

Протоколы, сервисы и услуги в Интернет и IP-сетях

Тема № 3 Технология Ethernet

доц. каф. СС и ПД, к.т.н. С. С. Владимиров

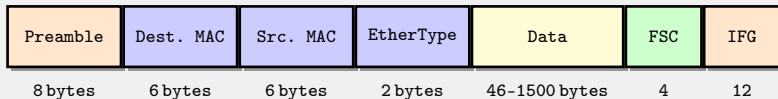
2017 г.

Ethernet

Семейство технологий пакетной передачи данных для компьютерных сетей. Стандарты Ethernet определяют на физическом уровне модели OSI — проводные соединения и электрические сигналы, а на канальном уровне — формат кадров и протоколы управления доступом к среде. Ethernet в основном определяется стандартами IEEE группы 802.3.

Ethernet — это сетевой стандарт, основанный на технологиях экспериментальной сети Ethernet Network, которую фирма Xerox разработала и реализовала в 1975 году. В 1980 году фирмы DEC, Intel и Xerox совместно разработали и опубликовали стандарт Ethernet версии II для сети, построенной на основе коаксиального кабеля. Поэтому стандарт Ethernet иногда называют стандартом DIX по заглавным буквам названий фирм. Стандарт IEEE 802.3 был разработан на основе именно этого стандарта.

Структура кадра Ethernet



1. Preamble. 8 байт. Преамбула. Используется для синхронизации.
2. Destination MAC. 6 байт. MAC-адрес назначения.
3. Source MAC. 6 байт. MAC-адрес источника.
4. EtherType. 2 байта. Содержит код типа протокола верхнего уровня. Например, 0x0800 для протокола IP.
5. Data. 46–1500 байт. Поле данных. Минимальная длина поля составляет 46 байт, что требуется для корректной работы механизма обнаружения коллизий. Если данных не хватает, то добавляется поле заполнения, чтобы обеспечить минимальную длину поля данных (46 байт).
6. Frame Check Sequences (FCS). 4 байта. Контрольная сумма для выявления ошибок передачи. Используется код CRC-32.
7. Inter Frame Gap (IFG). 12 байт. Межкадровый интервал.

Метод доступа к среде

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 используется исключительно в сетях с общей шиной. Все компьютеры такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных между любыми двумя узлами сети. Кабель, к которому подключены все станции, работает в режиме коллективного доступа (multiply-access, MA). Участок сети, в котором возможны коллизии, называют доменом (областью) коллизий (collision domain).

Все данные, передаваемые по сети, помещаются в кадры и снабжаются адресами отправителя и получателя. Затем кадр передается по кабелю. Все станции, подключенные к кабелю, могут распознать факт передачи кадра, и станция определившая свой адрес в заголовке кадра, записывает его содержимое во внутренний буфер, обрабатывает полученные данные и посылает по кабелю кадр-ответ согласно адресу отправителя.

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общему кабелю. Для уменьшения вероятности этой ситуации непосредственно перед отправкой кадра передающая станция проверяет кабель, чтобы обнаружить, не передается ли уже по кабелю кадр данных от другой станции. Если опознается несущая (carrier-sense, CS), то станция откладывает передачу своего кадра до окончания чужой передачи. Но даже при таком алгоритме две станции одновременно могут решить, что по шине в данный момент времени нет передачи, и начать одновременно передавать свои кадры — происходит коллизия, так как содержимое обоих кадров сталкивается на общем кабеле, что приводит к искажению информации.

Для корректной обработки коллизии, 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 немедленного обнаружения коллизии всеми станциями сети, ситуация коллизии усиливается посылкой в сеть станциями, начавшими передачу своих кадров, специальной последовательности битов, называемой jam-последовательностью.

После обнаружения коллизии передающая станция обязана прекратить передачу и ожидать в течение короткого случайного интервала времени, а затем может снова сделать попытку передачи кадра.

Из описания метода доступа видно, что он носит вероятностный характер, и вероятность успешного получения в свое распоряжение общей среды зависит от загруженности сети, то есть от интенсивности возникновения в станциях потребности передачи кадров. При разработке этого метода предполагалось, что скорость передачи данных в 10 Мб/с очень высока по сравнению с потребностями компьютеров во взаимном обмене данными, поэтому загрузка сети будет всегда небольшой.

Метод доступа к среде (2)

Основные временные и логические соотношения в CSMA/CD

1. Между двумя последовательно передаваемыми по общей шине кадрами информации должна выдерживаться пауза в 9.6 мкс; эта пауза нужна для приведения в исходное состояние сетевых адаптеров узлов, а также для предотвращения монопольного захвата среды передачи данных одной станцией.
2. При обнаружении коллизии (условия ее обнаружения зависят от применяемой физической среды) станция выдает в среду специальную 32-битную последовательность (jam-последовательность), усиливающую явление коллизии для более надежного распознавания ее всеми узлами сети.
3. После обнаружения коллизии каждый узел, который передавал кадр и столкнулся с коллизией, после некоторой задержки пытается повторно передать свой кадр. Узел делает максимально 16 попыток передачи этого кадра информации, после чего отказывается от его передачи. Величина задержки выбирается как равномерно распределенное случайное число из интервала, длина которого экспоненциально увеличивается с каждой попыткой. Такой алгоритм выбора величины задержки снижает вероятность коллизий и уменьшает интенсивность выдачи кадров в сеть при ее высокой нагрузке.

Все параметры протокола Ethernet подобраны для четкого определения коллизий при нормальной работе узлов сети. Для этого минимальная длина поля данных кадра должна быть ≥ 46 байт (общая минимальная длина кадра ≥ 72 байт (576 бит)). Длина кабельной системы выбирается так, чтобы за время передачи кадра минимальной длины сигнал коллизии успел бы распространиться до самого дальнего узла сети. Для скорости 10 Мб/с максимальное расстояние между двумя любыми узлами сети ≤ 2500 м.

В случае повторных коллизий существует максимальное число попыток повторной передачи кадра (attempt limit), равное 16. При достижении предела фиксируется ошибка передачи кадра, сообщение о которой передается протоколу верхнего уровня. Для уменьшения интенсивности коллизий, каждый узел с каждой новой попыткой случайным образом увеличивает длительность паузы между попытками. Интервал отсрочки (slot time, t_{st}) — это время, в течение которого станция гарантированно может узнать, что в сети нет коллизии. Это время тесно связано с другим важным временным параметром сети — окном коллизий (collision window, t_{cw}). Окно коллизий равно времени двукратного прохождения сигнала между самыми удаленными узлами сети — наихудшему случаю задержки, при которой станция еще может обнаружить, что произошла коллизия. Интервал отсрочки выбирается равным величине окна коллизий плюс некоторая дополнительная величина задержки Δt для гарантии: $t_{st} = t_{cw} + \Delta t$.

