

ОП

АКАДЕМИЯ

СОВРЕМЕННЫХ

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ

ТЕХНОЛОГИЙ

ОП Основы построения современных
Инфокоммуникационных Систем

ОП.12. Основы сетевых технологий и
высокоскоростной передачи данных
(количество частей – 1, число страниц - 48)

ОП.12

Телефонные сети общего пользования и передача данных

В первой части учебного пособия были рассмотрены базовые понятия сетевых технологий высокоскоростной передачи данных. Начиная с этой главы, мы начнем рассматривать отдельные протоколы, используемые в современных сетях передачи данных на скоростях, измеряемых десятками и сотнями мегабит в секунду.

Во второй половине XX века самыми распространенными и крупными сетями были телефонные сети общего пользования - ТФОП (или PSTN - Public Switch Telephone Network), предназначенные для коммутации голосовых сигналов и использующие коммутацию каналов. Со временем возникла идея передавать по этим сетям не только аналоговую речевую информацию, но и цифровые данные от компьютера к компьютеру.

В 1972 году специалистами лаборатории AT&T Bell Labs была предложена концепция ISDN (Integrated Service Digital Network, Цифровая сеть с интеграцией служб). В соответствии с этой технологией задачи аналого-цифрового преобразования сигналов возлагаются на оборудование пользователя, а телефонные компании получают возможность осуществлять передачу голосовых и цифровых данных по одной линии. Звуковые сигналы оцифровываются оборудованием пользователя и вместе с данными, изначально цифровыми, передаются на телефонную станцию.

Дальнейшее развитие электронной техники и наличие новых микросхемных решений позволило использовать старые медные абонентские линии ТФОП для внедрения технологий высокоскоростной передачи данных xDSL.

Телефонная сеть общего пользования включает в себя коммутационные узлы различных операторов связи, кабельные магистрали, объединяющие их, кабельную систему с аппаратурой соединения оператора связи и абонента - «последнюю милю», абонентскую разводку и абонентскую аппаратуру (например, телефонные аппараты). На узлах связи оператора установлена коммутационная аппаратура (например, АТС), которая организует физический канал между двумя абонентами.

Первые цифры (обычно от одной до трех) местного телефонного номера абонента представляют собой номер АТС на городской телефонной сети.

«Последняя миля» обычно - это телефонная двухпроводная медная витая пара, не специализированная для передачи данных. Все «последние мили» в данном районе терминируются на узле оператора.

Ранее для организации каналов между АТС (trunk) использовалось частотное

мультиплексирование, а специальные фильтры ограничивали полосу пропускания канала до 3,1 КГц. В настоящее время для организации каналов между АТС используется аппаратура с временным мультиплексированием (аппаратура ИКМ, РСМ).

Ограничения, создаваемые фильтрами аппаратуры мультиплексирования (каналообразующей аппаратуры), и низкие характеристики кабельных систем допускают скорости передачи данных по каналам до 50 Кбит/с.

При высокоскоростной передаче данных пользователям нужна большая пропускная способность. А к кабельным системам предъявляются более жесткие требования, чем при передаче голоса. Ограничения на скорость передачи, которые создаются фильтрами каналообразующей аппаратуры, можно обойти, если запросить у оператора связи специальную линию с более широкой полосой пропускания - выделенную линию (например, Е1, поток 2 Мбит/с). При этом выделенная цифровая линия организуется на той же кабельной системе, что и аналоговая, но по-другому тарифицируется. Не надо путать ее с частной линией. Выделенная линия – это линия, выделенная для передачи данных (с большой пропускной способностью). Частная линия - линия, данная в пользование конкретному абоненту на определенное время. С точки зрения характеристик частная линия может быть аналоговой.

Сеть ISDN

Для передачи данных по телефонной сети общего пользования и преобразования ее в цифровую сеть была предложена серия стандартов ISDN. Они включают стандартизацию объединений терминалов, компьютеров, телефонов, видео, голоса. Фактически в узлах операторов связи установлены временные мультиплексоры, а у абонентов ISDN-терминалы или ISDN-телефоны.

Между пользователями устанавливается канал - pipe для передачи информации в режиме коммутации каналов или коммутации пакетов. Линия ISDN-pipe может передавать несколько стандартных комбинаций мультиплексированных каналов (табл. 1) Этим комбинациям присвоены наименования, например, канал А.

