

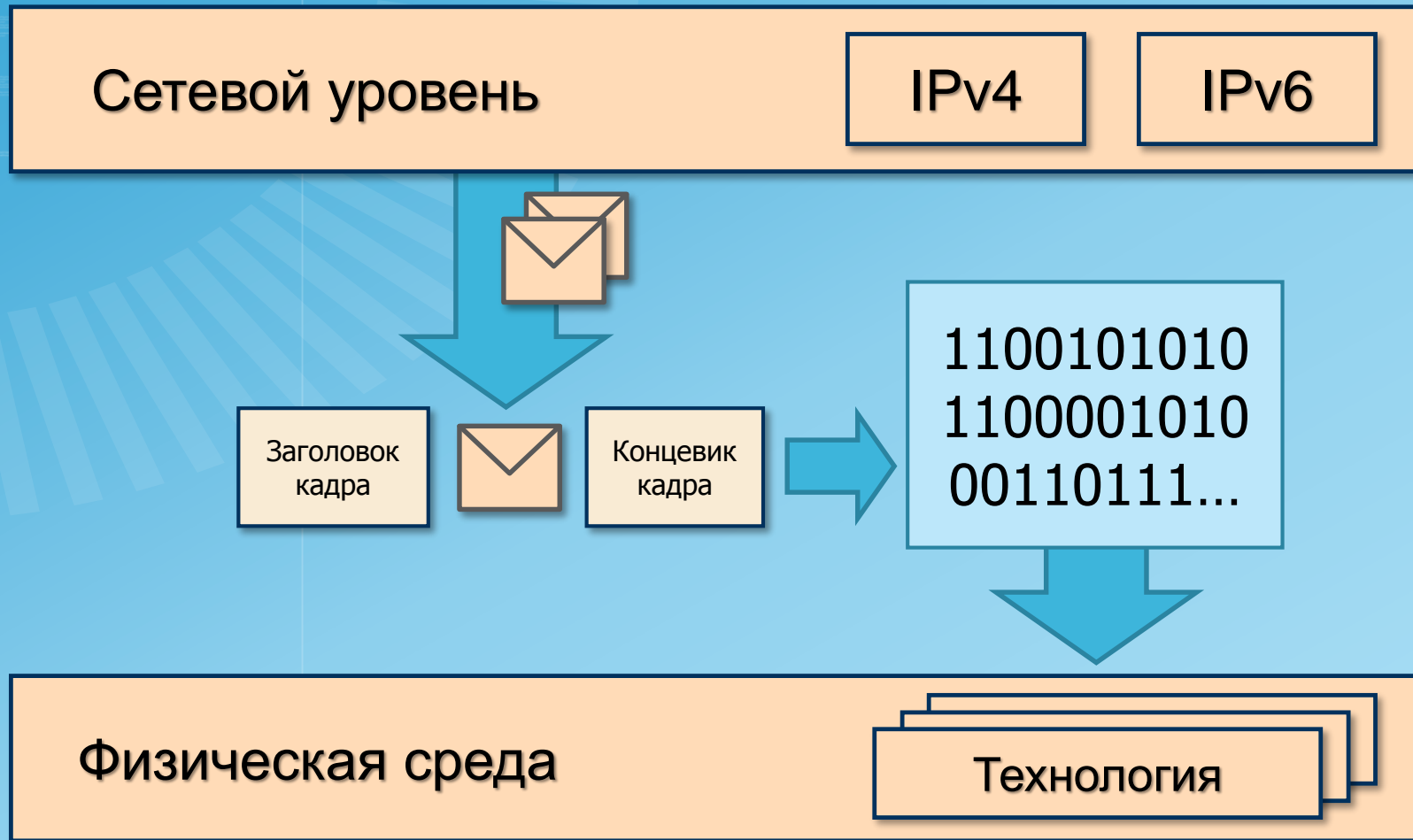
Канальный уровень OSI Стандартные ЛВС: Ethernet

Канальный уровень

Data Link Layer

- Протоколы канального уровня описывают способы обмена кадрами данных при обмене данными между устройствами по общей среде
- Функции канального уровня:
 - разделение среды передачи
 - формирование и пересылка последовательностей бит (кадров) от отправителя к адресату
 - контроль ошибок
- Примеры: Ethernet, Token ring; PPP, HDLC
- Единица данных – *кадр (frame)*

Функции канального уровня



Подуровни МАС и LLC

Сетевой уровень

Logical Link Control (LLC)

- сопряжение с вышестоящими протоколами стека
- формирование универсальных PDU LLC
- управление потоком данных

Media Access Control (MAC)

- регулировка доступа к среде передачи
- формирование спец. кадров MAC
- контроль ошибок

Ethernet 802.3

Wi-Fi 802.11

Bluetooth 802.15

Физический уровень

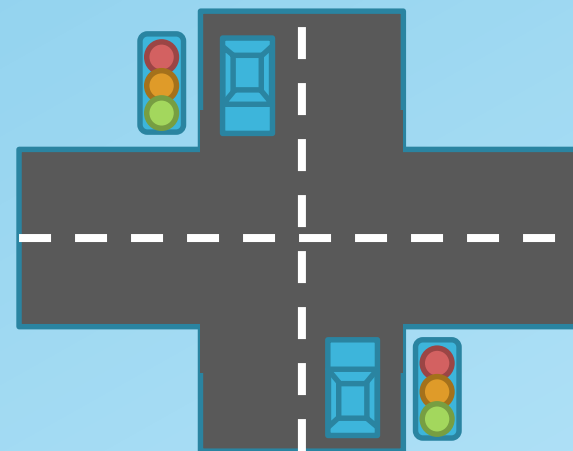
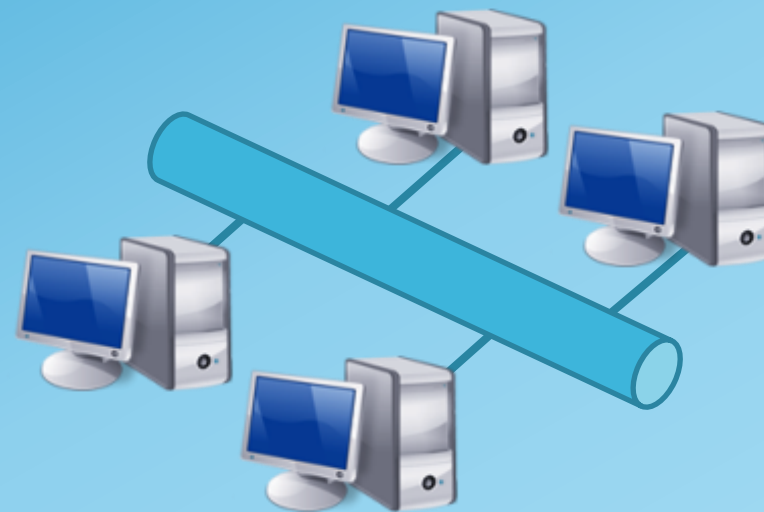
Стандарты канального уровня



