



---

**Образовательный комплекс**  
***Компьютерные сети***

---

Лекция 9

Технологии передачи

**Microsoft®**

# Содержание

- Методы доступа к сети
- Технологии передачи
  - Ethernet
  - Token Ring



---

# Методы доступа к сети

---

# Методы доступа к сети

- Метод доступа к сети определяет алгоритм, согласно которому узлы сети получают доступ к среде передачи данных и осуществляют передачу (включая мультиплексирование / демultipлексирование данных)
- Мы рассмотрим следующие методы
  - ALOHA
  - CSMA/CD
  - CSMA/CA
  - CDMA
  - Маркерный доступ



# Методы доступа к сети ALOHA

- Алгоритм ALOHA использовался для доступа к радиоканалу большого числа независимых узлов
  - Отправитель может выполнять передачу в любой момент
    - Возможно возникновение **коллизий** – ситуаций, когда несколько узлов передают одновременно. В случае коллизии сигнал будет разрушен.
  - Получатель должен подтвердить получение данных и сообщить, были ли они искажены в процессе передачи
  - Если данные были искажены, все узлы, одновременно выполнявшие передачу, делают паузу и выполняют повторную попытку
  - Размер паузы выбирается случайно

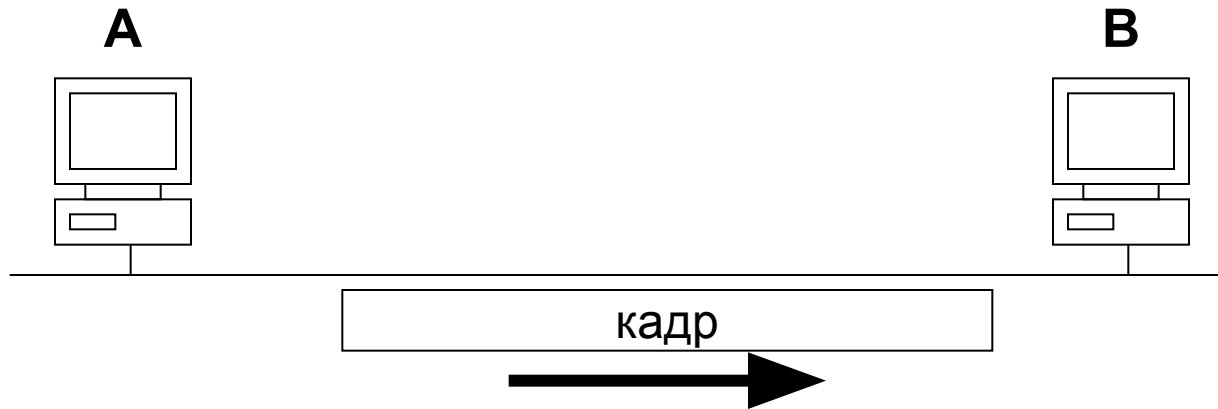


# Методы доступа к сети CSMA/CD...

- Carrier Sensitive Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)
  - Отправитель может начать передачу в любой момент, когда он не принимает из среды передачи сигнал от другого узла
  - Если по среде передается кадр, по окончании его передачи выдерживается некоторая пауза (межкадровый интервал)
  - В случае возникновения коллизии, все участвовавшие в ней узлы делают паузу, после чего повторяют попытку передачи
- Принципиальное отличие от алгоритма ALOHA (с точки зрения коллизий) заключается в том, что в ALOHA коллизии определяются на входе получателя, а в CSMA/CD – на выходе источника



# Методы доступа к сети CSMA/CD...



- С одной стороны, эффективность алгоритма CSMA/CD зависит от того, насколько быстро передающий узел определяет возникновение коллизии и прекращает передачу
- С другой стороны, для четкого определения коллизии требуется, чтобы время передачи кадра минимального размера было больше удвоенного времени передачи сигнала между максимально удаленными узлами сети
  - Например, если узел A уже отправил весь кадр, но начало кадра еще не достигло узла B (как на рисунке), то узел B может начать передачу, в этом случае возникнет коллизия, но узел A не сможет определить что он является участником коллизии
  - Для обнаружения необходимо, чтобы в момент, когда сигнал, передаваемый узлом B, достигнет узла A, узел A еще не закончил передачу своего кадра

