

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

*В статье рассматриваются принципы построения современных программируемых радиостанций. При этом особое внимание уделяется новым стандартам беспроводной связи Wi-Fi и WiMAX, которые могут использоваться таким классом радиостанций.*

*Ключевые слова: связь, беспроводные технологии, программируемая радиостанция*

*In the article discussed the principles of modern programmable radio stations. Particular attention paid to new standards of wireless communications Wi-Fi and WiMAX, which can be used with this class of radio stations.*

*Keywords: communications, wireless, programmable radio*

### Введение

В настоящее время основной проблемой развития и распространения специальных систем радиосвязи является несовместимость средств связи различных ведомств и различных операторов связи. Для решения данной проблемы используют технологию программируемых радиостанций *SDR* (*software defined radio*) [1]. Программируемая радиостанция (ПРС) использует стандартные аппаратные средства для выполнения функций под управлением программного обеспечения. Разработчики ПРС возлагают большие надежды на открытую архитектуру *SDR* радиостанций следующего поколения, где радиостанции могут выпускать одни производители, а функции и режимы работы будет определять программное обеспечение других разработчиков. Технологические успехи в области совместимых программных средств, систем цифровой обработки сигналов и микропроцессоров делают подобные проекты реальными.

Программируемые радиостанции позволят повысить качество обслуживания посредством высокой адаптивности, упрощают разработку программной части оборудования и создают новые возможности при реализации новых стандартов [2].

Использование ПРС позволит различным ведомствам и операторам мобильной связи иметь инфраструктуру с учетом развития средств связи, т.е. точки радиодоступа, сотовые площадки и беспроводные сети передачи данных, которые могут быть легко переведены под новый стандарт. В противном случае оператор должен производить полную замену оборудования или какое-то время одновременно эксплуатировать оборудование нескольких типов.

Особое внимание следует уделить современным телекоммуникационным технологиям, таким как Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11) и WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), которые используются совместно в современных сетевых беспроводных устройствах.

### Основной раздел

В существующей отечественной литературе не уделено достаточного внимания принципам построения программируемых радиостанций, в связи с этим возникает задача анализа структуры их построения.

Целью работы является обзор существующих и перспективных ПРС, преимуществ их использования, анализ структуры их построения и современных телекоммуникационных технологий.

В коммерческой сфере предоставления услуг беспроводной цифровой связи компьютеров и мобильных устройств наиболее распространённым стандартом является стандарт Wi-Fi. Данный стандарт позволяет осуществлять связь в локальной сетевой зоне частотных диапазонов 2,4; 3,6 и 5 ГГц. Для работы нескольких мобильных устройств (клиентов) необходимо наличие точки доступа, два клиента могут соединиться между собой напрямую.

По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить:

- Автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные, умные)
- Точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные)
- Бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)
- По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети:
  - Со статическими настройками радиоканалов
  - С динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов
  - Со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов

Недостатком данной телекоммуникационной технологии является небольшой радиус обслуживания – порядка 20м в помещении и 100 м на открытой местности. Данного недостатка лишена относительно новая технология – WiMAX. Радиус обслуживания базовой станции для технологии WiMAX составляет  $8 \cdot 10^4$  м (стандарт IEEE 802.16d).

Необходимость мобильности коммуникационных устройств и большое количество рабочих

режимов заставила производителей реализовывать обе технологии. Использование подхода *SDR* позволяет упростить и удешевить реализацию нескольких коммуникационных технологий в рамках одного устройства.

Первой удачной попыткой в области ПРС явился проект МО США *SPEAKeasy I*, целью которого было создание мультдиапазонной, многорежимной *SDR*-радиостанции, позволяющей осуществлять обмен информацией подразделениям различных военных ведомств [1]. Эксперимент по проверке совместимости системы *SPEAKeasy I* был проведен ВВС США в 1993 году. Станция могла работать в двух различных частотных диапазонах, поддерживая два различных интерфейса для связи между обычными аналоговыми радиостанциями СВ-диапазона (сухопутные силы) и станциями цифровой системы связи с расширением спектра методом скачкообразного изменения частоты (СИЧ) (тактическая авиация). В 1996-1997 годах компания *Motorola* разработала систему *SPEAKeasy II*, согласно которой планировалась разработка радиостанций, обладающих открытой архитектурой, и работающих в диапазоне до 2 ГГц [1].