В стандартах 802.3 большинство временных интервалов измеряется числом межбитовых интервалов, величина которых для битовой скорости 10 Мб/с составляет 0.1 мкс и равна времени передачи одного бита (bit time, bt). В стандарте 802.3 $t_{st} = 512$ bt для максимальной длины коаксиального кабеля в 2.5 км и минимальной длины кадра 64 байта (без преамбулы), т. к. при кадрах меньшей длины станция может передать кадр и не успеть заметить факт возникновения коллизии из-за того, что искаженные коллизией сигналы дойдут до станции в наихудшем случае после завершения передачи. Такой кадр будет просто потерян.

- ▶ **10Base-5** — коаксиальный кабель диаметром 0.5 дюйма («толстый» коаксиал). Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента — 500 метров (без повторителей).
- ▶ **10Base-2** — коаксиальный кабель диаметром 0.25 дюйма («тонкий» коаксиал). 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 с концентратором. Расстояние между концентратором и конечным узлом — ≤ 100 м.
- ▶ **10Base-F** — оптоволоконный кабель. Топология аналогична стандарту на витой паре. Имеется несколько вариантов этой спецификации — FOIRL, 10Base-FL, 10Base-FB.

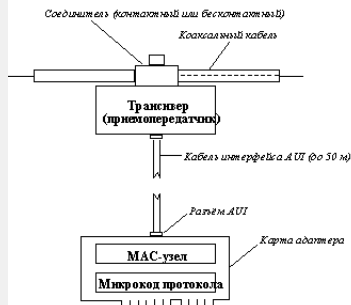
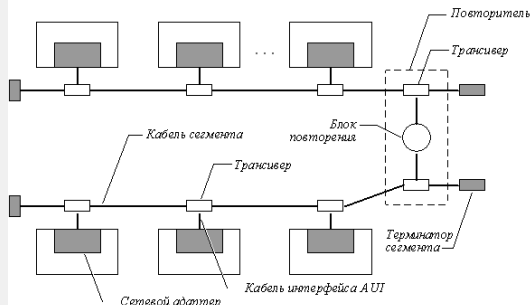
Число 10 обозначает битовую скорость передачи данных этих стандартов — 10 Мб/с, а слово Base — метод передачи на одной базовой частоте 10 МГц.

Стандарт 10Base-5

Стандарт 10Base-5 соответствует экспериментальной сети Ethernet фирмы Xerox и может считаться классическим Ethernet. В качестве среды ПД применяется коаксиальный кабель с диаметром центрального медного провода 2,17 мм и внешним диаметром ≈ 10 мм, который используется как моноканал для всех станций. Сегмент кабеля имеет максимальную длину 500 м (без повторителей) и должен иметь на концах согласующие терминаторы (резистор, согласованная нагрузка) сопротивлением 50 Ом, поглощающие распространяющиеся по кабелю сигналы и препятствующие возникновению отраженных сигналов.

Станция подключается к кабелю при помощи приемопередатчика — трансивера, который 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). Допускается подключение к одному сегменту не более 100 трансиверов, причем расстояние между подключениями трансиверов не должно быть меньше 2.5 м.



Стандарт 10Base-5 (2)

Функции трансивера

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

Последнюю функцию часто называют контролем болтливости (jabber control). При возникновении неисправностей в адаптере может возникнуть ситуация, когда на кабель будет непрерывно выдаваться последовательность случайных сигналов. Так как кабель — это общая среда для всех станций, то работа сети будет заблокирована одним неисправным адаптером. Чтобы этого не случилось, на выходе передатчика ставится схема, которая проверяет количество битов, переданных в пакете. Если максимальная длина пакета превышает, то эта схема отсоединяет выход передатчика от кабеля.

Детектор коллизий определяет наличие коллизии в коаксиальном кабеле по повышенному уровню постоянной составляющей сигналов. Если постоянная составляющая превышает определенный порог, то значит на кабель работает более чем один передатчик.

Достоинства стандарта 10Base-5

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

Недостатки стандарта 10Base-5

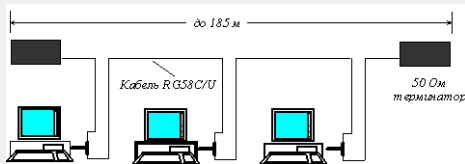
- ▶ высокая стоимость кабеля,
- ▶ сложность его прокладки из-за большой жесткости,
- ▶ наличие специального инструмента для заделки кабеля,
- ▶ при повреждении кабеля или плохом соединении происходит остановка работы всей сети,
- ▶ необходимо заранее предусмотреть подводку кабеля ко всем возможным местам 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 ≈ 5 мм. Максимальная длина сегмента без повторителей — 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. Максимальное количество станций, подключаемых к одному сегменту, 30. Минимальное расстояние между станциями — 1 м.

Трансиверы в нем объединены с сетевыми адаптерами за счет того, что более гибкий тонкий коаксиальный кабель может быть подведен непосредственно к выходному разъему платы сетевого адаптера, установленной в шасси компьютера. Кабель в данном случае «висит» на сетевом адаптере, что затрудняет физическое перемещение компьютеров.



Реализация этого стандарта на практике приводит к простому решению для кабельной сети, так как для соединения компьютеров требуются только сетевые адаптеры и T-коннекторы. Однако этот вид кабельных соединений наиболее сильно подвержен авариям и сбоям: кабель восприимчив к помехам, в моноканале имеется большое количество механических соединений — по три на один коннектор, пользователи имеют доступ к разъемам и могут нарушить целостность моноканала. Для каждой станции требуется запас кабеля, необходимый на случай даже небольшого перемещения компьютера.

Общим недостатком 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-F

Стандарт 10Base-F использует в качестве среды передачи данных оптоволокно. Функционально сеть стандарта 10Base-F 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 при использовании витой пары, для соединения адаптера с повторителем используется два оптоволоконна — 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)** — это 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 — 4.
- ▶ **Стандарт 10Base-FL** предназначен для соединения конечных узлов с концентратором и работает с сегментами оптоволоконна длиной не более 2000 м при общей длине сети не более 2500 м. Максимальное число повторителей — 4.
- ▶ **Стандарт 10Base-FB** предназначен для магистрального соединения повторителей. Он позволяет иметь в сети до 5 повторителей при максимальной длине одного сегмента 2000 м и максимальной длине сети 2740 м. Повторители, соединенные по стандарту 10Base-FB постоянно обмениваются специальными последовательностями сигналов, отличающимися от сигналов кадров данных, для обнаружения отказов своих портов. Поэтому, концентраторы стандарта 10Base-FB могут поддерживать резервные связи, переходя на резервный порт при обнаружении отказа основного с помощью тестовых специальных сигналов. Концентраторы этого стандарта передают как данные, так и сигналы простоя линии синхронно, поэтому биты синхронизации кадра не нужны и не передаются. Стандарт 10Base-FB поэтому называют также синхронный Ethernet.

