

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель начальника ВУНЦ ВВС

«В академия имени
профессора и Ю.А. Гагарина»
и Ю.А. Гагарина»
их наук, доцент
А.В. Нагалин

« 22 »

ОТ

ведущей организации – Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» на диссертацию Студеникина Алексея Геннадьевича «Обнаружение и идентификация сигналов аппаратурой панорамного радиоконтроля», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы диссертации

Одним из направлений повышения эффективности использования радиочастотного спектра является совместное использование диапазонов частот разнообразными источниками радиоизлучений (ИРИ), передающими данные с использованием разных стандартов связи в режиме разделения времени. Подобное сосуществование в эфире в одном и том же частотном диапазоне многих ИРИ с разнообразными свойствами существенно осложняет контроль за изменением радиообстановки и требует совершенствования средств и систем радиоконтроля (СРК). При разработке современных СРК необходимо также принимать во внимание большую ширину диапазонов частот, подлежащих контролю. Как следствие, типовым режимом работы радиоконтрольного оборудования оказывается режим панорамного анализа (РПА), при котором полная панорама спектра образуется путём слияния воедино набора частных спектральных оценок, получаемых для отдельных фрагментов оси частот, называемых полосами одновременного обзора (ПОО). При панорамном анализе приемник СРК циклически перестраивается с одной ПОО на смежную и т.д., пока не дойдёт до конца диапазона частот, подлежащего анализу, после чего цикл сбора данных повторяется сначала. Выбор параметров функционирования СРК в РПА представляет собой сложную, многокритериальную задачу. Набор варьируемых параметров включает разбиение диапазона частот на ПОО, порядок перестроения между ними, продолжительности сбора данных в каждой ПОО, способ формирования панорамы из частных спектральных оценок, алгоритмы обработки накопленных спектральных панорам и многие прочие показатели. Единой теории, определяющей оптимальные правила выбора параметров СРК, работающих в РПА, и алгоритмов анализа радиообстановки в настоящее время не существует. Даже оптимизация работы СРК при решении частных задач радиоконтроля

представляет собой существенную техническую проблему, а потому исследования А.Г. Студеникина, направленные на повышение эффективности процессов сбора и обработки данных при решении задач обнаружения и идентификации сигналов, наблюдаемых в широких диапазонах частот, являются актуальными и востребованными на практике.

Новизна исследования и полученных результатов

Диссертационная работа содержит описание и научное обоснование совокупности разработанных соискателем методик и алгоритмов обработки сигналов при решении задач обнаружения и идентификация сигналов аппаратурой СРК, работающей в РПА. Научная новизна исследований, выполненных в рамках диссертационной работы, состоит в следующем:

- методика выбора параметров сканирования ПОО отличается учётом зависимости вероятности обнаружения и среднего времени обнаружения пакетных радиосигналов в РПА от длительности принимаемых выборок, что в конечном итоге позволяет повысить вероятность обнаружения пакетных радиосигналов и снизить среднее время их обнаружения;
- методика выбора режима сбора данных отличается возможностью использования реверсивного перестроения СРК по частотам, что при определенных сочетаниях параметров позволяет повысить вероятность обнаружения кратковременных сигналов и долю времени, реально затрачиваемого на накопление сигнальных выборок;
- методика выбора ширины спектральных фрагментов (СПФ) предполагает возможность фрагментарного выполнения идентификации сигналов параллельно с продолжением накопления спектральной панорамы на смежных частотных участках, что в конечном итоге обеспечивает уменьшение среднего времени извлечения идентификационных сведений из обрабатываемых сигналов и объёма используемой оперативной памяти;
- алгоритм отбора частотных каналов для детальной идентификации отличается от известных использованием истории предшествующих отборов. Это позволяет выравнивать средний темп выдачи на идентификацию ИРИ из различных каналов, а также максимизировать число идентифицированных пакетов наиболее редко выходящих в эфир ИРИ;
- алгоритм идентификации стандартов радиоизлучений по форме спектра сигналов отличается от известных применяемыми решающими статистиками и ресурсоэффективной реализацией на ПЛИС, что в конечном итоге обеспечивает существенное снижение требуемого отношения сигнал-шум (ОСШ) при идентификации радиоизлучений, изменённых интерференционными искажениями.

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

Обоснованность приведенных в диссертации научных положений и выводов базируется на применении апробированных принципов и методов синтеза алгоритмов обработки сигналов, использовании математического аппарата теории вероятностей, математической статистики и основ теории статистических решений.

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

Основные результаты опубликованы и отражены в 14 научных работах, включая 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 работу в издании, индексируемом в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus, и 7 докладов на научно-технических конференциях и семинарах.

Значимость полученных в диссертации результатов для науки и практики

Научная значимость результатов заключается в получении соотношений, определяющих взаимосвязь между параметрами процедур сбора и обработки данных при анализе радиообстановки в РПА и обеспечиваемыми вероятностями успешного обнаружения и/или идентификации сигналов; в выявлении закономерности изменения среднего времени получения идентификационных сведений от ширины СПФ, используемых при обработке данных; в выявлении закономерности изменения времени идентификации от используемого алгоритма выбора канала и других закономерностей.

