

**Казанский национальный  
исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ**

**Сетевые технологии  
высокоскоростной  
передачи данных**

**Гайсин Артур Камилевич**

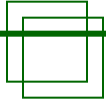
**+79274383540**

[akgaisin@gmail.com](mailto:akgaisin@gmail.com)

**Каф. РТС, ауд. 501**

# Практика 1

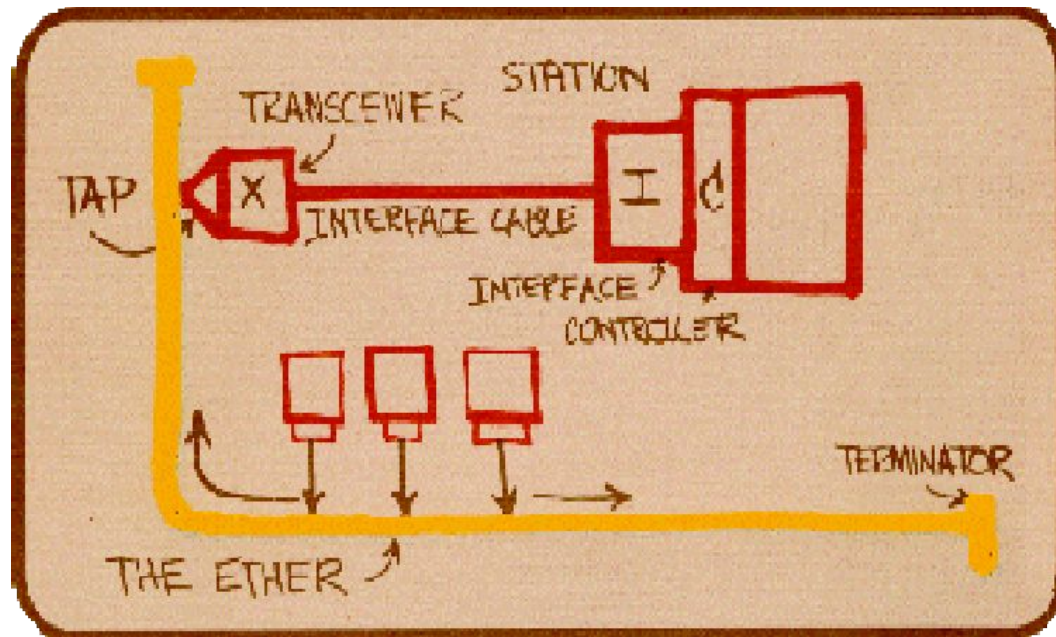
# История создания Ethernet



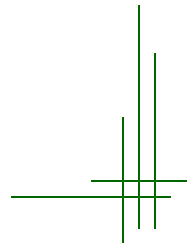
В 1973 году Роберт Меткалф и Давид Боггс (R. Metcalfe, D. Boggs) сотрудники лаборатории Херох в Пало-Альто разработали Ethernet, как сеть передачи информации между первыми графическими РС. Скорость передачи - 2.94 Мбит/с. По аналогии с законом Мура (Gordon Moore, сооснователь Intel), Р.Меткалф предсказал экспоненциальный рост сетей.



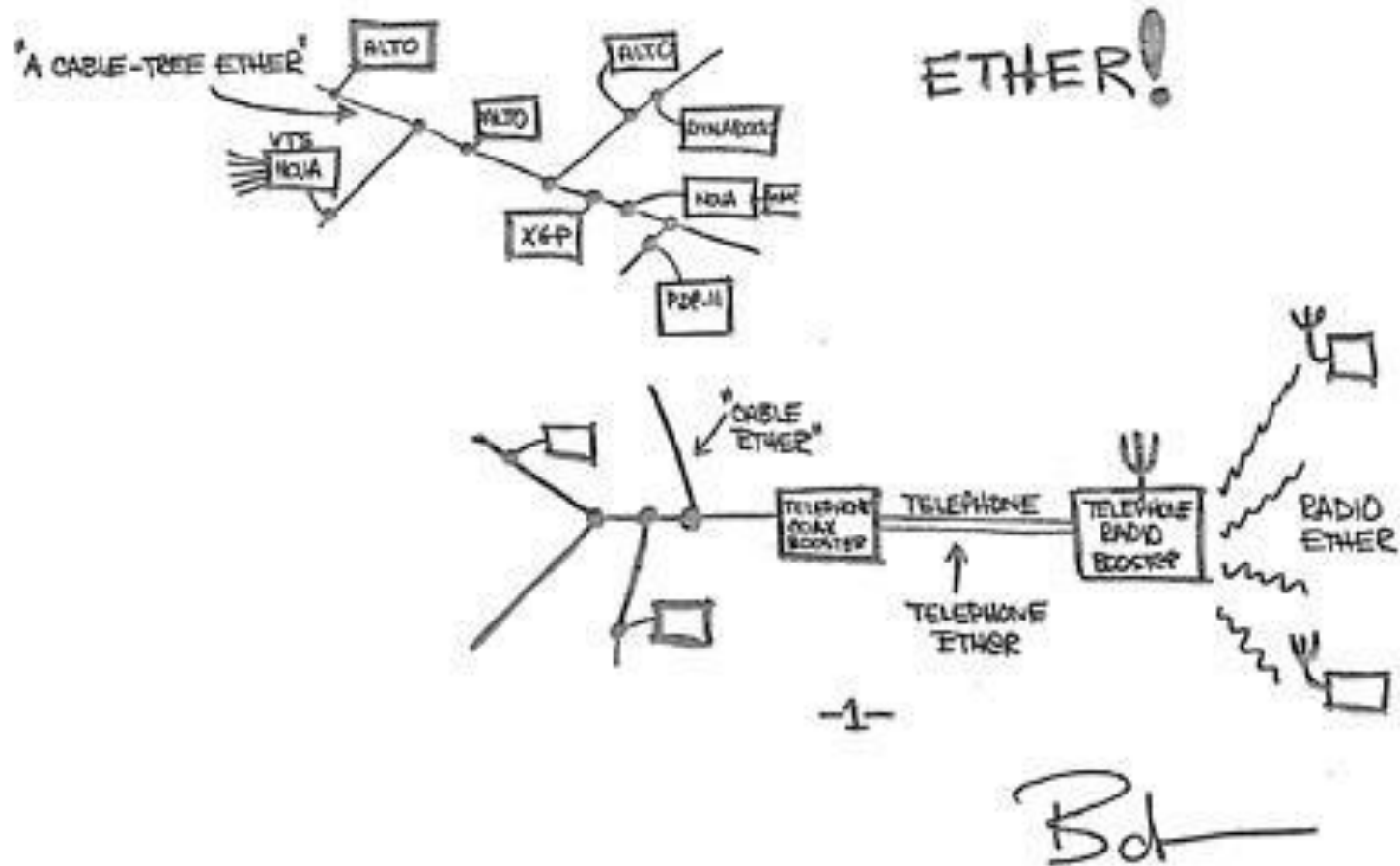
Р.Меткалф



Эскиз технологии Ethernet (Р.Меткалф)