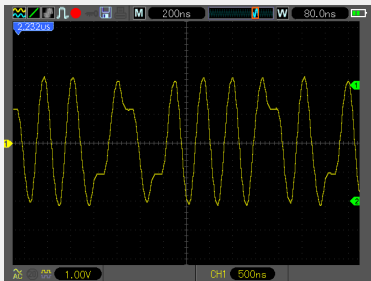
Стандарты 10Base-FL и 10Base-FB не совместимы между собой.

Стандарт 10Base-T

Стандарт принят в 1991 году как дополнение к существующему набору стандартов Ethernet. Имеет обозначение 802.3i. Использует в качестве среды двойную неэкранированную витую пару (Unshielded Twisted Pair, UTP). Соединения станций осуществляются по топологии «точка–точка» со специальным устройством — многопортовым повторителем (концентратор, hub) с помощью двух витых пар. Одна витая пара используется для передачи данных от станции к повторителю (выход Tx сетевого адаптера), а другая — для передачи данных от повторителя станции (вход Rx сетевого адаптера). Концентратор осуществляет функции повторителя сигналов на всех отрезках витых пар, подключенных к его портам, так что образуется единая среда передачи данных — моноканал (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 Мб/с и максимальное расстояние отрезка витой пары между двумя непосредственно связанными узлами (станциями и концентраторами) не более 100 м при использовании витой пары не ниже cat.3.

Возможно иерархическое соединение концентраторов в дерево. 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.

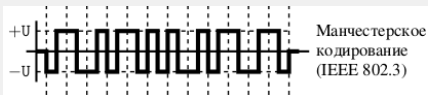
Общее количество станций в сети 10Base-T не должно превышать 1024.



10BASE-T использует разъёмы типа 8P8C, обжатые согласно таблицам T568A или T568B, определённым в стандарте TIA/EIA-568-B. Используются только вторая и третья пара (оранжевая и зелёная). Соответственно, для построения сети Ethernet 10Base-T можно использовать как 4-парные, так и 2-парные кабели UTP. Используется фазовая модуляция сигнала. На один бит отводится один период. Смена фазы колебаний означает смену логического состояния от 0 к 1 или наоборот. В дальнейшем эти состояния декодируются, как Манчестерский код. Частота несущей 10 МГц — 100 наносекунд на период. Амплитуда сигнала около 2 вольт. Ток — переменный, сама передача всегда ведётся по гальванически развязанной от устройств линии. На входе и выходе у каждого сетевого устройства, работающего по стандартам 10Base-T установлен высокочастотный развязывающий трансформатор с коэффициентом трансформации 1:1.

Манчестерское кодирование

Такой вид кодирования также называют фазовым кодированием. Каждый такт делится на две части. Информация кодируется перепадами потенциала в середине каждого такта. «1» кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а «0» — обратным перепадом (по стандарту IEEE 802.3).



В начале каждого такта может происходить служебный перепад сигнала, если нужно представить несколько единиц или нулей подряд. Так как сигнал изменяется по крайней мере один раз за такт передачи одного бита данных, то манчестерский код обладает хорошими самосинхронизирующими свойствами. У манчестерского кода нет постоянной составляющей (меняется каждый такт), а основная гармоника в худшем случае (при передаче последовательности единиц или нулей) имеет частоту N Гц, а в лучшем случае (при передаче чередующихся единиц и нулей) — $N/2$ Гц.

Условия корректной работы сети Ethernet из сегментов различного типа

1. Количество станций в сети не превышает 1024 (с учетом ограничений для коаксиальных сегментов).
2. Удвоенная задержка распространения сигнала (Path Delay Value, PDV) между двумя самыми удаленными друг от друга станциями сети не превышает 575 bt.
3. Сокращение межкадрового расстояния (Interframe Gap Shrinkage или Path Variability Value, PVV) при прохождении последовательности кадров через все повторители не более, чем на 49 bt (при отправке кадров станция обеспечивает начальный IFG в 96 bt).

Требование на минимальное межкадровое расстояние связано с тем, что при прохождении кадра через повторитель это расстояние уменьшается. Каждый пакет, принимаемый повторителем, ресинхронизируется для исключения дрожания сигналов, накопленного при прохождении последовательности импульсов по кабелю и через интерфейсные схемы. Процесс ресинхронизации обычно увеличивает длину преамбулы, что уменьшает межкадровый интервал. При прохождении кадров через несколько повторителей межкадровый интервал может уменьшиться настолько, что сетевым адаптерам в последнем сегменте не хватит времени на обработку предыдущего кадра, в результате чего кадр будет просто потерян. Поэтому не допускается суммарное уменьшение межкадрового интервала более чем на 49 bt. Величину уменьшения межкадрового расстояния при переходе между соседними сегментами обычно называют в англоязычной литературе Segment Variability Value, SVV, а суммарную величину уменьшения межкадрового интервала при прохождении всех повторителей — Path Variability Value, PVV.

На практике для расчета PDV и PVV используют усредненные табличные значения для повторителей и кабелей разных типов. При этом PDV зависит как от типа среды ПД и повторителей, так и от длины кабелей. PVV зависит только от типа среды ПД в сегментах сети.

Кабель связи «витая пара»

Витая пара (twisted pair) представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой, покрытых пластиковой оболочкой. Повив проводников производится с целью исключить влияние на пару, по которой идёт сигнал, синфазных (электромагнитные помехи одинаково влияют на оба провода пары) помех и обеспечить их вычитание за счёт применения выходных и входных дифференциальных каскадов. Для снижения связи отдельных пар кабеля (периодического сближения проводников различных пар) в кабелях UTP категории 5 и выше провода пары свиваются с различным шагом.

Экранирование

Для защиты от электрических помех при использовании высокочастотных сигналов, в кабелях cat.6a–8 используется экранирование, которое применяется как к отдельным витым парам, которые оборачиваются в алюминиевую фольгу (металлизированную алюминием полиэтиленовую ленту), так и к кабелю в целом в виде общего экрана из фольги и/или оплётки из медной проволоки. Экран всегда соединён с неизолированным общим проводом, который соединяет участки экрана в случае его разделения на секции.

Согласно международному стандарту ISO/IEC 11801, для обозначения конструкции экранированного кабеля используется комбинация из трех букв: U — неэкранированный, S — металлическая оплётка (только общий экран), F — металлизированная лента (алюминиевая фольга). Из этих букв формируется аббревиатура вида xx/xTP, обозначающая тип общего экрана и тип экрана для отдельных пар.

