Информационные сети

Протоколы локальных сетей

Локальные сети

- Одним из основных назначений локальной сети является объединение компьютеров в пределах одного здания или нескольких близко стоящих зданий для предоставления пользователям сети доступа к информационным услугам локальных серверов.
- Локальные сети - удобное средство группирования компьютеров для объединения их в глобальную сеть.
  - В глобальной сети проще маршрутизировать данные между сетями, а не отдельными компьютерами.
- Локальные сети применяются также и в телекоммуникационных сетях другого типа, например в телефонных и первичных сетях.
  - Системы управления телефонными коммутаторами или первичными сетями обычно строятся на основе локальной сети, которая объединяет компьютеры ее операторов и обеспечивает им доступ к устройствам управления, встроенным в оборудование телекоммуникационной сети.

Технологии передачи данных

- Практически во всех технологиях 80-х годов использовалась *разделяемая среда* как удобное и экономичное средство объединения компьютеров на физическом уровне.
- С середины 90-х в локальных сетях стали также применяться *коммутируемые* версии технологий. Отказ от разделяемой среды позволил повысить производительность и масштабируемость локальных сетей. В коммутируемых локальных сетях применяются те же протоколы, что и в локальных сетях на разделяемой среде, но в дуплексном режиме.
- Преимуществом коммутируемых локальных сетей является возможность применения разнообразных методов обеспечения QoS, что важно, когда в локальной сети передается трафик реального времени, например, трафик IP-телефонов.

Технология Ethernet

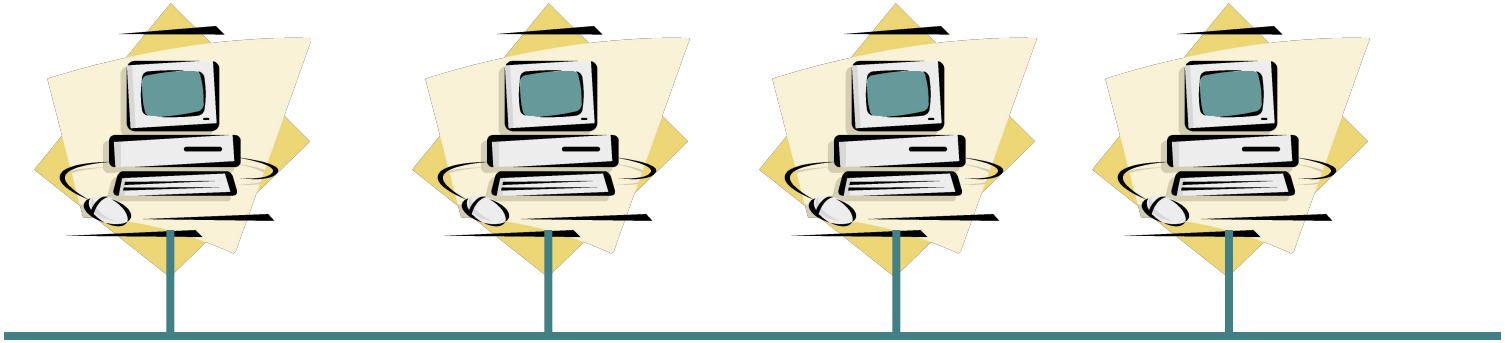
- **Ethernet** — это самый распространенный сегодня стандарт локальных сетей.
- Под Ethernet обычно понимают любой из вариантов этой технологии, в которую входят сегодня также Fast Ethernet, Gigabit Ethernet и 10G Ethernet.
- В узком смысле Ethernet — это сетевой стандарт передачи данных со скоростью 10 Мбит/с, который появился в конце 70-х годов как стандарт трех компаний — Digital, Intel и Xerox.
- В начале 80-х Ethernet был стандартизован рабочей группой IEEE 802.3, и с тех пор он является международным стандартом. Технология Ethernet была первой технологией, которая предложила использовать разделяемую среду для доступа к сети.

Общая характеристика протоколов локальных сетей

- Основная цель, которую ставили перед собой разработчики первых локальных сетей во второй половине 70-х годов, заключалась в нахождении простого и дешевого решения для объединения в вычислительную сеть нескольких десятков компьютеров, находящихся в пределах одного здания.
- Особенности выбора решения:
  - Решение должно было быть недорогим;
  - Количество узлов невелико;
  - Задача подключения локальных сетей в глобальные не была первоочередной.

Стандартная топология и разделяемая среда

- Роберт Меткалф (R. Metcalfe) использовал идею разделяемой среды для проводного варианта технологии LAN.
- Все компьютеры присоединялись к непрерывному сегмент коаксиального кабеля сегменту кабеля по схеме монтажного ИЛИ, поэтому при передаче сигналов одним из передатчиков все приемники получали один и тот же сигнал.



