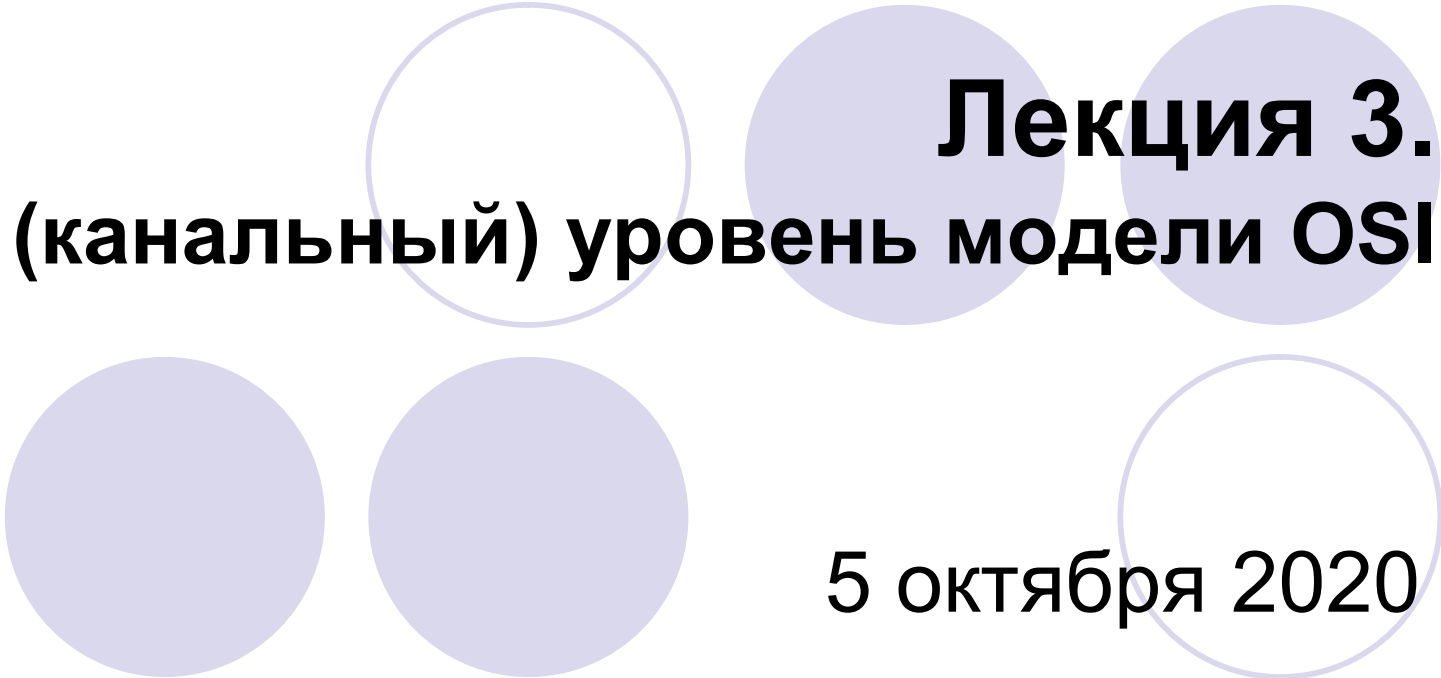


КПИ им. Игоря Сикорского, каф. микроэлектроники.

М. Р. Домбругов. Информатика-1.

Персональные компьютеры и основы сетевых технологий



Лекция 3.

2-й (канальный) уровень модели OSI

5 октября 2020

7-уровневая модель OSI

Тип данных	Уровень (layer)	Функции
Данные	7. Прикладной (application)	Доступ к сетевым службам
	6. Представительский (presentation)	Представление и шифрование данных
	5. Сеансовый (session)	Управление сеансом связи
Сегменты	4. Транспортный (transport)	Прямая связь между конечными пунктами и надежность
Пакеты	3. Сетевой (network)	Определение маршрута и логическая адресация
Кадры	2. Канальный (data link)	Физическая адресация
Биты	1. Физический (physical)	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными

Протокол Ethernet

Ethernet - семейство проводных технологий передачи данных между устройствами компьютерных сетей.

Практически вытеснил иные проводные технологии.

PDU (Protocol Data Unit) — порция данных, передаваемая на определённом уровне модели OSI.

Ethernet описывается стандартами IEEE группы 802.3, которые определяют

- проводные соединения и электрические сигналы на 1-м (физическом) уровне (PDU = бит),
- формат кадров и протоколы управления доступом к среде на 2-м (канальном) уровне (PDU = кадр, «Ethernet frame»).

Протокол Ethernet

Название «**Ethernet**» («эфирная сеть») отражает первоначальный принцип работы: всё, передаваемое одним узлом, одновременно принимается всеми остальными (то есть имеется некое сходство с радиовещанием).

Симплексная передача - передача, которая происходит только в одном направлении (напр. телевизионное вещание).

Полудуплексная передача - передача, которая возможна в двух направлениях, но в один момент времени только в одном из них (напр. радиосвязь между двумя рациями, «перехожу на прием»).

Дуплексная передача передача, которая возможна в двух направлениях в любой момент времени (напр. телефония).

Ethernet использует **полудуплексную** передачу
(в момент, когда один говорит, остальные молчат)

Протокол Ethernet

Основные разновидности:

Стандарт	Скорость передачи данных	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента
10 BASE2 IEEE 802.3a-1985	10 Мбит/с	коаксиальный кабель 50 Ом	185 метров
10 BASE-T IEEE 802.3i-1990	10 Мбит/с	две витые пары категории 3 или 5	100 метров
100 BASE-TX IEEE 802.3u-1995	100 Мбит/с («Fast Ethernet»)	две витые пары категории 5	100 метров
1000 BASE-T IEEE 802.3ab-1999	1 Гбит/с («Gigabit Ethernet»)	четыре витые пары категории 5e	100 метров
10G BASE-T IEEE 802.3an-2006	10 Гбит/с («10G Ethernet»)	витая пара категории 6 или 6a	55 м (для кат.6) 100 м (для 6a)

Протокол Ethernet

- <http://zaycev.me/Downloads/Ethernet.pdf>
- <https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Ethernet>
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- https://ru.wikipedia.org/wiki/Канальный_уровень
- <https://easy-network.ru/22-urok-12.html>

2-й уровень модели OSI

Физическая адресация

- MAC адрес
- Структура Ethernet-кадра
- Домен коллизий. Алгоритм доступа CSMA/CD. Ограничения на домен коллизий
- Сегментирование сети. Широковещательный домен
- Устройства 2-го уровня
- VLAN – Virtual LAN

MAC адрес

MAC адрес (media access control address)

Уникальный идентификатор длиной 48 бит (6 байт), аппаратно вшитый в каждый сетевой адаптер на фабрике при производстве.

Его записывают, обозначая каждый байт двумя 16-ными цифрами, например, 00-21-63-56-51-7C.

Первые 3 байта, **OUI** (Organizational Unique Identifier), обозначают производителя сетевого адаптера. Например, 00-21-63 = Askey Computer Corp., Тайвань.

Вторые 3 байта, **NIC** (Network Interface Controller), это уникальный заводской номер.
1 блок OUI позволяет маркировать $2^{24} \approx 16.8$ млн. изделий.

MAC-адрес

Блоки OUI выдает и регистрирует

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Цена 1 блока 3000\$. По мере исчерпания выделенных адресов производитель может запросить новый блок.

В OUI 2 бита из 24 имеют специальное назначение, и IEEE всегда назначает их в 0. Поэтому всех возможных блоков OUI не $2^{24} \approx 16$ млн., а только $2^{22} \approx 4$ млн., из которых распределено 38 тыс. (менее 1%).

Крупнейшие производители (2019 г.):

Производитель	Число блоков OUI	MAC адресов, млрд.
Cisco Systems Inc	888	15
Apple	772	13
Samsung	636	11
Huawei Technologies Co. Ltd	606	10
Intel Corporation	375	6

MAC адрес

Определение MAC-адреса

Пуск → Выполнить → cmd

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corp.), 2009.