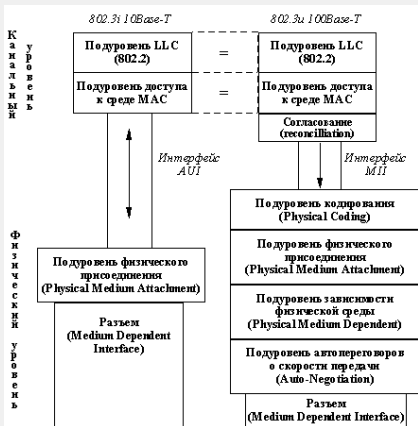
Типы конструкции экрана:

- ▶ **Неэкранированный кабель (U/UTP).** Экранирование отсутствует. Cat.6 и ниже.
- ▶ **Индивидуальный экран (U/FTP).** Экранирование фольгой каждых отдельных пар. Защищает от внешних помех и от перекрёстных помех между витыми парами.
- ▶ **Общий экран (F/UTP, S/UTP, SF/UTP).** Общий экран из фольги, оплётки, или фольги с оплёткой. Защищает от внешних электромагнитных помех.
- ▶ **Индивидуальный и общий экран (F/FTP, S/FTP, SF/FTP).** Индивидуальные экраны из фольги для каждой витой пары, плюс общий экран из фольги, оплётки, или фольги с оплёткой. Защищает от внешних помех и от перекрёстных помех между витыми парами.

При использовании экранированных кабелей обязательно необходимо использовать специальные разъемы 8P8C с экраном. При использовании обычных неэкранированных разъемов эффект экранирования отсутствует.

Технология Fast Ethernet

К началу 90-х годов XX века в связи с ростом быстродействия компьютерной техники пропускной способности технологии 10 Мбит/с Ethernet стало не хватать. В сетях чаще начали возникать перегрузки, вызывающие появление коллизий и падение пропускной способности. Рассмотрев ряд решений, предложенных различными производителями, комитет IEEE принял в мае 1995 года спецификацию Fast Ethernet в качестве стандарта 802.3u — дополнения к существующему стандарту 802.3. Отличия Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне.

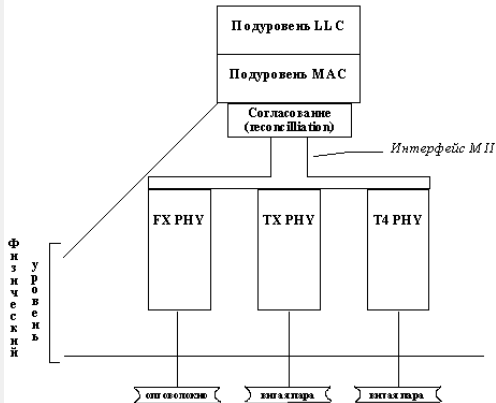


Формат кадра не изменился. В связи с десятикратным увеличением скорости все времена передачи кадров Fast Ethernet в 10 раз меньше соответствующих времен технологии 10 Мбит/с Ethernet: межбитовый интервал составляет 10 нс вместо 100 нс, а межкадровый интервал — 0.96 мкс вместо 9.6 мкс соответственно. На практике временные параметры еще меньше из-за того, что используется несущая не 100 МГц, а 125 МГц.

Физический уровень Fast Ethernet

Подуровни

- ▶ Уровень согласования (reconciliation sublayer).
- ▶ Независимый от среды интерфейс (Media Independent Interface, МИИ).
- ▶ Устройство физического уровня (Physical layer device, PHY).



Устройство физического уровня (PHY) обеспечивает кодирование данных, поступающих от MAC-подуровня для передачи их по кабелю определенного типа, синхронизацию передаваемых по кабелю данных, а также прием и декодирование данных в узле-приемнике.

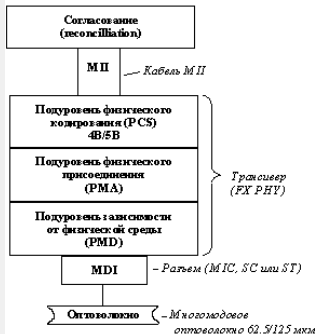
Интерфейс МИИ поддерживает независимый от используемой физической среды способ обмена данными между MAC-подуровнем и подуровнем PHY. Этот интерфейс аналогичен по назначению интерфейсу AUI классического Ethernet за исключением того, что интерфейс AUI располагался между подуровнем физического кодирования сигнала (для любых вариантов кабеля использовался одинаковый метод физического кодирования — манчестерский код) и подуровнем физического присоединения к среде, а интерфейс МИИ располагается между MAC-подуровнем и подуровнями кодирования сигнала.

Подуровень согласования нужен для того, чтобы согласовать работу подуровня MAC с интерфейсом МИИ.

Спецификации физического уровня

- ▶ **100Base-TX** — задействована витая пара UTP или S/UTP cat.5 (две пары), поддерживается дуплексная передача данных, расстояние до 100 м.
- ▶ **100Base-T4** — витая пара UTP cat.3 или выше (четыре пары), передача данных идёт в полудуплексе. Практически не используется.
- ▶ **100Base-T2** — витая пара UTP cat.3 (две пары). Поддерживается полный дуплекс, когда сигналы распространяются в противоположных направлениях по каждой паре. Скорость передачи в одном направлении — 50 Мбит/с. Практически не используется.
- ▶ **100Base-FX** — многомодовое волокно. Максимальная длина сегмента 400 м в полудуплексе (для гарантированного обнаружения коллизий) или 2 км в полном дуплексе.
- ▶ **100Base-SX** — многомодовое волокно. Максимальная длина ограничена только величиной затухания в оптическом кабеле и мощностью передатчиков, по разным материалам от 2 до 10 км.
- ▶ **100Base-FX WDM** — одномодовое волокно. Максимальная длина ограничена только величиной затухания в ВОЛС и мощностью передатчиков. Интерфейсы бывают двух видов, отличаются длиной волны передатчика и маркируются либо цифрами (длина волны), либо одной латинской буквой А(1310) или В(1550).
- ▶ **100Base-LX** — обеспечивает передачу данных со скоростью до 100 Мбит/с через оптический кабель по одному одномодовому волокну на длине волны 1310 нм. Максимальная длина сегмента — 15 км в режиме полного дуплекса. Существует вариант 100Base-LX10 с максимальной длиной сегмента 10 км.

Физический уровень 100Base-FX



Спецификация определяет работу протокола Fast Ethernet по многомодовому оптоволокну в полудуплексном и полнодуплексном режимах на основе схемы кодирования и передачи оптических сигналов, использующейся в стандарте FDDI. Как и в стандарте FDDI, каждый узел соединяется с сетью двумя оптическими волокнами, идущими от приемника (Rx) и от передатчика (Tx).

