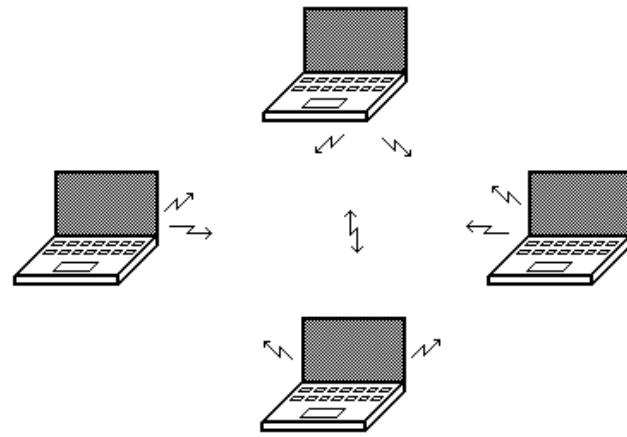


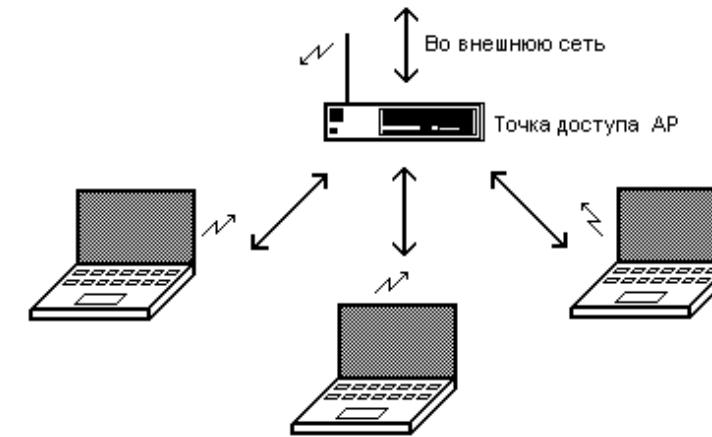
Беспроводные локальные компьютерные сети

Стандарт IEEE 802.11 (WiFi)

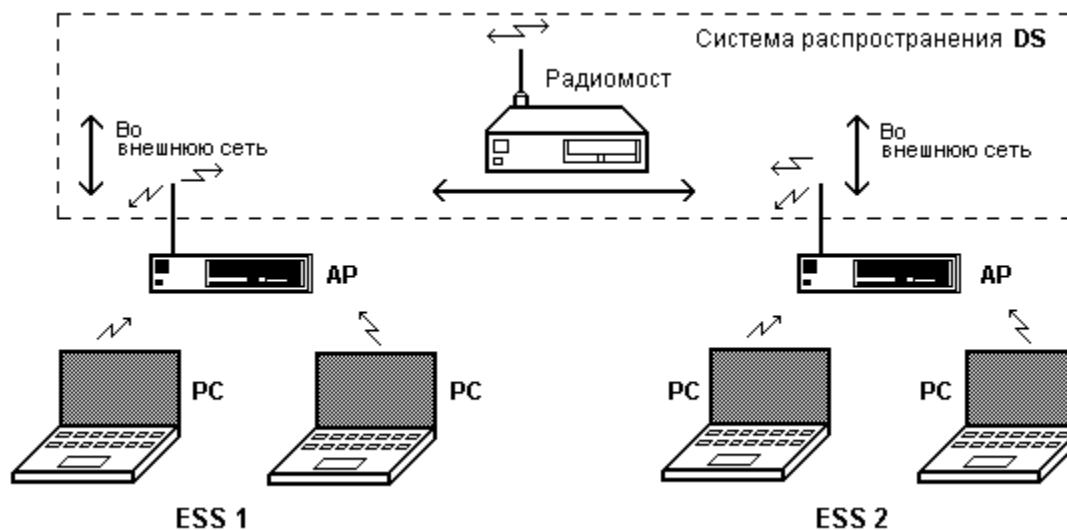
Беспроводные локальные компьютерные сети WLAN (Wireless Local Area Network)



