ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента Орлова Алексея Александровича на диссертацию Чинь Ван Тоан «Алгоритмы вейвлет-фильтрации и нейросетевой обработки зашумленных изображений на основе усиления низкочастотных компонент», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность работы и ее соответствие специальности

Диссертационная работа Чинь Ван Тоан посвящена актуальной и практически значимой задаче повышения эффективности фильтрации изображений, искажённых мультипликативным шумом. Такие искажения характерны для радиолокационных, ультразвуковых и оптических когерентных систем формирования изображений, где традиционные методы фильтрации либо недостаточно подавляют шум, либо приводят к размытию границ объектов и потере мелких деталей. Вейвлет-преобразование и нейросетевые подходы демонстрируют относительно высокую эффективность в задачах шумоподавления, особенно для аддитивных шумов. Для мультипликативного шума их эффективность снижается из-за низкого отношения сигнал-шум в высокочастотных субполосах. Предлагаемое автором усиление низкочастотных компонент (НЧК) в высокочастотных субполосах вейвлет-трансформанты является новым и перспективным направлением, позволяющим повысить отношение сигнал-шум и тем самым повысить эффективность фильтрации. На основе данного принципа в диссертации разработан широкий спектр алгоритмов фильтрации — от классической пороговой обработки вейвлет-коэффициентов до комбинированных методов с текстурным анализом и нелокальным усреднением. Наряду с этим автором предложен подход к фильтрации на основе обработки пространственно-ориентированных деревьев (ПОД) вейвлет-коэффициентов с использованием архитектур LSTM и трансформера. Базовой единицей анализа в этом случае служит не отдельный коэффициент или субполоса, а структура ПОД целиком. Такой подход позволяет

учитывать совместную статистику его узлов по уровням декомпозиции и точнее восстанавливать структуру изображения при подавлении шума. Такое сочетание классических, комбинированных и современных нейросетевых методов анализа изображений подтверждает актуальность и комплексный характер выбранного направления исследований.

Диссертационная работа соответствует области исследований специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений, списка литературы (150 наименований) и приложений. Общий объём – 158 страниц, включает 40 рисунков и 13 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, определены объект и предмет исследования, охарактеризованы методы исследования. Изложены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о достоверности и обоснованности полученных результатов, раскрыты практическая значимость работы, сведения о реализации и внедрении результатов, личном участии автора, апробации работы, публикациях и структуре диссертации.

В первой главе выполнен сравнительный анализ существующих методов и алгоритмов анализа и фильтрации зашумленных изображений. Обоснована целесообразность использования вейвлет-преобразования как основы для модификации и разработки новых алгоритмов фильтрации зашумленных изображений. Показано, что кривые спада нормализованных вейвлет-коэффициентов, упорядоченных по величине, для неискажённого изображения с кусочно-регулярными структурами и его зашумленной версии с добавлением НЧК имеют одинаковый характер и отличаются от кривой зашумленного изображения. Данное утверждение определяет направление исследований, представленных в настоящей работе.

Во второй главе разработаны и исследованы алгоритмы фильтрации зашумленных изображений на основе вейвлет-преобразования с усилением НЧК в высокочастотных субполосах.

В третьей главе разработаны и исследованы алгоритмы фильтрации зашумленных изображений на основе обработки ПОД вейвлет-преобразования с использованием архитектур нейронных сетей LSTM и трансформера.

В четвертой главе представлен модифицированный программный комплекс IMPROC. Описаны общая архитектура программного комплекса, режимы его функционирования и пользовательский интерфейс. Программный комплекс реализован на языке Python с графическим интерфейсом и включает модули загрузки изображений, выбора метода, алгоритмов обработки, визуализации, оценки и сохранения результатов обработки.

В заключении представлены основные научные и практические результаты исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Разработан модифицированный алгоритм фильтрации зашумленных изображений (раздел 2.1, с. 63), основанный на пороговой обработке вейвлет-коэффициентов с усилением низкочастотных компонент в высокочастотных субполосах, позволяющий повысить отношение сигнал-шум и снизить количество артефактов по сравнению с классической пороговой обработкой.

