

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

к.т.н., Шагиахметов Д.Р.

(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)

« _____ » _____ 2014 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка**

на тему: Исследование беспроводной сети IEEE 802.22 на основе
когнитивного радио

Магистрант Акбердиева А.Б. _____ группа МТСП-12-1
(Ф.И.О.) (подпись)

Руководитель к.т.н., доцент _____ Медеуов У.И.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент _____ _____
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.х.н., ст.преп. _____ Данько Е.Т.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Нормоконтроль к.х.н., ст.преп. _____ Кудинова В.С.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы, 2014

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет «Радиотехники, электроники и связи»
Специальность 6М071900 «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»
Кафедра «Телекоммуникационных систем»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Акбердиевой А.Б.
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Исследование беспроводной сети IEEE 802.22 на основе когнитивного радио»

утверждена Ученым советом университета №142 от « 31 » октября 2013 г.

Срок сдачи законченной диссертации « ___ » _____

Цель исследования Исследование технологии Когнитивного радио и ее характеристики.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

- 1.
2. Организация сетей доступа
3. Оптические сети доступа
4. Технологические характеристики оптических сетей доступа
5. Расчет основных параметров качества абонентской линии и результаты расчетов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей) _____

Рисунок 1.1 - Архитектура построения сетей оптического доступа

Рисунок 1.2 - Виды топологии построения сети

Рисунок 1.3 - Структурная схема оптической сети абонентского доступа по технологии PON

Рисунок 2.1- Фрагмент сети доступа и различные соединения, вносящие потери

Рисунок 3.1 - Схема для проведения экспериментальных исследований

Рисунок 3.19 – Зависимость выходной мощности от входной мощности при $\lambda=1550\text{нм}$, $L=100\text{км}$, $\nu=2500\text{Мбит/с}$

Рекомендуемая основная литература

1. Банкет В.Л., О.В. Бондаренко Современные телекоммуникации. Технологии и экономика. - М.: ЭКО ТРЕНДЗ, 2001.

Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2003

Г Р А Ф И К

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Информационный обзор абонентских линий	05.10.2012	
2 Основные виды технологий абонентских линий	02.02.2013	
3 Анализ основных параметров сети PON	10.03.2013	
4 Оценка работы абонентских линий при различных технологиях и стандартах	05.09.2013	
5 Расчет различных параметров качества PON	18.10.2013	
6 Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных	10.12.2013	

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (Шагиахметов Д.Р.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Казиева Г.С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению
магистрант _____ (Байбусинова А.С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Менің қорытынды жұмысымның тақырыбы: «Когнитивтік радио технологиясының сипаттамаларын зерттеу».

Берілген диссертацияда Когнитивтік радио технологиясының ерекшеліктері қарастырылады. Барлық сымсыз байланыс технологияларының өлшемдері мен сипаттамалары салыстырылды. Осыған қоса базалық станция жабатын аумағының Окамура мен Хата эмпириялық тәсілімен есеп келтірген және екінші рет қолдануға арналған радиоарнанның бос аймақтарының жүктелуі зерттелді.

Аннотация

Тема моей диссертационной работы: «Исследование характеристик технологии Когнитивного радио».

В данной диссертационной работе рассматриваются особенности технологии Когнитивного радио. Производится сравнение характеристик и параметров беспроводных технологий. Приведен расчет зоны покрытия базовой станции эмпирическим методом Окамура и Хата ,также проведен эксперимент на исследование загруженности радиоканала для вторичного использования свободных участков радиоканала.

Abstract

The theme of my dissertation : « Research characteristics of Cognitive radio technology».

This dissertation discusses the features of Cognitive radio technology. It is compared the characteristics and parameters of wireless technologies. The calculation of the coverage area of a base station by empirical method Okamura and Hata also conducted an experiment to research the load radio channel for secondary use of vacant plots radio channel.

Введение

XXI век – это время новых технологий, инноваций в мире компьютеризации, в том числе и в сфере телекоммуникации. Беспроводные устройства и технологий, в Казахстане как и во всем мире получили огромное распространение, что стремительно привело к спросу частотного спектра. Востребованность свободных полос частот растет с каждым днем. Следовательно, это привело к нехватке частотного запаса. Возможным решением сложившейся ситуации может стать новая технология Когнитивное радио, которая даст возможность использовать спектр вторично, что позволит повысить эффективность его использования. Благодаря этой технологии, вторичным пользователям предоставляется возможность использовать диапазоны первичных пользователей в то время, когда этот диапазон ими не используется.

Во время простоя канала основного пользователя, диапазон мог быть использован другим абонентом. Для этого вторичному абоненту нужно анализировать состояние частотного спектра на наличие в нем других абонентов, а также шумовой обстановки. Процессы анализа состояния и выбора диапазона являются сложными, которые требуют применения интеллектуальных алгоритмов. Их реализация возможна благодаря технологии программного радио. Такие радиосистемы позволяют быстро и точно определять наличие мешающих факторов для организации канала связи. Также дает возможность переконфигурировать приемопередающий тракт на работу в другом радиочастотном канале и уменьшить влияние помех за счет применения динамических изменяемых алгоритмов цифровой обработки сигналов. Эти системы получили название интеллектуального радио.

Такое развитие беспроводной связи вызывает новую проблему - помехи. Для успешной работы всех электронных устройств без влияния друг на друга, нужно использовать весь радиодиапазон и «обучить» их свойству анализа, выбора подходящего способа и протокола связи.

Целью исследования диссертации является изучение новой технологии когнитивного радио, которая обладает способностями познания и самообучения. Для этой технологии разработан новый беспроводной стандарт IEEE 802.22 (отсюда и до конца диссертации все сокращения расшифровка аббревиатур приведены в списке сокращений). В новом беспроводном стандарте IEEE 802.22 заложена возможность безлицензионного использования когнитивных систем. Когнитивная радиосистема дает реальные шансы на разгрузку частотного спектра. Эта

новая технология Когнитивного радио входит в десятку технологий десятилетия.

1 Теоритическая характеристика когнитивного радио

1.1 Архитектура беспроводных технологий

Стремительное развитие беспроводных систем, таких как: системы спутниковой и сотовой радиосвязи, локальные беспроводные сети и Интернет по технологии Wi-MAX и Wi-Fi, обнаружило серьезную проблему. Практически весь частотный диапазон к настоящему времени распределен и лицензирован, однако при этом, как показали исследования связи США [1], спектр, как бесценный ресурс, используется не полностью.

Проблема дефицита радиочастот для оказания услуг связи очень остра в Республике Казахстан, и вопрос получения лицензий на дефицитные частоты лежит в основе бизнеса любого оператора связи [1,2]. Технология когнитивного радио позволяет предоставлять услуги связи на основе вторичного использования уже распределенных между различными пользователями радиочастот.

Вопрос построения в Республике Казахстан систем на основе когнитивного радио рассматривается научно-техническим советом Министерства коммуникации и связи. Применение в стране данной технологии может быть связано с появлением "новой идеологии" использования частотного ресурса [2], а переход Казахстана к этой идеологии потребует соответствующих новых инженерно-технических и нормативно-правовых решений.

В настоящее время в мире активно ведутся работы по построению систем широкополосного радиодоступа в диапазоне от 50 до 960 МГц с использованием данной технологии и разработан стандарт IEEE 802.22, в котором заложена возможность безлицензионного использования таких систем [3].

Механизм динамического управления спектром весьма сложен технически, и может применяться только в так называемых интеллектуальных радиосистемах. Отличительной особенностью таких систем, выделяющей их в отдельную группу, является способность извлекать и анализировать информацию из окружающего радио пространства, предсказывать изменения канала связи и оптимальным образом подстраивать свои внутренние параметры состояния, адаптируясь к изменениям радио среды.

Для описания таких интеллектуальных радиосистем Д. Митоллой был предложен термин когнитивное радио [1]. Свойство когнитивности (дословно способность к познанию и самообучению) подразумевает способность радиосистемы решать следующие задачи:

- оценка так называемой шумовой температуры радио среды,

обнаружение неиспользуемых в данный момент времени спектральных диапазонов (спектральных дыр);

- анализ параметров радиоканала, оценка канальной информации, предсказания состояния радиоканала;

- контроль излучаемой мощности и динамическое управление спектром.

Работа радиосистем на основе когнитивного радио основывается на автоматическом анализе радиоэфира в максимально возможном по широте диапазоне частот и выявления таких участков электромагнитного спектра, которые временно менее всего загружены и доступны для организации на них каналов связи. В зависимости от состояния эфира, такие системы должны динамически перестраиваться, меняя в идеале не только рабочие частоты, но и технологии радиодоступа.

Подход к построению интеллектуальных радиосистем, получивший название когнитивное радио (Cognitive Radio), является передовой технологией, позволяющей обеспечить рациональное использование радиочастотного спектра (РЧС). К отличительным особенностям когнитивного радио следует отнести то, что эти радиосистемы способны получать и передавать сигнал на адаптивно изменяемых радиочастотах, а также изменяя вид модуляции, тип кодирования и другие параметры системы. Исследования в области когнитивного радио лежат на стыке радиотехники и искусственного интеллекта [1-5].

Вычислительное устройство в структуре когнитивного радио должно накапливать сведения об окружающей среде, проводить интеллектуальный анализ информации о ее состоянии и при изменении радиосреды вырабатывать различные стратегии и адаптивно изменять параметры телекоммуникационного оборудования, чтобы обеспечить эффективное функционирование системы связи.

1.2 Особенности стандарта IEEE 802.22 WRAN

Международный институт инженеров по электротехнике и электронике объявил о завершении работ над стандартом беспроводной связи IEEE 802.22 [10], известным под именем "белые пятна" (рисунок 1.1). Название не случайно: для передачи данных предполагается использовать "пробелы" в телевизионном ОВЧ/УВЧ-диапазоне (54–862 МГц) частот. Этот подход стал возможен за счет изобретения "интеллектуального" радио — технологии когнитивной радиосистемы, которая обеспечивает подстройку параметров приемопередающих устройств сети, так чтобы передача данных не вылезала на "лицензионные" частоты.

Как это всё происходит? Система постоянно анализирует спектр радиосигнала, окружающие фоновые сигналы, а также поведение пользователей сети. Базовая станция, собрав всю информацию о частотном диапазоне и используя информацию о своем месторасположении (по GPS), определяет, какие частоты могут быть использованы для установления связи с

пользователями сети. При уже установленной связи система периодически сканирует частотный диапазон на случай появления новых сигналов и при обнаружении таковых сразу же перестраивается на другие частоты.

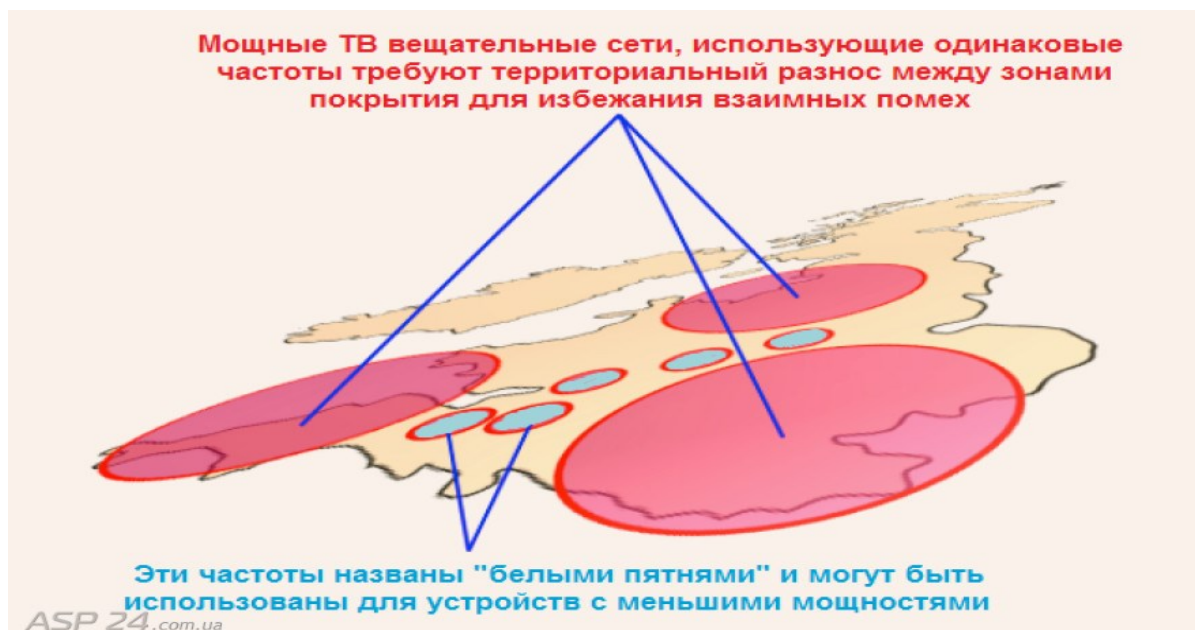


Рисунок 1.1 – Принцип «белых пятен»

Используемые частоты.

Т а б л и ц а 1.1 - Используемый частотный диапазон

Частотный диапазон	Границы диапазона	Волновой диапазон	Границы диапазона
Средние, СЧ	0,3-3 МГц	Гектометровые	1-0,1 км
Высокие, ВЧ	3-30 МГц	Декаметровые	100-10 м
Очень высокие, ОВЧ	30-300 МГц	Метровые	10-1 м
Ультравысокие, УВЧ	0,3-3 ГГц	Дециметровые	1-0,1 м
Сверхвысокие, СВЧ	3-30 ГГц	Сантиметровые	10-1 см
Крайневысокие, КВЧ	30-300 ГГц	Миллиметровые	10-1 мм
Гипервысокие, ГВЧ	0,3-3 ТГц	Децимиллиметровые	1-0,1 мм

Рабочая группа IEEE 802.22 Working Group, занимающаяся проектированием стандарта заявляет, что спецификация IEEE 802.22 представляет собой проект беспроводных региональных сетей, описывающий двухуровневую архитектуру (уровень PHY и уровень MAC) с многоточечным (point-to-multipoint) соединением. Сеть предназначена как для работы с профессиональными фиксированными базовыми станциями, так и с портативными (либо фиксированными) пользовательскими терминалами (модемы). Сеть в основном предназначена для использования в малонаселённых пунктах, а также сельской местности.

Сканирование рабочего спектра частот позволяет обнаруживать занятые каналы. Эта процедура проходит в обязательном порядке при инициализации сети. Управление сканированием осуществляется базовой станцией, которая не только посылает управляющие команды пользовательскому оборудованию, но и сама производит разведку спектра и поиск новых абонентов. Такая система позволяет актуально поддерживать информацию о состоянии эфира во всей зоне покрытия базовой станции и своевременно конфигурировать сеть.

Регистрация и отслеживание пользовательского оборудования необходимо для эффективной организации частотного пространства и быстрого подключения новых абонентов к сети.

Геолокация позволяет узнать регион размещения и по базе данных определить, какие каналы заняты в, а также выбрать оптимальный маршрут для передачи пакетов информации. В рамках спецификации предполагается применять спутниковое или наземное позиционирование. Для спутниковой геолокации у каждого абонента будет расположено GPS-оборудование. Информация о местоположении передается на базовую станцию по протоколу NMEA 0183. Это текстовый протокол связи морских навигационных систем, повсеместно применяющийся в GPS.