- ▣ **IEEE 802.2:** Управление логическим каналом (Logical link control – LLC)
- ▣ **IEEE 802.3:** Локальная сеть Ethernet
- ▣ **IEEE 802.5:** Локальная сеть Token Ring
- ▣ **IEEE 802.11:** Беспроводная LAN (Wi-Fi)
- ▣ **IEEE 802.15:** Bluetooth
- ▣ **IEEE 802.16:** WiMax (3G)
- ▣ **ITU-T G.992:** Технология ADSL
- ▣ **ITU-T G.8100 – G.8199:** MPLS
- ▣ **ITU-T Q.922:** Frame Relay
- ▣ **ISO 13239:** Протокол HDLC
- ▣ **ISO 9314, ANSI X3T9.5, ANSI X3T12:** FDDI

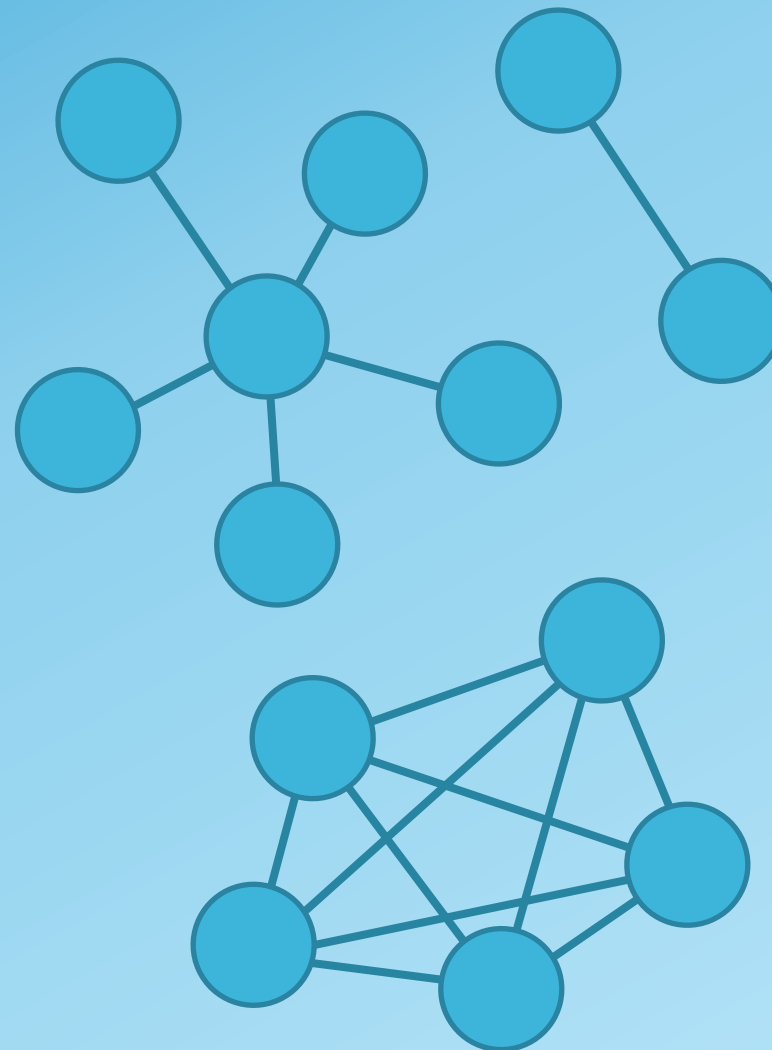
Управление доступом к среде

- Необходимы правила использования общих средств передачи данных (аналог ПДД).
- Влияют:
 - Топология (как связь между узлами отображается для канального уровня)
 - Способ доступа узлов к среде (напр., точка-точка или общая среда)

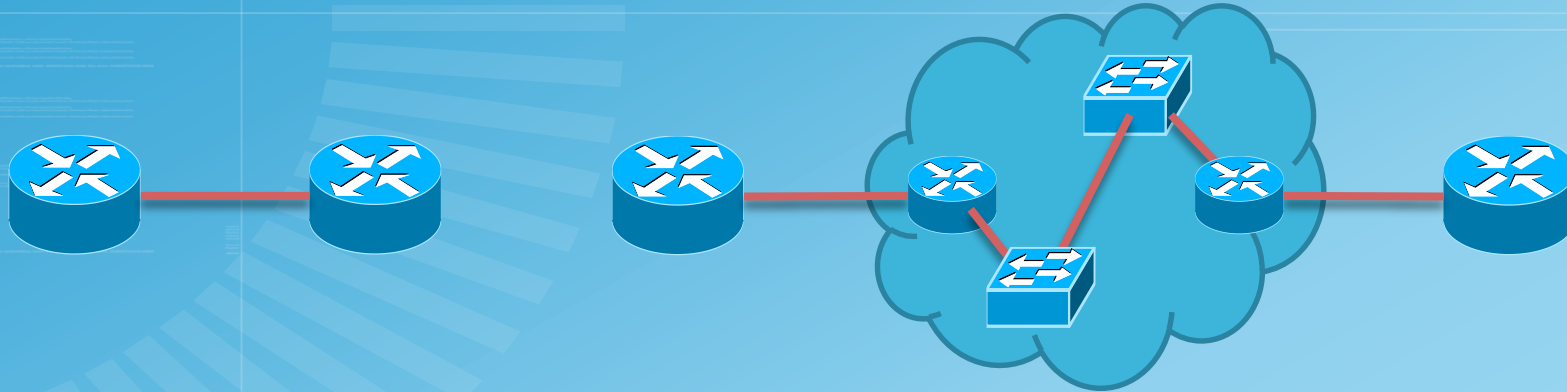


Физические топологии WAN

- **Двухточечная** топология (точка-точка): простейшая топология с постоянным соединением между узлами
- **Hub-and-spoke** (звезда): подключение периферийных узлов к центральному с помощью двухточечных соединений
- **Полносвязная** (full/partial mesh) топология: двухточечные соединений каждый-с-каждым