Стандартная топология и разделяемая среда

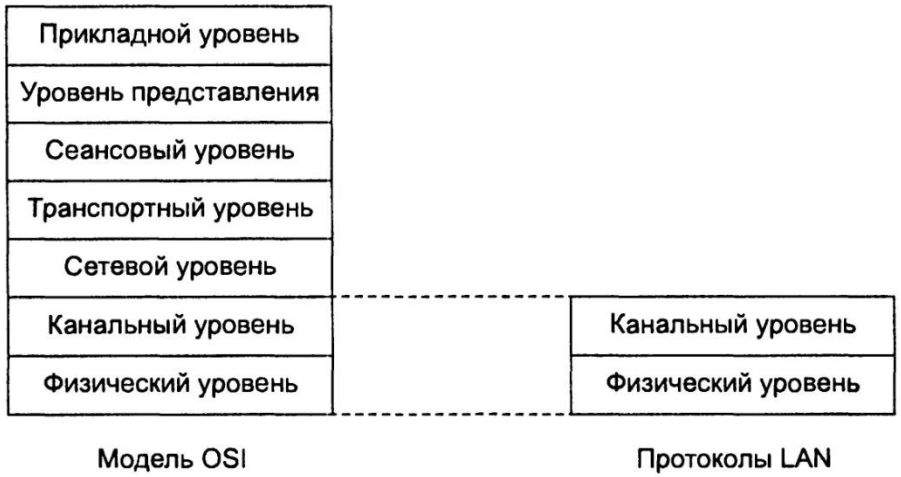
- В технологиях Token Ring и FDDI тот факт, что компьютеры используют разделяемую среду, не так очевиден, как в случае Ethernet.
- Физическая топология этих сетей — **кольцо**, каждый узел соединяется кабелем с двумя соседними узлами.
- Однако отрезки кабеля также являются разделяемыми, так как в каждый момент времени только один компьютер может использовать кольцо для передачи своих пакетов.

Преимущества и недостатки разделяемой среды

- Использование разделяемых сред позволяет *упростить* логику работы узлов сети. Поскольку в каждый момент времени выполняется только одна передача -> нет необходимости в буферизации кадров в транзитных узлах.
- Основной недостаток разделяемой среды — плохая масштабируемость. Этот недостаток является принципиальным, так как независимо от метода доступа к среде ее пропускная способность делится между всеми узлами сети.
- Действует правило:
  - *как только коэффициент использования общей среды превышает определенный порог, очереди к среде начинают расти нелинейно, и сеть становится практически неработоспособной.*
- В сетях ALOHA это значение является крайне низким — всего около 18 %, в сетях Ethernet — около 30 %, а в сетях Token Ring и FDDI оно выросло до 60-70 %.

Стек протоколов локальных сетей

- Технологии локальных сетей реализуют функции только двух нижних уровней модели OSI — *физического* и *канального*.
- Функциональности этих уровней достаточно для доставки кадров в пределах стандартных топологий, которые поддерживают LAN — звезда (общая шина), кольцо и дерево.



Канальный уровень локальных сетей

- Канальный уровень локальных сетей делится на два подуровня, которые часто также называют уровнями:
  - уровень управления логическим каналом (Logical Link Control, LLC);
  - уровень управления доступом к среде (Media Access Control, MAC).
- Функции уровня LLC обычно реализуются программно, соответствующим модулем операционной системы, а функции уровня MAC реализуются программно аппаратно: сетевым адаптером и его драйвером.

Уровень MAC

- Основными функциями уровня MAC являются:
  - обеспечение доступа к разделяемой среде;
  - передача кадров между конечными узлами, используя функции и устройства физического уровня.

Метод случайного доступа

- **Метод случайного доступа** – основан на том, что узел, у которого есть кадр для передачи, пытается его отправить без согласования времени использования среды с другими узлами.
- Метод случайного доступа является *децентрализованным,* он не требует наличия в сети специального узла, который играл бы роль арбитра, регулирующего доступ к среде.
- Результатом этого является высокая вероятность **коллизий,** то есть случаев одновременной передачи кадра несколькими станциями.
- Во время коллизии происходит наложение сигналов нескольких передатчиков, из-за чего информация всех передаваемых на периоде коллизии кадров искажается.
- Способом улучшения случайного доступа является введение *процедуры прослушивания среды* перед передачей. Узел не имеет права передавать кадр, если он обнаруживает, что среда уже занята передачей другого кадра.

Метод детерминированного доступа

- В методах детерминированного доступа определяется максимальное время ожидания доступа к среде передачи данных.
- Алгоритмы детерминированного доступа используют два механизма - передачу токена и опрос.
- **Передача токена** обычно реализуется *децентрализовано*. Каждый компьютер, получивший токен, имеет право на использование разделяемой среды в течение фиксированного промежутка времени — *времени удержания токена*.
- В это время компьютер передает свои кадры. После истечения этого промежутка компьютер обязан передать токен другому компьютеру.

Метод детерминированного доступа (продолжение)

- **Алгоритмы опроса** чаще всего основаны на *централизованной* схеме.
- В сети существует выделенный узел, который играет роль *арбитра* в споре узлов за разделяемую среду.
- Арбитр периодически опрашивает остальные узлы сети, есть ли у них кадры для передачи. Собрав заявки на передачу, арбитр решает, какому узлу он предоставит право использования разделяемой среды. Затем он сообщает свое решение выбранному узлу, и тот передает свой кадр, захватывая разделяемую среду.
- После завершения передачи кадра фаза опроса повторяется.

Сравнение алгоритмов доступа

- Алгоритмы детерминированного доступа отличаются от алгоритмов случайного доступа тем, что они более эффективно работают при большой загрузке сети, когда коэффициент использования приближается к единице.
- В то же время при небольшой загрузке сети более эффективными являются алгоритмы случайного доступа, так как они позволяют передать кадр немедленно, не тратя время на процедуры определения права доступа к среде.
- Достоинство детерминированных методов доступа также заключается в том, что они могут выставлять приоритеты трафика, а значит, поддерживать требования QoS.

