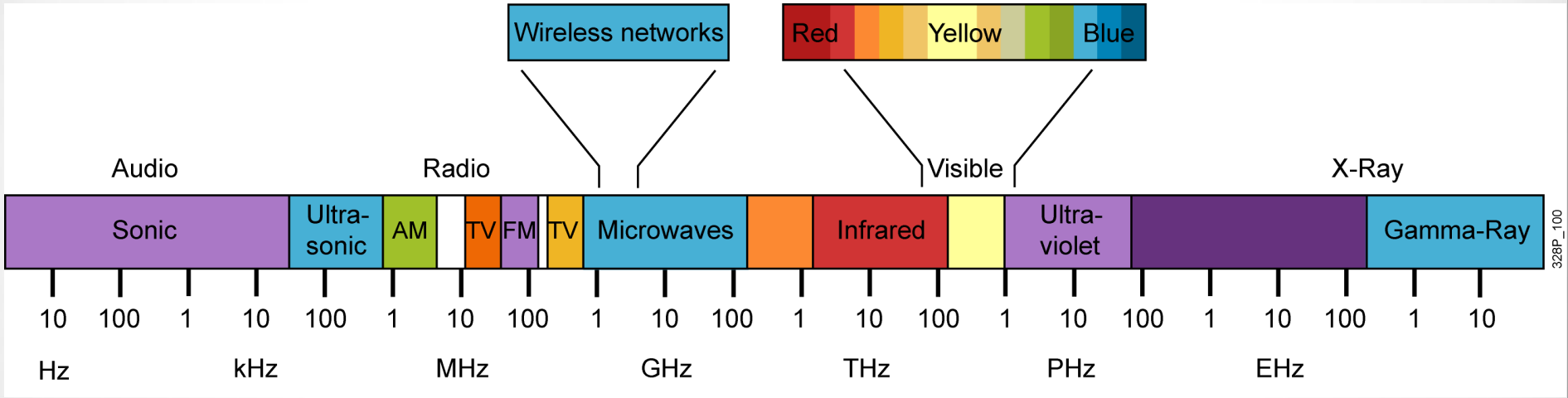
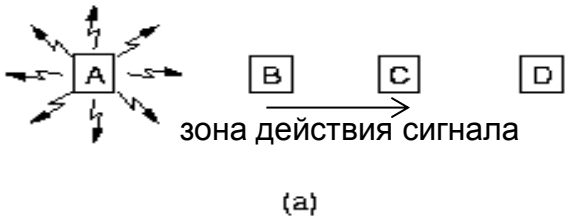
Беспроводная связь (том 1 стр.101 - 111)

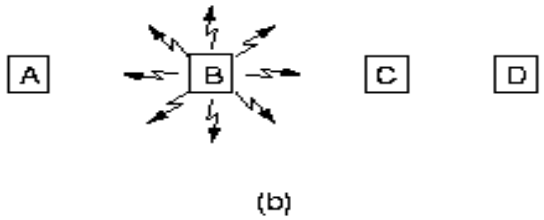
Использование электромагнитного спектра для передачи данных



Протоколы беспроводной связи

- Беспроводные локальные сети
- Использованию CSMA препятствуют две проблемы
  - проблема спрятанной станции
  - проблема мнимой станции
- Протоколы MACA (Multiple Access Collision Avoidance)

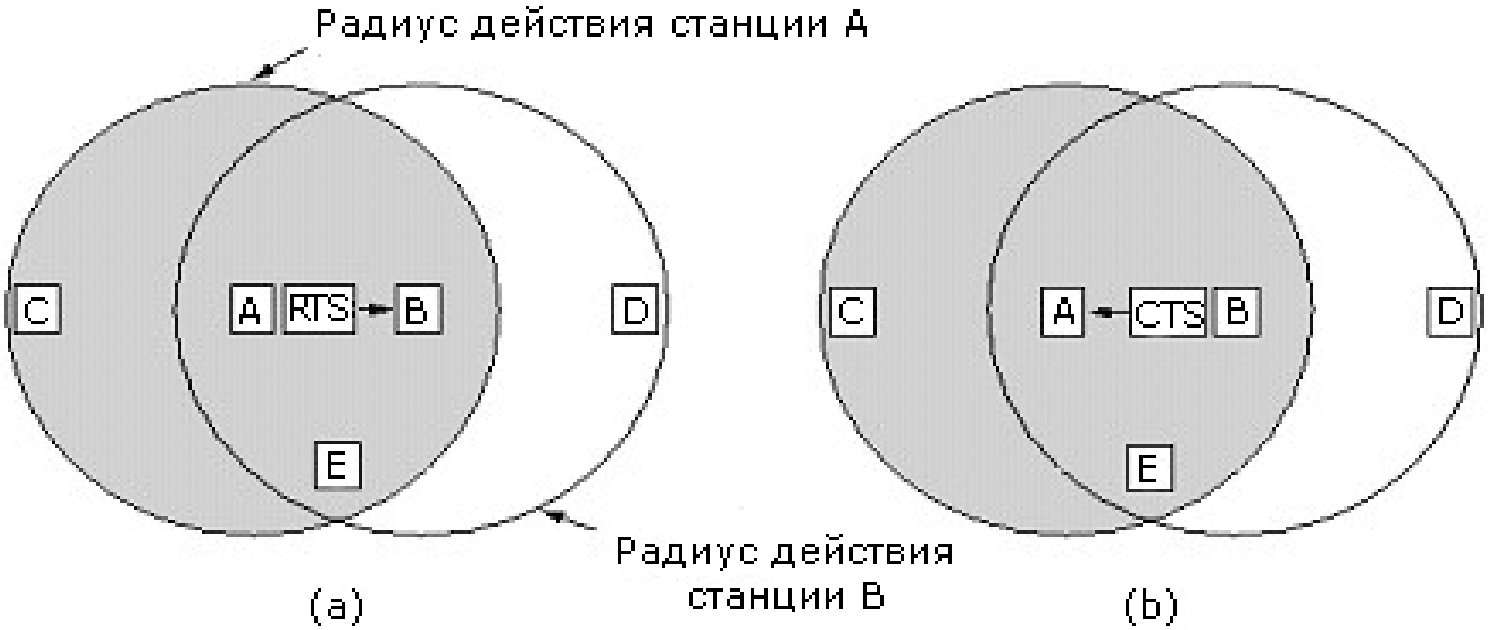




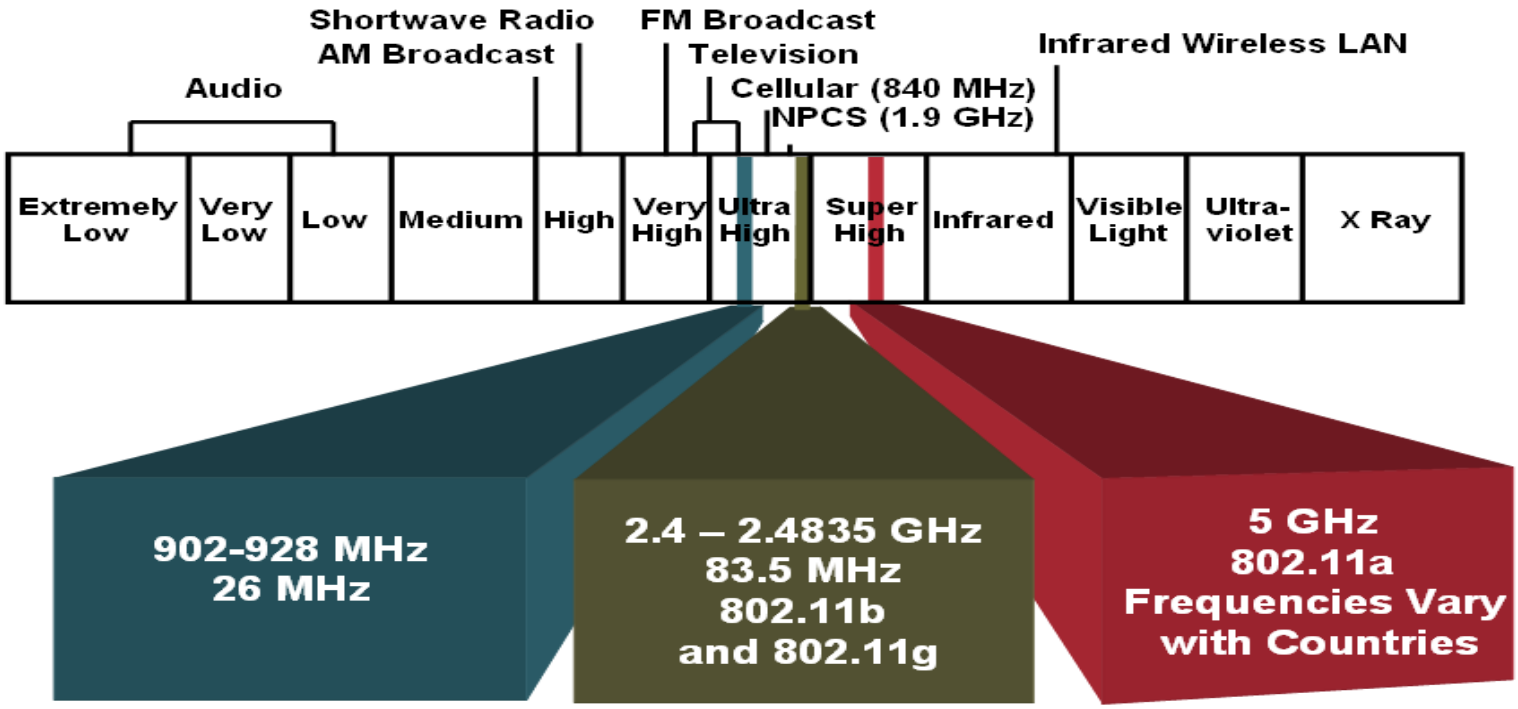
(a) случай скрытой станции

(b) случай мнимой станции

RTS/CTS протокол



Wireless Fidelity: используемые



© 2005 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.

Cisco Systems

DSSS – метод Расширения спектра

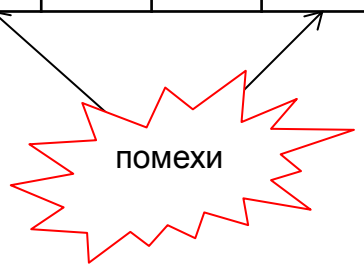
единица	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
ноль	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0

Исходная последовательность чипов

0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1

Результирующая последовательность чипов

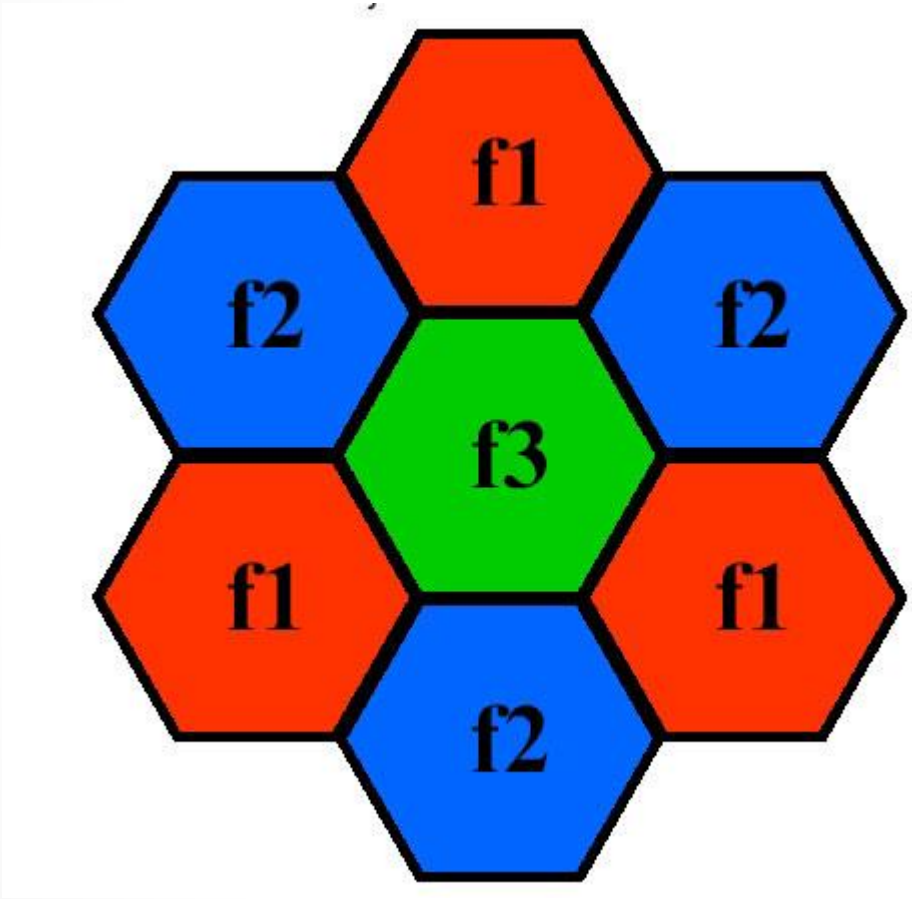
0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1



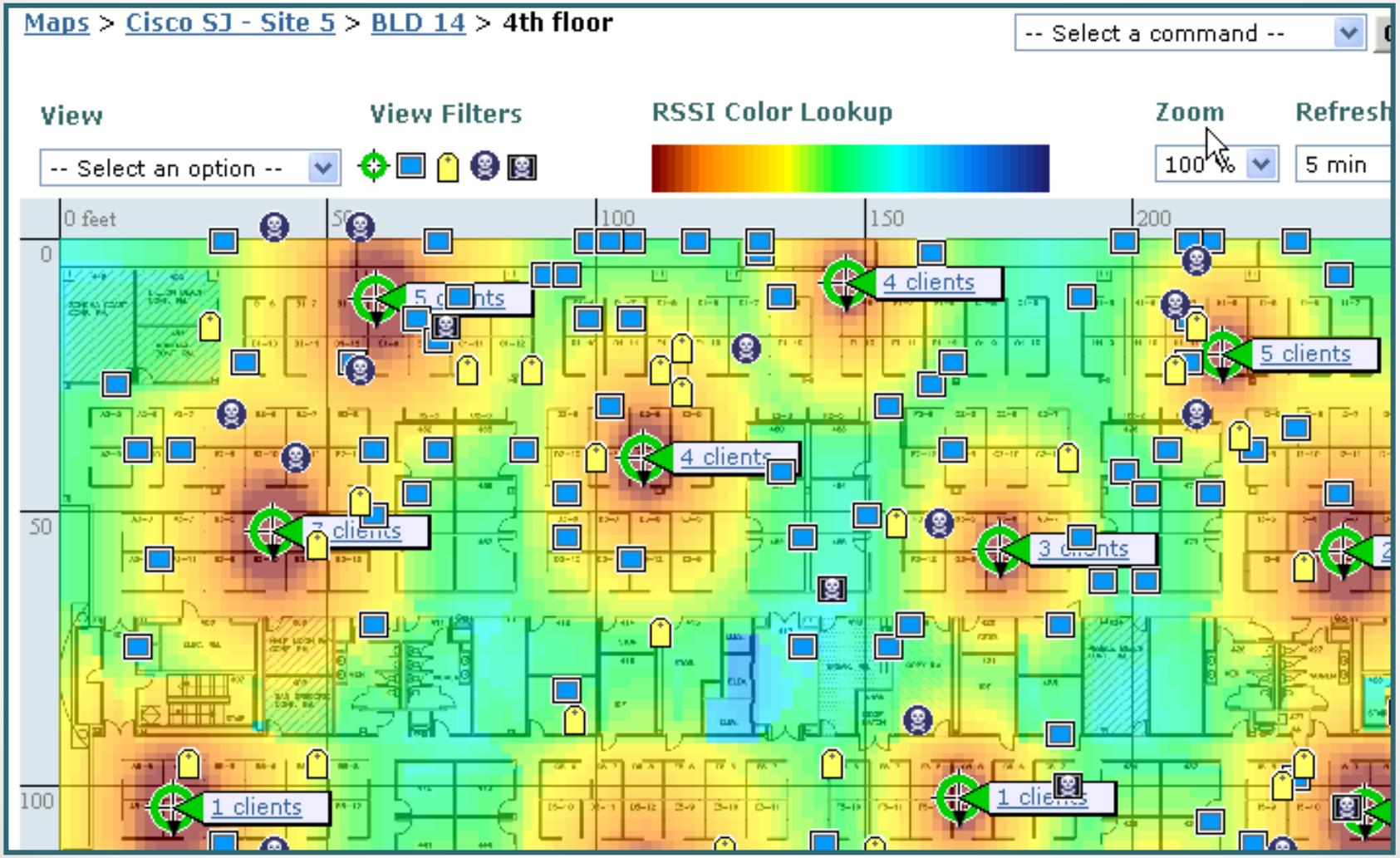
Стандарты WiFi

	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

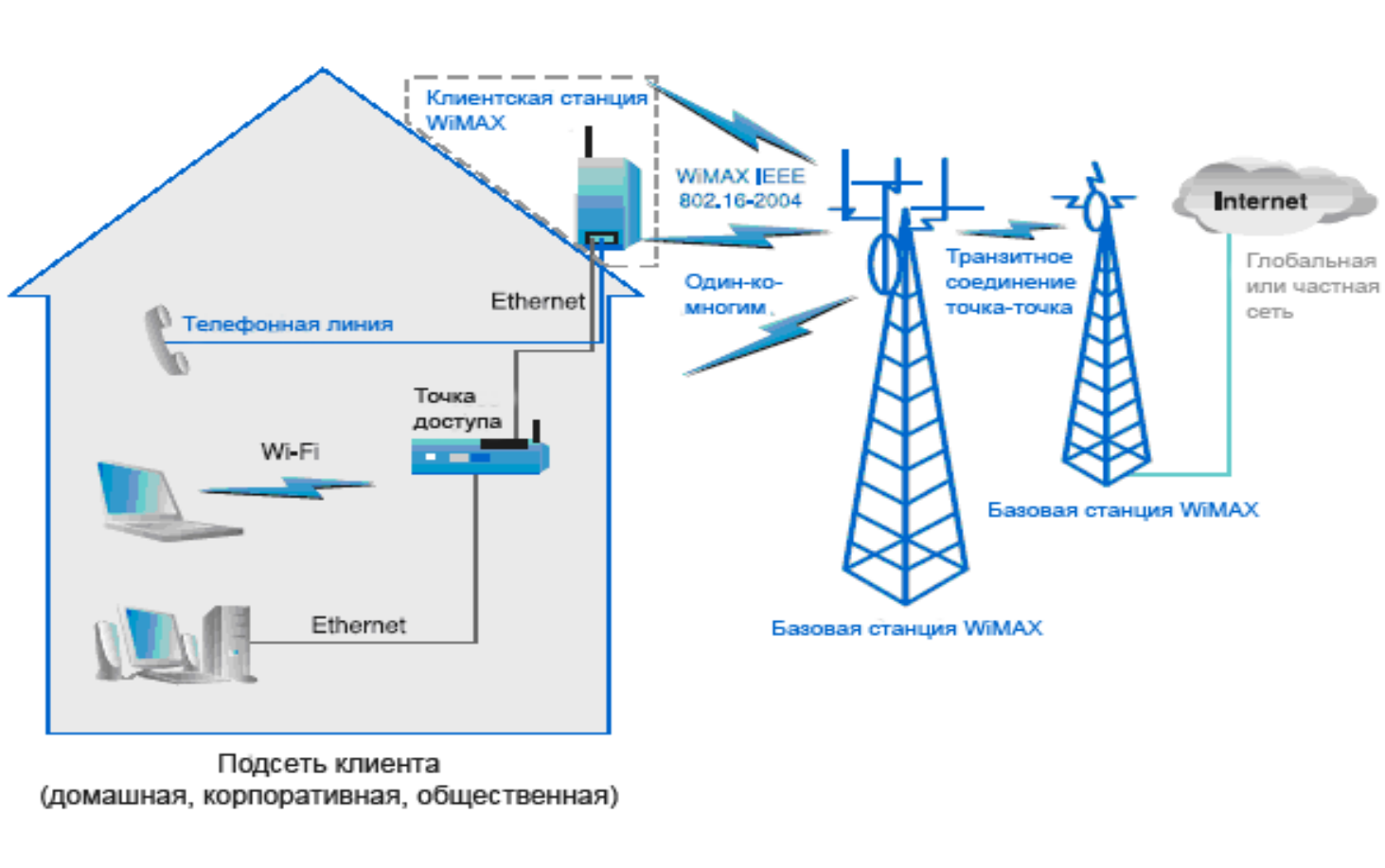
Принцип разделения сот по частотам



Пример локальной сети на WiFi

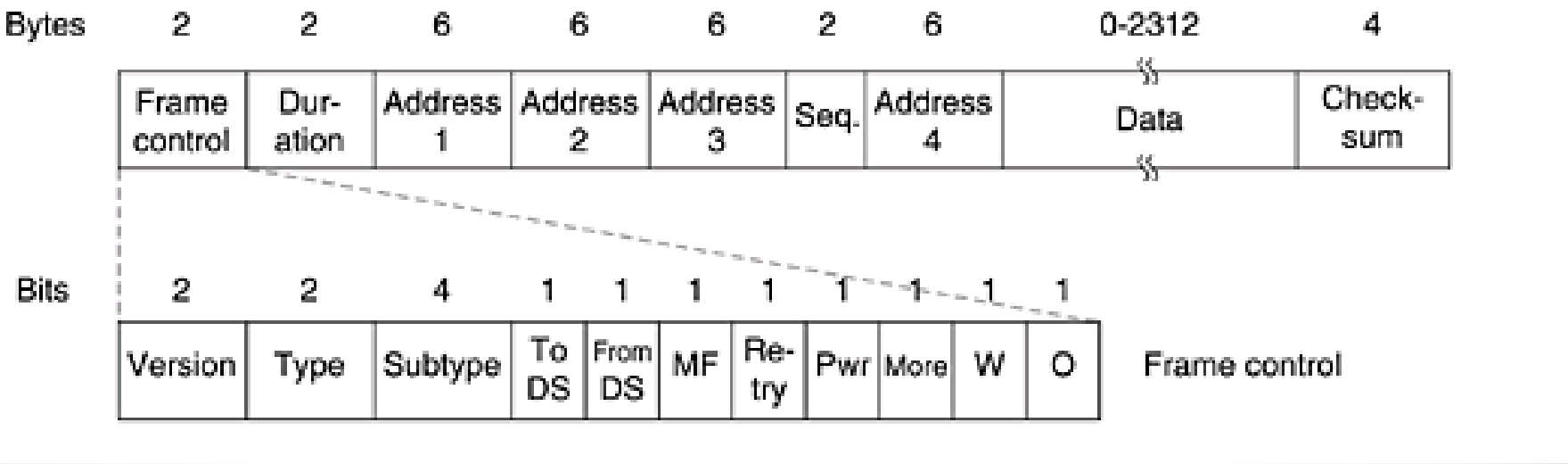


Комбинация использования WiFi и WiMAX



Конфигурации подключения к WiFi

Структура кадра WiFi



Алгоритм передачи в IEEE 802.11

1. При потребности передачи выбираем случайным образом номер из 0-31 – количество слотов ожидания (W)
2. Слушаем эфир
   1. если идет передача
      1. пропустили Duration того кто передает, то ждем конца передачи и к шагу 3
      2. поймали Duration,

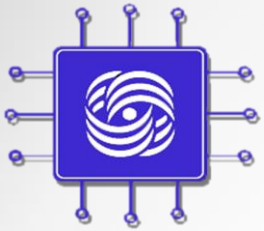
      то W = W + Duration (услышанный) + ack + 1 slot

      переход к шагу 3
      3. Countdown W: обратный отсчет W до 0

   2. если эфир свободен, то countdown W (если услышали что кто-то начал передачу пока мы ждем, то к 2.1) , 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 к шагу 1.



