

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

УДК 621.396.962.3

Климович
Виталий Олегович

Зондирующие сигналы современных РЛС

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра техники и технологии

по специальности 1-39 81 03 «Информационные радиотехнологии»

Научный руководитель
Козел Виктор Михайлович
к. т. н., доцент

Минск 2015

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Разработка радиолокационной системы обычно начинается с исследования ограничений, накладываемых энергетическими соотношениями и в радиоканале, при стремлении получить максимальную точность и разрешающую способность по координатам.

С развитием радиолокации наметился постепенный переход к разработке устройств, способных обеспечить оптимальные или близкие к ним условия формирования и обработки сигналов. Разработчик радиолокационных систем должен уметь взвесить достоинства возможных компромиссных решений, которые позволяют добиться требуемых результатов.

Возможность варьировать и подбирать в соответствии с теми или иными требованиями различные характеристики зондирующих радиосигналов является одним из важнейших факторов создания радиолокационных систем. В этой связи теория сигналов и особенно сигналов сложной формы является одним из основных разделов современной радиолокации.

Современные радиолокационные станции (РЛС) используют широкий спектр зондирующих сигналов: от простейших радиоимпульсов до сложных кодовых конструкций в частотно-временной области. Разнообразие решаемых радиолокационных задач требует для получения оптимальных качественных характеристик использования зондирующих сигналов с различными частотно-временными функциями неопределенности.

Выбор зондирующего сигнала при проектировании РЛС является важной задачей, т.к. заранее можно узнать потенциальную точность измерения координат: разрешающие способности по дальности и скорости, а также на основании обеспечения их значения - дальность действия РЛС.

Задача детального анализа и синтеза сложных сигналов с требуемыми характеристиками является достаточно сложной и не нашла пока решения в общем виде.

В настоящее время данная тема является весьма актуальной, в связи с ужесточением требований к тактико-техническим характеристикам современных РЛС и обеспечению качества воздушной разведки.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью диссертационной работы является улучшение тактико-технических характеристик РЛС путем выбора оптимального зондирующего сигнала.

Для достижения этой цели в работе решаются следующие задачи:

- определение закономерностей, связывающих параметры зондирующих сигналов с тактико-техническими характеристиками РЛС;
- сопоставительный анализ зондирующих сигналов с точки зрения оптимизации решения различных задач радиолокации;
- выработка рекомендаций для наиболее эффективного использования зондирующих сигналов РЛС.

Данная работа решает проблему осуществления выбора необходимого вида зондирующего сигнала на этапе проектирования РЛС, а так же предварительной оценки разрешающих способностей РЛС по дальности и скорости и точности их определения.

Работа является актуальной, т.к. поиск сигналов, обеспечивающих заданные свойства функции неопределенности, продолжается до сих пор. Задача детального анализа зондирующих сигналов с требуемыми характеристиками является достаточно сложной и не нашла пока решения в общем виде.

Личным вкладом автора является сопоставительный анализ наиболее часто используемых зондирующих сигналов современных РЛС с точки зрения оптимизации решения различных задач радиолокации, а так же выработка рекомендаций для использования наиболее эффективных сигналов.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе представлены сведения о зондирующих сигналах РЛС. В данном разделе проведен краткий обзор литературных источников по теории зондирующих сигналов, рассмотрены виды зондирующих сигналов, а так же описана проблема поиска сложных сигналов, обеспечивающих заданные свойства функции неопределенности.

Второй раздел посвящен рассмотрению теоретических основ зондирующих сигналов РЛС. Рассматриваются основные оперируемые понятия в радиолокации, физические основы радиолокации, тактико-технические характеристики РЛС, методы анализа зондирующего сигнала с помощью нормированной двумерной автокорреляционной функции; доказано, что оптимальный корреляционный приемник вычисляет значение ДАФ, приведен вид идеального тела неопределенности, рассмотрен вопрос согласованной фильтрации, применяемой в радиолокационных приемниках, и доказано, что отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра не зависит от вида зондирующего сигнала, а определяется его энергией и спектральной плотностью шума.

В третьем разделе проведен сопоставительный анализ зондирующих сигналов с точки зрения оптимизации решения различных задач радиолокации, приведены данные для построения тел неопределенности различных зондирующих сигналов, а так же для определения их потенциальной разрешающей способности по дальности и скорости, рассмотрены и определены закономерности, связывающие параметры зондирующих сигналов с тактико-техническими характеристиками РЛС. Проведена выработка рекомендаций для наиболее эффективного использования зондирующих сигналов РЛС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной магистерской диссертации произведен анализ зондирующих сигналов РЛС с точки зрения оптимизации решения различных задач радиолокации, определены закономерности, связывающие параметры зондирующих сигналов с тактико-техническими характеристиками РЛС, выработаны рекомендации для наиболее эффективного использования зондирующих сигналов РЛС с целью повышения тактико-технических характеристик РЛС.

В ходе работы были детально рассмотрены три типа зондирующих сигналов: прямоугольный радиоимпульс, ЛЧМ сигнал и сигналы с фазовой манипуляцией.

В рамках поставленной цели, все задачи были выполнены в полном объеме.

