

Лабораторная работа № 3

Построение локальной вычислительной сети с использованием технологии Ethernet. Методы доступа в локальных сетях

Цель работы: получить навыки выбора оборудования, кабельной системы для построения инфраструктуры локальной вычислительной сети уровня предприятия на основе технологии Ethernet.

Краткие теоретические сведения

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).

Этот метод применяется исключительно в сетях с логической общей шиной (к которым относятся и радиосети, породившие этот метод). Все компьютеры такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных между любыми двумя узлами сети. Одновременно все компьютеры сети имеют возможность немедленно (с учетом задержки распространения сигнала по физической среде) получить данные, которые любой из компьютеров начал передавать на общую шину. Простота схемы подключения - это один из факторов, определивших успех стандарта Ethernet. Говорят, что кабель, к которому подключены все станции, работает в режиме коллективного доступа (Multiply Access, MA).

Все данные, передаваемые по сети, помещаются в кадры определенной структуры и снабжаются уникальным адресом станции назначения.

Чтобы получить возможность передавать кадр, станция должна убедиться, что разделяемая среда свободна. Это достигается прослушиванием основной гармоникой сигнала, которая также называется несущей частотой (carrier-sense, CS). 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.

Если среда свободна, то узел 1 имеет право начать передачу кадра. Все станции, подключенные к кабелю, могут распознать факт передачи кадра, и та 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.

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. После окончания технологической паузы узлы имеют право начать передачу своего кадра, так как среда свободна. Из-за задержек распространения сигнала по кабелю не все узлы строго одновременно фиксируют факт окончания передачи кадра узлом 1.

Возникновение коллизии

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общей среде. Механизм прослушивания среды и пауза между кадрами не гарантируют от возникновения такой ситуации, когда две или более станции одновременно решают, что среда свободна, и начинают передавать свои кадры. Говорят, что при этом

происходит *коллизия (collision)*, так как содержимое обоих кадров сталкивается на общем кабеле и происходит искажение информации - 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.

Чтобы корректно обработать коллизию, все станции одновременно наблюдают за возникающими на кабеле сигналами. Если передаваемые и наблюдаемые сигналы отличаются, то фиксируется *обнаружение коллизии (collision detection, CD)*. Для увеличения вероятности скорейшего обнаружения коллизии всеми станциями сети станция, которая обнаружила коллизию, прерывает передачу своего кадра (в произвольном месте, возможно, и не на границе байта) и усиливает ситуацию коллизии посылкой в сеть специальной последовательности из 32 бит, называемой *jam-последовательностью*.

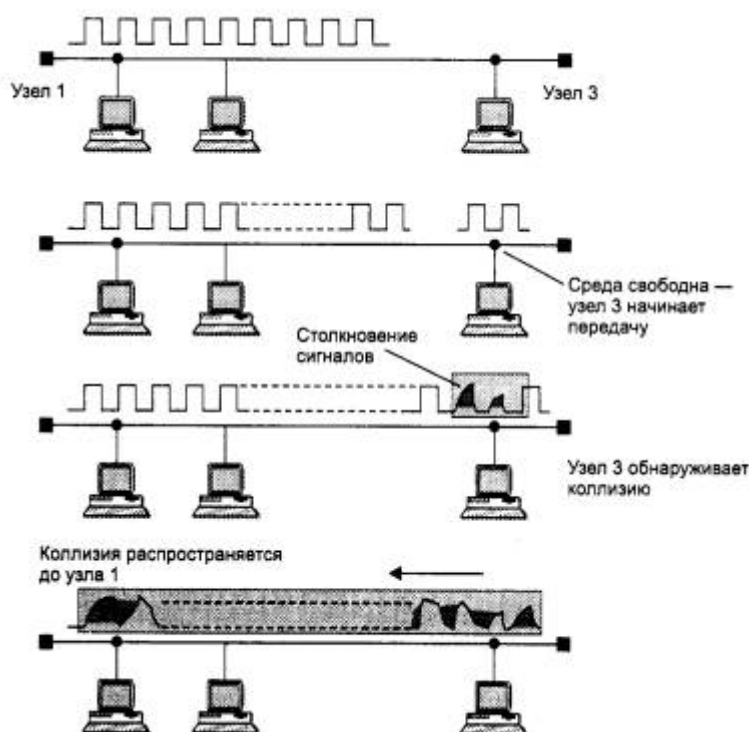


Схема возникновения и распространения коллизии

После этого обнаружившая коллизию передающая станция обязана прекратить передачу и сделать паузу в течение короткого случайного интервала времени. Затем она может снова предпринять попытку захвата среды и передачи кадра. Если 16 последовательных попыток передачи кадра вызывают коллизию, то передатчик должен прекратить попытки и отбросить этот кадр.

Следует отметить, что метод доступа CSMA/CD вообще не гарантирует станции, что она когда-либо сможет получить доступ к среде. Конечно, при небольшой загрузке сети вероятность такого события невелика, но при коэффициенте использования сети, приближающемся к 1, такое событие становится очень вероятным. Этот недостаток метода случайного доступа - плата за его чрезвычайную простоту, которая сделала технологию Ethernet самой недорогой. Другие методы доступа - маркерный доступ сетей Token Ring и FDDI, метод Demand Priority сетей 100VG-AnyLAN - свободны от этого недостатка.

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). Допускается подключение к одному сегменту не более 100 узлов, причем расстояние между узлами не должно быть меньше 2,5 м. Стандарт разрешает использование в сети не более 4 повторителей и, соответственно, не более 5 сегментов кабеля. При максимальной длине сегмента кабеля в 500 м это дает максимальную длину сети 10Base-5 в 2500 м. Только 3 сегмента из 5 могут быть нагруженными, то есть такими, к которым подключаются конечные узлы. Между нагруженными сегментами должны быть ненагруженные сегменты, так что максимальная конфигурация сети представляет собой два нагруженных крайних сегмента, которые соединяются ненагруженными сегментами еще с одним центральным нагруженным сегментом. 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.