Транспортировка кадра

- *Формирование кадра*. На этом этапе осуществляется заполнение полей кадра на основании информации, получаемой от протокола верхнего уровня. После того как кадр сформирован, уровень MAC подсчитывает контрольную сумму кадра и помещает ее в соответствующее поле.
- *Передача кадра через среду*. Когда кадр сформирован и доступ к разделяемой среде получен, уровень MAC передает кадр на физический уровень, который побитно передает все поля кадра в среду.
- *Прием кадра*. Уровень MAC каждого узла сети, подключенного к разделяемой среде, проверяет адрес назначения поступившего кадра, и если он совпадает с его собственным адресом, то продолжает его обработку, в противном случае кадр отбрасывается. Кадр с корректной контрольной суммой передается уровнем MAC вверх по стеку. Если же контрольная сумма кадра говорит о том, что информация при передаче через среду была искажена, то кадр отбрасывается.

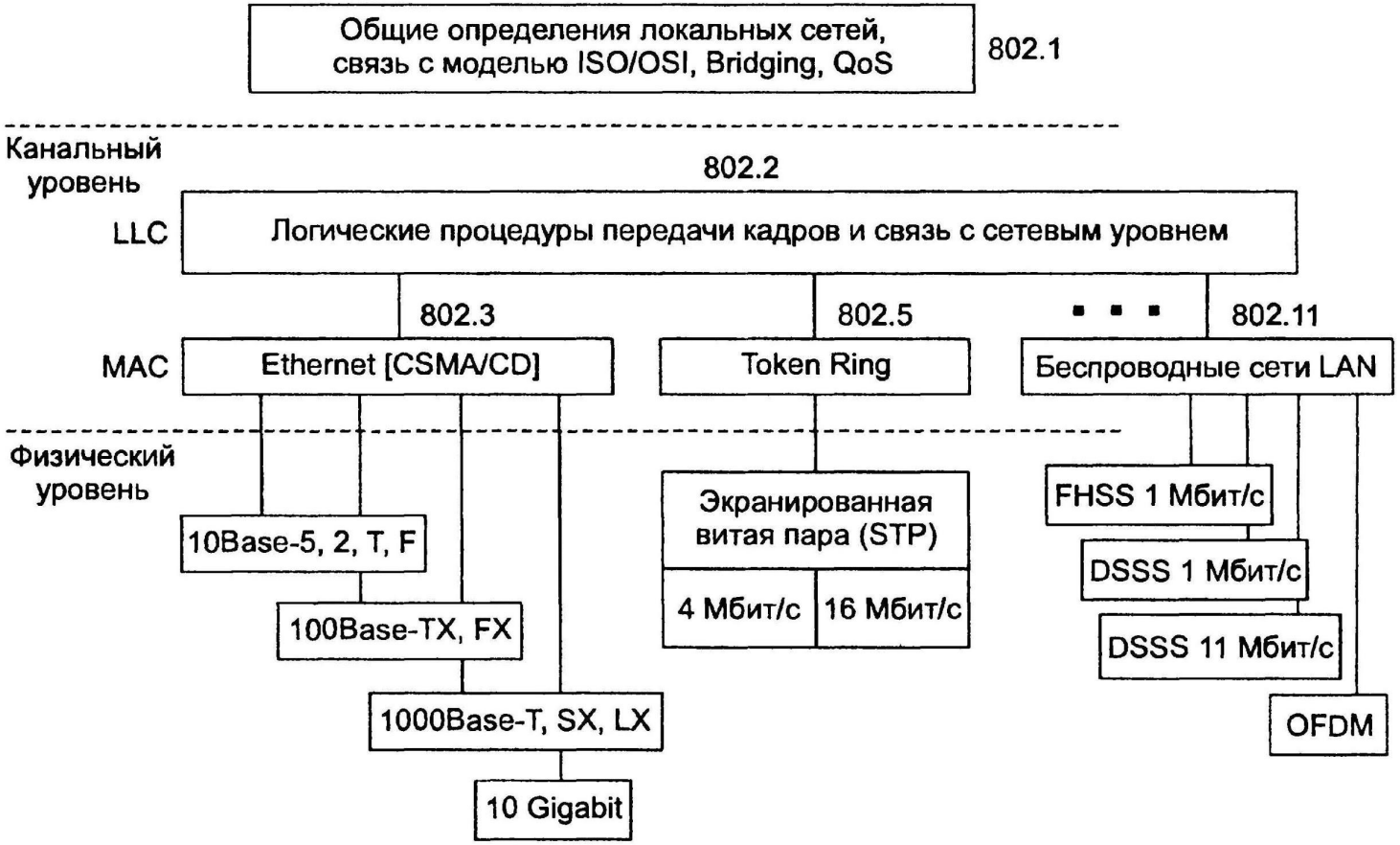
Уровень LLC

- *Уровень LLC* (Logical Link Control) выполняет две функции:
  - организует интерфейс с прилегающим к нему сетевым уровнем;
  - обеспечивает доставку кадров с заданной степенью надежности.
- Интерфейсные функции LLC заключаются в передаче пользовательских и служебных данных между уровнем MAC и сетевым уровнем.
- При передаче данных *сверху вниз* уровень LLC принимает от протокола сетевого уровня пакет (например, IP- или IPX-пакет), в котором уже находятся пользовательские данные.
- Помимо пакета сверху также передается адрес узда назначения в формате той технологии LAN, которая будет использована для доставки кадра в пределах данной локальной сети.
- Кроме того, LLC при необходимости решает *задачу мультиплексирования,* передавая данные от нескольких протоколов сетевого уровня единственному протоколу уровня MAC.