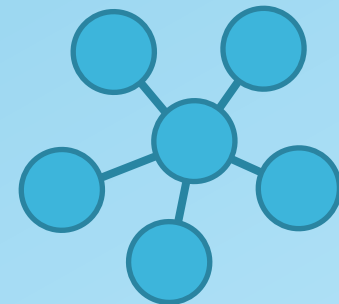
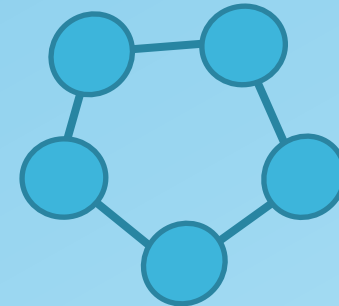
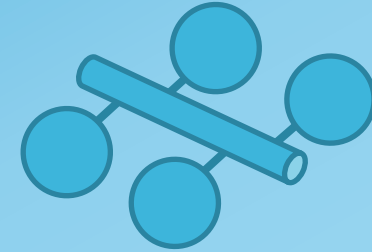
Логическая точка-точка



- ❑ Ограничение до 2 узлов
- ❑ Упрощенная схема адресации
- ❑ Упрощенный протокол доступа
- ❑ Виртуальные каналы связи
- ❑ Полу- и полнодуплексная передача

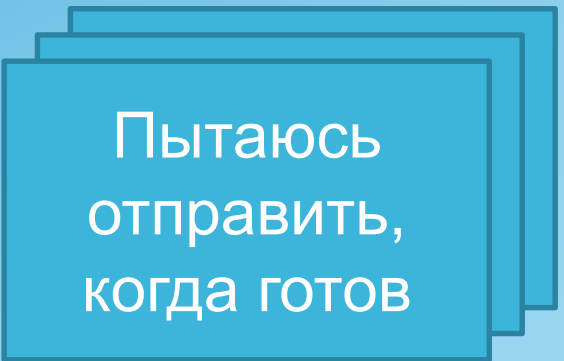
Физические топологии LAN

- **Шина:** все узлы связаны друг с другом общей шиной (проводником, кабелем) и имеют оконцовку на концах шины
- **Кольцо:** узлы подключены к соседним узлам, формируя замкнутый контур связи в форме кольца
- **Звезда:** все узлы подключаются к центральному промежуточному устройству (коммутатору)



Доступ к физической среде

- **Конкурентный** (множественный) доступ: все узлы конкурируют за использование среды, но имеют особый план на случай коллизии
- **Контролируемый** доступ: каждый узел использует среду в специально отведённое время, коллизии исключены



Пытаюсь
отправить,
когда готов

The diagram illustrates the CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) access method. It consists of three overlapping blue rectangular boxes. The top box contains the text 'Пытаюсь отправить, когда готов' (I try to send when ready). The boxes are slightly offset to the right and down, creating a sense of sequence or repetition.



Отправляю

Жду своей очереди

The diagram illustrates the CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) access method. It consists of two main parts. The top part is a single blue rectangular box containing the text 'Отправляю' (I send). Below it is a stack of three overlapping blue rectangular boxes, with the top one containing the text 'Жду своей очереди' (I wait for my turn). The boxes are slightly offset to the right and down, creating a sense of sequence or repetition.

Media Access Control (MAC)



IEEE 802.3 (CSMA/CD)



IEEE 802.5 (Token ring)

■ Служит для:

- регулировки доступа узлов сети к физической среде передачи
- формирования кадра MAC (дополнение PDU LLC информацией об адресах узлов и контрольной суммой кадра)
- выявления ошибок передачи путем подсчёта контрольной суммы кадра

■ Формат кадра MAC зависит от применяемого протокола канального уровня (Ethernet, Token ring и др.)

Кадры канального уровня

- Между какими узлами осуществляется связь?
- Когда связь между отдельными узлами начинается, а когда заканчивается?
- Какие ошибки возникли при связи узлов?
- Между какими узлами произойдёт дальнейшая связь?

Заголовок	Данные	Концевик
-----------	--------	----------

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">■ Флаг начала кадра■ Адресация■ Управление потоком | <ul style="list-style-type: none">■ Контроль ошибок■ Флаг конца |
|--|--|

Структура кадра определяется
протоколом передачи (MAC)

ЛВС Ethernet IEEE 802.3

- Самая распространённая технология ЛВС
- Метод доступа к среде – CSMA/CD
- Скорости передачи данных
 - Ethernet – 10 Мбит/с
 - Fast Ethernet – 100 Мбит/с
 - Gigabit Ethernet – 1 Гбит/с
 - 10G Ethernet – 10 Гбит/с
 - 40G Ethernet, 100G Ethernet – 40 Гбит/с и 100 Гбит/с
- Применяемые физические среды передачи:
 - коаксиальный кабель
 - витая пара
 - одно- и многомодовые оптические кабели

История Ethernet

“фирменный”
Ethernet

- 22.05.1973, Ethernet Network – Xerox PARC
- 1980, Ethernet II (DIX) – DEC, Intel, Xerox



Технология
802.3

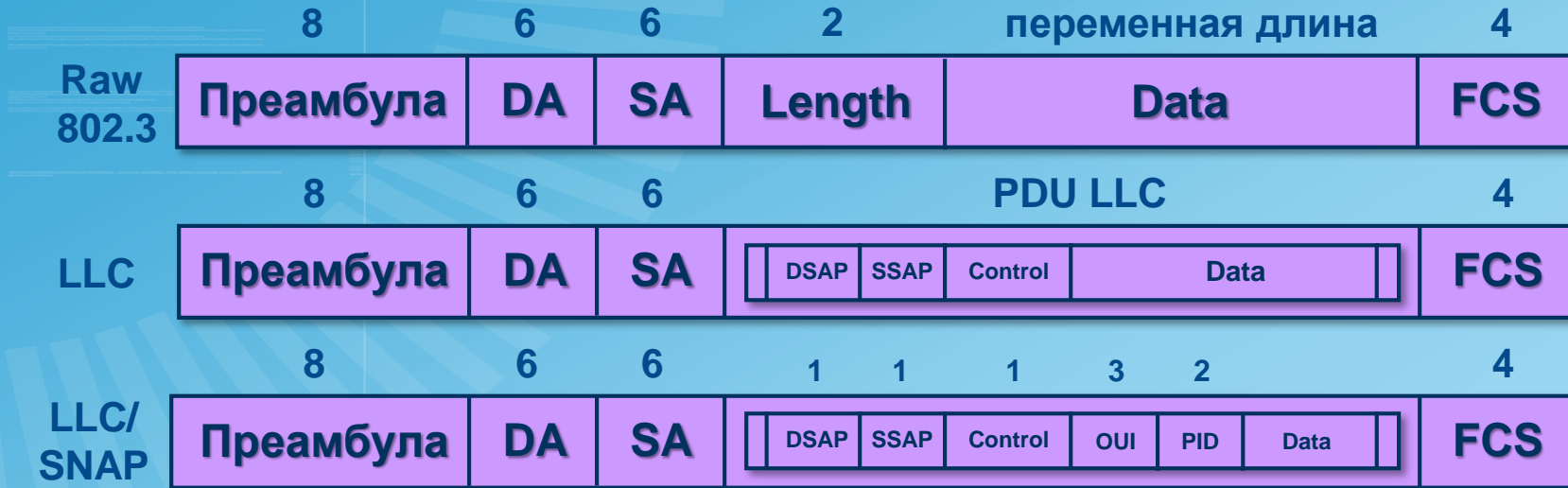
- 1983, Ethernet – IEEE 802.3
- 1995, Fast Ethernet – IEEE 802.3u
- 1998, Gigabit Ethernet – IEEE 802.3ab
- 2003, 10G Ethernet – IEEE 802.3ae
- 2010, 40G, 100G Ethernet – IEEE 802.3ba
- 2015 – Terabit Ethernet

