

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «КубГУ»)

Физико-технический факультет

Кафедра оптоэлектроники

КУРСОВАЯ РАБОТА

**ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО –
ОПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ РАДИОПРИЕМА**

Работу выполнил _____ Шуткин Иван Юрьевич

Курс 2

Направление 011800.62 Радиофизика

Научный руководитель

канд. физ.-мат. наук, доцент _____ И. В. Рядчиков

Нормоконтролёр инженер _____ И. А. Прохорова

Краснодар 2015

РЕФЕРАТ

Курсовая работа 22с., 5 рис., 10 источников.

SOFTWARE DEFINED RADIO, ПРОГРАММНО – ОПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОПРИЕМА, РАДИО ВОЛНЫ, РАДИО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА, РАДИОЧАСТОТНЫЙ СПЕКТР, РАДИОИНТЕРФЕЙС.

Объектом данной работы является исследование устройств, которые базируются на принципах программно-определяемых радиосистем и содержат несколько вычислительных узлов, объединенных высокоскоростным интерфейсом передачи данных.

В результате выполнения курсовой работы было рассмотрено построение программно-определяемых радиосистем и проведено изучение их принципов функционирования. В дальнейшем на основе рассмотренных данных планируется создание системы для внедрения в области робототехники.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Программно-определяемые радиосистемы	6
1.1 Распределенные программно-определяемые радиосистемы.....	8
1.2 Примеры распределенных радиосистем	10
2 Rtl2832u DVB-T USB	15
3 Области применения и преимущества SDR	17
4 Потенциальное направление развития данной технологии.....	19
Заключение.	21
Список использованных источников	22

ВВЕДЕНИЕ

Программно-определяемая радиосистема — радиотелекоммуникационная система, которая может быть настроена на произвольную полосу частот и принимать различные виды модулированного сигнала, состоящая из программируемого оборудования с программным управлением. Целью проекта было использование программной обработки для эмуляции существующих радиосистем, функционирующих в диапазоне от 800 Гц до 3,5 МГц. Данная технология позволяет заменить большое количество существующих и разрабатываемых конструкций радиоприёмников и трансиверов, как серийных, так и, любительских, построенных по сложной супергетеродинной схеме, на ограниченное число доступных аппаратных блоков, работающих под управлением разрабатываемого сообществом ПО.

В специальной литературе в последнее время можно заметить возрастающий интерес и описание различных методов, при помощи которых анализируются радиограммы, получаемые при помощи USB TV – тюнеров, базирующиеся на принципах Software Defined Radio поэтому данная тема является актуальной.

Целью данной работы является исследование радиосистем, которые базируются на принципах Software Defined Radio и содержат несколько вычислительных узлов, объединенных высокоскоростным интерфейсом передачи данных.

При этом существенно важным является решение следующих задач:

- рассмотреть существующие системы, базирующиеся на принципах Software Defined Radio;
- рассмотреть работу программно-определяемой радиосистемы на примере Rtl2832u DVB-T USB;
- получить радиограмму и описать ее.

Полученные в данной работе результаты тесно связаны с научно-исследовательской работой, проводимой на кафедре оптоэлектроники КубГУ, и найдут реальное использование при проектировании различных систем при помощи технологии SDR.

1 Программно-определяемые радиосистемы

В классическом представлении программно определяемая радиосистема (Software Defined Radio, SDR) [1] представляет собой центральный процессор (или протокольный процессор, ПП), оснащенный приемным и передающим блоками. Передающий блок имеет коммуникационный процессор (КП), основной задачей которого является упаковка бит передаваемых данных в символы модуляции и генерация на их основе модулирующего сигнала определенной системы связи, который поступает на цифро-аналоговый преобразователь и далее на радиоинтерфейс. Приемный блок содержит аналого-цифровой преобразователь, коммуникационный процессор, осуществляющий демодуляцию сигнала и преобразование демодулированных символов системы связи в биты данных. Роль центрального процессора заключается в обработке пользовательских протоколов обмена данными.

