

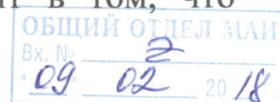
ОТЗЫВ

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

Актуальность темы выполненной работы

Составной частью многих методов извлечения информации, реализованных в алгоритмах современных радиотехнических устройств, является измерение задержки между принятыми или измеренными сигналами. В научной литературе достаточно подробно описаны способы решения задачи оценивания временного сдвига для детерминированных сигналов в присутствии аддитивного шума и для сигналов, являющихся реализациями стационарных в широком смысле случайных процессов с известными корреляционными и спектральными характеристиками. Однако, для ряда сигналов, создаваемых и обрабатываемых современными цифровыми радиотехническими устройствами, модель стационарных случайных процессов является довольно грубой моделью, поскольку она не учитывает периодическую структуру, вносимую при формировании таких сигналов. При этом важно отметить, что считать такие сигналы периодическими нельзя, поскольку информационные сообщения, передаваемые такими сигналами, являются случайными.

Выполненное в диссертационной работе исследование посвящено разработке и анализу алгоритмов оценивания времени задержки сигналов, являющихся реализациями циклоstationарных, или периодически коррелированных, случайных процессов. Актуальность темы исследования состоит в том, что



повышение точности оценивания указанного информационного параметра за счёт применения более сложных алгоритмов обработки обеспечивает увеличение точности оценок, формируемых алгоритмами локализации источников электромагнитных излучений.

Содержание диссертационной работы

Рассматриваемая диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка из 101 использованного источника, списка рисунков, списка таблиц и одного приложения.

Во введении приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, определены цель работы и решаемые задачи. Сформулированы научная новизна и практическая ценность работы, а также приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор отечественных и зарубежных источников, посвящённых циклостационарным случайным процессам, методам оценивания задержки сигналов и применения искусственных нейронных сетей в качестве универсальных аппроксимирующих алгоритмов. По результатам анализа исследований в предметной области выбраны и обоснованы задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена краткому изложению теории циклостационарных случайных процессов и основных временных и спектральных характеристик, используемых для описания их статистических свойств. Также был выполнен синтез циклостационарных моделей для сигналов с амплитудной и амплитудно-импульсной модуляцией, для которых получены выражения циклических автокорреляционных функций и циклических спектральных плотностей мощности, характеризующих соответственно временные и частотные свойства. Проведенная аналогия показывает, что циклостационарная модель является расширением стационарной модели, включая последнюю как частный случай.

В третьей главе представлены теоретические положения и дано описание двух новых алгоритмов оценки циклических характеристик сигналов по их

реализациям конечной длительности. Алгоритмы основаны на методе накопления циклических периодограмм с использованием интерполяционных методов. Работа предложенных алгоритмов продемонстрирована на примере анализа циклических характеристик основных радиосигналов с амплитудной и амплитудно-импульсной модуляцией, которые обладают выраженными циклостационарными свойствами, что проявляется в формировании компонент на характерных циклических частотах.

В четвертой главе исследовано преобразование собственных и взаимных циклических характеристик сигнала в спектральной области под влиянием временной задержки, вносимой в сигнал в рамках выбранной соискателем модели приемной системы. Предложен алгоритм оценивания задержки на основе циклических характеристик и исследованы статистические свойства формируемых им оценок с использованием имитационного моделирования. Проведено испытание разработанных алгоритмов с использованием экспериментальных данных.

В пятой главе рассмотрено применение искусственных нейронных сетей для построения алгоритма, формирующего оценки направления прихода сигнала, которые приближаются к оптимальным оценкам, формируемым по методу максимального правдоподобия. По результатам имитационного моделирования проведен сравнительный анализ предложенного решения с оптимальным, получаемым численным оптимизационным алгоритмом.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Достоверность результатов исследования обуславливается корректностью исходных положений и преобразований, использованием апробированного аппарата математического анализа, функционального анализа, теории вероятностей и теории случайных процессов, а также логической обоснованностью выводов. Полученные результаты многократно подтверждены моделированием с

использованием специализированных компьютерных программ и результатами экспериментальных исследований.

