

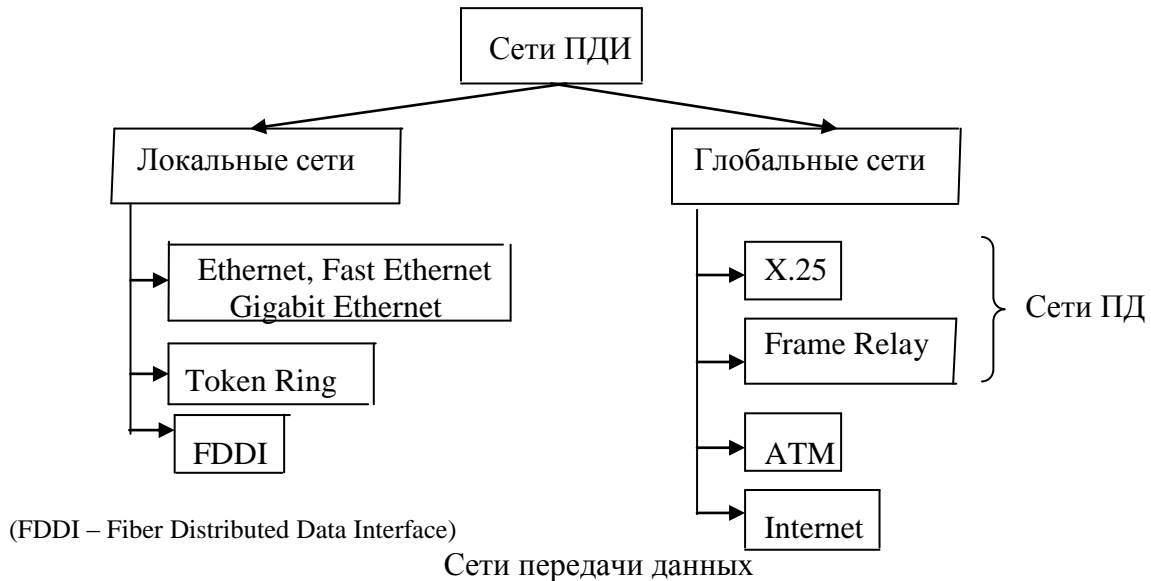
ТЕМА 2

Локальные вычислительные сети. Сеть Ethernet.

Перейдем к рассмотрению конкретных видов сетей передачи дискретной информации. Как отмечалось ранее, существуют два принципиально различных класса сетей ПДИ:

- локальные вычислительные сети (ЛВС или LAN);
- глобальные сети (WAN).

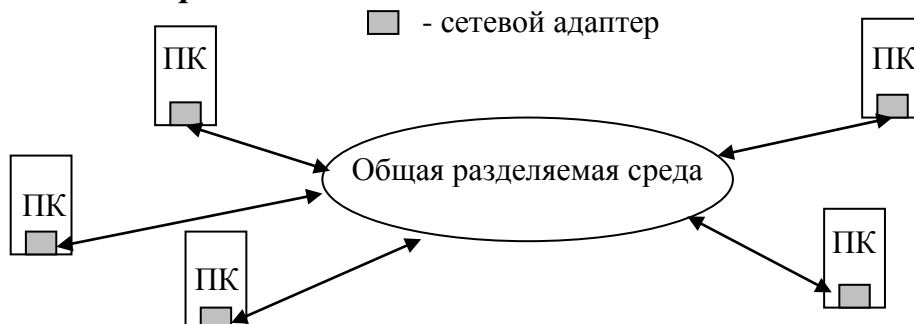
Наиболее распространенные виды сетей ПД, которые будут рассмотрены в данном курсе, приведены на рисунке.



2.1 Принципы организации локальных вычислительных сетей

Основной целью создания локальных вычислительных сетей является предоставление каждому пользователю возможности доступа к удаленным сетевым ресурсам для повышения объема, точности и скорости обработки информации.

В локальной сети нет выделенной «общей» операционной системы. Взаимодействие компьютеров локальной сети происходит за счет передачи *сообщения* через *сетевые адаптеры* компьютеров по *общей разделяемой среде*.



Подключение компьютеров к общей разделяемой среде в локальных сетях

С помощью этих сообщений один компьютер запрашивает доступ к локальным ресурсам другого компьютера. Такими ресурсами могут быть как данные, хранящиеся на диске (файлы), так разнообразные периферийные устройства – принтеры, модемы, плоттеры, факсы и т.п.

Кроме сетевых адаптеров и кабелей, требуются также **добавления к операционным системам** компьютеров, взаимодействующих в сети.

На тех компьютерах, ресурсы которых должны быть **доступны** всем пользователям сети, необходимо добавить **модули**, которые будут находиться в режиме **ожидания запросов** от других компьютеров. Обычно такие модули называют **программными серверами**, т.к. их главная задача – **обслуживать** (*serve*) запросы на доступ к ресурсам своего компьютера.

На компьютерах, которые **хотят получить доступ**, нужно добавить к операционной системе специальные **программные модули**, которые должны выработать запросы на доступ к удаленным ресурсам и передавать их по сети на нужный компьютер. Такие модули называют **программными клиентами**.

Таким образом, основную работу по **организации** совместного использования ресурсов выполняют клиентские и серверные программные модули операционных систем, в то время как сетевые адаптеры и каналы связи только передают сообщения с запросами и ответами от одного компьютера к другому.

Пара модулей «клиент-сервер» обеспечивает совместный доступ пользователя к определенному типу ресурсов, например, к файлам. Обычно сетевая операционная система компьютера поддерживает **несколько видов** сетевых служб.

Локальные вычислительные сети используют **простые** решения для объединения в сеть нескольких десятков компьютеров. Упрощение и удешевление аппаратных решений в локальных вычислительных сетях достигается при помощи:

- совместного использования **общей разделяемой среды** в режиме разделения времени;
- простой **типовой структуры** (топологии) сети.

Использование разделяемой среды (shared media) упрощает логику работы сети. В любой момент времени только один компьютер может передавать сообщение по общей среде.

При подключении нескольких рабочих станций **к общей среде передачи** (каналу или линии связи) для корректного разделения ресурса локальной сети **сетевая технология** должна обеспечить решение задачи **множественного доступа** – определенный механизм **разделения во времени** общего канала между рабочими станциями и серверами, включенными в ЛВС.

Основная **проблема** систем с множественным доступом – возникновение одновременной передачи от двух и более станций; такое явление называется **конфликтом**. Любая сетевая технология должна обеспечивать корректное разрешение конфликта.

Возможно **централизованное** управление, когда доступом управляет специальное устройство. Альтернативным решением является

децентрализованный подход – *случайный метод доступа* к разделяемой среде передачи данных.

Проблемы разделения линий связи между различными модулями существуют внутри *каждого* компьютера – примером является *доступ к системной шине*, которым управляет либо процессор, либо специальный арбитр шины.

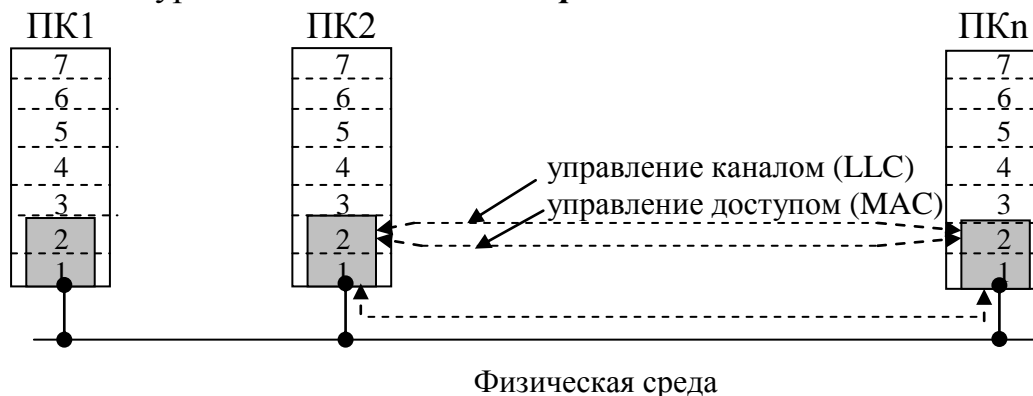
В сетях организация совместного доступа к линиям связи имеет свою специфику из-за существенно *большого времени распространения* сигналов по линиям связи; подобные процедуры согласования доступа к линии связи могут занимать слишком большой промежуток времени.

Как отмечалось ранее, наличие одного общего пути передачи информации *ограничивает* пропускную способность и надежность сети.

По мере расширения сфер применения локальных сетей стали применяться специальные коммуникационные устройства – мосты, коммутаторы и маршрутизаторы, которые в значительной мере *снимают ограничения* единственной разделяемой среды передачи данных. Базовые конфигурации в форме общей шины, звезды и кольца превратились в структуры фрагментов локальных сетей, которые стало возможным соединять друг с другом более сложным образом, образуя параллельные пути между узлами, учитывая неоднородность потоков обмена в сети и пр.

Опыт построения *локальных* сетей различными фирмами был обобщен и стандартизован вначале институтом IEEE в форме семейства стандартов IEEE 802.x, которые позже легли в основу комплекса международных стандартов ISO 8802-1...x.

Стандарты семейства IEEE 802.x охватывают только два нижних уровня семиуровневой модели OSI – *физический и канальный*.



Специфика локальных сетей нашла свое отражение в разделении канального уровня (Data Link Layer) на два подуровня:

- управление доступом к среде (Media Access Control, MAC);
- управление логическим каналом (Logical Link Control, LLC).

Уровень MAC появился из-за существования в локальных сетях *разделяемой среды* передачи данных. Именно этот уровень обеспечивает корректное *совместное использование* общей среды, предоставляя ее в соответствии с определенным алгоритмом в распоряжение того или иного узла сети.

После того как доступ к среде получен, использование этой среды управляется уровнем LLC, организующим *передачу кадров* информации с различным уровнем качества транспортных услуг.

Все типы кадров уровня LLC имеют единый формат.

Адрес точки входа службы назначения	Адрес точки входа службы источника	Управляющее поле	Данные
-------------------------------------	------------------------------------	------------------	--------

В соответствии с многоуровневой структурой кадр LLC вкладывается в кадр уровня MAC: кадр Ethernet, Token Ring, FDDI и т.д.

Поле данных кадра LLC предназначено для передачи по сети пакетов протоколов вышележащих уровней – сетевых протоколов, а иногда и прикладных протоколов.

Протокол LLC поддерживает несколько режимов работы, отличающихся наличием или отсутствием процедур восстановления кадров в случае их потери или искажения.

Уровень управления логическим каналом LLC предоставляет верхним уровням три типа процедур:

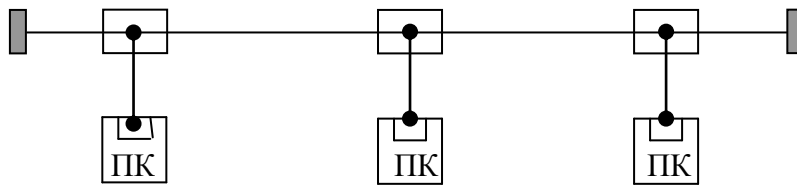
- LLC1 – процедура *без установления соединения* и без подтверждения полученных данных; это дейтаграммный режим работы; (В протоколе TCP/IP задача надежной доставки выполняет протокол TCP и уровень LLC всегда работает в режиме LLC1);
- LLC2 – процедура с *установлением соединения и подтверждением*; пользователю предоставляется возможность установить логическое соединение перед началом передачи любого блока данных и, если это требуется, выполнить процедуры восстановления после ошибок; логический канал является дуплексным; протокол работает в режиме скользящего окна;
- LLC3 – процедура *без установления соединения, но с подтверждением* получения данных.