# История создания Ethernet

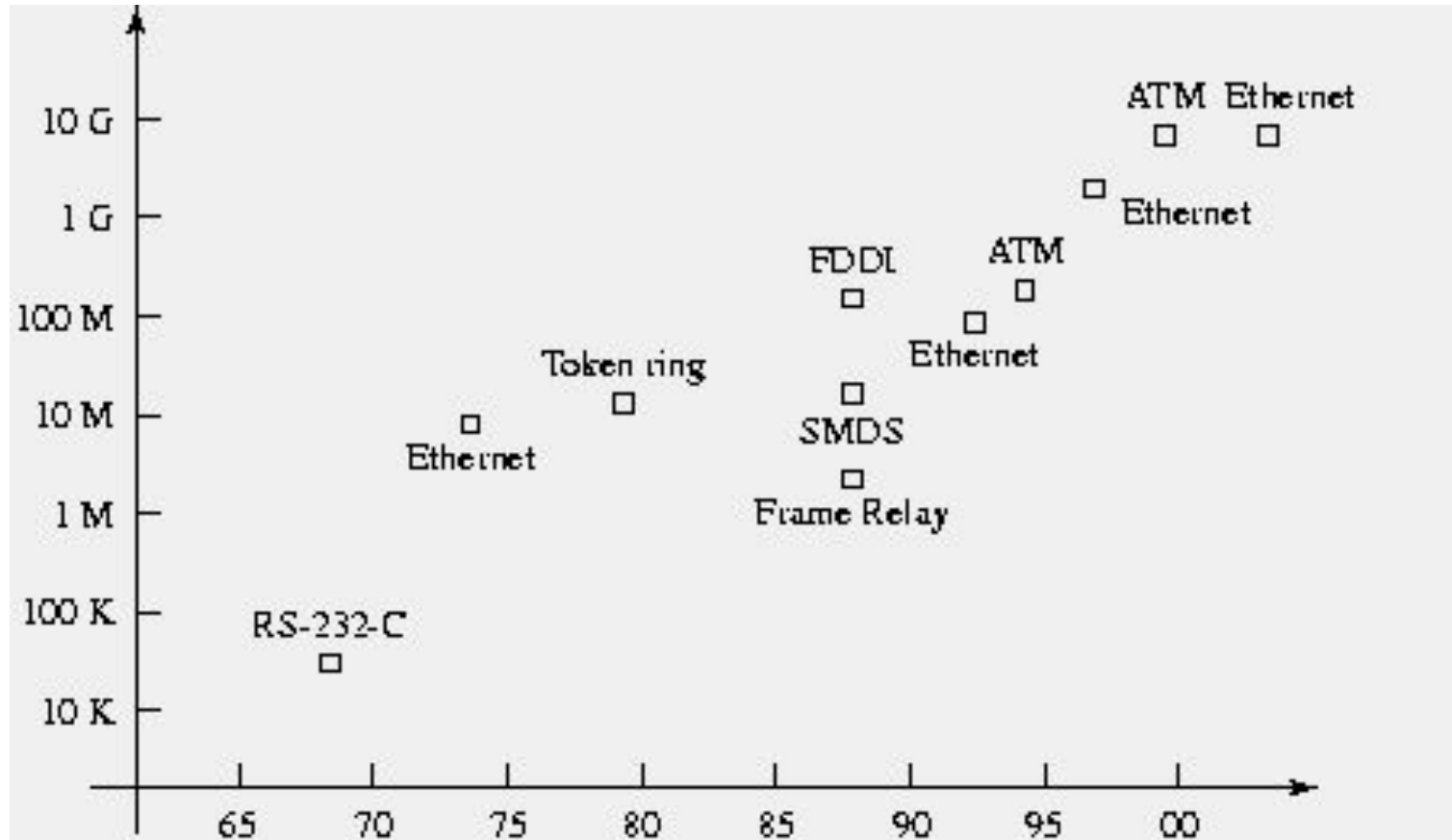


XEROX

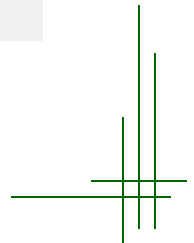
Эскиз технологии Ethernet (Р.Меткалф)

Источник: <http://www1.chapman.edu/soe/faculty/piper/teachtech/history.htm>

# История развития сетей



Источник: [http://www.ciw.cl/recursos/Ferguson/new\\_networks.htm](http://www.ciw.cl/recursos/Ferguson/new_networks.htm)



---

## Развитие Ethernet и IEEE 802.3

**1976:** Ethernet разработан исследовательским центром Xerox Palo Alto Research Center

**1980:** Компаниями DEC, Intel и Xerox разработана спецификация 10 Мбит/с

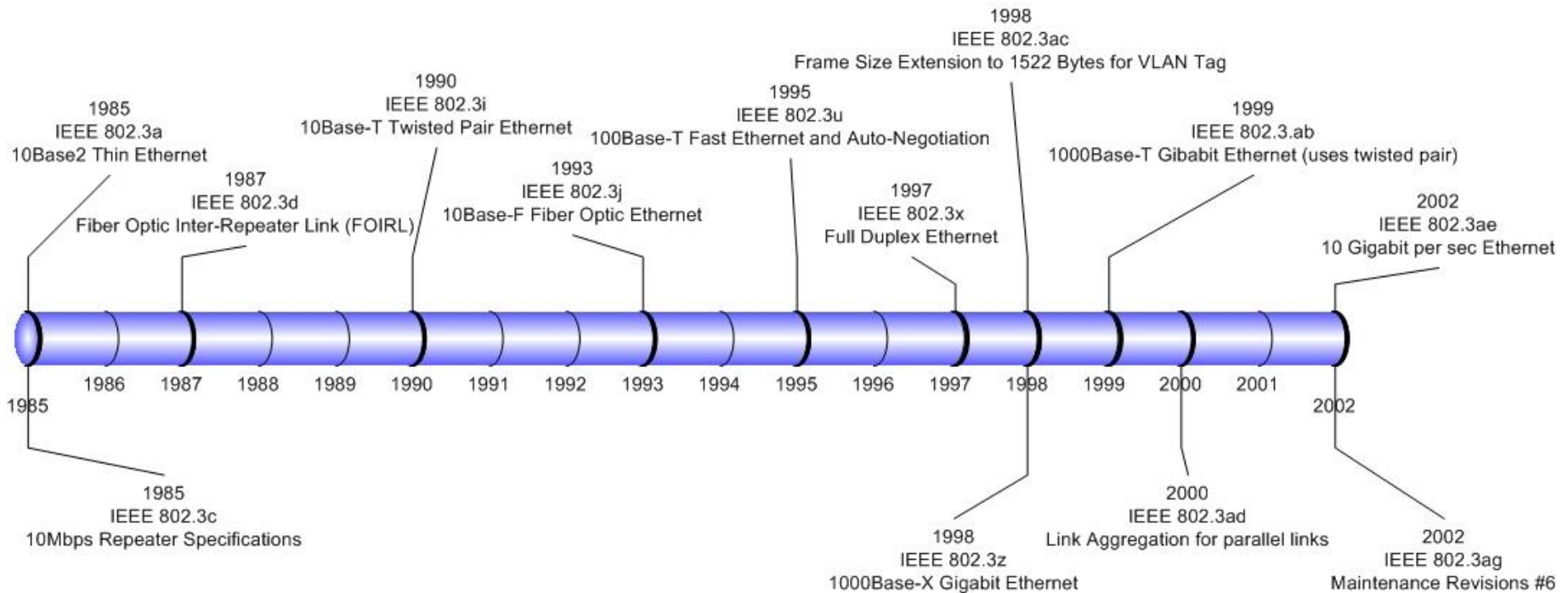
**1985:** Принят стандарт IEEE 802.3 \*

**1995:** Стандартизован 100 Мбит/с Fast Ethernet (IEEE 802.3u) \*

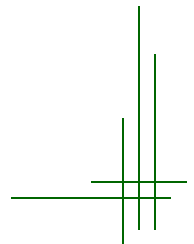
**1998:** Предложен стандарт 1 Гбит/с Gigabit Ethernet

**1999:** Начата разработка стандарта 10 Гбит/с Ethernet

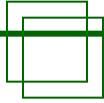
# История развития Ethernet



Источник: [http://www.dcs.gla.ac.uk/~bryce/Ethernet/IEEE\\_802.3\\_Extensions.htm](http://www.dcs.gla.ac.uk/~bryce/Ethernet/IEEE_802.3_Extensions.htm)



# Характеристики Ethernet

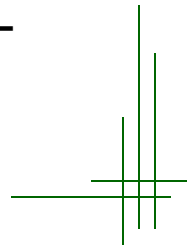


Ethernet – технология (сетевая архитектура) локальных вычислительных сетей, описанная стандартами физического и канального уровней модели **OSI/RM**.

