

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Ясина Алаулдина Салаха Ясина «Фильтрация зашумленных сигналов и изображений с применением вейвлет-преобразования», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика

В диссертационной работе Ясина Алаулдина Салаха Ясина проводится сравнительный анализ методов фильтрации зашумленных сигналов и изображений, применяющих различные варианты разложений в базисе вейвлет-функций с последующей коррекцией коэффициентов разложения. Методы фильтрации, базирующиеся на вейвлет-преобразовании, в последние годы стали восприниматься в качестве одного из наиболее перспективных вариантов устранения фонового шума в экспериментальных данных различной природы. Они позволяют не только уменьшать уровень аддитивных помех, но и устранять изолированные особенности, фильтрация которых с применением преобразования Фурье является неэффективной. Наибольшую известность приобрели алгоритмы фильтрации, применяющие быстрое (пирамидальное) разложение сигнала с применением ортогональных вейвлетов семейства Добеши. Их главным достоинством является простота программной реализации, но они имеют и ряд недостатков, для устранения которых были предложены подходы, применяющие аналитические (или почти аналитические) базисные функции. Такие методы являются более сложными, но это обстоятельство компенсируется их более обширными возможностями, особенно в случае фильтрации зашумленных изображений. Совершенствование приемов фильтрации имеет большое значение при решении широкого спектра научно-технических задач. С точки зрения радиофизики, одной из важнейших задач является улучшение качества приема информационных сообщений, передаваемых по каналу связи. Вышесказанное определяет актуальность темы диссертационной работы и научно-практическую значимость результатов исследования.

В Введении диссертационной работы приводится краткое изложение современного состояния в области цифровой фильтрации сигналов и изображений с применением вейвлетов, а также даются формулировки защищаемых положений, представлены сведения о научной новизне полученных результатов, достоверности научных выводов работы и публикациях по теме диссертации.

В первой главе проводится сопоставление алгоритмов фильтрации, применяющих ортонормированные базисы семейства Добеши. Анализируются два стандартных способа задания пороговой функции в пространстве вейвлет-коэффициентов (мягкий и жесткий) и три варианта выбора оптимального порогового значения: универсальный пороговый уровень, метод SURE, а также их совместное использование. Предлагается способ задания пороговой функции, предусматривающий плавную коррекцию коэффициентов разложения по вейвлетам, а также вариант выбора порогового значения, основанный на использовании тестового примера (зашумленных гармонических колебаний). Анализируются разные примеры экспериментальных данных – записи сейсмограмм, аудио-сигналы, а также несколько примеров зашумленных изображений. Исследуется влияние выбора базиса вейвлет-функций на среднеквадратичную ошибку фильтрации. Показано, что для снижения ошибки желательно выбирать базисные функции с большой областью задания, которые являются более гладкими и позволяют уменьшать искажения восстановленного сигнала после обнуления части коэффициентов разложения. Пороговые

функции, имеющие разрывы, приводят к росту среднеквадратичной ошибки фильтрации, поэтому в практических приложениях лучше использовать мягкий вариант задания пороговой функции или вариант, предложенный в диссертационной работе. Обсуждается двумерное обобщение метода дискретного вейвлет-преобразования, которое применяется для цифровой обработки изображений. Отмечаются общие закономерности для одномерного и двумерного преобразований – преимущество использования непрерывных функций и вейвлетов Добеши высокого порядка.

Во второй главе обсуждается применение в задачах фильтрации аналитических функций, которые формируются на основе специальных алгоритмов, обеспечивающих сопряжение по Гильберту действительных и мнимых частей вейвлетов. Рассматривается метод дуального вейвлет-преобразования, устраниющий ряд принципиальных ограничений подходов, применяющих дискретное вейвлет-преобразование. В частности, устраняются осцилляции коэффициентов разложения в базисе вейвлет-функций в окрестности нерегулярностей сигнала и артефакты при его восстановлении, обеспечивается приближенная инвариантность относительно сдвига и т.д. Рассматриваются особенности реализации методов фильтрации в одномерном и двумерном случаях. Показано, что при любых отношениях сигнал/шум метод дуального вейвлет-преобразования обеспечивает снижение риска пороговой фильтрации и среднеквадратичной ошибки фильтрации по сравнению с алгоритмами, применяющими дискретное вейвлет-преобразование с базисами Добеши. Отмечаются общие закономерности зависимости среднеквадратичной ошибки фильтрации от выбора порогового значения – наличие минимума, соответствующего наилучшему качеству фильтрации, и рост ошибки с последующим увеличением порога. Показано, что для дуального вейвлет-преобразования, в отличие от дискретного вейвлет-преобразования, более критичным является задание большого порогового значения, так как в этом случае коррекции подвергается большее число информативных коэффициентов. Рассмотрены различные примеры зашумленных сигналов и изображений, с помощью которых показано улучшение качества фильтрации по сравнению с дискретным вейвлет-преобразованием, использующим базисы Добеши.