Таблица 1. Комбинация мультиплексорных каналов в ISDN

Канал MUX A	4КГц – аналоговая телефония
Канал MUX B	64 Кбит/с, цифровой канал для передачи информации
Канал MUX C	8-16 Кбит/с, для передачи управляющего цифрового сигнала
Канал MUX D	16-64 Кбит/с, для передачи управляющего цифрового сигнала
Канал MUX E	64 Кбит/с, цифровой канал с сигнализацией ISDN
Канал MUX H	384 или 1536 или 1920 Кбит/с, цифровой канал

сервиса абонентам. Укажем их кратко:

- Комбинация из двух каналов типа В и одного канала типа D: 2В+D (2*64 Кбит/с+64 Кбит/с). Такую комбинацию называют «BRI -базовый доступ». Используется, например, для расширения услуг, предоставляемых городской АТС (переадресация вызовов, конференц-связь, удержание вызова и пр.).
- Комбинация из 30-ти каналов типа В (в Европе) и одного канала типа D (64 Кбит/с): 30В+D (30*64 Кбит/с+64 Кбит/с) или комбинация из 23-х каналов типа В (в США, Японии) и 1-го канала типа D (64 Кбит/с) - 23В+D. Такую комбинацию называют «PRI - первичный доступ». Соответственно в Европе - это линия со скоростью 2048 Кбит/с (Е1-канал), а в США - 1544 Кбит/с (Т1 -канал). Каналы с такой пропускной способностью используют, например, для подключения корпоративных АТС (PBX) к городским АТС.
- 1А+1С-гибридная комбинация для аналоговых телефонов.

Таким образом, линия ISDN (ISDN-pipe) представляет собой логическое объединение информационных каналов для получения различной пропускной способности. Основным компонентом любой линии ISDN является однонаправленный (bearer) или В-канал с пропускной способностью 64 Кбит/с. Для увеличения пропускной способности В-каналы группируются по 2 и более каналов. Для передачи служебной информации, сообщений сигнализации (установление и разрыв соединения, и пр.) в состав такой группы всегда включается D-канал, В-каналы используются в режиме коммутации каналов, D-канал используется в режиме коммутации пакетов. Пользователю обычно доступна только общая пропускная способность каналов В.

Стандарты ISDN имеют отличия в реализациях в различных странах. До сих пор разработка стандартов не завершена и, с точки зрения авторов завершена не будет, из-за появления новых технологий.

Технология xDSL (Digital Subscriber Line)

Линия ISDN в большинстве случаев обеспечивает однонаправленную передачу по каждой паре, требует коротких расстояний между регенераторами, определенного переходного затухания в используемых кабелях, наличия линейных эквалайзеров. Организация ISDN-линии, ее инсталляция, занимает довольно много времени у операторской компании. В 1990 году корпорацией Bell была разработана новая технология - HDSL (High-

bit-rate Digital Subscriber Line), призванная заменить технологию ISDN в области передачи информации по кабельным системам. В системе HDSL была применена 4- уровневая амплитудно-импульсная модуляция PAM, называемая иначе 2B1Q, полнодуплексная передача по каждой паре, нелинейные эквалайзеры, которые не усиливают шум, адаптивные фильтры и эхоподавление. Таким образом, в обычной сети, построенной на телефонных медных кабелях, стала возможна передача информации на скорости до 2 Мбит/с и на расстояние до 2 км. При этом инсталляция линии DSL выполняется с минимальными затратами, и технология представляет собой дешевую альтернативу по сравнению с другими способами модернизации сети абонентского доступа.

Архитектура сети доступа с технологией xDSL

В узле связи оператора устанавливается мультиплексор DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), а у пользователей - xDSL-модемы или маршрутизаторы - модемы (рис. 1.1), если присоединяется сеть пользователей, домашняя сеть. В xDSL-устройстве на стороне пользователя находится фильтр (splitter, сплиттер), который разделяет общую полосу частот абонентской линии на две части: для передачи голосового сигнала и для передачи данных. Сплиттер позволяет выделить голосовой сигнал и передать его от/на телефон или учрежденческую телефонную станцию (УПАТС, PBX). Соединение пользователей с оборудованием оператора связи производится по «старым» телефонным линиям. Мультиплексор DSLAM преобразует сигнал 1-го уровня OSI в пакет IP, ATM или SDH и отправляет его устройству уровня 3/4. Далее информация передается, например, в городскую сеть передачи данных (MAN).