В настоящее время в США основная программа, использующая технологию *SDR*, – объединенная тактическая система радиосвязи *JTRS (Joint Tactical Radio System)*, которую можно рассматривать как развитие проекта *SPEAKeasy* [3,4]. Целью программы является выпуск семейства радиостанций тактического назначения для передачи речевых сообщений, видео и данных в диапазоне от 2 МГц до 2 ГГц в условиях прямой и непрямой видимости с использованием одного из 40 различных способов модуляции. Многие из этих видов модуляции используются имеющимися на вооружении радиостанциями [4].

Работами по программе *JTRS* занимается “команда коммуникаций и электроники” (*Communications Electronics Command*) армии США под руководством Департамента обороны США, однако все работы проводятся на контрактной основе. Так, архитектуру радиостанций для *JTRS* разрабатывает консорциум компаний во главе с *Raytheon Command, Control, Communications and Information Systems*, включающий также *ITT Industries, Rockwell Collins* и *Marconi CNI Division*.

Система *JTRS* включает следующие программы ведения тактических действий [4]: *WNW-BEAM*, -*OFDM*, -*AJ*, -*LPI*, *HAVEQUICK I, II*, *UHF SATCOM*, *SINGGARS*, *LINK-4A*, -*11B*, -*16*, -*22*, *EPLRS*, *LMR*, *DWTS*, *SATURN*, *Iridium*, *Globalstar*, а также поддерживает *WLAN*, сотовую связь различных стандартов (*GSM*, *CDMA*) и транкинговую связь стандартов *TETRA*, *TETRAPOL*. Радиосредства этих программ перекрывают частотный диапазон от 2 МГц до 2 ГГц и используются для ведения наземных, воздушных и морских операций. В настоящее время на стадии разработки из перечисленных программ находится только *WNW*.

Компания *Harris* в работах по проекту использует радиостанцию *AN/PRC-117 (C)* семейства *Falcon II*, уже поставляемую для ВМС США [5]. Основная особенность этой мультдиапазонной многорежимной станции – возможность программного перепрограммирования. Компания видит приоритетную задачу в повышении канальной емкости своих радиосистем за счет увеличения их спектральной эффективности в высокочастотном диапазоне. Для этого исследуются новые виды модуляции и радиointерфейсы. Компания *Motorola* на этапе *Step 2* занималась верификацией архитектуры *SCA* по программе программируемых радиостанций *DMR (Digital Modular Radio)*, создаваемой по отдельному контракту с ВМС США. *DMR* – предшественница *JTRS*, поддерживает радиointерфейсы систем связи *DAMA*, *HAVE QUICK* и *SINGGARS*, а также обмен данными по *Link 4A* и *Link 11*. Продолжением проекта *DMR* стала разработанная компанией *Motorola* технология *WITS (Wireless Information Transfer System)*, согласно которой была выпущена *SDR*-станция *AN/USC-61 (C)*. Эта радиостанция поддерживает большинство тактических программ и работает в диапазоне частот 2МГц-2ГГц. В качестве модуляции используется *AM*, *FM*, *FSK*, *BPSK*, *SBPSK*, *QPSK* [6,7].

Компания *Rohde & Schwarz* разработала серию универсальных цифровых многодиапазонных радиостанций *M3TR* для тактического звена в целях замены большого количества разнотипных несовместимых между собой средств КВ и УКВ радиосвязи для всех видов вооруженных сил Германии. В 2004 году радиостанции компании *Rohde & Schwarz M3TR* заменили стоявшие на вооружении швейцарской армии радиостанции *SE-229*, получив новое условное наименование *SE-239*. Основное достоинство этой радиостанции – простота смены режима работы за счет загрузки соответствующего ПО. *M3TR* может поддерживать радиointерфейсы натовских систем *HAVE QUICK I, II*, *SATURN* и *SECOS*, а также таких стандартов, как *SINGGARS*, *PR4G* и *SEM*. Радиостанция *M3TR* работает в диапазоне частот 1,5-512 МГц, может подключаться к сетям *TCP/IP*, обмениваться данными со скоростью до 72 кбит/с, одновременно передавая речевые сообщения.

