

## **О Т З Ы В**

### **ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию 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

Для подготовки отзыва оппоненту представлена диссертация с приложенным актом внедрения результатов в АО "ИРКОС" на 109 стр, содержащая ссылки на 97 источников, включая работы автора, автореферат диссертации на 20 стр., основные публикации автора.

### **Актуальность темы исследований**

В диссертации И.С. Фаустова представлено решение проблемы обнаружения радиосигналов беспроводных систем связи (БСС) и локализации соответствующих источников радиоизлучений (ИРИ) в условиях сложной и динамично меняющейся сигнально-помеховой обстановки.

Современные технологии БСС, использующие сложные виды модуляции, предъявляют новые требования к средствам радиоконтроля (РК). Решение комплекса проблем РК особенно актуально в условиях существенной загруженности радиочастотного спектра, и сравнительно мягкими условиями его лицензирования. Как следствие, при этом усложняются задачи разрешения отдельных ИРИ, что требует дополнительных исследований идентификационных признаков, характеризующих каждый из совокупности ИРИ. Особую актуальность приобретают методы «адресного пеленгования», основанные на объединении процедур идентификации и оценки направления прихода сигнала. Таким образом, актуальной задачей является эффективное выделение из принимаемых радиоизлучений идентификационных признаков на основе процедур определения сетевых адресов ИРИ.

Созданные в рамках диссертации алгоритмы многоканальной обработки сигналов повышают вероятность обнаружения и идентификации устройств БСС, способствуя улучшению характеристик адресного пеленгования по сравнению с одноканальными алгоритмами.

В диссертации поставлены и решены научно-технические задачи:

– многоканального обнаружения, частотно-временной синхронизации и демодуляции сигналов современных БСС;

- объединения сигналов, регистрируемых разными каналами многоканальной аппаратуры РК, применительно к широкому кругу источников радиоизлучений (OFDM-сигналов; сигналов с прямым расширением спектра и с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты);
- расширения типов обнаруживаемых сигналов стандарта Bluetooth в условиях, при которых код доступа (Access Code, AC) известен абонентам, объединенным в сеть, но не известен системам РК;
- разработки алгоритмов обнаружения периодических импульсных сигналов, оценки их параметров и выделения идентификационных признаков.

Все перечисленные результаты исследований представляют интерес для разработчиков современной аппаратуры радиоконтроля, что **обуславливает актуальность** темы представленной И.С. Фаустовым диссертационной работы.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Исследования соискателя ученой степени базируются на разрешении противоречия между традиционно применяемыми в системах РК одноканальными алгоритмами приёма и выделения идентификационных признаков, используемых в современных комплексах РК многоканальных радиоприёмных устройств. Эффективное распределение ресурсов, не используемых при традиционном подходе, является основой для улучшения качества приёма и обработки радиосигналов в системах РК. Обоснованность сформулированных соискателем научных положений и технических рекомендаций также базируется на использовании адекватных решаемым задачам методов исследования.

#### **Достоверность положений диссертации**

Достоверность положений и выводов диссертации И.С. Фаустова обеспечивается математическими расчетами и корректным анализом полученных результатов, в том числе проведенным статистическим моделированием и практической апробацией разработанных алгоритмов в комплексах РК российского производства. Автором проведено критическое сопоставление полученных им количественных показателей с результатами, представленными в научных публикациях других авторов.

#### **Новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций**

В диссертации И.С. Фаустова усовершенствованы методы и алгоритмы многоканальной обработки сигналов в интересах обнаружения и идентификации ИРИ в сложных условиях приема, применены оценки корреляции сигналов, регистрируемых в разных каналах аппаратуры РК. В рамках проведенного исследования соискателем разработаны:

- средства обнаружения и частотно-временной синхронизации для сигналов Bluetooth, отличающиеся от известных возможностью обработки сигналов с неизвестным кодом доступа и обеспечивающие решение задач обнаружения и идентификации устройств в пассивном режиме РК;
- новый алгоритм разнесенного приема сигналов Bluetooth, отличающийся использованием корреляционной обработки при определении весовых коэффициентов, обеспечивающий помехоустойчивость близкую к оптимальному весовому сложению для сигналов с неизвестным кодом доступа;
- эффективные алгоритмы обнаружения и частотно-временной синхронизации сигналов Wi-Fi и ZigBee, отличающиеся использованием двух и более каналов приема и позволяющие снизить погрешность оценки частотной расстройки и временного положения пакетов;
- алгоритм приема сигналов O-QPSK с DSSS, отличающийся итеративной частотной подстройкой и позволяющий минимизировать вероятность битовых ошибок в условиях нестабильности рабочей частоты устройств ZigBee;
- алгоритм обработки периодических импульсных сигналов, использующий оценки автокорреляционной функции, отличающийся возможностью идентификации периодического импульсного сигнала при наличии излучений от других источников.

#### **Оценка значимости для науки и практики результатов диссертации, возможные конкретные пути их использования**

Проведенные соискателем исследования позволили разработать комплекс алгоритмов обработки сигналов современных БСС для систем РК, функционирующих в условиях неполной информации о параметрах радиоизлучений и наличия их существенной корреляции, в разных каналах приёма. Это определяет теоретическую значимость работы, которая состоит в разработке многоканальной аппаратуры РК, алгоритмов обнаружения, оценки параметров и идентификации сигналов БСС. Практическое применение разработанных алгоритмов обеспечивает повышение помехоустойчивости

аппаратуры РК, расширение зоны её действия, повышение вероятности обнаружения и идентификации ИРИ в условиях помех.

