Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.85:004.932

Жалейко
Дмитрий Андреевич

Применение нейронных сетей в цифровой обработке изображений для автоматического улучшения качества и оптимизации графических элементов

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра технических наук

по специальности 7-06-0611-05 Компьютерная инженерия. Хранение и обработка данных

Научный руководитель
Перцев Дмитрий Юрьевич
доцент, кандидат технических наук

Минск 2026

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире цифровые изображения стали неотъемлемой частью практически всех сфер человеческой деятельности – от профессиональной фотографии и дизайна до медицины, производства и систем компьютерного зрения. Качество изображения напрямую влияет на восприятие информации, удобство работы с визуальными данными и точность автоматизированных систем анализа. Поэтому задача автоматического улучшения качества изображений и оптимизации графических элементов является актуальной как в научной, так и в практической плоскости.

Традиционные методы цифровой обработки изображений, основанные на фильтрации, статистических преобразованиях и классических алгоритмах компьютерного зрения, обладают рядом ограничений. Они, как правило, не учитывают глобальный контекст сцены и не способны адаптивно подстраиваться под различные типы изображений и условия их получения. В этой связи все большее внимание уделяется методам искусственного интеллекта, в частности – глубоким нейронным сетям.

Особый интерес представляет использование сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN), которые эффективно обрабатывают локальные особенности изображения, и трансформеров (Transformers), обладающих способностью улавливать глобальные зависимости и контекст. Комбинирование этих подходов открывает перспективы создания гибридных моделей, сочетающих преимущества обоих методов и обеспечивающих более высокое качество обработки.

Объектом исследования в данной работе выступают процессы цифровой обработки изображений, которые лежат в основе широкого спектра современных приложений – от художественной фотографии и дизайна до медицинской диагностики и систем машинного зрения. В рамках этих процессов рассматриваются различные подходы к улучшению качества визуальных данных и их адаптации под практические нужды.

Предмет исследования связан с методами повышения качества изображений и оптимизации графических элементов. Особое внимание уделяется применению гибридных нейронных сетей, объединяющих возможности сверточных архитектур для выделения локальных особенностей и трансформеров, способных улавливать глобальные взаимосвязи в изображении. Такой подход открывает перспективы разработки более универсальных и эффективных инструментов обработки визуальной информации.

Цель исследования заключается в разработке и апробации гибридного метода цифровой обработки изображений, основанного на интеграции сверточных нейронных сетей и трансформеров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов цифровой обработки изображений.

2. Изучить современные подходы на основе нейронных сетей, включая CNN и трансформеры.

3. Разработать архитектуру гибридной модели для обработки изображений.

Таким образом, актуальность работы определяется возрастающей потребностью в автоматизированных и интеллектуальных методах обработки изображений, способных сочетать высокую точность, адаптивность и практическую применимость.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью данной диссертационной работы является разработка и экспериментальное исследование гибридного метода восстановления изображений, ориентированного на повышение качества восстановления графических элементов и структурных деталей изображений, искаженных сложными комбинированными деградациями.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы и решены следующие задачи:

– проанализировать современные методы восстановления изображений на основе сверточных нейронных сетей и архитектур типа трансформер;

– разработать модель деградации изображений, имитирующую реальные искажения, характерные для цифровых изображений, включая шумы, размытие, компрессию и изменение разрешения;

– спроектировать гибридную архитектуру нейронной сети, объединяющую преимущества сверточных подходов и подходов на основе трансформеров.

– реализовать механизм адаптивного слияния локальных и глобальных признаков изображения;

– разработать декодер с учетом краевых характеристик, ориентированный на восстановление графических элементов и контуров;

– реализовать программный комплекс для обучения, тестирования и сравнительного анализа разработанного метода;

– провести экспериментальное исследование качества восстановления изображений с использованием количественных метрик и визуального анализа;

– выполнить сравнение предложенного метода с существующими подходами, включая DnCNN и SwinIR.

Личный вклад соискателя

Все основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично соискателем.