В настоящее время лидером в разработке *SDR*-станций по программе *JTRS* является корпорация *Spectrum Signal Processing Inc (США)*. Эта корпорация выпустила радиостанции, обладающие открытой архитектурой *SCA* версии 2.2, *SDR-3000* и *SDR-4000*. Эти радиосредства предназначены для передачи речи и данных в диапазоне частот от 0,5 МГц до 3 ГГц с использованием расширения спектра методом СИЧ со скоростью 5000 скачков/сек для *SDR-3000* и 1000 скачков/сек для *SDR-4000*. В данных радиосредствах помимо поддержки большинства тактических программ также используются протоколы взаимодействия с различными сетями мобильной радиосвязи второго поколения и сетью *WCDMA* третьего поколения [8].

ПРС – оборудование, в котором форма сигнала, содержащего продукты модуляции, определяется программным обеспечением, форма колебания создается путем генерации цифровых сигналов, преобразования цифрового сигнала в аналоговый с помощью широкополосного ЦАП, и затем, возможно, преобразования вверх из ПЧ в ВЧ. Приемник, точно так же использует широкополосный АЦП, который захватывает все каналы, принимаемые радиостанцией. Приемник затем извлекает, преобразует вниз и

демодулирует сигналы каждого канала, используя принцип программного управления. ПРС использует комбинацию методов, которые включают многодиапазонные антенны и радиочастотные преобразователи; широкополосные ЦАП и АЦП; а реализация обработки сигналов ПЧ, демодулированных сигналов и результирующего цифрового потока происходит с помощью цифровых сигнальных процессоров (*DSP – Digital Signal Processor*) и микросхем программируемой логики (*FPGA – Field Programmable Gate Array*).

В перспективных ПРС предполагается полностью исключить отдельные входные цепи и осуществлять выделение сигналов программными средствами уже во входных цепях [3].

После АЦП обработка сигнала происходит в соответствии с заданным режимом работы при помощи программируемой радиосистемы, реализованной с использованием архитектуры, допускающей динамическое изменение параметров. С декабря 2000 года по 2006 год *Raytheon Command, Control, Communications and Information Systems* представляло практически один и тот же вариант архитектуры *SCA* (рис. 1) – *Software Communications Architecture* [9-11].

Архитектура *SCA* была разработана с применением объектно-ориентированного подхода (ООП). Язык *UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования)* использовался для графического представления интерфейсов, в то время как сами интерфейсы определялись языком *IDL (Interface Definition Language – язык описания интерфейсов)*. Оба описания (*UML* и *IDL*) могут быть реализованы при помощи стандартных средств разработки, что позволяет начать непосредственную разработку с определения базовых концепций архитектуры.

Под архитектурой ПРС понимается целостный, взаимоувязанный и достаточный набор функций, компонентов и правил проектирования вместе с соответствующими интерфейсами, в соответствии с которыми можно разработать и реализовать систему. Конкретная архитектура состоит в распределении функций между компонентами, таким образом, чтобы каждая функция была присвоена какому либо компоненту и интерфейсы между компонентами соответствовали интерфейсам между функциями. Если такие функции и интерфейсы определяются путем общественного обсуждения, полученная архитектура считается «открытой».

В основу архитектуры *SCA* положен стандарт (технология) *CORBA (Common Object Request Broker Architecture – общая архитектура брокера объектных запросов)*, которая определяет общие принципы построения распределенных приложений. Стандарт *SCA* базируется на объектной модели в рекомендации *X.733ITU-T*, специализированном языке *IDL* и архитектуре управления объектами *OMA (Object Management Architecture)*. Использование *CORBA* позволяет достичь максимальной универсальности модулей *SDR* за счет универсальности стандарта и обеспечить независимость от протокола передачи, используемой структуры данных и аппаратной базы.