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть рекомендованы к внедрению при проектировании комплексов РК, предназначенных для анализа сигналов и локализации источников излучений современных БСС.

### **Положительные стороны диссертации**

Материал диссертации изложен логически последовательно и характеризуется внутренним единством. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Содержательная часть работы опубликована в достаточной степени.

Совокупность предложенных соискателем технических решений обладает научной новизной и практической ценностью. Основные результаты диссертационной работы полностью отражены в публикациях: 13 научных работах, в том числе 8 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 работе в издании, индексируемом в международных базах Web of Science и Scopus, и 4 опубликованных материалах докладов на научно-технических конференциях.

Для проверки теоретических расчетов и результатов моделирования автором были проведены экспериментальные исследования с использованием генератора Agilent E4438C и двухканальной измерительной аппаратуры компании ИРКОС с регистрацией зависимостей вероятностей пакетных ошибок от мощности сигнала для случаев одноканальной обработки каждого из двух каналов и совместной (многоканальной) обработки этих сигналов.

Научно-технический вклад соискателя в разработку аппаратуры радиоконтроля состоит в следующем:

- разработанные соискателем алгоритмы многоканального приёма и обработки OFDM-сигналов, сигналов с прямым расширением спектра и с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты повышают чувствительность и помехоустойчивость систем пассивного РК, обеспечивая энергетический выигрыш от 3,0 до 18 дБ в зависимости от количества каналов приёма и степени корреляции принимаемых в них сигналов;
- процедура обнаружения и частотно-временной синхронизации сигналов Bluetooth реализует прием широкополосных и других пакетов, определяемых стандартом 802.15.1 (Bluetooth), тем самым расширяя количество обнаруживаемых излучающих устройств;

- применительно к задачам обнаружения, оценки параметров и идентификации периодического импульсного сигнала предложен новый алгоритм, работоспособный в условиях априорной неопределенности структуры сигнала и позволяющий принимать их при отношениях сигнал-шум до значений  $-14,8$  дБ (диапазон зависит от скважности импульсной последовательности).

### **Замечания**

1. В диссертации представлены алгоритмы для каналов без памяти. Представляется целесообразным расширить их применение на случай каналов с памятью, в которых влияние предыдущих символов отражается на приеме текущего, что позволило бы получить более полное представление об эффективности предложенных решений.

2. В диссертации отсутствует обоснование выбора предложенной методики оценки частотной расстройки для сигналов Bluetooth. Было бы желательным расширить обзор известных методов синхронизации и привести аргументы в пользу выбранного подхода, что повысило бы полноту и обоснованность полученных результатов.

3. В диссертации не представлен анализ методов оценки канала в OFDM-системах. Было бы полезно рассмотреть методы приема, минимизирующие среднеквадратическую ошибку оценивания (Minimum Mean Square Error (MMSE)), основанные на технологии MIMO и имеющие преимущества в условиях значительного по интенсивности шума и многолучевого распространения по сравнению с используемым в работе методом наименьших квадратов (LS),

4. При определении периодической компоненты в разделах 5.2 - 5.3 автором не рассмотрен более эффективный класс методов параметрического цифрового спектрального анализа.

5. На стр. 76 диссертации сделано упрощающее допущение о постоянстве индекса модуляции  $\mu$ , который принят равным его среднему по диапазону значению  $0,315$ , однако корректнее было бы обосновать выбор исходя из усреднения целевой функции по данному параметру или на основе принципа минимакса.

Указанные недостатки, тем не менее, не являются принципиальными и не снижают научной и практической ценности исследований, проведенных соискателем. Существенно, что предложенные соискателем технические

решения внедрены в практику; о чем свидетельствуют публикации автора и приложенный к диссертации акт внедрения. Диссертация содержит комплекс научно обоснованных технических решений, внедрение которых способствует совершенствованию характеристик российских многоканальных комплексов радиоконтроля.

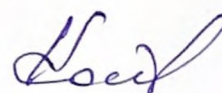
**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным ВАК РФ**

Тема и содержание диссертации соответствуют научной специальности 2.2.13 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. Диссертация оформлена в соответствии с установленными требованиями. При использовании в диссертации материалов или результатов, принадлежащих иным авторам, приводятся ссылки на первоисточники.

Диссертационная работа является завершенным научно-квалификационным исследованием на актуальную тему, обладает научной новизной и практической значимостью и соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Её автор – Фаустов Иван Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент

заведующий кафедрой радиотехнических систем РГРТУ, доктор технических наук (научная специальность 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения), профессор



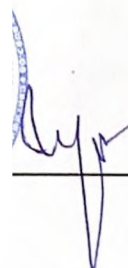
Виталий Иванович  
Кошелев  
21.11.2025 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (ФГБОУ ВО «РГРТУ»), 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1. Тел. (4912) 72-03-59, каф. РТС; e-mail: k

Подпись Кошелева В.И. заверяю

Проректор по научной работе и  
РГРТУ имени В.Ф. Уткина

1.



С.И. Гусев