# Методы доступа к сети CSMA/CD

- Существует еще одна разновидность метода CSMA/CD
  - Если узел желает выполнить передачу, и в этот момент по сети передается сигнал, то узел считает, что коллизия уже произошла и делает паузу случайной длительности
  - Данный алгоритм повышает эффективность (% использования пропускной способности), но существенно увеличивает среднее время доступа к среде передачи
- Все разновидности CSMA/CD являются случайными методами доступа к сети



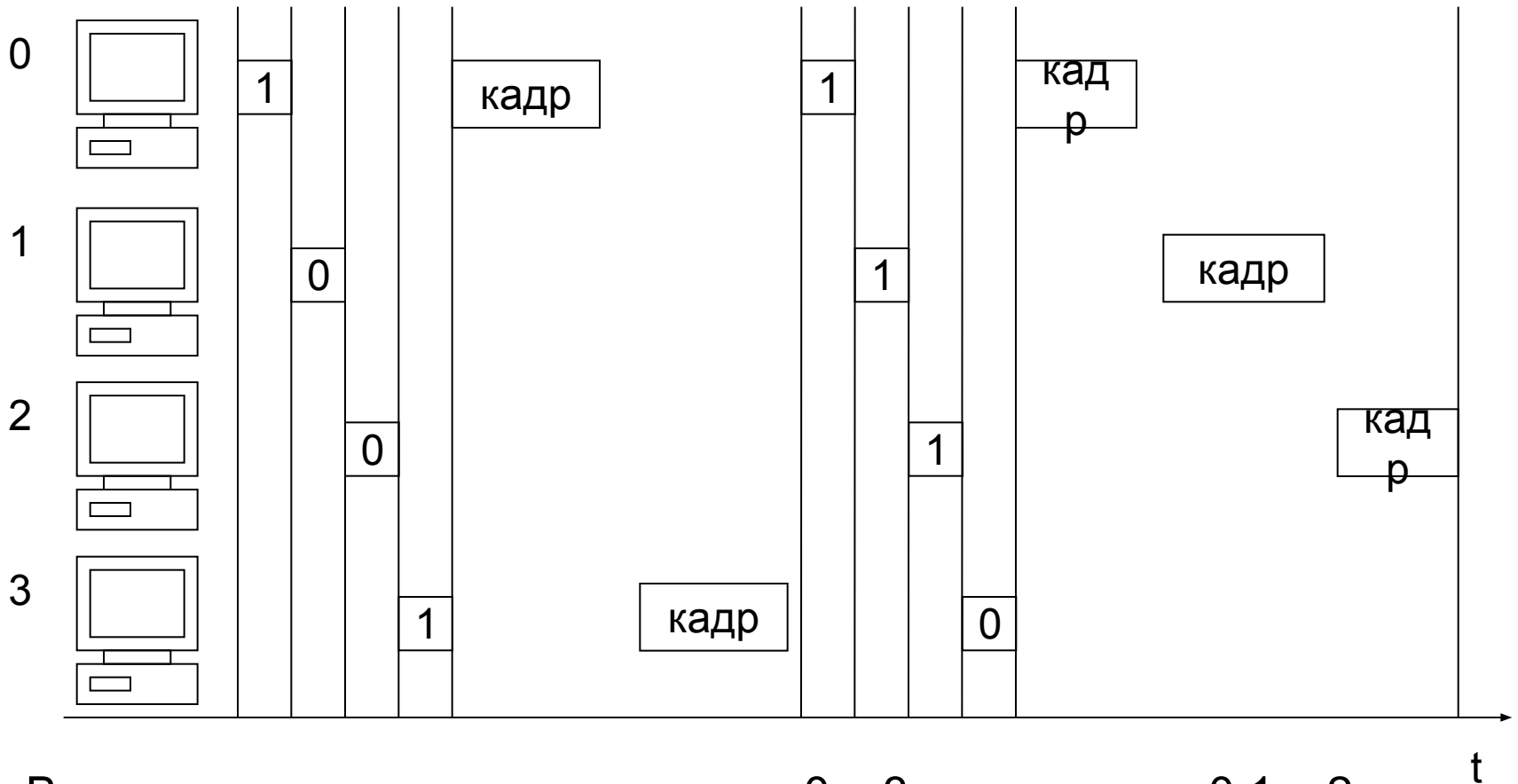


# Методы доступа к сети CSMA/CA...

- Carrier Sensitive Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)
  - ❑ Предположим, к среде передачи подключено  $N$  узлов
  - ❑ Каждому узлу выделяется свой номер от 0 до  $N-1$
  - ❑ После передачи каждого кадра делается пауза, в которой определяются  $N$  временных интервалов
  - ❑ Если узел готов к передаче, в свой временной интервал он передает 1 (сообщая о своей готовности всем узлам)
  - ❑ По завершении паузы известны все узлы, готовые к передаче, и они передают по одному кадру в порядке возрастания своих номеров
