

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРА И ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ РАДИОТЕХНОЛОГИЙ

Е. М. Виноградов¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Россия
Адрес для переписки: vin@irga.sut.ru

Информация о статье

УДК 621.391.827:645.16

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 29.01.16, принята к печати 29.02.16

Ссылка для цитирования: Виноградов Е. М. Современные направления повышения эффективности использования спектра и внедрения новых радиотехнологий // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 1. С. 68–78.

Аннотация

Рассматриваются новые принципы использования радиочастотного спектра и внедрения новых радиотехнологий, дополняющие традиционный подход, такие как когнитивное радио, новый подход к назначению частот WAPECS, совместный лицензированный доступ LSA. Описаны проблемы, возникающие при их реализации, и поиски путей их решения.

Ключевые слова

радиочастотный спектр, эффективность использования спектра, когнитивное радио, назначение частот, блок частот.

STATE-OF-THE-ART WAYS FOR INCREASING SPECTRUM EFFICIENCY AND IMPLEMENTATION OF NEW RADIO TECHNOLOGIES

E. Vinogradov¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation
Corresponding author: vin@irga.sut.ru

Article info

Article in Russian

Received 29.01.16, accepted 29.02.16



For citation: Vinogradov E.: State-of-the-Art Ways for Increasing Spectrum Efficiency and Implementation of New Radio Technologies // Telecom IT. 2016. Vol. 4. N 1. pp. 68–78 (in Russian)

Abstract

New principles to use radio spectrum and introduce new radio technologies supplementing the traditional approach such as cognitive radio, a new approach to the frequency assignment (WAPECS), licensed shared access (LSA) are considered. Problems arising in implementing the principles and the ways examined for their solution are described.

Keywords

radio frequency spectrum, spectrum efficiency, cognitive radio, frequency assignment, frequency block.

Введение

Одной из задач, решаемых Администрацией, занимающейся управлением использования (УИ) радиочастотного спектра (РЧС), является повышение эффективности использования РЧС. Задача является следствием ряда причин, к которым, в частности, относятся ограниченность доступного для использования РЧС, относительно невысокая эффективность использования спектра, выделенного для работы функционирующих радиоэлектронных средств (РЭС) и непрерывный рост числа потребителей РЧС. Стремительно развивающиеся технологии радиосвязи требуют полос частот для своей реализации, в то время как РЧС уже занят работающими РЭС. Задача поиска полос частот для новых радиотехнологий входит в круг задач, решаемых Администрацией УИ РЧС. Конверсия РЧС, т. е. преобразование, связанное с изменением целей использования частот или полос частот, не решает полностью задачу удовлетворения пользователей радиочастотным спектром. Поэтому основным направлением, способствующим внедрению новых радиотехнологий, является повышение эффективности использования РЧС за счет новых принципов его использования. К числу этих принципов можно отнести:

- развитие когнитивного радио;
- новый подход к назначению частот (политика WAPECS);
- совместный лицензированный доступ (LSA) к частоте или полосе частот.

Реализация этих принципов имеет свои особенности.

Использование спектра зависит от вида радиослужбы, места и времени. Полоса частот, присвоенная для работы РЭС, может оказаться неиспользуемой этим РЭС в течение некоторого времени. Тогда в этом месте в это время эта полоса частот может быть использована другим РЭС для своих целей. Эту идею используют когнитивное радио и лицензированный совместный доступ. Разница между ними состоит в том, что в случае когнитивного радио разрешение на использование указанной полосы частот отсутствует.

1 Когнитивное радио

Слово «когнитивный» означает «познавательный, связанный с приобретением (сбором, накоплением) знаний». Определение когнитивной радиосистемы, предлагаемое Международным союзом электросвязи (МСЭ)¹, отражает эту сто-

¹ Report ITU-R SM.2152 Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS), SM Series, Spectrum management, ITU, 2009.



