

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Диссертационная работа **Дмитрия Викторовича Чурикова** посвящена исследованию, развитию и разработке методов анализа радиофизических систем на основе теорий атомарных функций, функций Рвачева (R- функций), вейвлетов и WA-систем функций Кравченко. Целью работы является построение алгоритмов обработки радиоастрономических данных и моделирования процессов дистанционного зондирования для улучшения физических характеристик передачи, восстановления и распознавания многомерных сигналов.

1. Актуальность темы диссертации и соответствие специальности

В связи с активным развитием цифровых систем обработки информации актуальным является создание новых и улучшение существующих алгоритмов обработки одномерных и многомерных сигналов, основанных на современных вычислительных методах. Такие алгоритмы применяются в радиолокационных станциях при решении различных радиофизических задач: в радиоастрономии, дистанционном зондировании, моделировании прохождения сигналов в слоистых структурах, в ионосфере и тропосфере. К ним можно отнести методы весовой обработки сигналов, в частности, вейвлет-анализ, который нашел широкое применение при обнаружении кратковременных знакопеременных и сверхширокополосных процессов, а также R-функции, обладающие широкими возможностями для описания многомерных объектов произвольной геометрии. Такие важные характеристики современных радиолокационных станций как разрешающая способность радиолокационных изображений, точность измерения координат и скоростей объектов, помехоустойчивость определяются не только параметрами зондирующих сигналов, но и алгоритмами обработки радиолокационных данных. Хорошо известно, что 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 и основывается на сглаживании переходных процессов модуляции зондирующих сигналов при формировании и обработке сигналов. Благодаря этому использование широкополосных и сверхширокополосных зондирующих сигналов может обеспечить высокую разрешающую способность по дальности. Поэтому развитие методов цифровой обработки сигналов для решения задач радиофизики является актуальным.

Тема диссертации соответствует специальности.

2. 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, включающих 124 рисунка, 24 таблицы и библиографию из 92 наименований.

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

В первой главе рассмотрены методы весовой обработки радиолокационных сигналов, конструкции весовых функций, а также способы улучшения их физических характеристик. Особое внимание уделено функциям Кравченко-Кайзера и Кравченко-Наттолла. Построены новые конструкции фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры) на основе атомарных функций и проведен их физический анализ. Исследованы обобщенные ряды отсчетов на основе атомарных функций. Сформулирована и доказана обобщенная теорема Кравченко-Котельникова. Рассмотрено непараметрическое оценивание функции плотности вероятности и её производных 1-го и 2-го порядков последовательностей случайных величин с помощью допустимых весовых функций. Приведены результаты численного эксперимента.

Во второй главе рассмотрено построение ортогональных WA-систем функций и их применение в цифровой обработке сигналов и изображений различной физической природы. Также построены аналитические WA-системы функции, и исследован функционал качества выбора вейвлетного базиса для анализа сигналов. Полученные системы применены для анализа временных рядов радиоастрономических данных (в частности, блеска квазара) и климатических данных.

Третья глава посвящена теории R-функций и синтезу многомерных цифровых фильтров Кравченко-Рвачева со сложной геометрией опорных областей. Предложен алгоритм синтеза двумерного цифрового с нестандартной геометрией опорной области, а также построены двумерные КИХ-фильтры 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.

3. Новизна исследований и полученных результатов, научная и практическая ценность:

1. Впервые для обработки сигналов дистанционного зондирования применен новый класс весовых функций (окон), основанных на теории атомарных функций: функции Кравченко-Наттолла и Кравченко-Кайзера. На основе этих функций получены фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры), позволяющие эффективно проводить разделение частотных диапазонов.
2. Впервые на основе атомарных функций рассмотрено применение обобщенной теоремы отсчетов Кравченко-Котельникова в случае отклонения частоты дискретизации от заданной, конечного числа отсчетов, произвольной

частотной полосы, а также амплитудно– и частотно– модулированных радиотехнических сигналов. Получены новые выражения для оценки возникающих погрешностей при восстановлении сигналов в каналах связи.