2.2 Технология Ethernet

Ethernet – наиболее распространенный стандарт локальных сетей. Более 95% всех локальных вычислительных сетей используют эту технологию.

В данной технологии сеть строится *простейшим* способом. Оконечные станции *непосредственно подключаются к общей шине* – к общей разделяемой среде, в качестве которой может использоваться практически любая передающая среда: коаксиальный кабель, симметричная пара проводников, оптическое волокно или радиосреда.

Электрические связи определяются *типовой топологией «общая шина»*, которая может быть использована любой парой подключенных компьютеров для обмена данными (см. рисунок). *Управление* доступом к линии *связи осуществляется специальными контроллерами – сетевыми* адаптерами Ethernet. Каждый компьютер, а более точно, сетевой адаптер, имеет уникальный адрес (MAC-адрес).



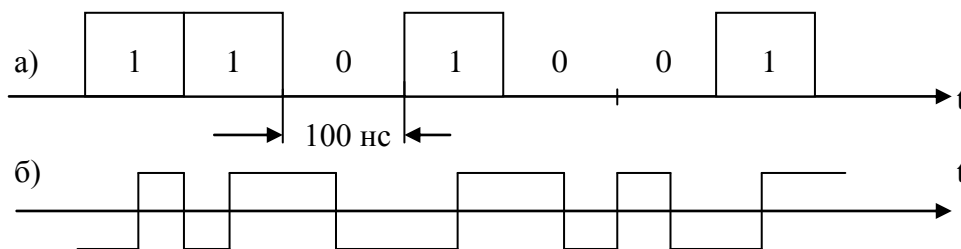
Сегмент компьютерной сети топология «общая шина»

Главным достоинством сетей Ethernet, благодаря которому они стали такими популярными, является их **экономичность**. Для построения сети достаточно иметь по **одному сетевому адаптеру** для каждого компьютера и **физический сегмент кабеля** нужной длины.

Достаточно простые алгоритмы доступа к среде, адресации и передачи данных позволяет **упростить** и, соответственно, **удешевить** сетевые адаптеры и их драйверы. Еще одним замечательным свойством сетей Ethernet является **простота подключения** новых узлов – хорошая расширяемость сети.

Стандарт Ethernet – это сетевой стандарт, основанный на экспериментальной сети Ethernet Network, которую фирма Xerox разработала и реализовала в 1975 году. Метод доступа был опробован еще раньше: во второй половине 60-х годов в радиосети Гавайского университета использовались различные варианты случайного доступа к общей радиосреде, получившие общее название Aloha. **В 1980 году** фирмы DEC, Intel и Xerox совместно разработали и опубликовали стандарт Ethernet для сети, построенной на основе коаксиального кабеля – стандарт Ethernet DIX. На основе стандарта Ethernet DIX был разработан стандарт IEEE 802.3.

Передача двоичной информации по кабелю для всех вариантов физического уровня технологии Ethernet происходит на скорости 10 Мбит/с в **манчестерском** коде.



а – исходный двоичный сигнал;
б – сигнал в манчестерском коде.

Кодирование сигнала в сети Ethernet

В манчестерском коде двоичная единица описывается переходом с низкого уровня на высокий, а двоичный ноль – переходом с высокого уровня на низкий, происходящим в середине соответствующего тактового интервала. Одинаковые соседние кодовые символы разделяются дополнительным перепадом в начале каждого такта.

В **более скоростных** версиях Ethernet используются более **эффективные** в отношении полосы пропускания двоичные и многоуровневые коды.

Формат кадра для спецификации Ethernet показан на рисунке.

Преамбула (8 байт)	Адрес назначения (6 байт)	Адрес источника (6 байт)	Тип поля данных (2 байта)	Поле данных (n байт) $n_{\max}=1500$ байт	Контр. символы (4 байта)
-----------------------	---------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Кадр технологии Ethernet

Максимальный размер пакета равен 1526 байт.

Минимальный размер пакета равен 72 байта.

Кадр данных всегда начинается с **преамбулы (preamble)**. Преамбула состоит из 7 байтов со значениями 10101010, что в манчестерском коде соответствует меандру частоты 5 МГц, и 8-го байта вида 10101011. Последний байт носит название **ограничителя начала кадра**. Преамбула нужна для вхождения приемника в побитовый и побайтовый **синхронизм** с передатчиком.

Адрес назначения и **адрес источника** – это MAC-адреса узла-получателя и узла-отправителя. MAC-адрес является уникальным и имеет длину - 6 байтов, из которых старшие 3 байта – уникальный идентификатор производителя OUI (Organizationally Unique Identifier), а младшие 3 байта назначаются случайным образом производителем. MAC-адреса обычно записываются в таблицах адресации шестнадцатеричным кодом. Используются позиции 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F; каждая позиция отображает 4 бита. Например: 18-B7-34-39-AA-FC соответствует двоичной записи

00011000 10110111 00110100 00111001 10101010 11111100.

Биты **типа поля** описывают код протокола верхнего уровня (IP соответствует код 08-00 в 16-ричном коде), приоритет сообщения и т.п.

Использование «общей шины» в качестве единой разделяемой среды для всей предусматривает работу в **полудуплексном режиме** – пользователи сети Ethernet обеспечены двусторонней связью, но передача и прием должны быть разделены во времени.

Все виды стандартов Ethernet (в том числе Fast Ethernet и Gigabit Ethernet) используют **общий метод разделения среды** передачи данных – метод CSMA/CD.

2.3 Метод доступа CSMA/CD

В сетях Ethernet используется метод доступа к среде передачи данных, называемый **методом коллективного доступа с опознаванием несущей и обнаружением коллизий** (carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA/CD). **Коллизией** называется искажение передаваемых данных при одновременной работе двух и более компьютеров.

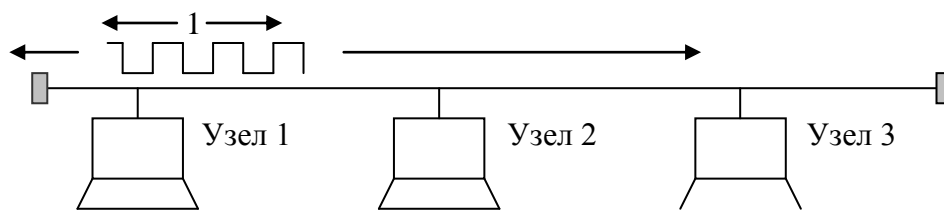
Метод CSMA/CD применяется исключительно в сетях с **логической общей шиной**; все компьютеры в такой сети имеют **непосредственный** доступ к общей среде.

Среда, к которой подключены все станции, работает в режиме **множественного доступа (Multiply Access, MA)**.

Чтобы получить возможность передавать кадр, отправитель должен убедиться, что разделяемая среда **свободна**. Для этого сетевые адаптеры компьютеров **прослушивают** сигнал (carrier sense, CS).

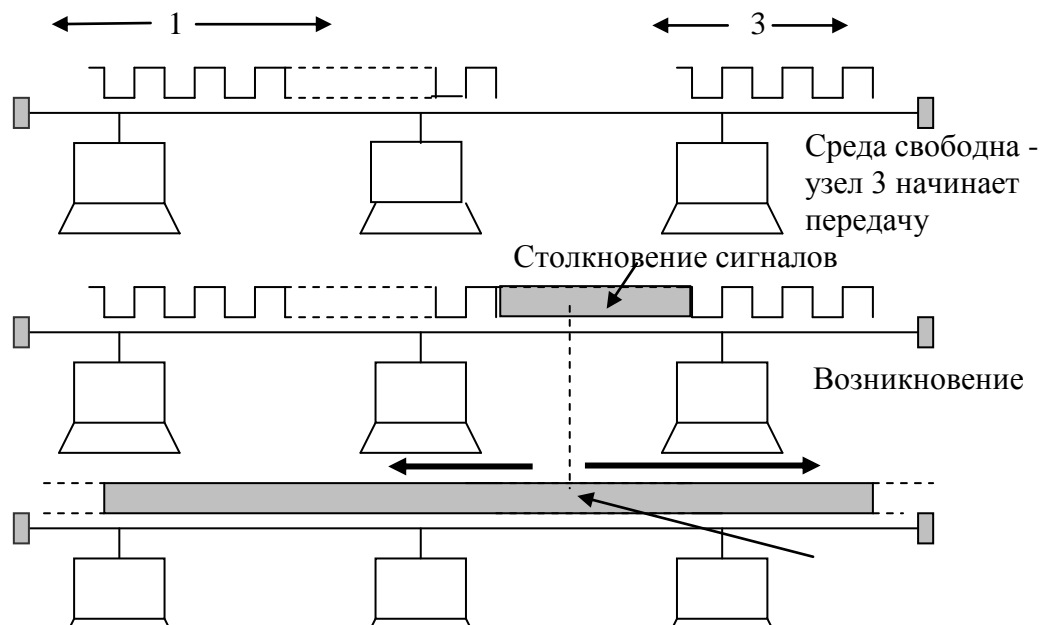
Признаком занятости среды является наличие переходов. Отсутствие перехода за интервал 1,25 периода тактовой частоты свидетельствует об освобождении среды.

Если среда **свободна**, то узел имеет право начать передачу кадра. Передаваемые сигналы распространяются в обе стороны от узла (см. рисунок). Станция, которая узнает **собственный адрес** в заголовках кадра, **записывает** его содержимое в свой внутренний буфер, обрабатывает полученные данные, передает их вверх по своему стеку, а затем посылает по кабелю кадр-ответ. Адрес станции-источника содержится в исходном кадре, поэтому **станция-получатель** знает, кому нужно послать **ответ**.



Распространение сигнала по общей шине в сети Ethernet

Если по общей среде в каждый момент времени распространяются сигналы **только одного** компьютера, то никаких сбоев не возникает. Однако общая среда допускает возникновение конфликтов – коллизий, (collision - столкновение), из-за одновременной передачи сигналов от нескольких компьютеров и **взаимного наложения** пакетов друг на друга. Процесс возникновения и распространения коллизий в сети Ethernet показан на рисунке.