рону радиосистемы, а именно: «Когнитивная радиосистема – это радиосистема, использующая технологию, которая позволяет системе получать знание о своей работе и географическом окружении, установленных правилах поведения и своем внутреннем состоянии; динамично и автономно настраивать свои рабочие параметры и протоколы в соответствии с полученным знанием, для того чтобы достичь предписанных целей и учиться из полученных результатов».

Часть спектра, которая доступна для использования радиосвязью (службой, системой) в данное время в данной географической области на беспомеховой / незащищенной основе относительно других служб с более высоким приоритетом на национальной основе, называют «белым пространством»². Именно белое пространство использует для своей работы когнитивное радио. Способность автоматически адаптироваться к радиоспектру или окружению сети, чтобы выполнить определенную задачу, является фундаментальной уникальностью технологии когнитивного радио. Для адаптации своих параметров когнитивное радио может обмениваться нужной информацией с родственными радиосистемами, обнаруживаемыми в той же самой полосе частот.

В зависимости от набора параметров, которые принимают во внимание при принятии решения относительно изменений в режимах приема и передачи, можно выделить два главных типа когнитивного радио:

- полностью когнитивное радио – радио, в котором при выборе переменных, определяющих качество связи, принимаются во внимание все параметры, возможные для наблюдения радиоузлом;
- когнитивное радио с распознаванием спектра – радио, в котором рассматривается только радиочастотный спектр.

В настоящее время большинство работ сосредоточено на когнитивном радио, в котором рассматривается только спектр. Здесь основная задача состоит в разработке методов нахождения свободных каналов и алгоритмов обмена информацией между узлами связи.

В процессе своей работы когнитивное радио должно выполнять следующие функции:

I. Распознавание спектра: обнаружение неиспользуемого спектра и передача его для использования другими пользователями без вредных помех³ [1].

Рассматриваются три способа нахождения незанятого канала:

- распознавание спектра на основе измерений;
- использование базы данных (БД) географических местоположений;
- использование радиомаяков.

Распознавание спектра на основе измерений

При распознавании спектра когнитивный прибор старается в каждом потенциально доступном канале обнаружить присутствие сигналов радиосредств, которые имеют разрешение на работу в этом канале. Если таких сигналов нет, то канал считается свободным. Если канал определен как свободный, распознавание применяется к смежным каналам, чтобы установить ограничения на мощ-

² CEPT Report 24 A preliminary assessment of the feasibility of fitting new/future applications/services into non-harmonised spectrum of the digital dividend (namely so-called "white spaces" between allotments), CEPT, 2008.

³ ECC Report 159 Technical and Operational Requirements for the Possible Operation of Cognitive Radio Systems in the "White Spaces" of the Frequency Band 470–790 MHz, Cardiff, January, 2011.



ность передачи. Кооперативное распознавание, при котором когнитивные приборы совместно используют полученные результаты распознавания, дает возможность улучшить надежность распознавания.

Методы распознавания можно разделить на две категории:

- распознавание занятости канала по энергии;
- распознавание занятости канала по признакам сигнала.

При распознавании занятости по энергии измеряют мощность сигнала в рассматриваемом канале. Это измерение можно провести, используя энергетический детектор. Преимуществом энергетического детектора является то, что он может быть использован для обнаружения сигналов любых систем, в том числе новых, размещаемых в данном диапазоне частот в будущем. Недостаток – низкая чувствительность и возможность ложных тревог.

Обнаружитель по признакам старается для обнаружения использовать известные характеристики сигнала, подлежащего обнаружению. Например, некоторый специфический пилот-сигнал, преамбулу, определенную периодичность или последовательность в сигнале во временной или частотной областях и т. п. Недостаток обнаружителя в том, что он построен на обнаружении специфических характеристик сигналов и может оказаться непригодным для обнаружения сигналов новой радиосистемы, размещенной в этом диапазоне позднее.

