

DOI 10.24412/1829-0450-fm-2025-1-74-79
УДК 621.677

Поступила: 01.04.2025г.
Сдана на рецензию: 04.04.2025г.
Подписана к печати: 07.04.2025г.

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПЕЛЕНГАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ В РЧ-СИСТЕМАХ

А.В. Амбарцумян, Т.Ш. Манукян, Г.З. Сугян, Г.Г. Степанян

*Российско-Армянский (Славянский) университет
harut.hambarcumyan.98@gmail.com, tigran.manukyan01@gmail.com,
sughyan01@gmail.com, hrach8086@gmail.com*

АННОТАЦИЯ

Системы пеленгации играют важную роль в различных областях, включая телекоммуникации, навигацию и оборону. Однако точность этих систем может снижаться в сложных условиях с высоким уровнем помех или при наличии многолучевых эффектов. В данной статье представлен усовершенствованный алгоритм пеленгации, использующий адаптивные методы для повышения точности и устойчивости. Предлагаемый алгоритм устраняет ключевые ограничения существующих методов, динамически адаптируясь к условиям окружающей среды и характеристикам сигнала. Результаты моделирования демонстрируют значительное улучшение точности пеленгации, особенно в сложных сценариях, что делает данный подход жизнеспособным решением для современных радиочастотных систем. Результаты этого исследования способствуют развитию технологий пеленгации, имея значение как для теоретических исследований, так и для практической реализации.

Ключевые слова: РЧ пеленгатор, IQ-сигнал, частота, амплитуда.

Введение

Пеленгация, являющаяся ключевой функцией в радиочастотных системах, включает определение направления входящих сигналов для

обеспечения точного отслеживания местоположения и перехвата сигналов. Широко используемые традиционные алгоритмы, такие как метод классификации нескольких сигналов (MUSIC) и метод оценки параметров сигналов с использованием ротационной инвариантности (ESPRIT), ценятся за их высокую точность в определении направлений сигналов [1]. Однако эти методы часто сталкиваются с трудностями в сложных условиях, где такие факторы, как многолучевое распространение, помехи и шум, могут отрицательно сказаться на их производительности [2].

В последние годы было проведено множество исследований, направленных на повышение эффективности систем пеленгации. Одним из перспективных направлений является внедрение адаптивных алгоритмов, способных подстраиваться под изменяющиеся условия окружающей среды и характеристики сигналов [3, 4]. Такие алгоритмы обеспечивают гибкость в оптимизации работы в реальном времени, что делает их особенно эффективными в динамичных и непредсказуемых условиях [1, 5].

В данной статье предлагается новый алгоритм пеленгации, основанный на существующих методах, с добавлением адаптивных элементов, направленных на повышение точности и надежности. Эффективность предлагаемого алгоритма оценивается с помощью моделирования в различных сценариях, что демонстрирует его превосходство над традиционными методами, особенно в условиях высокого уровня помех или многолучевых эффектов [2, 6]. Цель этого исследования – внести вклад в развитие технологий пеленгации, предложив более устойчивое решение, способное удовлетворить требования современных радиочастотных систем.

Методология и разработка алгоритма

Оптимизированный алгоритм системы пеленгации включает блок инициализации и блоки самого алгоритма пеленгации. Правильная инициализация системы имеет решающее значение для обеспечения ее эффективной работы во время измерений. Для системы подав-

ления помех с интеллектуальными настройками, на основе проведенных исследований и экспериментов, предлагается следующий процесс инициализации, который настраивает систему перед проведением измерений. Блок-схема процесса инициализации системы приведена на Рис. 1.

