

Федеральное агентство связи
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Факультет СС, СК и ВТ
Кафедра ОПДС

**ООО «Лаборатория инфокоммуникационных
сетей»**

**ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНОГО РАДИО И КОГНИТИВНЫХ
СЕТЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЫНОК РАДИОЧАСТОТНЫХ РЕСУРСОВ И
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

Вед. инженер ООО «Лаборатория инфокоммуникационных сетей»,
аспирант кафедры ОПДС Аксенов В.О.
Научный руководитель д.т.н., проф. Комашинский В.И.

Характерные черты современных беспроводных сетей

Гетерогенность (технологическая, структурная)

Например, использование в пределах одной сети радиосвязи различных технологий: WiFi, WiMAX, LTE. Наличие в пределах одной сети РЭС с различными зонами обслуживания (макросоты, микросоты, фемтосоты и т.д.)

Самоорганизуемость (структурная, функциональная)

Например, mesh-сети, ad-hoc сети (сенсорные, VANET, MANET)

Мультисервисность (triple play, quadro play)

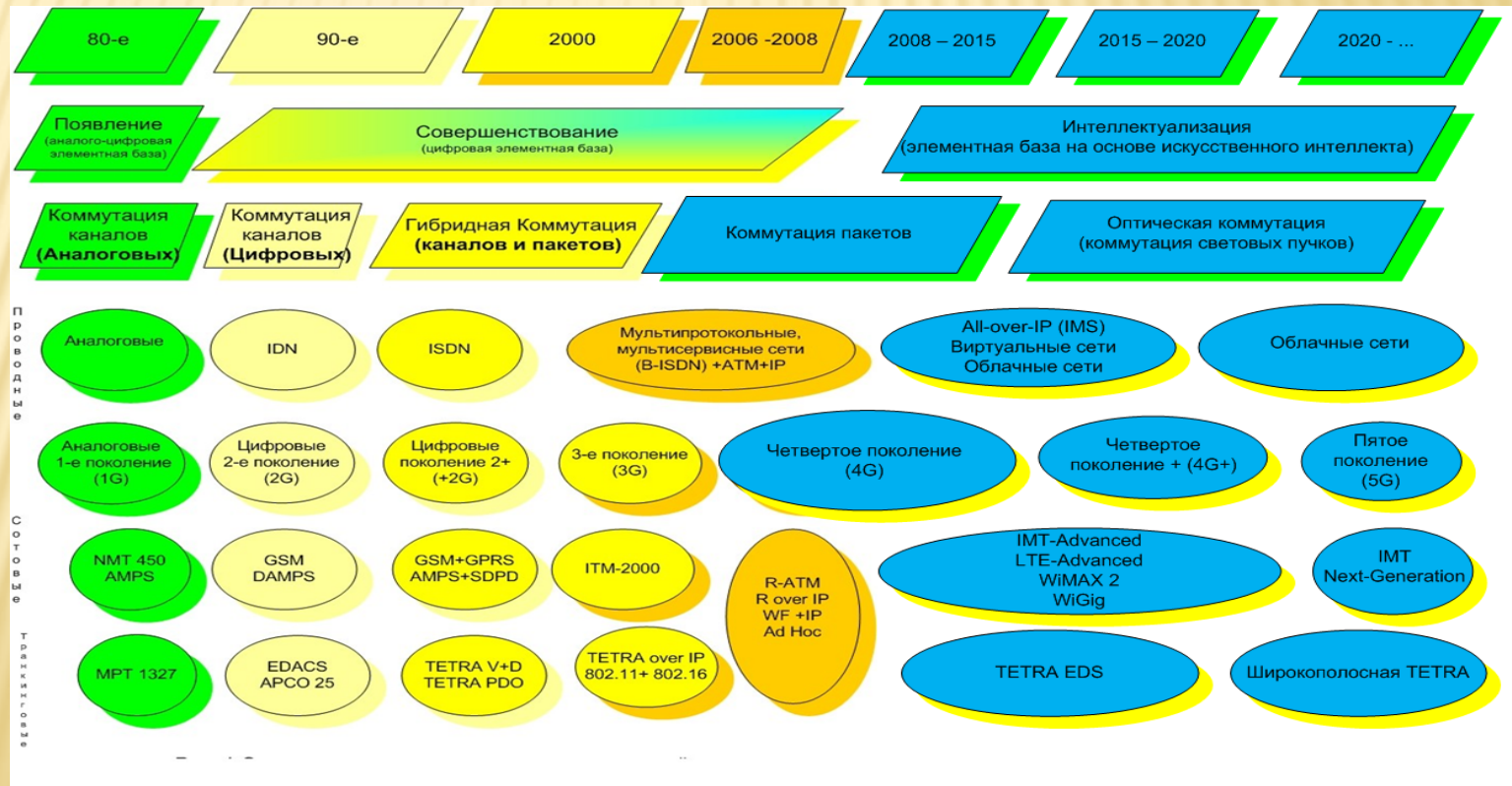
Например, концепция Универсального обмена сообщениями (Unified Messaging), используемая в Skype, соцсетях

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ:

- ✓ Нехватка радиочастотных ресурсов
- ✓ Обеспечение ЭМС
- ✓ Организация простого и эффективного управления
- ✓ Обеспечение качественных показателей при передаче информации

Эволюция технологий радиосистем

Этапы ЭВОЛЮЦИИ

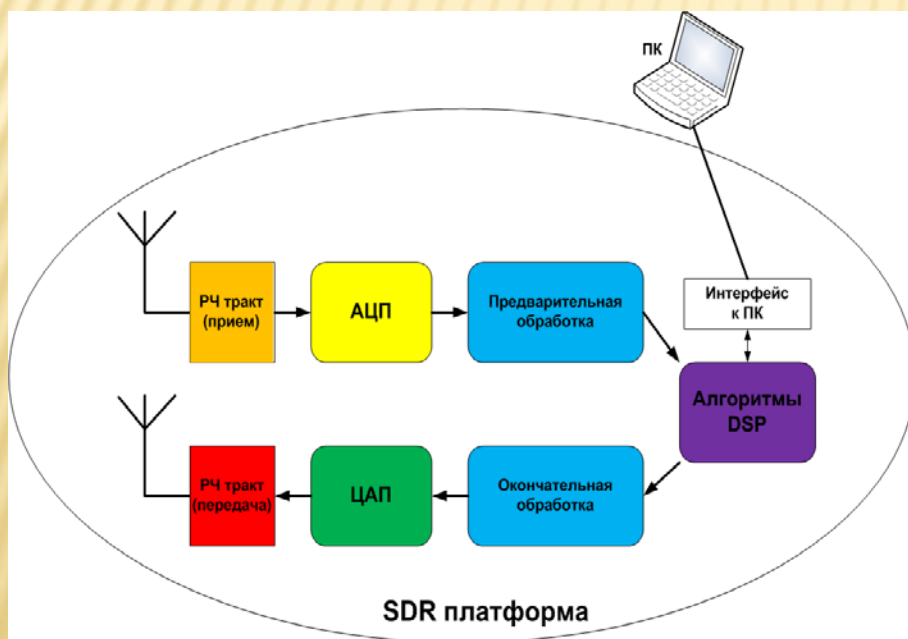


Программно определяемое радио (SDR)