При использовании измерений для распознавания спектра существует проблема скрытого узла. Когнитивный прибор может находиться в месте в большей или меньшей степени экранированном от приема сигнала на частоте исследуемого канала. Например, вследствие затенения зданием сигнал РЭС, имеющего разрешение на работу на частоте канала, будет поступать на обнаружитель очень слабым, и обнаружитель зарегистрирует канал как свободный. Пользователь когнитивного радио, выходя на связь на данной частоте, может создать помеху приему сигнала РЭС, имеющего разрешение на работу на этой частоте. Чтобы смягчить эту проблему, снижают порог обнаружения обнаружителя. Однако снижение порога обнаружения повышает вероятность ложной тревоги. Поэтому очень важно выбирать порог так чтобы максимизировать вероятность правильного обнаружения при фиксированной вероятности ложной тревоги.

Использование базы данных (БД) географических местоположений

При этом способе нахождения незанятого канала когнитивные приборы определяют свои координаты и обращаются к БД географических местоположений, чтобы получить информацию о частотах, на которых они могут работать, и уровнях мощности, которые они могут использовать в том месте, где они находятся. Пока не установлены условия работы, приборам когнитивного радио запрещено работать на передачу.

Цель использования БД географических местоположений – гарантировать отсутствие вредной помехи от когнитивного радио защищенным службам (службам, имеющим разрешение на работу на определенных частотах). При этом информация, получаемая от БД, должна содержать также время, в течение которого она остается достоверной, и область, в пределах которой она применима. Чтобы когнитивный прибор мог осуществлять обмен информацией с БД, между ними необходим канал связи. Это можно сделать, используя резервную частоту за пределами рабочего диапазона когнитивного прибора, либо провод-



ное соединение с БД. Этот подход к получению информации о свободном канале требует непрерывного поддержания достоверности БД.

Использование радиомаяков

Радиомаяки – это радиосигналы, которые могут быть использованы, чтобы указывать, что определенные каналы либо заняты защищенными службами, либо свободны. Рассматриваются разные варианты маяков.

Маяк разрешения. Если маяк обнаружен, канал свободен и может быть использован для работы когнитивного радио.

Маяк запрещения. Если маяк обнаружен, канал занят и не может быть использован для работы когнитивного радио.

Маяк как канал пилот-сигнала. Маяк идентифицирует локально используемые телевизионные каналы.

Использование маяков может облегчить работу приборов, определяющих занятость спектра на основе измерений, увеличивая вероятность обнаружения сигналов при низких значениях порога обнаружения.

Когнитивное радио снимает с Администрации проблему поиска частот для своей работы. Однако реализация этой технологии требует решения ряда достаточно сложных технических и организационных задач.

II. Анализ спектра: определение ширины полосы спектра, которая среди всех доступных полос наилучшим образом удовлетворяет требованиям качества услуги.

III. Мобильность в использовании спектра: динамический процесс смены рабочих частот в течение сеанса связи. В случае использования свободной на данном интервале времени частоты, которая присвоена некоторому РЭС и которое в какой-то момент времени начинает работу на этой частоте, когнитивное радио должно сразу уйти на другую свободную частоту, чтобы не создавать помеху лицензированному средству. Мобильность подразумевает такую смену частот, которая позволяет терминалам поддерживать непрерывную связь в течение всего сеанса связи.

IV. Совместное использование спектра: метод справедливой диспетчеризации спектра при открытом использовании спектра. Аналог управления доступом к каналам в существующих системах.

В настоящее время в рамках СЕРТ (Европейская конференция администраций почт и электросвязи) идет разработка общей методологии для оценки спектра, потенциально доступного для использования когнитивным радио, в частности, в полосе частот 470–790 МГц, разработка спецификаций и процедур испытаний когнитивного радио.

2 Новый подход к назначению частот

Новый подход, именуемый политикой беспроводного доступа для электронных средств связи, (*WAPECS – Wireless Access Policy for Electronic Communications Services*)⁴ [2], предложенный СЕРТ, перекладывает проблему использования новых радиотехнологий на оператора, пользователя РЧС.

Политика предлагает:

⁴ CEPT Report 19 Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate to develop least restrictive technical conditions for frequency bands addressed in the context of WAPECS, CEPT, March, 2008.



1. Использовать методы лицензирования, основанные на назначении блоков частот вместо метода назначения каналов.