Доступ к среде передачи данных

MAC подуровень

Media Access Control

Ethernet

(том 1 стр.139 – 181)

Статическое предоставление канала

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.

Статическое предоставление канала

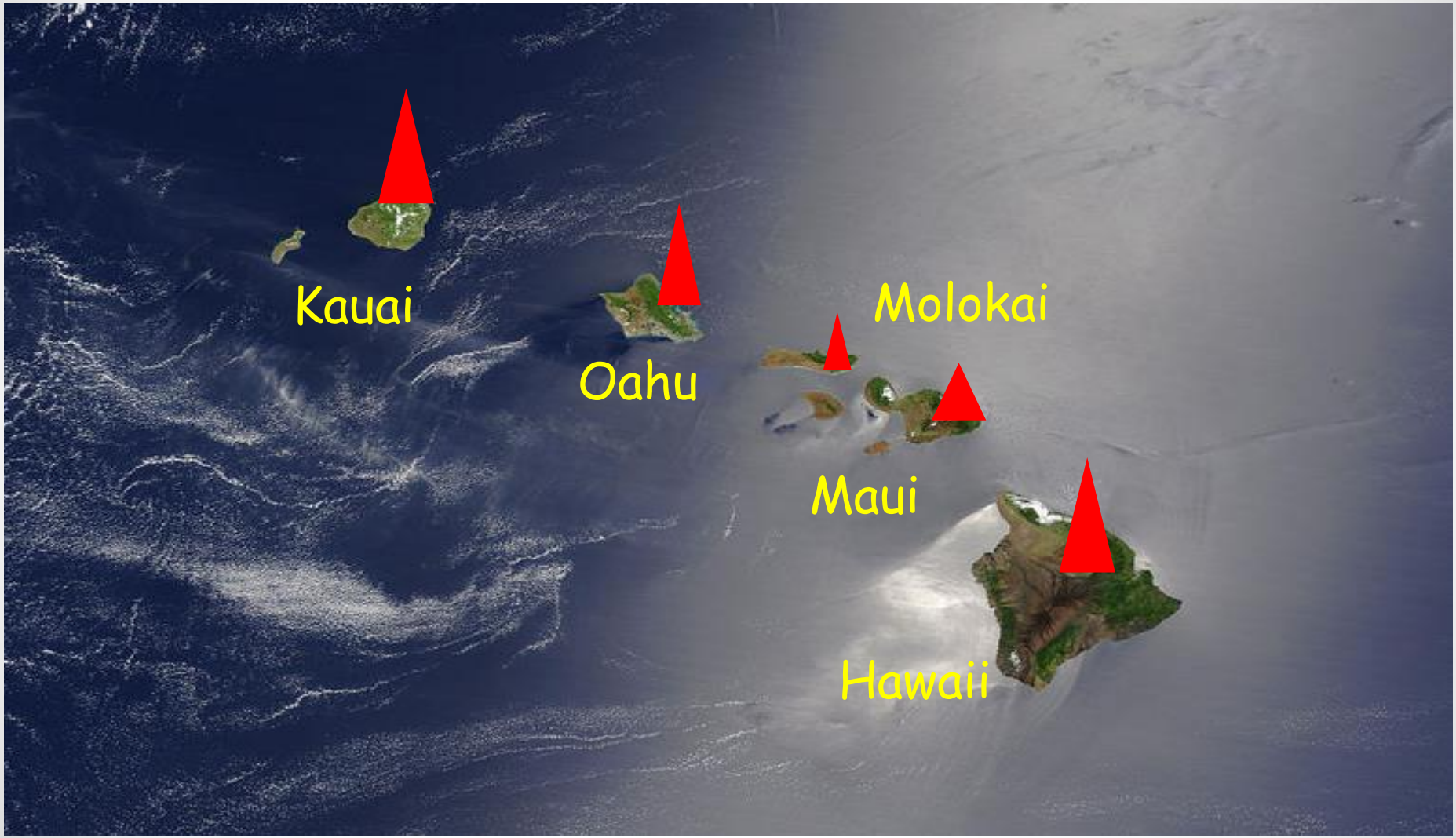
- Оценим *T* - среднее время задержки кадра в системе, где есть канал со скоростью *C бит/сек*, средняя скорость поступления кадров равна λ *кадр/сек* и средняя длина кадра имеет экспоненциальное распределение со средним *1/*μ *бит/кадр*.

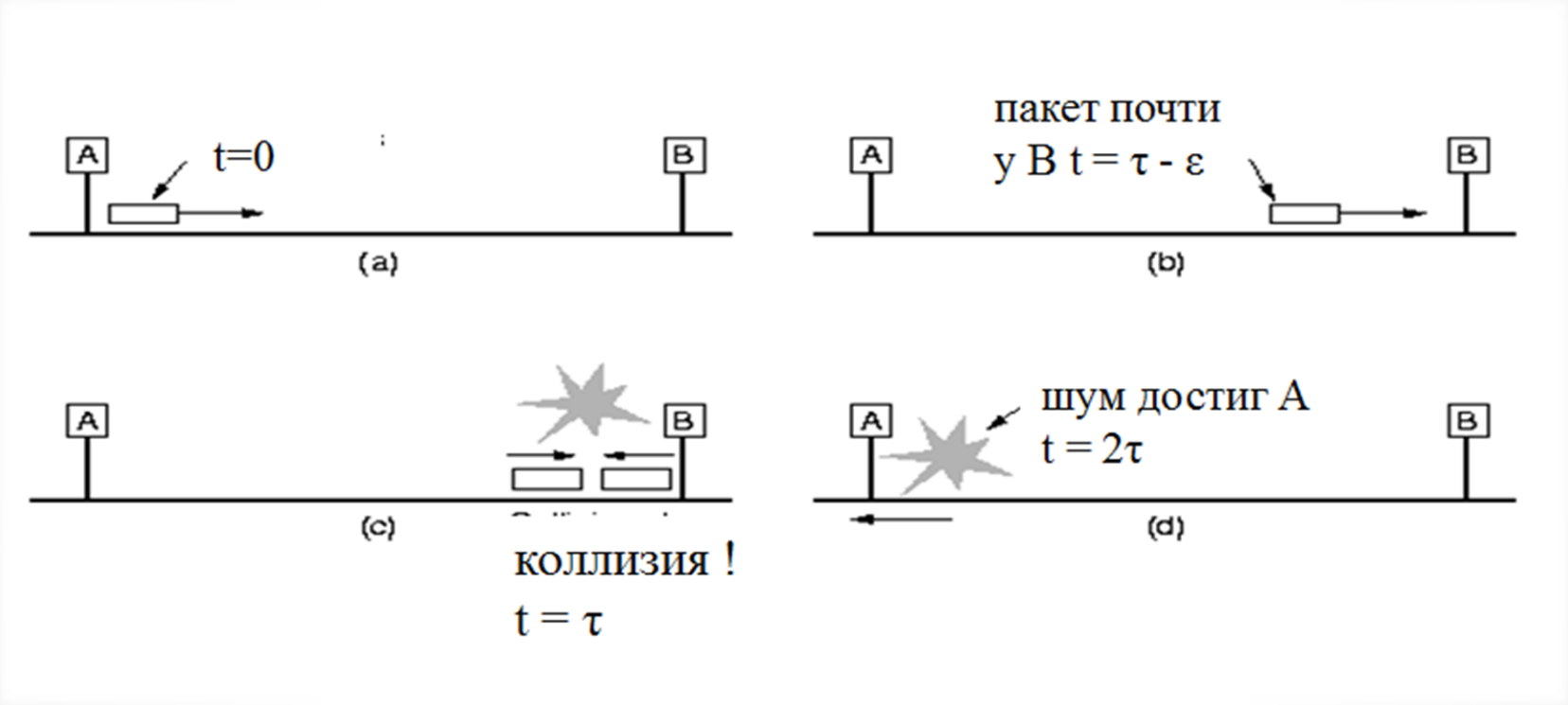
$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

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

- Вывод: одна очередь с быстрым обслуживанием лучше чем N разных, но медленных.

Протоколы множественного доступа: ALOHA




A
B
t=0
(a)
пакет почти
у B t = τ - ε
(b)
(c)
коллизия !
t = τ
шум достиг A
t = 2τ
(d)

Динамическое предоставление канала

Станции. Модель системы состоит из N независимых станций.

Вероятность появления кадра в интервале длины Δt равна $\lambda\Delta t$, где λ – константа и $0<\lambda<1$.

Кадр сгенерирован => станция блокируется пока его не передаст

Единственность канала. Канал один и он доступен всем станциям.

Коллизии. Если две станции передают кадры в одно и то же время, то сигналы накладываются и разрушаются. Кроме коллизий других ошибок передачи нет. О коллизии станция узнает после передачи

Динамическое предоставление канала

- **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.
- **Обнаружение несущей**. Станция всегда определяет 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: время кадра - время необходимое на передачу кадра стандартной фиксированной длины.
- Предполагаем, что
  - ✓ пользователей неограниченное число и они порождают кадры по закону Пуассона со средним N кадров за время кадра, где $0<N<1$.
  - ✓ Вероятность что за время кадра произойдёт k попыток передачи, либо нового, либо ранее не прошедшего кадра, распределена по закону Пуассона со средним G
  - Тогда: пропускная способность канала будет

$$S=GP_0,$$

где P_0 - вероятность отсутствия коллизий при передаче.

- Для обнаружения коллизии надо $t_0+2\tau$ ед. времени

Чистая ALOHA

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

$$P[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!}$$

- За двойное время кадра среднее число кадров будет 2G, отсюда

$$P_0 = e^{-2G},$$

а так как $S = GP_0$, то

$$S = Ge^{-2G}$$

Чистая ALOHA

Максимальная пропускная способность системы ALOHA достигается при $G=0,5$ при $S=1/2e$, что составляет примерно 18%.

Протоколы множественного доступа: слотированная ALOHA

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

$$S=Ge^{-G}.$$

- Максимум пропускной способности слотированной ALOHA наступает при $G=1$,

$$S=1/e,$$

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

Слотированная ALOHA

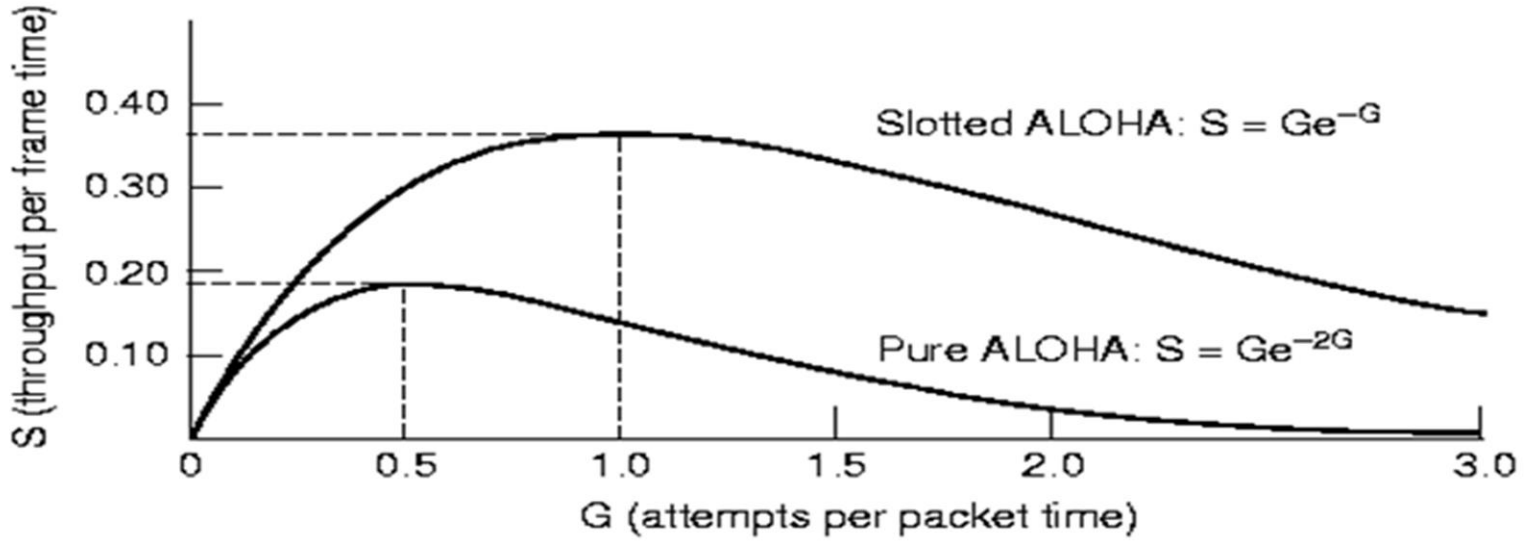
- Влияние G на пропускную способность канала

  $P_k=e^{-G}(1-e^{-G})^{k-1}$ вероятность успешной передачи за k попыток, т.е. (к-1) не успехов и 1 успех

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

$$E=\sum_{k=1}^{\infty}kP_k=\sum_{k=1}^{\infty}ke^{-G}(1-e^{-G})^{k-1}=e^{G}$$

С ростом G резко возрастает число повторных попыток.



Зависимость пропускной способности от интенсивности трафика

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 Sense Multiple Access).
- **Настойчивые протоколы** - упорно проверяют канал на занятость
- **Не настойчивые** - проверяют канал через случайные отрезки времени.
- Настойчивые протоколы уровния *p.*

CSMA с обнаружением коллизий

- CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection - станции должны уметь определять коллизии как можно раньше, а не по окончании отправки кадра.

$$P / R \geq 2L / c ,$$

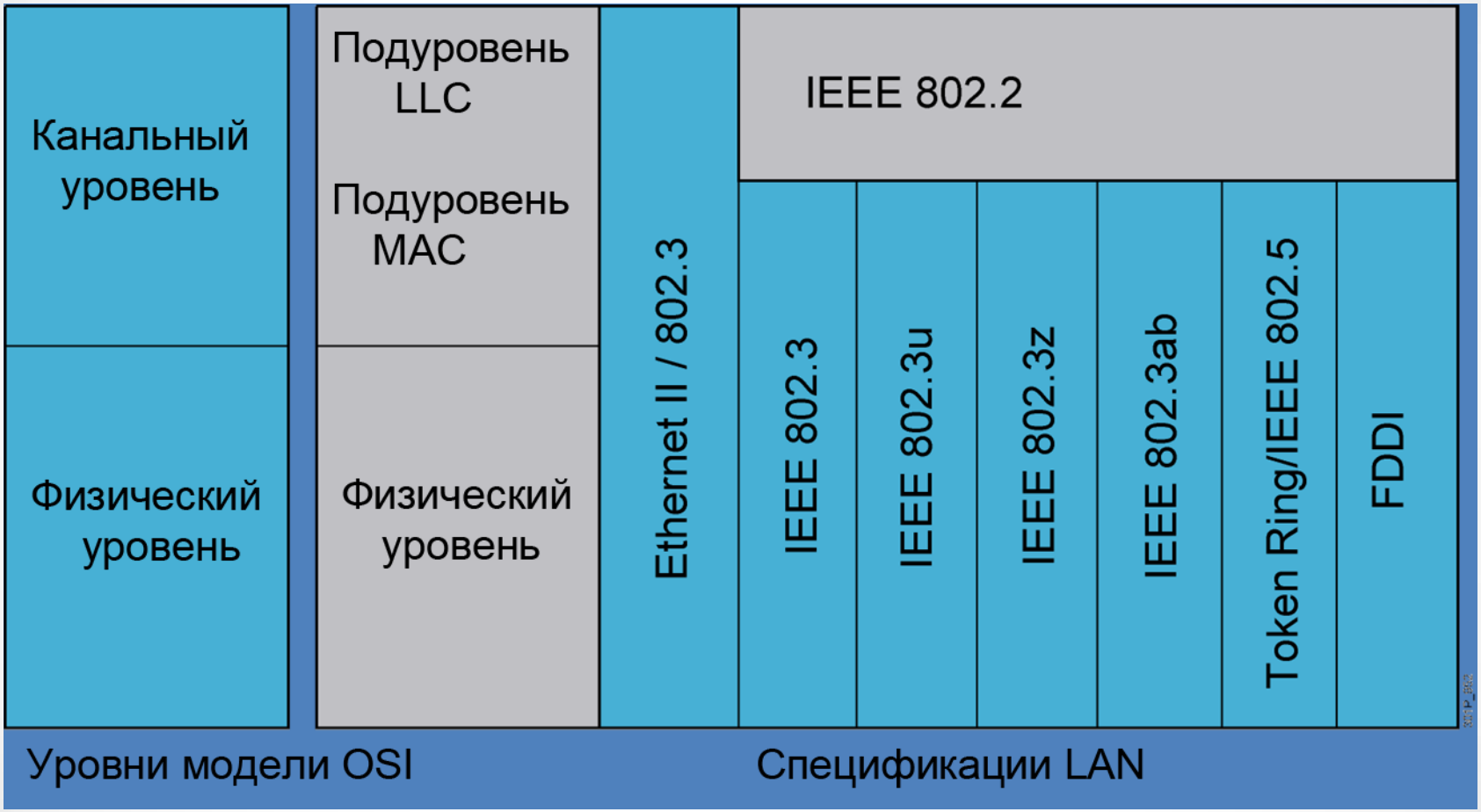
где P – длина пакета, R – пропускная способность, L – длина сегмента

- Период состязаний - слотированная ALOHA со слотом 2τ.