3. Построены новые классы ортогональных и аналитических вейвлетов на основе атомарных функций (WA-систем функций). Полученные результаты применены для анализа сигналов и изображений различной физической природы. Приведены примеры обработки сигналов радиолокации, оптических измерений, данных дистанционного зондирования и радиоастрономии.

4. На основе атомарных функций впервые построена схема непараметрического оценивания функции плотности вероятности последовательности случайных величин.

5. На основе функций Рвачева впервые синтезированы двумерные весовые функции со сложной геометрией опорной области, имеющие важное значение при анализе, фильтрации и пространственно-временной обработке многомерных сигналов. Получены аналитические многомерные WA-системы функций и исследованы их физические свойства.

Практическая значимость полученных результатов заключается в реализации алгоритмов, основанных на теории атомарных и R– функций, для цифровой обработки радиолокационных сигналов. Показано, что разработанные методы и алгоритмы также находят применение при решении широкого класса задач радиофизики, включая задачи радиовидения, радиоастрономии, дистанционного зондирования, моделирования прохождения сигналов в слоистых структурах, ионосфере и тропосфере.

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

4. Достоверность полученных результатов исследования

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 разработанных алгоритмов, изучаемых объектов и процессов подтверждает основные выводы исследования.

Личный вклад автора. Основные представленные в диссертации результаты численных экспериментов получены автором лично. Автор произвел программную реализацию и проверку математических алгоритмов, моделей и методов, осуществил подбор тестовых примеров и численный эксперимент. Принимал активное участие в постановке и обосновании цели исследования.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы за 15 лет (с 2001 года) неоднократно докладывались на российских и международных конференциях, а также научных семинарах.

По теме диссертации опубликовано **120** 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**, **3** — в иностранных журналах, не включённых в международные системы цитирования, **64** — в трудах международных конференций, **14** — в трудах всероссийских конференций.

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 и принятием докладов по теме диссертации оргкомитетами ведущих российских и международных конференций.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

5. Замечания по работе

- Недостаточно полно сформулированы преимущества подходов, предлагаемых автором, по сравнению с традиционными методами решения аналогичных радиофизических задач.
- Тестовые сигналы анализировались в предположении, что помехи гауссовы и аддитивные. Целесообразно использовать и другие модели шума.
- При оформлении работы автор, сославшись на публикации, не описал многие переменные и характеристики, существенные для понимания текста работы. Есть много мелких замечаний: мнимая единица и в диссертации, и автореферате, обозначается то буквой “*j*”, то буквой “*i*”; непонятно, что автор имел ввиду под теоремой Уиттекера-Котельникова-Котельникова (стр. 6 автореферата) и т.д. Есть стилистические погрешности.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне.

6. Заключение.

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.03 – радиофизика (физико-математические науки), поскольку она посвящена генерации, передаче, приему, регистрации и анализу колебательных и волновых процессов радиочастотного и оптического диапазонов, изучению линейных и нелинейных процессов распространения радиоволн с широким использованием радиофизических методов.

Считаю, что представленная диссертационная работа Чурикова Дмитрия Викторовича отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК Российской Федерации, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор,
декан факультета информационных систем
и компьютерных технологий
Автономной некоммерческой организации
высшего образования «Российский новый
университет» (АНО ВО РосНОУ)

Подпись д.ф.-м.н., проф.

Крюковского Андрея Сергеевича заверяю:

Ученый секретарь АНО ВО РосНОУ
кандидат исторических наук, доцент


А.С. Крюковский


Н.В. Мелихова

Крюковский Андрей Сергеевич

Автономная некоммерческая организация высшего образования
«Российский новый университет» (АНО ВО РосНОУ)

Адрес: 105005, Москва, ул. Радио, д. 22

Телефон: 8 (495) 925-03-73 (доб. 244)

E-mail: isikt_rosnou@mail.ru