**Курикша Александр Вадимович. Применение методов решения некорректных задач для синтеза алгоритмов повышения разрешающей способности в радиолокации : диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.14.- Москва, 2006.- 131 с.: ил. РГБ ОД, 61 06-5/3070**

Открытое Акционерное Общество "Радиофизика" Кафедра прикладной электродинамики и информационных систем

реального времени Московского физико-технического института

.. **06-5**

Q | На правах рукописи

**Курикша Александр Вадимович**

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ НЕКОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ**

**ДЛЯ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ В РАДИОЛОКАЦИИ**

Специальность 05.12.14 "Радиолокация и радионавигация"

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.т.н., доцент Фарбер В.Е.

Москва - 2006 г.

Введение 4

Глава 1. Алгоритм оценки пространственного распределения источников сигналов 8

1. Синтез алгоритма по критерию максимального правдоподобия... 8
2. Метод регуляризации решений некорректных интегральных

уравнений 15

Глава 2. Алгоритмы повышения разрешающей способности по дальности и скорости 19

* 1. Сигналы, применяемые в активной радиолокации 19
  2. Алгоритм оценки распределения амплитуд по дальности и

частоте для квазипериодического сигнала 22

* 1. Анализ разрешающей способности по дальности при различных законах модуляции сигнала 26
  2. Анализ разрешающей способности по доплеровской частоте

при пачечных сигналах 41

* 1. Формирование системы лучей для приема широкополосных

сигналов 43

Глава 3. Анализ возможностей повышения разрешающей способности

по угловым координатам 48

1. Приближенное решение регуляризованного уравнения 48
2. Численное решение регуляризованного уравнения для линейной

ФАР 51

1. Алгоритмы подавления помех и разрешающая способность 53

Глава 4. Характеристики рассеяния целей при высокой разрешающей способности по дальности 63

1. Импульсная матрица рассеяния в приближении физической оптики 65
2. Вклад краевых волн в импульсную матрицу рассеяния 75
3. Распределение вероятностей для эквивалентной ЭПР

суперпозиции сигналов от небольшого числа центров рассеяния 80

Заключение 86

Литература 88

Приложение 92

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ НЕКОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ В РАДИОЛОКАЦИИ

Введение.

Одной из важных характеристик современных радиолокаторов является способность разделять сигналы от нескольких одновременно облучаемых целей, то есть разрешающая способность. Понятие разрешающей силы оптического прибора как величины, обратной минимальному угловому расстоянию между одинаковыми точечными источниками (звездами), при котором в суммарном отклике прибора на эти источники появляется провал между максимумами, было введено Релеем. По мере усложнения задач, решаемых приборами разного назначения, это понятие дополнялось другими характеристиками разрешающей способности. В расчете на разные амплитуды сигналов от источников, стали использовать ширину отклика на точечную цель (точечный источник) по разным уровням относительно максимума. В расчете на большие перепады амплитуд стали рассматривать уровень отклика вне главного максимума (уровень боковых лепестков). Необходимость наблюдения источника на фоне протяженных помех потребовала учета интегральных характеристик боковых лепестков отклика. Пожалуй, невозможно ввести универсальную компактную характеристику разрешающей способности, которая стала бы пригодной для всех практически важных задач.

В типичной постановке задача оптимизации разрешения целей рассматривается как задача обнаружения цели с неизвестными координатами на фоне шума и заданного числа мешающих сигналов от целей с известными координатами [1,2], либо как задача оценки числа и координат целей [25 - 31]. Если число и координаты всех целей оценивать по критерию максимального правдоподобия, то получается парадокс: неограниченное увеличение оценки числа целей повышает правдоподобность оценки. В этом парадоксе проявляется некорректность задачи. В более реалистичной адаптивной постановке [3,4,5,31] в алгоритме обнаружения цели с неизвестными координатами используют оценку корреляционной матрицы принимаемого сигнала. Однако при этом возникает проблема существования обучающей выборки, по которой эту матрицу можно оценить при неизменных координатах всех целей. Реально это можно сделать только для задачи разрешения по углам, если мешающими сигналами являются широкополосные помехи, для которых оценку корреляционной матрицы можно получить за достаточно короткое время.

В данной работе под разрешающей способностью будем понимать способность воспроизведения распределения в пространстве источников или рассеивателей радиоволн. Критерием выбора оценки будет критерий наименьших квадратов, который совпадает при приеме сигнала в белом шуме с критерием максимального правдоподобия. Этот критерий ориентирован на равнозначность всех объектов в осматриваемой области и на сравнимые интенсивности разделяемых сигналов. Поскольку синтез по этому критерию также приводит к некорректной задаче, будем использовать методы регуляризации таких задач [6]. Качество разрешения будем характеризовать функцией отклика на сигнал от точечной цели и уменьшением отношения сигнал-шум по сравнению с согласованной фильтрацией.