Программно-определяемые радиосистемы могут быть реализованы как на вычислительных средствах общего назначения, так и на современных программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), что позволяет создавать радиосистемы на кристалле. При этом за пределы ПЛИС выносятся радиоинтерфейсы, а также АЦП и ЦАП. Применение ПЛИС не приводит к снижению гибкости системы, поскольку ПЛИС могут быть в любой момент полностью или частично перепрограммированы.

При использовании современных ПЛИС становится возможным создавать системы на основе принципа SDR на одном кристалле (рис. 1). ПЛИС [2], в отличие от дискретных цифровых сигнальных процессоров, позволяют создавать множество различных программируемых блоков обработки на одном кристалле, что в итоге приводит к увеличению количества одновременно обслуживаемых радиоканалов.

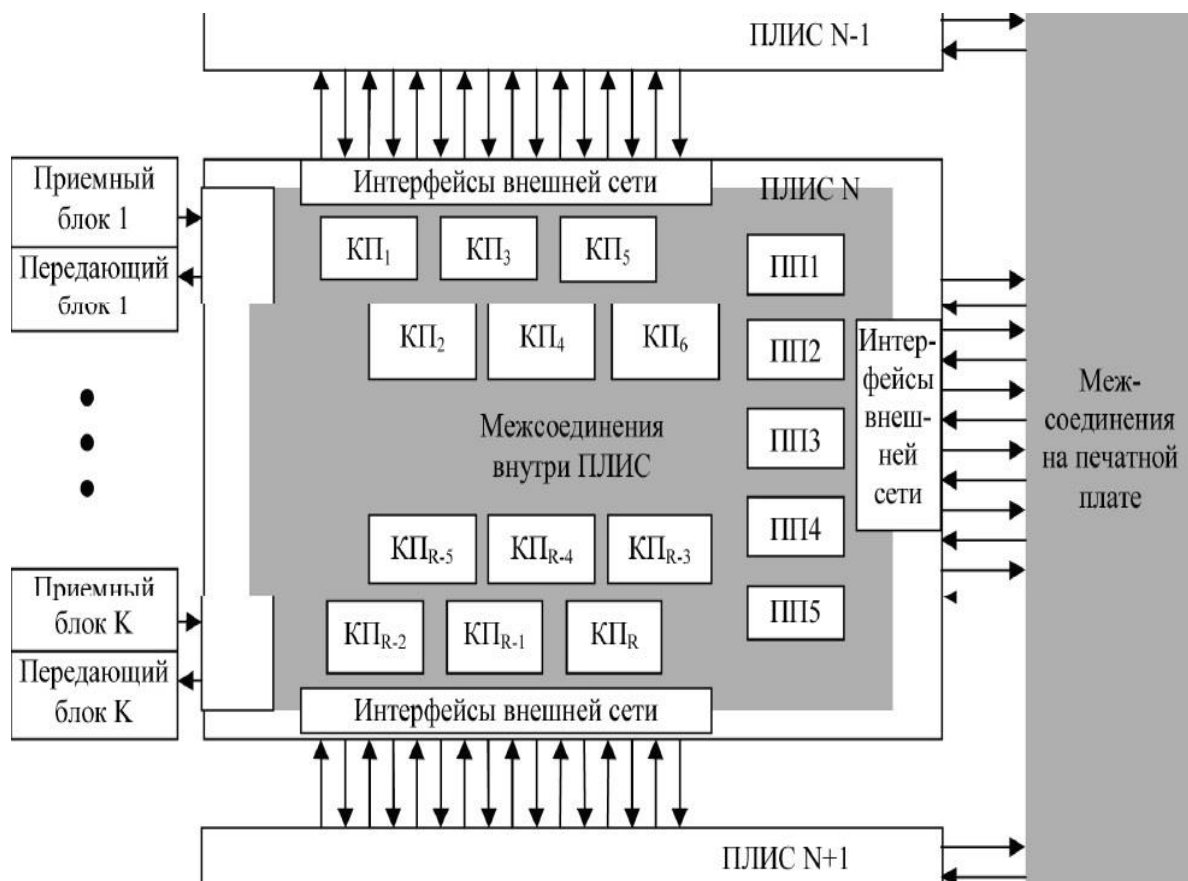


Рисунок 1 - Функциональная схема распределенной системы программно-определяемой радиосистемы, основанной на применении ПЛИС

