

Александр Александрович Олейников

Компьютерные и телекоммуникационные сети

Лекция 1.3.2. Технология Ethernet. Форматы кадров. Методика расчетов сети.

Астрахань, 2018

Технология Ethernet (802.3). Метод доступа CSMA/CD. Форматы кадров технологии Ethernet.

- ▶ Ethernet – это самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей.
- ▶ Когда говорят Ethernet, то под этим обычно понимают любой из вариантов этой технологии. В более узком смысле 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 версии II для сети, построенной на основе коаксиального кабеля, который стал последней версией фирменного стандарта Ethernet. Поэтому фирменную версию стандарта Ethernet называют стандартом Ethernet DIX или Ethernet II.

- ▶ На основе стандарта Ethernet DIX был разработан стандарт IEEE 802.3, который во многом совпадает со своим предшественником, но некоторые различия все же имеются. В то время как в стандарте IEEE 802.3 различаются уровни MAC и LLC, в оригинальном Ethernet оба эти уровня объединены в единый канальный уровень. В Ethernet DIX определяется протокол тестирования конфигурации (Ethernet Configuration Test Protocol), который отсутствует в IEEE 802.3. Несколько отличается и формат кадра, хотя минимальные и максимальные размеры кадров в этих стандартах совпадают. Часто для того, чтобы отличить Ethernet, определенный стандартом IEEE, и фирменный Ethernet DIX, первый называют технологией 802.3, а за фирменным оставляют название Ethernet без дополнительных обозначений.

Адресация в сетях Ethernet

- ▶ Для идентификации получателя информации в технологиях Ethernet используются 6-ти байтовые MAC-адреса.
- ▶ Формат MAC - адреса обеспечивает возможность использования специфических режимов многоадресной адресации в сети Ethernet и, одновременно, исключить возможность появления в пределах одной локальной сети двух станций которые имели бы одинаковый адрес.

Байт №6	Байт №5	Байт №4	Байт №3	Байт №2	Байт №1
Идентификатор производителя оборудования			Индивидуальный идентификатор устройства		

Для написания MAC адреса могут быть использованы различные формы. Наиболее часто используется шестнадцатеричная форма, в которой пары байтов отделяются друг от друга символами «-»:

00-e0-14-00-00-00

В сетях Ethernet и IEEE 802.3 используются три основных режима формирования адреса назначения:

- ▶ Unicast - индивидуальный адрес;
- ▶ Multicast - групповой адрес;
- ▶ Broadcast - широковещательный адрес.

Первый режим адресации (Unicast) используется в том случае, когда станция - источник адресует передаваемый пакет только одному получателю данных.

Признаком использования режима адресации Multicast является наличие 1 в младшем бите старшего байта идентификатора производителя оборудования.

- ▶ **01-00-0C-CC-CC-CC**

Станция сети Ethernet и IEEE 802.3 может также использовать режим адресации типа Broadcast. Адрес станции назначения типа Broadcast кодируется специальным значением:

- ▶ **FF-FF-FF-FF-FF-FF**

При использовании данного адреса переданный пакет будет принят всеми станциями, которые находятся в данной сети.

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) (Множественный доступ к среде передачи с контролем несущей и обнаружением коллизий).
- ▶ Протокол CSMA/CD определяет характер взаимодействия рабочих станций в сети с единой общей для всех устройств средой передачи данных. Все станции имеют равноправные условия по передаче данных. Нет определенной последовательности, в соответствии с которой станции могут получать доступ к среде для осуществления передачи. Именно в этом смысле доступ к среде осуществляется случайным образом. Реализация алгоритмов случайного доступа представляется значительно более простой задачей, чем реализация алгоритмов детерминированного доступа.

- ▶ Поскольку в последнем случае требуется или специальный протокол, контролирующий работу всех устройств сети (например протокол обращения маркера, свойственный сетям Token Ring и FDDI), или специальное выделенное устройство - мастер концентратор, который в определенной последовательности предоставлял бы всем остальным станциям возможность передавать (сети Arcnet, 100VG AnyLAN).
- ▶ Однако сеть со случайным доступом имеет один, пожалуй, главный недостаток - это не совсем устойчивая работа сети при большой загруженности, когда может проходить достаточно большое время, прежде чем данной станции удастся передать данные. Виной тому коллизии, которые возникают между станциями, начавшими передачу одновременно или почти одновременно. При возникновении коллизии передаваемые данные не доходят до получателей, а передающим станциям приходится повторно возобновлять передачу – методы кодирования, используемые в Ethernet, не позволяют выделять сигналы каждой станции из общего сигнала.

- ▶ Коллизия – это нормальная ситуация в работе сетей Ethernet. Для возникновения коллизии не обязательно, чтобы несколько станций начали передачу абсолютно одновременно, такая ситуация маловероятна. Гораздо вероятней, что коллизия возникает из-за того, что один узел начинает передачу раньше другого, но до второго узла сигналы первого просто не успевают дойти к тому времени, когда второй узел решает начать передачу своего кадра. То есть коллизии – это следствие распределенного характера сети.

- ▶ Алгоритм CSMA/CD для передающей станции приведен на рис.10.2.
- ▶ Чтобы получить возможность передавать кадр, станция должна убедиться, что разделяемая среда свободна. Это достигается прослушиванием основной гармоники сигнала, которая также называется несущей частотой (carrier-sense, CS).

