

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
и инновациям ФГБОУ ВО

«Рязанский государственный
радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина»

доктор технических наук



С.И. Гусев

«16» мая 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

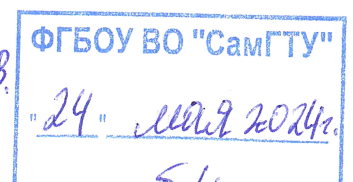
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» на диссертационную работу Машкова Андрея Валерьевича «Алгоритмическое и программное обеспечение информационно-измерительных систем спектрального анализа на основе бинарно-знакового аналого-стохастического квантования сигналов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертационная работа Машкова А.В. посвящена снижению сложности вычисления оценки спектральной плотности мощности (СПМ) периодogramмным и коррелограммным методами при проведении спектрального анализа частотного состава сложных многокомпонентных сигналов. Спектральный анализ таких сигналов представляет собой одно из наиболее важных и динамично развивающихся направлений современной измерительной техники. Он является важным инструментом исследования частотного состава сигналов в процессе решения практических задач, неразрывно связанных с анализом свойств многокомпонентных процессов, описываемых их частотными характеристиками.

Актуальной является задача разработки алгоритмического и программного обеспечения для информационно-измерительных систем (ИИС) на основе бинарно-знакового аналого-стохастического квантования, приводящего к снижению мультипликативной сложности цифровых процедур вычисления оценок СПМ, что должно обеспечить экономию вычислительных ресурсов и принятие обоснованных решений на основе полученных результатов спектрального анализа в условиях ограниченного времени обработки сигналов.

С отзывом ознакомлен *Машков А.В.*
24.05.2024г.



2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, представленные в диссертации, основаны на тщательном анализе актуальных исследований в области спектрального анализа и методов оценки СПМ, что подтверждает их научную обоснованность. Полученные результаты экспериментальных исследований выделяются высокой практической значимостью и могут быть эффективно применены в процессе решения практических задач связи, гидролокации, радиотехники, акустики, неразрушающего контроля и во многих других прикладных областях.

Автор обоснованно применил методы цифровой обработки сигналов, корреляционно-спектрального анализа для решения поставленных вопросов, что подтверждает корректность и достоверность полученных результатов.

В диссертационной работе представлены оригинальные научные подходы к решению проблемы снижения вычислительной сложности алгоритмов оценивания СПМ путём применения бинарно-знакового аналого-стохастического квантования к процедуре первичного преобразования непрерывного сигнала в дискретную форму, что делает ее вклад в развитие научной области значимым и актуальным.

Основные выводы и рекомендации автора были использованы:

- 1) в научно-исследовательских работах, выполненных при поддержке грантов РФФИ (№ 16-08-00269 А и № 19-08-00228 А);
- 2) при проведении 3-х мерной виброметрии активных и пассивных элементов конструкции низкопольного городского автобуса второго поколения МАЗ 206067, что подтверждено актом об использовании результатов диссертационной работы ОАО «МАЗ» – управляющей компании холдинга «БЕЛАВТОМАЗ»;
- 3) при подготовке бакалавров и магистров по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе соискателем были получены следующие положения, обладающие научной новизной:

- 1) математическое и алгоритмическое обеспечение для вычисления оценок СПМ методом усредненных модифицированных периодограмм, в основе которых лежит дискретная обработка функций, являющихся результатом аналитического вычисления косинус- и синус-преобразований Фурье весовых оконных функций;

2) математическое и алгоритмическое обеспечения для вычисления оценок СПМ коррелограммным методом, основу которого составляет дискретная обработка функций, являющихся результатом аналитического вычисления косинус-преобразования Фурье и интегрального преобразования по времени задержки функций корреляционных окон, а также для случая, когда по времени задержки осуществляется равномерная дискретизация;

3) метрологически значимое ПО для спектрального анализа сигналов, разработанное с учетом конструктивной и функциональной однородности программных модулей, реализующих синтезированные алгоритмы вычисления коррелограммных и периодограммных оценок СПМ;

4) методика и результаты тестовых испытаний и функциональной проверки программных модулей на соответствие требованиям, предъявляемых к метрологически значимому ПО ИИС.

