

SDR РАДИОУСТРОЙСТВА И КОГНИТИВНАЯ РАДИОСВЯЗЬ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Николашин Ю.Л., к.т.н.,

ПАО «Интелтех»,
intelteh@inteltech.ru

Кулешов И.А., к.т.н., доцент,

ПАО «Интелтех»,
intelteh@inteltech.ru

Будко П.А., д.т.н., профессор,

ПАО «Интелтех»,
budko62@mail.ru

Жолдасов Е.С., к.т.н., доцент,

Военная академия связи,
erkingolldasov@mail.ru

Жуков Г.А., к.т.н., доцент,

ПАО «Интелтех», к.т.н., доц.,
intelteh@inteltech.ru

Ключевые слова:

когнитивная радиосвязь,
программно-определяемое радио,
декаметровая радиосвязь,
многоканальное радиоприемное
устройство, оптимальная рабочая
частота.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время практически весь частотный диапазон распределен и лицензирован, однако при этом, спектр, как драгоценный природный ресурс, используется недостаточно эффективно. Существенным образом повысить коэффициент использования спектра позволяет механизм динамического управления, согласно которому вторичным пользователям, не закрепленным за данным частотным диапазоном, предоставляется возможность передавать сообщения в диапазоне первичных пользователей в то время, пока этот диапазон не занят штатной работой передающих устройств. Такой механизм динамического управления спектром, называемый когнитивным радио, весьма сложен технически и может применяться только в так называемых интеллектуальных радиосистемах. Предложено расширить диапазон использования систем связи, работающих на принципе когнитивного радио, в будущем от 9 кГц до 300 ГГц. Рассмотрена структура такой ведомственной системы связи с программируемыми параметрами. Её отличительной особенностью является способность извлекать и анализировать информацию из окружающего радиопространства, предсказывать изменения канала связи и оптимально адаптировать услуги, предоставляемые абонентам сети к изменяющимся параметрам среды распространения радиоволн, помеховой обстановке и загрузке частотного диапазона. В основу данной системы радиомониторинга должны лечь программно-аппаратные комплексы средств связи, построенные на основе SDR-технологий. Предложено многоканальное радиоприемное устройство с системой графического отображения сигналов в виде спектрограммы. Оно является основной альтернативой рассмотренных анализаторов спектра при решении задач когнитивной радиосвязи в части визуального и автоматического мониторинга радиочастотного диапазона. Это дает возможность внедрения нового способа доведения сообщений до удалённых объектов по декаметровому радиоканалу без необходимости установки частоты передачи на приёмном радиоцентре и в то же время позволяющего вести передачу на оптимальной для данного момента времени частоте. Предлагаемые методы можно отнести к ресурсосберегающим технологиям, поскольку они позволяют: осуществить ведение декаметровой радиосвязи без привязки на приемной стороне к радиоданным; сократить количество персонала, обслуживающих радиолинии; исключить ошибки персонала при перестройке парка радиоприемников приемного радиоцентра; снизить энергетику радиолиний; повысить экономический эффект; повысить вероятность доведения сообщений до абонентов за счет ведения радиосвязи на оптимальных рабочих частотах; вести работу с унаследованными радиолиниями.

Введение

Стремительное развитие беспроводных телекоммуникационных систем и повсеместное вхождение в наш обиход радиоустройств широкого круга применения привело к серьезной проблеме. Практически весь частотный диапазон на сегодня распределен и лицензирован, однако при этом, проведенные исследования Федеральной комиссией связи (FAC) США показали, что спектр, как драгоценный природный ресурс, используется недостаточно эффективно [1]. Существенным образом повысить коэффициент использования спектра позволяет механизм динамического управления, согласно которому вторичным пользователям (не закрепленным за данным частотным диапазоном) предоставляется возможность передавать сообщения в диапазоне первичных пользователей в то время, пока этот диапазон не занят штатной работой передающих устройств. Именно это положение инициировало введение в 2011 году стандарта IEEE 802.22.

Вместе с тем необходимо отметить, что сам по себе механизм динамического управления спектром весьма сложен технически и может применяться только в так называемых интеллектуальных радиосистемах. Их отличительной особенностью является способность извлекать и анализировать информацию из окружающего радиопространства, предсказывать изменения канала связи и оптимально адаптировать услуги, предоставляемые абонентам сети к изменяющимся параметрам среды распространения радиоволн (РРВ), помеховой обстановке и загрузке частотного диапазона.

Для описания таких интеллектуальных радиосистем Д. Митоллой в 1999-2000 гг. был предложен термин «когнитивное радио» (когнитивность дословно означает способность к познанию и самообучению) [2]. Уровень востребованности и дефицит радиочастотного ресурса определяют необходимость проработки различных подходов и технологических решений, направленных на повышение эффективности его использования. При этом принципы когнитивности радиосистем, предопределяющие возможность их применения, в административном смысле включает в себя, прежде всего, вторичность использования радиочастотного спектра (РЧС), а в технологическом смысле - адаптивность радиосистем в части реализации полосу и номиналов радиочастот [3].

Резолюция МСЭ-R2117 устанавливает, что «...к системам когнитивного радио (CRS) относятся радиосистемы, использующие технологию, позволяющую получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы, согласно полученным знаниям, для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов...».

В настоящее время за рубежом активно ведутся работы по построению систем широкополосного радио-

доступа в так называемом телевизионном диапазоне волн (54 - 862 МГц), для которого разработан стандарт IEEE 802.22 беспроводной передачи данных, основанный на принципах когнитивного радио, в том числе предусматривающий возможность безлицензионного использования частотного ресурса.

Продвижение данного направления развития интеллектуальных радиосистем выдвигает на первый план проведение обоснований и выработки концепции внедрения технологий когнитивного радио и в России. В 2012 году по решению Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве связи и массовым телекоммуникациям в стране создана опытная зона по внедрению когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа в РФ в полосе радиочастот 470 – 686 МГц. Однако на сегодня кроме стандарта IEEE 802.22 других нормативных документов, регламентирующих использование систем когнитивного радио в мировом сообществе, пока не принято. В этом плане с оптимизмом следует ожидать изменений в Регламент радиосвязи МСЭ, касающихся совершенствования международного регулирования использования спектра, а также распределения и совместного использования частот на предстоящей в 2015 году очередной Всемирной конференции радиосвязи (WRC-15).

Как считают зарубежные специалисты из Beal Labs и Cisco, к 2016 году объем мобильного трафика возрастет в 18-25 раз и возможности радиочастотного диапазона в региональных сетях будут исчерпаны. Однако, как отмечают в Европейском институте электросвязи (ETSI), имеющиеся технологии пока еще не обеспечивают все необходимые требования для универсального применения когнитивного радио [4]. Вместе с тем, планируется, что системы связи с программируемыми параметрами должны работать в будущем от 9 кГц до 300 ГГц [5].

Одним из специфических участков указанной частотной области, в силу ряда особенностей, является декаметровый диапазон волн (ДКМВ).

В статье рассматриваются пути технической реализации элементов ведомственной ДКМВ когнитивной радиосвязи и определяется перечень задач, требующих решения при создании единой когнитивной системы ДКМВ связи.

1. SDR-технологии как переход к когнитивному радио

Известно [1–4], что в системах связи специального назначения уделяется значительное внимание средствам «прямой» радиосвязи, обеспечивающим возможности оперативного обмена информацией между абонентами минуя каналы и линии первичной сети связи и сетей связи общего пользования. К классу таких средств относятся линии декаметровой (ДКМ, 100 м ÷ 10 м) радиосвязи, которые находят широкое применение практически во всех звеньях управления.