SDR - software defined radio - программно определяемое радио

Радиосистема, состоящая из программируемого оборудования с программным управлением, которая может быть настроена на произвольную полосу частот и прием различных видов модулированного сигнала

Архитектура SDR



Сравнение

Архитектура «классической» РЭС



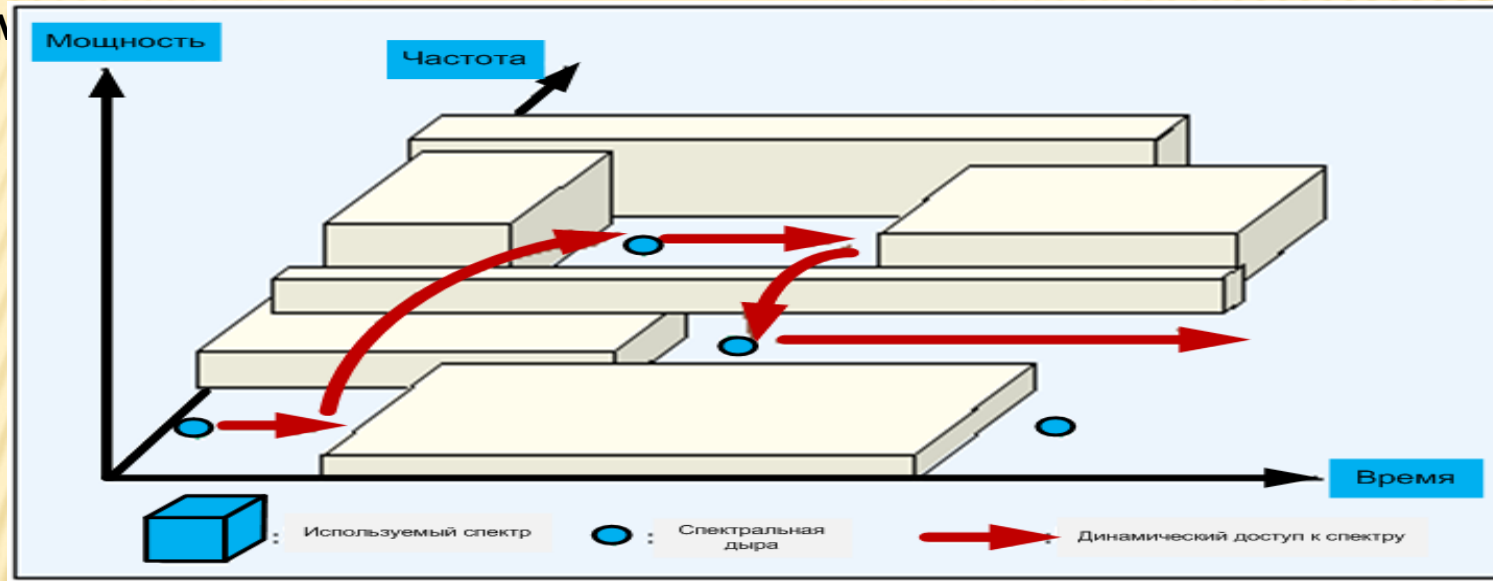
Архитектура SDR



Динамический доступ к спектру

DSA - *dynamic spectrum access* – динамический доступ к спектру

Способы доступа к спектру: **статический** (фиксированный),
динамический



СТАТИЧЕСКИЙ

- ✗ **Достоинства:** простота реализации оборудования (передатчик и приемник на работу в заданной полосе частот, отсутствие перестройки по частоте, отсутствие модуля измерений)
- ✗ **Недостатки:** нерациональное использование РЧ ресурса, отсутствие гибкости в использовании РЧ ресурса

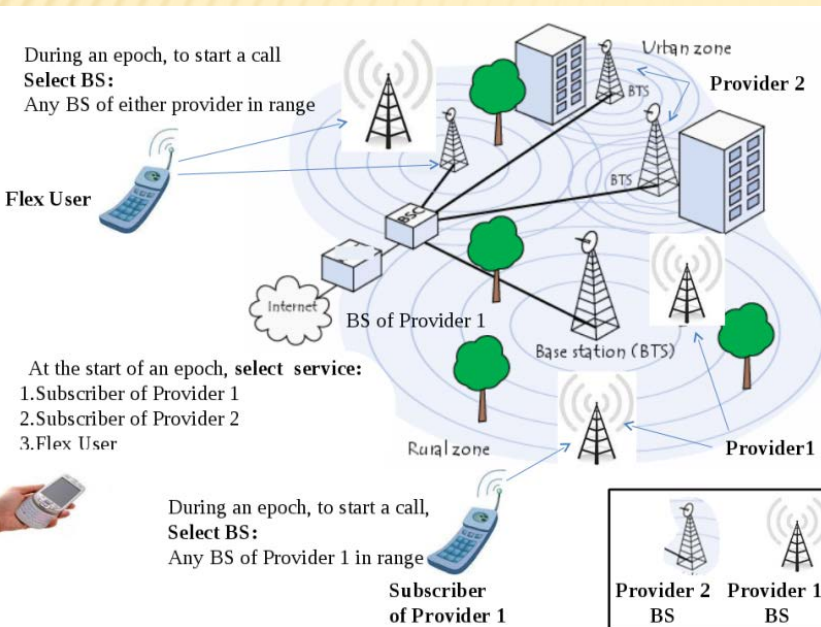
ДИНАМИЧЕСКИЙ

- ✗ **Достоинства:** использование «свободных» полос частот, гибкость в использовании РЧ ресурса
- ✗ **Недостатки:** более сложное оборудование (необходимость перестройки по частоте, наличие блока выполнения и обработки измерений, поддержка схем модуляции и кодирования для регулирования размера занимаемой полосы частот)

ДИНАМИЧЕСКИЙ ДОСТУП К СПЕКТРУ: ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

Возможности технологий DSA позволяют :

- **выполнять адаптацию каналов связи (link adaptation),**
- **управлять доступной полосой частот (bandwidth management),**
- **поддерживать схемы многопользовательского MIMO (MU-MIMO), объединять неиспользуемые каналы для одного пользователя**



Пример реализации сети с DSA →

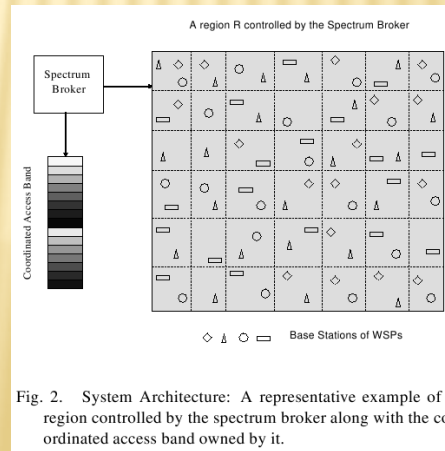


Fig. 2. System Architecture: A representative example of a region controlled by the spectrum broker along with the coordinated access band owned by it.

