

ОТЗЫВ

**официального оппонента д.т.н., доцента Николаева Дмитрия Петровича
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 и научная значимость

Актуальность темы диссертационной работы Пронькина А.В. обусловлена широким применением систем технического зрения (СТЗ), работающих в режиме реального времени. Особую актуальность проблема сокращения вычислительной сложности методов и алгоритмов предварительной обработки изображений приобретает в условиях ограниченных вычислительных ресурсов, например, на борту летательных аппаратов. Летательные аппараты оснащены большим набором сенсоров, позволяющих следить в автоматическом режиме, как за работой систем летательного аппарата, так и за окружающей обстановкой. Минимизация времени решения задач предварительной обработки цифровых изображений в рамках СТЗ реального времени создает дополнительные возможности для решения задач более высокого уровня.

Задачи фильтрации дискретного белого шума, детектирования границ перепада яркостей имеют многолетнюю историю. Разработаны и широко используются на практике признанные научным сообществом методы решения названных задач. Исходя из этого, автору диссертационного исследования необходимо было предложить оригинальные решения, не уступающие по качеству известным мировым образцам. При этом, как уже отмечалось, они должны иметь в соответствии с заявленной целью исследования более низкую вычислительную сложность.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 139 страницах. Список литературы содержит 99 наименований.

Во Введении в краткой форме приведены: обоснование актуальности темы диссертационного исследования, степень проработанности темы, цель и задачи исследования, научная новизна и положения, выносимые на защиту, практическая значимость полученных в диссертации результатов с указанием результатов внедрения, соответствие паспорту специальности.

Первый раздел диссертации содержит достаточно подробный обзор российских и зарубежных источников по методам предварительной обработки изображений. Анализ методов фильтрации импульсного и дискретного белого шума (ДБШ) наряду с теоретическими оценками сопровождается экспериментальными исследованиями линейных и нелинейных сглаживающих операторов. На основании этого анализа делается вывод о целесообразности использования для фильтрации ДБШ нелинейных фильтров. С учетом высокой вычислительной сложности билатерального фильтра автор делает вывод о целесообразности использования сигма-фильтра. Однако вычислительный алгоритм последнего предполагает знание дисперсии ДБШ в составе обрабатываемого цифрового изображения. В связи с этим формулируется в качестве одной из основных задач диссертационного исследования – задача оценивания дисперсии шума цифрового изображения.

В качестве второй основной задачи исследования, тесно связанной с задачей фильтрации шума, в первом разделе диссертации Пронькина А.В. формулируется задача построения нового метода детектирования границ перепада яркостей, не уступающего по качественным характеристикам признанному методу Кенни, но имеющего существенно меньшую вычислительную сложность.

Во втором разделе диссертации излагаются разработанные автором два близких по базовым принципам метода оценивания дисперсии ДБШ. Предлагаемые методы относятся к классу блочных методов. Основная идея последних заключается в разбиении изображения на блоки и поиске одного или нескольких блоков с минимальными дисперсиями. В каждом из этих блоков осуществляется сглаживание изображения с помощью линейных операторов с векторными масками близких размеров (например, 7×7 и 9×9). Из результатов одного сглаживания вычитаются результаты другого сглаживания. Такая процедура при должном подборе векторных масок приводит к аннулированию низкочастотной составляющей изображения. Вычисляется выборочная дисперсия преобразованной случайной составляющей, которая при известном законе распределения весовых коэффициентов разностного оператора пересчитывается в дисперсию ДБШ в составе исходного цифрового изображения.

Приведенные в диссертации результаты экспериментальных исследований подтверждают более низкую (в 5-12 раз в зависимости от сравниваемого метода) вычислительную сложность метода по сравнению с медианными методами, методами, основанными на спектральном анализе, и другими методами из группы блочных методов.

В этом же разделе автор приводит примеры использования апостериорных оценок дисперсии для использования в задачах фильтрации ДБШ и, в частности, для модификации сигма-фильтра.

Третий раздел посвящен изложению и экспериментальной проверке нового метода детектирования границ перепада яркостей цифрового изображения. Предлагаемый метод относится к классу градиентных методов. Автор рассматривает его как аналог широко известного метода Кенни и одновременно как альтернативу ему. В отличие от метода Кенни и других градиентных методов в предлагаемой разработке для оценивания частных производных в составе вектора градиента используются не матричные маски Собела или Превитта, а векторные маски, являющиеся оценками метода

наименьших квадратов в параболической модели с конечной памятью. Такие маски дают сглаженные оценки частных производных, что позволяет отказаться от первого этапа в методе Кенни – предварительного сглаживания изображения.

Другое принципиальное отличие от метода Кенни заключается в способе формирования и использования двух порогов на скалярном поле модулей градиентов. Автор формирует сначала нижний порог и исключает из дальнейшего рассмотрения все потенциальные пиксели границы, модуль градиента в которых меньше нижнего порога. Результатом такой модификации является существенное снижение числа коротких неинформативных линий в составе сформированного контурного изображения и сокращение времени формирования контурного изображения.

В качестве приложения разработанного метода детектирования границ в третьем разделе рассматривается задача фильтрации периодического шума цифрового изображения. Традиционно эта задача решается переходом из пространственной области в частотную с помощью дискретного преобразования Фурье. В частотной области строится амплитудный спектр. Периодическому шуму на спектре отвечают локальные максимумы, вместе с некоторой областью в окрестности этих максимумов. Для обнаружения границ этих областей Пронькин А.В. предложил использовать разработанный им детектор границ.

