Дубровин, Николай Александрович. Алгоритмы пассивной пеленгации источников радиоизлучения коротковолнового диапазона : диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.14 / Дубровин Николай Александрович; [Место защиты: Моск. гос. авиац. ин-т].- Москва, 2012.- 117 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/265

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи

04201351656

ДУБРОВИН НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

АЛГОРИТМЫ ПАССИВНОЙ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ

РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

Специальность 05.12.14 - Радиолокация и радионавигация

ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель - доктор технических наук, Гаврилов К.Ю.

Москва

2012

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений 4

Введение 6

Глава X. Разработка алгоритма пассивной пеленгации ИРИ

с помощью метода максимального правдоподобия 14

1.1. Модели полезных сигналов и наблюдаемых процессов 14

1.2. Постановка задачи 20

1.3. Синтез алгоритма пеленгации 23

1.4. Потенциальная точность пеленгации 27

1.5. Анализ точности пеленгации с помощью различных

антенных систем 35

1.6. Выводы 43

Глава 2. Методы повышения точности в реальных комплексах

пеленгования 45

2.1. Анализ источников погрешностей при пеленгации ИРИ 45

2.1.1. Влияние оценок амплитуд комплексных огибающих

наблюдаемого процесса 46

2.1.2. Влияние оценок фаз комплексных огибающих

наблюдаемого процесса 46

2.1.3. Влияние оценок фазовых сдвигов сигнала в точках

приема 52

2.2. Повышение точности пеленгации за счет использования

дополнительных гармоник 54

2.3. Оценка точности пеленгации с помощью натурного

эксперимента 58

2.4. Выводы 67

Глава 3. Разработка алгоритмов пеленгации ИРИ с

использованием искусственных нейронных сетей 69

3.1. Обзор методов распознавания образов 69

3.2. Методика создания и обучения ИНС для пеленгации ИРИ... 71

3.2.1. Описание ИНС, предназначенной для пеленгации ИРИ. 71

3.2.2. Процедура обучения ИНС 72

3.2.3. Программная реализация инициализации, обучения и

тестирования ИНС 75

3.3. Анализ работы ИНС 78

3.4. Выводы 82

Глава 4. Измерение дальности до ИРИ при многолучевом

распространении радиоволн 83

4.1. Особенности распространения КВ радиоволн при отражении

от ионосферы 83

4.2. Методы измерения дальности до ИРИ 88

4.2.1. Измерение угла места прихода радиоволн 91

4.2.2. Измерение разности хода ионосферных лучей 96

4.2.3. Оценка дальности на основе измерения угла места и

разности хода лучей 97

4.2.4. Оценка дальности на основе измерения угла места и

высоты отражающего слоя ионосферы 99

4.2.5. Оценка дальности на основе измерения разности хода

лучей и высоты отражающего слоя ионосферы 100

4.3. Результаты натурного эксперимента 101

4.4. Выводы 108

Заключение 110

Список литературы 116

**Заключение**

Глава 1 посвящена вопросам синтеза и анализа алгоритма пеленгации ИРИ в КВ диапазоне на основе метода максимального правдоподобия (ММП). Предполагается, что измерение пеленга ИРИ производится фазовым методом с помощью системы разнесенных антенн (точек приема), расположенных на плоскости произвольным образом. В качестве модели полезного сигнала использован гауссовский узкополосный случайный процесс, который может быть также представлен в виде суммы когерентных гармонических сигналов со случайными амплитудами и начальными фазами. В работе узкополосные случайные процессы, описывающие и полезный сигнал и наблюдаемую реализацию смеси, представлены в виде комплексных огибающих, выделение которых возможно с помощью схемы квадратурной обработки.

На основе метода максимального правдоподобия проведен синтез алгоритма пеленгации при произвольной конфигурации антенной системы. Получено выражение для логарифма отношения правдоподобия при использовании как одной, так и нескольких гармонических составляющих полезного сигнала. Оценка пеленга сигнала производится путем нахождения максимума логарифма отношения правдоподобия (ЛОП) при численном расчете значений ЛОП для всех возможных значений пеленга.

