



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«КОРПОРАЦИЯ «ФАЗОТРОН-НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОСТРОЕНИЯ»

АО «КОРПОРАЦИЯ «ФАЗОТРОН-НИИР»
Кавказский бул., 59, г. Москва, Россия, 115516
Адрес для корреспонденции: а/я 53, г. Москва, Россия, 125167
E-mail: info@phazotron.com, тел. (495) 927-0777, факс (495) 927-0778

18 АВГ 2022

№ 4-НИО1/2404

На № 010/1530-1

23.06.2022

Проректору по научной работе,
д.т.н, профессору

Ю.А. Равиковичу

Отзыв ведущей организации

Ученый совет МАИ
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе, д. 4

Уважаемый Юрий Александрович!

В соответствии с Вашим письмом (исх. 010/1530-1 от 23.06.2022) направляю в ученый совет МАИ отзыв ведущей организации на диссертацию Белокурова В.А. на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 "Радиолокация и радионавигация".

Приложение: 1. Отзыв ведущей организации, 2 экз., на 9 листах каждый
2. Сведения о ведущей организации, 2 экз., на 2 листах каждый

С уважением,

Первый заместитель Генерального директора
Генеральный конструктор



Ю.Н. Гуськов

Отдел документационного
обеспечения МАИ

25.08.2022



КОРПОРАЦИЯ
ФАЗОТРОН-НИИР

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«КОРПОРАЦИЯ «ФАЗОТРОН-НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОСТРОЕНИЯ»

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Генерального директора -
Генеральный конструктор

Ю.Н. Гуськов

2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертацию Белокурова Владимира Александровича «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учётом бортовой навигационной информации», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация» (технические науки)

Общие положения

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина».

Диссертация состоит из следующих разделов: введения, семи глав, заключения, библиографического списка и приложения. Библиографический список содержит 259 наименований. Общий объем диссертации 338 страниц, в том числе 293 страницы основного текста, 6 таблиц и 152 рисунка.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«25» 08 2022

Актуальность темы диссертационной работы

Одна из тенденций разработки современных летательных аппаратов состоит в применении различных мер, направленных на снижение радиолокационной заметности, т.е. в снижении ЭПР цели. Обнаружение таких целей существенно усложняется при появлении в доплеровском сдвиге частоты производных высших порядков, которые приводят к невозможности длительного когерентного накопления отраженных сигналов. Это обстоятельство способствует потерям в пороговом отношении сигнал-шум и увеличению ошибок оценки параметров движения данных целей. Обнаружение малоотражающих целей осложняется также возможностью резкого изменения параметров их движения.

Обнаружение подобных целей традиционными методами затруднительно и предполагает поиск новых подходов и алгоритмов, направленных на решение задачи обнаружения малоотражающих и маневрирующих целей.

Таким образом, тема диссертационной работы Белокурова В.А., направленной на решение комплекса радиолокационных задач, объединенных идеей повышения дальности обнаружения малоотражающих и высокоманевренных целей, является актуальной.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке новых алгоритмов обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов, основанных на объединении результатов межпачечного и межобзорного накопления радиолокационной информации с использованием навигационных данных. В частности разработаны и проанализированы:

- оригинальный алгоритм выбора числа каналов по ускорению в многоканальном обнаружителе маневрирующей цели, который обеспечивает максимизацию средней вероятности правильного обнаружения многоканальной системой обработки;

- новый, защищенный патентом, способ обнаружения маневрирующей цели, в отличие от известного алгоритма с сегментированием входной выборки

он обеспечивает заметный выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум, а, по сравнению с известным многоканальным по скорости цели алгоритмом, обеспечивает существенный выигрыш в числе вычислительных операций;

- новый алгоритм межпачечного накопления отраженных сигналов в режиме работы бортовой РЛС с высокой частотой повторения импульсов с раскрытием неоднозначности при измерении дальности;

- новый метод межобзорной обработки отраженных сигналов, учитывающий в обработке навигационную информацию о взаимных перемещениях носителя бортовой РЛС и объекта;

- новый алгоритм межобзорной обработки сигнала, отраженного от зависшего БПЛА, планерная составляющая которого не имеет доплеровского смещения частоты;

- новый эффективный метод вычисления порога обнаружения в алгоритме межобзорной обработки на фоне негауссовского шума;

- новый алгоритм стабилизации уровня ложной тревоги при межобзорном обнаружении, основанный на использовании метода моментов;

- новый алгоритм межобзорной обработки, обеспечивающий эффективное обнаружение сигналов на фоне широкого класса негауссовских коррелированных помех с различными законами распределения на основе математического аппарата сферических инвариантных процессов;

- новый алгоритм определения угловой ориентации высокоманевренного носителя бортовой РЛС.