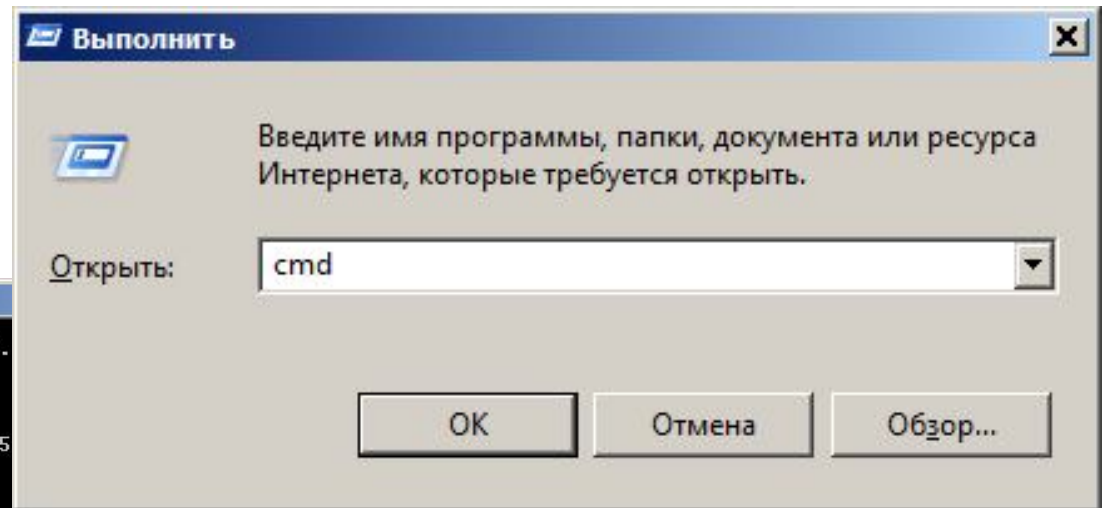
C:\Users\admin>getmac /v /fo list

Подключение:      Подключение по локальной сети
Сетевой адаптер:   Контроллер Marvell Yukon 88E8055
Физический адрес: 00-13-77-93-65-27
Имя транспорта:    Носитель отключен

Подключение:      Беспроводное сетевое соединение
Сетевой адаптер:   Адаптер беспроводных сетей Atheros AR5007EG Wireless
Физический адрес: 00-21-63-56-51-7C
Имя транспорта:    \Device\NPF{07EDB065-1910-42BA-AAE2-8ED690BB23F0}

Подключение:      Сетевое подключение Bluetooth
Сетевой адаптер:   Устройство Bluetooth (личной сети)
Физический адрес: 00-22-69-C9-AE-21
Имя транспорта:    Носитель отключен

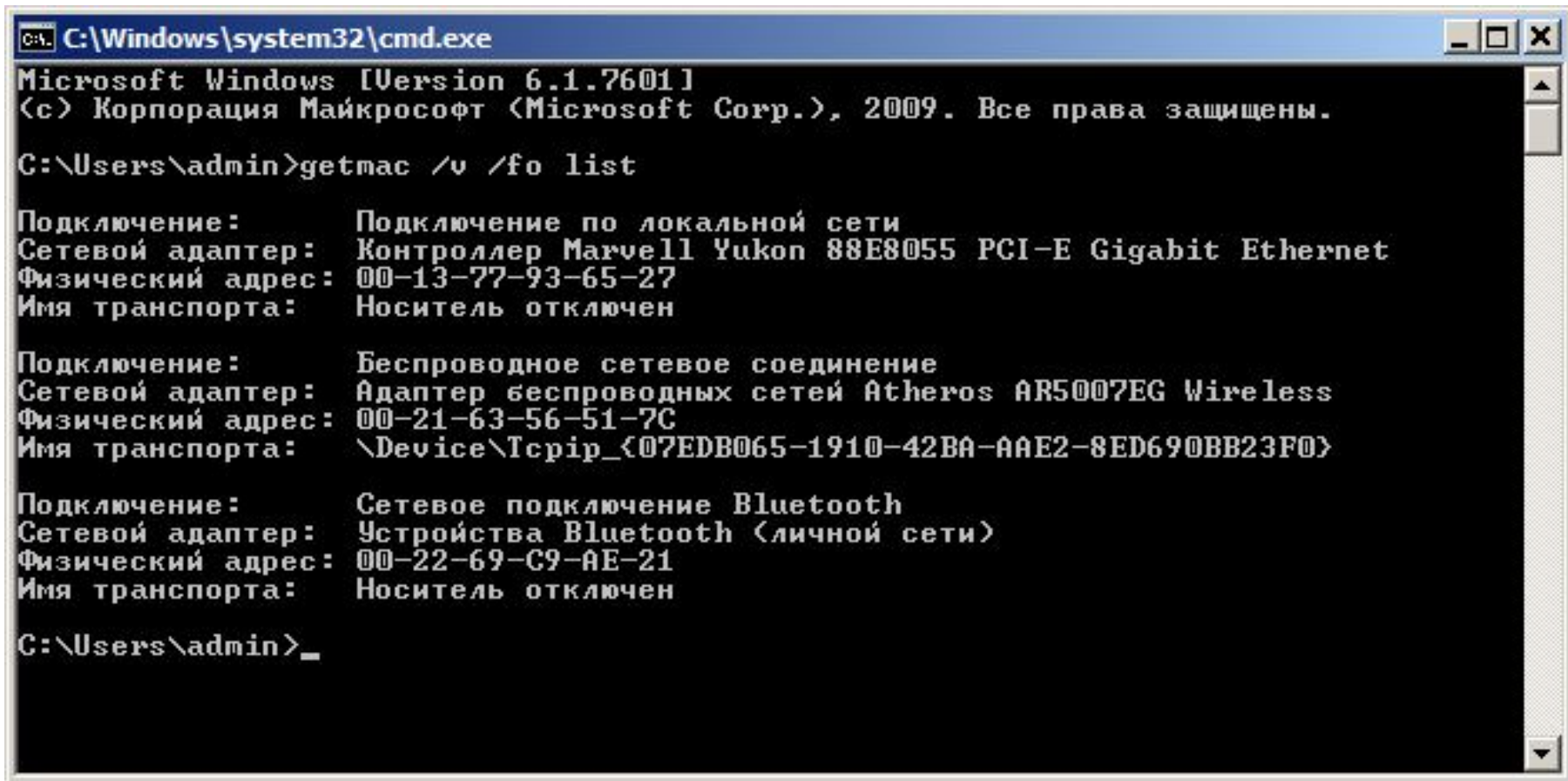
C:\Users\admin>_
```



getmac /v /fo list

MAC адрес

Выдача по команде `getmac /v /fo list`



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corp.), 2009. Все права защищены.

C:\Users\admin>getmac /v /fo list

Подключение:      Подключение по локальной сети
Сетевой адаптер:   Контроллер Marvell Yukon 88E8055 PCI-E Gigabit Ethernet
Физический адрес: 00-13-77-93-65-27
Имя транспорта:   Носитель отключен

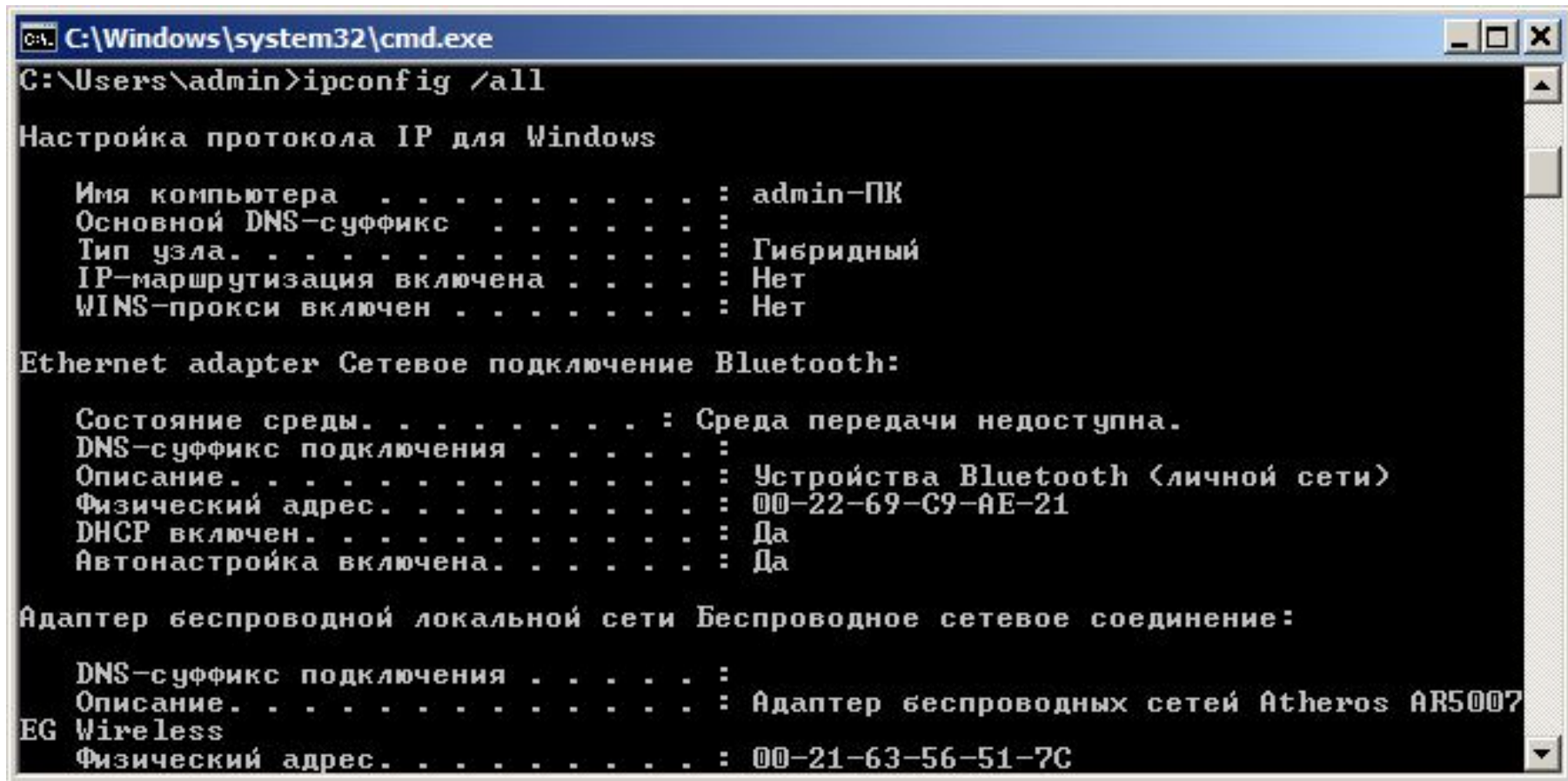
Подключение:      Беспроводное сетевое соединение
Сетевой адаптер:   Адаптер беспроводных сетей Atheros AR5007EG Wireless
Физический адрес: 00-21-63-56-51-7C
Имя транспорта:   \Device\NPF{07EDB065-1910-42BA-AAE2-8ED690BB23F0}

Подключение:      Сетевое подключение Bluetooth
Сетевой адаптер:   Устройства Bluetooth (личной сети)
Физический адрес: 00-22-69-C9-AE-21
Имя транспорта:   Носитель отключен

C:\Users\admin>_
```