MAC-кадр Ethernet (II)



- **Преамбула** (ограничитель) – синхронизация
10101010 ... 10101010 10101011
- **DA, SA** (Destination Address, Source Address) – MAC адреса получателя/отправителя
- **EtherType** (тип кадра) – тип протокола верхнего (сетевого) уровня (аналог DSAP/SSAP)
- **Data** – данные верхнего уровня
- **FCS** (Frame check sequence) – контрольная сумма по CRC32

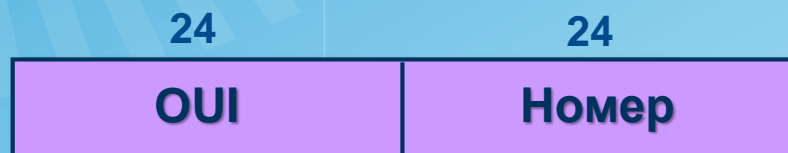
MAC-кадры Ethernet других форматов



- **PDU LLC** – модуль данных LLC (слайд 7)
- **SNAP** (Subnetwork Access Protocol)
 - **OUI** (Organizationally Unique Identifier) – идентификатор организации, контролирующей коды протоколов (для протоколов 802 это IEEE; OUI=000000)
 - **PID** (Protocol Identifier) – идентификатор протокола согласно кодировке организации по OUI (для IEEE PID=EtherType)

MAC-адрес: структура

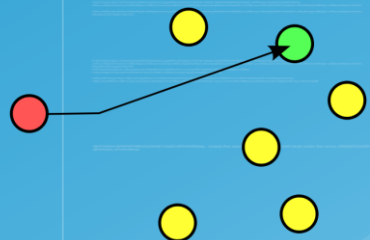
- **MAC-адрес** (физический адрес) – уникальный идентификатор, сопоставляемый с различными типами оборудования для компьютерных сетей
- Длина: 48 бит (6 байт/октетов) = 12 шестнадцатеричных (hexadecimal) разрядов



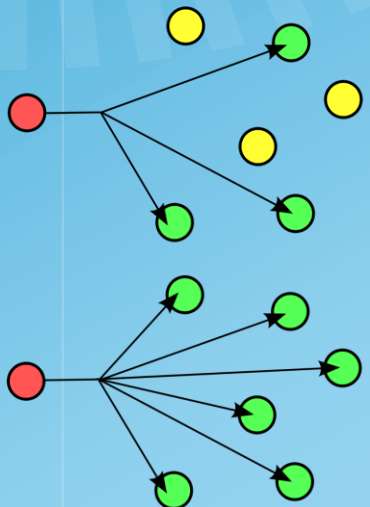
- **OUI** – регистрационный код вендора в IEEE
- **Номер** – идентификатор устройства, присвоенный вендором

00a0.173d.bc01
00-60-2F-3A-07-BC
00:2c:6a:5d:bb:28
~~003f-5ab3-75dg~~

MAC-адреса узлов и групп



- cmd.exe:
- ipconfig /all



```
Command Prompt
Microsoft Windows [Version 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\ss.STANKINORG>ipconfig /all

Ethernet adapter Ethernet:

    Connection-specific DNS Suffix . : 
    Description . . . . . : Realtek PCIe GBE Family Controller
    Physical Address. . . . . : 00-1F-D0-0C-A9-69
    DHCP Enabled. . . . . : No
    Autoconfiguration Enabled . . . . : Yes
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::7858:f0ad:40fa:fcec%3(Preferred)
    IPv4 Address. . . . . : 192.168.1.13(Preferred)
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.1.67
    DHCPv6 IAID . . . . . : 50339792
    DHCPv6 Client DUID. . . . . : 00-01-00-01-1B-E1-52-FD-00-1F-D0-0C-A9-69

    DNS Servers . . . . . : 192.168.1.2
                           82.179.84.1
    NetBIOS over Tcpip. . . . . : Enabled

C:\Users\ss.STANKINORG>
```

- MULTICAST (групповой): 01:00:5E:XX:XX:XX
- BROADCAST (широковещ.): FF:FF:FF:FF:FF:FF

CSMA/CD – обзор

- **CSMA/CD** (Carrier sense multiple access with collision detection) – метод *множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий*

