УДК 621.396.9

КОГНИТИВНЫЕ РАДИОТЕХНОЛОГИИ. АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

С. В. Кизима, эксперт МСЭ, д.т.н.; 5314368@mail.ru
С. Г. Митченков, заместитель генерального директора НПФ «Радиан-М»; mitchenkov@mail.ru
Б. Б. Емельянников, начальник группы внедрения и сопровождения проектов НПФ «Радиан-М», boris@radian-m.ru

Рассмотрены вопросы реализуемости когнитивных радиотехнологий с учетом опыта разработки и функциональных возможностей действующих автоматизированных систем в области управления использованием радиочастотного спектра.

Ключевые слова: *когнитивное радио, радиочастотный спектр, частотное планирование, радиомониторинг.*

Введение. Уровень востребованности и дефицит радиочастотного ресурса определяют необходимость проработки различных подходов и технологических решений, направленных на повышение эффективности его использования. Это объясняет важность исследований, посвященных технологиям когнитивного радио, которые основаны на использовании временно свободных участков спектра.

Когнитивные радиосистемы реализуют активный технологический подход к определению необходимых полос и номиналов радиочастот согласно актуальным данным оценки занятости радиочастотного спектра (РЧС) в районе применения [1]. Практическая реализуемость когнитивного подхода базируется на принципах самообучения на основе оперативного априорного и апостериорного анализа (мониторинга) загруженности РЧС, определения свободных участков спектра с целью их практического использования когнитивными системами в интересах применения по целевому назначению.

Перспективы реализации когнитивных радиосистем на практике во многом определяются административными аспектами, уровнями актуальности и достоверности данных оценки состояния занятости и загруженности радиочастот в планируемом (требуемом) районе применения когнитивных радиосистем, а также эффективностью правил принятия решений о возможности использования когнитивных радиосистем по целевому назначению.

Когнитивное радио по сути представляет собой дальнейшее развитие фактически проработанного в ряде радиотехнологий принципа программной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) с добавлением на начальном этапе принятия решения о практическом использовании когнитивных радиосистем специальных технологий предварительного оперативного планирования применения и последующего активного онлайн-анализа состояния загруженности радиочастот для реализации принципа ППРЧ.

Принципы когнитивности радиосистем, предопределяющие возможность их применения, в административном смысле включают в себя прежде всего вторичность использования РЧС (использования на вторичной основе), а в технологическом смысле — адаптивность радиосистем в части реализации полос и номиналов радиочастот.

Основополагающие принципы когнитивных радиосистем предопределяют набор функциональных задач, информационных ресурсов и технических средств, необходимых для их практической реализации.

Предлагаемые алгоритмы работы систем когнитивного радио (СКР) содержат следующие основные функциональные задачи [2, 3]:

- определение мест работы приемопередающего оборудования СКР;
- оценка номинальной занятости и загруженности спектра в местах планируемого использования приемопередающего оборудования СКР на основе:

а) данных о радиоэлектронных средствах (РЭС), хранящихся в геолокационной базе данных (БД);

б) данных радиомониторинга;

- определение допустимых параметров приемопередающего оборудования для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) с действующей (защищаемой) группировкой РЭС;
- принятие решения о возможности применения СКР по целевому назначению в реальных условиях в заданном территориальном районе;
- корректировка технических параметров приемопередающего оборудования;
- применение СКР по целевому назначению;
- радиомониторинг радиоэфира в процессе работы СКР с целью обеспечения возможности ее применения, онлайн-контроля занятости и загруженности РЧС в местах использования приемопередающего оборудования СКР для корректировки параметров СКР или прекращения работы СКР ввиду их использования на вторичной основе и недопущения помех другим РЭС в данных полосах радиочастот.

Обобщенная схема обеспечения работы СКР приведена на рис. 1.

Рис. 1. **Схема работы системы когнитивного радио**

В качестве *регулятора СКР*, как правило, выступает администрация связи или уполномоченная организация, регулирующая использование РЧС в районе применения СКР [3]. Регулятор СКР предоставляет информацию о защищаемых РЭС в районе использования СКР, а также назначает оператору полосы частот, применение которых потенциально возможно системой в районе ее использования.

Оператор СКР ведет БД информации об актуальной радиоэлектронной обстановке (геолокационная БД), собирает данные о результатах мониторинга РЧС в местах работы СКР и принимает решение о возможности применения

пользовательского оборудования СРК и его технических параметрах.