На основе неравенства Крамера-Рао получено аналитическое выражение для потенциальной точности пеленгации. Среднеквадратическая ошибка (СКО) пеленгации определяется как произведение множителя результирующего отношения сигнал-шум (ОСШ) и множителя антенной системы. Последний характеризует точность пеленгации, обусловленную конфигурацией приемной системы, т.е. координатами точек приема (ТП). Проведены расчеты множителя антенной системы для приемных систем с различным расположением ТП.

Проведен анализ точности пеленгации для различных антенных систем с кольцевым расположением ТП. Показано, что ухудшение потенциальной точности пеленгации обусловлено появлением аномальных ошибок из-за наличия ложных максимумов функции ЛОП. При больших значениях ОСШ - порядка 10 дБ и более, наблюдается хорошее согласование экспериментальной и потенциальной точностей пеленгации при отличиях не более 20%.

Глава 2 посвящена исследованию источников погрешностей пеленгации ПРИ, приводящих к отличию потенциальной и реальной точностей пеленгации. Проведен анализ источников погрешностей пеленгации ИРИ. Показано, что основным источником погрешности являются ошибки измерений фаз полезного сигнала в антенных элементах приемной системы. Среднеквадратичная ошибка измерения фазы в одной ТП определяется исключительно значением ОСШ, зависящим как от мощности полезного сигнала, так и от времени наблюдения. Требование обеспечения СКО

пеленгации не хуже 0,Г, соответствующее требованию к ошибке измерения фазы 0,3° = 0,005 рад (без учета влияния других составляющих ошибки пеленга), приводит к необходимости иметь значение ОСШ не менее 45 дБ, которое на практике обычно не достигается. Основным препятствием на пути повышения значения ОСШ является время наблюдения (накопления сигнала) Тн = 10\_5..Л(Г2 с , ограниченное интервалом когерентности полезного сигнала.

Использование дополнительных гармоник полезного сигнала приводит к повышению результирующего значения ОСШ и позволяет уменьшить СКО

пеленгации в V м раз (М - общее число используемых в обработке гармоник) при равенстве амплитуд используемых гармоник. Учитывая полученную зависимость, а также неравномерность амплитуд гармонических составляющих сигнала для оценки пеленга рекомендуется использовать М =

1. .4 гармоники. При этом СКО пеленгации может быть уменьшено примерно в 1,5 раза.

Проведен натурный эксперимент пеленгации ПРИ на испытательном полигоне с 16-и элементной антенной системой, расположенной на участке поверхности, размером 200 х 146 кв. м. Получены статистические данные экспериментальной точности пеленгации ПРИ на частоте 20,12 МГц, показавшие хорошее согласование экспериментальной и теоретической (потенциальной) точностей пеленгации, отличие которых не превышает

1. .20%.

При малых значениях ОСШ (менее 5... 10 дБ) реальная точность пеленгации оказывается существенно хуже потенциальной, причем это отличие с уменьшением значения ОСШ возрастает. Причиной этого является появление аномальных измерений, проводимых по локальным (боковым) максимумам функции ЛОП, которые при малых значениях ОСШ могут быть больше основного максимума. С целью уменьшения влияния этого фактора и повышения точности пеленгации в работе предложена модификация метода МП с отбраковкой аномальных измерений. При этом отбраковке (отбрасыванию) подвергаются 5... 10 % измерений, имеющих наибольшие отклонения от среднего значения. Предложенный метод позволяет примерно на 10% повысить точность измерений при малых значениях ОСШ.

В Главе 3 рассматриваются вопросы создания, обучения и анализа работы нейросетевого пеленгатора. Разработана методика построения такого пеленгатора на основе искусственной нейронной сети (ИНС) типа многослойного персептрона. Показано, что удовлетворительная работа ИНС- пеленгатора возможна в случае, когда его обучение производится на интервале углов, составляющем некоторую часть окружности. Множество обучающих образов, состоящее из векторов оценок фаз в различных ТП, должно содержать “зашумленные” выборки при значениях ОСШ 25.. .40 дБ.