Достоверность научных и практических результатов подтверждается корректным использованием методов статистических измерений, теории вероятностей и математической статистики. При проведении тестовых испытаний метрологически значимого ПО и алгоритмов его выполнения произведен обоснованный выбор исходных данных, а полученные экспериментальные результаты, научные выводы и положения, выносимые на защиту, соответствуют ожидаемым теоретическим результатам. Кроме того, достоверность подтверждается апробацией полученных результатов на международных научно-практических конференциях.

4. Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Содержание диссертационной работы полностью соответствует заявленной теме, а сама диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Общий объем работы составляет 167 страниц. Диссертация состоит из введения, четырех разделов и заключения.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, определяется цель исследования и основные задачи для её достижения, проводится анализ исследований в данной области, описывается научная новизна исследований, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, сформулированы выносимые на защиту научные положения и сведения по апробации и реализации работы.

В первом разделе рассматриваются математические основы оценивания СПМ периодограммным и коррелограммным методами. Показано, что при цифровом оценивании СПМ, когда переходят от операций интегрирования к интегральным суммам, требуется выполнять существенное число операций умножений, которые определяют вычислительную сложность алгоритмов. Для решения данной проблемы предлагается использовать в качестве первичного

преобразования сигналов в цифровую форму бинарно-знаковое аналого-стохастическое квантование. Это даёт возможность аналитически вычислять операции интегрирования и позволяет исключить необходимость операций умножений при переходе к цифровым вычислительным процедурам.

Второй раздел посвящён математическому и разработке на его основе алгоритмическому обеспечению вычисления периодограммной оценки СПМ на основе дискретно-событийного представления результата бинарно-знакового аналого-стохастического квантования. В результате получены соотношения, которые сводятся к дискретной обработке непрерывных функций, полученных в результате аналитического вычисления интегральных косинус- и синус-преобразований Фурье весовых оконных функций. При этом основу их выполнения составляют логические операции и простые арифметические операции суммирования и вычитания, а операции умножения практически отсутствуют. Также приводятся аналитические соотношения в непрерывном и дискретном виде для наиболее известных классических оконных функций.

Третий раздел посвящен математическому обеспечению и разработке на его основе алгоритмическому обеспечению для вычисления коррелограммной оценки СПМ на основе бинарно-знакового аналого-стохастического квантования и равномерной дискретизации по времени задержки, а также когда операция интегрирования по переменной времени задержки, как и операция интегрирования по переменной времени, вычислена аналитически.

Бинарно-знаковое аналого-стохастическое квантование позволило получить соотношения для вычисления оценки СПМ, которые сводятся к дискретной обработке отсчётов функции, являющейся первообразной косинус-преобразованием функции применяемого корреляционного окна. При этом не требуется формировать многоразрядные отсчеты анализируемого сигнала, а также не требуется предварительно вычислять оценки корреляционной функции (КФ) и осуществлять операцию их взвешивания с отсчетами корреляционного окна, что свойственно классическим алгоритмам. Как и в случае периодограммного метода, приводятся аналитические соотношения в непрерывном и дискретном виде для наиболее известных классических функций корреляционных окон.

В четвёртом разделе рассматривается разработка метрологически значимого ПО, реализующего математическое и алгоритмическое обеспечение для вычисления оценок СПМ периодограммным и коррелограммным методами. Использование компонентно-ориентированного подхода обеспечило практическую реализацию концепции многоуровневой структуры ПО ИИС в виде совокупности метрологически независимых программных модулей с возможностью их комплексирования и параллельного выполнения процедур вычисления оценок СПМ. Тестовые испытания и экспериментальные исследования разрабо-

танных алгоритмов показали их высокую разрешающую способность, отсутствие эффектов маскирования и расщепления спектральных компонент.

В заключении сделаны выводы и сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Каждый раздел диссертации является полным и содержательным изложением соответствующей части исследования. Последовательность и содержание разделов имеют логически заверченный характер.

5. Значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов

Значимость теоретических результатов диссертационной работы заключается в том, что предложен и исследован метод первичного бинарно-знакового аналого-стохастического квантования, особенностью которого является использование в качестве меры квантования вспомогательного случайного процесса. Реализация такого подхода квантования позволяет осуществлять безизбыточное предельно грубое двухуровневое квантование без систематической погрешности независимо от статистических свойств исследуемых случайных сигналов. Такой вид квантования позволяет уйти от операций умножения и в своей основе требует выполнения только логических операций и простых арифметических операций суммирования и вычитания, что снижает вычислительную сложность алгоритмов оценки СПМ. В результате любую процедуру статистических измерений можно свести к обработке целочисленных отсчетов интервалов времени, что существенно сокращает вычислительные затраты при спектральном анализе.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что на основе компонентно-ориентированного программирования разработана многоуровневая композиционная структура метрологически значимого ПО для спектрального анализа, которая с учетом связей и обмена данными между компонентами комплексного ПО ИИС позволяет осуществить системную интеграцию метрологически совместимых программных модулей вычисления коррелограммных и периодограммных оценок СПМ. Это существенно расширяет область применения разработанного цифрового алгоритма для решения задач, предполагающих оценивание частотного состава сигналов в условиях, ограничения по времени обработки. Также практическая значимость подтверждается 5 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ на разработанное алгоритмическое и программное обеспечение.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

6. Замечания по диссертационной работе

По диссертационному исследованию имеются следующие вопросы и замечания:

1. Детально рассмотрены аналитические соотношения для различных оконных функций в предлагаемых методах, однако отсутствует сравнение и обоснование целесообразности использования конкретного окна для решения той или иной практической задачи, или при конкретных практических условиях.

2. На рисунке 4.1 приведена обобщенная схема ИИС. Проводились ли расчёты погрешностей системы, вызванной погрешностями компаратора? Как реализуется аналоговый ГВРС (генератор вспомогательного рандомизирующего сигнала) и каковы его погрешности? Как реализуется ЦГВРС (цифровой генератор вспомогательного рандомизирующего сигнала)? Какие характеристики рандомизирующего сигнала он может обеспечивать?

3. В тексте диссертации приводятся подробные расчёты числа операций вычисления оценки СПМ периодограммным и коррелограммным методами при равномерной дискретизации и бинарно-знаковом аналого-стохастическом квантовании, однако желательно было бы показать сравнительный анализ в табличной или графической форме.

4. Слишком часто в тексте встречаются аббревиатуры, определенные в других разделах работы, что затрудняет ее изучение.

5. В автореферате в списке работ, опубликованных по теме диссертации в разделе «Публикации в изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах WebOfScience и Scopus» даются выходные данные статьи на транслите. Следовало бы дать ссылку на эту статью на русском языке.

6. В заключение нет рекомендаций и перспектив дальнейших исследований, как требует п.9.2.3. ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера, не снижают общего высокого качества выполненной работы и не ставят под сомнение научные результаты и выводы по диссертации.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Результаты и выводы в диссертационной работе Машкова А.В. соответствуют сформулированным целям и поставленным задачам.

Диссертация представляет собой актуальную и законченную научно-

квалификационную работу, содержащую обоснованные результаты исследования. В диссертационном исследовании представлен достаточный объем результатов, обладающих научной новизной и практической ценностью. Основное содержание работы полностью отражено в автореферате и опубликованных статьях.

Диссертация отвечает паспорту научной специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям ВАК при Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Машков Андрей Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы.

Диссертационная работа Машкова А.В. и настоящий отзыв обсуждены на заседании кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (протокол № 7 от 15.05 2024 г.).

Отзыв подготовили:

Профессор кафедры
«Информационно-измерительная и
биомедицинская техника» (ИИБМТ)
д.т.н., профессор

Прошин Евгений Михайлович

Научная специальность: 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы

Профессор кафедры
«Информационно-измерительная и
биомедицинская техника» (ИИБМТ)
д.т.н., доцент

Чернов Евгений Иванович

Научная специальность: 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы

Подписи Е.М. Прошина и Е.И. Чернова заверяю:
Ученый секретарь ученого совета
РГРТУ им. В.Ф. Уткина



К.В. Бухенский

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1
Тел.: +7(4912) 72-03-03, e-mail: rgrtu@rsreu.ru

Кафедра «Информационно-измерительная и биомедицинская техника» (ИИБМТ)
к. 329, гл. учебный корпус
Тел.: +7(4912) 72-03-65, E-mail: zhulev.v.i@rsreu.ru