Скорость передачи данных – 10 Мбит/с, 100 Мбит/с (Fast Ethernet), 1 Гбит/с (Gigabit Ethernet), 10 Гбит/с (10 Gigabit Ethernet). Внутри каждой спецификации существует еще несколько подвидов (например, 100Base-TX, 100Base-FX для Fast Ethernet), характеризующихся различными видами подключения к среде передачи (оптоволокно, витая пара, коаксиальный кабель), а также методами кодирования сигнала и включением/выключением тех или иных коммуникационных опций.

Как уже было сказано, на канальном уровне все устройства имеют свой адрес, обычно определенный аппаратно. В технологии Ethernet в качестве адреса используется 6-байтовый идентификатор **MAC** (medium access control, например, 00:00:C0:5E:83:0E).

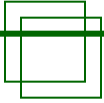
Различают широковещательные (broadcast), уникальные (unicast) **MAC**-адреса и **MAC**-адреса групповой рассылки (multicast).





# Характеристики Ethernet

---

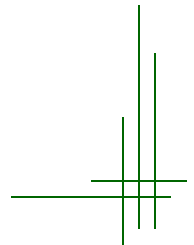


- 10 Мбит/с — Ethernet (10Base)
- 100 Мбит/с — Fast Ethernet (100Base)
- 1000 Мбит/с — Gigabit Ethernet (1000Base)
- 10 Гбит/с (некоторые спецификации на стадии принятия)

Среда передачи: экранированная и неэкранированная витая пара, оптоволокно, радиоволны.

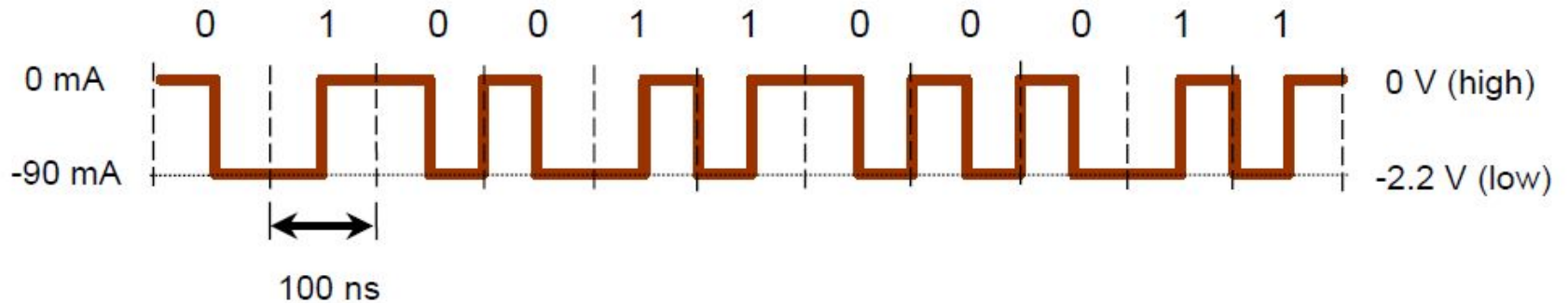
Кодирование на физическом уровне (для 10Мбит/с): манчестерский код (униполярный сигнал), повышение среднего напряжения в линии в случае коллизий отлавливается аппаратурой.

Характеристики: широковещательная система, станция может начать передачу в любой момент, конкуренция за среду передачи.

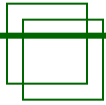


# Кодирование сигнала

- Применяется манчестерское кодирование
  - 0 : переход с высокого на низкий потенциал
  - 1 : переход с низкого на высокий потенциал



# CSMA/CD



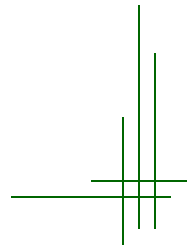
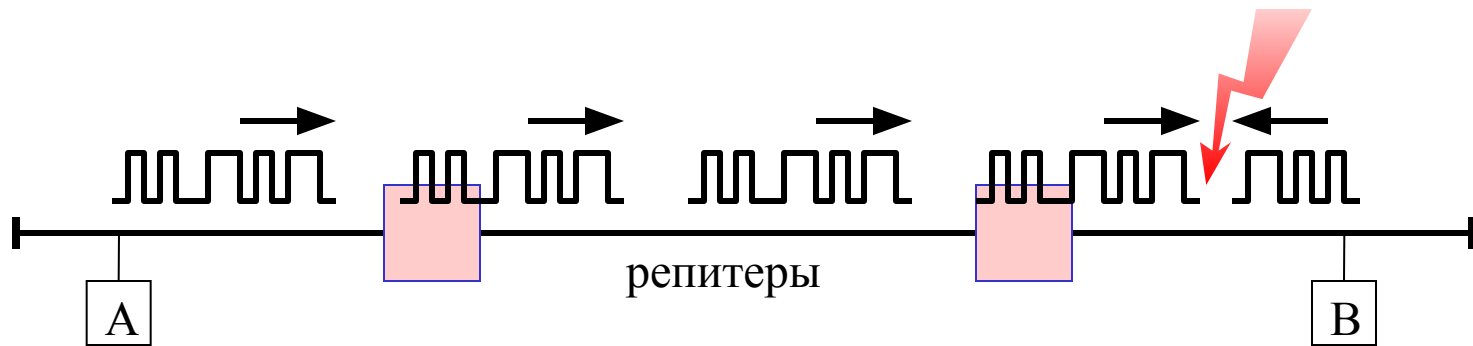
**Метод доступа к среде передачи** - множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов **CSMA/CD**.

CS (carrier sense) - постоянная проверка среды передачи (idle, busy).

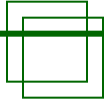
MA (multiple access) - если среда свободна, любая станция может начать передачу.

CD (collision detect) - обнаружение коллизий.

CSMA/CD работает только при включении полудуплексного режима.



# CSMA/CD

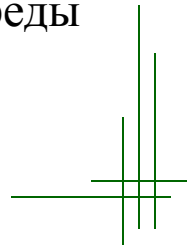


При обнаружении коллизии станция выдает в среду передачи специальный сигнал, называемый jam-последовательностью, облегчающий обнаружение коллизии другими станциями. Обычно jam-последовательность выдается с нарушением схемы физического кодирования.

После обнаружения коллизии каждый узел, который передавал кадр и столкнулся с коллизией, после некоторой задержки пытается повторно передать свой кадр.

Длина кабельной системы выбирается таким образом, чтобы за время передачи кадра минимальной длины сигнал коллизии успел бы распространиться до самого дальнего узла сети.

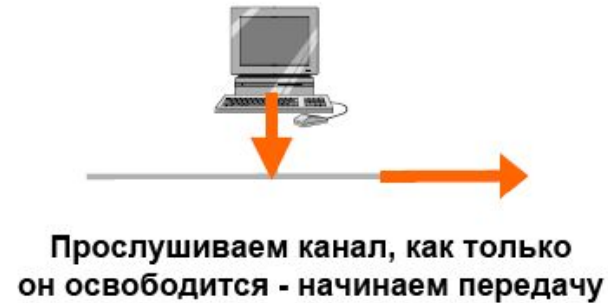
Между двумя последовательно передаваемыми по общей шине кадрами информации должна выдерживаться пауза в 96 тактов (9.6 мкс для скорости 10 Мбит/сек); эта пауза нужна для приведения в исходное состояние сетевых адаптеров узлов, а также для предотвращения монопольного захвата среды передачи данных одной станцией.



