

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ширкаева
Алексея Владимировича "Разработка и исследование аппаратно-ориентированных алгоритмов измерения параметров широкополосного сигнала в условиях доплеровской деформации", представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы исследования

В последнее десятилетие особенно быстрыми темпами развиваются исследования в областях всех радиотехнических систем, важнейшей задачей которых является повышение эффективности обработки принимаемой информации, которая определяет конечный технический и конструктивный блок разрабатываемых систем. При этом системы обработки информации в начале их функционирования должны наилучшим образом обеспечивать определение требуемых параметров принимаемых сигналов и вносить минимальные потери в отношении мощностей сигналов и мешающих помех.

Одним из направлений совершенствования разрабатываемых систем является внедрение принципов широкополосной передачи, которые дают возможность разрешить противоречия между разрешающей способностью и дальностью действия, повысить скорость обработки информационных потоков, обеспечить высокую помехозащищённость и другие характеристики функционирующих систем. Именно в этом направлении работают российские и зарубежные учёные.

Особые возможности появились с развитием цифровой техники. Это послужило основанием для изучения и разработки различных дискретно-кодированных сигналов (ДКС). Особый интерес вызывают сигналы с кодированием сразу нескольких параметров элементарных радиоимпульсов. Однако задача детального анализа, синтеза и обработки таких сигналов с требуемыми характеристиками ещё не нашла решения в общем виде.

Развитие вычислительной техники для реализации цифровой обработки сигналов предоставляет широкий выбор различных путей при проектировании аппаратуры современных радиотехнических изделий. Среди этих средств можно выделить высокопроизводительные программно-управляемые цифровые процессоры и модули на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Одна из основных задач при проектировании систем для определения параметров сигналов от подвижных объектов есть оценка и измерение временной задержки и частотного сдвига сигналов в присутствии доплеровской деформации. Совместное определение этих величин осуществляется на основе вычисления широкополосной взаимной функции неопределённости (ВФН). Поэтому актуальной является задача оценки влияния доплеровской деформации на точность корреляционной обработки сигналов.

Целесообразность и эффективность применения методов на основе вычисления ВФН зависит от возможности их эффективной реализации, применение которой требует принимать во внимание много информации, таких как вид и способ модуляции, вид и структуру приёмного устройства, алгоритм, реализующий способ цифровой обработки и многие другие.

В настоящее время чаще предпочтение отдаётся интегральным схемам с программируемой логикой. В этой связи разработка алгоритмов обработки сигналов в условиях влияния эффекта Доплера с точки зрения эффективности применения программируемых логических интегральных схем с ограниченными вычислительными ресурсами в радиотехнических системах реального времени с жёсткими ограничениями на массогабаритные характеристики, энергопотребление и стоимость является актуальной.

Объём и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

В первой главе выполнен анализ взаимной функции неопределённости непрерывного фазокодоманипулированного (ФКМ) сигнала в присутствии доплеровской информации и проведено соответствующее экспериментальное исследование. Получена оценка предельного значения влияния доплеровской деформации, после которого невозможен корреляционный метод измерения времени сдвига с последующим спектральным анализом.

Во второй главе выполнено исследование адаптивного метода вычисления взаимной функции корреляции между излучаемым и принимаемым полезными сигналами при отсутствии доплеровской деформации. Отработан экспериментальный подход при проектировании коррелятора без умножителей, что существенно повышает эффективность обработки сигналов на ПЛИС.

В третьей главе выполнен анализ возможных алгоритмов устранения неоднозначности определения временной задержки непрерывного ФКМ сигнала. На основании анализа предложен и реализован метод устранения неоднозначности с применением комбинированного метода кодирования. В результате, несмотря на усложнение закона модуляции, удалось свести к минимуму объём вычислений и снизить объём требуемых вычислительных ресурсов ПЛИС в среднем в два раза и обеспечить расширение диапазона однозначности определения временной задержки принимаемого ФКМ сигнала с сохранением точности измерения. При этом: 1) заложены некоторые возможности для дальнейшего расширения диапазона и устранения неоднозначности измеряемых задержек; 2) становится возможным быстро перестраивать систему обработки и формирования ФКМ сигнала под требуемые характеристики точности и однозначности измерения временной задержки.

В четвёртой главе выполнен анализ, проведено численное моделирование и дана оценка точности и помехозащищённости алгоритма измерения временного сдвига корреляционным измерителем при влиянии доплеровской деформации, а также осуществлён синтез алгоритма совместного измерения временного и частотного сдвига по усреднённому ансамблю функции взаимной корреляции. Выполнена аппаратно-ориентированная реализация алгоритма измерения частотного сдвига на базе ПЛИС с помощью быстрого преобразования Фурье. Дана оценка эффективности с точки зрения использования вычислительных ресурсов. При этом показано, что предложенный корреляционно-спектральный алгоритм значительно выигрывает по вычислительной сложности в сравнении с известными подходами к вычислению функции неопределённости для совместного определения временных и частотных сдвигов.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации определяется согласованностью научных выводов и рекомендаций с фундаментальными положениями статистической радиотехники и радиофизики, теории информации, статистической теории приёма и обработки сигналов, согласованностью аналитических результатов с результатами математического моделирования и с известными экспериментальными результатами.