Научная новизна исследований и полученных результатов заключается в следующем:

1. Разработана структурная схема системы оценки статистических циклостационарных характеристик радиосигналов, осуществляемой за счёт корреляционного анализа их квадратурных составляющих в частотной области.
2. Получено аналитическое описание преобразования взаимных спектральных характеристик циклостационарных сигналов под воздействием задержки.
3. Разработаны два алгоритма цифровой обработки сигналов, позволяющие сформировать оценки циклических спектральных плотностей мощности сигнала в широкой полосе частот.
4. Исследовано формирование собственных и взаимных циклических спектральных корреляционных характеристик сигналов в присутствии шума.
5. Предложена интегральная характеристика суммарной мощности сечения циклической спектральной плотности мощности, позволяющая осуществить выявление характерных циклических частот сигнала.

Практическая значимость результатов диссертационной работы определяется тем, что:

1. Разработанный соискателем блочный алгоритм усреднённых циклических периодограмм позволяет оценивать спектральные компоненты информационных сигналов на характерных циклических частотах с заданным шагом, что позволяет снизить требования к объёму памяти устройства цифровой обработки.
2. Предложена и верифицирована на примере реальных сигналов методика оценки задержки времени распространения информационного сигнала, обладающего выраженными циклостационарными свойствами, по шине данных цифровой печатной платы.

3. Предложен быстродействующий алгоритм формирования оценок направления на источник излучения на основе искусственной нейронной сети топологии «многослойный персептрон», выходной слой которой реализует функцию комплексного аргумента, что позволяет формировать оценки угловой величины более эффективно, чем классический искусственный нейрон с сигмовидной функцией активации.

Научные и практические результаты работы использованы в процессе выполнения трёх научно-исследовательских работ: двух – поддержанных грантами РФФИ и одной – в рамках проекта базовой части государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации.

Апробация и публикации результатов диссертационной работы

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 33 работах, из них: 8 – статьи в журналах из списка ВАК Минобрнауки России, 3 – в изданиях, входящих в системы *Scopus* и «*Web of Science*», сделано 20 докладов на международных и всероссийских конференциях, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания

В качестве замечаний по диссертации следует отметить следующее:

1. В тексте работы имеются незначительные терминологические неточности и стилистические погрешности. В частности, в главе 2 «Циклостационарные свойства случайных процессов» в разделе 2.2 «Циклостационарные свойства сигналов с амплитудно-импульсной модуляцией» для обозначения сигнала во временной области буква S использована неудачно, так как ранее в тексте диссертации, а затем в остальных главах, эта буква использована для обозначения спектральной плотности мощности, т.е. характеристики сигнала в частотной области. Это затрудняет восприятие текста раздела.

2. В главе 3 «Алгоритмы оценки спектральных характеристик циклостационарных сигналов» рассмотрена задача обнаружения и оценки параметров сигналов по методу максимального правдоподобия, однако не приведены соответствующие характеристики обнаружения: вероятности ошибок 1 и 2 родов.

3. В главе 4 «Оценка времени задержки циклостационарных сигналов» угол наклона фазовой характеристики использован для оценки времени запаздывания сигнала для случая анализа взаимной спектральной плотности мощности, однако автором не указан конкретный алгоритм, использованный при оценке угла наклона в процессе численного моделирования. Здесь следовало бы проанализировать влияние выбора конкретного алгоритма на получаемые характеристики точности.

Заключение

Несмотря на указанные недостатки, сформулированные в работе выводы и рекомендации остаются справедливыми. Текст диссертации структурирован и оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к диссертационным работам.

Анализ материалов диссертационной работы и автореферата показывает, что название диссертационной работы верно отражает ее содержание, а материалы и основные результаты диссертационной работы полно отражены в научных публикациях автора. Автореферат соответствует основным положениям диссертационной работы, правильно и полно отражает её содержание и полученные результаты.

Диссертационная работа Ефимова Евгения Николаевича «Оценка времени задержки циклостационарных радиосигналов для локализации источников излучений» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена важная задача повышения точности оценки времени прихода случайного сигнала, и по своему содержанию, научной новизне и практической ценности полученных результатов 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».

профессор кафедры КБ-7 «Специальное
приборостроение и системы» Института
комплексной безопасности и
специального приборостроения
Московского технологического
университета
д.т.н., доцент

Сизых Вадим Витальевич



Подпись В.В. Сизых удостоверяю

Заместитель начальника
Управления кадров



М.М. Буханова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

"Московский технологический университет"

119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

+7 499 215-65-65 доб. 1140

<https://www.mirea.ru/>

mirea@mirea.ru