Таким образом, управление спектром в стандартте IEEE 802.22 – это когнитивная функция на базовой станции, которая использует входные данные от функции сканирования спектра (SSF), геолокации, и действующей базы данных, чтобы принять решение о частотном канале который будет использоваться, а также ограничения на излучаемую мощность, которые накладываются для конкретного пользовательского устройства. Для охвата больших площадей необходимы соответствующие мощности сигналов. На базовой станции для этих целей размещается ненаправленная антенна, чтобы равномерно покрыть сигналом всю площадь. При необходимости изотропную антенну можно заменить секторной. Такая конфигурация позволит эффективнее охватывать зону с неравномерным распределением абонентов по площади. На стороне клиента напротив применяется узконаправленная антенна с ориентированием в сторону базовой станции (или базовой станции с максимальным сигналом, если их несколько). Кроме того, в клиентском оборудовании имеется сканирующая (sensing) антенна для функционирования когнитивных механизмов. При использовании спутникового

позиционирования также может быть размещена GPS-антенна, как показано на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 - Антенны

Важно понимать отличие стандарта IEEE 802.22 от других спецификаций, в особенности от IEEE 802.16 (WiMax) [6], с которым его часто сравнивают. Основная разница в том, что 802.22 ориентирован на сельские местности и отдаленные регионы. Его радиус зоны покрытия в разы больше. Кроме того, 802.22 является первым в мире стандартом, использующим когнитивные технологии для совместного использования оптимального частотного диапазона и не требует оформления лицензий на использование определенных частот.

Наиболее важными требованиями со стороны разработчиков к стандарту IEEE 802.22 были гибкость и адаптивность системы, поскольку оборудованию приходится работать в спектре с лицензионными абонентами. В итоге стандарт, описывающий PHY- (Physical) и MAC-уровни (Media Access Control) модели OSI сети, получил особую архитектуру.

Между базовой станцией и пользовательским оборудованием на физическом уровне организована двухсторонняя связь с временным разделением (Time Division Duplexing, TDD). Как транспортный механизм в 802.22 используется технология мультиплексирования с ортогональным частотно-временным разделением каналов (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). Аналогичная схема применяется в WiMax. В спецификации предусмотрено три вида схем модуляции: квадратурная фазовая манипуляция (Quadrature Phase Shift Key, QPSK), квадратурная амплитудная манипуляция порядка 16 и 64 (Quadrature Amplitude Modulation, 16 QAM и 64 QAM). Схемы отличаются между собой количеством информации, которую можно передать одним символом. Та или иная схема модуляции выбирается исходя из условий передачи. Поэтому если абонент

сети расположен далеко от базовой станции и уровень сигнала во время связи не очень высок, то лучше сменить схему модуляции, например с 16 QAM на более медленную, но зато стабильную QPSK. Система постоянно адаптируется, и для каждого пользователя проводится балансировка оптимального режима между скоростью и помехоустойчивостью.

Важным для стандарта является особенность OFDM противостоять многолучевому распространению. Данный эффект возникает при наличии каких-либо препятствий между базовой станцией и абонентом.

Для организации доступа к каналу связи нескольких абонентов одновременно применяется техника частотно-временного разделения (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA). Это уникальная технология, позволяющая использовать доступное частотное пространство максимально выгодным способом. OFDMA уже отлично себя зарекомендовала в таких стандартах, как WiMax и LTE. В механизме OFDM доступные специальные частоты делятся между пользователями сети.

Для защиты лицензионных каналов необходимо выдерживать частотный интервал, чтобы исключить возникновение помех. Ширину частотного интервала рекомендуют делать сопоставимой с шириной одного канала. Фактически необходимо иметь в ОВЧ/УВЧ-диапазоне пробелы шириной от трех каналов (один информационный плюс два защитных по бокам) и более. Это требование еще раз подчеркивает, что целесообразно разворачивать IEEE 802.22 в сельской и малонаселенной местности, где эфир относительно свободен.

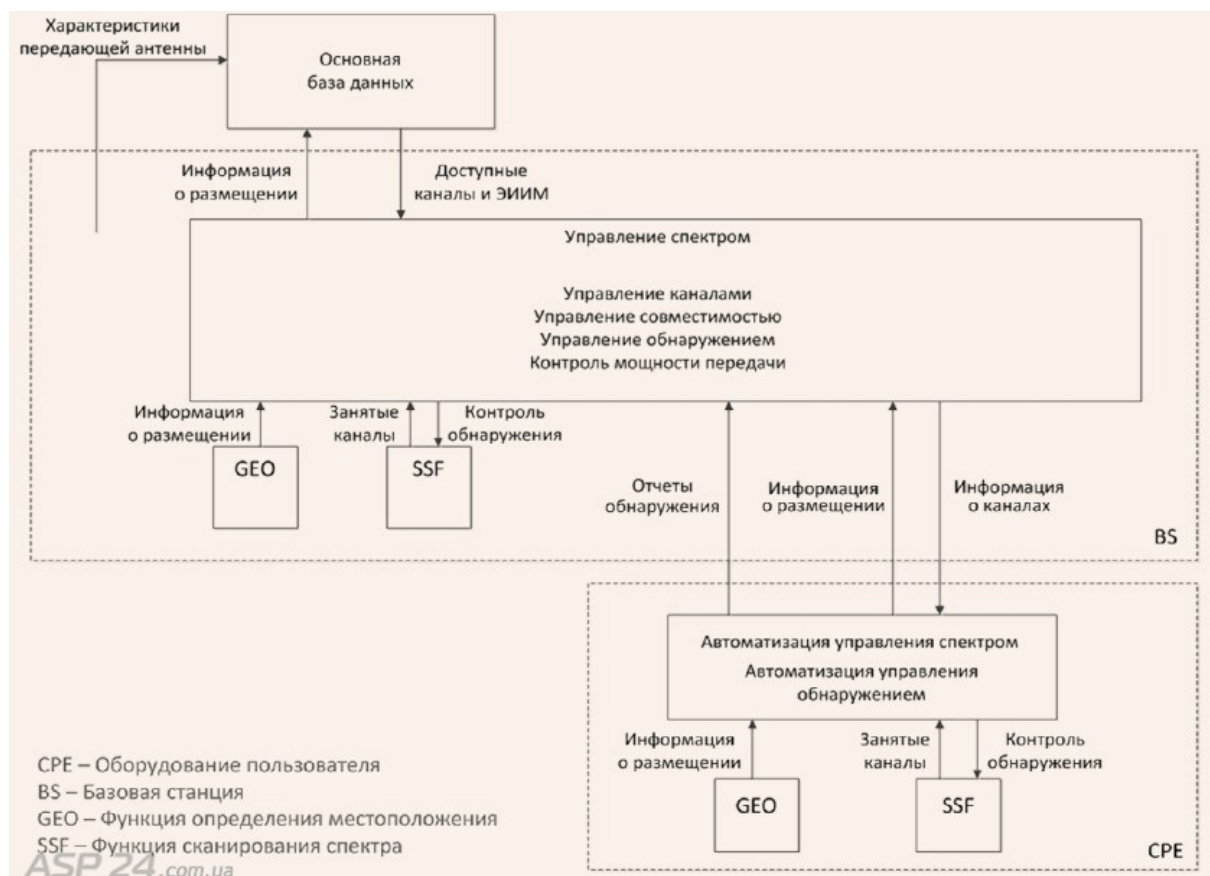


Рисунок 1.3 – Взаимосвязь между управлением спектра и другими когнитивными функциями в оборудовании стандарта IEEE 802.22

1.3 Уровень управления доступом к среде (Media Access Control)

Уровень управления доступом к среде (Media Access Control) организует адресацию и контроль доступа к сети. MAC, основанный на когнитивных технологиях, должен иметь очень динамичную и гибкую архитектуру, чтобы оперативно реагировать на изменения в сети. Для обмена данными в 802.22 используются суперфреймы (superframe). Длительность одного суперфрейма составляет 160 мс. В начале каждого суперфрейма расположена специальная преамбула (preamble) и контрольный заголовок суперфрейма (superframe control header, далее — SCH). По каждому из доступных и отвечающих всем требованиям каналов базовая станция посылает суперфреймы. Абоненты, находящиеся в зоне действия станции и еще не подключенные к сети, "слушают" свободные каналы на наличие суперфреймов. Получив данные, абонентское оборудование извлекает из SCH всю необходимую информацию для инициализации сетевого соединения. Каждый суперфрейм состоит из фреймов (frame). Длительность одного фрейма составляет 10 мс, соответственно в одном суперфрейме 16 фреймов.

Таким образом, пользовательскому оборудованию сначала необходимо просканировать сетку частот и составить карту всего диапазона. Затем в свободных и подходящих пробелах искать SCH базовой станции. После того как SCH будет получен, модем абонента дает о себе знать базовой станции и остается в канале на время действия суперфрейма. Если за это время модем получает ответ, то происходит инициализация и подключение к сети. После установления соединения информация о состоянии каналов отправляется на базовую станцию.

Как говорилось выше, во время работы в сети базовая станция периодически посылает команды абонентскому оборудованию для запуска сканирования диапазона на наличие лицензионных пользователей. При этом существуют различные алгоритмы сканирования, которые определяют пороговый уровень сигнала в канале, время сканирования, диапазон, вероятность обнаружения ложной тревоги. Существуют определенные пороговые значения сигналов, при которых они будут интерпретироваться как лицензионные пользователи.

Все эти параметры влияют на успешность получения достоверной частотной сетки в регионе. Базовая станция может распределять нагрузку между абонентами при сканировании частотного спектра. Если основная базовая станция долго "молчит", то тогда абонентское оборудование ищет маяки от другой соседней станции и в случае успешного поиска подключается к ней. Моделирование сети показало, что даже при большом скоплении рядом расположенных станций терминалы абонентов быстро распределяются между ними. В результате нагрузка на базовые станции становится оптимальной.

Главное о стандарте [7, 8].

Назначение: широкополосный беспроводной доступ к интернету для сельской местности.

Ядро: технология когнитивной радиопередачи, предназначенная для безлицензионного использования частот телевизионного диапазона.

Топология сети: многоточечная (Point-to-Multipoint).

Радиус зоны покрытия: 10–100 км (для фиксированной базовой станции и модема).

Мощность излучения: 4 Вт (под мощностью излучения понимается эффективная изотропно излучаемая мощность, EIRP).

Антенны: на базовой станции используется ненаправленная (либо секторная) приемопередающая антенна, а на стороне абонента направленная антенна; помимо этого, есть ненаправленная антенна для сканирования частотного диапазона (когнитивная радиосвязь).

Геопозиционирование: GPS или наземное (необходимо для функционирования системы).

Таким образом, стандарт позволяет эффективно использовать имеющийся спектр рабочих частот без необходимости получения лицензий.

Разработчики различают несколько основных «лицензионных» систем, использующих рабочий диапазон стандартта [8]:

– аналоговое телевидение. В Северной Америке вещание основано на NTSC, а в Европе на PAL. Уровень при котором канал будет освобождён соответствует -94 дБм (дБ от 1 мВт), который измеряется на пике синхроимпульсов;

– цифровое телевидение. В Северной Америке используется стандарт DTV (ATSC), в Европе DVB-T. Уровень сигнала для DTV (ATSC) составляет -116 дБм;

На базе данных принципов был сформирован стандарт, параметры которого удобно свести в небольшую таблицу 1.2 [8].

Т а б л и ц а 1.2 – Параметры стандартта IEEE 802.22

Полоса канала (МГц)	6, (7, 8)
Мультиплексирование	<u>OFDM</u> , <u>OFDMA</u> (uplink)
Модуляция	<u>QPSK</u> , <u>16-QAM</u> , <u>64-QAM</u>
Кодирование	<u>Свёрточные коды</u> , Block <u>Turbo Code</u>
Пропускная способность (downlink)	18 Мбит/с
Спектральная эффективность	0,624–3,12 бит/(с*Гц)
Пользовательская производительность	Downlink: 1.5 Мбит/с Uplink: 384 Кбит/с

Схема OFDM была принята для того, чтобы обеспечить устойчивую работу системы в условиях многолучевого распространения и селективного замирания радиосигнала, а также для обеспечения высокой пропускной способности и эффективного использования полосы пропускания.

В зависимости от различных условий стандарт позволяет использовать различные схемы модуляции: QPSK, 16-QAM или 64-QAM. Причём в рамках стандарта не исключается адаптивная динамическая конфигурация модуляции для конкретного пользователя. Для обеспечения необходимой заявленной производительности, стандартом была введена система «Channel Bonding» (канальное соединение).

Данная система позволяет использовать для передачи более одного телевизионного канала за раз, чтобы обеспечить нужную пропускную способность. Это представляется возможным, в виду того, что частенько в различных странах между вещающими каналами оставляют 2, а то и более свободных канала, чтобы избавиться от перекрёстных помех. На практике, же предполагается ограничиться 3 свободными каналами.

MAC уровень. Требования разработчиков по гибкости архитектуры стандарта породили ряд новых проблем, что наложило определённые требования на структуру и принципы функционирования проекта, в том числе и на MAC уровне. В первую очередь возникли проблемы с инициализацией и входом в сеть. Суть проблематики связана с тем, что в сети отсутствует фиксированный канал, а также нет возможности послать пилот-сигнал для поиска сети (канала). Поэтому, вначале приходится сканировать весь частотный диапазон для отслеживания доступных свободных каналов, а затем уже в найденном отфильтрованном частотном диапазоне производить сканирование пилотным-сигналом базовых станций, и уже потом подключаться к сети.

Для обеспечения передачи данных между пользователем и базовой станцией используется дуплексная связь с временным разделением каналов (TDD). Это наиболее оптимальная схема, поскольку необходим всего 1 канал для обмена, что проще для контролирования в отличие от того же FDD (частотное разделение).

Длительность супер-фрейма: 160 мс.

Длительность фрейма: 10 мс.

Супер-фреймы обеспечивают полную синхронизацию всей работы сети. В начале каждого супер-фрейма есть преамбула и управляющий заголовок супер-фрейма (Superframe Control Header), или коротко SCH. Заголовок и преамбула содержат в себе всю необходимую информацию для всех новых абонентов, которые хотят подключиться к базовой станции.

Стандарт поддерживает различные системы QoS (таблица 1.3) [8].

Т а б л и ц а 1.3 – Технические параметры системы QoS стандарта IEEE 802.22

QoS	Приложение
UGS	VoIP, T1 / E1
rtPS	MPEG video streaming
nrtPS	FTP
BE	E-mail
Contention	BW запросы и т.д.

Для наглядности технических параметров стандарта IEEE 802.22 ниже приведена сравнительная таблица 1.4 с WiMAX (IEEE 802.16) [8].

Т а б л и ц а 1.4 – Сравнительные характеристики стандарта IEEE 802.22 и WiMAX

Характеристики	IEEE 802.22	WiMAX
PHY	OFDMA, 6 МГц	OFDMA, 5 МГц
Режим БПФ	2048	512
Частота дискретизации	6,9 МГц	5,6 МГц
Разнос поднесущих	3,3 КГц	10,9 КГц
Скорость передачи данных (max)	22,7 Мбит/с	15,8 Мбит/с

Все узлы в сети IEEE 802.22 используют два типа антенн – направленные антенны для передачи данных и антенны сканирования. На базовых станциях, для передачи данных, используются обычные для систем мобильной связи антенны – секторные или всенаправленные. У пользователей применяются направленные антенны с коэффициентом усиления до 14 дБ. Антенны сканирования это всенаправленные антенны, обеспечивающие чувствительность к вертикальной и горизонтальной поляризации, что позволяет воспринимать сигнал от телевизионных станций и беспроводных микрофонов. У пользователя такая антенна должна быть установлена вне помещения на высоте 10 м над уровнем земли. Существенным недостатком стандарта IEEE 802.22 является невозможность поддержки технологий множественных антенн (MIMO) и формирования диаграммы направленности. Это связано с тем, что в диапазоне частот 54-862 МГц физически сложно

обеспечить достаточное разнесение нескольких антенн, которое должно составлять не менее трех длин волн (то есть более 3 м на средней частоте). Сравнение с другими стандартами. Перспективы использования. Как указано выше, основной целью внедрения нового стандарта – обеспечение широкополосного беспроводного доступа на отдаленных территориях. Учитывая это, основными конкурентными системами стандарта IEEE 802.22 являются системы мобильной связи, работающие ниже 1 ГГц. в Украине используются первые три GSM/EDGE, CDMA EV-DO Rev.A, CDMA EV-DO Rev.B. Безусловно, технологию GSM/EDGE нельзя считать полноценным конкурентом стандарта IEEE 802.22. Однако технологии CDMA EV-DO также позволяют использовать направленные антенны пользователя, что позволяет увеличить зону покрытия до 30 км на открытой местности. В Украине насчитывается более 2 млн. абонентов использующих стандарт CDMA, кроме того наличие большого количества пользовательского оборудования, как портативного (смартфоны, модемы) так и стационарного (роутеры) на данный момент обеспечивает конкурентные преимущества данной технологии перед новым стандартом WRAN. Основным конкурентом стандарта IEEE 802.22 является технология LTE, работающая в различных частотных диапазонах от 700 МГц до 3,7 ГГц. Так, сеть LTE, развернутая в диапазоне 700 МГц в США использует слоган “LTE in Rural America” насчитывает более 12 млн. абонентов. В Германии сеть LTE, развернутая в диапазоне 800 МГц, насчитывающая более 4500 базовых станций уже выполнила лицензионные обязательства по первоначальному покрытию территорий с отсутствующими услугами широкополосного доступа. Сети в диапазонах 700 и 800 МГц (частоты цифрового дивиденда) уже развернуты в десятках стран Европы, Америки и Азии. В тоже время сети LTE как и CDMA являются универсальными, обеспечивая необходимое покрытие как на макро-, так и на микро-уровне. Таким образом, конкуренция с существующими сетями 3G/4G для нового стандарта IEEE 802.22 видится малоперспективной.

