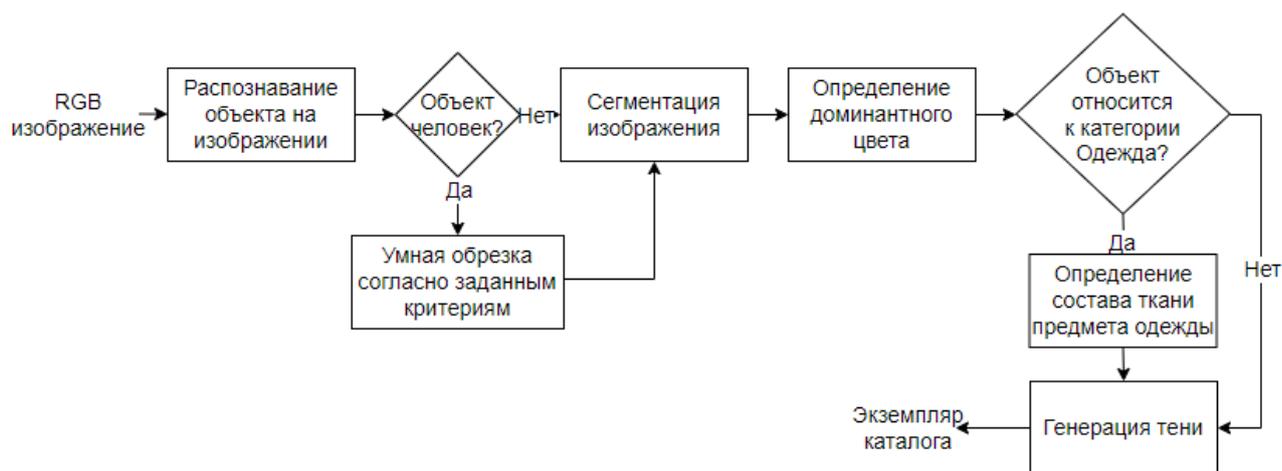


Рисунок 12 – Схема технологии автоматической обработки изображений электронной коммерции

Были приведены результаты использования модуля автоматической обработки изображений электронной коммерции через интеграцию в систему Retouchpro.ai.

Также была произведена оценка компонентов приложения, составляющих модуль анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции.

В дополнение были представлены примеры пользовательского интерфейса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан алгоритм сегментации изображений электронной коммерции, основанный на использовании метода стандартизации весов в нейросети [1-А], [8-А], [14-А]: новаторство заключается в эффективном применении методов стандартизации весов для улучшения точности (алгоритм превзошел базовые модели) и стабильности процесса сегментации изображений в электронной коммерции. Также отличительной чертой алгоритма является его применимость в приложениях реального времени.

2. Разработан алгоритм распознавания изображений товаров электронной коммерции с использованием модели внимания и нейронной сети [3-А], [11-А], [12-А]: уникальность данного алгоритма заключается в интеграции модели внимания, что повышает эффективность алгоритма в фокусировке на ключевых деталях изображений и улучшает точность распознавания товаров.

3. Разработан алгоритм для автоматической обрезки изображений электронной коммерции [2-А], [4-А], [9-А], [10-А]: новизна выражается в использовании автоматизированных методов обрезки, основанных на передовых принципах компьютерного зрения, что обеспечивает оптимальное визуальное представление товаров.

4. Разработан алгоритм определения состава ткани предметов одежды на изображениях электронной коммерции [5-А], [6-А]: важным результатом данного исследования было выявление того, что переход от обычного изображения предмета одежды к анализу его ткани значительно улучшает точность модели.

5. Разработан алгоритм автоматической генерации тени на изображении товара электронной коммерции, включая создание зеркальных, падающих и реалистичных теней [7-А], [13-А]: инновационность данного алгоритма заключается в создании автоматизированного инструмента для генерации реалистичных теней на изображениях товаров, повышая их визуальное качество. Исследование показало значительные улучшения по сравнению с исходной архитектурой, демонстрируя потенциал улучшения системы Smart Cropping, которая также была разработана в рамках данной диссертационной работы для подготовки изображений в электронные каталоги.

6. Разработан метод аугментации данных [7-А], используемый как для повышения качества обучаемых моделей и улучшения качества распознавания изображений электронной коммерции, так и для автоматической подготовки изображений для электронного каталога товаров.