В третьей главе проводится сопоставление методов фильтрации аудио-сигналов с применением вейвлет-преобразований, использующих критическую выборку (ортонормированные базисы), и избыточных преобразований (фреймов). Обсуждаются преимущества и недостатки фреймов. В частности, отмечается, что применение фреймов позволяет уменьшать искажения восстановленного сигнала при коррекции информативных коэффициентов вейвлет-преобразования. Рассматривается один из эффективных подходов к решению задачи фильтрации, основанный на дискретном вейвлет-преобразовании двойной плотности. Проводится тестирование метода комплексного вейвлет-преобразования двойной плотности, который является примером комбинированного алгоритма очистки информационных сообщений от шумов и случайных искажений. Чтобы охарактеризовать качество фильтрации речевых сообщений, кроме среднеквадратичной ошибки фильтрации вычисляется средняя оценка разборчивости речи. На примере зашумленных аудио-сигналов показано, что метод комплексного вейвлет-преобразования двойной плотности демонстрирует преимущества по сравнению с дискретным вейвлет-преобразованием, применяющим базисы функций Добеши. Проводится сравнение числа уровней разложения, при котором наблюдается максимальное значение средней оценки разборчивости речи.

Результаты исследований, представленных в диссертации, подтверждают обоснованность положений, выносимых на защиту, и основных выводов работы. Достоверность полученных результатов основывается на использовании апробированных методов анализа структуры сигналов, устойчивости применяемых алгоритмов к изменениям параметров счета, непротиворечивости результатов и выводов диссертационной работы известным теоретическим представлениям. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации.

Научная новизна работы заключается в том, что

- ✓ Предложен способ коррекции коэффициентов вейвлет-преобразования, состоящий в сглаживании пороговой функции и устраниении ее разрывов, который позволяет снизить искажения при восстановлении сигнала по вейвлет-коэффициентам.
- ✓ 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.
- ✓ 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-практическое значение результатов работы заключается в совершенствовании инструментария, применяемого для фильтрации сигналов от фонового шума. Учитывая то обстоятельство, что соответствующие задачи возникают в разных научных и технических областях, результаты диссертационной работы могут применяться во многих научных и образовательных учреждениях, занимающихся цифровой обработкой сигналов, например, в ИКИ РАН, ИРЭ РАН, МГУ, МФТИ, МИФИ, НГУ, КГУ, ВГУ, ТГУ, а также при чтении лекций по цифровой обработке сигналов студентам радиофизических направлений.

В числе замечаний по диссертационной работе можно выделить следующее:

- 1) Применяемый в диссертации метод пороговой корректировки вейвлет-коэффициентов позволяет хорошо устранять высокочастотные помехи, которые имеют небольшую амплитуду по сравнению с информационным сигналом. В случае с фильтрацией поверхностной волны, присутствующей на трассе сейсмограммы (глава 1), наоборот, амплитуда помехи превышает амплитуду информационного сигнала. В тексте диссертации отсутствует детальное описание того, как при этом проводится фильтрация?
- 2) На большинстве приведенных рисунков, показывающих зависимость среднеквадратичной ошибки фильтрации от выбора базиса вейвлетов Добеши, наблюдается уменьшение ошибки с ростом порядка вейвлета, но не дается пояснений, с чем связано такое поведение?
- 3) Желательно провести сопоставление метода дуального комплексного вейвлет-преобразования и комплексного вейвлет-преобразования двойной плотности. Какой из них обеспечивает лучшее качество фильтрации применительно к зашумленным сигналам и изображениям? Также было бы полезно сопоставить возможности дискретного и комплексного вейвлет-преобразований двойной плотности.

Приведенные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы. Считаю, что диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ясин Алаулдин Салах Ясин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Официальный оппонент:

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», кафедра «физики», д. ф.-м. н., доцент

Курушина С.Е.  
27 мая 2016 г

Подпись С.Е. Курушиной заверяю:

Ученый секретарь ученого совета  
ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

Кузьмичев В.С.



443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34,  
Интернет-сайт: <http://www.ssau.ru/>  
Телефон: 8 (846) 335-18-26  
E-mail: kurushina72@gmail.com