Программно-определяемая радиосистема может состоять из нескольких ПЛИС и обслуживать несколько независимых радиоканалов. Большое количество коммуникационных процессоров обеспечивает одновременную обработку нескольких потоков данных. Сами по себе коммуникационные процессоры могут быть нескольких типов, каждый из которых оптимизирован для работы с определенным типом сигналов. Также отдельные типы процессоров могут быть выделены для анализа сигналов, сбора статистики или фильтрации пакетов. Возможности перепрограммирования (полного или частичного) позволяют менять количество и состав коммуникационных процессоров в зависимости от текущих условий работы. Использование высокоскоростных современных последовательных приемопередатчиков, а также большого количества параллельных каналов позволяет распространить

структуру межсоединений за пределы одного кристалла и с малыми затратами объединять несколько ПЛИС в систему.

Основной задачей, которую приходится решать при разработке таких систем, является эффективная и гибкая структура межсоединений. Основными требованиями к системам межсоединений являются:

- а) возможность управления скоростью передачи для каждой связи;
- б) наличие высокоскоростного матричного коммутатора;
- в) наличие простых мостов для быстрого объединения нескольких микросхем в систему обработки данных;
- г) автоматическое обнаружение подключения/отключения устройств, что необходимо для обеспечения перепланировки используемых ресурсов.

Наиболее подходящими для реализации структуры межсоединений, удовлетворяющих этим требованиям, являются сети на кристалле (Network-on-Chip). В целях упрощения маршрутизации потоков данных наиболее удобной является пакетная передача данных.

1.1 Распределенные программно-определяемые радиосистемы

Систему, состоящую из вычислительных SDR-узлов, объединенных в прозрачную сеть (внутри и вне кристаллов), можно назвать распределенными программно-определяемыми радиосистемами. Для реализации сетей могут использоваться Gigabit Ethernet, InfiniBand, PCIExpress, RapidIO и др. Характерной чертой распределенных SDR-систем является возможность изменения количества и состава коммуникационных процессоров при изменении числа обслуживаемых радиоканалов и/или объема обрабатываемых данных.

Для создания эффективных распределенных систем обработки данных необходимы адекватные стеки протоколов обмена данными между элементами системы, способными обеспечить передачу цифровых сигналов в режиме реального времени и с прозрачностью сетевого местонахождения. Также

важным требованием к протоколам является их относительная простота, которая должна позволить обрабатывать радиоданные не нагружая коммуникационные процессоры и другие элементы системы лишними вычислениями.

Следует отметить, что специфика распределенных радиосистем состоит в том, что сами по себе коммуникационные процессоры можно упростить за счет сепарации их по ступеням обработки. При этом можно достичь уменьшения необходимых ресурсов ПЛИС за счет того, что некоторые ступени обработки могут использоваться при обработке различных типов сигналов. Следовательно, протоколы обмена должны позволять дополнять пакеты сигнальных потоков блоками метаинформации о параметрах радиосигнала, таких как номер канала, время приема, геодезические координаты приемника, несущая частота, а также результаты обработки на каждой ступени.

Выбор протокола транспортного уровня зависит от архитектуры системы и решаемых задач. Для передач в реальном времени с контролем потерь используются специальные протоколы, такие как RTP и RTCP [3]. При передаче пакетов сигнальных потоков между микросхемами они могут быть инкапсулированы в протокол канального уровня, соответствующий выбранной шине. При передаче данных внутри микросхемы в целях упрощения внутренних каналов и коммутации может использоваться упрощенный транспортный протокол. Преобразования протоколов из внутреннего во внешний и наоборот должны выполняться в мостах на основе таблиц преобразования, таких как ARP-таблицы в сетях Ethernet и программируемые таблицы соответствия внутренних и внешних адресов.

