

УДК 621.396.62

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИОПРИЕМНИКА

С.Р. РОМАНЕНКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Беларусь)*

E-mail: vizelpetr@gmail.com

Аннотация. В настоящее время развитие радиотехнических систем требует высокой гибкости, адаптивности и универсальности приёмных устройств. Традиционные аналоговые радиоприёмники с фиксированной структурой ограничены в возможностях быстрого изменения характеристик и поддержки различных стандартов связи. В связи с этим особую актуальность приобретают программно-конфигурируемые радиосистемы (SDR), в которых основные функции обработки сигналов реализуются программными средствами. Целью данной работы является разработка удалённой системы управления программно-конфигурируемым радиоприёмником, обеспечивающей гибкую настройку параметров приёма, цифровую обработку сигналов и дистанционный мониторинг состояния устройства.

Abstract. Currently, the development of radio engineering systems requires high flexibility, adaptability and versatility of receiving devices. Traditional analog radios with a fixed structure are limited in the ability to quickly change characteristics and support various communication standards. In this regard, software-configurable radio systems (SDR) are becoming particularly relevant, in which the main signal processing functions are implemented by software. The purpose of this work is to develop a remote control system for a software-configurable radio receiver that provides flexible configuration of reception parameters, digital signal processing and remote monitoring of the device status.

Введение

В современных условиях развития радиотехники наблюдается устойчивая тенденция к переходу от аппаратно-ориентированных решений к программно-конфигурируемым системам. Традиционные радиоприёмные устройства, обладающие жёстко заданной структурой, не в полной мере отвечают возросшим требованиям по адаптивности, универсальности и скорости смены режимов работы. Альтернативой выступает концепция программно-конфигурируемого радио (SDR), в которой функции фильтрации, демодуляции и анализа спектра переносятся в цифровую область, что обеспечивает гибкость и возможность модернизации без изменения аппаратной части. В данном дипломном проекте решается задача проектирования системы управления программно-конфигурируемого радиоприёмника, обеспечивающей централизованное управление всеми регулируемыми каскадами, цифровую обработку сигналов и беспроводное взаимодействие с внешней вычислительной системой.

Выбор архитектуры приемника

При проектировании программно-конфигурируемого радиоприёмника с удаленной системой управления был выполнен анализ основных архитектур SDR-приемников: супергетеродинной, Low-IF, Zero-IF и распределенной архитектуры. Основными критериями выбора являлись чувствительность, избирательность, устойчивость к помехам, требования к аналого-цифровому преобразованию, вычислительная сложность и возможность программной реконфигурации.

Архитектуры Zero-IF и Low-IF позволяют существенно упростить аналоговый тракт и перенести большую часть обработки сигналов в цифровую область. Однако для них характерны проблемы, связанные с постоянной составляющей, низкочастотным шумом, а также амплитудно-фазовой несимметрией квадратурных каналов, что требует применения дополнительных алгоритмов цифровой компенсации.

Распределенные SDR-архитектуры на базе FPGA и высокопроизводительных вычислительных платформ обеспечивают максимальную гибкость и производительность, однако сопровождаются увеличением аппаратной сложности, энергопотребления и стоимости системы. Для разрабатываемого устройства такой подход является избыточным.

С учетом технических требований проекта в качестве базовой архитектуры выбрана супергетеродинная схема с последующей цифровой обработкой сигнала. Данный подход обеспечивает перенос принимаемого сигнала на промежуточную частоту, где выполняются фильтрация и усиление, что позволяет повысить избирательность и динамический диапазон приемника. Дополнительным преимуществом является снижение требований к быстродействию аналого-цифрового преобразователя за счет предварительного преобразования частоты. Разработанная схема устройства представлена на рисунке 1.

