

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Радиофизический факультет

Реферат по специальной дисциплине 1.3.4

РАДИОФИЗИКА

Тема: Исследование когерентности сигналов при прохождении
радиотехнических систем.

Выполнил:

_____ Листратов Анатолий Игоревич

Зав. Кафедрой:

_____ Фитасов Евгений Сергеевич

Нижний Новгород 2025

В связи с активным развитием направления радиоэлектронной борьбы с применением активных интеллектуальных помех в современных радиотехнических системах постоянно возрастают требования к обнаружению и исключению преднамеренного воздействия помех. Интеллектуальные помехи осложняют отождествление эхо-сигналов и целей и перегружают системы обработки и вычисления. Одним из подходов к селекции имитирующих сигналоподобных помех являются методы, основанные на оценке когерентных свойств сигналов. Данный подход строится на предположении, что степени когерентности сигнала радиолокационной системы и имитационной помехи будут различаться из-за ряда факторов (различия передаточных характеристик фильтров тракта передачи и приема, стабильность синтезаторов частот, тактовых генераторов и гетеродинов, уровень нелинейных искажений на активных элементах приемно-передающего тракта и т.д.).

Термин «когерентность» первоначально возник в оптике, где означает коррелированное протекание во времени и пространстве нескольких волновых процессов, способных благодаря этому интерферировать. В радиотехнических приложениях понятие «когерентность» имеет несколько иной смысл и характеризует связь элементов одного и того же сигнала, определяя тем самым «жесткость» его структуры. Когерентным является сигнал с закономерной фазовой структурой, то есть детерминированный сигнал, а некогерентным – белый шум [1][2]. Таким образом, оценка когерентности сигнала может дать информацию о шуме и полезном сигнале, присутствующем в радиотехническом тракте, что может быть полезно как для селекции имитационных помех, так и в других областях радиофизики (связь, навигация, физика полупроводников и др.), например, при анализе флуктуаций в автоколебательных системах или при исследовании шумов в наноразмерных структурах [3].

В работе [1] в качестве одного из перспективных методов анализа когерентности сигнала предложена оценка энтропии распределения энергии сигнала по собственным подпространствам его корреляционной матрицы. В теории информации по аналогии с термодинамикой принято считать меру хаоса

присущего системе (в нашем случае количество шума) энтропией сигнала. Чем выше энтропия, тем более хаотичный (зашумлённый) сигнал в системе.

Актуальность исследования обусловлена растущими требованиями к помехозащищённости радиотехнических систем, а также необходимостью в радиолокации обеспечивать селекцию целей и обеспечивать защиту радиолокационной системы от активных помех. Результаты работы могут быть использованы при проектировании систем связи, радиолокации и других приложений, где критически важна оценка когерентности сигналов.

Для проведения полноценного исследования необходимо провести обзор литературы, посвященной этой сфере. Далее, требуется уточнение и конкретизация целей исследования, чтобы на их основе сформулировать набор задач.

Теоретические изыскания в вопросе помехоустойчивости и селекции имитационных помех проводились достаточно давно. Нельзя не упомянуть фундаментальные работы следующих авторов:

1. Котельников В. А. Теория потенциальной помехоустойчивости [4], книга посвящена теории максимально возможной помехоустойчивости радиоприемных устройств. В книге рассматриваются различные типы сигналов и помех, методы расчета помехоустойчивости передаваемых сообщений, колебаний, отдельных параметров;

2. Левина Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники, книга 1 [5]. Книга состоит из двух основных частей. Одна из них посвящена описанию математического аппарата статистической физики и вероятностному анализу прохождения стохастических сигналов через типовые системы. Вторая рассматривает более фундаментальные вопросы статистического синтеза систем обнаружения, различения сигналов и оценивания их параметров на фоне помех при полной априорной информации и в условиях априорной неопределенности;

3. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех [6]. В книге обобщаются вопросы

оптимизации многоканального и одноканального обнаружения, измерения и разрешения радиолокационных сигналов. Основное внимание уделяется принципам синтеза и вопросам технической реализации различных аналоговых и цифровых обнаружителей и измерителей параметров сигналов на фоне коррелированных нестационарных помех, вопросам адаптации к условиям априорной неопределённости и др.