В соответствии с руководящим принципом стандарта *TEMPEST NACSAM 5203* всё множество используемого оборудования делится на «красное» и «черное» подмножества («красную» и «черную» область). «Красная» область – оборудование, по цепям которого распространяется секретная информация в открытом виде. «Черная» область – оборудование, обрабатывающее сигналы, которые являются неопределёнными из-за содержания текста или по причине того, что сведения уже зашифрованы.

Ключевыми преимуществами используемой архитектуры *SDR* являются [9]:

1. Максимальное использование коммерческих протоколов и продуктов.
2. Изолирование приложений уровня ядра и приложений нижнего уровня с использованием множественных уровней открытой коммерческой программной инфраструктуры.
3. Использование среды распределенной обработки, имеющей в основе технологию *CORBA*, обеспечивающей программную переносимость, повторное использование кода и масштабируемость.

Архитектура *SCA* определяет операционную среду (*OE – Operating Environment*) как объединение набора сервисов ядра (*Core Framework Services*) и инфраструктурного программного обеспечения (ПО), включая промежуточное программное обеспечение (ППО). Операционная среда является интегрированным компонентом *SCA*.

При проектировании структуры ПО системы была применена архитектура *SCA*.

Основными компонентами операционной среды, согласно [9-12], являются:

*CORBA Middleware – ППО CORBA*. Прежде всего, *ORB (Object Request Broker – брокер объектных запросов – ядро CORBA* и любого приложения написанного с использованием этой технологии, обеспечивает пересылку запросов между *CORBA*-объектами), а также различные сервисы предусмотренные спецификацией *CORBA*, как-то сервис именования, сервис событий и т. д. ППО обеспечивает работу приложений, написанных с использованием данной технологии. Интерфейсы взаимодействия различных компонентов определяются при помощи языка *IDL*.

*CF Services & Application – сервисы и приложения, относящиеся к инфраструктуре ядра*. Обеспечивают высокоуровневый подход при программировании и проектировании прикладных систем.

Оба рассмотренных компонента функционируют под руководством операционной системы – *Operation System*. В качестве примера подобной ОС предлагается *POSIX*, по причине совместимости со стандартом *CORBA OMG*. Предусматривается использование *POSIX 1003.13 – подвид POSIX*, специально разработанный для систем управления реальным временем (*PSE52*) (в дальнейшем – *SCA POSIX Profile*). Все интерфейсы взаимодействия для данного компонента также определяются при помощи языка *IDL*.

*Network Stacks & Serial Interface Services – стеки сетевых протоколов и последовательные*

интерфейсы. Обеспечивают взаимодействие в сети. В качестве поддерживаемых протоколов используются *PPP, SLIP, LAPx*, а также *TCP/IP*. Помимо сетевых протоколов этот блок отвечает за поддержку различных последовательных интерфейсов передачи данных: *RS-232, RS-422, RS-423, RS-485, Ethernet* и *802.x*.

*Board Support Packages* – средство обеспечения кроссплатформенности, для организации аппаратного интерфейса с конкретной средой передачи или системной шиной. В качестве таковых используется *VME, PCI, CompactPCI, Firewire (IEEE-1394), Ethernet*. Предполагается, что система с *SCA* архитектурой может функционировать не только в распределенном виде, но и на различных аппаратных платформах.

Рассмотренная операционная среда представляет собой базу, на основе которой функционирует основное приложение. Операционная среда и ее компоненты не выполняют полезной работы, однако обеспечивают необходимую функциональность для основного уровня. Основным уровнем рассматриваемой архитектуры является уровень приложения – *Application*. Согласно [9-11], на уровне приложения выделяются компоненты (уровни) различной функциональности:

1. *Modem-level digital signal processing* – обработка цифрового сигнала модемом;
2. *Link-level protocol processing* – обработка протокола соединения;
3. *Network-level protocol processing* – обработка протокола сети;
4. *Internet routing* – межсетевая маршрутизация;
5. *External input/output (I/O) access* – внешний ввод/вывод;
6. *Security* – безопасность;
7. *Embedded utilities* – внедренные программы.