Важной составляющей программно-определяемых радиосистем является разработка переносимого и расширяемого программного обеспечения. Для унификации интерфейсов программных компонентов радиосистем была разработана спецификация SCA (Software Communication Architecture), которая определяет архитектурный каркас распределенных коммуникационных SDR-систем. Использование архитектуры SCA позволяет унифицировать

интерфейсы для работы с программными компонентами и аппаратным обеспечением, благодаря чему программное обеспечение становится переносимым, а радиосистемы масштабируемыми [4]. Архитектура SCA определяет не только способы трансляции радиосигнала через коммуникационную сеть, но и принципы программной «перепрошивки» аппаратных узлов (ПЛИС, DSP-процессоров) [4], удаленной настройки программно-определяемых радиосистем, управления аппаратурой и программным обеспечением.

1.2 Примеры распределенных радиосистем

Первыми распределенными программно-определяемыми радиосистемами можно назвать сети VoIP (Voice per IP) [3]. Такие сети применяются все шире, уже выпускается серийное оборудование для организации сетей VoIP. В основе технологии VoIP лежат протоколы RTP и RTCP. В качестве нагрузки в пакетах RTP передаются прошедшие вокодер отсчеты оцифрованного сигнала микрофона. В качестве узлов сети VoIP выступают абонентские терминалы (в том числе и беспроводные), шлюзы, АТС. В терминалах (VoIP-телефонах) широко применяются коммуникационные процессоры на базе ПЛИС, в шлюзах и АТС используются процессоры общего назначения.

Другой пример распределенных программно-определяемых радиосистем из области радиоастрономии. Современные радиоинтерферометры со сверхдлинной базой представляют собой сети радиоантенн, объединенных высокоскоростными каналами связи. Зарегистрированный в один момент времени разными антеннами радиосигнал должен быть передан в расчетный центр, где вычисляются взаимные корреляционные функции выборок радиосигналов и строится радиоизображение участка небесной сферы [5]. Для передачи оцифрованного радиосигнала применяются общие или выделенные каналы связи, в том числе и глобальная информационная сеть Internet. В качестве протоколов передачи выборок оцифрованных сигналов используются UDP и модификации RTP [6]. Коммуникационные каналы от сетей радиоантенн

передают сигнальные потоки в центральный узел обработки информации. Централизованная обработка в таких системах обычно выполняется в несколько этапов. Одним из первых этапов является сборка и обработка пакетов, доставленных по различным каналам с различными задержками, сортировка и выделение сигнальных потоков. На данном этапе может выполняться также компенсация задержек в сигнальных потоках и перемежение/деперемежение.

Затем, как правило, следуют этапы цифровой обработки сигнальных потоков, которые должны выполняться в реальном масштабе времени, например, передискретизация, точная компенсация задержек, корреляция и др. Результаты обработки передаются на следующую ступень, на которой выполняются этапы обработки, не требующие реального времени, такие как коррекция данных по известным источникам, калибровка, обнаружение источников и другие в зависимости от конкретной задачи. Примером такой системы является радиоинтерферометр LOFAR [7], в котором для реализации обработки сигналов в реальном времени используются суперкомпьютеры Blue Gene/L, соединенные с остальной системой гигабитными каналами Ethernet. Задачи обработки в реальном времени выполняются в виде множества параллельных конвейеров, каждому из которых назначается один узел суперкомпьютера Blue Gene/L с 8 двухъядерными процессорами. Входная секция, узел хранения, секция дополнительной обработки и секция постобработки данных выполняются на отдельных кластерах, состоящих из SMP-процессоров, объединенных каналами InfiniBand.

Наиболее масштабным проектом распределенной SDR-системы можно считать объединенную тактическую радиосистему JTRS, создаваемую Министерством обороны США. JTRS базируется на архитектуре SCA. Предполагается, что все военные радиосистемы американских ВС после 2010 года будут разрабатываться на базе спецификаций SCA, что предполагает наличие сетевого интерфейса и программного интерфейса у каждого элемента этой радиосистемы, будь то тактическая УКВ-радиостанция, бортовой модем беспилотного летательного аппарата или сеть гидрофонов вдоль морского

побережья. С помощью программных интерфейсов предполагается управлять компонентами радиосистем, организовывать взаимодействие между ними, согласованно менять параметры, например, перейти на резервную частоту всем тактическим радиостанциям в заданном регионе или сменить алгоритм шифрования [9].