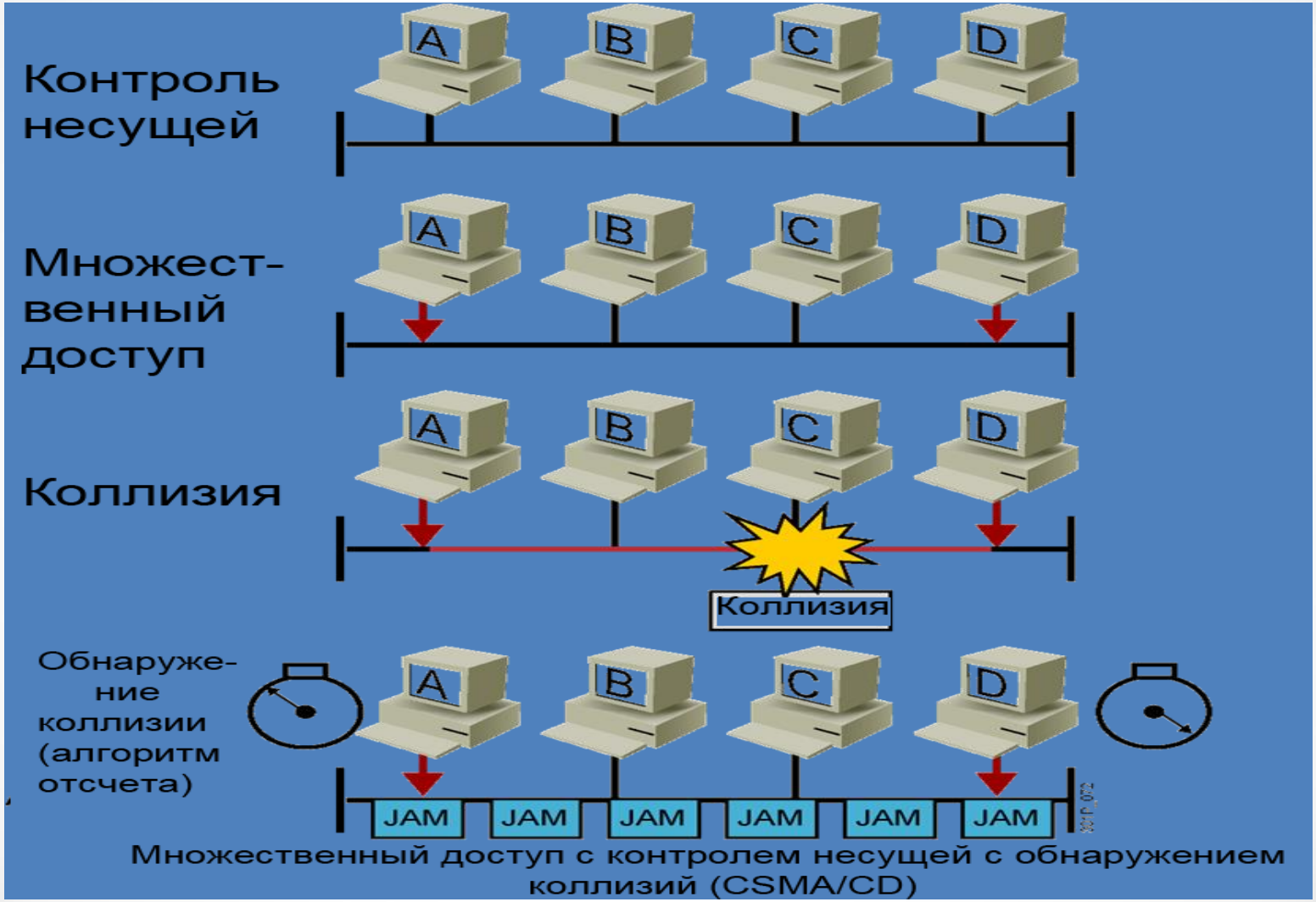
Эволюция Ethernet

Год	Возникновение и развитие Ethernet
1970	Первая беспроводная пакетная сеть
1973	Xerox изобретает Ethernet
1977	Ethernet описывается в патенте США 4063220
1982	DIX выпускает Ethernet со скоростью 10Мб/с
1992	Первый модульный Ethernet-концентратор (хаб)
2002	IEEE принимает стандарт 802.3ae со скоростью 10Гбит/с

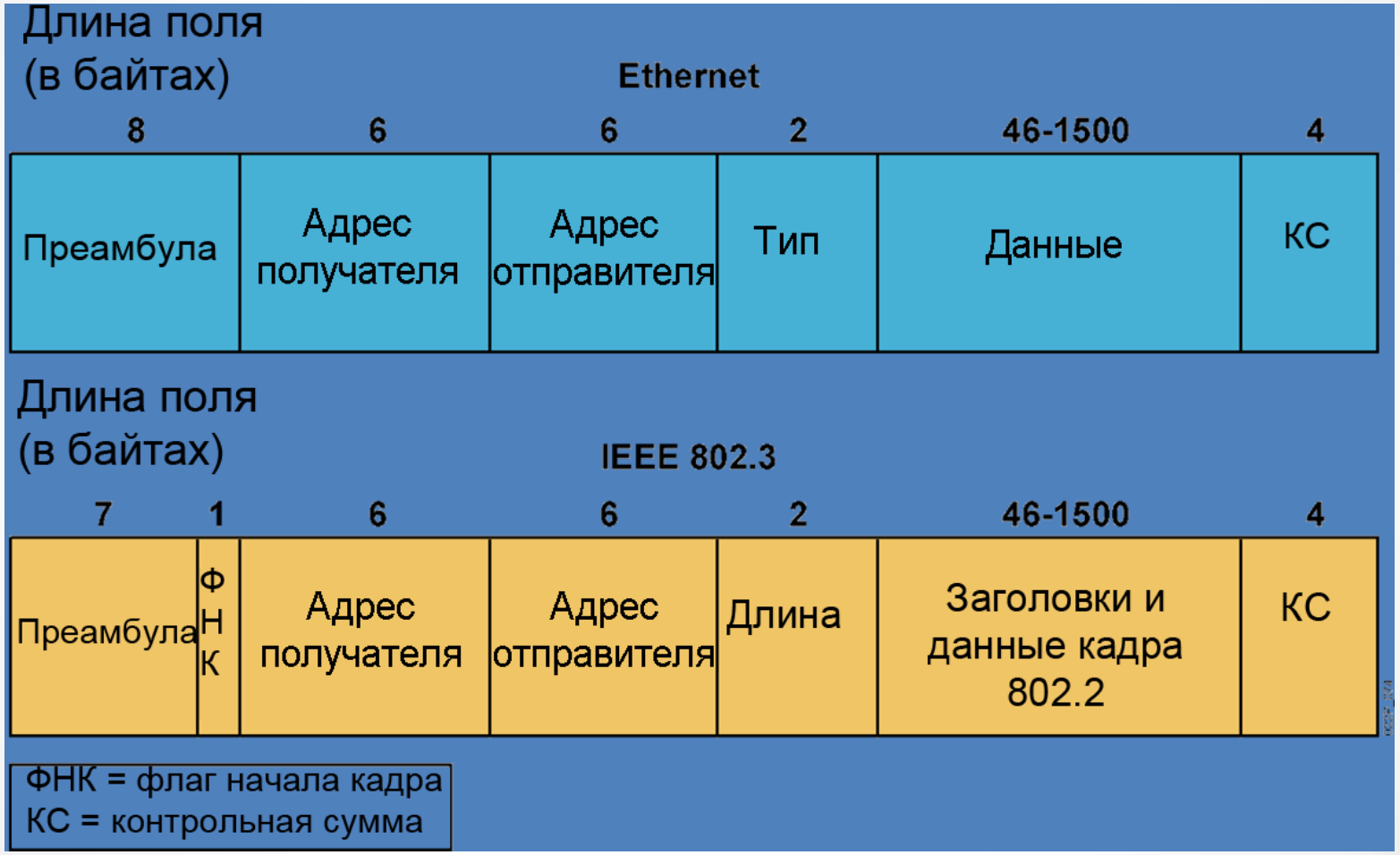
Стандарты Ethernet



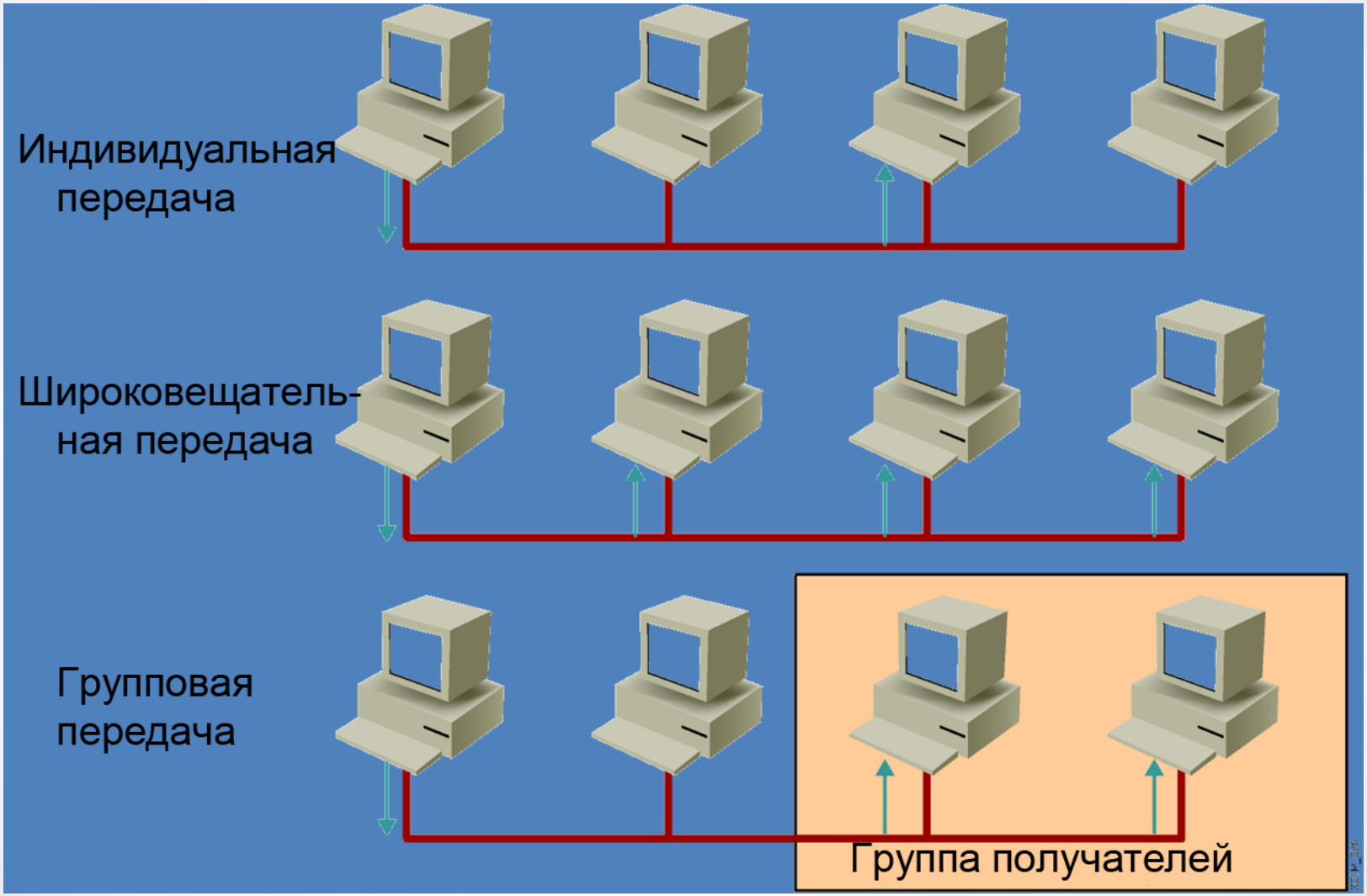
CSMA/CD


Контроль несущей
Множест-венный доступ
Коллизия
Обнаруже-ние коллизии (алгоритм отсчета)
A
B
C
D
Коллизия
JAM
JAM
JAM
JAM
JAM
JAM
Множественный доступ с контролем несущей с обнаружением коллизий (CSMA/CD)

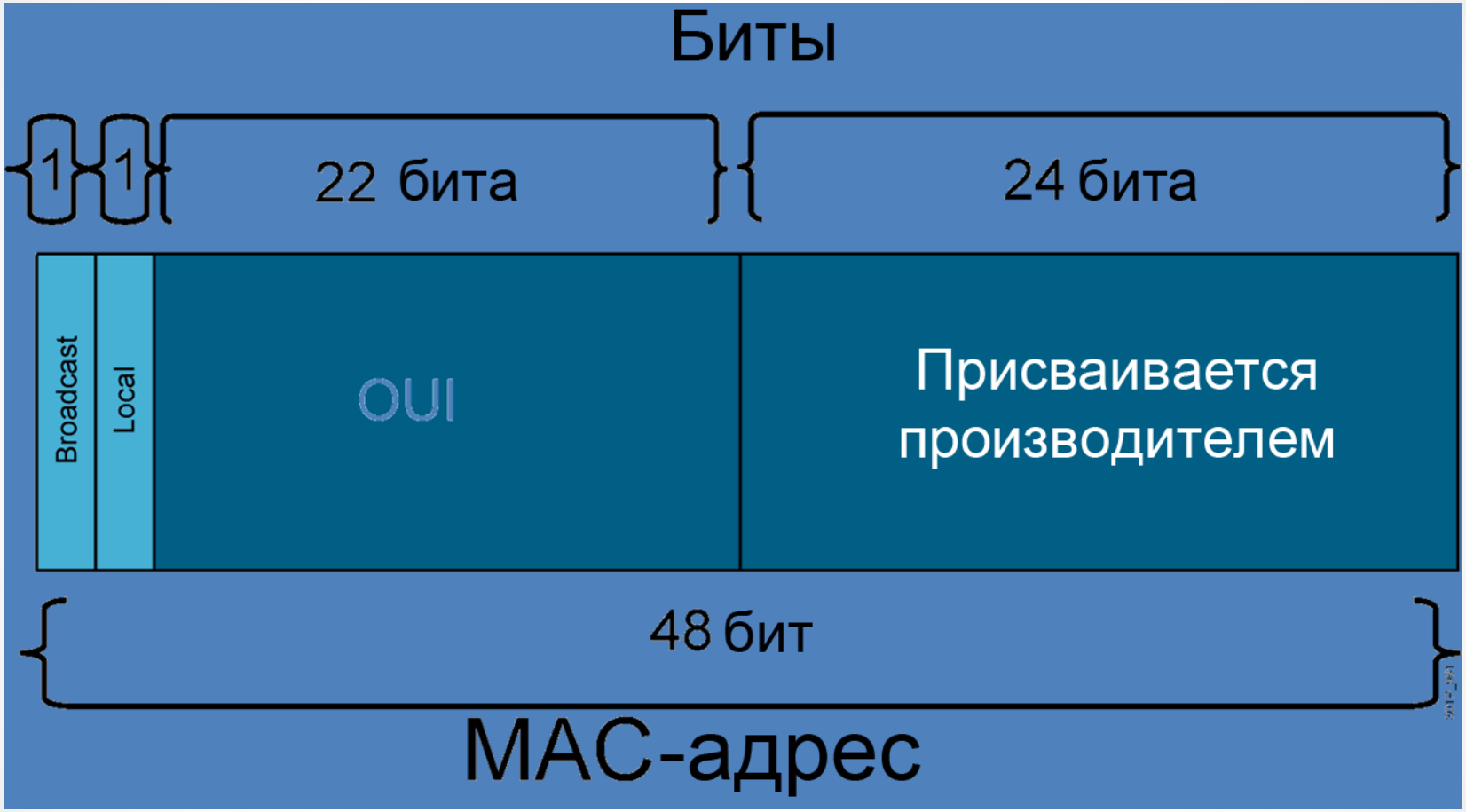
Стандарты Ethernet



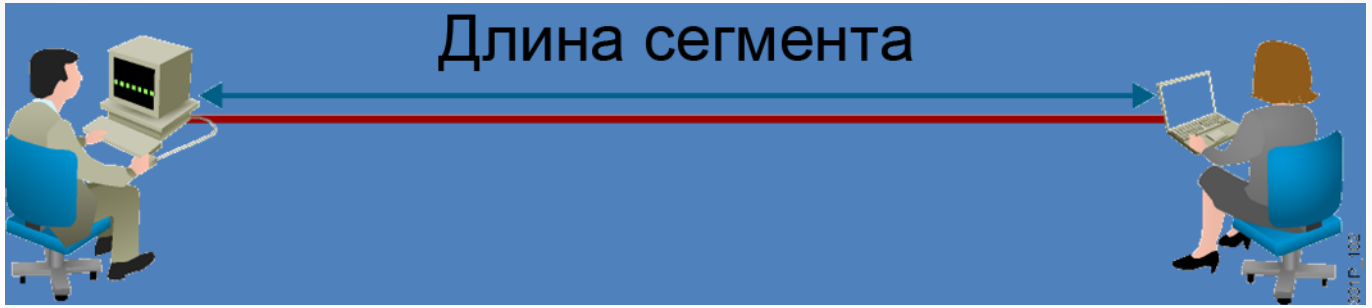
Типы адресов



Компоненты MAC-адреса

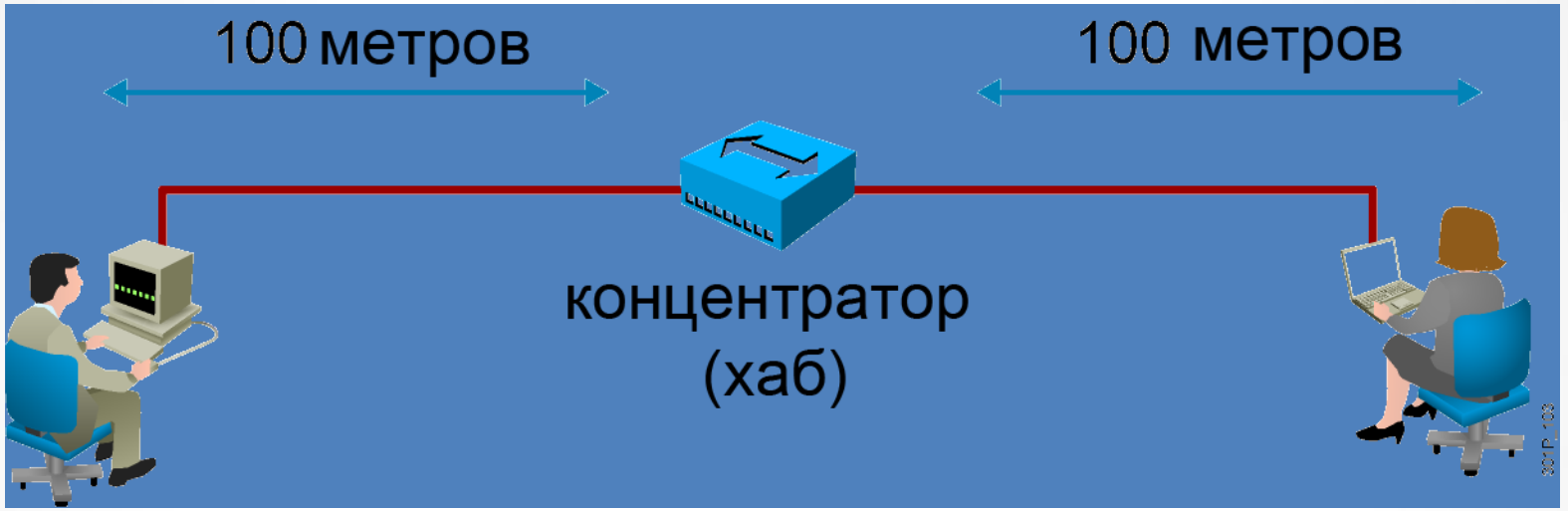


Физические ограничения сегмента



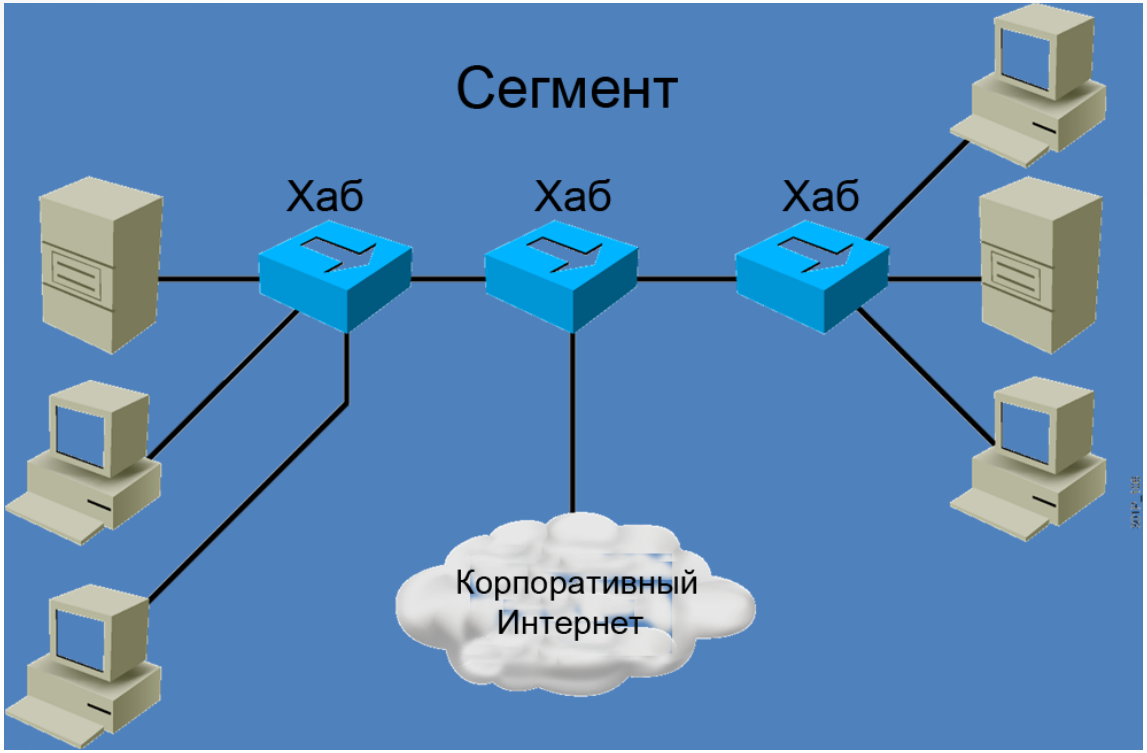
- Сигналы с расстоянием деградируют.
- Каждый тип Ethernet имеет свою максимальную дальность.

Продление сегмента



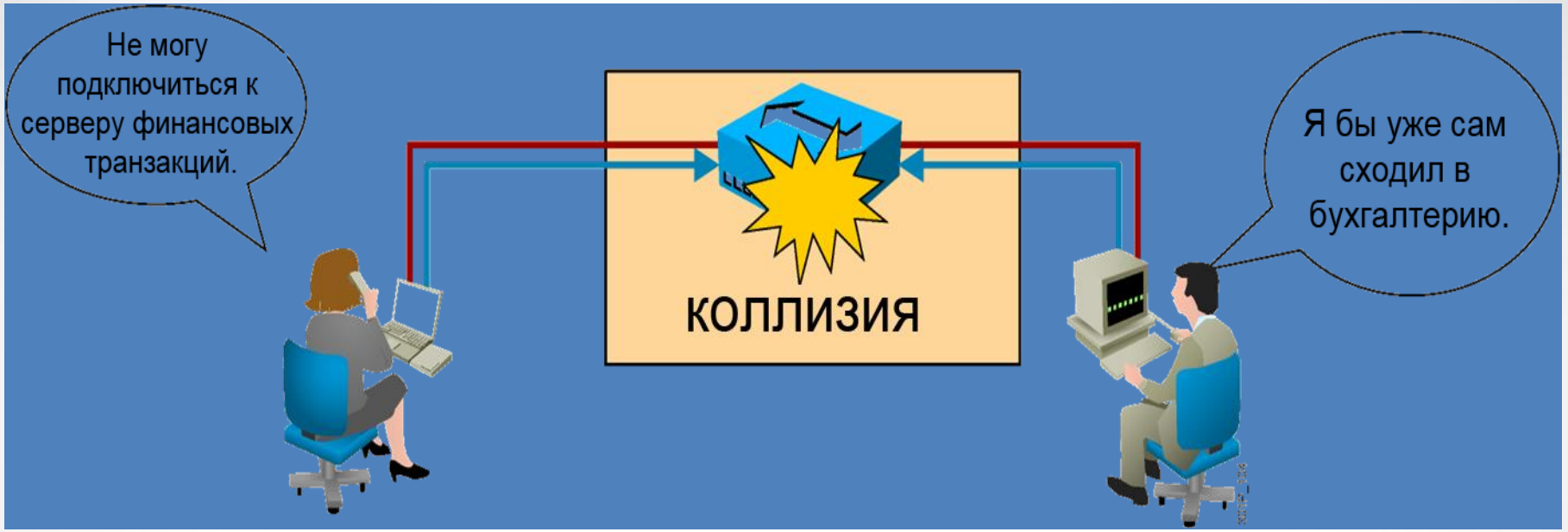
- Пропускная полоса разделяется
- Расширяет сегмент
- Усиливает сигнал
- Правило 5-4-3
- Как реализовать большую сеть?

