

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.391.6:004.42

Зайко
Алексей Михайлович

Приём и обработка сигналов в системах радиотехнического мониторинга с
использованием SDR-технологий

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 81 03 «Информационные радиотехнологии»

(подпись магистранта)

Научный руководитель

Мartiнович Алексей Васильевич

(фамилия, имя, отчество)

(ученая степень, ученое звание)

(подпись научного руководителя)

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Постоянное развитие и совершенствование средств связи и управления (в частности, увеличение их дальности действия, быстродействия доставки информации, использования сложных конструкций сигналов для передачи данных и т.д.) обуславливают повышение требований к системам и устройствам радиотехнического мониторинга. Быстрый рост числа радиоэлектронных средств усложняет электромагнитную обстановку, а вопросы электромагнитной совместимости приобретают первостепенное значение.

Главные задачи любого средства радиомониторинга – это обнаружение объекта, распознавание типа и определение его координат. В связи с этим области применения систем радиотехнического мониторинга могут быть различными. Необходимость создания систем анализа и контроля сигналов, определения местоположения источников радиоизлучения возникает как у военных (контроль приграничных территорий, зон локальных конфликтов, охраняемых территорий и др.), так и у гражданских потребителей (мониторинг судоходства на международных транспортных коридорах и в особых экономических зонах, поиск источников помех в телекоммуникационных системах, обнаружение несанкционированного доступа в системы связи и др.). Каждая из областей применения накладывает определённые требования к системам радиотехнического мониторинга (их характеристикам, параметрам, скорости обработки, объёму обрабатываемых данных и т.п.).

Возможности современной вычислительной техники, доступные скорости передачи данных, точность позиционирования и синхронизации временных шкал объектов позволяют строить сложные системы радиомониторинга, реализующие распределённые методы определения местоположения.

Разработка и анализ алгоритмов для определенной архитектуры системы радиомониторинга позволяет оценить вычислительные затраты и сформировать технические требования к аппаратному комплексу. Реализация потенциала сложной системы требует детального анализа методов измерения параметров сигнала и алгоритмов определения местоположения наблюдаемого объекта с учетом архитектуры системы. Анализ точности измерения параметров сигналов для перечня классов сигналов, подлежащих контролю, позволяет сформировать исходные данные, определяющие характеристики системы. Сравнение методов измерения параметров дает возможность оценить оперативность получения результатов измерения и затраты на вычисление оценок параметров.

В настоящее время средства радиомониторинга создаются на базе многоканальных сканирующих приемников, позволяющих осуществлять в автоматическом режиме как поиск находящихся в эфире радиосигналов, так и постоянный контроль заранее заданных частот связи.

Популярным и перспективным является приёмо-передающее оборудование, созданное по технологии программно-определяемого радио (англ. *Software-defined radio, SDR*), которая позволяет заменить разнообразие существующих конструкций радиоприёмников и трансиверов, как серийных, так и любительских, построенных по сложной супергетеродинной схеме, на ограниченное число доступных аппаратных блоков, работающих под управлением программного обеспечения. Это приводит к упрощению и удешевлению конструкции, существенному улучшению характеристик, поддержке различных видов модуляции, появлению большого количества сервисных функций, а также ускорению разработки. Подобные устройства широко применяются для военных приложений и беспроводных услуг связи.

Программная конфигурация позволяет устанавливать и изменять рабочие параметры, например, диапазон частот, тип модуляции, уровень выходной мощности сигнала и т.п., при этом отсутствует необходимость внесения аппаратных изменений. *SDR*-устройства содержат сигнальные процессорные модули и программируемые логические интегральные схемы, позволяющие реализовывать алгоритмы цифровой обработки сигналов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время наблюдается развитие и значительное увеличение количества различных радиотехнических систем, их повсеместное внедрение и эксплуатация. В работе рассматриваются радиотехнические системы, принадлежащие классу беспилотных летательных аппаратов.

Нецелевое использование беспилотных летательных аппаратов, например, мультикоптерного типа, может приводить к нарушению конфиденциальности, нести опасность жизни, здоровью и имуществу, а в исключительных случаях приводить к раскрытию государственных секретов. В связи с этим необходимо осуществлять мониторинг радиоэлектронной обстановки и контроль деятельности наблюдаемых источников радиоизлучения с целью выявления несанкционированных действий со стороны подобных радиотехнических систем и оперативного реагирования.

Системы радиотехнического мониторинга обеспечивают контроль выделенного радиочастотного ресурса, определяют факт наличия/отсутствия функционирования передающих устройств, осуществляют классификацию наблюдаемых сигналов и определяют принадлежность этих сигналов к

конкретным классам источников радиоизлучения, могут оценивать местоположение интересующих радиотехнических систем.

Цель научно-квалификационной работы

Целью диссертационной работы является реализация алгоритмов приёма и обработки радиосигналов подвижных источников радиоизлучений, например, малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, на основе целевой программно-аппаратной платформы для системы радиотехнического мониторинга.

Задачи научно-квалификационной работы

1. Разработка алгоритмов приёма и обработки специальных сигналов и создание математической модели устройства обработки;
2. Моделирование цифрового устройства и адаптация алгоритмов работы для заданной *SDR*-платформы;
3. Синтез и имплементацию алгоритмов работы на платформу *Ettus USRP N310* и проведение экспериментальных исследований разработанного устройства.