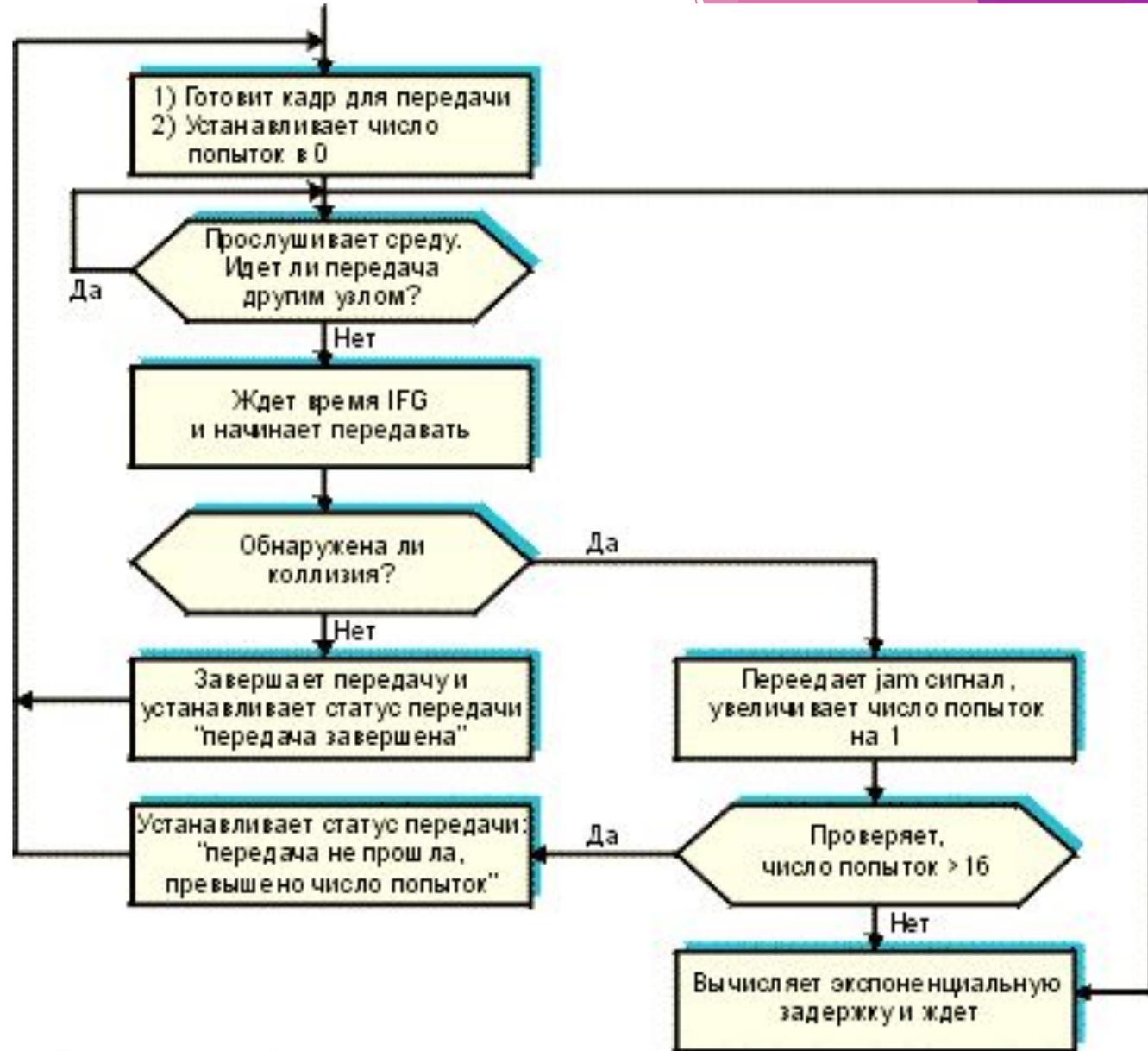


Рисунок 1. Структурная схема алгоритма CSMA/CD (уровень MAC): при передаче кадра станцией

- ▶ Признаком незанятости среды является отсутствие на ней несущей частоты, которая при манчестерском способе кодирования равна 5-10 МГц, в зависимости от последовательности единиц и нулей, передаваемых в данный момент.
- ▶ После окончания передачи кадра все узлы сети обязаны выдержать технологическую паузу (Inter Frame Gap) в 9,6 мкс (96 bt). Эта пауза, называемая также межкадровым интервалом, нужна для приведения сетевых адаптеров в исходное состояние, а также для предотвращения монопольного захвата среды одной станцией.
- ▶ Jam-сигнал (jamming - дословно глушение). Передача jam-сигнала гарантирует, что не один кадр не будет потерян, так как все узлы, которые передавали кадры до возникновения коллизии, приняв jam-сигнал, прервут свои передачи и замолкнут в преддверии новой попытки передать кадры. Jam-сигнал должен быть достаточной длины, чтобы он дошел до самых удаленных станций коллизионного домена, с учетом дополнительной задержки на возможных повторителях.

- ▶ Четкое распознавание коллизий всеми станциями сети является необходимым условием корректной работы сети Ethernet. Если какая-либо передающая станция не распознает коллизию и решит, что кадр данных ею передан верно, то этот кадр данных будет утерян. Из-за наложения сигналов при коллизии информация кадра исказится, и он будет отбракован принимающей станцией (возможно, из-за несовпадения контрольной суммы). Скорее всего, искаженная информация будет повторно передана каким-либо протоколом верхнего уровня, например транспортным или прикладным, работающим с установлением соединения. Но повторная передача сообщения протоколами верхних уровней произойдет через значительно более длительный интервал времени (иногда даже через несколько секунд) по сравнению с микросекундными интервалами, которыми оперирует протокол Ethernet. Поэтому если коллизии не будут надежно распознаваться узлами сети Ethernet, то это приведет к заметному снижению полезной пропускной способности данной сети.

- ▶ Для надежного распознавания коллизий должно выполняться следующее соотношение:

$$T_{\min} \geq PDV,$$

- ▶ где T_{\min} — время передачи кадра минимальной длины, а PDV — время, за которое сигнал коллизии успеваает распространиться до самого дальнего узла сети. Так как 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 уже искаженный коллизией сигнал), то именно поэтому это время называется *временем двойного оборота (Path Delay Value, PDV)*.
- ▶ При выполнении этого условия передающая станция должна успевать обнаружить коллизию, которую вызвал переданный ее кадр, еще до того, как она закончит передачу этого кадра.

Очевидно, что выполнение этого условия зависит, с одной стороны, от длины минимального кадра и пропускной способности сети, а с другой стороны, от длины кабельной системы сети и скорости распространения сигнала в кабеле (для разных типов кабеля эта скорость несколько отличается).

При возникновении коллизии станция подсчитывает, сколько раз подряд при отправке пакета возникает коллизия. Поскольку повторяющиеся коллизии свидетельствуют о высокой загруженности среды, MAC-узел пытается увеличивать задержку между повторными попытками передачи кадра. Случайная пауза выбирается по следующему алгоритму:

Пауза = L * интервал отсрочки,

где интервал отсрочки = 512 битовым интервалам (51,2 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.
- ▶ Если 16 последовательных попыток передачи кадра вызывают коллизию, то передатчик должен прекратить попытки и отбросить этот кадр.
- ▶ В результате учета всех факторов было тщательно подобрано соотношение между минимальной длиной кадра и максимально возможным расстоянием между станциями сети, которое обеспечивает надежное распознавание коллизий. Это расстояние называют также максимальным диаметром сети.

Форматы кадров технологии Ethernet

- ▶ В сетях Ethernet на канальном уровне используются кадры 4-х различных форматов. Это связано с длительной историей развития технологии Ethernet, насчитывающей период существования до принятия стандартов IEEE 802, когда подуровень LLC не выделялся из общего протокола и, соответственно, заголовок LLC не применялся.
- ▶ Различия в форматах кадров могут приводить к несовместимости в работе аппаратуры и сетевого программного обеспечения, рассчитанного на работу только с одним стандартом кадра Ethernet. Однако сегодня практически все сетевые адаптеры, драйверы сетевых адаптеров, мосты/коммутаторы и маршрутизаторы умеют работать со всеми используемыми на практике форматами кадров технологии Ethernet, причем распознавание типа кадра выполняется автоматически.

Ниже приводится описание всех четырех типов кадров Ethernet (здесь под кадром понимается весь набор полей, которые относятся к канальному уровню, то есть поля MAC и LLC уровней). Один и тот же тип кадра может иметь разные названия, поэтому ниже для каждого типа кадра приведено по несколько наиболее употребительных названий:

- ▶ кадр 802.3/LLC (кадр 802.3/802.2 или кадр Novell 802.2);
- ▶ кадр Raw 802.3 (или кадр Novell 802.3);
- ▶ кадр Ethernet DIX (или кадр Ethernet II);
- ▶ кадр Ethernet SNAP.