На сегодня поставщики радиооборудования для американских ВС уже предлагают аппаратно-программные комплексы, выполненные в соответствии с требованиями JTRS. Компания Spectrum разработала систему радиоэлектронной борьбы SDR-3002 EWRDP. Эта система содержит 6 АЦП и 6 ЦАП с частотой дискретизации 205 МГц, 12 программируемых ПЛИС для цифровой сигнальной обработки, 12 процессоров общего назначения PowerPC. SDR-3002 EWRDP может интегрироваться с другими элементами JTRS посредством Ethernet на базе программных интерфейсов SCA, используется для анализа радиообстановки и генерации активных помех.

Существуют коммерческие платформы быстрого прототипирования радиосистем, позволяющие создавать программное обеспечение, совместимое с SCA. Одной из таких систем является flexComm SDR-3000 MRDP [10]. Легкость в масштабируемости такой системы обеспечивается использованием магистрали CompactPCI и возможностью добавления модулей встроенной обработки и радиоинтерфейсов. Гибкость и широкий набор возможностей достигается использованием SCA-совместимого программного обеспечения, а также специальных библиотек алгоритмов и ядер, реализуемых в динамически реконфигурируемой аппаратуре.

Хотя архитектура SCA разрабатывается и продвигается Министерством обороны США с целью создания и внедрения JTRS [8], с 2005 г. существует сообщество разработчиков компонентов SCA-систем с открытым исходным кодом OSSIE [10]. В состав разработанного и распространяемого OSSIE программного обеспечения входят интерфейсы и реализации ключевых абстракций SCA, средства создания алгоритмов обработки радиоданных узлами SCA, средства проектирования коммуникационных протоколов и

соответствующих им схем модуляции/демодуляции, отладочные средства для имитации и просмотра реализаций цифровых радиосигналов.

В Научно-исследовательском физико-техническом институте Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского в 2008–2010 годах была разработана распределенная система обработки радиосигналов, позволяющая обнаруживать радиосигналы различных типов и определять их параметры. Блочная схема системы приведена на рис. 2. Обработка сигналов в этой системе распределена между ПЛИС и блэйд-серверами Hewlett-Packard

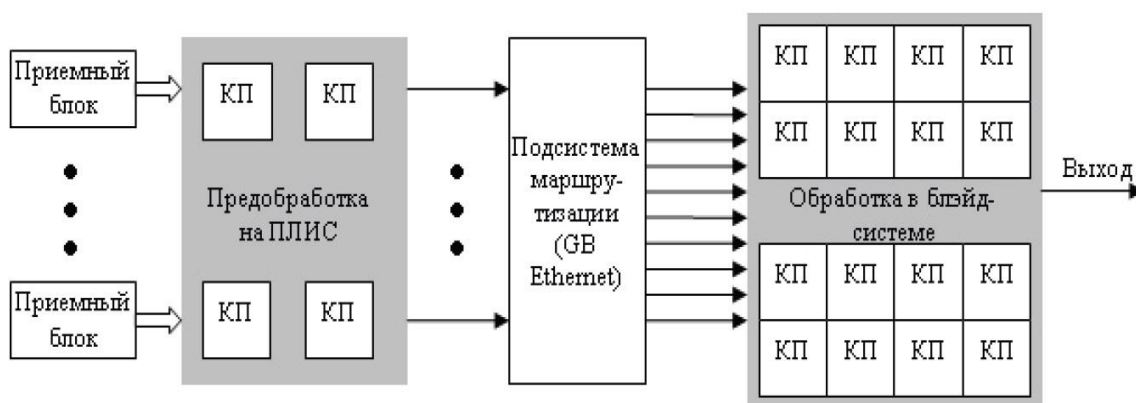


Рисунок 2 - Блок-схема смешанной распределенной системы обработки, основанной на ПЛИС и блэйд-системах