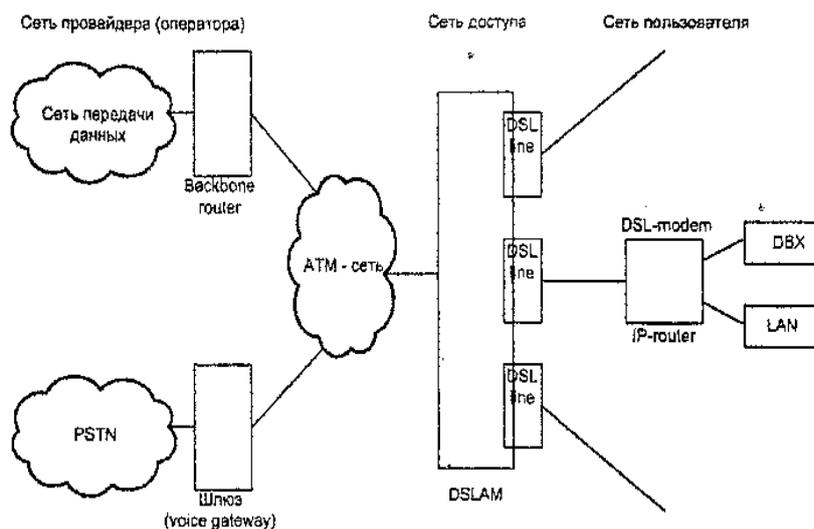


Рис. 1. Архитектура сети доступа xDSL

Проблемы xDSL

В США, где разрабатывались первые виды DSL, существуют три обычно определяемых длины «последней мили» (различаются сопротивлением и диаметром кабеля) и, соответственно, три вида соглашений о сервисе, предоставляемом операторами связи. Согласно этим правилам, длина линии от абонента может быть в пределах 2 км (зона DA), 3-4 км (зона CSA) или 6 км (зона RRD). Различные виды DSL разрабатывались для предоставления высокоскоростного доступа в различных зонах с различными характеристиками линий связи. Например, HDSL2 предназначен для работы на расстояниях зоны CSA.

Основными факторами, влияющими на качество связи в технологии xDSL, являются параметры линии связи:

- Затухание (ослабление) сигнала. Чем длиннее линия и выше частота сигнала, тем выше затухание.
- Нелинейность амплитудно-частотной характеристики. Как правило, кабельная линия связи представляет собой фильтр низких частот.
- Перекрестные помехи (переходное влияние пар) на ближнем конце (NEXT) и дальнем окончании (FEXT). Заметим, что FEXT оказывает меньшее влияние, чем NEXT.
- Радиочастотная интерференция, например, наводка от близлежащих

радиопередатчиков.

- Групповое время задержки, которое приводит к искажению формы передаваемых импульсов.
- Межсимвольная интерференция, убирающая практически разницу между уровнями сигнала.

Для преодоления перечисленных проблем в технологиях xDSL используют специальные методы линейного кодирования (модуляция) и эквалайзеры, исправляющие форму импульса по шаблону. В технологиях xDSL применяют модуляцию DMT (Digital Multi Tone, дискретная многоканальная модуляция), CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation, амплитудно-фазовая модуляция без передачи несущей), 2B1Q (2 binary, 1 quaternary), TC-PAM (Trellis Code Pulse Amplitude Modulation, амплитудно-импульсная модуляция с треллис-кодированием), DWMT, QAM, SDMT. Подробное их описание выходит за рамки данного учебного пособия. Но в этом "супе" есть три главных компоненты: CAP применяется в SDSL, HDSL; DMT - (ANSI стандарт T1.413) для ADSL и VDSL; 2B1Q реализован отдельными производителями в HDSL.

Одним из факторов, ограничивающих цифровую передачу, являются помехи: переходное влияние пар на ближнем конце (NEXT)/ переходное влияние пар кабеля на дальнем конце (FEXT) и импульсные помехи. Подробное рассмотрение параметров NEXT и FEXT выходит за рамки данного курса. Импульсные помехи вызываются электромагнитными наводками от множества источников (например, АТС). Кроме того, при передаче сигнала в одном и том же частотном спектре в обе стороны возникает необходимость эхоподавления (self-NEXT). Различные виды DSL хуже или лучше справляются с различными видами всех этих "несчастий".