Форматы всех этих четырех типов кадров Ethernet приведены на рис. 2.

► Кадр 802.3/LLC

Заголовок кадра 802.3/LLC является результатом объединения полей заголовков кадров, определенных в стандартах IEEE 802.3 и 802.2.

Стандарт 802.3 определяет восемь полей заголовка (рис. 2; поле преамбулы и начальный ограничитель кадра на рисунке не показаны).

Кадр 802.3/LLC

6	6	2	1	1	1(2)	46-1497(1496)	4
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Control	Data	FCS
Заголовок LLC							

Кадр Raw 802.3/Novell 802.3

6	6	2	46-1500				4
DA	SA	L	Data				FCS

Кадр Ethernet DIX(II)

6	6	2	46-1500				4
DA	SA	T	Data				FCS

Кадр Ethernet SNAP

6	6	2	1	1	1	3	2	46-1497(1496)	4
DA	SA	L	DSAP	SSAP	Control	OUI	T	Data	FCS
			AA	AA	03	000000			
Заголовок LLC						Заголовок SNAP			

Рисунок 2. Форматы кадров Ethernet

- ▶ *Поле преамбулы (Preamble)* состоит из семи синхронизирующих байт 10101010. При манчестерском кодировании эта комбинация представляется в физической среде периодическим волновым сигналом с частотой 5 МГц.
- ▶ *Начальный ограничитель кадра (Start-of-frame-delimiter, SFD)* состоит из одного байта 10101011. Появление этой комбинации бит является указанием на то, что следующий байт – это первый байт заголовка кадра.
- ▶ *Адрес назначения (Destination Address, DA)* может быть длиной 2 или 6 байт. На практике всегда используются адреса из 6 байт.
- ▶ *Адрес источника (Source Address, SA)* – это 2- или 6-байтовое поле, содержащее адрес узла - отправителя кадра. Первый бит адреса всегда имеет значение 0.
- ▶ *Длина (Length, L)* – 2-байтовое поле, которое определяет длину поля данных в кадре.

- ▶ *Поле данных (Data)* может содержать от 0 до 1500 байт. Но если длина поля меньше 46 байт, то используется следующее поле – поле заполнения, – чтобы дополнить кадр до минимально допустимого значения в 46 байт.
- ▶ *Поле заполнения (Padding)* состоит из такого количества байт заполнителей, которое обеспечивает минимальную длину поля данных в 46 байт. Это обеспечивает корректную работу механизма обнаружения коллизий. Если длина поля данных достаточна, то поле заполнения в кадре не появляется.
- ▶ *Поле контрольной суммы (Frame Check Sequence, FCS)* состоит из 4 байт, содержащих контрольную сумму. Это значение вычисляется по алгоритму CRC-32.

- ▶ Кадр 802.3 является кадром MAC-подуровня, поэтому в соответствии со стандартом 802.2 в его поле данных вкладывается кадр подуровня LLC с удаленными флагами начала и конца кадра. Формат кадра LLC был описан выше. Так как кадр LLC имеет заголовок длиной 3 (в режиме LLC1) или 4 байт (в режиме LLC2), то максимальный размер поля данных уменьшается до 1497 или 1496 байт.

► Кадр Raw 802.3/Novell 802.3

Кадр Raw 802.3, называемый также кадром Novell 802.3, представлен на рис. 10.3. Из рисунка видно, что это кадр подуровня MAC стандарта 802.3, но без вложенного кадра подуровня LLC. Компания Novell долгое время не использовала служебные поля кадра LLC в своей операционной системе NetWare из-за отсутствия необходимости идентифицировать тип информации, вложенной в поле данных, — там всегда находился пакет протокола IPX, долгое время бывшего единственным протоколом сетевого уровня в ОС NetWare.

► Кадр Ethernet DIX/Ethernet II

Кадр Ethernet DIX, называемый также кадром Ethernet II, имеет структуру (см. рис. 2), совпадающую со структурой кадра Raw 802.3. Однако 2-байтовое поле *Длина(L)* кадра Raw 802.3 в кадре *Ethernet DIX* используется в качестве поля типа протокола. Это поле, теперь получившее название Type (T) или EtherType, предназначено для тех же целей, что и поля DSAP и SSAP кадра LLC — для указания типа протокола верхнего уровня, вложившего свой пакет в поле данных этого кадра.

► Кадр Ethernet SNAP

Для устранения разнобоя в кодировках типов протоколов, сообщения которых вложены в поле данных кадров Ethernet, комитетом 802.2 была проведена работа по дальнейшей стандартизации кадров Ethernet. В результате появился кадр Ethernet SNAP (SNAP – Subnetwork Access Protocol, протокол доступа к подсетям). Кадр Ethernet SNAP (см. рис. 10.3) представляет собой расширение кадра 802.3/LLC за счет введения дополнительного заголовка протокола SNAP, состоящего из двух полей: OUI и Type. Поле Type состоит из 2-х байт и повторяет по формату и назначению поле Type кадра Ethernet II (то есть в нем используются те же значения кодов протоколов). Поле OUI (Organizationally Unique Identifier) определяет идентификатор организации, которая контролирует коды протоколов в поле Type.

- ▶ С помощью заголовка SNAP достигнута совместимость с кодами протоколов в кадрах Ethernet II, а также создана универсальная схема кодирования протоколов. Коды протоколов для технологий 802 контролирует IEEE, которая имеет OUI, равный 000000. Если в будущем потребуются другие коды протоколов для какой-либо новой технологии, для этого достаточно указать другой идентификатор организации, назначающей эти коды, а старые значения кодов останутся в силе (в сочетании с другим идентификатором OUI).

Спецификации физической среды Ethernet

- ▶ Исторически первые сети технологии Ethernet были созданы на коаксиальном кабеле диаметром 0,5 дюйма. В дальнейшем были определены и другие спецификации физического уровня для стандарта Ethernet, позволяющие использовать различные среды передачи данных. Метод доступа CSMA/CD и все временные параметры остаются одними и теми же для любой спецификации физической среды технологии Ethernet 10 Мбит/с.

Физические спецификации технологии Ethernet на сегодняшний день включают следующие среды передачи данных.

- 10Base-5 — коаксиальный кабель диаметром 0,5 дюйма, называемый «толстым» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента — 500 метров (без повторителей).
- 10Base-2 — коаксиальный кабель диаметром 0,25 дюйма, называемый «тонким» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента — 185 метров (без повторителей).
- 10Base-T — кабель на основе неэкранированной витой пары (Unshielded Twisted Pair, UTP). Образует звездообразную топологию на основе концентратора. Расстояние между концентратором и конечным узлом — не более 100 м.

- 10Base-F — волоконно-оптический кабель. Топология аналогична топологии стандарта 10Base-T. Имеется несколько вариантов этой спецификации — FOIRL (расстояние до 1000 м), 10Base-FL (расстояние до 2000 м), 10Base-FB (расстояние до 2000 м).

