

"УТВЕРЖДАЮ"

Ректор Ярославского
государственного университета им.
П.Г. Демидова



А.В. Иванчин

01 декабря 2025

ОТЗЫВ

ведущей организации

**на диссертационную работу Пронькина Антона Викторовича
«Методы и алгоритмы с низкой вычислительной сложностью фильтрации
шума и детектирования границ цифровых изображений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы**

Актуальность темы

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена важностью предварительной обработки цифровых изображений в системах технического зрения (СТЗ) реального времени. К подсистеме предварительной обработки изображений предъявляются два противоречивых требования. Входное изображение должно, во-первых, быть улучшено так, чтобы обеспечивалась успешная работа подсистем СТЗ более высокого уровня (обнаружение целевых объектов, совмещение изображений и т.д.). Во-вторых, обработка должна быть выполнена за минимальное время для того, чтобы оставалось больше времени на решение задач более высокого уровня. Широкое распространение СТЗ, особенно в областях с жесткими ограничениями по вычислительным ресурсам (бортовые системы летательных аппаратов, робототехнических комплексов, СТЗ на поточных линиях промышленных предприятий), предъявляет высокие требования к эффективности алгоритмов предварительной обработки изображений. Задачи подавления шума и детектирования границ являются фундаментальными, и разработка методов, сочетающих высокое качество обработки с низкой вычислительной сложностью, представляет значительный практический и научный интерес.

Характеристика структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, трех основных разделов, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 139 страницах и содержит 99 наименований в библиографии. Содержательная часть логически выстроена и последовательно раскрывает решение поставленных задач.

Во введении приведены: обоснование актуальности темы исследования и степень ее проработанности; сформулированы цель диссертационного исследования, вытекающие из нее задачи, научная новизна и положения, выносимые на защиту, а также практическая значимость работы с указанием результатов внедрения. Также определены объект и предмет исследования, соответствие паспорту специальности.

Первый раздел представляет собой подробный аналитический и практический анализ современных методов предварительной обработки изображений и методов детектирования границ перепада яркостей. В нем проведен сравнительный анализ линейных и нелинейных методов фильтрации дискретного белого и периодического шума, методов оценки дисперсии шума и детектирования границ. Экспериментальное сравнение линейных и нелинейных фильтров дискретного белого шума выполнено на единой цифровой платформе. На основании этого анализа сделан вывод о целесообразности использования для фильтрации такого вида шума нелинейных фильтров. При этом из двух наиболее известных нелинейных фильтров – билатерального фильтра и сигма-фильтра – в соответствии с целевой установкой о минимизации вычислительной сложности алгоритмов предварительной обработки сделан вывод о целесообразности использования сигма-фильтра для фильтрации дискретного белого шума.

Задача детектирования границ перепада яркостей относится к числу фундаментальных задач цифровой обработки изображений. Предложено большое число детекторов в основном градиентного типа. Одним из лучших среди них справедливо считается метод Кенни. Приведенная в диссертации цель создания детектора границ, не уступающего методу Кенни по качеству, но имеющего существенно меньшую вычислительную сложность, заслуживает внимания.

Названные две основные задачи диссертационного исследования – оценивание дисперсии дискретного белого шума и детектирование границ – дополняются еще двумя задачами, а именно: модификации методов подавления дискретного шума и метода фильтрации периодического шума.

Второй раздел является ключевым в части решения задач, связанных с фильтрацией дискретного белого шума. В данном разделе:

1. Предложен метод оценки дисперсии шума на основе разностных операторов с векторными масками, включающий блочный и строчный варианты реализации.
2. Разработана и экспериментально исследована модификация алгоритмов линейной и нелинейной фильтрации, использующая апостериорную оценку шума для автоматического выбора размера маски и порога фильтрации.

Предложенный метод оценивания дисперсии дискретного белого шума имеет несомненную научную значимость, что подтверждается, в частности, большим числом цитирований (более 20 цитирований) за относительно короткий промежуток времени (4 года) основополагающей работы, опубликованной автором в соавторстве с научным руководителем в журнале «Компьютерная оптика» в 2021 году.

Здесь же во втором разделе приведены описания модифицированных вариантов линейной фильтрации, использующей апостериорные оценки дисперсии шума для выбора размеров матричных масок фильтров. Важной также является модификация нелинейного сигма-фильтра. В составе вычислительного алгоритма этого метода в явном виде присутствует оценка дисперсии шума. Корректная оценка дисперсии шума позволяет эффективно подавлять шум, не размывая при этом границы перепада яркостей.

Третий раздел посвящен решению задач детектирования границ и фильтрации периодического шума. В этом разделе:

1. Разработан градиентный метод детектирования границ, в котором для оценки частных производных применяются векторные маски, обладающие сглаживающими свойствами, что позволило отказаться от этапа предварительного сглаживания.
2. Предложен оригинальный алгоритм автоматического выбора порогов на основе анализа гистограммы модулей градиентов, направленный на минимизацию неинформативных линий.
3. Продемонстрировано приложение разработанного детектора границ для решения задачи автоматической фильтрации периодического шума путем локализации областей в окрестности локальных максимумов амплитудного спектра.

Отказ от матричных масок для получения оценок частных производных в составе вектора градиента в каждом пикселе изображения в пользу векторных масок, а также оригинальный способ формирования и использования двух порогов для разделения на классы скалярного поля модулей градиентов позволили в 2,5–3 раза сократить вычислительную сложность метода по сравнению с методом Кенни. При этом в предложенном методе формируется контурное изображение с минимальным числом коротких неинформативных линий.

Публикация нового метода детектирования границ цифрового изображения в журнале «Вестник РГРТУ» вызвала заметный интерес у специалистов (более 900 просмотров и более 15 цитирований).