В диссертации рассмотрены задачи повышения разрешающей способности по дальности, доплеровской частоте и угловым координатам. Повышение разрешающей способности по дальности (задержке) и частоте обеспечивается двумя факторами: выбором зондирующего сигнала и способом обработки принятого сигнала. Выбор сигнала определяет способ обработки, обеспечивающей максимум отношения сигнал-шум и наивысшую достоверность обнаружения сигнала на фоне шумов. Это корреляционная обработка или согласованная фильтрация. Отступление от оптимальной корреляционной обработки сигнала во имя повышения разрешающей

способности неизбежно снижает указанные характеристики. Поэтому задача синтеза способа обработки решается вместе с задачей выбора сигнала. При выборе сигнала нужно учитывать ограничения на его длительность, связанные с требованиями к скорости обзора пространства и пропускной способности (числу одновременно сопровождаемых целей), и полосу частот, связанные, том числе, с полосой пропускания антенной системы. В работе предложены и исследованы пути ослабления этих ограничений.

Диссертация состоит из 4 глав.

В первой главе приводится решение в общей постановке задачи синтеза алгоритма обработки сигнала для оценки пространственного распределения источников волн.

Во второй главе на основе результатов первой главы решены задачи синтеза и анализа алгоритма фильтрации сигналов по дальности и скорости (доплеровской частоте) для типовых зондирующих сигналов: смодулированных импульсов, импульсов с фазовой манипуляцией, импульсов с линейной частотной модуляцией. Рассмотрено влияние дискретизации сигнала при цифровой фильтрации на разрешающую способность. Описан оригинальный алгоритм обработки широкополосных сигналов в цифровых фазированных антенных решетках.

В третьей главе в той же постановке ищется оценка плотности распределения источников сигналов по углам. Проведено сравнение разрешающей способности синтезированного алгоритма и алгоритмов выделения заданного сигнала на фоне множества мешающих сигналов.

В четвертой главе описан метод и приведены результаты расчета рассеяния зондирующих сигналов высокого разрешения на протяженных целях. Эта задача представляет интерес в связи с расширяющимся применением различных методов повышения разрешающей способности. Метод расчета основан на приближениях физической оптики и физической теории дифракции П. Я. Уфимцева. Эти результаты имеют значение для обоснования используемой в работе модели целей в виде совокупности центров рассеяния (блестящих точек). Кроме того, в главе получено общее выражение закона распределения ЭПР суперпозиции небольшого числа блестящих точек и проведены численные расчеты, которые показали существенное отличие этого закона распределения от стандартных моделей (Сверлинга и др.).

В Заключении приведены основные результаты работы.

В диссертации получены следующие основные результаты:

1. Получено уравнение для оптимальной оценки распределения комплексной амплитуды рассеяния сигнала в пространстве. Решение этого уравнения для точечной цели (реакция на точечную цель - РТЦ) применяется как общая характеристика разрешающей способности. Показано, что в общем случае оптимальная обработка сигнала по критерию максимального правдоподобия включает в себя согласованную фильтрацию (операцию, оптимальную по критерию максимума отношения сигнал-шум) и некоторые дополнительные преобразования результата этой фильтрации, которые при повышении разрешающей способности приводят к уменьшению отношения сигнал-шум.
2. Получено общее решение для оценки распределения амплитуды рассеяния по взаимосвязанным параметрам - задержке и доплеровской частоте. Проведен на моделях анализ РТЦ для типовых сигналов используемых в радиолокации: импульсов без внутриимпульсной модуляции, фазоманипулированных импульсов, импульсов с линейной частотной модуляцией и пачек таких импульсов. Рассмотрены зависимости РТЦ и потерь в отношении сигнал - шум от параметра регуляризации.
3. В связи с известной проблемой ограничения полосы пропускания ФАР при отклонении луча от нормали к раскрыву, разработан быстрый алгоритм обработки широкополосных сигналов в цифровых АР, основанный на преобразовании координат в пространстве частота - направление прихода волны.
4. Проведен анализ оптимальных по различным критериям алгоритмов подавления дискретного множества мешающих сигналов с известными направлениями прихода. Показано, что все критерии порождают практически одинаковые алгоритмы обработки сигналов. Числовые расчеты, проведенные при различном числе равномерно распределенных по углам источников

86

мешающих сигналов, показали, что когда число источников приближается к числу лучей, укладывающихся в зоне однозначного измерения угла, РТЦ приближается к диаграмме направленности, обеспечиваемой синфазным суммированием.

