

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Ефимова Евгения Николаевича «Оценка времени задержки циклоstationарных радиосигналов для локализации источников излучений», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы диссертационного исследования Ефимова Е.Н. обусловлена потребностью анализа и контроля электромагнитных излучений, создаваемых радиоэлектронными устройствами, осуществляющими обработку инфокоммуникационных сигналов со сложными видами модуляции. Ключевую роль в решении этой задачи играют алгоритмы обработки сигналов, позволяющие осуществлять на основе конечных по длительности представленных в цифровой форме сигналов оценивание заданных информационных параметров излучений с высокой точностью при одновременном выполнении ограничений по объёму вычислительных ресурсов. Особенность большинства сигналов, протекающих в виде электрических токов в радиоэлектронных устройствах, такова, что им присуща регулярная структурная повторяемость. Для описания свойств таких сигналов применение спектральных методов анализа, основанных на модели периодического сигнала с переменными во времени параметрами, зачастую оказывается невозможным по причине отсутствия априорных сведений о модулирующих информационных сигналах. С другой стороны, применение моделей стационарных случайных процессов и методов обработки на их основе приводит к меньшей точности оценки параметров вследствие того, что структурная периодичность такими моделями в полной мере не учитывается. Одним из перспективных подходов к описанию такого класса сигналов является применение моделей циклоstationарных случайных процессов. Получение практического результата от использования такой модели потребует синтеза на её основе методов и алгоритмов, позволяющих проводить оценивание параметров анализируемых сигналов, что и является предметом диссертационного исследования.

Целью работы является повышение точности оценивания информационных параметров радиотехнических сигналов за счет применения моделей и методов, описывающих такие сигналы в форме реализаций циклоstationарных случайных процессов. В работе в соответствии с поставленной целью последовательно сформулированы и решены основные задачи. Был выполнен синтез моделей радиосигналов цифровых устройств, являющихся реализациями циклоstationарных случайных процессов. Были разработаны алгоритмы оценивания характеристик циклоstationарных радиосигналов в частотной области, позволяющие выполнить полное покрытие элементами разрешения двухчастотной плоскости и сформировать равномерную сетку узлов на ней для последующего анализа сечений. Соискателем был разработан алгоритм оценки времени прихода сигнала, обладающего циклоstationарными свойствами;

проведенный в работе анализ статистических характеристик получаемых оценок показал, что в присутствии белого гауссовского шума достигается увеличение точности оценки задержки сигнала в 4–6 раз за счет использования сечений на характерных циклических частотах. Соискателем был разработан алгоритм определения направления на источник излучения на основе искусственной нейронной сети, включающей в себя предложенный соискателем искусственный нейрон специального вида, функция активации которого имеет физический смысл в рамках решаемой задачи. Проведенное соискателем моделирование показало, что получение единичной оценки направления на источник излучения с использованием предложенного алгоритма потребует до 10 раз меньше вычислительных ресурсов по сравнению с решением задачи максимизации функции правдоподобия; при этом потери точности оценки направления на источник, измеряемой как СКО, оказываются не более 10%.

Проведенные соискателем исследования экспериментально измеренных в ближней зоне сигналов электромагнитного излучения цифровой печатной платы верифицировали циклостационарную модель, выбранную для их представления, и подтвердили эффективность предложенных соискателем алгоритмов и технических решений. При проведении исследований соискателем использовались методы теории случайных процессов, в том числе нестационарных, специальных разделов теории матриц, теории спектрального оценивания случайных процессов, прикладного машинного обучения, в том числе искусственных нейронных сетей – всё это подчёркивает научную культуру соискателя и его широкий исследовательский кругозор.

Научная новизна диссертационной работы состоит в использовании автором модели циклостационарных случайных процессов для представления сигналов с известной структурой, но неизвестными, случайными информационными составляющими. На основе выбранной модели соискателем был предложен и разработан комплекс алгоритмов и технических решений, позволяющий выполнять оценивание циклостационарных характеристик цифровых радиосигналов, определять характерные циклические частоты и проводить оценивание времени задержки на основе обработки сечений циклической спектральной плотности мощности. Предложенные решения позволяют повысить точность локализации источников электромагнитного излучения и могут быть использованы для решения задач радиомониторинга, электромагнитной совместимости в рамках решения комплексной проблемы информационной безопасности.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что они являются научной основой для разработки алгоритмов, реализуемых в программно-аппаратных комплексах обработки сигналов, применяемых для оценивания направления прихода радиосигналов, обладающих циклостационарными свойствами, и направлений на источники сигналов такого класса. Предложенная методика построения искусственной нейронной сети произвольной топологии на основе адаптивных элементов позволяет выполнить синтез

быстродействующих алгоритмов оценивания параметров сигналов с априорно известными аналитическими моделями.

Результаты диссертационного исследования вошли в материалы научно-исследовательской работы, выполняемой в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», что подтверждается актом о внедрении в проект, выполняемый в рамках базовой части госзадания Минобрнауки РФ № 8.8502.2017/БЧ «Разработка методов анализа и оценки параметров циклостационарных процессов в информационных системах со сложной обработкой сигналов».

Основные полученные автором результаты, сформулированные в виде положений, выносимых на защиту, свидетельствуют о высоком профессиональном уровне Е.Н. Ефимова и его существенном потенциале как научного работника. Публикации в рецензируемых отечественных журналах и в материалах ведущих зарубежных конференций, сборники трудов которых индексируются международными системами цитирования *WoS* и *Scopus*, в достаточной степени отражают результаты диссертационной работы; в автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад соискателя в проведенное исследование, указаны научная новизна и практическая значимость приведенных результатов исследования.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченной самостоятельной работой, посвященной **решению актуальной научно-технической задачи** – разработке технологии цифровой обработки сигналов, направленной на выявление и оценку информационных параметров широко распространенного класса сигналов, имеющей существенное значение для теории и практики создания систем радиомониторинга и анализа побочных электромагнитных излучений радиотехнических средств.

Диссертационная работа полностью **соответствует требованиям** «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», а её автор – Е.Н. Ефимов заслуживает присвоения ему искомой степени.

Научный руководитель:

д.т.н., профессор,

заведующий кафедрой «Теоретическая радиотехника» МАИ

Ю.В. Кузнецов

Подпись профессора Кузнецова Ю.В. заверяю

Декан факультета

«Радиоэлектроника летательных аппаратов» МАИ



В.В. Кирдяшкин

21.12.2017
Т.И. Дуд.