Для надежной работы в тяжелых условиях с большими значениями NEXT, FEXT и эхоподавлением разработаны ISDN (RRD зона) и HDSL (CSA зона).

Если исходящий и входящий сигнал в xDSL-линии формировать в разных частотных спектрах (нисходящий и восходящий поток, асимметричная передача), то можно работать в среде, ограниченной только FEXT. Это реализовано в технологиях ADSL, VDSL, HDSL2.

Используется термин — FEXT-ограниченный DSL. Но FEXT-ограниченные DSL-системы подвержены действию импульсных помех больше, чем NEXT-ограниченные виды DSL. При этом смесь наводок может создать шум в достаточно широком диапазоне частот и сильно ухудшить работу DSL-систем основывающихся на несимметричных частотных планах. Такая проблема возникает в ADSL, VDSL, но не бывает в ISDN и HDSL-системах.

Из-за различных диапазонов частот, в которых работают различные виды DSL, возможности менять частоты в процессе работы (адаптивный DSL) во избежание шумов и эхо-наводок (self-NEXT), возникает очень трудный вопрос совместимости DSL-технологий в одном кабеле. Подробно мы не будем его обсуждать, но, согласно спецификациям, устройства ADSL и RADSL совместимы с устройствами HDSL, ISDN и другими ADSL но несовместимы с T1.

Новые виды DSL (ADSL2+ и VDSL2) призваны решить проблему передачи видео. При разработке технологий исходили из необходимости высокой скорости нисходящего потока (из сети к пользователю) и относительно невысокой скорости восходящего потока (от пользователя в сеть).

В соответствии со стандартом G.992.5 технология ADSL2+ использует спектр частот до 2,2 МГц, дискретную многоканальную модуляцию DMT с 512-ю подканалами, QAM-кодирование, треллис-кодирование и мультиплексирование сигналов множества спектров частот для восходящих и нисходящих потоков. Период передачи одного символа составляет 250 мкс то есть скорость передачи символов в каждом частотном подканале равна 4000 символов в секунду. Обязательная скорость передачи Downstream/Upstream составляет 8/0,8 Мбит/с, достижимая скорость передачи Downstream/Upstream составляет 24,5/1,5 Мбит/с.

Технология VDSL2 на части последней мили (за 2 км от пользователя) предполагает использование в качестве кабельной системы оптоволокну и вынесенный оператором в эту точку DSLAM (DSL-мультиплексор). Он устанавливается, чтобы "дотянуться" до этого места последней мили при помощи старого кабеля. Поэтому на расстояниях до 2,4 км VDSL2 дает скорость соответствующую оптоволокну - 100 Мбит/с симметрично.

Стандарты

Для ISDN разработаны стандарты ИТУ-Т серии I. Свойства xDSL определяются стандартами ИТУ-Т серии G - системы и среды передачи для цифровых сетей. Так новые виды VDSL2 и ADSL2+ определяются стандартами G.992.5, G.992.3, G.992.4.

Спецификации физического уровня модели OSI

Рассмотрим спецификации физического уровня OSI. Соединение DTE (оконечное оборудование передачи данных) и DCE (аппаратура передачи данных, каналобразующая аппаратура) требует интерфейсного кабеля, коннекторов и входных и выходных микросхем в этих устройствах. Для реализации данного интерфейса разработана целая серия стандартов.

Самые известные из них - стандарты RS232c, RS-449, RS-530.

На примере RS232c рассмотрим функции стандартов физического уровня. Стандарты физического уровня описывают:

- *Механические характеристики:* характеристики кабеля и характеристики разъемов. Так, по стандарту RS 232 для механического соединения DTE с DCE используется медный кабель с 25—контактным разъемом, соответствующим международному стандарту ISO 2110. Американский аналог этого стандарта называется EIA RS-232c. Разъем предназначен для работы по аналоговой линии, допустимая скорость передачи до 115 Кбит/с. Существует также его 9-контактный аналог. Длина интерфейсного кабеля составляет максимум 15 м.
- *Функции пинов (контактов разъема).*

Основные сигналы интерфейса RS-232c перечислены в таблице 2. В ней же показаны соответствующие функции пинов (цепей) интерфейса ITU-T V.24.

