

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 629.052.3:621.391.82

Прокопович  
Максим, Александрович

Система пеленгации источника помех на основе алгоритмов высокого разрешения

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра техники и технологии  
по специальности 1-39 81 03 «Информационные радиотехнологии»

---

Научный руководитель

Саломатин Сергей Борисович

---

кандидат технических наук,  
доцент

---

Минск, 2016

Библиотека БГУИР

Нормоконтроль  
Свирид Владимир  
Лукич

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

Пеленгатор (радиопеленгатор) – радиотехническое устройство, предназначенное для пеленгования объектов, излучающих радиосигналы.

Пеленг – направление от места установки антенной системы радиопеленгатора на объект, излучающий радиосигналы, измеряемое углом в горизонтальной плоскости между северным направлением истинного или магнитного меридиана, проходящего через место установки антенной системы радиопеленгатора (азимут), и направлением от этого места на проекцию объекта на горизонтальную плоскость, отсчитываемым от 0 до 360° [1]. Следует отметить, что для задач гражданского применения пеленгации зачастую достаточно знать только значение азимута.

Радиопеленгацией или радиопеленгованием называется процесс определения направления на источник излучения радиоволн. Радиопеленгация базируется на свойстве распространения радиоволн по кратчайшему пути с конечной скоростью, на ортогональности плоскости равных фаз направлению распространения волны, а также на принципах направленного радиоприема.

Радиопеленгование широко используется в авиации и в морском флоте как средство воздушной и морской радионавигации. Помимо навигации радиопеленгация находит применение в военном деле, как средство определения положения неизвестных радиостанций противника. Важным применением радиопеленгаторов является их использование для определения положения спутников и космических кораблей, а также положения небесных тел по их собственному электромагнитному излучению (интерферометр, радиотелескоп). Наконец, радиопеленгование является весьма существенным методом для изучения ряда проблем распространения электромагнитных волн различного диапазона в разное время суток и года, а также распределения атмосферных разрядов и т.д.

Несмотря на то, что радиопеленгование применяется уже давно, современное развитие науки и вычислительной техники дало новый виток в развитии радиопеленгации, появившись новые методы пеленгования, основанные на цифровой обработке информации. В настоящее время это направление активно развивается.

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы представляется использование специализированного вычислителя высокопроизводительной многопроцессорной «системы на кристалле» на базе ПЛИС с архитектурой FPGA.

Необходимость исследования средств радиопеленгации GPS помех обусловлена широким внедрением GPS систем практически в любой области жизнедеятельности человека.

GPS использует расширение спектра, благодаря чему в некоторой степени повышается защита от помех. Однако, принятый сигнал имеет очень малую мощность, т.к. он преодолевает большое расстояние в 20200 километров, чтобы достичь приёмника. Минимальный гарантируемый уровень сигнала составляет всего -158.5 дБ. В такой ситуации он может быть легко подавлен каким-либо локальным сигналом в той же полосе. Эта проблема давно известна, и на сегодняшний день разработано немало техник, позволяющих в некоторой степени успешно подавлять помехи, но всё же задача остаётся сложной.

С ростом производительности вычислительных устройств появляется возможность реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов, а также алгоритмов адаптивных антенных решеток на специализированных вычислителях.

Целью данной работы является исследование различных алгоритмов пеленгации применительно к системам навигации и исследование возможности их реализации на выбранной аппаратной платформе.

Для выполнения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- исследование алгоритмов определения направления на источник сигнала;
- построение математических моделей различных сигналов помех и работы алгоритмов пеленгации помех;
- провести анализ поведения модели при различных начальных условиях;
- разработка архитектуры пеленгатора помех GPS и выбор аппаратной платформы для его реализации;
- реализация алгоритма определения направления на источник помех как наиболее затратной части архитектуры и проверка выполнения условий на производительность системы.

В главе 1 рассмотрена структура GPS сигнала его уязвимости, проблемы помехозащиты и методы борьбы с помехами.