Стандарты IEEE 802.x

- В 1980 году в институте IEEE был организован комитет 802 по стандартизации технологий LAN, в результате работы которого было принято семейство стандартов IEEE 802.x, содержащих рекомендации по проектированию нижних уровней локальных сетей. Эти стандарты базируются на популярных фирменных стандартах, в частности Ethernet, ArcNet и Token Ring.
- Результаты работы комитета 802 легли в основу комплекса международных стандартов ISO 8802-1...5.
- Комитет IEEE 802 и сегодня является основным международным органом, разрабатывающим стандарты технологий локальных сетей.

Структура стандартов IEEE 802.x



Структура стандартов IEEE 802.x

- Над уровнем MAC, специфичным для разных технологий, показан общий для них уровень LLC.
- Стандарт LLC курирует рабочая группа 802.2. Даже технологии, стандартизованные не в рамках комитета 802 (например, FDDI), ориентируются на использование протокола LLC, определенного стандартом 802.2.
- Описание каждой технологии в стандарте разделено на две части: описание уровня MAC и описание физического уровня.
- Практически у каждой технологии единственному протоколу уровня MAC соответствуют несколько вариантов протоколов физического уровня.

Стандарты подкомитета 802.1

- Эти стандарты носят общий для всех технологий характер.
- В подкомитете 802.1 были даны общие определения локальных сетей и их свойств, показана связь трех уровней модели IEEE 802 с моделью OSI.
- Наиболее важными практически являются те стандарты подкомитета 802.1, которые описывают взаимодействие различных технологий, а также стандарты по построению более сложных сетей на основе базовых топологий - **стандарты межсетевого взаимодействия.**
- В их число входят такие важные стандарты, как:
  - стандарт 802.1D, описывающий логику работы прозрачного моста/коммутатора,
  - стандарт 802.1H, определяющий функционирование транслирующего моста.
  - стандарт 802.1Q, определяющим способ построения виртуальных локальных сетей (Virtual LAN, VLAN) в сетях на основе коммутаторов,
  - стандарт 802.1p, описывающим способ приоритезации трафика на канальном уровне (механизмы QoS).

