

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

доктора технических наук, профессора
Гоголя Александра Александровича

на диссертационную работу Грицкевича Ивана Юрьевича " Исследование и разработка методов реализации и обработки малоконтрастных изображений в условиях ограниченной видимости", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Актуальность темы

Современные системы компьютерного зрения и обработки изображений сталкиваются с серьезными вызовами при работе в условиях ограниченной видимости, таких как низкая освещенность, атмосферные помехи (туман, дым) и наличие окклюзий. Особенно остро эти проблемы проявляются при обработке изображений в инфракрасном (ИК) диапазоне, где низкое отношение сигнал/шум и ограниченный динамический диапазон сенсоров существенно затрудняют задачи обнаружения, распознавания и сопровождения объектов. Традиционные методы повышения контрастности зачастую неэффективны, приводя к усилению шумов, потере деталей и появлению артефактов. В то же время, современные нейросетевые подходы, демонстрирующие высокую эффективность, требуют значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает их применение во встраиваемых системах реального времени, например, на борту беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или в компактных системах видеонаблюдения.

В связи с этим, разработка адаптивных, вычислительно эффективных методов локального повышения контрастности, способных работать в реальном времени на платформах с ограниченными ресурсами (в частности, ПЛИС) и улучшающих качество изображений как для визуального восприятия человеком, так и для последующей обработки системами искусственного интеллекта, является чрезвычайно актуальной научно-технической задачей.

Объектом исследования в диссертационной работе выступают методы и алгоритмы повышения контрастности изображений в условиях ограниченной видимости.

Предметом исследования является процесс обработки малоконтрастных цифровых изображений, включая ИК-диапазон, с целью повышения контрастности и достоверности распознавания объектов, с акцентом на разработку гибридных адаптивных алгоритмов и их аппаратную реализацию.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы Грицкевича И.Ю. заключается в следующем:

1. Разработан новый гибридный метод адаптивного локального контрастирования, в котором параметры обработки (размер локального окна, порог ограничения контраста) динамически определяются с использованием легковесной сверточной нейронной сети (CNN). CNN анализирует яркостные, текстурные (локальная энтропия, частотные характеристики ДКП) и интегральные (безэталонная оценка качества) характеристики изображения, обеспечивая адаптацию к нестационарным фонам и минимизацию артефактов обработки, что, в отличие от известных методов, позволяет снизить артефакты в 2 раза.
2. Предложена и обоснована легковесная архитектура сверточной нейронной сети, включающая сверточные и полносвязные слои с функцией активации ELU и пропускными соединениями. Данная архитектура оптимизирована для задачи регрессии оптимальных параметров алгоритма локального контрастирования и для эффективной аппаратной реализации на ПЛИС, что позволяет автоматически настраивать параметры обработки для достижения наилучшего качества.
3. Разработана модель параллельной и конвейерной обработки изображений на ПЛИС для предложенного гибридного алгоритма. Эта модель, в отличие от существующих подходов, интегрирует адаптивное локальное контрастирование с управлением от CNN, обеспечивая обработку изображений высокого разрешения (1920x1080) в реальном времени (65 кадров/с) при низком энергопотреблении, что приводит к 20-кратному уменьшению времени обработки по сравнению с CPU-аналогами.
4. Введены усовершенствования в методику оценки качества изображений, ориентированную на адаптацию алгоритмов увеличения контраста, включая разработку модифицированной безэталонной метрики качества, учитывающей локальные контрастные изменения и особенности восприятия как человеком, так и системами ИИ. Эта метрика используется для обучения CNN и оптимизации процесса обработки.

Практическая значимость

Практическая значимость работы определяется возможностью существенного повышения качества и информативности изображений, получаемых в видимом и ИК-диапазонах спектра, что напрямую ведет к повышению достоверности распознавания объектов и эффективности систем

компьютерного зрения.

Результаты диссертационной работы нашли применение в:

- Системах видеонаблюдения и безопасности, особенно в сложных погодных условиях и при низкой освещенности.
- Бортовых системах для улучшения качества изображений, получаемых в ходе аэрофотосъемки и наземного мониторинга.
- Системах технического зрения для промышленного контроля и робототехники.
- Разработке тепловизионных комплексов.