10Base-2 - коаксиальный кабель диаметром 0,25 дюйма, называемый «тонким» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента - 185 метров (без повторителей). Максимальное количество станций, подключаемых к одному сегменту - 30. Минимальное расстояние между станциями - 1 м. Стандарт 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.

10Base-T (IEEE 802.3L) - кабель на основе неэкранированной витой 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). Образует звездообразную топологию на основе концентратора. Расстояние между концентратором и конечным узлом - не более 100 м. 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. Общее количество станций в сети 10Base-T не должно превышать общего предела в 1024, и для данного типа физического уровня это количество действительно можно достичь. Для этого достаточно создать двухуровневую иерархию концентраторов, расположив на нижнем уровне достаточное количество концентраторов с общим количеством портов 1024. Конечные узлы нужно подключить к портам концентраторов нижнего уровня. Правило 4-х хабов при этом выполняется - между любыми конечными узлами будет ровно 3 концентратора.



Максимальная длина сети в 2500 м здесь понимается как максимальное расстояние между любыми двумя конечными узлами сети (часто применяется также термин «максимальный диаметр сети»). Очевидно, что если между любыми двумя узлами сети не должно быть больше 4-х повторителей, то максимальный диаметр сети 10Base-T составляет $5 \cdot 100 = 500$ 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.

Параметры спецификаций физического уровня для стандарта Ethernet

Спецификация физического уровня	10BASE-5	10BASE-2	10BASE-T	10BASE-F
Скорость передачи данных, Мб/с	10	10	10	10
Передача данных	Узкополосная	Узкополосная	Узкополосная	Узкополосная
Тип среды передачи	Коаксиальный кабель диаметром 0,5" ("толстый" коаксиал)	Коаксиальный кабель диаметром 0,2" ("тонкий" коаксиал)	Неэкранированная витая пара категории 3,4,5 (UTP cat3)	Волоконно-оптический кабель
Топология	Шина	Шина	Звезда	Звезда
Максимальная длина сегмента, м	500	185	100	2000
Максимальное количество абонентов в сегменте	100	30	1024	1024
Максимальный диаметр сети, м	2500	925	500	2500
Максимальное количество повторителей	4	4	4	4

Технология Fast Ethernet: стандарт IEEE 802.3u

Классический 10-мегабитный Ethernet устраивал большинство пользователей на протяжении около 15 лет. Однако в начале 90-х годов начала ощущаться его недостаточная пропускная способность. Для компьютеров на процессорах Intel 80286 или 80386 с шинами ISA (8 Мбайт/с) или EISA (32 Мбайт/с) пропускная способность сегмента Ethernet составляла 1/8 или 1/32 канала «память-диск», и это хорошо согласовывалось с соотношением объемов данных, обрабатываемых

локально, и данных, передаваемых по сети. Для более мощных клиентских станций с шиной PCI (133 Мбайт/с) эта доля упала до 1/133, что было явно недостаточно. Поэтому многие сегменты 10-мегабитного Ethernet стали перегруженными, реакция серверов в них значительно упала, а частота возникновения коллизий существенно возросла, еще более снижая полезную пропускную способность.

Назрела необходимость в разработке «нового» Ethernet, то есть технологии, которая была бы такой же эффективной по соотношению цена/качество при производительности 100 Мбит/с. В результате поисков и исследований специалисты разделились на два лагеря, что в конце концов привело к появлению двух новых технологий - Fast Ethernet и 100VG-AnyLAN. Они отличаются степенью преемственности с классическим Ethernet.

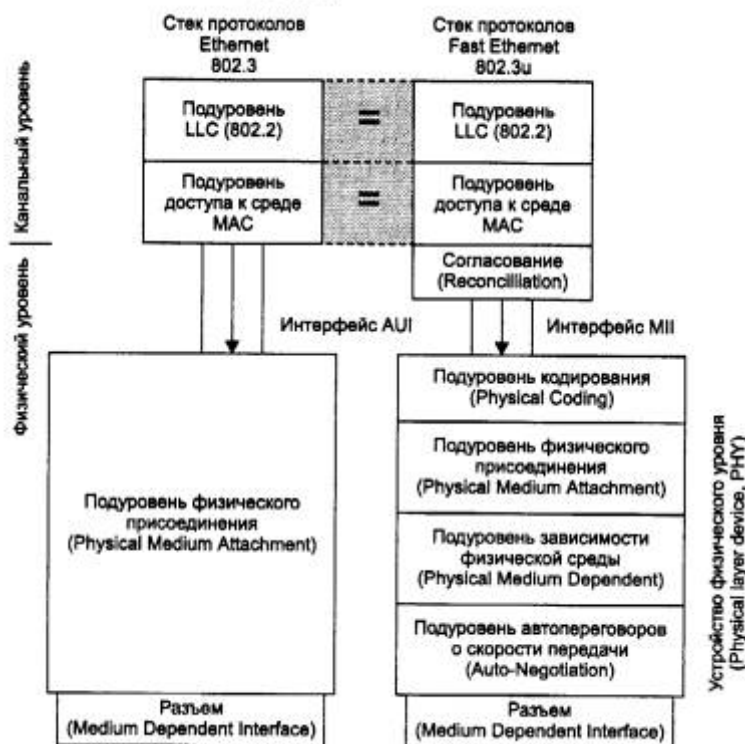
Физический уровень технологии Fast Ethernet

Все отличия технологии Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне. Уровни MAC и LLC в Fast Ethernet остались абсолютно теми же. Поэтому рассматривая технологию Fast Ethernet, мы будем изучать только несколько вариантов ее физического уровня.

