

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
цифровому развитию д.ф.-м.н., доцент

Кучерик А.О.

«12» января 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» на диссертационную работу Чинь Нгок Хиеу на тему «Алгоритмы многоканальной фильтрации импульсных радиосигналов с переменным периодом повторения на фоне узкополосных помех», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения; 2.2.16 - Радиолокация и радионавигация.

Актуальность направления научного исследования

Тема диссертационной работы Чинь Нгок Хиеу посвящена решению важных задач радиотехники, обеспечивающих повышение эффективности многоканальной фильтрации при первичной обработке сигналов радиолокации и навигации и снижение погрешности оценки модулирующей частоты радиосигнала. Методы цифровой обработки сигналов, используемые в диссертационной работе, позволяют более эффективно решить эти задачи, направленные на повышение ключевых показателей систем радиолокации и навигации. В этой связи, предлагаемые в диссертации разработка и исследование новых алгоритмов многоканальной фильтрации импульсных радиосигналов с переменным периодом повторения на фоне узкополосных помех является своевременной и актуальной задачей.

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа Чинь Нгок Хиеу изложена на 145 страницах машинописного текста, в том числе 15 страниц приложений. Диссертация состоит из введения, трех глав с выводами по главам, заключения, списка литературы и приложений. Список литературы включает 145 источников, в том числе 20 публикаций автора.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулирована ее цель и задачи для ее решения, приведены основные положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, указан личный вклад автора, а также приведены сведения о внедрении достигнутых результатов диссертационной работы.

Первая глава посвящена обоснованию выбора моделей корреляционных матриц помехи, сигнала и критериев для оценки эффективности многоканального фильтра. Рассмотрена структура многоканального фильтра, реализуемого с применением различных алгоритмов программирования процессоров: классического алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ), оптимального алгоритма, модифицированного БПФ и комбинированного алгоритма. Приведено исследование архитектуры процессоров и их амплитудно-частотных характеристик, оптимизированных по критериям средней вероятности правильного обнаружения сигналов с неизвестной частотой и среднего по всем частотным каналам коэффициента улучшения отношения сигнал/(шум+помеха). Установлено, что использование модифицированного алгоритма БПФ приводит к возникновению дополнительных боковых лепестков в амплитудно-частотной характеристике фильтра, а их число увеличивается с ростом количества различных частот повторения.

Во второй главе представлена оценка эффективности различных БПФ-процессоров в условиях белого гауссовского шума и узкополосной помехи. Выполнен сравнительный анализ погрешностей оценки модулирующей

частоты сигнала с переменным периодом следования при применении различных алгоритмов.

Показано, что при обработке сигнала на фоне белого гауссовского шума (БГШ) применение модифицированного алгоритма БПФ дает выигрыш по сравнению с классическим алгоритмом БПФ. При обработке сигнала с двухпериодной модуляцией периода повторения импульсов применение модифицированного алгоритма БПФ увеличивает среднюю вероятность правильного обнаружения сигнала на 10% и обеспечивает улучшение среднего коэффициента улучшения отношения сигнала-шум на 1,6 дБ, а при применении модифицированного алгоритма БПФ увеличивает среднюю вероятность правильного обнаружения сигнала на 5% и улучшает отношение сигнал/шум на 1,17 дБ. Комбинированный алгоритм обеспечивает повышение среднего энергетического выигрыша в отношении сигнал/(шум+помеха) на 1,8 дБ и увеличение средней вероятности правильного обнаружения сигнала на 5 % по сравнению с многоканальным фильтром на основе классического алгоритма БПФ.

Исследовано применение известных методов оценки частоты радиоимпульсов для сигналов с неэквидистантным периодом следования и проведен их сравнительный анализ. На основе модифицированного алгоритма БПФ вычислены поправки оценки частоты, учитывающие параметры модуляции периода повторения радиоимпульсов. Полученные результаты позволяют обоснованно выбирать метод вычисления оценки частоты при многоканальной частотной фильтрации по критерию средней погрешности оценки частоты сигнала с неэквидистантным периодом следования.

Третья глава посвящена разработке архитектурных решений модифицированного алгоритма БПФ. Выполнена их реализация на отладочной плате, проведен анализ экспериментальных результатов и необходимых ресурсов для синтеза. Эксперимент проводился на разных программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), а при анализе погрешности модифицированного алгоритма БПФ на ПЛИС была

использована микросхема Cyclone IV EP4CE6E22C8. Результаты эксперимента показывают, что модифицированный алгоритм БПФ дает лучшие результаты, чем классический алгоритм БПФ при обработке неэквидистантной последовательности импульсов. Модифицированный алгоритм БПФ выполняет дополнительные умножения по сравнению с классическим БПФ на заключительном этапе, но это не влияет на время вычисления, благодаря возможности параллельных вычислений на ПЛИС. Он требует лишь большего количества ресурсов при реализации, что связано с добавлением комплексного умножителя для выполнения дополнительных операций.

В разделе «**Заключение**» диссертантом обобщены проведенные исследования и полученные результаты. Выводы диссертационного исследования логически вытекают из изложенных результатов и соответствуют поставленным в работе цели и задачам.

