

Математические методы анализа среды передачи данных с множественным доступом

**MAC подуровень
Media Access Control
Ethernet
(том 1 стр.139 – 181)**



Среды с множественным доступом (МА среды)

- 1. Математические модели МА-сред*
- 2. Математические методы анализа пропускной способности МА-каналов*
- 3. Понятие коллизии и причины их возникновения в МА-средах*
- 4. Оценка потерь из-за коллизий*
- 5. Методы понижения числа коллизий*



Статическое предоставление канала

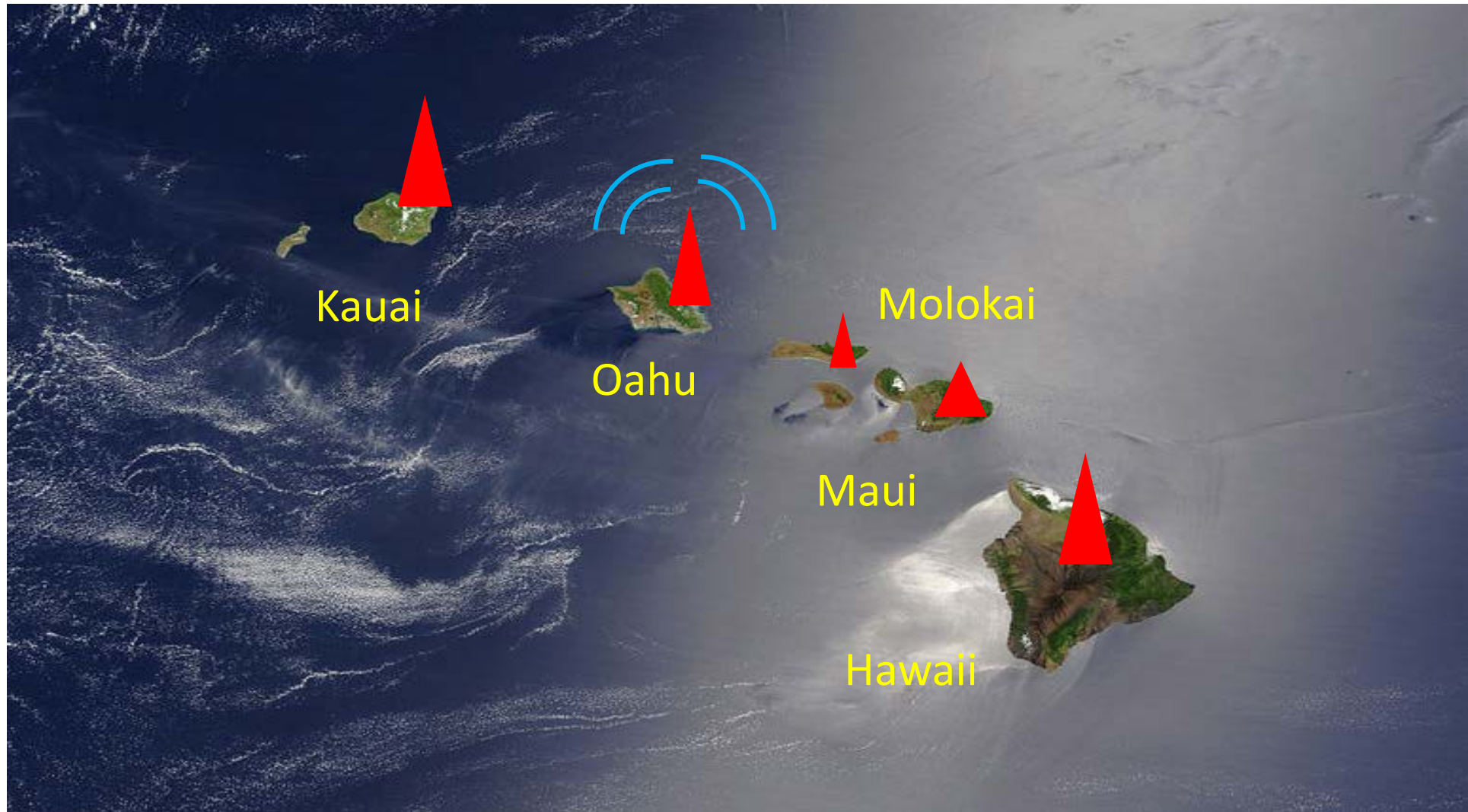
- Оценим T - среднее время задержки кадра в системе, со скоростью обработки и передачи C б/с, средняя скорость поступления кадров равна λ кадр/с и средняя длина кадра имеет экспоненциальное распределение со средним $1/\mu$ бит/кадр.

$$T = \frac{1}{|C - \lambda/\mu|} * \frac{1}{\mu} = \frac{1}{|\mu C - \lambda|}$$

$$T_{FDM} = \frac{1}{\mu(C/N) - (\lambda/N)} = \frac{N}{\mu C - \lambda} = NT$$

- Вывод: одна очередь с быстрым обслуживанием лучше чем N разных, но медленных.
- Статическое разделение канала на подканалы (мультиплексирование частотное или временное) является не эффективным решением при предположении о постоянстве числа пользователей в среднем и не регулярности трафиков у пользователей каналом.

Протоколы множественного доступа: ALOHA





Модель системы с динамическим разделением общего канала

- **Станции.** Модель системы состоит из бесконечного числа статистически независимых станций.
- Количество кадров, появившихся в интервале Δt , распределено согласно закону Пуассона с коэффициентом λ , т.е. равно $\lambda \Delta t$, где λ – константа и $0 < \lambda < 1$.
- Когда кадр сгенерирован, станция блокируется до тех пор, пока его не передаст
- **Единственность канала.** Канал один и доступен всем станциям.
- **Коллизии.** Если интервалы передачи кадров двух и более станций пересекаются, то это ошибка и такой случай называют коллизией. Кроме коллизий других ошибок передачи нет.
- О коллизии станция узнает после передачи



Варианты модели

- **Непрерывное время.** Передача кадра может начаться в любой момент. Нет единых часов в системе, которые разбивают время на слоты.
- **Дискретное время.** Время разбивается на дискретные интервалы - слоты. Кадр начинает передаваться только в начале слота.
- **Наличие несущей.** С помощью несущей станция всегда может определить занят ли канал прежде, чем использовать его. Если он занят, то ни одна станция не начинает передачу.
- **Отсутствие несущей.** Станция ничего не знает о состоянии канал пока не начнет использовать его.



Чистая ALOHA

Пусть: τ - время необходимое на передачу кадра определенной фиксированной длины (время кадра).

Предполагаем, что

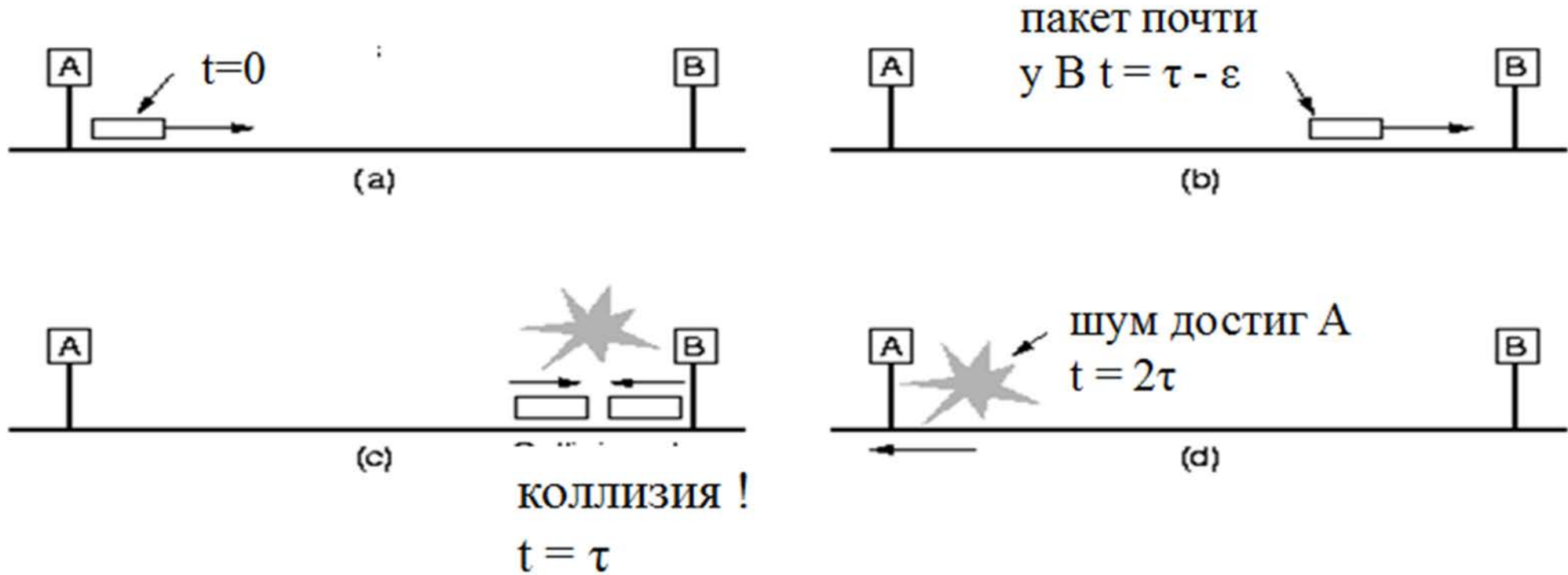
- Количество станций неограниченно.
- Станция сразу начинает передачу.
- Они все вместе порождают кадры по закону Пуассона

$$P(n) = \frac{(\lambda)^n}{n!} e^{-\lambda} \quad \text{со средним } \lambda \text{ кадров за время кадра } \tau, \text{ где } 0 < \lambda < 1.$$