Proliant BL460c. Коммуникационные процессоры, ответственные за ранние стадии обработки, такие как фильтрация, выделение частотных каналов, цифровое преобразование частоты, вынесены в ПЛИС. После обработки в ПЛИС сигнально-информационные потоки упаковываются в RTP-пакеты и передаются подсистеме маршрутизации, основной задачей которой является передача сигнальных потоков блокам обработки с учетом планирования использования ресурсов. Коммуникационные процессоры, ответственные за дальнейшую обработку сигналов и определение их параметров, выполняются в режиме программной эмуляции на многоядерных процессорах в блэйд-серверах.

Всего в системе задействовано 4 блока обработки на базе ПЛИС и 16 на базе процессоров общего назначения Intel Xeon. Масштабируемость системы

достигается посредством наращивания количества приемных блоков и блоков предобработки, увеличения количества блэйд-серверов. На конечный узел обработки, размещаемый на процессоре блэйд-сервера, может подаваться информационный поток до 200 Мбит/с. Основой транспортного протокола для передачи потока оцифрованных отсчетов радиосигнала послужил протокол RTP. Основное отличие применяемого в данной системе протокола – возможность передавать не только действительные временные отсчеты, но и комплексные сигналы в виде квадратур.

При анализе всех систем мы пришли к выводу, что использование дорогостоящих систем в учебной деятельности не являются оптимальными, поэтому будем использовать распространённую систему Rtl2832u DVB-T USB.

2 Rtl2832u DVB-T USB

Rtl2832u DVB-T USB самый распространённый из USB TV – тюнеров, который можно протестировать (рис. 3).



Рисунок 3

USB TV-тюнер состоит из двух частей — радиочастотная часть (определяет возможные частоты работы) и цифровая часть (оцифровывает сигнал и передаёт в компьютер по USB). Цифровая часть— RTL2832. Аналоговая часть: FC0013 (~45-900Mhz).

Программное обеспечение SDR# RTLSDR Plugin с библиотекой RTLSDR. Запускаем программу и получаем радарограмму (рис 4, 5).

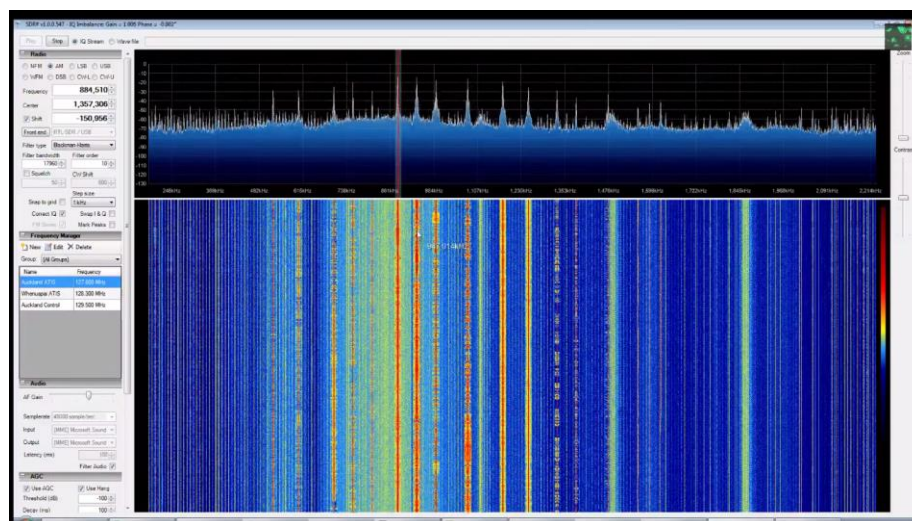


Рисунок 4

3 Области применения и преимущества SDR

Программно-определяемые радиосистемы можно использовать в качестве радиосканера в широком диапазоне. К примеру:

