МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Вятский государственный университет»

(ВятГУ)

г. Киров

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», канд. с.-х. наук, доцент

_____ Литвинец С.Г.

«28» ноября 2025 г.

ОТЗЫВ
ведущей организации
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Вятский государственный университет»
на диссертационную работу Ширкаева Алексея Владимировича
«Разработка и исследование аппаратно-ориентированных алгоритмов измерения параметров широкополосного сигнала в условиях доплеровской деформации»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа Ширкаева А.В. посвящена разработке и исследованию алгоритмов обработки фазокодоманипулированных (ФКМ) сигналов в условиях доплеровской деформации с ориентацией на реализацию в программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Широкополосные сигналы находят широкое применение в радиолокации, гидролокации, системах связи и навигации, а требования к точности определения параметров, быстродействию и энергоэффективности обработки таких сигналов постоянно возрастают. Особую значимость работа приобретает в контексте задач импортозамещения и разработки компактных радиотехнических систем с ограниченными вычислительными ресурсами. Особую сложность представляет обработка широкополосных фазоманипулированных сигналов в условиях доплеровской деформации, вызванной движением объектов.

Экспериментально подтверждено, что в условиях, когда вызванное эффектом Доплера изменение периода модуляции не превышает длительности кванта модулирующей псевдослучайной последовательности ПСП, измерение

временного положения возможно с точностью, близкой к ширине основного максимума автокорреляционной функции, а частотного сдвига – с точностью, определяемой периодом опорного сигнала. Разработан и исследован ряд аппаратно-ориентированных алгоритмов для решения поставленных в работе задач.

Анализ содержания диссертации

Диссертация изложена на 138 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 50 рисунков, 9 таблиц и 31 формулу. Список литературы включает 127 источников, в том числе 14 публикаций автора.

Введение содержит обоснование актуальности темы, формулировку цели и задач исследований, положения, выносимые на защиту, описание научной новизны и практической значимости.

Первая глава посвящена анализу влияния эффекта Доплера на измерение параметров ФКМ сигналов. Проведены численное моделирование и лабораторный акустический эксперимент с использованием М-последовательности, которые позволили оценить предельные значения доплеровской деформации.

Вторая глава содержит разработку алгоритмов измерения временной задержки ФКМ сигналов. Предложен аппаратно-ориентированный алгоритм вычисления взаимной функции корреляции (ВФК) на ПЛИС без использования операций умножения. Алгоритм реализован на систолическом массиве процессорных элементов с сумматорами-вычитателями, управляемыми бинарной ПСП. Экспериментально подтверждено сокращение времени вычисления ВФК в среднем в 2 раза по сравнению с традиционными методами.

Третья глава посвящена разработке методов расширения диапазона измеряемых временных задержек. Предложен комбинированный метод кодирования с использованием двух ПСП разных по длительности, но с одинаковым правилом кодирования. Показано, что когда выполняется условие ортогональности последовательностей, то становится возможным расширить диапазон измеряемых задержек, а также повысить однозначность ее определения при незначительном увеличении вычислительных ресурсов ПЛИС.

Четвертая глава включает разработку алгоритма измерения частотного сдвига ФКМ сигналов. Разработан корреляционно-спектральный метод, основанный на вычислении БПФ усредненных значений ВФК. Предложена аппаратная реализация БПФ на ПЛИС с заменой операций умножения на операции сдвига, что позволило сократить количество используемых умножителей с 18 до 6 при сохранении отношения сигнал-шум на уровне 10 дБ.

Заключение содержит обобщение результатов работы, выводы и рекомендации по дальнейшему применению разработанных методов.

Научная новизна

Научная новизна работы Ширкаева А.В. заключается в следующем:

1. Впервые предложен корреляционно-спектральный алгоритм определения частотно-временных сдвигов сигналов с непрерывной широкополосной модуляцией, позволяющий определять временной и частотный сдвиги в условиях влияния эффекта Доплера в реальном масштабе времени.
2. Разработан и запатентован аппаратно-ориентированный алгоритм вычисления взаимной функции корреляции, позволяющий в режиме реального времени получать значения ВФК принимаемого и опорного сигналов без операций умножения.
3. Предложен новый алгоритм измерения временных задержек непрерывного широкополосного сигнала, основанный на комбинированном правиле кодирования, позволяющий повысить диапазон однозначного определения временной задержки пропорционально квадрату количества символов модулирующей последовательности.
4. Разработан аппаратно-ориентированный алгоритм вычисления БПФ на ПЛИС без использования умножителей с применением операций сдвига, обеспечивающий сокращение требуемых вычислительных ресурсов.