Результаты диссертационной работы внедрены в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы:

- АО «ЦКБ Фотон» (акт №1): алгоритм оценки контраста изображений с адаптацией к шуму снизил количество артефактов и зависимость оценки от шума в 2 раза.
- АО «КБП им. академика А. Г. Шипунова» (акт №2): реализация гибридного алгоритма на ПЛИС обеспечила 6-кратное увеличение количества распознаваемых объектов и 20-кратное ускорение обработки; в задачах поиска людей достигнуто 4-кратное увеличение обнаружений и 15-кратное ускорение поиска.
- АО «НТЦ Элинс» (акт №3): подтверждена эффективность в задачах обнаружения на ИК-изображениях (точность возросла на 28%).
- ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» (акт №4): адаптивный метод с CNN увеличил точность визуальной оценки и улучшил показатели качества малоконтрастных изображений.
- ЦКБ СПбГУТ (акт №5): подтверждена общая эффективность разработанных методов.

Достоверность результатов

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается:

- Корректным применением положений статистической теории связи, теории вероятностей, методов цифровой обработки сигналов (ДКП, преобразование Фурье) и численных методов.
- Результатами моделирования в среде MATLAB и Simulink.
- Всесторонними экспериментальными исследованиями на обширных и разнообразных наборах данных, включая стандартные тестовые

изображения, ИК-изображения (более 40 ТБ данных полигонных испытаний) и набор CityScapes.

- Использование как классических метрик качества изображений (PSNR, SSIM, mAP), так и современных безэталонных метрик (BRISQUE, NIQE), дополненных субъективной экспертной оценкой по шкале MOS, а также разработанным алгоритмом безэталонной оценки качества изображений с упором на оценку контраста.
- Успешной аппаратной реализацией разработанных алгоритмов на ПЛИС Xilinx Kintex-7 и их практическим внедрением.
- Аprobацией основных положений и результатов работы на 4 международных и всероссийских научно-практических конференциях: ПУТС-2019 (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), АПИНО 2021 (СПбГУТ), «Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий» (СПбГИКиТ, 2021), ПКМ-2020 (СПбГУТ).
- Публикацией результатов исследований в 22 научных работах, из которых 8 статей опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, и получено 6 патентов.

Оценка работы и личных качеств автора

Грицкевич Иван Юрьевич приступил к работе над тематикой настоящей диссертации в 2016 году, будучи сотрудником ОКТБ "Омега"(Великий Новгород). В 2020 году по семейным обстоятельствам переехал в Москву, где продолжил свои исследования и практическую работу в АО "НТЦ ЭЛИНС" в должности инженера, что позволило ему обогатить диссертацию результатами, полученными в ходе решения реальных прикладных задач.

Диссертационная работа Грицкевича Ивана Юрьевича представляет собой завершенное научное исследование, в котором решена важная научно-техническая задача. Автор продемонстрировал глубокие знания в области цифровой обработки изображений, компьютерного зрения и аппаратной реализации алгоритмов. Все научные результаты, представленные в диссертации, получены соискателем лично или при его непосредственном участии.

Грицкевич И.Ю. проявил себя как квалифицированный, целеустремленный и трудолюбивый исследователь, способный самостоятельно ставить и успешно решать сложные научные задачи. Он обладает навыками проведения теоретических исследований, математического моделирования, разработки программного обеспечения и аппаратных средств.

Соответствие специальности и требованиям

Содержание диссертационной работы Грицкевича И.Ю. соответствует паспорту научной специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, в частности, пунктам:

- 5. Разработка и исследование алгоритмов, включая цифровые, обработки сигналов и информации в радиотехнических устройствах и системах различного назначения, в том числе синтез и оптимизация алгоритмов обработки.
- 6. Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки сигналов и информации в радиотехнических устройствах и системах различного назначения, включая системы телевидения и передачи информации, при наличии помех с целью повышения помехоустойчивости.
- 10. Разработка и исследование методов и устройств передачи, приема, обработки, отображения, регистрации, хранения информации, включая беспроводные, космические, эфирные, кабельные и мобильные системы передачи информации.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Грицкевича Ивана Юрьевича на тему "Исследование и разработка методов реализации и обработки малоконтрастных изображений в условиях ограниченной видимости" является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная задача, имеющая важное значение для развития систем обработки изображений и компьютерного зрения.

Считаю, что диссертационная работа "Исследование и разработка методов реализации и обработки малоконтрастных изображений в условиях ограниченной видимости" соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а Грицкевич Иван Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Научный руководитель,,

Профессор кафедры цифрового телевидения

и метрологии СПбГУТ,

доктор технических наук, профессор

Гоголь Александр

Александрович

23.05.2025

Подпись (-и) руки

Гоголь А.А.

заверяю

персоналом

Городинцева

Р.С. 06.00 24