- Данный метод является детерминированным



# Методы доступа к сети CSMA/CA...



В первом цикле передают станции 0 и 3, во втором – 0, 1 и 2

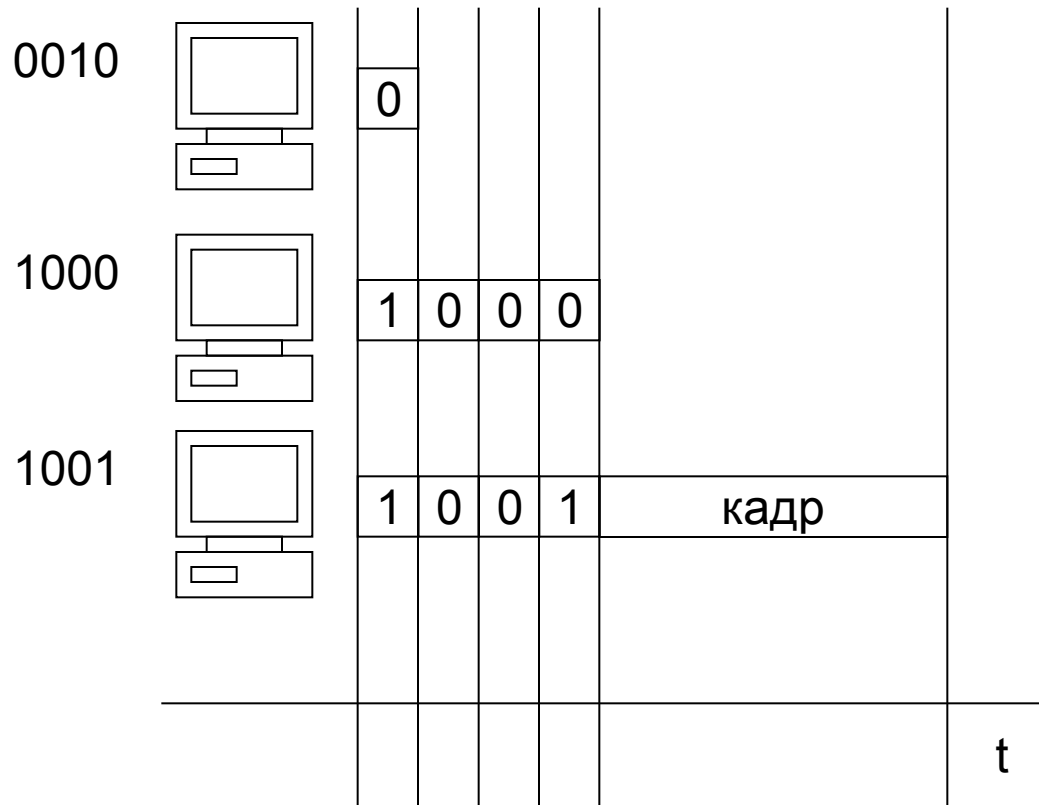


# Методы доступа к сети CSMA/CA...

- Другой вариант CSMA/CA
  - ❑ Предположим, к среде передачи подключено  $N$  узлов ( $N < 2^K$ )
  - ❑ Каждому узлу выделяется свой приоритет от 0 до  $N-1$
  - ❑ После передачи каждого кадра делается пауза, в которой определяются  $K$  временных интервалов (если кадр не передавался, узлы должны быть каким-либо образом синхронизированы)
  - ❑ Если узел готов к передаче, он передает свой приоритет по биту в интервал (нулю соответствует обычный уровень сигнала, единице – пониженный)
  - ❑ Если принятый сигнал соответствует тому, что передавал узел (если несколько узлов передают единицу, результат воспринимается как единица), узел продолжает передачу битов своего приоритета, если нет – считает, что выполнять передачу должен узел с более высоким приоритетом и отказывается от передачи
  - ❑ Если узел успешно передал все биты приоритета, он передает кадр