Перегрузка сети



- Высокоскоростные конечные устройства
- Большие объёмы данных
- Приложения реального времени

Коллизии



- Для пользователей коллизии выглядят как «торможение» сети
- Домен коллизий = физический сегмент
- Множество устройств таких, что если любые два из них будут передавать данные одновременно, возникнет коллизия

IEEE 802.3 : алгоритм задержки

- При возникновении коллизии время разбивается на слоты диной, соответствующей наибольшему времени распространения сигнала в оба конца : при длине линии 2.5 км и четырех репиторах 2τ=51.2мксек.
- **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 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 : производительность

- Плотная и постоянная нагрузка: есть k станций всегда готовых к передаче.
- При коллизиях в каждом слоте повторная передача с постоянной вероятностью.
- Если каждая станция участвует в состязаниях в слоте с вероятностью *p* , то вероятность A, что некоторая станция захватит канал в этом слоте, равна

$$A = kp(1-p)^{k-1}$$

при $p=1/k$, $A \to 1/e$ при $k \to \infty$.

- Вероятность, что период состязаний будет иметь *j* слотов равна $A(1-A)^{j-1}$.
- Отсюда среднее число слотов в состязаниях равно

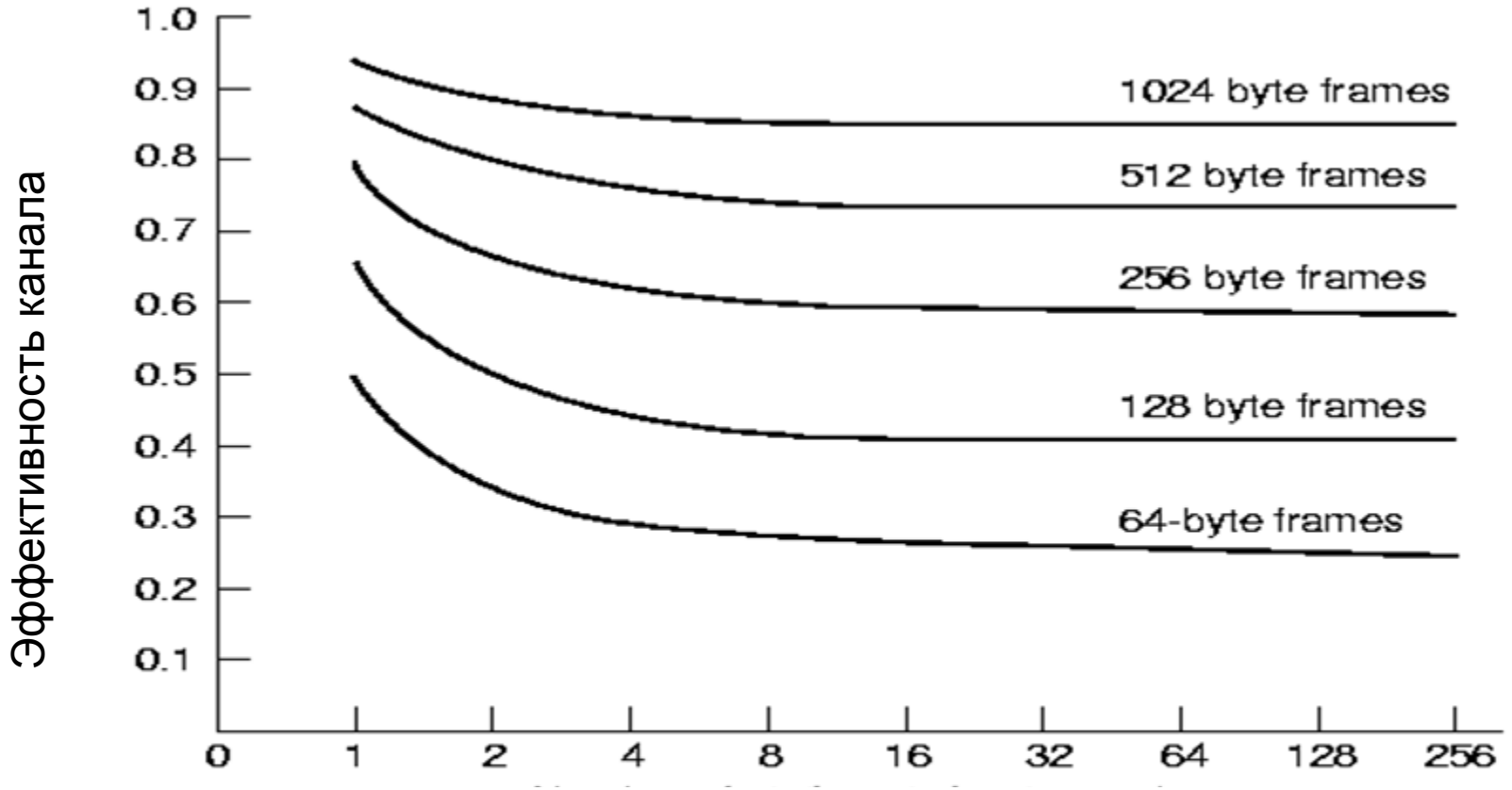
$$\sum_{j=0}^{\infty} jA(1-A)^{j-1} = \frac{1}{A}$$

IEEE 802.3 : производительность

- средний интервал состязаний $w=2\tau / A$
- $w \leq 2\tau e \approx 5.4\tau$ при $p=1/k$
- эффективность канала равна

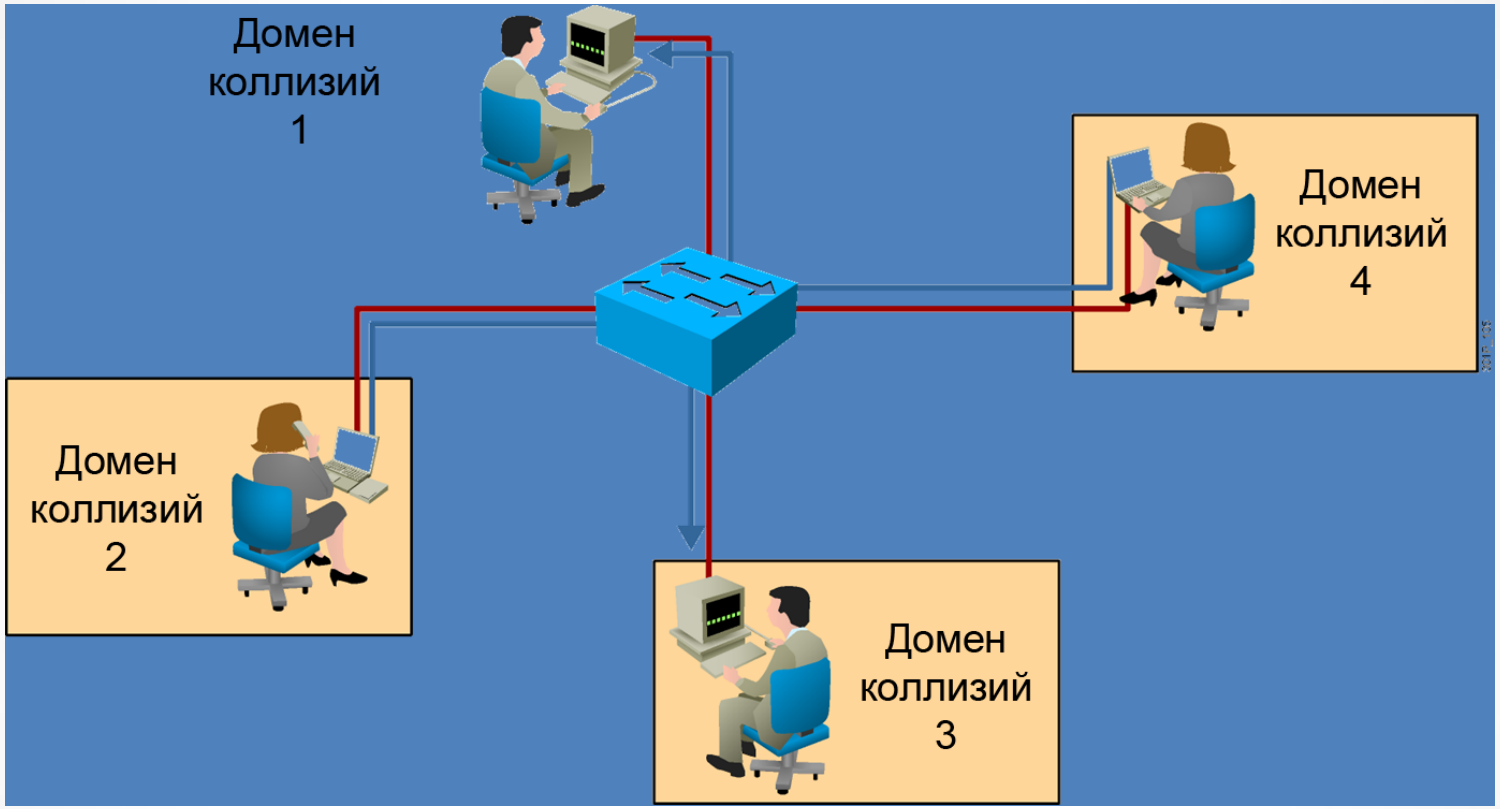
$$\frac{m}{m+2\tau / A}$$

где m - время передачи кадра средней длины

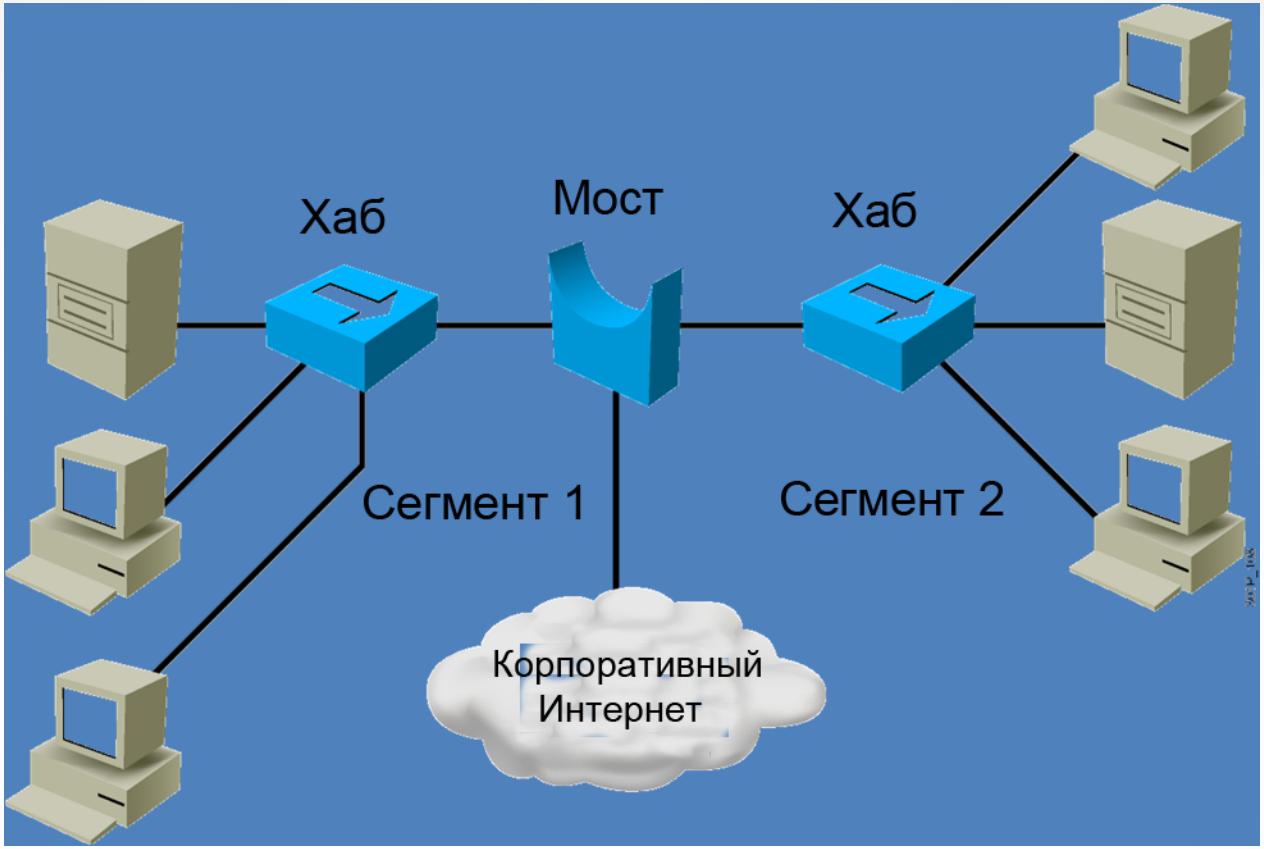


Эффективность IEEE 802.3 на 10 Мб/с при 512 бит интервалах времени

Домены коллизий



- Для решения проблем надо разбить домен коллизий на несколько



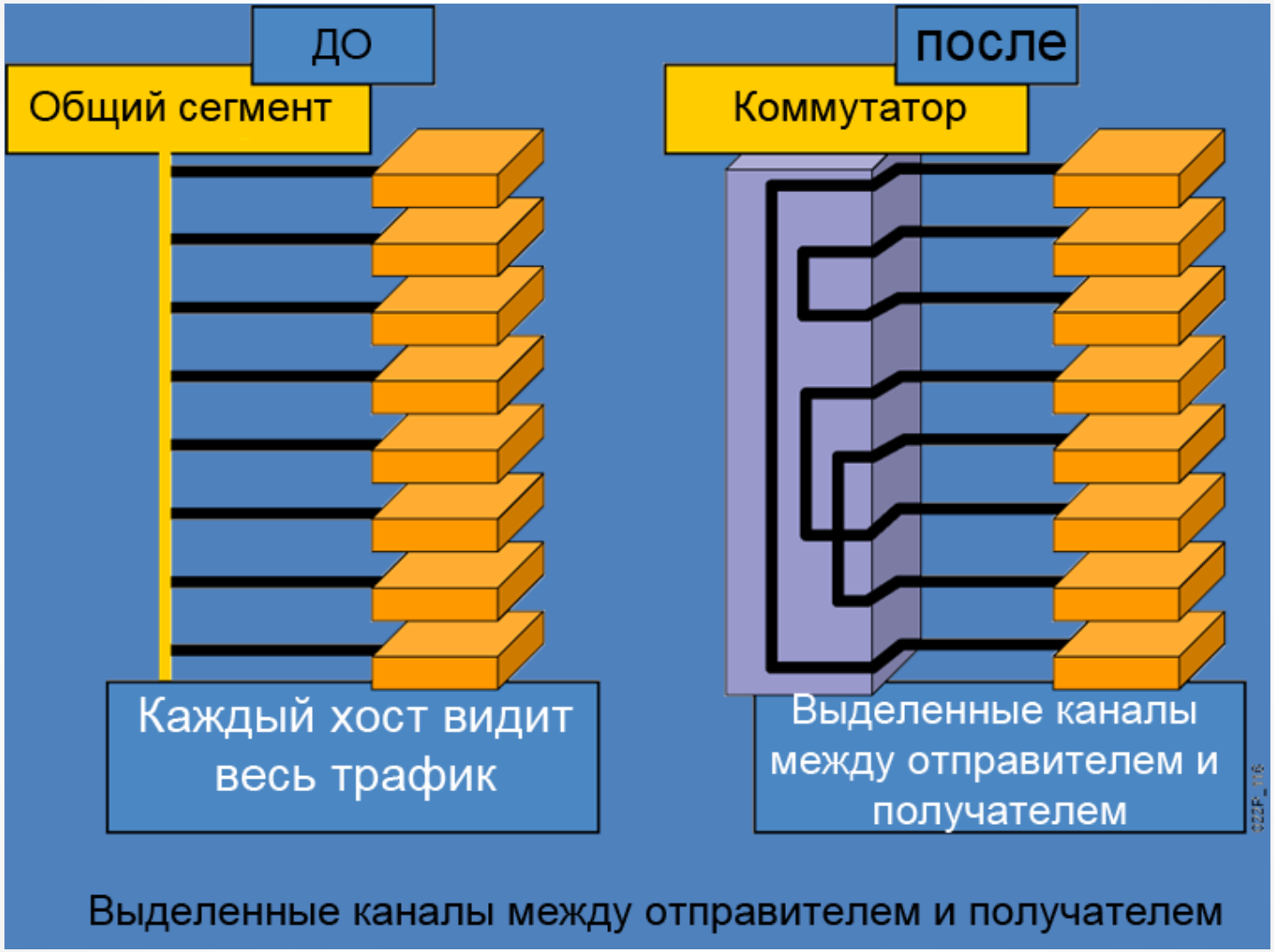
- Работают на канальном уровне
- Пересылают, фильтруют или вещают кадры
- Мало портов
- Сравнительно медленные

Коммутаторы

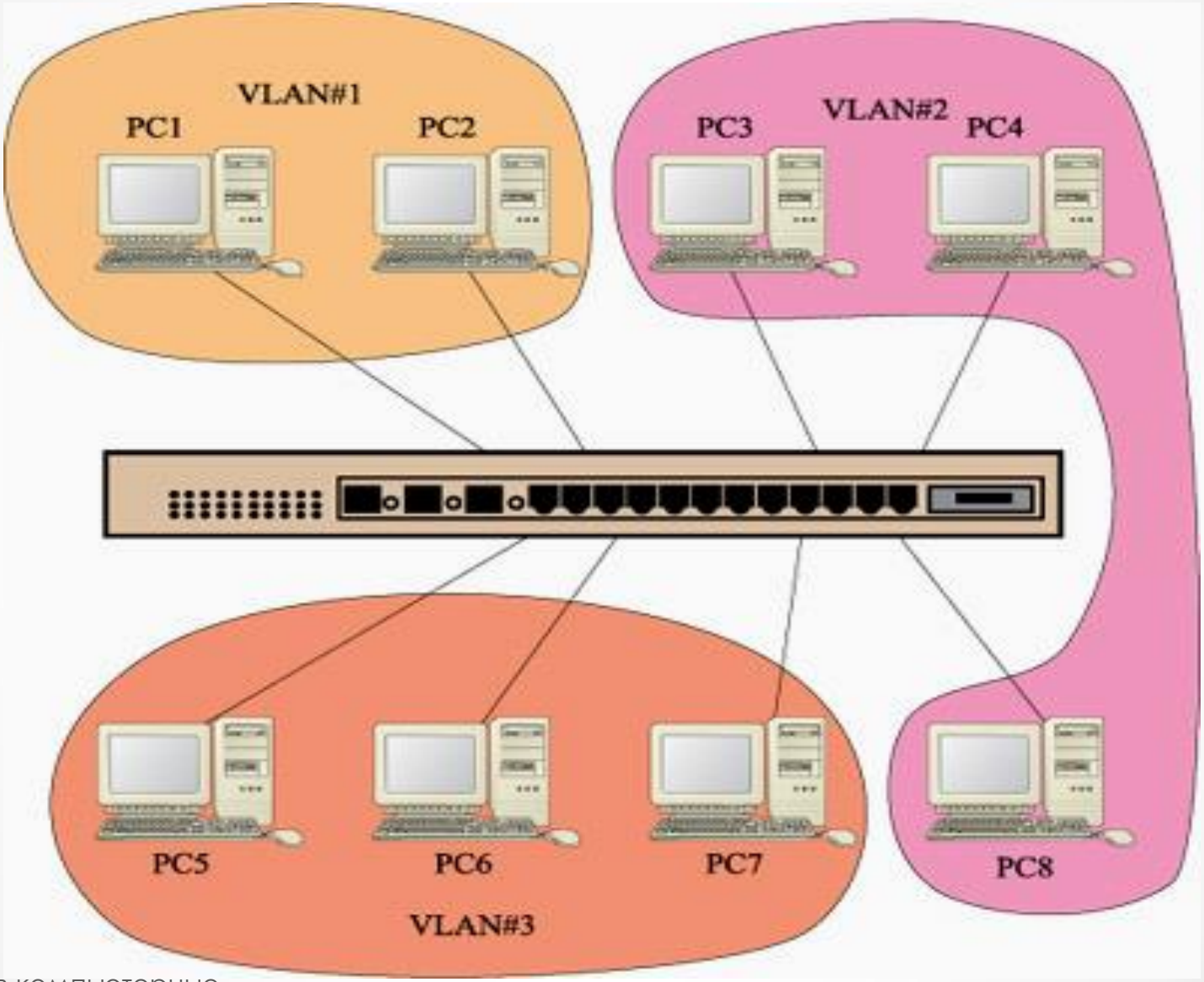
- Высокая плотность портов
- Большие буферы обмена
- Различные скорости портов
- Высокоскоростная коммутация по внутренней шине