Оператор СКР обеспечивает работу пользовательских устройств СКР в масштабах как страны (единый оператор), так и территориального района и заданной полосы радиочастот (локальный оператор). Зона охвата, порядок работы оператора СКР должны определяться регулятором использования РЧС. Функции оператора СКР выполняют организации, уполномоченные администрациями, отвечающими за регулирование использования РЧС.

Оператор связи обеспечивает информационное взаимодействие пользователя и оператора СКР. Если непосредственное сетевое подключение пользователя СКР к оператору СКР отсутствует, их информационное взаимодействие может осуществляться через оператора связи.

Пользовательский сегмент СКР включает оконечное оборудование СКР, обеспечивающее использование РЧС в соответствии с назначенными оператором СКР параметрами и режимами работы.

Рассмотрим реализуемость необходимых **функциональных, технологических и технических этапов, обеспечивающих практическое применение СКР**.

Этап 1. Создание и применение управляющего сервера СКР, его информационное наполнение (обучение) данными о номинальной радиоэлектронной обстановке.

Основным элементом, обеспечивающим эксплуатацию СКР, электромагнитную совместимость СКР с действующей группировкой РЭС, является сервер СКР с геолокационной БД. В состав сервера СКР должны входить следующие разделы данных [2]: о защищаемых РЭС в регионе использования СКР, о текущем местоположении оборудования СКР, о географических характеристиках региона (библиотека цифровых карт местности, содержащих информацию о планово-высотной основе), о результатах мониторинга радиоэфира оборудованием СКР, а также справочные данные критериев ЭМС оборудования СКР и защищаемых РЭС.

В качестве примера на рис. 2 показано размещение в Северо-Западном федеральном округе ТВ-передатчиков, работающих в полосе частот 470–790 МГц. Данная полоса частот зачастую рассматривается в качестве потенциальной полосы частот для использования СКР.

Рис. 2. **Пример размещения действующей группировки РЭС (защищаемых от помех РЭС) в СЗФО**

Кроме того, для оценки потенциальной возможности использования когнитивных радиосистем в приграничных районах БД защищаемых РЭС должна содержать информацию о действующей группировке РЭС сопредельных зарубежных государств. Актуализировать такую информацию позволяет взаимодействие с администрациями связи сопредельных зарубежных государств; можно также руководствоваться информационным циркуляром Бюро радиосвязи по частотам (ИФИК БР) Международного союза электросвязи (МСЭ).

На рис. 3 приведена информация о размещении ТВ-передатчиков, работающих в полосе частот 470–790 МГц, в приграничных районах на территории Украины.

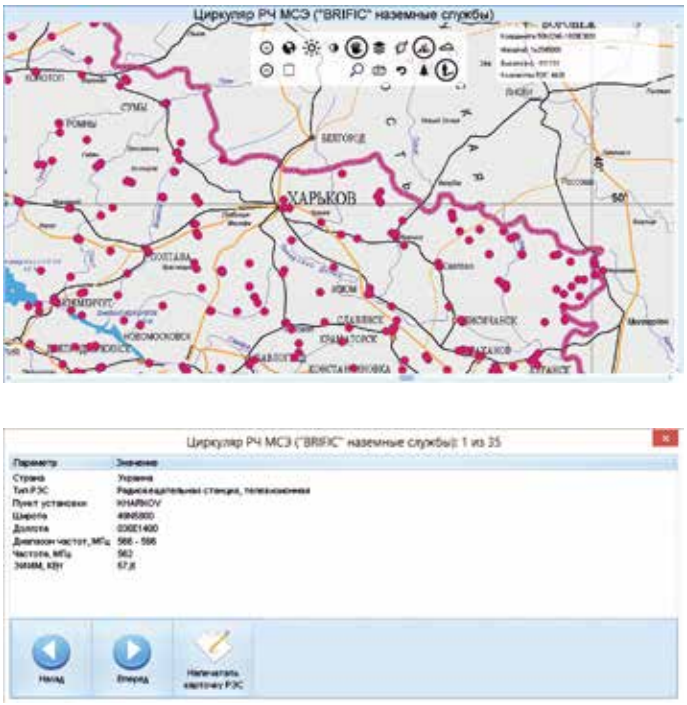


Рис. 3. **Пример информации о действующей группировке РЭС зарубежных государств в приграничных районах в заданных полосах частот**

Информационное наполнение БД сервера СКР требует организации информационно-технического взаимодействия сервера СКР:

а) с администрациями, регулирующими использование РЧС в плане актуализации данных о защищаемых РЭС;

б) с оборудованием СКР в части назначения по запросу СКР технических параметров работы оборудования, а также получения данных о результатах контроля радиоэфира (при технической возможности).