Более сложная структура физического уровня технологии Fast Ethernet вызвана тем, что в ней используются три варианта кабельных систем:

- волоконно-оптический многомодовый кабель, используются два волокна;
- витая пара категории 5, используются две пары;
- витая пара категории 3, используются четыре пары.

Коаксиальный кабель, давший миру первую сеть Ethernet, в число разрешенных сред передачи данных новой технологии Fast Ethernet не попал. Это общая тенденция многих новых технологий, поскольку 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 коаксиал, а стоимость сети получается ненамного выше, особенно если учесть высокие затраты на поиск и устранение неисправностей в крупной кабельной коаксиальной системе.



Отличия технологии Fast Ethernet от технологии Ethernet

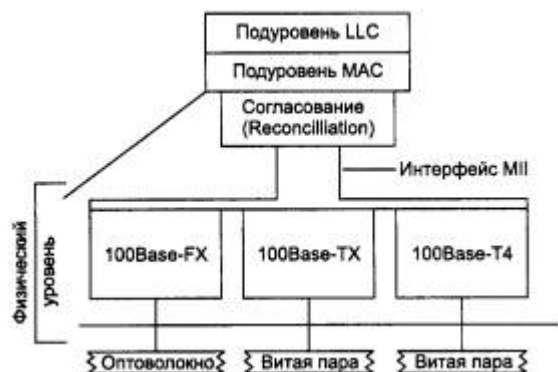
Отказ от коаксиального кабеля привел к тому, что сети Fast Ethernet всегда имеют иерархическую древовидную структуру, построенную на концентраторах, как и сети 10Base-T/10Base-F. Основным отличием конфигураций сетей Fast Ethernet является сокращение диаметра сети примерно до 200 м, что объясняется уменьшением времени передачи кадра минимальной

длины в 10 раз за счет увеличения скорости передачи в 10 раз по сравнению с 10-мегабитным Ethernet.

Тем не менее это обстоятельство не очень препятствует построению крупных сетей на технологии Fast Ethernet. Дело в том, что середина 90-х годов отмечена не только широким распространением недорогих высокоскоростных технологий, но и бурным развитием локальных сетей на основе коммутаторов. При использовании коммутаторов протокол Fast Ethernet может работать в полнодуплексном режиме, в котором нет ограничений на общую длину сети, а остаются только ограничения на длину физических сегментов, соединяющих соседние устройства (адаптер - коммутатор или коммутатор - коммутатор). Поэтому при создании магистралей локальных сетей большой протяженности технология Fast Ethernet также активно, применяется, но только в полнодуплексном варианте, совместно с коммутаторами.

По сравнению с вариантами физической реализации Ethernet (а их насчитывается шесть), в Fast Ethernet отличия каждого варианта от других глубже - меняется как количество проводников, так и методы кодирования. А так как физические варианты Fast Ethernet создавались одновременно, а не эволюционно, как для сетей Ethernet, то имелась возможность детально определить те подуровни физического уровня, которые не изменяются от варианта к варианту, и те подуровни, которые специфичны для каждого варианта физической среды.

Официальный стандарт 802.3и установил три различных спецификации для физического уровня Fast Ethernet и дал им следующие названия:



Структура физического уровня Fast Ethernet

- 100Base-TX для двухпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 5 или экранированной витой паре STP Type 1;
- 100Base-T4 для четырехпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 3, 4 или 5;

- 100Base-FX для многомодового оптоволоконного кабеля, используются два волокна.

Для всех трех стандартов справедливы следующие утверждения и характеристики.

- Форматы кадров технологии Fast Ethernet не отличаются от форматов кадров технологий 10-мегабитного Ethernet.

- Межкадровый интервал (IPG) равен 0,96 мкс, а битовый интервал равен 10 нс. Все временные параметры алгоритма доступа (интервал отсрочки, время передачи кадра минимальной длины и т. п.), измеренные в битовых интервалах, остались прежними, поэтому изменения в разделы стандарта, касающиеся уровня MAC, не вносились.

- 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 включает три элемента:

- о уровень согласования (reconciliation sublayer);
- о независимый от среды интерфейс (Media Independent Interface, Mil);
- о устройство физического уровня (Physical layer device, PHY).

Физический уровень 100Base-FX - многомодовое оптоволокно, два волокна

Эта спецификация определяет работу протокола Fast Ethernet по многомодовому оптоволокну в полудуплексном и полнодуплексном режимах на основе хорошо проверенной

схемы кодирования FDDI. Как и в стандарте FDDI, каждый узел соединяется с сетью двумя оптическими волокнами, идущими от приемника (R_x) и от передатчика (T_x).

Между спецификациями 100Base-FX и 100Base-TX есть много общего, поэтому общие для двух спецификаций свойства будут даваться под обобщенным названием 100Base-FX/TX.

В то время как Ethernet со скоростью передачи 10 Мбит/с использует манчестерское кодирование для представления данных при передаче по кабелю, в стандарте Fast Ethernet определен другой метод кодирования - 4B/5B. Этот метод уже показал свою эффективность в стандарте FDDI и без изменений перенесен в спецификацию 100Base-FX/TX. При этом методе каждые 4 бита данных подуровня MAC (называемых символами) представляются 5 битами. Избыточный бит позволяет применить потенциальные коды при представлении каждого из пяти бит в виде электрических или оптических импульсов. Существование запрещенных комбинаций символов позволяет отбраковывать ошибочные символы, что повышает устойчивость работы сетей с 100Base-FX/TX.