- Вероятность что за время кадра τ произойдет k попыток передачи, либо нового, либо ранее не прошедшего кадра, распределена по закону Пуассона со средним ψ попыток за время кадра τ : $P(k) = \frac{(\psi)^k}{k!} e^{-\psi}$
- Тогда: пропускная способность канала будет $S = \psi P_0$, где P_0 - вероятность отсутствия коллизий при передаче.
- Для обнаружения коллизии надо 2τ ед. времени

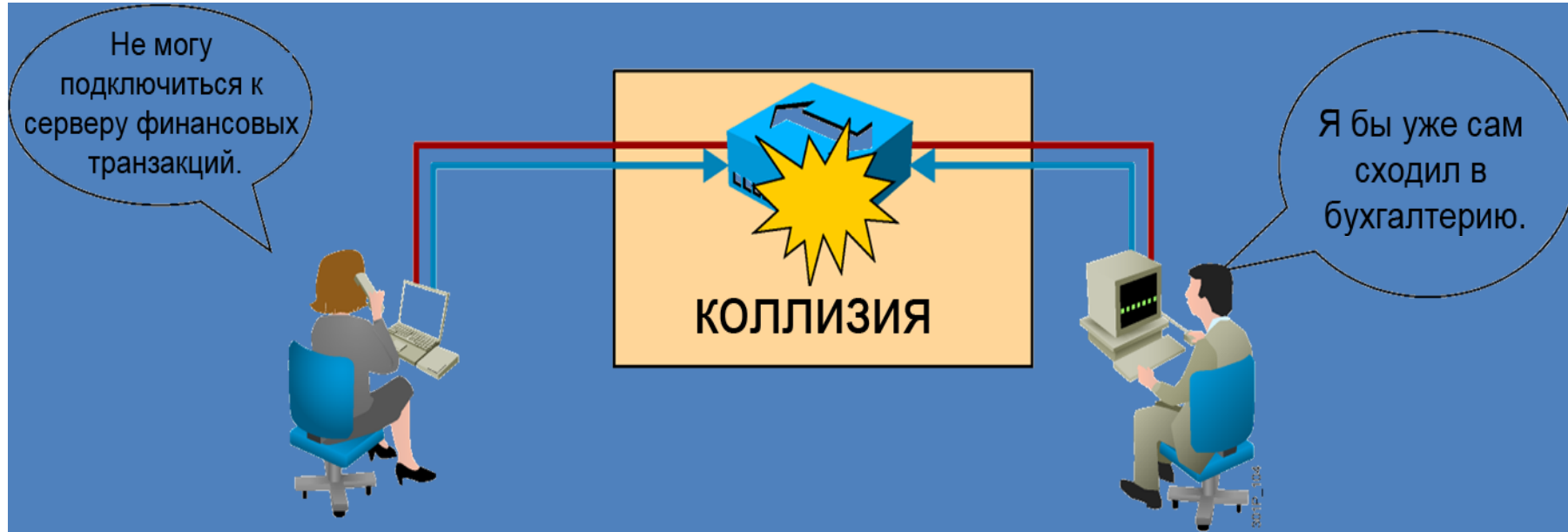


Коллизия





Коллизии



- Для пользователей коллизии выглядят как «торможение» сети
- Домен коллизий - физический сегмент, где есть множество устройств, и если любые два из них будут передавать данные одновременно, то возникнет коллизия



Чистая АЛОНА

- Вероятность передачи кадров за время кадра τ за k попыток при распределении Пуассона равна по определению

$$P(k) = \frac{(\psi)^k}{k!} e^{-\psi}$$

- За двойное время кадра среднее число кадров будет 2ψ , отсюда $P_0 = e^{-2\psi}$,

а так как $S = \psi P_0$, то $S = \psi e^{-2\psi}$

Максимальная пропускная способность системы АЛОНА

$$S = 1/2e$$

достигается при $\psi = 0,5$, что составляет примерно 18%.



Слотированная ALOHA

- *Передачу теперь можно начинать не в любой момент, а только по специальному сигналу, тогда*

$$S = \psi e^{-\psi}.$$

- *Максимум пропускной способности слотированной ALOHA наступает при $\psi=1$,*

$$S = 1/e,$$

т.е. около 0,37, что в двое больше чем у чистой ALOHA.



Слотированная АЛОНА

Влияние ψ на пропускную способность канала

- Вероятность успешной передачи за k попыток

$$P_k = e^{-\psi} (1 - e^{-\psi})^{k-1}$$

- Среднее ожидаемое число повторных передач, чтобы успешно передать один кадр будет

$$\sum_{k=1}^{\infty} k P_k = \sum_{k=1}^{\infty} k e^{-\psi} (1 - e^{-\psi})^{k-1} = e^{\psi}$$

С ростом ψ резко возрастает число повторных попыток.



CSMA настойчивые и не настойчивые

- *В локальных сетях есть возможность определить, что делают другие станции и только после этого решать что делать. Протоколы, которые реализуют именно эту идею называются протоколами с обнаружением несущей*
CSMA (Carrier Sensitive Multiple Access).
- *Настойчивые протоколы - упорно проверяют канал на занятость*
- *Не настойчивые - проверяют канал через случайные отрезки времени.*
- *Настойчивые протоколы уровня р.*



CSMA с обнаружением коллизий

- CSMA/Controlled Access
- CSMA/CD (Collision Detection)

где P - длина

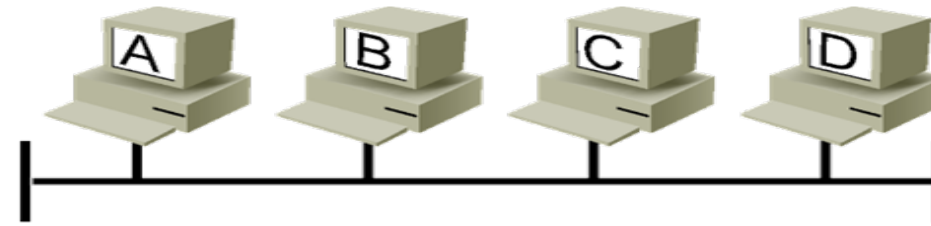
- Период доступа
- Коллизия

Контроль несущей

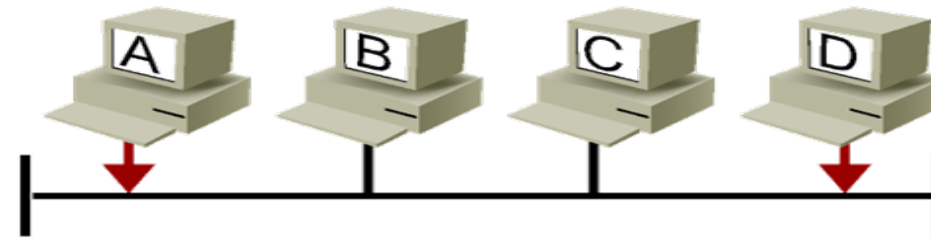
Множественный доступ

Коллизия

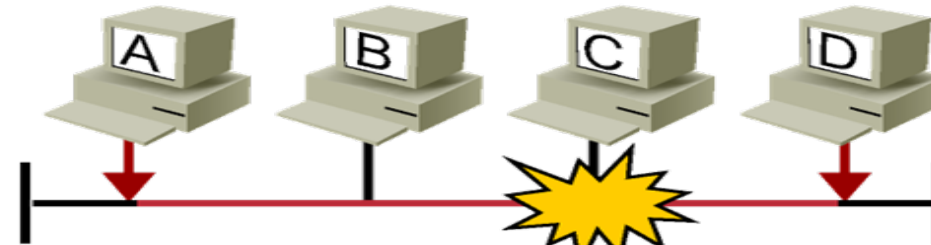
Обнаружение коллизии (алгоритм отсчета)



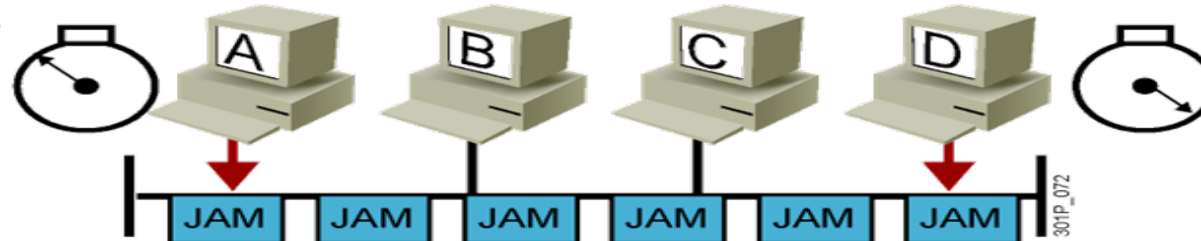
idle



idle



Коллизия



Множественный доступ с контролем несущей с обнаружением коллизий (CSMA/CD)



IEEE 802.3 : алгоритм задержки

- При возникновении коллизии время разбивается на слоты длиной, соответствующей наибольшему времени распространения сигнала в оба конца : при длине линии 2.5 км и четырех репиторах $2\tau = 51.2\text{мкс}$.
- Алгоритм двоичной экспоненциальной задержки
 - При первой коллизии станции, участвовавшие в ней случайно выбирают 0 или 1 слот для ожидания.
 - Если коллизия возникнет опять, то выбор номера слота происходит среди чисел $0 - 2^{i-1}$, где i - порядковый номер очередной коллизии.
 - После 10 коллизий число слотов достигает 1023 и далее не увеличивается.
 - После 16 коллизий Ethernet контроллер фиксирует ошибку и сообщает о ней машине, т.е. более высокому уровню стека протоколов.