MAC адрес

Также показывает MAC адреса команда **ipconfig /all**



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\admin>ipconfig /all

Настройка протокола IP для Windows

Имя компьютера . . . . . : admin-ПК
Основной DNS-суффикс . . . . . :
Тип узла . . . . . : Гибридный
IP-маршрутизация включена . . . . . : Нет
WINS-прокси включен . . . . . : Нет

Ethernet adapter Сетевое подключение Bluetooth:

Состояние среды. . . . . : Среда передачи недоступна.
DNS-суффикс подключения . . . . . :
Описание. . . . . : Устройства Bluetooth (личной сети)
Физический адрес. . . . . : 00-22-69-C9-AE-21
DHCP включен. . . . . : Да
Автонастройка включена. . . . . : Да

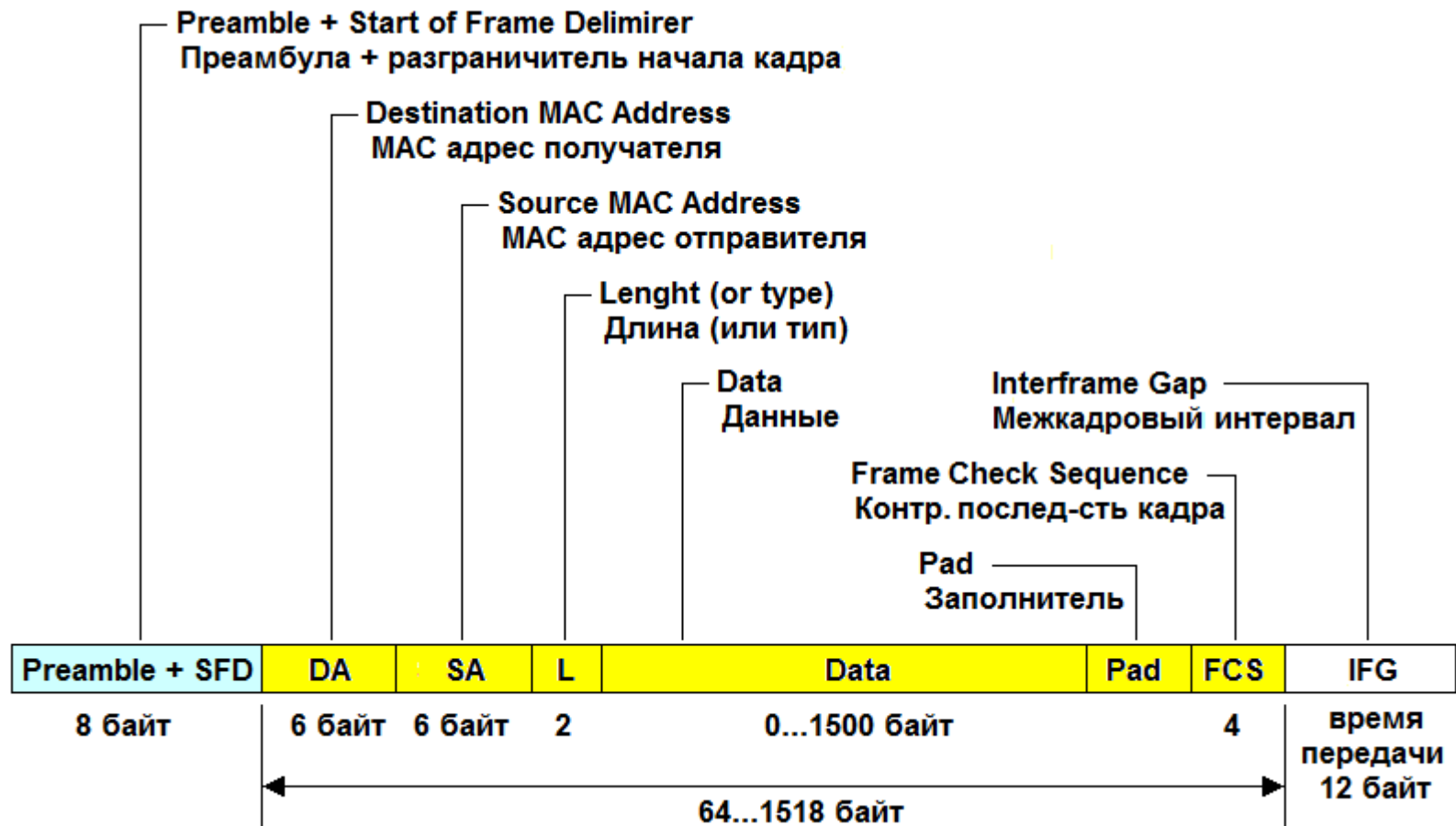
Адаптер беспроводной локальной сети Беспроводное сетевое соединение:

DNS-суффикс подключения . . . . . :
Описание. . . . . : Адаптер беспроводных сетей Atheros AR5007
EG Wireless
Физический адрес. . . . . : 00-21-63-56-51-7C
```

MAC адрес

- <https://ru.wikipedia.org/wiki/MAC-адрес>
- <https://wiki.merionet.ru/seti/28/chto-takoe-mac-adres-i-kak-ego-uznat/>
- <https://f.ua/articles/kak-uznat-mac-adres.html>
- <https://f.ua/articles/kak-uznat-mac-adres.html>
- <https://habr.com/ru/post/483670/>
- <https://2ip.ua/ru/blog/mac-address>
- <https://www.wireshark.org/tools/oui-lookup.html>

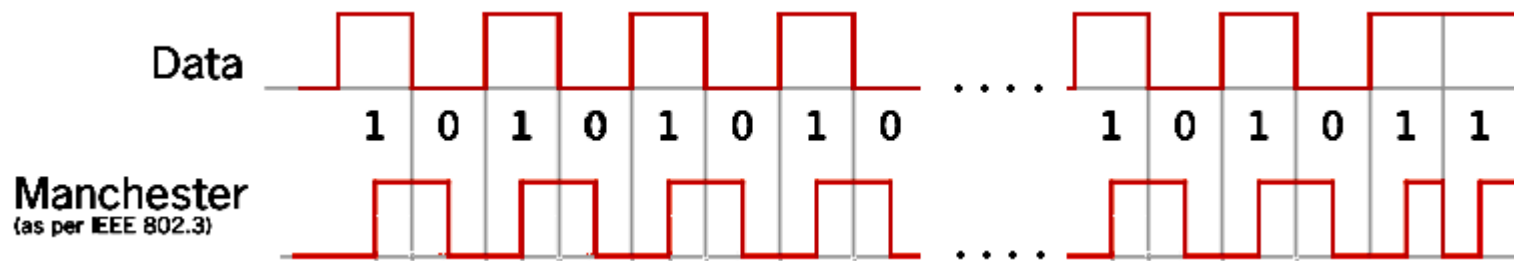
Структура Ethernet-кадра



Структура Ethernet-кадра

Preamble + SFD (Start of Frame Delimiter) Преамбула + разграничитель начала кадра

Последовательность 64 бита (8 байт) вида: 101010101011



AA AA AA AA AA AA AB
преамбула (7 байт) SFD

Структура Ethernet-кадра

Кадр принимается всеми узлами, но обрабатывается узлом только при совпадении его MAC адреса с адресом получателя.



Широковещательный (broadcast) MAC-адрес получателя – FF-FF-FF-FF-FF-FF. Такой кадр обрабатывается всеми узлами.

Структура Ethernet-кадра

Length, Data, Pad **Длина, Данные, Заполнитель**

Data содержит передаваемую информацию, от 0 до 1500 байт.

Length – длина поля Data.

Если длина Data < 46 байт, нужно вставить поле **Pad**, чтобы суммарная длина Data+Pad = 46 байт, а всего кадра – 64 байт (минимально допустимое значение).

Максимальная длина поля Data 1500 = 0x05DC байт.

Если в поле Length стоит бóльшая величина (реально, начиная от 1536 = 0x0600), она означает специальный тип кадра.

Структура Ethernet-кадра

Frame Check Sequence (FCS) Контрольная последовательность кадра

Контрольная сумма = значение, вычисленное по определённой схеме (некая хэш-функция) на основе кодируемого сообщения.

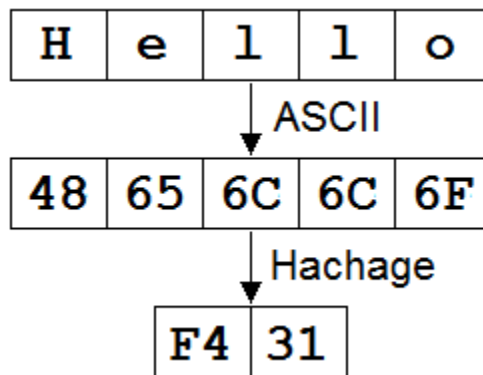
Контрольная сумма приписывается к передаваемым данным. В подавляющем числе случаев ошибка в сообщении приведёт к изменению его контрольной суммы.

На принимающей стороне абонент знает алгоритм вычисления контрольной суммы. Если исходная и вычисленная суммы не равны между собой, принятые данные считаются недостоверными.

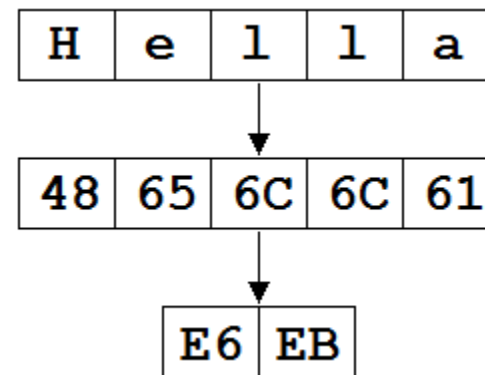
Структура Ethernet-кадра

Хэш-функция (от *hash* – мешанина, путаница)
преобразует входной массив данных произвольной длины
в битовую строку фиксированной длины.

Пример:



$$48 + 65 + 6C + 6C + 6F = F4 \text{ mod } FF$$
$$48 \times 1 + 65 \times 2 + 6C \times 3 + 6C \times 4 + 6F \times 5 = 31 \text{ mod } FF$$

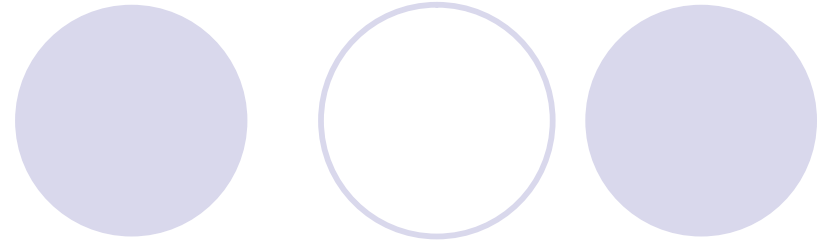


$$48 + 65 + 6C + 6C + 61 = E6 \text{ mod } FF$$
$$48 \times 1 + 65 \times 2 + 6C \times 3 + 6C \times 4 + 61 \times 5 = EB \text{ mod } FF$$

Структура Ethernet-кадра

- https://ru.qwe.wiki/wiki/Ethernet_frame
- <https://habr.com/ru/post/227729/>
- <https://www.ionos.com/digitalguide/server/know-how/ethernet-frame/>
- http://book.itep.ru/4/41/eth_4111.htm
- https://ru.qwe.wiki/wiki/Hash_function
- https://www.sharetechnote.com/html/Handbook_IP_Network_Ethernet_Frame.html