Число 10 в указанных выше названиях обозначает битовую скорость передачи данных этих стандартов — 10 Мбит/с, а слово Base — метод передачи на одной базовой частоте 10 МГц (в отличие от методов, использующих несколько несущих частот, которые называются Broadband — широкополосными). Последний символ в названии стандарта физического уровня обозначает тип кабеля.

Стандарт 10Base-5

- ▶ Стандарт 10Base-5 в основном соответствует экспериментальной сети Ethernet фирмы Херох и может считаться классическим Ethernet. Он использует в качестве среды передачи данных коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом, диаметром центрального медного провода 2,17 мм и внешним диаметром около 10 мм («толстый» Ethernet). Такими характеристиками обладают кабели марок RG-8 и RG-11.

- ▶ Различные компоненты сети, состоящей из трех сегментов, соединенных повторителями, выполненной на толстом коаксиале показаны на рис 3

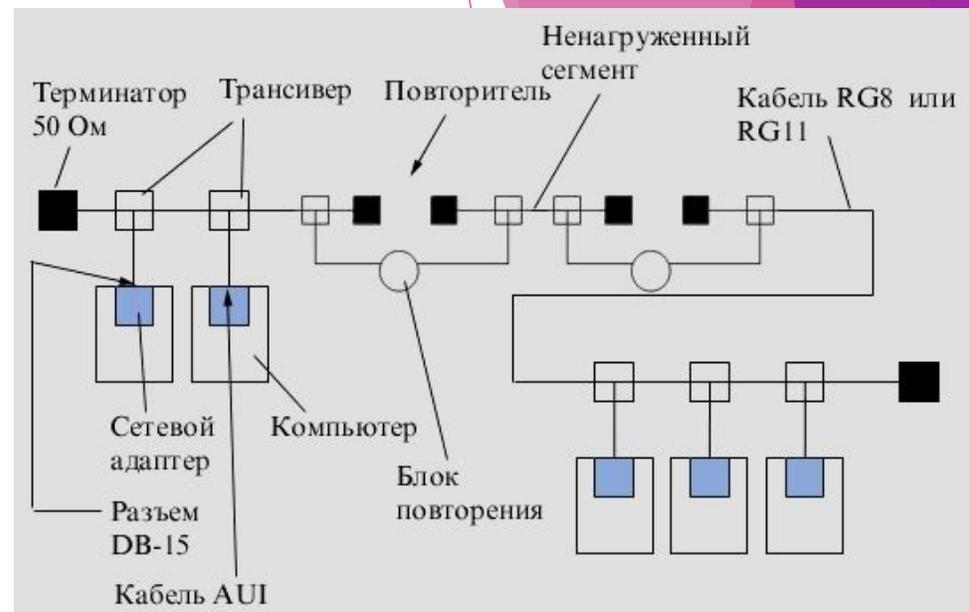


Рисунок 3. Компоненты физического уровня сети стандарта 10 Base-5, состоящей из трех сегментов

- ▶ Кабель используется как моноканал для всех станций. Сегмент кабеля имеет максимальную длину 500 м (без повторителей) и должен иметь на концах согласующие *терминаторы* сопротивлением 50 Ом, поглощающие распространяющиеся по кабелю сигналы и препятствующие возникновению отраженных сигналов. При отсутствии терминаторов («заглушек») в кабеле возникают стоячие волны, так что одни узлы получают мощные сигналы, а другие – настолько слабые, что их прием становится невозможным.
- ▶ Станция должна подключаться к кабелю при помощи приемопередатчика – *трансивера* (*transmitter+receiver = transceiver*), 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 соединяется с сетевым адаптером интерфейсным кабелем *AUI (Attachment Unit Interface)* длиной до 50 м, состоящим из 4 витых пар (адаптер должен иметь разъем AUI). Наличие стандартного интерфейса между трансивером и остальной частью сетевого адаптера очень полезно при переходе с одного типа кабеля на другой. Для этого достаточно только заменить трансивер, а остальная часть сетевого адаптера остается неизменной, так как она обрабатывает протокол уровня MAC. При этом необходимо только, чтобы новый трансивер (например, трансивер для витой пары) поддерживал стандартный интерфейс AUI. Для присоединения к интерфейсу AUI используется разъем DB-15.

- ▶ Допускается подключение к одному сегменту не более 100 трансиверов, причем расстояние между подключениями трансиверов не должно быть меньше 2,5 м. На кабеле имеется разметка через каждые 2,5 м, которая обозначает точки подключения трансиверов. При подсоединении компьютеров в соответствии с разметкой влияние стоячих волн в кабеле на сетевые адаптеры сводится к минимуму.
- ▶ Стандарт 10Base-5 определяет возможность использования в сети специального устройства — *повторителя (repeater)*. Повторитель служит для объединения в одну сеть нескольких сегментов кабеля и увеличения тем самым общей длины 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 передаваемых бит повторитель задерживает передачу нескольких первых бит преамбулы кадра, за счет чего увеличивается задержка передачи кадра с сегмента на сегмент, а также несколько уменьшается межкадровый интервал.

- ▶ Правило применения повторителей в сети Ethernet 10Base-5 носит название «правило 5-4-3»: 5 сегментов, 4 повторителя, 3 нагруженных сегмента. Ограниченное число повторителей объясняется дополнительными задержками распространения сигнала, которые они вносят. Применение повторителей увеличивает время двойного распространения сигнала, которое для надежного распознавания коллизий не должно превышать время передачи кадра минимальной длины, то есть кадра в 72 байт или 576 бит.

Каждый повторитель подключается к сегменту одним своим трансивером, поэтому к нагруженным сегментам можно подключить не более 99 узлов. Максимальное число конечных узлов в сети 10Base-5 таким образом составляет $99 \times 3 = 297$ узлов.

К достоинствам стандарта 10Base-5 относятся:

- ▶ хорошая защищенность кабеля от внешних воздействий;
- ▶ сравнительно большое расстояние между узлами;
- ▶ возможность простого перемещения рабочей станции в пределах длины кабеля AUI.

Недостатками 10Base-5 являются:

- ▶ высокая стоимость кабеля;
- ▶ сложность его прокладки из-за большой жесткости;
- ▶ потребность в специальном инструменте для заделки кабеля;
- ▶ останов работы всей сети при повреждении кабеля или плохом соединении;
- ▶ необходимость заранее предусмотреть подводку кабеля ко всем возможным местам установки компьютеров.

Стандарт 10Base-2

- ▶ Стандарт 10Base-2 использует в качестве передающей среды коаксиальный кабель с диаметром центрального медного провода 0,89 мм и внешним диаметром около 5 мм («тонкий» Ethernet). Кабель имеет волновое сопротивление 50 Ом. Такими характеристиками обладают кабели марок RG-58 /U, RG-58A/U, RG-58C/U.
- ▶ Максимальная длина сегмента без повторителей составляет 185 м, сегмент должен иметь на концах согласующие терминаторы 50 Ом. Тонкий коаксиальный кабель дешевле толстого. Но за дешевизну кабеля приходится расплачиваться качеством — «тонкий» коаксиал обладает худшей помехозащищенностью, худшей механической прочностью и более узкой полосой пропускания.