Значимость полученных результатов для организаций, занимающихся разработкой систем и средств радиоконтроля, заключается в следующем:

1. Использование методики выбора режима сбора данных, включающей использование режима реверсивного перестроения СРК по частоте, обеспечивает рост доли времени, затрачиваемой на накопление выборок, и повышение вероятности обнаружения коротких радиоимпульсов. Увеличение доли времени, затрачиваемой на накопление выборок, может достигать 95% в случае обнаружения сигналов, и 20% при их идентификации. Уменьшение длительности цикла анализа сопровождается уменьшением вероятности пропуска кратковременных радиоимпульсов и, к примеру, для СРК производства АО «ИРКОС» подобное снижение может достигать 9%.

2. Применение методики выбора ширины СПФ при обработке данных и режима синхронной обработки, обеспечивающего старт процесса идентификации после сбора данных для фрагмента диапазона частот, позволяет сократить среднее время идентификации (СВИ), необходимое для получения из обрабатываемых сигналов идентификационных сведений. При делении диапазона частот шириной 40 ПОО на 5 фрагментов сокращение СВИ может составлять 62% в сравнении с использованием классического режима отложенной обработки данных.

3. Применение алгоритма отбора активных каналов позволяет сократить время сбора данных о радиообстановке на величину от 29% до 56%.

4. Использование алгоритма первичной идентификации радиосигналов обеспечивает идентификацию сигналов при меньшем на 5 дБ ОСШ при умеренных интерференционных искажениях, и меньшем на 10 дБ ОСШ при существенных искажениях в сравнении с алгоритмами на базе типовых оценок спектрального подобия.

Полученные в диссертационной работе результаты внедрены в практику разработки СРК в научно-производственном предприятии АО «ИРКОС» (г.

Москва), а также используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы А.Г. Студеникина могут быть рекомендованы к использованию в следующих организациях: ФГУП «Научно-исследовательский институт радио (НИИР)» (г. Москва), ФАУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России», АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж), а также на иных предприятиях, заинтересованных в панорамном анализе радиообстановки.

В качестве недостатков работы необходимо отметить следующее:

1. Расчетные формулы для вероятности обнаружения радиосигналов при сравнении однонаправленного и реверсивного режимов перестроения СРК по частоте затрагивают лишь временные показатели работы СРК, но не учитывают энергетические показатели обнаруживаемых сигналов, что может породить у читателей недоумение или ложные ощущения о независимости успешности процедуры обнаружения сигналов от их энергетических свойств.

2. Рекомендации из подраздела 2.5 в отношении оптимизации длительности регистрируемых и обрабатываемых выборок сигналов, вероятно, окажутся справедливыми для многих используемых в настоящее время систем передачи данных, однако способ получения (обоснования) этих рекомендаций с теоретических позиций не является достаточно строгим, а потому для систем (стандартов связи), отличающихся от типовых, проблематично гарантировать оптимальность этих рекомендаций.

3. Применительно к синхронному режиму обработки данных при решении задачи идентификации сигналов технические детали, отвечающие за реализацию обработки на стыках спектральных фрагментов, на которые автор предлагает разбивать анализируемый диапазон частот, остались недостаточно конкретизированными, что может заметно осложнить практическое применение подобной методики независимым разработчикам.

4. Хотя представленный в диссертации материал и представляет собой совокупность взаимно дополняющих друг друга методик и алгоритмов, автору не удалось сформировать единую теорию оптимизации функционирования радиоконтрольного оборудования в РПА. Как следствие, попытка использовать несколько методик совместно друг с другом может оказаться проблематичной. К примеру, попытка совместить методику синхронного сбора данных и выполнения идентификации сигналов с методикой реверсивного перестроения СРК по частотам будет вызывать значительные проблемы при разработке программного и микропрограммного обеспечения.

Указанные недостатки не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Студеникина А.Г., которая представляет собой логически обоснованную, завершённую научно-исследовательскую работу, посвящённую решению комплекса сложных задач из области широкополосного радиоконтроля. Диссертация содержит комплекс научно обоснованных технических решений, вносящих значительный вклад в развитие радиочастотных служб России. Научные положения, результаты и выводы диссертации обоснованы, достоверны и достаточно полно отражены в

публикациях, в том числе и по перечню ВАК. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.


Заключение

Диссертация А.Г. Студеникина по содержанию, публикациям и новизне основных результатов, их научной и практической значимости соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор – Студеникин Алексей Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Отзыв обсужден на заседании 51 кафедры радиоэлектронной борьбы (и технического обеспечения частей РЭБ), протокол №22 от 20 января 2025 г.

Отзыв составили:

Начальник 51 кафедры радиоэлектронной борьбы
(и технического обеспечения частей РЭБ),
доктор технических наук, профессор
(специальность 20.02.25 – «Военная электроника, аппаратура комплексов
военного назначения»)


Кирсанов Эдуард Александрович

«22» января 2025 г.

Доцент 51 кафедры радиоэлектронной борьбы
(и технического обеспечения частей РЭБ),
доктор технических наук, профессор
(специальность 20.01.12 – «Радиоэлектронная борьба (способы и средства)»)


Трифонов Павел Андреевич

«22» января 2025 г.

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации.
394064, Воронежская обл., г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54 а.
Тел. 8(4732) 2447613 e-mail: vva@mil.ru.