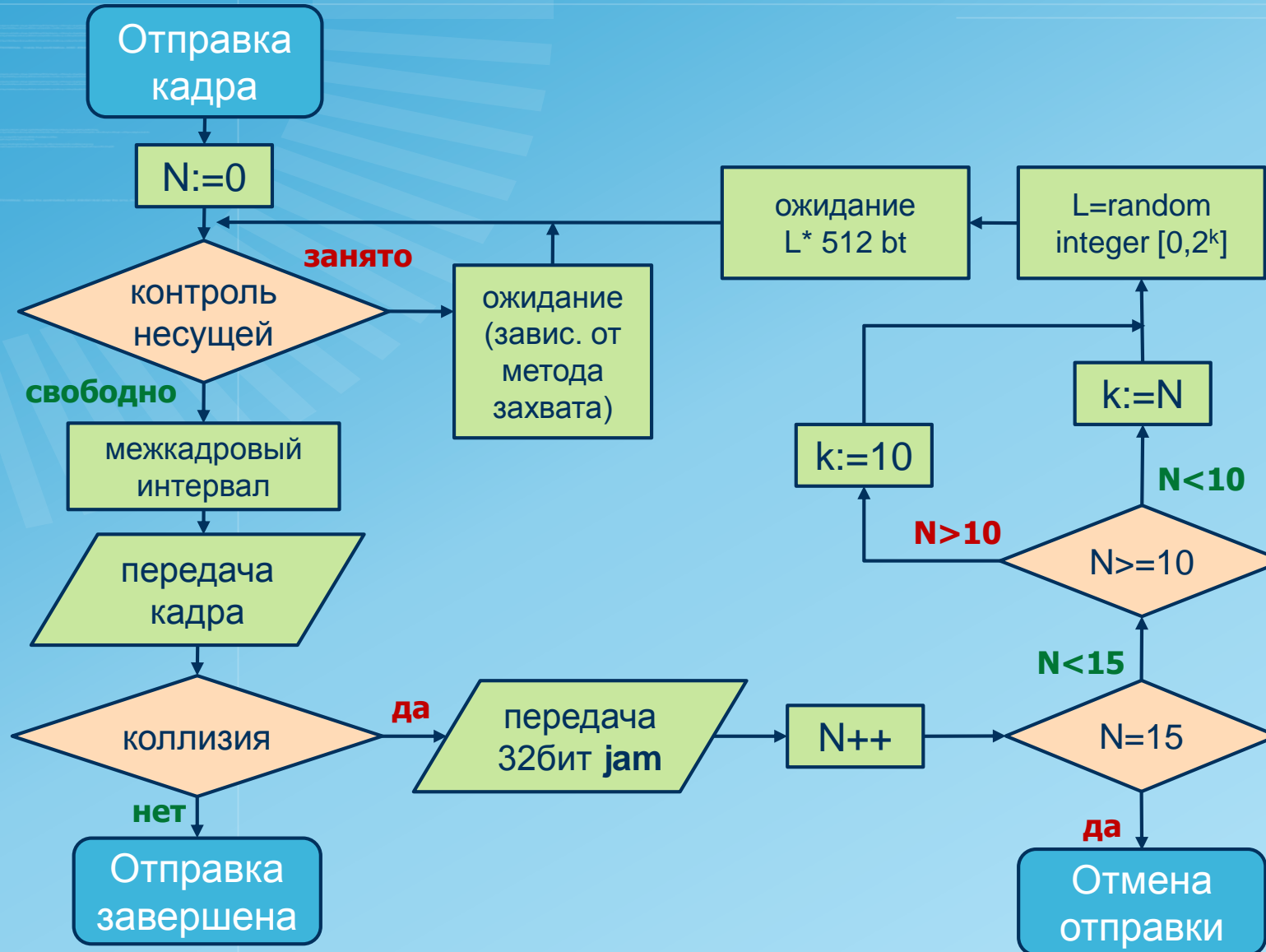
Особенности:

- Множественный доступ
 - Все узлы имеют постоянный доступ к несущей (и передаваемым по сети данным) – «логическая шина»
 - Захват среды передачи происходит по требованию любого узла в любой момент времени – «случайный доступ»
- Контроль несущей
 - Перед отправкой кадра узел проверяет, свободна ли среда
- Обнаружение коллизий
 - Одновременная отправка кадра несколькими узлами - коллизия. Требуется обнаружение и обработка

CSMA/CD – получение кадра

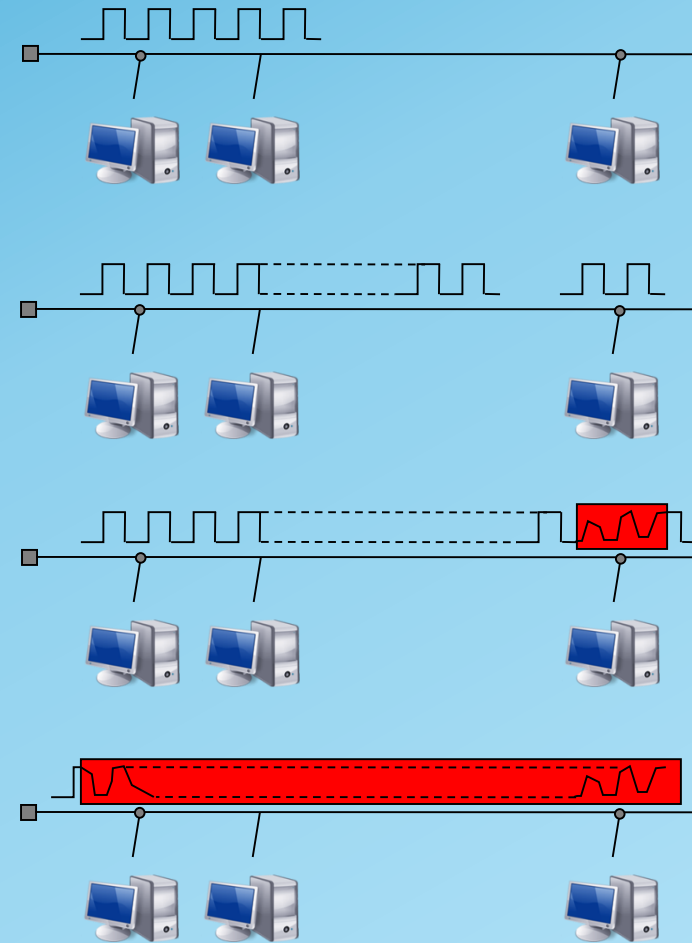


CSMA/CD – передача кадра



CSMA/CD – коллизия

- **Коллизия** – искажение передаваемых по сети кадров, происходящее в результате наложения кадров от двух и более станций, пытающихся вести одновременную передачу.
- **Алгоритм возникновения:**
 - Два узла начинают передачу одновременно;
 - Один узел начинает передачу раньше другого, но его сигналы не успевают достигнуть второго узла до того, как и он также начинает передачу.



CSMA/CD – этапы устранения коллизии

1. Обнаружение коллизии

- коллизию всегда обнаруживает станция, вызвавшая её (по разнице передаваемого и принимаемого сигналов)
- станция, обнаружившая коллизию, мгновенно приостанавливает передачу

2. Jam-последовательность (32 бит)

- специальный набор символов, усиливающий коллизию (т.к. короче минимального кадра) – повышение вероятности скорейшего обнаружения коллизии всеми станциями
- передается станцией, первой обнаружившей коллизию (т.е. вызвавшей её)