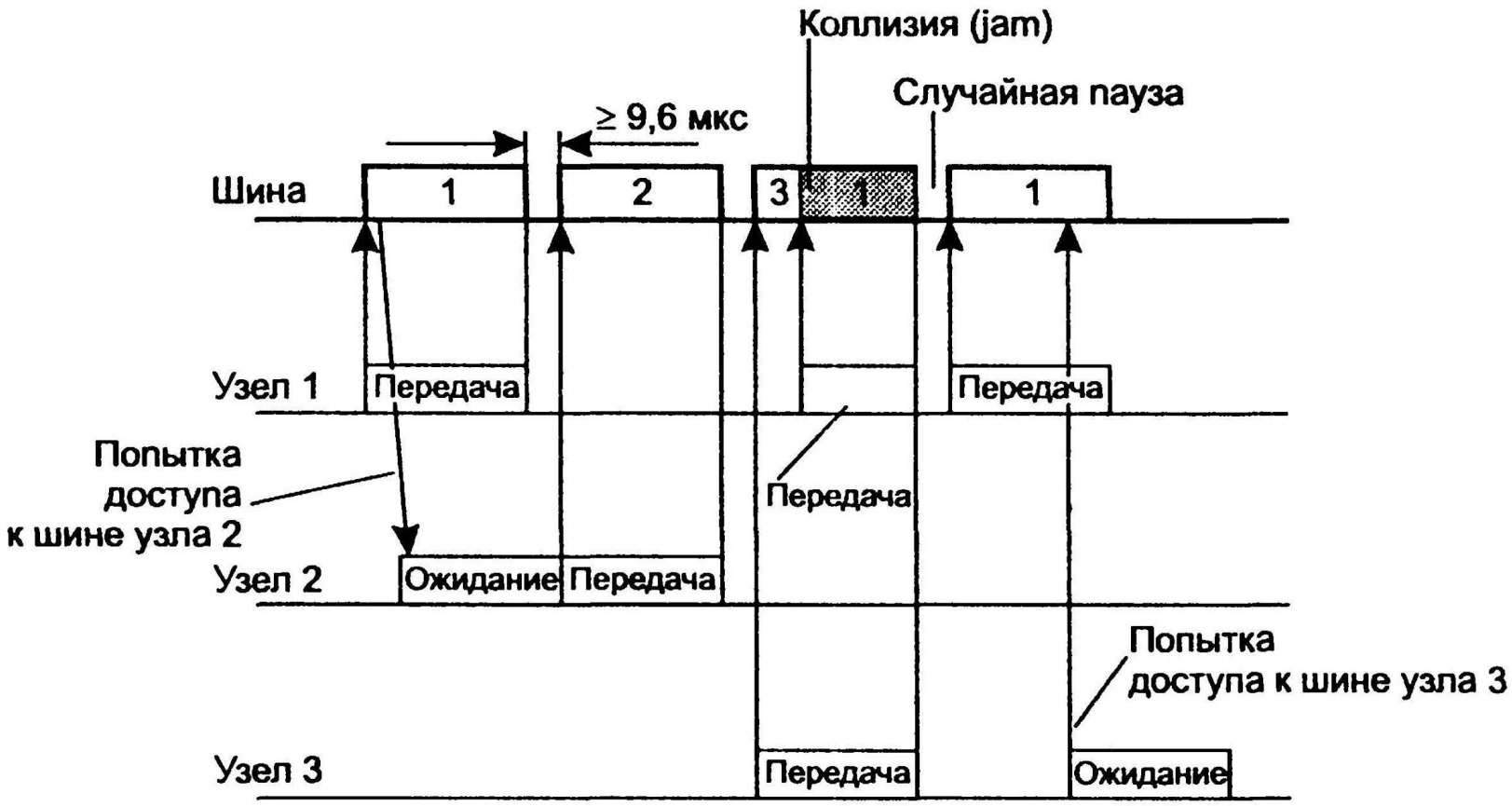
Метод доступа CSMA/CD

- **Метод CSMA/CD** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection — коллективный доступ с опознаванием несущей и обнаружением коллизий) используется для доступа к среде передачи данных в сетях Ethernet.
- На уровне MAC, который обеспечивает доступ к среде и передачу кадра, для идентификации сетевых интерфейсов узлов сети используются регламентированные стандартом IEEE 802.3 уникальные 6-байтовые адреса, называемые **MAC-адресами.**
- Обычно MAC-адрес записывают в виде шести пар шестнадцатеричных цифр, разделенных тире или двоеточиями, например 11-A0-17-3D-BC-01.
- Каждый сетевой адаптер имеет, по крайней мере, один MAC-адрес.

Доступ к среде и передача данных

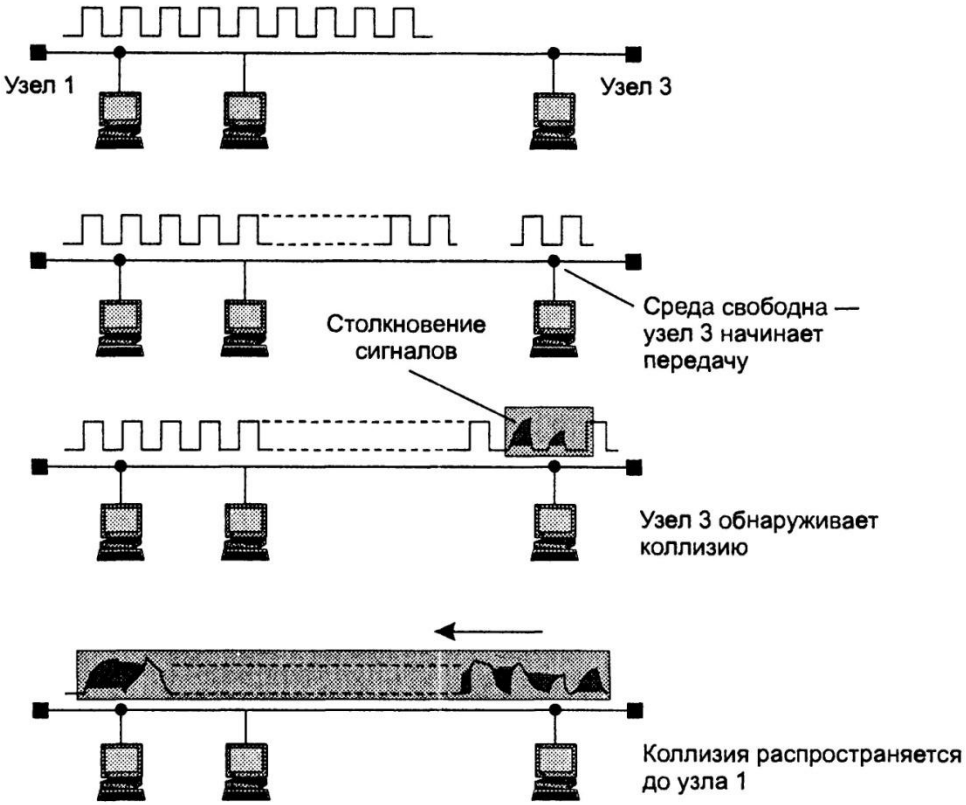
- Все компьютеры в сети с разделяемой средой имеют возможность немедленно (с учетом задержки распространения сигнала по физической среде) получить данные, которые любой из компьютеров начал передавать в общую среду.
- Среда, к которой подключены все станции, работает в режиме **коллективного доступа** (Multiply Access, MA).
- Для получения возможности передачи кадра, интерфейс-отправитель должен убедиться, что разделяемая среда свободна. Это достигается прослушиванием основной гармоники сигнала, которая также называется **несущей частотой** (Carrier Sense, CS).

Метод случайного доступа CSMA/CD



Возникновение коллизии

- Механизм прослушивания среды и пауза между кадрами не гарантируют исключения такой ситуации, когда две или более станции одновременно решают, что среда свободна, и начинают передавать свои кадры – возникновение **коллизии**.