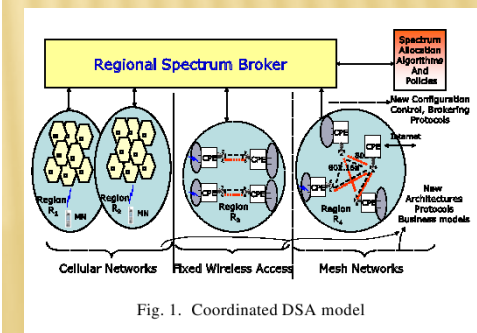
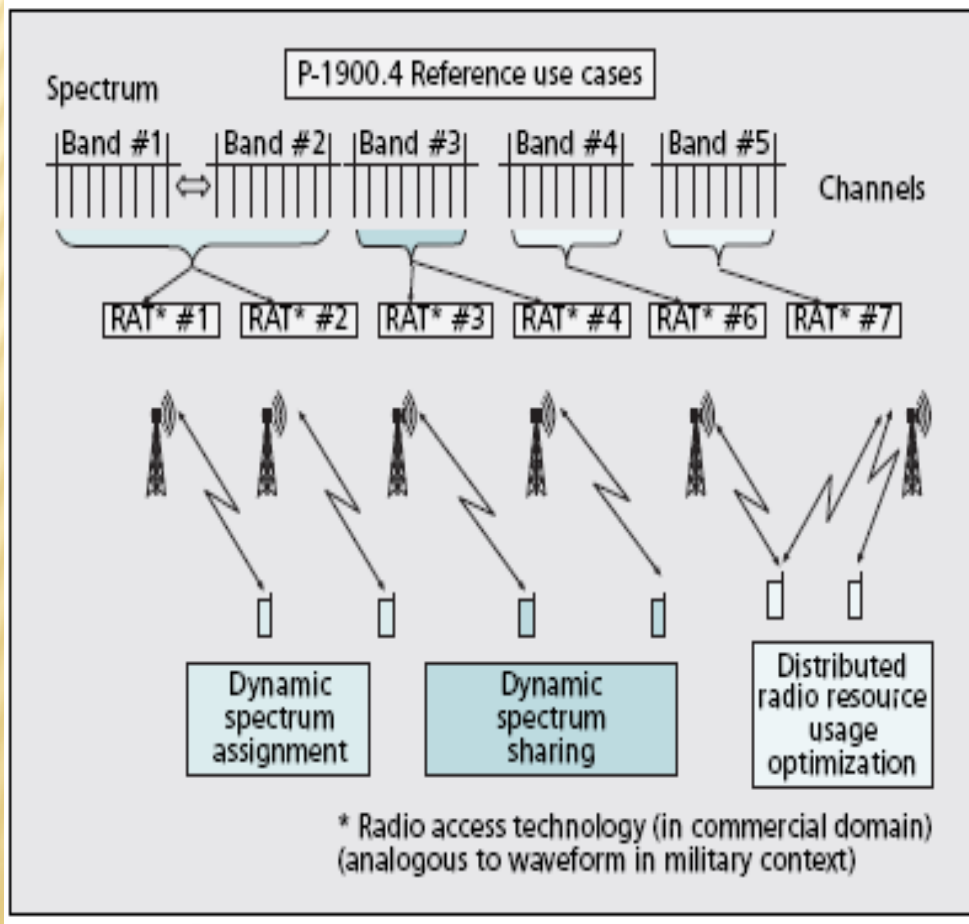


Fig. 1. Coordinated DSA model

Стандарт IEEE 1900.4

Стандарт определяет три варианта использования радиочастотного ресурса:

1. DSA – динамическое назначение спектра,
2. динамическое разделение спектра,
3. распределенная оптимизация.

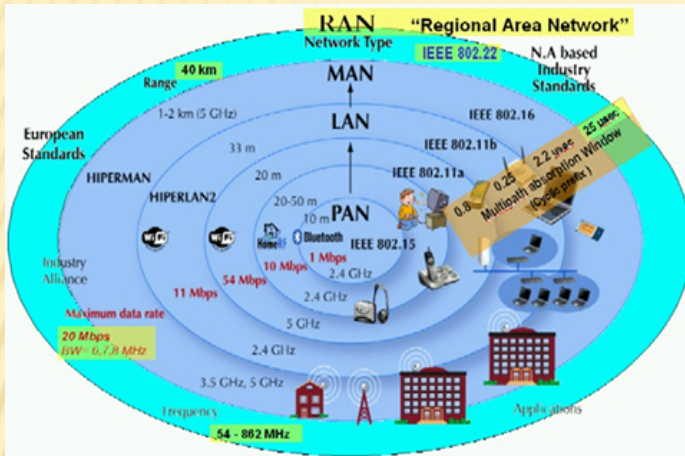


Динамическое назначение спектра обеспечивает процесс и механизмы динамического назначения полос частоты для радиосетей RAN в пределах беспроводной сети, работающей в заданной области и времени.

Динамическое разделение спектра обеспечивает процесс и механизмы для доступа к спектру, при котором различным радиосетям RAN и терминалам динамически предоставляются полосы спектра доступа, которые полностью или частично накладываются, приводя к взаимным помехам, меньшим чем допустимый уровень.

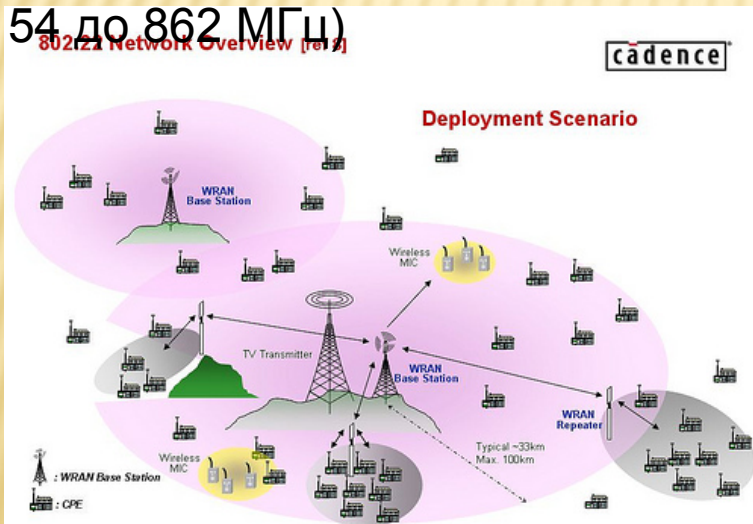
Распределенная оптимизация предоставляет процесс и механизмы, с помощью которых оптимизация использования радиочастотного ресурса выполняется как беспроводной сетью, так и использующими ее терминалами в распределенном режиме.