После преобразования 4-битовых порций кодов MAC в 5-битовые порции физического уровня их необходимо представить в виде электрических или оптических сигналов в кабеле, соединяющем узлы сети. Спецификации 100Base-FX и 100Base-TX используют для этого различные методы физического кодирования - NRZI и MLT-3 соответственно (как и в технологии FDDI при работе через оптоволокно и витую пару).

Физический уровень 100Base-TX - витая пара DTP Cat 5 или STP Type 1, две пары

В качестве среды передачи данных спецификация 100Base-TX использует кабель UTP категории 5 или кабель STP Type 1. Максимальная длина кабеля в обоих случаях - 100 м.

Основные отличия от спецификации 100Base-FX - использование метода MLT-3 для передачи сигналов 5-битовых порций кода 4B/5B по витой паре, а также наличие функции автопереговоров (Auto-negotiation) для выбора режима работы порта. Схема автопереговоров позволяет двум соединенным физически устройствам, которые поддерживают несколько стандартов физического уровня, отличающихся битовой скоростью и количеством витых пар, выбрать наиболее выгодный режим работы. Обычно процедура автопереговоров происходит при подсоединении сетевого адаптера, который может работать на скоростях 10 и 100 Мбит/с, к концентратору или коммутатору.

Описанная ниже схема Auto-negotiation сегодня является стандартом технологии 100Base-T. До этого производители применяли различные собственные схемы автоматического определения скорости работы взаимодействующих портов, которые не были совместимы. Принятую в качестве стандарта схему Auto-negotiation предложила первоначально компания National Semiconductor под названием NWay.

Всего в настоящее время определено 5 различных режимов работы, которые могут поддерживать устройства 100Base-TX или 100Base-T4 на витых парах;

- 10Base-T - 2 пары категории 3;
- 10Base-T full-duplex - 2 пары категории 3;
- 100Base-TX - 2 пары категории 5 (или Type 1A STP);
- 100Base-T4 - 4 пары категории 3;
- 100Base-TX full-duplex - 2 пары категории 5 (или Type 1A STP).

Режим 10Base-T имеет самый низкий приоритет при переговорном процессе, а полнодуплексный режим 100Base-T4 - самый высокий. Переговорный процесс происходит при включении питания устройства, а также может быть инициирован в любой момент модулем управления устройства.

Устройство, начавшее процесс auto-negotiation, посылает своему партнеру пачку специальных импульсов *Fast Link Pulse burst (FLP)*, в котором содержится 8-битное слово, кодирующее предлагаемый режим взаимодействия, начиная с самого приоритетного, поддерживаемого данным узлом.

Если узел-партнер поддерживает функцию auto-negotiation и также может поддерживать предложенный режим, он отвечает пачкой импульсов FLP, в которой подтверждает данный режим, и на этом переговоры заканчиваются. Если же узел-партнер может поддерживать менее

приоритетный режим, то он указывает его в ответе, и этот режим выбирается в качестве рабочего. Таким образом, всегда выбирается наиболее приоритетный общий режим узлов.

Узел, который поддерживает только технологию 10Base-T, каждые 16 мс посылает манчестерские импульсы для проверки целостности линии, связывающей его с соседним узлом. Такой узел не понимает запрос FLP, который делает ему узел с функцией Auto-negotiation, и продолжает посылать свои импульсы. Узел, получивший в ответ на запрос FLP только импульсы проверки целостности линии, понимает, что его партнер может работать только по стандарту 10Base-T, и устанавливает этот режим работы и для себя.

Физический уровень 100Base-T4 - витая пара UTP Cat 3, четыре пары

Спецификация 100Base-T4 была разработана для того, чтобы можно было использовать для высокоскоростного Ethernet имеющуюся проводку на витой паре категории 3. Эта спецификация позволяет повысить общую пропускную способность за счет одновременной передачи потоков бит по всем 4 парам кабеля.

Спецификация 100Base-T4 появилась позже других спецификаций физического уровня Fast Ethernet. Разработчики этой технологии в первую очередь хотели создать физические спецификации, наиболее близкие к спецификациям 10Base-T и 10Base-F, которые работали на двух линиях передачи данных: двух парах или двух волокнах. Для реализации работы по двум витым парам пришлось перейти на более качественный кабель категории 5.

В то же время разработчики конкурирующей технологии 100VG-AnyLAN изначально сделали ставку на работу по витой паре категории 3; самое главное преимущество состояло не столько в стоимости, а в том, что она была уже проложена в подавляющем числе зданий. Поэтому после выпуска спецификаций 100Base-TX и 100Base-FX разработчики технологии Fast Ethernet реализовали свой вариант физического уровня для витой пары категории 3.

Вместо кодирования 4В/5В в этом методе используется кодирование 8В/6Т, которое обладает более узким спектром сигнала и при скорости 33 Мбит/с укладывается в полосу 16 МГц витой пары категории 3 (при кодировании 4В/5В спектр сигнала в эту полосу не укладывается). Каждые 8 бит информации уровня MAC кодируются 6-ю троичными цифрами (ternary symbols), то есть цифрами, имеющими три состояния. Каждая троичная цифра имеет длительность 40 нс. Группа из 6-ти троичных цифр затем передается на одну из трех передающих витых пар, независимо и последовательно.

Четвертая пара всегда используется для прослушивания несущей частоты в целях обнаружения коллизии. Скорость передачи данных по каждой из трех передающих пар равна 33,3 Мбит/с, поэтому общая скорость протокола 100Base-T4 составляет 100 Мбит/с. В то же время из-за принятого способа кодирования скорость изменения сигнала на каждой паре равна всего 25 Мбод, что и позволяет использовать витую пару категории 3.