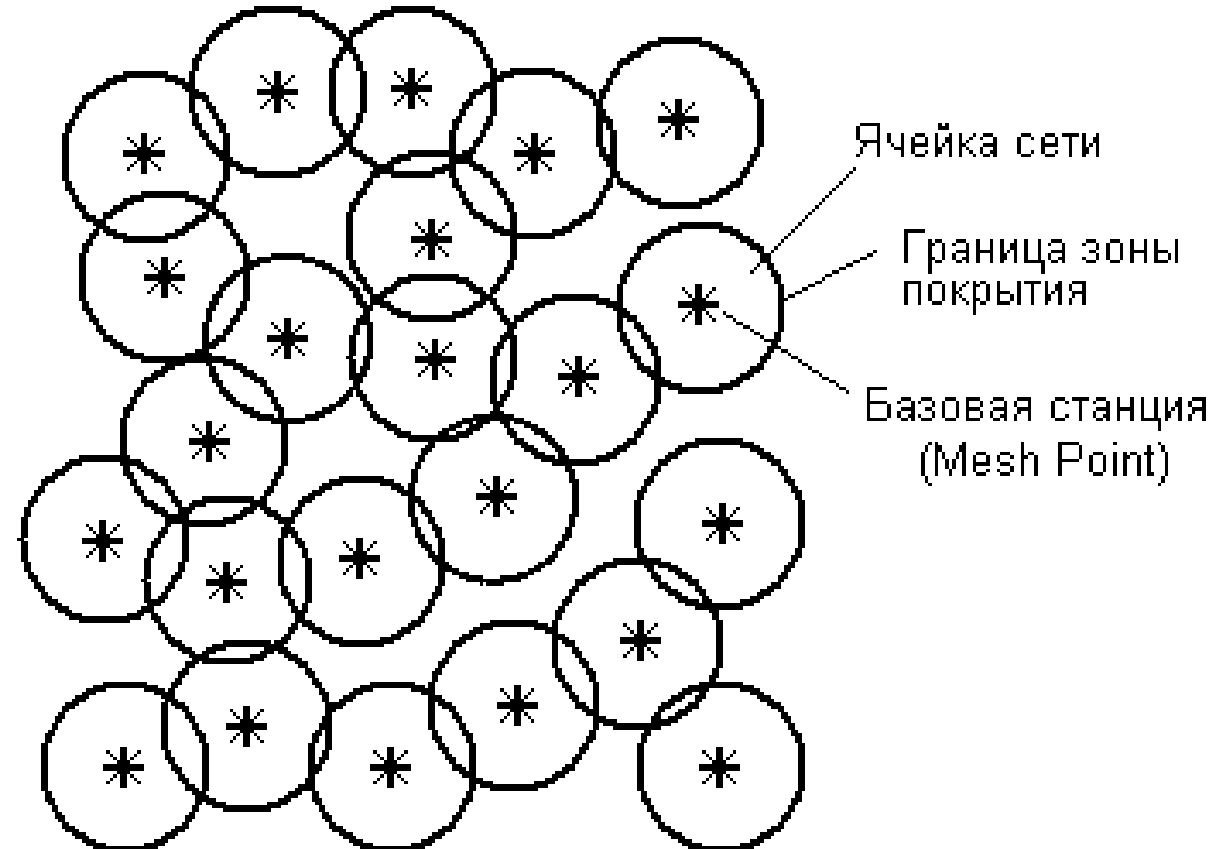
Без базовой станции



С точкой доступа BSS (Basic Service Set)



Беспроводные локальные компьютерные сети Mesh-WLAN – Ячеистые сети



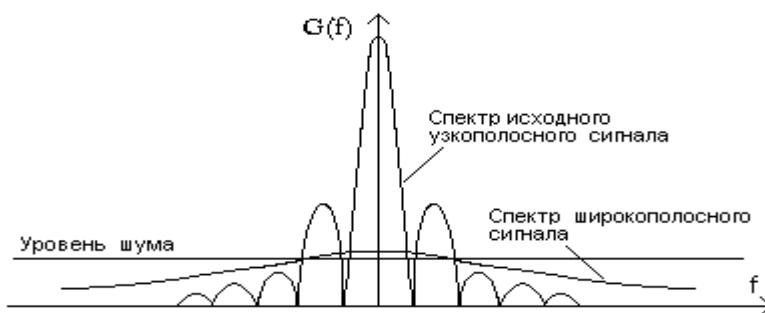
Беспроводные локальные компьютерные сети WLAN

Конструкция адаптеров беспроводных сетей



Беспроводные локальные компьютерные сети WLAN

Сигналы с расширением спектра (*Spread Spectrum, SS*).



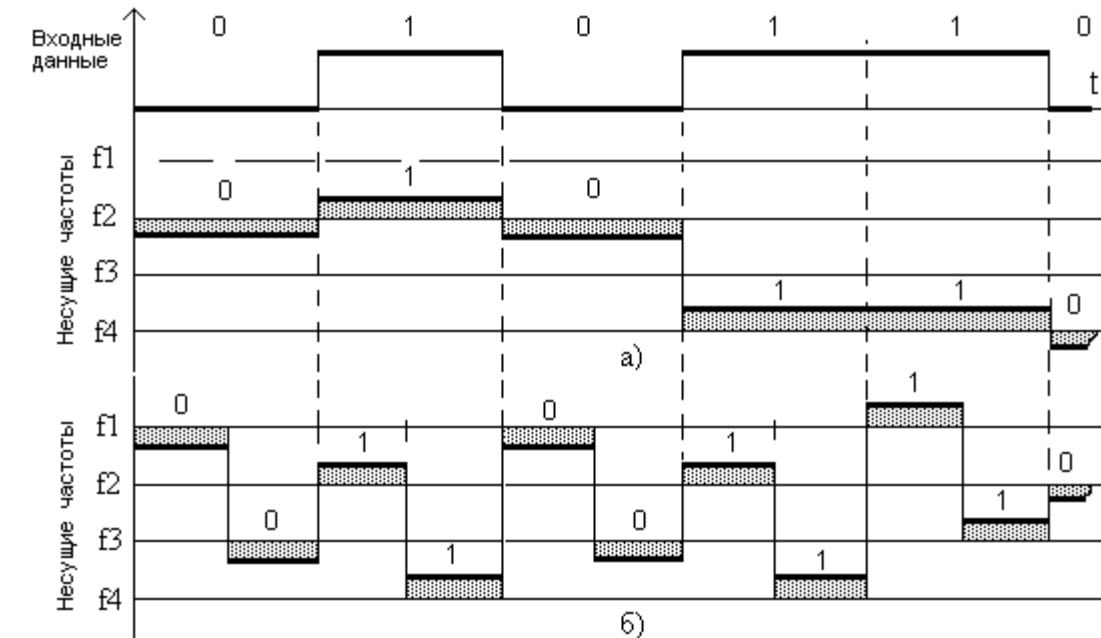
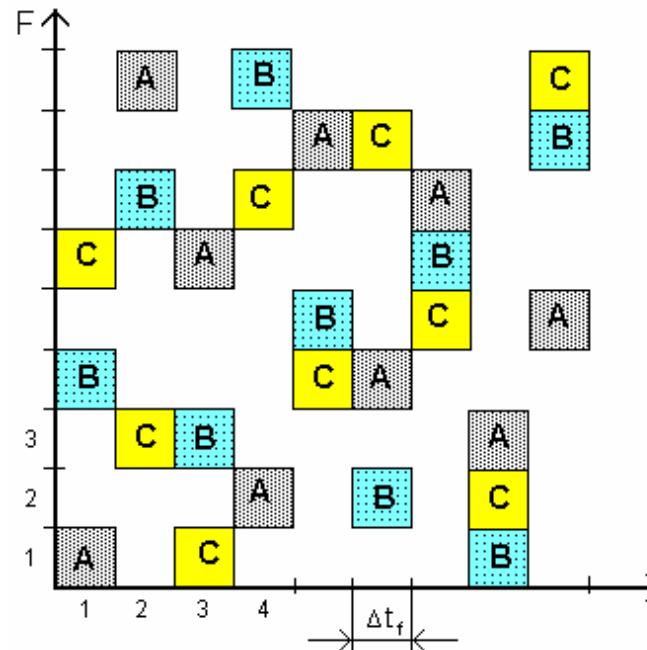
Скачкообразная перестройка частоты (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*);

Расширение спектра способом прямой последовательности (*Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*).