В работе [3] рассматривается зависимость значений энтропии аддитивной смеси одного или нескольких детерминированных сигналов и белого гауссового шума, а также рассматривается энтропия смеси детерминированного сигнала с флуктуациями частоты и фазы распределённых по нормальному закону, с белым гауссовым шумом. В работе показано, что информационная энтропия позволяет получить количественную и информативно ёмкую оценку степени когерентности сигналов.

В работах [7 - 9] показан метод селекции имитирующих сигналоподобных помех, основанный на оценке когерентных свойств радиолокационных сигналов. Анализируя энтропию принятого сигнала можно показать, что энтропия сигналов, отраженных от реальных объектов заметно ниже для широкого диапазона значений отношения сигнал шум.

В работе [10] рассмотрена модель дискретно-квантованного сигнала на выходе 12-ти разрядного АЦП, приведены зависимости когерентности сигнала от параметров дискретизации и квантования: отношения сигнал-шум, отношения частоты сигнала к частоте дискретизации, отношения амплитуды сигнала к кванту амплитуды преобразователя. Показана связь между интервалом корреляции, длиной выборки и значением энтропии в области малых значений отношения частоты сигнала к частоте дискретизации. Объект исследования – радиотехнические приемные системы ВЧ и СВЧ диапазона.

Предметом исследования являются цифровые методы приема и обработки информации, методы повышения помехоустойчивости радиолокационных систем в условиях наличия мощных активных помех.

Целью диссертационного исследования является исследование когерентных свойств радиолокационных сигналов и помех после прохождения радиотехнических цепей для обеспечения вероятности верного приема и селекции радиолокационных целей (в том числе малоразмерных малоскоростных низколетящих целей) в условиях наличия мощных источников активных помех и ложных целей.

Задача диссертационной работы заключается в повышении помехозащищенности радиотехнических систем по отношению к ряду активных помех (имитационных, прицельных и т.д.) за счет анализа влияния элементов радиотехнического тракта на когерентность сигналов и применения оптимальных методов приема и обработки информации, основанных на оценке когерентных свойств сигнала.

Список литературы

- [1] Михеев П.В. // Изв. вузов. Радиофизика. 2006. Т. 49, № 1. С. 82-87.
- [2] Ширман Я. Д., Лосев Ю. И., Минервин Н. Н. и др. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. С. 301
- [3] Фитасов Е.С., Леговцова Е.В., Орлов И.Я., Насонов В.В. Оценка когерентности радиолокационных сигналов с флуктуациями параметров // Изв. вузов. Радиофизика. 2021. Т. 64, № 1. С. 69–82.
- [4] Котельников В. А. Теория потенциальной помехоустойчивости. – М. Л.: Госэнергоиздат, 1956., - 150 с.
- [5] Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники, книга 1. – М.: Сов. радио, 1974., - 550 с.
- [6] Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981.

[7] Фитасов Е.С., Леговцова Е.В., Кудряшова О.Е., Козлов С.А., Насонов В.В. Селекция имитирующих сигналоподобных помех в радиолокационных системах с внутренней когерентностью // Изв. вузов. Радиофизика. 2021. Т. 64, № 11. С. 917–925.

[8] Фитасов Е.С., Козлов С.А., Леговцова Е.В., Макарова Ю.М. // Материалы 12-ой международной научно-технической конференции «Перспективные технологии передачи информации» / ВлГУ, в 2-х томах; редкол.: А.Г.Самойлов (и др). - Владимир, ВлГУ. – 2017. Т.1. С.98-101.

[9] Пат. 184465 РФ, МПК G01S13/52. Устройство селекции ложных целей: № 2018126557: заявл. 18.07.2018: опубл. 06.12.2018 / Фитасов Е.С., Козлов С.А.; заявитель АО «ФНПЦ «ННИИРТ». 8 с.

[10] Королев А. М. Исследование степени когерентности дискретно-квантованных радиосигналов / А. М. Королев, А. Е. Тимофеев // Труды XXVIII научной конференции по радиофизике, Нижний Новгород, 14–31 мая 2024 года. – Нижний Новгород: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2024. – С. 263-266. – EDN CSTRGW.