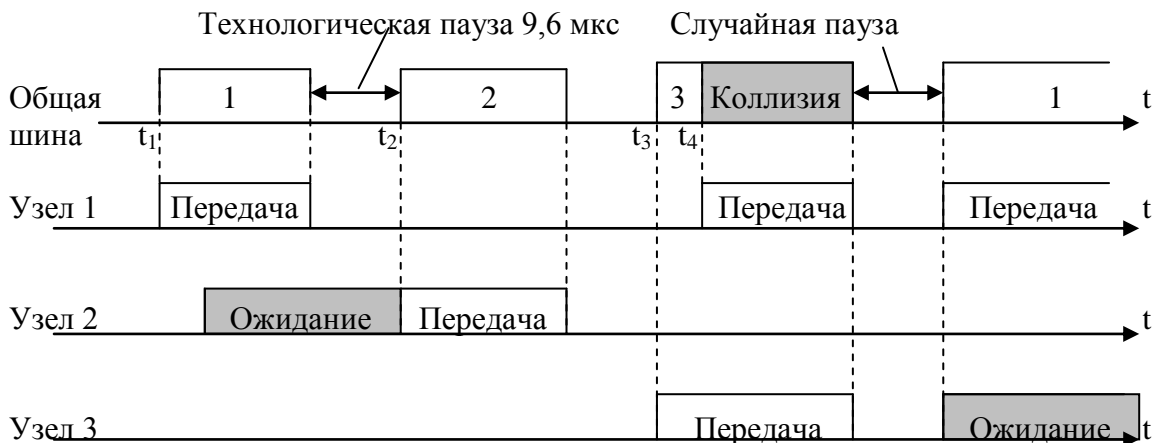
КОЛЛИЗИИ

Распространение
коллизии

Возникновение и распространение коллизии в сети Ethernet

Рассмотрим более подробно временные диаграммы работы сети Ethernet. (см. рисунок). В момент t_1 узел 1 начал передачу кадра. Узел 2 во время передачи кадра узлом 1 также пытался начать передачу своего кадра, однако обнаружил, что среда занята, – на ней присутствует несущая частота, – поэтому узел 2 вынужден ждать, пока узел 1 не прекратит передачу кадра.

После окончания передачи кадра все узлы сети обязаны выдержать технологическую паузу (Inter Packet Gap) в 9,6 мкс. Эта пауза, называемая также *межкадровым интервалом*, нужна для приведения сетевых адаптеров в *исходное состояние*, а также для *предотвращения монопольного захвата* среды одной станцией.



Временные диаграммы для метода случайного доступа CSMA (СД)

После окончания технологической паузы узлы имеют право начать передачу своего кадра, так как среда свободна. В момент t_2 узел 2 начинает передачу своего кадра.

Из-за задержек распространения сигнала по кабелю не все узлы строго одновременно фиксируют факт окончания передачи кадра передающим узлом. Возможна ситуация, когда две станции *одновременно* пытаются передать кадр данных по общей среде. Например, в момент времени t_3 начал передачу узел 3, а в момент t_4 – узел 1. Кадры узлов 1 и 3 накладываются друг на друга и происходит *искажение информации* – возникает *коллизия*.

Коллизия – это нормальная ситуация в работе сетей Ethernet. Коллизия – это следствие распределенного характера сети; сигналы узла,

начавшего передачу первым, *не успевают* дойти до другого узла, который также *решает начать* передачу своего кадра.

Все станции постоянно контролируют сигналы, существующие в кабеле. Если *передаваемый* и *наблюдаемый* сигналы *отличаются*, то фиксируется *обнаружение коллизии* (collision detection). Для ускорения обнаружения коллизии всеми станциями, *передающая* станция, обнаружившая коллизию, прерывает передачу своего кадра и посылает в сеть специальную последовательность из 32 бит, называемой *jam-последовательностью*.

После этого передающая станция, *обнаружившая коллизию*, обязана *прекратить* передачу и сделать паузу в течение короткого *случайного* интервала времени. Затем она снова может предпринять попытку захвата среды и передачи кадра.

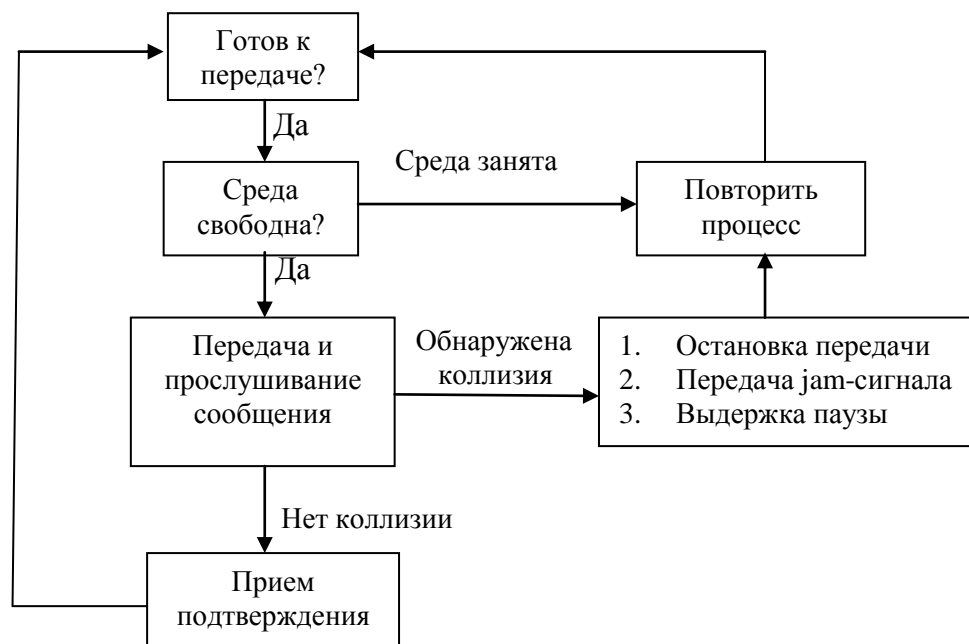
Случайная пауза выбирается по следующему алгоритму:

Пауза = Lx (x – интервал отсрочки).

Здесь *интервал отсрочки* равен 512 (64 байта) битовым интервалам (в технологии Ethernet принято все интервалы измерять в битовых интервалах). Битовый интервал обозначается как bt и соответствует времени между появлением двух последовательных бит на кабеле. Для скорости передачи 10 Мбит/с битовый интервал равен 0,1 мкс. L представляет собой целое число, выбранное с равной вероятностью из диапазона $[0, 2^N]$, где N – номер повторной попытки передачи данного кадра: 1, 2, ..., 10. После 10-й попытки интервал, из которого выбирается пауза, не увеличивается.

Таким образом, случайная пауза может принимать значения *от 0 до 52,4 мс* ($51,2 \cdot 10^{-6} \times 1024 = 52,4 \cdot 10^{-3}$).

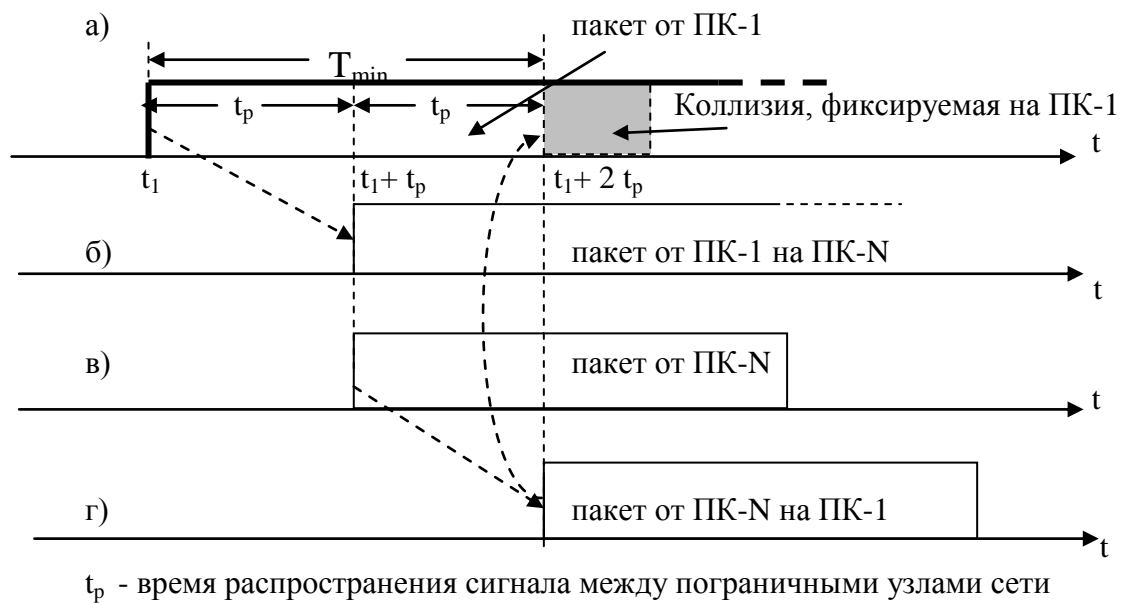
Последовательность операций, выполняемых компьютером при передаче сообщения в сети Ethernet по алгоритму CSMA/CD, можно проиллюстрировать графом (см. рисунок).



Работа компьютера при передаче сообщения в сети Ethernet

Для нормальной работы сети Ethernet необходимо, чтобы *передающая* станция всегда могла распознать коллизию *при передаче собственного кадра*. Рассмотрим более подробно временные соотношения для *критического* случая, соответствующего наибольшей задержке обнаружения коллизии (см. рисунок):

- коллизия вызывается сигналами граничных компьютеров ПК-1 и ПК-N;
- ПК-N начинает передачу в момент прихода сигнала от ПК-1.



Временные диаграммы при возникновении коллизий

На ПК-1 искажение сигнала обнаруживается в момент времени $t_1 + 2t_p$. Чтобы коллизия была обнаружена передающей станцией до того, как закончится кадр, минимальная длительность кадра T_{min} должна удовлетворять условию:

$$T_{min} \geq 2t_p.$$

Здесь T_{min} – время передачи кадра *минимальной* длины.

В худшем случае сигнал должен *пройти дважды* между наиболее удаленными друг от друга станциями сети (в одну сторону проходит неискаженный сигнал, а на обратном пути распространяется сигнал, уже искаженный коллизией). Это время называется *временем двойного оборота (Path Delay Value, PDV)*.

Максимально возможное расстояние между станциями сети называется *диаметром* сети. Необходимость обнаружения коллизий *ограничивает* диаметр сети. В течение длительности минимального кадра сигнал должен успеть пройти расстояние, равное двум диаметрам сети, т.е.

$$VT_{min} \geq 2D$$

где D – диаметр сети;
 V – скорость распространения сигнала по кабелю;

Тогда

$$D \leq \frac{VT_{\min}}{2} \quad \text{или} \quad D \leq \frac{VN_{\min}}{2F_{\max}},$$

где N – количество символов в кадре минимальной длины;
 F_{\max} – тактовая частота передачи символов.

В стандарте Ethernet допустимая длина кадра может изменяться от 72 до 1526 байт.

Минимальная длина кадра 72 байт соответствует **576 бит**.

Скорость распространения V для любых кабельных передающих сред примем равной $V=200000$ км/с.

Тогда

$$D \leq \frac{2 \times 10^8 \times 576}{2 \times 10^6} = 5760 \text{ м.}$$

На практике, максимальное расстояние между станциями выбирается существенно меньшим на основе других ограничений.

Одно из таких ограничений связано с предельно допустимым **затуханием** кабеля. Для обеспечения необходимой мощности сигнала при его прохождении между наиболее удаленными друг от друга станциями сегмента, **максимальная длина** непрерывного сегмента толстого коаксиального кабеля **не должна превышать 500 м**.

Можно построить сеть, состоящую из нескольких сегментов, на краях которых устанавливаются **повторители**, регенерирующие передаваемые сигналы.

При этом необходимо учесть, что повторители, установленные между сегментами, вносят **дополнительную задержку**, составляющую несколько десятков битовых интервалов. Поэтому в коаксиальных реализациях сети Ethernet **длина** сети ограничивается **2500 м** при **максимальном числе сегментов**, равном **5** и **при максимальной длине** каждого сегмента **500 м**.