Этап 2. Предварительная оценка возможности реализации СКР и планирование частотного плана СКР по данным разрешительных документов на использование радиочастот и РЭС.

Полоса частот для использования СКР в заданном территориальном районе должна определяться администрацией, обеспечивающей регулирование использования РЧС. В настоящее время для СКР наиболее часто рассматривается полоса частот радиовещательной службы 470–790 МГц [2, 3]. Для использования данной полосы частот БД защищаемых РЭС должна содержать актуальную информацию

о следующих основных типах РЭС, используемых в анализируемой полосе частот:

- РЭС аналогового и цифрового телевещания (включая распределительные станции кабельного телевидения);
- РЭС сухопутно-подвижной службы;
- тропосферные радиорелейные станции;
- РЭС службы космической эксплуатации.

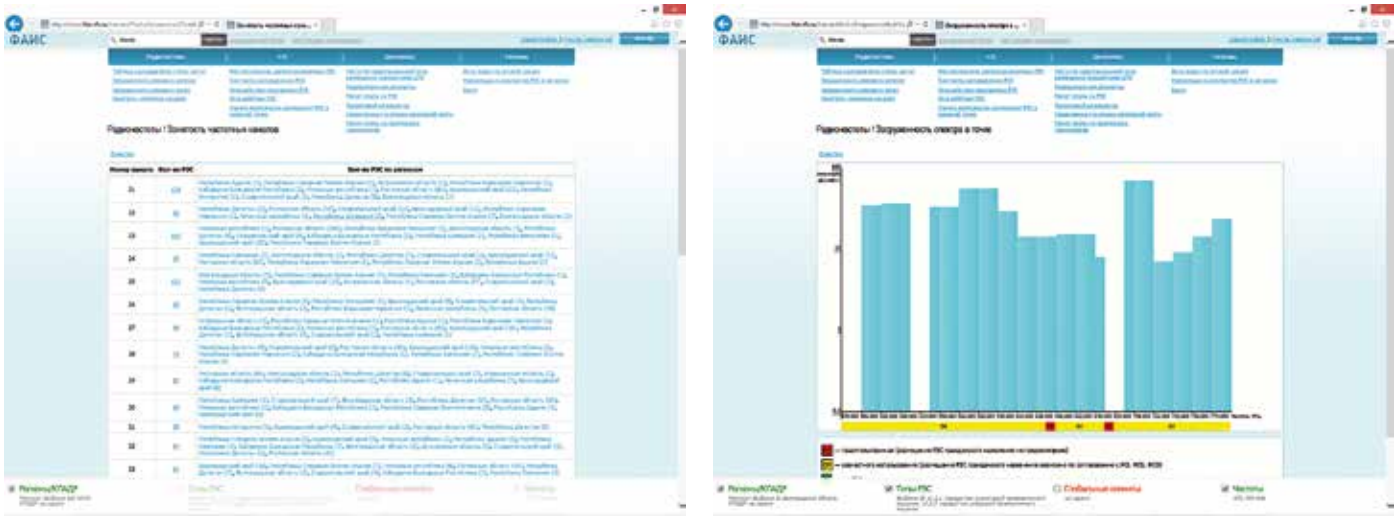
Используя данные о группировке РЭС, необходимо решить следующие задачи:

- априорная оценка радиоэлектронной обстановки;
- априорная оценка состояния загруженности радиочастот в заданном диапазоне в месте планируемого применения когнитивной системы;
- оценка энергетической занятости номиналов и полос радиочастот в заданном диапазоне;
- оценка объема радиочастотного ресурса, потенциально возможного для использования когнитивной системой;
- формирование потенциального динамического частотного и энергетического плана работы когнитивной системы.

На рис. 4 и 5 приведены результаты анализа занятости радиочастотных каналов в территориальных районах, прогноза энергетической занятости заданной полосы частот в районе применения СКР, анализа зон действия действующей группировки РЭС в заданной полосе частот и зоны действия передающего оборудования СКР.

Этап 3. Априорная оценка возможности использования когнитивной системы по данным радиотехнических измерений и радиомониторинга в необходимых полосах радиочастот.