1. Достоинства широкополосных сигналов:

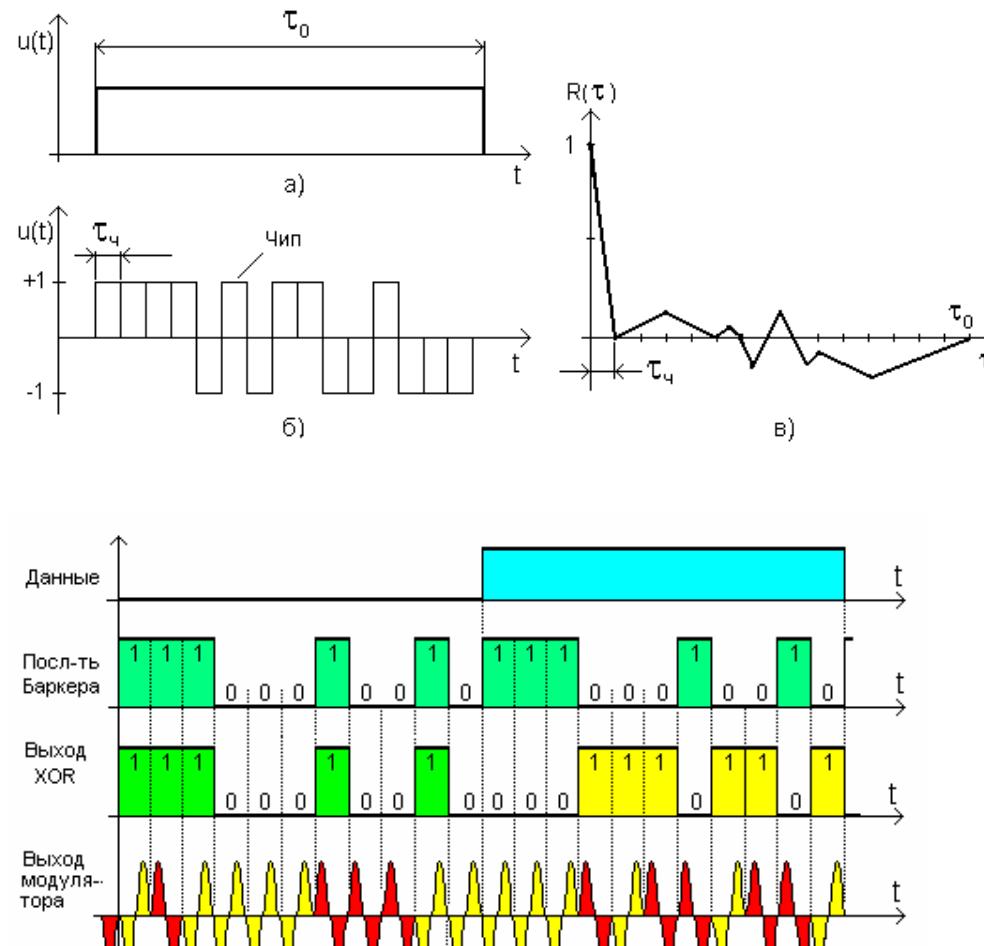
2. возможность приема и обработки ШПС при отношениях сигнал/помеха много меньших единицы;
3. высокая помехозащищенность как по отношению к широкополосным, так и узкополосным помехам;
4. инвариантность к явлению многолучевости в канале связи;
5. одновременная работа всех абонентов в общей полосе частот;
6. высокая достоверность принимаемой информации;
7. высокая энергетическая и структурная скрытность сигнала;
8. хорошая электромагнитная совместимость (ЭМС) с другими радиоэлектронными средствами.

WLAN - Скачкообразная перестройка частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)



Станции используют специальную процедуру **синхронизации** для одновременного переключения частот.

Расширение спектра способом прямой последовательности (*Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*).

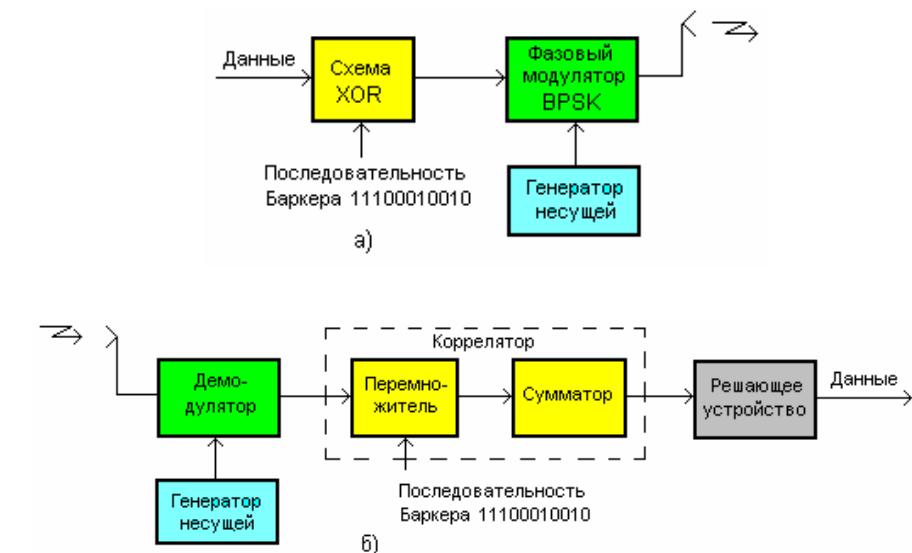


Псевдослучайные последовательности
Баркера 11100010010;

Комплементарные кодовые
последовательности (*Complementary Code Keying, CCK*) 8-DQPSK – ДКАМ

64 пары комплементарных
последовательностей

$F_{\text{нес}} = 2$ или 5 ГГц; $B=11$; 54 Мбит/с



Беспроводные локальные компьютерные сети WLAN с OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) - многоканальная передача сигналов с частотным разделением каналов.