Теоретическая значимость работы

Полученные автором в рамках диссертационной работы результаты имеют существенное значение для развития теории радиолокации, методов обработки сигналов в радиотехнических системах. В частности, диссертантом:

- проведен теоретический расчет характеристик обнаружения упрощенных алгоритмов обнаружения маневрирующей цели;

- исследована зависимость средней вероятности правильного обнаружения многоканального фильтра от числа каналов по ускорению. Показано, что данную

зависимость можно использовать для определения оптимального числа каналов по ускорению;

– на основе аппарата численного интегрирования характеристических функций получены аналитические зависимости, которые описывают закон распределения на входе порогового устройства при межобзорном накоплении. Данные аналитические зависимости позволяют в дальнейшем ввести критерии совместной оптимизации характеристик радиолокационных и навигационных систем, входящих в состав навигационно-пилотажного комплекса перспективных летательных аппаратов;

– развиты методы пороговой обработки в системах межобзорного накопления отраженных сигналов. Показано, что использование теоремы Балкема - де Хаана - Пикэндса, дающей возможность аппроксимировать «хвост» любого распределения обобщенным распределением Парето, и метода моментов, применяемого для оценки параметров данного распределения в «скользящем» окне, обеспечивают стабилизацию уровня ложной тревоги при межобзорном обнаружении отраженных сигналов на фоне негауссовского шума;

– проведен статистический синтез нового алгоритма межобзорного когерентного обнаружения флюктуирующих отраженных сигналов;

– развит метод межобзорного накопления при установке РЛС на борту подвижного основания, показано, что без учета параметров собственного движения возникают потери в пороговом отношении сигнал-шум. Использование навигационной информации об углах ориентации и проекциях скорости носителя РЛС дает возможность реализовать межобзорное накопление отраженных сигналов;

– развита теория применения описания случайных процессов сферическими инвариантными процессами применительно к межобзорному обнаружению цели на фоне негауссовских коррелированных шумов, закон распределения которых меняется от обзора к обзору, что доказано анализом экспериментальных данных РЛС ИПХ. Кроме того, теоретически обоснована процедура вычисления порога обнаружения;

– показана возможность использования в системах фильтрации навигационной информации малогабаритных навигационных систем интерактивного многомодельного фильтра Калмана с целью уменьшения ошибок определения угловой ориентации носителя РЛС при резких его маневрах.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается в следующем:

– проанализировано влияние радиального ускорения на энергетические и вероятностные характеристики многоканального доплеровского фильтра (МДФ). Увеличение радиального ускорения приводит к уменьшению энергетической дальности БРЛС;

– на основе анализа матрицы Фишера показано, что дисперсия оценки скорости минимальна при выборе точки отсчета в середине пачки, при этом оценки скорости и ускорения не коррелированы;

– определено оптимальное количество каналов по ускорению на основе максимизации средней вероятности правильного обнаружения;

– разработан способ обнаружения маневрирующего объекта, инвариантный к радиальной скорости и многоканальный по ускорению, обеспечивающий выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум до 4..5 дБ по сравнению с алгоритмами обнаружения, основанными на сегментировании входной выборки;

– разработан алгоритм межпачечного накопления, совмещенный с устранением неопределенности по дальности в режиме ВЧПИ, который обеспечивает выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум до 4 дБ по сравнению с известным, не учитывающим ускорение цели;

– разработан алгоритм когерентного межпачечного накопления, позволивший получить выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум 2 дБ по сравнению с известным алгоритмом межобзорного некогерентного накопления;

– разработан алгоритм межобзорной обработки отраженного от зависшего БПЛА эхо-сигнала с борта подвижного носителя малогабаритной РЛС, который

обеспечивает выигрыш в пороговом отношении сигнал-шум до 2 дБ по сравнению с алгоритмом, не учитывающим движение носителя РЛС, при накоплении данных 6 обзоров;

– рассмотрено влияние движения носителя бортовой РЛС на эффективность межобзорного накопления. Показано, что, в крайнем случае, при интенсивном маневрировании носителя БРЛС межобзорное накопление невозможно. Также обоснована необходимость вводить многоканальность по ускорению при использовании межобзорного накопления. Использование допустимого уровня потерь в пороговом отношении сигнал-шум при межобзорном накоплении позволяет установить требуемый уровень погрешностей определения угловой ориентации носителя бортовой РЛС;