Стандарт IEEE 802.22 WRAN



WRAN – Wireless Regional Area Network -
беспроводная региональная сеть

Построение беспроводных региональных сетей *WRAN* на «свободных» частотах ОВЧ/УВЧ (*VHF/UHF*) телевизионного вещания (полоса частот от 54 до 862 МГц)



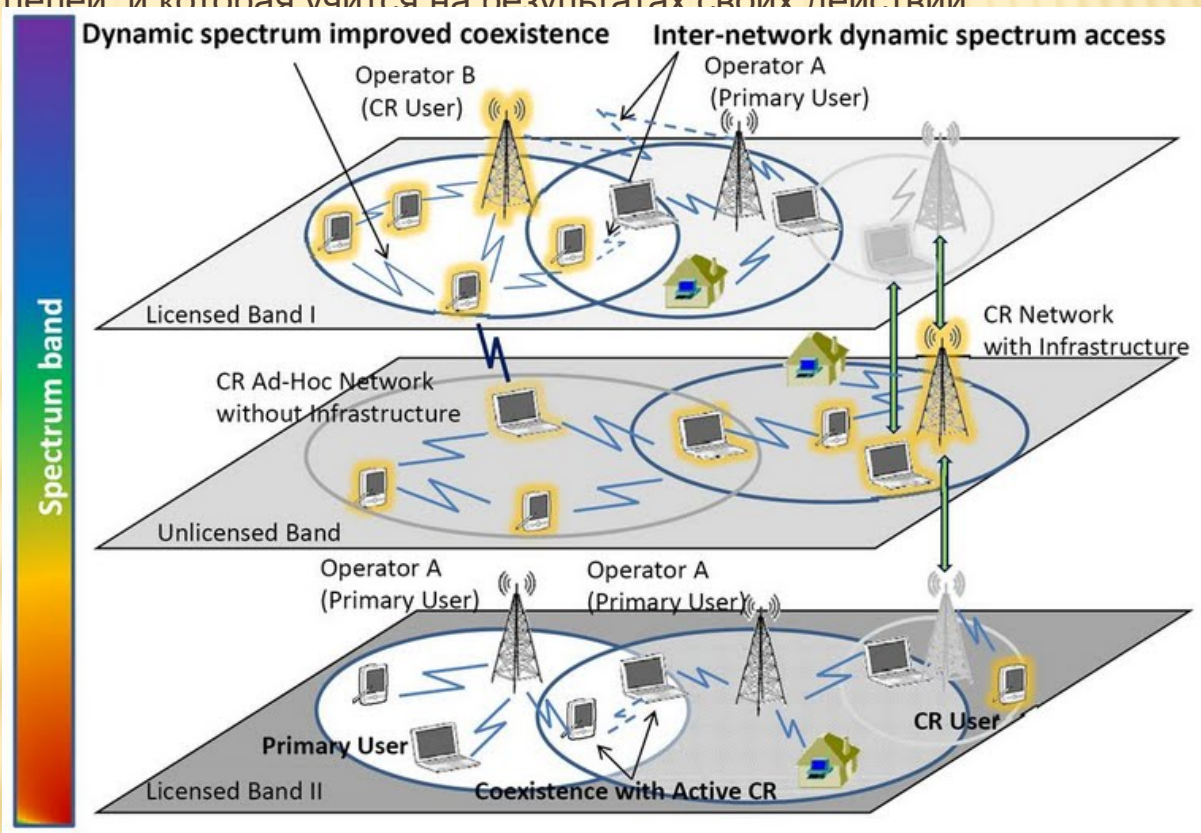
В рамках стандарта был решен ряд задач, связанных с когнитивным радио:

➤ сканирование заданного диапазона радиочастотного спектра с целью определения занятых и свободных полос,

- определение окружающей радиоэлектронной обстановки,
- автоматическая перестройка между занятыми и свободными полосами

Когнитивное радио

Когнитивное радио (cognitive radio) – радиосистема, которая получает знания о своем эксплуатационном или географическом окружающем пространстве, установленном текущем регулировании и своем внутреннем состоянии; которая динамично и автономно подстраивает свои эксплуатационные параметры и протоколы в соответствии с полученными знаниями для достижения предустановленных целей; и которая учится на результатах своих действий



Области применения:

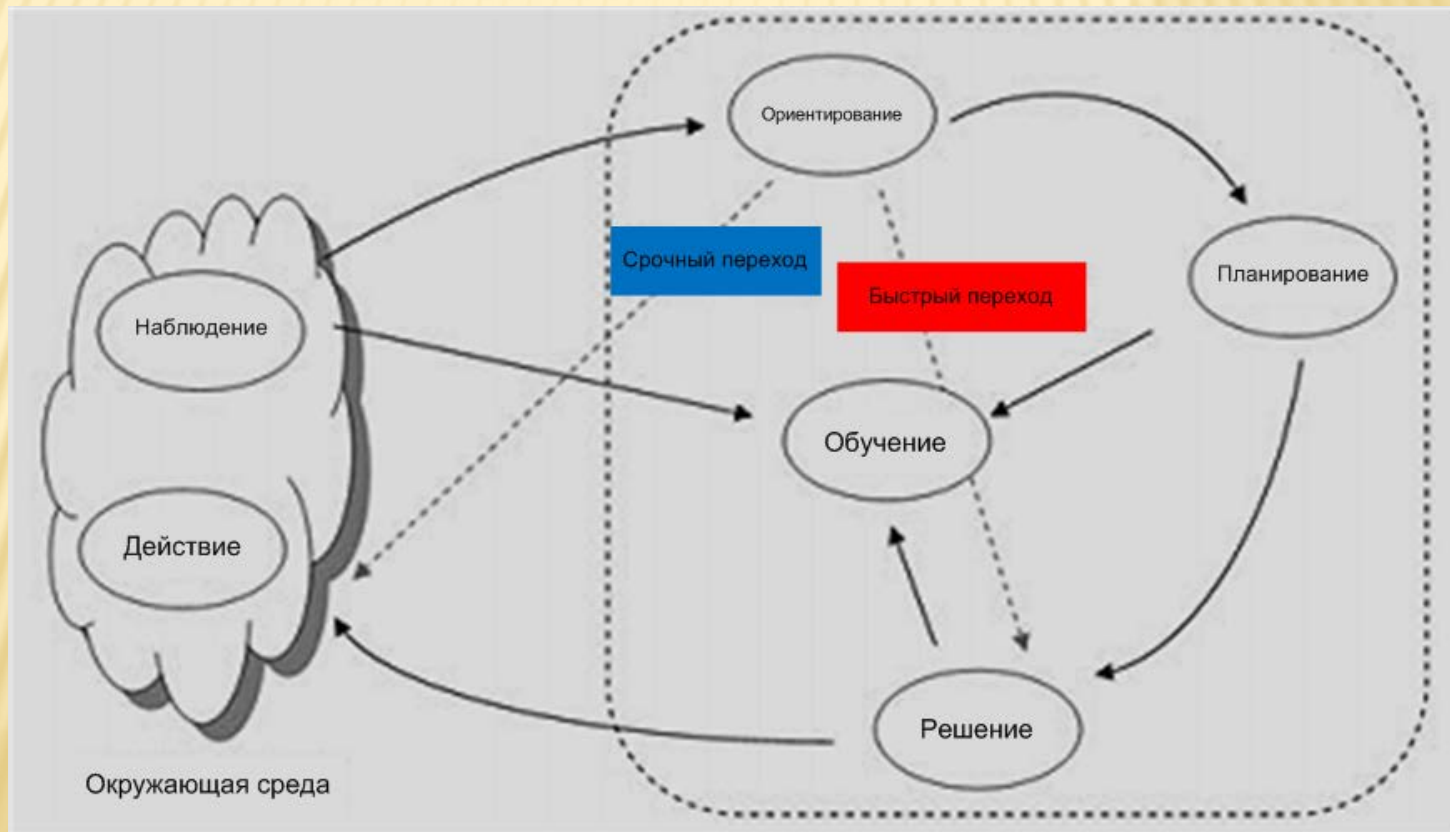
- **Динамический доступ к спектру** (главный двигатель развития когнитивного радио)
- Кооперативный доступ к среде передачи и кооперативные коммуникации
- **Гибкое переключение между различными беспроводными сетями** (WiFi, сотовые, mesh и т.п.)
- Адаптивный выбор доступных радиоресурсов (например, когнитивное MIMO, выбор между различными технологиями радиодоступа)

КОГНИТИВНЫЙ ЦИКЛ

Представляет собой разновидность обратной связи

Для обозначения также используются понятия контролирующий цикл, цикл обратной связи; цикл адаптации основанный на контексте.