Для снижения вероятности создания помеховых воздействий действующей группировки РЭС в местах планируемого использования когнитивных радиосистем желательно выполнить натурные измерения занятости полос частот с использованием средств радиотехнических измерений. Потенциально решить указанную задачу позволяет созданная территориально распределенная сеть стационарных и подвижных средств радиомониторинга предприятий радиочастотной службы, действующая в составе Автоматизированной системы радиоконтроля за излучениями радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств гражданского назначения РФ (АСРК-РФ). Опционально данную задачу могут выполнять приемные устройства СКР.



а) *б)*

Рис. 4. **Визуализация информации о занятости частотных каналов в территориальных районах (*а*) и оценка априорной энергетической занятости спектра в местах размещения оборудования СКР (*б*)**

а) *б)*

Рис. 5. **Априорная оценка возможных мест потенциального использования когнитивных радиосистем (White Spaces) (*а*) и оценка зоны действия передатчика когнитивных радиосистем в интересах оценки выполнения условий ЭМС (*б*)**

Оценка потенциальной возможности использования когнитивной системы предполагает реализацию следующих измерительных задач:

- спектральный анализ полос частот;
- оценка занятости и загруженности полос частот.

Примеры решения задач оценки возможности использования СКР по результатам радиомониторинга полос частот приведены на рис. 6.

Рис. 6. **Результаты спектрального анализа и определения занятости полос частот для оценки потенциальной возможности использования СКР в заданном территориальном районе**

Этап 4. Текущая оценка возможности использования когнитивной системы по данным радиотехнических измерений и радиомониторинга в необходимых полосах радиочастот в процессе использования когнитивной системы.

В соответствии с алгоритмом работы [2] оборудования СКР опционально должна быть решена задача радиомониторинга планируемых к использованию полос частот. Для этого потенциально может использоваться как приемное устройство в составе РЭС когнитивных систем, так и отдельное внешнее приемное устройство, обеспечивающее радиомониторинг с заданной точностью и имеющее техническую возможность передачи информации о занятости радиочастотного спектра в БД.

Для текущей оценки возможности использования СКР могут применяться технические решения, описанные в рамках этапа 3.

Анализ действующих автоматизированных систем. Необходимые для реализации и функционирования когнитивных радиосистем технологические разработки большей частью уже созданы и успешно применяются для решения ряда практических задач управления использованием РЧС. Заслуживают внимания функциональные возможности Федеральной автоматизированной информационно-аналитической системы в области использования радиочастотного спектра и средств массовой информации (ФАИС), Интернет-портала (ИП) ФАИС (www.fais-rfs.ru) и Автоматизированной системы радиоконтроля за излучениями радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств гражданского назначения РФ (АСРК-РФ). Указанные системы разработаны и эксплуатируются предприятиями радиочастотной службы при Роскомнадзоре.

При разработке и внедрении серверов ФАИС, ИП ФАИС, АСРК-РФ реализован ряд задач, которые приходится решать в процессе создания и функционирования СКР. Перечень функциональных задач и подсистем ФАИС, ИП ФАИС, АСРК-РФ, реализующих технологии СКР, включает:

- предоставление актуальной информации о действующей группировке РЭС гражданского назначения в режиме реального времени (ФАИС, ИП ФАИС, АСРК-РФ) для любого района на территории России;
- ведение информации о группировке РЭС, планируемой к использованию совместно с действующей группировкой РЭС (прототип РЭС СКР);
- ведение справочных данных требований к условиям обеспечения ЭМС РЭС;
- ведение информации о средствах мониторинга радиоэфира;
- ведение информации о результатах мониторинга радиоэфира разнотипным измерительным оборудованием, включенным в единую территориально распределенную сеть АСРК-РФ;

Рис. 7. **Действующая группировка РЭС радиовещательной службы в диапазоне частот 470–490 МГц**

Рис. 8. **Количество зарегистрированных РЭС в полосах частот ТВ-каналов ДМВ-диапазона в Краснодарском крае**

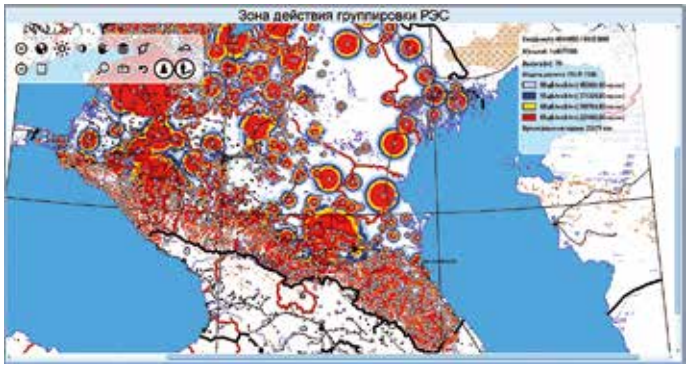


Рис. 9. **Суммарная зона покрытия группировки ТВ-передатчиков ДМВ-диапазона в Краснодарском крае**

