

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИОПРИЕМНИКА

Романенко С.Р., Студент

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Институт информационных технологий,
г. Минск, Республика Беларусь*

Кашкин. А.Ю. – ассистент каф. ИРТ

Аннотация. Разработка системы управления программно-конфигурируемого радиоприемника ориентирована на создание программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего гибкую настройку параметров приема и обработки радиосигналов в реальном времени. Основной задачей является реализация адаптивной архитектуры управления, позволяющей оперативно изменять режимы работы приемника, алгоритмы фильтрации, демодуляции и анализа сигналов без вмешательства в аппаратную часть устройства.

Система управления программно-конфигурируемого радиоприемника представляет собой сложный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий координацию процессов приема, преобразования и обработки радиосигналов в условиях изменяющейся радиочастотной обстановки. В современных системах связи и радиомониторинга предъявляются повышенные требования к универсальности и гибкости приемных устройств, что обуславливает необходимость перехода от жестко заданной аппаратной архитектуры к программно-конфигурируемым решениям. В этой связи система управления приобретает ключевое значение, так как именно она определяет функциональные возможности приемника и эффективность его работы.

Основной задачей системы управления является обеспечение динамической конфигурации параметров радиоприемного тракта. Это включает настройку частоты приема, полосы пропускания, коэффициентов усиления, а также выбор и изменение алгоритмов цифровой обработки сигналов. В отличие от традиционных систем, где данные параметры задаются аппаратно или требуют значительных временных затрат на перенастройку, программно-конфигурируемый радиоприемник позволяет осуществлять их изменение в реальном времени без вмешательства в аппаратную часть. Это особенно важно при работе с широкополосными и сложными сигналами, характеристики которых могут быть заранее неизвестны.

Архитектура системы управления, как правило, строится по модульному принципу. В ее состав входят подсистемы конфигурирования, обработки данных, мониторинга и взаимодействия с оператором. Подсистема конфигурирования отвечает за формирование управляющих воздействий на аппаратные модули, включая аналого-цифровые преобразователи, радиочастотные блоки и цифровые сигнальные процессоры. Подсистема обработки данных реализует алгоритмы фильтрации, спектрального анализа, демодуляции и других видов цифровой обработки сигналов. Подсистема мониторинга обеспечивает контроль текущего состояния системы, включая параметры сигналов и загрузку вычислительных ресурсов, а также выявление возможных сбоев. Интерфейс взаимодействия с оператором предоставляет средства визуализации и управления, позволяя оперативно изменять настройки и анализировать результаты работы.

Одной из ключевых особенностей системы управления является поддержка адаптивных алгоритмов. Такие алгоритмы позволяют автоматически изменять параметры работы приемника в зависимости от текущей обстановки, например, регулировать усиление при изменении уровня сигнала, выбирать оптимальные методы фильтрации в условиях помех или переключаться между различными режимами обработки. Это существенно повышает эффективность работы системы и снижает требования к квалификации оператора.

Важным аспектом является организация высокоскоростного обмена данными между модулями системы. Поскольку обработка сигналов осуществляется в цифровой форме и часто требует работы с большими объемами данных, необходимо обеспечивать минимальные задержки и высокую пропускную способность. Для этого применяются современные интерфейсы передачи данных, а также методы параллельной и многопоточной обработки, позволяющие эффективно использовать вычислительные ресурсы.

Кроме того, система управления должна обеспечивать возможность масштабирования и модернизации. Программная реализация основных функций позволяет добавлять новые алгоритмы обработки, расширять функциональность и адаптировать систему под новые задачи без изменения аппаратной платформы. Это делает программно-конфигурируемые радиоприемники перспективным решением для широкого круга применений.

Типовая структурная схема SDR-приёмника включает (см. рисунок 1):

– преселектор, состоящий из:

- регулируемого аттенюатора;
- переключателя;
- регулируемого усилителя;
- преобразователя частоты, состоящего из:
 - смесителя;
 - цифрового синтезатора частоты;
 - кварцевого генератора;
 - полосового IF -фильтра;
- автоматической регулировки усиления (АРУ);
- АЦП, оцифровывающий сигнал ПЧ;
- квадратурный понижающий преобразователь (КПП), состоящий из:
 - цифрового I/Q -смесителя (демодулятора);
 - генератора с цифровым управлением (ГЦУ), формирующего квадратурные гетеродинные сигналы;
 - децимирующих фильтров нижних частот;
 - DSP , предназначенного для обработки и управлением принятого сигнала.