Основан на концепции «Наблюдение-Ориентирование-Решение-Действие», дополненной функцией Обучения и направленной на достижение целей по обмену информацией «из конца в конец».



КОГНИТИВНЫЙ ЦИКЛ (продолжение)

НАБЛЮДЕНИЕ (OBSERVE, SENSE): получение информации об окружающей среде. Осуществляется за средой применения системы. Реализуется при помощи датчиков и сенсоров. Включает такие компоненты, как: сбор информации о контексте (context gathering), измерения (measure), мониторинг (monitor), предварительная обработка (pre-process), аппроксимация (approximate)

ОРИЕНТИРОВАНИЕ (ORIENT, ANALYZE): определение важности полученной информации об окружающей среде. Определяет (классифицирует) стимулы и охватывает (затрагивает) политики. Связано с: интерпретированием, абстрагированием, проверкой целостности, предсказанием, объединением данных, управлением моделью, обновлением модели, размышлением (reasoning), обучением

ПЛАНИРОВАНИЕ (PLAN): определение стратегий наилучшей работы

РЕШЕНИЕ (DECIDE): выбор стратегии работы. Включает: выбор действия, сокращение пространства решений, применение политик и ограничений, определение альтернатив, оптимизацию и формирование решения

ДЕЙСТВИЕ (ACT, RECONFIGURE, COMMUNICATE): применение выбранной стратегии работы. Заключается в применении решений, выборе компонентов, загрузке компонентов, послке оповещений и предупреждений. Связано с посылкой и получением команд и данных между когнитивными устройствами, распределенными по сети

ОБУЧЕНИЕ (LEARN): накопление информации о наблюдениях, принятых решениях и результатах планирования

Направления развития когнитивное радио

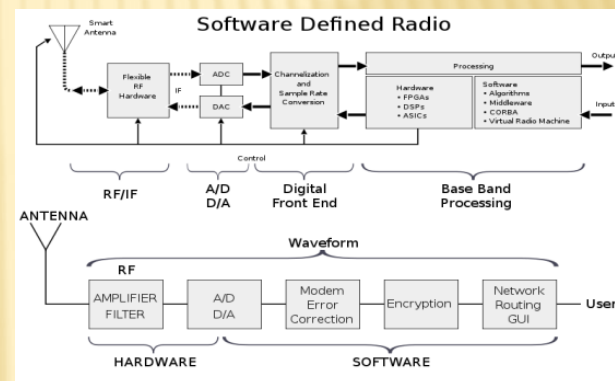
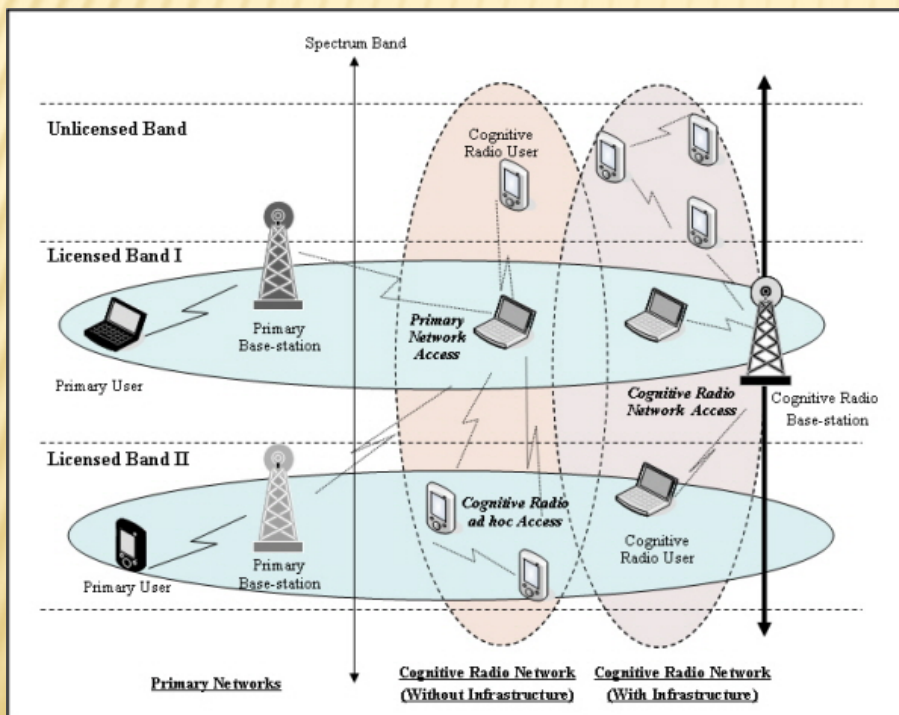
Направления развития:

Варианты практического исполнения: ❖ Использование в системах SDR

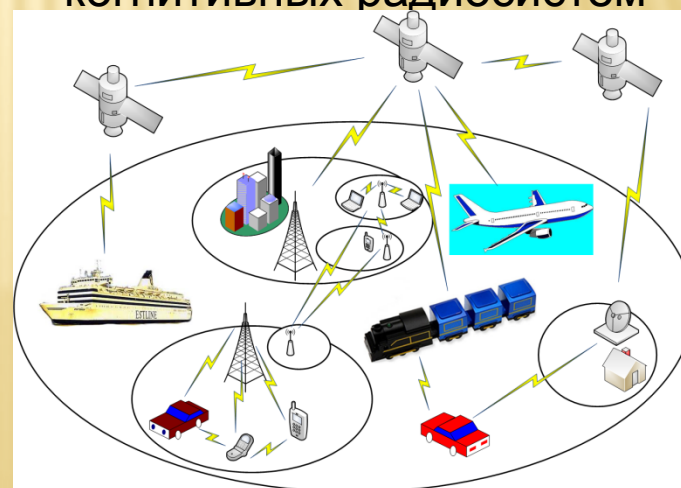
➤ Программно-определяемое радио (SDR) «умных антенн» (smart-antenna)

➤ Динамический доступ к спектру (DSA)