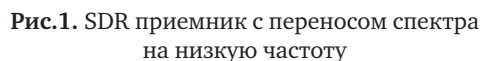
- возможность доведения информации на дальние и сверхдальние (до 12 тыс. км и более) расстояния;
- сравнительно низкая стоимость и компактность технических средств ДКМ радиолиний.

Особое место ДКМ радиосвязь занимает при организации обмена данными между удалёнными абонентами гражданских и военных ведомств, например для организации связи с абонентами в труднодоступных районах, доведения команд до надводных кораблей и решения ряда других специальных задач. Кроме того, ДКМ радиосвязь имеет важное значение как резервный вид связи. Поэтому поиск путей её эффективного развития является важной и актуальной задачей, решение которой требует модернизации принципов организации и управления сетями ДКМ радиосвязи и внедрения новых радиолиний, основанных на применении SDR-технологий.

В соответствии с резолюцией МСЭ-R2117 «...SDR – это устройство с программируемыми параметрами: передатчик и/или радиоприемное устройство, использующие технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения установить или изменить рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность...».

Пример схемной реализации SDR радиоприемника с переносом спектра на низкую частоту представлен на рисунке 1 (SDR приёмник первого поколения). Недостаток данной схемной реализации в том, что спектр принимаемого сигнала сначала переносится на звуковую частоту и затем начинается его обработка. В качестве аналого-цифрового преобразователя (АЦП) может быть использована звуковая карта, она и определяет основные характеристики приёмника.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности использования SDR-технологий является создание радиоприемных устройств с системой графического отображения сигналов в виде спектрограммы. К таким РПУ может быть отнесен цифровой радиоприемник декаметрового диапазона волн ST-093, работающий под управлением IBM PC [6]. Подключение ПК, позволяющего осуществлять просмотр спектрограмм осуществляется по стыку RS-232 (см. рисунок 2).



Целесообразность графического представления принимаемого сигнала обусловлена, в частности, следующими предпосылками.

Для ДКМ канала характерно наличие помех естественного и искусственного происхождения, а также искажение принимаемого сигнала из-за эффекта «многолучёвости», что приводит к снижению вероятности приёма сообщений в автоматизированных ДКМ системах связи. С учётом этого для передачи сообщений в ряде случаев применяется параллельная передача: по автоматизированной радиолинии с соответствующей сигнально-кодовой конструкцией, а также передача текста в коде «азбуки Морзе» с последующим его приёмом дежурным оператором в «слуховом режиме». Это связано с тем, что система слухового восприятия у человека способна адаптироваться к посторонним шумам и определять наличие полезного сигнала даже при соотношении сигнал/шум менее 1.

Вместе с тем, зрительное восприятие человеком заранее заданного образа (геометрической фигуры, отрезка линии и т.д.) обеспечивается при потере или искажении до 90 % элементов изображения в результате воздействия помех (шумов) на его фрагменты, позволяя отождествить оставшиеся элементы изображения с заданным образом. Это определяется важной особенностью нейронной сети мозга человека по восстановлению полного ключевого образа, хранящегося в памяти, по неполным и искажённым данным [7].

Испытания, проведённые ПАО «Интелтех» на реальных радиотрассах, показали, что визуальный приём сигналов азбуки Морзе, с использованием приёмника, отображающего на мониторе временную spectrogramму сигнала (рисунок 3), позволяет зрительно зарегистрировать передаваемую информацию, даже в том случае, когда в слуховом режиме приём невозможен из-за слишком низкого соотношения сигнал/помеха (рисунок 4).

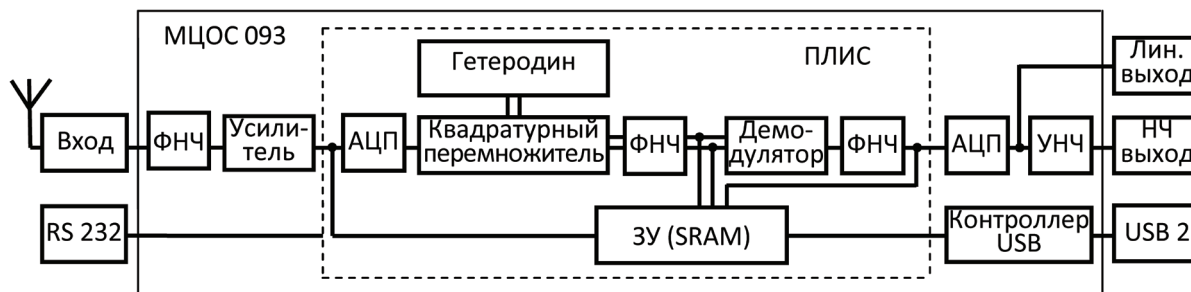


Рис.2. Структурная схема цифрового радиоприемного устройства ST-093

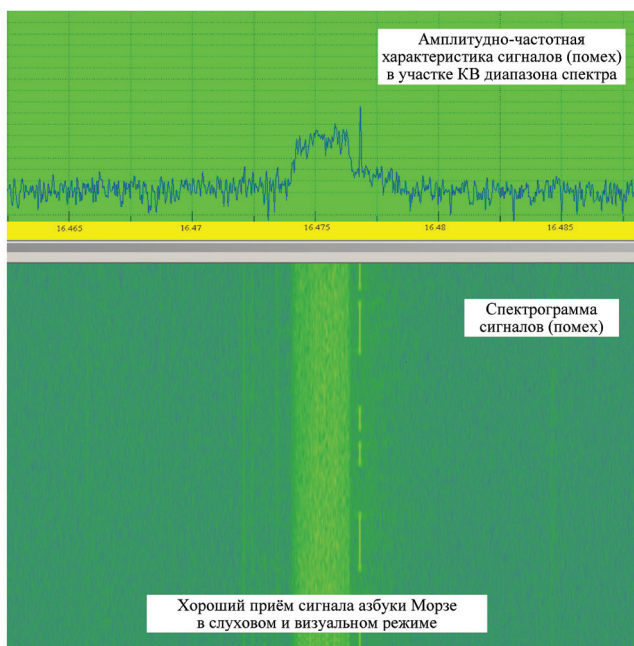


Рис.3. Визуальный прием слухового телеграфа (Азбука Морзе)

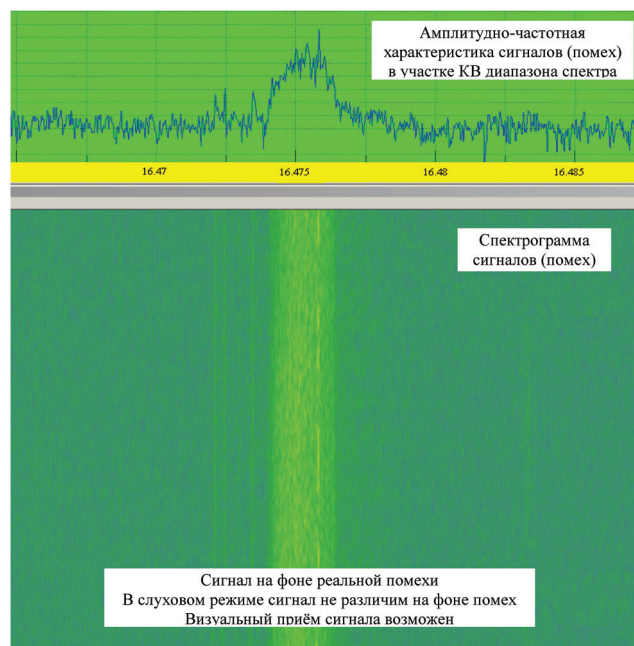


Рис.4. Слуховой режим приема невозможен из-за низкого соотношения сигнал/помеха (визуальный прием возможен)

Визуализация сигнала, т.е. его графическое отображение на экране монитора в реальном масштабе времени является эффективным средством для разработчиков новых радиотехнологий, глубокого исследования особенностей распространения сигналов и создания на базе полученных знаний новых методов передачи и приема сообщений.