Научная новизна

Научная новизна работы Чинь Нгок Хиеу состоит в том, что теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что предложенные алгоритмы спектральной обработки сигналов с неэквидистантным периодом следования импульсов:

- на фоне шумов отличаются от известных алгоритмов, основанных на классическом БПФ, оптимизацией их фазовой структуры в соответствии с параметрами изменения периода повторения импульсов;
- на фоне узкополосных помех отличаются от известных структур, основанных на классическом БПФ, оптимизацией его амплитудно-фазовой структуры в соответствии с корреляционными матрицами сигнала с переменным периодом повторения импульсов;
- обеспечивают увеличение среднего энергетического выигрыша в отношении сигнал-шум на 1,6 дБ при обработке неэквидистантной последовательности импульсов на фоне белого шума по сравнению с

многоканальным фильтром на основе классического алгоритма БПФ, что достигается модификацией (оптимизацией) их фазовой структуры в соответствии с параметрами изменения периода повторения импульсов.

Практическая значимость

Практическая значимость полученных результатов исследования состоит в том, что теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что:

- комбинация классического и модифицированного алгоритмов БПФ с оптимизацией его амплитудно-фазовой структуры в соответствии с корреляционными свойствами сигнала с переменным периодом повторения импульсов обеспечивает повышение средней вероятности правильного обнаружения сигнала на 5 % при обработке неэквидистантной последовательности импульсов на фоне узкополосной помехи и белого шума по сравнению с многоканальным фильтром на основе классического алгоритма БПФ;

- предложенный алгоритм извлечения уточненной оценки скорости цели, основанный на максимизации функции правдоподобия, учитывающий параметры модуляции периода повторения импульсов сигнала, обеспечивает уменьшение средней относительной погрешности оценки частоты Доплера на 38 % по сравнению с многоканальным фильтром на основе классического алгоритма БПФ;

- при обработке сигнала с двухпериодной модуляцией периода повторения импульсов на фоне белого шума применение модифицированного алгоритма БПФ увеличивает среднюю вероятность правильного обнаружения сигнала на 10% и обеспечивает улучшение среднего коэффициента улучшения отношения сигнала-шум на 1,6 дБ;

- в случае обработки сигнала с трехпериодной модуляцией периода повторения импульсов при применении модифицированного алгоритма БПФ

увеличивает вероятность правильного обнаружения сигнала на 5% и улучшает отношение сигнал/шум на 1,17 дБ;

- при обработке сигнала на фоне помехи и шума комбинация классического и модифицированного алгоритмов БПФ обеспечивает повышение среднего энергетического выигрыша в отношении сигнал-(шум+помеха) на 1,8 дБ и увеличение средней вероятности правильного обнаружения сигнала на 5 % при обработке двухпериодной неэквидистантной последовательности импульсов по сравнению с многоканальным фильтром на основе классического алгоритма БПФ;

- практическая реализация модифицированного и комбинированного алгоритмов БПФ на основе ПЛИС для обработки неэквидистантных последовательностей отсчетов сигнала не увеличивает время выполнения алгоритма и обеспечивает, увеличение отклика фильтра на частоте сигнала на 16 %, что в радиолокации эквивалентно увеличению дальности обнаружения объекта до 8 %.

Оценка научной и практической значимости диссертации

Диссертационная работа Чинь Нгок Хиеу имеет высокую научную и практическую значимость. Теоретическая значимость исследований, проведенных диссертантом, обусловлена получением аналитических выражений для вычисления значения отсчета на выходе k -го частотного канала многоканального частотного фильтра, а также квалифицированной оценкой вычислительных затрат модифицированных алгоритмов БПФ. Предложенные теоретические разработки, подтвержденные экспериментально, перспективны для применения в процессе создания и оптимизации систем обработки сигналов в современных радиолокационных комплексах. Описанный подход обладает потенциалом для расширения и адаптации к разнообразным задачам селекции сигналов в различных радиотехнических системах.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается использованием классических методов теории вероятностей, математической статистики, матричного исчисления, статистической радиотехники и теоретической радиолокации. Проведенные в работе исследования базируются на методах математического и натурного моделирования. Полученные результаты не противоречат современным научным представлениям.

Апробация работы

Результаты диссертационной работы были представлены Чинь Нгок Хиеу. в виде докладов на 5 научных конференциях (одной всероссийской, 4-х международных), опубликовано 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено 8 свидетельств на программы для ЭВМ по предложенным соискателем алгоритмам.

Замечания по диссертационной работе

1. Не ясно, почему исследования алгоритмов проводились при соотношении сигнал/шум в канале $Q = 30$ дБ, а не при $Q = 5$ дБ или 10 дБ.
2. Приведено слишком краткое пояснение рисунков 2.13 -2.15.

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 Чинь Нгок Хиеу «Алгоритмы многоканальной фильтрации импульсных радиосигналов с переменным периодом повторения на фоне узкополосных помех», является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи,

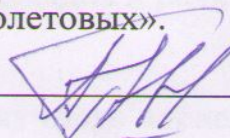
имеющей значение для развития радиотехники и радиолокации. Работа удовлетворяет требованиям действующего «Положения о присуждении учёных степеней», а ее автор Чинь Нгок Хиеу заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальностям 2.2.13 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения и 2.2.16 - Радиолокация и радионавигация.

Диссертационная работа была заслушана и обсуждена на объединенном научно-техническом семинаре кафедр «Радиотехника и радиосистемы» и «Электроника, приборостроение и биотехнические системы» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» - (ВлГУ), протокол № 16 от 24 декабря 2025 г.

Отзыв составил

доктор технических наук (специальность 05.12.13- Системы, сети и устройства телекоммуникаций), профессор кафедры «Радиотехника и радиосистемы» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Самойлов Александр Георгиевич



24.12.2025 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

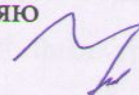
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

Тел, +7 (4922) 479 606; E-mail: oid@vlgu.ru.



Подпись д.т.н., профессора Самойлова А.Г. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ВлГУ



Т.Г. Коннова

С отзывом ознакомлен 27.01.2026

