

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Чурикова Дмитрия Викторовича** «Методы цифровой обработки сигналов на основе атомарных функций и R-функций, вейвлетов в радиофизических приложениях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Диссертационная работа **Чурикова Дмитрия Викторовича** посвящена исследованию, развитию и разработке методов анализа физических систем на основе теорий атомарных R- функций, вейвлетов и WA-систем функций, построению алгоритмов обработки и моделирования процессов дистанционного зондирования и радиоастрономии с целью улучшения физических характеристик передачи, восстановления и распознавания многомерных сигналов.

Актуальность темы исследования. В связи с активным развитием современных цифровых систем обработки информации актуальным является создание новых и улучшение существующих алгоритмов цифровой обработки одномерных и многомерных сигналов в радиолокационных станциях, которые основаны на современных вычислительных методах в радиофизических приложениях: радиоастрономия, дистанционное зондирование, моделирование прохождения сигналов в слоистых структурах, ионосфере и тропосфере. К ним можно отнести развитие методов весовой обработки, вейвлет-анализ, который нашел широкое применение при обнаружении кратковременных знакопеременных и сверхширокополосных процессов, а также конструктивные возможности R-функций для описания многомерных объектов произвольной геометрии.

Такие важные характеристики современных радиолокационных станций как разрешающая способность радиолокационных изображений, точность измерения координат и скорости объектов, помехоустойчивость определяются характеристиками зондирующих сигналов, а также алгоритмами обработки радиолокационных данных. Так, высокая разрешающая способность по дальности может обеспечиваться использованием широкополосных зондирующих сигналов, а большой динамический диапазон радиолокационного изображения обеспечивается фокусировкой главного и низким уровнем боковых лепестков функции неопределенности зондирующего сигнала. Снижение уровня боковых лепестков достигается использованием

согласованной фильтрации и весовой обработки. В этом случае снижение боковых лепестков основывается на сглаживании переходных процессов модуляции зондирующих сигналов при формировании и обработке. Так, использование широкополосных и сверхширокополосных зондирующих сигналов могут обеспечить высокую разрешающую способность по дальности.

Краткое содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы. Основные результаты работы изложены в выводах, которые находятся в конце каждой главы, а также в заключении.

Материал диссертационной работы изложен на 188 страницах, включая 124 рисунка, 24 таблицы, и библиографию из 92 наименований.

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы. Сформулированы цель и задачи исследования. Определены научная новизна и теоретическая значимость полученных результатов и их достоверность, основные положения, выносимые на защиту, а также приведены данные о структуре и объеме диссертационной работы.

В первой главе рассмотрены методы весовой обработки радиолокационных сигналов, конструкции весовых функций, а также улучшение их физических характеристик. Построены новые конструкции КИХ-фильтров на основе атомарных функций и проведен их физический анализ. Исследованы обобщенные ряды отсчетов на основе атомарных функций. Рассмотрено непараметрическое оценивание функции плотности вероятности и её производных 1- и 2-го порядков последовательностей случайных величин с помощью предложенных допустимых весовых функций.

Во второй главе рассмотрено построение ортогональных WA-систем функций и их применение в цифровой обработке сигналов и изображений различной физической природы. Построены аналитические WA-системы функций, функционал качества выбора вейвлетного базиса для анализа сигналов. Полученные системы применены для анализа временных рядов радиоастрономических и климатических данных.

Третья глава посвящена теории R-функций и синтезу многомерных цифровых фильтров Кравченко-Рвачева со сложной геометрией опорных областей. Предложен алгоритм, а также построены двумерные фильтры с конечной импульсной характеристикой и аналитические двумерные WA-системы функций.

В четвертой главе проведено исследование возможности применения предложенных весовых функций к цифровой обработке сигналов в радарх с синтезированной апертурой. Рассматривается применение функций Кравченко-Кайзера к задачам весового усреднения разностной частоты. Предложено и обосновано обобщение функции неопределенности по времени

и частоте на основе семейства атомарных функций применительно к цифровой обработке сигналов в антенных системах. Дан анализ ее основных физических свойств. Рассмотрены комбинированные методы корреляционной обработки радиолокационных сигналов, основанные на теории атомарных и WA-системах функций. Предложены алгоритмы их оптимальной обработки, дискретной когерентной фильтрации, а также определения доплеровской частоты. Построен функционал качества, позволяющий оценить эффективность обработки сигналов для конкретных физических моделей.

