

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Чуманкина Юрия Евгеньевича

«Методы повышения точностных характеристик пассивных систем моноимпульсной пеленгации в условиях неопределённости параметров антенных систем»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Актуальность темы исследования

В настоящее время спутниковые группировки активно используются для решения широкого круга задач, таких как обеспечение систем космической связи и навигации, дистанционного зондирования Земли и др. Выполняются исследования и разработки перспективных систем спутниковой связи. Одной из важных задач в таких системах является определение местоположения пользователя (в общем случае – источника радиоизлучения). Из-за возможного отсутствия навигационного сигнала пользователь не всегда может передать свои координаты. Определение местоположения источника излучения, например радиомаяка, также необходимо в случае проведения поисковых и спасательных работ. Похожие задачи имеют место также в различных системах радиолокации. В связи с этим актуальной задачей становится пассивная пеленгация – определение направления на источник радиоизлучения. В данной работе рассматривается сценарий, когда источник излучения (абонент) находится в зоне видимости только одного космического аппарата.

Важно отметить, что в системах космического базирования расстояния до абонента могут достигать десятков тысяч километров. В таких условиях даже минимальная ошибка пеленгации приводит к значительной погрешности в определении местоположения. Следовательно, для космических систем критически важен учет факторов, которыми можно пренебречь в наземных условиях. Диссертационная работа Чуманкина Ю.Е. посвящена актуальным вопросам разработки алгоритмов пеленгации, учитывающих факторы, приводящие в условиях космического базирования к значительным ошибкам: смещение максимумов лучей диаграммы направленности (ДН), наличие постоянной составляющей в погрешности измерения амплитуды сигнала, а также возникновение редких аномальных ошибок пеленгации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность результатов и выводов, содержащихся в диссертационном исследовании, подтверждается согласованностью полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными. Обоснованность результатов диссертации подтверждается, с одной стороны, проведенным теоретическим анализом, применением математически обоснованных современных методов статистической радиофизики, с другой стороны – непротиворечивость полученных результатов, по сравнению с результатами, полученными классическими подходами к решению

рассматриваемых задач, алгоритмами других авторов, а также воспроизводимостью в многократных численных экспериментах.

Научная новизна и достоверность

Основные научные результаты, полученные автором в ходе работы над диссертацией, связаны с разработкой новых алгоритмов определения пеленга, оценивания смещений главных максимумов диаграммы направленности, а также предобработки исходных данных для решения задачи пеленгации.

К новым результатам следует отнести эффективный алгоритм оценки углового смещения главного максимума диаграммы направленности рефлекторной антенны, обусловленного деформацией антенной системы. Разработанный алгоритм основан на аппроксимации зависимости углового смещения главного максимума ДН от параметров деформации. Приведены результаты исследования точностных характеристик предложенного алгоритма, показана его эффективность.

Новым является предложенный и реализованный алгоритм оценки пеленга на излучающий объект методами пассивной пеленгации, основанный на оптимизации косинусного рассогласования, с учётом наличия некомпенсированной постоянной составляющей в амплитуде шума. Выполнена аналитическая оптимизация косинусного рассогласования по среднему значению амплитуды шума, что приводит к сокращению размерности задачи и повышению вычислительной эффективности. Определены точностные характеристики предложенного алгоритма в условиях влияния помех.

Предложен новый алгоритм предобработки исходных данных для задачи пеленгации, с целью выявления данных, для которых погрешность решения задачи пеленгации будет превосходить установленное пороговое значение. Показано, что при наличии большого количества исходных данных разработанный алгоритм предобработки позволяет исключить из рассмотрения данные, для которых с большой вероятностью будет получено неудовлетворительное решение задачи пеленгации, что позволяет сэкономить вычислительные ресурсы для обработки более перспективных входных данных и повысить среднюю точность пеленгации.

С практической точки зрения в работе показана возможность применения предложенных алгоритмов при разработке спутниковых систем связи и для решения задач позиционирования излучающих объектов.