В последнем подразделе третьего раздела рассмотрено применение разработанного детектора границ в качестве одного из многих приложений для формирования границ областей в окрестности максимумов амплитудного спектра в задаче фильтрации периодического шума.

Заключение содержит систематизированные выводы по всей работе, отражающие достижение поставленной цели и решение конкретных задач исследования. Здесь подчеркнут системный подход в рамках диссертационного исследования к использованию линейных операторов с векторными масками для решения поставленных задач.

В приложении А приведены акты внедрения в производство и использования результатов в учебном процессе в технических вузах.

В приложении Б приведены сканы свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научная новизна и достоверность результатов диссертации

На защиту вынесены следующие научные результаты, обладающие новизной:

- разработан метод оценки дисперсии дискретного белого шума на основе разностных операторов с векторными масками, превосходящий аналоги по точности (на 8–10%) и быстродействию (в 5–12 раз);
- предложена модификация алгоритмов линейной и нелинейной фильтрации, использующая апостериорную оценку шума предлагаемым методом для автоматической настройки параметров;
- создан градиентный метод детектирования границ с использованием векторных масок и оригинального алгоритма автоматического выбора порогов, который в 2,5–3 раза быстрее и формирует в 10–50 раз меньше неинформативных линий по сравнению с методом Кенни;
- разработан алгоритм автоматической фильтрации периодического шума, использующий предложенный детектор границ для построения маски в частотной области.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием математического аппарата, результатами сравнительных экспериментов, представленных в виде таблиц и графиков, а также значительным числом публикаций (6 статей в журналах ВАК, 5 публикаций в Scopus/Web of Science), участием в написании четырех глав монографии, опубликованной в 2023 году, участием в большом количестве международных и всероссийских конференций, а также свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Практическая ценность и внедрение

Практическая ценность работы подтверждается внедрением разработанного автором программного обеспечения и описаний к нему в двух организациях, занимающихся разработкой СТЗ для конкретных промышленных производств и специальных целей, а также в учебном процессе двух вузов:

- в ООО «Квантрон Групп» (г. Рязань) в составе комплекса дефектоскопии;
- в АО «РИФ» (г. Воронеж) при создании оптико-электронных систем военного назначения;
- в учебные процессы ФГБОУ ВО «РГРТУ» и ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ».

Соответствие паспорту специальности

Тема, содержание и результаты диссертации полностью соответствуют пунктам 1, 4, 17 паспорта специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Замечания по диссертации

Несмотря на безусловные достоинства работы, можно сделать некоторые замечания, не снижающие ее общей ценности:

1. В работе представлено сравнение разработанных алгоритмов с классическими алгоритмами (Кенни, Собеля и др.), однако в настоящее

время активно развиваются методы детектирования границ и фильтрации шумов на основе сверточных нейронных сетей (CNN). Целесообразно было бы кратко обсудить потенциальные преимущества и недостатки предложенных подходов по сравнению с данными современными направлениями, даже если они не использовались в рамках данного исследования.

2. В тексте приведены впечатляющие цифры по ускорению (в 5-12 раз, 2,5-3 раза), однако отсутствует детальное описание условий проведения замеров (точные характеристики вычислительного оборудования, версии компиляторов, используемые библиотеки). Для полной воспроизводимости результатов и объективности сравнения следовало бы унифицировать условия тестирования для всех сравниваемых алгоритмов.
3. В разделе, посвящённом фильтрации периодического шума, упоминается о двукратном применении операций дилатации и эрозии. Для большей убедительности методики рекомендуется дополнить этот выбор кратким экспериментальным обоснованием и подтверждением, что выбранный размер структурного элемента является оптимальным для решения задачи.
4. В работе акцент сделан на преимущества методов. Для полноты научного описания целесообразно было бы явно очертить круг задач и условий, в которых эффективность предложенных алгоритмов может снижаться (например, для изображений с очень сложной текстурой, при наличии артефактов сжатия, при экстремально низких соотношениях сигнал/шум).
5. Предлагаемые методы ориентированы на системы реального времени, однако основное тестирование проводилось на процессорах общего назначения. Для полного обоснования применимости в бортовых системах целесообразно дополнительно оценить производительность на типовых встраиваемых платформах и процессорах цифровой обработки сигналов.

Данные замечания носят конструктивный характер и направлены на дальнейшее совершенствование как самой диссертационной работы, так и перспективных исследований автора. Они не отменяют высокой научной и практической ценности представленных результатов.

Заключение

Диссертационная работа «Методы и алгоритмы с низкой вычислительной сложностью фильтрации шума и детектирования границ цифровых изображений» представляет собой завершённое научное исследование, в котором решена актуальная научная задача разработки высокоэффективных методов предварительной обработки изображений для систем технического зрения реального времени. Автор разработал новые и модифицировал существующие методы, доказав их преимущества перед аналогами в ходе экспериментальных исследований и практических внедрений.

Представленная к защите диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к

диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Пронькин Антон Викторович, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены 28 ноября 2025 г. на заседании кафедры цифровых технологий и машинного обучения (протокол № 3) Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова.

Заведующий кафедрой

кандидат физико-математических наук,

доцент



Чистяков Михаил Валерьевич

Профессор кафедры

доктор технических наук,

профессор



Приоров Андрей Леонидович

Сведения о лицах, подготовивших отзыв:

Чистяков Михаил Валерьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой цифровых технологий и машинного обучения.

Приоров Андрей Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры цифровых технологий и машинного обучения.

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»
150003, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14
Тел.: +7 (4852) 79-77-02
E-mail: rectorat@uniyar.ru

С отзывом ознакомлен 04.12.25 