В тоже время перспективной представляется возможность использования стандарта IEEE 802.22 в диапазоне метровых волн (ниже 300 МГц), где зона покрытия может быть увеличена до 70 км и в настоящий момент не используются системы цифрового вещания, а передатчики аналогового вещания будут отключены после 2015 года.

Как указано выше, основной целью внедрения нового стандарта – обеспечение широкополосного беспроводного доступа на отдаленных территориях. Учитывая это, основными конкурентными системами стандарта IEEE 802.22 являются системы мобильной связи, работающие ниже 1 ГГц.

2 Общие принципы построения и происхождения когнитивных радиосистем

2.1 Общие принципы построения когнитивных радиосистем

Идея когнитивного радио впервые была изложена в статье Джозефа Митолы III (Joseph Mitola III) и Джеральда К. Магуэйра (Gerald Q. Maguire, Jr.) в 1999 году [10]. Это был новый подход в области беспроводной связи, который Митола позже описал как [10]:

Идея когнитивного радио заключается в том, что беспроводные персональные цифровые устройства (personal digital assistants, PDAs) и связанные с ними сети, достаточно разумны в отношении использования радиоресурсов и связанных с ними компьютерных коммуникаций для определения потребностей пользователей связи в зависимости от контекста использования, и должны обеспечивать оптимальное использование радиоресурсов и выбор беспроводных услуг, которые наиболее подходят пользователям [10].

Когнитивное радио (КР) стало дальнейшим развитием концепции программно-реконфигурируемого радио (software-defined radio). На рисунке 2.1 показаны качественные отличия КР от традиционных радиосистем и программно-реконфигурируемого радио (ПРР).

Качественные отличия традиционных радиосистем, программно-реконфигурируемого радио и когнитивного радио

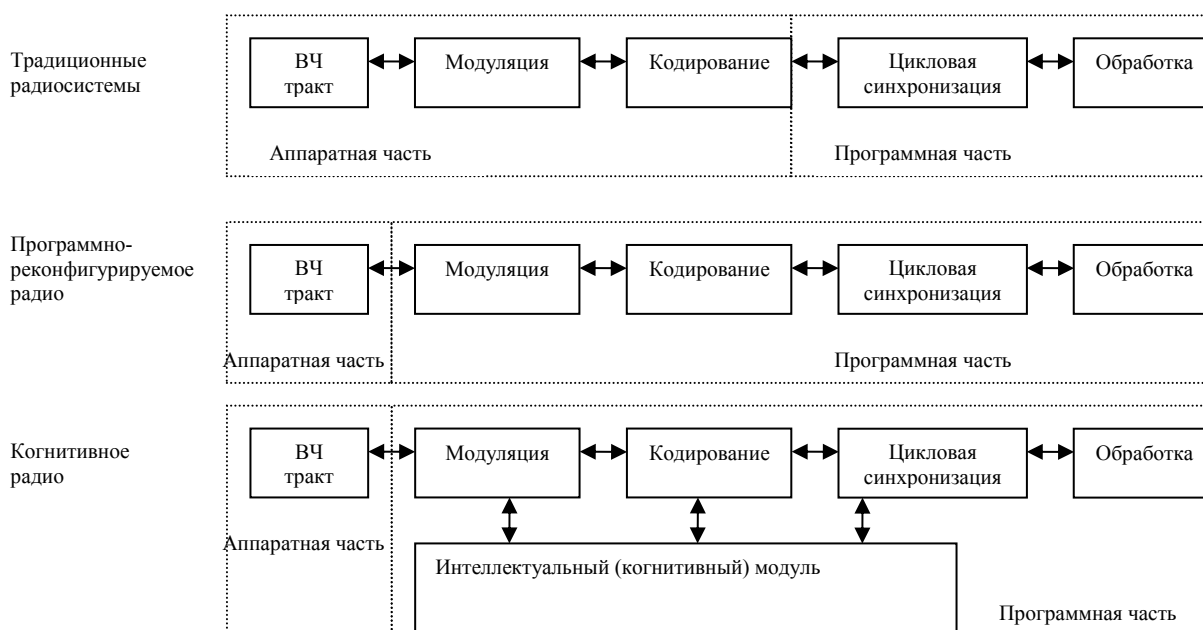


Рисунок 2.1 - Качественные отличия традиционных радиосистем, программно-реконфигурируемого радио и когнитивного радио

Как видно из рисунка 2.1 КР, как и ПРР, имеет программно-реконфигурируемую платформу. Отличительной особенностью КР является наличие интеллектуального (когнитивного) модуля.

Свойство когнитивности (дословно способности к познанию и самообучению) по отношению к радиосистеме обозначает ее способность решать следующие задачи:

а) проводить мониторинг спектра и обнаруживать не используемые в данный момент времени частотные полосы;

б) анализировать параметры радиоканала, оценивать передаваемую по каналу информацию, прогнозировать состояние радиоканала;

в) контролировать уровень излучаемой мощности и управлять процессом динамического доступа к спектру

г) Структурная схема РЭС КР, которая выполняет данные функции, приведена на рисунке 2.2 [11].

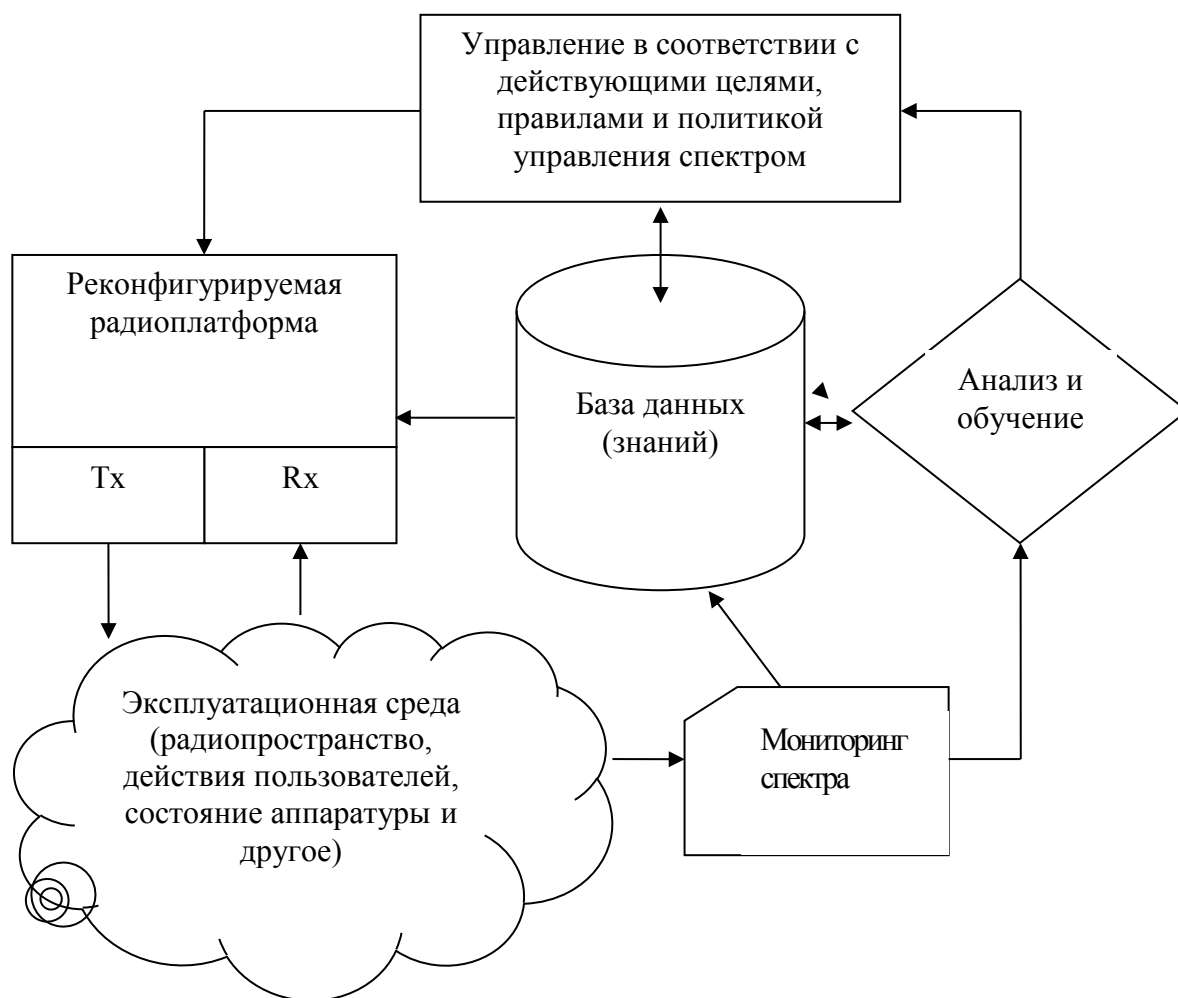


Рисунок 2.2 - Структурная схема РЭС КР

С целью структурно-логического описания принципов функционирования системы КР используется понятие циклов познания. Такой цикл может быть представлен в виде кибернетической модели OODA (Observe

- наблюдай, Orient - ориентируйся, Decide - решай, Act - действуй) [16]. Указанная модель предусматривает многократное повторение петли действий, которая сформирована четырьмя последовательными взаимодействующими процессами: наблюдением, ориентацией, решением, управляющим воздействием.

Наблюдение (observation) - это процесс сбора информации, необходимой для принятия решения в каждом конкретном случае. Необходимая информация может быть получена как от внешних, так и от внутренних источников. Под внутренними источниками информации понимаются элементы обратной связи петли. В качестве внешних источников используются датчики КР (сенсоры) и другие каналы получения информации.

Ориентация (orientation) - наиболее ответственный и наиболее сложный с когнитивной точки зрения этап во всем цикле OODA. Этап ориентации состоит из двух подэтапов: разрушение (destruction) и создание (creation). Разрушение (анализ) допускает разбиение ситуации на мелкие элементарные части, которые более легки для понимания. Устройства, которые принимают решение, будут стремиться провести декомпозицию задачи до такого уровня, при котором новообразовавшиеся составные задачи становятся близкими к стандартным ситуациям, для которых в системе есть план решения.

Когнитивный модуль просто идентифицирует текущую ситуацию с теми ситуациями, с которыми он знаком, и применяет заранее заготовленный план действий для текущей ситуации [12]. Затем эти элементарные планы объединяются в общий план действий, который и соответствует подэтапу «создание» (синтез). Произведенный план запоминается с целью возможного дальнейшего использования. Если нет планов, из числа которых может быть выбрано решение, то процесс остается на этапе ориентации и осуществляется дальнейшая декомпозиция задачи.

Принятие решения (decision) - третий этап цикла OODA [12]. Если к этому этапу устройство смогло сформировать только один план, то просто принимается решение - выполнять этот план, или нет. Если же сформированные несколько альтернативных вариантов действий, то устройство на данном этапе осуществляет выбор наилучшего из них для дальнейшей реализации. Выбор наилучшего плана может осуществляться, например, по критерию эффективность - стоимость.

Управляющее воздействие (action) - заключительный этап цикла, который предусматривает практическую реализацию принятого решения. Действие предусматривает управление системой с целью улучшения результатов наблюдения в следующем цикле [11-12].

По методам познания эксплуатационной среды системы КР делятся на две категории [12]:

- а) системы CR с пассивным познанием эксплуатационной среды;
- б) системы CR с активным познанием эксплуатационной среды.



Рисунок 2.3 - Цикл

Отличием цикла познания Митолы от цикла OODA является выделение в отдельные этапы - этапа планирования и этапа обучения (рисунок 2.3).

Классификацию когнитивных радиосистем можно провести по следующим критериям [12]:

- по используемым методам познания;
- по функциональным параметрам;
- по типу основных каналов управления (обмена информацией);
- по степени использования технологий искусственного интеллекта.

Пассивное познание. В системах на основе обмена информацией между пользователями РЧС - радиосистемы первичных пользователей предоставляют системам вторичных пользователей информацию о выделенных частотах и планируемых для выделения частотах. Например, передающая станция существующей (первичной) системы связи, такой как телевидение, передает сообщение, в котором объявляет о наличии лицензированного спектра для вторичного использования. Первичная система может предоставить разрешение на доступ к спектру или отказать в доступе. Обмен информацией может включать технические параметры (мощность передатчика, его местонахождение, частота, модуляция и т.п.), финансовые параметры (цены, варианты оплаты и т.д.), и параметры качества обслуживания (отношение сигнал-шум, защитные отношения и т.д.).

Преимуществом пассивных методов является то, что они могут обеспечить связь без помех для первичной системы, поскольку для нее используемый спектр определен априори. Вторичная система использует только те частоты, которые предоставлены первичной системой или полномочным органом.

Активное познание. Активное познание является способом получения информации о текущем использовании спектра в эксплуатационной среде. В основу метода активного познания положен мониторинг спектра с целью выявления полос частот, используемых другими системами. Метод требует постоянного мониторинга эксплуатационной среды с тем, чтобы новые первичные пользователи и возможные вакантные каналы были своевременно выявлены.

При проведении мониторинга радиочастотного спектра могут возникнуть ситуации, когда существует помеха от вторичной системы абонентскому терминалу основной системы (проблема скрытого терминала). В такой ситуации вторичный пользователь может влиять на первичный приемник, так как сам не всегда может выявить сигнал передатчика основной системы. Чтобы преодолеть эту проблему, необходимо увеличивать период зондирования для повышения точности измерений, что, в свою очередь, сокращает время, которое доступно для передачи информационных сообщений.

Еще одним способом преодоления проблемы скрытого терминала является обмен информацией о результатах зондирования между вторичными пользователями [13]. В данном случае используется комбинация методов активного и пассивного познания.

В зависимости от набора функциональных параметров, которые учитываются при принятии решения, возможно выделить следующие типы когнитивных радиосистем (КРС):

- полное когнитивное радио ("Mitola radio") [20]: в котором все возможные для наблюдения параметры РЭС или беспроводной сети приняты к вниманию;

- когнитивное радио на основе зондирования спектра, в котором рассматривается лишь один параметр - занятость радиочастотного спектра.

При использовании неполного набора параметров для наблюдения когнитивная радиосистема будет занимать промежуточное место между двумя этими типами.

По типу основных каналов управления (обмена служебной информацией) КР классифицируются на:

- КРС с выделенным каналом управления (обмена служебной информацией);

- КРС с распределенным каналом управления (обмена служебной информацией).

Такая классификация является традиционной для большинства радиосистем и поэтому детально рассматриваться не будет.