Разрешение проблемы коллизий

- Чтобы корректно обработать коллизию, все станции одновременно наблюдают за возникающими на кабеле сигналами.
- Если передаваемые и наблюдаемые сигналы отличаются, то фиксируется факт **обнаружения коллизии** (Collision Detection, CD).
  - Для увеличения вероятности скорейшего обнаружения коллизии всеми станциями сети станция, которая обнаружила коллизию, прерывает передачу своего кадра (в произвольном месте, возможно, и не на границе байта) и усиливает ситуацию коллизии посылкой в сеть специальной последовательности из 32 бит, называемой **jam-последовательностью**.
- После этого обнаружившая коллизию передающая станция обязана прекратить передачу и сделать паузу в течение короткого случайного интервала времени.
- Затем она может снова предпринять попытку захвата среды и передачи кадра. Случайная пауза выбирается по следующему алгоритму:
  - Пауза = L x (интервал отсрочки).

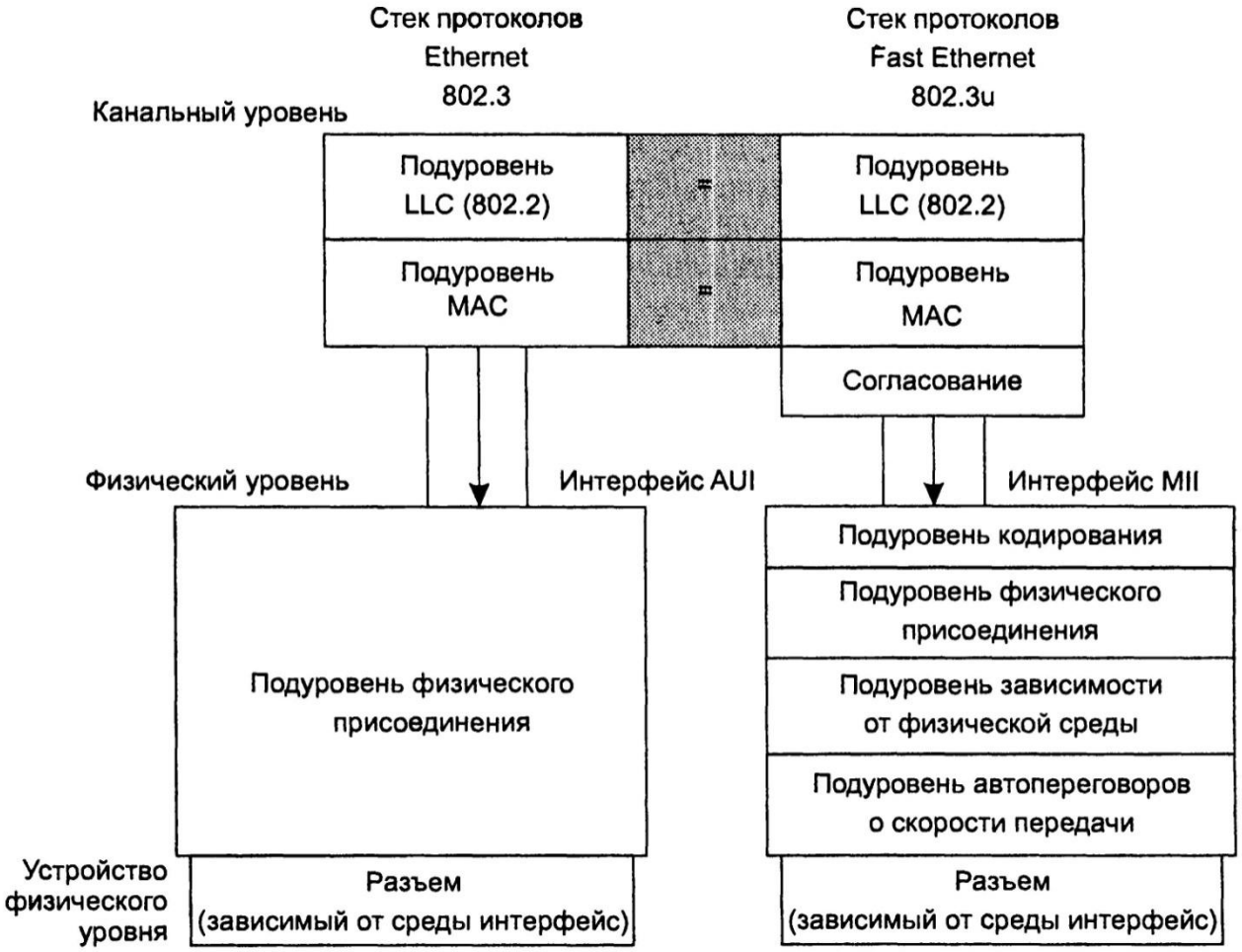
Высокоскоростной стандарт Ethernet

- Классическая 10-мегабитная сеть Ethernet устраивала большинство пользователей на протяжении около 15 лет. Однако в начале 90-х годов начала ощущаться ее недостаточная пропускная способность. Скорость обмена с сетью в 10 Мбит/с стала существенно меньше скорости внутренней шины компьютера, которая к тому времени превысила порог 1000 Мбит/с.
- Назрела необходимость в разработке «новой» технологии Ethernet, то есть технологии, которая была бы такой же эффективной по соотношению цена/качество при производительности 100 Мбит/с.
- В результате поисков и исследований специалисты разделились на два лагеря, что, в конце концов, привело к появлению двух новых технологий — Fast Ethernet и 100VG-AnyLAN.
- В результате «выжила» только технология Fast Ethernet, сохранившая больше свойств классического стандарта Ethernet, в том числе метод доступа CSMA/CD.