3. Случайная пауза

- выдерживается всеми станциями сети после получения **jam**

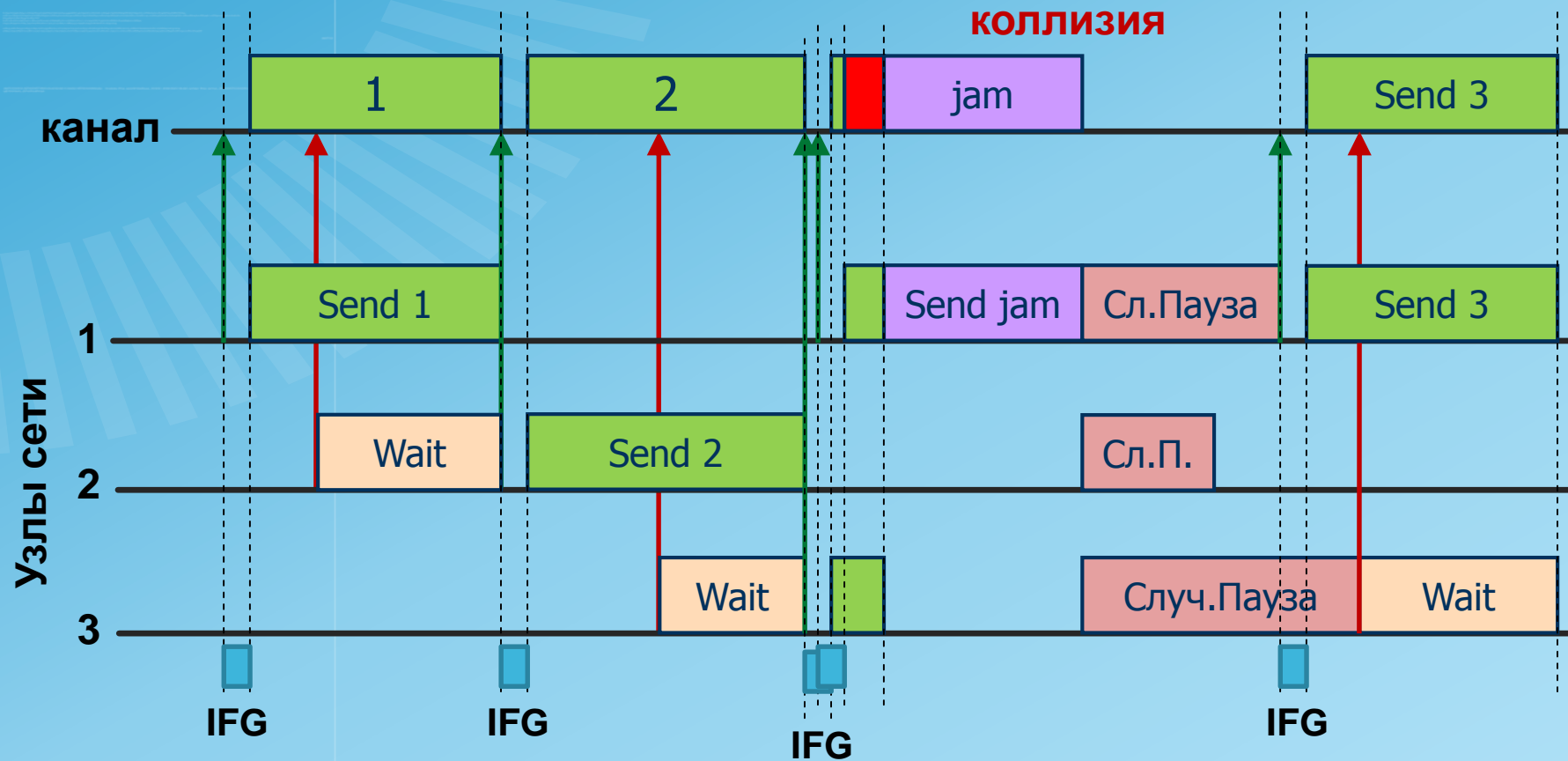
4. Повторная попытка передачи

- захват канала, IFG и т.д.

CSMA/CD – интервалы ожидания

- **Битовый интервал** (bt) – время между появлением двух последовательных бит данных на кабеле (обратно битовой скорости: 0,1 мкс для 10 Мбит/с);
- **Межкадровый интервал** (технологическая пауза, inter-frame gap – IFG):
 $IFG = 96\ bt$
 - приведение сетевых адаптеров в исходное состояние
 - предотвращение монопольного захвата канала одной станцией
- **Случайная пауза: $P = L \times 512\ bt$**
 - Для предотвращения повторных коллизий
 - L – случайное целое число из диапазона $[0; 2^N]$, где N – номер попытки ($N \leq 10$);
 - После 10 попыток N не увеличивается, т.о. случайная пауза (для 10 Мбит/с) принимает значения от 0 до 52,4 мс;
 - После 16 последовательных неудачных попыток передачи кадр отбрасывается.

CSMA/CD – временная диаграмма



Домен коллизий

- **Домен коллизий** (collision domain) – это область сети Ethernet, все узлы которой распознают коллизию независимо от того, в какой части этой области коллизия возникла
- Возникшая коллизия не распространяется за рамки соответствующего домена коллизий
- Чем больше количество доменов коллизий, тем менее заметны последствия каждой коллизии
- Для разбиения сети на домены коллизий применяют коммутаторы