➤ Стандарт IEEE 802.22

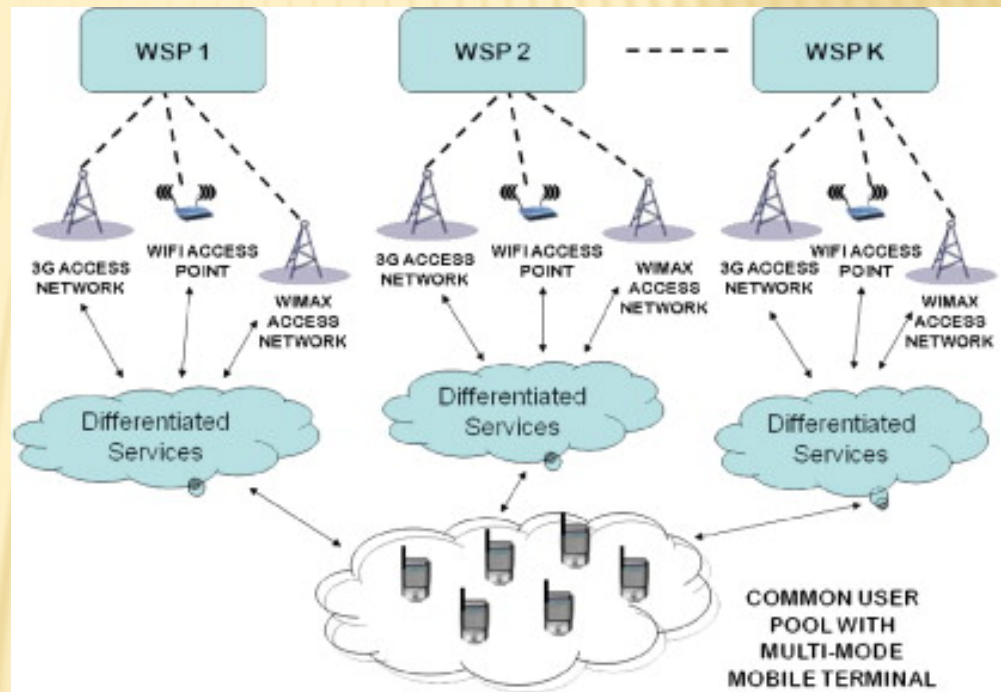
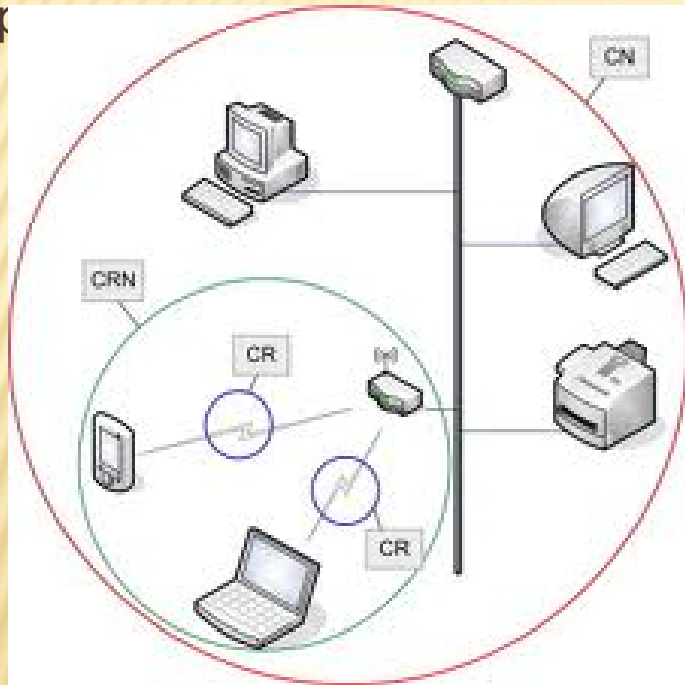


❖ Построение наземно-спутниковых когнитивных радиосистем



Когнитивные сети

Когнитивная сеть (cognitive network) – это сеть, поддерживающая когнитивные процессы и способная определять свое текущее состояние, и затем планировать, решать и действовать в зависимости от этого состояния. При этом сеть может учиться, используя результаты адаптации, а затем на их основе с учетом поставленных перед ней целей принимать



Являются важным шагом в направлении эффективного и автономного управления постоянно возрастающей сложностью телекоммуникационных сетей.

Отличительными особенностями когнитивных сетей являются **наличие когнитивного цикла**, имеющего несколько состояний, каждое из которых использует методы искусственного интеллекта и **набор достоверной информации о состоянии всей сети в целом**.

Сетевой когнитивный цикл

Содержат интеллектуального агента (intellectual agent или IA)

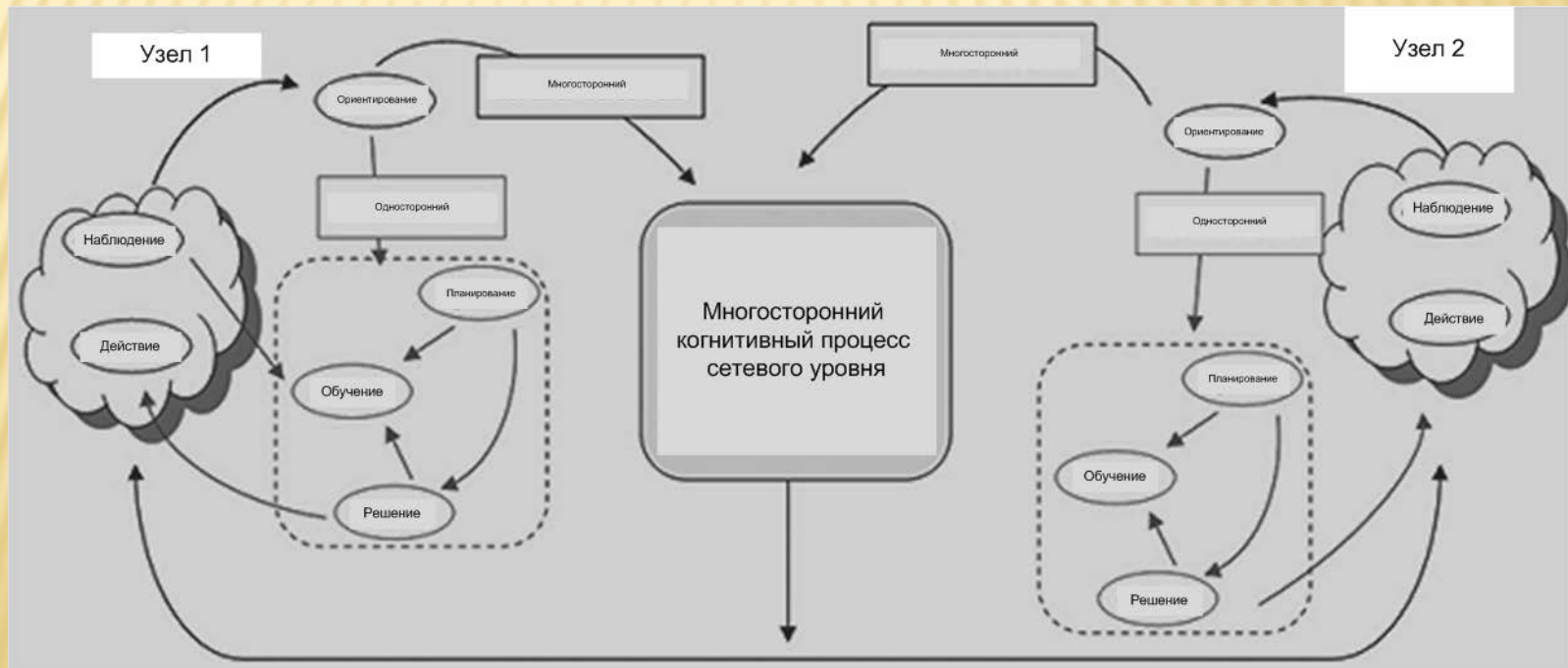
Минимальный набор функций IA: должен придерживаться модели и размышлять (формировать суждения, мысли, решения), основываясь на этой модели