2. Предоставление блока частот оператору должно быть оговорено лишь минимальным набором ограничений, целью которых является обеспечение ЭМС с другими операторами, как работающими, так и не работающими в рамках WAPECS.

3. Ограничения должны быть нейтральны как по отношению к оказываемым услугам, так и по отношению к используемой технологии.

Для отработки идеи WAPECS были использованы следующие диапазоны частот:

- 880...915/925...960 МГц;
- 470...862 МГц;
- 1710...1785/1805...1880 МГц;
- 1900...1980/2010...2025/2110...2170 МГц;
- 2500...2600 МГц;
- 3,4...3,8 Гц.

Подход требует разработки условий, выполнение которых необходимо для предоставления блока частот.

Реализация политики требует, чтобы был определен набор ограничений, обеспечивающих ЭМС средств, планируемых к размещению в диапазонах WAPECS. Это можно сделать, исходя из критериев оценки совместимости систем, размещаемых в рассматриваемых диапазонах. Чтобы установить эти критерии, необходимо сделать некоторые допущения относительно возможных систем в этих диапазонах. Это ключевой момент концепции WAPECS, поскольку формулировка минимальных технических ограничений связана с выбранным набором допущений. Выбор допущений относительно наиболее вероятного будущего использования выделяемых полос частот должен быть основан на анализе рынка с привлечением потенциальных операторов, производителей оборудования и организаций, разрабатывающих стандарты. Минимальный набор ограничений, основанный на принятых допущениях, годится для данной полосы и данного набора приложений.

Методология WAPECS вводит концепцию эталонных систем. Эти системы используются для получения критериев совместимости (соканальной совместимости и совместимости на смежных частотах). Для каждой полосы (или части полосы) WAPECS, основываясь на анализе рынка для этой полосы, должны быть определены одна или большее число эталонных систем WAPECS. Эталонная система WAPECS описывается на уровне:

- сценария сети (мощность передатчиков, размещение снаружи или внутри здания, природа терминала /фиксированный, мобильный, со случайным местоположением, с известным или неизвестным местоположением/, плотность передатчиков, высота передающей антенны, режим работы FDD/TDD);
- ожидаемых рабочих характеристик приемников (необходимый минимальный уровень сигнала, избирательность, восприимчивость к помехе на совмещенной частоте).

Определение эталонной системы WAPECS может зависеть от других систем, уже работающих в полосах WAPECS. Эталонная система используется для анализа ЭМС с целью установить, какие требования следует предъявить к рас-

сматриваемым системам в полосе WAPECS, чтобы гарантировать, что помеха не превысит допустимого уровня.

Если критерии совместимости установлены, то эталонные системы WAPECS будут рассматриваться в качестве опорной точки для допущений, использованных для анализа. Реализованные реальные системы WAPECS могут быть любой технологии, которая удовлетворяет техническим условиям, установленным в результате анализа ЭМС эталонных систем.

Качество работы РЭС и, следовательно, наличие или отсутствие совместимости при прочих равных условиях зависит не только от уровня полезного сигнала, но и от уровня помехи. Поэтому в качестве ограничений, которые накладываются на работу РЭС при предоставлении оператору блока частот, используются ограничения, определяющие уровень помех как в блоке, совмещенном по частоте, так и в смежных блоках. В качестве одного из подходов, определяющего уровни помех в указанных полосах частот, WAPECS предлагает использовать маску излучений блока. Маска излучений блока представляет собой ограничительную линию для излучений передатчика в координатах мощность/частота. Ограничительная линия определяет максимальную разрешенную спектральную плотность мощности излучений (чаще всего в дБм/МГц) как в пределах блока, выданного оператору, так и за его пределами. При определении маски блока используются допущения относительно типа систем, которые наиболее вероятно будут развернуты в данной полосе WAPECS. Маска блока применяется ко всему блоку, который выдан оператору, независимо от числа каналов, занимаемых технологией, выбранной оператором. На рис. 1 пунктиром представлена маска внеблочных излучений для центральных станций беспроводных фиксированных систем, работающих в окрестности частоты 3,5 ГГц⁵. Внутри присвоенного блока спектральная плотность мощности ограничена значением P_{max} , а за его пределами в границах смежного блока ограничительная линия имеет кусочно-ломанный вид с точным указанием отстроек, соответствующих точкам излома *A* и *B*, от границ присвоенного блока. Для рассматриваемого случая отстройка до точки *A* составляет 20 %, а до точки *B* 35 % от размера присвоенного блока. Если смежные и присвоенный блоки имеют разный размер, проценты берут от размеров наименьшего блока.