Одними из технических средств, частично реализующих решение данных задач, являются профессиональные анализаторы спектра зарубежных фирм Agilent, Tectronics и Rohde&Schwarz [8-10].

На рисунке 5 изображен тракт обработки сигнала в анализаторе спектра R&S FPS. Анализатор делает выборку сигнала промежуточной частоты 128 МГц и, после кадрирования во временной области, преобразует ее в частотное представление. При этом прибор рассчитывает до 250 000 спектров в секунду. Для отображения на экране объединяются отдельные спектры в детекторе. Поскольку глаз человека не способен воспринять такое большое количество спектральных изображений,

анализатор ограничивает скорость их обновления на экране до 30 кадров в секунду (рисунок 5).

В анализаторах спектра реального времени (АСРВ) [9, 10] с помощью АЦП и блока памяти сигнал промежуточной частоты оцифровывается, запоминается и детектируется цифровым детектором. При этом группы кадров – блоки – подвергаются цифровой обработке сигналов (ЦОС) с применением короткого (быстрого) оконного преобразования Фурье (БПФ). Анализируемый участок спектра последовательно просматривается коротким окном и строится спектрограмма в плоскости «время-частота» с представлением амплитуды цветом (рисунок 6). В отличие от АСРВ в обычных анализаторах спектр строится в плоскости «амплитуда-частота», что делает их неэффективными для анализа нестационарных сигналов и не дает привязки компонентов спектра ко времени. Применение БПФ, высокоскоростная ЦОС, хранение спектров реального времени в памяти и применение технологии цифрового фосфора (имитация послесвечения на дисплее) позволяют объединить в

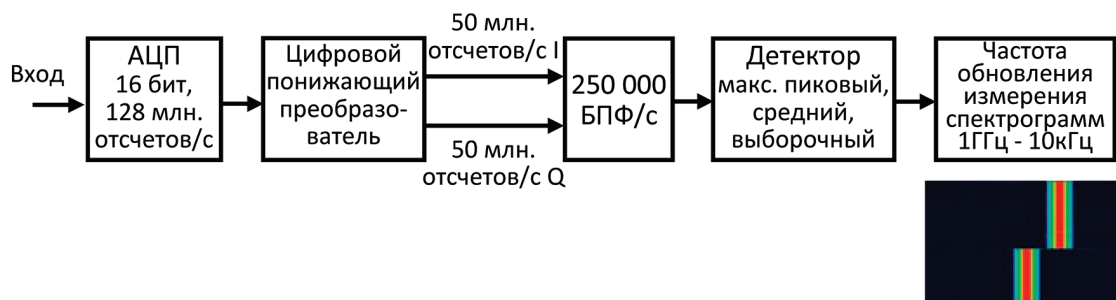


Рис.5. Тракт обработки сигнала анализатором спектра в реальном масштабе времени с отображением спектрограммы (I, Q- квадратурные составляющие сигнала)

АСРВ достоинства предшествующих поколений анализаторов с новейшими достижениями в области цифровой обработки сигналов, при этом становится возможным анализ нестационарных сигналов с изменяемыми во времени параметрами, в том числе сигналов с ППРЧ.

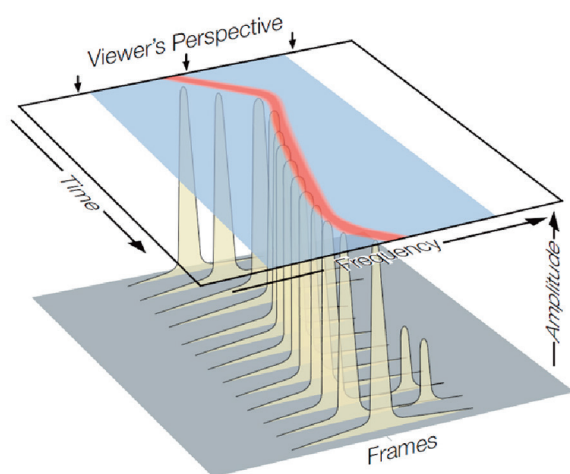


Рис.6. Принцип построения спектрограммы

В анализаторах спектра указанных выше зарубежных фирм реализуется принцип параллельно-последовательного частотного анализа сигнала, что не всегда позволяет зарегистрировать кратковременные импульсы. Кроме того, в этих анализаторах динамический диапазон как правило не превышает 100 дБ, что недостаточно для исследования сигналов в декаметровом диапазоне волн.

Вместе с тем, достижения в области SDR-технологии позволяют создать многоканальные радиоприёмные устройства (РПУ) с независимыми параллельными каналами приёма. Серийно уже выпускаются 32(64)-канальные РПУ с высоким динамическим диапазоном и чувствительностью, описание которых приведено в [11].

2. Возможности новых алгоритмов цифровой обработки сигналов

Анализ характеристик перспективной элементной базы и эффективных алгоритмов обработки цифровых сигналов показывает, что практически возможно реализовать РПУ в стандартном типоразмере Евромеханики (19 дюймов, 4(8) U) с числом независимых каналов параллельного приёма/обработки до 50 – 100 тысяч. Следовательно, при шаге сетки частот установки радиопередающего устройства 100 Гц двумя многоканальными РПУ будет перекрыт диапазон до 20-ти МГц, что фактически является достаточным для реальной декаметровой связи.

Это дает возможность внедрения нового способа доведения сообщений до удалённых объектов по ДКМ радиоканалу без необходимости установки частоты передачи на приёмном радиоцентре и в то же время позволяющего вести передачу на оптимальной для данного момента времени частоте [12]. Кроме того,

такое МРПУ с программным управлением сеткой частот является основной альтернативой рассмотренных анализаторов спектра при решении задач когнитивной радиосвязи в части визуального и автоматического мониторинга радиочастотного диапазона.

Одним из основных элементов такого МРПУ является «гребёнка» цифровых фильтров.

Еще недавно задача мониторинга широкого частотного диапазона (ШЧД) сводилась к его разбиению гребенкой фильтров на ограниченное множество поддиапазонов, а единственным предъявляемым требованием к фильтрам было отсутствие пропусков в полосе частот между ними. Постоянно растущее разнообразие типов модуляции, уплотнение каналов, использование одной полосы частот в системе множественного доступа коренным образом поменяло и требования к параметрам цифровых фильтров (ЦФ). Поскольку вторичная обработка выделенного сигнала производится в спектральной области, характеристики фильтров селекции должны быть максимально согласованы со спектром принимаемого сигнала. Усложнение требований к фильтрам для задач мониторинга ШЧД выдвинуло на первый план проблему разработки путей преодоления ограничений, обусловленных имеющимися ресурсами: возможностями элементной базы, допустимой величиной программно-аппаратных затрат.

Первый крупный вклад в теорию цифровой обработки сигналов, касающийся анализа и синтеза цифровых фильтров, был сделан Кайзером; он показал, как можно рассчитывать цифровые фильтры с нужными характеристиками, используя билинейное преобразование. Примерно тогда же (1965 г.) появилась статья Кули и Тюки о быстром методе вычисления дискретного преобразования Фурье [13], давшая мощный толчок развитию этого нового технического направления. Позже метод был развит и стал широко известен как быстрое преобразование Фурье (БПФ). Опубликование статьи Кули и Тюки ускорило развитие строгой и достаточно полной теории цифровой фильтрации.