В настоящее время часть исследователей относит КР к интеллектуальным системам [14], а часть выделяет их в отдельный класс систем и помещает их между системами программно-реконфигурируемого радио и интеллектуальными радиосистемами. Чтобы внести ясность в этот вопрос необходимо рассмотреть определение искусственного интеллекта и интеллектуальной системы. В интервью одному из изданий Стэнфордского университета (Leland Stanford Junior University) в 2007 автор термина “искусственный интеллект” Джон Маккарти (John McCarthy) дал такое определение :

“Интеллект — способность системы создавать в ходе самообучения программы (в первую очередь эвристические) для решения задач определённого класса сложности и решать эти задачи”.

Дано следующее определение интеллектуальной системы: “Система с интеллектом – система, имеющая собственные потенциальные средства для обучения, самообучения, самостоятельной постановки целей и поиска средств и методов, необходимых для достижения своих целей”.

Исходя из приведенных определений можно сделать следующие выводы:

– в случае если знания, полученные в результате реализации цикла познания в последующих циклах системой используются только для анализа, то она относится к классу неинтеллектуальных КРС;

– в случае, если КРС функционирует с учетом ранее полученных знаний и использует их для прогнозирования ситуации, то она относится к классу интеллектуальных КРС.

Учитывая действия, которые необходимо предпринять по пункту 1.19 повестки дня Всемирной конференции радиосвязи 2012 года , было рассмотрено предложенное Исследовательской группой 1В определение когнитивного радио: “Когнитивная система радиосвязи - радиосистема использующая технологии, которые позволяют системе получать знания о своей операционной и географической среде, установленных правилах и ее внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои операционные (рабочие) параметры и протоколы в соответствии с полученными ею знаниями для достижения заранее определенных целей, и обучаться по достигнутым результатам”.

Данное определение описывает основные функции КР и способы их реализации. В тоже время, оно не в полной мере отражает способности КР к самоорганизации, использовании динамического доступа к спектру (базовый принцип КР), возможности влиять на операционную (рабочую среду), например, путем занятия свободного участка спектра. С учетом этого, предлагается следующее определение КР:

“Когнитивная радиосистема – самоорганизующаяся радиосистема с динамическим доступом к радиочастотному спектру, которая способна познавать свою эксплуатационную и географическую среду, адаптировать к ней свои функциональные параметры и протоколы и/или изменять свою

эксплуатационную среду за счет накопленных в процессе функционирования знаний и приобретенных навыков, с учетом установленных регуляторных политик и своего функционального состояния” [18].

Одним примером изучения возможностей применения когнитивной технологии является изучение использования так называемых "пробелов" в УКВ диапазоне.

«Пробелы»- это не используемые части спектра в данное время и в данном месте. Применение Когнитивных технологий в области «пробелов» в УКВ диапазоне вещания (470-790 МГц) в настоящее время изучается в Европе. Кроме того, есть другие диапазоны частот "уже распределенные", которые представляют интерес.

SDR, хотя и не является новой концепцией, особенно в военной области, но в последнее время она вызвала больше интереса, так как она рассматривается в качестве дополнительной технологии когнитивного радио. Хотя CR не обязательно должно быть основано на SDR, ясно, что SDR можно рассматривать как один из возможных двигателей когнитивной радиотехники и таким образом две технологии, безусловно, дополняют друг друга с этой точки зрения. Само собой разумеется, что об CR и SDR могут иметь некоторые нормативные аспекты для рассмотрения, и это в настоящее время находится под рассмотрением в различных форумах.

В рамках стандарта ETSI TR 102 838 V1.1.1 (2009-10) рабочие группы RRS рассматривают возможные новые области стандартизации для SDR и CR [14]. В контексте исследования Реконфигурируемые Радио Системы рассматриваются сети, имеющие на верхнем структурном уровне следующие компоненты системы, как показано на рисунке 2.4.

Абонентское оборудование Multiradio представляет пользовательские устройства, оснащенные программным управлением Multiradio технологии, которые предоставляют возможность реконфигурации радио части. Реконфигурация может включать в себя установку и загрузку нового программного обеспечения радио приложений в оборудование пользователя или изменение радио параметров, включая диапазон радио частот, используемый для пользовательского трафика. Поскольку MUE имеет несколько радио интерфейсов, которые могут быть активны одновременно, устройство может иметь соединение с несколькими радио сетями одновременно. Некоторые из этих сетей радиосвязи могут иметь когнитивные технологии радио для гибкого использования радио частот, другие же могут использовать обычные технологии радио на родных диапазонах рабочих частот. Помимо обычных пользовательских данных радио - устройства MUE могут также использовать некоторые радио – ресурсы, для обеспечения когнитивных функций управления (рисунок 2.4).

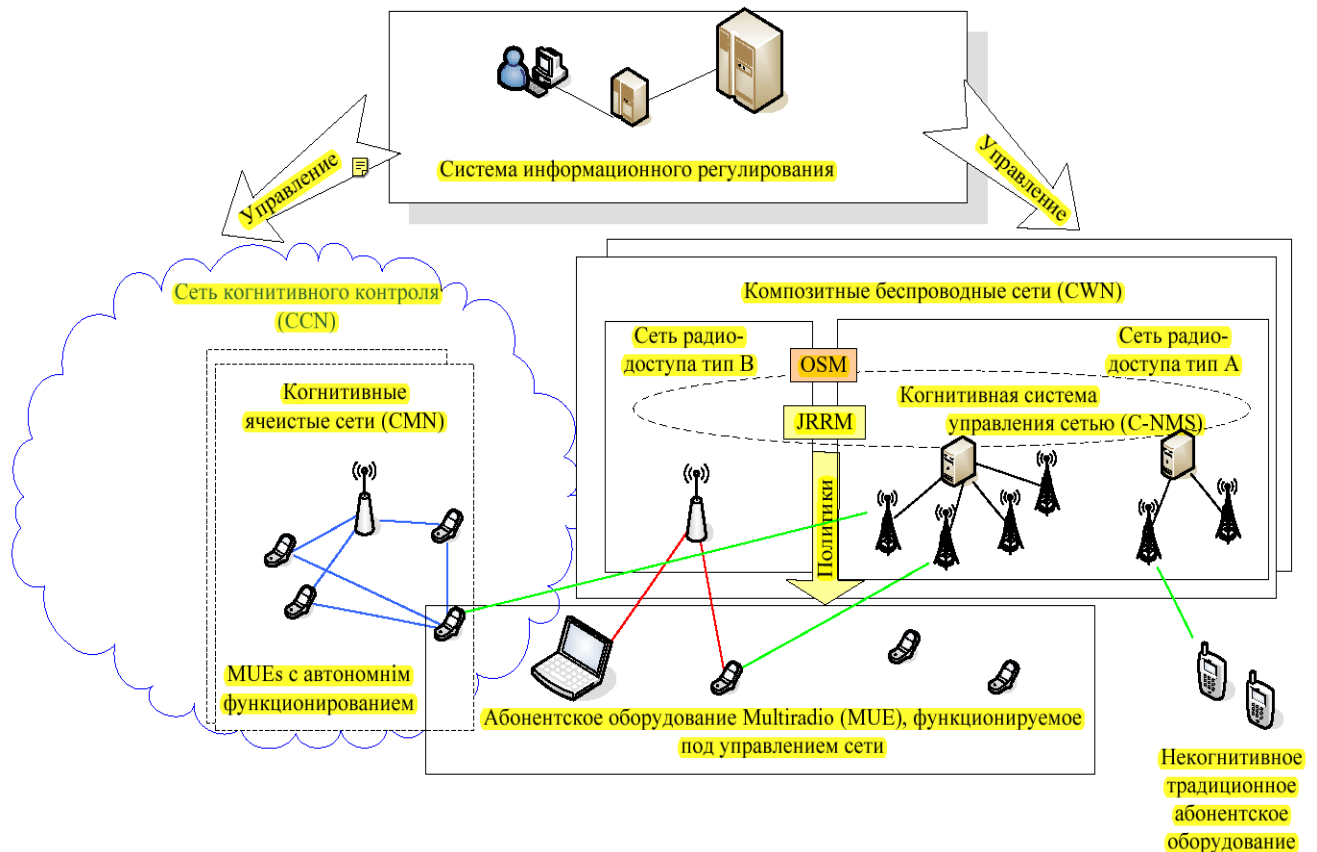


Рисунок 2.4 – Концепции централизованных и децентрализованных радиосистем

Примерами таких радио – ресурсов являются радио – ресурсы зондирования спектра и радио – ресурсы геолокации, которые могут помочь когнитивному пользователю данных радио работать в качестве вторичного пользователя в полосе частот спектра, где помехи первичным пользователям необходимо избегать.

Композитная беспроводная сеть представляет собой набор радио сетей, которые управляются оператором сети с использованием общей системы управления сетью.

Каждая радиосеть состоит из двух видов радио узлов: пользовательские узлы и узлы доступа. Пользовательскими узлами могут быть MUE, как описано выше. Узлы доступа- это базовые станции в общем смысле. Такие узлы тоже могут быть реконфигурируемыми и могут использовать определенное программное обеспечение Multiradio технологии. Такие узлы доступа называют реконфигурируемыми базовыми радио - станциями (R-RBS) ниже. Некоторые из радиосетей в CWN могут быть когнитивными. Они гибко используют радиочастоты, и в этом случае, как пользовательские узлы, так и узлы доступа поддерживают общую когнитивную технологию радио. Другие сети радио могут использовать обычные технологии радио и работать на родных диапазонах рабочих частот. Менеджер Спектра Оператора (OSM)

это объект, который позволяет оператору управлять динамическим назначением спектра в рамках его CWN. Управление Совместными Радио ресурсами (JRRM) – это объект внутри C-NMS, который позволяет управлять композитными радио ресурсами и выбирать технологии радио - доступа для пользовательского трафика.

Это описание CWN справедливо даже в таком случае, когда ни одна из сетей радиосвязи не использует технологию когнитивного радио.

Оператор CWN заинтересован эффективно распределять общий трафик от всех MUE по различным радио сетям. Для этого, как пользовательские узлы, так и узлы доступа необходимо реконфигурировать в соответствии с правилами с когнитивной Системы Управления Сетью оператора. Такой C-NMS представляет собой централизованный когнитивный элемент управления, который собирает нагрузку трафика и информацию об использовании спектра от CWN и распределяет трафик между различными радио сетями в CWN. В дополнение к таким когнитивным функциям управления трафиком, C-NMS может также включать множество обычных функций управления сетью.

Когнитивные ячеистые сети MUE могут также использовать некоторые радио системы, как правило малой дальности, для создания узкоспециализированных и ячеистых сетей между собой, чтобы обеспечить различные виды социальных сетевых услуг. Возможность использования реконфигурируемых и когнитивных радио систем для предоставления этих услуг средимножества MUE, добавляет большую гибкость в обслуживании самых разных MUE, связанных с такими Когнитивные ячеистыми сетями (CMN). Там может быть несколько активных CMN в одной области, каждая из которых обслуживает различные группы конечных пользователей и услуг. При использовании соглашательного доступа к спектру в условиях сотрудничества CMN могут координировать их использо радиочастот. Взаимодействие между CMN может быть организовано в децентрализованном порядке с помощью логического разделения Сети Когнитивного Контроля (CCN) для обмена информацией между CMN, которые работают в одном географическом районе и, следовательно, нуждаются в координации их доступа к спектру. CMN и CWN принадлежат к двум различным доменам в плане использования радиочастоты и Технологии Радио Доступа (RAT). MUE может подключиться к обоим CMN и CWN. Внутри домена CMN, MUE не действуют в качестве объектов передачи к CWN для других MUE, в то время как каждый из них может подключаться непосредственно к CWN посредством соответствующей RAT, например, GSM, UMTS и LTE.

Все сетевые элементы RRS сетей - как в централизованной и децентрализованной архитектурах, описанные выше - включают в себя функции и протоколы:

- пользовательских данных;
- управления связью;
- контроля и управления когнитивной сетью.

Рабочие группы TC-RRS разработали различные подходы для определения, описания и возможные аспекты стандартизации сетевых архитектур и протоколов RRS, для этих функциональных уровней.

Каждый MUE работает как член одной или нескольких радио сетей под руководством внутренних уровней управления этих радио сетей. Функции уровня управления обычно включают схемы доступа к конкретной среде радио сети (MAC) и управления радио ресурсами (RRM). В случае когнитивной радиосети внутренний уровень управления может быть расширен до управления соглашательным доступом к спектру и контроля перестройки частоты, например, зондирования спектра и процедур переноса радиосети из зоны спектра, которая была обнаружена для занятия первичным пользователем. Каждый MUE также имеет пользовательский уровень конкретной радиосети, который обеспечивает исходящий и входящий трафик пользовательских данных в/из приложений, выполняющихся в MUE.

Кроме уровней пользователя и управления, MUE имеет также функции когнитивного уровня управления для работы в качестве устройства пользователя в централизованно управляемой CWN и/или для работы в качестве автономного устройства пользователя в одном или нескольких CMN. Когда MUE работает как устройство пользователя в централизованно управляемой CWN, он также включает в себя функции и протоколы когнитивного уровня управления, которые позволяют C-NMS перенастроить радио в MUE например, путем установки и загрузки новых программных радио приложений, путем перенастройки рабочих параметров некоторых радиоустройств и путем загрузки информации полисов конкретного оператора, которая используется для управления выбором радио технологии для трафика пользовательских данных в MUE. Когда MUE является членом одной или нескольких CMN, он имеет функции и протоколы уровня управления сосуществованием и сотрудничеством с другими CMN, работающими в той же когнитивной полосе частот и в том же географическом районе. Примерами таких функциональностей являются обнаружения сетей и служб для получения первоначального доступа к желаемой CMN и совместное зондирование спектра среди множества CMN.

Реконфигурируемые базовые станции мульти-радио имеют уровни пользователя и управления для каждой из поддерживаемых радио сетей. Уровень пользователя используется для передачи трафика данных пользователя, а уровень управления используется для управления радио операциями внутреннего контроля радио сети.

Являясь частью CWN, R-RBS также имеет когнитивный уровень управления для смешанных процедур управления сетью под наблюдением NMS сети оператора.

Когнитивный уровень управления позволяет в зависимости от нагрузки трафика осуществлять распределение между различными радио сетями, а также изменением конфигурации R-RBS возможностей для гибкого использования имеющихся ресурсов спектра.

Все функциональные возможности C-NMS принадлежат когнитивной плоскости управления.

В рамках стандарта ETSI TR 102 680 V1.1.1 (2009-03) рабочая группа WG2 RRS исследует вопросы стандартизации функциональной архитектуры и интерфейсов оборудования SDR, которая может работать сразу с несколькими базовыми радиостанциями параллельно, эффективно деля полосы частот и ресурсы радио спектра. Такая архитектура, как ожидается, обеспечивает два уровня системных интерфейсов: мульти-радио интерфейс доступа, который предоставляет все SDR мульти-радио услуги, такие как передача данных и реконфигурации для приложений, находящихся в телефоне и Единый системный радио - интерфейс для согласования пути, по которому различные и независимые стандартизированные радио стеки могут работать одновременно под общим контролем SDR.

В рамках стандарта ETSI TR 102 681 V1.1.1 (2009-06) рабочая группа WG2 RRS исследует вопросы стандартизации существующих архитектур Базовых радио станций, возможные программно управляемые архитектуры и требования к будущим RBS. Также изучается влияние функций реконфигураций на общий жизненный цикл RBS, их энергопотребление и влияние на окружающую среду [].

Определим основные требования к реконфигурируемым базовым станциям:

Реконфигурируемая базовая станция должна поддерживать общие требования:

- переход от одного стандарта к другому;
 - использо нескольких стандартов;
 - перестройку частоты;
 - возможность участия в динамическом распределении спектра;
 - возможность к вторичному использованию спектра (переиспользованию спектра);
 - динамическую оптимизацию емкости в зависимости от нагрузки;
- регулируем антенн;
- структуры фемтосота «femtocell»;
 - реконфигурацию транспортной сети для плоской архитектуры.

Исходя из вышесказанного, способность к реконфигурации требуется для модуляции и полосы пропускания, распределения частот, включая существующие и будущие полосы, уровней мощности, дуплексного режима и для возможностей модификации архитектуры сети.