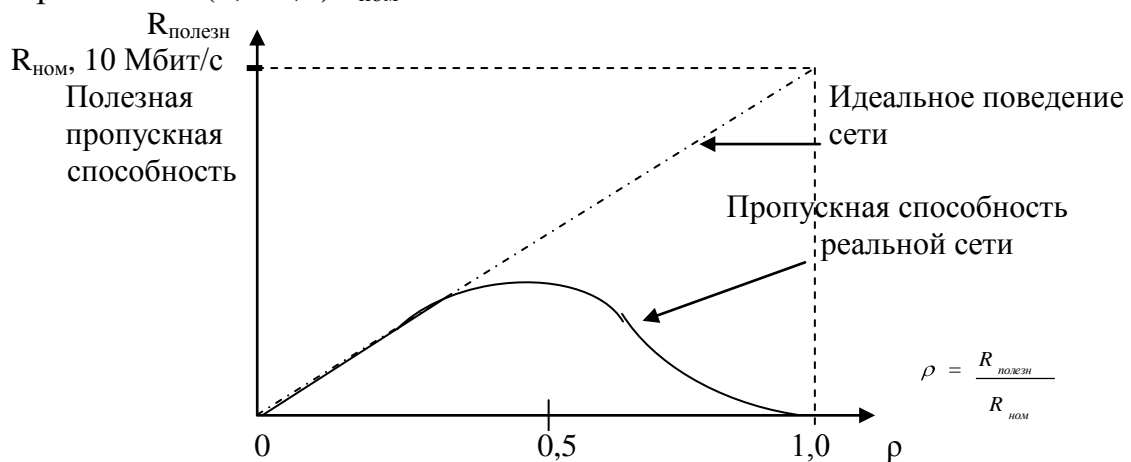
Таким образом, ограничение предельного размера сети Ethernet, вызываемое потерями в сегментах общей шины, можно устранить с помощью повторителей. Однако, конечное время распространения сигналов по общей шине и необходимость обнаружения коллизий, возникающих при случайном доступе, тем не менее, **ограничивают** предельный размер сети.

Максимальный диаметр сети зависит от **минимальной** длительности кадра и скорости передачи. При одном и том же числе бит в кадре с увеличением скорости передачи сокращается длительность кадра, и пропорционально уменьшается допустимое время пробега и максимальное расстояние между станциями сети. Например, в стандарте

Fast Ethernet при скорости передачи 100 Мбит/с максимальное расстояние составляет около 210 м.

Отметим еще одну особенность случайного доступа. Метод CSMA/CD имеет **вероятностный** характер, т.е. вероятность успешного получения в свое распоряжение общей рабочей среды зависит от **загруженности** сети. При повышении загрузки нелинейно растут очереди доступа к среде.

При значительной интенсивности коллизий **полезная** пропускная способность «классической» сети Ethernet резко падает, т.к. разделяемая среда почти постоянно занята **повторными** попытками передачи кадров (см. рисунок). Полезная производительность сети в большинстве случаев не превышает $(0,6-0,7)R_{\text{ном}}$.



ρ – коэффициент использования сети – отношение трафика, который должна передать сеть, к номинальной пропускной способности сети.

Зависимость полезной пропускной способности «классической» сети Ethernet от величины трафика

Уменьшить интенсивность возникновения коллизий можно, **снижая трафик** (максимальный трафик не должен превышать 30%), сократив, например, количество узлов в сегменте, **повышая скорость** протокола, например, переходом на Fast Ethernet, либо **изменяя организацию разделяемой среды**.

Разделение сети на логические сегменты, например, с помощью коммутаторов, позволяет уменьшить трафик, для компьютеров отдельного сегмента и соответственно сократить количество возникающих коллизий. Ethernet называют «счастливой» технологией, потому что повышение быстродействия сетевых устройств и применение широкополосных оптических линий обеспечили победу этой, наиболее простой технологии.

Как уже отмечалось, «классическая» технология Ethernet обеспечивает **полудуплексный** режим обмена информации между пользователями сети. Станции могут передавать и принимать сигналы, но только **попеременно** – в каждый момент времени технология обеспечивает только одно направление передачи.

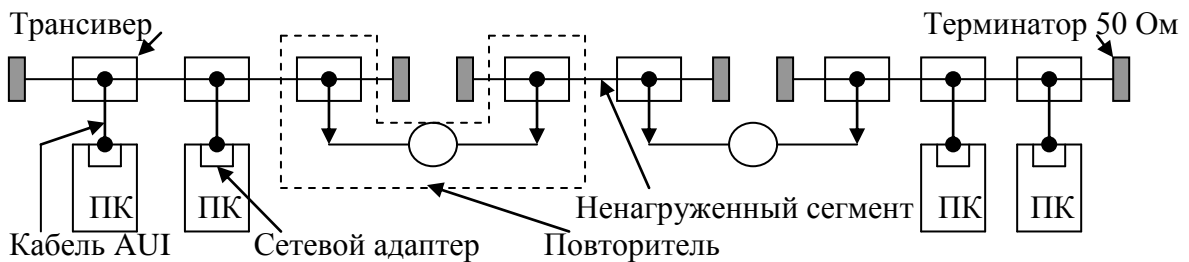
В зависимости от типа физической среды стандарт Ethernet 802.3 имеет различные модификации – *10Base-5*, *10Base-2*, *10Base-T*, *10Base-FL*, *10Base-FB*..

2.4 Спецификации физической среды Ethernet

Стандарт 10Base-5 – коаксиальный кабель 2,17/10, внешний диаметр 0,5 дюйма, называемый «толстым» коаксиальным кабелем. Волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента – 500 м (без повторителей). Стандарт 10Base-5 стал первым стандартом Ethernet, появившимся в 1980г.

На рисунке показана сеть Ethernet, состоящая из трех сегментов – два сегмента, к которым подключены компьютеры («нагруженные» сегменты), соединены кабелем, образующим «ненагруженный» сегмент,

Каждый сегмент кабеля имеет на концах согласующие **терминаторы** («заглушки») сопротивлением 50 Ом, препятствующие возникновению отраженных сигналов (стоячих волн).



Физический уровень ЛВС стандарта 10Base-5, состоящей из 3-х сегментов

Станции подключаются к кабелю при помощи приемопередатчика – **трансивера** (transmitter+receiver=transceiver).

Трансивер – это вынесенная часть сетевого адаптера, которая выполняет следующие функции:

- прием и передача данных на кабель;
- определение коллизий на кабеле;
- электрическая развязка между кабелем и остальной частью адаптера;
- защита кабеля от некорректной работы адаптера.

Трансивер устанавливается **непосредственно на кабеле** и питается от сетевого адаптера компьютера. Трансивер может подсоединяться к кабелю как методом **прокалывания**, обеспечивающим непосредственный физический контакт, так и бесконтактным методом. Трансивер обеспечивает линейное кодирование линейного сигнала. Трансивер соединяется с сетевым адаптером интерфейсным кабелем АUI (Attachment Unit Interface) **длиной до 50 м**, состоящим из 4 витых пар (по 2 пары на передачу/прием соответственно для сигналов данных и управления). Рабочая станция может перемещаться в пределах длины интерфейсного кабеля.

Допускается подключение к одному сегменту **до 100 трансиверов**, причем расстояние между подключениями трансиверов не должны быть **меньше 2,5м**.

Стандарт 10Base-5 определяет возможность использования **повторителей**, позволяющих объединить в одну сеть несколько

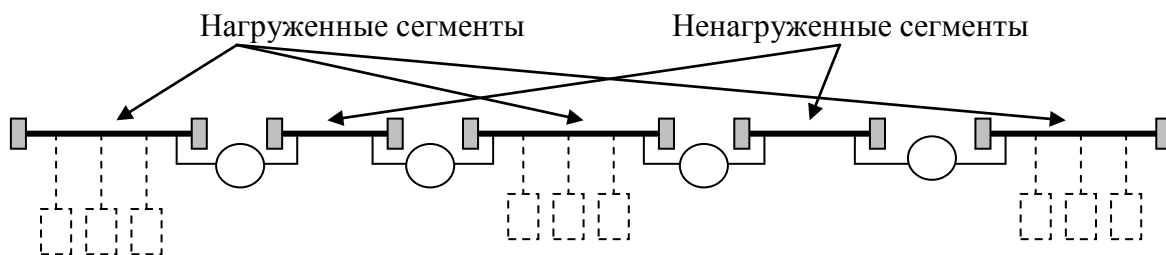
сегментов кабеля и тем самым увеличить общую длину сети. Повторитель принимает сигналы из одного сегмента кабеля и побитно синхронно **повторяет** их в другом сегменте, улучшая форму и мощность импульсов, а также синхронизируя импульсы.

Повторитель **состоит из двух** (или нескольких) **трансиверов**, которые присоединяются к сегментам кабеля, а также **блока повторения** со своим тактовым генератором.

Для лучшей синхронизации повторитель **задерживает передачу** нескольких первых битов преамбулы кадра, за счет чего увеличивается **задержка** передачи кадра с сегмента на сегмент.

Стандарт разрешает использование в сети не более 4 повторителей и, соответственно, не более 5 сегментов кабеля, что дает максимальную **длину сети 10Base-5 равную 2500 м.**

При выборе стандарта Ethernet принята **максимальная** конфигурация сети, содержащая **три** нагруженных сегмента (центральный сегмент и два крайних сегмента), к которым подключаются конечные узлы. Крайние сегменты соединяются с центральным (см. рисунок) двумя ненагруженными сегментами.



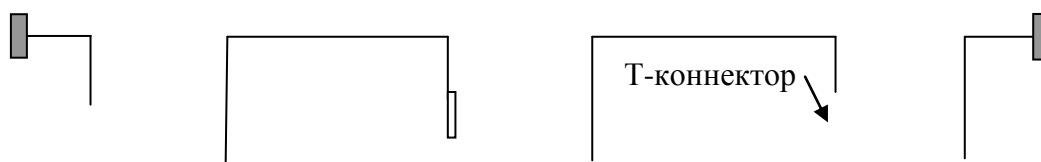
ЛВС стандарта 10Base-T, состоящая из 5-ти сегментов

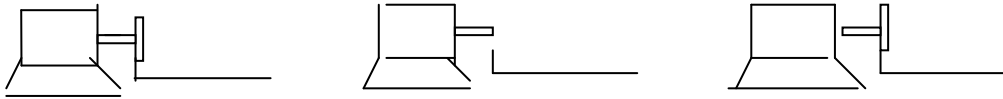
Основное правило построения сети Ethernet 10Base-5 – «правило 5-4-3» – **5 сегментов; 4 повторителя; 3 нагруженных сегмента.**

Максимальное число **конечных** узлов в сети 10Base-5 составляет **$99 \times 2 + 98 = 296$ узлов.**

Стандарт 10 Base-2 использует в качестве передающей среды коаксиальный кабель 0,89/5,0 с волновым сопротивлением 50 Ом. Этот стандарт в семействе «коаксиальных Ethernet» предназначался для построения более компактных сетей.