Физический уровень технологии Fast Ethernet

- Все отличия технологий Fast Ethernet и Ethernet сосредоточены на физическом уровне.
- Уровни MAC и LLC в Fast Ethernet остались абсолютно теми же, и их описывают прежние главы стандартов 802.3 и 802.2.
- Организация физического уровня технологии Fast Ethernet является более сложной, поскольку в ней используются *три* варианта кабельных систем:
  - волоконно-оптический многомодовый кабель (два волокна);
  - витая пара категории 5 (две пары);
  - витая пара категории 3 (четыре пары).

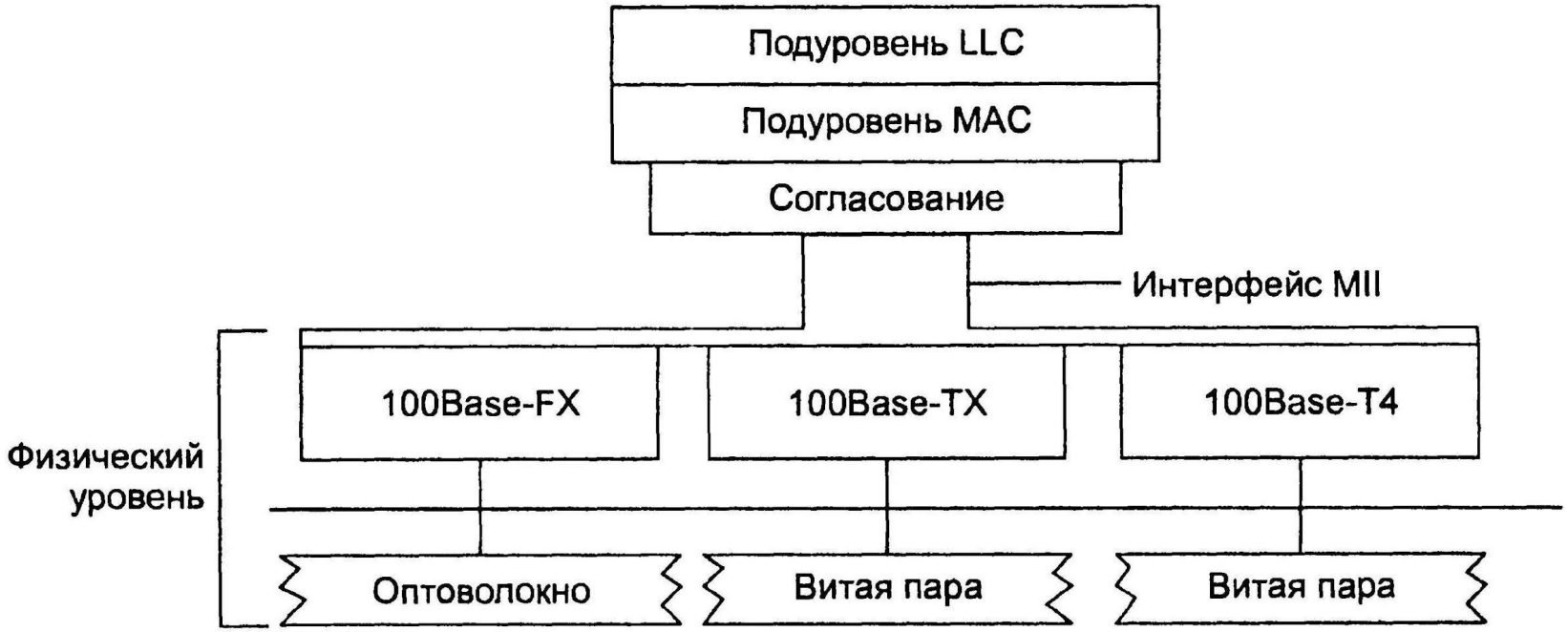
Отличия технологий Fast Ethernet и Ethernet



Спецификации физического уровня Fast Ethernet

- Официальный стандарт 802.3 установил три различных спецификации для физического уровня Fast Ethernet и дал им следующие названия:
  - **100Base-TX** для двухпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 5 или экранированной витой паре STP типа 1;
  - **100Base-T4** для четырехпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 3, 4 или 5;
  - **100Base-FX** для многомодового оптоволоконного кабеля с двумя волокнами.