Спецификация IEEE 802.3u определяет следующие максимальные длины сегментов .

Стандарт	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента
100Base-TX	Категория 5 UTP	100 м
100Base-FX	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм	412 м (полудуплекс) 2 км (полный дуплекс)
100Base-T4	Категория 3, 4 или 5 UTP	100 м

Технология Gigabit Ethernet: стандарт IEEE 802.3z.

Общая характеристика стандарта

Достаточно быстро после появления на рынке продуктов Fast Ethernet сетевые интеграторы и администраторы почувствовали определенные ограничения при построении корпоративных сетей. Во многих случаях серверы, подключенные по 100-мегабитному каналу, перегружали магистрали сетей, работающие также на скорости 100 Мбит/с - магистрали FDDI и Fast Ethernet. Ощущалась потребность в следующем уровне иерархии скоростей. В 1995 году более высокий уровень скорости могли предоставить только коммутаторы АТМ, а при отсутствии в то время удобных средств миграции этой технологии в локальные сети (хотя спецификация LAN Emulation - LANE

была принята в начале 1995 года, практическая ее реализация была впереди) внедрять их в локальную сеть почти никто не решался. Кроме того, технология АТМ отличалась очень высоким уровнем стоимости.

Поэтому логичным выглядел следующий шаг, сделанный IEEE, - через 5 месяцев после окончательного принятия стандарта Fast Ethernet в июне 1995 года исследовательской группе по изучению высокоскоростных технологий IEEE было предписано заняться рассмотрением возможности выработки стандарта Ethernet с еще более высокой битовой скоростью.

Первая версия стандарта была рассмотрена в январе 1997 года, а окончательно стандарт 802.3z был принят 29 июня 1998 года на заседании комитета IEEE 802.3. Работы по реализации Gigabit Ethernet на витой паре категории 5 были переданы специальному комитету 802.3ab, который уже рассмотрел несколько вариантов проекта этого стандарта, причем с июля 1998 года проект приобрел достаточно стабильный характер. Окончательное принятие стандарта 802.3ab ожидается в сентябре 1999 года. Основная идея разработчиков стандарта Gigabit Ethernet состоит в максимальном сохранении идей классической технологии Ethernet при достижении битовой скорости в 1000 Мбит/с.

Так как при разработке новой технологии естественно ожидать некоторых технических новинок, идущих в общем русле развития сетевых технологий, то важно отметить, что Gigabit Ethernet, так же как и его менее скоростные собратья, на уровне протокола *не будет* поддерживать:

- качество обслуживания;
- избыточные связи;
- тестирование работоспособности узлов и оборудования (в последнем случае - за исключением тестирования связи порт - порт, как это делается для Ethernet 10Base-T и 10Base-F и Fast Ethernet).

Все три названных свойства считаются весьма перспективными и полезными в современных сетях, а особенно в сетях ближайшего будущего. Почему же авторы Gigabit Ethernet отказываются от них?

По поводу качества обслуживания коротко можно ответить так: «сила есть - ума не надо». Если магистраль сети будет работать со скоростью в 20 000 раз превышающей среднюю скорость сетевой активности клиентского компьютера и в 100 раз превышающей среднюю сетевую активность сервера с сетевым адаптером 100 Мбит/с, то о задержках пакетах на магистрали во многих случаях можно не заботиться вообще. При небольшом коэффициенте загрузки магистрали 1000 Мбит/с очереди в коммутаторах Gigabit Ethernet будут небольшими, а время буферизации и коммутации на такой скорости составляет единицы и даже доли микросекунд.

Ну а если все же магистраль загрузится на достаточную величину, то приоритет чувствительному к задержкам или требовательному к средней скорости трафику можно предоставить с помощью техники приоритетов в коммутаторах - соответствующие стандарты для коммутаторов уже приняты (они будут рассматриваться в следующей главе). Зато можно будет пользоваться весьма простой (почти как Ethernet) технологией, принципы работы которой известны практически всем сетевым специалистам.

Главная идея разработчиков технологии Gigabit Ethernet состоит в том, что существует и будет существовать весьма много сетей, в которых высокая скорость магистрали и возможность назначения пакетам приоритетов в коммутаторах будут вполне достаточны для обеспечения качества транспортного обслуживания всех клиентов сети. И только в тех редких случаях, когда и магистраль достаточно загружена, и требования к качеству обслуживания очень жесткие, нужно применять технологию АТМ, которая действительно за счет высокой технической сложности дает гарантии качества обслуживания для всех основных видов трафика.

Избыточные связи и тестирование оборудования не будут поддерживаться технологией Gigabit Ethernet из-за того, что с этими задачами хорошо справляются протоколы более высоких уровней, например Spanning Tree, протоколы маршрутизации и т. п. Поэтому разработчики технологии решили, что нижний уровень просто должен быстро передавать данные, а более

сложные и более редко встречающиеся задачи (например, приоритезация трафика) должны передаваться верхним уровням.

Что же общего имеется в технологии Gigabit Ethernet по сравнению с технологиями Ethernet и Fast Ethernet?

- Сохраняются все форматы кадров Ethernet.
- По-прежнему будут существовать полудуплексная версия протокола, поддерживающая метод доступа CSMA/CD, и полнодуплексная версия, работающая с коммутаторами. По поводу сохранения полудуплексной версии протокола сомнения были еще у разработчиков Fast Ethernet, так как сложно заставить работать алгоритм CSMA/CD на высоких скоростях. Однако метод доступа остался неизменным в технологии Fast Ethernet, и его решили оставить в новой технологии Gigabit Ethernet. Сохранение недорогого решения для разделяемых сред позволит применить Gigabit Ethernet в небольших рабочих группах, имеющих быстрые серверы и рабочие станции.