Максимальная длина сегмента без повторителей составляет **185 м**, сегмент должен иметь на концах согласующие терминаторы 50 Ом. Станции подключаются к кабелю с помощью **T-коннектора – тройника**, один отвод которого соединяется с сетевым адаптером, а два других – с двумя концами **разрыва кабеля**. Пример сети стандарта 10 Base-2 показан на рисунке.





Сегмент сети стандарта 10Base-2

Максимальное количество станций, подключаемых к одному сегменту, - 30. Минимальное расстояние между станциями 1 м.

Стандарт 10 Base-2 также предусматривает использование повторителей по «правилу 5-4-3». Максимальная длина сети $5 \times 185 = 925 \text{ м}$.

Стандарт 10Base-T принят в 1991 году как дополнение к существующему набору стандартов Ethernet, и имеет обозначение 802.3i.

Сети 10Base-T используют в качестве среды передачи **две неэкранированные витые пары** (Unshielded Twisted Pair, UTP).

Витая пара – это кабель, объединяющий в оболочке несколько пар (обычно 4) перевитых изолированных медных проводов. Каждый провод окрашен в собственный цвет. Обычно **две пары** отводятся для передачи данных, другие пары – для передачи телефонных сигналов. Поскольку в один кабель уложено несколько витых пар, то для исключения взаимных наводок сигналов, передаваемых по разным линиям связи, пары скручиваются с разным шагом. Витые пары существуют также в экранированном варианте (Shielded Twisted Pair, STP) – каждая скрученная пара обматывается фольгой, а кабель имеет медную экранирующую оплетку, которая заземляется.

Многопарный кабель на основе **неэкранированной витой пары** категории 3 обычно используется телефонными компаниями для подключения телефонов внутри здания. Использование популярного кабеля для построения локальных сетей было очень плодотворной идеей. Кабель этой категории обеспечивает передачу сигналов на частотах до 16 МГц, что достаточно для обычного 10Мбит-го Ethernet. Кабель маркируется как UTP-3. Максимальная длина одного соединения кабелем «витая пара» обычно ограничивается 100 метрами.

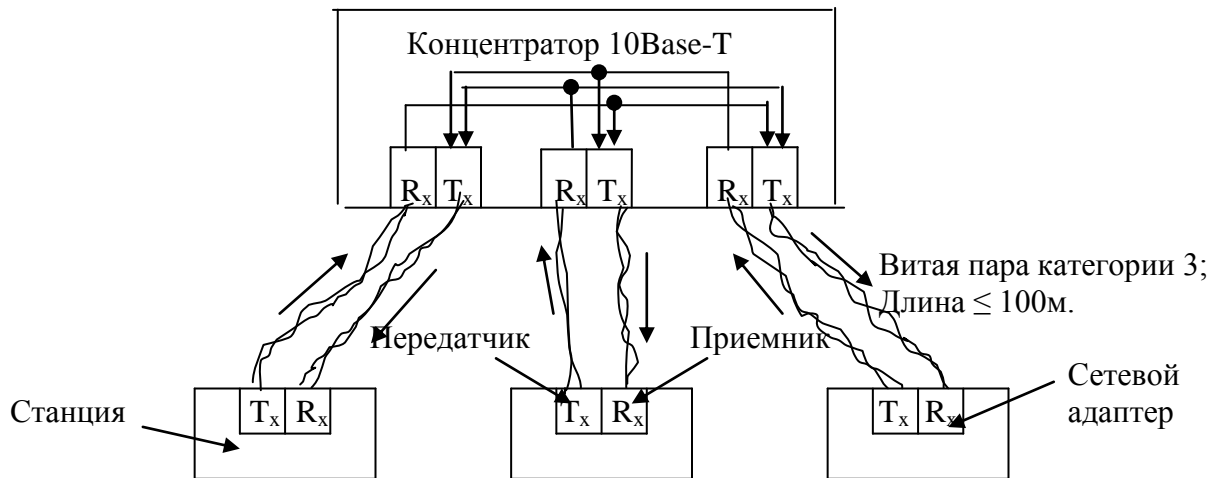
Неэкранированная витая пара категории 5 (UTP-5) обеспечивает характеристики передачи до 100 МГц и используется в более высокоскоростных сетевых технологиях (Fast Ethernet, FDDI и т.д.).

Переход от коаксиала на витую пару требует только замены трансивера сетевого адаптера или порта маршрутизатора, а метод доступа и все протоколы канального уровня остаются прежними.

Конечные узлы соединяются с помощью **двух витых пар** по топологии «точка-точка» со специальным устройством – **многопортовым повторителем-концентратором**. Пример подключения многопортового повторителя показан на рисунке.

Концентратор осуществляет функции **повторителя сигналов** на всех отрезках витых пар, подключенных к его портам, так что образуется

единая среда передачи данных – логический моноканал (логическая общая шина).

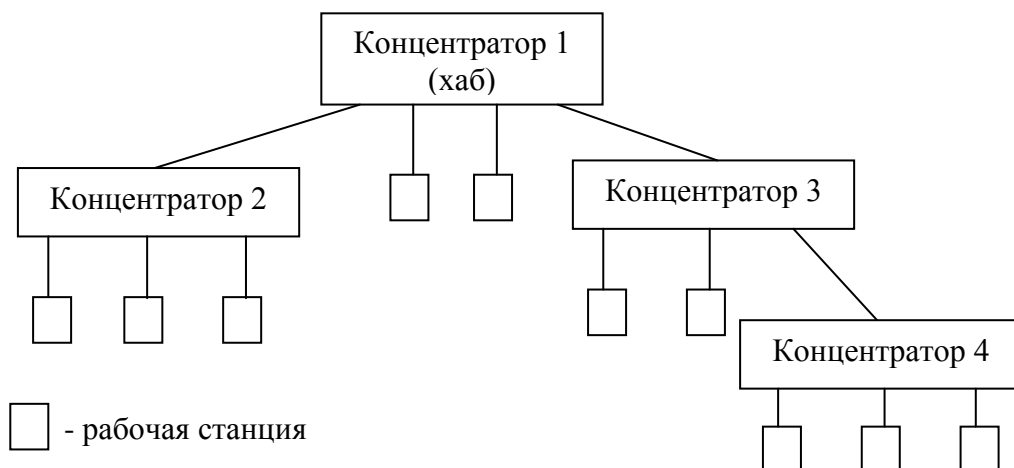


Сеть стандарта 10Base-T

В стандарте 10Base-T коллизию в сегменте **обнаруживает концентратор** при одновременной передаче сигналов по нескольким R_x -входам и посылает **jam-последовательность** на **все** T_x -выходы.

Стандарт определяет битовую скорость передачи данных 10 Мбит/с и максимальное расстояние отрезка витой пары между двумя непосредственно связанными узлами (станциями и концентраторами) **не более 100 м** при наличии витой пары качества не ниже категории 3. Это расстояние определяется **полосой пропускания** витой пары.

При создании сети 10Base-T с большим числом станций концентраторы можно соединять друг с другом, образуя иерархическую **древовидную** структуру (см. рис.).



Сеть Ethernet 10Base-T древовидной структуры

Концентраторы 10Base-T можно соединять между собой через порты конечных пользователей, изменив стандартную распайку обычного пользовательского соединительного кабеля, или через специальные порты с измененной распайкой.

Для сетей 10Base-T очевидно различие **физической** и **логической** топологий. Физическая топология определяется электрическими соединениями компьютеров и коммуникационных устройств. Логическая топология определяет маршруты обмена сообщений между пользователями. Физическая топология 10Base-T – древовидная структура, логическая топология – общая шина.

Физическое разделение общей среды на отдельные кабельные отрезки, подключенные к центральному коммутационному устройству, позволяет **контролировать** состояние этих отрезков и **отключать** в случае обрыва, короткого замыкания, или неисправности сетевого адаптера на индивидуальной основе. Обычно концентратор выполняет такие функции **автоматически**, уведомляя при этом администратора сети о возникшей проблеме.

Концентратор каждые 16 мс проводит периодически **тест связности** (link test) для каждой линии; если тест не проходит, то порт блокируется и проблемный узел отключается от сети. Так как тестовые коды являются запрещенными при передаче кадров, то тестовые последовательности не влияют на работу алгоритма доступа к среде.

Появление между конечными узлами **активного устройства**, которое может контролировать работу узлов и изолировать от сети некорректно работающие, является главным **преимуществом технологии 10Base-T** по сравнению со сложными в эксплуатации коаксиальными сетями. Благодаря **концентраторам** сеть Ethernet приобрела некоторые черты **отказоустойчивой** системы.

Заметим, что в технологии 10Base-T к каждому порту активного устройства может быть подключен компьютер по двум разделяемым каналам. Порт коммутатора может работать как в обычном **полудуплексном** режиме, так и **полнодуплексном**, т.е. сетевой адаптер может одновременно передавать свои данные в сеть и принимать из сети чужие данные. При этом снижается вероятность возникновения коллизий.

Для обеспечения синхронизации станций при реализации процедур доступа CSMA/CD и **надежного распознавания станциями коллизий** в стандарте определено **максимальное число концентраторов** между любыми двумя станциями сети, а именно **4**. «**Правило 4-х хабов**» для стандарта 10Base-T соответствует «правилу 5-4-3» для стандартов Ethernet по коаксиальным кабелям.

Общее количество станций в сети 10Base-T не должно превышать общего предела в 1024.

Это количество действительно достижимо. Для этого достаточно создать **двухуровневую** структуру концентраторов, расположив на нижнем уровне достаточное количество концентраторов с общим числом портов 1024. Конечные узлы нужно подключать к портам концентраторов нижнего уровня. **Правило 4 хабов** при этом **выполняется** – между любыми конечными узлами включено только три концентратора.

Если между любыми двумя узлами сети не должно быть более 4 повторителей, то **максимальный диаметр сети 10Base-T составляет $5 \times 100 = 500$ м.**

Максимальный диаметр сети 500м налагает определенные ограничения на сети 10Base-T. Так как в данной технологии диаметр сети ограничен из-за **потерь** в симметричной паре, то можно увеличить размер сети, используя **волоконно-оптический кабель** для связи между концентраторами. При этом образуются сети смешанной технологии 10Base-T/10Base-F.

Оптоволоконная сеть Ethernet.

В качестве среды передачи данных 10 Мбитная сеть Ethernet использует оптическое волокно. В качестве основного типа кабеля рекомендуется достаточно дешевое многомодовое оптическое волокно, обладающее полосой пропускания 500-800 МГц при длине кабеля 1 км. Допустимо и более дорогое одномодовое оптическое волокно с полосой пропускания в несколько Гигагерц, но при этом нужно применять соответствующий тип трансивера.

Функционально сеть Ethernet на оптическом кабеле состоит из тех же элементов, что и сеть стандарта 10Base-T – сетевых адаптеров, многопортового повторителя-концентратора и отрезков кабеля, соединяющих адаптер с портом повторителя. Как и в случае витой пары, для соединения адаптера с повторителем используется **два оптоволокна** – одно соединяет выход T_x адаптера с входом R_x повторителя, а другое – вход R_x адаптера с выходом T_x повторителя.

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link) явился первым стандартом комитета 803.3 для использования оптоволокна в сетях Ethernet. Он гарантирует длину оптоволоконной связи между повторителями до 1 км при общей длине сети не более 2500м. Максимальное число повторителей между любыми узлами сети – 4.