Автором самостоятельно:

– выполнен анализ предметной области и современных методов восстановления изображений;

– разработана модель деградации изображений, реализующая вероятностную схему применения искажений;

– спроектирована архитектура гибридной нейронной сети, включающая сверточный энкодер, блоки трасформеров, механизм Fusion Gate и edge-aware декодер;

– реализованы алгоритмы обучения, тестирования и сравнительного

анализа моделей;

– проведены экспериментальные исследования и выполнена интерпретация полученных результатов;

– подготовлен графический материал, иллюстрирующий особенности восстановления изображений и сравнительные результаты.

Программная реализация моделей, обучение нейронной сети, проведение экспериментов и оформление результатов выполнены автором самостоятельно.

Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

– предложена гибридная архитектура восстановления изображений, объединяющая такие методы обработки визуальной информации как сверточные методы и методы на основе трансформеров;

– разработан механизм адаптивного слияния признаков (Fusion Gate), обеспечивающий баланс между локальными и глобальными характеристиками изображения;

– предложен декодер с учетом краевых характеристик, усиливающий восстановление контуров и графических элементов;

– разработан подход к оценке качества восстановления изображений, учитывающий не только стандартные метрики, но и сохранение структурных и краевых особенностей изображений;

– экспериментально показано преимущество предложенного метода при восстановлении изображений с выраженными графическими элементами по сравнению с рядом существующих подходов.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности использования предложенного метода для восстановления изображений в прикладных задачах, где требуется высокое качество сохранения графических элементов, контуров и структурных деталей.

Разработанная модель и программная реализация могут быть использованы:

– в системах обработки цифровых изображений;

– при восстановлении изображений пользовательских интерфейсов, инфографики и визуальных материалов;

– в образовательных и исследовательских проектах, связанных с компьютерным зрением и нейронными сетями;

– в качестве основы для дальнейших исследований и модификаций гибридных архитектур восстановления изображений.

Программный код реализован с использованием открытых библиотек и может быть расширен и адаптирован под конкретные прикладные задачи.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложения.

Общий объем диссертационной работы составляет 115 страниц, из них 78 страниц текста, 20 рисунков, 24 таблицы, список использованных источников (27 наименований), список публикаций автора, приложение на 27 страницах, графический материал на 8 страницах.

Проверка на уникальность

Проведена экспертиза диссертационной работы на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: https://antiplagiat.ru) в on-line режиме.

В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов. Оригинальность диссертационной работы составляет 92,7 %.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе диссертационной работы выполнен анализ существующих методов цифровой обработки изображений. Рассмотрены классические алгоритмы улучшения качества изображений, включая методы повышения резкости, подавления шума и восстановления контуров. Особое внимание уделено методам, применяемым для обработки изображений с выраженными графическими элементами, такими как линии, границы объектов и текстурные структуры. Проведен сравнительный анализ достоинств и ограничений традиционных подходов, что позволило выявить ключевые проблемы, связанные с потерей четкости и структурных характеристик при наличии сложных искажений.

Во второй главе представлен анализ современных нейросетевых архитектур, применяемых для обработки изображений. Рассмотрены сверточные нейронные сети, модели на основе трансформеров и гибридные подходы, сочетающие локальное и глобальное представление признаков. Проанализированы особенности их архитектур, принципы работы и области применения. Отдельное внимание уделено возможностям нейросетевых моделей по восстановлению контуров и структурных элементов изображения, а также их ограничениям при работе с графическими и иллюстративными изображениями.

В третьей главе описана разработка гибридной архитектуры нейронной сети для улучшения резкости и контуров графических элементов. Представлена структура предложенной модели, объединяющей сверточный энкодер для извлечения локальных признаков и архитектурный модуль типа трансформер для моделирования глобальных зависимостей. Описан механизм адаптивного слияния признаков и декодер, ориентированный на сохранение краевых характеристик изображения. Приведено описание основных этапов функционирования модели и обоснование выбора архитектурных решений.