Таблица 2. Функциональный интерфейс V.24

№ цепи по V.24	№ пина	Функции цепей
	1	Защитное заземление (корпус)
102	7	Сигнальное заземление SG
103	2	Передача данных TD
104	3	Прием данных RD
105	4	Запрос на передачу RTS
106	5	Готовность к передаче CTS (clear to send)
107	6	Готовность DCE DSR (data set ready)
108.2	20	Готовность DTE DTR (data terminal ready)
109	8	Обнаружение несущей CAR DET
113	24	Синхронизация элементов передаваемого сигнала T_CLK (синхронизация от DTE)
114	15	Синхронизация элементов передаваемого сигнала T_CLK (синхронизация от DCE)
115	17	Синхронизация элементов принимаемого сигнала R_CLK

- *Электрические характеристики*

Определяют, как передаются цифровые сигналы.

"0" - передается напряжением (+3 В) – (+12 В).

"1" - передается напряжением (-3 В) – (-12 В).

Интерфейс RS-232c использует несимметричные электрические цепи то есть уровень напряжения определяется приемником, исходя из разности потенциалов между сигнальной цепью и сигнальной землей Электрические характеристики несимметричных цепей интерфейса отвечают рекомендации ITU-T V.28.

- *Процедурные характеристики* (процедуры для различных приложений). Они определяют действия DTE или DCE в ответ на приходящие на них сигналы. Например, процедура «handshaking» -рукопожатие.

Процедура рукопожатия заключается в следующем. При включении передающего устройства подается питание на двадцатый пин, на пине 6 приемного устройства устанавливается сигнал готовности. Тогда с четвертого пина подается сигнал готовности передавать. На 5 пине приемного устройства устанавливается сигнал готовности принимать информацию, после чего устройство передачи со второго пина начинает передачу.

Если требуется соединить два устройства типа DTE, используется кабель NULL-модем (нуль-модемный кабель). Он соединяет пины разъемов друг с другом (кроссирует пины).

Такие кабели были описаны в первой части учебного пособия (патчкорды). Следует заметить, что на нуль-модемные кабели нет стандартов, они определяются рекомендациями конкретных производителей.

Другие физические интерфейсы.

К интерфейсам физического уровня относятся:

- стандарты ITU-T серии V (например, V.35);
- часть стандартов серии X (например, X.21);
- цифровые интерфейсы передачи потоков T1 и E1 соответственно со скоростью 1,5 Мбит/с и 2 Мбит/с, которые используют импульсно-кодировую модуляцию и временное мультиплексирование, например, G.703;
- протокол первого уровня xDSL, хотя в стандарты для ADSL2 и VDSL2 введены протоколы третьего (сетевого) уровня;
- SONET – стандарт для передачи по оптоволокну со скоростями до 10 Гбит/с, о котором мы будем говорить ниже.

Канальный уровень модели OSI. IEEE 802.2 LLC

Для осуществления высокоскоростной передачи данных может быть использовано множество протоколов. В последнее время в связи с развитием микросхемных решений наблюдается тенденция использования в крупных территориальных сетях протоколов, созданных в свое время для локальных сетей.

Например, технологии на основе Ethernet используются для организации городских сетей (MAN). Принципы построения такой сети внешне просты и доступны пользователю, а

высокотехнологичную аппаратную часть и кабельную систему, за счет которых и достигается высокая скорость передачи, пользователь просто не видит.

Поэтому в последующих главах будут рассмотрены именно эти решения. Все они базируются на решениях IEEE для первого (физического) и второго (канального) уровней OSI. Рассмотрим эти решения подробнее.

Функции IEEE

Высокоскоростная передача данных развивалась вместе с развитием компьютерной техники и соответствующих компьютерных сетей. С 1980 г. стандартизацией в этой области занимается IEEE. Отдельное подразделение IEEE (комитет Computer Society's Project 802), Комитет 802 по стандартизации локальных сетей разработал целую серию необходимых стандартов, принятых позже ANSI и ISO (протоколы ISO 8802). Например:

- *стандарт 802.3* описывает сеть с множественным доступом с опознаванием несущей и обнаружением конфликтов (Carrier sense multiple access with collision detection - CSMA/CD), прототипом которого является метод доступа стандарта Ethernet;
- *стандарт 802.5* описывает сеть с маркерным методом доступа к кольцу (Token ring network), прототип -Token Ring.

Для каждого из этих стандартов определены спецификации физического уровня, определяющие среду передачи данных (коаксиальный кабель, витая пара или оптоволоконный кабель), ее параметры, а также методы кодирования информации для передачи по данной среде.