7. Также был разработан программный комплекс для анализа и автоматической обработки изображений электронной коммерции [4-А], [15-А]. Данный программный комплекс был использован для создания системы автоматической обработки изображений товаров электронной коммерции. Благодаря автоматизированным алгоритмам, формирующим систему и значительно ускоряющим процессы обработки изображений, позволяя более быстро и точно анализировать их содержимое, построенный программный комплекс является не только эффективным инструментом для оптимизации процессов в электронной коммерции, но и стратегическим решением для улучшения визуального и информационного представления товаров онлайн.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные в диссертационном исследовании результаты интегрированы в реальный сервис автоматической обработки изображений электронной коммерции Retouchpro.ai, принадлежащий компании ООО «Коммерс Лаб» – дочерней компании австралийской компании eWave Ltd. (в настоящее время Globant Division). Retouchpro.ai решает общую проблему, возникающую почти у всех продавцов в сфере электронной коммерции, путем автоматизации процесса обработки изображений. Конечная цель платформы – повышение эффективности, прибыльности и готовности к росту бизнеса в области электронной коммерции (имеется акт о практическом применении).

Кроме того, они могут быть использованы как расширения в программах наподобие Adobe Photoshop, а также дизайнерами и людьми, связанными со сферой электронной коммерции (владельцами электронных магазинов, пиар- и контент-менеджерами и другими).

Полученные в диссертационной работе результаты использовались при выполнении различных НИР в БГУ, на механико-математическом факультете и факультете прикладной математики и информатики БГУ в рамках внедрения в учебный процесс для проведения лекционных и практических занятий (имеется 2 акта о практическом использовании).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных рецензируемых изданиях, включенных в перечень изданий, и в иностранных научных изданиях

1-А. Sorokina, V. Neural network training acceleration by weight standardization in segmentation of electronic commerce images / V. Sorokina, S. Ablameyko // Reliability Engineering and Computational Intelligence / eds. C. van Gulijk, E. Zaitseva. – Cham, 2021. – P. 237–244. – (Studies in Computational Intelligence ; Vol. 976).

2-А. Сорокина, В. В. Выделение отдельных участков тела человека на изображении с использованием нейронных сетей и модели внимания / В. В. Сорокина, С. В. Абламейко // Журн. Белорус. гос. ун-та. Математика. Информатика. – 2022. – № 2. – С. 94-106.

3-А. Сорокина, В. В. Распознавание изображений товаров электронной коммерции с использованием модели внимания и нейронной сети YOLACT / В. В. Сорокина, С. В. Абламейко // Информатика. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 74-85.

4-А. Sorokina, V. Image-based technology for creating a catalog of e-commerce goods using neural networks and attention model / V. Sorokina, S. Ablameyko // Central European Researchers J. – 2023. – Vol. 9, iss. 1. – P. 20–29.

5-А. Sorokina, V. Automatic determination of fabric composition of clothing in e-commerce images [Electronic resource] / V. Sorokina, S. Ablameyko // Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering. – 2023. – Vol. 8, iss. 2. – Mode of access: <https://juniperpublishers.com/ctfjte/CTFTTE.MS.ID.555730.php>. – Date of access: 01.02.2024.

6-А. Сорокина, В. В. Распознавание состава ткани предметов одежды на изображении в сфере электронной коммерции с использованием нейронных сетей / В. В. Сорокина // Информатика. – 2023. – Т. 20, № 3. – С. 37–49.

7-А. Сорокина, В. В. Метод аугментации данных для улучшения качества распознавания изображений электронной коммерции / В. В. Сорокина, С. В. Абламейко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундаментальные науки. Информатика, вычислительная техника и управление. – 2023. – № 2. – С. 29–34.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

8-А. Сорокина, В. В. Применение метода стандартизации весов в нейросети в задаче сегментации изображений электронной коммерции / В. В. Сорокина, С. В. Абламейко // Развитие информатизации и

государственной системы научно-технической информации РИНТИ–2020 : XIX Междунар. конф., 19 нояб. 2020 г., Минск : доклады / Объедин. ин-т проблем информатики Нац. акад. наук Беларуси ; ред.: А. В. Тузиков, Р. Б. Григянец, В. Н. Венгеров. – Минск, 2020. – С. 182–187.

9-А. Сорокина, В. В. SMART CROPPING : технология умной обрезки изображений [Электронный ресурс] / В. В. Сорокина // Веб-программирование и интернет-технологии. WebConf2021 : материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 18–21 мая 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т ; редкол.: И. М. Галкин (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2020. – С. 164–166. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46144992&pff=1>. – Дата доступа: 08.02.2024.