- ▶ Станции подключаются к кабелю с помощью высокочастотного BNC T-коннектора, который представляет собой тройник, один отвод которого соединяется с сетевым адаптером, а два других – с двумя концами разрыва кабеля. Максимальное количество станций, подключаемых к одному сегменту, – 30. Минимальное расстояние между станциями – 1 м. Кабель «тонкого» коаксиала имеет разметку для подключения узлов с шагом в 1 м.
- ▶ Стандарт 10Base-2 также предусматривает использование повторителей, применение которых также должно соответствовать «правилу 5-4-3». В этом случае сеть будет иметь максимальную длину в $5 \times 185 = 925$ м. Очевидно, что это ограничение является более сильным, чем общее ограничение в 2500 метров.

- ▶ Типичный состав сети стандарта 10Base-2, состоящей из одного сегмента кабеля, показан на рис. 4.

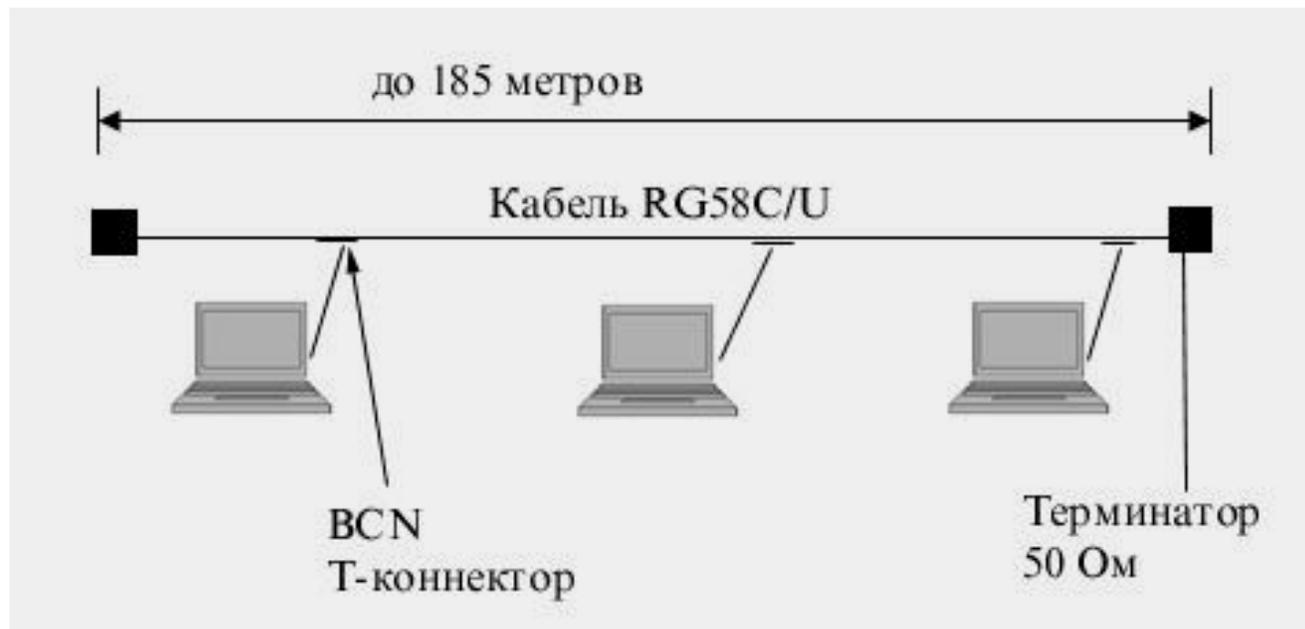


Рисунок 4. Сеть стандарта

Общим недостатком ^{10Base-2} стандартов 10Base-5 и 10Base-2 является отсутствие оперативной информации о состоянии моноканала. Повреждение кабеля обнаруживается сразу же (сеть перестает работать), но для поиска отказавшего отрезка кабеля необходим специальный прибор – кабельный тестер.

Стандарт 10Base-T

- ▶ Стандарт принят в 1991 году, как дополнение к существующему набору стандартов Ethernet, и имеет обозначение 802.31.
- ▶ Сети 10Base-T используют в качестве среды две *неэкранированные витые пары* (Unshielded Twisted Pair, UTP). Многопарный кабель на основе неэкранированной витой пары категории 3 (категория определяет полосу пропускания кабеля, величину перекрестных наводок NEXT и некоторые другие параметры его качества) телефонные компании уже достаточно давно использовали для подключения телефонных аппаратов внутри зданий.

- ▶ Конечные узлы соединяются по топологии «точка-точка» со специальным устройством — многопортовым повторителем с помощью двух витых пар. Одна витая пара требуется для передачи данных от станции к повторителю (выход Tx сетевого адаптера), а другая — для передачи данных от повторителя к станции (вход Rx сетевого адаптера). На рис. 5 показан пример трехпортового повторителя. Повторитель принимает сигналы от одного из конечных узлов и синхронно передает их на все свои остальные порты, кроме того, с которого поступили сигналы.