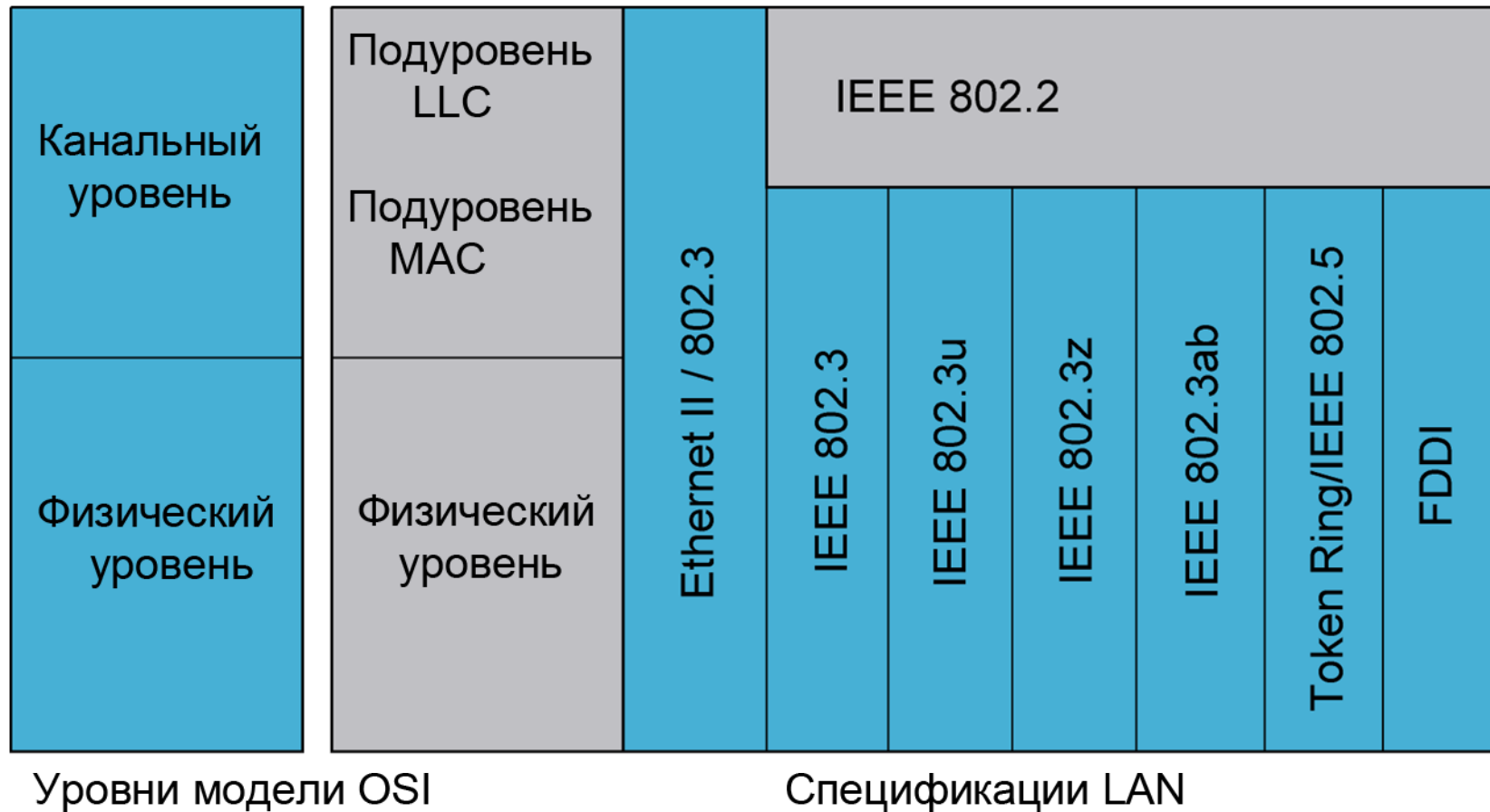
IEEE 802.3 : оценка числа слотов состязаний

- Пусть всегда есть k станций готовых к передаче.
- При коллизиях в каждом слоте длиной 2τ повторная передача с постоянной вероятностью.
- Если каждая станция участвует в каждом слоте состязания с вероятностью p , то вероятность A , что некоторая станция захватит канал в этом слоте, равна $A = kp(1-p)^{k-1}$ при $p=1/k$, $A \rightarrow 1/e$ при $k \rightarrow \infty$.
- Среднее число слотов в состязаниях равно $\sum_{j=0}^{\infty} jA(1-A)^{j-1} = \frac{1}{A}$
- Средний интервал состязаний $w=2\tau / A$, но т.к. $A = \frac{1}{e}$, то $w \leq 2\tau * e \approx 5.4\tau$
при $p=1/k$ эффективность канала равна $\frac{m}{(m + 2\tau / A)}$, где m - среднее время передачи кадра.

С ростом τ эффективность использования канала падает!

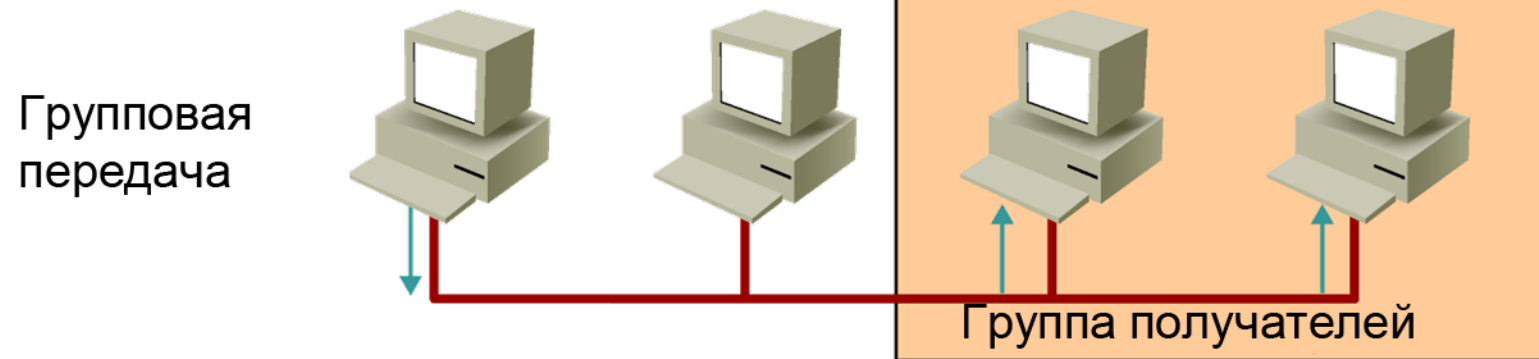
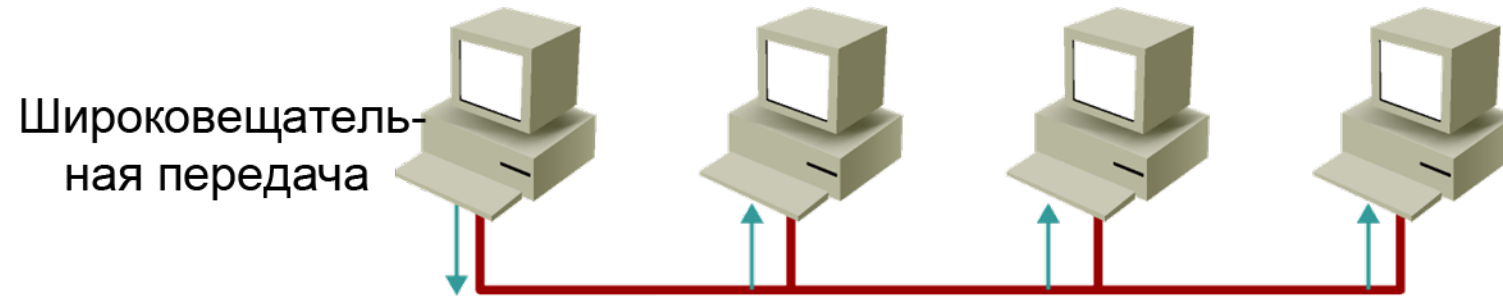
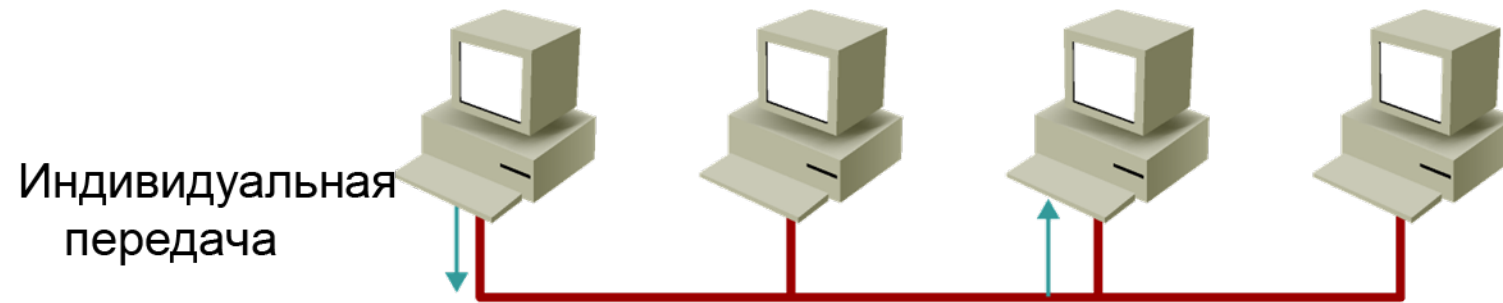