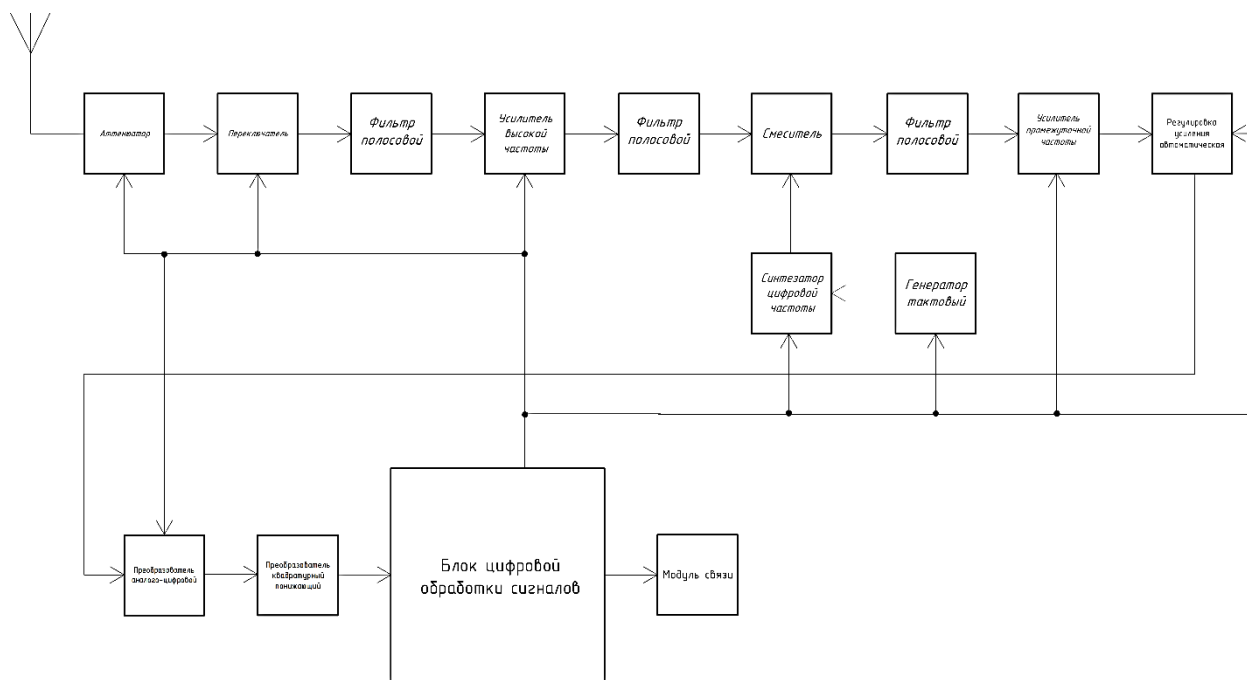


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемого приемника

Разработка удаленной системы управления

Одной из ключевых задач при создании современных программно-конфигурируемых радиоприемников является обеспечение возможности дистанционного управления параметрами приемного тракта. Использование удаленной системы управления позволяет выполнять настройку и контроль работы устройства без непосредственного доступа к аппаратной части, что особенно актуально для распределенных телекоммуникационных комплексов, исследовательских лабораторий и систем радиомониторинга.

В рамках данной работы разработана удаленная система управления программно-конфигурируемым радиоприемником, обеспечивающая передачу управляющих команд по беспроводному каналу связи и программную реконфигурацию основных параметров приемного устройства. Разработка системы управления выполнялась с учетом концепции SDR, предполагающей перенос значительной части функциональности из аппаратной области в программную.

Функциональная структура системы включает радиоприемный тракт, блок цифровой обработки сигналов, микроконтроллер управления, модуль беспроводной связи Wi-Fi и пользовательский интерфейс. Центральным элементом системы является микроконтроллер, который осуществляет прием команд от удаленного пользователя, их обработку и последующую передачу в соответствующие узлы радиоприемника. Такой подход позволяет реализовать гибкую настройку параметров устройства без необходимости изменения аппаратной конфигурации.