Заметный вклад в развитие цифровой фильтрации внесли отечественные ученые В.В. Витязев, Л.М. Гольденберг, В.П. Дворкович, Б.Д. Матюшкин, А.Б. Сергиенко, А.И. Солонина. Первая школа ЦОС в России была создана Артуром Абрамовичем Ланнэ при ЛЭИС им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, выпускниками которой разработаны уникальные методы, алгоритмы и программы цифровой обработки (в том числе фильтрации) сигналов [14, 15].

При проектировании фильтров необходимо выполнить заданные равномерные требования при минимальном порядке передаточной функции (ПФ) или минимальной длине импульсной характеристики (ИХ). С позиций цифровой обработки сигнала, а также учитывая особенности современной аппаратной базы, представляется целесообразным иной подход к экономному построению цифровых цепей. В качестве возможного и целесообразного параметра предлага-

ется рассматривать число операций на один выходной отсчет в установившемся режиме. Если принять этот показатель, то уменьшение числа ненулевых коэффициентов в ПФ фильтра, при выполнении тех же требований к АЧХ, является, безусловно, полезным результатом, упрощающим схему и уменьшающим W (количество сумматоров). Это эквивалентно расширению частотного диапазона или увеличению, например, числа синтезируемых фильтров на одном ПЛИС. Помимо изложенного, уменьшение числа умножителей в ряде случаев приводит к снижению уровня внутренних шумов.

Фактически в современных МРПУ, решающих задачи мониторинга ШЧД с использованием методов многоканальной цифровой фильтрации, необходим синтез банка цифровых фильтров, который предназначен для разбиения частотной полосы входного сигнала на несколько подканалов. В рассматриваемом случае банк фильтров представляет совокупность однотипных полосовых фильтров, перекрывающих весь исследуемый частотный диапазон.

В работе [16] предложены методы цифровой фильтрации, повышающие качество обработки информации в задачах мониторинга ШЧД и эффективность по критерию минимума вычислительной сложности и аппаратных затрат, а также обосновано применение новых структур ЦФ, обеспечивающих сокращение вычислительной сложности алгоритмов фильтрации. При этом разработанные цифровые фильтры могут быть синтезированы из элементарных звеньев, подобно изображенному на рисунке 7, без использования операций умножения.

Каскадным соединением таких субструктур можно синтезировать фильтры, обладающие различными амплитудно-частотными характеристиками и соответствующие заданным требованиям по таким критериям, как ширина полосы пропускания фильтра, подавление боковых лепестков, прямоугольность и т.д.

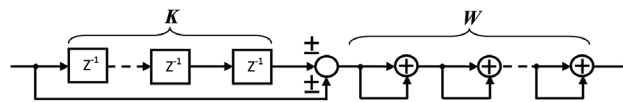


Рис.7. Структурная схема элементарного звена, где K – количество задержек; W – весовой коэффициент (количество сумматоров)

3. Технологическое оборудование для разработки эффективных средств когнитивной радиосвязи

Методы, аналогичные рассмотренным выше, позволяют резко сократить используемое количество ПЛИС при построении МРПУ. Так, например, 16,5 тыс. каналов приёма реализуется в зависимости от заданных требований к МРПУ на 25-30 ПЛИС.

В настоящее время ПАО «Интелтех», совместно с Военной академией связи реализовали макет такого многоканального перепрограммируемого радиоприемного устройства с параллельной обработкой сигналов, являющегося основой для создания промышленного образца комплекса радиомониторинга широкого назначения.

Использование принципов реализации многоканального широкодиапазонного радиоприемного устройства на основе SDR-технологий позволяет создать не только новые помехозащищенные радиолинии СДВ-УКВ диапазона, но также получить современное технологическое оборудование, обеспечивающее повышение качества, снижение сроков разработок и внедрения новых радиосредств и радиолиний. Данная технология может быть использована как инструментальный для построения и исследования моделей когнитивных радиосистем, позволяющих вести, помимо мониторинга, расчет и анализ состояния среды эксплуатации, определять коэффициенты корреляции условий РРВ при разнесенном приеме и прогнозировать использование различных видов ресурсов радиоцентров.

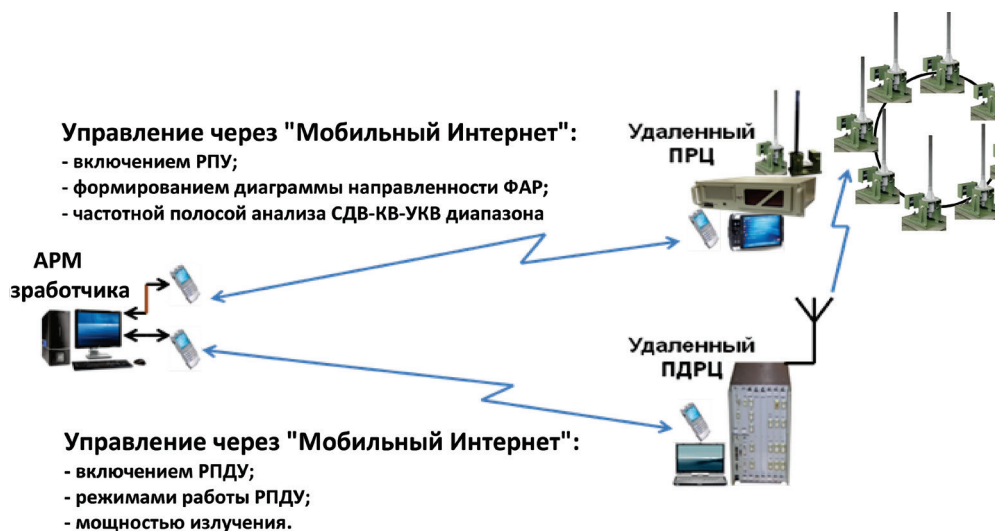


Рис.8. Структурная схема реализации комплекса технологического оборудования

Структурная схема реализации комплекса технологического оборудования, в основном реализующего указанные задачи, представлена на рисунке 8.

При этом для связи с удаленными объектами в исследовательских целях используются каналы мобильного интернета, а для систем специального назначения предполагается задействование защищённых каналов спутниковой (радиорелейной) либо волоконно-оптической связи. В качестве приёмного антенного устройства целесообразно применить фазированную кольцевую антенную решётку (ФАР) с дистанционно управляемой диаграммой направленности.

Для примера на верхней части рисунков 9 и 10 представлены записи сигналов из эфира в участке ДКМВ диапазона, наблюдаемые на экране АРМ разработчика в режиме панорамного радиоприёмника, а на нижней части - приведены параллельные записи, сделанные в режиме временной развёртки сигналов во всей частотной полосе анализа спектрограммы. Программно изменяя скорость временной развёртки сигналов, можно визуально наблюдать не только излучения в режиме телеграфирования со скоростью $V=50 \div 100$ бит/с (фрагмент А на рисунке 9), но также и импульсные сигналы длительностью менее 10 мс, передаваемые в режиме ППРЧ (фрагмент А на рисунке 10). На рисунке 9 (фрагмент Б) также можно наблюдать характер отображения на спектрограмме линейно-частотно модулированного (ЛЧМ) сигнала, используемого для зондирования ионосферы.

На фрагменте А рисунка 11 отображён пилообразный ЛЧМ сигнал под сосредоточенной помехой, а на фрагменте Б - сложный пилообразный ЛЧМ сигнал под шумовой помехой, выделить который с помощью классического энергетического обнаружителя [17] не представляется возможным. На фрагментах рисунка продемонстрированы возможности повышения эффективности визуального восприятия сигналов с низкой энергетикой за счет изменения цветопередачи на экране монитора.

Таким образом, анализатор спектра на базе МРПУ как в визуальном, так и в автоматическом режимах может обеспечить реализацию мониторинга радиоэлектронной обстановки в заданном частотном диапазоне, а также получение первичных данных для функционирования системы когнитивной ДКМВ радиосвязи, обобщенная структура которой представлена на рисунке 12.