В главе 2 приведены общие сведения об алгоритмах пеленгации, введены понятие вектора отклика решётки и автоковариационной матрицы сигнала. Рассмотрено инвариантное преобразование Вандермонда позволяющее оценить параметры сигналов в многоканальных пространственных фильтрах, также на данную тему был сделан доклад на научно-техническую конференцию.

Были рассмотрены и синтезированы модель антенной решетки, модель принятого и алгоритмы оценки DOA.

В главе 3 был проведен анализ модели. Исследование модели на зависимость количества обнаруживаемых сигналов и анализ влияния дисбаланса сигналов на точность пеленгов.

В главе 4 сформированы требования к аппаратной платформе пеленгатора GPS помех, выбрана удовлетворяющая требованиям отладочная плата, а также будут представлены результаты реализации алгоритмов DOA.

Библиотека БГУИР

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Магистерская диссертация: 83 страницы, 31 иллюстрация, 5 таблиц, 20 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: пеленгатор, приёмник, GPS, диаграмма направленности, алгоритмы определения направления на источник сигнала, пространственно-временная обработка, DOA, ЦОС, ПЛИС.

Необходимость точно определять источник радиоэлектронной помехи, например, в системах GPS является актуальной проблемой как в гражданском применении, так и в военной сфере. Простейший постановщик узкополосной помехи, может ухудшить работу приёмников в большом радиусе, а также полностью обезоружить их в радиусе нескольких километров.

На сегодняшний день разработаны различные методы пеленгации сигналов, которые позволяют обнаружить источник помех с высокой точностью. Среди прочих алгоритмов, алгоритмы с высоким разрешением являются наиболее удачными, позволяющих обнаруживать как узкополосным, так и широкополосным помехам. Такие методы требуют, однако, наличия нескольких приемных каналов (антенных решеток). Реализация подобных техник в классическом приемнике требует сложной аналоговой обработки.

В последнее время набирают популярность так называемые SDR (software defined receiver) приемники, где алгоритмы цифровой обработки сигналов реализуются программно в процессорной системе. Очевидно, что для возможности применения системы пеленгации в реальном времени в современных устройствах (в частности, в области встраиваемой электроники), вычислительные платформы должны иметь достаточную производительность.

В данной работе исследуются различные алгоритмы для пеленгации сигналов, а также возможности разработки системы навигации на вычислителе высокопроизводительной многопроцессорной «системы на кристалле» на базе ПЛИС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были исследованы различные алгоритмы определения направления прихода сигнала. Работа алгоритма пеленгации MUSIC был проверен как с помощью математической модели, так и на реальном устройстве. Кроме того, были выполнены следующие задачи:

- были рассмотрены фазовых методов пеленгации, также и амплитудные методы, были рассмотрены плюсы и минусы этих методов. Преимущества фазовых методов были доказаны на основе сравнения двух данных групп методов;

- построены и изучены модели современных алгоритмов определения направления прихода сигнала. В результате исследований для реализации на аппаратной платформе был выбран алгоритм MUSIC;

- разработан макет вычислителя для реализации и тестирования наиболее затратного по вычислительным ресурсам блока GPS пеленгатора;

- выполнен дизайн-проект на ПЛИС алгоритма пеленгации, разработана базовая структура вычислителя алгоритма пеленгации;

- определено, что два процессорных ядра ARM A9 справляются с задачей расчета пеленга менее, чем за 20 миллисекунд при шаге 0,05 градуса.

В результате проделанных исследований можно заключить, что на выбранной аппаратной платформе, или аналогичной по вычислительной мощности, можно успешно реализовать предложенную в главе 4 схему GPS пеленгатора, не внося при этом существенных временных задержек в работу. Однако подлежит дальнейшего анализу и тестированию работа предложенной схемы в составе всех.

## Список публикаций соискателя

1-А. Саломатин, С.Б. Инвариантное преобразование вандермонда в системах мониторинга радиосвязи / С.Б. Саломатин, М.А. Прокопович // Современные Средства Связи, 14-15 октября 2015 / Минск, Республика Беларусь – 2015. – С.223-224.

Библиотека БГУИР