Стандарты Ethernet



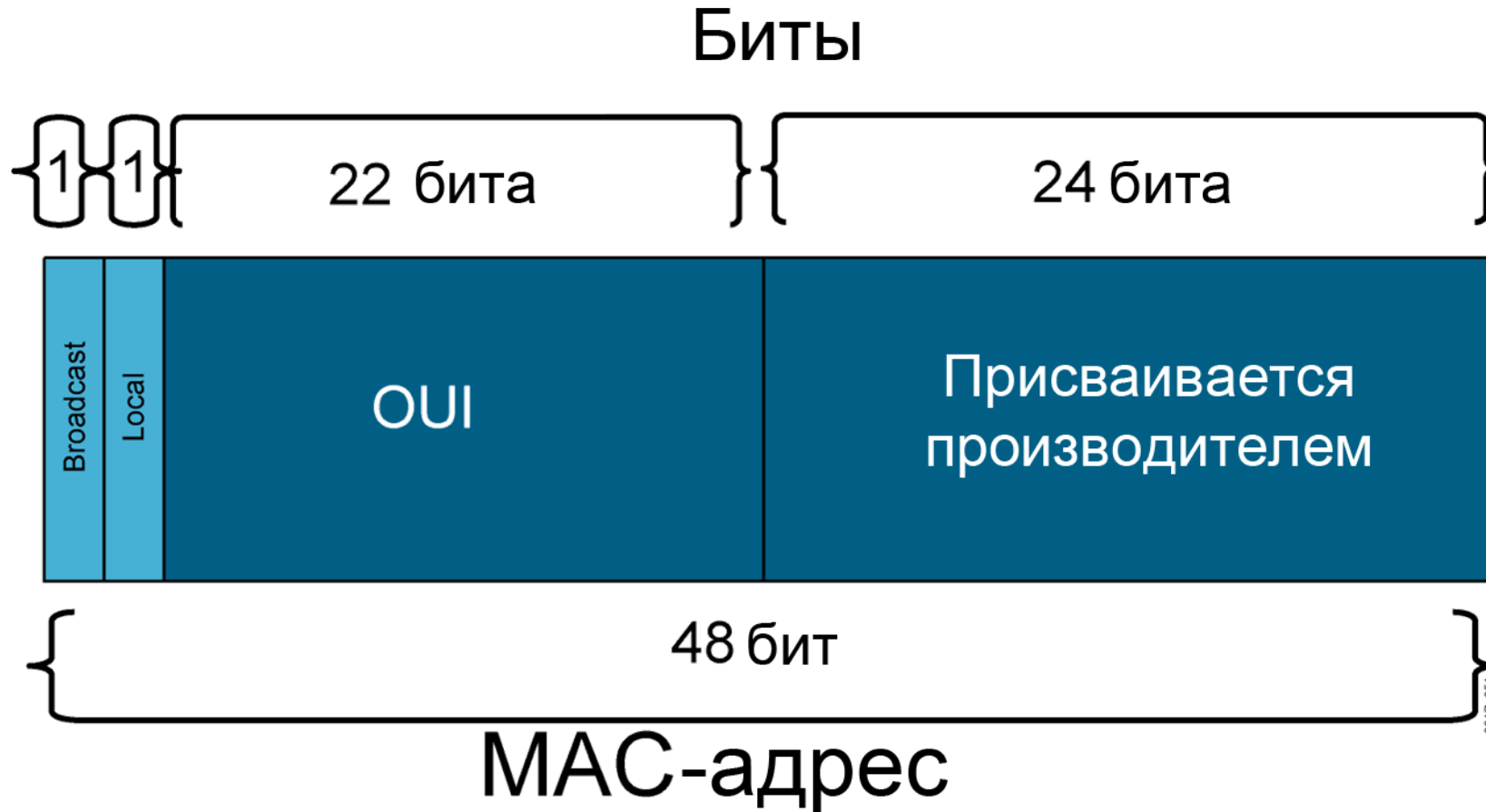


Типы адресов



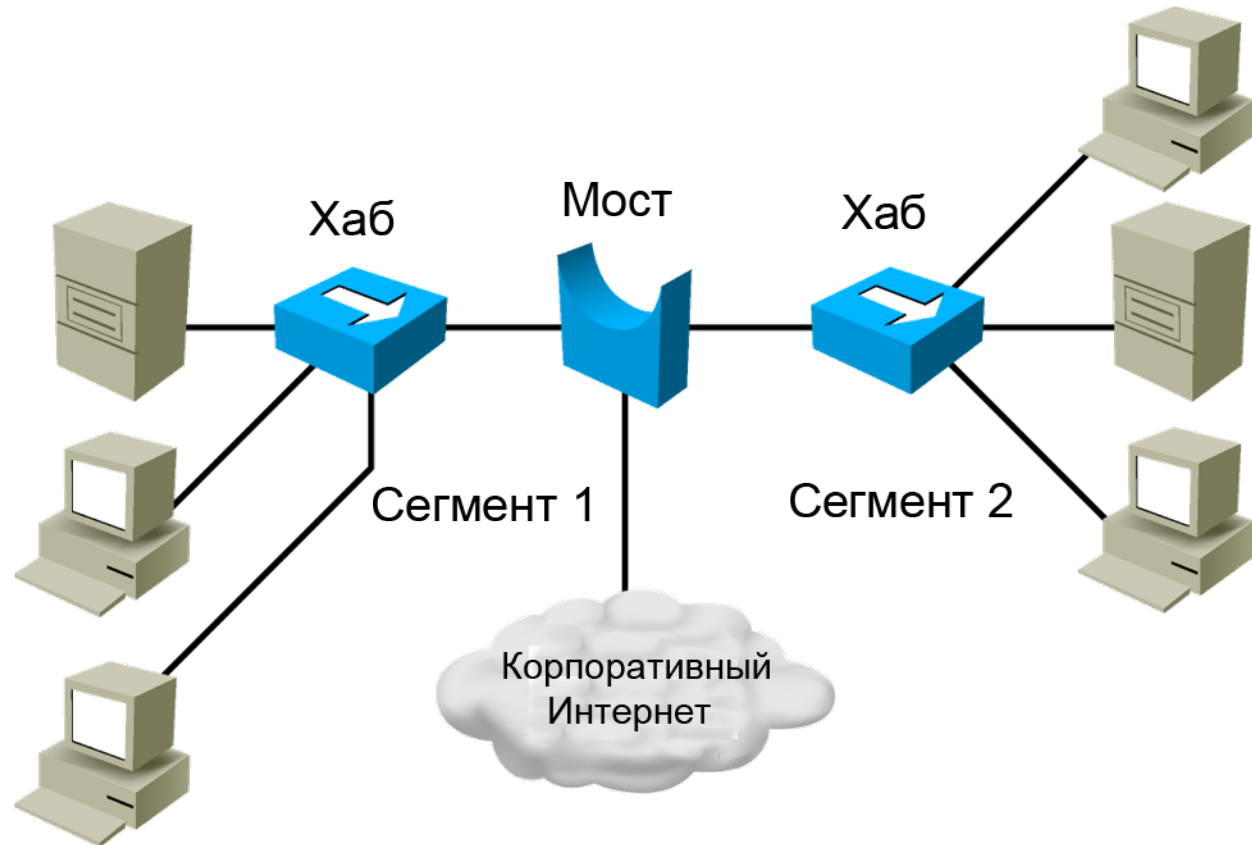


Компоненты MAC-адреса





Мосты



- Работают на канальном уровне
- Пересылают, фильтруют или вещают кадры
- Мало портов
- Сравнительно медленные



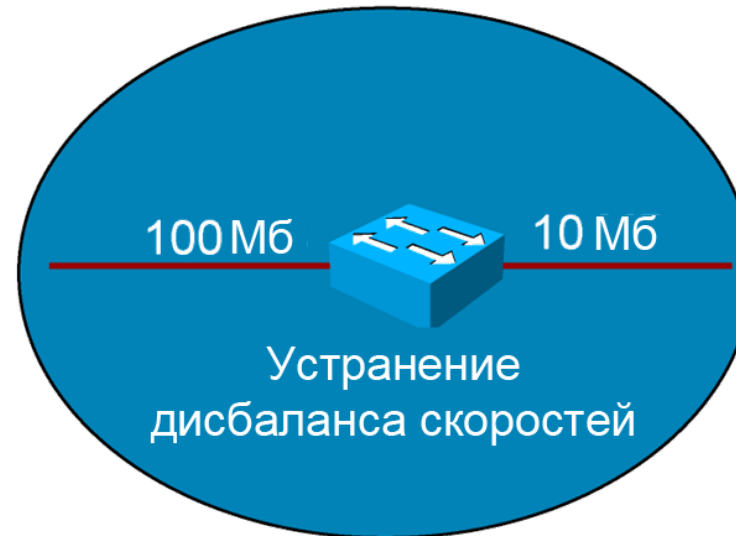
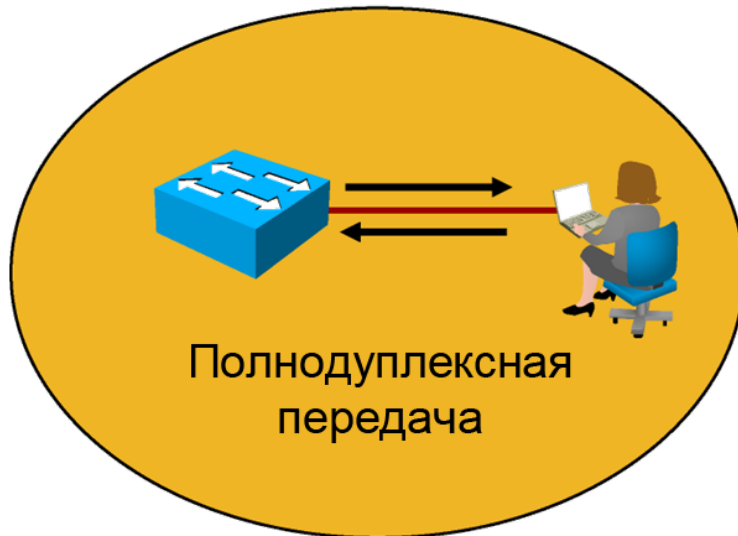
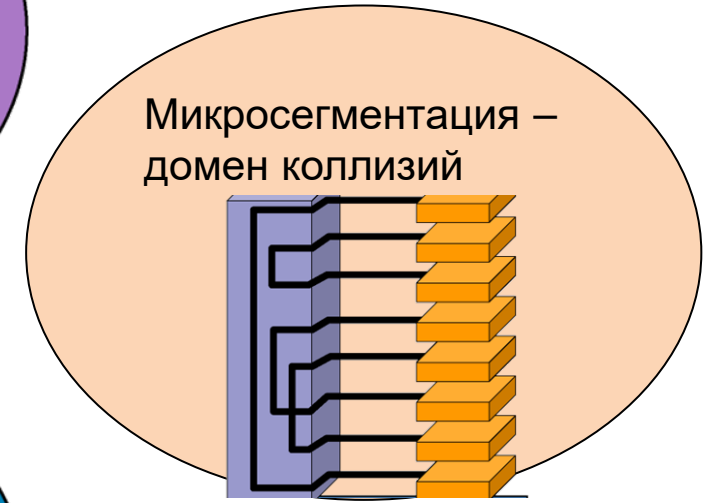
Коммутаторы