Возможности коммутаторов

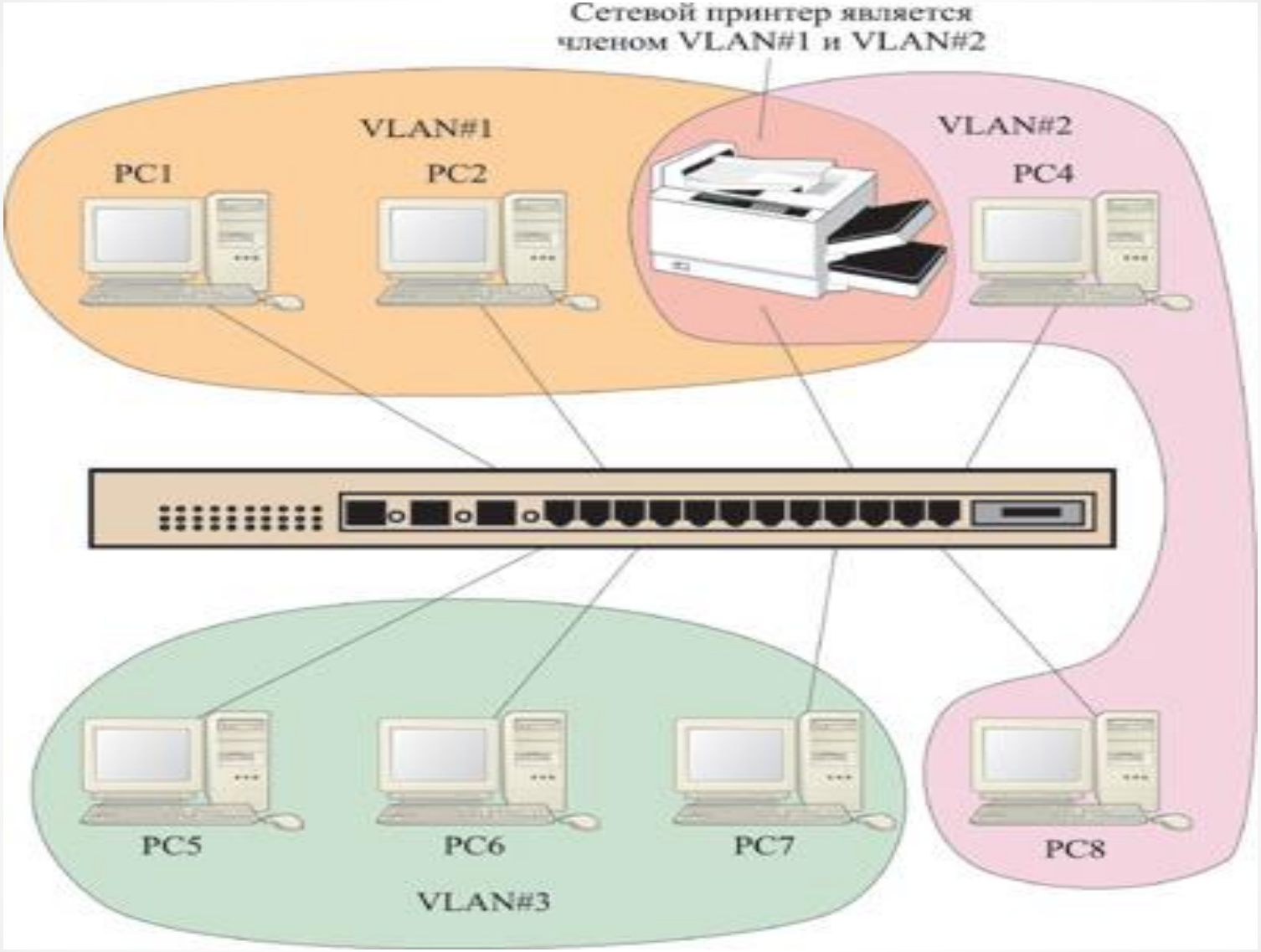
Микросегментация



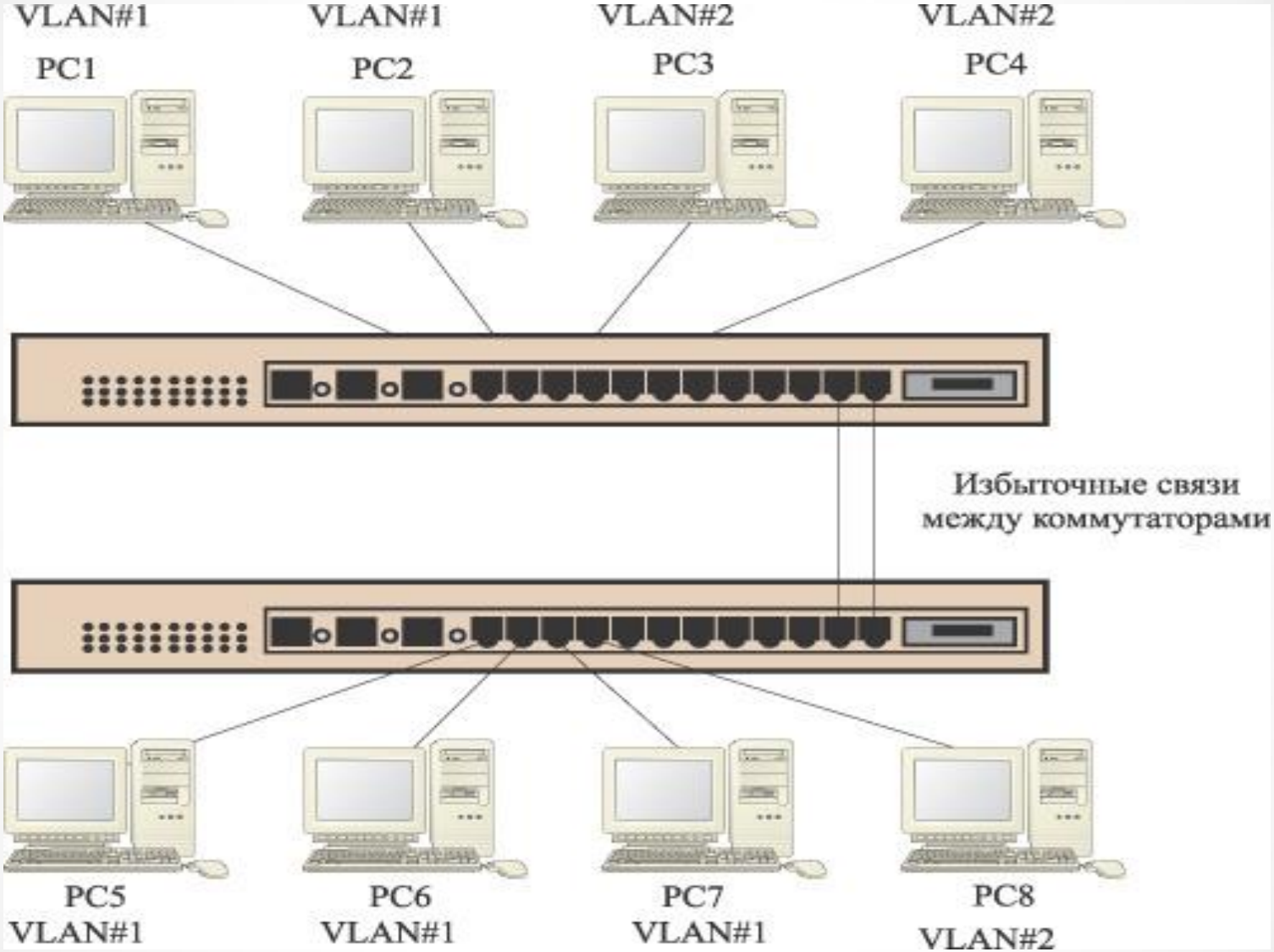
Коммутаторы VLAN



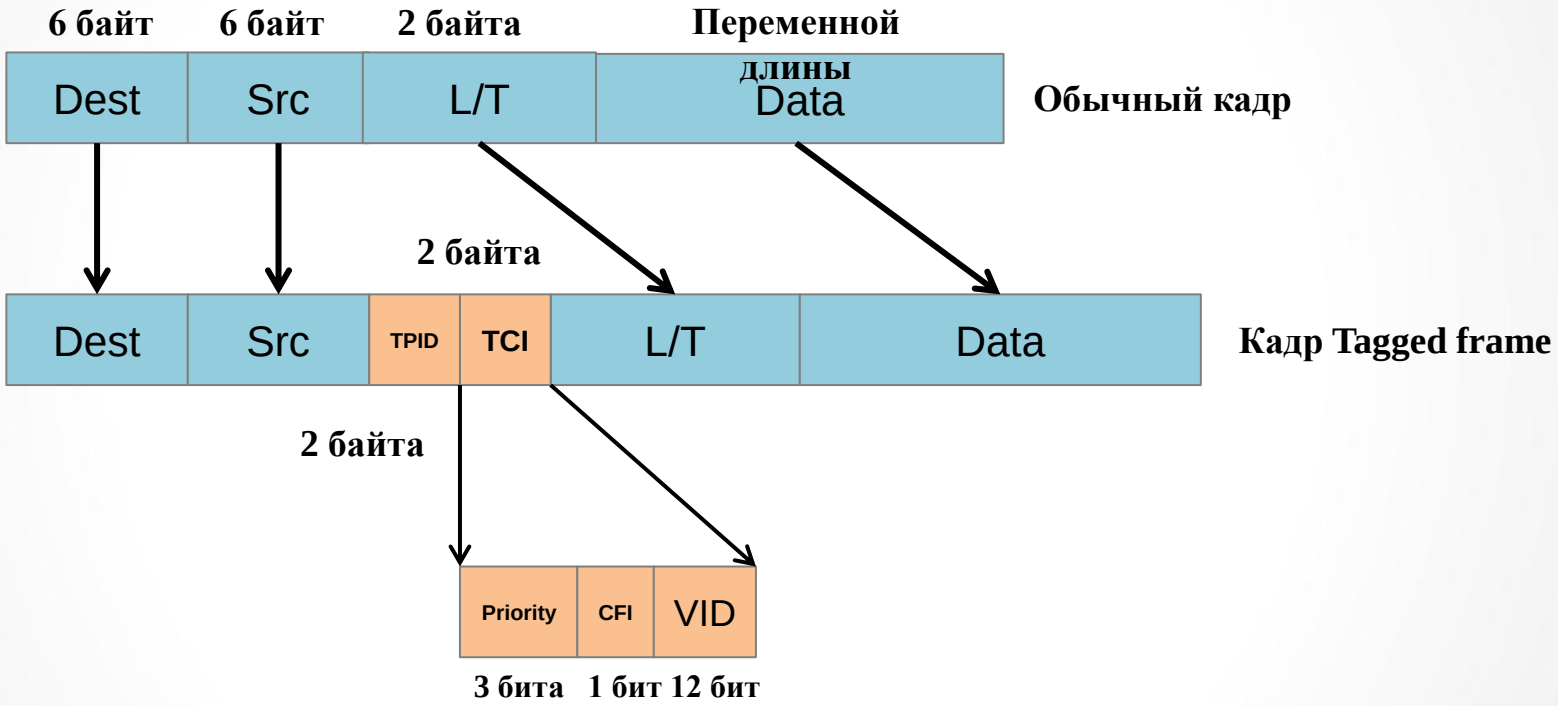
Коммутаторы



Коммутаторы VLAN

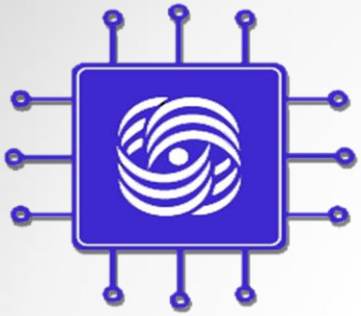


IEEE 802.1Q


6 байт
6 байт
2 байта
Переменной длины
Dest
Src
L/T
Data
Обычный кадр
2 байта
Dest
Src
TPID
TCI
L/T
Data
Кадр Tagged frame
2 байта
Priority
CFI
VID
3 бита
1 бит
12 бит

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 так, как это показано на рис.4-33.
- LLC предоставляет три вида сервиса: не надежный дейтаграммы без уведомления, дейтаграммы с уведомлением и надежный сервис ориентированный на соединение.



Физический уровень:
Принципы функционирования физической среды передачи данных (том 1 стр.63 – 101)

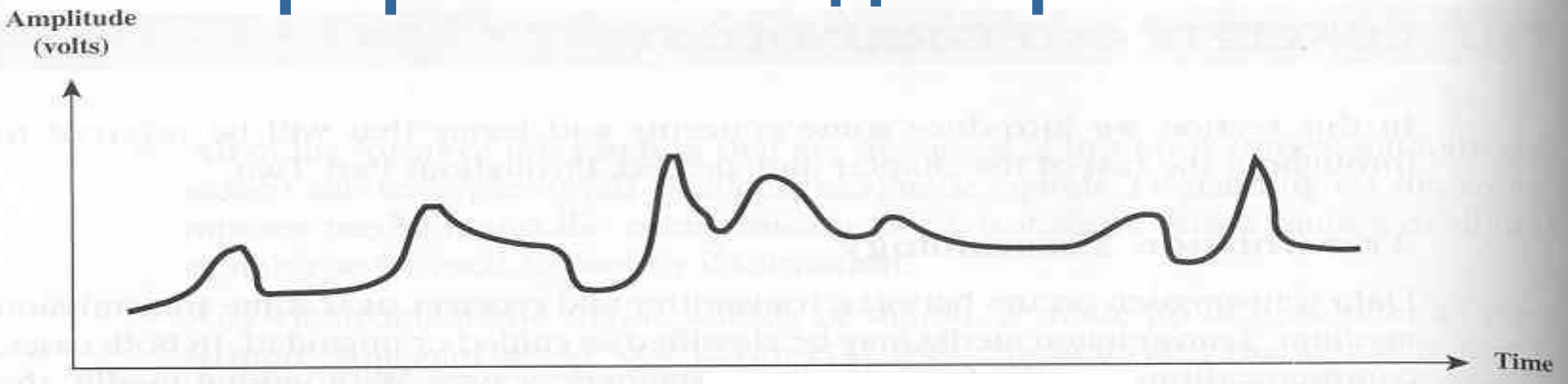
Компьютерные сети

проф. Смелянский Р.Л.
Лаборатория Вычислительных комплексов
ф-т ВМК МГУ

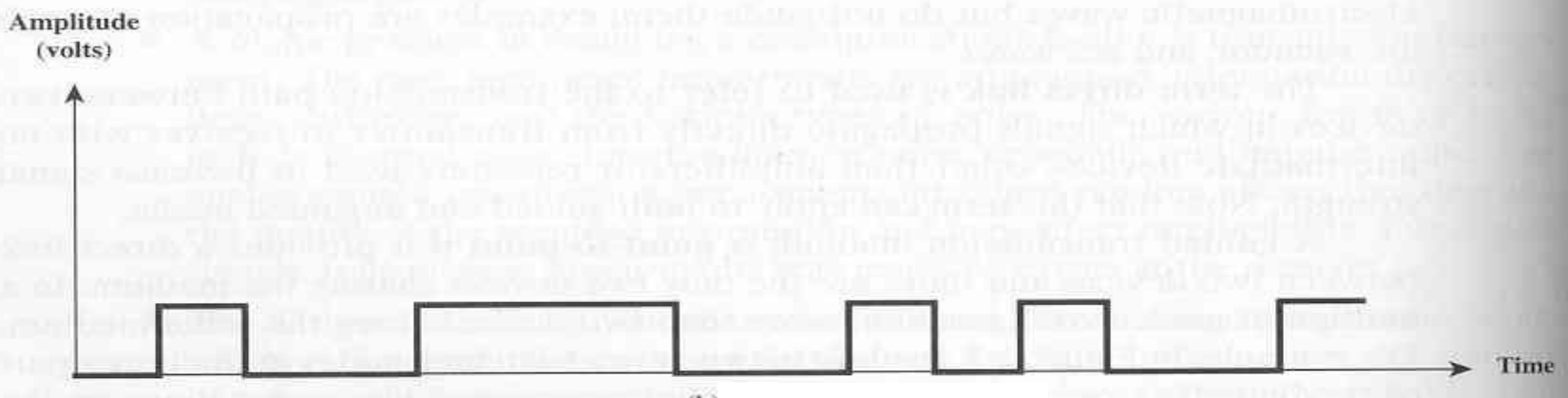
Основы передачи данных

- *Все виды информации могут быть представлены в виде электромагнитных сигналов (ЭМС) аналоговых или цифровых*
- *Любой ЭМС имеет спектр сигналов разной частоты (ширина частотной полосы гармоник)*
- *Основная проблема - ухудшение сигнала при передаче (потеря энергии, искажение формы, шумы)*
- *Основные характеристики канала - полоса пропускания, скорость передачи для цифровых данных, уровень шума, уровень ошибок при передаче*

Сигнал как функция времени – непрерывные vs дискретные



Непрерывный



Дискретный

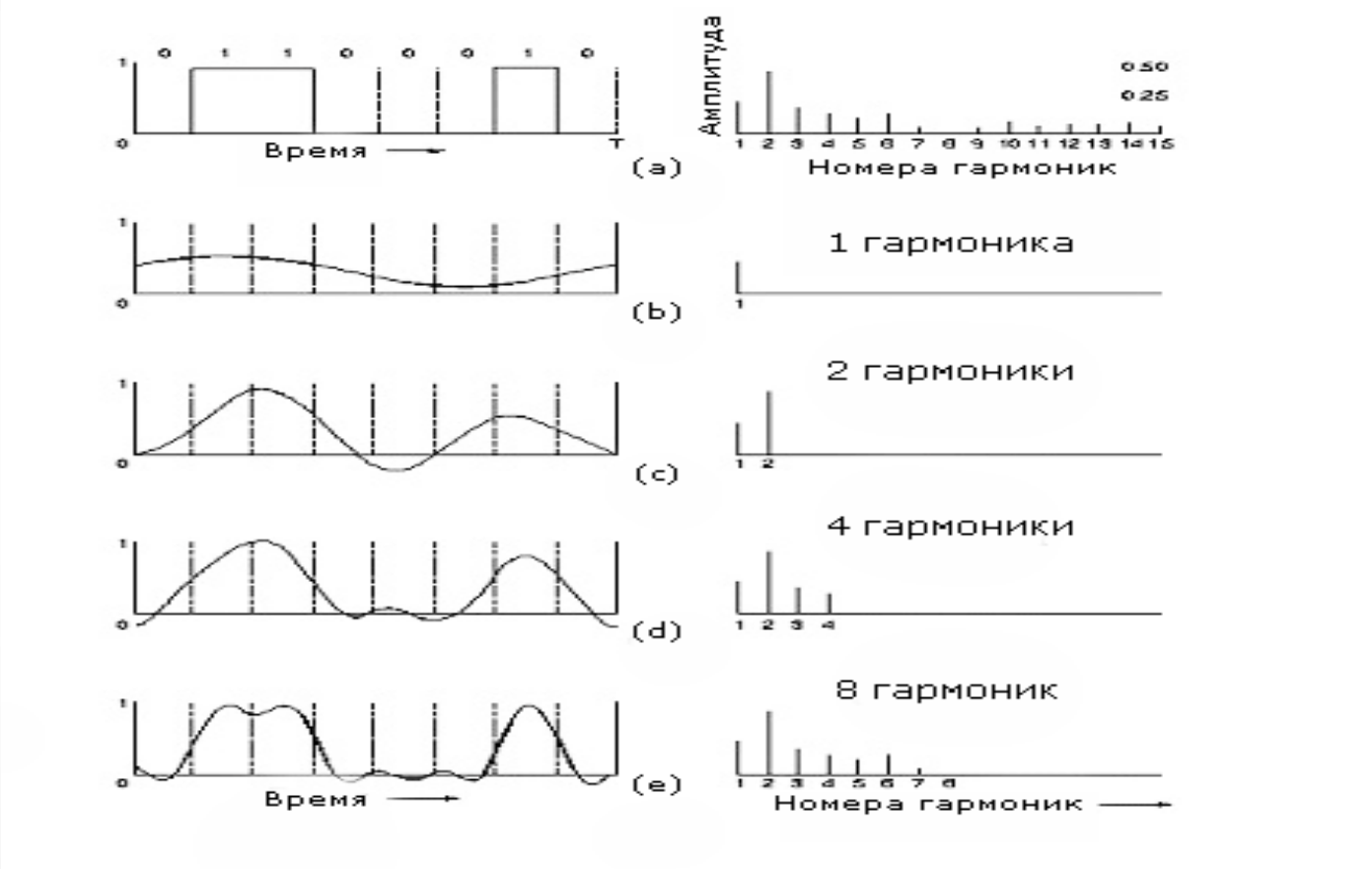
Сигнал как функция частоты

Ряд Фурье

$$g(N) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{N} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{N} b_n \cos(2\pi nft)$$

где f - частота, a_n ,b_n – амплитуды n-ой гармоники.

