



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной
и ФГАОУ ВО «Санкт-
Петербургский государственный
электротехнический университет
им. В.И. Ульянова (Ленина)»
И., доц. Семенов А.А.



« 10 » 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Фаустова Ивана Сергеевича

«Обнаружение сигналов и идентификация источников радиоизлучений
многоканальными системами радиоконтроля», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность работы

Для систем радиоконтроля (РК) задача повышения вероятности обнаружения сигналов с их последующей идентификацией и определением местоположения их источников радиоизлучения (ИРИ) остается неизменно актуальной из-за появления новых стандартов связи и беспроводных систем связи (БСС).

Аппаратура современных эксплуатирующихся комплексов РК состоит из многоэлементной антенной решетки или пространственно-разнесенных антенн и многоканального радиоприемника с синхронными и когерентными каналами приема. Принятые многоканальные данные позволяют обнаружить сигналы ИРИ, оценить их направления прихода, реализовать пространственную

фильтрацию при перекрытии спектров или синфазное сложение сигналов от разных элементов антенной решетки для повышения эффективности демодуляции.

Для реализации синфазного сложения требуется подбор весовых коэффициентов для каждого ИРИ. В системах связи оценки весовых коэффициентов формируются на основе известных опорных участков принимаемого сигнала. Однако при РК опорные участки сигналов априорно неизвестны и требуется их предварительный поиск и обеспечение частотно-временной синхронизации. Решение этой актуальной научно-прикладной задачи применительно к обнаружению и идентификации сигналов БСС стандартов Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi и др. посвящена диссертационная работа.

Основные научные результаты и их значимость для науки и практики

1. Методика обнаружения и частотно-временной синхронизации для сигналов Bluetooth при приеме широковещательных пакетов и пакетов, определяемых стандартом 802.15.1 (Bluetooth), позволяющая увеличить число обнаруженных устройств при радиоконтроле

2. Алгоритм разнесённого приёма сигналов Bluetooth на основе корреляционной обработки, повышающий помехоустойчивость систем радиоконтроля, и обеспечивающий выигрыш 3,0–18,2 дБ в зависимости от числа антенных элементов (АЭ) и взаимной корреляции принимаемых сигналов (при вероятности пакетной ошибки 1%) по сравнению с известными.

3. Алгоритм разнесенного приема сигналов ZigBee, включая обнаружение, частотно-временную синхронизацию и демодуляцию, обеспечивающий в релейском канале выигрыш в помехоустойчивости на 2,8–18,7 дБ в зависимости от числа антенных элементов и корреляции принимаемых сигналов (при вероятности пакетной ошибки 1%) по сравнению с известными.

4. Алгоритм многоканального обнаружения и частотно-временной синхронизации при реализации разнесенного приема сигналов Wi-Fi, обеспечивающий в релейском канале выигрыш в помехоустойчивости на 3,0–

19,3 дБ в зависимости от числа антенных элементов и взаимной корреляции принимаемых сигналов (при вероятности пакетной ошибки 1%) по сравнению с известными.

5. Алгоритм обнаружения, оценки параметров и идентификации периодического импульсного сигнала в условиях априорной неопределенности структуры сигнала и низком отношении сигнал/шум по сравнению с известными.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций

Диссертационная работа содержит описание и научное обоснование совокупности разработанных соискателем методик и алгоритмов обнаружения и идентификации ИРИ, предназначенных для использования в условиях многолучевости и низкого отношения сигнал-шум.

Научная новизна исследований, выполненных в рамках диссертационной работы, состоит в следующем:

1. Разработке методики обнаружения и частотно-временной синхронизации для сигналов Bluetooth с неизвестным кодом доступа.
2. Применении корреляционной обработки при расчете весовых коэффициентов в алгоритме разнесенного приема сигналов Bluetooth.
3. Использовании возможностей многоканального приема в алгоритмах обнаружения и частотно-временной синхронизации сигналов Wi-Fi и ZigBee.
4. Итеративной частотной подстройке в алгоритме приема сигналов O-QPSK с DSSS.
5. Использовании свойств автокорреляционной функции в алгоритме идентификации и оценки параметров импульса (форма, длина) при обработке периодического импульсного сигнала.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность приведенных в диссертации научных положений и выводов обусловлена применением известного математического аппарата

теории вероятностей, математической статистики и теории статистических решений.

Достоверность выводов и рекомендаций подтверждается результатами практического использования разработанной методики и алгоритмов в системах и комплексах РК, а также данными статистического моделирования.