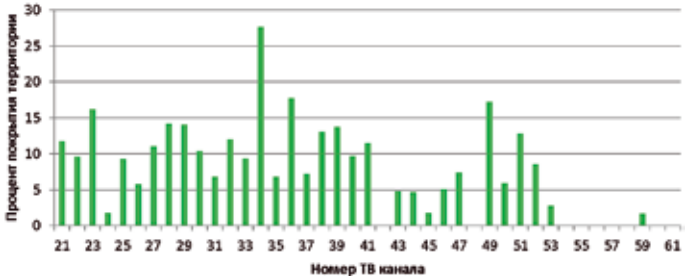


Рис. 10. **Доля покрытия,%, территории Краснодарского края зонами вещания ТВ-передатчиков ДМВ-диапазона**

- ведение информации о территориальных районах и полосах частот, подверженных помеховым воздействиям; ведение БД радиопомех;
- ведение библиотеки цифровых векторных карт местности различных масштабов (включая матрицы, характеризующие планово-высотную основу и типы подстилающей поверхности региона) на территорию РФ;
- специальное математическое и программное обеспечение решения задач оценки занятости РЧС, расчета зон действия РЭС, оценки ЭМС РЭС.

В качестве примера на рис. 7–10 приведены результаты анализа занятости радиочастотного ресурса в Краснодарском крае в полосах частот 470–490 МГц радиовещательной службы, полученные в ИП ФАИС, для оценки возможности использования когнитивных радиосистем в соответствующих полосах радиочастот.

Заключение. Результаты анализа показывают, что в среднем ТВ-передатчики на одном частотном канале используют порядка 15% территории Краснодарского края. Таким образом, для СКР потенциально может быть задействована значительная территория Краснодарского края. Вместе с тем необходимо отметить, что зоны действия ТВ-передатчиков покрывают территорию регионов, где плотность населения наиболее высокая.

Автоматизированные системы ИП ФАИС, ФАИС и АСРК-РФ позволяют проводить аналогичные расчеты для любого территориального района РФ в онлайн-режиме.

Представленные результаты и данные анализа функциональных возможностей федеральных автоматизированных систем ФАИС, ИП ФАИС, АСРК-РФ наглядно демонстрируют потенциал систем когнитивного радио.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет МСЭ-R SM.2152. Определения системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SDR) и системы когнитивного радио (CRS).
2. **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.
3. Рабочий документ к проекту Справочника по перспективам внедрения систем когнитивного радио в полосах УВЧ диапазона в странах участников РСС.— РСС, 2014.

Получено 07.08.14

УДК 621.396.2

ПЕЛЕНГАЦИЯ АБОНЕНТСКИХ ТЕРМИНАЛОВ В СОТОВЫХ СЕТЯХ

А.А. Мошкин, аспирант СПбГУТ; saneek@gmail.com

Рассмотрены вопросы определения местоположения абонентских терминалов с использованием ресурсов сотовых сетей связи. Предложен метод локализации, основанный на определении пеленга сигнала, принимаемого мобильным терминалом от базовой станции. Представлены результаты экспериментальных исследований предложенного метода в регионах с различной плотностью базовых станций.

Ключевые слова: *сотовые сети, пеленгация, локализация мобильных объектов.*

Введение. Определение местоположения (локализация) [1–3] абонентских терминалов (АТ) в сотовых сетях основывается на поэтапном выполнении нескольких измерительно-вычислительных операций (рис. 1).

На первом этапе выполняется измерение параметров принимаемых сигналов, необходимых для локализации АТ. Параметров измеряемых электромагнитных сигналов немного: это время прохождения сигнала от передатчика до приемника *t*, направление принимаемого (передаваемого) сигнала и мощность принимаемого сигнала *P*.

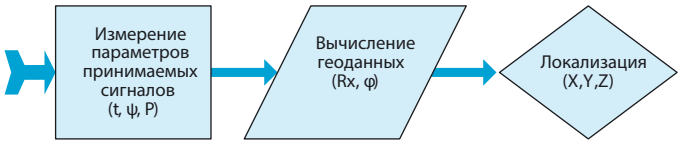


Рис. 1. **Этапы решения задачи локализации**