Реконфигурируемая базовая станция должна поддерживать требования для нужд операторов:

- возможность быстрого планирования и модернизации сети с учетом необходимой емкости и покрытия;
- быстрое и оправдывающее затраты развертывание сети;
- гибкую работу сети, особенно в отношении миграции технологий;

– переиспользово спектра и оптимизацию технической поддержки. Это потребует общего управления двумя или более системами, которые временно географически сосуществуют; динамическое управление аппаратными ресурсами, определенными для существующей сети и для системы нового поколения.

Требования к производителям оборудования большей частью связаны с тем, чтобы всецело соблюдать различные условия заказчика и уменьшить количество вариантов оборудования, предоставляя эффективное управление оборудованием. В этом смысле, реконфигурация в RBS должна обеспечивать как обновление и модификацию функциональности существующего оборудования, так и возможность наращивания его емкости путем обновлений. Также возникают требования касательно технической поддержки RBS, количества тестовых возможностей, сертификации, надежности, поддержки жизненного цикла продукта и т.д. Новые устройства, построенные на базе SDR-технологии должны полностью соответствовать требованиям и техническим характеристикам 3GPP стандартов, таким образом, гарантируя полную совместимость между ними.

Учитывая вышеперечисленные требования, предлагается оптимальная архитектура для RBS (рисуное 2.5).

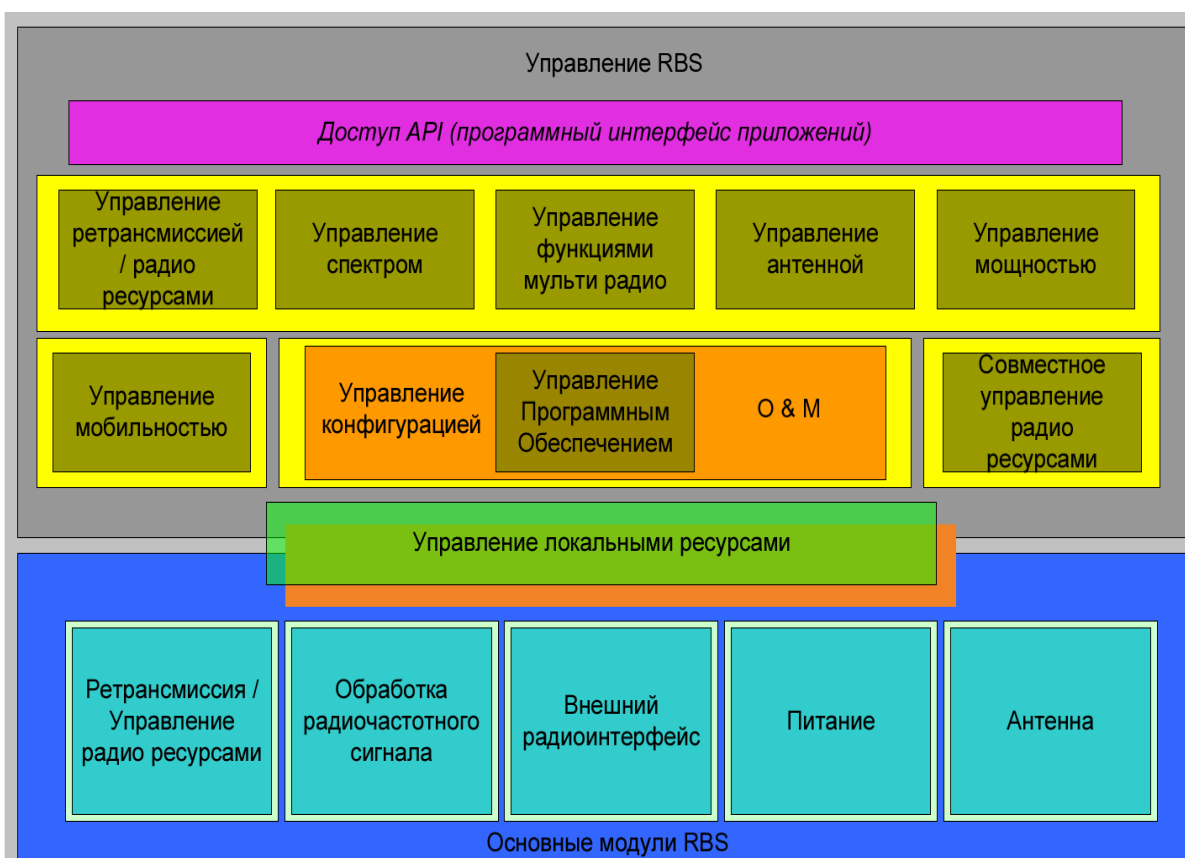


Рисунок 2.5 – Реконфигурируемая архитектура для базовых радиостанций

Требования к функциональным блокам реконфигурируемых базовых радиостанций:

Блок Управления Конфигурацией должен:

- обеспечивать интерфейс для запуска операций по реконфигурации;
- обеспечивать непрерывную согласованную работу всех блоков базовой радиостанции;
- в случае необходимости включать функции Управления программным обеспечением в операции по реконфигурации;
- осуществлять операции возврата;
- обеспечивать быстрое реагирование в случае поломок или неполадок в работе базовой радиостанции (например, реорганизация в случае частичного повреждения оборудования).

Блок Управление программным обеспечением должен:

- выполнять процедуры по загрузке программного обеспечения;
- знать какое Программное Обеспечение устанавливается в какие блоки;
- знать потенциальные взаимосвязи программных модулей;
- иметь возможность активировать/деактивировать Программное обеспечение в базовой радиостанции;
- обрабатывать Программное Обеспечение Базовых Радиостанций как цельный/единый блок ПО или как набор независимых приложений;
- иметь гибкость в использовании различных подходов к управлению программным обеспечением (например, фиксированное отображение вобрабатывающие модули Базовой Радиостанции или гибкое отображение как в SCA (Архитектура связей Программного обеспечения, т.е. автономное распределение ПО с ограничениями внутри Базовой Радиостанции).

Блок O&M (технического обслуживания) должен:

- иметь доступ ко всем важным параметрам конфигурации базовой радиостанции;
- контролировать активацию/деактивацию измерений;
- собирать и суммировать результаты измерений (схемы сбора и суммирования должны быть гибкими и реконфигурируемыми);
- множественные клиенты должны иметь возможность подписываться на доставку результатов измерений и/или значений параметров конфигурации (схемы доставки должны быть гибкими и реконфигурируемыми);
- обслуживать внешних и внутренних клиентов;
- защищать Базовую Радиостанцию от слишком большого количества запросов.

Блок Управления Ретрансмиссией должен:

- иметь следующие конфигурации физического уровня: Гигабитный Ethernet, медный, оптический, SDN, .wave, (множественные соединения со ссылкой на поддерживаемые стандартты);
- иметь следующие конфигурации логического уровня: TCP/IP, SDN Frame, S1/X2 ассоциации (со ссылкой на поддерживаемые стандартты);

– обеспечивать конфигурацию внутренних алгоритмов к стандартным RRM алгоритмам для автономной точной настройки.

Блок Управления Спектром должен:

– обеспечивать распределение полос спектра и полисы их использования;
– осуществлять планирование/управление использованием спектра в поддерживаемой соте (если полисы разрешают): алгоритмы, период назначения, пороги, интерференцию между сотами;

– обеспечивать функции когнитивного радио.

Блок Управления функциями Мульти радио должен:

– обеспечивать Базовой Радиостанции эффективность с точки зрения экологических аспектов (альтернативное питание и соответствующие вопросы).

Блок Управления Антенной должен:

– обеспечивать управление диаграммой направленности антенны, коэффициентом направленного действия антенны, направлением антенны, и т.д.;

– обеспечивать конфигурацию сектора (3x1, 1x1, и т.д.);

– поддерживать различные физические типы антенн (Multi-pad, MIMO, SIMO, MISO, SISO, и т.д.);

– использовать разнородность приемников/передатчиков, в соответствии с раздельной структурой кабелей антенны;

– обеспечивать механический поворот/наклон, электрический поворот, изменение параметров поворота/наклона, направление по азимуту;

Блок Управления мощностью должен:

– обеспечивать максимальное значение мощности Передатчика, изменение мощности передатчика в соответствии с RAT спецификациями для соты, сектора, антенны, и т.д.;

– обеспечивать управление специфическими схемами мощности (днем, ночью, по событиям, экономию питания, и т.д.);

– обеспечивать согласованные с RAT спецификациями измерения эффективности (ограничение, предискажения, коррекция с прямой связью, и т.д.).

Блок Управления Мобильностью должен:

– обеспечивать конфигурацию параметров хэндовера (пороги, таймеры, гистерезис, и т.д.);

– обеспечивать процедуры горизонтального хэндовера (жесткий, мягкий, умеренный, и т.д.);

– обеспечивать процедуры вертикального хэндовера (3GPP – WiFi WiMAX, и т.д.).

Блок Управления Радио Ресурсами должен поддерживать выбор доступа терминального оборудования основанный на (рисунок 2.6):

– требуемом качестве обслуживания (полоса пропускания, максимальная задержка, реальное время/ нереальное время);

- ради условиями (т.е. абстрактная сила сигнала/ качество, доступная полосапропускания);
- условиями сети доступа (т.е. емкость соты, текущая нагрузка на соте);
- пользовательскими предпочтениями;
- сетевыми полисами;
- информацией о соседних сотах для эффективного обнаружения возможных доступов;
- расположения соты (широта/долгота);
- размера соты (т.е. радиус соты);
- возможностей соты (поддержка так называемых услуг реального нереального времени);
- емкости соты;
- динамических данных, таких как текущая нагрузка на соте.

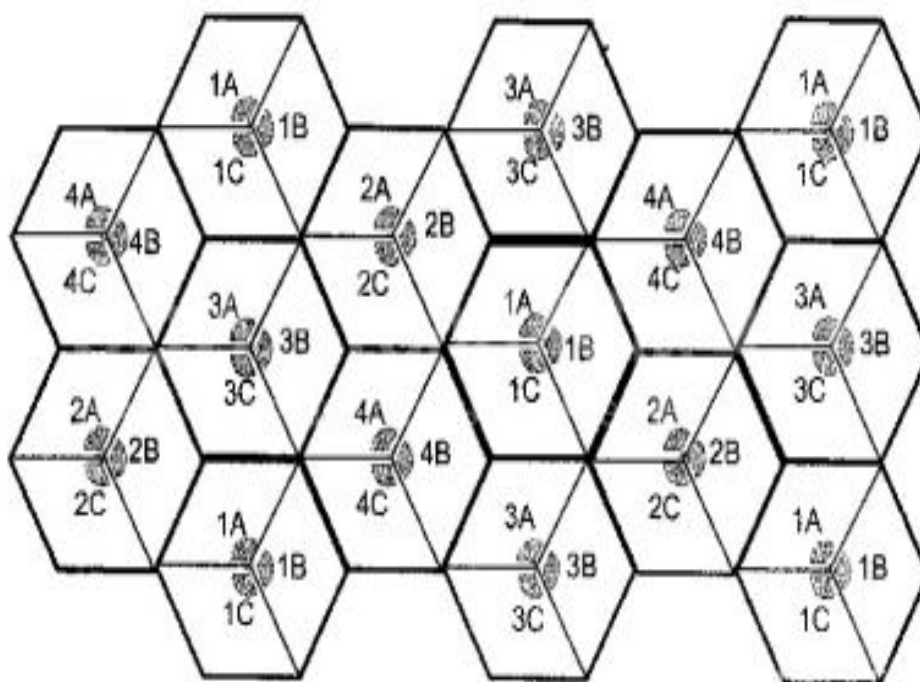


Рисунок 2.6 - Соты

3 Исследование характеристик когнитивного радио

3.1 Анализаторы спектра реального времени

Экспериментально сравнить и оценить характеристики реального времени когнитивного радио можно при помощи анализаторов спектра [20]. Рассмотрим некоторые из них. Вообще, к анализаторам спектра реального времени относятся такое оборудование, как анализатор спектра серии ГС5А6100А с частотным диапазоном 6,2 ГГц и 14 ГГц.

Приборы серии RSA6100А (рисунок 3.1) позволят легко обнаружить проблемы, которые могут возникнуть в процессе разработки устройств, в то время, как другие анализаторы спектра не зафиксируют эти проблемы.



Рисунок 3.1 – Анализатор спектра реального времени серии ГС5А6100А

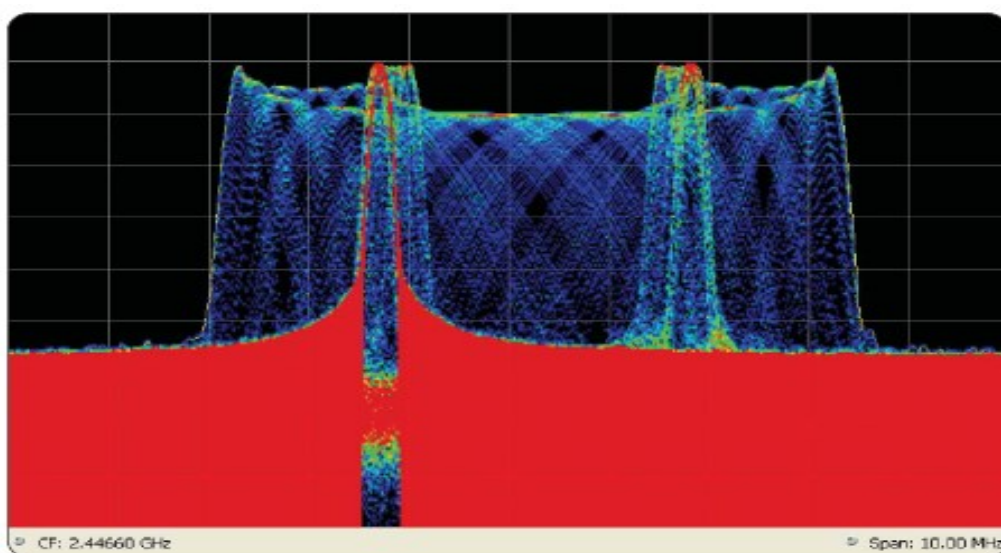


Рисунок 3.2 - Радиочастотный спектр (красным цветом - шумовой фон, синим цветом – переход сигнала из одной частоты в другую)

Уникальная технология отображения спектра сигналов DPX позволяет быстро отобразить поведение сигналов, изменяющихся во времени, что помогает Вам обнаружить нестабильность работы системы, глитчи (кратковременные импульсы) и интерференцию.

На рисунке 3.2, детально показан редко происходящий процесс перехода сигнала с одной частоты на другую. Частота появления сигналов отображается с помощью цветовой градации, которая показывает редко происходящий процесс перехода сигнала с одной частоты на другую - синим цветом, а шумовой фон - красным цветом.

Особенности и преимущества анализаторов серии ГС5А6100А:

- революционная технология DPX позволяет отображать переходные процессы сигналов с длительностью от 24 мкс с 100% вероятностью перехвата;
- технология обработки спектра сигналов DPX позволяет получить интуитивное, реальное отображение РЧ сигналов, изменяющихся во времени с цветовой градацией, основанной на частоте появления сигналов.

Синхронизация в данных приборах - эксклюзивная система синхронизации по частотной маске (PMT) от компании Tectronix для полосы захвата 40 МГц и 110 МГц [29] позволяет осуществлять быстрый захват интересующих событий в изменяющихся РЧ сигналах с помощью запуска на любые изменения в частотной области.

Все сигналы в полосе обзора до 110 МГц захватываются в память. Время захвата длительностью до 1,7с при полосе захвата 110 МГц позволяет осуществлять полный анализ изменения сигналов во времени без выполнения многократных захватов сигналов.