# Методы доступа к сети CSMA/CA



Узел 0010 выбыл из соревнования после первого интервала, узел 1000 – после четвертого

# Методы доступа к сети CDMA

- Code Division Multiple Access (CDMA)
  - Каждому узлу выдается уникальный  $m$ -битный код (типичные значения  $m$  – 64, 128; коды выбираются так, чтобы при замене битов со значением 0 на -1 быть взаимно ортогональными)
  - Каждый битовый интервал делится на  $m$  коротких интервалов, называемых чипами
  - Для передачи единицы станция посылает свой код (по одному биту за интервал), для передачи 0 – дополнение своего кода до 1
  - Принимающая станция умножает принятый сигнал на коды всех узлов
    - Если при перемножении на код узла результат равен 0 – узел не выполнял передачу
    - Если результат равен -1 – узел передавал 0
    - Если результат равен +1 – узел передавал 1
- Таким образом, теоретически CDMA позволяет выполнять передачу всем узлам одновременно



# Методы доступа к сети

## Маркерный доступ...

- Алгоритмы маркерного доступа используют маркер (токен) – небольшой пакет специального вида
  - ❑ В сети задается последовательность обхода узлов (кольцо)
  - ❑ Маркер непрерывно передается по кольцу, предоставляя узлам право передавать свой кадр
  - ❑ Узел, желающий передать свой пакет, должен дождаться прихода к нему свободного маркера. Затем он присоединяет к маркеру свой пакет, помечает маркер как занятый и отправляет эту посылку следующему по кольцу узлу.
  - ❑ Все остальные узлы, получив маркер с присоединенным пакетом, проверяют, им ли адресован пакет. Если пакет адресован не им, то они передают полученную посылку (маркер + пакет) дальше по кольцу.
  - ❑ Если какой-то узел распознает пакет как адресованный ему, то он его принимает, устанавливает в маркере бит подтверждения приема и передает посылку (маркер + пакет) дальше по кольцу.
  - ❑ Передававший узел получает свою посылку, прошедшую по всему кольцу, обратно, помечает маркер как свободный, удаляет из сети свой пакет и посылает свободный маркер дальше по кольцу



# Методы доступа к сети

## Маркерный доступ

- Метод маркерного доступа – детерминированный, в отличие от CSMA/CD, который является случайным
- Метод маркерного доступа обеспечивает гарантированное время доступа к среде передачи и при высокой загрузке сети гораздо эффективнее случайных методов (в частности, в силу отсутствия потерь времени из-за коллизий)

---

# Технологии передачи

---



# Ethernet

## История

- Ethernet – самый распространенный в настоящий момент стандарт локальных сетей
- 1972 г. – Xerox организовала экспериментальную сеть
- 1980 г. – DEC, Intel и Xerox разработали и опубликовали стандарт Ethernet II (Ethernet DIX)
- На основе стандарта Ethernet DIX был разработан стандарт IEEE 802.3
- На основе стандарта Ethernet DIX/IEEE 802.3 разработаны расширения Fast Ethernet и Gigabit Ethernet
- Стандарт Ethernet DIX/IEEE 802.3 содержит следующие спецификации физического уровня
  - ❑ 10Base-5 (толстый коаксиальный кабель)
  - ❑ 10Base-2 (тонкий коаксиальный кабель)
  - ❑ 10Base-T (витая пара)
  - ❑ 10Base-FL (оптоволоконный кабель)
  - ❑ 10Base-FB (оптоволоконный кабель)



# Ethernet

## Оригинальный стандарт...

- Оригинальный стандарт IEEE 802.3 определяет следующие параметры
  - ❑ Сетевая топология – шина
  - ❑ Сетевой кабель – коаксиальный кабель
  - ❑ Скорость передачи – 10 МБит/с
  - ❑ Максимальная длина сети – 2500 м
  - ❑ Максимальное количество узлов – 1024
  - ❑ Максимальная длина сегмента сети – 500 м
  - ❑ Максимальное количество узлов в одном сегменте – 100
  - ❑ Метод доступа – CSMA/CD
  - ❑ Метод кодирования – Манчестер-II