- *Высокая плотность портов*
- *Большие буферы обмена*
- *Различные скорости портов*
- *Высокоскоростная коммутация по внутренней шине*
- *Объединение нескольких портов в VLAN*





Возможности коммутаторов

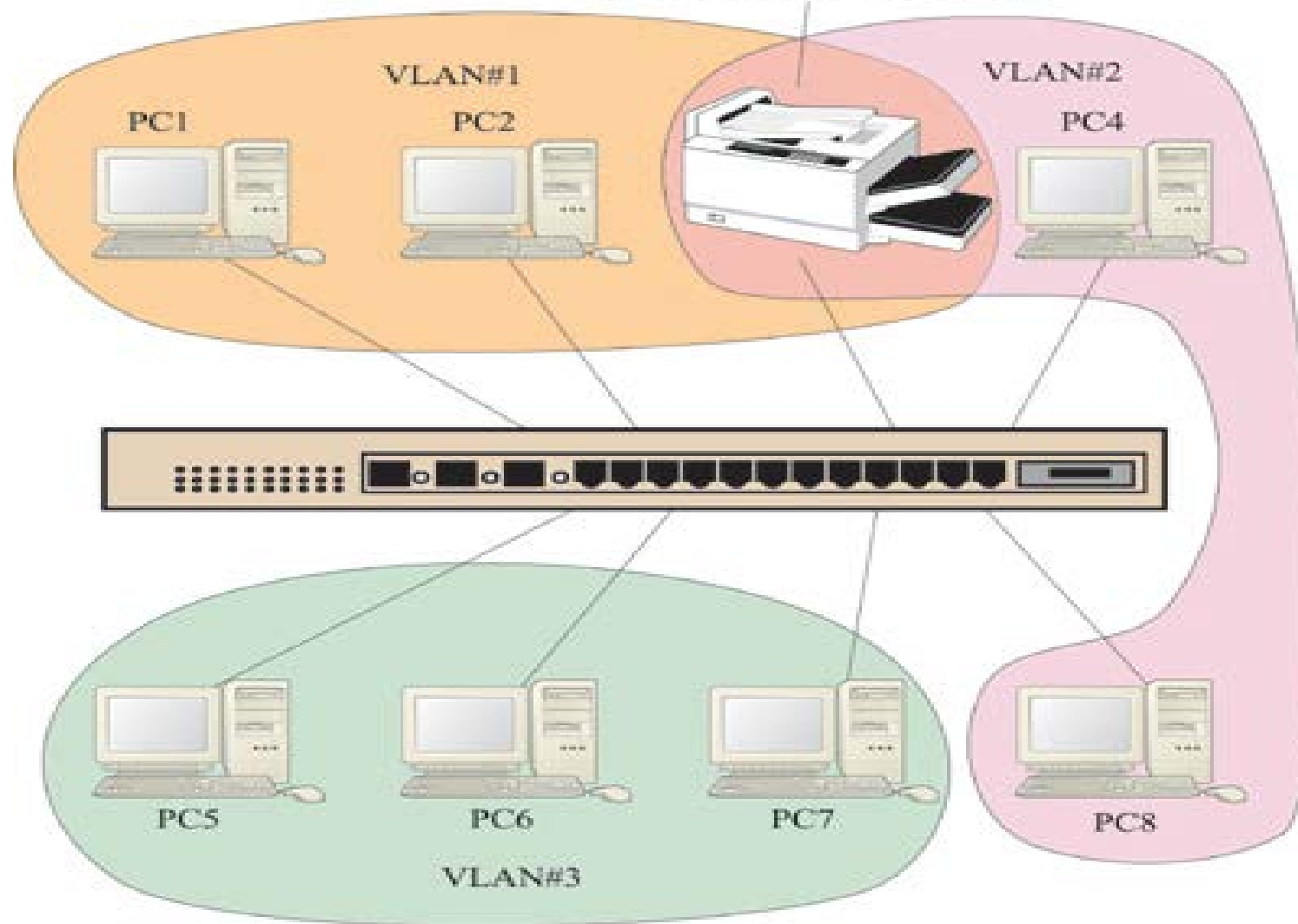


301P_108



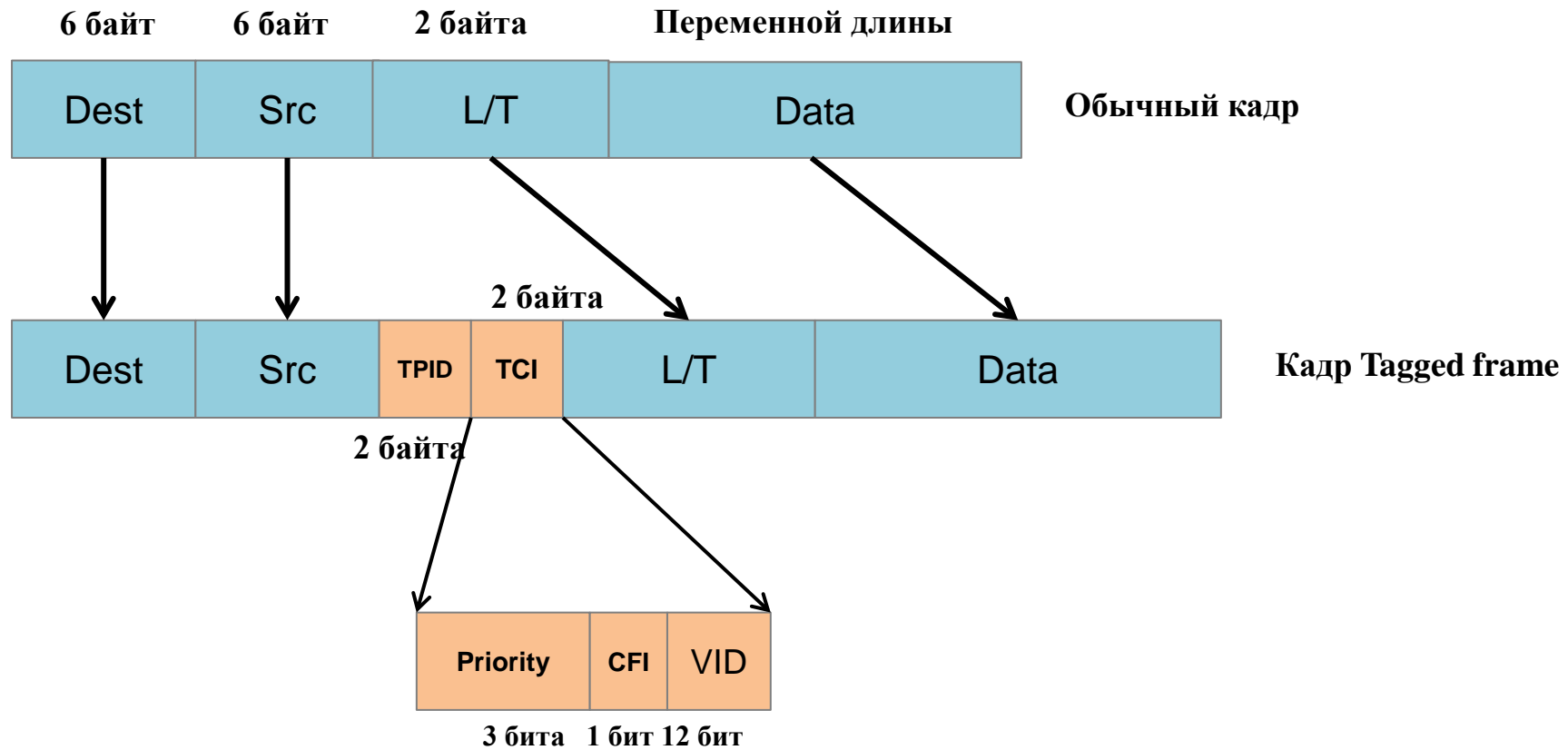
Коммутаторы

Сетевой принтер является членом VLAN#1 и VLAN#2





IEEE 802.1Q





IEEE 802.2 : LLC - управление логическим каналом

- *Надежность коммуникаций через 802.x обеспечивает LLC (Logical Link Control) протокол. Он прячет различия между 802, определяя единый интерфейс и формат для сетевого уровня. LLC протокол образует верхний уровень канального протокола с MAC протоколом под ним.*
- *LLC предоставляет три вида сервиса: не надежный дейтаграммы без уведомления, дейтаграммы с уведомлением и надежный сервис ориентированный на соединение.*