Внедрение такой системы позволит обеспечить:

- реализацию алгоритма мониторинга градиента изменения суммарного уровня сигналов и помех (в том числе и преднамеренных) в КВ диапазоне волн в интересах узлов связи и радиоцентров РФ;
- повышение безопасности связи при ведении радиообмена на радиоперелиниях (радиосетях, в радионаправлениях);
- увеличение объема проводимого непрерывного и полного радиоконтроля, повышение его объективности и действенности;

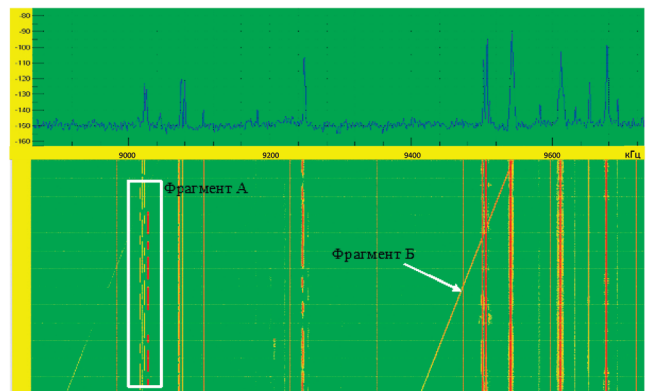


Рис.9. Масштабированная спектрограмма действующих радиоперелиний дециметрового диапазона волн, полученная с помощью разработанного МРПУ: фрагмент А - прием сигналов в режиме амплитудной телеграфии; фрагмент Б - отображение ЛЧМ сигнала, используемого для зондирования ионосферы

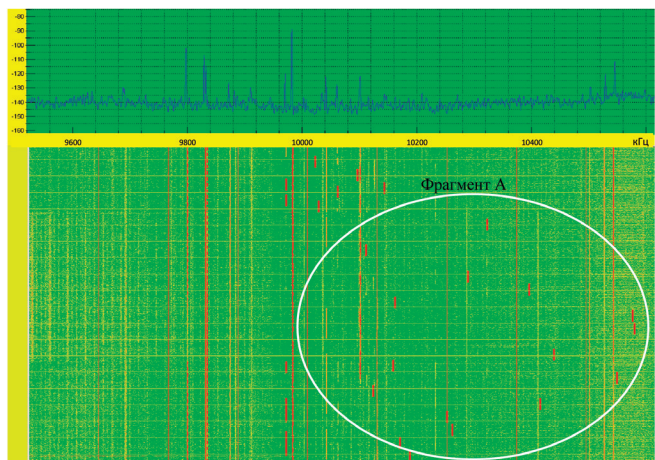


Рис.10. Запись спектрограммы, сделанная в режиме временной развёртки сигналов. Фрагмент А - сигнал, передаваемый в режиме ППРЧ

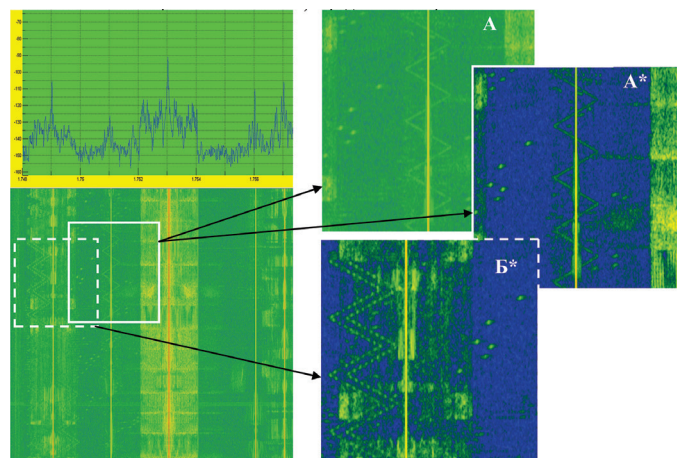


Рис.11. Спектрограмма широкополосного сигнала под помехой: фрагмент А - пилообразный ЛЧМ сигнал под сосредоточенной помехой; фрагмент Б - сложный пилообразный ЛЧМ сигнал под шумовой помехой; * - спектрограмма в градациях синего

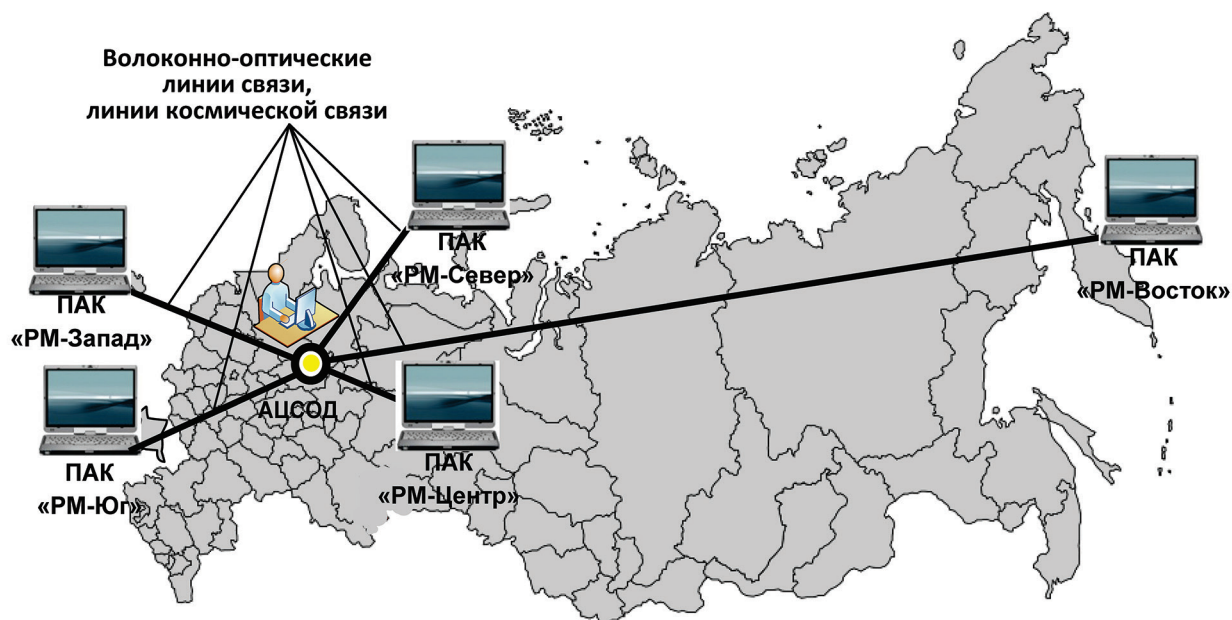


Рис.12. Система мониторинга радиоэлектронной обстановки в интересах радио-частотного обеспечения функционирования сети когнитивной дециметровой радиосвязи

- поддержку принятия решения для различных вариантов применения аппаратно-программных комплексов (АПК) контроля безопасности связи и АПК комплексного технического контроля различных ведомств;

- определение факта функционирования радиостанций и отдельных радиосредств по контрольному приему сообщений, передаваемых в соответствии с действующим частотно-временным расписанием;

- поиск сохранившихся пунктов управления в особых условиях;

- предоставление абонентам сети оптимальных частотно-временных ресурсов в реальном масштабе времени.

4. Создание единой системы радиомониторинга

На первом этапе создания единой системы радиомониторинга целесообразно реализовать и оценить эффективность функционирования ведомственной системы радиомониторинга когнитивной связи (СРКС), структура построения которой фактически соответствует территориально-распределенной системе, аналогичной представленной на рисунке 12.