1. Определены закономерности, связывающие параметры зондирующих сигналов с тактико-техническими характеристиками. Исследования показали, что:

- максимальная дальность действия РЛС в основном определяется мощностью излучения и длительностью импульса, но так как предельная мощность излучения всегда ограничена, целесообразно использовать импульсы большой длительности; также длительность импульса зондирующего сигнала определяет слепую зону обзора РЛС;

- отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра приемника РЛС не зависит от вида зондирующего сигнала, а определяется его энергией и спектральной плотностью шума;

- для простых сигналов разрешающая способность по дальности определяется длительностью импульса, а разрешающая способность по скорости – обратно пропорциональна длительности импульса;

- для сложных сигналов разрешающая способность по дальности определяется шириной полосы сигнала, а разрешающая способность по скорости – обратно пропорциональна длительности импульса;

2. Проведен сопоставительный анализ зондирующих сигналов РЛС, который показал, что:

- прямоугольный радиоимпульс имеет ряд существенных противоречий. Его разрешающая способность по дальности обратно пропорциональна разрешающей способности по скорости, т.е. увеличение разрешающей способности по дальности приводит к ухудшению разрешающей способности по скорости и наоборот. В то же время увеличение разрешающей способности по дальности влечет за собой уменьшение максимальной дальности действия РЛС, за счет уменьшения длительности импульса, или приводит к увеличению излучаемой мощности.

- ЛЧМ сигнал по сравнению с простым радиоимпульсом может обеспечить улучшение разрешающей способности по дальности и скорости в $D_{сж}$ раз. У ЛЧМ сигнала, в отличие от простого радиоимпульса отсутствует взаимосвязь между разрешающими способностями по дальности и скорости. Таким образом, можно независимо обеспечить требуемую разрешающую

способность по дальности и скорости. Также в ЛЧМ сигнале отсутствует взаимосвязь дальности действия РЛС и разрешающей способности по дальности. Недостатками ЛЧМ сигнала является относительно большой уровень боковых лепестков его автокорреляционной функции (первый лепесток равен 0,2 по уровню от максимума) и отсутствие возможности одновременного измерения дальности и скорости цели по одному импульсу.

- ФМн сигнал кодом Баркера при одинаковой базе с ЛЧМ сигналом будет иметь такие же разрешающие способности по дальности и скорости. Было установлено, что уровень боковых лепестков для кода Баркера обратно пропорционален размерности кода N и ограничивается максимально возможной для кода Баркера размерностью $N = 13$. Из всех рассмотренных сигналов, ФМн сигнал кодом Баркера имеет самый низкий уровень боковых лепестков, что свидетельствует о высокой точности измерения координат. Недостатком ФМн сигнала кодом Баркера является его ограниченная размерность (база), равная 13 дискретам. Таким образом, может возникнуть противоречие между обеспечиваемой дальностью действия РЛС и разрешающей способностью по дальности, а так же ограничение возможности улучшения разрешающей способности по скорости;

- исследование сечения функции неопределенности во временной области сложных сигналов показало, что ЛЧМ сигнал менее подвержен расстройке по частоте Доплера, чем фазоманипулированный сигнал кодом Баркера;

- у ЛЧМ сигнала можно неограниченно увеличивать базу сигнала путем увеличения длительности импульса и ширины спектра, в отличие от ФМн кодом Баркера, но следует так же отметить, что это приводит к увеличению слепой зоны РЛС.

По результатам сопоставительного анализа зондирующих сигналов РЛС можно судить о том, что наиболее оптимальным сигналом в плане обеспечения требуемых тактико-технических характеристик РЛС является сигнал с линейно-частотной модуляцией.

3. На основании сопоставительного анализа зондирующих сигналов, были выработаны рекомендации для наиболее эффективного использования сигналов РЛС.

- прямоугольный радиоимпульс целесообразнее использовать для определения наличия целей на больших расстояниях или для измерения разрешающей способности по дальности на малых расстояниях, разрешающая способность по скорости при этом будет низкая;

- для возможности одновременного измерения дальности и скорости по ЛЧМ сигналу, рекомендуется использование пачек из ЛЧМ импульсов;

- для устранения высокого уровня боковых лепестков АКФ ЛЧМ сигнала рекомендуется использование весовых окон Хэмминга и Хана при обработке сигнала в приемной части РЛС;

- для уменьшения влияния расстройки по доплеровской частоте для ФМн сигнала кодом Баркера рекомендуется использовать многоканальную обработку принятого сигнала в приемной части РЛС;

- для устранения недостатка ограниченной размерности кода Баркера для ФМн сигнала рекомендуется использовать коды более высокого порядка, например код Фрэнка, который имеет неограниченную размерность. Использование в качестве кодовой последовательности кода Фрэнка позволяет добиться повышения использования энергетических возможностей РЛС, высокой совместной разрешающей способности РЛС по дальности и скорости при низком уровне боковых лепестков функции неопределенности, ограничиваемым значением \sqrt{N} ;

- для уменьшения слепой зоны обзора рекомендуется использование зондирующего сигнала с составным периодом. Использование такой комбинации позволяет уменьшить слепую зону обзора РЛС, за счет того, что вначале излучается прямоугольный радиоимпульс малой длительности, который позволяет определять наличие целей на близких расстояниях, а затем импульс сложного сигнала большой длительности для обнаружения и определения координат цели в пределах максимальной дальности действия РЛС.

Рассмотренные в магистерской диссертации сведения позволяют осуществить выбор необходимого вида зондирующего сигнала на этапе проектирования с целью повышения тактико-технических характеристик РЛС.