Другой подход состоит в использовании масок суммарной плотности потока мощности. В этом случае прямо указываются уровни помех, которые получатель права на излучение может создавать соседям. Главное отличие этого подхода от метода с маской спектра состоит в том, что в данном случае определяется ожидаемая совокупная мощность помехи в местах размещения антенн приемных устройств. Этот метод допускает любое изменение в использовании спектра или технологии, пока не превышены установленные уровни помехи. Сложность метода состоит в необходимости вводить дополнительные допущения относительно плотности размещения передатчиков в данном географическом районе. Помехи внутри полосы и внеполосная помеха управляются путем наложения ограничений на совокупную плотность потока мощности, которую может создавать лицензиат, следующим образом.

⁵ Там же.



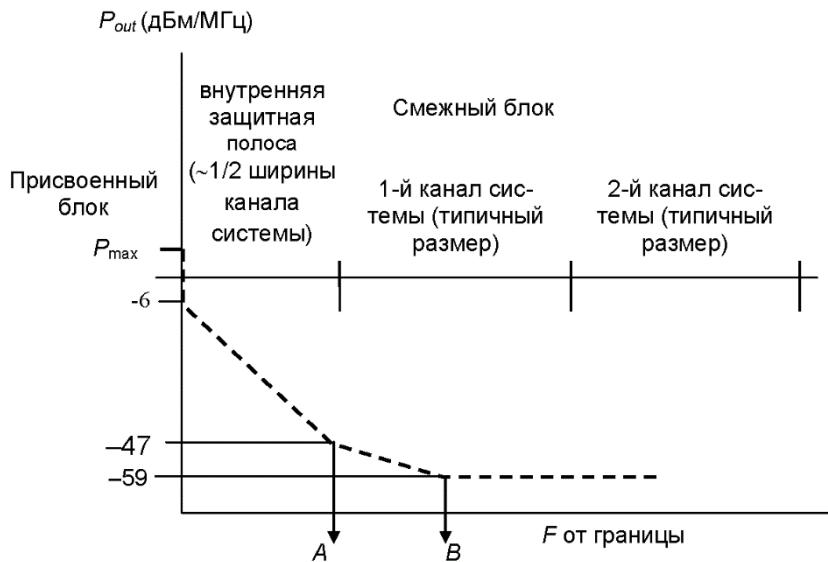


Рис. 1. Мaska внеблочных излучений центральных станций фиксированных беспроводных систем

Средняя плотность потока мощности на высоте H (м) над поверхностью земли не должна превышать X дБВт/м²/МГц в более, чем $Y\%$ мест в любой области площадью A км².

Ограничения в форме маски спектральной плотности мощности предлагаются использовать при назначении операторам смежных блоков частот в одном географическом районе. Предпочтение в использовании ограничения в виде маски совокупной плотности потока мощности отдается при выделении операторам, работающим в смежных географических районах или находящимся по разные стороны государственной границы, одного и того же блока частот. При этом географическая помеха на границе районов (или стран) управляется условием: Средняя плотность потока мощности на высоте H (м) над поверхностью земли не должна превышать X дБВт/м²/МГц.

В общем случае при назначении блока частот в рамках WAPECS должны выполняться условия, диктуемые маской спектральной плотности мощности, и условия, определяющие значение географической помехи на границе районов, использующих одинаковые блоки частот.