IEEE 802.2

Для того чтобы яснее разграничить функции, выполняемые на втором уровне протоколов OSI, канальный уровень был разделен на две части:

- MAC-подуровень, подуровень управления доступом к среде передачи данных (Media Access Control, MAC);
- LLC-подуровень, подуровень определяющий контроль соединения и контроль ошибок, то есть управление логическим каналом передачи данных (Logical Link Control, LLC).

Функции MAC и LLC подуровней реализуются аппаратно.

MAC - подуровень появился из-за существования в сетях разделяемой среды передачи

данных. Он обеспечивает корректное совместное использование общей среды, предоставляя ее в соответствии с определенным алгоритмом в распоряжение того или иного узла сети.

После того как доступ к среде получен, подуровень LLC организует передачу фреймов (кадров) данных с контролем логического соединения и контролем ошибок соединения.

В современных сетях получили распространение множество стандартов MAC- подуровня, реализующие различные методы доступа к среде передачи. Эти стандарты полностью определяют специфику таких технологий как Ethernet, Token Ring, FDDI.

Стандарты LLC – подуровня (IEEE 802.2) одинаковы для всех видов методов доступа в канал и различных устройств физического уровня.

Приведем таблицу сопоставления уровней OSI и стандартов IEEE.

Таблица 3. Соответствие уровней OSI и стандартов IEEE

OSI	IEEE 802 модель	IEEE 802 стандарты			
Сетевой уровень (Network)		802.1 internetworking			
Канальный уровень (Data Link)	LLC	802.2			
	MAC	802.3 MAC (CSMA/CD)	802.4 MAC	802.5 MAC (Token Ring)	802.6 MAC
Физический уровень (Physical)	Physical	802.3	802.4	802.5	802.6

Формат фрейма (кадра) LLC

Так как для всех типов методов доступа в канал контроль соединения одинаков, то существует единый формат фрейма LLC (рис.2).

MAC header	DSAP address 1 байт	SSAP address 1 байт	Control 1 или 2 байта	Information	MAC CRC
Кадр LLC					

Рис. 2. Форма кадра LLC

Фрейм содержит четыре поля:

- указатель (адрес) процесса-получателя данных (Destination Service Access Point, DSAP);
- указатель (адрес) процесса-источника данных Source Service Access Point, SSAP);
- управляющее поле (Control) параметров процессов;
- информационное поле (Information) дополнительных параметров процессов.

По своему назначению все фреймы подуровня LLC (называемые в стандарте 802.2 протокольными блоками данных - Protocol Data Unit, PDU) подразделяются на три типа - информационные, управляющие и нумерованные:

- *Информационные кадры {Information}* предназначены для передачи информации в процедурах с установлением логического соединения и должны обязательно содержать поле информации.
- *Управляющие кадры {Control}* предназначены для передачи команд и ответов в процедурах с установлением логического соединения, в том числе запросов на повторную передачу искаженных информационных блоков.
- *Нумерованные кадры {Unnumbered}* предназначены для передачи команд и ответов в процедурах без установления логического соединения для идентификации и тестирования LLC-уровня, а в процедурах с установлением логического соединения - установления и разъединения логического соединения, а также информации об ошибках.

Итак, DSAP address и SSAP address - это адреса, по которым вызываются процессы сетевого уровня, получающие или отправляющие фрейм. Эти адреса специфицируются IEEE.

В одном байте, который занимает каждый адрес, 7 бит отводится непосредственно под адрес обрабатывающего процесса, а последний бит - под специальную информацию. В SSAP последний бит определяет тип информации, то есть указывает, запрос или ответ содержится в данном фрейме.

В DSAP этот бит определяет, является ли местом назначения кадра одно устройство или группа устройств.

Поле управления (один или два байта в зависимости от специфики процесса) используется для обозначения типа кадра данных -информационный, управляющий или нумерованный. Кроме этого, в этом поле указываются порядковые номера отправленных и успешно принятых кадров, если подуровень LLC работает по процедуре LLC2 с установлением соединения. Формат поля управления полностью совпадает с форматом поля управления кадра LAPB.

Информационное поле кадра LLC предназначено для передачи по сети дополнительной информации протоколов третьего уровня модели OSI - IP, IPX, AppleTalk, DECnet. В редких случаях информационное поле содержит данные прикладных протоколов, когда те не пользуются транспортными протоколами, а вкладывают свои сообщения непосредственно

в кадры канального уровня.

