

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему:

«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПЕКТРАЛЬНО-КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖКИ И ПЕЛЕНГОВАНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ»,

представленной на соискание степени доктора философии (PhD)

по специальности 8D06201 – «Телекоммуникация»

СЭБИБОЛДА ЭКЕЖАНА МҰРАТУЛЫ

Цель работы.

Целью диссертационной работы является исследование спектрально-корреляционных методов оценки задержки и пеленгования радиосигналов путем разработки математической программной модели.

Задачи исследования:

- проведение анализа современного состояния существующих методов оценки задержки и пеленга радиосигналов;
- разработка цифрового спектрально-корреляционного метода определения задержки и пеленга радиосигналов;
- разработка программной математической модели спектрально-корреляционного метода измерения задержки и пеленга радиосигналов;
- анализ быстродействия и точности разработанного метода определения задержки и пеленга радиосигналов.

На основании проведенной исследовательской работы, представленные методики и решаемые задачи в настоящей диссертационной работе направлены на достижение общей поставленной цели

Объектом исследований является процесс обработки сигналов в разностно-дальномерных радиолокационных системах.

Методы исследования

К числу основных методов исследования и анализов, примененных при выполнении диссертационной работы, относятся:

В первом разделе использованы методы сравнительного анализа и оценки потенциальных характеристик современных систем пассивной и полуактивной радиолокации, способов оценки параметров радиосигналов и навигационных параметров воздушных целей. Во втором разделе использованы методы цифрового временного, спектрально-пространственного анализа радиосигнала, методы статистического оценивания точностных характеристик измерения параметров сигналов, методы математического моделирования радиотехнических систем и сигналов. В третьей главе использовано математическое и программное моделирование, методы статистического оценивания результатов измерения.

Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту

- результаты исследований по изучению спектрально-корреляционного метода радиопеленгования, обеспечивающий повышение быстродействия и производительности;
- результаты программной модели для исследования цифрового спектрально-корреляционного метода определения задержки и пеленга радиосигналов с минимальными затратами;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований погрешности цифрового спектрально-корреляционного метода измерения задержки и пеленга радиосигналов для различных условий радиомониторинга;
- результаты аналитических и экспериментальных точностных характеристик цифрового спектрально-корреляционного метода измерения задержки и пеленга радиосигналов;
- экспериментальное подтверждение эффективности программной модели разработанных методов и средств и их основных характеристик, позволяющих оптимизировать параметры обработки сигналов в соответствии с заданными условиями радиомониторинга.

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы

Современные системы радиомониторинга сталкиваются с вызовами, обусловленными высокой динамичностью воздушной обстановки и увеличением количества радиоэлектронных средств. В такой среде необходимо обеспечить эффективное определение параметров целей с высокой точностью и минимальными аппаратными затратами. Это особенно актуально для полуактивных и пассивных радиолокационных систем (ПАРЛС), которые обеспечивают скрытность работы и высокую живучесть, в отличие от активных систем.

Позиционные методы, такие как разностно-дальномерный, являются перспективными для определения положения целей. При их применении важно учитывать не только точность, но и быстродействие обработки сигналов, что особенно актуально в условиях высокой насыщенности помехами. Спектрально-корреляционные методы позволяют определить временные задержки и направления радиосигналов с минимальными аппаратными затратами, но требуют высокой вычислительной мощности. Для решения этой проблемы предлагается новый цифровой спектрально-корреляционный метод, который обеспечивает оценку задержки и пеленга радиосигналов за одну итерацию, тем самым значительно повышая быстродействие системы.

Описание основных результатов исследования

1. В первом разделе выполнен обзор современных методов и средств пассивной и полуактивной радиолокации. Рассмотрены методы построения

полуактивных систем, различные подходы к измерению параметров в таких системах, а также анализируются существующие ПАРЛС и методы вычисления взаимной функции неопределенности, что позволяет сделать выводы об оптимальных методах для радиопеленгации.

2. Во втором разделе разработан цифровой спектрально-корреляционный метод измерения задержки и пеленга радиосигналов в разностно-дальномерных системах. Подробно описаны методы триангуляции, разностно-дальномерные методы, а также угломерные методы. В результате проведенного анализа доказана целесообразность применения спектрально-корреляционного метода для повышения точности и быстродействия. Разработан алгоритм, обеспечивающий возможность точного определения направления и задержки радиосигналов при низком отношении сигнал/шум.

3. В третьем разделе проведено экспериментальное исследование разработанного метода с использованием математического моделирования. Представлена программная модель, функциональные возможности которой позволяют исследовать точностные характеристики метода. В ходе экспериментов были исследованы зависимости среднеквадратичных ошибок по направлению и задержке от различных параметров, таких как отношение сигнал/шум, тип "окна" для спектрального анализа, а также антенной базы. Полученные результаты подтвердили высокую эффективность метода при различных условиях радиомониторинга.