Метод кодирования 4B/5B

При этом методе каждые 4 бита данных MAC-подуровня (называемых символами) представляются 5 битами. Использование избыточного бита позволяет применить потенциальные коды при представлении каждого из пяти бит в виде электрических или оптических импульсов. Потенциальные коды обладают по сравнению с манчестерскими кодами более узкой полосой спектра сигнала, а, следовательно, предъявляют меньшие требования к полосе пропускания кабеля. Однако, прямое использование потенциальных кодов для передачи исходных данных без избыточного бита невозможно из-за плохой самосинхронизации приемника и источника данных: при передаче длинной последовательности единиц или нулей в течение долгого времени сигнал не изменяется и приемник не может определить момент чтения очередного бита.

При использовании пяти бит для кодирования шестнадцати исходных 4-битовых комбинаций, можно построить такую таблицу кодирования, в которой любой исходный 4-битовый код представляется 5-битовым кодом с чередующимися нулями и единицами. Тем самым обеспечивается синхронизация приемника с передатчиком. Так как исходные биты MAC-подуровня должны передаваться со скоростью 100 Мбит/с, то наличие одного избыточного бита вынуждает передавать биты результирующего кода 4B/5B со скоростью 125 Мбит/с, то есть межбитовое расстояние в устройстве PNY составляет 8 нс.

Так как из 32 возможных комбинаций 5-битовых порций для кодирования порций исходных данных нужно только 16, то остальные 16 комбинаций в коде 4B/5B используются в служебных целях или являются запрещенными. Существование запрещенных комбинаций символов позволяет отбраковывать ошибочные символы, что повышает устойчивость работы сетей с PHY FX/TX.

Наличие служебных символов позволило использовать в спецификациях FX/TX схему непрерывного обмена сигналами между передатчиком и приемником и при свободном состоянии среды, что отличает их от спецификации 10Base-T, когда незанятое состояние среды обозначается полным отсутствием на ней импульсов информации. Для обозначения незанятого состояния среды используется служебный символ Idle (1111), который постоянно циркулирует между передатчиком и приемником, поддерживая их синхронизм и в периодах между передачами информации, а также позволяя контролировать физическое состояние линии.

Физический уровень 100Base-FX (2)

Коды 4В/5В

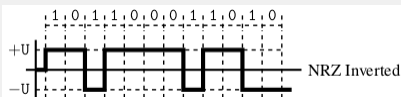
Коды Данных

4В Код	5В Символ
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

Управляющие и Недопустимые Коды

4В Код	5В Символ
Ожидание	11111
Начало потока	11000
Начало потока	10001
Конец потока	01101
Конец потока	00111
Ошибка передачи	00100
Недопустимый	00000
Недопустимый	00001
Недопустимый	00010
Недопустимый	00011
Недопустимый	00100
Недопустимый	00101
Недопустимый	00110
Недопустимый	01000
Недопустимый	10000
Недопустимый	11001

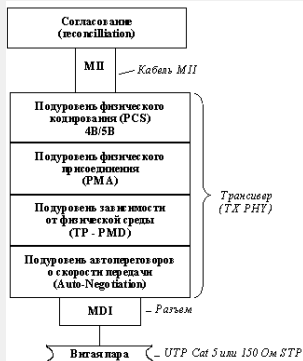
Код NRZI



После преобразования 4-битовых порций MAC-кодов в 5-битовые порции PHY их необходимо представить в виде оптических или электрических сигналов в кабеле, соединяющем узлы сети. В спецификации PHY FX используется метод NRZI — Non Return to Zero Invert to ones — метод без возврата к нулю с инвертированием для единиц. Этот метод представляет собой модификацию простого потенциального метода кодирования, называемого Non Return to Zero (NRZ), когда для представления 1 и 0 используются потенциалы двух уровней. В методе NRZI также используется два уровня потенциала сигнала, но потенциал, используемый для кодирования текущего бита зависит от потенциала, который использовался для кодирования предыдущего бита (так называемое, дифференциальное кодирование). Если текущий бит имеет значение 1, то текущий потенциал представляет собой инверсию потенциала предыдущего бита, независимо от его значения. Если же текущий бит имеет значение 0, то текущий потенциал повторяет предыдущий.

Из описания метода NRZI видно, что для обеспечения частых изменений сигнала, а значит и для поддержания самосинхронизации приемника, нужно исключить из кодов слишком длинные последовательности нулей. Коды 4В/5В построены так, что гарантируют не более трех нулей подряд при любом сочетании бит в исходной информации.

Физический уровень 100Base-TX



Основные отличия PHY TX от спецификации PHY FX — использование метода MLT-3 для передачи сигналов 5-битовых кодов 4B/5B по витой паре, а также наличие функции автопереговоров (Auto-negotiation) для выбора режима работы порта.

Также в спецификации PHY TX используется пара скремблер/дескремблер (scrambler/descrambler). Скремблер принимает 5-битовые блоки данных от подуровня PCS (кодирование 4B/5B) и зашифровывает сигналы перед передачей на подуровень MLT-3 для равномерного распределения энергии сигнала по всему частотному спектру — это уменьшает электромагнитное излучение кабеля.

Автопереговорный процесс (Auto-negotiation)

Функция согласно спецификациям PHY TX и PHY T4, с помощью которой два взаимодействующих устройства PHY могут автоматически выбрать наиболее эффективный режим работы. Является стандартом технологии 100Base-T.

5 различных режимов работы устройств PHY TX или PHY T4 на витых парах:

1. 10Base-T — 2 пары cat.3 (самый низкий приоритет);
2. 10Base-T full-duplex — 2 пары cat.3;
3. 100Base-TX — 2 пары cat.5 (или Type 1A STP);
4. 100Base-TX full-duplex — 2 пары cat.5 (или Type 1A STP);
5. 100Base-T4 — 4 пары cat.3 (самый высокий приоритет).

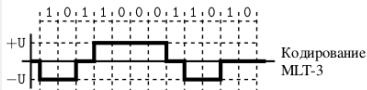
Переговорный процесс происходит при включении питания устройства, а также может быть инициирован и в любой момент модулем управления. Для организации переговорного процесса используются служебные сигналы проверки целостности линии технологии 10Base-T — link test pulses, если узел-партнер поддерживает только стандарт 10Base-T. Узлы, поддерживающие функцию Auto-negotiation, также используют существующую технологию сигналов проверки целостности линии, посылая пачки (Fast Link Pulse burst, FLP) таких импульсов, инкапсулирующие информацию переговорного процесса Auto-negotiation.

Устройство, начавшее процесс auto-negotiation, посылает своему партнеру пачку импульсов FLP, в котором содержится 8-битный код самого приоритетного режима, поддерживаемого данным узлом. Если узел-партнер поддерживает функцию Auto-negotiation и также может поддерживать предложенный режим, то 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 миллисекунд посылает импульсы для проверки целостности линии, связывающей его с соседним узлом. Такой узел не понимает запрос FLP, который делает его узел с функцией Auto-negotiation, и продолжает посылать свои импульсы. Такой ответ на запрос FLP является признаком необходимости использования стандарта 10Base-T.