- Поддерживаются все основные виды кабелей, используемых в Ethernet и Fast Ethernet: волоконно-оптический, витая пара категории 5, коаксиал.

Тем не менее разработчикам технологии Gigabit Ethernet для сохранения приведенных выше свойств пришлось внести изменения не только в физический уровень, как это было в случае Fast Ethernet, но и в уровень MAC.

Перед разработчиками стандарта Gigabit Ethernet стояло несколько трудно разрешимых проблем. Одной из них была задача обеспечения приемлемого диаметра сети для полудуплексного, режима работы. В связи с ограничениями, накладываемыми методом CSMA/CD на длину кабеля, версия Gigabit Ethernet для разделяемой среды допускала бы длину сегмента всего в 25 метров при сохранении размера кадров и всех параметров метода CSMA/CD неизменными. Так как существует большое количество применений, когда нужно повысить диаметр сети хотя бы до 200 метров, необходимо было каким-то образом решить эту задачу за счет минимальных изменений в технологии Fast Ethernet.

Другой сложнейшей задачей было достижение битовой скорости 1000 Мбит/с на основных типах кабелей. Даже для оптоволокну достижение такой скорости представляет некоторые проблемы, так как технология Fibre Channel, физический уровень которой был взят за основу для оптоволоконной версии Gigabit Ethernet, обеспечивает скорость передачи данных всего в 800 Мбит/с (битовая скорость на линии равна в этом случае примерно 1000 Мбит/с, но при методе кодирования 8В/10В полезная битовая скорость на 25 % меньше скорости импульсов на линии).

И наконец, самая сложная задача - поддержка кабеля на витой паре. Такая задача на первый взгляд кажется неразрешимой - ведь даже для 100-мегабитных протоколов пришлось использовать достаточно сложные методы кодирования, чтобы уложить спектр сигнала в полосу пропускания кабеля. Однако успехи специалистов по кодированию, проявившиеся в последнее время в новых стандартах модемов, показали, что задача имеет шансы на решение. Чтобы не тормозить принятие основной версии стандарта Gigabit Ethernet, использующего оптоволокно и коаксиал, был создан отдельный комитет 802.3ab, который занимается разработкой стандарта Gigabit Ethernet на витой паре категории 5.

Все эти задачи были успешно решены.

Спецификации физической среды стандарта 802.3z

В стандарте 802.3z определены следующие типы физической среды:

- одномодовый волоконно-оптический кабель;
- многомодовый волоконно-оптический кабель 62,5/125;
- многомодовый волоконно-оптический кабель 50/125;
- двойной коаксиал с волновым сопротивлением 75 Ом.

Многомодовый кабель

Для передачи данных по традиционному для компьютерных сетей многомодовому волоконно-оптическому кабелю стандарт определяет применение излучателей, работающих на двух длинах волн: 1300 и 850 нм. Применение светодиодов с длиной волны 850 нм объясняется тем, что они намного дешевле, чем светодиоды, работающие на волне 1300 нм, хотя при этом

максимальная длина кабеля уменьшается, так как затухание многомодового оптоволоконного кабеля на волне 850 нм более чем в два раза выше, чем на волне 1300 нм. Однако возможность удешевления чрезвычайно важна для такой в целом дорогой технологии, как Gigabit Ethernet.

Для многомодового оптоволоконного кабеля стандарт 802.3z определил спецификации 1000Base-SX и 1000Base-LX.

В первом случае используется длина волны 850 нм (S означает Short Wavelength, короткая волна), а во втором - 1300 нм (L - от Long Wavelength, длинная волна).

Для спецификации 1000Base-SX предельная длина оптоволоконного сегмента для кабеля 62,5/125 оставляет 220 м, а для кабеля 50/125 - 500 м. Очевидно, что эти максимальные значения могут достигаться только для полнодуплексной передачи данных, так как время двойного оборота сигнала на двух отрезках 220 м равно 4400 пс, что превосходит предел 4095 пс даже без учета повторителя и сетевых адаптеров. Для полудуплексной передачи максимальные значения сегментов оптоволоконного кабеля всегда должны быть меньше 100 м. Приведенные расстояния в 220 и 500 м рассчитаны для худшего по стандарту случая полосы пропускания многомодового кабеля, находящегося в пределах от 160 до 500 МГц/км. Реальные кабели обычно обладают значительно лучшими характеристиками, находящимися между 600 и 1000 МГц/км. В этом случае можно увеличить длину кабеля до примерно 800 м.

Одномодовый кабель

Для спецификации 1000Base-LX в качестве источника излучения всегда применяется полупроводниковый лазер с длиной волны 1300 нм.

Основная область применения стандарта 1000Base-LX - это одномодовое оптоволоконно. Максимальная длина кабеля для одномодового волокна равна 5000 м.

Спецификация 1000Base-LX может работать и на многомодовом кабеле. В этом случае предельное расстояние получается небольшим - 550 м. Это связано с особенностями распространения когерентного света в широком канале многомодового кабеля. Для присоединения лазерного трансивера к многомодовому кабелю необходимо использовать специальный адаптер.

Твинаксиальный кабель

В качестве среды передачи данных используется высококачественный твинаксиальный кабель (Twinaх) с волновым сопротивлением 150 Ом (2x75 Ом). Данные посылаются одновременно по паре проводников, каждый из которых окружен экранирующей оплеткой. При этом получается режим полудуплексной передачи. Для обеспечения полнодуплексной передачи необходимы еще две пары коаксиальных проводников. Начал выпускаться специальный кабель, который содержит четыре коаксиальных проводника - так называемый Quad-кабель. Он внешне напоминает кабель категории 5 и имеет близкий к нему внешний диаметр и гибкость. Максимальная длина твинаксиального сегмента составляет всего 25 метров, поэтому это решение подходит для оборудования, расположенного в одной комнате.