В **стандарте 10Base-FL** несколько увеличена мощность передатчиков, что позволило увеличить до 2000м максимальное расстояние между **узлом** и **концентратором**. Максимальное число повторителей между узлами осталось равным 4, а максимальная длина сети – 2500м.

Наибольшее распространение получил стандарт **10Base-FB**, предназначенный только для соединения **повторителей** (концентраторов). Конечные узлы не могут использовать этот стандарт для присоединения к портам концентратора. Между узлами сети можно установить **до 5 повторителей** 10Base-FB при максимальном расстоянии между соседними концентраторами **2000 м** и максимальной длине сети 2740 м.

При отсутствии кадров для передачи повторители, соединенные по этому стандарту, **постоянно обмениваются** специальными последовательностями сигналов, отличающимися от сигналов кадров

данных, для поддержания *синхронизации*. Поэтому они вносят *меньшие задержки* при передаче данных из одного сегмента в другой, что позволило *увеличить до 5 число повторителей*. Передаваемые последовательности порождают импульсы частотой 2,5 МГц, которые и поддерживают *синхронизацию* приемника одного концентратора с передатчиком другого. Поэтому стандарт 10Base-FB имеет также название *синхронный Ethernet*.

Соблюдение многочисленных ограничений, установленных для различных стандартов физического уровня сетей Ethernet, гарантирует корректную работу сети.

Параметры *спецификаций физического уровня* для стандарта Ethernet приведены в таблице.

Параметр	10Base-5	10Base-2	10Base-T	10Base-F
Кабель	Коаксиальный кабель 2,17/10	Коаксиальный кабель 0,9/5	Неэкранированная витая пара	Многомодовый волоконно-оптический кабель
Максимальная длина сегмента	500м	185м	100м	2000м
Максимальное расстояние между узлами сети	2500м	925м	500	2500 (2740м для 10Base-FB)
Максимальное число станций в сети	296	90	1024	1024
Максимальное число повторителей между любыми станциями сети	4	4	4	4 (5 для 10Base-FB)

Наиболее часто приходится *проверять* ограничения, связанные с количеством повторителей и общей длиной сети.

Правила «5-4-3» для коаксиальных сетей и «4 хабов» для сетей на основе витой пары и оптоволоконна не только дают гарантии работоспособности сети, но и оставляют большой «запас прочности» сети. Например, если посчитать время двойного оборота в сети, состоящей из 4 повторителей 10Base-5 и 5 сегментов максимальной длины 500 м, то окажется, что оно составляет 537 битовых интервалов, что на 38 битовых интервалов меньше предельной величины 575 интервалов.

Заканчивая рассмотрение технологии Ethernet, полезно напомнить, что замена повторителей и концентраторов мостами, коммутаторами или маршрутизаторами, использующих буферную память при взаимном обмене пакетами, *разделяет* общую среду Ethernet на отдельные сетевые сегменты. Это существенно изменяет ситуацию с возникновением коллизий.

Часть сети Ethernet, узлы которой распознают коллизию независимо от того, в каком месте этой части сети возникла коллизия, называется **доменом коллизий**. Сеть, построенная на повторителях или концентраторах, всегда образует **один домен** коллизий.

Мосты, коммутаторы и маршрутизаторы разделяют сеть Ethernet на **несколько** доменов коллизий. Обычно домен коллизий совпадает с логическим сегментом сети. При этом установленные ранее ограничения диаметра сети должны относиться к **размеру сегмента**, что существенно облегчает организацию больших компьютерных сетей.

2.5 Расчет времени двойного оборота в сети Ethernet с сегментами из различных физических сред

Наибольшую сложность представляет расчет времени двойного оборота для сетей Ethernet, составленных из сегментов **различных физических сред**, на которые **не рассчитаны** простые правила о количестве повторителей. В этом случае обычно используются справочные данные IEEE, содержащие значения задержек распространения в повторителях, приемопередатчиках и различных физических средах.

Данные, необходимые для расчета PDV для всех физических стандартов сетей Ethernet, приведены в таблице.

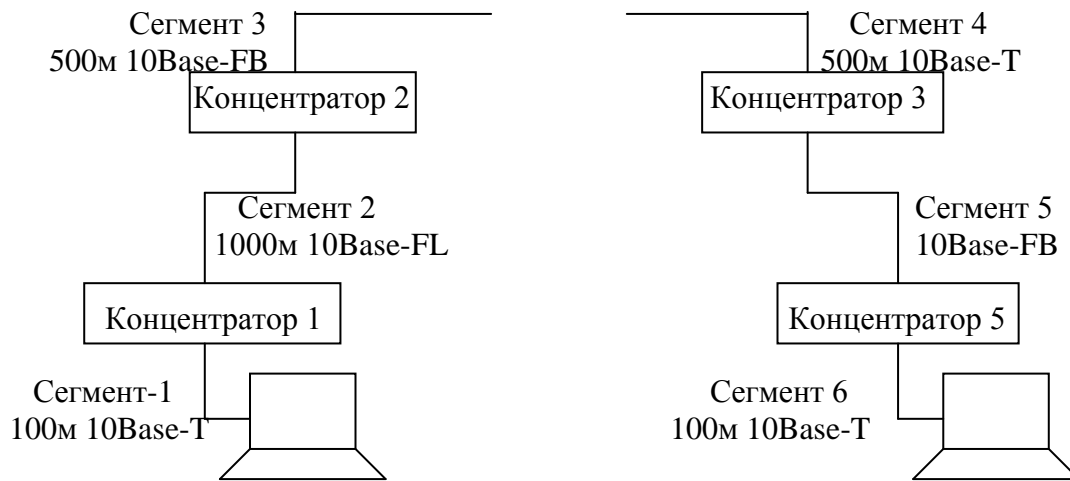
Тип сегмента	База левого сегмента, bt	База промежуточного сегмента, bt	База правого сегмента, bt	Задержка среды на 1 м, bt	Максимальная длина сегмента, м
10Base-5	11,8	46,5	169,5	0,0866	500
10Base-2	11,8	46,5	169,5	0,1026	185
10Base-T	15,3	42,0	165,0	0,113	100
10Base-FB	-	24,0	-	0,1	2000
10Base-FL	12,3	33,5	156,5	0,1	2000
AUI(>2 м)	0	0	0	0,1026	2+48

Данные, приведенные в таблице, соответствуют нескольким этапам прохождения сигнала. Например, задержки, вносимые повторителем, состоят из задержки входного трансивера, задержки блока повторения и задержки выходного трансивера. В таблице все эти задержки представлены одной величиной, названной базой сегмента.

Чтобы не складывать два раза задержки, вносимые кабелем, в таблице даются удвоенные величины задержек для каждого типа кабеля.

В таблице используются такие понятия, как **левый** сегмент, **промежуточный** сегмент и **правый** сегмент. **Левым** сегментом (см. рисунок) называется сегмент, в котором **начинается** путь сигнала от выхода передатчика (выход Tx) конечного узла. На примере это сегмент 1. Затем сигнал проходит через промежуточные сегменты 2-5 и доходит до приемника (выход Rx) наиболее удаленного узла **наиболее удаленного** сегмента 6, который называется **правым**. Именно здесь в худшем случае происходит **столкновение** кадров и возникнет **коллизия**.

Концентратор 3



Пример сети Ethernet, состоящей из сегментов различных физических стандартов

С каждым сегментом связана постоянная задержка, названная базой, которая зависит только от типа сегмента и от положения сегмента на пути сигнала (левый, промежуточный и правый). База правого сегмента, в котором происходит коллизия, намного превышает базу левого и промежуточного сегментов. Кроме этого, с каждым сегментом связана *задержка распространения* сигнала вдоль кабеля сегмента, которая зависит от длины сегмента.

Расчет заключается в вычислении задержек, вносимых каждым отрезком кабеля и суммировании этих задержек с базами левого, промежуточного и правого сегментов. Общее значение PDV не должно превышать 575 нс.

Так как левый и правый сегменты имеют разные величины базовой задержки, то в случае различных сегментов на удаленных краях сети необходимо выполнить расчеты дважды: один раз принять в качестве левого сегмента сегмент одного типа, а во второй раз – сегмент другого типа.

На рисунке приведен пример сети Ethernet, состоящий из сегментов различных физических стандартов. В приведенном примере крайние сегменты сети принадлежат к одному типу – стандарту 10Base-T, поэтому двойной расчет не требуется.

Приведенная на рисунке сеть не является корректной применительно к правилу 4 хабов – в сети между узлами сегментов 1 и 6 имеется 5 хабов, хотя не все сегменты являются сегментами 10Base-FB. Кроме того, общая длина сети равна 2800 м, что нарушает правило 2500 м.

Рассчитаем значение PVD для нашего примера.

Левый сегмент 1:

$$15,3 \text{ (база)} + 100 \times 0,113 = 26,6.$$

Промежуточный сегмент 2:

$$33,5 + 1000 \times 0,1 = 133,5.$$

Промежуточный сегмент 3:

$$24 + 500 \times 0,1 = 74,0.$$

Промежуточный сегмент 4:

$$24 + 500 \times 0,1 = 74,0.$$

Промежуточный сегмент 5:

$$24 + 600 \times 0,1 = 84,0.$$

Правый сегмент 6:

$$165 + 100 \times 0,113 = 176,3.$$

Сумма всех составляющих дает значение PDV, равное 568,4

Так как значение PDV меньше допустимой величины 575, то эта сеть проходит по критерию времени двойного оборота сигнала, несмотря на то, что ее общая длина превышает 2500 м, а количество повторителей больше 4.

2.6 Развитие технологии Ethernet – Fast Ethernet

Развитие информационных технологий довольно быстро потребовало повышения быстродействия локальных сетей, что привело к разработке технологии Fast Ethernet, работающей со скоростью 100 Мбит/с. В этой технологии сохраняется метод случайного доступа CSMA/CD и обеспечивается **максимальная** преемственность и согласованность взаимодействия сетей со скоростями передачи 10 Мбит/с и 100 Мбит/с.

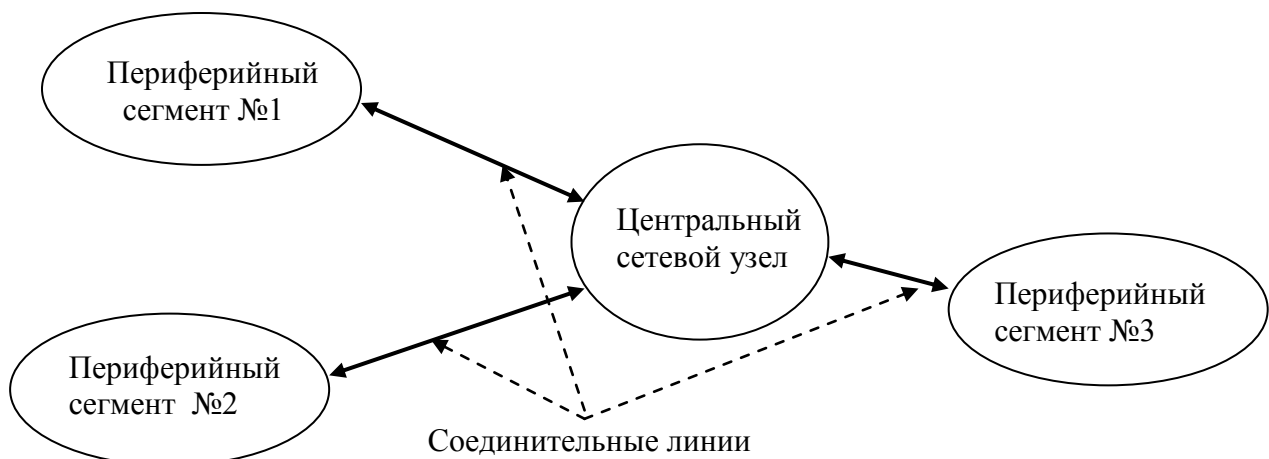
Увеличение **скорости передачи** в 10 раз по сравнению с 10-мегабитной сетью Ethernet, на первый взгляд, должно было привести к **сокращению диаметра** сети Fast Ethernet примерно **до 200 м**, что объясняется **уменьшением** в 10 раз времени передачи кадра минимальной длины. Такой диаметр сети позволяет объединить компьютеры, установленные в соседних помещениях, что на практике совершенно недостаточно.