Возможный анализ характеристик анализаторов спектров, проведенный для исследования характеристик когнитивного радио [20]:

а) возможность расширенного анализа сигналов в нескольких областях одновременно позволяет выявлять проблемы, связанные с временем, частотой, фазой и амплитудой для более быстрого понимания причин их возникновения и влияния их на работу системы для дальнейшего их устранения;

измерения мощности и статистические исследования сигналов помогают определить характеристики компонентов и систем: ACLR, ACLR с несколькими несущими, зависимость мощности от времени;

б) расширенный набор измерений для анализа импульсных сигналов, включая измерения времени нарастания, длительности импульса и фазы между импульсами, позволяет внимательно проанализировать и понять поведение последовательности импульсов;

в) анализ основных видов цифровой модуляции обеспечивает функциональность векторного анализатора сигналов;

г) определение характеристик радиолокационных и импульсных радиочастотных сигналов;

д) захват параметров векторных сигналов систем 3-го и 4-го поколения с несколькими несущими для последующего анализа;

е) анализ временных изменений характеристик систем когнитивного радио и программно-управляемых радиочастотных устройств SDR. Определение помеховых и неизвестных сигналов при мониторинге РЧ спектра, радиочастотном контроле и надзоре по использованию РЧ спектра;

ж) обнаружение и устранение неисправностей при разработке радиочастотных компонентов, модулей и систем.

Запатентованная технология обработки спектра DPX позволяет анализаторам спектра выполнять анализ переходных процессов сигналов в реальном режиме времени. Выполнение более 48,000 частотных преобразований в секунду позволяет отображать в частотной области переходные процессы длительностью от 24 мкс. Это 1000-кратное улучшение относительно возможностей анализаторов спектра в перестройкой по частоте. События могут обозначаться различным цветом в зависимости от частоты появления на растровом дисплее, что дает не имеющее аналогов возможности понимания и анализа поведения нестационарных сигналов.

Приборы серии P5A6100A представляют возможности анализа, которые повышают производительность работы технических специалистов, которые разрабатывают компоненты или РЧ системы, осуществляют интеграцию и проверку технических характеристик, или технических специалистов по эксплуатации, которые осуществляют обслуживание сетей связи, радиочастотный контроль или надзор за использованием РЧ спектра. Спектрограммы отображают изменения частоты и амплитуды во времени. Измерения с корреляцией по времени могут быть произведены в частотной, фазовой, амплитудной и модуляционной областях. Это идеально подходит для анализа сигналов, который включает в себя анализ сигналов со скачкообразной перестройкой по частоте, анализ характеристик импульсных сигналов, анализ переключения модуляции, анализ времени установления сигнала, анализ изменения диапазона и анализ нестационарных сигналов.

Система запуска по частотной маске отслеживает изменения в частотной области и захватывает любые отклонения в память. Дисплей спектрограммы (левая панель) показывает изменение частоты и амплитуды во времени. При выборе точки во времени на спектрограмме, где изменение в частотной области приводит к запуску РМТ, вид частотной области (правая панель) автоматически обновляется для отображения подробного вида спектра в тот точный момент времени.

Возможные влияния на полезный сигнал можно разделить на несколько больших групп:

- естественные помехи от различных источников;
- взаимные помехи от работающих рядом устройств,
- организованные помехи с помощью спецсредств.

3.2 Метод мониторинга спектра в когнитивных радиосетях в алгоритме быстрого преобразования Фурье (БПФ)

Поскольку большая часть спектра уже распределена, наиболее важной задачей является совместное использование лицензированных полос спектра, не вмешиваясь при этом в передачу лицензированных пользователей. Система когнитивного радио позволяет использовать временно свободные участки спектра, которые получили название спектральные «дыры» или пробелы в спектре, как показано на рисунке 3.3. Если эта полоса в дальнейшем используется лицензированным пользователем, вторичный пользователь, для того чтобы не создавать помех, перемещается в другой участок спектра или остается в той же полосе, изменяя уровень мощности передачи, или схему модуляции.

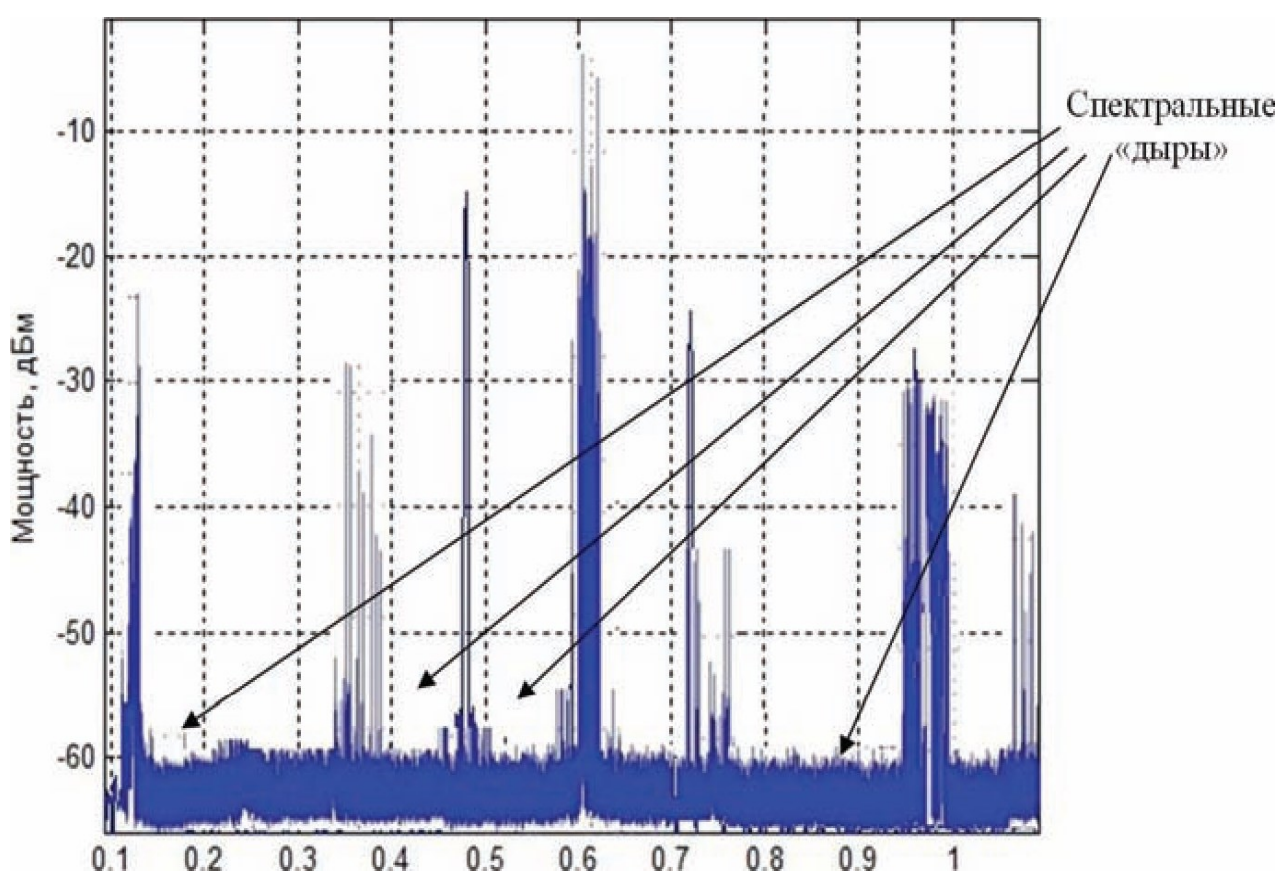


Рисунок 3.3 - Пример спектра в диапазоне 0.1-1 ГГц

Мониторинг радиочастотного спектра - одна из важнейших задач системы когнитивного радио. Эффективность мониторинга в значительной степени определяет то, насколько эффективно используется частотный спектр [11]. Алгоритм мониторинга спектра для широкого диапазона отношения сигнал-шум должен обеспечивать высокую вероятность обнаружения лицензированных сигналов и низкую вероятность ложного обнаружения. В

тоже время необходимо учитывать вычислительную сложность и эффективность этих алгоритмов.

Метод мониторинга спектра на основе алгоритма БПФ. Рисунок 3.3 иллюстрирует алгоритм мониторинга спектра на основе БПФ, который может быть разделен на следующие основные шаги:

а) На первом этапе сигнал делится на фреймы T . Обозначим l -ый фрейм как $x(n)$, $n = 0, \dots, N-1$, $l = 0, 1, \dots, T-1$, где N - количество выборок во фрейме.

б) Затем для получения желательной спектральной формы сегментированные фреймы умножаются на весовые коэффициенты [31]

$$x(Xn) = x(n)mn \quad (3.3)$$

$$n = 0, 1, \dots, N-1; l = 0, 1, \dots, T-1.$$

в) После этого применяется алгоритм БПФ [31]

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-jkn} \quad (3.4)$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1; l = 0, 1, \dots, T-1.$$

г) На следующем этапе вычисляется спектральная плотность мощности фрейма [31]

$$P_t(k) = |X_t(k)|^2$$

$$k=0, 1, \dots, N/2; t=0, 1, \dots, T-1. \quad (3.5)$$

д) Вычисление спектральной плотности мощности T фреймов, $P\phi$

$$P\phi(k) = 1/T \sum_{t=0}^{T-1} P_t(k), \quad (3.6)$$

е) Вычисляем P_{cp} как среднее от $P\phi$ [31]

$$P_{cp} = 2/N+2 \sum P\phi(k), \quad (3.7)$$

где коэффициентом $2/N+2$ можно пренебречь, не затрагивая рабочие характеристики.

ж) Решающая величина $r(k)$, устойчивая к уровню фонового шума, определяется соотношением [31]

$$r(k) = \frac{P_{\phi}(k)}{P_{cp}},$$

$$k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}. \quad (3.8)$$

Результаты моделирования.

Для проверки данного алгоритма было применено компьютерное моделирование для канала с аддитивным белым шумом (AWGN) со значениями отношения сигнал-шум, указанными в таблице, количеством первичных пользователей равным 20, вероятностью ложного обнаружения лицензированных сигналов $P_{FA} = 0,001$, размерностью БПФ $N = 256$, количеством фреймов $T = 200$.

Горизонтальной чертой отмечено пороговое значение. Результаты моделирования представлены ниже на рисунках 3.4-3.6.

Таким образом, необходимое число отсчетов $N*T$ определяет задержку выходного решения.

Кроме того, разрешающая способность по частоте также является ограничением в разработке системы. Для того, чтобы выбрать значения N , T , и a , необходимо знать разрешающую способность по частоте и значение $8N \geq 1$ в рабочих условиях, а также требования для минимального значения P_n и максимального значения P_{FA} .

Порог a определяется относительно вероятности P_{FA} .

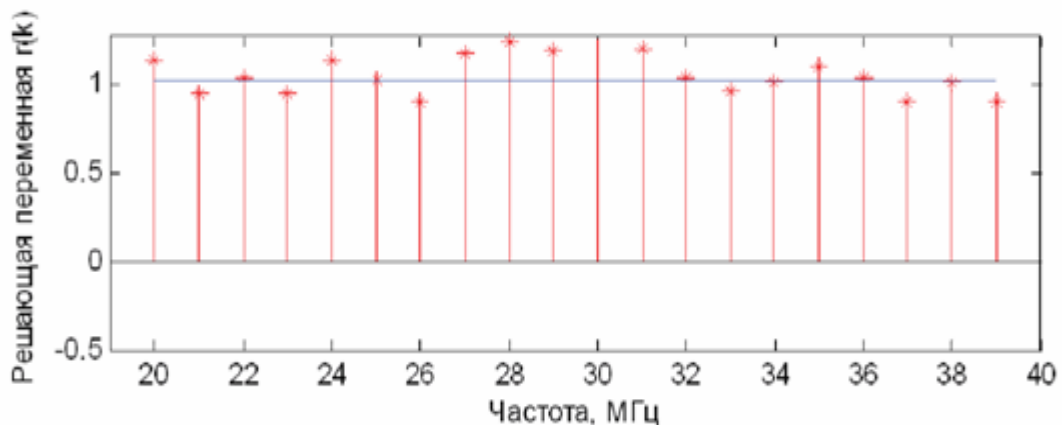


Рисунок 3.4 – Детектирование лицензированных сигналов в канале AWGN при $SNR = 21$ дБ

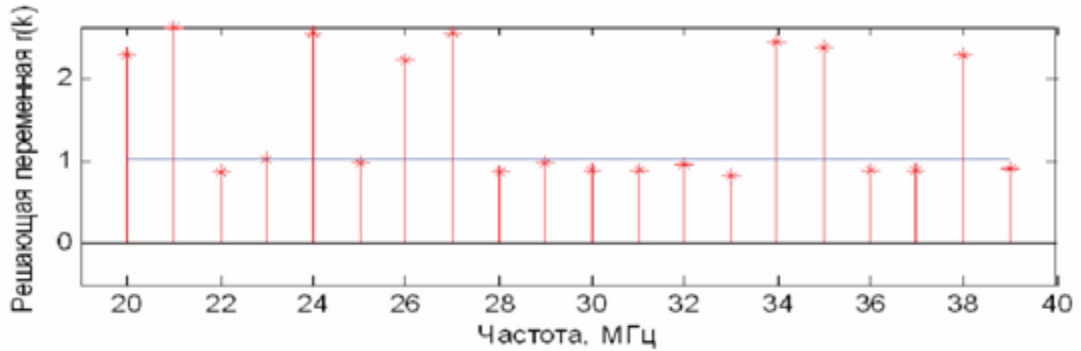


Рисунок 3.5 - Детектирование лицензированных сигналов в канале AWGN при SNR = -12 дБ.

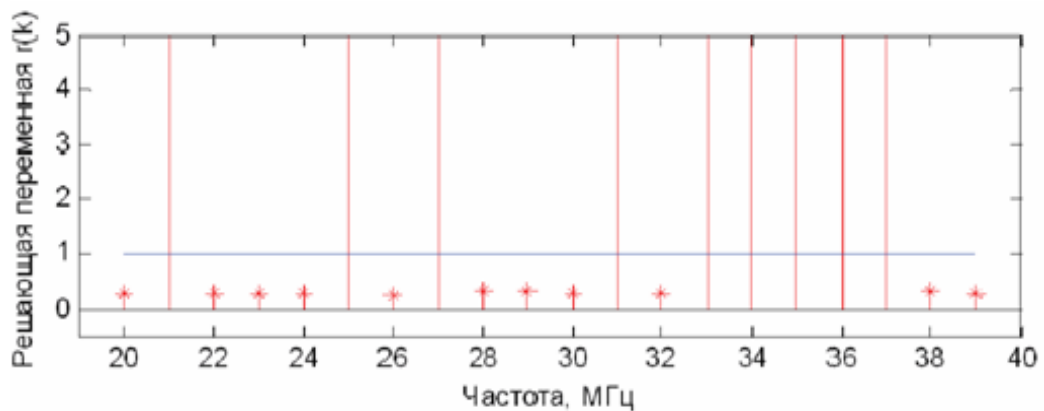


Рисунок 3.6 - Детектирование лицензированных сигналов в канале AWGN при SNR = 1 дБ.

Преимущество метода состоит в том, что величина, по значению которой принимается решение о состоянии канала (занятости канала), нечувствительна к уровню шума, а также, в том, что данный алгоритм ориентирован на работу в частотной области, что значительно упрощает его реализацию.

3.3 Расчет параметров сети

Исходные данные :

высота подъема антенны БС $h_{БС} = 40$ м;

высота подъема антенны МС 1.5 м;

модели расчета Оокумура-Хата;

центральная частота 750 МГц;

коэффициент согласования антенны с радиосигналом по поляризации (для передатчика и приемника) принимается равным:

$$\xi_{П} = \xi_{С} = 0,9;$$

КПД передающего и приемного фидеров принимается равным $\eta_{\text{ФПРД}} = \eta_{\text{ФПРМ}} = 0,95$.