- https://www.saddleback.edu/faculty/msierakowski/frame_types.pdf

Домен коллизий



Коллизией (collision) называют ситуацию, когда два узла передают одновременно. Это приводит к искажению данных с обеих сторон.

Поскольку приемник сетевого адаптера работает постоянно, коллизии могут быть обнаружены сравнением передаваемого и принимаемого сигнала. Если они различаются, то другая передача накладывается на текущую.

Домен коллизий – часть сети, все узлы которой конкурируют за общую разделяемую среду передачи и каждый узел которой может создать коллизию с любым другим узлом этой части сети.

Алгоритм доступа CSMA/CD

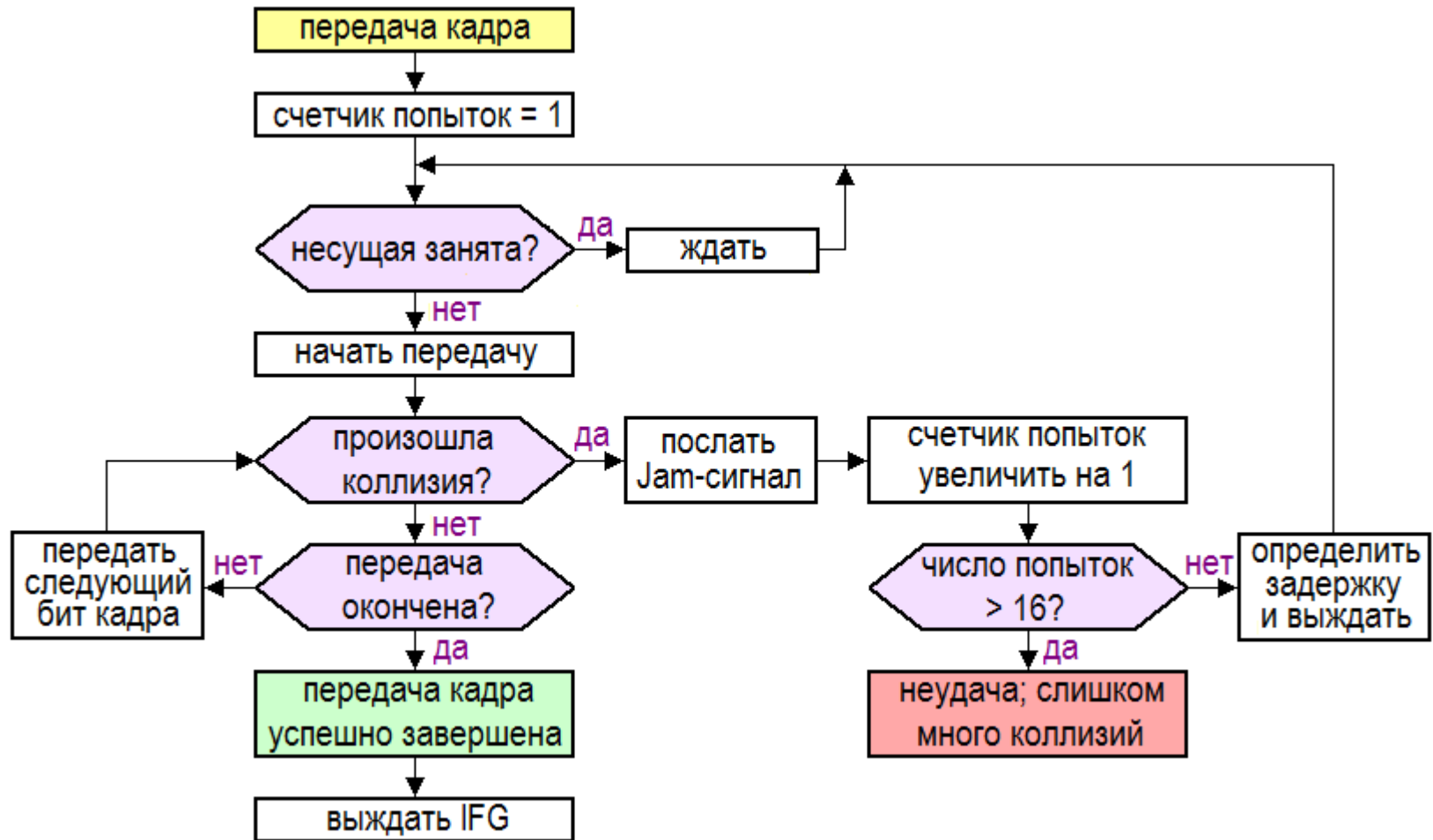
Ethernet осуществляет только одностороннюю (*connectionless*) связь без установления двустороннего соединения

**Алгоритм доступа к среде передачи
в пределах одного домена коллизий**

**CSMA/CD =
Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection –**

Множественный доступ с прослушиванием несущей и обнаружением коллизий.

Алгоритм доступа CSMA/CD



Алгоритм доступа CSMA/CD

1. Узел, собравшийся передавать, прослушивает среду. Если среда свободна – начинает передачу, если занята – переходит к шагу 2.

При передаче нескольких кадров подряд узел выдерживает паузу между посылками кадров – **межкадровый интервал (Interframe gap, IFG)**, который длится 96 битовых интервалов (т.е. как время передачи 96 бит или 12 байт). Если бы узел передавал кадры непрерывно, он бы полностью захватил канал и тем самым лишил другие узлы возможности передачи.

После каждой такой паузы перед отправкой следующего кадра узел вновь прослушивает среду (возвращение к началу шага 1).

2. Если среда занята, узел продолжает ее прослушивать, покуда она не освободится, и затем сразу же начинает передачу.

Алгоритм доступа CSMA/CD

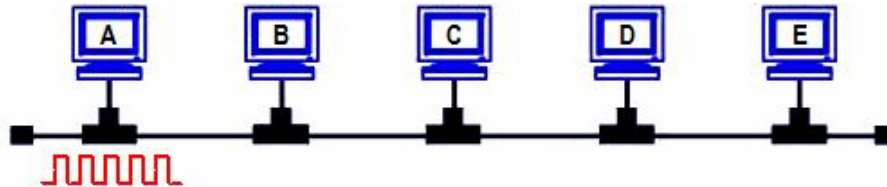
3. При обнаружении коллизии передающий узел сначала передает специальный короткий **Jam-сигнал** (от *jam* – толчея, давка), оповещая другие узлы о коллизии, а затем прекращает передачу.

Все узлы, которые передавали кадры до возникновения коллизии, приняв Jam-сигнал, прервут свои передачи и замолкнут, ожидая новую попытку передать кадры. Содержание Jam-сигнала не принципиально, обычно это 32 бита 1010.....10.

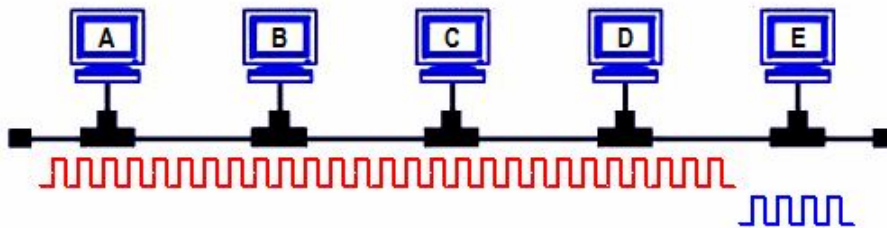
4. После передачи Jam-сигнала узел замолкает и выжидает некоторое случайное время, а затем возвращается к шагу 1, пытаясь повторить передачу кадра заново

Случайная задержка рассчитывается по специальному алгоритму и зависит от числа предыдущих неудачных попыток. Ее минимальная длительность = 512 битовых интервалов, а максимальная может быть в 1023 раза дольше.

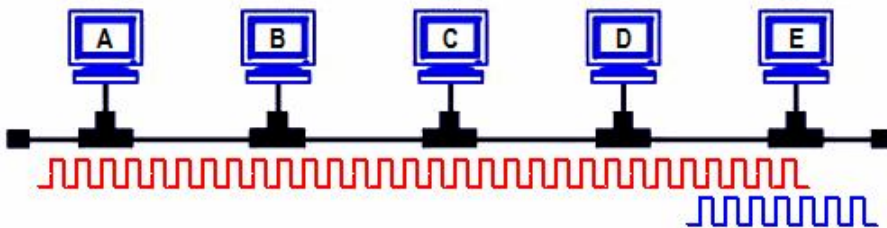
Алгоритм доступа CSMA/CD



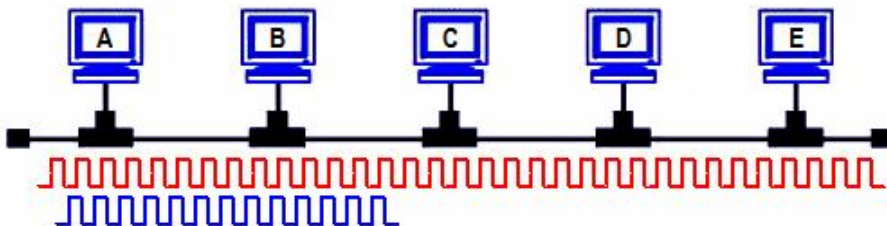
А начинает передачу



среда свободна --
Е начинает передачу



Е обнаруживает коллизию
и посылает Jam-сигнал



Jam-сигнал доходит до А;
узлы D, С и В также
обнаруживают коллизию

Ограничения на домен коллизий