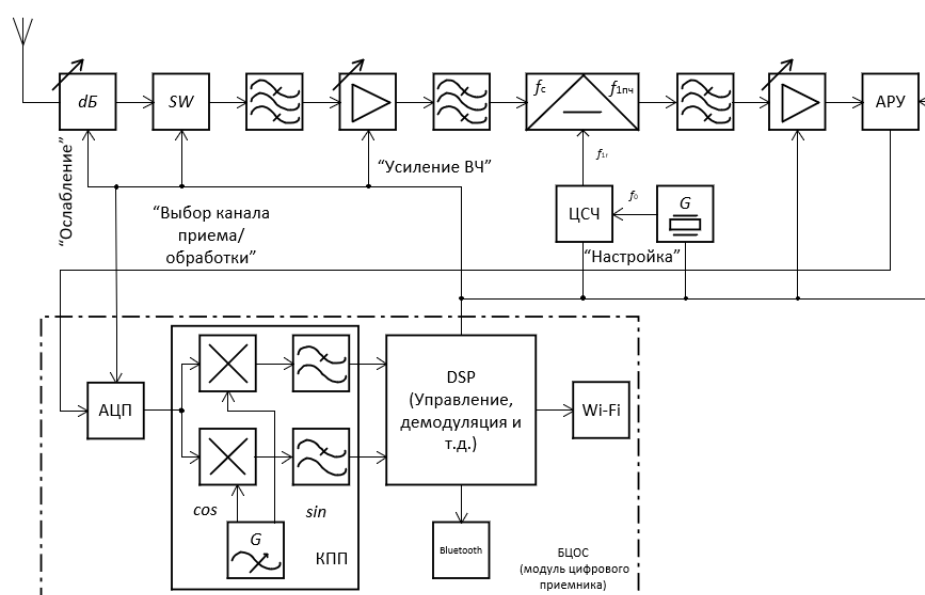


Рисунок 1 – структурная схема приемника SDR с удаленной системой управления.

Представленная структурная схема демонстрирует построение программно-конфигурируемого радиоприемника, включающего как аналоговый радиочастотный тракт, так и цифровой блок обработки сигналов. Основная задача системы управления заключается в координации всех этапов приема, преобразования и анализа радиосигналов, обеспечивая высокую гибкость и адаптивность работы SDR -приемника в условиях динамично изменяющейся радиочастотной среды.

Сигнал, поступающий от антенны, первоначально проходит через блок регулировки уровня (dB), который позволяет адаптировать входной сигнал к динамическому диапазону приемника. Выбор конкретного канала приема осуществляется посредством коммутатора (SW), что обеспечивает возможность программного конфигурирования радиоприемного тракта в зависимости от требований к частотному диапазону. После этого сигнал проходит через полосовые фильтры и усилители высоких частот, формируя требуемый спектральный диапазон и компенсируя потери на пути передачи. Понижающий преобразователь с опорной частотой f_c переводит сигнал с радиочастоты на промежуточную частоту ($f_{пч}$), после чего фильтры промежуточной частоты выделяют полезный спектр для последующей цифровой обработки. Регулируемые элементы, такие как автоматическая регулировка усиления (APU), позволяют поддерживать оптимальный уровень сигнала, обеспечивая надежную работу всего тракта.

На следующем этапе сигнал оцифровывается аналого-цифровым преобразователем ($АЦП$) и подается на квадратурный понижающий преобразователь ($КПП$), который разлагает его на два ортогональных компонента — I (\cos) и Q (\sin). Такая обработка обеспечивает возможность реализации сложных алгоритмов цифровой обработки и работы с сигналами различных типов модуляции. Цифровой сигнальный процессор (DSP) выполняет функции управления, демодуляции, фильтрации и

анализа сигналов, реализуя программно-конфигурируемую обработку и обеспечивая взаимодействие с удаленными интерфейсами *Wi-Fi* и *Bluetooth*. Эти интерфейсы позволяют осуществлять удаленное конфигурирование и мониторинг состояния приемника, а также внедрять новые алгоритмы обработки без изменения аппаратной части.

Система управления программно-конфигурируемого радиоприемника обеспечивает интеграцию аналоговой и цифровой частей устройства, позволяя динамически изменять параметры фильтрации, коэффициенты усиления и методы обработки сигналов в зависимости от текущей радиочастотной обстановки. Такой подход позволяет достичь высокой гибкости и универсальности *SDR*-приемника, обеспечивая эффективное взаимодействие с широким спектром сигналов, включая неизвестные или динамически меняющиеся.

В результате объединение преимуществ аналогового тракта, обеспечивающего низкий уровень шумов и высокую чувствительность, с возможностями цифровой обработки позволяет создавать системы нового поколения, обладающие высокой адаптивностью, масштабируемостью и эффективностью. Система управления выступает центральным элементом, координируя работу всех блоков и обеспечивая интеллектуальную адаптацию приемника к условиям внешней радиочастотной среды.

Список использованных источников:

1. Колосовский Е.А. *Устройства приема и обработки сигналов*. 2022. – 612 с.
2. Фокин Г.А. *Технологии программно-конфигурируемого радио*. 2024. – 315 с.