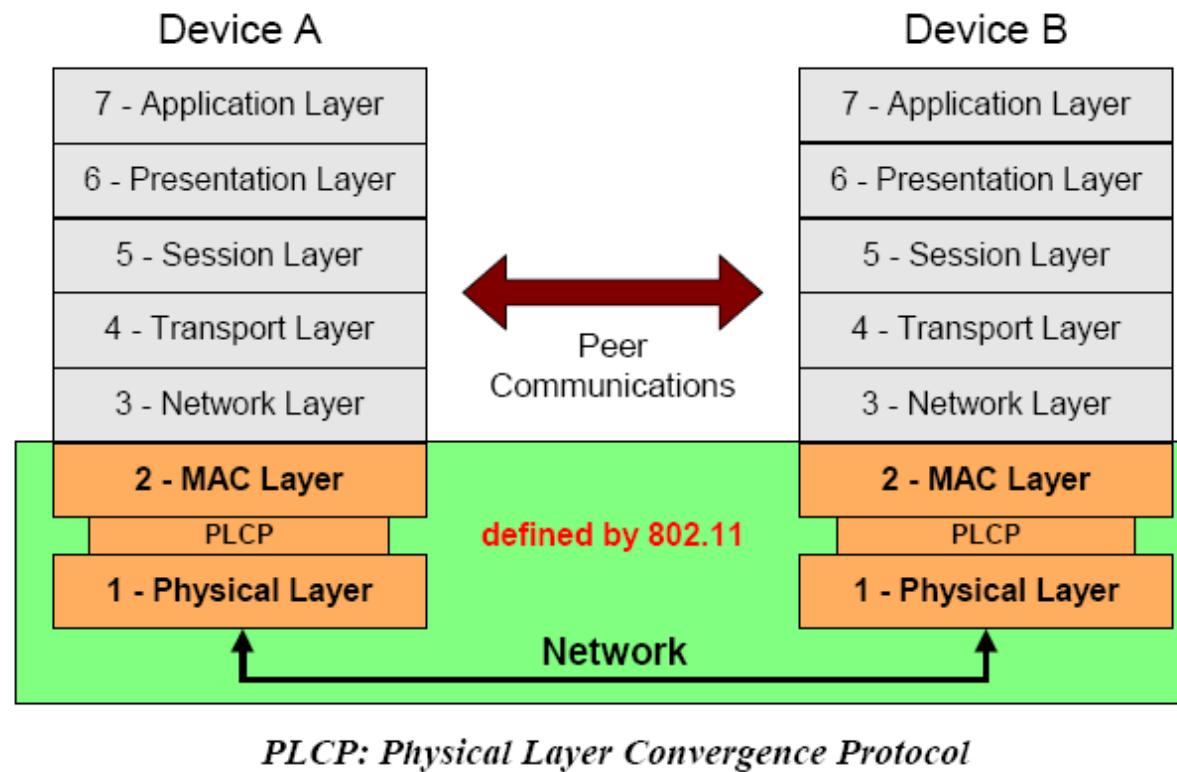
Для WLAN стандартом в диапазоне частот 5,2 ГГц выделено **12** неперекрывающихся каналов с одинаковой полосой пропускания 20 МГц. Каждый из этих каналов разделен на **64 подканала** с полосой пропускания $20000/64=312,5$ кГц. Из них для передачи собственно данных используется **48 подканалов**. Четыре подканала служат для передачи опорных колебаний, а по 6 подканалов слева и справа остаются незанятыми и выполняют функции защитных полос.



В подканале при BPSK скорость 125 кбит/с. Итоговая = $48 \times 125 = 6$ Мбит/с.

При QAM-128 обеспечивается скорость передачи данных в канале 54 Мбит/с.

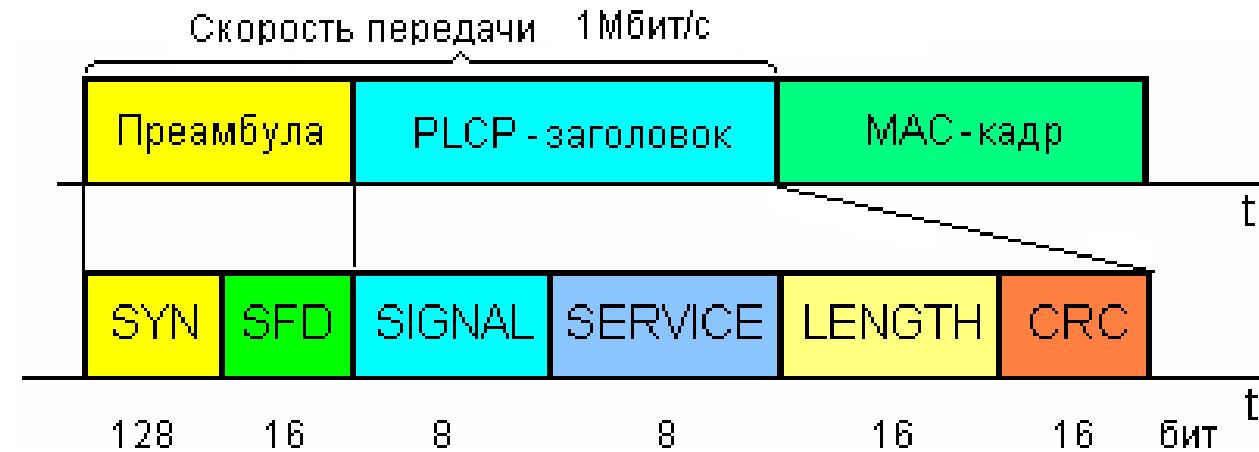
Стандарты 802.11 и эталонная модель OSI



На физическом уровне определяются методы модуляции и основные характеристики сигналов для передачи данных, физическая топология сети, способ кодирования информации и общей синхронизации битов. Данные на этом уровне рассматриваются как прозрачный поток битов.