# Ethernet

## Параметры CSMA/CD...

Межкадровый интервал	9,6 мкс
Максимальное число попыток передачи	16
Максимальная длина кадра (без преамбулы)	1518 байт
Максимальная длина кадра (без преамбулы)	64 байта
Длина преамбулы	8 байт
Минимальная длина случайной паузы после коллизии	0 битовых интервалов
Максимальная длина случайной паузы после коллизии	524000 битовых интервалов



# Ethernet

## Параметры CSMA/CD

- В случае обнаружения коллизии устройство прекращает передачу и передает специальную 32-битную jam-последовательность, усиливающую коллизию
- Длина паузы при коллизии вычисляется по формуле
  - Длина паузы =  $L * 512$  битовых интервалов (51,2 мкс),  
где  $L$  – значение равномерной случайной величины из интервала  $[0, 2^N]$ ,  
 $N = \max(10, \text{номер\_попытки\_передачи})$



# Ethernet

## Спецификации физического уровня

- Стандарт IEEE 802.3 со временем был дополнен дополнительными спецификациями физического уровня
  - 10Base-5 (толстый коаксиальный кабель)
  - 10Base-2 (тонкий коаксиальный кабель)
  - 10Base-T (витая пара)
  - 10Base-FL (оптоволоконный кабель)
  - 10Base-FB (оптоволоконный кабель)
- Численные параметры перечисленных спецификаций мы рассмотрели в лекции 7 "Сетевые кабели"



# Ethernet

## Формат кадра

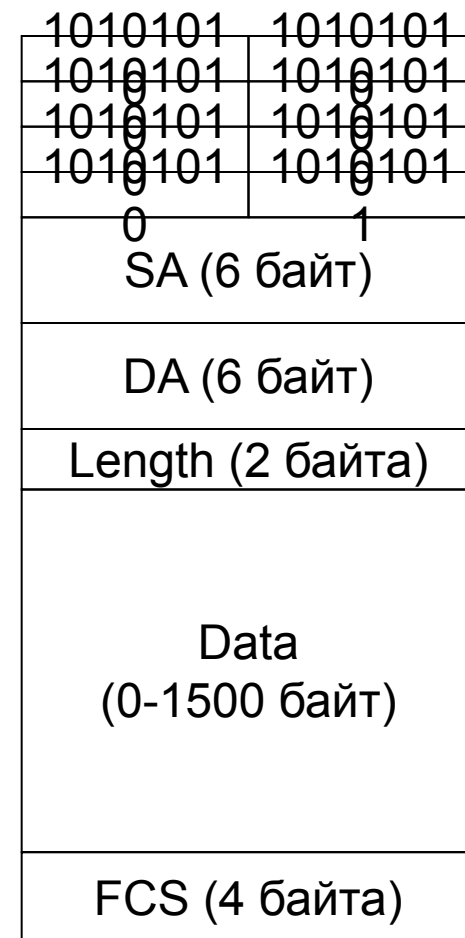
- Существует несколько типов формата кадра, что обусловлено историческими причинами
  - При использовании разных форматах возможна некорректная работа аппаратного и программного обеспечения, но
  - современная аппаратура, как правило, способна работать с кадрами любого типа
- Мы рассмотрим один из форматов (802.3/LLC)



# Ethernet

## Формат кадра (802.3/LLC)

- Преамбула (8 байт)
  - ❑ первые семь байт содержат 10101010
  - ❑ последний байт – 10101011 (признак начала кадра, Start of Frame Delimiter, SFD )
- MAC-адрес приемника (6 байт)
- MAC-адрес источника (6 байт)
- Длина поля данных кадра (2 байта)
- Поле данных (от 0 до 1500 байт)
- Поле заполнения (от 0 до 46 байт)
  - ❑ если длина поля данных меньше 46 байт, данное поле дополняет данные до 46 байт
- Контрольная сумма (4 байта)
  - ❑ Frame Check Sequence (FCS) содержит 32-разрядную циклическую контрольную сумму пакета (CRC-32)