Передающий узел должен успеть обнаружить коллизию, которую вызвал передаваемый им кадр, еще до того, как он закончит передачу этого кадра. Для этого должно выполняться соотношение:

$$RTT < T_{\min} ,$$

где $T_{\min}$ – время передачи кадра минимальной длины, а **RTT (round-trip time) - время кругового оборота сигнала**, поскольку в худшем случае сигнал должен пройти дважды между наиболее удаленными друг от друга узлами (в одну сторону – неискаженный кадр, а на обратном пути – Jam-сигнал).

Кадр минимальной длины =
= 8 байт Преамбула + 64 байт информации = 72 байт = 576 бит.

$$RTT \leq 575 \text{ битовых интервалов.}$$

Ограничения на домен коллизий

Для 10 Мбит/с: битовый интервал = 0.1 мкс, RTT ≤ 57.5 мкс;
для 100 Мбит/с: битовый интервал = 0.01 мкс, RTT ≤ 5.75 мкс.

Максимальный теоретический диаметр сети
(без учета возможных задержек в повторителях и хабах)

$D_{\max} = v \cdot \text{RTT} / 2$, где скорость распространения сигнала

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \approx \frac{300 \text{ м/мкс}}{\sqrt{2.3}} \approx 200 \text{ м/мкс}$$

Для 10 Мбит/с: $D_{\max} \sim 5750 \text{ м}$;

для 100 Мбит/с: $D_{\max} \sim 575 \text{ м}$.

Для надежности рекомендуются более жесткие ограничения.

Ограничения на домен коллизий

Коаксиальный кабель, 10 Мбит/с.

Макс. длина кабельного сегмента 185 метров.

Правило **5-4-3-2-1**:

Пятилетку в четыре года на трех станках в две смены за одну зарплату

- допускается соединять в линию до **5** физических кабельных сегментов;
- при этом могут быть использованы не более **4** повторителей;
- из этих сегментов только **3** могут использоваться для подключения узлов (Trunk segments);
- остальные **2** сегмента (Link segments) используются только как удлинители и не могут содержать сетевые подключения;
- все это создает **1** домен коллизий.

Ограничения на домен коллизий

Витая пара, 10 Мбит/с.

Макс. длина кабельного сегмента 100 метров.

Правило каскадирования концентраторов:

- полный путь между любыми двумя узлами должен включать не более **5** сегментов и проходить не более чем через **4** концентратора или повторителя.

Витая пара, 100 Мбит/с.

Макс. длина кабельного сегмента 100 метров.

Правило каскадирования концентраторов:

- допускается соединять каскадно не более **2** концентраторов.

Рекомендуется в один домен коллизий подключать до 10 узлов.
Если их число > 30, сеть практически неработоспособна.

Домен коллизий

- <https://www.optilink.ru/ob-optike/ethernet/seti-ethernet>
- <http://www.fiberman.ru/articles/fast-gigabit-ethernet/ethernet/protokol-csma-cd/>
- http://book.itep.ru/4/41/eth_4111.htm
- <https://deps.ua/knowegable-base-ru/spravochhnaya-informatsiya/555-opisanie-tehnologii-fast-ethernet.html>
- <https://studfile.net/preview/5514297/page:6/>

Мосты и коммутаторы

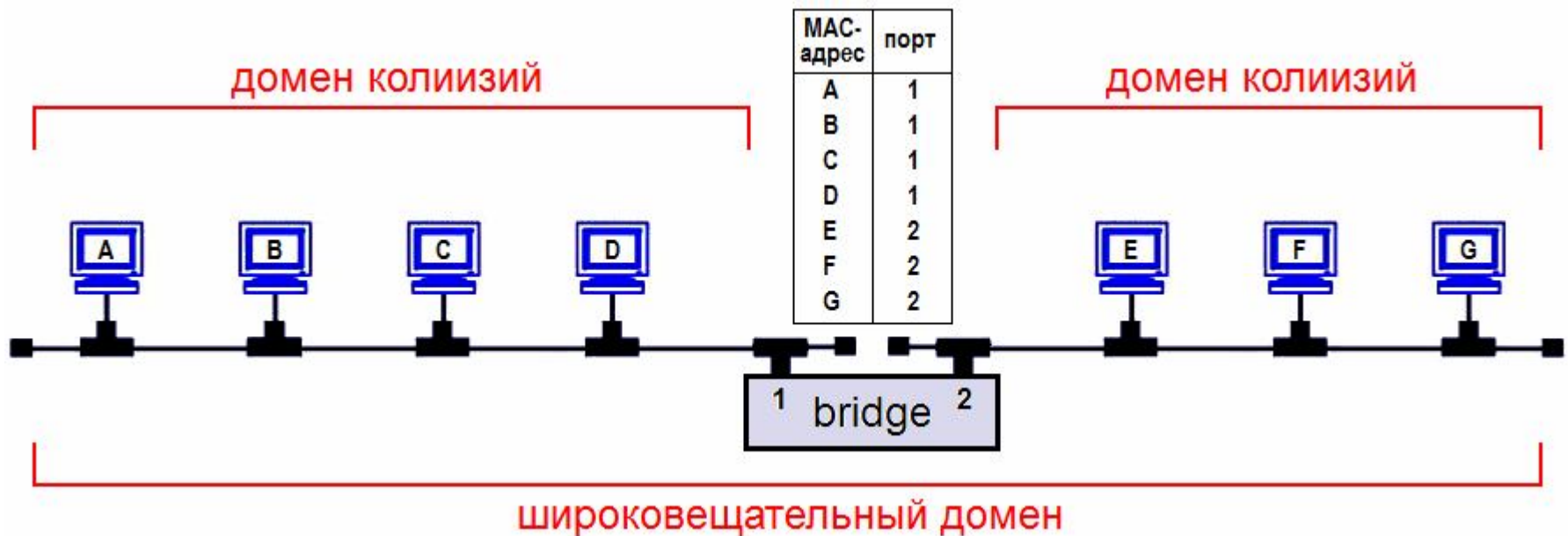
Устройства 2-го уровня: двухпортовое – **мост (bridge)** или многопортовое – **коммутатор (switch, свитч)** позволяют **сегментировать** сеть,