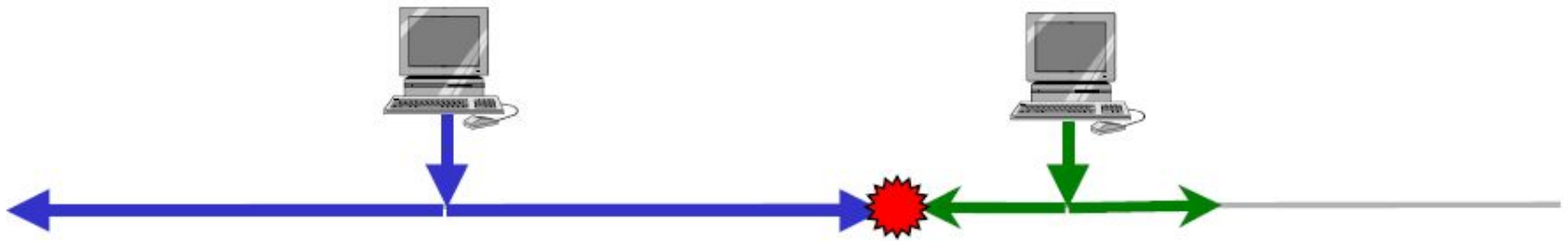
# Метод CSMA

**Carrier Sense** : детектирование несущей (прежде чем начать передачу, станции прослушивают среду)

**Multiple Access** : множественный доступ (в одно время могут обращаться несколько станций)



# Коллизия



**Несколько станций могут посылать кадры в одно время...**

**Как станция узнает о возникновении коллизии?**

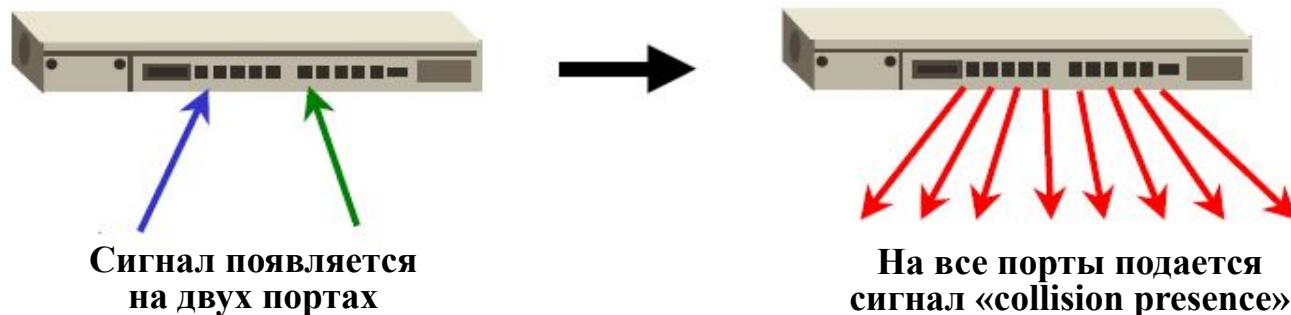
**Что делает станция после коллизии?**

## Как узел определяет коллизию?

**Трансивер:** Мониторинг среды в процессе передачи. Если измеренная мощность превышает мощность передатчика + отражение собственного сигнала, то это служит индикатором коллизии.



**Хаб:** Если сигнал появляется одновременно на двух портах, то это признак коллизии. Тогда хаб посылает сигнал наличия коллизии на все свои порты.



# Повторная передача

- **Правило экспоненциальной задержки (backoff rule):**
  - **Выбираем  $k = 0$  или  $1$  случайным образом**
    - **ждем  $k \times 51.2$  мкс, затем передаем кадр, если среда свободна**
  - **Если коллизия, то выбираем  $k = 0, 1, 2$  или  $3$** 
    - **ждем  $k \times 51.2$  мкс, ...**
  - **Если коллизия, то выбираем  $k = 0...7$** 
    - **ждем  $k \times 51.2$  мкс, ...**
  - **Если коллизия, то выбираем  $k = 0...15$** 
    - **ждем  $k \times 51.2$  мкс**
- **и т.д. ...**