Сигнал как функция частоты



Сигналы, данные, передача

- *Данные – описание фактов, явлений*
- *Сигналы – представление данных при передаче*
- *Передача – процесс взаимодействия передатчика и приемника, с целью передачи сигнала.*

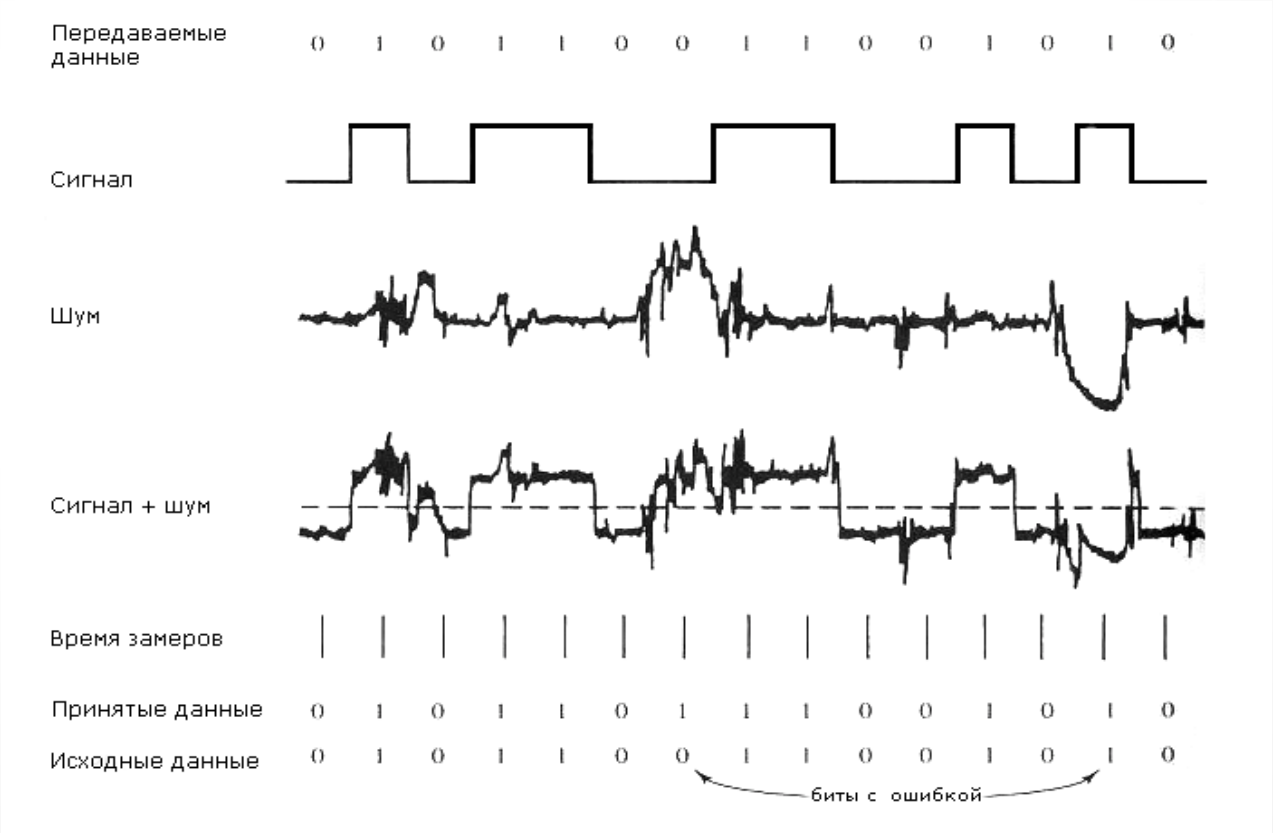
Данные

- *Данные по происхождению могут иметь разную форму*
  - *аналоговые vs цифровые*
- *Данные аналоговые*
  - *голос, видео*
- *Данные дискретные (цифровые)*
  - *текст: буква, символ*

Сигналы

- *Сигналы – аналоговые vs цифровые*

Влияние шума на цифровой сигнал



Аналоговая vs цифровая передача

- затухание и нарушение формы в цифровом случае не столь сильно как в аналоговом.
- при ретрансляции цифрового сигнала проще восстановить его изначальную форму, которая известна точно, в отличии от аналогового сигнала. При ретрансляции аналогового сигнала ошибка накапливается.

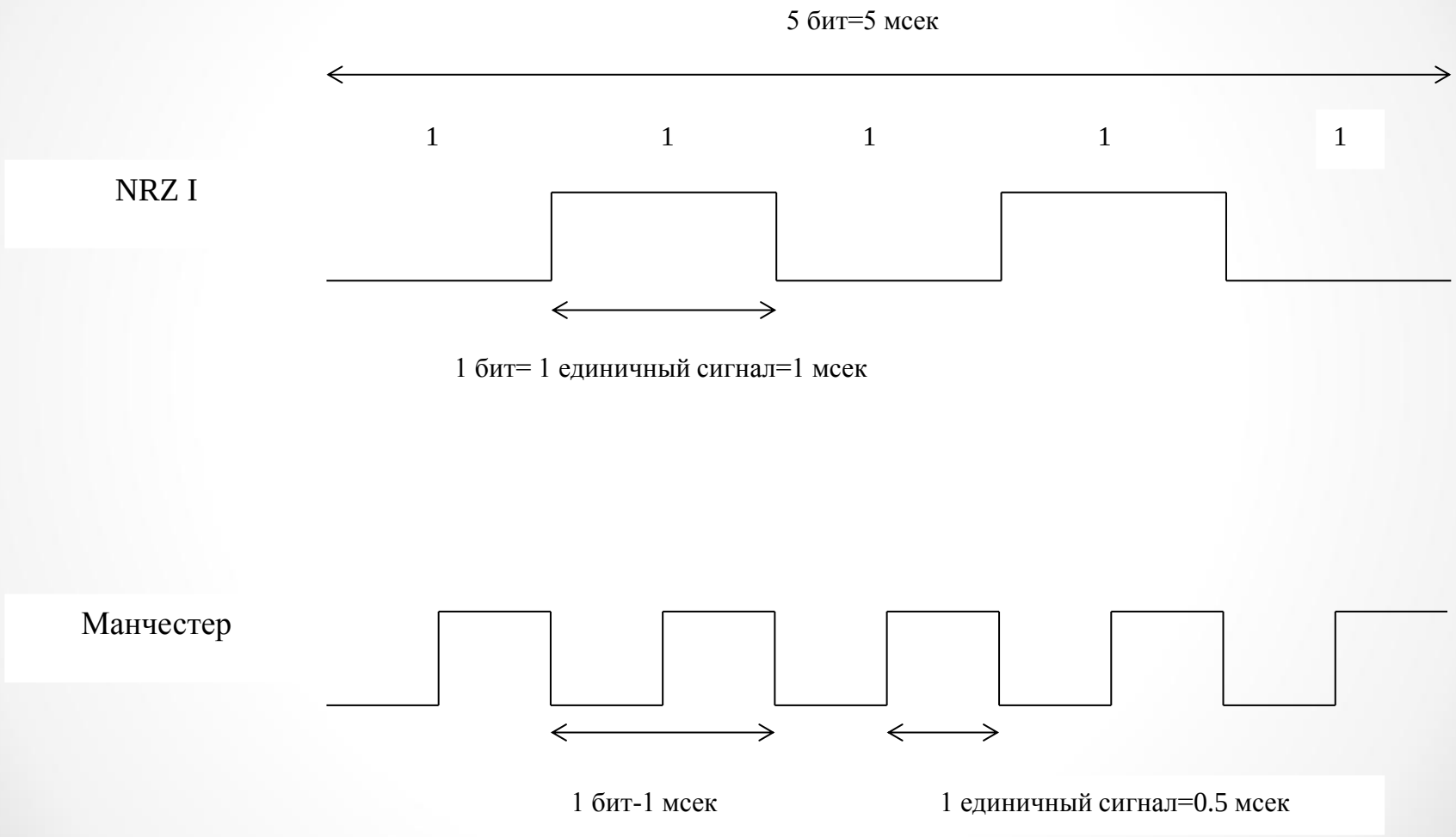
Аналоговая vs цифровая передача

- цифровая передача более надежна: форма сигнала известна.
- по цифровой сети можно передавать и данные и голос и музыку одновременно и с большей скоростью.
- цифровая передача дешевле, так как не надо восстанавливать форму сигнала.
- цифровую сеть проще эксплуатировать.

Взаимосвязь пропускной способности канала и его полосы пропускания

- Разные среды искажают форму сигнала и гасят его энергию в зависимости от частоты сигнала по-разному.
- Полоса пропускания канала - спектр частот, которые канал пропускает без существенного понижения мощности сигнала.
- Скорость передачи зависит от способа кодирования данных на физическом уровне и ***сигнальной скорости*** - скорости изменения значения сигнала. Эта скорость изменений сигнала в секунду измеряется в **бод**.

Сигнальная скорость



Взаимосвязь пропускной способности канала и его полосы пропускания

- **Пропускная способность канала** – максимальная скорость, с которой канал способен передавать данные.
- Взаимосвязь пропускной способности канала и ширины его полосы пропускания определяет

Теорема Найквиста (1924г.)

$$V_{\text{max data rate}} = 2H \log_2 L ,$$

где H – ширина полосы пропускания канала(максимальная частота сигнала в спектре), L - количество уровней сигнала.

Теорема Котельникова

Взаимосвязь пропускной способности канала и его полосы пропускания

- шум в канале измеряется как соотношение мощности полезного сигнала к мощности шума: *S/N* (измеряется в децибелах 1dB = 10 $log_{10}(S/N)$).
- для случая канала с шумом есть Теорема Шеннона

$$V_{max} = H \log_2 (1+S/N) \text{ bps},$$

где *S/N* - соотношение сигнал-шум в канале; здесь уже неважно количество уровней в сигнале.

Это - теоретический предел, которой редко достигается на практике.

Сигналы с ограниченной полосой пропускания

- Пример канала с шумом:
- *H = 3КГц, шум = 30dB следовательно*

  V_{max}=30 000 бит/с
- Пример влияния ширины полосы пропускания на битовую скорость передачи

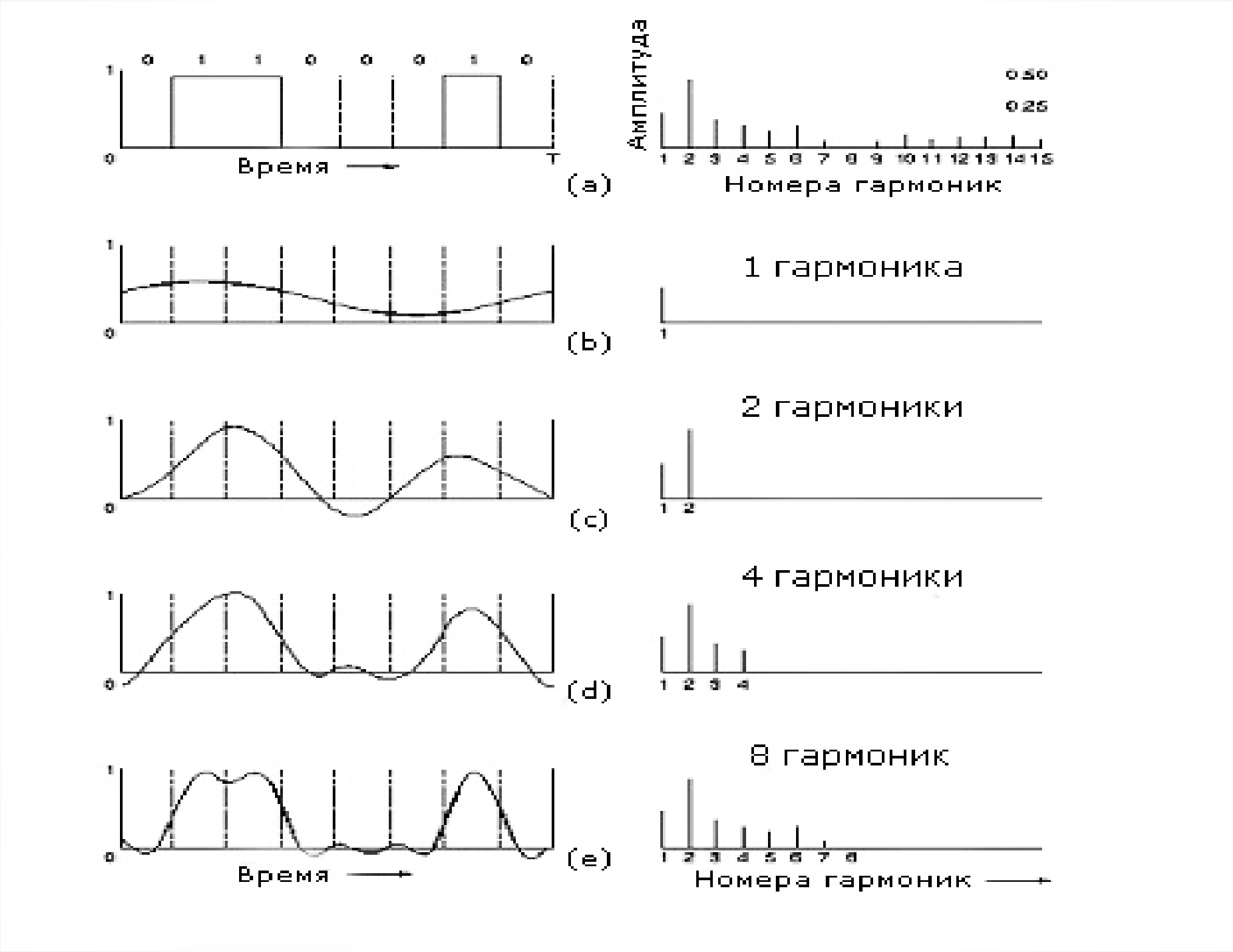
  b – сигнальная скорость, надо передать 8 бит,

  H – ширина полосы,

  *Max число гармоник = H (8/b) = (3000 *8)/b*

  при b=9600 не более 2 гармоник.

Влияние ширины полосы пропускания на качество сигнала

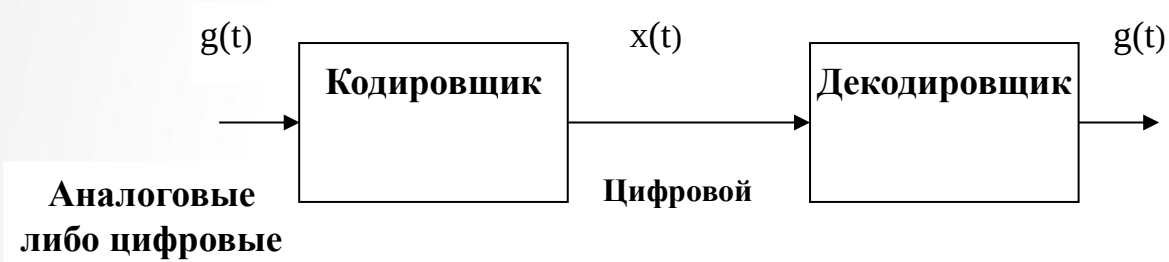


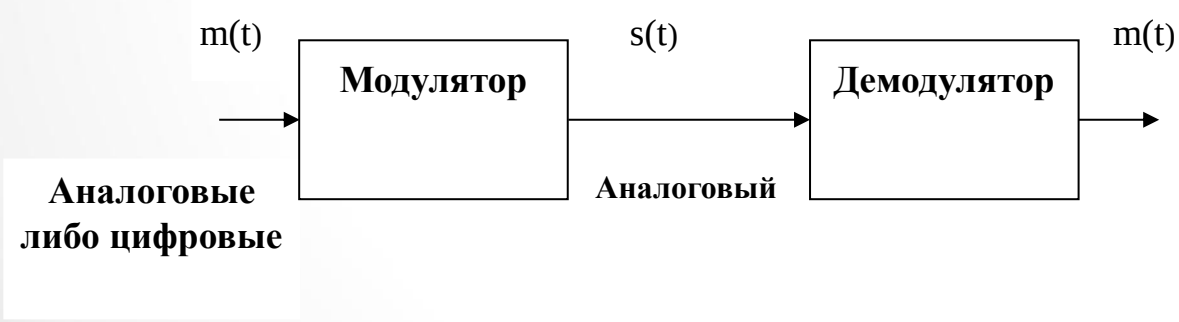
Представление данных на физическом уровне

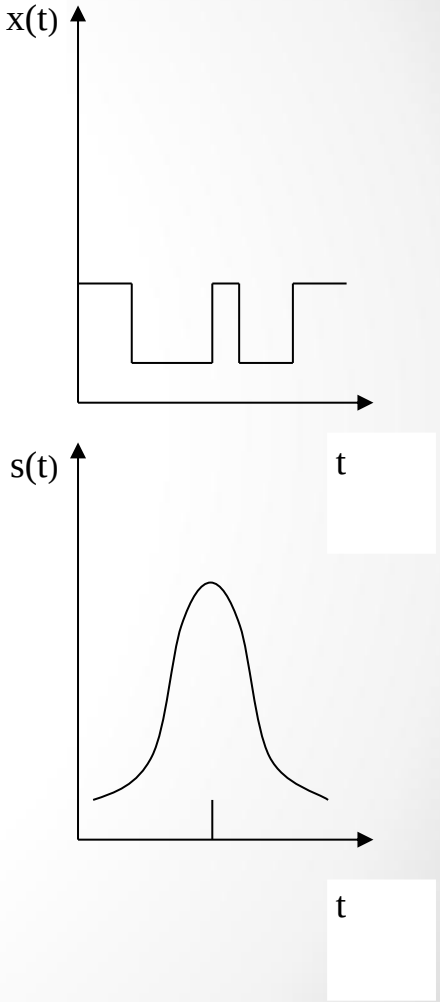
Сигналы и Данные

- *аналог.данные – аналог.сигнал (соответствие спектров частот)*
- *цифр.данные – аналог.сигнал (модем)*
- *аналог.данные – цифр.сигнал (оцифровка)*
- *цифр.данные – цифр.сигнал (количество уровней сигнала)*

Схемы аналоговой и цифровой передачи

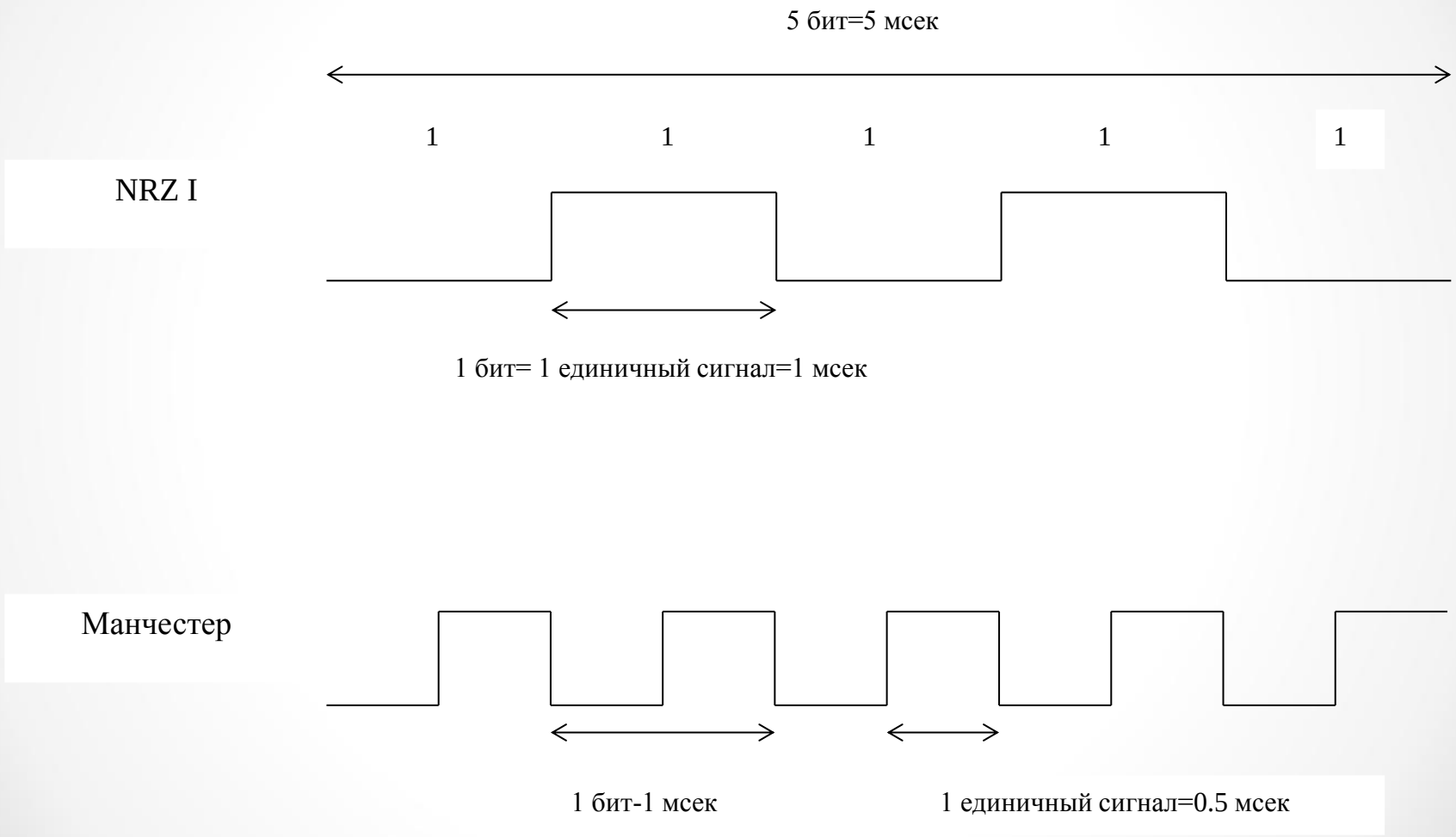






Цифровые данные – Цифровые сигналы

Битовый интервал



Способы кодировки данных

Потенциальный код NRZ

0 – высокий потенциал

1 – низкий потенциал

Биполярный код NRZI

0 – нет перепада уровня сигнала в начале битного интервала

1 – перепад уровня сигнала в начале интервала

Биполярный код AMI

0 – отсутствие сигнала

1 – положительный или отрицательный потенциал, обратный по отношению к потенциалу в предыдущий период