# Ethernet

## Выводы

- Ethernet – самая распространенная технология
- Существуют различные версии Ethernet, в узком смысле Ethernet – это технология описанная в стандарте IEEE 802.3, но большинство современных устройств поддерживают все версии
- При отсутствии коллизий коэффициент использования сети имеет максимальное значение 0,96
- В реальных условиях при коэффициентах использования сети больших 0,5 ее производительность резко падает из-за роста числа коллизий





# Token Ring

## История

- Token Ring разрабатывалась как надежная альтернатива Ethernet
- 1980 г. – IBM разработала первый вариант Token Ring
- 1985 г. – принимается стандарт IEEE 802.5
- Несмотря на то, что Ethernet является лидирующей технологией, миллионы узлов используют технологию Token Ring



# Token Ring

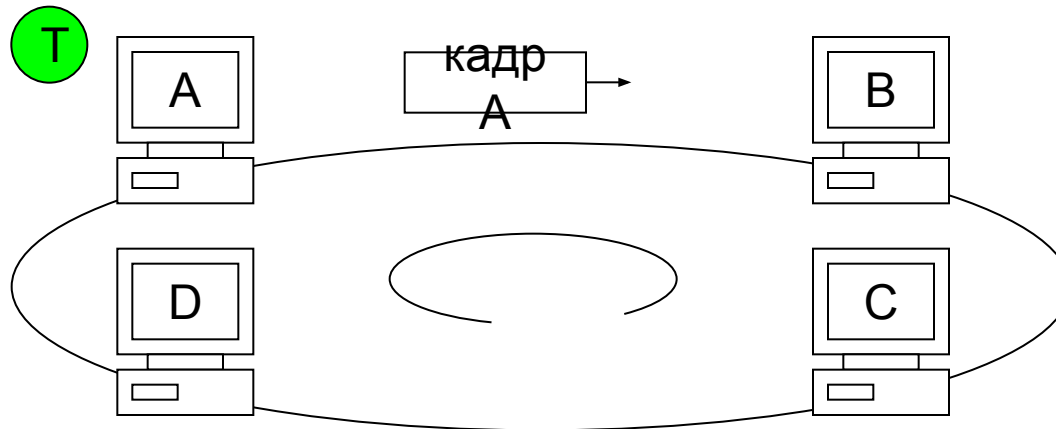
## Параметры

- Сетевая топология – кольцо
- Сетевой кабель – кабель витой пары
- Скорость передачи – 4 или 16 МБит/с
- Максимальная длина кабеля – 100 м (STP)
- Максимальная длина кольца – 4000 м
- Максимальное количество узлов – 260
- Метод доступа – маркерный доступ
  
- При использовании кабеля неэкранированной витой пары
  - Максимальная длина кабеля – 45 м
  - Максимальное количество узлов – 72



# Token Ring

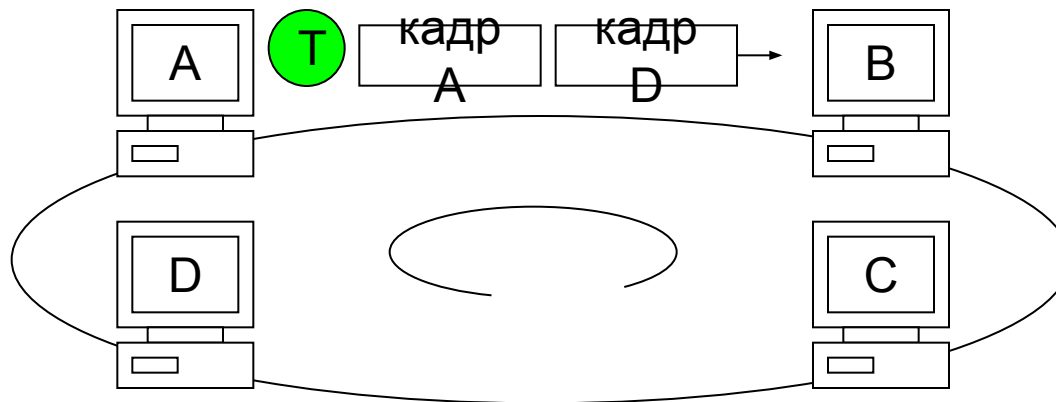
## Маркерный доступ...