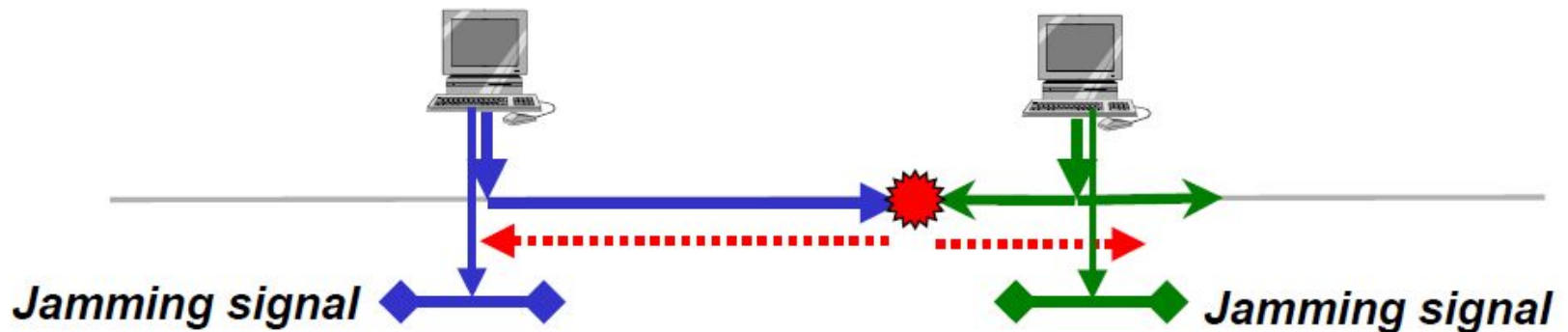


## Повторная передача

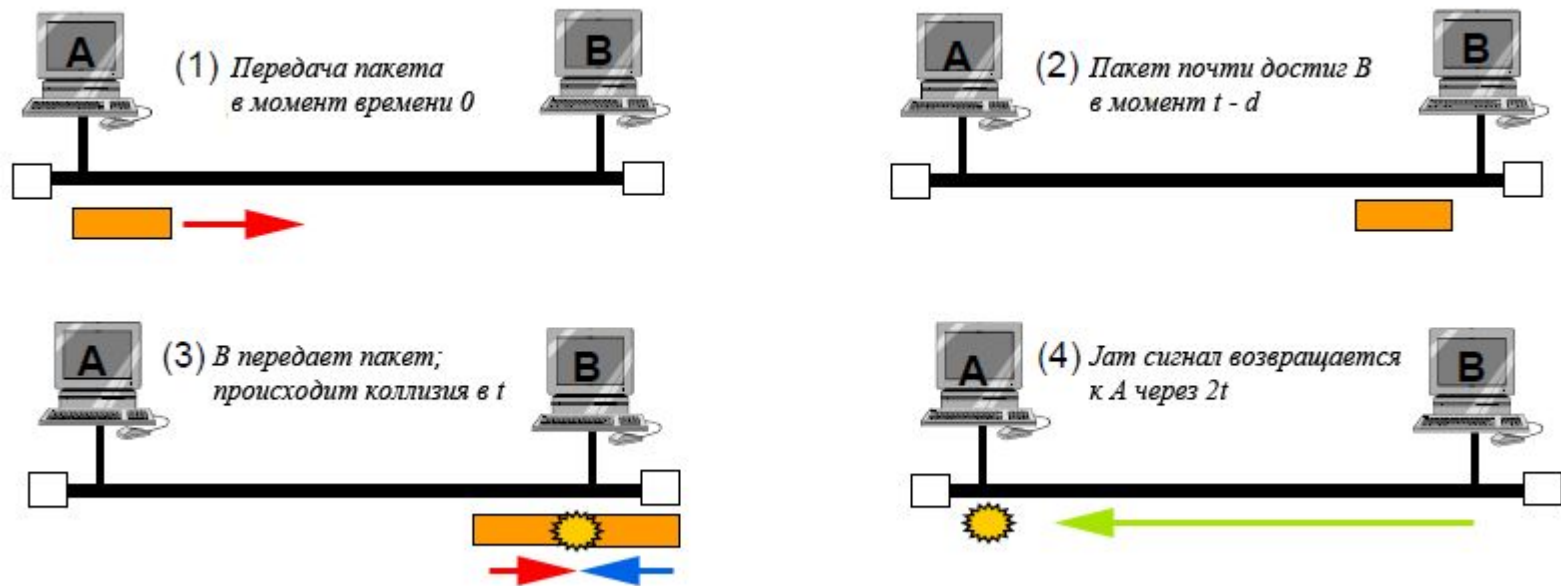
- **Удваиваем временной интервал до тех пор, пока не отправим кадр или же k примет значение 0...1023**
- **Если кадр не удалось передать после 16 попыток подряд, то прекращаем дальнейшие попытки и информируем о сбое.**

# Правила определения коллизии

1. Станция должна прослушивать среду (кабель) во время передачи, чтобы определить коллизию.
2. Размер кадра должен быть не менее 64 байт (512 бит, 51.2 мкс), чтобы отправитель «услышал» коллизию до окончания передачи.
3. Если определена коллизия, то посылается короткий jamming сигнал и все станции ждут какое-то время перед повторной передачей.



# Минимальный размер кадра

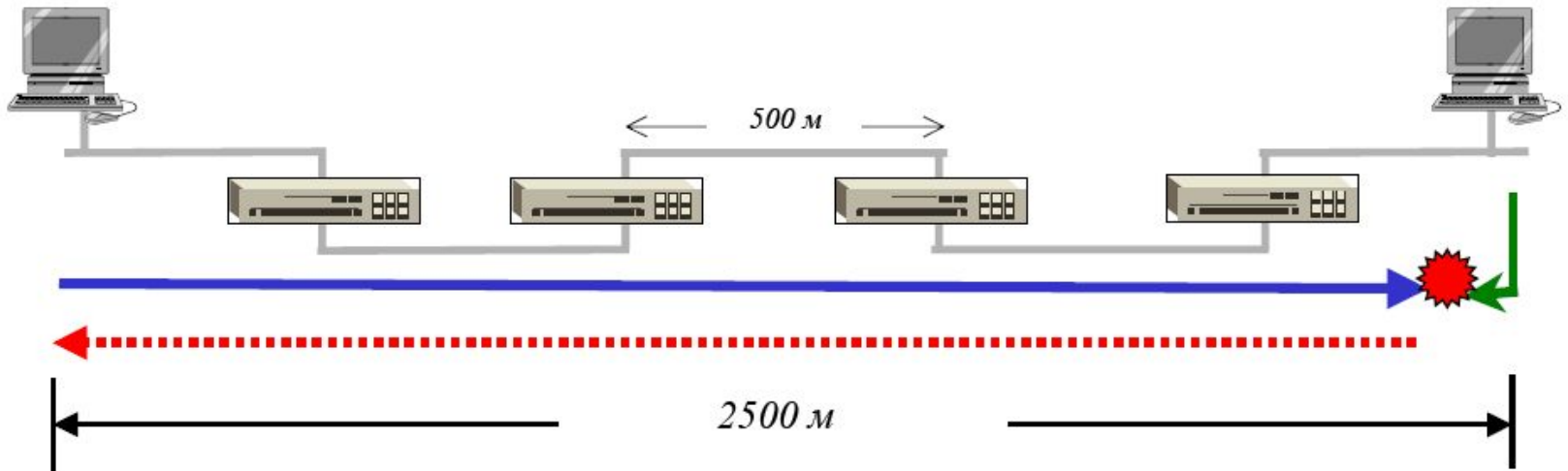


Время на посылку кадра должно превышать  $2t$ , чтобы предотвратить ситуацию, когда отправитель ошибочно посчитает, что кадр успешно отправлен.

Этот интервал равен 51,2 мкс и соответствует 512 бит (64 байт).

Минимальная длина кадра составляет 64 байт (без преамбулы), отсюда следует, что поле данных должно быть не менее 46 бит ( $6 + 6 + 2 + 46 + 4 = 64$ ).

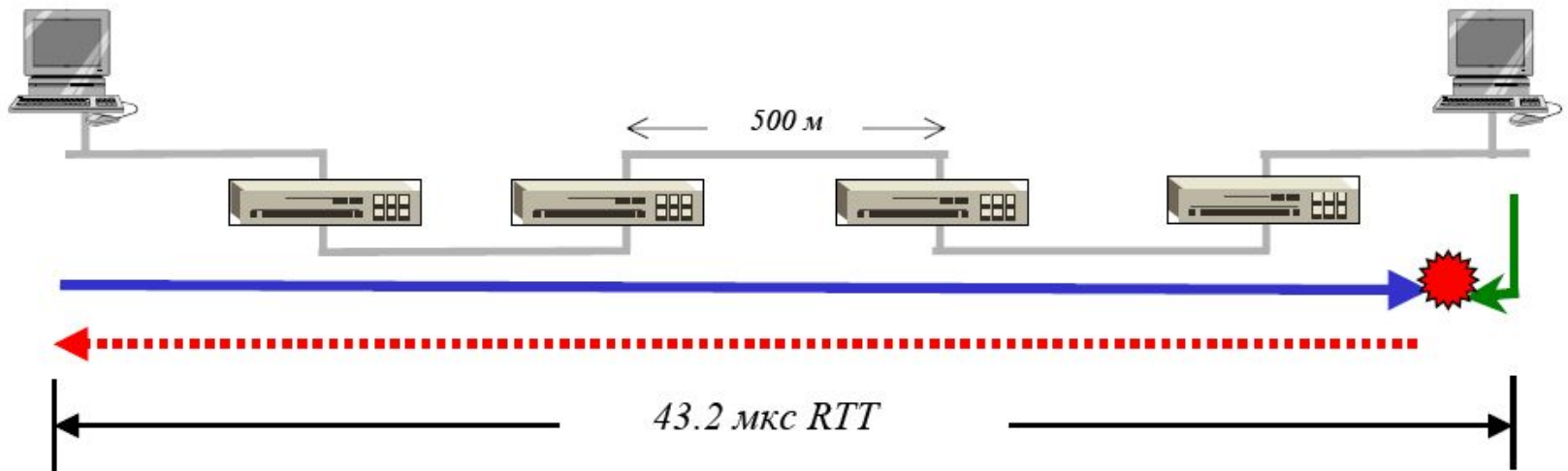
# Наихудшие условия определения коллизии



*Примем задержку на повторителе равной 1 мкс, а на трансивере 0.5 мкс*

5 сегментов x 500м	2500м / 0.77 с	10.8 мкс
4 повторителя	4 x 1 мкс	4.0 мкс
9 x 50м АUI кабелей	450м / 0.65 с	2.3 мкс
9 трансиверов	9 x 0.5 мкс	4.5 мкс
<b>Итого в одну сторону:</b>		<b>21.6 мкс</b>