- Прослушивание незашифрованных разговоров Полиция / Скорая помощь / Пожарные.
- Прослушивание разговоров диспетчеров аэропортов.
- Отслеживание местоположения самолетов как радар с декодированием ADSB.
- Расшифровка самолет ACARS короткие сообщения.
- Расшифровка незашифрованных цифровых речевых передач.
- Отслеживание местоположения кораблей, как радар с декодированием AIS.
- Отслеживание и получение данных метеорологического зонда.
- Прослушивание УКВ любительского радио.
- Просмотр аналоговых трансляций телеканалов.
- Получение GPS сигнала и их декодирование.
- Использование ПОР в качестве анализатора спектра.
- Прием спутниковых снимков погоды NOAA.
- Прослушивание спутников и МКС.
- Радиоастрономия.
- Мониторинг метеоров.
- Прослушивание FM-радио, и декодирования информации RDS.
- Прослушивание DAB радио-эфира.

И многие другие области применения.

Одна из самых приоритетных областей применения, является радиоастрономия, а также теоретическая возможность создания пассивной радиолокационной системы.

Преимущества SDR.

Для производителей радиооборудования и системных интеграторов:

- семейства радиосистем, выполненные на общей аппаратной базе, все быстрее и быстрее появляются на рынке;
- за счет многократного использования программного обеспечения в различных радио устройствах значительно снижаются затраты на разработку;
- удаленное перепрограммирование позволяет исправлять ошибки, которые могут возникать после запуска радиосистемы в эксплуатацию, что сокращает время и финансовые затраты, связанные с техническим обслуживанием и эксплуатацией приборов.

Для поставщиков радио услуг:

- новые функции и возможности, которые будут добавляться к существующей инфраструктуре, не требуют больших финансовых вложений и позволяют провайдерам радио услуг модернизировать свои сети;
- используя радиосистемы на различных территориях, SDR позволяет удаленно их настраивать и модернизировать, что существенно снижает логистические и эксплуатационные расходы;
- за счет удаленной загрузки программного обеспечения может быть увеличена производительность системы. Модернизация может внести новые функции, тем самым увеличить доход.

Для конечного пользователя технология SDR позволит снизить цену на радиоустройства и доступ к беспроводным средствам коммуникации.

4 Потенциальное направление развития данной технологии

Необходимо изучить возможность использования программно-определяемых радиосистем для решения задач получения информации об окружающей среде. В частности, получения радиограммы окружающей среды.

На практике, такая система, может быть применена как в военных целях, к примеру, получение в реальном времени информации о передвижениях противника, не выдавая свое местоположение, благодаря отсутствию излучения у пассивного радара и компактными размерами самого устройства, так и в гражданских, к примеру, система мониторинга сельскохозяйственных объектов.

В теории, спектр применения намного шире, вплоть до применения в медицине, для отслеживания состояния пациента без применения контактных датчиков.

На данный момент есть несколько реализаций похожей системы:

2012 год. Инженеры Карл Вудбридж и Кевин Четти из Университетского колледжа UCL, изобрели устройство, с помощью которого можно фиксировать движение за сплошной стеной. Работа прибора основана на эффекте Доплера: при отражении волны от движущегося объекта, меняется ее частота. В качестве таких волн используются сигналы Wi-Fi, посылаемые роутером, который работает на частоте 2,4 или 5 гигагерц. На данный момент они очень распространены во многих офисах и зданиях. Таким образом данный прибор, позволит, в буквальном смысле, смотреть сквозь стены, в здании, где есть Wi-Fi излучение. Устройство состоит из двух антенн. Первая получает сигналы от базовых станций, расположенных поблизости, вторая отслеживает отраженные волны и измеряет их частоту. Программное обеспечение сравнивает полученные данные и определяет в зоне действия Wi-Fi наличие движущихся объектов, плюс направление их движения и скорость перемещения. При приближении к роутеру частота отраженного сигнала возрастает, при отдалении — уменьшается. При тестовых испытаниях радар точно определял перемещения людей за 30 сантиметровой кирпичной стеной. Так как устройство только принимает сигналы, но не посылает, его невозможно обнаружить обычными методами.