Заключение

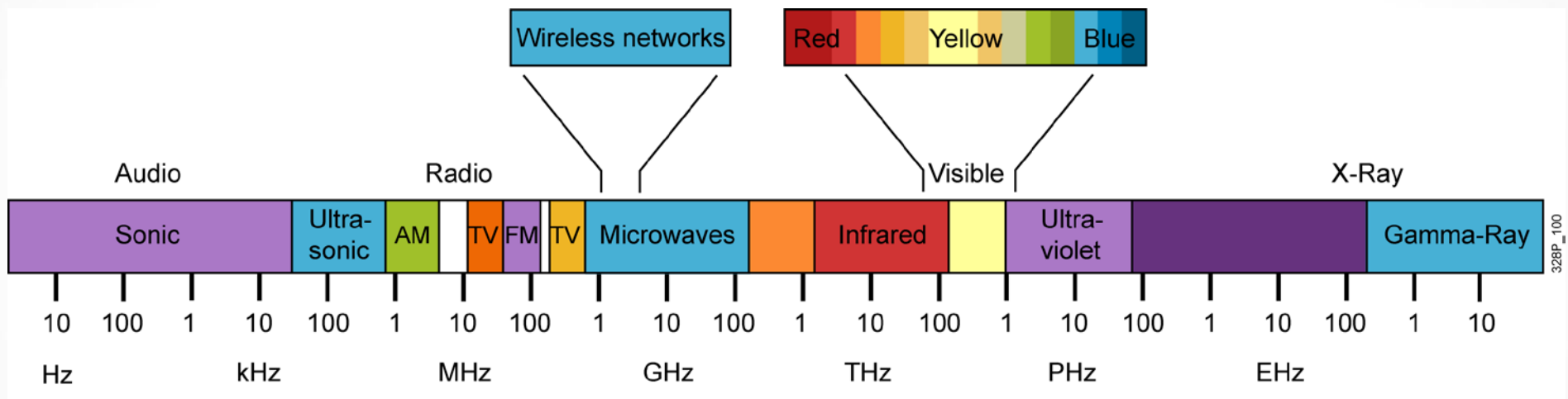
- *Стандарт IEEE 802.3 (Ethernet) – среда с множественным доступом типа CSMA/CD*
- *Чувствительна к длине слота состязаний, эффективность зависит от размера домена коллизий*
- *Адресация поддерживает режимы unicast, multicast, broadcast*
- *Широкий спектр физ. сред и скоростей*
- *Поддержка VLAN (их число ограничено), как домена broadcast*



Беспроводная связь (том 1 стр.101 - 111)

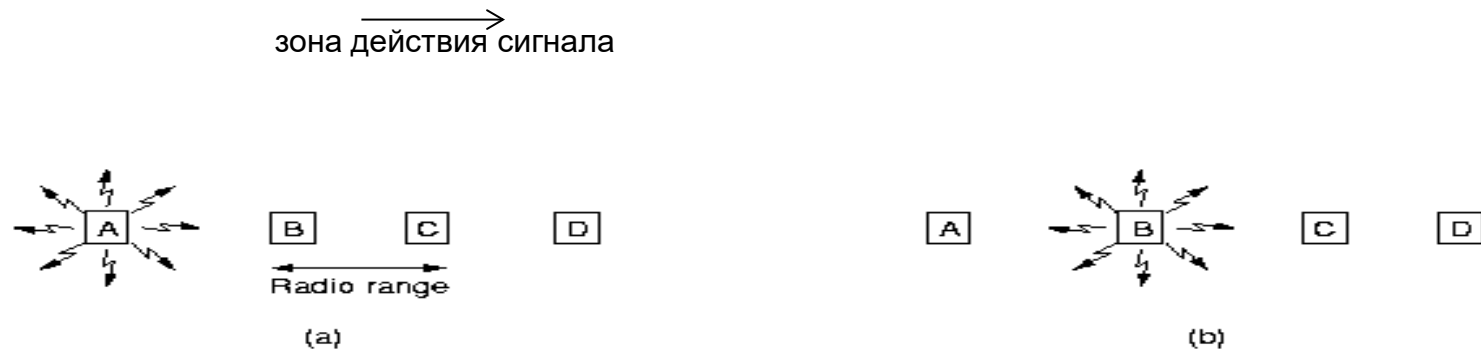


Использование электромагнитного спектра для передачи данных





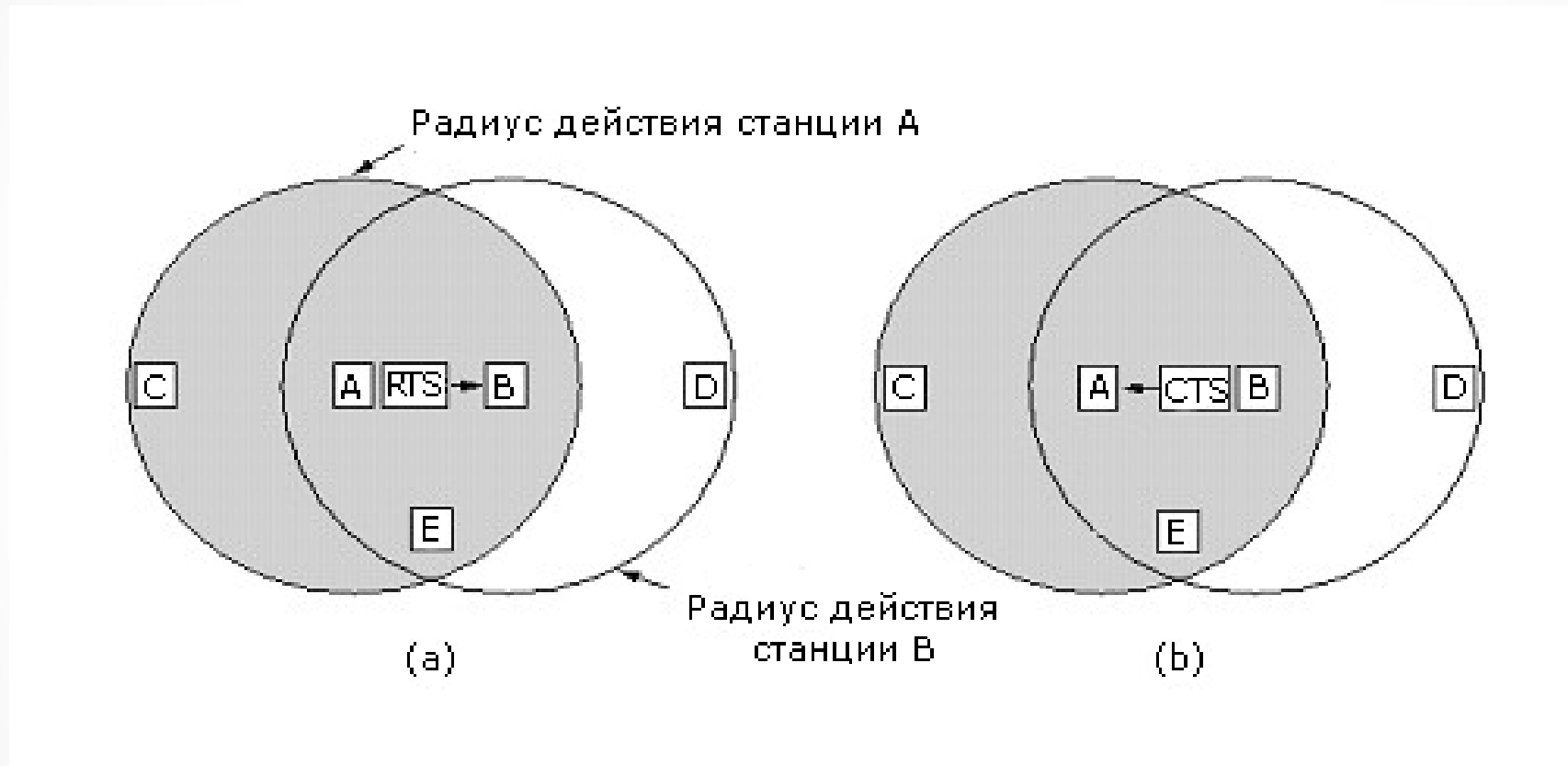
Особенности беспроводной коммуникации



(a) случай скрытой станции (b) случай мнимой станции



RTS/CTS протокол





WiFi - Wireless Fidelity

	802.11b	802.11a	802.11g
Frequency Band	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz
Availability	Worldwide	Limited (Growing)	Worldwide
Maximum Data Rate	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Other Services (Interference)	Cordless phones, Microwave ovens, Wireless video, and, Bluetooth devices	HyperLAN devices, Maritime and satellite systems	Cordless phones, Microwave ovens, Wireless video, and, Bluetooth devices



DSSS – метод Расширения спектра

единица	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
ноль	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0