2. Разработан адаптивный алгоритм фильтрации зашумленных изображений (раздел 2.2, с. 70), основанный на пороговой обработке вейвлет-коэффициентов с локальной оценкой дисперсии шума при усилении низкочастотных компонент, обеспечивающий адаптацию порога к локальной интенсивности сигнала и улучшающий сохранение границ и текстур.

3. Разработан алгоритм комбинированной фильтрации зашумленных изображений (раздел 2.3.2, с. 77), основанный на совместном применении модифицированной пороговой вейвлет-обработки и фильтра Винера с использованием текстурного анализа, позволяющий адаптивно обрабатывать однородные и неоднородные области изображения.

4. Разработан алгоритм фильтрации зашумленных изображений (раздел 2.3.3, с. 79), основанный на применении метода нелокального усреднения в области вейвлет-преобразования, отличающийся обработкой вейвлет-коэффициентов, а не пикселей, и обеспечивающий эффективное подавление шума с сохранением структурных деталей.

5. Разработан алгоритм фильтрации зашумленных изображений (раздел 2.4, с. 87), основанный на применении архитектуры нейронной сети U-Net в области вейвлет-преобразования с усилением низкочастотных компонент, позволяющий повысить качество восстановления изображений по сравнению с классическими реализациями U-Net и DnCNN.

6. Разработаны алгоритмы фильтрации зашумленных изображений (разделы 3.2, с. 98, и 3.3, с. 102), основанные на обработке пространственно-ориентированных деревьев вейвлет-коэффициентов с использованием архитектур рекуррентной нейронной сети LSTM и трансформера, позволяющие учитывать межуровневые и межориентационные зависимости и повышающие точность восстановления.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждены теоретическими выкладками, экспериментальными исследованиями на реальных и синтетических зашумленных изображениях, а также сравнительным анализом с известными методами фильтрации (медианный фильтр, фильтр Винера, фильтр Ли и др.) по объективным метрикам качества (ПОСШ, SSIM, GMSD и др.) и субъективной визуальной оценкой.

Апробация результатов работы и публикации

Основные результаты диссертационного исследования прошли достаточную апробацию и докладывались на ряде международных и всероссийских научно-технических конференций. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, включая 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, а также 5 публикаций в материалах международных и всероссийских научных конференций. Кроме того, автор является соавтором 4

зарегистрированных программ для ЭВМ, что подтверждает практическую направленность работы.

Замечания по диссертационной работе

1. Формулировки отличительных особенностей разработанных алгоритмов, описанных в выводах глав 2 и 3 (например, в выводах по второй главе на с. 94–95 указано, что «усиление при пороговой обработке вейвлет-коэффициентов обеспечивает увеличение отношения сигнал-шум», а в выводах по третьей главе на с. 110–111 отмечено, что «применение RNN-LSTM к последовательностям коэффициентов ПОД позволяет повысить качество восстановления»), не вынесены в пункты научной новизны во введении диссертации (с. 9), что снижает полноту представления новизны на начальном этапе чтения работы.

2. В разделах 3.2 (с. 100–101) и 3.3 (с. 106–107) указано, что обучение нейросетевых моделей (SOT-LSTM и SOT-TRANS) проводилось на 10 синтетических парах изображений, при этом в разделе 3.2.3 отмечено: «Набор данных для обучения модели сформирован на основе 10 изображений… Для оценки и сравнительного анализа эффективности модели использовался независимый тестовый набор, включающий 10 других изображений». Однако объём данного набора данных может оказаться недостаточным для полной оценки производительности и обобщающей способности моделей, что ставит под сомнение устойчивость полученных результатов при применении к новым данным.

3. Описание алгоритмов обработки ПОД в тексте диссертации (разделы 3.2.2, с. 99–100, и 3.3.2, с. 106) не в полной мере раскрывает этапы формирования обучающей выборки последовательностей ПОД, а именно: не указано, каким именно образом из изображений извлекаются последовательности коэффициентов для каждого ПОД, как они нормализуются перед подачей в сеть и каким образом осуществляется разбиение на обучающую и тестовую выборки на уровне отдельных деревьев, а не только изображений.