Gigabit Ethernet на витой паре категории 5

Как известно, каждая пара кабеля категории 5 имеет гарантированную полосу пропускания до 100 МГц. Для передачи по такому кабелю данных со скоростью 1000 Мбит/с было решено организовать параллельную передачу одновременно по всем 4 парам кабеля (так же, как и в технологии 100VG-AnyLAN).

Это сразу уменьшило скорость передачи данных по каждой паре до 250 Мбит/с. Однако и для такой скорости необходимо было придумать метод кодирования, который имел бы спектр не выше 100 МГц. Кроме того, одновременное использование четырех пар на первый взгляд лишает сеть возможность распознавать коллизии.

Для кодирования данных был применен код PAM5, использующий 5 уровней потенциала: -2, -1, 0, +1, +2. Поэтому за один такт по одной паре передается 2,322 бит информации. Следовательно, тактовую частоту вместо 250 МГц можно снизить до 125 МГц. При этом если использовать не все коды, а передавать 8 бит за такт (по 4 парам), то выдерживается требуемая скорость передачи в 1000 Мбит/с и еще остается запас неиспользуемых кодов, так как код PAM5 содержит $5^4 = 625$ комбинаций, а если передавать за один такт по всем четырем парам 8 бит

данных, то для этого требуется всего $2^8 = 256$ комбинаций. Оставшиеся комбинации приемник может использовать для контроля принимаемой информации и выделения правильных комбинаций на фоне шума. Код PAM5 на тактовой частоте 125 МГц укладывается в полосу 100 МГц кабеля категории 5.

Для распознавания коллизий и организации полнодуплексного режима разработчики спецификации 802.3ab применили технику, используемую при организации дуплексного режима на одной паре проводов в современных модемах и аппаратуре передачи данных абонентских окончаний ISDN. Вместо передачи по разным парам проводов или разнесения сигналов двух одновременно работающих навстречу передатчиков по диапазону частот оба передатчика работают навстречу друг другу по каждой из 4-х пар в одном и том же диапазоне частот, так как используют один и тот же потенциальный код PAM5. Схема гибридной развязки H позволяет приемнику и передатчику одного и того же узла использовать одновременно витую пару и для приема и для передачи (так же, как и в трансиверах коаксиального Ethernet).

Для отделения принимаемого сигнала от своего собственного приемник вычитает из результирующего сигнала известный ему свой сигнал. Естественно, что это не простая операция и для ее выполнения используются специальные цифровые сигнальные процессоры - DSP (Digital Signal Processor). Такая техника уже прошла проверку практикой, но в модемах и сетях ISDN она применялась совсем на других скоростях.

При полудуплексном режиме работы получение встречного потока данных считается коллизией, а для полнодуплексного режима работы - нормальной ситуацией.

Ввиду того что работы по стандартизации спецификации Gigabit Ethernet на неэкранированной витой паре категории 5 подходят к концу, многие производители и потребители надеются на положительный исход этой работы, так как в этом случае для поддержки технологии Gigabit Ethernet не нужно будет заменять уже установленную проводку категории 5 на оптоволокно или проводку категории 7.

Выводы

- Технология Gigabit Ethernet добавляет новую, 1000 Мбит/с, ступень в иерархии скоростей семейства Ethernet. Эта ступень позволяет эффективно строить крупные локальные сети, в которых мощные серверы и магистрали нижних уровней сети работают на скорости 100 Мбит/с, а магистраль Gigabit Ethernet объединяет их, обеспечивая достаточно большой запас пропускной способности.

- Разработчики технологии Gigabit Ethernet сохранили большую степень преемственности с технологиями Ethernet и Fast Ethernet. Gigabit Ethernet использует те же форматы кадров, что и предыдущие версии Ethernet, работает в полнодуплексном и полудуплексном режимах, поддерживая на разделяемой среде тот же метод доступа CSMA/CD с минимальными изменениями.

- Для обеспечения приемлемого максимального диаметра сети в 200 м в полудуплексном режиме разработчики технологии пошли на увеличение минимального размера кадра с 64 до 512 байт. Разрешается также передавать несколько кадров подряд, не освобождая среду, на интервале 8096 байт, тогда кадры не обязательно дополнять до 512 байт. Остальные параметры метода доступа и максимального размера кадра остались неизменными.

- Летом 1998 года был принят стандарт 802.3z, который определяет использование в качестве физической среды трех типов кабеля: многомодового оптоволоконного (расстояние до 500 м), одномодового оптоволоконного (расстояние до 5000 м) и двойного коаксиального (twinaх), по которому данные передаются одновременно по двум медным экранированным проводникам на расстояние до 25 м.

Для разработки варианта Gigabit Ethernet на UTP категории 5 была создана специальная группа 802.3ab, которая уже разработала проект стандарта для работы по 4-м парам UTP категории 5. Принятие этого стандарта ожидается в ближайшее время.

Технология 10 Gigabit Ethernet: стандарт IEEE 802.3ae

Спецификация стандарта IEEE 802.3ae является дальнейшим развитием оптических спецификаций Gigabit Ethernet и на канальном уровне модели OSI не имеет никаких изменений, чего не скажешь о спецификациях на реализацию физического уровня.

В соответствии с моделью OSI протокол Ethernet является стандартом 2-го уровня. 10 Gigabit Ethernet использует на 2-м уровне протокол IEEE 802.3 Ethernet Media Access Control (MAC) и имеет строение кадра Ethernet с соответствующими ограничениями по его минимальной и максимальной длине.