Структура физического уровня Fast Ethernet



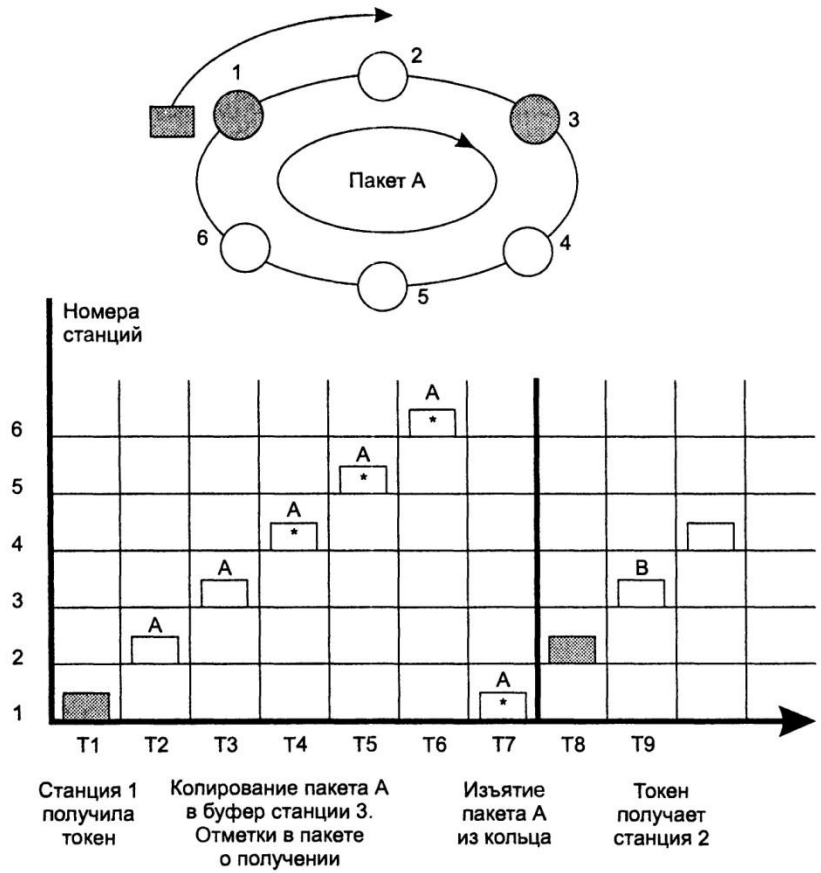
Элементы физического уровня

- **Независимый от среды интерфейс** (Media Independent Interface, MII).
- **Уровень согласования** нужен для того, чтобы уровень MAC, рассчитанный на интерфейс AUI, мог работать с физическим уровнем через интерфейс **MII.**
- **Устройство физического уровня** (Physical Layer Device, PLD) состоит, в свою очередь, из нескольких подуровней:
  - подуровня логического кодирования данных, преобразующего поступающие от уровня MAC байты в символы кода 4B/5B или 8B/6T (оба кода используются в технологии Fast Ethernet);
  - подуровней физического присоединения и зависимости от физической среды (PMD), которые обеспечивают формирование сигналов в соответствии с методом физического кодирования, например NRZI или MLT-3;
  - подуровня автопереговоров, который позволяет двум взаимодействующим портам автоматически выбрать наиболее эффективный режим работы, например полудуплексный или дуплексный (этот подуровень является факультативным).

Технология Token Ring

- Технология **Token Ring** была разработана компанией IBM в 1984 году, а затем передана в качестве проекта стандарта в комитет IEEE 802, который на ее основе принял в 1985 году стандарт 802.5.
- Сети Token Ring работают с двумя битовыми скоростями — 4 и 16 Мбит/с.
- Смешение в одном кольце станций, работающих на разных скоростях, не допускается. Сети Token Ring, работающие со скоростью 16 Мбит/с, имеют некоторые усовершенствования в алгоритме доступа по сравнению со стандартом 4 Мбит/с.
- В сети Token Ring определены процедуры контроля работы сети, которые опираются на свойство обратной связи, изначально присущее кольцеобразной структуре — посланный кадр всегда возвращается к станции-отправителю.
- В некоторых случаях обнаруженные ошибки в работе сети устраняются автоматически, например, может быть восстановлен потерянный токен. В других случаях ошибки только фиксируются, а их устранение выполняется вручную обслуживающим персоналом.

Доступ с передачей токена

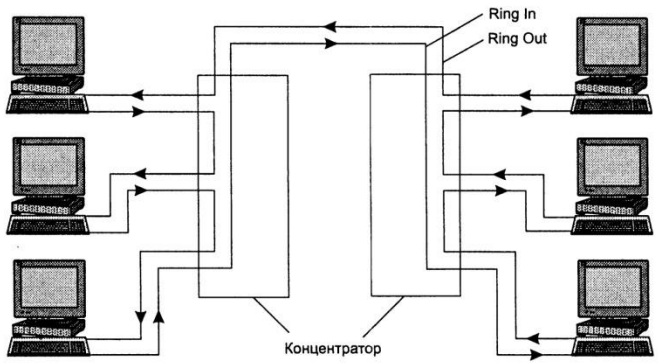


Удержание токена

- Время владения разделяемой средой в сети Token Ring ограничивается фиксированной величиной, называемой **временем удержания токена.**
- После истечения этого времени станция обязана прекратить передачу собственных данных (текущий кадр разрешается завершить) и передать токен далее по кольцу. Станция может успеть передать за время удержания токена один или несколько кадров в зависимости от размера кадров и величины времени удержания токена.
- Обычно время удержания токена по умолчанию равно 10 мс, а максимальный размер кадра в стандарте 802.5 не определен.
- Для сетей 4 Мбит/с он, как правило, равен 4 Кбайт, а для сетей 16 Мбит/с — 16 Кбайт.

Физический уровень технологии Token Ring

- Стандарт Token Ring фирмы IBM изначально предусматривал построение связей в сети с помощью концентраторов, называемых **устройствами многостанционного доступа** (Multi-station Access Unit, MAU, или MSAU).
- Сеть Token Ring может включать до 260 узлов. Использование концентраторов приводит к тому, что сети Token Ring имеют физическую топологию звезда, а логическую — кольцо.



Литература

- В.Г. Олифер, Н.А. Олифер - Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2006.