Усиление передающей и приемной антенн указаны в таблице 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 - Значения параметров БС и МС

Обозначение	Наименование и единица измерения	Значение
РПРД БС	Мощность передатчика БС, дБВт	16
GПРД БС	К-т усиления передающей антенны БС, дБ	18
fПРД БС	Полоса рабочих частот передачи БС, МГц	776-793
РПРМ БС	Чувствительность приемника БС, дБВт	-113
GПРМ БС	К-т усиления приемной антенны БС, дБ	16
fПРМ БС	Полоса рабочих частот приема БС, МГц	746-763
РПРД МС	Мощность передатчика МС, дБВт	-3
GПРД МС	К-т усиления передающей антенны МС, дБ	0
fПРД МС	Полоса рабочих частот передачи МС, МГц	746-763
РПРМ МС	Чувствительность приемника МС, дБВт	-97
GПРМ МС	К-т усиления приемной антенны МС, дБ	0
fПРМ МС	Полоса рабочих частот приема МС, МГц	776-793

3.3.1 УЧЕТ ПОТЕРЬ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН

Данный пункт является одним из наиболее сложных этапов территориального планирования сети. Основу территориального планирования составляет энергетический расчет, в процессе которого определяется архитектура сети и ее пространственные координаты с учетом качества обслуживания и информационной нагрузки. В общем виде уравнение передачи может быть представлено как

$$P_{\text{ПРС}} = \frac{P_{\text{ПРД}} \eta_{\text{ФПРД}} G_{\text{АПРД}} \xi_{\text{П}} G_{\text{АПРС}} \eta_{\text{ФПРС}} \xi_{\text{С}}}{L_{\Sigma}}, \quad (3.9)$$

где $P_{\text{ПРС}}$ – мощность радиосигнала на входе приемника;

$P_{\text{ПРД}}$ – мощность передатчика;

$\eta_{\text{ФПРД}}, \eta_{\text{ФПРС}}$ – КПД передающего и приемного фидеров;

$G_{\text{АПРД}}, G_{\text{АПРС}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

$\xi_{\text{П}}, \xi_{\text{С}}$ – коэффициенты согласования антенн с радиосигналом по поляризации;

L_{Σ} – суммарное затухание радиоволн на трассе.

Значение мощности радиосигнала на входе приемника удобно выражать в децибелах относительно ватта.

Для прямого канала (БС-МС)

$$L = P_{\text{ПРДБС}} + \eta_{\text{ФПРД}} + G_{\text{ПРДБС}} + \varepsilon + G_{\text{ПРМС}} + \eta_{\text{ФПРС}} + \varepsilon + P_{\text{ПРМС}} = \\ = 16 + 0,95 + 18 + 0,9 + 0 + 0,95 + 0,9 + 97 = 134,7 \text{ дБ}$$

Для обратного канала (МС-БС)

$$L = P_{\text{ПРДМС}} + \eta_{\text{ФПРД}} + G_{\text{ПРДМС}} + \varepsilon + G_{\text{ПРДБС}} + \eta_{\text{ФПРС}} + \varepsilon + P_{\text{ПРБС}} = \\ = -3 + 0,95 + 18 + 0,9 + 0 + 0,95 + 0,9 + 113 = 131,7 \text{ дБ}$$

Полоса пропускания антенны БС 10 МГц. Используется 3 секторная БС (угол раскрытия диаграмм направленности антенн 120°). Полоса пропускания БС

$$R_{\text{БС}} = \frac{P}{n} = \frac{10000}{3} = 3333,3 \text{ Мбит/с}$$

Предоставляя клиентам выход в Internet со скоростью 4 Мбит/с, то на каждую БС можно будет подключить

$$N = \frac{R_{\text{БС}}}{S_{\text{дл}}} = \frac{3333,3}{4} = 833, \text{ абонента}$$

Где $N = 833$ клиентов с гарантированной полосой, но так как клиент не постоянно занимает весь канал, то дополнительно можно подключить ещё около 25% (от общего числа) клиентов. В общей сложности 1041 абонента на базовую станцию.

3.3.2 Определение зоны покрытия трехсекторной БС с помощью модели предсказания Окумура и Хата

Существует достаточно большое количество эмпирических моделей предсказания потерь при распространении сигналов для различных типов местности. Наиболее известной и используемой является модель предсказания Окумура и Хата.[15] Эта формула (метод прогнозирования Окумура) имеет следующий вид

$$L_p = \begin{cases} A + B \cdot \lg(r) - C & \text{для городской зоны,} \\ A + B \cdot \lg(r) & \text{для пригородной зоны,} \\ A + B \cdot \lg(r) - D & \text{для открытой местности,} \end{cases} \quad (3.10)$$

где r – расстояние между антеннами базовой и подвижной станции, км.
 Основные ограничения для использования модели Окамура – Хата:

- частотный диапазон f_0 150 -1000 MHz
- расстояния d 1 – 20км
- высота подвеса антенн h_b 30 – 200 м
- высота антенны h_m 1 -10 м

В моем случае будет использоваться метод прогнозирования для пригородной зоны.

$$A + B \cdot \lg(r)$$

Величины A , B , C и D выражаются соответственно следующим образом

$$A = A(f_0, h_b, h_m) = 69.55 + 26.16 \cdot \log(f_0) - 13.82 \cdot \log(h_b) - a(h_m) \quad (3.11)$$

$$B = B(h_b) = 44.9 - 6.55 \cdot \log(h_b), \quad (3.12)$$

$$C = C(f_0) = 2 \cdot \left[\log\left(\frac{f_0}{28}\right) \right]^2 + 5.4, \quad (3.13)$$

$$D = D(f_0) = 4.78 \cdot [\log(f_0)]^2 - 19.33 \cdot \log(f_0) + 40.94, \quad (3.14)$$

где для средних и малых городов:

$$a(h_m) = [1.1 \cdot \log(f_0) - 0.7] h_m - [1.56 \cdot \log(f_0) - 0.8], \quad (3.15)$$

для крупных городов:

$$a(h_m) = 3.2 \cdot [\log(11.75 \cdot h_m)]^2 - 4.97 \quad (3.16)$$

Находим $a(h_m)$ и A

$$a(h_m) = 3.2 \cdot [\log(11.75 \cdot h_m)]^2 - 4.97 = -9.19 \cdot 10^{-4},$$

$$\begin{aligned} A &= A(f_0, h_b, h_m) = 69.55 + 26.16 \cdot \log(f_0) - 13.82 \cdot \log(h_b) - a(h_m) = \\ &= 69.55 + 75.2 - 22.14 + 9.19 \cdot 10^{-4} = 122,1 \end{aligned}$$

Найдем B

$$B = B(h_b) = 44.9 - 6.55 \cdot \log(h_b) = 44.9 - 10.493 = 34.4$$

Таким образом:

$$L_p = A + B \cdot \lg(r) \quad \text{для городской зоны,}$$

$$\lg(r) = \frac{L_p - A}{B} \Leftrightarrow r = 10^{\frac{L_p - A}{B}}$$

$L_p = L_{\text{общ}} - L_{\text{рел}}$, где $L_{\text{рел}}$ в трех направлениях

3.3.3 Расчет радиуса охвата секторов антенны по трем направлениям.

а) Направление сектора юго-запад

Прямой канал БС-МС

$$\lg(r) = \frac{L_p - A}{B} = \frac{L_{\text{общ}} - L_{\text{рел}} - A}{B},$$

$$\lg(r) = \frac{134,7 + 9 - 122,1}{34,4} = 0,6,$$

$$r = 3,923 \text{ км}$$

Обратный МС-БС

$$\lg(r) = \frac{L_p - A}{B} = \frac{L_{\text{общ}} - L_{\text{рел}} - A}{B},$$

$$\lg(r) = \frac{131,7 + 9 - 122,1}{34,4} = 0,56,$$

$$r = 3,783 \text{ км}$$

б) Направление сектора юго-восток

Прямой канал БС-МС:

$$\lg(r) = \frac{L_p - A}{B} = \frac{L_{\text{общ}} - L_{\text{рел}} - A}{B},$$

$$\lg(r) = \frac{134,7 + 8 - 122,1}{34,4} = 0,58,$$

$$r = 3,912 \text{ км}$$

Обратный МС-БС

$$\lg(r) = \frac{L_p - A}{B} = \frac{L_{\text{общ}} - L_{\text{рел}} - A}{B},$$

$$\lg(r) = \frac{131,7 + 8 - 122,1}{34,4} = 0,536,$$

$$r = 3,767 \text{ км}$$

в) Направление сектора север

Прямой канал БС-МС

$$\lg(r) = \frac{L_p - A}{B} = \frac{L_{\text{общ}} - L_{\text{рел}} - A}{B},$$

$$\lg(r) = \frac{134,7 + 5 - 122,1}{34,4} = 0,5 \text{ ,}$$

$$r = 3,161 \text{ км}$$

Обратный МС-БС

$$\lg(r) = \frac{Lp - A}{B} = \frac{L_{общ} - L_{рел} - A}{B} \text{ ,}$$

$$\lg(r) = \frac{131,7 + 5 - 122,1}{34,4} = 0,46 \text{ ,}$$

$$r = 2,985 \text{ км}$$

Полученные данные внесем в таблицу 3.2.

Т а б л и ц а 3.2 – Результаты расчетов

Направление сектора БС	Потери при распространении, L _p , дБ.		Ожидаемое расстояние между БС и МС, км.	Ожидаемое расстояние между МС и БС, км.
	ПН			
Сектор Ю-З	143,7	140,7	3,923	3,783
Сектор Ю-В	142,7	139,7	3,912	3,767
Сектор Север	139,7	136,5	3,161	2,985

При нахождении зоны покрытия методом модели предсказания Окомура и Хата, был рассчитан радиус зоны покрытия трехсекторной антенны. В полученных результатах зона покрытия от МС-БС оказывается меньше чем от БС-МС. Это связано с высокой чувствительностью приемников современных базовых станций, и мощностью передачи базовой станции.

4 Экспериментальная часть.

Исследование загруженности радиоканала для вторичного использования свободных участков радиоканала на основе Когнитивного Радио.

Эксперимент проводился на базовой станции, установленной в сельской местности, вендор оборудования компания Huawei. Статистические характеристики получены удаленно с помощью программного обеспечения M2000 [23].

На рисунке 4.1 представлена загруженность канала за сутки.

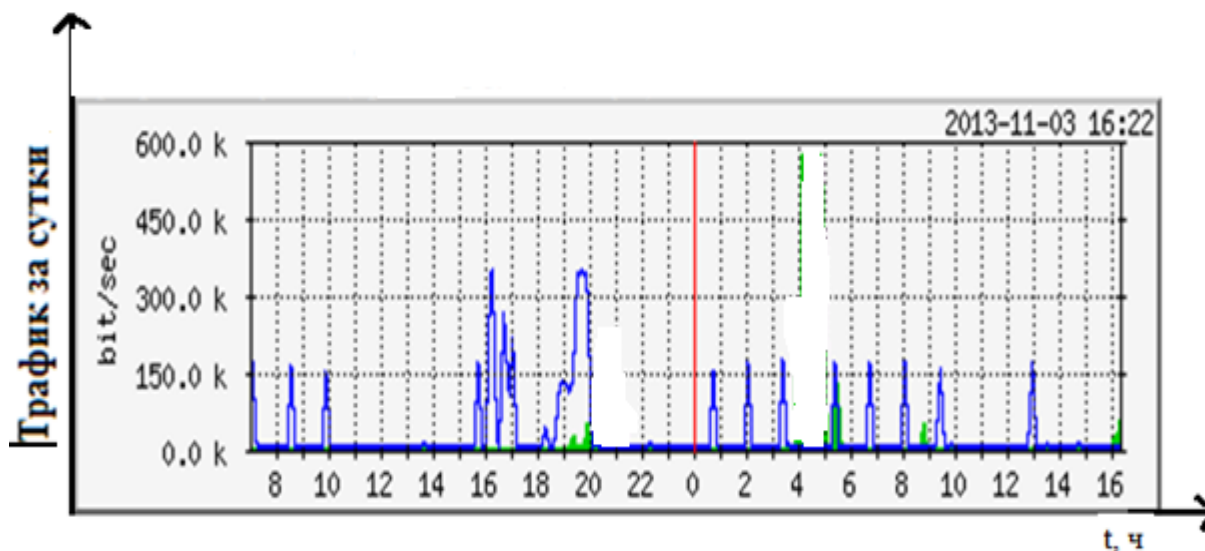


Рисунок 4.1 – Загруженность канала за сутки.

Из рисунка 4.1 видно, что для исследуемой базовой станции нагрузка периодически отсутствует, т.е. есть «окна».

В ходе эксперимента получены характеристики загруженности канала за 5 последовательных промежутков времени. Результаты загруженности канала для интервала времени t_1 представлены в таблице 4.1.

Обозначения сокращений данных для таблицы 1:

Site - название Базовой станции;

Sell - сектор;

TRX № - номера передатчиков;

Channel - канал ;

Main BCCH – в канале несущая (трафика не может быть);

TCH - трафиковый канал;

PDТCH – канал передачи данных;

Т а б л и ц а 4.1 – Загруженность канала для интервала времени t_1

TRX No.	Channel 0	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6	Channel 7
0	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ○○○○○○○○○	TCHF ○	TCHF ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○
1	TCHH ○○	TCHH ○○	SDCCH8 ○○○○○○○●	TCHH ○●	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○
2	TCHH ○○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
3	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
4	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ○○○○○○○○○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○
5	TCHH ●●	TCHH ●●	SDCCH8 ●○○○○○○○	TCHH ○●	TCHH ●●	TCHH ●●	TCHH ●●	TCHH ○●
6	TCHF ●	TCHH ●●	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○
7	TCHF ○	TCHH ●●	TCHH ○○	PDTCB ○	TCHH ○○	TCHH ○●	PDTCB ○	PDTCB ○
8	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ○○○○○○○○○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○
9	TCHH ●●	TCHH ●●	SDCCH8 ○○○○○○○	TCHH ○●	TCHF ○	TCHF ○	TCHH ●●	TCHH ●●
10	TCHH ●●	TCHH ●●	TCHH ●●	TCHF ○	TCHH ○○	TCHF ○	PDTCB ○	TCHH ○●
11	TCHH ○●	TCHH ●●	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○

На рисунке 4.2 представлена загрузка канала для интервала времени t_1

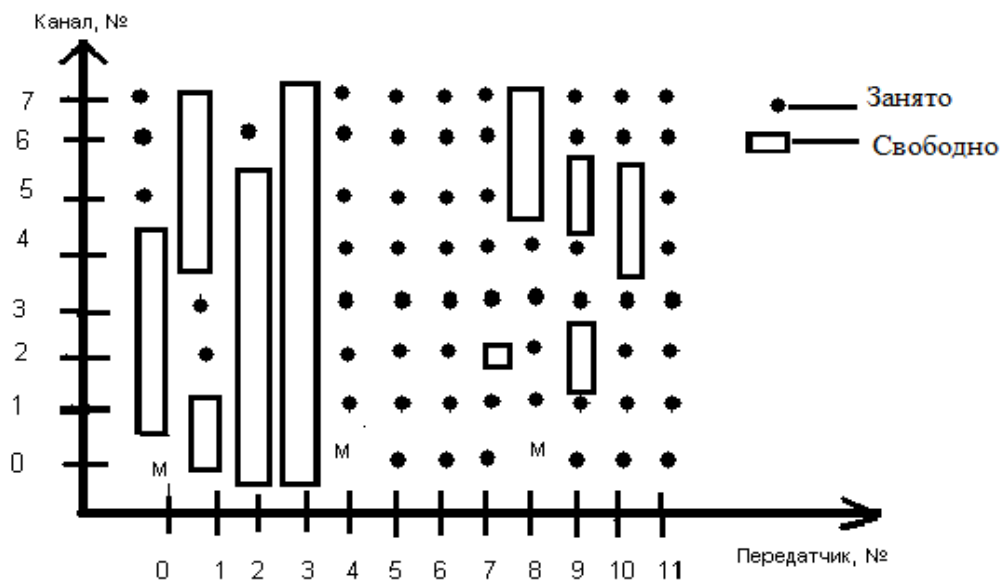


Рисунок 4.2 – Загруженность канала для интервала времени t_1

Из рисунка 4.2 видно, что наилучшим каналом для интервала времени t_1 является канал 5. Вероятность организации повторного использования равна 50%. Худший канал - канал 6, вероятность равна 25%.