Содержание диссертации

В первой главе выполнен обзор существующих методов расчёта диаграмм направленности, проанализированы существующие технологии их оперативной корректировки. Анализируются причины, по которым эти решения неприменимы к поставленной задаче. В главе представлена авторская методика уточнения ДН. Её ключевая идея состоит в том, что при небольших реальных деформациях антенны форма луча меняется незначительно (для решения задачи пеленгации), однако его главный максимум существенно смещается. Это смещение предлагается моделировать с помощью квадратичной формы от вектора геометрических параметров вписанного параболоида, включающего смещения и углы поворота вписанного параболоида относительно идеального параболоида. В

главе приведены результаты вычислительных экспериментов по оценке точности предложенного метода. Представлены результаты сравнения точностей пеленгации с применением новой методики и без неё.

Вторая глава посвящена разработке и анализу нового метода пеленгации, адаптированного для работы в условиях шума с ненулевым средним значением. В главе рассматриваются фундаментальные принципы и критерии, лежащие в основе решения задач пеленгации, анализируются типичные возникающие проблемы. Представлен оригинальный алгоритм, основанный на оптимизационном подходе, который позволяет учитывать реальную, а не идеализированную форму диаграмм направленности. Предложенный подход позволяет учитывать систематическое смещение (ненулевое математическое ожидание) в рэлеевском шуме. Для этого задача пеленгации формулируется как решение системы нелинейных уравнений, которое осуществляется оптимизационным методом с привлечением неклассических функций рассогласования. Для повышения вычислительной эффективности выведено аналитическое выражение, позволяющее напрямую оценивать оптимальное значение параметра шума для косинусного рассогласования. Сравнительный анализ рассмотренных в главе алгоритмов показал, что именно окончательный вариант метода является наиболее предпочтительным, когда на первом месте стоит экономия вычислительных ресурсов без существенной потери точности.

Третья глава содержит описание оригинального метода для борьбы с редкими, но значительными погрешностями пеленгации, и его проверку. Несмотря на общую высокую точность, алгоритмы пеленгации периодически могут давать аномально большие ошибки (выбросы). Исследование показало, что выбросы чаще всего возникают, когда сигнал приходит с направлений, соответствующих боковым лепесткам ДН. Было обнаружено, что надёжным индикатором этого является энтропия амплитуд сигналов, зарегистрированных в разных лучах антенны. В главе предлагается оригинальный алгоритм, использующий дополнительную априорную информацию: входные данные для пеленгации дополняются значением энтропии амплитуд. Для классификации результатов предлагается ввести "параметр доверия", который аппроксимируется искусственной нейронной сетью на основе информации о вычисленном направлении и оценке погрешности. Такой подход позволяет целенаправленно выявлять и отфильтровывать измерения с высокой вероятностью, приводящие к выбросу, что приводит к существенному снижению общей средней пеленгации.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы.

Замечания

По диссертации Чуманкина Ю.Е. можно сделать следующие замечания.

1. В работе рассматривается пеленгация источника радиоизлучения с использованием космического сегмента, при этом не производится уточнение параметров движения космических аппаратов, в частности высоты орбиты, без которой нельзя установить точность определения местоположения.

2. Деформация антенной системы приводит к изменениям диаграммы направленности, таким как: смещение главного максимума ДН, уменьшение коэффициента усиления, уширение ДН, изменение формы боковых лепестков.

Однако, в работе используется предположение о том, что наиболее весомым искажением ДН, требующим корректировки, является смещение главного максимума. Желательно привести более подробное описание, почему сделан вывод о том, что прочие искажения сказываются не столь значимым образом на результатах пеленгации.

3. Следует привести уточнение, возможно ли адаптировать предложенные алгоритмы для пеленгации множественных источников излучения.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки представленной работы.

Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научно-техническом уровне. Основные положения работы опубликованы в изданиях, входящих в перечень ВАК. Тематика работы является актуальной, показана возможность практического применения полученных результатов в перспективных спутниковых системах связи и навигации. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Представленная диссертация «Методы повышения точностных характеристик пассивных систем моноимпульсной пеленгации в условиях неопределённости параметров антенных систем» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Чуманкин Юрий Евгеньевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – радиофизика.

Официальный оппонент:

директор института радиоэлектроники и информационных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,

д.т.н. (специальность 05.12.14 Радиолокация и радионавигация),

профессор

«17» ноября 2025 г.  Александр Валерьевич Мякинков

Адрес: 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Телефон: +7 (831) 436-93-47

e-mail: alex_myakinkov@nntu.ru

Подпись А.В. Мякинкова заверяю

Проректор по научной работе НИТУ



А.А. Куркин