## Наихудшие условия определения коллизии

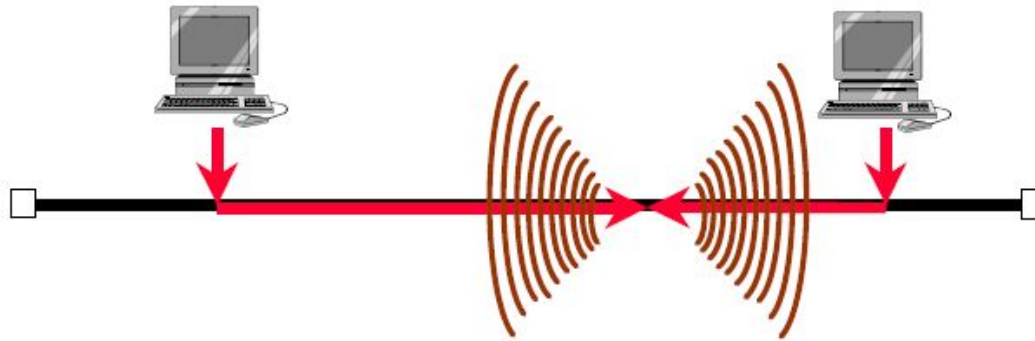


Таким образом суммарное время прохождения сигнала составит 43.2 мкс.

Учитывая некоторую задержку в оборудовании, IEEE выбрала в качестве времени обнаружения коллизий интервал в 51.2 мкс (512 бит).

Отсюда следует минимальный размер кадра в 512 бит (64 байт).

# Late Collision



**Происходит после того, как отправитель закончил передачу до обнаружения сигнала «коллизия».**

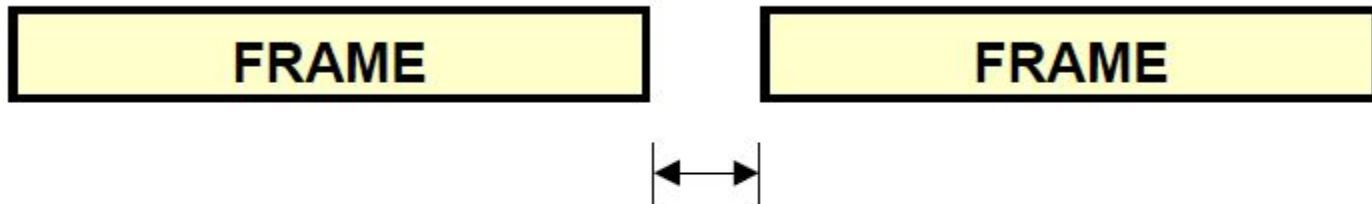
**Возможные причины:**

**слишком длинный кабель**

**слишком много повторителей между станциями**

**Решение: Вышестоящий протокол должен определить потерю пакета и запросить повторную передачу.**

# Межкадровый интервал

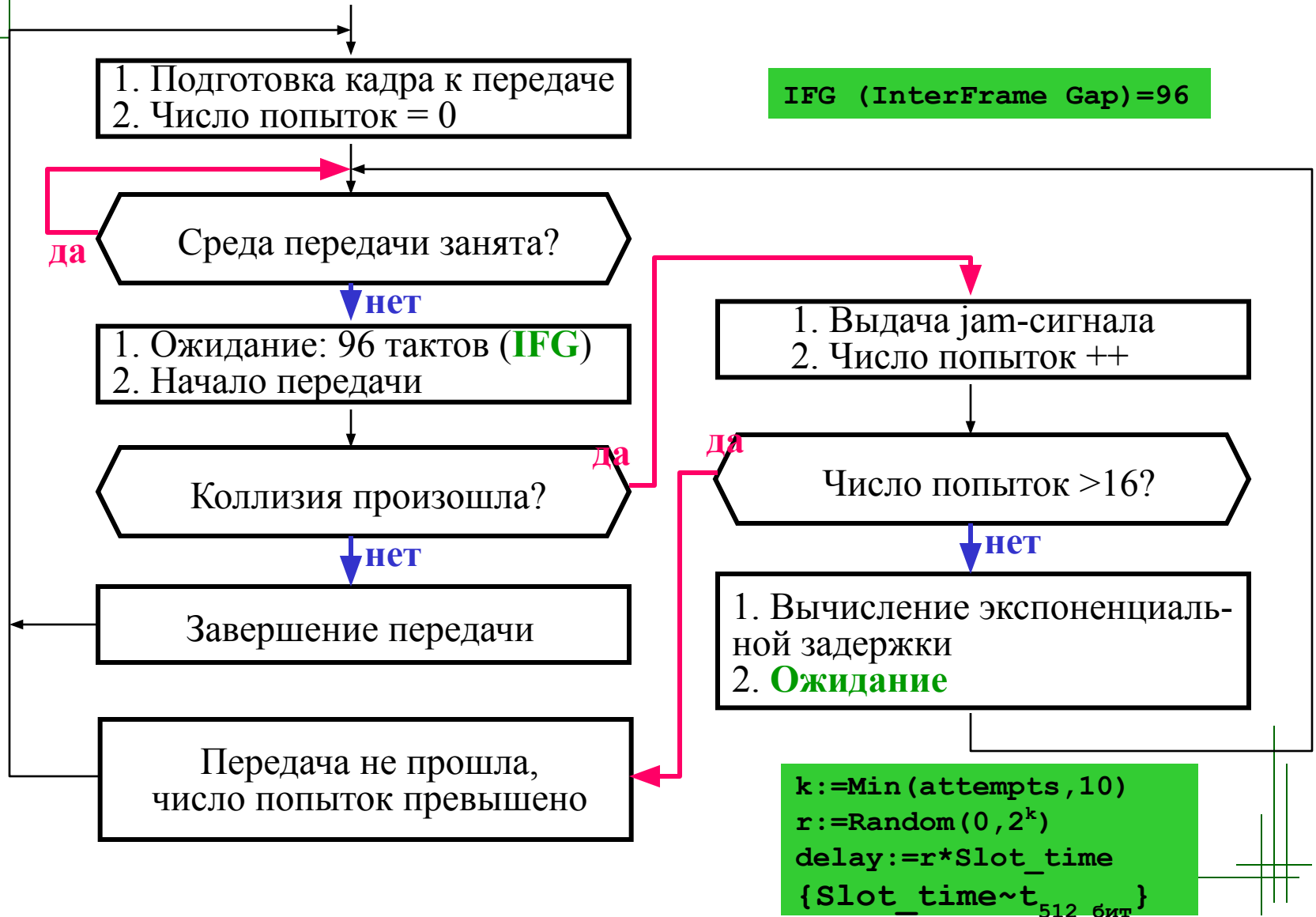


*96 бит - межфреймовый интервал*

**Отправитель должен ждать 96 бит между кадрами, чтобы дать возможность другим станциям передавать данные.**

**96 бит эквивалентны 9.6 мкс для 10 Мбит/с Ethernet**

# Алгоритм CSMA/CD (передача)





# Алгоритм CSMA/CD (прием)



# Домены коллизий

**Домен коллизий** - часть сети Ethernet, в которой нет буферизирующих кадров устройств (например, коммутаторов с проверкой корректности полученного кадра) **или** множество всех станций сети, одновременная передача любой пары из которых приводит к коллизии.