10-А. Sorokina, V. Extraction of human body parts in image using convolutional neural network and attention model / V. Sorokina, S. Ablameyko // Pattern Recognition and Information Processing. Artificial Intelligence : Facing the Challenges (PRIP'2021) : proc. of the 15th Intern. conf., Minsk, 21–24 Sept. 2021 / United Inst. of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus. – Minsk, 2021. – P. 84–88.

11-А. Sorokina, V. E-commerce image recognition using deep learning and attention model / V. Sorokina, S. Ablameyko // Science, Technology and Education. The Driving Force of Rapid and Sustainable Development : proc. of the Intern. scientific conf. series (ISC) 2022, Ho Chi Minh, 23 Sept. 2022 / Bing Duong Univ., Peter the Great St. Petersburg Polytechnic Univ., Belarusian State Univ., National Geographic Learning, Riken Research Inst. – BNU HCM Press, 2022. – P. 89–96.

12-А. Сорокина, В. В. Создание каталога товаров электронной коммерции с использованием нейронных сетей [Электронный ресурс] / В. В. Сорокина // Информационные системы и технологии (CSIST'2022) : материалы Междунар. науч. конгр. по информатике, Минск, 27–28 окт. 2022 г. : в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: С. В. Абламейко (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – С. 203–208. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/288542/1/203-208.pdf>. – Дата доступа: 08.02.2024.

13-А. Sorokina, V. 2D cast shadow generation in e-commerce image using unet vision transformer [Electronic resource] / V. Sorokina, S. Ablameyko // Information and Digital Technologies 2023 : proc. of the Intern. conf., Zilina, Slovakia, 20–22 June 2023. – Zilina, 2023. – P. 31–35. – Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10194446>. – Date of access: 08.02.2024.

Тезисы

14-A. Sorokina, V. Neural network training acceleration by weight standardization in segmentation of electronic commerce images [Electronic resource] / V. Sorokina, S. Ablameyko // Information and Digital Technologies 2020 : proc. of the intern. conf., Zilina, Slovakia, 27–29 Oct. 2020. – Zilina, 2020. – P. 13. – Mode of access: <https://ki.fri.uniza.sk/RECI2020/Abstracts%20of%20RECI%202020.pdf>. – Date of access: 08.02.2024.

15-A. Sorokina, V. Image-based technology for creating a catalog of e-commerce goods using neural networks and attention model [Electronic resource] / V. Sorokina, S. Ablameyko // Workshops on RECI 2022 and ACeSYRI 2022 : book of abstr., Zilina, Slovakia, Nov. 13–18 2022. – Zilina, 2022. – P. 57–58. – Mode of access: <https://ki.fri.uniza.sk/RECI2022/Abstracts.pdf>. – Date of access: 08.02.2024.



РЕЗЮМЕ

Сорокина Виктория Вадимовна

Исследование и разработка алгоритмов анализа изображений электронной коммерции с использованием нейронных сетей

Ключевые слова: нейронные сети, алгоритмы анализа, электронная коммерция, обработка изображений, автоматизация обработки

Цель работы: исследовать и разработать алгоритмы анализа изображений электронной коммерции с применением нейронных сетей для повышения качества и эффективности процесса их обработки.

Методы исследования и используемая аппаратура: теория анализа изображений, обучение с учителем и без учителя, высокопроизводительные графические процессоры (GPU), специализированные программные средства (PyTorch), облачная среда AWS.

Полученные результаты и их новизна: были разработаны инновационные алгоритмы анализа изображений электронной коммерции, включая метод сегментации с использованием стандартизации весов нейросети, алгоритм распознавания товаров с интегрированной моделью внимания, автоматическую обрезку изображений с применением методов компьютерного зрения, алгоритмы определения состава ткани и генерации реалистичных теней, метод аугментации данных. Дополнительно был разработан программный комплекс для анализа и обработки изображений, применяемый в системе автоматической обработки изображений товаров, ускоряя процессы в электронной коммерции и улучшая визуальное и информационное представление товаров онлайн.

Рекомендации по использованию: разработанные модели, алгоритмы и программный комплекс интегрированы в реальный сервис Retouchpro.ai, принадлежащий компании EWAVE (в настоящее время Globant Division). Кроме того, полученные результаты могут быть использованы как расширения в программах типа Adobe Photoshop, а также будут полезны дизайнерам и профессионалам в сфере электронной коммерции, таким как владельцы онлайн-магазинов, пиар- и контент-менеджеры.