Значимость полученных в диссертации результатов для науки и практики

Научная значимость результатов заключается в разработке совокупности алгоритмов, обеспечивающих пеленгование источников сигналов БСС при разнесенном приеме, и исследовании особенностей разработанных алгоритмов в релейском канале при значимой корреляции сигналов АЭ. Практическая значимость заключается в разработке методик обнаружения и идентификации устройств БСС, предназначенных для использования в системах радиоконтроля с многоканальным приемом, и адресного пеленгования конкретных узлов БСС.

Реализация разработанных алгоритмов в системах РК повысит помехоустойчивость за счет увеличения вероятности обнаружения и идентификации узлов БСС, расширит зоны действия аппаратуры РК. Полученные в диссертационной работе результаты реализованы в аппаратуре научно-производственного предприятия АО «ИРКОС» (г. Москва), а также внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации изложен на 20 страницах, содержит список основных публикаций соискателя из 13 наименований. Автореферат полностью отражает содержание диссертации, содержит информацию об основных результатах, полученных в ходе ее выполнения и позволяет сделать вывод о высоком научном уровне работы.

Полнота опубликования научных результатов и апробация

Актуальность и востребованность результатов, отображенных в рассматриваемой диссертационной работе, подтверждается публикациями автора. Основные результаты опубликованы и отражены в 13 научных работах, в том числе 8 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 работе в издании, индексируемом в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus, и 4 докладах на научно-технических конференциях.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы И.С. Фаустова могут быть рекомендованы к использованию в следующих организациях: АО «НИИ «Вектор» (г. Санкт-Петербург), ООО «СТЦ» (г. Санкт-Петербург), ФГУП «Научно-исследовательский институт радио» (г. Москва), ФГУП «Радиочастотный центр Центрального федерального округа» (г. Москва), ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК РФ (г. Воронеж), а также в иных организациях, занимающихся вопросами разработки комплексов РК.

Материалы диссертации рекомендуются к использованию в учебном процессе студентов радиотехнических специальностей.

Замечания по работе

1. В разделе 2.4 отсутствует подробное описание выбора порогов обнаружения преамбулы и второй части синхропоследовательности сигнала, а также их влияния на эффективность работы алгоритма обработки сигнала ZigBee.

2. В разделе 2.6 не обоснован выбор значения вероятности ложной тревоги 0,5 %, которое для большинства задач обнаружения является достаточно высоким значением.

3. В пятой главе при определении отношения сигнал/шум не учитывались различные значения длительности сигнала, приводящие к изменению ширины

спектра. Это позволило бы обеспечить более наглядное представление и удобство сопоставления результатов.

4. В многоканальных приемных системах всегда присутствует корреляция сигналов АЭ, поэтому терминология вида «при наличии корреляции сигнала АЭ» требует уточнения.

5. Объем представленных практических результатов сравнительно невелик, что оставляет простор для дальнейших исследований и расширения экспериментальной базы.

6. Научная новизна работы связана с разработкой новых алгоритмов, однако вопрос их патентной защиты в диссертации не затронут.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку полученных в диссертации результатов, выносимых на защиту, их научную и практическую ценность.

Заключение

Диссертация И.С. Фаустова соответствует пп. 1, 5, 6 паспорта специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. По содержанию, публикациям и новизне основных результатов, их научной и практической значимости она соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальной научно-практической задачи развития методов и алгоритмов многоканальной обработки сигналов БСС для обнаружения и идентификации ИРИ в сложных условиях приема при наличии значимой корреляции сигналов АЭ.

Учитывая вышеизложенное, считаем, что Фаустов Иван Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Отзыв по результатам всестороннего рассмотрения диссертации и обсуждения доклада единогласно одобрен на заседании кафедры радиоэлектронных средств (РЭС) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», протокол № 2 от «29» октября 2025 г.

Заведующий кафедрой РЭС,

д.т.н., профессор

Даю согласие на обработку персональных данных  Виктор Николаевич Малышев

Профессор кафедры РЭС,

д.т.н., доцент

Даю согласие на обработку персональных данных  Алексей Сергеевич Подстригаев

Доцент кафедры РЭС,

к.т.н., доцент

Даю согласие на обработку персональных данных  Майя Евгеньевна Шевченко

Сведения об организации

МИНОБРНАУКИ РОССИИ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), ул. Профессора Попова, д. 5, литера Ф, Санкт-Петербург, 197022

Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58; e-mail: info@etu.ru ; <https://etu.ru>