Так же как и гигабитные спецификации 1000Base-X и 1000Base-T остались верными модели Ethernet, 10 Gigabit Ethernet продолжает естественную эволюцию Ethernet по скорости и расстоянию передачи. Поскольку это полнодуплексная технология и исключительно оптическая, она не нуждается в использовании алгоритма CSMA/CD с обнаружением коллизий и контролем доступа к среде передачи, которые необходимы для менее скоростных полудуплексных систем. В остальных же аспектах 10 Gigabit Ethernet соответствует устоявшейся модели Ethernet.

Устройства физического уровня (PHY), соединяют среду передачи с устройством канального уровня, 2-го в соответствии с моделью OSI. Архитектура Ethernet разделяет физический уровень на Physical Media Dependent (PMD) и Physical Coding Sublayer (PCS) подуровни. Оптический трансивер, таким образом, является устройством PMD подуровня, а на подуровне PCS производится кодирование (64/66 бит) и осуществляются функции преобразования в последовательный сигнал.

Спецификация IEEE 802.3ae определяет два типа физического уровня: LAN PHY и WAN PHY. В WAN PHY добавлены некоторые дополнительные функции по сравнению с LAN PHY. Они полностью определяются подуровнем PCS. Также существует несколько разновидностей реализации PMD.

Как показывает опыт предыдущих версий Ethernet, стоимость 10 гигабитных коммуникаций имеет большой потенциал для ее уменьшения с ходом развития современных технологий. В отличие от телекоммуникационных 10 гигабитных лазеров, в «коротких» каналах 10 Gigabit Ethernet можно использовать дешевую неохлаждаемую оптику и, в некоторых случаях, лазеры поверхностного излучения с вертикальными резонаторами (VCSEL), у которых есть значительный запас к удешевлению. В дополнение к этому хорошим стимулом к удешевлению является агрессивная ситуация на рынке микросхем для телекоммуникации, который предлагает высокоинтегрированные решения.

Одним из заданий рабочей группы IEEE 802.3ae было обеспечение возможности использовать существующие волоконно-оптические линии для использования 10 Gigabit Ethernet оборудованием. Такое решение было вызвано привлекательностью использования для новой технологии уже проложенных оптических кабелей, предназначенных для сетей SDH/SONET. Именно это, в совокупности с последними разработками в области полупроводниковых лазеров, позволит значительно расширить влияние сетей Ethernet и особенно на рынке оборудования для операторов услуг передачи данных.

С появлением высокоскоростных спецификаций Gigabit Ethernet с возможностью передачи данных на расстояния до 70 км стало доступным использование Ethernet в качестве протокола передачи в операторских сетях масштаба города. Благодаря этому оператор может предложить своим клиентам услуги по организации корпоративных сетей Ethernet, которые значительно более эффективны в работе и удобнее в обслуживании, чем сети Frame-Relay, и потому более выгодны. Использование протокола Ethernet в таких сетях за счет однородности протокола передачи значительно уменьшает затраты на оборудование, поддержку, обучение персонала.

При использовании объединения локальных сетей через традиционные MAN сети, данные от коммутаторов сети проходят через оборудование ATM и мультиплексоры SDH в каждой точке подключения к MAN сети, что, помимо затрат на оборудование и вносимых задержек на обработку кадров, несет еще и значительные затраты на конфигурирование и поддержку работы всей системы.

Помимо уменьшения стоимости и увеличения скорости передачи данных переход к построению операторских сетей на основе Ethernet позволяет использовать все те

интеллектуальные функции, которые сейчас широко используются в локальных сетях: приоритизация трафика и обеспечение качества обслуживания. Благодаря этому становится реальным сквозное использование этих функций от одного пользователя сети к другому без необходимости дополнительных промежуточных операций, что позволяет предоставлять расширенный по сравнению с обычными MAN сетями набор услуг.

Задание на работу

1. Используя пакет NetCracker, изучить состав и функциональные характеристики типового оборудования локальных сетей на основе технологии Ethernet.
2. В соответствии с вариантом задания построить сеть предприятия с использованием технологий Ethernet и Fast Ethernet, исходя из расчета минимизации стоимости проектируемой сети.
3. Для полученной модели сети задать необходимые типы потоков данных между рабочими станциями и серверами и произвести имитационное моделирование работы сети.
4. Проанализировать среднюю загрузку сетевого оборудования и среды передачи данных и время ответа для потока данных. Указать участки сети, уязвимые к перегрузкам, и определить средства повышения надежности функционирования сети.

Таблица 1. Варианты заданий.

№ варианта	Тип инфраструктуры	Тип трафика
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	1
5	1	3
6	2	4
7	3	1
8	4	2
9	1	4
10	2	1
11	3	2
12	4	3
13	1	1
14	2	2
15	3	3

Таблица 2. Тип инфраструктуры.

№ варианта	Количество зданий	Расстояние между зданиями	Количество этажей	Количество комнат на этаже
1	2	300	4	3
2	2	250	3	3
3	3	200	3	3
4	3	150	2	3

Таблица 3. Тип моделируемого трафика.

№ варианта	Количество файловых серверов	Количество HTTP-серверов	Количество FTP-серверов	Количество серверов баз данных
1	3	1	2	2
2	3	2	1	2
3	2	1	2	3
4	2	2	1	3

Контрольные вопросы

1. Краткая характеристика технологии Ethernet.
2. Правила построения сетей Ethernet и Fast Ethernet.

Литература

1. Кулаков Ю.А., Омелянский С. В. Компьютерные сети. Выбор, установка, использование и администрирование – К.: Юниор, 1999.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 2-е издание – СПб.: Питер, 2003.
3. IEEE Standard for Information Technology. Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications – IEEE Std 802.3, 2000 Edition.