



УТВЕРЖДАЮ

Ректор МТУСИ

С.Д. Ерохин

«___» февраля 2018 г.

ОТЗЫВ

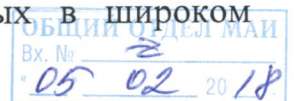
ведущей организации

на диссертационную работу Ефимова Евгения Николаевича «Оценка времени задержки циклоstationарных радиосигналов для локализации источников излучений», выполненную по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук в диссертационный совет Д 212.125.03

Актуальность темы выполненной работы

Современные радиотехнические системы являются источниками побочных электромагнитных излучений, которые, несмотря на сложный механизм своего формирования, в целом, сохраняют основные статические свойства и характеристики сигналов, которыми они порождены. Исследования в области теории сигналов, проведенные за последние 10–15 лет, показывают, что для широкого класса радиотехнических сигналов модели их представления в виде реализаций циклоstationарных случайных процессов являются более адекватными, чем модели их описания как реализаций стационарных случайных процессов. Однако, переход к более сложным моделям неизбежно требует разработки новых методов оценки информационных параметров, позволяющих использовать дополнительную информацию о сигнале.

Диссертационная работа Е.Н. Ефимова посвящена решению актуальной задачи, заключающейся в разработке алгоритмов оценивания времени задержки сигналов, рассматриваемых как реализации циклоstationарных в широком



смысле случайных процессов. Практическая востребованность исследования состоит в том, что оно направлено на создание новых технических решений, повышающих точность оценки времени задержки сигнала, что позволит повысить качество функционирования отдельных блоков радиотехнических систем, решающих задачи радиомониторинга, радиопеленгации, радиолокации и связи.

Структура и содержание работы

Диссертация изложена на 172 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (101 наименование) и приложения.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель работы и решаемые задачи. Изложена научная новизна и практическая ценность работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ предметной области исследования. Для этого выполнен обзор отечественных и зарубежных научных работ, авторы которых используют для представления радиосигналов модели циклостационарных случайных процессов, также рассмотрены работы по методам оценки задержки радиосигналов и построению алгоритмов параметрического оценивания на основе искусственных нейронных сетей. По результатам проведенного обзора сформулированы задачи диссертационного исследования.

Во второй главе приведено краткое теоретическое представление циклостационарных случайных процессов и их собственных и взаимных характеристик, используемых для описания корреляционных свойств сигналов во временной и частотной областях. По аналогии со стационарными случайными процессами, даны выражения для циклических автокорреляционных функций и спектральных плотностей мощности, показана взаимосвязь между этими характеристиками. В главе рассмотрены циклостационарные свойства моделей сигнала с амплитудной, квадратурной амплитудной и амплитудно-импульсной модуляцией. Также представлены структурные схемы анализатора собственных и взаимных циклостационарных свойств радиосигналов.

В третьей главе изложен метод накопления циклических периодограмм во временной области, рассмотрена плоскость «частота–циклическая частота» и рассмотрена область носителя циклической спектральной плотности мощности цифрового сигнала. Так же в главе представлены два разработанных автором

алгоритма для оценки циклических характеристик сигналов по их реализациям конечной длительности. Определена вычислительная сложность алгоритмов, а их работоспособность продемонстрирована на примере анализа циклических характеристик радиосигналов с амплитудной модуляцией.

Четвертая глава посвящена оценке времени задержки прихода радиосигнала, являющегося реализацией циклостационарного случайного процесса. В рамках выбранной модели приемной системы рассматриваются изменения циклических спектральных характеристик при внесении задержки в циклостационарный сигнал. Проведен статистический анализ оценок, формируемых в области циклической частоты, и представлены результаты имитационного моделирования для оценки их точности в присутствии другого сигнала и аддитивного шума. Представлено применение разработанных алгоритмов оценивания циклических спектральных характеристик и времени задержки цифрового сигнала при его распространении по шине данных с использованием экспериментальных данных, полученных в результате измерения ближнего поля цифровой печатной платы.

В пятой главе предложен подход к синтезу алгоритма оценивания направления на источник излучения на основе искусственных нейронных сетей, обучаемых с использованием методов первого и второго порядка таким образом, чтобы приближать оценки по методу максимального правдоподобия. С использованием имитационной модели проведен сравнительный анализ по точности и быстродействию разработанного алгоритма с оптимальным решением, получаемым итерационным алгоритмом минимизации.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

В приложении представлены свидетельства о государственной регистрации двух программ для ЭВМ.

