

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Для минимизации вероятности возникновения слепых зон по дальности и скорости целей в радиолокации часто используют сигналы с вариацией периода повторения зондирующих импульсов. Однако, использование неэквидистантных последовательностей импульсов (НПИ) осложняет реализацию многоканальных доплеровских фильтров (ДФ) отражаемых целями сигналов. Для получения вычислительно эффективных алгоритмов приёма часто в качестве основы используют быстрое преобразование Фурье (БПФ), однако базирующиеся на БПФ алгоритмы недостаточно полно учитывают неэквидистантную структуру сигнала, что при приёме приводит к определенным потерям в отношении сигнал-шум (ОСШ), а при наличии узкополосных пассивных помех к потерям в отношении сигнал – (помеха+шум).

Ещё одной важной составляющей радиолокационной обработки является оценка скорости цели, определяемая доплеровским смещением частоты. Без учета неэквидистантной структуры сигнала точность оценивания смещения частоты снижается, что порождает необходимость разработки методов и алгоритмов компенсации возникающих погрешностей.

В диссертационной работе Чинь Нгок Хиеу предложены и исследованы оригинальные подходы к осуществлению согласованной фильтрации, основанные на модифицированной версии алгоритма БПФ, учитывающей параметры изменения периода повторения импульсов НПИ. Предлагаемые в работе технические решения позволяют компенсировать потери при обнаружении и оценке параметров сигналов, характерные для классических подходов, что улучшает точность извлечения радиолокационной информации из принимаемых НПИ и вносит **значимый вклад** в развитие теории и практики создания комплексов радиолокации. Таким образом, **актуальность** диссертационной работы сомнений не вызывает.

Наибольшую **значимость для науки** представляют собой следующие результаты:

1. Разработанный на базе БПФ модифицированный алгоритм приёма сигналов, обеспечивающий при обработке НПИ средний энергетический выигрыш в отношении сигнал-шум, составляющий 1,6 дБ и увеличение средней вероятности правильного обнаружения сигнала на 10 %.

2. Метод комбинирования классического и модифицированного алгоритмов приёма, обеспечивающий при обработке НПИ на фоне узкополосной помехи и белого шума повышение среднего энергетического выигрыша в отношении сигнал – (помеха+шум) на 1,8 дБ и увеличение средней вероятности правильного обнаружения сигнала на 5 %.

3. Модифицированный алгоритм оценки частоты НПИ, обеспечивающий уменьшение средней относительной погрешности следования импульсов на 38 % по сравнению с многоканальным фильтром на основе классического алгоритма БПФ.

4. Высокоэффективная практическая реализация на основе ПЛИС модифицированного и комбинированного алгоритмов БПФ для обработки НПИ.

Практическая значимость работы определяется:

1) повышением вероятности правильного обнаружения сигналов, увеличением дальности обнаружения и снижением погрешности определения скорости движения объектов комплексами радиолокации;

2) реализацией разработанных алгоритмов на аппаратном уровне с помощью программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), что позволило на практике проконтролировать улучшение показателей алгоритмов;

3) внедрением результатов в производственную деятельность предприятия АО «Торговля и развитие электронных технологий E-STARs» (Социалистическая Республика Вьетнам), а также в подготовку магистрантов направления "Радиотехника" 11.04.01 в РГРТУ им. В.Ф. Уткина.

Достоверность и обоснованность полученных результатов определяется тем, что для достижения цели и решения задач соискатель использовал известные апробированные подходы, методы математического и имитационного моделирования, цифровой обработки сигналов, теории оценивания и математической статистики, теории обнаружения сигналов и цифровой схемотехники. Также о достоверности свидетельствует активная апробация предлагаемых подходов на научно-технических конференциях и их публикация в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК Российской Федерации.

Научная новизна определяется: учетом технических особенностей работы радиолокационных комплексов и использованием специально разработанного математического аппарата для высокоэффективной реализации согласованной фильтрации НПИ; учетом возникновения дополнительных боковых лепестков в АЧХ фильтров, используемых для обработки НПИ, и разработкой способов устранения негативного влияния этих боковых лепестков; разработкой новой, базирующейся на модификации БПФ, структуры алгоритма обработки сигналов и исследованием преимуществ, обеспечиваемых практическим внедрением найденных технических решений.

Автореферат полностью соответствует диссертации, а публикации соискателя соответствуют ее основному содержанию и позволяют судить о научном вкладе соискателя в развитие теории обработки сигналов в системах радиолокации.

В качестве **замечаний** следует отметить следующие:

1. Эффективность обнаружения радиолокационных сигналов помимо алгоритма когерентного накопления излучавшейся последовательности импульсов будет существенно зависеть от особенностей организации процедуры поиска смещения обнаруживаемой НПИ вдоль оси времени. Вместе с тем, вопрос временной синхронизации в диссертационном исследовании не затрагивается. Было бы полезно проанализировать, будет ли (и сколь существенно) сказываться модифицированная структура алгоритма обработки сигнала на эффективность осуществления временной синхронизации? Не будет ли внедрение предлагаемых алгоритмов сопровождаться опасностью возникновения аномальных смещений при синхронизации?

2. В подразделе 1.3.1 диссертации при обсуждении специфики обрабатываемой последовательности отсчетов говорится о необходимости учета смещения нечетных отсчетов влево по отношению к равномерной последовательности моментов времени. Это подразумевает модификацию процедуры формирования последовательности подлежащих обработке отсчетов (а именно, использование неэквидистантной последовательности отсчетов). Вместе с тем, в разделе 2.1.2 обосновывается необходимость комбинирования модифицированного и классического подходов к обработке последовательности отсчетов, но в работе проблематично найти объяснения, как предлагается совмещать технологии получения выборок с равномерно расположенными на оси отсчетами и выборки со смещенными (для нечетных номеров) отсчетами.

3. В подразделе 2.1.2 диссертации отмечается, что оптимальная относительная граница каналов, обрабатываемых с использованием модифицированного и классического алгоритмов, зависит, в том числе, и от отношения шум-помеха λ . При этом, однако, остаётся неясным, является ли эта величина λ априори известной, как и не конкретизируется рекомендуемый способ её оценивания. Как следствие, представляется целесообразным исследовать, не будет ли утрачен на практике выигрыш, соответствующий комбинированию классического и модифицированного алгоритмов при возникновении существенной погрешности оценивания λ ?

4. В табл. 2.7 представлены результаты расчетов среднеквадратического отклонения $\sigma_{\dot{f}}$ оценки скорости цели для разных значений смещения частоты сигнала. При этом значение $\sigma_{\dot{f}}$ для смещения, равного 2,5 кГц, существенно отличается от прочих значений, представленных в таблице, однако каких-либо объяснений разнородности результатов в работе соискатель не приводит.