Обоснование новизны и важности полученных результатов

Новизна работы заключается в разработке высокоэффективного цифрового спектрально-корреляционного метода для определения задержки и направления радиосигналов в полуактивных и пассивных системах. В результате:

- Впервые предложен метод, обеспечивающий оценку параметров сигнала за одну итерацию, что существенно повышает быстродействие.
- Проведены исследования, показавшие высокую точность и устойчивость к помехам в сложной электромагнитной обстановке.
- Разработана и протестирована программная модель, которая может быть использована в системах радиомониторинга для повышения их эффективности.

Технологическая новизна исследований: Предложенный метод отличается использованием цифровой антенной решетки и адаптивной спектральной обработки сигналов, что позволяет достигать высокой точности пеленгования и снижения затрат на аппаратуру. Эти результаты могут быть применены в реальных условиях радиомониторинга и радиолокации для улучшения производительности и помехозащищенности.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

– В разработке и внедрении нового метода спектрально-корреляционного анализа для повышения точности и быстродействия радиопеленгации в сложных электромагнитных условиях, что позволяет улучшить работу радиомониторинговых систем.

– В создании и тестировании программной модели для цифровой обработки радиосигналов, которая адаптируется к условиям с низким отношением сигнал/шум, что обеспечивает устойчивость системы к помехам и повышает точность определения радионавигационных параметров.

– В разработке экспериментальной методики для определения динамических характеристик сигналов и их влияния на параметры радиопеленгации, что позволяет более точно оценивать ошибки измерений в реальных условиях.

– В предложении конструктивных решений для использования цифровых антенных решеток в системах радиомониторинга, что позволяет повысить их эффективность и снизить аппаратные затраты.

– В разработке рекомендаций по практическому применению методов спектрально-корреляционного анализа в реальных системах радиомониторинга для повышения их помехозащищенности и быстродействия, что особенно актуально для систем оперативного наблюдения в условиях сложной электромагнитной обстановки.

Соответствие направлениям развития науки или государственным программам

Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению развития науки «Передовое производство, цифровые и космические технологии» и специализированному научному направлению «Информационные и вычислительные технологии» национального научного совета при Правительстве Республики Казахстан. Область исследований в соответствии с Классификатором научных направлений относится к «Инжиниринг и технологии; Электротехника, электроника, информационные технологии; Телекоммуникации».

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в проведении всестороннего анализа современных методов и средств радиопеленгации для полуактивных и пассивных систем, а также в разработке и внедрении цифрового спектрально-корреляционного метода для определения задержки и пеленга радиосигналов. Автор самостоятельно выполнил моделирование и лабораторные исследования, разработал программные алгоритмы, участвовал в экспериментальной проверке предложенных методик, а также провел анализ полученных данных. Результаты исследования были представлены на международных конференциях, оформлены в виде научных статей и докладов,

что подтверждает значимость работы на международном уровне. Суммарное личное участие автора в каждой публикации составило 100%.

Апробация работы

По материалам диссертационной работы опубликовано 6 печатных работ, из них 2 статьи в международных рецензируемых научных журналах, входящие в БД Scopus/Web of Science:

1. Smailov N., Tsyporenko V., Sabibolda A., Tsyporenko V., Kabdoldina A., Zhekambayeva M., Kuttybayeva A., Bektilevov A., Kassimov A., Abdykadyrov A. Improving the accuracy of a digital spectral correlation-interferometric method of direction finding with analytical signal reconstruction for processing an incomplete spectrum of the signal //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – Т. 125. – №. 9. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288397>

2. Sabibolda A., Tsyporenko V., Tsyporenko V., Smailov N., Zhunussov K., Abdykadyrov A., Baigulbayeva M., Duisenov N. Improving the accuracy and performance speed of the digital spectral-correlation method for measuring delay in radio signals and direction finding. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 1/9 (115) 2022. [DOI:10.15587/1729-4061.2022.252561](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252561).

Статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК:

1. Цифровой спектрально-корреляционный метод измерения задержки приема радиосигнала и пеленгования. Научные труды Военно-инженерного института радиоэлектроники и связи, № 3 (49), (сентябрь) 2022 г. <https://drive.google.com/file/d/1G9vIQggbB2nvROBxDORqvvFeDod0RM1c/view>

2. Исследование помехозащищённости беспойскового спектрального корреляционно-интерферометрического радиопеленгатора для широкополосных сигналов. Научные труды Военно-инженерного института радиоэлектроники и связи, № 3 (49), (сентябрь) 2022 г. <https://drive.google.com/file/d/1G9vIQggbB2nvROBxDORqvvFeDod0RM1c/view>

Труды международных научно-практических конференций:

1. Sabibolda, A., Tsyporenko, V., Smailov, N., Tsyporenko, V., Abdykadyrov, A. (2024). Estimation of the Time Efficiency of a Radio Direction Finder Operating on the Basis of a Searchless Spectral Method of Dispersion-Correlation Radio Direction Finding. In: Tuleshov, A., Jomartov, A., Ceccarelli, M. (eds) Advances in Asian Mechanism and Machine Science. Asian MMS 2024. Mechanisms and Machine Science, vol 167. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67569-0_8

2. Digital spectral-correlation method for measuring radio signal reception delay and direction finding. International Satbayev Conference (2023), Volume 4, 596-603. ISBN 978-601-323-376-5
<https://conference.satbayev.university/index.php/journal/issue/view/4/4>