В среде MATLAB разработаны программы инициализации (создания), обучения и тестирования ИНС-пеленгатора в виде трехслойного персептрона. Проведена оптимизация параметров ИНС - числа нейронов скрытого слоя, числа обучающих образов, значения ОСШ при формировании обучающих образов - обеспечивающих минимальное значение СКО оценки пеленга.

Проведен анализ работы ИНС-пеленгатора путем расчета зависимостей СКО пеленга от значения ОСШ. СКО пеленга при фиксированных значениях ОСШ зависят от величины истинного пеленга и могут меняться в пределах 10...20% относительно среднего значения.

Сравнение ИНС-пеленгатора и ММП-пеленгатора (пеленгатора, реализующего измерения на основе метода максимального правдоподобия) показало, что величина среднего значения СКО пеленга (при усреднении по диапазону истинных значений углов пеленга) для первого из них проигрывает около 3...5%. Величину проигрыша в точности оценки ИНС- пеленгатора относительно оптимального алгоритма можно уменьшить путем оптимизации параметров сети и множества обучающих образов.

Глава 4 посвящена решению проблемы определения дальности до ИРИ в КВ диапазоне при использовании однопозиционных измерений с помощью неподвижного комплекса пеленгования. Для этого проведен анализ распространения пространственных радиоволн КВ диапазона, показавший возможность определения дальности до ИРИ. Проведены расчеты дальностей (расстояний от ИРИ до места расположения системы пеленгации), для которых сигнал от ИРИ до точки приема распространяется путем однократного и двукратного отражения от ионосферы.

Для пространственной волны КВ диапазона в точке приема может быть измерен угол места прихода радиоволн (при однократном отражении от ионосферы) и разность хода ионосферных лучей, претерпевших одно- и двукратное отражение от ионосферы.

Предложен новый метод измерения дальности до ПРИ в КВ диапазоне, основанный на совместном измерении угла места и разности хода лучей. Полученные измеренные значения используются при решении системы из двух нелинейных уравнений. Численное решение системы уравнений позволяет найти дальность до ПРИ и высоту отражающего слоя ионосферы. При выводе системы уравнений предполагалось, что высота отражающего слоя ионосферы для лучей с одно- и двукратным отражением одинакова.

Описаны методы определения дальности до ПРИ, основанные на измерении высоты отражающего слоя ионосферы, которая может быть получена путем численного решения уравнения Смита с использованием высотно-частотной характеристики ионосферы. В работе детально рассмотрены два таких метода оценки дальности:

1. на основе измерения угла места и высоты отражающего слоя ионосферы;
2. на основе измерения разности хода лучей и высоты отражающего слоя ионосферы.

Существенная неоднородность высоты отражающего слоя ионосферы, в значительной степени зависящая от времени суток, времени года, погодных условий и т.д., приводит к большим погрешностям измерения высоты ионосферы.

Проведен натурный эксперимент по оценке дальности до ПРИ, находящегося на расстоянии 850 км от комплекса пеленгования КВ диапазона с 16-ю антенными элементами. При экспериментальной оценке дальности использовались три метода: совместное измерение угла места и разности хода лучей (метод I); измерение угла места и высоты ионосферы (метод II); измерение разности хода лучей и высоты ионосферы (метод III). Результаты эксперимента показали, что метод I, предложенный в работе, и метод II имеют близкие по точности характеристики и обеспечивают погрешность 24% и 21% соответственно. Метод III оказался практически

неработоспособным. При этом метод I, в отличие от метода II, позволяет

114

получать оценку дальности в условиях, когда измерение угла места прихода радиоволн в принципе невозможно, либо производится с низкой точностью.

По основным результатам выполненных в диссертации исследований опубликовано 4 авторских свидетельства [22-25].