Поле данных может отсутствовать в управляющих кадрах и некоторых нумерованных кадрах.

MSA header и MAC CRC –заголовок MAC – подуровня и поле контроля ошибок MAC-подуровня.

Три типа процедур подуровня LLC. Классы сервиса

На подуровне LLC не осуществляется контроль четности или вычисление контрольной суммы (CRC). Это выполняется на MAC-подуровне. Подуровень LLC осуществляет управление передачей между двумя взаимодействующими устройствами (flow control) и контроль соединения в случае ошибки (error recovery). Управление передачей контролирует скорость передачи и способы передачи информации, для того чтобы принимающее устройство не «задохнулось» от обилия информации приходящей от другого устройства (переполнение приемного буфера) контроль соединения обеспечивает восстановление соединения в случае его потери например, переустановка соединения, если оно было потеряно из-за шума. В сетях используют две основные техники передачи:

- с остановкой и ожиданием (stop-and-wait)
- и
- скользящее окно (sliding window).

В первом случае передающее устройство останавливается после передачи каждого кадра и ждет от принимающего устройства подтверждения (квитанции) об успешном получении для продолжения передачи. Во втором случае остановка произойдет после оговоренного количества отправленных кадров. Максимальное число неподтвержденных кадров, которое разрешается передать до остановки передающего устройства, называется размером окна или просто окном. При этом принимающее устройство может отправить групповую квитанцию - подтверждение нескольких PDU в одной квитанции.

В соответствии со стандартом 802.2 подуровень управления логическим каналом LLC предоставляет три типа сервиса контроля передачи:

- *LLC1* - сервис без установления соединения и без подтверждения о доставке (unacknowledged connectionless);
- *LLC2*- сервис с установлением соединения и подтверждением о доставке (connection-oriented); обычно используется технология скользящего окна (sliding

window);

- *LLC3* - сервис без установления соединения, но с подтверждением о доставке (acknowledged connectionless); используется технология stop-and-wait.

Этот набор процедур является общим для всех методов доступа к среде.

Сервис без установления соединения и без подтверждения о доставке *LLC1* дает пользователю средства для передачи данных с минимумом издержек. Поскольку современные кабельные системы обеспечивают надежную передачу данных, то этот сервис является наиболее используемым.

Сервис с установлением соединений и с подтверждением *LLC2* дает пользователю возможность установить логическое соединение перед началом передачи. В этом случае возможно контролировать скорость передачи или выполнить процедуры восстановления при обнаружении ошибок. *LLC2* применяется практически во всех операционных системах. Впервые его применила компания IBM в стеке протоколов SNA.

В некоторых ситуациях (например, при использовании сетей в системах реального времени, управляющих промышленными объектами) временные издержки установления логического соединения перед отправкой данных неприемлемы, а подтверждение корректности приема переданных данных необходимо. Тогда применяется сервис без установления соединения, но с подтверждением - *LLC3*.

Каждое сетевое устройство может поддерживать не один тип перечисленных выше сервисов, а их совокупность. Такая совокупность типов сервисов называется классом сервиса LLC. Класс 1 - устройство поддерживает сервис типа *LLC1*. Класс 2 - устройство поддерживает сервисы типа *LLC1* и *LLC2*. Класс 3 - соответствует сервисам *LLC1* и *LLC3*. Класс 4 — соответствует всем типам сервисов.

IEEE 802.3. Технология Ethernet

Технология Ethernet была разработана в семидесятые годы корпорацией Xerox. Позднее разработка технологии велась совместно компаниями Xerox, DEC и Intel. На основе этих разработок IEEE утвердил стандарт 802.3, опубликованный в 1985 году. Данный стандарт предполагает целый стек технологий Ethernet, отличающихся реализацией протоколов физического уровня. При этом стандарт IEEE и конкретные реализации отличаются.

Устройства, реализующие протоколы физического уровня модели OSI, называют «РНУ» от термина «physical level». Это могут быть сетевые адаптеры рабочих станций,

сетевые адаптеры коммутаторов, маршрутизаторов или хабов. Как уже говорилось выше, все эти устройства на втором уровне протоколов OSI одинаково осуществляют управление передачей и контроль соединения - 802.2 LLC-подуровень. И все эти устройства реализуют один метод доступа в канал передачи данных - CSMA/CD.