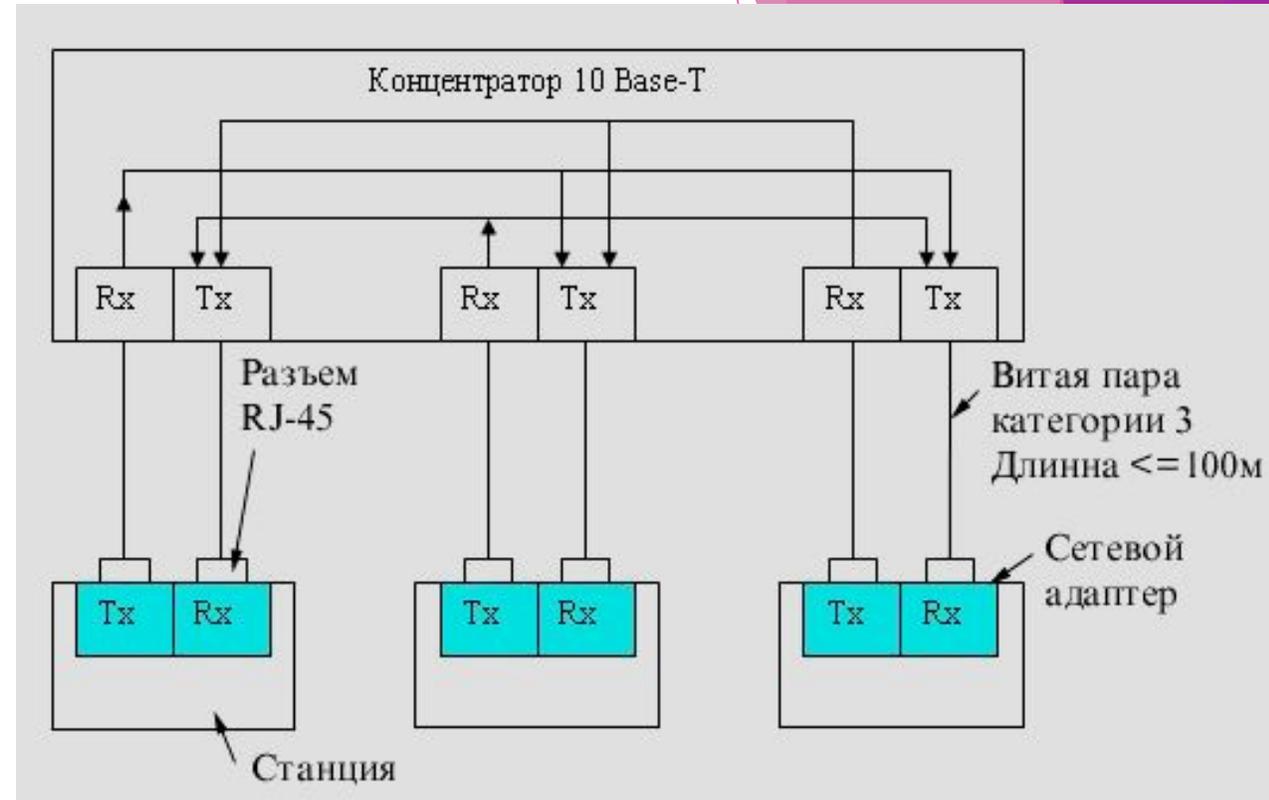


Рисунок 5. Сеть стандарта 10Base-T: Tx - передатчик; Rx - приемник

- ▶ Многопортовые повторители в данном случае обычно называются концентраторами (англоязычные термины — hub или concentrator). 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). Повторитель обнаруживает коллизию в сегменте в случае одновременной передачи сигналов по нескольким своим Rx-входам и посылает jam-последовательность на все свои Tx-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 — на длине 100 м она позволяет передавать данные со скоростью 10 Мбит/с при использовании манчестерского кода.

- ▶ Концентраторы 10Base-T можно соединять друг с другом с помощью тех же портов, которые предназначены для подключения конечных узлов. При этом нужно позаботиться о том, чтобы передатчик и приемник одного порта были соединены соответственно с *приемником и передатчиком* другого порта.
- ▶ Для обеспечения синхронизации станций при реализации процедур доступа CSMA/CD и надежного распознавания станциями коллизий в стандарте определено максимально число концентраторов между любыми двумя станциями сети, а именно 4. Это правило носит название «правила 4-х хабов» и оно заменяет «правило 5-4-3», применяемое к коаксиальным сетям. При создании сети 10Base-T с большим числом станций концентраторы можно соединять друг с другом иерархическим способом, образуя древовидную структуру (рис. 6.).

- ▶ *Петлевидное соединение концентраторов в стандарте 10Base-T запрещено, так как оно приводит к некорректной работе сети.*

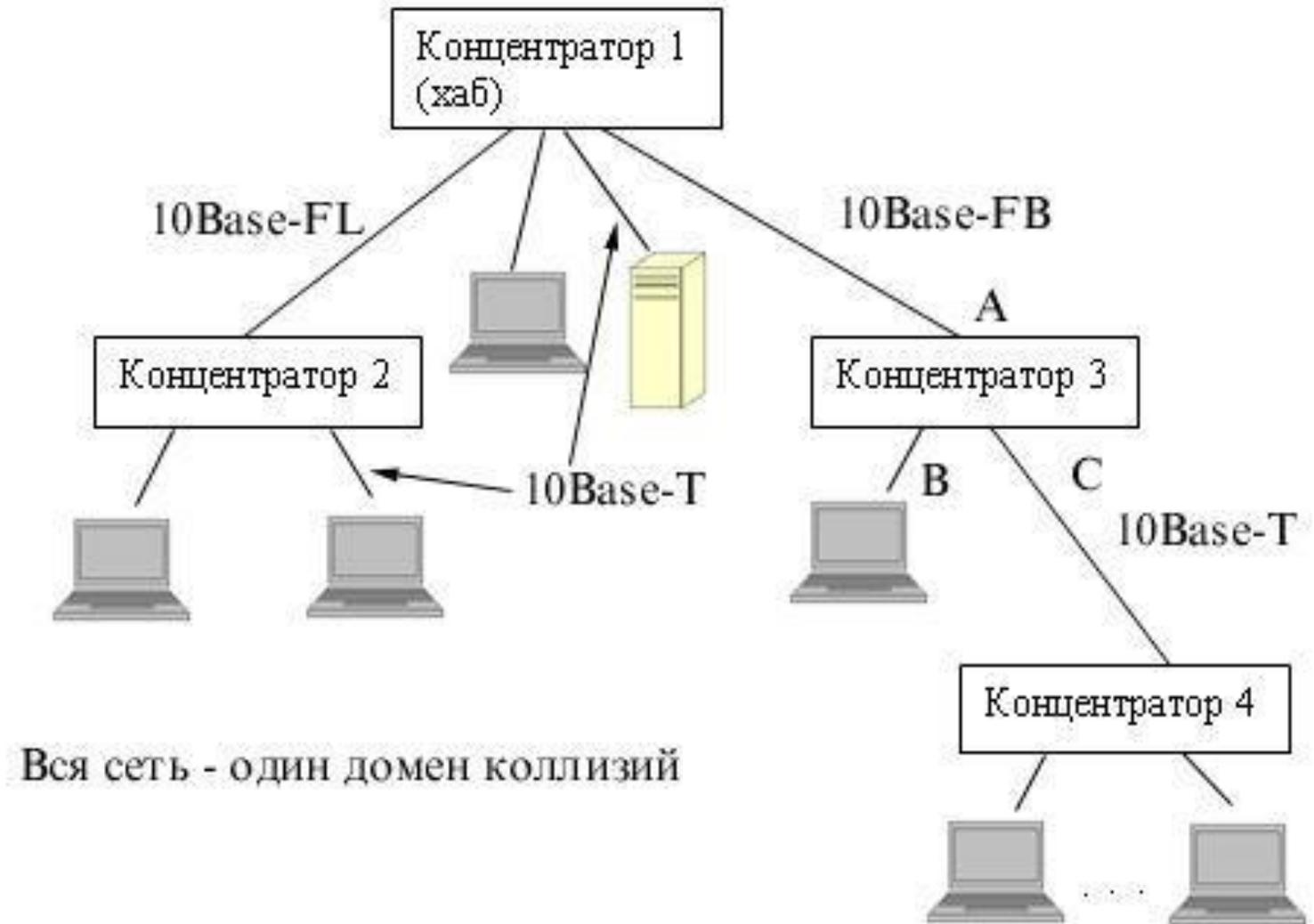


Рисунок 6. Иерархическое соединение концентраторов Ethernet

- ▶ Сети, построенные на основе стандарта 10Base-T, обладают по сравнению с коаксиальными вариантами Ethernet многими преимуществами. Эти преимущества связаны с разделением общего физического кабеля на отдельные кабельные отрезки, подключенные к центральному коммуникационному устройству. И хотя логически эти отрезки по-прежнему образуют общую разделяемую среду, их физическое разделение позволяет контролировать их состояние и отключать в случае обрыва, короткого замыкания или неисправности сетевого адаптера на индивидуальной основе. Это обстоятельство существенно облегчает эксплуатацию больших сетей Ethernet, так как концентратор обычно автоматически выполняет такие функции, уведомляя при этом администратора сети о возникшей проблеме.