Все указанные компоненты приложений при работе используют сервисы *CF*. Взаимодействие компонентов приложений непосредственно с ОС ограничено спецификацией *SCA POSIX Profile*. Взаимодействие компонентов приложений с сетью при помощи ОС не ограничивается.

Каждый подобный компонент приложения рассматривается состоящим из двух частей: непосредственно компонента (*component*), выполняющего прикладную задачу, и адаптера (*adapter*), задачей которого является интеграция компонента (который может быть реализован и без использования технологии *CORBA*) в систему, использующую архитектуру *SCA*.

При передаче сообщения с использованием исключительно ресурсов *CORBA* сообщение будет проходить по пути *B1-B5*. При использовании ресурсов, реализованных с использованием альтернативных технологий, сообщение в общем случае будет передаваться по пути *A1-A9*.

Компоненты приложения состоят из одного или более ресурса (*resource*) [4-7]. Различные ресурсы системы определяют режимы работы радиостанции, переключения между которыми осуществляется с использованием принципа программного управления. Ресурс реализует интерфейс управления и конфигурации программного компонента.

Архитектура *SCA* предусматривает использование особого вида ресурсов – устройств (*devices*), которые используются в качестве программных представителей реальных устройств. Разработка внутренней функциональности устройств не декларируется *SCA*, оставляя решение за разработчиком.

На рис. 1 изображены основные классы ресурсов, присущих *SCA* архитектуре (*ModemDevice, I/ODevice, SecurityDevice, NetworkResource, LinkResource* и *UtilityResource*), а также показаны их подклассы, обладающие более узкой функциональностью.

Как можно видеть, ресурс может обслуживать несколько уровней приложения *SCA*. Так, ресурс сети (*NetworkResource*) функционирует на уровнях сетевого соединения в черной (3) и красной (5) области, при этом реализует сетевой *API*, который относится к уровню операционной среды (7).

Методы и атрибуты, предоставляемые основными интерфейсами ресурсов, позволяют организовать их взаимодействие в среде *SCA*. Для обмена сообщениями между ресурсами и устройствами используется передача сообщений через порты (*port*).

Функциональность ресурсов *SDA* описана с использованием диаграмм *UML*. В верхней части прямоугольника-ресурса указано его название, в нижней – реализуемая функция. Связь «1.\* к 1» указывает на то, что ко множеству ресурсов первого вида относится один ресурс второго вида, соответственно «1.\* к 1.\*» указывает отношение «многие ко многим» и «1 к 0..\*» – «один к многим» или к пустому множеству. Полая стрелка указывает на отношение, при котором ресурс, из которого она исходит, является более конкретизированным потомком (в терминах ООП) инкапсулирующим часть функциональности родителя. *API (Application Programming Interface)* – интерфейс прикладного программирования, набор функций, предоставляемый для использования в прикладных программах. *LLC (Logical Link Control)* – управление логическим каналом, верхний подуровень канального уровня в семиуровневой модели *ISO/OSI*.

Ресурс модема (*ModemDevice*) представляет собой практически автономное устройство передачи данных, в связи с чем обладает большим числом функций, разделяемых между несколькими подресурсами. Ресурс модема в стандарте *SCA* помимо присущих ему операций по модуляции/демодуляции также выполняет функции помехоустойчивого кодирования/декодирования. В дополнение к этому модем управляет частотой и шириной полосы, в которой ведется передача, осуществляет подавление помех, фильтрацию и т. п. Архитектура *SCA* помимо имеющегося в ее составе криптомодуля (*SecurityDevice*) предусматривает наличие дополнительных протоколов защиты: *Communication Security – COMSEC* и *Transition Security TRANSEC*. Служба точного времени, необходимая для синхронизации частей

распределенного приложения, запущенных на различных узлах вычислительной сети, также функционирует на уровне этого ресурса.