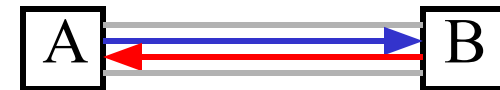
витые пары

❌ Коллизий не существует (сетевые карты работают в дуплексном режиме)

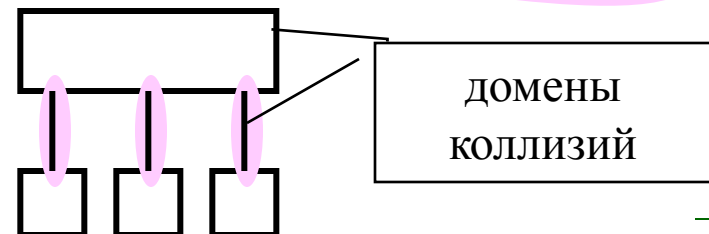
💣 Если сеть построена на репитерах, то домен коллизий включает в себя всю кабельную систему, (сетевые карты работают в режиме полудуплекса)

💣 Домен коллизий ограничен кабелем от сетевой карты до коммутатора (сетевые карты работают в полудуплексном режиме)

коммутатор

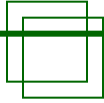


репитер



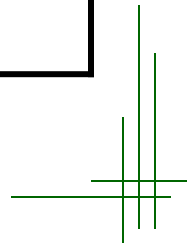
ДОМЕНЫ  
КОЛЛИЗИЙ

# Полудуплекс Ethernet



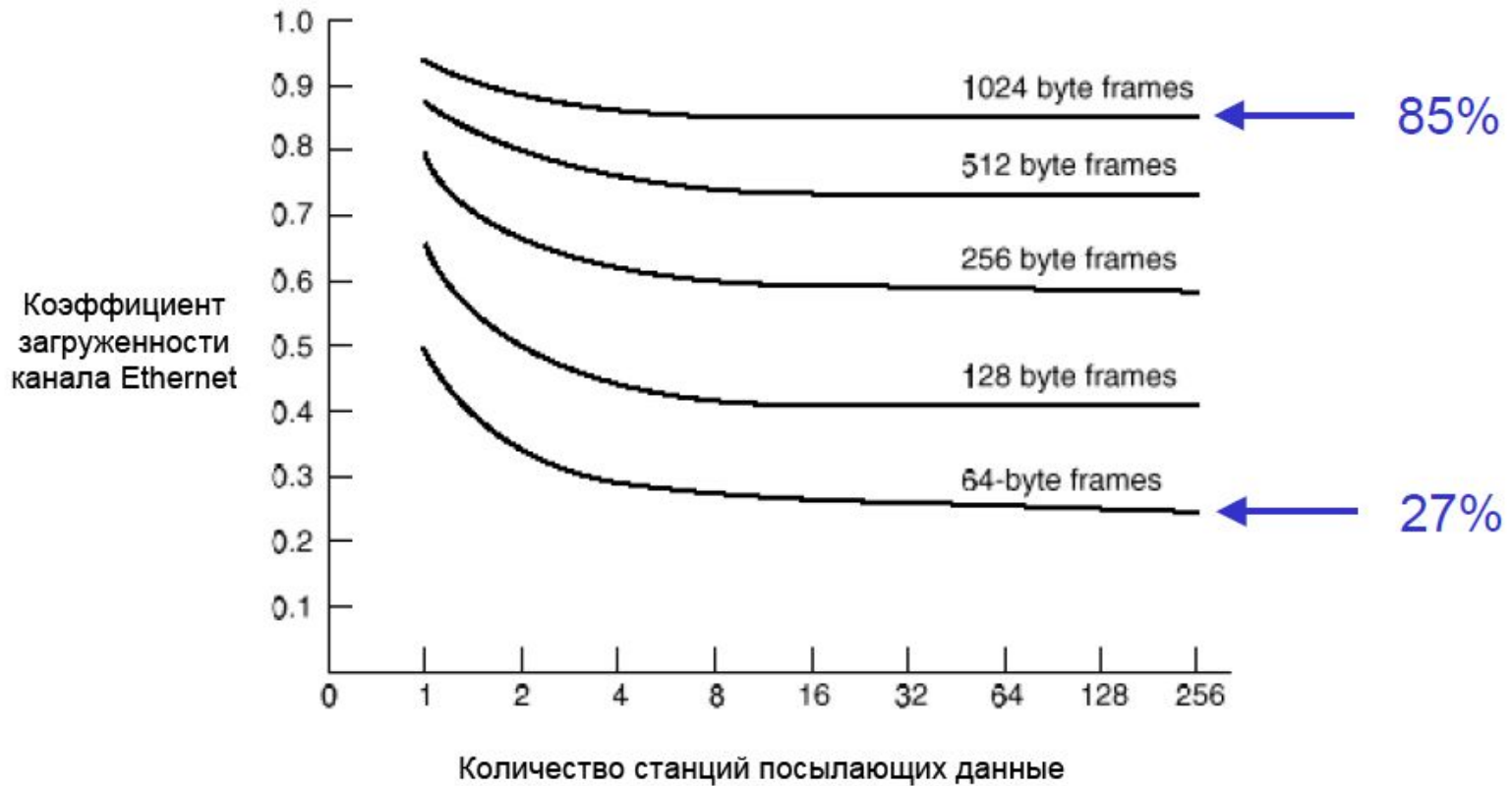
Сравнительные характеристики Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet для полудуплексного режима передачи

Скорость передачи	10 Мбит/с	100 Мбит/с	1000 Мбит/с
Минимальный размер кадра	64 байта	64 байта	520 байт (с добавленным полем расширения)
Макс. длина кабеля	100 м. UTP	100 м. UTP 412 м. оптоволокно	100 м. UTP 316 м. оптоволокно
Макс. размер домена коллизий	2500 м.	205 м.	200 м.
Макс. кол-во репитеров в сети	4	2	1



# Производительность Ethernet

Таненбаум (1996) определил загруженность как функцию от  $n$  (число станций) и  $F$  (средний размер кадра):



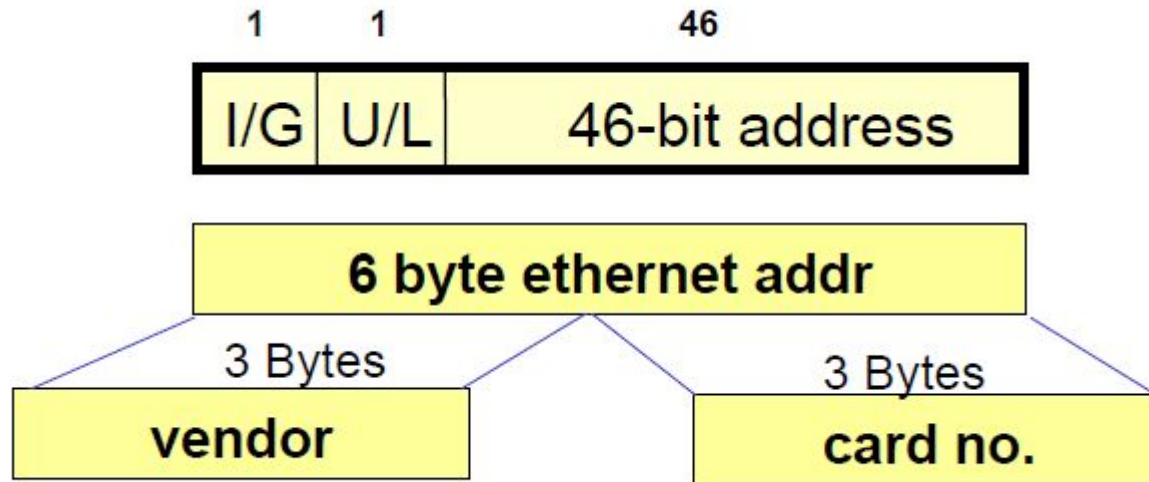
# Скорость Ethernet и время обнаружения коллизии