Формат кадров 802.11

Кадры MAC-уровня: данных, управляющие (ACK, RTS, CTS и др.) и сигнальные (Beacon).



SYN вида 1010...; **SFD** (*Start Frame Delimiter*) F3A0h

SIGNAL - скорость передачи и способ модуляции;

SERVICE - информацию о наличии вариантов расширений;

LENGTH - время в мкс, необходимое для передачи следующей за заголовком части кадра.

MAC-кадр – передаются полезные данные.

Виды и форматы кадров

Кадры MAC-уровня: данных, управляющие (ACK, RTS, CTS и др.) и сигнальные (Beacon).



Основной формат MAC-кадра сети 802.11

Управление кадром:

Версия протокола; Тип кадра (Информационный, управляющий, служебный); К DS от DS; Наличие фрагментов; Вид шифрования и др.

Управление очередностью – порядковый номер кадра.

СПОСОБЫ ДОСТУПА:

На MAC-уровне протокола 802.11 определено два типа коллективного доступа к среде передачи данных:

функция распределенной координации – DCF (*Distributed Coordination Function*);

функция централизованной координации PCF (*Point Coordination Function*).

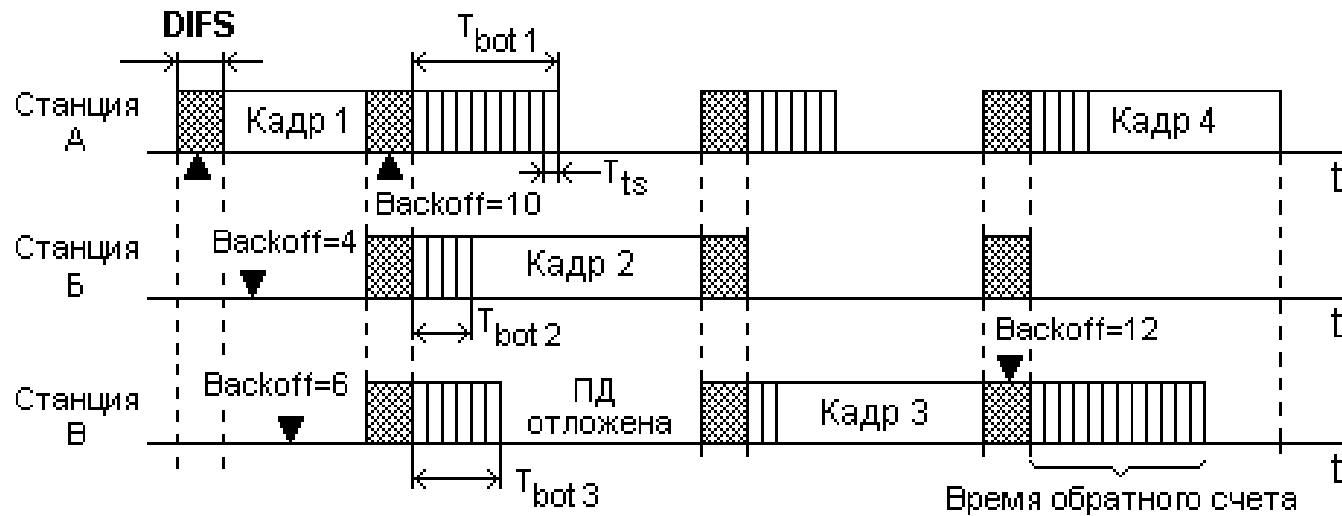
При DCF - Множественный доступ с предотвращением коллизий, CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*).

С целью уменьшения вероятности возникновения коллизий после передачи каждого кадра должны выдерживаться межкадровые паузы.

Стандартом установлено три вида таких интервалов:

- ❖ межкадровый интервал ожидания DIFS;
- ❖ межкадровый интервал ожидания PIFS;
- ❖ укороченный межкадровый интервал SIFS.

Равномерный доступ компьютеров к среде на основе способа распределенной координации DCF