Теоретическая значимость

Представленные в работе подходы к разработке, реализации и тестированию цифровых устройств описывают возможности и универсальные методы проектирования произвольных систем на основе большого количества программно-аппаратных платформ.

Практическая значимость

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании и разработке цифровых устройств различной сложности при использовании *SDR*-технологий в области беспроводных технологий и цифровой связи.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач в диссертационной работе используются методы математического анализа, имитационного моделирования и синтеза цифровых устройств для заданных аппаратных платформ.

Достоверность результатов исследования работы

Достоверность подтверждается результатами математического и компьютерного моделирования, а также сравнением рассчитанных характеристик с результатами работы макетного образца.

Апробация работы

Основные подходы к разработке и методология проектирования цифровых устройств научно-квалификационной работы были опубликованы в виде тезисов 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

Внедрение результатов работы

Результаты настоящей научно-квалификационной работы были использованы и внедрены в опытно-конструкторской разработке средства обнаружения, сопровождения и противодействия малоразмерным беспилотным летательным аппаратам на предприятии Республики Беларусь ОАО «КБ Радар» – управляющая компания холдинга «Системы радиолокации», о чем имеется соответствующий акт.

Публикации по теме научно-квалификационной работы

Основные теоретические результаты научно-квалификационной работы опубликованы в сборнике тезисов «56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР».

Структура и объем диссертации

Научно-квалификационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, вспомогательного материала. Работа изложена на 96 страницах машинописного текста, из них 55 страниц основного текста, включает 112 иллюстраций на 64 страницах, содержит библиографический список из 30 наименований использованных источников и 2 наименований публикаций соискателя на 2 страницах, 1 приложение на 7 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, показаны теоретическая и практическая значимость.

Первая глава научно-квалификационной работы посвящена обзору литературных источников по рассматриваемой теме. В главе описаны системы радиотехнического мониторинга и приведены примеры отечественных разработок в данной области, также приведены необходимые теоретические сведения из области цифровой обработки сигналов, описаны методы определения местоположения источников радиоизлучения, сделан обзор технологии SDR в задачах цифровой обработки сигналов и приведены примеры программно-аппаратных платформ.

Во второй главе описана структура и функционал разрабатываемой системы радиотехнического мониторинга, сделан обзор технических характеристик и возможностей целевой программно-аппаратной платформы, приведены функциональные и блок-схемы аппаратной части и рассмотрено взаимодействие основных вычислительных элементов, описан системный алгоритм работы.

В третьей главе сделано моделирование алгоритмов приёма и обработки сигналов, приведено описание инструментария сред разработки, разработана модель устройства приёма на базе программно-конфигурируемого радио, проведены исследования работы некоторых вариантов алгоритма обработки, описана программная реализация цифрового устройства.

Четвертая глава посвящена макетированию устройства приёма и обработки сигналов на основе программно-определяемого радио. Также в главе приведены результаты работы макетного образца в составе системы обработки и анализа данных, сделаны выводы по полученным результатам лабораторных и натурных испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы

1. Разработана системная модель в среде *MathWorks MATLAB R2020a* четырехканального синхронизированного приемного модуля для оценки временного смещения сигналов от источников радиоизлучения по каждому приемному каналу.

2. Выполнена оптимизация системной модели с учетом аппаратной реализации на *SDR*-платформе с переносом алгоритмов обработки в формат с фиксированной точкой.

3. Проведены исследования способов частотно-временного анализа сигналов с целью оптимизации вычислительных затрат для выбранной аппаратной платформы.

4. Выполнен структурный синтез четырехканального синхронизированного модуля в среде *Xilinx Vivado 2019.1*, обеспечивающего приём, детектирование и обработку сигналов источников радиоизлучений системы радиотехнического мониторинга на *SDR*-платформе.

5. Проведена экспериментальная оценка работоспособности алгоритмов частотно-временного анализа сигналов каналов управления БПЛА мультикоптерного типа для макетного образца системы радиотехнического мониторинга на *SDR*-платформе *Ettus USRP N310*.

Создание систем мониторинга является перспективным направлением, а их проектирование требует применения новых технологических решений. При разработке систем радиотехнического мониторинга целесообразно использовать технологию *SDR*, позволяющую ускорить процесс проектирования, отладки и тестирования разрабатываемых устройств.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Представленный в работе подход к разработке, реализации и тестированию приемо-передающих устройств, с использованием системного математического моделирования и оптимизации системной модели под аппаратную платформу, может быть использован при построении систем радиотехнического мониторинга и контроля радиоэлектронной обстановки.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Разработка систем передачи данных для *SDR*-платформ в среде *MATLAB* / А.В. Мартинович, А.М. Зайко, С.П. Гражданкин // Тезисы докладов 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – Минск, 2020.

2. Алгоритмы идентификации каналов управления БПЛА с использованием аппарата нейронных сетей/ А.В. Мартинович, С.П. Гражданкин, А.М. Зайко // Тезисы докладов 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – Минск, 2020.