Физический уровень 100Base-TX (2)

Кодирование MLT-3 (Multi Level Transmission 3)



Код MLT-3 схож с кодом NRZ-I, но в отличие от него имеет три уровня сигнала. В MLT-3 циклично перебираются уровни напряжений $-U$, 0 , $+U$. Смена уровня соответствует передаче сигнала 1 бит, при передаче 0 бит уровень не изменяется. Как и в случае NRZ-I, код MLT-3 имеет кодовую эффективность, равную 1 бит/бод, при этом для возврата в предыдущее состояние требуется четыре перехода (бода): $-U \rightarrow 0$, $0 \rightarrow +U$, $+U \rightarrow 0$, $0 \rightarrow -U$.

В связи с этим реальная частота уменьшается до четверти бода. Передача таким сигналом больше подходит для медных линий. Впервые код MLT-3 был предложен компанией Crescendo Communications для использования в технологии CDDI (FDDI по медному кабелю).

Полнодуплексный режим работы 100Base-TX

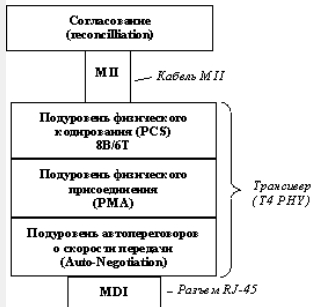
Узлы, поддерживающие спецификации PHY FX и PHY TX, могут работать в полнодуплексном режиме (full-duplex mode). В этом режиме не используется метод доступа к среде CSMA/CD и отсутствует понятие коллизий — каждый узел одновременно передает и принимает кадры данных по каналам Tx и Rx.

Полнодуплексная работа возможна только при соединении сетевого адаптера с коммутатором или же при непосредственном соединении коммутаторов.

При полнодуплексной работе стандарты 100Base-TX и 100Base-FX обеспечивают скорость обмена данными между узлами 200 Мбит/с. В полнодуплексном режиме необходимо определить процедуры управления потоком кадров, так как без этого механизма возможны ситуации, когда буферы коммутатора переполняются и он начнет терять кадры Ethernet, что всегда крайне нежелательно, так как восстановление информации будет осуществляться более медленными протоколами транспортного или прикладного уровней.

Ввиду отсутствия стандартов на полнодуплексные варианты Fast Ethernet каждый производитель сам определяет способы управления потоком кадров в коммутаторах и сетевых адаптерах. Обычно, при заполнении буфера устройства до определенного предела, это устройство посылает передающему устройству сообщение о временном прекращении передачи (XOFF). При освобождении буфера посылается сообщение о возможности возобновить передачу (XON).

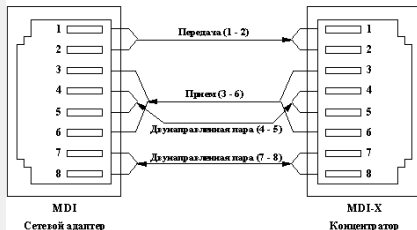
Физический уровень 100Base-T4



Спецификация PHY T4 была разработана для того, чтобы можно было использовать для Fast Ethernet имеющуюся проводку на витой паре cat.3. Эта спецификация использует все 4 пары кабеля для того, чтобы можно было повысить общую пропускную способность за счет одновременной передачи потоков бит по нескольким витым парам.

Вместо кодирования 4B/5B в этом методе используется кодирование 8B/6T. Каждые 8 бит информации MAC-уровня кодируются 6 трюичными цифрами (ternary symbols). Избыточность кода 8B/6T выше, чем кода 4B/5B, так как на $2^8 = 256$ исходных комбинаций приходится $3^6 = 729$ результирующих комбинаций. Каждая трюичная цифра имеет длительность 40 нс. Группа из 6 трюичных 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 cat.3. В 100Base-T4 используется трёхуровневая амплитудно-импульсная модуляция (PAM-3).

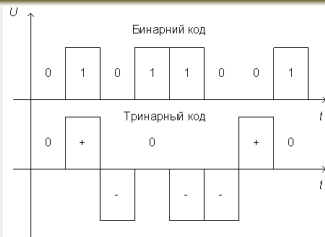
На рисунке показано соединение порта MDI сетевого адаптера 100Base-T4 с портом MDI-X повторителя. Пара 1-2 всегда используется для передачи данных от порта MDI к порту MDI-X, пара 3-6 всегда используется для приема данных порта MDI от порта MDI-X, а пары 4-5 и 7-8 являются двунаправленными и используются и для приема, и для передачи, в зависимости от потребности. Однонаправленные пары 1-2 и 3-6 используются для обнаружения коллизий при передаче данных.



Физический уровень 100Base-T4 (2)

Алгоритм кодирования 8B6T

Data octet	6T code group	Data octet	6T code group	Data octet	6T code group	Data octet	6T code group
00	+00+0-	10	+0+--0	20	00-+-+	30	+00+0+
01	0+--+-0	11	++0-0-	21	--+00+	31	0+--+-0
02	+0+0+0	12	+0+-0-	22	++-0+0	32	+0-+-0
03	-0+0+0	13	0++-0-	23	++-0+0	33	-0+0+0
04	-0+0+-	14	0++-0-	24	00+0+-	34	-0+0+0
05	0+-0+0	15	++00--	25	00+0+-	35	0+-0+0
06	+0-0+0	16	+0+0--	26	00-00+	36	+0+0+0
07	-0+-0+0	17	0++0--	27	--+++-	37	-0+0+0
08	--00+-	18	0+-0+-	28	-0-++0	38	--00+0
09	0-++-0	19	0+-0+-	29	--0+0+	39	0-++-0
0A	--0+0-	1A	0+---+	2A	-0-+0+	3A	--0+0-
0B	+0-+0-	1B	0+00+0	2B	0-++0+	3B	+0-+0-
0C	+0-0+-	1C	0-+00+	2C	0-++0+	3C	+0-0+-
0D	0-+-0+	1D	0-+++-	2D	--00++	3D	0-+-0+
0E	--0-0+	1E	0-+0+-	2E	-0-0++	3E	--0-0+
0F	+0--0+	1F	0-+0+-	2F	0--0++	3F	+0--0+



Технологии передачи Ethernet-кадров со скоростью 1 Гбит/с впервые появились в 1998, когда был опубликован стандарт IEEE 802.3z, определяющий передачу по оптоволоконному кабелю — т. н. технология 1000Base-X, где X определяет тип технологии. Вскоре, в 1999 появился стандарт IEEE 802.3ab, определивший стандарт гигабитной передачи данных по неэкранированной витой паре (UTP) cat.5, 5e и 6, и известный как 1000Base-T. Этот стандарт позволил перейти на более высокие скорости при сохранении возможности использования существующей кабельной инфраструктуры. В 2004 был ратифицирован стандарт IEEE 802.3ah, добавивший еще два стандарта передачи по оптоволокну — 1000Base-LX10 и 1000Base-BX10.