Вероятность организации повторного использования для интервала времени t_1 вычисляется по формуле

$$P(t) = \frac{Trx(общ) - Trx(занят)}{Trx(общ)} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

Т а б л и ц а 4.2 – Загруженность канала для интервала времени t_2

TRX No.	Channel 0	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6	Channel 7
0	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ●○○○○○○○	TCHF ○	TCHF ○	PDTCH ○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●
1	TCHH ○○	TCHH ○○	SDCCH#8 ○○○○○○○○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ●○	TCHH ○○
2	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
3	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	PDTCH ○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●
4	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ●○○○○○○○	TCHH ●○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●
5	TCHH ●○	TCHF ●	SDCCH#8 ○○○○○○○○○	TCHF ○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	TCHH ○○
6	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●
7	TCHF ●	TCHH ○○	TCHF ●	TCHH ○○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●
8	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ●○○○○○○○	TCHH ●○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●
9	PDTCH ●	TCHH ●○	SDCCH#8 ○○○○○○○○○	TCHH ●○	TCHH ●○	TCHH ●○	TCHH ●○	TCHH ●○
10	TCHH ○○	TCHF ●	PDTCH ●	PDTCH ○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	TCHH ○○
11	TCHH ●○	TCHH ●○	TCHH ○○	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	PDTCH ●	TCHF ○

На рисунке 4.3 представлена загрузка канала для интервала времени t_2

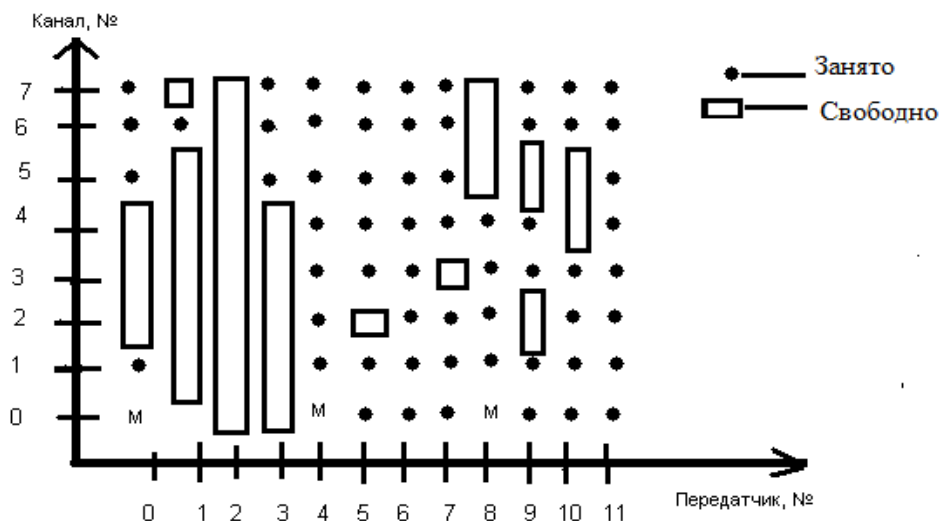


Рисунок 4.3 – Загрузка канала для интервала времени t_2

Из рисунка 4.3 видно, наилучшим каналом для интервала времени t_2 является канал 2. Вероятность организации повторного использования равна 50%. Худший канал - канал 6, вероятность равна 16,6%. Вычислено по формуле (1).

Т а б л и ц а 4.3 – Загруженность канала для интервала времени t_3

TRX No.	Channel 0	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6	Channel 7
0	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ○○○○○○○○	TCHF ○	TCHF ○	PDTCB ●	PDTCB ●	PDTCB ●	PDTCB ●
1	TCHH ○○	TCHH ○○	SDCCH/B ○○○○○○○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○
2	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
3	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	PDTCB ○	PDTCB ○
4	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ●○○○○○○○	TCHF ○	TCHF ○	PDTCB ●	PDTCB ●	PDTCB ●	PDTCB ●
5	TCHH ○○	TCHF ○	SDCCH/B ○○○○○○○○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
6	TCHH ○○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
7	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
8	Main BCCH ○	SDCCH+CBCH ●○○○○○○○	TCHF ○	TCHF ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○	PDTCB ○
9	TCHF ○	TCHF ○	SDCCH/B ○○○○○○○○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
10	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○
11	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	TCHF ○	PDTCB ○	PDTCB ○

На рисунке 4.4 представлена загруженность канала для интервала времени t_3

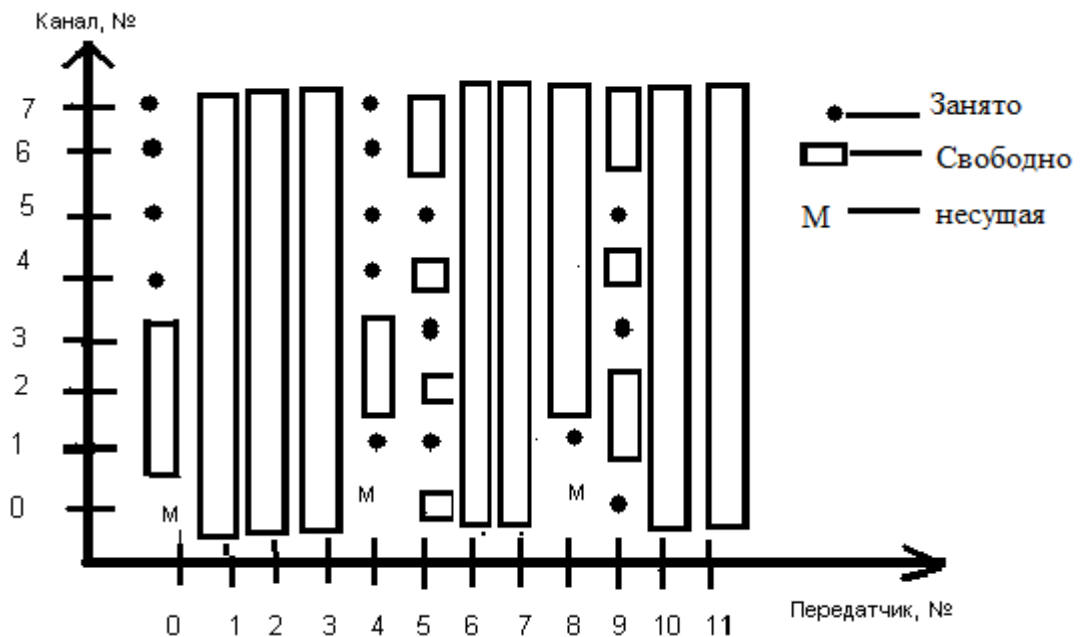


Рисунок 4.4 – Загруженность канала для интервала времени t_3

Из рисунка 4.4 видно, наилучшим каналом для времени t_3 является канал 2. Вероятность организации повторного использования равна 100%. Худший канал - канал 5, вероятность равна 58%. Вычислено по формуле (4.1)

Т а б л и ц а 4.4 – Загруженность канала для интервала времени t_4

TRX No.	Channel 0	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6	Channel 7
0	Main BCCH	SDCCH+CBCH	TCHF	TCHF	TCHF	PDTCB	PDTCB	PDTCB
1	TCHH	TCHH	SDCCH8	TCHH	TCHH	TCHH	TCHH	TCHH
2	TCHH	TCHH	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
3	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
4	Main BCCH	SDCCH+CBCH	TCHF	TCHF	TCHF	PDTCB	PDTCB	PDTCB
5	TCHH	TCHF	SDCCH8	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
6	TCHH	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
7	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	PDTCB	PDTCB	PDTCB	PDTCB
8	Main BCCH	SDCCH+CBCH	TCHF	TCHF	PDTCB	PDTCB	PDTCB	PDTCB
9	TCHF	TCHF	SDCCH8	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
10	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
11	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	PDTCB	PDTCB	PDTCB	PDTCB

На рисунке 4.5 представлена загруженность канала для интервала времени t_4

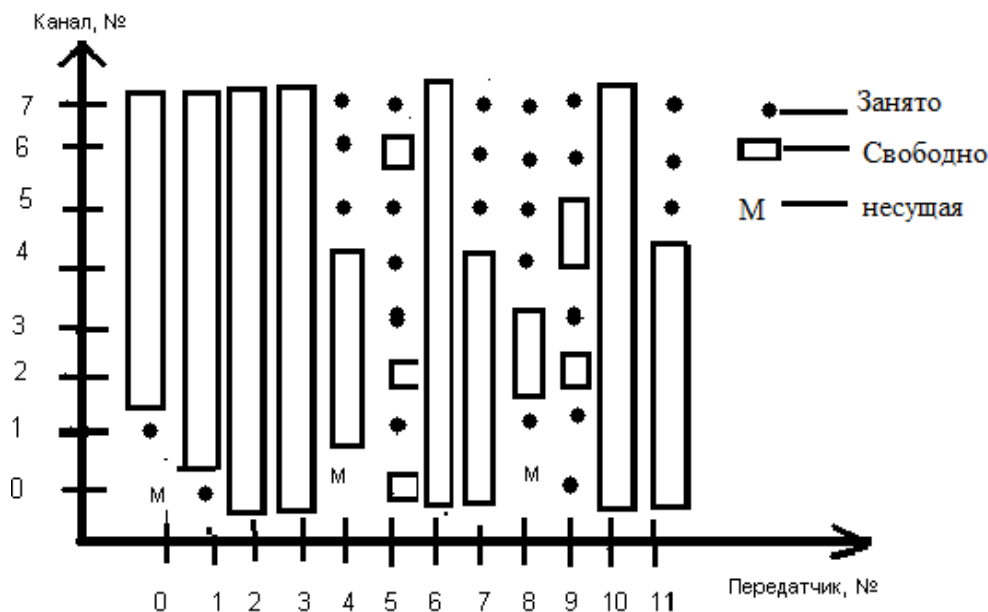


Рисунок 4.5 – Загруженность канала для интервала времени t_4

Из рисунка 4.5 видно, наилучшими каналами для времени t_4 являются каналы 4 и 3. Вероятность организации повторного использования равна 50%. Худший канал - канал 0, вероятность равна 33,3%.

Т а б л и ц а 4.5 – Загруженность канала для интервала времени t_5

TRX No.	Channel 0	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5	Channel 6	Channel 7
0	Main BCCH	SDCCH+CBCH ○○○○○○○○	TCHF	TCHF	PDTCH	PDTCH	PDTCH	PDTCH
1	TCHH ○○	TCHH ○○	SDCCH/8 ○○○○○○○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHH ○○
2	TCHH ○○	TCHH ○○	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
3	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
4	Main BCCH	SDCCH+CBCH ○○○○○○○○	TCHF	TCHF	TCHF	PDTCH	PDTCH	PDTCH
5	TCHH ○○	TCHF	SDCCH/8 ○○○○○○○○	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
6	TCHH ○○	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
7	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
8	Main BCCH	SDCCH+CBCH ○○○○○○○○	TCHF	TCHF	TCHF	PDTCH	PDTCH	PDTCH
9	TCHF	TCHF	SDCCH/8 ○○○○○○○○	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
10	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF
11	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	TCHF	PDTCH	PDTCH	TCHF

На рисунке 4.6 представлена загрузка для интервала времени t_5

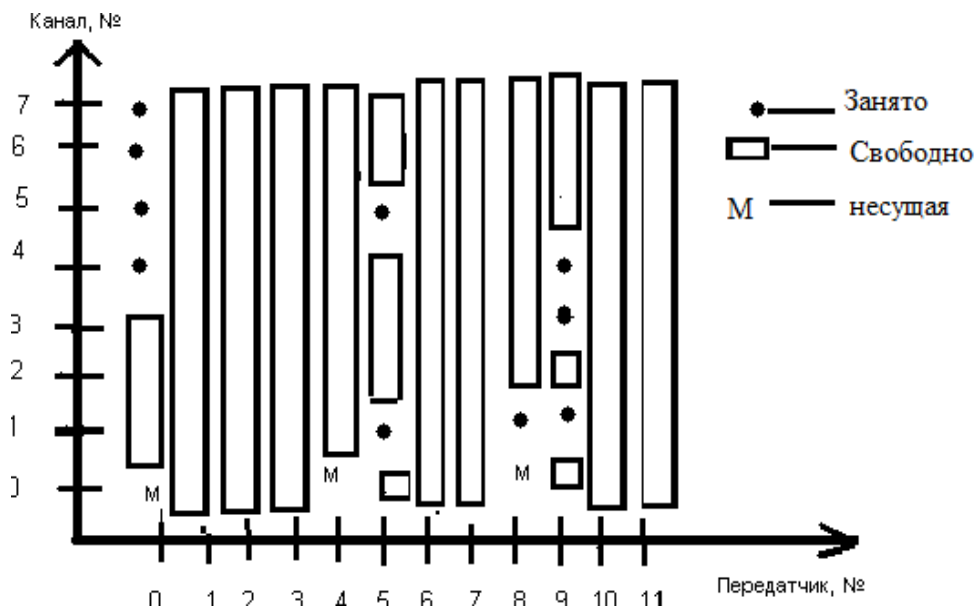


Рисунок 4.6 – Загрузка канала для интервала времени t_5

Из рисунка 4.6 видно, наилучшим каналом для времени t_5 является канал 7. Вероятность организации повторного использования равна 91,6%. Худшие каналы - каналы 1 и 0, вероятность равна 75%. Вычислено по формуле (1)

В таблице 4.6 представлена вероятность организации повторного использования каналов.

Т а б л и ц а 4.6 – Вероятность организации повторного использования каналов.

$P(t),\%$	Канал 0	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4	Канал 5	Канал 6	Канал 7
$P(t_1)$						50	25	
$P(t_2)$			50				16,6	
$P(t_3)$			100			58		
$P(t_4)$	33,3			50	50			
$P(t_5)$	75	75					9	91,6

Из таблицы 4.6 видно, что наилучшим каналом для организации повторного использования канала является канал 2, наихудшим – канал 6.

Таким образом, по результатам эксперимента была представлен статистический результат наличия свободных каналов, приведена вероятность организации повторного использования наилучшего и наихудшего канала.

Заключение

В моей диссертационной работе была поставлена задача о полном исследовании когнитивного радио. В процессе исследования выполнены: изучены основные возможности и характеристики когнитивного радио; выявление не используемых частотных каналов; анализ и прогноз состояния радиоканала; общие методы проведения мониторинга спектра на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье.

Несмотря на все положительные характеристики и большие возможности когнитивного радио, следует отметить, что еще не стоит ожидать полностью безлицензионного распространения технологии, так как помимо технической базы, есть масса административно-правовых вопросы, решение которых необходимо для внедрения когнитивного радио для безлицензионного использования спектра.

Произведен расчет по методу Окомура и Хата. Был рассчитан радиус зоны покрытия трехсекторной антенны и отношение сигнал-шум. В полученных результатах зона покрытия от МС-БС оказывается меньше чем от БС-МС. Это связано с высокой чувствительностью приемников современных базовых станций, и мощностью передачи базовой станции.

Проведен эксперимент на исследование загруженности радиоканала для вторичного использования свободных участков радиоканала на основе Когнитивного Радио, где получена статистика загруженности канала. Эксперимент проводился в Алматинской области, в п.Каргалы, на базовой станции сотового оператора «Beeline» Вычислена вероятность появления свободных каналов, составлена таблица по результатам (таблица 4.6). По

таблице 4.6 определен наилучший и наихудший каналы для организации повторного использования канала .

Таким образом, по результатам эксперимента была представлен статистический результат наличия свободных каналов, приведена вероятность организации повторного использования наилучшего и наихудшего канала.

По полученной статистике можно сделать следующий вывод, что вероятность появления свободных каналов не равна нулю, а следовательно технология имеет смысл дальнейшего развития. Технология Когнитивного радио имеет все шансы на внедрения, так как есть востребность в разгрузке частотного ресурса.