4. В формулах для робастной оценки уровня шума (раздел 1.4.2, с. 47–48, и раздел 2.3.3, с. 79–80) отсутствует знак модуля для вейвлет-коэффициентов, а также присутствует лишний знак минус, что приводит к отрицательной оценке

стандартного отклонения, тогда как эта оценка должна быть положительной. Указанные опечатки не влияют на общую достоверность результатов, но затрудняют корректное воспроизведение алгоритмов и понимание математических выкладок.

5. В диссертации приведены средние значения метрик качества (ПОСШ, SSIM, GMSD) в таблицах 2.1–2.6, 3.1–3.2 (с. 68, 73, 82, 84, 86, 92, 101, 107), однако не указаны стандартные отклонения, доверительные интервалы или результаты статистических тестов, которые позволили бы оценить, являются ли улучшения статистически значимыми. Это снижает строгость научных выводов и затрудняет объективное сравнение эффективности различных алгоритмов.

6. Все экспериментальные исследования в диссертации проведены на изображениях размером 512×512 пикселей (разделы 2.1.2, 2.2.2, 2.3.4, 2.4.3, 3.2.3, 3.3.3). При этом в ограничениях алгоритмов обработки ПОД (с. 110) автор указывает, что «обработка изображений размером значительно больше 512×512 требует либо разбиения на тайлы… что может привести к появлению стыковочных артефактов». Однако в работе не представлены экспериментальные результаты, подтверждающие или опровергающие это утверждение, и не исследована работа алгоритмов на изображениях большего разрешения, характерных для реальных SAR-систем (например, 2048×2048 и выше).

7. Диссертация ограничена изображениями в градациях серого (объект исследования сформулирован именно так на с. 8). Однако многие практические задачи обработки радиолокационных и оптических изображений требуют фильтрации цветных или многозональных снимков. Автор не обсуждает, как разработанные алгоритмы могут быть адаптированы на случай нескольких каналов, и не приводит экспериментальных данных для таких случаев, что сужает область практического применения результатов.

8. В разделах, посвящённых комбинированной фильтрации на основе текстурного анализа (2.3.2, с. 77–79), используется порог $\lambda = 0{,}05$ для разделения однородных и неоднородных областей, при этом указано, что «оптимальное значение определялось методом Отсу» (с. 78). Однако в тексте не приведены результаты обоснования выбора именно этого значения, не показано, как оно было получено и на каких данных проводилась его настройка, что снижает воспроизводимость алгоритма.

Заключение по диссертации

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертационная работа представляет собой законченный научный труд, содержащий решение актуальной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для области обработки изображений. Полученные автором научные и практические результаты, а также сформулированные выводы являются обоснованными и достоверными.

Автореферат полностью отражает структуру и содержание диссертации. Изложенные в автореферате данные не противоречат данным, приведенным в диссертации.

Диссертационная работа Чинь Ван Тоан на тему «Алгоритмы вейвлет-фильтрации и нейросетевой обработки зашумленных изображений на основе усиления низкочастотных компонент» соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы Чинь Ван Тоан заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Оппонент:
Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой физики и прикладной математики Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (г. Муром).

_____ Алексей Александрович Орлов

Подпись д.т.н., доц. Орлова А.А. удостоверяю,
Директор МИ ВлГУ _____ Жизняков А.Л.
(подпись) (Ф.И.О)

Дата: 03.08.2026 М.П.

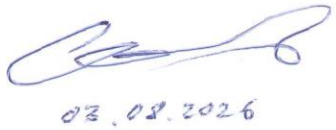
Алексей Александрович Орлов - доктор технических наук (научная специальность 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации»), доцент, заведующий кафедрой физики и прикладной математики Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Адрес: 602264, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, д. 23

Телефон: +7-(49234) 77-1-24

E-mail: alexeyalexorlov@gmail.com

Я, Алексей Александрович Орлов, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, с вязанные с защитой диссертации Чинь Ван Тоан, и их дальнейшую обработку.



03.08.2026

С отзывом ознакомлен 19.08.2026

Чинь