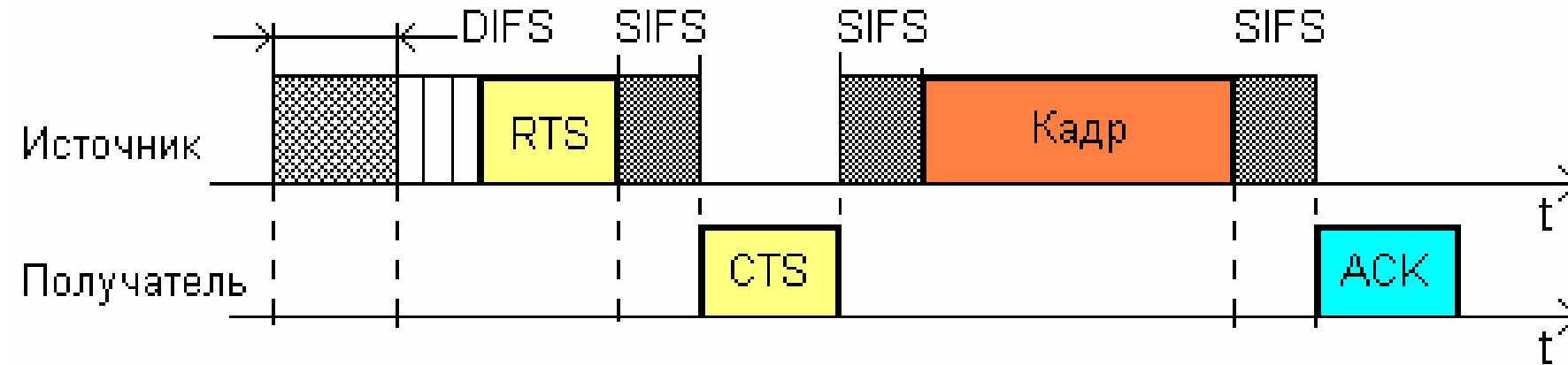


межкадровый интервал ожидания **DIFS** (DCF Interframe Space), используемый при асинхронном способе обслуживания;

межкадровый интервал ожидания **PIFS** (PCF Interframe Space), применяется в сетях с гарантированным временем обслуживания; этот интервал должна выдержать ведущая станция перед началом процедуры опроса подчиненных станций;

укороченный межкадровый интервал SIFS (Short Interframe Space); это самая короткая пауза, которая используется станциями при передаче пакетов квитирования.

Алгоритм RTS/CTS (Request To Send)/(Clear To Send)



Регламентированный коллективный доступ

Функция централизованной координации PCF (*Point Coordination Function*). Центр координации опрашивает все узлы сети, внесенные в его список (поллинг), и на основании этого опроса организует передачу данных между всеми узлами сети.

Комбинирование функций централизованной и распределенной координации



Бесконкурентный доступ к среде - CFP (*Contention-Free Period*), и конкурентный доступ к среде CP (*Contention Period*)

Beacon - управляющий сигнальный (маячный) кадр – указывает пользователям сети продолжительность CFP-промежутка

В процессе передачи точка доступа может совмещать кадр опроса с передачей данных (кадр DATA+CF_POLL).

Установление соединения в сетях 802.11.

Сканирование среды

Сканирование бывает активное и пассивное;

При активном сканировании периодически передаются зондирующие кадры. В них указывается идентификатор SSID желаемой сети, если требуется найти определенную сеть, либо устанавливается широковещательный SSID, если нужно найти какую-нибудь сеть.

Управление кадром	Продолжительность	Адрес приемника	Адрес источника	BSSID	Упр-е очередностью	SSID	Информационный элемент (IE) поддерживаемые скорости
2 байта	2	6	6	6	2	6	4

Формат зондирующего кадра

BSSID - идентификатор базовой зоны обслуживания (MAC-адрес) точки доступа. **SSID** – идентификатор беспроводной сети

Установление соединения: Аутентификация в сетях 802.11

Аутентификация (открытая; с совместно используемым ключом); Цель: установление подлинности клиента

- 1) клиентская станция передает точке доступа кадр запроса на аутентификацию в режиме совместно используемого ключа.
- 2) точка доступа посыпает в ответ кадр вызова (*Challenge Frame*), содержащий незашифрованное текстовое сообщение;
- 3) полученный кадр вызова шифруется на клиентской стороне и отправляется обратно точке доступа;
- 4) если точка доступа в состоянии расшифровать этот кадр и восстановить свое исходное сообщение, то она полагает, что клиент успешно прошел процедуру аутентификации и ему посыпается соответствующий кадр подтверждения аутентификации;
- 5) процедура аутентификации завершена, клиент может работать.

Установление соединения: ассоциирование

Ассоциирование (предоставлении клиентской станции логического порта и присвоении ей идентификатора ассоциации **AID** (*Association Identifier*)).

Управление кадром	Продолжительность	Адрес приемника	Адрес источника	BSSID	Упр-е очередностью	Интервал прослушивания	SSID	Индикаторы скоростей
-------------------	-------------------	-----------------	-----------------	-------	--------------------	------------------------	------	----------------------

Формат кадра запроса на ассоциирование

Интервал прослушивания – продолжительность нахождения станции в состоянии возможности принятия кадра (режим экономии питания).

BSSID – MAC-адрес точки доступа. **SSID** – идентификатор беспроводной сети

Стандартизация построения беспроводных сетей

Стандарты 802.11, 802.11b, 802.11g и 802.11n

Стандарт 802.11b:

- ❖ несущая частота излучаемых сигналов – 2,4... 2.4835 ГГц;
- ❖ число непересекающихся частотных каналов – 3;
- ❖ модуляция с использованием комплементарных кодовых последовательностей ССК (*Complementary Code Keying*) , с шириной полосы 22 МГц на канал и одной несущей;
- ❖ метод доступа – CSMA/CA;
- ❖ максимальная скорость передачи данных – 11 Мбит/с.

Стандартизация построения беспроводных сетей

Стандарт 802.11a:

- несущая частота – 5 ГГц;
- число непересекающихся частотных каналов – 8;
- модуляция — многочастотная передача ортогональными сигналами OFDM с шириной полосы 20 МГц на канал - несколько несущих;
- метод доступа – CSMA/CA;
- максимальная скорость передачи данных – 54 Мбит/с.