Область применения: в сфере электронной коммерции для дальнейшего развития обработки изображений; в учебном процессе – для преподавания учебных дисциплин, использующих технологии компьютерного зрения для обработки изображений, и совершенствования образовательных программ.

РЭЗІЮМЭ

Сарокіна Вікторыя Вадзімаўна

Даследаванне і распрацоўка алгарытмаў аналізу малюнкаў электроннай камерцыі з выкарыстаннем нейронавых сетак

Ключавыя словы: нейронавыя сеткі, алгарытмы аналізу, электронная камерцыя, апрацоўка малюнкаў, аўтаматызацыя апрацоўкі

Мэта працы: даследаваць і распрацаваць алгарытмы аналізу малюнкаў электроннай камерцыі з ужываннем нейронавых сетак для павышэння якасці і эфектыўнасці працэсу іх апрацоўкі.

Метады даследавання і выкарастаная апаратура: тэорыя аналізу малюнкаў, навучанне з настаўнікам і без настаўніка, высокапрадукцыйныя графічныя працэсары (GPU), спецыялізаваныя праграмныя сродкі (PyTorch), воблачнае асяроддзе AWS.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: былі распрацаваны інавацыйныя алгарытмы аналізу малюнкаў электроннай камерцыі, у тым ліку метады сегментацыі з выкарыстаннем стандартызацыі вагаў нейрасеткі, алгарытмы распазнання тавараў з інтэграванай мадэллю ўвагі, аўтаматычная абрэзка малюнкаў з ужываннем метадаў камп'ютэрнага зроку, алгарытмы вызначэння складу тканіны і генерацыі рэалістычных ценяў, метады аугментацыі даных. Дадаткова быў распрацаваны праграмны комплекс для аналізу і апрацоўкі малюнкаў, які прымяняецца ў сістэме аўтаматычнай апрацоўкі малюнкаў тавараў, паскараючы працэсы ў электроннай камерцыі і паляпшаючы візуальнае і інфармацыйнае прадстаўленне тавараў онлайн.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: распрацаваныя мадэлі, алгарытмы і праграмны комплекс былі інтэграваны ў рэальны сэрвіс Retouchpro.ai, які належыць кампаніі EWAVE (цяпер Globant Division). Акрамя таго, атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны як пашырэнні ў праграмах тыпу Adobe Photoshop, а таксама будуць карысныя дызайнерам і прафесіяналам у сферы электроннай камерцыі, такім як уладальнікі анлайн-крам, піяр- і кантэнт-мэнэджары.

Вобласць ужывання: у сферы электроннай камерцыі для далейшага развіцця апрацоўкі малюнкаў; у навучальным працэсе – для выкладання навучальных дысцыплін, якія выкарыстоўваюць тэхналогіі камп'ютэрнага зроку для апрацоўкі малюнкаў, і ўдасканалення адукацыйных праграм.

SUMMARY

Sorokina Viktoria

Research and development of algorithms for analyzing e-commerce images using neural networks

Keywords: neural networks, analysis algorithms, e-commerce, image processing, processing automation

Purpose of the work: to explore and develop algorithms for analyzing e-commerce images using neural networks to enhance the quality and efficiency of their processing.

Research methods and the equipment used: network theory, system analysis, decision-making, distributed information processing; software components, development environments, cloud environment, knowledge base.

Obtained results and their novelty: innovative algorithms for analyzing e-commerce images have been developed, including a segmentation method using weights standardization in neural network, a product recognition algorithm with an integrated attention model, automatic image cropping using computer vision methods, algorithms for determining fabric composition and generating realistic shadows, method for data augmentation. Additionally, a software package was developed for image analysis and processing, used in the system for automatic processing of product images, speeding up processes in e-commerce and improving the visual and informational presentation of goods online.

Usage recommendations: the developed models, algorithms and software package are integrated into the real service Retouchpro.ai, owned by EWAVE (currently Globant Division). In addition, the results obtained can be used as extensions in programs such as Adobe Photoshop, and will also be useful to designers and e-commerce professionals, such as online store owners, PR and content managers.

Application area: in the field of e-commerce for further development of image processing; in the educational process - for teaching academic disciplines that use computer vision technologies for image processing, and improving educational programs.



Подписано в печать 25.03.2024. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,75.
Тираж 65 экз. Заказ 71.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика
в республиканском унитарном предприятии
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.