– показано, что за счет учета смещения сектора обзора между двумя соседними обзорами с использованием информации об углах ориентации носителя БРЛС и координатах, получаемых от спутниковой навигационной системы, возможна реализация межобзорного накопления. Установлено влияние ошибок определения углов ориентации на эффективность накопления. Показано также, что погрешность определения координат центра связанной СК не оказывает заметного влияния на эффективность накопления в случае, если размер элемента разрешения по дальности существенно больше погрешности определения координат;

– разработан метод аналитического вычисления плотности распределения вероятностей отсчетов на входе порогового устройства при межобзорном накоплении, позволяющий реализовать вычисление порога обнаружения в реальном времени. Анализ осуществлялся на основе критерия согласия Колмогорова;

– разработан метод стабилизации уровня ложных тревог на основе использования теории экстремальных статистик и оценки параметров обобщенного распределения Парето методом моментов. Разработанный способ инвариантен к закону распределения отсчетов на входе порогового устройства и не требует существенных вычислительных затрат;

– разработан алгоритм сопровождения малоотражающего маневрирующего объекта при малом отношении сигнал-шум. Алгоритм основан на применении разработанного многомодельного гауссовского парциального фильтра и обеспечивает уменьшение СКО оценки координат объекта до 2..3 раз по сравнению с известным алгоритмом при равном количестве парциальных фильтров;

– разработан алгоритм определения угловой ориентации высокоманевренного носителя БРЛС, позволяющий уменьшить погрешности определения углов ориентации при маневре носителя БРЛС, что привело к снижению потерь в пороговом отношении на 2 дБ;

Достоверность и научная обоснованность результатов

Достоверность и научная обоснованность результатов подтверждается проведением теоретических исследований, математическим моделированием и результатами обработки экспериментальных данных.

Рекомендации по использованию результатов

Разработанные в рамках данного диссертационного исследования алгоритмы и способы обнаружения целесообразно использовать на предприятиях, разрабатывающих аппаратно-программное обеспечение РЛС. Материалы диссертации Белокурова В.А. рекомендуем включить в учебный процесс для студентов радиотехнических специальностей технических ВУЗов.

Недостатки диссертационной работы

1. Автор предлагает использовать метод экстремальных статистик для оценки порога обнаружения в скользящем окне. При этом рассматривается только случай двумерного окна.

2. При использовании подхода, основанного на инвариантных сферических случайных процессах, автор ограничился рассмотрением случая фактически однокоординатной РЛС. Непонятно, применим ли данный подход в двух- или трех-координатных РЛС.

3. Из работы непонятно, проводилось ли сравнение вычислительных затрат на реализацию синтезированных алгоритмов с алгоритмом многогипотезного сопровождения.

4. Из текста диссертации неясно, зависит ли эффективность разработанного межобзорного алгоритма обнаружения зависшего летательного аппарата от ракурса наблюдения.

5. Из текста диссертации неясно, проводил ли автор сравнительный анализ предлагаемых алгоритмов и алгоритмов сверхдлинного когерентного накопления (длительностью пачки до 150 мс и более).

Заключение

Диссертационная работа Белокурова Владимира Александровича «Методы и алгоритмы межобзорной обработки сигналов малоразмерных и сверхманевренных радиолокационных объектов с учётом бортовой навигационной информации» представляет собой законченное научное исследование, направленное на решение крупной научно-технической проблемы повышения качественных показателей обнаружения малоотражающих сверхманевренных объектов в перспективных БРЛС.

Достоинство разработанных в рамках данного диссертационного исследования способов и алгоритмов заключается в том, что они не предполагают увеличения мощности передатчика РЛС, а направлены на увеличение времени накопления (как когерентного, так и некогерентного) отражённых сигналов.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в 76 работах, в том числе: в 1 коллективной монографии; в 31 статье в журналах, рецензируемых ВАК РФ; в 14 публикациях в международных базах (Scopus, Web of Science). Результаты диссертации также обсуждались на 26 всероссийских и международных научно-технических конференциях. По теме диссертации получено: 3 патента на способ и 1 патент на устройство.

Автореферат диссертации, а также, публикации соответствуют и отражают содержание диссертационной работы. Диссертация соответствует специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация» (технические науки).

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а её автор Белокуров Владимир Александрович заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.2.16 - «Радиолокация и радионавигация» (технические науки).

Отзыв составлен на основании заключения НИО-1, структурного подразделения АО «Корпорация «Фазотрон – Научно-исследовательский институт радиостроения», разрабатывающего авиационные БРЛС, в результате обсуждения диссертационной работы Белокурова В.А. «16» августа 2022 года, протокол №2.

Отзыв составил:

Начальник отдела 13
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Форштер Аркадий Абрамович

С отзывом ознакомлен

25.08.22

Бело