3 Совместный лицензированный доступ

Совместный лицензированный доступ (LSA – *Licenced Shared Access*) к частоте или полосе частот, как и когнитивное радио, учитывает, что использование спектра зависит от времени и места. Однако, в отличие от когнитивного радио, разрешение на использование недоиспользованного спектра закрепляется за еще одним или несколькими пользователями на правовой основе. Но делается это только на определенных условиях и с согласия основного лицензиата, уже имеющего права на рассматриваемую часть спектра.

Основная идея концепции LSA состоит в том, чтобы организовать совместное использование ресурсов некоторой полосы частот, недоиспользованных ос-

новным лицензиатом, дополнительным ограниченным числом пользователей на заранее определенных условиях

Условия применения LSA включают⁶:

- добровольное участие заинтересованных сторон;
- основной лицензиат и лицензиаты LSA используют спектр для разных применений и подлежат разным регулирующим ограничениям;
- отсутствие эксплуатационных ограничений для основного лицензиата;
- отсутствие вредных помех для основного лицензиата и лицензиатов LSA при их совместной работе;
- гарантии основного лицензиата лицензиату LSA доступа к определенной части спектра в определенном интервале времени в определенном географическом местоположении.

Отметим некоторые особенности реализации концепции LSA:

- концепция LSA реализуется на основе «рамок совместного использования» спектра или его части, права на которые принадлежат основному лицензиату;
- концепция не заменяет традиционные методы управления использованием РЧС, а является дополнительным инструментом к ним;
- в создании «рамок совместного использования» участвуют: основной лицензиат, предполагаемый будущий лицензиат LSA, государственный орган, занимающийся регулированием использования РЧС.

«Рамки совместного использования» определяют набор правил, технических и рабочих условий, при которых полоса частот или ее часть могут быть доступны для альтернативного использования лицензиатом LSA.

Рамки содержат:

- информацию, необходимую для идентификации основного лицензиата;
- условия, при которых основной лицензиат имеет доступ к спектру;
- условия, при которых доступ к спектру могут получать лицензиаты LSA.

Кроме того, рамки могут включать:

- информацию, необходимую для идентификации частот, местоположений и времени, которые должны быть защищены для основного лицензиата, вместе с указанием уровня защиты;
- механизм для передачи информации о доступности спектра между основным лицензиатом и лицензиатами LSA;
- продолжительность рамок совместного использования спектра;
- финансовые условия и условия рамок совместного использования;
- условия работы всей структуры, связанной с использованием LSA;
- ссылки на соответствующие регулирующие документы (решения регулирующих органов, согласованные стандарты).

Если в процессе своей работы основной лицензиат нуждается в доступе к части полосы, используемой лицензиатом LSA, то в рамках совместного использования спектра могут быть детализированы условия, при которых он может взять обратно доступ к спектру, предоставленному лицензиату LSA. Например, оговорена форма оповещения лицензиата LSA и предоставлено достаточное время, чтобы он изменил использование спектра прежде, чем для него будет ограничен доступ к спектру.

⁶ ECC Report 205 Licensed Shared Access (LSA), CEPT, February, 2014.



Условия лицензирования в рамках LSA могут быть статическими или динамическими.

В первом случае точно указываются зона, продолжительность работы, используемые частоты, которые не меняются во времени. В этом случае фактическое управление работой радиосредств не отличается от управления при традиционном подходе к регулированию использованием РЧС.

Во втором случае лицензиаты LSA должны корректировать свою работу, основываясь на происходящих изменениях.