Манчестерский код

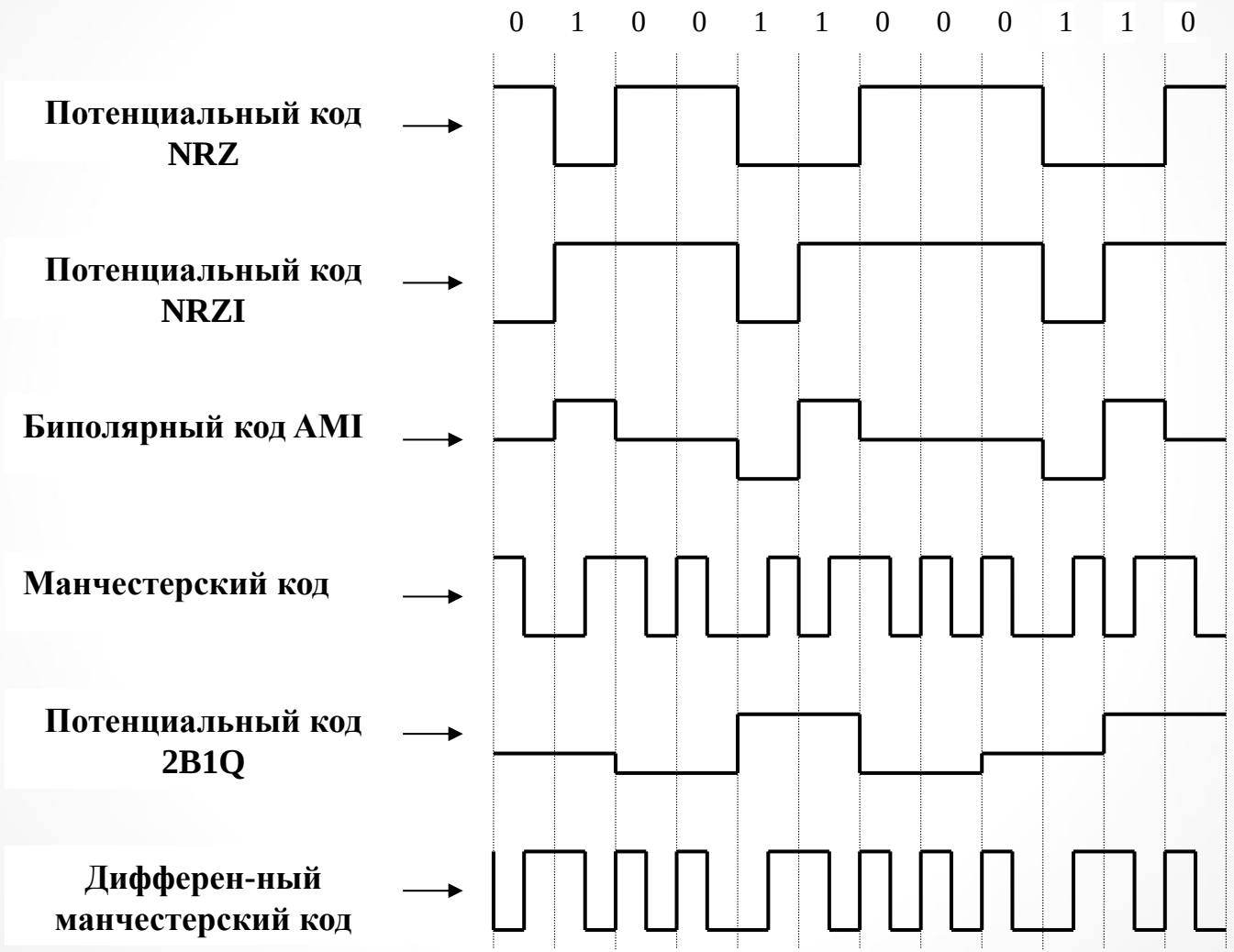
0 – переход с высокого на низкий потенциал в середине интервала

1 – переход с низкого на высокий потенциал в середине интервала

Потенциальный код 2B1Q

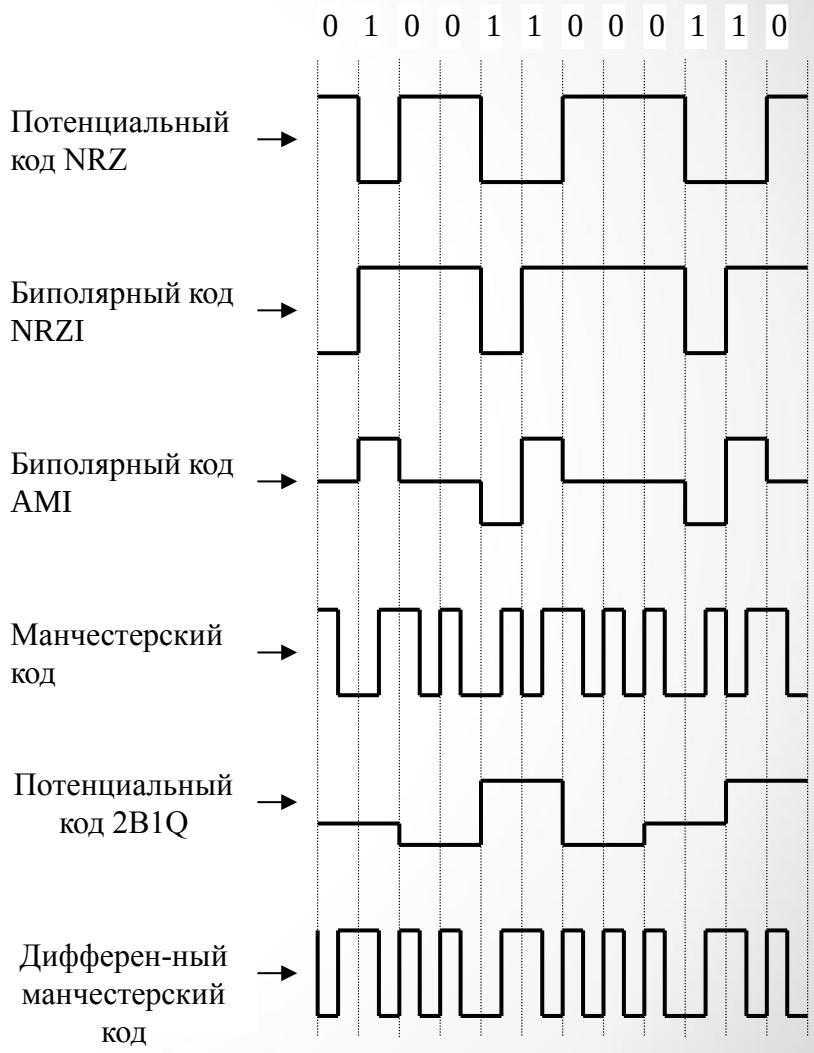
Использует 4 уровня сигналов, значение уровня определяет значение пары битов данных

Примеры кодов



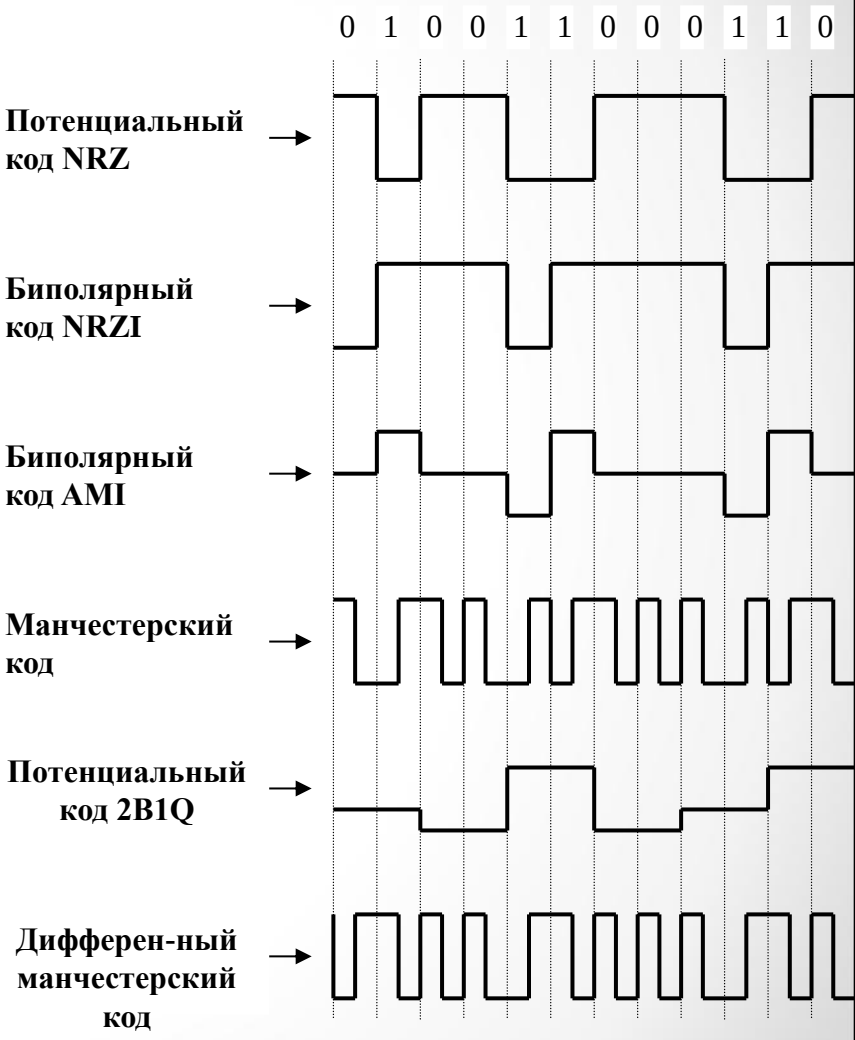
Потенциальный NRZ код

- NRZ – Non Return to Zero – без возврата к нулю на битовом интервале
- Основным недостатком этого кода является отсутствие синхронизации.
- Модификацией NRZ кода и хорошим примером дифференциального кодирования является NRZ-I код



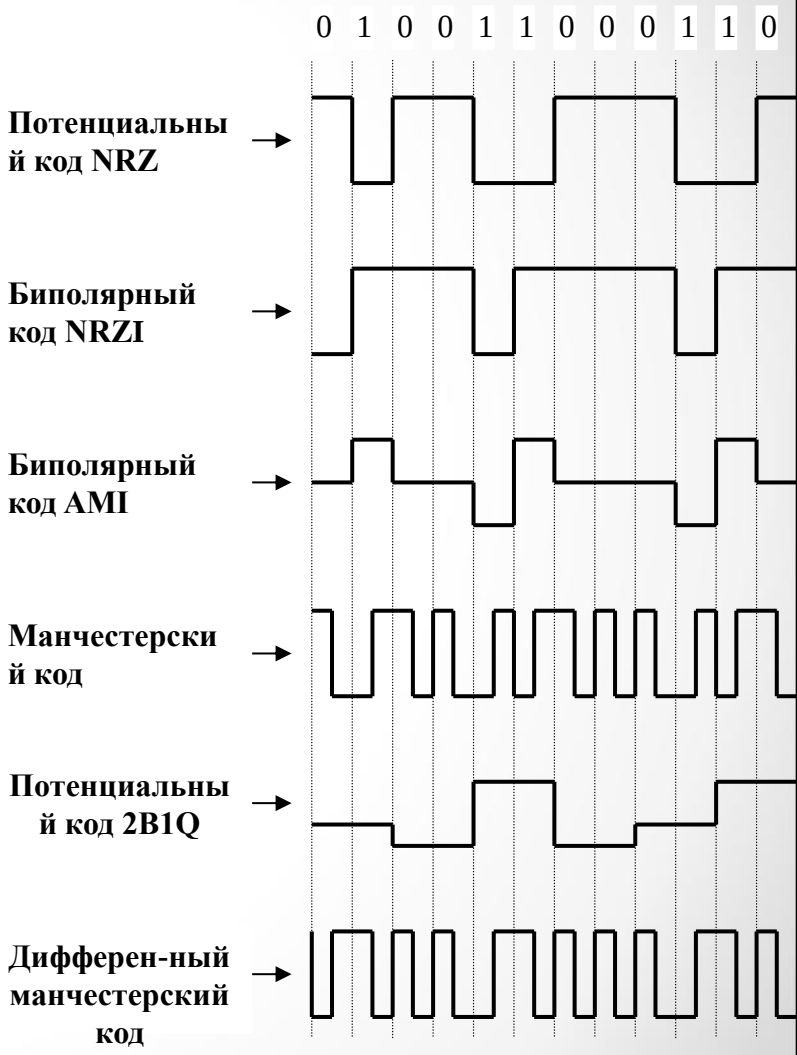
Биполярный код AMI

- Bipolar Alternate Mark Inversion –AMI
- Три уровня сигнала. Потенциал каждой последующей единицы противоположен потенциалу предыдущей.
- При длительной последовательности 1 рассинхронизация не происходит
- Спектр сигнала уже, чем у NRZ кодов
- Правило чередования уровней позволяет обнаруживать единичные ошибки.
- С применением техники скремблирования биполярные импульсные коды обладают лучшими характеристиками, чем NRZ коды.
- Эффективность этого кода ниже, чем NRZ: каждый единичный сигнал может нести $\log_2 3 = 1.58$ бит информации, а используется только один бит.
- Передатчик и приемник для биполярного метода сложнее, чем для NRZ кодов.



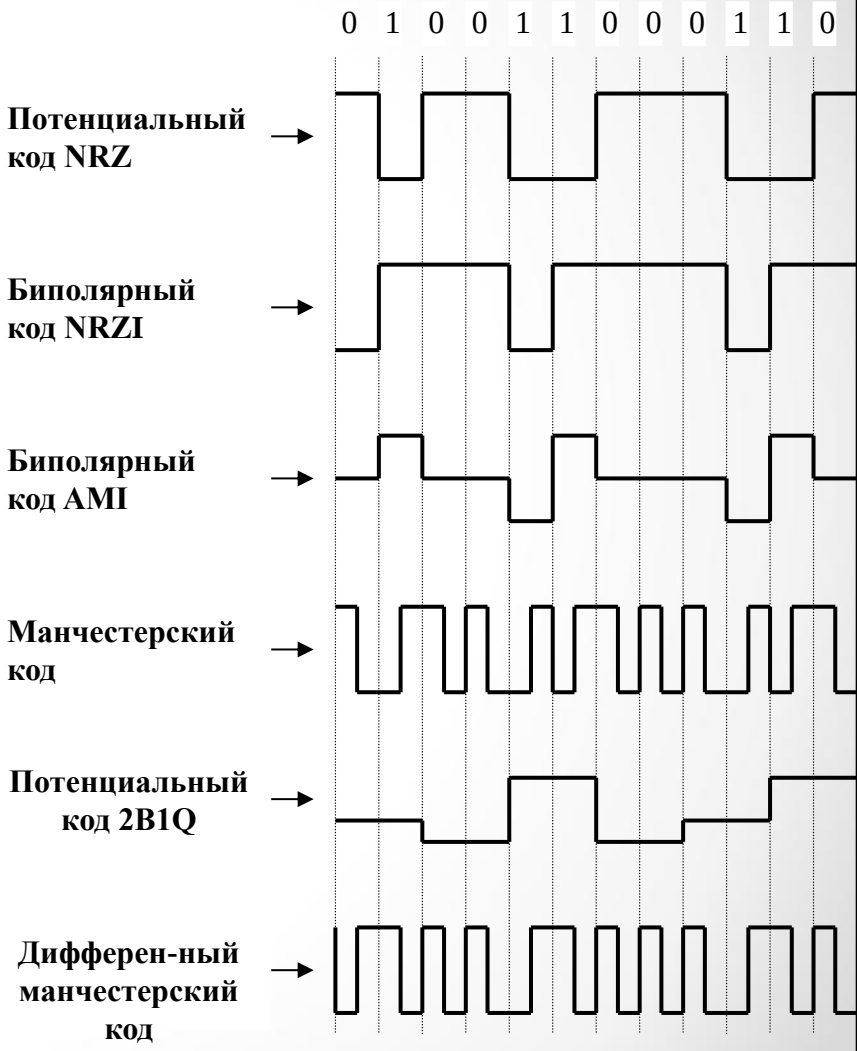
Биполярные импульсные коды

- В Манчестерском коде данные кодируются фронтами в середине битового интервала: фронт перехода от низкого потенциала к высокому соответствует 1, а фронт перехода от высокого потенциала к низкому – 0.
- В дифференциальном Манчестерском коде в середине битового интервала обязательно происходит изменение уровня: при передаче 0 в начале битового интервала, происходит перепад уровней, при 1 – такой перепад отсутствует.
- У всех биполярных импульсных кодов сигнальная скорость в два раза выше, чем у потенциальных кодов. Они требуют более широкой полосы пропускания, чем потенциальные коды.
- У них есть несколько существенных преимуществ:
  - самосинхронизация
  - отсутствие постоянной составляющей
  - отсутствие единичных ошибок.



Потенциальный код 2B1Q

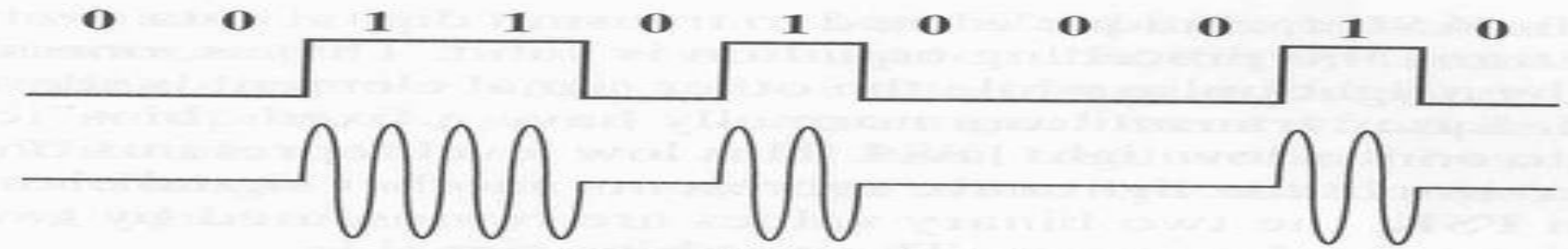
- Каждые два последовательных бита (2B) передаются за один битовый интервал сигнала, который может иметь четыре состояния (1Q).
- У этого метода сигнальная скорость в два раза ниже, чем NRZ и AMI кодов, а спектр сигнала в два раза уже.
- Этот метод требует сложного передатчика и приемника, которые должны различать не два уровня, а четыре.



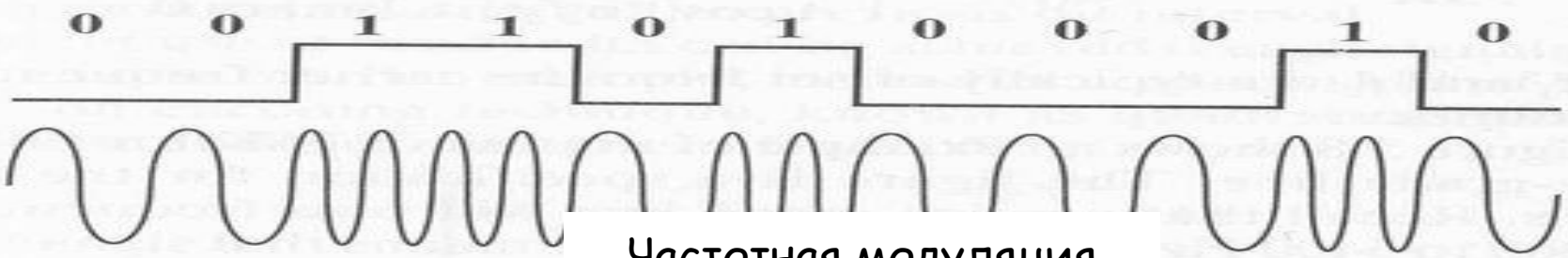
Цифровые данные – Аналоговый сигнал

- *Телефонные сети были созданы для передачи и коммутации аналоговых сигналов в голосовом диапазоне частот от 300 до 3400 Гц.*
- *Модем (МОдулятор-ДЕМодулятор) преобразует цифровой сигнал в аналоговый в надлежащем диапазоне частот и наоборот.*
- *Есть три основных метода модуляции для преобразования цифровых данных в аналоговую форму:*
  - *амплитудная модуляция*
  - *частотная модуляция*
  - *фазовая модуляция.*

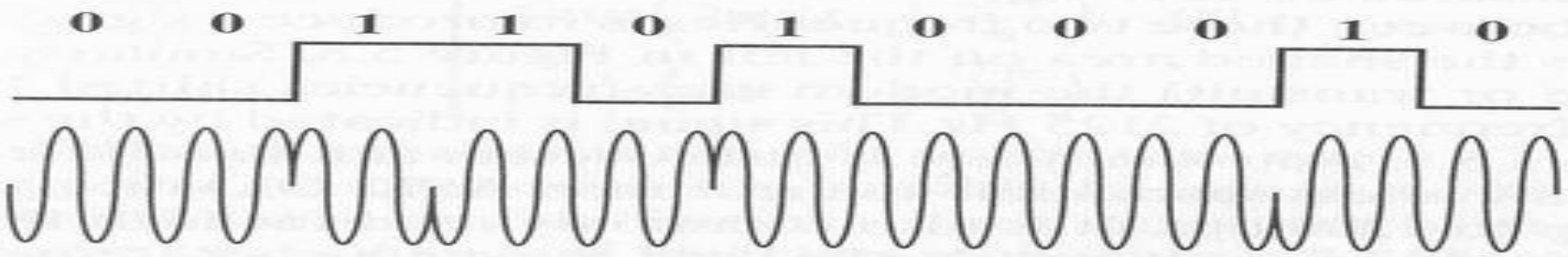
Цифровые данные – аналоговый сигнал



Амплитудная модуляция



Частотная модуляция

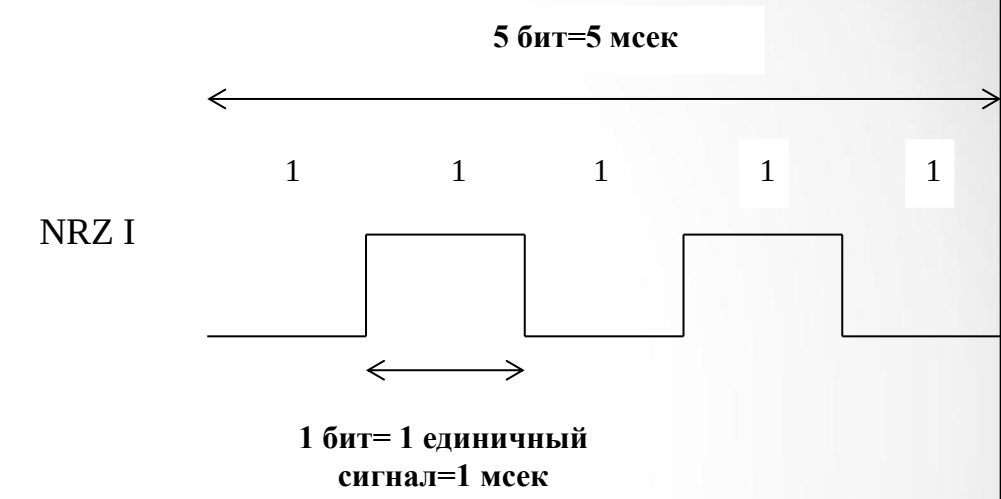


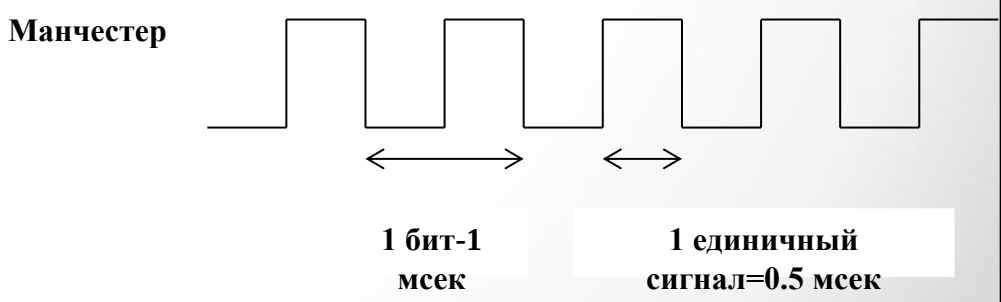
Фазовая модуляция

Сигнальная скорость

$$D = R/b\ ,$$

- где D – сигнальная скорость, R – битовая скорость в бит/сек., b – количество бит на единичный сигнал





Цифровые данные – Аналоговый сигнал

$$D=R/b=R/(\log_2 L),$$

- где D – скорость модуляции (сигнальная скорость)
- R – битовая скорость (скорость передачи данных)
- L – число разных уровней единичных сигналов
- b – число бит на единичный сигнал.