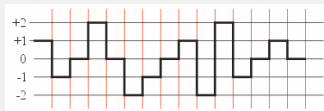
Как и в случае Fast Ethernet, основные отличия G.Ethernet лежат на физическом уровне. Временные характеристики также уменьшились пропорционально увеличению скорости.

По стандарту 1Gbit Ethernet поддерживает как полудуплексную, так и полнодуплексную передачу. На практике полудуплексная передача не используется.

Основные стандарты

- ▶ **1000Base-CX** — Экранированный сбалансированный 2-парный медный кабель (витая пара с коннектором DE-9 или 8P8C) — до 25 м. Не совместима с 1000Base-T/TX. Используется в платформе IBM BladeCenter для связи блэйд-серверов с коммутатором.
- ▶ **1000Base-SX** — Многомодовое оптоволокно — до 220–550 м.
- ▶ **1000Base-LX** — Многомодовое (до 550 м) или одномодовое (до 5 км) оптоволокно.
- ▶ **1000Base-LX10** — Одномодовое оптоволокно (1310 нм) — до 10 км.
- ▶ **1000Base-BX10** — Одномодовое оптоволокно (WDM: 1490 нм на приём, 1310 нм на передачу) — 10 км.
- ▶ **1000Base-T** — Витая пара (cat.5, 5e, 6, 7) — до 100 м.
- ▶ **1000Base-TX** — Витая пара (cat.6, 7) — до 100 м.

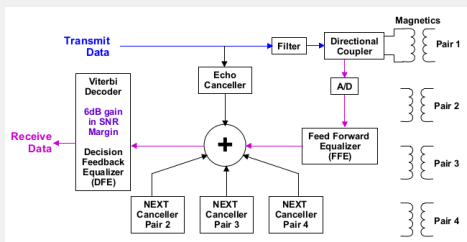
Технология 1000Base-T



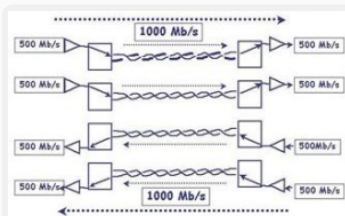
Основной гигабитный стандарт, который использует витую пару cat.5e и лучше. В передаче данных участвуют все 4 пары. Расстояние — до 100 метров. Передача производится дибитами. Данные в линии представляются в так называемом коде PAM-5. В нем передаваемый сигнал имеет набор из пяти фиксированных уровней -2 , -1 , 0 , $+1$, $+2$. Четыре из них используются для кодирования информационных битов, а пятый предназначен для коррекции ошибок.

Поскольку кабель cat.5 рассчитан на частоту 125 МГц (т.е. способен работать с бодовой скоростью 125 МБод), то информационная скорость по одной витой паре составит 250 Мбит/с, что при задействовании всех четырех пар обеспечивает искомые 1000 Мбит/с. Пятый избыточный уровень кода PAM-5 используется для механизма построения коррекции ошибок (Forward Error Correction, FEC). Он реализуется треллис-кодированием и декодером Витерби. Применение механизма коррекции ошибок позволяет увеличить помехоустойчивость приемника на 6 дБ.

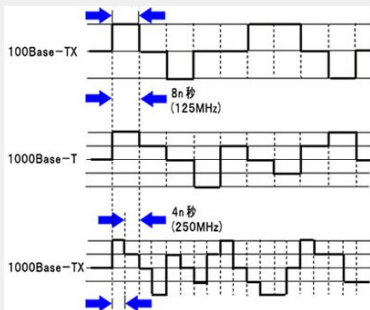
Для обеспечения двунаправленной передачи данных по каждой витой паре в трансиверах приходится использовать гибридные устройства, развязывающие передающий и приемный тракты, и мощные процессоры цифровой обработки сигналов (DSP), которые подавляют эхосигналы, генерируемые гибридными устройствами. Кроме того, в оборудовании 1000Base-T осуществляется подавление перекрестных наводок.



Технология 1000Base-TX



Стандарт разработан создан Ассоциацией Телекоммуникационной Промышленности (Telecommunications Industry Association, TIA) и опубликован в марте 2001 как «Спецификация физического уровня дуплексного Ethernet 1000 Мбит/с (1000Base-TX) симметричных кабельных систем категории 6 (ANSI/TIA/EIA-854-2001)». Стандарт разделяет принимаемые и посылаемые сигналы по парам (две пары передают данные, каждая на 500 Мбит/с и две пары принимают), что упрощает бы конструкции приёмопередающих устройств за счет отсутствия схемы цифровой компенсации наводок и возвратных помех по сравнению с 1000Base-T. Однако, поскольку для работы технологии требуется кабель cat.6 или лучше, а к 2001 году оборудование 1000Base-T, работающее по линиям cat.5е уже широко использовалось, оборудование 1000Base-TX распространения не получило.



Стандарт IEEE 802.3z включает в себя 1000BASE-SX для передачи сигнала по многомодовому оптоволокну, 1000BASE-LX — по одномодовому оптоволокну, и почти вышедший из употребления 1000BASE-CX — по экранированному сбалансированному медному кабелю. Эти стандарты используют кодирование 8b/10b, которое повышает скорость передачи линии на 25%, с 1000 Мбит/с до 1250 Мбит/с. Символы затем отправляются с использованием кода NRZ.

Кодирование 8b/10b

Table A-1. 8b/10b Data Symbol Codes

Data Byte Name	Data Byte Value (hex)	Bits HGF EDCBA (binary)	Current RD- abcdei fghj(binary)	Current RD+ abcdei fghj (binary)
D0.0	00	000 00000	100111 0100	011000 1011
D1.0	01	000 00001	011101 0100	100010 1011
D2.0	02	000 00010	101101 0100	010010 1011
D3.0	03	000 00011	110001 1011	110001 0100
D4.0	04	000 00100	110101 0100	001010 1011
D5.0	05	000 00101	101001 1011	101001 0100
D6.0	06	000 00110	011001 1011	011001 0100

При этом виде кодирования 8 бит кодируются 10-битным символом. При этом, код фактически представляет собой два кода: 5b/6b, за которым следует код 3b/4b. Коды подобраны так, чтобы количество 1 и 0 в каждой кодовой комбинации колебалось в пределах ± 2 . Для того, чтобы обеспечить равномерность нулей и единиц при длительной передаче, кодовые комбинации зависят от соотношения числа 1 и 0 в предыдущих кодовых комбинациях.

Технология впервые определена в 2002 в спецификации IEEE 802.3ae-2002. 10G Ethernet поддерживает только полнодуплексный режим работы.