ИА, использующие минимальный набор функций, называются **ИА основанными на знаниях (knowledge-based agent)**

Размышление может проводиться над двумя типами знания: определенным (явным, certain), например, правда, ложь, неизвестно, и неопределенным (неявным, uncertain)

Логический агент (logical agent) размышляет над определенным (явным) знанием. Использует символические представления знания, так называемые искусственные языки и логику первого порядка (для получения новых фактов). Размышления также поддерживают семантические запросы.

Агенты, решающие теоретически (decision theoretic agent), размышляют над неопределенной (неявной) или неполной информацией. Используют теорию принятия решений (decision theory). Для размышления такие агенты используют представления знания, специфичное для конкретного домена (сферы применения). Выполняют вероятностный логический вывод, который представляет собой вычисление постериорных вероятностей на основе данных наблюдения.



Типы когнитивных беспроводных сетей

- ❖ Централизованные
- ❖ Децентрализованные

Централизованные

Предполагают наличие инфраструктуры. Сеть вторичных пользователей разделяется на соты (зоны обслуживания). Каждой сотой управляет вторичная базовая станция. Вторичные БС контролируют доступ вторичных пользователей к среде передачи. Вторичные пользователи синхронизируются с управляющими ими вторичными базовыми станциями и выполняют периодические операции по сканированию спектра.

Децентрализованные

Не предполагают наличия инфраструктуры. Не содержат центрального элемента, управляющего вторичными пользователями. Несколько вторичных пользователей взаимодействуют между собой как непосредственно, так и через других вторичных пользователей. Вторичные пользователи принимают решения о значении параметров (несущей частоты, уровне мощности излучаемого сигнала) с целью оптимального использования спектра либо самостоятельно, либо кооперативно.

Когнитивные беспроводные сети (продолжение)

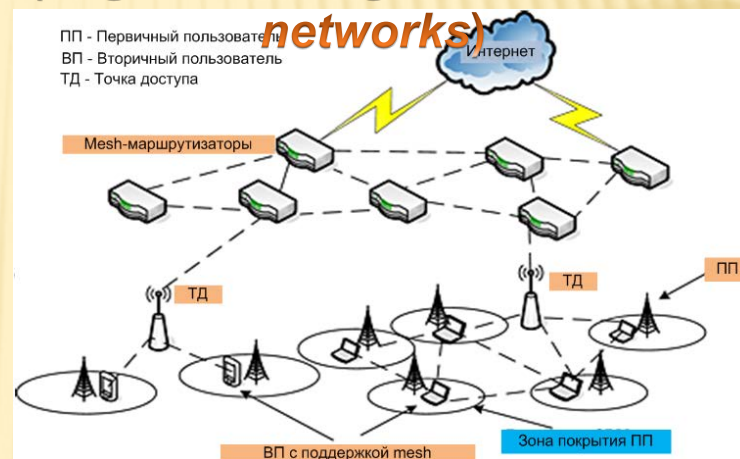
Примеры

:

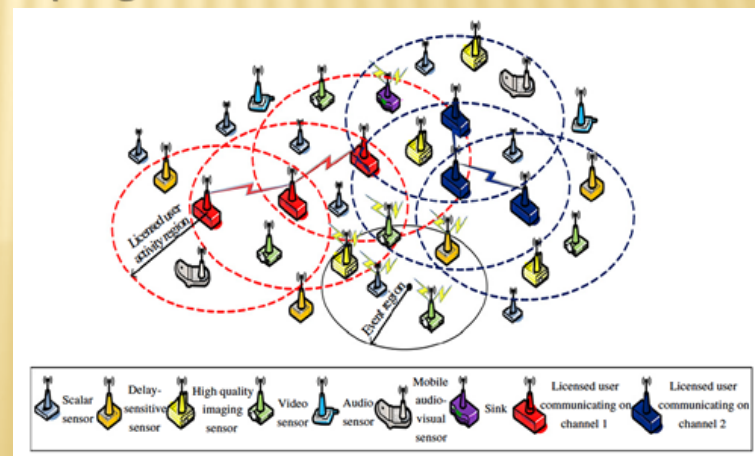
когнитивные самоорганизующиеся сети (*cognitive ad-hoc networks*),
когнитивные беспроводные mesh-сети (*cognitive wireless mesh networks*),



когнитивные крупномасштабные
беспроводные сети
(*large scale cognitive wireless*



когнитивные беспроводные сенсорные сети (*cognitive wireless sensor networks*)



Функции когнитивных беспроводных сетей

- Сканирование спектра (Spectrum Sensing)
- Анализ состояния спектра и принятие решения на его основе (Spectrum Analysis and Decision)
- Мобильность использования спектра (Spectrum Mobillity)

Сканирование спектра

Точное сканирование заданной полосы спектра (особенно при ее больших размерах) является проблемой

Выделяют три категории методов сканирования спектра:

- Методы индивидуального определения излучения передатчика (transmission detection)
- Методы совместного определения излучения передатчика (cooperative detection)
- Методы, основанные на определении интерференции (interference-based detection)

Главная цель методов – **предотвращение интерференции первичным пользователям со стороны вторичных пользователей**

Мобильность использования спектра

Предполагает возможность динамического переключения между различными полосами частот, а также между различными технологиями доступа к спектру

Основные проблемы:

- уменьшение величины задержки при передаче данных, вызванной динамическим переключением между полосами и технологиями;
- сокращение времени между определением излучения первичного пользователя и временем освобождения вторичным пользователем занимаемой полосы спектра

Функции когнитивных беспроводных сетей (продолжение)

Анализ состояния спектра и принятие решения на его основе

Целью анализа является определение наиболее подходящих для использования участков спектра в заданной полосе спектра. Анализ проводится для свободных участков спектра, определенных по результатам использования функции **Сканирование спектра**. При анализе учитываются некоторые критерии. В качестве критериев могут использоваться:

- Отношение сигнал/шум или Отношение сигнал/шум+помеха (SNR или SINR)
- Потери на распространение сигнала (path loss)
- Величина ошибок в беспроводном канале (wireless link errors)
- Задержка на канальном уровне (link layer delay)

Для принятия решения используются результаты, полученные в ходе **Анализа состояния спектра**. Решения принимаются в соответствии с некоторыми критериями. Например, в качестве критерия может использоваться **Ожидаемое время занятия участка спектра (hold time)**.