Физический уровень Ethernet

10 Base-5

Битовая
скорость

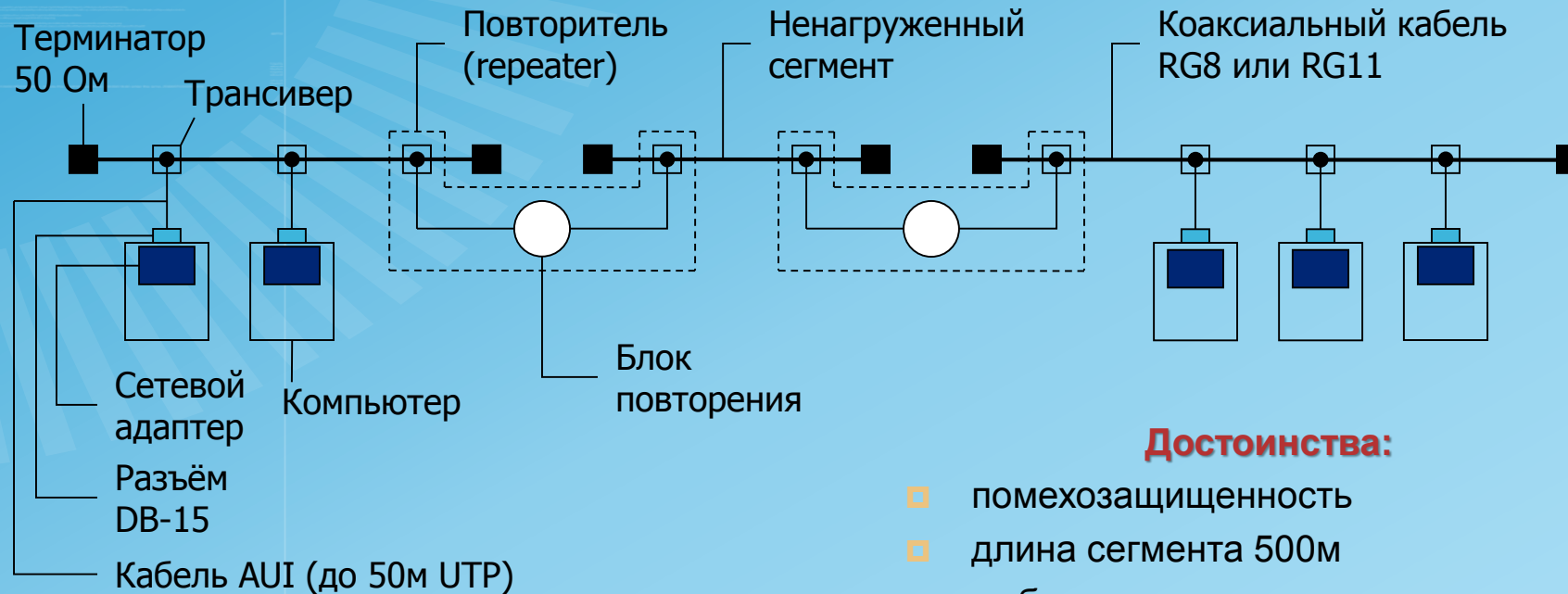
Частотная
характеристика

Код
физической
среды

Спецификация	Физическая среда	Длина сегмента
10 Base-5	«толстый» коаксиал RG-8	500
10 Base-2	«тонкий» коаксиал RG-58	185
10 Base-T	UTP Cat 3(5)	100
10 Base-F	MMF	2000

10 Base-5: «Thick» Ethernet

Физическая шина / Логическая шина



- **Терминатор** – «заглушка», препятствует распространению отраженных сигналов
- **Трансивер** (*tranceiver* = *transmitter* + *receiver*) – элемент сетевого адаптера, реализующий следующие функции приёма/передачи и обнаружения коллизий

Достоинства:

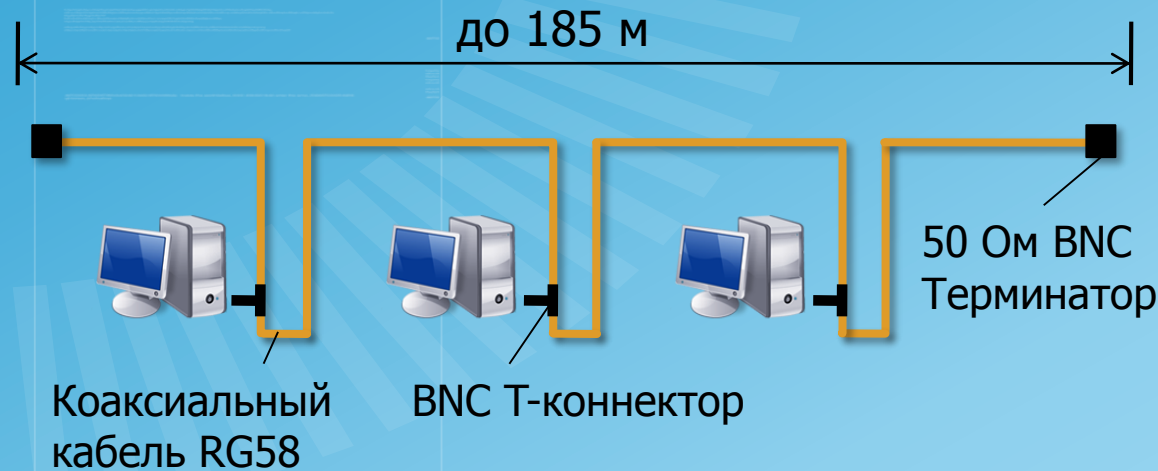
- помехозащищенность
- длина сегмента 500м
- мобильность узлов в пределах 50м кабеля OUI

Недостатки:

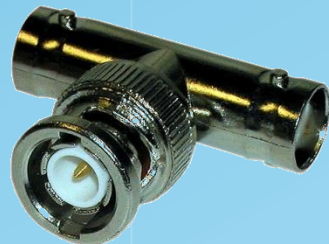
- высокая стоимость кабеля
- сложность монтажа кабеля
- низкая масштабируемость сети

10 Base-2: «Thin» Ethernet

Физическая шина / Логическая шина



T-образный
BNC-коннектор



50 Ом BNC
Терминатор



Достоинства:

- низкая стоимость кабеля
- упрощённый монтаж

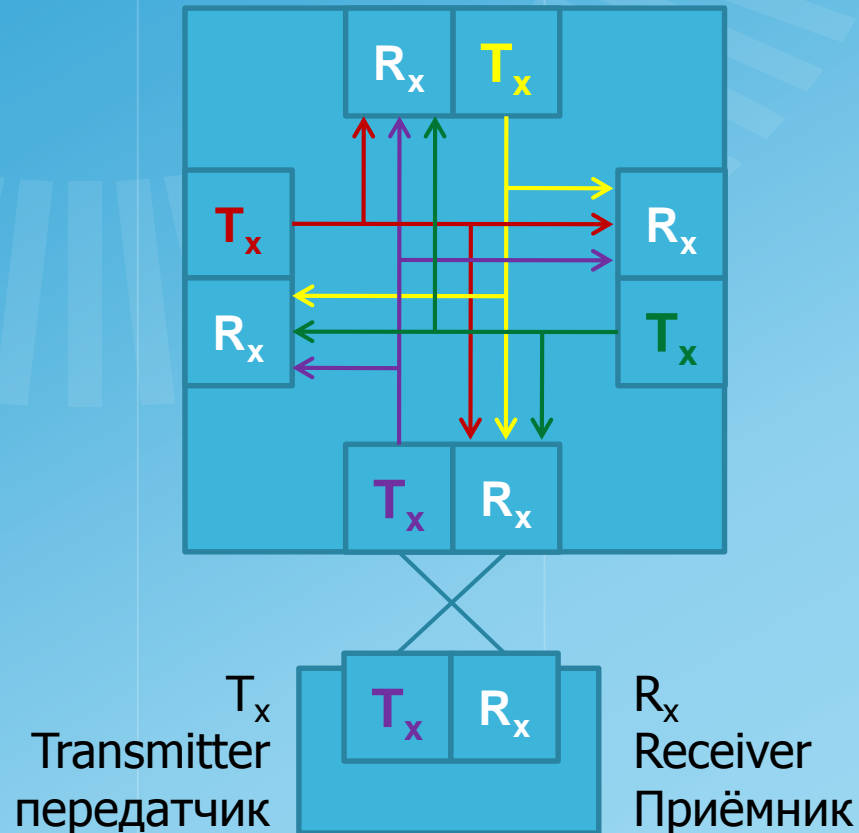
Недостатки:

- низкая помехозащищённость
- небольшая длина сегмента
- отсутствие мобильности узлов
- плохая эргономика

10 Base-T: Twisted pair

Физическая звезда / Логическая шина

Концентратор 10Base-T



Достоинства:

- масштабируемость сети
- управляемость сети

Недостатки:

- низкая помехозащищённость
- небольшая длина сегмента (100 м)
- повышенная стоимость:
 - дополнительное оборудование
 - расход кабеля

10 Base-F: Fiber optic

□ **FOIRL** (Fiber Optic Inter-Repeater Link)

- 2 × MMF(1000 м) магистраль между концентраторами/репитерами

□ **10 Base-FL** (Fiber Link)

- 2 × MMF (2000 м) взаимосвязь любых устройств (физическая/логическая звезда)

□ **10 Base-FB** (Fiber Backbone)

- 2 × MMF (2000 м) точечная магистраль между концентраторами/репитерами

□ **10 Base-FP** (Fiber Passive)

- пассивная MMF-звезда

Параметры спецификаций физического уровня классического Ethernet

Характеристика	Значение
Номинальная пропускная способность	10 Мбит/с
Максимальное число станций в сети	1024
Максимальное число сегментов в сети	5
Тип кодирования	Манчестерский

Параметр	10Base-5	10Base-2	10Base-T	10Base-F
Тип кабеля	«толстый» коаксиал	«тонкий» коаксиал	UTP Cat. 3(5)	2 × MMF
Максимальная длина сегмента	500м	185м	100м	2000м
Диаметр сети (с повторителями)	2500м	925м	500м	2500м
Физическая топология	шина	шина	звезда	Звезда / точка-точка
Логическая топология	шина	шина	шина	Звезда / точка-точка

Fast Ethernet: 100 Мбит/с

- Метод доступа CSMA/CD (CSMA для точечных полнодуплексных каналов)
- Сохранение формата кадра Ethernet II
- Физическая топология звезда, логическая топология шина/звезда
- Скорость 100 Мбит/с
 - $IFG = 0,96$ мкс
 - $bt = 0,01$ мкс
- Используемые физические среды:
 - UTP Cat.3 и выше
 - MMF, SMF

Физический уровень Fast Ethernet

Спецификация	Физическая среда	Топология	Тип кодирования
100 Base-TX*	2 пары UTP Cat.5+ (100м)	Физическая звезда, логическая шина (звезда)	4B5B, MLT-3
100 Base-T4	4 пары UTP Cat.3+ (100м)	Физическая звезда, логическая шина	8B6T, PAM-3
100 Base-T2	2 пары UTP Cat.3+ (100м)	Физическая звезда, логическая шина (звезда)	PAM-5
100 Base-FX	2 × MMF (400м/2000м)	Физическая звезда, логическая шина (звезда)	4B5B, NRZI
100 Base-SX**	2 × MMF (300м)	Физическая звезда, логическая шина	Манчестер-ский код
100 Base-BX10	1 × SMF (10км)	Физическая звезда, логическая звезда	4B5B, NRZI
100 Base-LX10	2 × SMF (10км)	Физическая звезда, логическая звезда	4B5B, NRZI

* оборудование совместимо с **10 Base-T**

** оборудование совместимо с **10 Base-FL**

half-duplex (полудуплекс)

full-duplex (дуплекс)

Gigabit Ethernet: 1 Гбит/с

- Метод доступа CSMA (только полнодуплексные каналы: коллизий нет)
- Сохранение формата кадра Ethernet II
- Физическая/логическая топология звезда
- Скорость 1 Гбит/с
 - $IFG = 9,6$ нс
 - $bt = 1$ нс
- Используемые физические среды:
 - UTP Cat.5 и выше
 - MMF, SMF

Физический уровень Gigabit Ethernet

Физическая звезда / Логическая звезда (только полнодуплексные каналы)

Спецификация	Физическая среда	Тип кодирования
1000 Base-T *	4 пары UTP Cat.5+ (100м)	4D-PAM5
1000 Base-TX	2 пары UTP Cat.6+ (100м)	4B5B, MLT-3
1000 Base-CX	2 пары UTP Cat.5+ (25м)	8B10B, NRZ
1000 Base-SX	2 × MMF (550м)	8B10B, NRZ
1000 Base-LX	2 × MMF (550м) 2 × SMF (5км)	8B10B, NRZ
1000 Base-ZX	2 × SMF (70км)	8B10B, NRZ
1000 Base-LX10	2 × SMF (10км)	8B10B, NRZ
1000 Base-BX10	1 × SMF (10км)	8B10B, NRZ

* обязательная совместимость с **10 Base-T**, **100 Base-TX**

10G Ethernet: 10 Гбит/с

- Метод доступа CSMA (только полнодуплексные каналы: коллизий нет)
- Сохранение формата кадра Ethernet II
- Физическая/логическая топология звезда
- Скорость 10 Гбит/с
 - $IFG = 0,96$ нс
 - $bt = 0,1$ нс
- Используемые физические среды:
 - UTP Cat.6 и выше, STP
 - MMF, SMF

Физический уровень 10G Ethernet

Физическая звезда / Логическая звезда
(только полнодуплексные каналы)

Спецификация	Физическая среда		Тип кодирования
10G Base-SR	2 × MMF (33м/300м)		64B/66B
10G Base-LR	2 × SMF (10км)		64B/66B
10G Base-ER	2 × SMF (40км)		64B/66B
10G Base-ZR	2 × SMF (80км)		64B/66B
10G Base-CX4	4 пары STP (15м)		8B10B, NRZ
10G Base-T	4 пары UTP Cat 6+ (100м)		8B10B, NRZ
10G Base-KX4 10G Base-KR	backplane (1м)		8B10B, NRZ
10G Base-SW	WAN PHY (OC-192 / STM-64 SONET/SDH)	(33/300м)	64B/66B
10G Base-LW		(10км)	64B/66B
10G Base-EW		(40км)	64B/66B

Настоящее будущее: 40GbE, 100GbE, TbE

**Физическая звезда / Логическая звезда
(только полнодуплексные каналы)**

Физическая среда	40GbE (не путать с 40Гбит/с DWDM)	100Gb Ethernet
backplane (1м)	40G Base-KR4	-
STP (10м)	40G Base-CR4	100G Base-CR10
MMF (100м)	40G Base-SR4	100G Base-SR10
SMF (10км)	40G Base-LR4	100G Base-LR4
SMF (40км)	-	100G Base-ER4

Terabit Ethernet (802.3bs – запланирован на 2020 г.)