Стандарт 802.11g – отличие от 802.11b:

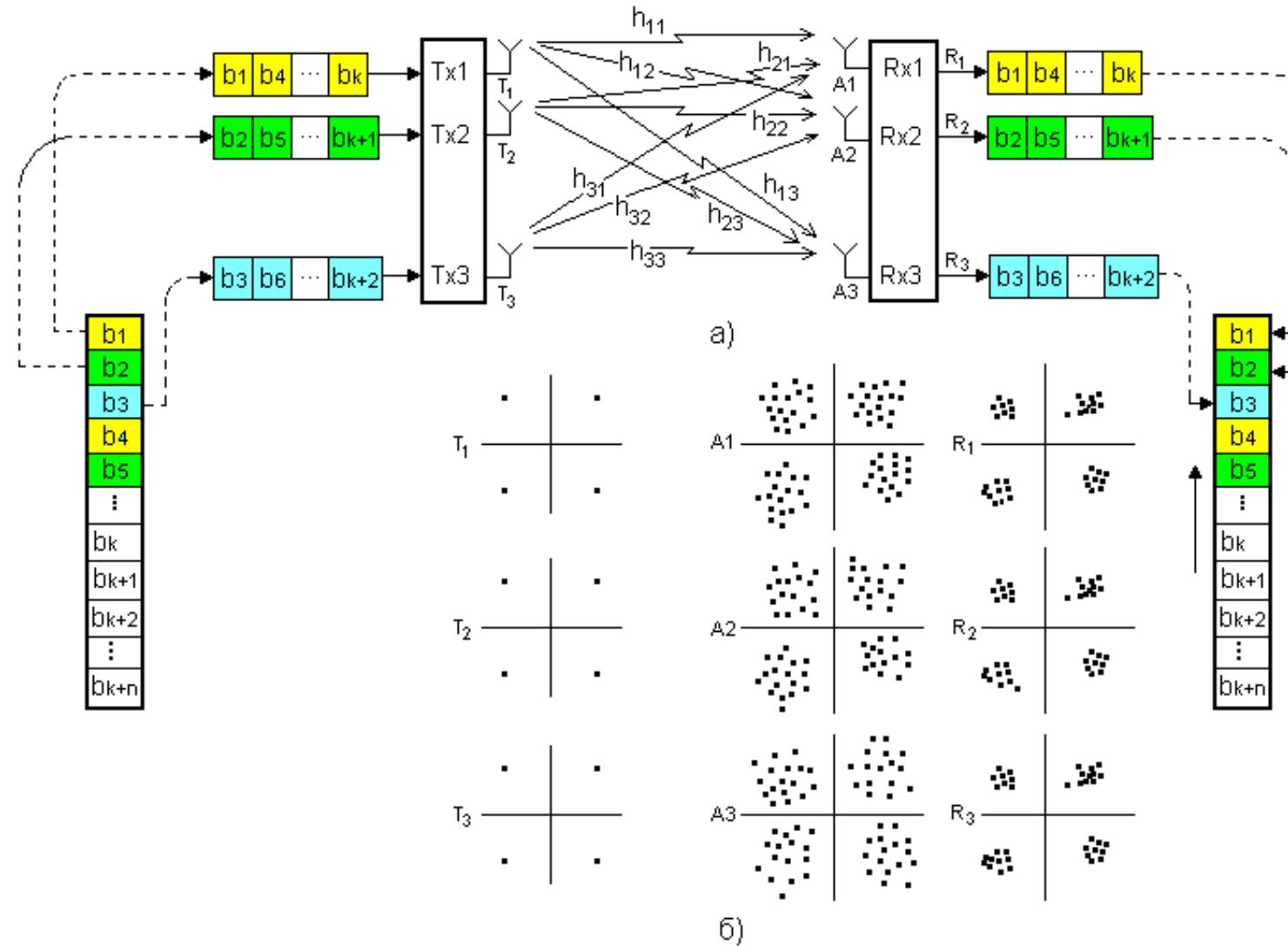
- ❖ модуляция –OFDM и ССК (для совместимости с 802.11b);
- ❖ максимальная скорость передачи данных – 54 Мбит/с;
- ❖ пакетная передача (*Packet Bursting*), сжатие данных.

Стандартизация построения беспроводных сетей

Стандарт 802.11n:

- Способ передачи – MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)
- Несущая частота – 2,4 и 5 ГГц;
- Модуляция – OFDM - многочастотная передача ортогональными сигналами;
- Ширина канала – 20 или 40 МГц;
- Метод доступа – CSMA/CA;
- Количество поднесущих – 56 или 104;
- Модуляция в подканале - 64-QAM;
- Максимальная скорость передачи данных – 600 Мбит/с.

Способ передачи MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)



Способ передачи МIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

Сигнал R_1 , принимаемый первой антенной, можно представить в виде:

$$R_1 = h_{11}T_1 + h_{21}T_2 + \dots + h_{n1}T_n$$

где h_{ij} — коэффициенты передачи тракта между i -й передающей антенной и j -й приемной антенной.

Записывая подобные уравнения для каждой приемной антенны, получим следующую систему:

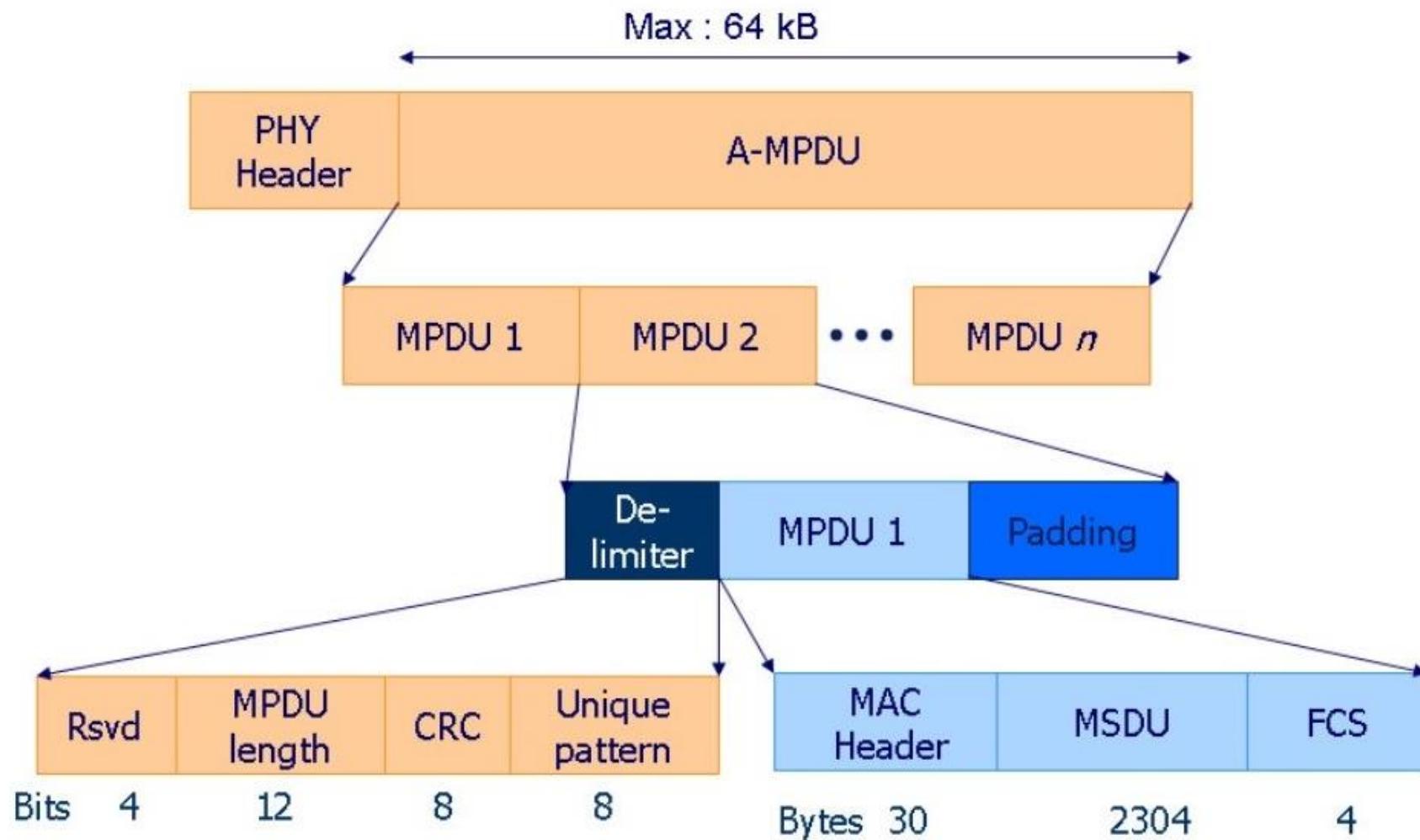
$$\begin{cases} R_1 = h_{11}T_1 + h_{21}T_2 + \dots + h_{n1}T_n; \\ R_2 = h_{12}T_1 + h_{22}T_2 + \dots + h_{n2}T_n; \\ \dots \\ R_m = h_{1m}T_1 + h_{2m}T_2 + \dots + h_{nm}T_n. \end{cases}$$

В матричной форме уравнение имеет следующий вид: $[R] = [H] \cdot [T]$

Определение коэффициентов h_{ij} в технологии MIMO производится во время передачи преамбулы пакета. Зная коэффициенты передачи каналов, можно легко восстановить переданный сигнал:

$$[T] = [H]^{-1} \cdot [R]$$

Повышение пропускной способности сети 802.11n за счет агрегации кадров



Повышение пропускной способности за счет пакетной передачи

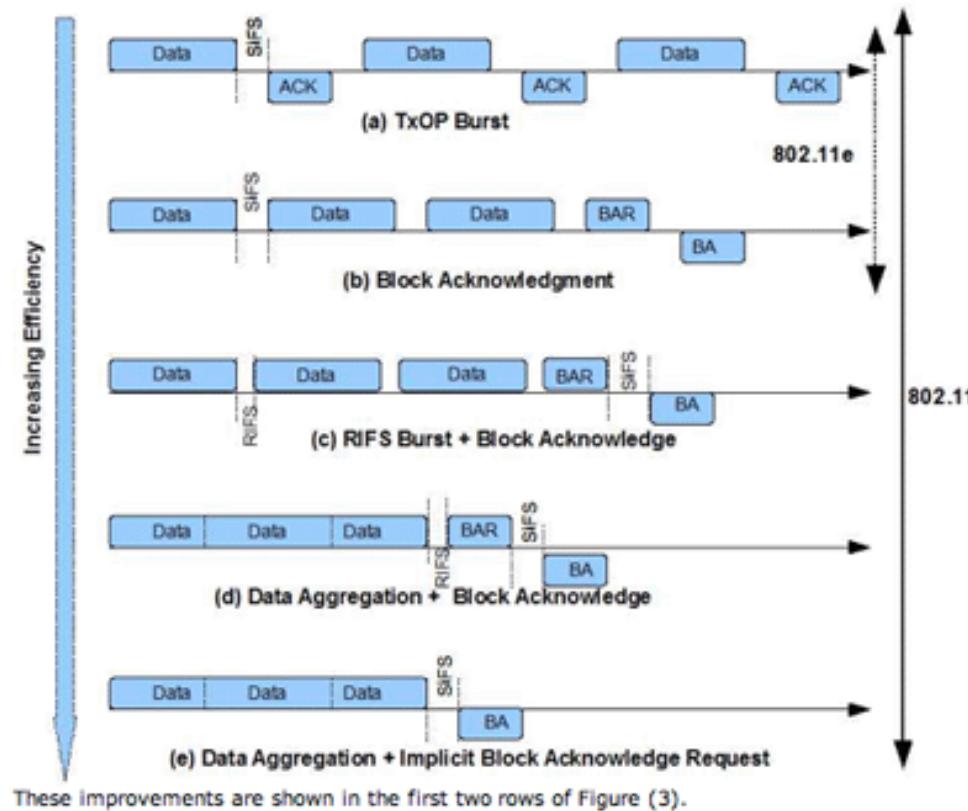


Схема компьютерной сети в «Доме книги» на Невском проспекте в Санкт-Петербурге.