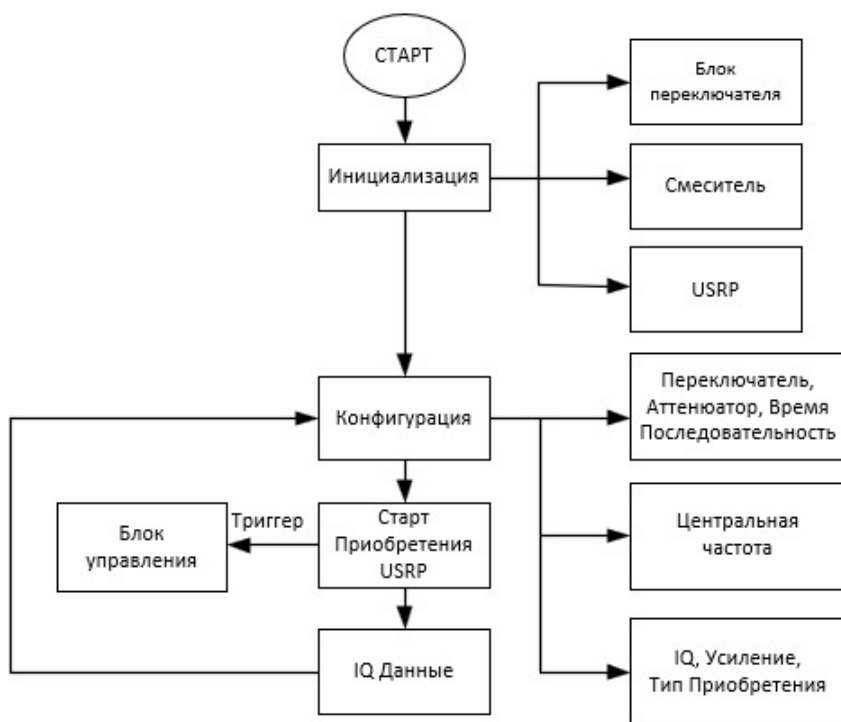


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма инициализации системы.

После включения питания алгоритм переходит в блок инициализации, где настраиваются радиочастотные компоненты, такие как коммутатор, смесители и блок универсальной программируемой радиосистемы (USRP). После инициализации этих компонентов алгоритм продолжает работу и переходит к блоку конфигурации. На данном этапе алгоритм устанавливает параметры для уже инициализированных блоков.

Сначала в блоке конфигурации задаются параметры для коммутатора, включая последовательность переключений, время, значение ослабления и время ожидания. Затем настраиваются параметры для блока смесителей, такие как центральная частота и уровень ослабления. В заключение, для USRP устанавливаются параметры: скорость IQ-сигналов, коэффициент усиления, тип сбора данных и количество выборок. Эта последовательность соответствует логике аппаратной конфигурации, где сигнал сначала проходит через коммутатор, затем через смеситель и, наконец, поступает в USRP для оцифровки.

После завершения конфигурации система переходит в режим сбора данных, в котором от USRP к управляющей части системы отправляет триггерный сигнал, сигнализирующий о начале измерений. В процессе измерений собранные данные сохраняются в буфере, размер которого определяется алгоритмом на основе настроек, заданных на этапе конфигурации. Алгоритм рассчитывает размер буфера таким образом, чтобы данные считывались из него с той же скоростью, с которой блок измерений записывает их в буфер. Это предотвращает переполнение буфера или перезапись данных, что может привести к потере важной информации.

В блоке алгоритма пеленгации (Рис. 2) оптимизированный алгоритм оцифровывает измеренный сигнал и анализирует его для определения направления обнаруженного сигнала. Сначала алгоритм извлекает данные из буфера и передает их в блок IQ-сигнала. Далее IQ-сигнал направляется в делитель, где сигнал разделяется на количество антенн, что позволяет сузить область поиска.

Затем данные проходят через блок, который в зависимости от конфигурации либо возводит I-компоненту IQ-сигнала в квадрат, либо применяет медианный фильтр. После этого сигнал подвергается преобразованию с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) для каждого канала и передается в блок, который ищет пиковые значения на основе результатов БПФ. Все обнаруженные пиковые сигналы сравниваются в блоке сравнения, и максимальные пиковые значения передаются на финальный этап, где система определяет направление обнаруженного сигнала.