- Узел, выполняющий передачу, может захватить маркер на 10 мс (изъяв его из кольца)
  - За это время узел может передать один или несколько кадров
  - Максимальный размер кадра – 4 Кбайт для 4 Мбит/с, 16 Кбайт для 16 Мбит/с

# Token Ring

## Маркерный доступ...



- В версии 16 Мбит/с узел может освободить маркер сразу после завершения передачи кадра
  - Такой алгоритм называется Early Marker Release – алгоритм раннего освобождения маркера

# Token Ring

## Маркерный доступ

- Для различных типов сообщений могут назначаться приоритеты
  - Узел может захватить маркер только если приоритет его сообщения не ниже приоритета маркера
- Для контроля сети один из узлов выполняет роль активного монитора (выбирается при инициализации кольца, обычно – узел с максимальным MAC-адресом)
  - Создает маркер
  - Удаляет дубли маркера и кадры, не удаленные источником
  - Оповещает остальные узлы о своем присутствии (если в течении 7 секунд активный монитор не отправил специальный кадр, производятся его перевыборы)



# Token Ring

## Формат кадра

- В Token Ring существуют 3 различных формата кадров
  - Маркер
  - Кадр данных
  - Прерывающая последовательность



# Token Ring

## Формат маркера

- Начальный разделитель (1 байт)
  - ❑ Start Delimiter (SD) размещается в начале каждого кадра
  - ❑ Он содержит четыре нестандартных битовых интервала, которые не могут встречаться при передаче битов данных
- Управление доступом (1 байт, PPPTMRRR)
  - ❑ Access Control содержит следующие поля
  - ❑ PPP – приоритет
  - ❑ T – признак маркера доступа
  - ❑ M – признак того, что маркер передан активным монитором
  - ❑ RRR – зарезервировано
- Конечный разделитель (1 байт)
  - ❑ End Delimiter (ED) размещается в конце каждого кадра
  - ❑ Он содержит четыре нестандартных битовых интервала, которые не могут встречаться при передаче битов данных
  - ❑ I (Intermediate) – признак того, что кадр является последним в серии
  - ❑ E (Error) – признак ошибки (устанавливается любым узлом, обнаружившим в кадре ошибку)

SD (1 б) XXXXXXXX
X
AC (1 б) PPPTMRR R
ED (1 б) XXXXXXXXIE

# Token Ring

## Формат кадра данных

- Начальный разделитель (Start Delimiter, 1 байт)
- Управление кадром (Frame Control, 1 байт)
  - Определяет тип кадра (существует 6 типов управляющих кадров)
- MAC-адрес получателя (Destination Address, 6 байт)
- MAC-адрес отправителя (Source Address, 6 байт)
- Данные (0-4 Кб или 0-16Кб)
  - Передаваемые данные или информация для управления обменом
- Контрольная сумма (4 байта)
  - Frame Check Sequence (FCS) – CRC-32
- Конечный разделитель (End Delimiter, 1 байт)
- Статус кадра (Frame Status, 1 байт)
  - Позволяет определить, был ли пакет корректно принят получателем

SD (1 б)
FC (1 б)
DA (6 б)
SA (6 б)
DATA 0-16 Кб
FCS (4 б)
ED (1 б)
FS (1 б)





# Заключение

- Технология Ethernet наиболее популярна в настоящий момент, но производительность ее оригинальной версии сильно деградирует при большой нагрузке
- Token Ring менее популярна, зато надежна и обеспечивает хорошую производительность даже при максимальной нагрузке

# Тема следующей лекции

- Технологии передачи
  - Fast Ethernet
  - Gigabit Ethernet
- Устройства в сети



---

# Вопросы для обсуждения



# Литература

- В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб: Питер, 2001.
- Семенов Ю.А. Алгоритмы телекоммуникационных сетей. Часть 1. Алгоритмы и протоколы каналов и сетей передачи данных БИНОМ. Лаборатория знаний, Интернет-университет информационных технологий – ИНТУИТ.ру, 2007
- Новиков Ю.В., Кондратенко С.В. Основы локальных сетей. М: ИНТУИТ.ру, 2005