Применение Fast Ethernet и более скоростных (до 10 Гбит/с) модификаций для организации протяженных вычислительных сетей потребовало:

- изменить принципы организации общей информационной шины;
- разработать специальные методы передачи высокоскоростных сигналов по **симметричным парам** UTP и STP при подключению РС к концентратору или коммутатору.

2.6.1 Полнодуплексное включение сетевых сегментов

При построении структурированных вычислительных сетей, как правило, необходимо обеспечить совместную работу нескольких удаленных сетевых сегментов с центральным сетевым узлом или сегментом (см. рисунок).



Типовая структура корпоративной ЛВС

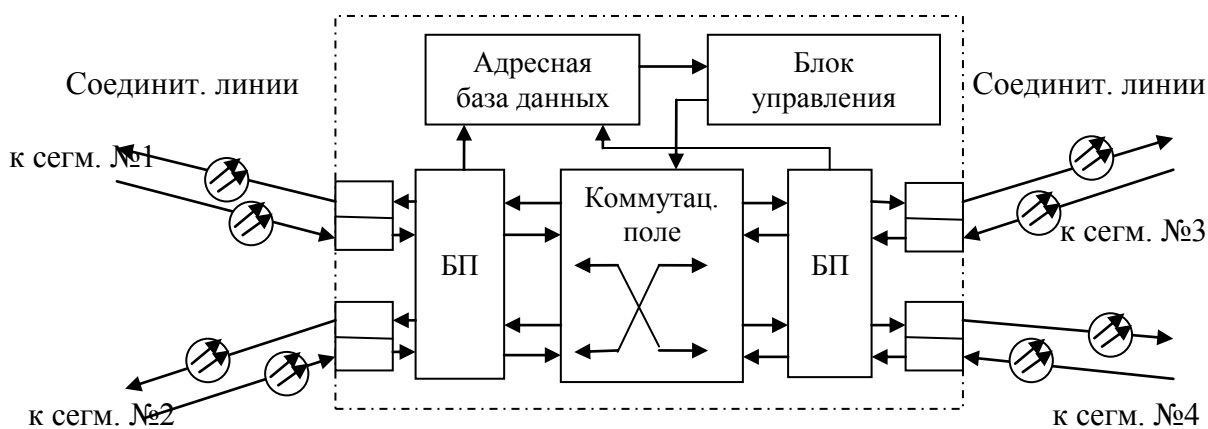
В соответствии с методом множественного доступа, принятым в технологии Ethernet, общая среда не может одновременно обеспечивать передачу пакетов в обоих направлениях – встречно передаваемые пакеты вызывают неизбежную коллизию. Общая разделяемая среда формирует **домен коллизий** – часть сети, все узлы которой воспринимают коллизию. При стандартной технологии Ethernet общая среда работает в полудуплексном режиме. При значительном объеме двунаправленного **межсегментного** обмена работа сети при стандартной технологии практически **парализуется**.

Вероятность возникновения коллизий повышается при увеличении времени передачи пакета по сети. Для сегментированной сети длина внутрисегментных (пользовательских) линий, как правило, не превышает 100м, а **время** прохождения пакета по сети определяется значительно более протяженными линиями, **соединяющими** сегменты сети. В многосегментных сетях, работающих в полудуплексном режиме, коллизии возникают, в основном, в соединительных линиях.

Возникновения коллизий в соединительных линиях можно избежать, если использовать **раздельные** линии для **передачи** и **приема** сигналов между коммутаторами. При этом обеспечивается **полнодуплексный** режим работы коммутаторов.

Структура центрального сетевого коммутатора, работающего в полнодуплексном режиме, показана на рисунке.

В коммутаторе определяются адреса назначения принятых пакетов, адреса сравниваются с адресной базой данных; по командам блока управления коммутационное поле направляет пакеты в требуемом направлении, которые через буферную память и соответствующий выходной порт передаются в соединительную линию.



БП – буферная память

Структура полнодуплексного коммутатора

Для протяженных соединительных линий широко применяются оптические кабели. Учитывая низкое затухание оптических волокон, коммутаторы, работающие в *полнодуплексном* режиме по оптическим соединительным линиям, практически устраняют *ограничения* на длину межсегментных связей в локальных компьютерных сетях технологии Ethernet.

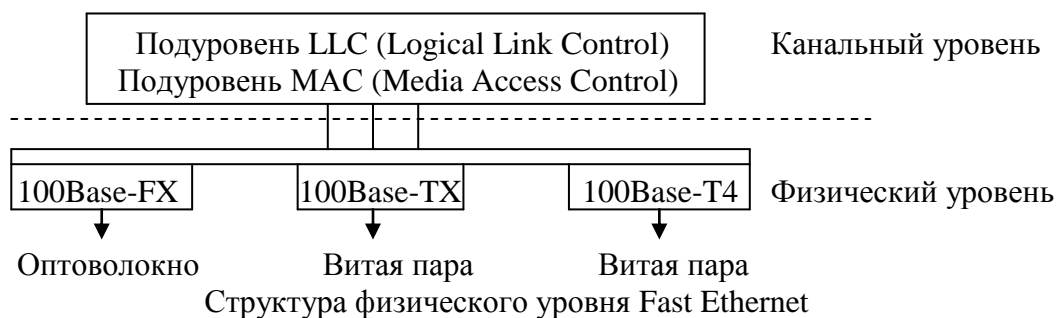
При этом сохраняются *ограничения* на длину кабелей, соединяющих устройства *одного* сегмента.

Полнодуплексный режим может использоваться и для соединения между компьютером и коммутатором. При работе в *полнодуплексном* режиме одновременная передача данных передатчиком порта коммутатора и сетевого адаптера *коллизией не считается*. Современные сетевые адаптеры как правило, поддерживают оба режима работы – полудуплексный и полнодуплексный, отработывая логику алгоритма доступа CSMA/CD при подключении к порту *концентратора* (полудуплексный режим) и работая в *полнодуплексном* режиме при подключении компьютера к порту *коммутатора*.

2.6.2 Спецификации физической среды технологии Fast Ethernet

В стандарте Fast Ethernet используется три варианта сред передачи (см. рисунок):

- волоконно-оптический многомодовый кабель, используется два волокна; спецификация *100Base-FX*;
- витая неэкранированная пара категории 5 или экранированная пара типа 1, используются две пары; спецификация *100Base-TX*;
- витая неэкранированная пара категории 3, 4 или 5, используются четыре пары (для полудуплекса); спецификация *100Base-T4*.



Коаксиальный кабель, давший миру первую сеть Ethernet, не попал в число разрешенных сред передачи для новой технологии. Это общая тенденция современных технологий, т.к. на *небольших* расстояниях витая пара категории 5 позволяет передавать данные с той же скоростью, что и коаксиальный кабель, но сеть получается более дешевой и удобной

в эксплуатации. На *больших* расстояниях оптическое волокно обладает гораздо более широкой полосой пропускания, чем коаксиальный кабель.

Отказ от коаксиального кабеля привел к тому, что сети Fast Ethernet *всегда имеют древовидную структуру*, построенную на концентраторах или коммутаторах, как и сети 10Base-T/10Base-F. Основным отличием *стандартной конфигурации* сетей Fast Ethernet является сокращение диаметра сети примерно до 200 м, что объясняется уменьшением времени передачи кадра минимальной длины в 10 раз за счет увеличения в 10 раз скорости передачи по сравнению с 10-мегабитной сетью Ethernet. Однако это обстоятельство не препятствует построению крупных сетей на технологии Fast Ethernet. При использовании *коммутаторов* протокол Fast Ethernet может работать в *полнодуплексном* режиме, в котором, по существу, нет ограничений на общую длину сети, а остаются только ограничения на длину *физических* сегментов сохранившихся фрагментов разделяемых сред.

Для всех трех стандартов приняты следующие характеристики:

- форматы кадров технологии Fast Ethernet не отличаются от форматов кадров технологий 10-мегабитной сети Ethernet;
- битовый интервал равен 10 нс, а межкадровый интервал – 0,96 мкс; все временные параметры алгоритма доступа (интервал отсрочки, время передачи кадра минимальной длины и т.п.) измеренные в битовых интервалах, остались прежними;
- признаком *свободного состояния* среды является передача по ней символа *Idle* соответствующего избыточного кода (а не отсутствие сигналов, как в стандартах Ethernet 10 Мбит/с).

Физический уровень 100Base-FX

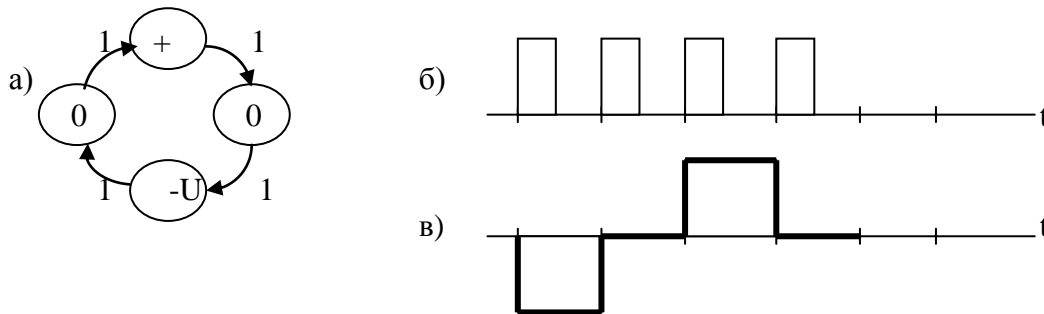
Спецификация 100Base-FX (*многомодовое оптоволокно*, два волокна) определяет работу протокола Fast Ethernet в полудуплексном и полнодуплексном режимах.

В то время как Ethernet со скоростью передачи 10 Мбит/с использует манчестерское кодирование для представления данных при передаче по кабелю, в оптическом уровне стандарта Fast Ethernet используется другой метод кодирования – *4В5В*. Существование *запрещенных* комбинаций символов позволяет обнаруживать и отбраковывать ошибочные символы, что повышает *устойчивость* работы сетей с 100Base-FX/TX. Каждый узел соединяется с сетью двумя волокнами, идущими от приемника и передатчика. Максимальная длина волокна в полнодуплексном режиме – 2 км.