Когнитивное радио и когнитивная сеть: сходства и различия

Когнитивное радио

Когнитивная сеть

Сходства

- ✓ **НАЛИЧИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ** (определяющих способность к обучению на основе ранее принятых решений и использование результатов обучения для принятия решений в будущем)
- ✓ **ПОДДЕРЖКА АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ ПРИМЕНЕНИЯ**
- ✓ **НАЛИЧИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ**

Различия

× **степень интеллектуальности:**

свойства относятся к
отдельно взятой системе

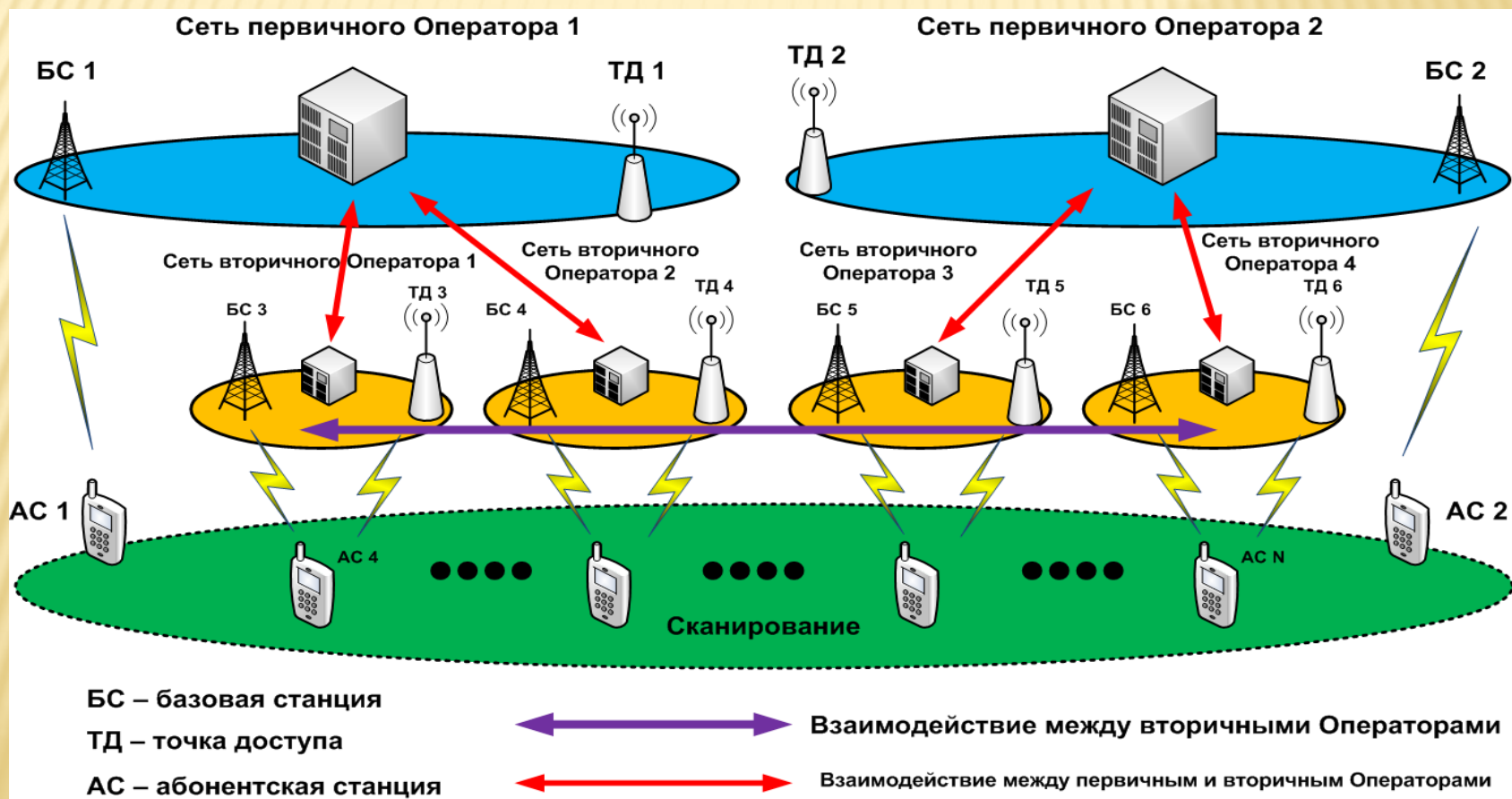
× **степень интеллектуальности**

: свойства относятся к
совокупности
взаимодействующих систем
(элементов сети)

Третичный рынок радиочастотных ресурсов

Вопросы: Если радиочастотный ресурс на заданной территории уже распределен на первичном и вторичном рынках, как получить его новым желающим? Как организовать взаимодействие с целью наиболее эффективного использования радиочастотного ресурса между пользователями вторичного рынка?

Решение: ввести третичный рынок радиочастотного ресурса



Третичный рынок радиочастотных ресурсов (продолжение)

На этом рынке может предлагаться радиочастотный ресурс, не используемый или малоиспользуемый на вторичном рынке. РЭС, работающие с радиочастотным ресурсом, приобретенным на третичном рынке, не должны создавать неблагоприятных условий для РЭС, работающих с радиочастотным ресурсом, приобретенным на первичном и вторичном рынках. При этом **ВОЗНИКАЕТ ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ ПРАВИЛ (СЦЕНАРИЕВ) СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НА ОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ РЭС С РАДИОЧАСТОТНЫМ РЕСУРСОМ РАЗЛИЧНЫХ РЫНКОВ.**

Возможные решения задачи:

- Применение совместимых между собой методов использования радиочастотного спектра. Например, РЭС вторичных пользователей используют метод «с перекрытием», а РЭС третичных – метод агрегирования свободных полос частот спектра.
- Использование интеллектуальных технологий радиосвязи: адаптивные антенные системы (AAS), MIMO, OFDMA, SDMA.
- Внедрение методов, позволяющих динамическое перестроение топологии сети и ретрансляцию сигнала по обходным маршрутам. Например, методов mesh-сетей и методов relaying.

Заключение (выводы)

1. Наступает новая эпоха развития беспроводных технологий (обусловленная необходимостью внедрения интеллекта из-за возрастающей сложности управления беспроводными сетями, ограниченности радиочастотного ресурса гетерогенности их структуры, проблем обеспечения безопасности и качества обслуживания;
2. Многоуровневое использование радиочастотного спектра (ресурса) с целью более эффективного (рационального) применения его ограниченного количества;
3. Требуется переход от аппаратного способа реализации беспроводных систем к программному);
4. За счет использования когнитивного радио и когнитивных беспроводных сетей повышается эффективность использования спектра в разы;
5. Образуется несколько рынков, которые вызывают проблему взаимодействия (согласования работы) между вторичными рынками;
6. Формирование третичного рынка позволит наиболее эффективно (максимально полно) использовать радиочастотный ресурс, позволит появиться новым игрокам (операторам), которые смогут предоставлять услуги по низким ценам (за счет уменьшения накладных расходов, связанных с получением Разрешений на

Благодарю за внимание!