В заключении диссертации приведены основные выводы по работе, полученные новые результаты и пути их развития.

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

В приложении Б приведены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научная новизна и достоверность результатов диссертации

Можно выделить следующие основные научные результаты:

- 1) метод оценки дисперсии шума на основе векторных масок, превосходящий аналоги по точности (на 8–10%) и скорости (в 5–12 раз).
- 2) модифицированные алгоритмы фильтрации с использованием апостериорной оценки шума;
- 3) градиентный метод детектирования границ, позволяющий ускорить обработку в 2,5–3 раза и сократить число неинформативных линий в 10–50 раз по сравнению с методом Кенни;
- 4) алгоритм фильтрации периодического шума с применением детектора границ, реализуемый в автоматическом режиме.

Достоверность результатов диссертации подтверждается экспериментально, а также свидетельствами о государственной регистрации программ и публикациями в журналах из перечня ВАК (6 статей), Scopus и Web of Science (5 статей), участием в написании монографии. Корректность методов и обоснованность выводов подтверждается формулами, таблицами и графиками.

Практическая ценность и внедрение

Результаты диссертации получили внедрение в промышленности: ООО «Квантрон Групп» для дефектоскопии РЕТ-префор; АО «РИФ» при создании оптико-электронных систем военного назначения. А также внедрены в учебные программы РГРТУ и КНИТУ-КАИ.

Текст диссертации изложен ясным, технически грамотным языком, подробно иллюстрирован примерами, графиками; описание моделей и реализующих их алгоритмов выполнено корректно. Каждый раздел диссертации завершается выводами. Заключение отражает общие итоги и результаты исследований.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. В нем сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, приведены научная новизна и практическая значимость полученных результатов,

изложены основные результаты исследований по каждому разделу диссертации.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация соответствует пунктам 1, 4, 17 паспорта специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы:

Пункт 1. Разработка компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей на основе обмена информацией пользователями и возможностей используемого программно-аппаратного обеспечения.

Пункт 4. Разработка методов и технологий цифровой обработки аудиовизуальной информации с целью обнаружения закономерностей в данных, включая обработку текстовых и иных изображений, видео контента. Разработка методов и моделей распознавания, понимания и синтеза речи, принципов и методов извлечения требуемой информации из текстов.

Пункт 17. Разработка методов обеспечения надежной обработки информации и обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций для целей передачи, хранения и защиты информации; разработка основ теории надежности и безопасности использования информационных технологий.

Общие замечания

В качестве недостатков диссертационной работы считаю необходимым отметить следующее:

1. В первом разделе диссертации подробно изложены свойства линейных и нелинейных фильтров дискретного белого шума. С одной стороны, это диктуется логикой первой задачи диссертационного исследования. С другой стороны, методы фильтрации хорошо изучены и больше времени можно было уделить сравнительному анализу известных методов оценивания дисперсии ДБШ.

2. В третьем разделе сравнение предложенного метода детектирования границ перепада яркостей проведено лишь с методом Кенни. Несмотря на справедливое утверждение автора диссертации о том, что метод Кенни признан лучшим не только в группе градиентных методов, но и среди всех известных методов, целесообразно было выполнить сравнение с некоторыми из них.

3. Во втором и третьем разделах диссертации приведены достаточно лаконичные описания способов применения результатов решения основных задач – оценивания дисперсии дискретного белого шума и детектирования границ соответственно – к решению задач фильтрации ДБШ и периодического шума. Целесообразно было выделить задачи фильтрации обоих видов шума в отдельный четвертый раздел с более подробным анализом результатов экспериментальных исследований предлагаемых модификаций.

4. В работе заявлено ускорение методов оценивания СКО шума и детектирования границ на цифровых изображениях, оцениваемых на базе процессора Intel Core(TM) i7. Учитывая, что целевой областью применения разработанных алгоритмов являются бортовые системы с ограниченными ресурсами, представляется крайне полезным и логичным дополнить исследование тестированием на процессорах с энергоэффективной архитектурой ARM, которые доминируют в данной предметной области.

Указанные замечания не снижают в целом научной значимости результатов, полученных Пронькиным А.В. в диссертационной работе.

Заключение

Диссертационная работа Пронькина А.В. является завершенной научно-квалификационной работой, соответствующей специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы, в которой решена важная научная задача снижения вычислительной сложности предложенной им группы методов предварительной обработки изображений, качественные и

количественные характеристики которых не уступают или превосходят лучшие из известных аналогов.

Считаю, что 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

Официальный оппонент, Руководитель отдела 95 «Зрительные системы» Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», доктор технических наук, доцент

Николаев Дмитрий Петрович



Докторская диссертация защищена по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Подпись д.т.н., доц. Николаева Дмитрия Петровича удостоверяю:
Ученый секретарь Федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук»

« 10 » 11 2025



Захаров Виктор Николаевич

Федеральное государственное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Информатика
и управление» Российской академии наук»,
119333, Москва, ул. Вавилова, д.44, кор.2.
Тел. 7(499) 135-62-60, E-mail: frcsc@frcsc.ru

С отзывом ознакомлен 21.11.2025 8 