Оценка научной и практической значимости диссертации

Диссертационная работа Ширкаева А.В. имеет высокую научную и практическую значимость. Теоретические результаты могут быть использованы в развитии соответствующих разделов теории обработки сигналов, цифровой фильтрации и радиолокации.

Практическая ценность работы подтверждена:

- разработкой и испытаниями лабораторного макета корреляционного измерителя на базе ПЛИС Spartan-3AN, показавшего разрешающую способность 8 мм при частоте 40 кГц;
- созданием алгоритмов, ориентированных на импортозамещение и применение в отечественной радиоэлектронной аппаратуре;
- получением патента на изобретение «Цифровой многоканальный коррелятор фазоманипулированных сигналов»;
- внедрением результатов работы в АО «Корпорация «Комета» – «КБ «Квазар» и ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Полученные в диссертационной работе теоретические и практические результаты и выводы по разработанным алгоритмам могут быть рекомендованы для использования в НИИ, КБ и в образовательных организациях, занимающихся исследованиями и разработками устройств и систем в области радиолокации, связи и навигации.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- использованием современных методов статистической радиофизики, цифровой обработки сигналов и математического моделирования;
- результатами численного моделирования и лабораторных экспериментов, включая акустические эксперименты с пространственным расположением приемника и излучателей;
- согласованностью теоретических и экспериментальных данных – расхождение между измеренными и расчетными расстояниями в экспериментах не превышало 3%;
- апробацией основных результатов в рецензируемых научных изданиях и докладах на конференциях.

Апробация работы

Основные результаты работы были представлены на 11 научных конференциях (региональных, всероссийской, международных), опубликовано 5 статей в журналах из перечня ВАК РФ, две из которых индексированы в базе Scopus, а также получен патент на изобретение.

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе не указаны метрологические требования к проведению эксперимента и не показаны погрешности измеренных величин.
2. В недостаточной степени учтено влияние неидеальностей аналогового тракта на точность измерений, особенно в условиях реальных помех.
3. Не проведен сравнительный анализ предложенных алгоритмов с зарубежными аналогами по таким параметрам как энергопотребление и стоимость реализации.
4. Отсутствуют рекомендации по применению разработанных алгоритмов в смежных областях радиотехники, например, в системах связи.
5. Имеются незначительные отклонения от требований по оформлению диссертации (подписи к рисункам и ссылки на рисунки, отсутствие знаков пунктуации в некоторых формулах, описки, отклонения от ГОСТ в части записей источников информации в списке литературы).

Следует отметить, что приведенные замечания не носят принципиального характера, не снижают общей высокой оценки выполненных исследований и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов.

Заключение

Диссертационная работа Ширкаева Алексея Владимировича «Разработка и исследование аппаратно-ориентированных алгоритмов измерения параметров широкополосного сигнала в условиях доплеровской деформации» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. Содержание работы соответствует специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, а именно пунктам 3, 5 паспорта специальности. Работа удовлетворяет всем требования пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ширкаев Алексей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв составлен Частиковым А.В., доктором технических наук, профессором, профессором кафедры радиоэлектронных средств. Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры радиоэлектронных средств ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» 26 ноября 2025 г. (протокол №3).

Заведующий кафедрой радиоэлектронных средств федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вятский государственный университет», кандидат технических наук, доцент Н.Л. Харина

Собственноручную подпись Н.Л. Харина заверяю.
Ведущий специалист по кадрам Борисова Л.С.

ОТДЕЛ КАДРОВ

Сведения о ведущей организации:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет». Адрес: 610000, РФ, Приволжский федеральный округ, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, д.36. Тел. 8 (8332) 742-630, e-mail: info@vyatsu.ru, сайт: http://www.vyatsu.ru