2013 год. На сайте геофизической обсерватории Соданкюля, от имени Juha Vierinen, была опубликована статья, про успешное создание пассивного радара, используя два ТВ-тюнера DVB-T, преобразованные в полноценную программно-определяемую радиосистему, с помощью нового ПО. Стоимость каждого тюнера примерно 20\$, это в разы дешевле аналогичного ПО FunCube PRO+, который стоит 190\$, а также HackRF ~\$300 и BladeRF SDRs за \$420. Автору статьи удалось получать информацию о пролетающих самолетах и метеоровах. К сожалению, более подробной информации по этой разработке на данный момент нет, поэтому сложно судить о ее минусах и плюсах.

2014 год. Массачусетский технологический институт сообщил о создании устройства, позволяющего отслеживать одновременно от трёх до пяти человек, распознавать их жесты и следить за их дыханием через стену, а в пределах прямой видимости — даже считать пульс. Установка MIT, названная WiZ, состоит из USRP-радиостанции N210 с массивом направленных антенн, которые излучают пилообразный сигнал, меняющийся от 5.46 до 7.25 гигагерц каждые 2,5 миллисекунды. Сигнал каждой антенны немного сдвинут по фазе, чтобы отличать их друг от друга. Приёмник улавливает отражения этих сигналов от людей и вычисляет расстояния до них, измеряя задержку отражённого сигнала. Мощность излучаемого радиосигнала не превышает 0,75 милливатт. WiZ уверенно распознаёт до четырёх человек в пределах прямой видимости или до трёх — через стену. Ошибка позиционирования составляет от 6,5 см в идеальных условиях до 16,1 в самых неблагоприятных. Система может распознавать простые жесты, например, определять, куда указывает рука человека с точностью от 8 до 16 градусов в зависимости от условий. Кроме того, WiZ умеет следить за дыханием — в 97% экспериментов, длившихся в среднем по несколько минут, система пропустила не более одного вдоха или выдоха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Основные результаты курсовой работы состоят в следующем:

1. Рассмотрены основные программно-определяемые радиосистемы.
2. Рассмотрены основные функциональные части программно-определяемых радиосистем
3. На основе проведенной работы были сделаны следующий выводы:
 - применение SDR обеспечивает соответствие постоянно развивающимся стандартам;
 - снижает стоимость изделия и затраты на его разработку;
 - повышается гибкость устройств – на одной плате можно создать устройство с поддержкой физических уровней (PHY) различных протоколов беспроводной связи (WCDMA, WiMAX*, TD-SCDMA).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Койнов А. Решения SDR для аппаратуры WiMAX: ПЛИС, DSP или нечто иное? // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2007. № 2.
- 2 Руднев П. Технологии SDR на службе у разработчиков систем // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2009. № 7.
- 3 Сорохтин Е.М. РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ РАДИОСИСТЕМЫ / Е.М. Сорохтин, С.А. Минеев // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2010, № 5 (2), с. 383–388.
- 4 Щербак Н., Программируемые радиостанции – будущее тактической связи // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2001. № 5.
- 5 Dietrich C.B., Reed J.H. Experiences from the OSSIE Open Source Software Defined Radio Project // Open Source Business Resource. 2010. March.
- 6 González C.R.A., Dietrich C.B. Understanding the software communications architecture // IEEE Communications Magazine. 2009. Vol. 47, no. 9.
- 7 Jones E. Software Defined Radios, Cognitive Radio and the Software Communications Architecture (SCA) in relation to COMMS, radar and ESM // Cognitive Radio and Software Defined Radios: Technologies and Techniques. 2008 IET Seminar.
- 8 J. Mitola II, Z. Zvonar. Software Radio Technologies. // IEEE Press, 2001.
- 9 Хабрахабр [Электронный ресурс]: электронный дайджест ИТ-сообщества России – М.: НАБРАНАВР.RU, 2006-2014. - Режим доступа: <http://habrahabr.ru/> -17.07.2014
- 10 SDR-3000 MRDP Military Communications (MILCOM) Rapid-Prototyping Development Platform. URL: http://www.spectrumsignal.com/products/pdf/sdr_3000_mrdp.pdf (дата обращения: 09.04.2010).