Передача управляющих данных организована посредством беспроводного интерфейса Wi-Fi. Использование данного стандарта обеспечивает достаточную дальность связи, высокую скорость обмена данными и возможность интеграции приемника в существующую сетевую инфраструктуру. Управляющие команды передаются в виде цифровых пакетов, содержащих информацию о требуемых режимах работы

устройства и значения настраиваемых параметров. После получения пакета микроконтроллер выполняет его декодирование и формирует соответствующие управляющие воздействия на элементы радиотракта.

Разработанная система обеспечивает удаленное управление частотой настройки приемника, параметрами автоматической регулировки усиления, режимами цифровой обработки сигналов и алгоритмами демодуляции. Дополнительно реализована возможность контроля состояния устройства и получения диагностической информации, что позволяет осуществлять мониторинг работоспособности приемника в режиме реального времени. Такой подход существенно упрощает эксплуатацию оборудования и повышает эффективность его использования в условиях изменяющейся радиочастотной обстановки.

Важной особенностью разработанной системы является модульный принцип построения программного обеспечения. Программная архитектура разделена на независимые функциональные блоки, отвечающие за сетевое взаимодействие, обработку управляющих команд, конфигурирование радиотракта и обмен данными с цифровыми узлами обработки сигналов. Модульный подход обеспечивает возможность дальнейшего расширения функциональности системы и упрощает модернизацию программного обеспечения при появлении новых требований.

Для повышения надежности функционирования предусмотрены механизмы проверки корректности принимаемых команд и обработки возможных ошибок передачи данных. В случае получения некорректных параметров система предотвращает их применение к аппаратным узлам приемника и формирует уведомление о возникшей ошибке. Это позволяет исключить переход устройства в нештатные режимы работы и повысить устойчивость системы управления.

Применение удаленного управления обеспечивает ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами настройки радиоприемной аппаратуры. Во-первых, сокращается время конфигурирования системы и упрощается изменение рабочих параметров. Во-вторых, появляется возможность централизованного управления несколькими приемными устройствами, расположенными на значительном расстоянии друг от друга. В-третьих, программная реализация управляющих функций позволяет оперативно адаптировать систему к новым стандартам связи и алгоритмам обработки сигналов без модификации аппаратной части. Функциональная схема разработанного приемника с удаленной системой управления представлена на рисунке 2.