Научная новизна результатов диссертации состоит в следующем.

Диссертация содержит двенадцать очень важных результатов. Среди них, с моей точки зрения, с объединением некоторых из них можно выделить следующие.

1. Получено аналитическое выражение для функции неопределённости фазокодоманипулированного сигнала после синхронного детектора с применением "скользящего" по принимаемому сигналу временного окна с длительностью, равной периоду зондирования.

2. В результате численного моделирования показано, что в условиях, когда отношение скорости источника сигнала к скорости его распространения не превышает $|0,05|$, возможно применение корреляционно-спектрального алгоритма, основанного на вычислении функции неопределённости для измерения временных и частотных параметров непрерывного ФКМ сигнала.

3. Предложен аппаратно-ориентированный алгоритм вычисления взаимной функции корреляции, позволяющий в режиме реального времени получать значения функции взаимной корреляции принимаемого и опорного сигналов при эффективном использовании вычислительных ресурсов на базе ПЛИС. Разработаны и исследованы программная модель и макет корреляционного измерителя, основанная на предложенном алгоритме.

4. Разработан метод формирования излучаемого сигнала на основе комбинированного правила кодирования, позволяющий расширить диапазон и устранить неоднозначность измерения временной задержки непрерывного ФКМ сигнала. Предложена аппаратная реализация системы обработки непрерывно принимаемого ФКМ сигнала на двух корреляторах, тактирование которых осуществляется кратными частотами, образованными из тактовой частоты ПЛИС.

5. Синтезирован корреляционно-спектральный алгоритм совместного измерения временного и частотного сдвигов со скользящим окном, в котором частотный сдвиг определяется после операции усреднения функции взаимной корреляции за период опорного сигнала, при компактной аппаратной реализации на ПЛИС.

6. Предложена аппаратно-ориентированная реализация вычисления БПФ на ПЛИС, которая не уступает импортным аналогам по требуемым вычислительным ресурсам и времени реализации вычисления, при этом не привязана к конкретной вычислительной системе.

Достоинством диссертационной работы является практическая направленность полученных результатов для задач совершенствования и разработки современных с высокими качественными характеристиками радиотехнических систем. Для всех изучаемых вопросов в диссертации приведены практические рекомендации по использованию корреляционных свойств полезных сигналов и помех. Предложенная аппаратно-ориентированная реализация вычисления быстрого преобразования Фурье на ПЛИС не уступает импортным аналогам по требуемым вычислительным ресурсам и времени реализации вычислений, что очень актуально в настоящее время, и не привязана к конкретной вычислительной системе.

Основные результаты диссертации опубликованы в 14 печатных работах, из них 5 статей в научно-технических журналах, рекомендуемых ВАК, две из которых опубликованы в издании, включённом в реферативную базу данных Scopus.

Исключительно важным является то, что соискателем получен патент на изобретение “Цифровой многоканальный коррелятор фазоманипулированных сигналов”.

Результаты диссертации прошли хорошую апробацию на научно-технических конференциях.

Общие замечания по диссертационной работе.

1. В научном мире принятым является использование термина “отношение мощностей сигнала и помех (шум)”. В работе же используется термин “отношение сигнал/шум”, при этом используется отношение (стр.4, 22, 53, 75).

2. На стр.7 есть неясность следующая: "...фаза и амплитуда которых изменяется в соответствии с дискретной последовательностью $\omega_i \in \{0, \pm 1\} (i = 0, 1, 2, \dots, N-1)$ при фиксированном в пределах $5 \div 6$ пик-факторе".

3. Стр.10: "Одной из основных задач при проектировании систем для обнаружения параметров сигналов...". Обнаруживаются сигналы, а не их параметры.

4. Стр.38: Одним из направлений современных систем ближней докации... Таким образом автор исследует систему ближней локации.

5. Стр.112: не ясна фраза: "Результат обработки сигнала в виде синуса с добавлением белого шума ($SNR = 0$ дБ) предложенного подхода к вычислению БПФ представлен на рисунке 3".

Общая оценка диссертационной работы.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертации, которая представляет собой законченный научный труд и носит теоретический и практический характер с рекомендациями применения. Выполненная на высоком научном уровне с применением и реализацией алгоритмов цифровой обработки сигналов диссертационная работа обладает новизной и актуальностью. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Общий вывод. Диссертационная работа "Разработка и исследование аппаратно-ориентированных алгоритмов измерения параметров широкополосного сигнала в условиях доплеровской деформации" полностью соответствует требованиям "Положения о порядке присуждения учёных степеней и присвоения учёных званий", предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Ширкаев Алексей Владимирович заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент, доктор
физико-математических наук, профессор
Нижегородского государственного технического
университета им. Р.Е. Алексеева



В.И. Есипенко

Подпись В.И. Есипенко заверяю
Учёный секретарь НГТУ



И.Н. Мерзляков

Сведения об оппоненте:

Есипенко Валентин Иванович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (научная специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и промышленности) (по техническим/физико-математическим наукам), старший научный сотрудник, профессор кафедры "Электроника и сети ЭВМ" НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Телефон: +7 930-801-12-61.

E-mail: esipenko@nntu.ru

27.11.2025г.