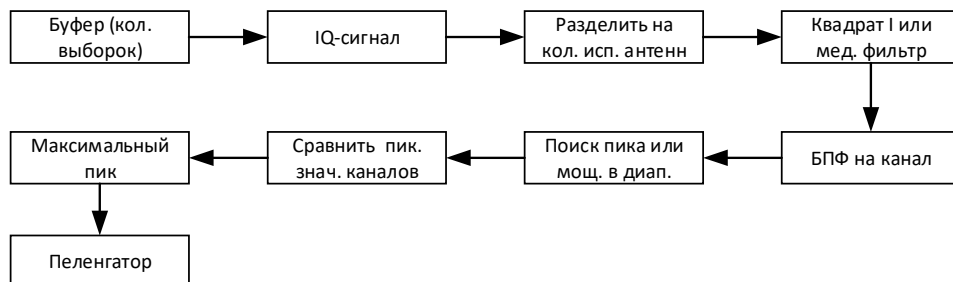


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма обработки сигнала.

Предложенная логика алгоритма ускоряет процесс измерения и обеспечивает сохранение критически важных данных, которые могут быть полезны для обнаружения радиочастотных сигналов. После завершения измерений для всех антенн система запускает новый цикл, обеспечивая непрерывный мониторинг в диапазоне 360 градусов.

Заключение

В данной статье рассматривается оптимизация алгоритмов пеленгации для повышения точности радиочастотных систем. Предложены принцип работы системы и последовательность этапов цифровой обработки сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Fanzeres B., Street A., Barroso L.* Contracting strategies for renewable generators: a hybrid stochastic and robust optimization approach. 2014. New-York: IEEE, 30(4). PP. 1825–1837. DOI: 10.1007/s10957-023-02253-0.
2. *Jabr R.* Distributionally robust CVaR constraints for power flow optimization. 2020. New-York: IEEE, 35(5). PP. 3764–3773. DOI: 10.1109/TGRS.2022.3157836.
3. *Lin F., Fang X., Gao Z.* Distributionally robust optimization: A review on theory and applications. 2022. Basel: Springer, 12(1). PP. 159–212. DOI: 10.1007/s12303-022-01357-2.

4. *Kwon Y., Ko Y.* A novel direction-finding algorithm for wireless communication systems using an adaptive array. 2022. New-York: IEEE, 10. PP. 56321–56333. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3170829.
5. *Wang H., Zhao Y.* Enhanced direction-finding technique using machine learning in multipath environments. 2023. New-York: IEEE, 71(3). PP. 1045–1057. DOI: 10.1109/TAP.2023.3245632.
6. *Lin C., Chen Z.* Adaptive beamforming algorithms for robust direction-finding in dynamic environments. 2023. Amsterdam: Elsevier, 204, 108765. DOI: 10.1016/j.sigpro.2023.108765.
7. *Zhang J., Li W.* Real-time direction-finding using deep learning and sensor arrays. 2023. New-York: IEEE, 27(4). PP. 780–783. DOI: 10.1109/LCOMM.2023.3257614.

OPTIMIZATION OF DIRECTION-FINDING ALGORITHMS FOR IMPROVED ACCURACY IN RF SYSTEMS

H. Hambardzumyan, T. Manukyan, G. Sugyan, H. Stepanyan

Russian-Armenian (Slavonic) University,

ABSTRACT

Direction-finding systems are essential in various domains, such as telecommunications, navigation, and defense. However, their accuracy can be compromised in complex environments with significant interference or multipath effects. This paper introduces an enhanced direction-finding algorithm that leverages adaptive techniques to improve precision and reliability. By dynamically adjusting to environmental conditions and signal properties, the proposed approach addresses key shortcomings of existing methods. Simulation results indicate a notable enhancement in accuracy, particularly in challenging scenarios, making this method a promising solution for modern radio-frequency applications. The study's outcomes contribute to the evolution of direction-finding technology, offering value for both theoretical advancements and practical deployment.

Keywords: RF direction finder, IQ signal, frequency, amplitude.