

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Юго-Западный  
государственный университет»,

К. Е. Н., с.н.с.

Добросердов О.Г.

2016 г.



## О Т З Ы В

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», на диссертацию Ясина Алаулдина Салаха Ясина «Фильтрация зашумленных сигналов и изображений с применением вейвлет-преобразования», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертационная работа Ясина Алаулдина Салаха Ясина посвящена развитию методов фильтрации сигналов и изображений от аддитивных помех на основе вейвлет-преобразования. Применение одномерного дискретного вейвлет-преобразования в настоящее время является стандартным методом фильтрации, который широко применяется во многих областях науки и техники. Однако этот метод имеет ряд недостатков, и многочисленные исследования, проводимые в последние годы, были направлены на совершенствование приемов цифровой фильтрации, которое является важным для развития телекоммуникационных систем, применяющих вейвлеты для очистки сигналов от присутствующего фонового шума и случайных искажений. В данной диссертационной работе сделан акцент на методы комплексного вейвлет-преобразования, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с подходами, применяющими вещественные базисы вейвлет-функций. Тем не менее, при их применении сохраняется много открытых вопросов, и проведение более детальных исследований, направленных на улучшение качества фильтрации, имеет важное практическое значение. Таким образом, тема диссертационной работы Ясина А.С.Я. является актуальной и практически значимой.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированной литературы.

Во **введении** обсуждается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи выполненного исследования, научная новизна и

научно-практическое значение результатов диссертации, а также представлены положения и результаты, выносимые на защиту.

В **первой** главе обсуждается задача фильтрация сигналов и изображений на основе одномерного дискретного вейвлет-преобразования с использованием вейвлетов Добеши. Рассматриваются основные принципы вейвлет-фильтрации. Приводятся стандартные подходы, предусматривающие очистку сигналов и изображений от помех за счет введения пороговой функции в пространстве вейвлет-коэффициентов. Сравниваются мягкий и жесткий варианты задания пороговой функции и несколько способов выбора оптимального порогового значения. Предлагается подход, предусматривающий сглаживание пороговой функции и устранение ее разрывов, который позволяет снизить ошибку вейвлет-фильтрации. Отмечается, что зависимости среднеквадратичной ошибки фильтрации от выбора порогового уровня демонстрируют наличие минимума, соответствующего наилучшей очистке регистрируемых сигналов от помех (аддитивного шума). Величина данного минимума меньше для мягкого варианта задания пороговой функции, что является дополнительным преимуществом данного подхода, позволяющим снизить вероятность случайных искажений при восстановлении сигнала по вейвлет-коэффициентам. На примере зашумленных изображений проанализировано влияние выбора базиса и изменения размера изображения на качество фильтрации. Показано, что перенасштабирование изображения влияет на величину ошибки фильтрации и приводит к тому, что минимум ошибки достигается для разных базисов. Общей рекомендацией является выбор базиса со сравнительно большой областью задания.

Во **второй** главе диссертационной работы рассматривается задача фильтрации сигналов и изображений на основе дуального комплексного вейвлет-преобразования. Этот метод предусматривает использование вейвлет-функций, у которых действительная и мнимая части являются сопряженными по Гильберту, и специальные приемы построения базисов. Обсуждаются особенности практической реализации данного метода для одномерного и двумерного случая. Проводится тестирование метода на примере гармонических колебаний с аддитивным шумом и его сопоставление с традиционно применяемыми методами вейвлет-фильтрации. На примере зашумленных аудио-сигналов показано, что оптимальный пороговый уровень метода дуального комплексного вейвлет-преобразования меньше, чем для дискретного вейвлет-преобразования, применяющего базисы вейвлетов Добеши. Это свидетельствует о преимуществах рассматриваемого подхода с точки зрения снижения риска пороговой фильтрации. Кроме того, этот метод обеспечивает уменьшение среднеквадратичной ошибки фильтрации. Аналогичные выводы были сделаны при анализе зашумленных изображений. На примере аудио-сигналов

рассмотрена задача фильтрации помех, превышающих по интенсивности информационный сигнал. Проведенные исследования позволяют рекомендовать метод дуального комплексного вейвлет-преобразования в качестве эффективного инструмента очистки от помех сигналов различной природы.

В третьей главе диссертационной работы обсуждаются возможности и ограничения фильтрации зашумленных речевых сообщений на основе фреймов. Фреймы, или неортонормированные (избыточные) базисы вейвлет-функций позволяют сделать алгоритмы фильтрации менее зависимыми от случайных искажений вейвлет-коэффициентов, характеризующих важные детали информационного сигнала. В качестве примера избыточного вейвлет-преобразования рассматривается дискретное вейвлет-преобразование двойной плотности, которое применяет одну скейлинг-функцию и две вейвлет-функции, что позволяет сохранить в полном объеме детализирующие коэффициенты. Обсуждается комплексное вейвлет-преобразование двойной плотности, которое может быть реализовано как в одномерном, так и в двумерном варианте. На примере зашумленных аудио-сигналов, содержащих речевые сообщения, проводится тестирование этого подхода. В качестве количественной характеристики, позволяющей судить о качестве цифровой фильтрации, рассматривается средняя оценка разборчивости речи (MOS). Обсуждаются способы ее вычисления на основе модели PESQ, разработанной для проведения объективных оценок качества слушания речи. Проводится сопоставление метода комплексного вейвлет-преобразования двойной плотности и метода дискретного вейвлет-преобразования с базисами вейвлетов Добеши. Рассматривается проблема коррекции вейвлет-коэффициентов на разных уровнях разрешения. Показано, что комплексное вейвлет-преобразование двойной плотности позволяет ограничиться меньшим числом уровней разложения сигнала в базисе вейвлет-функций по сравнению с фильтрами на основе вейвлетов Добеши, чтобы достичь максимальное значение средней оценки разборчивости речи.