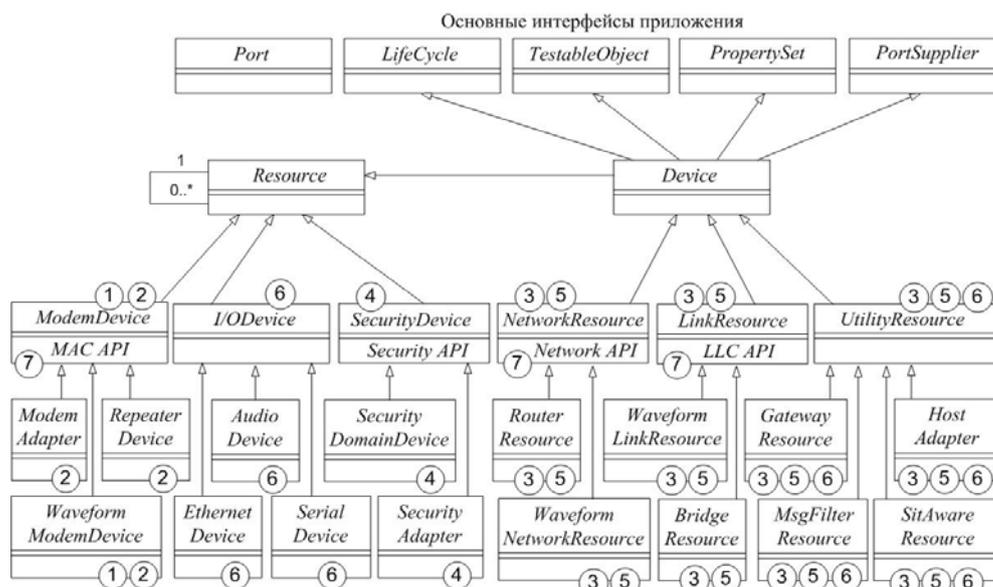


Рис. 1. Ресурсы и интерфейсы приложения

Наиболее важными особенностями реализации ПРС по программе *JTRS* является использование в их структуре современных методов модуляции, помехоустойчивого кодирования и технологий расширения спектра.

При этом используются следующие виды модуляции: *CCSK* – циклическая манипуляция; *CPM* – модуляция с непрерывной фазой; *BPSK* – фазовая манипуляция (ФМ); *OQPSK* – смещенная квадратурная ФМ; *DQPSK* – дифференциальная квадратурная ФМ; *DOQPSK* – дифференциальная смещенная квадратурная ФМ; *DI6PSK* – дифференциальная ФМ-16; *FSK* – частотная манипуляция; *FM* – частотная модуляция; *ASK* – амплитудная манипуляция.

Ресурсы ввода/вывода (*I/ODevice*) служат для организации взаимодействия радиосредства с удаленными узлами (использование сети *Ethernet*, последовательных интерфейсов и т.п.), а также для непосредственного ввода информации (с микрофона, клавиатуры, файла и т.п.) или ее вывода (на громкоговоритель, файл, печать и т.п.). Дополнительной функцией этого класса ресурса является организация кодирования/декодирования аудио и видео информации с использованием стандартных методов сжатия.

Ресурсы безопасности (*SecurityDevice*) предназначены для обеспечения криптозащиты передаваемых данных. Функции данного ресурса следующие: шифрование и дешифрование, выполнение аутентификации, операции работы с ключами и др.

Ресурсы обеспечения сетевого взаимодействия (*NetworkResource*) предназначены для интеграции различных узлов *SCA* системы в единую коммуникационную сеть. Функции, выполняемые ресурсом этого типа, во многом схожи с функциями обычного сетевого маршрутизатора: осуществление маршрутизации, трансляция адресов, поддержание маршрутных таблиц, групповые (*multicast*) и широковещательные (*broadcast*) передачи и др.

Среди дополнительных функций данного ресурса стоит выделить измерение и анализ качества соединения, на основании которого может приниматься решение о маршрутизации и выполняться переконфигурация модема, контроль качества обслуживания (*QoS – Quality of Service*), организация передач потоков данных с различными приоритетами и др.

Примером программы, входящей в *JTRS* является *WNW (wideband networking waveform)*. Это широкодиапазонная радиосеть, в составе которой планируется использовать радиосредства следующего поколения, использующие архитектуру *SCA*, для вооруженных сил стран НАТО [12,13]. Предполагается, что радиосеть *WNW* заменит большинство тактических программ и обеспечит передачу данных, речевой информации и видеоизображений для воздушных и наземных операций в диапазоне от 2МГц до 2ГГц и выше. Радиосеть *WNW* обеспечивает взаимодействие воздушных средств различного предназначения как между собой, так и с сухопутными мобильными средствами и стационарными объектами.

