

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Артюхина Игоря Владимировича «Синтез алгоритмов пространственной обработки сигналов в современных системах автомобильных ММО радаров», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика

Общие сведения

Диссертационная работа выполнена на кафедре статической радиофизики и мобильных систем связи федерального государственного автономного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 100 страниц, включая 55 рисунков, 11 таблиц и список литературы из 87 наименований.

Актуальность темы выполненной работы

В настоящее время ведутся активные исследования вопросов построения систем управления беспилотными автомобилями. Основу их составляют малогабаритные радиолокаторы сантиметрового и миллиметрового диапазонов, использующие антенные решетки с несколькими приемными и передающими антеннами – так называемые ММО (Multiple Input – Multiple Output) радары. Антенные решетки позволяют достаточно точно измерить угловое положение объекта, разрешать несколько объектов в пространстве, а также уменьшать влияние различных типов помех. Техническое развитие автомобильных радаров и распределенных систем, состоящих из нескольких радаров, приводят к необходимости разработки и совершенствованию методов обработки сигналов для различных сигнально-помеховых сценариев. Известно, что использование распределенной системы радаров приводит к существенному улучшению характеристик пространственного разрешения целей за счет совместной обработки сигналов отдельных радаров. Одновременно данные методы должны обеспечивать эффективное подавление помех. При такой комбинации существенно возрастает вычислительная сложность алгоритмов обработки сигналов. Таким образом, актуальной является задача разработки методов с малой вычислительной сложностью, способных работать в режиме реального времени в условиях нестационарной сигнально-помеховой обстановки и обеспечивать обработку сигналов с распределенной системы радаров.

Огромный спрос на рынке у разработчиков и производителей беспилотных автомобилей будущего поколения на изделия миллиметрового диапазона для создания перспективных интеллектуальных транспортных систем и беспилотных автомобилей определяет актуальность рассматриваемой работы.

Актуальность темы в материалах диссертации обоснована.

Цель работы

Целью работы является разработка и исследование эффективности алгоритмов подавления помех для одиночного радара в сложной сигнально-помеховой обстановке и алгоритмов оценки углов прихода сигналов в распределенной системе автомобильных радаров для случая короткой выборки входного процесса.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- адекватностью построенных в ней математических моделей;
- корректной реализацией математического аппарата;
- отсутствием противоречий результатов диссертации с известными теоретическими положениями статистической радиофизики;
- апробацией основных научных результатов на международных конференциях и публикацией их в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ;
- результатами моделирования и обработки экспериментальных данных.

Новизна исследований и научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, заключается в следующем:

В первой главе решена задача подавления помех в одиночном автомобильном радаре в условиях, когда помеховый сигнал (сигнал чужого радара) и полезный сигнал, отраженный от цели приходят с одного азимутального направления. Предложенный алгоритм подавления помех состоит из комбинации адаптивного проекционного метода формирования «нулей» в диаграмме направленности АР и метода вычитания помех в частотной области. Показана высокая эффективность предложенного алгоритма подавления помех на основе численного моделирования.

Во второй главе представлен оригинальный сверхразрешающий алгоритм оценки углов прихода сигналов с пониженной вычислительной сложностью в системе некогерентных распределенных автомобильных радаров в случае короткой выборки входного процесса. Ядром алгоритма является метод оценки углов прихода сигналов, основанный на двухканальном автокомпенсаторе помехи, что дало возможность

получить аналитические формулы для коэффициентов автокомпенсатора и, следовательно, исключить операцию вычисления обратной корреляционной матрицы входных сигналов. Предложенный метод по сравнению с методом Кейпона имеет выигрыш в использовании вычислительных ресурсов. На основе экспериментальных данных и численного моделирования показана эффективность разработанного алгоритма для системы распределенных некогерентных автомобильных радаров.

Третья глава посвящена вычислительно-эффективному двумерному алгоритму с последовательной оценкой углов прихода сигналов (в азимутальной и угломестной плоскостях) для распределенной системы бистатических когерентных ММО радаров в случае короткой выборки входного процесса. Приведено сравнительное численное моделирование по разрешению двух близкорасположенных источников отраженных сигналов для разных сценариев расположения целей в пространстве. Показана эффективность разработанного алгоритма по сравнению с другими известными методами.

Замечания по диссертационной работе:

1. На странице 15 в конце первого абзаца написано: «когда параметры полезного сигнала и помехи являются одинаковыми (ЛЧМ сигнал с одинаковой длительностью и полосой)». Непонятно, какие именно параметры одинаковые, имеется ли в виду доплеровский сдвиг частоты, время прихода, азимут? Это стоило бы пояснить подробнее.
2. На странице 18 в начале пункта 1.1 написано «Укрупненная схема автомобильного радара состоит из антенной системы, радиочастотной (высокочастотной) системы, системы обработки сигнала, системы распознавания и системы управления». Непонятно, что такое система распознавания и система управления? Лучше было бы это пояснить.
3. На странице 21 во втором абзаце написано: «Такая ситуация является наиболее сложной для ослабления влияния помехи». Кажется, что это не самая сложная ситуация. Нужны пояснения.
4. На странице 30 во втором абзаце написано «Отметим, что проблема оценки параметров помехового сигнала не рассматривается в данной работе». Возникает вопрос, как повели бы себя алгоритмы, если бы параметры помехи были известны неточно?
5. На странице 70 в последнем абзаце написано: «Непараметрический двумерный метод Кейпона выбран в качестве базового. Для него не требуется построения

адекватной математической сигнальной модели...». Странная фраза насчет адекватной модели. Требуется пояснение.

6. В третьей главе диссертации нередко встречаются результаты, когда полный 2D-метод Кейпона оказывается хуже, чем предложенный в работе 2-х шаговый алгоритм. Это не совпадает с теоретическими представлениями. Требуется пояснение, почему так происходит. Может быть, здесь влияет какая-то специфика обработки.

Отмеченные замечания не снижают научную ценность диссертационной работы и ее общую оценку, так как не затрагивают основные положения, выносимые на защиту.

Стиль изложения представленных материалов – доказательный, текст написан профессиональным и грамотным языком. Несомненным достоинством диссертации является использование экспериментальных данных.

Материалы диссертации соответствуют специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Заключение

Диссертация И.В. Артюхина «Синтез алгоритмов пространственной обработки сигналов в современных системах автомобильных ММО радаров» представляет собой сформированную научно-квалификационную работу на актуальную тему, имеющую значение для развития радиофизического подхода к решению задач пространственной обработки сигналов в современных системах автомобильных радаров и радиолокации.

Полученные автором в диссертационной работе результаты являются новыми, обоснованными и достоверными, имеют практическую и теоретическую значимость. Публикации И.В. Артюхина по теме содержат основные результаты диссертации (5 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ), которые также докладывались на международных конференциях (5 докладов). Автореферат полностью раскрывает содержание диссертации.

Диссертационная работа Артюхина Игоря Владимировича, представленная в совет 24.2.340.03, созданного на базе Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 25.01.2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Артюхин Игорь Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