т.е. разделить ее на несколько отдельных доменов коллизий и не ретранслировать Ethernet-кадры в те сегменты сети, где в этом нет необходимости.

Для этого мост или коммутатор должен анализировать проходящий кадр и пересылать его дальше только тогда, когда MAC-адрес получателя принадлежит другому сегменту.

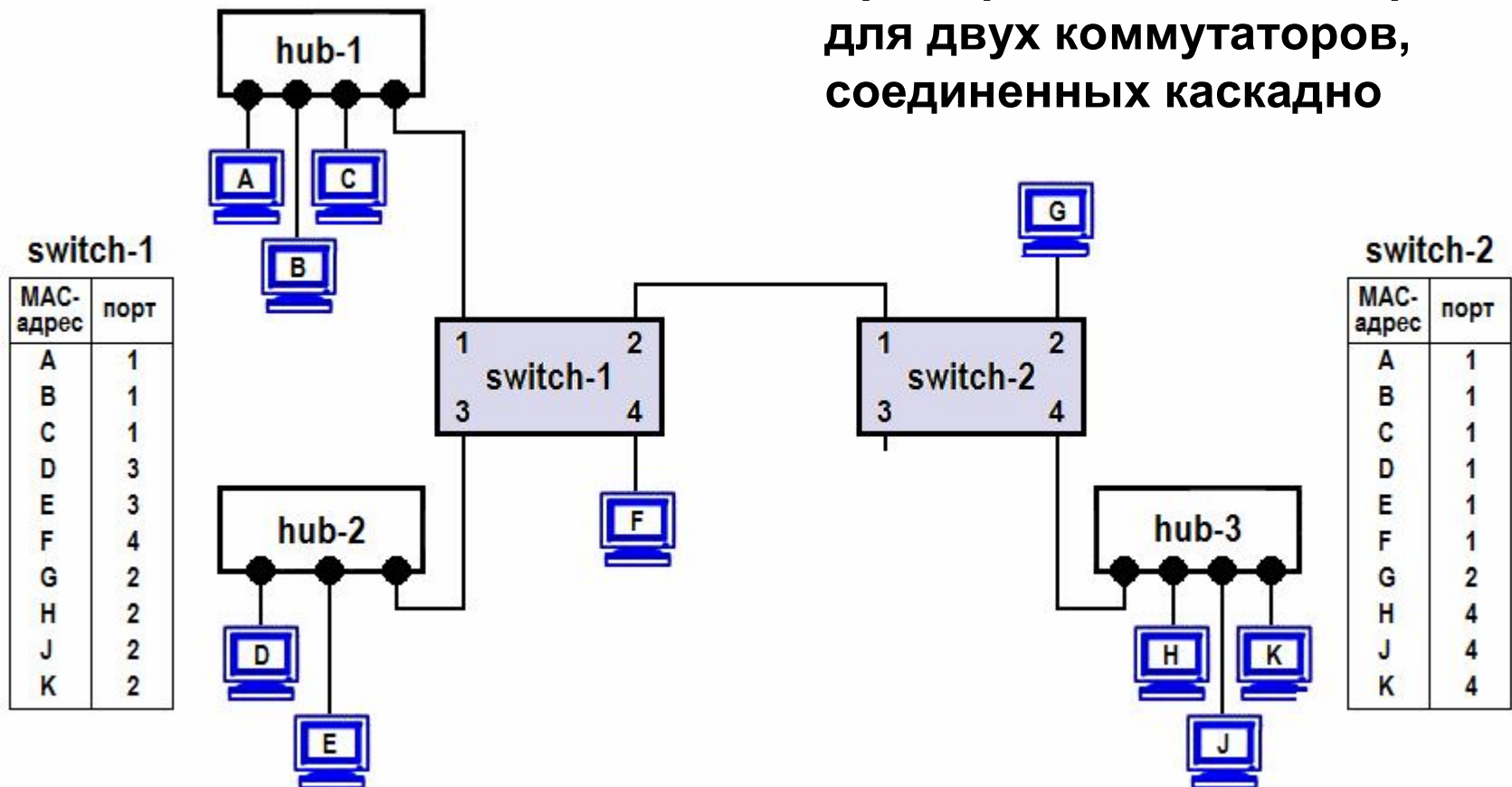
Мосты и коммутаторы

Мост хранит в памяти **таблицу коммутации MAC-адресов** узлов, подключенных к каждому порту. По ней он определяет, следует ли пересылать пришедший кадр в другой сегмент.



Мосты и коммутаторы

Пример таблиц MAC адресов для двух коммутаторов, соединенных каскадно



Мосты и коммутаторы

Формирование таблицы коммутации MAC адресов

При включении коммутатора его таблица MAC адресов пуста.

При поступлении кадра на коммутатор, MAC адрес отправителя вносится в таблицу с указанием порта, принявшего этот кадр.

Далее анализируется MAC адрес получателя.

Если он широковещательный или его нет в таблице, то кадр направляется во все порты, кроме принявшего.

Если же MAC адрес получателя найден в таблице, то кадр направляется в него.

Мосты и коммутаторы



Время устаревания (aging-time)

период, в течение которого запись сохраняется в таблице коммутации MAC адресов.

Обычно это 300 секунд, хотя в некоторых коммутаторах его можно изменить.

Записи в таблице MAC адресов нельзя сохранять вечно, поскольку некоторые узлы могут быть отключены от портов коммутатора и таблица будет уже неактуальной.

Мосты и коммутаторы

Сегментация

Каждый порт отделяет домен коллизий.
Если в домене всего 1 узел, то коллизий в нем не бывает.

Каскадирование коммутаторов

На число каскадов ограничений нет, поскольку связи между коммутаторами работают в режиме полного дуплекса без коллизий.

Рекомендуется в один широковещательный домен подключать **до 200 узлов**, иначе широковещательный трафик занимает слишком большую долю общего трафика.
Если их число > 1000 , сеть практически неработоспособна.

Мосты и коммутаторы

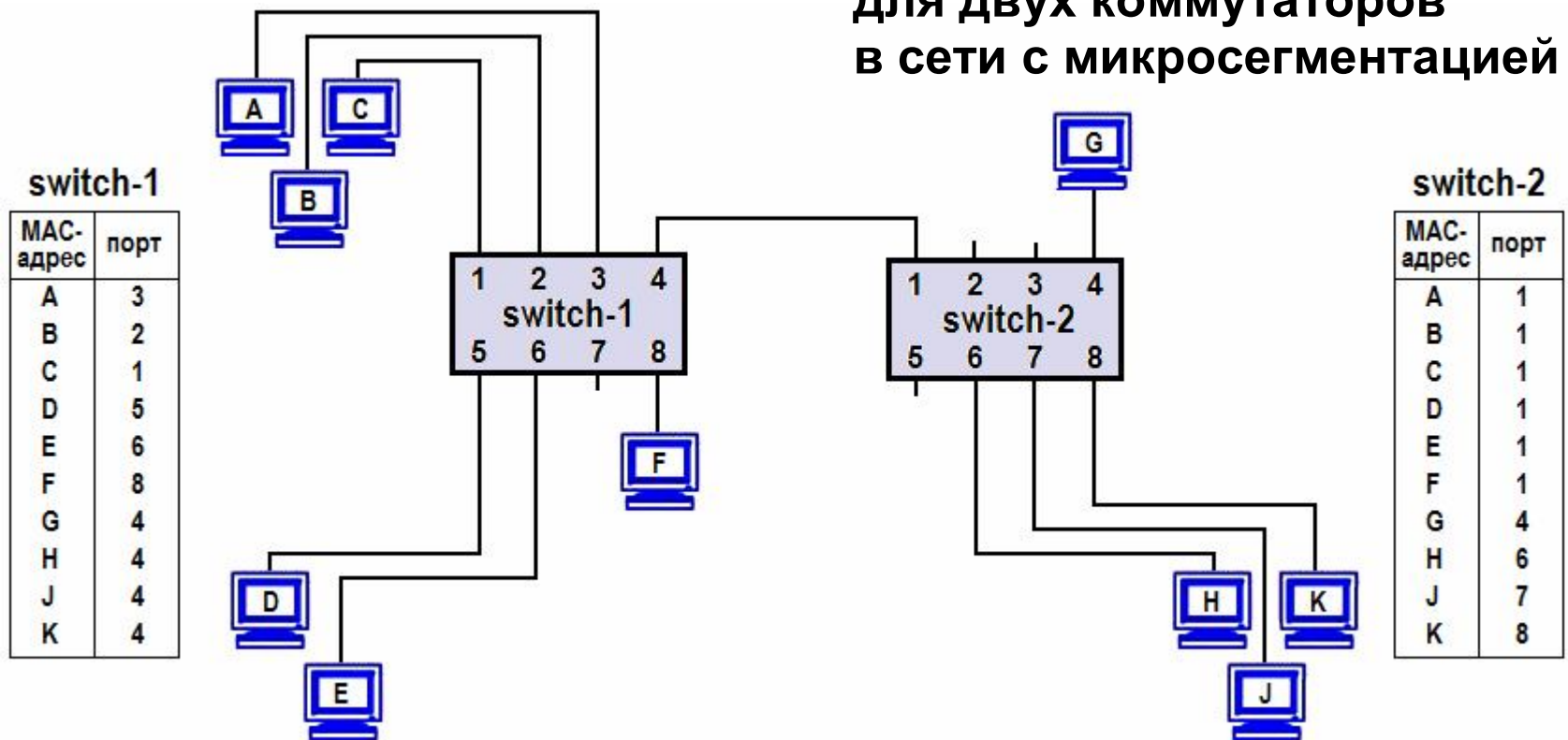


Микросегментация

Каждому узлу – свой порт, среда не разделяется.
Сеть функционирует в режиме полного дуплекса, без коллизий, используя всю полосу пропускания в обоих направлениях, образуя один широковещательный домен.

Мосты и коммутаторы

Пример таблиц MAC адресов
для двух коммутаторов
в сети с микросегментацией



Мосты и коммутаторы

Методы коммутации

С промежуточным хранением (store-and-forward):

коммутатор копирует принятый кадр в буфер и проверяет на наличие ошибок. Если кадр не содержит ошибок, то он передается через соответствующий порт узлу назначения.

Преимущество: на разных портах коммутатора могут быть разные скорости передачи (10/100/1000 Мбит/с).

Без буферизации (cut-through):

коммутатор, приняв MAC адрес получателя (первые 6 байт после преамбулы), по нему определяет выходной порт и сразу начинает передавать кадр, не дожидаясь его полного приема.

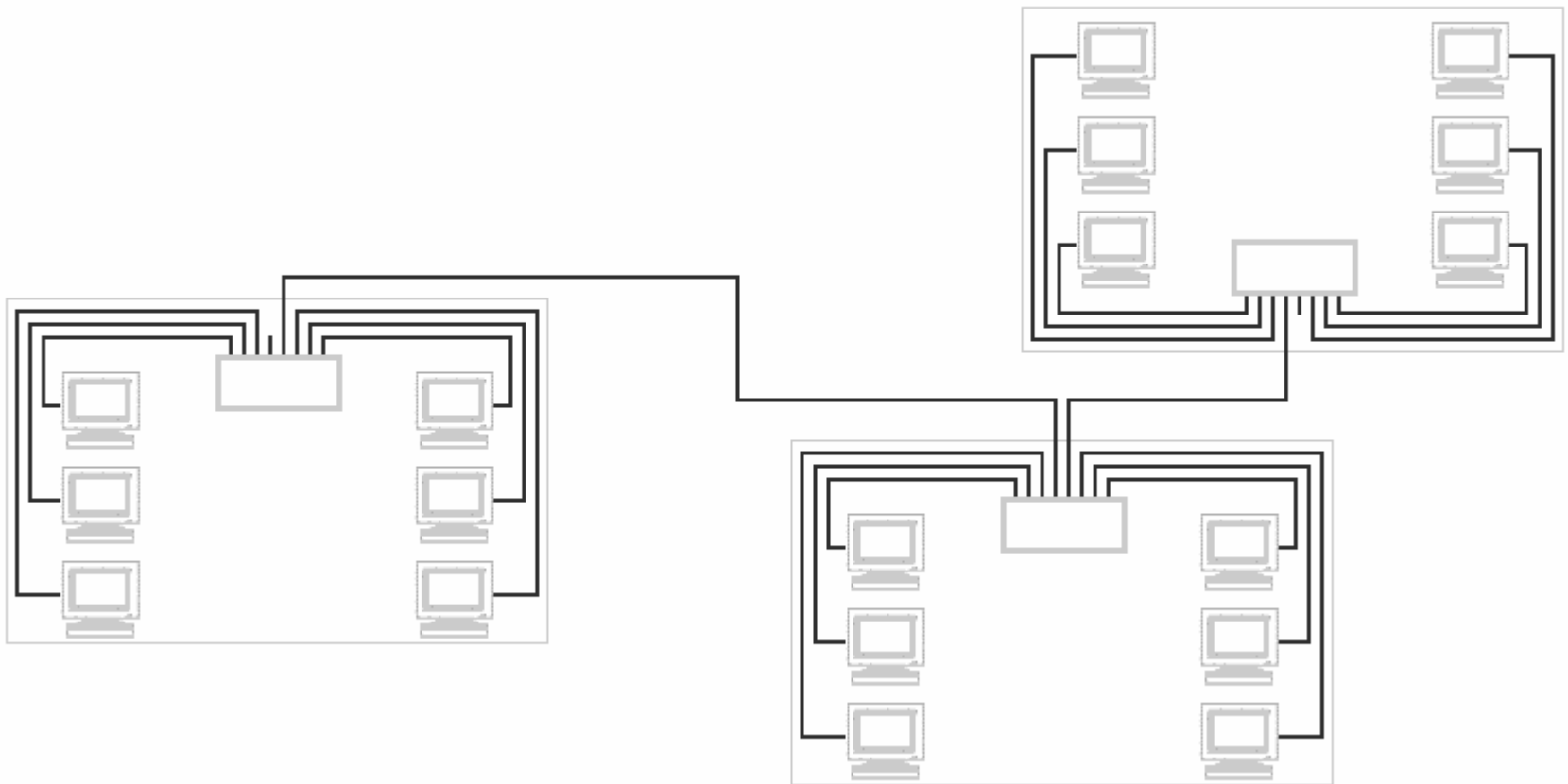
Преимущество: минимизация задержек.