Исходная последовательность чипов

0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

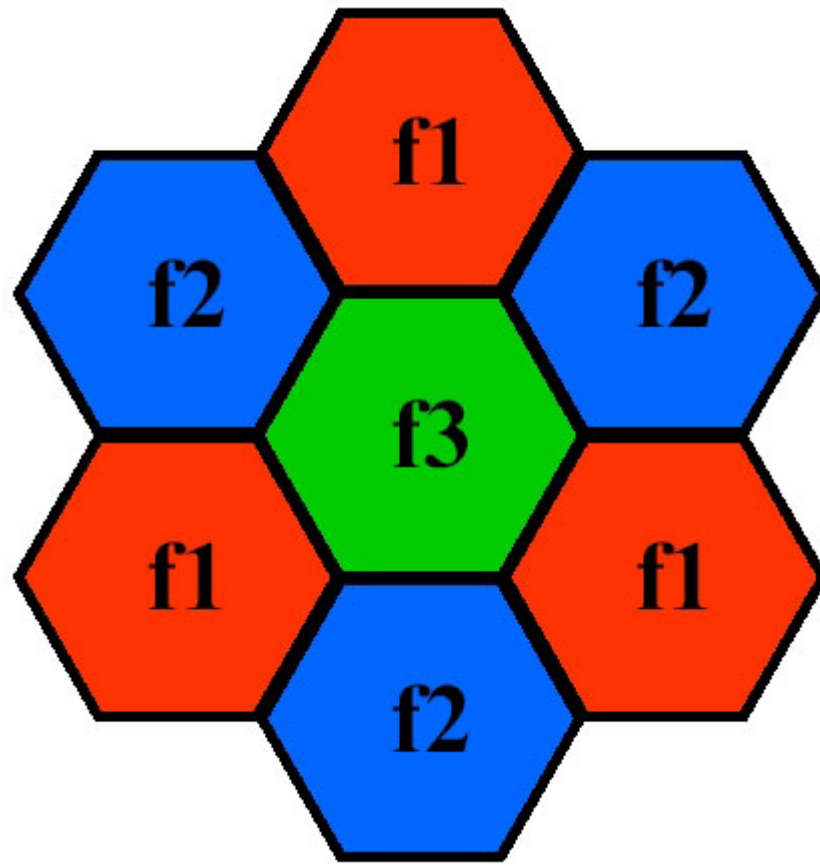
Результирующая последовательность чипов

0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



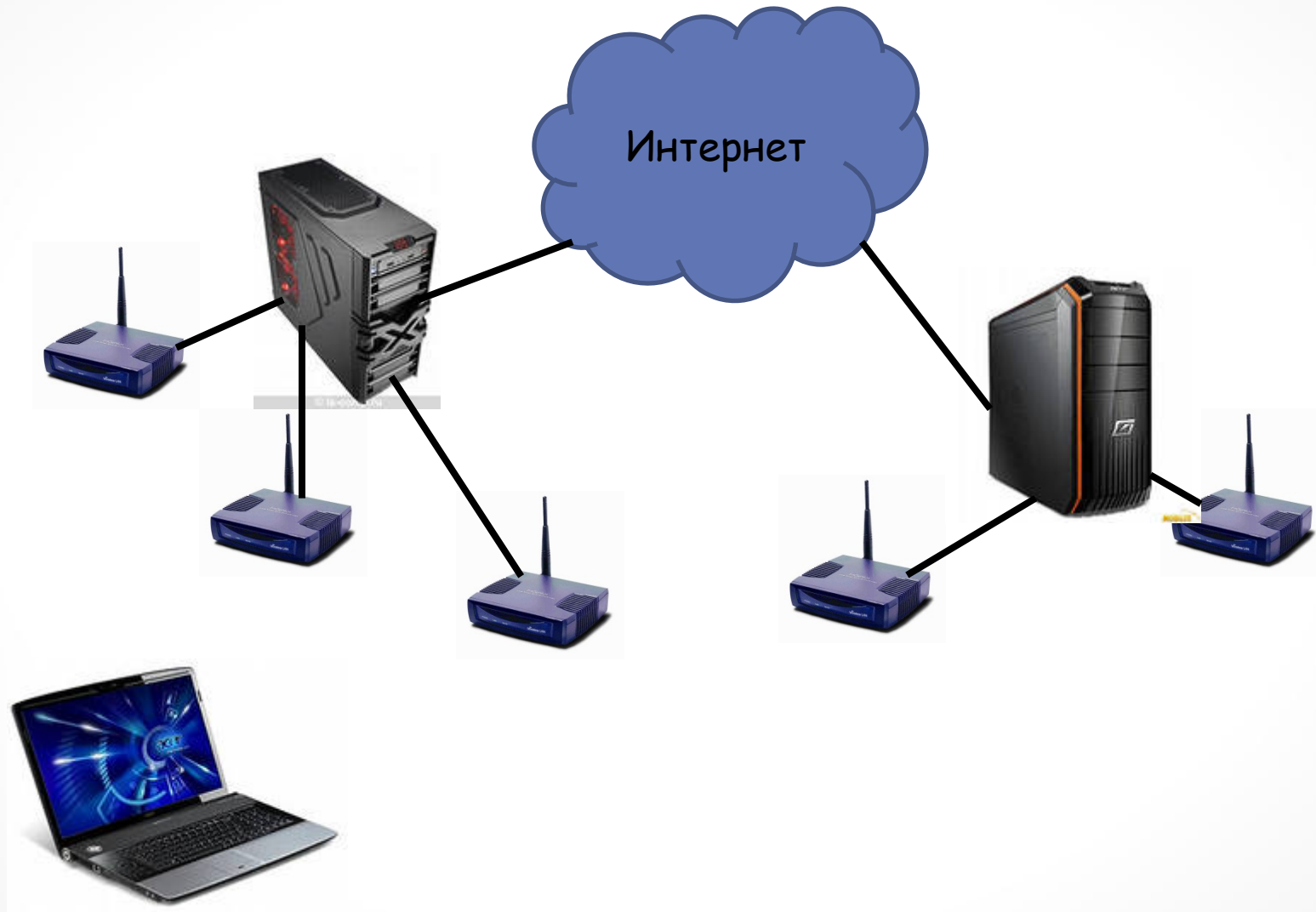


Принцип разделения сот по частотам



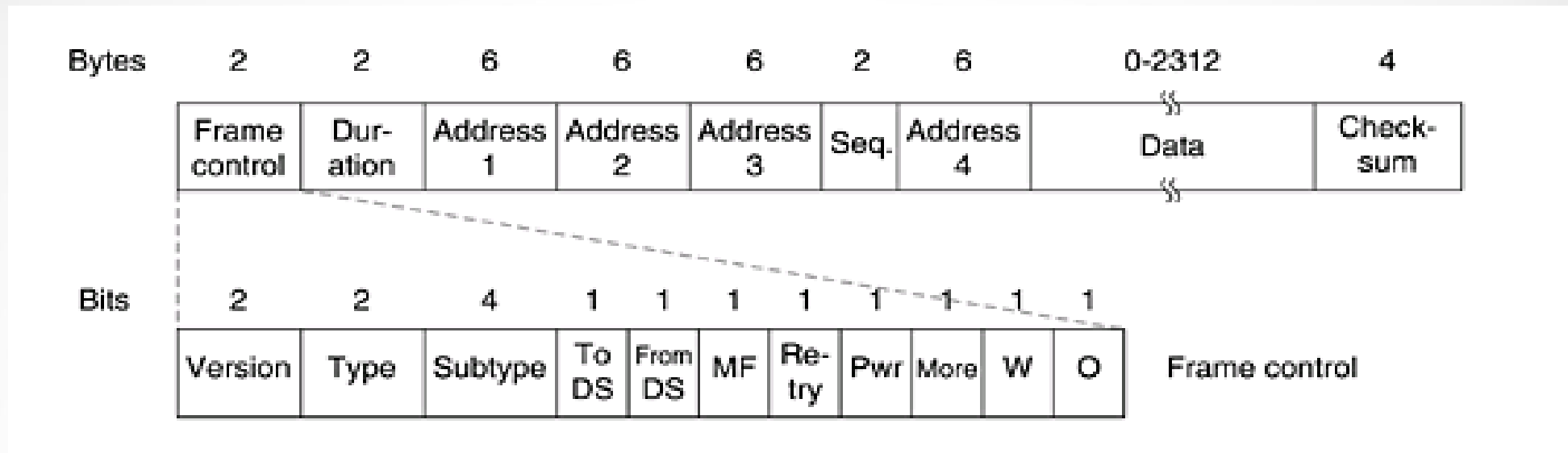


Конфигурации подключения к WiFi





Структура кадра WiFi



Поле «Frame Control» является составным.

Заголовки поля "Frame Control"

Поле «Version» - версия протокола, в данном стандарте - 0.

Поле «Type» - тип фрейма. В рамках стандарта определено три типа фреймов:

Management (00) - фреймы для передачи служебной информации (Beacon, Probe Request, Authentication и т.д.);

Control (01) - используются для контроля доступа к среде передачи, например RTS, CTS, ACK;

Data (02) - служат для передачи полезной информации.

Каждый тип фрейма делится на подтипы, определяемые значением поля «Subtype».

Бит «To DS» установлен в единицу, если фрейм адресован точке доступа для передачи его в обычную сеть (с точки зрения стандарта - DS) или другому абоненту из данного BSS. Бит «From DS» установлен в единицу, соответственно, если фрейм направлен из DS.

Бит «More Frags» установлен в единицу, если фрейм разбит на фрагменты и данный фрагмент не последний.

Поле «Retry» указывает на то, что данный фрейм - повторная передача предыдущего фрейма, что позволяет принимающей станции распознавать повторяющиеся фреймы, возникающие из-за потери подтверждений.