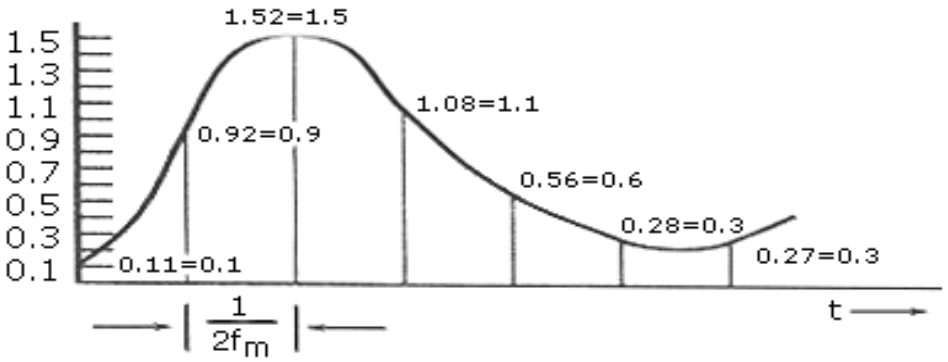
Аналоговые данные – Цифровой сигнал

- АЦП (Аналогово-Цифровой Преобразователь) превращает аналоговые данные в цифровую форму ЦАП (Цифро-Аналоговый преобразователь) выполняет обратную процедуру

  Устройство, объединяющее в себе функции и АЦП и ЦАП, называют кодеком (кодер-декодер)

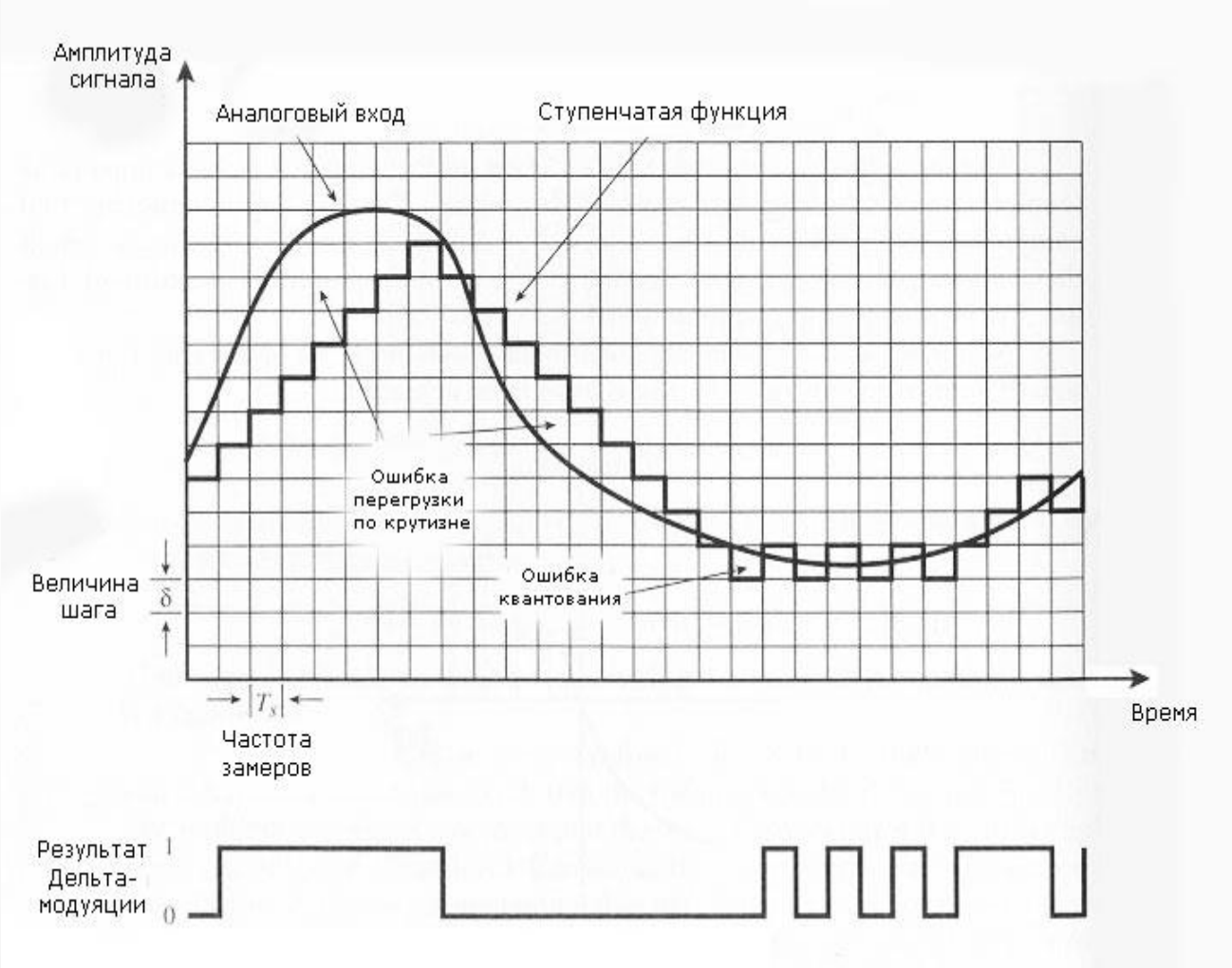
- Два основных метода преобразования аналогового сигнала в цифровую форму:
  - импульсно кодовую модуляцию и
  - дельта модуляцию

Импульсно-Кодовая Модуляция

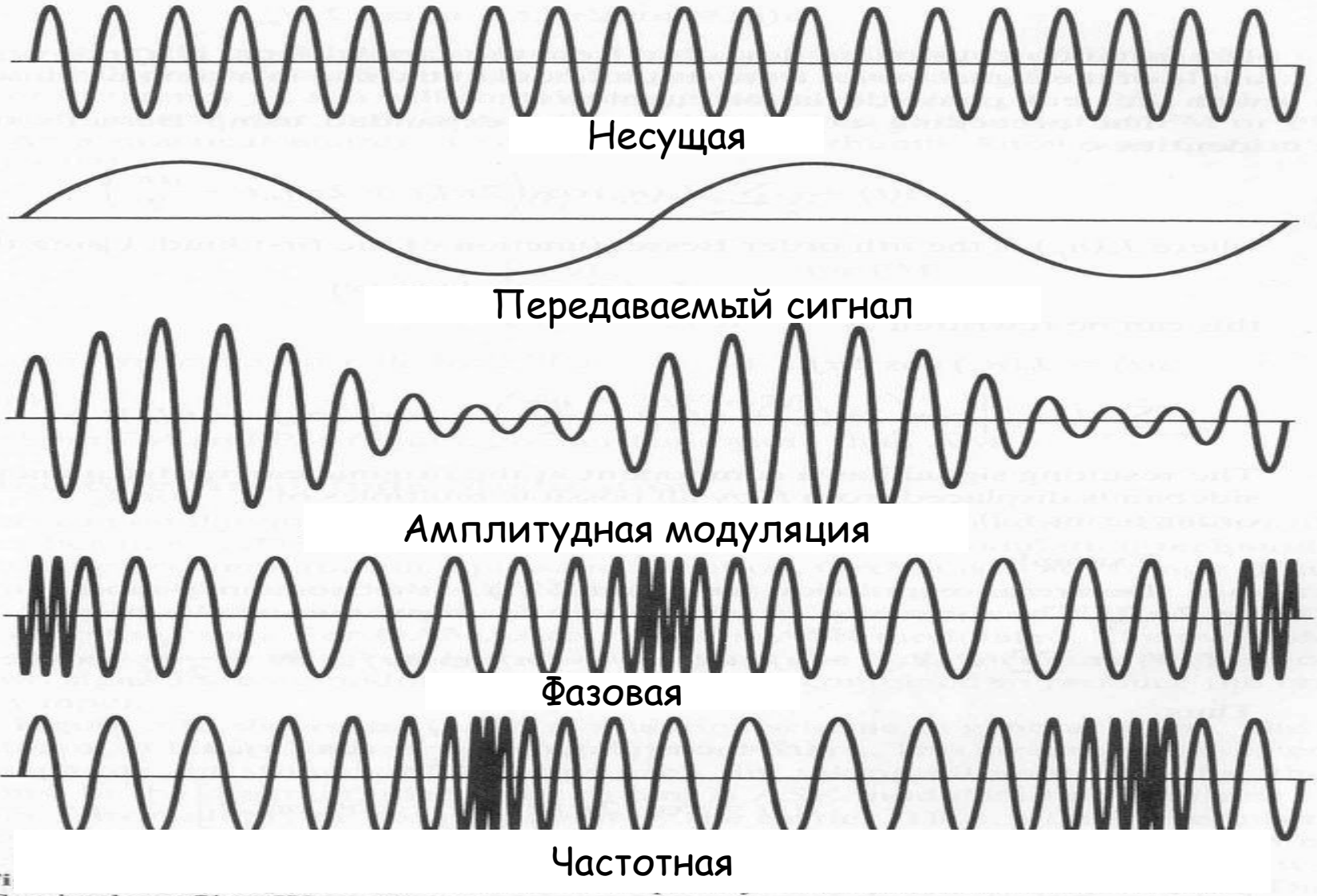


№ уровня	Двоичный эквивалент	ИКМ-сигнал
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	

Дельта модуляция



Аналоговые данные – аналоговый сигнал



Fi
Carrier by a Sine-Wave Signal

Аналоговые данные – аналоговый сигнал

- Метод квадратичной амплитудной модуляции QAM (Quadrature Amplitude Modulation) – это комбинация амплитудной и фазовой модуляций. Идея этого метода состоит в том, что можно по одной и той же линии послать одновременно два разных сигнала с одинаковой несущей частотой, но сдвинутых по фазе друг относительно друга на 90°. Каждый сигнал генерируется методом амплитудной модуляции.
- Применяется в технологии ADSL.

Среды передачи

(т.1 стр.84 – 91)

Среды передачи

- характеристики физической среды:
  - полоса пропускания
  - пропускная способность
  - задержка
  - затухание
  - помехоустойчивость
  - достоверность передачи
  - стоимость
  - простота прокладки
  - сложность в обслуживании.

Среды передачи

- магнитные носители
- витая пара
- среднеполосный и широкополосный коаксиальные кабели
- оптоволокно

Среды передачи

- Магнитные носители
- Витая пара

Витая пара

Неэкранированная витая пара
Экранированная витая пара
Пары внутри экрана
Медные жилы в изоляции, перевитые попарно
Оболочка

Витая пара

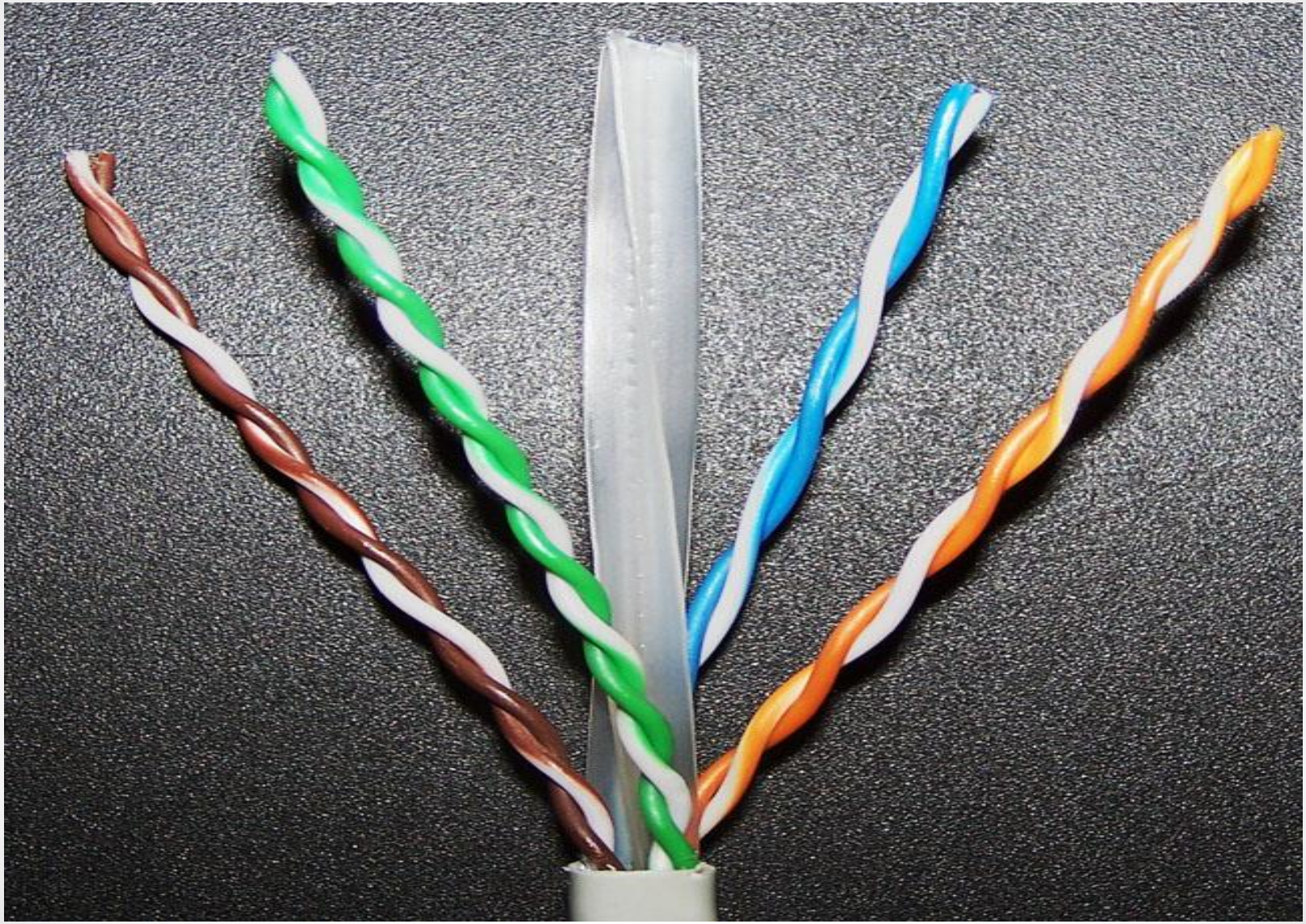
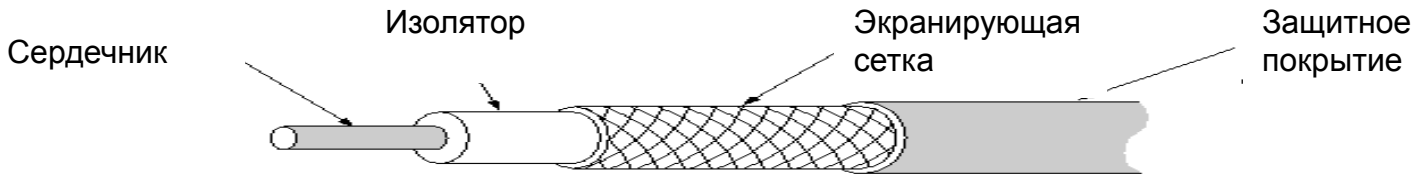


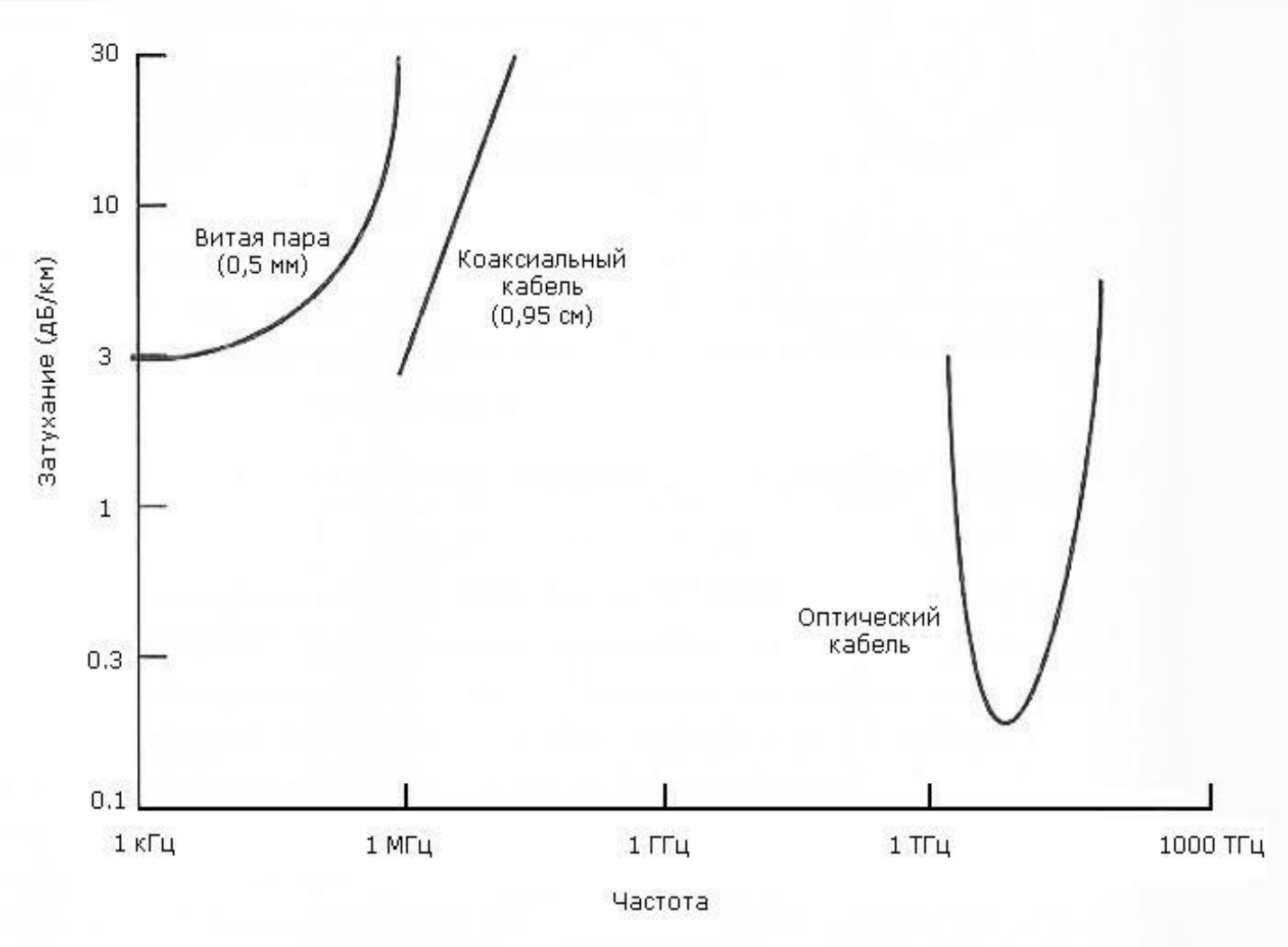
Table 4.2 Comparison of Shielded and Unshielded Twisted Pair

	Attenuation (dB per 100 m)			Near-end C		osstalk (dB)	
Frequency (MHz)	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP	Category 3 UTP	Cate U	gory 5 TP	150-ohm STP
1	2.6	2.0	1.1	41		2	58
4	5.6	4.1	2.2	32		3	58
16	13.1	8.2	4.4	23		4	50.4
25	—	10.4	6.2	—		1	47.5
100	—	22.0	12.3	—		2	38.5
300	—	—	21.4	—		—	31.3



Коаксиальный кабель

Затухание в кабельных средах



Оптоволокно

Оптоволокно
а) одиночное; б) множественное

Сравнение медного кабеля и оптоволокна

- оптоволокно позволяет передавать сигнал на большее расстояние без промежуточного усиления (от 30 км и более для оптоволокна и 5 км для меди)
- оптоволокно тоньше.
- оптоволокно легче: 1 км 1000 парника весит 8 000кг оптоволоконная пара аналогичной пропускной способности и длины - 100 кг.
- оптоволокно трудно обнаружить, оно не излучает, а следовательно найти и повредить.

Сравнение медного кабеля и оптоволокна

- оптоволокно инертно к электромагнитным воздействиям, радиации; ему не страшны нарушения питания, агрессивная химическая среда.
- оптоволокно сложнее монтировать
- работа с ним требует специальной подготовки инженеров, которая пока не столь распространена.
- подключение к оптоволокну дороже пока, чем подключение к витой паре.

Table 4.1 Point-to-Point Transmission Characteristics of Guided Media [GLOV98]

	Frequency Range	Typical Attenuation	Typical Delay	Repeater Spacing
Twisted pair (with loading)	0 to 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 μs/km	2 km
Twisted pairs (multi-pair cables)	0 to 1 MHz	3 dB/km @ 1 kHz	5 μs/km	2 km
Coaxial cable	0 to 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 μs/km	1 to 9 km
Optical fiber	180 to 370 THz	0.2 to 0.5 dB/km	5 μs/km	40 km

THz = TeraHerz = 10^{12} Hz.