В четвертой главе рассматриваются вопросы подготовки данных и проведения экспериментального исследования. Описан процесс формирования обучающего и тестового наборов изображений, а также модель деградации, используемая для имитации реальных искажений. Представлены параметры обучения нейронной сети и используемые метрики оценки качества восстановления изображений. Проведено экспериментальное сравнение разработанного метода с существующими подходами, включая DnCNN и SwinIR, на основе количественных показателей и визуального анализа результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была исследована и решена задача восстановления цифровых изображений, искаженных в результате сложных комбинированных деградаций, с особым акцентом на сохранение и восстановление графических элементов изображения – контуров, границ объектов, текстурных деталей и структурных переходов яркости. Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что во многих практических задачах (визуальные интерфейсы, иллюстрации, технические и графические изображения) именно корректное восстановление структурных и краевых характеристик определяет информативность и воспринимаемое качество изображения.

В рамках работы был выполнен анализ существующих методов восстановления изображений, включая сверточные нейронные сети и современные архитектуры типа трансформер. Было установлено, что классические сверточные модели хорошо справляются с подавлением шумов, однако часто приводят к сглаживанию границ и потере мелких графических деталей. В свою очередь, модели на основе трансформеров способны учитывать глобальный контекст, но при этом не всегда обеспечивают точное восстановление локальных структур и краевых элементов при сложных деградациях.

На основе выявленных ограничений была разработана гибридная нейросетевая модель восстановления изображений, ориентированная на более точное сохранение структурной целостности и визуальной геометрии изображения. Архитектура модели объединяет сверточный энкодер для извлечения локальных признаков, архитектурный модуль типа трансформер для анализа глобальных зависимостей и пространственного контекста, а также механизм адаптивного объединения признаков, позволяющий балансировать вклад текстурной и структурной информации. Дополнительное внимание было уделено восстановлению краевых характеристик, что особенно важно для изображений с выраженными графическими элементами.

Для обучения и тестирования модели был сформирован набор изображений и реализована модель деградации, имитирующая реальные искажения, негативно влияющие на читаемость графических элементов, такие как размытие границ, шум и потеря детализации. Экспериментальная часть работы включала количественную и визуальную оценку качества восстановления.

Оценка результатов проводилась с использованием метрик PSNR и SSIM, а также анализа сохранения структурных и краевых характеристик изображений. Дополнительно применялось визуальное сравнение, основанное на графических иллюстрациях, в которых наглядно демонстрировалось восстановление контуров, резкости границ и мелких элементов. Сравнительный анализ с существующими методами – DnCNN и SwinIR – показал, что предложенная гибридная модель обеспечивает более высокое

качество восстановления графических структур, лучше сохраняет форму объектов и снижает степень визуального сглаживания по сравнению с базовыми подходами.

Таким образом, результаты работы подтверждают, что использование гибридных архитектур является эффективным решением для восстановления изображений с выраженными графическими элементами в условиях сложных деградаций. Разработанный подход может быть применен в задачах восстановления иллюстраций, интерфейсной графики, технических изображений и других визуальных данных, где критически важно сохранение структуры, контуров и визуальной читаемости.

Перспективы дальнейших исследований включают расширение набора структурных метрик, углубленный анализ сохранения краевых характеристик, а также оптимизацию модели для практического использования в системах реального времени и прикладных графических приложениях.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1 – Жалейко, Д. А. Нейросети в анализе эмоционального состояния и развития персонала и его влияния на успех проектов = Neural networks in the analysis of the emotional state and development of staff and its impact on the success of projects / Д. А. Жалейко, С. Н. Нестеренков, И. Г. Скиба // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 1 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 373–376.

2 – Баяк, Е. И. Искусственный интеллект в управлении проектами для создания адаптивных стратегий = Artificial intelligence in project management to create adaptive strategies / Е. И. Баяк, С. Н. Нестеренков, Д. А. Жалейко // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 1 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 316–320.

3 – Скиба, И. Г. Эффективное использование нейронных сетей в управлении персоналом для повышения производительности = Effective use of neural networks in personnel management to improve productivity / И. Г. Скиба, С. Н. Нестеренков, Д. А. Жалейко // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 1 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 363–367.