- ▶ В стандарте 10Base-T определена процедура тестирования физической работоспособности двух отрезков витой пары, соединяющих трансивер конечного узла и порт повторителя. Эта процедура называется *тестом связности (link test)*, и она основана на передаче каждые 16 мс специальных импульсов J и K манчестерского кода между передатчиком и приемником каждой витой пары. Если тест не проходит, то порт блокируется и отключает проблемный узел от сети. Так как коды J и K являются запрещенными при передаче кадров, то тестовые последовательности не влияют на работу алгоритма доступа к среде.

Оптоволоконный Ethernet

- ▶ В качестве среды передачи данных 10 мегабитный Ethernet использует оптическое волокно. Оптоволоконные стандарты в качестве основного типа кабеля рекомендуют достаточно дешевое многомодовое оптическое волокно, обладающее полосой пропускания 500-800 МГц при длине кабеля 1 км. Функционально сеть Ethernet на оптическом кабеле состоит из тех же элементов, что и сеть стандарта 10Base-T – сетевых адаптеров, многопортового повторителя и отрезков кабеля, соединяющих адаптер с портом повторителя. Как и в случае витой пары, для соединения адаптера с повторителем используются два оптоволокна – одно соединяет выход Tx адаптера со входом Rx повторителя, а другое – вход Rx адаптера с выходом Tx повторителя.

- ▶ *Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link)* представляет собой первый стандарт комитета 802.3 для использования оптоволоконна в сетях Ethernet. Он гарантирует длину оптоволоконной связи между повторителями до 1 км при общей длине сети не более 2500 м. Максимальное число повторителей между любыми узлами сети – 4. Максимального диаметра в 2500 м здесь достичь можно, хотя максимальные отрезки кабеля между всеми 4 повторителями, а также между повторителями и конечными узлами недопустимы – иначе получится сеть длиной 5000 м.
- ▶ *Стандарт 10Base-FL* представляет собой незначительное улучшение стандарта FOIRL. Увеличена мощность передатчиков, поэтому максимальное расстояние между узлом и концентратором увеличилось до 2000 м. Максимальное число повторителей между узлами осталось равным 4, а максимальная длина сети – 2500 м.

- ▶ *Стандарт 10Base-FB* предназначен только для соединения повторителей. Конечные узлы не могут использовать этот стандарт для присоединения к портам концентратора. Между узлами сети можно установить до 5 повторителей 10Base-FB при максимальной длине одного сегмента 2000 м и максимальной длине сети 2740 м.

Повторители, соединенные по стандарту 10Base-FB, при отсутствии кадров для передачи 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, и это является главной причиной, по которой количество повторителей удалось увеличить до 5. В качестве специальных сигналов используются манчестерские коды J и K в следующей последовательности: J-J-K-K-J-J-... Эта последовательность порождает импульсы частоты 2,5 МГц, которые и поддерживают синхронизацию приемника одного концентратора с передатчиком другого. Поэтому стандарт 10Base-FB имеет также название *синхронный Ethernet*.

- ▶ В технологии Ethernet, независимо от применяемого стандарта физического уровня, существует понятие домена коллизий.
- ▶ *Домен коллизий (collision domain)* — это часть сети Ethernet, все узлы которой распознают коллизию независимо от того, в какой части этой сети коллизия возникла. Сеть Ethernet, построенная на повторителях, всегда образует один домен коллизий. Домен коллизий соответствует одной разделяемой среде. Мосты, коммутаторы и маршрутизаторы делят сеть Ethernet на несколько доменов коллизий.

- ▶ Коллизия возникает, когда передатчики порта коммутатора и сетевого адаптера одновременно или почти одновременно начинают передачу своих кадров, считая, что сегмент свободен (см. рисунок). Правда, вероятность коллизии в таком сегменте гораздо меньше, чем в сегменте, состоящем из 20-30 узлов, но она не нулевая. При этом максимальная производительность сегмента Ethernet в 14 880 кадров в секунду при минимальной длине кадра делится между передатчиком порта коммутатора и передатчиком сетевого адаптера. Если считать, что она делится пополам, то каждому предоставляется возможность передавать примерно по 7440 кадров в секунду.

Методика расчета конфигурации сети Ethernet

- ▶ Соблюдение многочисленных ограничений, установленных для различных стандартов физического уровня сетей Ethernet, гарантирует корректную работу сети (естественно, при исправном состоянии всех элементов физического уровня).
- ▶ Чтобы сеть Ethernet, состоящая из сегментов различной физической природы, работала корректно, необходимо выполнение четырех основных условий:
 - количество станций в сети не более 1024;
 - максимальная длина каждого физического сегмента не более величины, определенной в соответствующем стандарте физического уровня;

- время двойного оборота сигнала (Path Delay Value, PDV) между двумя самыми удаленными друг от друга станциями сети не более 575 битовых интервала;
- сокращение межкадрового интервала IPG (Path Variability Value, PVV) при прохождении последовательности кадров через все повторители должно быть не больше, чем 49 битовых интервала.
- ▶ Соблюдение этих требований обеспечивает корректность работы сети даже в случаях, когда нарушаются простые правила конфигурирования, определяющие максимальное количество повторителей и общую длину сети в 2500 м.

Расчет PDV

- ▶ Для упрощения расчетов обычно используются справочные данные IEEE, содержащие значения задержек распространения сигналов в повторителях, приемопередатчиках и различных физических средах. В табл. 1 приведены данные, необходимые для расчета значения PDV для всех физических стандартов сетей Ethernet. Битовый интервал обозначен как bt.
- ▶ Комитет 802.3 старался максимально упростить выполнение расчетов, поэтому данные, приведенные в таблице, включают сразу несколько этапов прохождения сигнала. Например, задержки, вносимые повторителем, состоят из задержки входного трансивера, задержки блока повторения и задержки выходного трансивера. Тем не менее, в таблице все эти задержки представлены одной величиной, названной базой сегмента. Чтобы не нужно было два раза складывать задержки, вносимые кабелем, в таблице даются удвоенные величины задержек для каждого типа кабеля.

Таблица 1. Данные для расчета значения

PDV	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
	FOIRL	7,8	29,0	152,0	0,1	1000
	AUI (> 2 м)	0	0	0	0,1026	2+48

- ▶ В таблице используются также такие понятия, как левый сегмент, правый сегмент и промежуточный сегмент. Поясним эти термины на примере сети, приведенной на рис. 7. Левым сегментом называется сегмент, в котором начинается путь сигнала от выхода передатчика конечного узла. На примере это сегмент 1. Затем сигнал проходит через промежуточные сегменты 2-5 и доходит до приемника наиболее удаленного узла наиболее удаленного сегмента 6, который называется правым. Именно здесь в худшем случае происходит столкновение кадров и возникает коллизия, что и подразумевается в таблице.
- ▶ С каждым сегментом связана постоянная задержка, названная базой, которая зависит только от типа сегмента и от положения сегмента на пути сигнала (левый, промежуточный или правый). База правого сегмента, в котором возникает коллизия, намного превышает базу левого и промежуточных сегментов.