В заключении суммируются основные результаты и выводы диссертационной работы.

Новизна научных результатов диссертации состоит в следующем:

1. Предложен способ коррекции коэффициентов вейвлет-преобразования, состоящий в сглаживании пороговой функции и устранении ее разрывов, который позволяет снизить искажения при восстановлении сигнала по вейвлет-коэффициентам.
2. Показано, что метод фильтрации зашумленных аудио-сигналов на основе дуального комплексного вейвлет-преобразования обеспечивает уменьшение оптимального значения порогового уровня по сравнению с алгоритмами

вейвлет-фильтрации, применяющими вейвлеты Добеши, что приводит к снижению риска случайных искажений восстановленного сигнала.

3. Установлены различия числа уровней разложения аудио-сигналов для фильтров, применяющих вещественные и комплексные вейвлет-базисы, при котором обеспечивается наилучшее качество очистки информационных сообщений от помех.

Научно-практическая значимость работы состоит в развитии подходов, направленных на повышение качества очистки информационных сообщений от помех, и в выявлении возможностей и ограничений методов фильтрации зашумленных сигналов и изображений, основанных на вейвлет-преобразовании.

Предложенный в диссертации способ сглаживания пороговой функции, вводимой в пространстве вейвлет-коэффициентов, может применяться при проведении научных исследований в области разработки систем цифровой связи в Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), Московском, Нижегородском, Казанском, Волгоградском, Томском и Юго-Западном государственных университетах, Санкт-Петербургском политехническом университете.

Результаты сравнительного анализа методов фильтрации зашумленных сигналов и изображений, основанных на применении вещественных и комплексных вейвлет-базисов, могут быть рекомендованы для внедрения в учебный процесс в вузах, ведущих подготовку специалистов в области радиофизики.

Разработанные алгоритмы цифровой фильтрации аудио-сигналов, обеспечивающие повышение качества приема информационных сообщений в телекоммуникационных системах, могут быть рекомендованы к использованию в Институте радиотехники и электроники РАН (г. Москва).

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы основывается на использовании хорошо апробированных методов обработки сигналов, численной устойчивости применяемых алгоритмов, непротиворечивости результатов и выводов диссертационной работы известным теоретическим представлениям.

По диссертационной работе есть ряд замечаний:

- 1) Было бы целесообразно обсудить в тексте диссертации проблему расчета отношения сигнал/шум для экспериментально регистрируемых сигналов и, соответственно, вопрос о выборе оптимального порогового уровня применительно к экспериментальным данным, то есть в ситуации, когда отсутствует возможность сравнения результатов фильтрации с исходным (незашумленным) сигналом.
- 2) В диссертационной работе в качестве источника помех рассматривается белый шум. Однако важно представлять, как влияет статистика шума на

задание величины оптимального порога и, как следствие, на ошибку фильтрации. Соответствующие вопросы автором не были рассмотрены.

- 3) Непонятно, почему зависимости среднеквадратичной ошибки вейвлет-фильтрации с использованием вейвлетов Добеши и жесткого варианта задания пороговой функции от величины порогового значения являются негладкими (рисунок 1.11, стр.43) в отличие от вейвлет-фильтрации с мягким вариантом задания пороговой функции (§ 1.2, стр. 31–50).
- 4) На рисунке 2.6 (стр.70) при жестком варианте задания пороговой функции наблюдается уменьшение амплитуды аудио-сигнала по аналогии с мягким вариантом ее задания, но не объясняется, с чем может быть связан данный эффект (§ 2.2, стр. 66–76).

Однако, отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Ясина А.С.Я.

### **Заключение**

Диссертационная работа Ясина А.С.Я. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Работа соответствует паспорту специальности 01.04.03 – радиофизика.

По результатам проведенных исследований опубликовано 6 статей, включая 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук: «Письма в Журнал технической физики» (2 статьи), «Радиотехника и электроника», «Proceedings of SPIE». Работа прошла апробацию на отечественных и международных научных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных исследованиях в Институте радиотехники и электроники РАН (г. Москва), Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), Московском, Нижегородском, Казанском, Томском, Волгоградском, Юго-Западном государственных университетах, Санкт-Петербургском политехническом университете, а также могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Московском физико-техническом институте, Саратовском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Воронежском государственном университете, Томском государственном университете и других вузах, ведущих подготовку специалистов по радиофизическим направлениям.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Ясина Алаулдина Салаха Ясина «Фильтрация зашумленных сигналов и изображений с применением вейвлет-преобразования» вносит заметный вклад в развитие радиофизических методов фильтрации зашумленных сигналов. Работа удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Отзыв составил:

Профессор кафедры вычислительной техники  
Юго-Западного государственного  
университета,  
д.т.н., профессор

Жусубалиев Жаныбай Турсунбаевич

Почтовый адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Юго-Западный государственный университет»,  
кафедра вычислительной техники,  
тел.: 8 (4712) 22-26-65, e-mail: zhanybai@gmail.com

Отзыв утвержден на заседании кафедры вычислительной техники Юго-Западного  
государственного университета. Протокол № 14 от «18 мая 2016 года.

Заведующий кафедрой  
вычислительной техники, Юго-Западного государственного  
университета,  
заслуженный деятель науки РФ,  
д.т.н., профессор

Титов Виталий Семенович

Секретарь,  
профессор кафедры  
вычислительной техники Юго-Западного государственного  
университета,  
д.т.н.

Чернецкая Ирина Евгеньевна