Физический уровень 100Base TX

В качестве среды передачи используется кабель UTP категории 5 или кабель STP Type 1. Максимальная длина кабеля в обоих случаях –

100 м. Логическое кодирование соответствует коду 4В5В, затем сигнал скремблируется и передается в линии трехуровневым кодом MLT-3 (Multilevel Transmission – 3). Метод основывается на циклическом переключении уровней $-U$, 0 , $+U$, 0 . Единице соответствует переход с одного уровня сигнала на следующий. При передаче двоичного «нуля» сигнал не изменяется. В случае наиболее частого переключения уровней (длинная последовательность единиц) для завершения цикла необходимо четыре перехода (см. рисунок).



Преобразование сигналов из двоичного кода в трехуровневый код MLT-3

- а – граф переходов в коде MLT-3;
- б – сигналы в двоичном коде;
- в – сигналы в коде MLT-3.

В коде MLT-3 в два раза увеличивается длительность одиночной кодовой посылки по сравнению с манчестерским кодом, что делает MLT-3 удобным методом при использовании медных проводов в качестве среды передачи последовательностей с тактовой частотой 100МГц.

Стандарты 100Base-TX могут работать как в полудуплексном, так и в полнодуплексном режиме.

Физический уровень 100Base-T4

Спецификация 100Base-T4 (неэкранированная витая пара категории 3, четыре пары) была разработана для того, чтобы можно было использовать для высокоскоростного соединения Ethernet уже *проложенную* проводку по витой паре категории 3. Эта спецификация позволяет повысить общую пропускную способность за счет *одновременной передачи* потоков битов *по нескольким парам* кабеля. Общая скорость протокола 100Base-T4 составляет 100 Мбит/с, при этом скорость передачи данных *по каждой* из трех передающих пар равна **33 Мбит/с**. Вместо кодирования 4В/5В в этом методе используется кодирование **8В6Т**, которое обладает более узким спектром сигнала. Частота следования импульсов на каждой паре равна **25 Мбод** и укладывается в полосу 16 МГц витой пары категории 3 (при кодировании 4В5В спектр сигнала в эту полосу не укладывается).

Каждая троичная цифра имеет длительность 40 нс. Группа из шести троичных цифр, соответствующая байту, затем передается на одну из трех передающих витых пар независимо и последовательно.

Четвертая пара всегда используется для **прослушивания** несущей частоты в целях обнаружения коллизий.

Максимальная длина кабеля стандарта 100BaseT4 – 100 м.

Максимальный размер **сегмента** сети **Fast Ethernet равен примерно 200 м**, более точные значения зависят от спецификации физической среды.

В домене коллизий Fast Ethernet допускается не более **одного** повторителя класса 1 (позволяющего транслировать коды 4B5B в коды 8B6T и обратно) и не более **двух** повторителей класса II (не позволяющих выполнить трансляцию кодов).

При работе по витой паре технология Fast Ethernet позволяет при помощи процедуры **автопереговоров** между двумя портами выбрать наиболее эффективный режим: скорость 10 Мбит/с или 100Мбит/с, а также полудуплексный или полнодуплексный вариант работы.

2.7 Gigabit Ethernet

Растущая производительность новых поколений вычислительных средств потребовала соответствующего увеличения пропускной способности корпоративных сетей по сравнению с возможностями Fast Ethernet. Во многих случаях серверы, подключенные по 100-мегабитному каналу, перегружали магистрали сетей FDDI и Fast Ethernet. Ощущалась потребность в следующем уровне иерархии скоростей.

Основная идея разработчиков стандарта Gigabit Ethernet состоит в максимальном сохранении идей классической технологии Ethernet при достижении битовой скорости в 1000 Мбит/с.

Важно отметить, что Gigabit Ethernet, так же как и его менее скоростные члены семейства, не будет поддерживать на уровне протокола:

- качество обслуживания;
- избыточные связи;
- тестирование работоспособности узлов и оборудования.

По поводу качества обслуживания решение основывается на принципе «сила есть – ума не надо». Главная идея разработчиков технологии Gigabit Ethernet состоит в том, что благодаря **высокой скорости магистрали** и возможности назначения пакетам приоритетов в коммутаторах, можно обеспечить **требуемое качество** транспортного обслуживания **для всех клиентов** сети. При высокой загрузке магистрали требования для трафика, чувствительного к задержкам, можно обеспечить с помощью установления приоритетов в коммутаторах.

Основные характеристики технологии:

- сохраняются все форматы кадров Ethernet;

- сохраняется как полудуплексная версия протокола, поддерживающая метод доступа CSMA/CD, так и полнодуплексная версия, работающая с коммутаторами;
- поддерживаются основные виды кабелей, используемых в Ethernet и Fast Ethernet: волоконно-оптический, витая пара категории 5, твинаксиальный кабель.

Для этой технологии существовало несколько серьезных проблем:

- обеспечение приемлемого диаметра сети для *полудуплексного* режима работы;
- достижение битовой *скорости 1000 Мбит/с* на основных типах кабелей, особенно, на витой паре.

В связи с ограничениями, накладываемыми методом CSMA/CD на длину кабеля, версия Gigabit Ethernet *для разделяемой среды* допускала бы длину сегмента *всего в 25 м* при сохранении размера кадров и всех параметров метода CSMA/CD неизменными. Для значительного числа применений требовалось *обеспечение* размер сегмента сети *хотя бы 200 м*, как для Fast Ethernet.

Для расширения максимального диаметра сети Gigabit Ethernet в полудуплексном режиме до 200 м минимальный размер кадра был *увеличен* (без учета 8 байт преамбулы) *с 64 до 512 байт* или до *4096 бит*. Соответственно, время двойного оборота теперь тоже можно было *увеличить до 4095 бит*, что делает допустимым диаметр сети около 200 м при использовании одного повторителя.

При двойной задержке сигнала в 10 бит/м оптоволоконные кабели длиной 100м вносят вклад во время двойного оборота по 1000 бит, повторитель внесет задержку 1000 бит, и пара сетевых адаптеров – тоже 1000 бит; итоговое время не превысит установленного предела 4096 бит.

Для увеличения длины кадра до требуемой величины сетевой адаптер *дополняет* поле данных так называемым «*расширением*», представляющим поле, *заполненное нулями*.

В сети Gigabit Ethernet разрешается передавать несколько кадров подряд (режим Burst Mode) во время интервала 8096 байт, не освобождая среду (в обычном Ethernet максимальная длительность кадра 1518 байт). При этом короткие кадры не обязательно дополнять до 512 байт.

В *полнодуплексном* режиме поля «расширение» и Burst Mode не используются, т.к. в этом режиме понятие коллизии просто отсутствует.

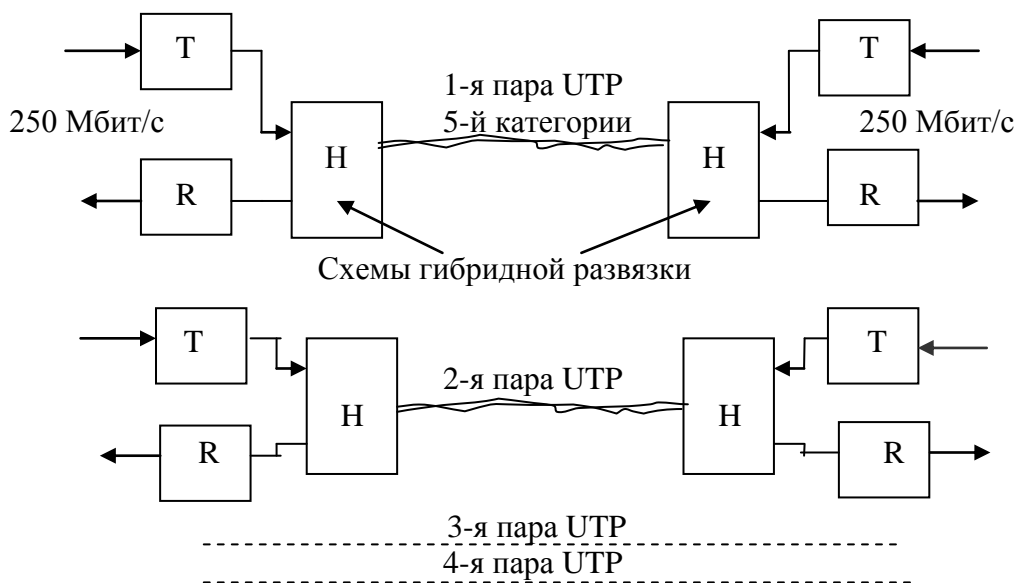
Технология Gigabit Ethernet предусматривает следующие типы физических сред:

- *два одномодовых оптических волокна*, спецификация 1000Base-ZX, длина волны 1300 нм, длина сегмента до *80 км*;
- *два многомодовых оптических волокна* 62,5/125 или 50/125; спецификации 1000Base-SX (Short Wavelength) для длины волны 850 нм и 1000Base-LX (Long Wavelength) для длины

волны 1300 нм; длина сегмента **200-500м** в зависимости от полосы пропускания кабеля;

как для одномодовых, так и для многомодовых волокон используется код 8B10B, позволяющий контролировать ошибки при передаче и балансирующий число единиц и нулей в передаваемой последовательности;

- твинаксиальный кабель (две пары проводников, каждая из которых окружена экранирующей оплеткой), при этом обеспечивается режим полудуплексной передачи; максимальная длина твинаксиального сегмента составляет всего 25 м;
- **четыре неэкранированных витых пар категории UTP-5 спецификации 1000Base-T**; каждая пара кабеля имеет полосу пропускания до 100 МГц. Для обеспечения скорости 1000 Мбит/с организуется параллельная передача **по всем 4 парам кабеля**. Кодирование производится в коде PAM-5, использующем 5 разрешенных значений (-2, -1, 0, +1, +2), что позволило снизить тактовую частоту по каждой паре с 250 МГц до 125 МГц. Спектр сигнала **укладывается в полосу 100 МГц кабеля категории 5**. Для организации полнодуплексного режима применяется техника **дуплексной работы модемов по одной паре** с использованием специальных цифровых сигнальных процессоров (DSP – Digital Signal Processor), обеспечивающих отделение принимаемого сигнала от передаваемого. Такая техника применяется в модемах DSL, но совсем на других скоростях. Схема организации технологии 1000Base-T4 показана на рисунке.



Двунаправленная передача Gigabit Ethernet по четырем парам UTP категории 5

Основная область применения протокола Gigabit Ethernet – магистрали локальных сетей (LAN) и городских (MAN) сетей. Наиболее часто используемый режим – полнодуплексный, обеспечивающий максимальную пропускную способность и не ограничивающий расстояние между узлами.

В 2003-2006 гг. были приняты различные стандарты для технологии **10-Gigabit Ethernet**, рассчитанные на работу по оптоволокну, двойному коаксиалу (на длину 15 м) и по кабелю UTP. Стандарт IEEE 802.3ap, описывает работу 10-Gigabit Ethernet по кабелю UTP категории 6а длиной до 100 м. Для кабеля UTP простой категории 6 протяженность ограничена 55м. Необходимость передачи сообщений непосредственно от ПК со скоростью 10 Гбит/с возникает только в специальных случаях.

Следует отметить, что технология 10GE изначально была предложена как транспортная (а не локальная) технология. В частности, предусматривается специальная модификация WAN, позволяющая транслировать данные 10GE по транспортной сети NGSDH. Кроме того, в технологии используются мощные оптические трансиверы, обеспечивающие дальность связи более 40 км по одномодовым волокнам.