Бит «Power» означает, что после передачи данного фрейма станция переходит в режим энергосбережения из активного режима или наоборот. Бит «More Data» используется точкой доступа для того, чтобы сообщить станции, что для нее имеются данные (в буфере в точке доступа).

Бит «WEP» указывает на то, что фрейм зашифрован по протоколу WEP.

Бит «Order» указывает на то, что фрейм не нуждается в обеспечении QoS, т.е. порядок следования этого фрейма в потоке не важен (его можно обгонять).



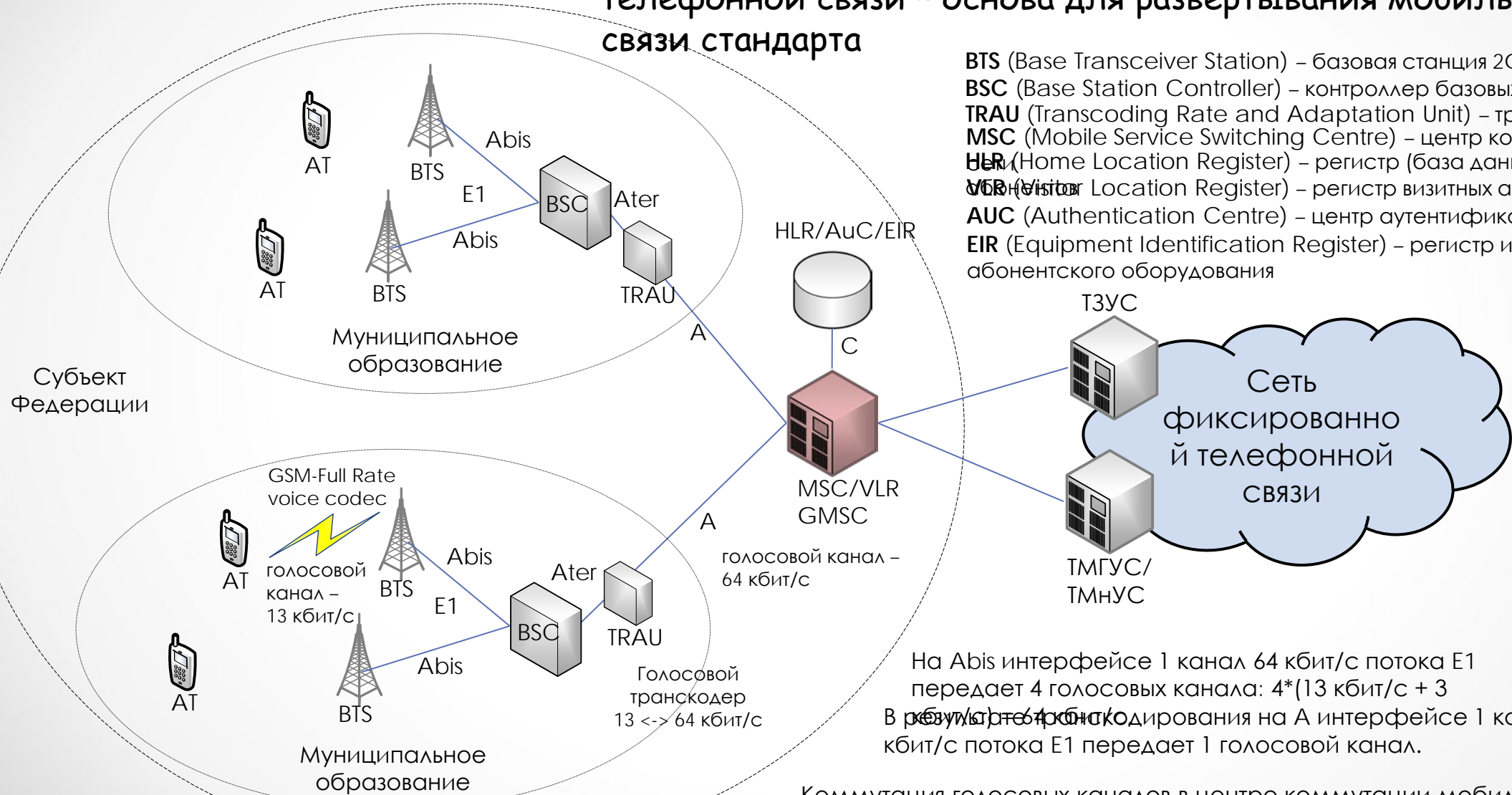
Алгоритм передачи в IEEE 802.11

1. При потребности передачи выбираем случайным образом номер из 0-31 - количество слотов ожидания (W)
2. Слушаем эфир
 - A. если эфир занят - идет передача
 - a) пропустили $Duration$ того кто передает, то ждем конца передачи и к шагу B по сформированному W
 - b) поймали $Duration$, то $W = W + Duration$ (услышанный) + ack + 1 slot
переход к шагу B
 - B. Countdown W : обратный отсчет W до 0
 - C. если эфир свободен, то передаем и ждем ack
 - 2.1. если ack не пришел, то коллизия и переход к 1
 - 2.2. если ack пришел, то кадр передан и переход к 1
3. Если W достиг 0, но в этот момент кто-то начал передачу, то либо ждем, пока он не закончит, либо формируем W как в b) и обратный отсчет.



4. Архитектура сети GSM.

Ранее существующая архитектура TDM сетей фиксированной телефонной связи - основа для развертывания мобильных сетей связи стандарта



- BTS** (Base Transceiver Station) – базовая станция 2G
- BSC** (Base Station Controller) – контроллер базовых станций 2G
- TRAU** (Transcoding Rate and Adaptation Unit) – транскодер
- MSC** (Mobile Service Switching Centre) – центр коммутации мобильной сети
- HLR** (Home Location Register) – регистр (база данных) «домашних» абонентов
- VLR** (Visitor Location Register) – регистр визитных абонентов
- AUC** (Authentication Centre) – центр аутентификации
- EIR** (Equipment Identification Register) – регистр идентификации абонентского оборудования

На Abis интерфейсе 1 канал 64 кбит/с потока E1 передает 4 голосовых канала: $4 * (13 \text{ кбит/с} + 3)$
 В результате фрейм кодирования на A интерфейсе 1 канал 64 кбит/с потока E1 передает 1 голосовой канал.

Коммутация голосовых каналов в центре коммутации мобильной сети (MSC) технологически соответствовала коммутации голосовых каналов 64 кбит/с в телефонной станции.



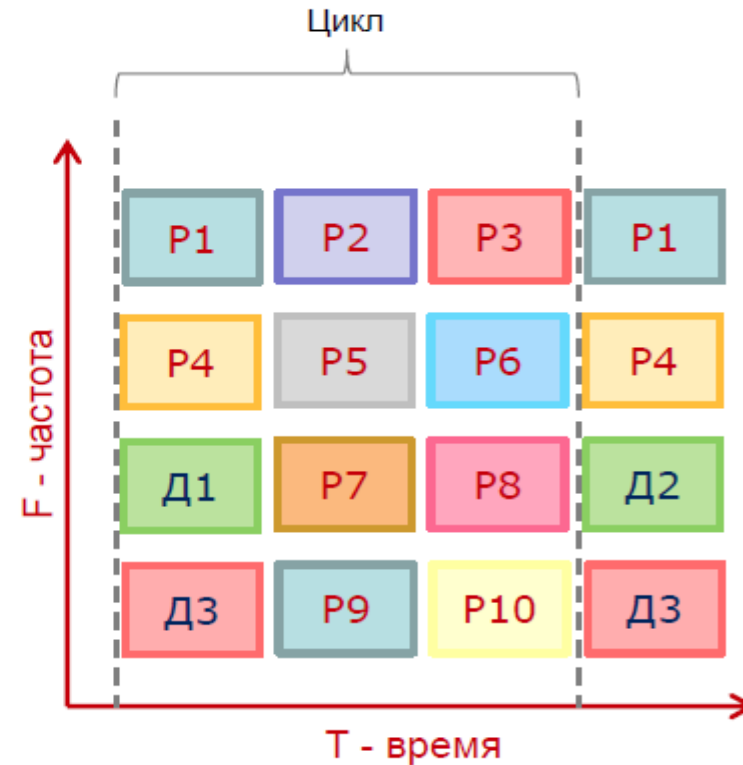
Стандарт GSM – Методы мультиплексирования

FDMA Frequency Division Multiple Access



Один разговор занимает всю частоту.

TDMA Time Division Multiple Access



Уплотнение радио каналов за счёт разделения частот на тайм-слоты.



Мультиплексирование

Мультиплексирование - передача по одному физическому каналу нескольких потоков данных. Каждый поток получает лишь долю от общей пропускной способности канала. Скорость передачи падает.

- Частотное (FDM, OFDM)
- Временное (TDM)
- Плездохронная цифровая иерархия (PDH)
- Кодовое (CDMA)
- Спектральное (WDM)
- Пространственное (MIMO)
- Синхронная цифровая иерархия (SDH)



Заключение: радиоканал с множественным доступом

- *просто генерировать*
- *легко принимать*
- *хорошо распространяется во всех направлениях*
- *хорошо принимается как в доме, так и вне его*
- *многократное эхо от поверхностей*
- *проблемы скрытой станции и мнимой станции*
- *низкочастотные волны хорошо преодолевают преграды, но требуют много энергии, они затухают пропорционально $1/r^3$ от источника.*
- *высокочастотные волны хуже огибают препятствия, даже дождь - помеха для них, они интерферируют с излучениями от других электрических приборов.*
- *передача только модуляцией аналогового сигнала.*