Мосты и коммутаторы

- https://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевой_мост
- [https://ru.qwe.wiki/wiki/Bridging_\(networking\)](https://ru.qwe.wiki/wiki/Bridging_(networking))
- https://ru.qwe.wiki/wiki/Network_switch
- <https://intuit.ru/studies/courses/3591/833/lecture/14251>
- <https://easy-network.ru/24-urok-14.html>
- <https://www.luckycom.ru/articles/59.html>

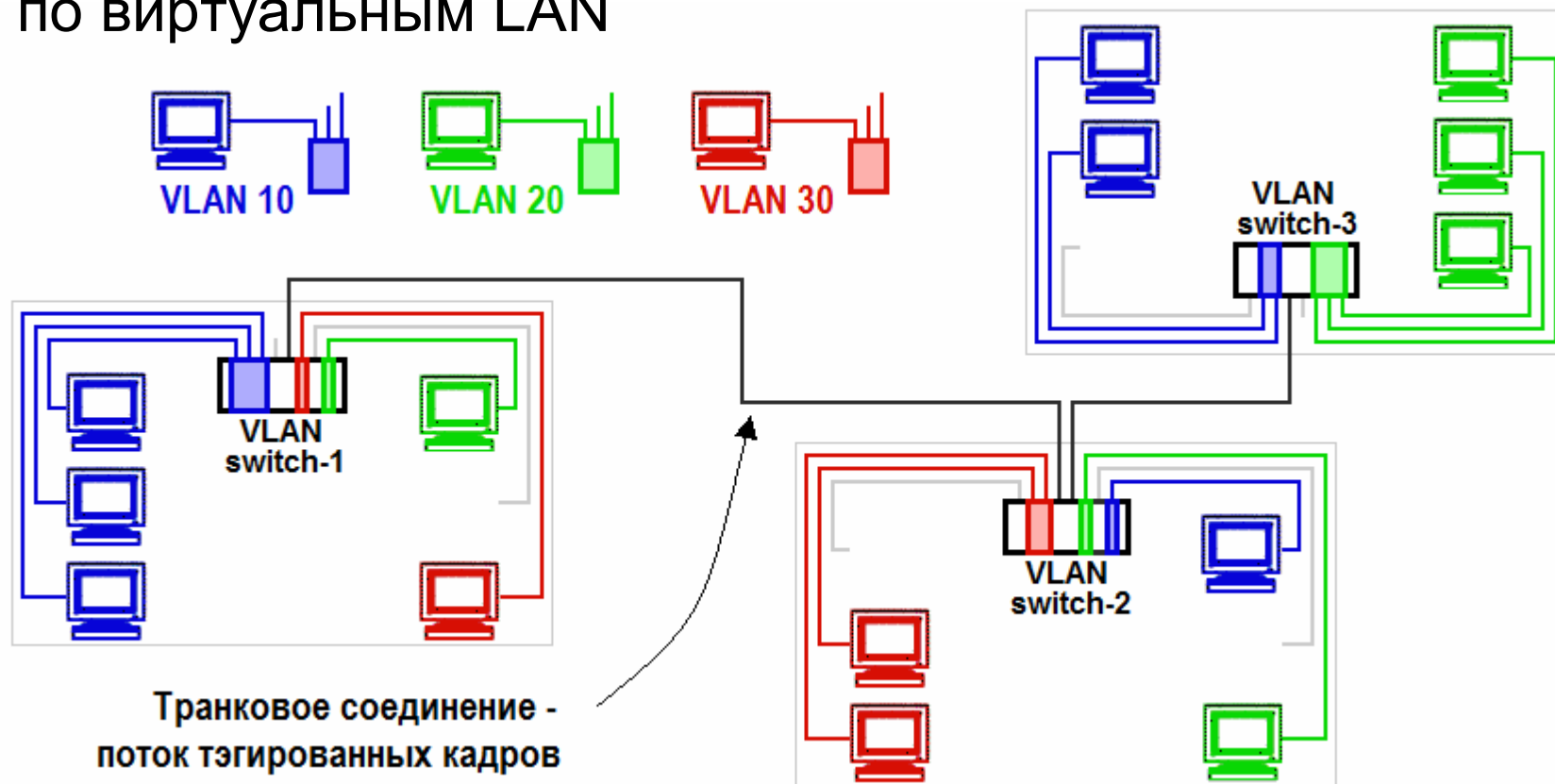
VLAN – Virtual LAN

Пример кабельной разводки

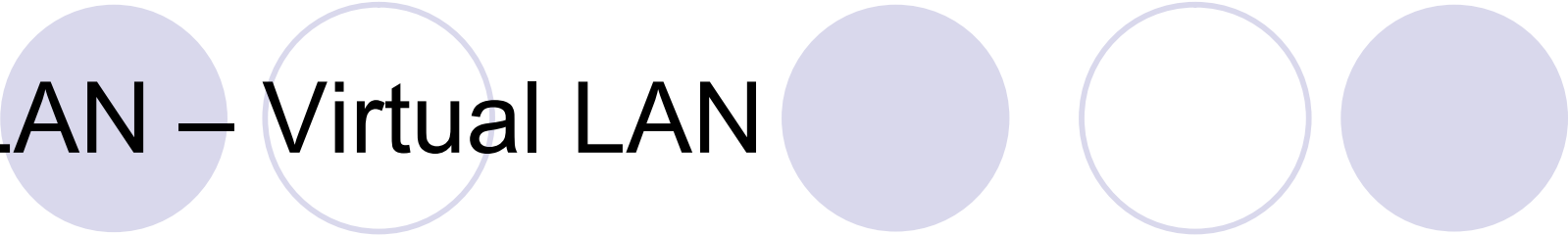


VLAN – Virtual LAN

Разделение трафика
по виртуальным LAN



VLAN – Virtual LAN



Виртуальная ЛВС (Virtual LAN, VLAN)

логическая группа узлов, которые, как представляется, находятся в одной и той же локальной сети (в одном широковещательном домене), несмотря на их географическое распределение.

VLAN-ы являются логическими объектами, поэтому их создание и конфигурация выполняются программно. Для их создания требуются коммутаторы, которые поддерживают такую функцию.

Трафик отдельного VLAN-а, в том числе и широковещательный, на канальном уровне полностью изолирован от других узлов.

Организация VLAN-ов упрощает администрирование сети, например, при физическом перемещении рабочих станций пользователей.

VLAN



Для создания VLAN-ов на основе **одного** коммутатора нужно каждый из его портов приписать тому или иному VLAN-у.

Для создания VLAN-ов на основе **нескольких** коммутаторов необходимо соединить их между собой.

1-й способ: **группирование портов.**

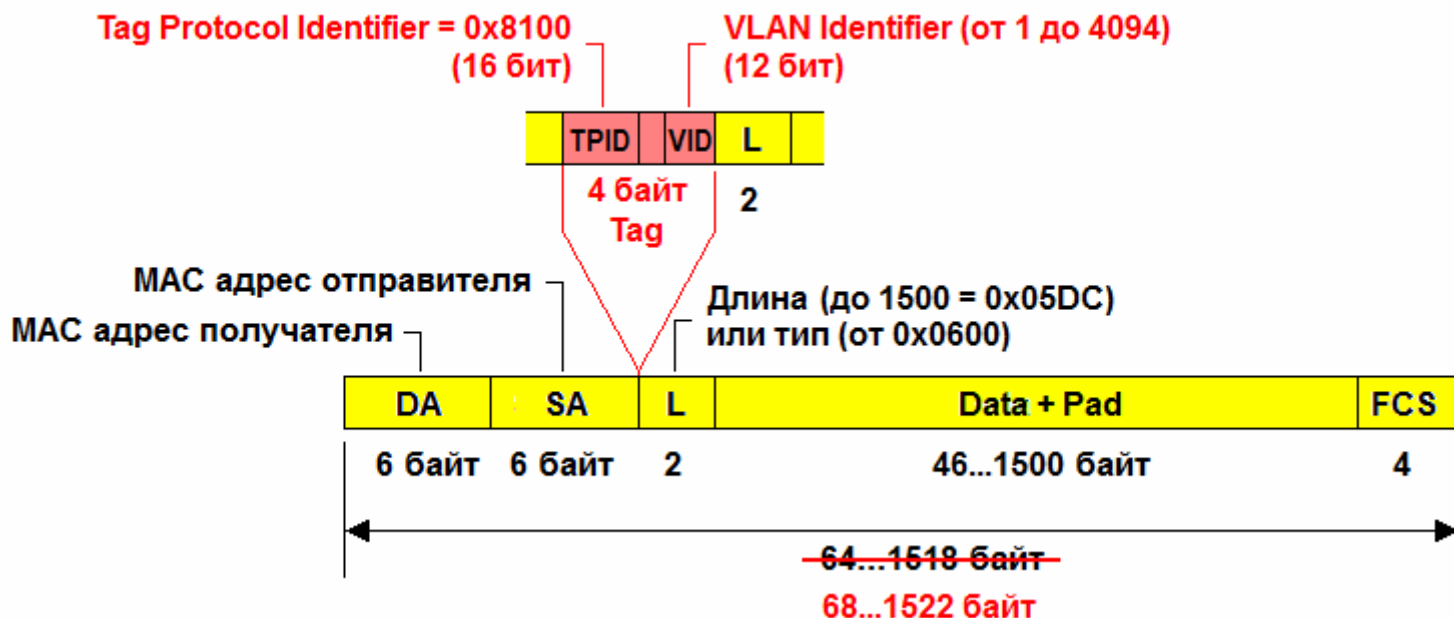
Для соединения каждого VLAN-а выделить отдельную пару портов, тогда для соединения коммутаторов потребуется столько портов, сколько организовано VLAN-ов, в результате порты и кабели используются очень расточительно.

2-й способ: **тэгированное соединение коммутаторов.**

VLAN

Тэгированное соединение коммутаторов

В каждый кадр в потоке между коммутаторами добавляется дополнительное поле, содержащее **метку (Tag, тэг)** VLAN-а.



VLAN



Порт коммутатора с поддержкой VLAN-ов может быть настроен на один из двух режимов:

access port – «обычный» порт, принадлежащий одному VLAN-у и передающий нетегированный трафик. Любой кадр, который приходит через access порт, помечается номером этого VLAN-а. Используется для подключения узла к сети.

trunk port – «транковый» порт, передающий тегированный трафик нескольких VLAN-ов. Используется для связи между коммутаторами.

VLAN



- <https://easy-network.ru/27-urok-17.html>
- <https://asp24.ru/novichkam/vlan-dlya-chaynikov/>
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/VLAN>
- <https://habr.com/ru/post/319080/>
- http://koi.tspu.ru/koi_books/gazizov2/6_Virtyalnie_localnie_ceti.htm
- <https://lanmarket.ua/entsiklopediya/telekommunikatsionnye-tehnologii/vlan.html>
- <http://xgu.ru/wiki/VLAN>

2-й (канальный) уровень модели OSI

Назначение:

Физическая адресация

Оборудование:

Мосты, коммутаторы (свичи), сетевые карты

Тип обрабатываемых данных:

Кадры (фреймы)

Адресация:

MAC-адреса