Основные стандарты

- ▶ 10GBase-SR ("short range"). Использует многомодовое волокно и лазеры 850 нм. Используется схема кодирования 64b/66b. Дальность 25–400 м. Используются модули SFP+ и XFP.
- ▶ 10GBase-LR ("long reach"). Использует одномодовое волокно и лазеры 1310 нм. До 10 км.
- ▶ 10GBase-LX4. Использует технологию WDM. 4 трансивера на 3.125 Gbit/s и кодирование 8B10B. До 300 м по многомоду и до 10 км по одномоду.
- ▶ 10GBase-T (IEEE 802.3an-2006). Использует витую пару cat.6 (до 55 м) или cat.6a (до 100 м). Применяется модуляция PAM-16 и помехоустойчивые LDPC-коды. Передача по четырем парам дуплексом с эхоподавлением, как и в 1000Base-T.

Стандарт 10GBase-T послужил основой для стандартов 2.5GBase-T (100 м по cat.5e) and 5GBASE-T (100 м по cat.6) (IEEE 802.3bz-2016).

Адресация на канальном уровне модели OSI

MAC-адрес (Media Access Control — управление доступом к среде, Hardware Address)

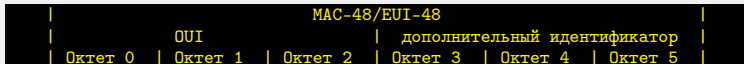
Уникальный идентификатор, присваиваемый каждой единице активного оборудования компьютерных сетей.

Основные виды адресов канального уровня

- ▶ MAC-48/EUI-48
- ▶ EUI-64

Адреса в каждом из пространств должны быть глобально уникальными.

Структура адреса MAC-48/EUI-48



MAC-48/EUI-48

- ▶ EUI-48 (Extended Unique Identifier) — идентификатор, созданный путём соединения 24-битного уникального идентификатора организации (OUI) с 24-битным дополнительным идентификатором, который назначается организацией, получившей OUI.
- ▶ MAC-48 — частный случай использования идентификатора EUI-48 в качестве аппаратного адреса сетевого интерфейса.

Уникальный идентификатор организации (OUI)

Organizationally Unique Identifier (OUI)

Уникальный идентификатор организации — 24-битный номер, который присваивается регистрационной администрацией IEEE.

OUI имеет три октета, или 24 бита. Значащими являются только 22 бита. Старший бит первого октета OUI присваивается сразу в двух значениях — 0 и 1, которые используются, в частности, в MAC-адресах для обозначения одиночного или группового адресата. Следующий за ним бит всегда имеет значение 0. В шестнадцатеричном (каноническом) формате (отображается такими программами как `ipconfig` и `ifconfig`) значащими являются соответственно 2 младших бита в первом октете. Таким образом, у всех одиночных адресов в шестнадцатеричном формате второй символ всегда является четным, у групповых адресов — нечетным.

Полный список OUI размещен по адресу <http://standards.ieee.org/regauth/oui/oui.txt>

Примеры OUI

OUI/MA-L company_id		Organization Organization
E0-43-DB	(hex)	Shenzhen ViewAt Technology Co.,Ltd.
E043DB	(base 16)	Shenzhen ViewAt Technology Co.,Ltd.
CN		
24-05-F5	(hex)	Integrated Device Technology (Malaysia) Sdn. Bhd.
2405F5	(base 16)	Integrated Device Technology (Malaysia) Sdn. Bhd.
MY		
2C-30-33	(hex)	NETGEAR
2C3033	(base 16)	NETGEAR
US		

Формат MAC-адреса

Шестнадцатеричный (канонический) формат

- ▶ AC-DE-48-01-02-03 (Windows)
- ▶ AC:DE:48:01:02:03 (Unix)
- ▶ ACDE.4801.0203 (Cisco)

```
|                                     MAC-48                                     |
|               OUI               | дополнительный идентификатор | | | | |
| Октет 0 | Октет 1 | Октет 2 | Октет 3 | Октет 4 | Октет 5 |
|  A   C |  D   E |  4   8 |  0   1 |  0   2 |  0   3 |
|1010 1100|1101 1110|0100 1000|0000 0001|0000 0010|0000 0011|
|
|
|одиночный (0) или групповой (1) адресат
|
|
|      всегда 0 при использовании OUI
```

Бит-реверсный (неканонический) формат

- ▶ 35:7B:12:80:40:C0

```
|                                     MAC-48                                     |
|               OUI               | дополнительный идентификатор | | | | |
| Октет 0 | Октет 1 | Октет 2 | Октет 3 | Октет 4 | Октет 5 |
|  3   5 |  7   B |  1   2 |  8   0 |  4   0 |  C   0 |
|0011 0101|0111 1011|0001 0010|1000 0000|0100 0000|1100 0000|
|
|
|      всегда 0 при использовании OUI
|
|
|      одиночный (0) или групповой (1) адресат
```

Extended Unique Identifier EUI-64

EUI-64 — это 64-битный идентификатор, созданный путём соединения 24-битного OUI с 40-битным дополнительным идентификатором, который назначается организацией, получившей OUI. Используются в ZigBee, FireWire, а также в IPv6 в качестве младших 64 бит сетевого адреса узла.

В соответствии с рекомендациями IEEE, первые 4 цифры дополнительного 40-битного идентификатора не должны быть FFFE_{16} или FFFF_{16} (то есть EUI-64 идентификаторы вида $\text{ccccccFFFEeeeeee}_{16}$ и $\text{ccccccFFFFeeeeee}_{16}$ недопустимы) — они используются для поддержки инкапсуляции значений идентификаторов MAC-48 и EUI-48 в EUI-64.

Отображение EUI-48 и MAC-48 в EUI-64

Тип адреса	Исходный вид	Отображение в EUI-64
EUI-48	xx-yy-zz-ww-vv-tt	xx-yy-zz-FF-FE-ww-vv-tt
MAC-48	xx-yy-zz-ww-vv-tt	xx-yy-zz-FF-FF-ww-vv-tt

1. Материалы с сайта <https://wikipedia.org/>
2. Информационно-вычислительные сети : учебное пособие / Д. А. Капустин, В. Е. Дементьев. — Ульяновск : УлГТУ, 2011.
3. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — СПб. : Питер, 2010.
4. Базовые технологии локальных сетей / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер // CIT Forum. 1999. URL: <http://citforum.ru/nets/protocols2/index.shtml>
5. Семенов, Ю. А. Телекоммуникационные технологии. URL: <http://book.itep.ru/>
6. Кабельные системы категории 6 и оборудование Gigabit Ethernet / М. Фаррант, Т. Уалднер // Сети и системы связи.
7. Gigabit Ethernet over Category 5 / F. Mlinarsky. 1998.
8. Технология 1000Base-T на физическом уровне / С. Пахомов // КомпьютерПресс. №2. 2002.
9. RFC-7042. IANA Considerations and IETF Protocol and Documentation Usage for IEEE 802 Parameters.