В состав данной системы должны входить автоматизированный центр сбора и обработки данных (АЦСОД), сопряженный с территориально-разнесенными программно-аппаратными комплексами радиомониторинга (ПАК РМ) ведомства в каждом регионе: ПАК «РМ-Центр», ПАК «РМ-Запад», ПАК «РМ-Восток», ПАК «РМ-Юг» и ПАК «РМ-Север». Обобщенный состав и структура взаимодействия основных элементов системы радиомониторинга представлена на рисунке 13.

Основными элементами АЦСОД являются база данных (БД) и модуль решения расчетных задач (МРРЗ).

В каждый из территориально-разнесенных ПАК РМ входят панорамное МРПУ, кольцевая дистанционно-управляемая ФАР и средства дистанционного управления устройствами ПАК РМ.

Выделение рабочих частот (частотных диапазонов) осуществляется по заявке абонента в АЦСОД. При этом заявка от абонента должна содержать следующие исходные данные по формируемой радиолинии:

- географические координаты пунктов передачи и приема;

- излучаемая мощность;

- тип антенно-фидерных устройств радиопередатчика и радиоприемника;

- вид модуляции и режим передачи информации;

- необходимое соотношение сигнал/помеха в точке приема.

Территориально-разнесенные ПАК РМ постоянно, в реальном масштабе времени, осуществляют сбор и доведение до АЦСОД статистических данных:

- от ионосферно-волновой (ИВС) и частотно-диспетчерской (ЧДС) служб ведомства;

- ПАК наклонного зондирования ионосферы, в том числе и от международных центров зондирования ионосферы;

- мощных вещательных радиостанций мира;

- зарегистрированных абонентов ДКМВ-радиосети и других энергетически-доступных излучателей.

В расчетном модуле АЦСОД реализуется определение оптимального диапазона рабочих частот, с учетом имеющихся в БД «запрещенных» частотных участков.

При определении указанного оптимального диапазона учитывается время года (зима/лето), время суток (день/ночь), географическое направление и протяженность трассы, а также данные постоянного мониторинга (рисунок 13).

Кроме того в МРРЗ осуществляется расчет порогового (максимального) уровня помех различного типа

(случайных и преднамеренных) в точке приёма (hпор) [17, 18].

Необходимые исходные данные по напряженности поля в точке приема для определения hпор вычисляются по методике, разработанной в Южном Федеральном университете. Блок-схема алгоритма расчета представлен на рисунке 14 [19].

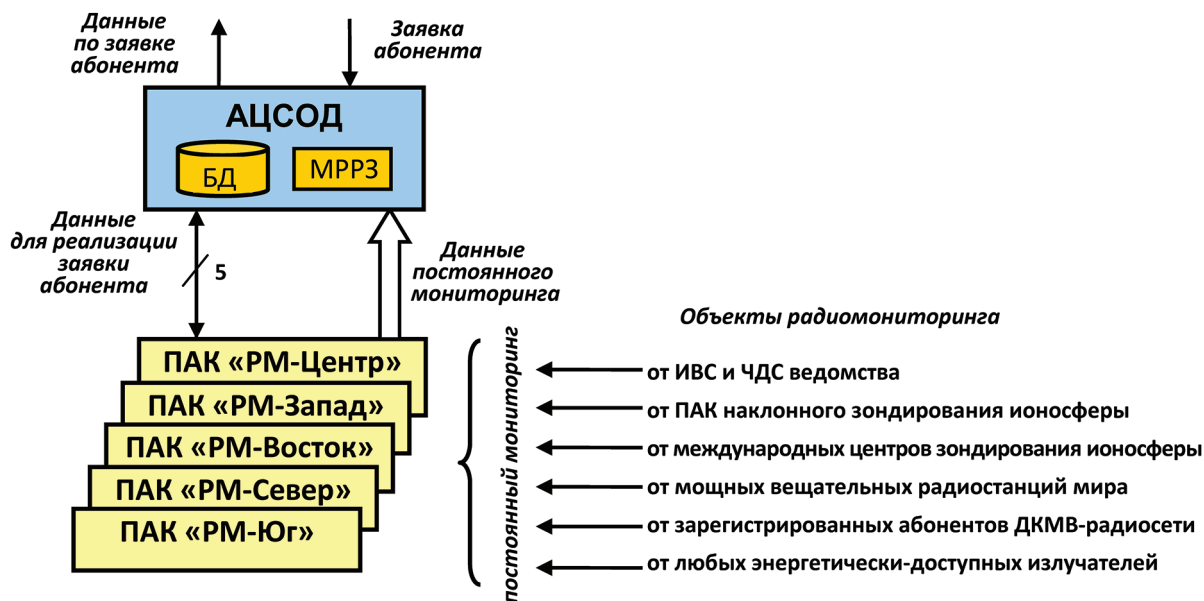


Рис.13. Структура взаимодействия элементов системы радиомониторинга

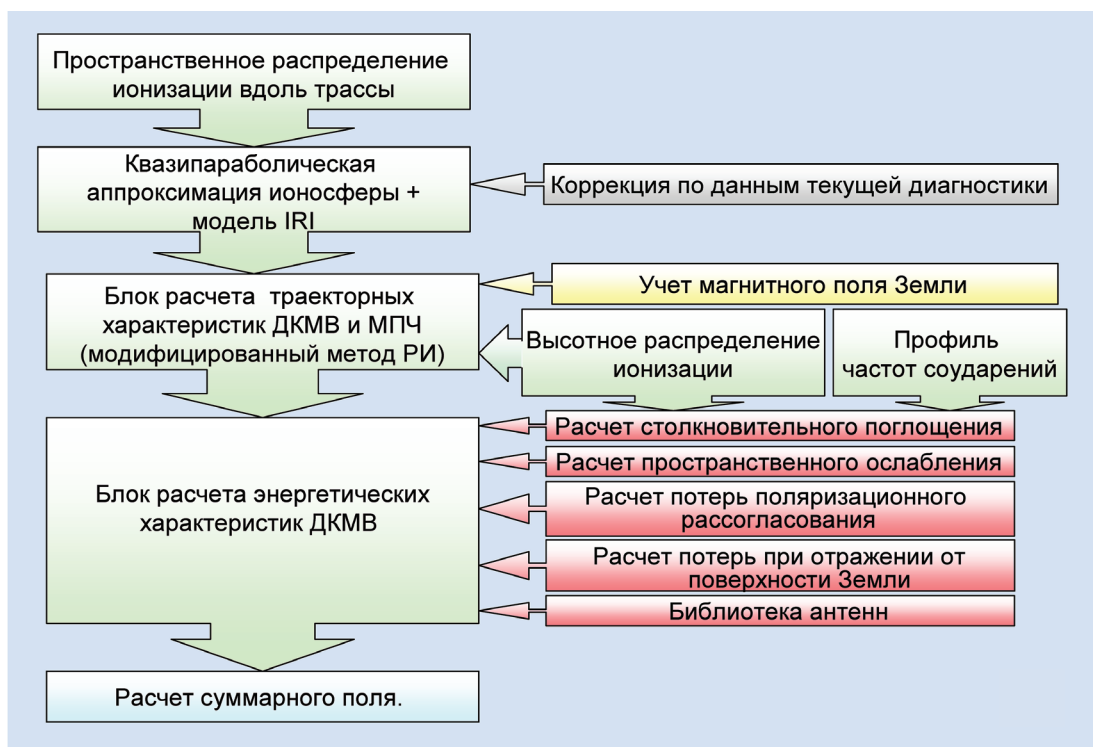


Рис.14. Блок-схема алгоритма расчета

На модули установки частот МРПУ каждого территориально-разнесенного ПАК РМ от АЦСОД поступают расчетные данные по диапазону частот и $h_{пор}$ (рисунок 15).