В приложении предложен и обоснован гибридный метод выделения контуров зашумленных изображений, основанный на применении атомарных функций, вейвлетов, контурных сигналов и функций В.Л. Рвачева. В процессе обработки изображения происходит выделение основных контуров и их корректировка. На основе информации о контурах изображения производится глубокая фильтрация и восстановление областей изображения, близких к контуру. Проведенные численные эксперименты показали эффективность и надежность его применения в условиях помехи высокой интенсивности.

Научная новизна работы

1. Рассмотрено применение нового класса весовых функций (окон), основанных на теории атомарных функций к задачам обработки сигналов дистанционного зондирования. На их базе получены фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ).
2. Рассмотрены частные случаи применения обобщенной теоремы отсчетов на основе атомарных функций для отклонения частоты дискретизации от заданной, конечного числа отсчетов, произвольной частотной полосы, а также амплитудно- и частотно-модулированных радиотехнических сигналов. Получены выражения для оценки возникающих погрешностей при восстановлении сигналов в каналах связи.
3. Построены новые классы ортогональных и аналитических WA-систем функций (вейвлетов на основе атомарных функций), а также показано их применение для анализа сигналов и изображений различной физической природы. Приведены примеры обработки сигналов радиолокации, оптики, дистанционного зондирования, радиоастрономии.
4. На основе атомарных функций получена схема непараметрического оценивания функции плотности вероятности последовательности случайных величин.

5. Синтезированы двухмерные весовые функции со сложной геометрией опорной области, имеющие большое значение при анализе, фильтрации и пространственно-временной обработке многомерных сигналов. Получены аналитические многомерные WA-системы функций и исследованы их физические свойства.

Достоверность научных выводов. Построенные алгоритмы имеют строгое математическое обоснование. Проведен анализ и сравнение полученных результатов с известными в российской и зарубежной литературе методами, имеющими как точные, так и приближенные решения. Компьютерное моделирование исследуемых объектов и процессов подтверждает основные выводы исследования.

Практическая значимость полученных результатов заключается в реализации алгоритмов цифровой обработки радиолокационных сигналов и развитии теорий атомарных и R- функций в радиофизических приложениях. Показано, что разработанные методы и алгоритмы могут найти применение при решении широкого класса задач радиофизики, включая задачи обработки сигналов радиолокационных станций с синтезированием апертуры, радиовидении, радиоастрономии, дистанционном зондировании, моделировании прохождения сигналов в слоистых структурах, ионосфере и тропосфере.

Предложенные и обоснованные методы и алгоритмы доведены до численной реализации. Проведен физический анализ полученных результатов, показывающий определенные качественные преимущества предложенных подходов по сравнению с известными. Использование предложенных и разработанных соискателем методов представляется перспективным для развития и построения цифровых систем радиолокации и дистанционного зондирования.

По теме диссертации опубликовано большое количество научных работ, из которых 36 — в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 3 — в иностранных журналах, включенных в международные системы цитирования Web of Science и Scopus.

Ценность научных работ соискателя очевидным образом вытекает из вышеуказанных научной новизны и практической значимости работы, а также подтверждается опубликованием её результатов в научных журналах с высоким импакт-фактором.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

По содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. Диссертация перегружена математическими выкладками и доказательствами, что затрудняет понимание физического содержания работы.
2. В автореферате указаны не все используемые аббревиатуры.
3. Имеются замечания редакционного характера.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.03 – радиопизика (физико-математические науки). Считаю, что представленная диссертационная работа Чурикова Дмитрия Викторовича отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК Российской Федерации, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиопизика».

Заслуженный деятель науки РФ
доктор физико-математических наук, профессор

Подпись А.Б. Самохина подтверждаю
Проректор



A. Самохин
А.Б. Самохин

05.12.2012

[Signature]
Проректор по инновационному развитию

А.В. Рагуткин

Самохин Александр Борисович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технологический университет» (МИРЭА)

Адрес: 119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

Телефон: 8 499 215-65-65 (доб. 5041)

E-mail: samokhin@mirea.ru