*Таким образом, не учитывая задержку на повторители или сетевые интерфейсы, наибольший размер сети определится как:*

Скорость	Min кадр	Min время	Max длина
10 Мбит/с	64 байт	51.2 мкс	5,120 м
100 Мбит/с	64 байт	5.12 мкс	512 м
1 Гбит/с	64 байт	0.512 мкс	51 м

# MAC адрес Ethernet



**I/G = 0** : Индивидуальный адрес

**I/G = 1** : Групповой адрес

**U/L = 0** : Глобально управляемый адрес

**U/L = 1** : Локально управляемый адрес

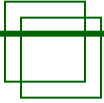
**Unicast** : только один получатель

**Broadcast** : широковещательный адрес (FFFFFFFFF рассылается всем узлам сети)

**Multicast** : группа получателей

# Типы MAC адресов

---



- **Unicast**

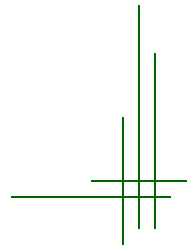
Каждое терминальное коммуникационное устройство, как правило, имеет уникальный адрес канального уровня. Первый бит шестибайтовой последовательности всегда 0.

- **Multicast**

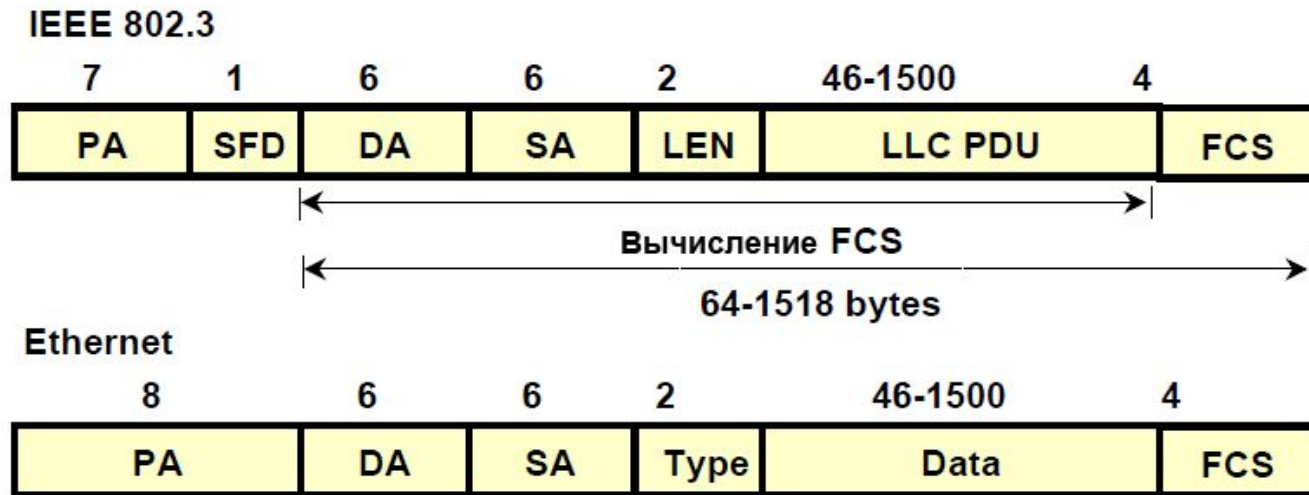
Такой адрес идентифицирует станции, выделенные в группу администратором. Первый бит - 1, остальные любые, кроме всех 1. Не может быть адресом отправителя SA.

- **Broadcast**

Все биты адреса выставляются в 1, т.е. адреса выглядит FF-FF-FF-FF-FF-FF. Кадр с таким адресом предназначен для всех станций в сети.



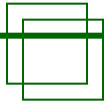
# Формат кадра Ethernet



- PA** : Преамбула – 10101010 для синхронизации
- SFD** : Начальный ограничитель кадра – 10101011
- DA** : MAC адрес получателя
- SA** : MAC адрес отправителя
- LEN** : Длина (количество бит данных)
- Type** : Идентификатор вышестоящего протокола
- LLC PDU + pad** : минимум 46 байт, максимум 1500
- FCS** : Поле контрольной суммы – CRC32



# Форматы кадров Ethernet



Pre+SFD	DA	SA	T L	LLC data	(Pad)	FCS
Преамбула +SFD	Адрес назначен ия	Адрес источни ка	Тип или длина кадра	Данные верхних уровней	Поле заполнения	Контрольная сумма

**Pre** - преамбула (7 байт 10101010) для синхронизации на приемной стороне

**SFD** - начальный ограничитель кадра (Starting Frame Delimiter, 10101011)

**DA** - адрес назначения (Destination Address, 6 байт - MAC адрес)

**SA** - адрес источника (Source Address, 6 байт - MAC адрес)

**T** - тип кадра, 2 байта (для кадра **Ethernet II**)

**L** - длина кадра, 2 байта (для кадров **Ethernet 802.3**, **Ethernet 802.2**, **Ethernet SNAP**)

**LLC data** - 0-1500 байт, информация с заголовками верхних уровней

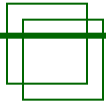
**Pad** - поле заполнения, если поле **LLC data** меньше 46 байт

**FCS** - контрольная сумма кадра (Frame Check Status, 4 байта, циклический избыточный код по всем полям, кроме Pre+SFD и FCS)

Общая длина кадра Ethernet - **64-1518** байт, длина заголовочной и трейлерной частей (без преамбулы) - 18 байт



# Форматы кадров Ethernet



Если значение поля **Тип** > 1500 (0x05DC), то данный кадр - **Ethernet II**, а значение в этом поле указывает на протокол верхнего уровня. 0x0800 для IP, 0x0806 для ARP, 0x809B для AppleTalk, 0x0600 для XNS, и 0x8137 для IPX/SPX.

**LLC data** = LLC заголовок (3 байта: DSAP, SSAP, поле управления) + данные. DSAP, SSAP - Destination (Source) Service Access Point - код службы на приемной и передающей сторонах.

**Если** Длина < 1500, то:

**Если** 2 байта (DSAP, SSAP) = 0xFFFF, то кадр - **Ethernet 802.3** (устарел);

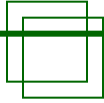
**Если** 2 байта (DSAP, SSAP) = 0xAAAA, то **Ethernet SNAP** (популярный формат в сетях TCP/IP, более гибкий стандарт, чем **Ethernet II**);

**Иначе** - кадр **Ethernet 802.2** (используется фирмой Novell).

Кадры различных форматов могут сосуществовать в одной сети. Различия в форматах кадров технологии Ethernet могут иногда приводить к несовместимости аппаратуры, рассчитанной на работу только с одним стандартом. Производится автоматическое детектирование типов кадров по характерным значениям некоторых полей.



# Типы процедур обмена данными



**Три типа процедур обмена данными:**

- 1. LLC 1** определяет обмен данными без предварительного установления соединения и без повторной передачи кадров в случае обнаружения ошибочной ситуации, то есть является процедурой дейтаграммного типа. Этот тип процедуры используется во всех практических реализациях Ethernet. Поле управления для этого типа процедур имеет значение 03, что определяет все кадры как нумерованные.
- 2. LLC 2** определяет режим обмена с установлением соединений, нумерацией кадров, управлением потоком кадров и повторной передачей ошибочных кадров. В локальных сетях Ethernet этот режим используется редко.
- 3. LLC 3** определяет режим передачи данных без установления соединения, но с получением подтверждения о доставке информационного кадра адресату. Только после этого может быть отправлен следующий информационный кадр.