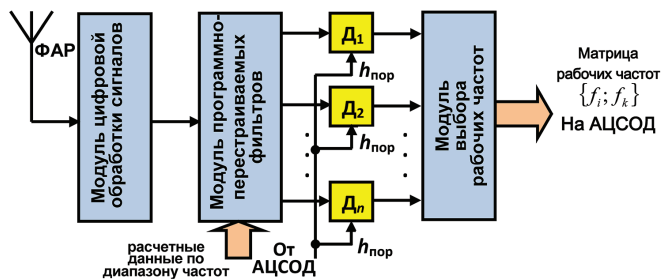


Рис.15. Блок-схема формирования матрицы рабочих частот

На выходе каждого i -го ($i=1,2,\dots,n$) канала блока перестраиваемых фильтров, входящего в состав МРПУ, установлен демодулятор (ДМ) обеспечивающий определение пригодности анализируемой частоты для формирования матрицы рабочих частот с учетом заданного порогового уровня $h_{пор}$ сосредоточенной помехи и шума в каждом частотном канале.

Блок-схема автокорреляционного демодулятора, обеспечивающего оценку уровня априори неизвестного сигнала, построенного аналогично схеме энергетического обнаружителя [17] представлена на рисунке 16.

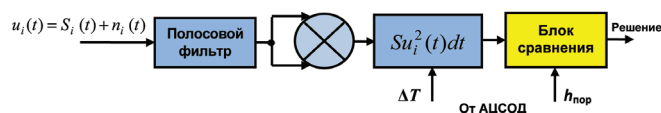


Рис.16. Блок-схема построения демодулятора

Матрицы рабочих частот, поступающие от всех территориально-разнесенных ПАК РМ используются для формирования комплекта совместимых рабочих частот (КСРЧ) на АЦСОД.

На завершающем этапе алгоритма осуществляется расчет и выдача абоненту оптимальной частоты с учетом КСРЧ и временного интервала работы, имеющих в БД характеристик функционирующих в диапазоне ДКМВ радиосредств, географического их расположения, мощности, виду модуляции, полос частот излучения, типе и ориентации антенн в пространстве и других источников излучения (помех).

Необходимо отметить, что создаваемая БД, входящая в состав АЦСОД, должна обладать свойством «самообучения», т.е. быть интеллектуальной, способной «набирать» в процессе функционирования статистику по всем излучателям в диапазоне ДКМВ, классифицировать, распознавать и прогнозировать их работу [20].

При этом к задачам интеллектуальной базы данных АЦСОД можно отнести:

- внесение данных, их хранение и набор статистики о лицензированных радиосредствах (частота, мощность, географическое размещение, режимы работы);

- набор статистики по характеристикам работы радиосредств, не внесенных в базу данных;

- идентификация и классификация излучателей по заданным параметрам;

- решение расчетных задач в реальном масштабе времени по запросам абонентов сети (выделяемая полоса частот, рекомендуемая мощность радиопередающего устройства, время работы и т.д.).

Таким образом, АЦСОД позволит абоненту сети не только запрашивать необходимый частотно-временной ресурс для работы но также получать и другие сведения в обеспечение решаемых задач (справочные данные по функционированию конкретных излучателей, идентификация передающих средств по «радиопортретам», обнаружение работы передающих средств с определенными режимами и видами модуляции и т.п.)

Исходя из изложенных выше материалов следует, что задачи обработки информации в пространственно-распределенных системах радиомониторинга, входящих в состав когнитивной сети связи, можно отнести к задачам высокой сложности.

В настоящее время развивается перспективное направление построения сложных алгоритмов обработки информации с помощью аппарата искусственных нейронных сетей (НС) [21], базирующегося на ряде теорем, определяющих аппроксимирующие свойства многослойных НС. Аппарат искусственных НС целесообразно использовать, в том числе, для описания поведения элементов и процессов [22], математическая модель которых может быть формально записана [23], но сложна и требует значительных вычислительных ресурсов при непосредственном воспроизведении.

Очевидно, что указанное направление исследований соответствует проблемам, решаемым в АЦСОД когнитивной системы связи, и будет рассмотрено авторами в дальнейшем.

Заключение

На сегодня практически весь радиочастотный диапазон распределен и лицензирован, однако используется достаточно не эффективно. Внедрение когнитивной связи для радиочастотного спектра, в том числе для декаметрового диапазона, позволит существенно повысить характеристики связи в части устойчивости и безопасности в условиях воздействия случайных и преднамеренных помех.

Динамичное развитие в настоящее время технических средств, реализуемых на основе внедрения SDR-технологий, алгоритмов обработки цифровой информации с использованием аппарата искусственных нейронных сетей, позволяет в ближайшее время создать эффективную ведомственную когнитивную систему радиосвязи и мониторинга в декаметровом диапазоне волн.

Литература

1. Авдонин Д.В., Рындык А.Г. Интеллектуальные радиосистемы: когнитивное радио // Информационные

технологии. Системы, средства связи и управления: Информационно-аналитический сборник / Под ред. С.В. Ионина; ОАО «Концерн «Созвездие». – Воронеж, 2012. №1. С. 115 – 117.

2. Mitola J. III. Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications // Mobile Multimedia Communications (MoMuC'99), IEEE International Workshop, San Diego, CA, USA, Nov. 1999. – P. 3-10.

3. Кизима С.В., Митченков С.Г., Емельяников Б.Б. Когнитивные радиотехнологии. Аспекты практической реализации // Электросвязь. 2014. №9. С. 43- 47.

4 Бутенко В.В., Пастух С.Ю. Итоги Всемирной конференции радиосвязи 2012 года // Электросвязь. 2012. №3. С. 5-11.

5. Михалевский Л.В. Когнитивное радио – передовая технология на пути к более рациональному использованию радиочастотного спектра. / Материалы НТС МСЭ (Армения, 28-30 апреля 2008 г.).

6. Панорамный цифровой приемник «ST-093»: Руководство по эксплуатации СКФТ.467149.008РЭ.

7. Евин И.А. Синергетика мозга - М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005, 108 с.

8. Анализатор спектра в реальном масштабе времени R&S FSVR, R&S FPS [электронный ресурс] / www.rohde-schwarz.com

9. Fundamentals of Real-Time Spectrum Analysis. Tektronix. P. 52. [электронный ресурс] / www.Tektronix.com/rsa.

10. Дьяконов В.П. Современные цифровые анализаторы спектра. // Компоненты и технологии, 2010, №5.

11. Банников И.М., Березовский В.А., Валеев М.М., Хазан Г.К. Радиоприёмные устройства и радиоприёмные комплексы перспективных узлов коротковолновой связи. / Международная научно-техническая конференция «Радиотехника, электроника и связь, РЭС-2011», 2011. С. 121-125.

12. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А. Перспективные методы повышения помехоустойчивости декаметровых радиолний // Научное издание технологии в космических исследованиях Земли, №1,

2014. - С. 30-37.

13. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. / Пер. с англ. - М., 1989. 448 с.

14. Цифровая обработка сигналов. Специальный выпуск/Под ред. Ланнэ А.А. // Изв. вузов Радиоэлектроника. 1987. Т. 30 № 12. - 79 с.

15. Каплун Д.И., Ланнэ А.А., Меркучева Т.В. Новый метод синтеза цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой. // Вестник Академии военных наук. – Москва, 2009. - №3(28). – С. 80-83.

16. Kaplun, D.I. Octave Band Digital Filtering on 12th International Student Olympiad on Automatic Control (Baltic Olympiad). – Saint-Petersburg: SPb State Polytechnical University, SPb State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2008. – PP. 127-132.

17. Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба. – М, Вузовская книга, 2013, - 360 с.

18. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений, изд. 2. - М.: Сов. радио, 1970. – 728 с.

19. Барабашов Б.Г., Анишин М.М., Огарь А.С. Прогнозирование качества передачи дискретных сообщений по ионосферному анализу. - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2013.

20. Пастух С.Ю., Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Гасс Я.М. Современные подходы к созданию специальных баз данных для автоматизированных систем управления когнитивными радиосистемами // Электросвязь. 2012. №1. С. 26-29.

21. Кирсанов Э.А., Сирота А. А. Обработка информации в пространственно-распределенных системах радиомониторинга: статистический и нейросетевой подходы. - М.: Физматлит, 2012. - 344 с.

22. Будко П.А., Фомин Л.А., Гахова Н.Н. Информационные аспекты внутренней организации телекоммуникационных систем. Биомедицинская радиоэлектроника. 2003. №6. С. 10-16.

23. Фомин Л.А., Будко П.А., Шлаев Д.В. Нейрофизиологическая модель управления распределенной системой // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2008. №7. С. 62-68.

SDR OF THE RADIO DEVICE AND COGNITIVE RADIO COMMUNICATION IN THE DECA-METER RANGE OF FREQUENCIES

Nikolashin Yu., Ph.D, PAO «Intelteh»,
intelteh@inteltech.ru

Kuleshov I., Ph.D, associate professor, PAO «Intelteh»
on scientific work, intelteh@inteltech.ru

Budko P., Doc.Tech.Sci., professor, PAO «Intelteh»,
budko62@mail.ru

Zholdasov E., Ph.D, associate professor, Military
Academy of communications, erkingolldasov@mail.ru

Zhukov G., Ph.D, associate professor, PAO «Intelteh»,
intelteh@inteltech.ru

Abstract

Now practically all frequency range is distributed and licensed, however thus, the range as a precious natural resource, is used insufficiently effectively. Essentially the mechanism of dynamic management according to which the secondary users who aren't assigned to this frequency range are given opportunity to transfer messages in the range of primary users at that time until this range is occupied with regular operation of sending devices allows to increase range efficiency. Such mechanism of dynamic management of a range called by cognitive radio is very difficult technically and can be used only in so-called intellectual radio systems. It is offered to expand the range of use of the communication systems working at the principle of cognitive radio in the future from 9 kHz to 300 GHz. The structure of such depart-

mental communication system with programmable parameters is considered. Its distinctive feature is ability to take and analyze information from surrounding radio space, to predict changes of a communication channel and optimum to adapt the services provided to subscribers of a network to the changing parameters of the environment of distribution of radio waves, an interfering situation and loading of frequency range. The hardware-software complexes of means of communication constructed on the basis of SDR technologies have to form the basis of this system of radio monitoring. The multichannel radio-receiving device with system of graphic display of signals in the form of the spectrogram is offered. It is the main alternative of the considered range analyzers at the solution of problems of a cognitive radio communication regarding visual and automatic monitoring of radio-frequency range. It gives the chance of introduction of a new way of bringing messages to remote objects on a decameter radio channel without the need for installation of transmission frequency on the reception radio center and at the same time allowing a message transfer at a frequency, optimum for this time-point. The methods can be referred to resource-saving technologies as they allow: to carry out maintaining a decameter radio communication without binding on the reception party to radio data; to reduce number of the personnel, serving radio lines; to exclude errors of the personnel at reorganization of park of radio receivers of the reception radio center; to lower power of radio lines; to raise economic effect; to increase probability of bringing messages to subscribers due to maintaining a radio communication at optimum working frequencies; to conduct work with the inherited radio lines.

Keywords: a cognitive radio communication, the program defined radio, a decameter radio communication, the multichannel radio-receiving device, optimum working frequency.

References

1. Avdonin D, Rindik A, 2012, 'Intellectual radio systems: cognitive radio//Information technologies. Systems, means of communication and manage-ments: The information and analytical collection', Under the editorship of S. V. Ionov, JSC Sozvezdiye Concern, Voronezh, No1, pp.115-117.
2. Mitola J, 1999, 'Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications', Mobile Multimedia Communications, IEEE International Workshop, San Diego, CA, USA, No V, pp. 3-10.
3. Kizima S, Mitchenkov S, Emelyannikov B, 2014, 'Cognitive radio technologies. Aspects of practical realization', Telecommunication, No. 9, pp. 43 - 47.
4. Butenko V, Shepherd S, 2012, 'Itogi of the World conference of a radio communication of', Telecommunication, No. 3. pp. 5-11.
5. Mikhalevsky L, 2008, 'Cognitive radio – advanced technology on the way to more rational use of a radio-frequency range', Materialya NTS MSE, Armenia, on April 28-30, 2008.
6. 'Panoramic digital ST-093 receiver: Operation manual' SKFT.467149.008RE.
7. Evin I, 2005, 'Synergetics of a brain', Moscow, Regular and chaotic dynamics, 108 p.
8. 'Range analyzer in real time R&S FSVR, R&S FPS', www.rohde-schwarz.com.
9. 'Fundamentals of Real-Time Spectrum Analysis. Tektronix', P. 52, www.Tektronix.com/rsa.
10. D'iaconov V, 2010, 'Modern digital analyzers of a range', Components and technologies, No. 5.
11. Bannikov I, Berezovsky V, Valeev M & Hazan G, 2011, 'The radio-receiving devices and the radio-receiving complexes of perspective knots of short-wave communication', International scientific and technical conference "Radio Engineering, Electronics and Communication, REIS-2011", pp. 121-125.
12. Nikolashin Y, Budko P, Zholdasov E, Zhukov G, 2014, 'Perspective methods of increase of a noise stability of decameter radio lines', H&ES Research, No. 1, pp. 30-37.
13. Bleynut R, 1989, 'Fast algorithms of digital processing of signals', Moscow, 448 p.
14. Lanne A., 1987, 'Digital processing of signals. Special release', News higher education institutions Radio electronics. Vol. 30, No. 12, 79 p.
15. Kaplun D, Lanne F, Merkuhev T, 2009, 'A new method of synthesis of digital filters with the final pulse characteristic', Bulletin of Academy of military sciences, Moscow, No. 3(28), pp. 80-83.
16. Kaplun D, 2008, 'Octave Band Digital Filtering', on 12th International Student Olympiad on Automatic Control (Baltic Olympiad), Saint-Petersburg, State Polytechnical University, SPb State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, pp. 127-132.
17. Kupriyanov A., 2013, 'Radio-electronic fight', Moscow, the High school book, 360 p.
18. Fink L, 1970, 'Theory of transfer of discrete messages', Moscow, Soviet radio, 728 p.
19. Barabashov B, Anishin M, 2013, 'Ogar Ampere-second. Forecasting of quality of transfer of discrete messages on the ionospheric'. Rostov-on-Don, SFU.
20. Pastuh S, Volodina E, Devyatkin E, Ya.M's Gass, 2012, 'Modern approaches to creation of special databases for automated control systems for cognitive radio systems', Telecommunication, No. 1. pp. 26-29.
21. Kirsanov E, Orphan A, 2012, 'Information processing in the space-distributed systems of radio monitoring: statistical and neural network approaches', Moscow, Fizmatlit, 344 p.
22. Budko P, Fomin L, Gakhova N, 2003, 'Information aspects of the internal organization of telecommunication systems', Biomedical radio electronics, No.6, pp. 10-16.
23. Fomin L, Budko P, Shlayev D, 2008, 'Neurophysiological model of management of the distributed system', Neurocomputers: development, application, No.7, pp. 62-68.