Предполагается, что радиосеть *WNW* будет использовать четыре режима работы:

1. *WNW – OFDM* (широкодиапазонная радиосеть с ортогонально-частотным множественным разделением).
2. *WNW – LPI/LPD* (широкодиапазонная радиосеть с низкой вероятностью перехвата/низкой вероятностью обнаружения).
3. *WNW – AJ* (широкодиапазонная радиосеть с противодействием преднамеренным помехам).

4. *WWN – BEAM* (широкодиапазонная радиосеть с использованием спектрально-эффективных методов модуляции).

Множественный доступ в сети достигается посредством технологии *CDMA/TDMA*. Межсетевой множественный доступ осуществляется с использованием методов *CDMA (Code Division Multiple Access – многостанционный доступ с кодовым разделением каналов)* и *FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum – расширение спектра методом скачкообразного изменения частоты)*. Использование адаптивных антенных решеток позволяет повысить скорость передачи информации посредством технологии *SDMA (Space Division Multiple Access – множественный доступ с пространственным разделением)*.

### Выводы

Проведенный анализ показывает возросший интерес в развитых странах мира к программной реализации функций обработки сигналов в современных радиосредствах, что определяет необходимость дальнейшего исследования архитектуры ПРС, разработки отечественных программируемых приложений, которые могли бы использоваться в данных ПРС.

Одной из ключевых проблем, возникающих при построении ПРС, является проблема защиты информации передаваемой и обрабатываемой в системах связи с ПРС. Эта проблема состоит из двух направлений: защита программного обеспечения (программируемых приложений) и защита обрабатываемой информации (данных).

Перспективным направлением совершенствования методов повышения помехозащищенности ПРС является адаптация по различным параметрам – частоте, структуре сигнальной конструкции, мощности и т.д. Поэтому на физическом уровне открытой архитектуры целесообразно рассмотреть возможность использования адаптивного контура, спектрально-эффективных сигнальных конструкций и использовать технологии расширения спектра.

В связи с высокими показателями помехоустойчивости, присущих турбокодам в области малых отношений сигнал-шум, их целесообразно использовать в качестве корректирующих кодов для построения сигнально-кодовых конструкций, а в качестве систем модуляции ФМ-М, КАМ-М, модуляцию с непрерывной фазой, решетчатую кодовую модуляцию и решетчатую турбокодую модуляцию.

### Литература

1. Щербак Н. Программируемые радиостанции – будущее тактической связи / Н. Щербак // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2001. С. 16-19.
2. Maier K. Mapping waveforms to systems: What would a wideband networking waveform system require? // Military EMBEDDED SYSTEMS. – October, 2005. P. 38-41.
3. Uhm M. Adaptivity in Action for SDR and Cognitive Radio // COTS Journal. – February, 2006. (<http://www.cotsjournalonline.com>)
4. Joint Tactical Radio System (Encyclopedia) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.absoluteastronomy.com>
5. Tactical communications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rfcomm.harris.com>
6. General dynamics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gdc4s.com>
7. Rohde and Shwartz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rohde-schwarz.com>
8. Spectrum signal processing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spectrumsignal.com>
9. Software Communications Architecture Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jtrs.spawar.navy.mil>
10. Gonzalez A., Hess R. Joint Tactical Radio System. SCA Developer's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jtrs.spawar.navy.mil>
11. Software Communications Architecture Specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jtrs.spawar.navy.mil>
12. Specialized Hardware Supplement to the Software Communication Architecture Specification // JTRS-5000 SP, V3.0. – August 27, 2004. P.4-1 – 4-7. (<http://jtrs.spawar.navy.mil>)
13. Guice R., Munoz R. IEEE 802.16 Commercial off the as a Shelf Technologies as a Compliment to Ship to Objective Maneuver Communications // Master of Science in Information Technology Management, Naval Postgraduate School. – September, 2004. P. 13-39.

Надійшла 7.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Кувшинов О.В.