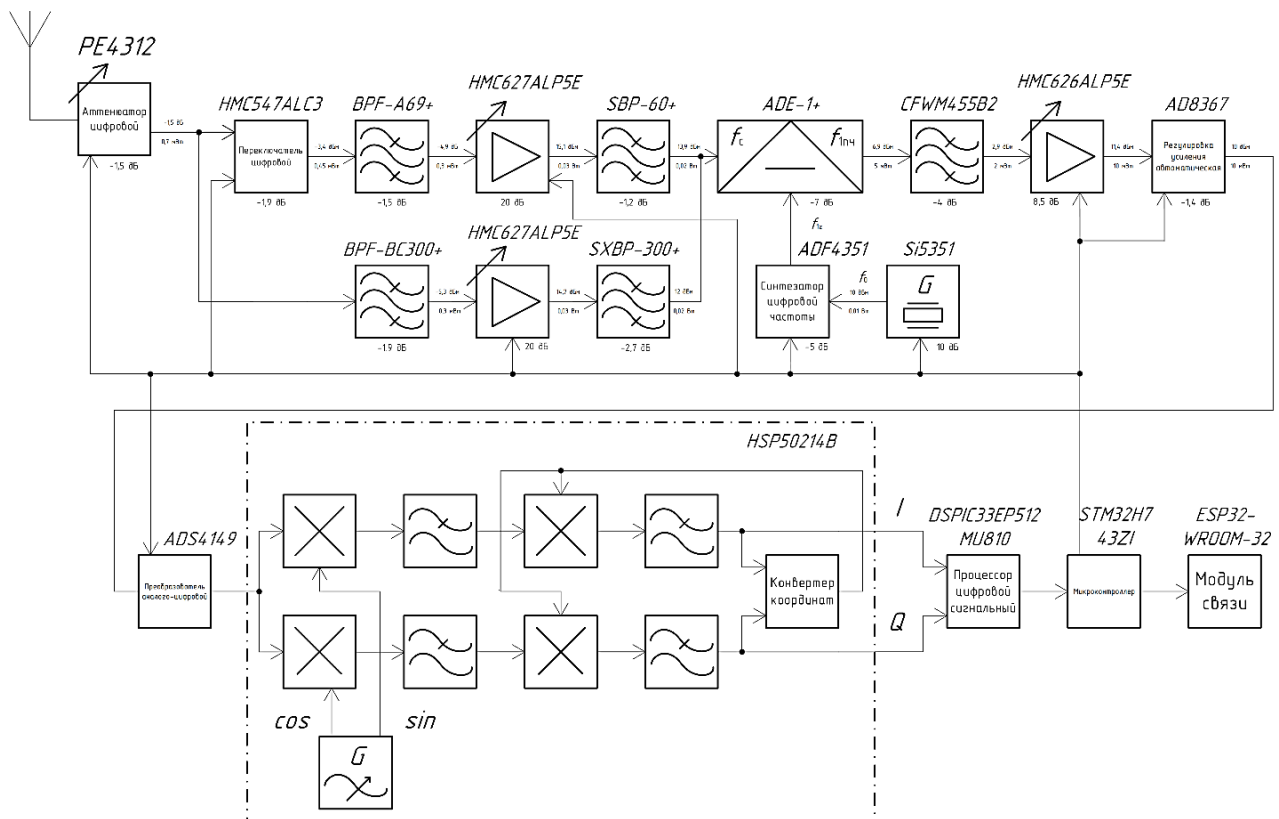


Рис.2 Схема разработанного приемника с интегрированной системой управления

Таким образом, разработанная удаленная система управления обеспечивает эффективную программную реконфигурацию радиоприемника, расширяет функциональные возможности SDR-платформы и создает основу для дальнейшего развития интеллектуальных методов управления радиотехническими системами. Реализованный подход соответствует современным тенденциям построения программно-конфигурируемых средств радиосвязи и позволяет повысить гибкость, масштабируемость и удобство эксплуатации приемного оборудования.

Заключение

В работе рассмотрены особенности построения программно-конфигурируемых радиоприемников и проведен анализ современных архитектур SDR-систем. На основании сравнительного анализа супергетеродинной, Low-IF и Zero-IF архитектур для разрабатываемого устройства была выбрана супергетеродинная схема с последующей цифровой обработкой сигнала, обеспечивающая высокую избирательность, устойчивость к помехам и эффективное использование вычислительных ресурсов. Разработана удаленная система управления программно-конфигурируемым радиоприемником, реализующая передачу управляющих команд по беспроводному каналу связи Wi-Fi. Предложенная структура обеспечивает дистанционную настройку параметров приемного тракта, управление режимами цифровой обработки сигналов и мониторинг состояния устройства в режиме реального времени. Использование программной реконфигурации позволяет изменять функциональные возможности приемника без модификации его аппаратной части.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения удаленного управления в составе SDR-систем и демонстрируют возможность создания гибких радиотехнических комплексов, адаптируемых к изменяющимся условиям эксплуатации. Разработанный подход может быть использован при создании перспективных средств радиомониторинга, телекоммуникационных систем и исследовательских программно-конфигурируемых радиоплатформ.

Список использованных источников

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – 2-е изд. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с., ил.
2. Haykin S. Communication Systems / Simon Haykin. – 5th ed. – New York : John Wiley & Sons, 2009. – 912 p.
3. Прокис Дж. Цифровая обработка сигналов / Дж. Прокис, Д. Манолакис. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 1024 с.
4. Уткин Л. В. Радиоприемные устройства : учебное пособие / Л. В. Уткин. – СПб. : Лань, 2018. – 368 с..