1. Разработан и исследован метод расчета сигналов, получаемых в результате рассеяния на протяженных целях зондирующих сигналов высокого разрешения. Метод основан на применении физической теории дифракции (ФТД) П. Я. Уфимцева [3] для уточнения характеристик блестящих точек, полученных в приближении физической оптики, методом.
2. Исследованы вероятностные модели суперпозиции сигналов от небольшого числа блестящих точек, попадающих в импульсный объем при высокой разрешающей способности. Показано, что эти модели существенно отличаются от распространенных в теории радиолокации моделей Сверлинга и от гауссовой модели сигнала.

Литература

1. "Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория" Справочник под ред. Я. Д. Ширмана Москва. ЗАО "МАКВИС".

1998.

1. "Вопросы статистической теории радиолокации" под ред. Г. П. Тартаковского, т. II, Москва, "Сов. Радио", 1964.
2. Я. Д. Ширман, В. Н. Манжос "Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех". Москва. "Сов. Радио". 1981.
3. "Информационные технологии в радиотехнических системах" под ред. И. Б. Федорова. Москва. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2004.
4. М. В. Ратынский " Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках", Москва. "Радио и Связь". 2003.
5. А. Н. Тихонов, В. И. Арсенин "Методы решения некорректных задач" Москва. "Наука". 1988.
6. Г. Е. Шилов "Математический анализ. Второй специальный курс" Москва. "Наука". 1965.
7. С. Р. Рао "Линейные статистические методы и их применение" Москва. "Наука". 1968.
8. А. А. Трухачев "Радиолокационные сигналы и их применение". Москва. Военное изд-во. 2005.
9. А. Б. Сергиенко "Цифровая обработка сигналов". Санкт- Петербург. "Питер". 2003.
10. А. В. Курикша "Возможности быстрого обзора пространства в радиолокаторах с цифровой ФАР". "Радиотехника" (в печати).
11. "Проектирование фазированных антенных решеток", под ред. Д. И. Воскресенского, изд-во "Радиотехника", 2003.
12. А. К. Журавлев и др. "Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками", Ленинград, изд. ЛГУ, 1991.
13. Дж. Голуб, Ч. Ван Лоун "Матричные вычисления". Москва. "Мир". 1999.
14. П. Я. Уфимцев "Метод краевых волн в физической теории дифракции" Москва. "Сов. Радио". 1962.
15. G. Т. Ruck et al "Radar Cross Section Handbook" Plenum Press. New York-London. 1970.
16. А. А. Лучин "Методы приближенного решения обратной задачи дифракции в радиолокации". "Зарубежная радиоэлектроника"
17. №8.
18. А. А. Курикша, А. В. Курикша "Расчет амплитудно-фазовых дальностных профилей цели в сверхширокополосной радиолокации". "Радиотехника". 2005. № 5.
19. "Справочник по радиолокации" под ред. М. Сколника. Т. 1.

Москва. "Сов. Радио". 1976.

1. А. А. Трухачев "Анализ процедур и алгоритмов обнаружения сигналов". Москва. "Радио и Связь". 2003.
2. Научно-технический отчет о НИР "Изыскание инженерно­

технических путей и разработка схемотехнических решений создания антенно-фидерных устройств и радиочастотных трактов перспективных станций спутниковой связи и бортовых ретрансляторов в миллиметровом диапазоне волн". Этап 4. ОАО "Радиофизика", Москва, 2003 г.

1. Научно-технический отчет о НИР "Изыскание инженерно­

технических путей и разработка схемотехнических решений создания антенно-фидерных устройств и радиочастотных трактов перспективных станций спутниковой связи и бортовых ретрансляторов в миллиметровом диапазоне волн". Этап 5. ОАО "Радиофизика", Москва, 2004 г.

1. Научно-технический отчет о НИР "Изыскание инженерно­технических путей и разработка схемотехнических решений создания антенно-фидерных устройств и радиочастотных трактов перспективных станций спутниковой связи и бортовых ретрансляторов в миллиметровом диапазоне волн". Этап 6. ОАО "Радиофизика", Москва, 2005 г.
2. Б. Уидроу, С. Стирнз "Адаптивная обработка сигналов". Москва. "Радио и Связь". 1989.
3. С. Е. Фалькович, JI. Н. Коновалов "Разрешение неизвестного числа сигналов"", "Радиотехника и электроника", 1982, т. 27, № 1, с. 92-97.
4. Ю. С. Шинаков, В. С. Сперанский "Совместное обнаружение, разрешение и измерение параметров сигналов на фоне помех на выходе антенной решетки. Синтез алгоритмов", "Радиотехника и электроника", 1982, т. 27, № 11, с. 2179-2184.