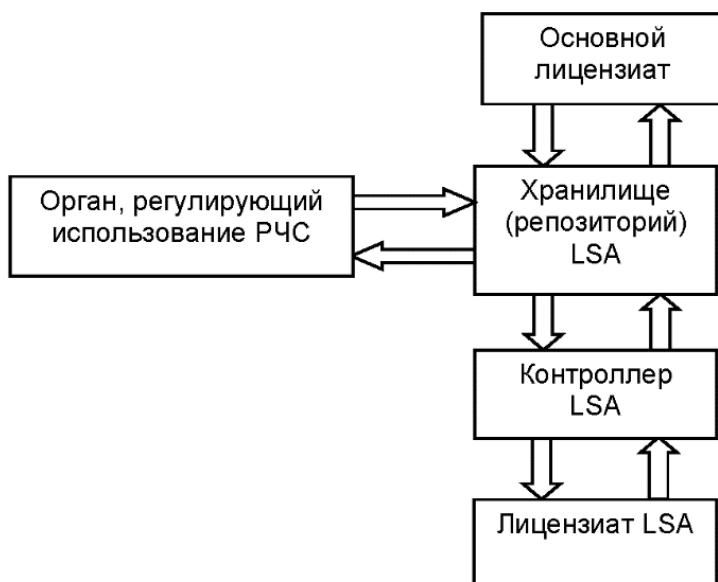


Рис. 2 Пример функциональной схемы LSA

На рис. 2 представлена схема, содержащая функциональные блоки, которые могут потребоваться при реализации концепции LSA на национальной основе⁷. В число основных блоков входят репозитарий и контроллер LSA, поддерживающие связи между собой, с лицензиатами и органом, регулирующим использование РЧС.

Хранилище (репозиторий):

- обеспечивает гармоничное использование спектра LSA и реализацию договорных отношений;
- содержит информацию о спектре LSA и уровне ее защиты со стороны основного лицензиата;
- динамично обновляет условия соглашения о совместном использовании спектра или добавляет новые условия;
- поддерживает по требованию основного лицензиата приоритетное прерывание обслуживания и доступ к спектру по требованию лицензиатов;
- обеспечивает в реальном времени интерактивное отображение радиоокружения лицензиатов.

Контроллер:

- управляет доступом к спектру на основе правил совместного использования и информации об использовании спектра основным лицензиатом;

⁷ Там же.

- обеспечивает соответствие управления использованием спектра информации, поставляемой хранилищем.

Лицензия LSA предоставляет индивидуальное право использования спектра LSA. Лицензию выдает национальный регулятор спектра. Она должна содержать:

- идентификационную информацию лицензиата;
- все условия, при которых лицензиат LSA может получать доступ к спектру;
- рамки совместного использования спектра.

В настоящее время концепция LSA прорабатывается для практического применения в рамках Европейского союза. Например, в системных требованиях⁸ определены системные требования для работы широкополосной мобильной службы в полосе частот 2300–2400 МГц на условиях лицензированного совместного доступа. Требования рассматриваются в качестве первого шага в направлении создания спецификаций архитектуры системы LSA.

Заключение

Рассмотренные методы повышения эффективности использования РЧС не заменяют традиционного подхода к предоставлению для использования полос частот и радиочастотных каналов, а служат дополнением к нему, облегчая ввод новых пользователей радиочастотного спектра, которые могут, как поддерживать действующие услуги, так и вводить новые.

Литература

1. Мирошникова Н. Е. Обзор систем когнитивного радио // T-Comm – Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 9. С. 108–111.
2. Бутенко В. В., Володина Е. Е., Девяткин Е. Е., Бессилин А. В., Суходольская Т. А. Концепция WAPECS как современное направление использования РЧС // Электросвязь. 2008. № 9. С. 2–5.

References

1. Miroshnikova N. E. Cognitive Radio Systems Overview // T-Comm – Telecommunications and Transport. 2013. № 9. pp. 108–111.
2. Butenko V. V., Volodina E. E., Devyatkin E. E., Bessilin A. V., Sukhodol'skaya T. A. WAPECS Concept as a Modern Trend of Using RFS // Elektrosvyaz'. 2008. № 9. pp. 2–5.

Виноградов Евгений Михайлович

Vinogradov Evgeniy

– кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, vin@irga.sut.ru

– Ph.D., associate professor, leading scientific researcher, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, vin@irga.sut.ru

⁸ ETSI TS 103154 Reconfigurable Radio Systems (RRS). System requirements for operation of Mobile Broadband Systems in the 2300 MHz – 2400 MHz band under Licensed Shared Access (LSA), ETSI, 2014.