Научная новизна исследования

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработан алгоритм формирования оценок циклической спектральной плотности мощности в широкой полосе частот, в котором для достижения требуемого шага сетки частот использованы методы интерполяции в частотной области; оценки, формируемые данным алгоритмом, могут рассматриваться как опорные при анализе других алгоритмов.

2. Разработан блочный алгоритм усреднения циклических периодограмм, в котором использовано накопление в интервалах циклических частот, что позволяет построить двухэтапную процедуру поиска характерных частот сигнала и снизить требования к быстродействию и объёму оперативной памяти устройства цифровой обработки.

3. Предложен способ выявления характерных циклических частот с использованием интегральной характеристики, вычисляемой как сумма модулей оцененных значений ЦСПМ в каждом сечении, параллельном оси линейных частот.

4. Исследовано формирование собственных и взаимных циклических спектральных корреляционных характеристик смеси циклостационарного информационного сигнала и стационарного гауссовского шума.

5. Проведен впервые анализ статистических свойств оценок задержки сигналов, формируемых на основе обработки сечений двумерных спектральных характеристик на характерных циклических частотах сигнала.

6. На примере измеренных сигналов электромагнитного поля в ближней зоне впервые продемонстрирована процедура оценки временной задержки при распространении по шине данных цифровой печатной платы информационного сигнала, обладающего выраженными циклостационарными свойствами.

7. Разработан быстродействующий алгоритм оценивания направления на источник электромагнитного излучения, реализованный в виде искусственной нейронной сети.

Представленные результаты достаточно обоснованы и достоверны, что подтверждается моделированием и натурным экспериментом.

Достоверность и практическая значимость результатов

Достоверность результатов работы обеспечивается корректностью исходных положений, использованием известного математического аппарата теории вероятностей и математической статистики для всех полученных научных результатов, соответствием между результатами имитационного моделирования, проведенного в стандартных программных пакетах, и известными аналитическими решениями, в том числе результатами других авторов, опубликованными в отечественной и зарубежной литературе, экспериментальной проверкой на сигналах, полученных с использованием высокоточного современного измерительного оборудования.

Научные и практические результаты работы использованы в рамках научно-исследовательских работ, выполняемых в рамках двух проектов, поддержанных грантами РФФИ, и в рамках одного проекта базовой части государственного задания Минобрнауки РФ.

В результате выполнения работы были получены два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Полученные в результате проведенного исследования математические модели циклостационарных сигналов и разработанные алгоритмы оценивания циклостационарных характеристик могут быть использованы в радиотехнических средствах анализа побочного электромагнитного излучения, комплексов радиомониторинга, в задачах оценки эффективности использования частотного ресурса. Разработанный автором быстродействующий алгоритм формирования оценки направления прихода может быть эффективно использован в программном обеспечении пассивных радиолокаторов, оснащенных цифровыми активными фазированными антенными решетками.

Замечания

1. Отсутствует обоснование увеличения точности получаемых оценок задержек в 4-6 раз и по сравнению с чем.

2. В работе следовало уделить большее описание связи материалов главы 4 «Оценка времени задержки циклостационарных сигналов» и главы 5 «Оценка направления прихода сигнала».

3. Недостаточное внимание в главе 4 уделено описанию соответствия полученных результатов эксперимента предложенной процедуре оценки задержки.

4. В тексте диссертации не описана топология нейронной сети.

Заключение по работе

В целом, несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа «Оценка времени задержки циклостационарных радиосигналов для локализации источников излучений» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная задача повышения точности оценки времени прихода случайного сигнала.

Тематика диссертации соответствует паспорту специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Автореферат отражает основное содержимое диссертационной работы. Публикации автора достаточно полно отражают основные результаты и выводы работы.

По своей актуальности, новизне, объёму проведенных исследований и их практической ценности, диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Ефимов Евгений Николаевич, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета МТУСИ, протокол № 1 от «1» февраля 2018 года.

Отзыв одобрен на заседании научно-технического совета МТУСИ, протокол № 1 от «1» февраля 2018 года.

Доцент кафедры «РТС» Валентин Сергеевич Сперанский
к.т.н.

Заведующий кафедрой радиотехнические системы дтн., проф. Юрий Семенович Шинаков