Кроме этого, с каждым сегментом связана задержка распространения сигнала вдоль кабеля сегмента, которая зависит от длины сегмента и вычисляется путем умножения времени распространения сигнала по одному метру кабеля (в битовых интервалах) на длину кабеля в метрах. Расчет заключается в вычислении задержек, вносимых каждым отрезком кабеля (приведенная в таблице задержка сигнала на 1 м кабеля умножается на длину сегмента), а затем суммировании этих задержек с базами левого, промежуточных и правого сегментов. Общее значение PDV не должно превышать 575.

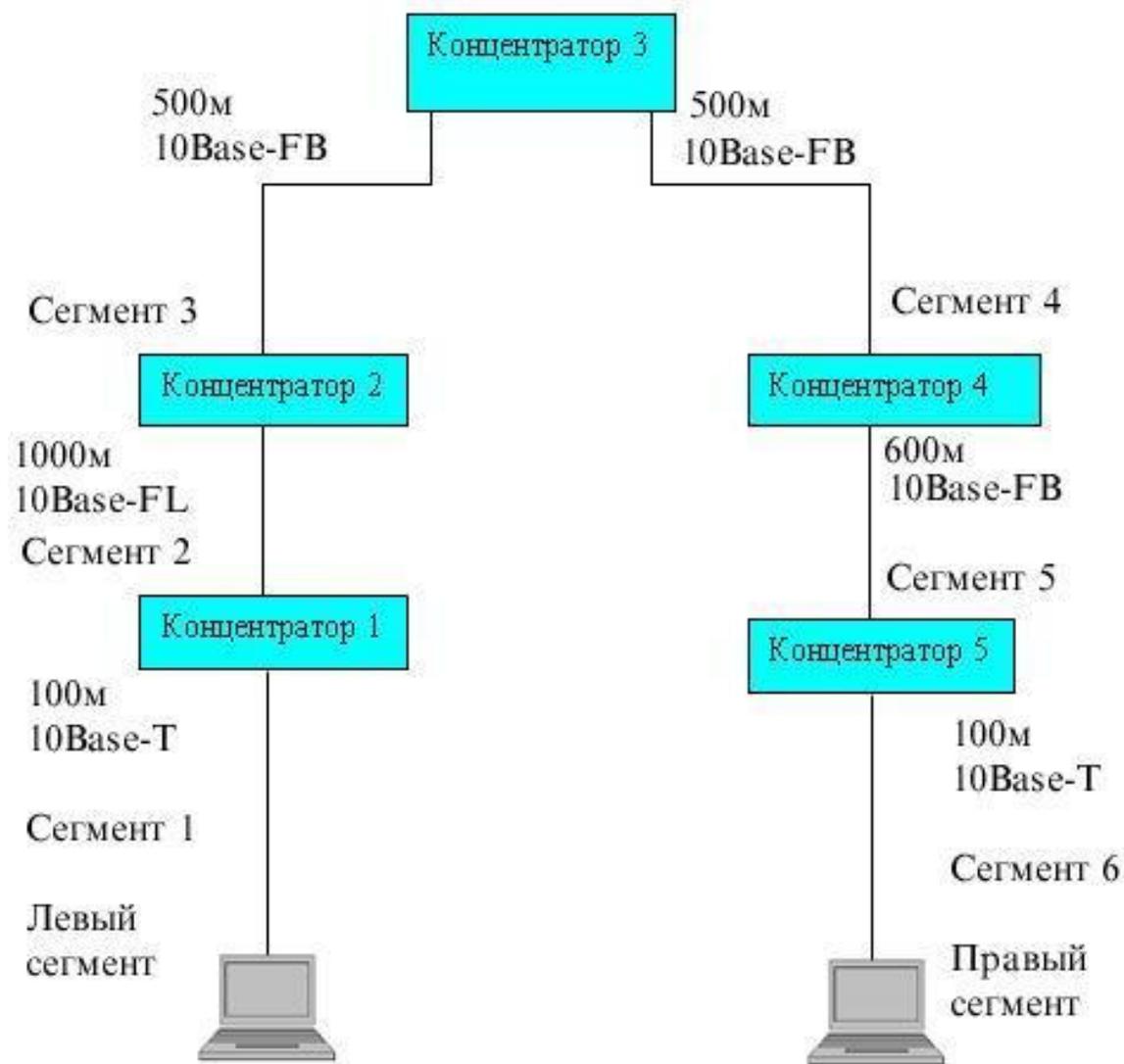


Рисунок 7. Пример сети Ethernet, состоящей из сегментов различных физических

- ▶ Так как левый и правый сегменты имеют различные величины базовой задержки, то в случае различных типов сегментов на удаленных краях сети необходимо выполнить расчеты дважды: один раз принять в качестве левого сегмента сегмент одного типа, а во второй – сегмент другого типа. Результатом можно считать максимальное значение PDV. В нашем примере крайние сегменты сети принадлежат к одному типу – стандарту 10Base-T, поэтому двойной расчет не требуется, но если бы они были, сегментами разного типа, то в первом случае нужно было бы принять в качестве левого сегмента между станцией и концентратором 1, а во втором считать левым сегмент между станцией и концентратором 5.

Приведенная на рисунке сеть в соответствии с правилом 4-х хабов не является корректной – 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 PDV 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 максимально допустимой величины 575, то эта сеть проходит по критерию времени двойного оборота сигнала несмотря на то, что ее общая длина составляет больше 2500 м, а количество повторителей – больше 4-х.

Расчет PVV

- ▶ Чтобы признать конфигурацию сети корректной, нужно рассчитать также уменьшение межкадрового интервала повторителями, то есть величину PVV.
- ▶ Для расчета PVV также можно воспользоваться значениями максимальных величин уменьшения межкадрового интервала при прохождении повторителей различных физических сред, рекомендованными IEEE и приведенными в табл. 2.

Таблица 10.2. Сокращение межкадрового интервала повторителя

Тип сегмента	Передающий сегмент, bt	Промежуточный сегмент, bt
10Base-5 или 10Base-2	16	11
10Base-FB	—	2
10Base-FL	10,5	8
10Base-T	10,5	8

В соответствии с этими данными рассчитаем значение PVV для нашего примера.

- ▶ Левый сегмент 1: 10Base-T: сокращение в 10,5 bt.
- ▶ Промежуточный сегмент 2: 10Base-FL: 8.
- ▶ Промежуточный сегмент 3: 10Base-FB: 2.
- ▶ Промежуточный сегмент 4: 10Base-FB: 2.
- ▶ Промежуточный сегмент 5: 10Base-FB: 2.

Сумма этих величин дает значение PVV, равное 24,5, что меньше предельного значения в 49 битовых интервала.

В результате приведенная в примере сеть соответствует стандартам Ethernet по всем параметрам, связанным и с длинами сегментов, и с количеством повторителей.