Реализация доступа осуществляется контроллером сетевого адаптера. Поэтому сегодня под термином Ethernet понимают CSMA/CD-сети. Но кабельные системы, на которых реализуется Ethernet, различны и, следовательно, различны интерфейс физического уровня и управление им.

Сейчас существует 4 версии Ethernet в зависимости от типа PHY:

- 10 Base Ethernet; мало применяется сегодня, остался только в старых системах.
- 100 Base Ethernet (Fast Ethernet);
- 1000 Base Ethernet;
- 10G Base Ethernet.

Метод доступа в канал CSMA/CD

Как уже отмечалось выше, и стандарт IEEE, и реализации Ethernet используют метод доступа в канал CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection) - множественный доступ с прослушиванием несущей и обнаружением конфликтов (коллизий).

Согласно соревновательному принципу данного метода доступа каждое сетевое устройство может захватывать канал в любое время, что ведет к возникновению коллизий. Опишем этот метод доступа подробнее для сетей с шинной топологией кабельной системы.

Поскольку коллизия разрушает все передаваемые в момент ее образования фреймы (кадры), то станциям нет смысла продолжать дальнейшую передачу, коль скоро они (станции) обнаружили коллизию. Иначе потери времени были бы очень велики при передаче длинных кадров.

Поэтому для своевременного обнаружения коллизии станция прослушивает среду (контролирует передаваемый по шине сигнал) на всем протяжении собственной передачи. Приведем основные правила алгоритма CSMA/CD для передающей станции.

Станция, собравшаяся передавать, прослушивает среду и начинает передачу, если среда свободна. В противном случае, если среда занята, станция ожидает ее освобождения.

При передаче нескольких кадров подряд станция выдерживает определенную паузу между передачами - межкадровый интервал. Причем после каждой такой паузы перед

отправкой следующего кадра станция вновь прослушивает среду. Если среда занята, станция продолжает прослушивание до тех пор, пока среда не станет свободной, и затем сразу же начинает передачу.

Каждая станция, ведущая передачу, прослушивает среду, и в случае обнаружения коллизии, не прекращает сразу же передачу, а сначала передает короткий специальный сигнал коллизии - jam (пробка), информируя другие станции о коллизии, и затем прекращает передачу.

Jam - это определенный 32-48-битный пакет, который гарантирует, что обнаруженная коллизия будет длиться достаточно долго, чтобы быть обнаруженной всеми передающими станциями.

После передачи jam-сигнала станция замолкает и ждет некоторое произвольное время (случайное количество временных слотов) в соответствии с правилом бинарной экспоненциальной задержки и затем пытается снова начать передачу. Допустимое количество таких попыток равно 16. Если это число превышено, сетевой адаптер сообщит об ошибке и передаст проблему протоколам более высокого уровня.

Межкадровый интервал IFG (interframe gap) составляет 12 байт. С одной стороны, он необходим для того, чтобы принимающая станция могла корректно завершить прием кадра.

Кроме того, если бы станция передавала кадры непрерывно, она бы полностью захватила канал и тем самым лишила другие станции возможности передачи.

Передача jam-сигнала гарантирует, что ни один кадр не будет потерян, так как все узлы, которые передавали кадры до возникновения коллизии, приняв jam-сигнал, прервут свои передачи и замолкнут в преддверии новой попытки передать кадры. Jam-сигнал должен быть достаточной длины, чтобы он достиг самых удаленных станций коллизийного домена, с учетом дополнительной задержки SF (safety margin) на возможных хабах.

Содержание jam-сигнала не принципиально за исключением того, что оно не должно соответствовать значению поля CRC частично переданного кадра (802.3), и первые 62 бита должны представлять собой чередование единиц и нулей со стартовым битом «1».

Проиллюстрируем процесс обнаружения коллизии в сети с топологией «шина», построенной на основе тонкого или толстого коаксиального кабеля (стандарты 10Base2 и 10Base5 соответственно).

В момент времени t_0 узел А (DTE А) начинает передачу, естественно прослушивая свой же передаваемый сигнал. В момент времени t_1 , когда кадр почти достиг узла В (DTE В), этот узел, не зная о том, что по шине уже идет передача, сам начинает передавать. В момент

времени $t_2 = t_1 + A$, узел В обнаруживает коллизию (*увеличивается постоянная составляющая электрического сигнала в линии*). После этого узел В передает jam-сигнал и прекращает передачу. В момент времени t_3 сигнал коллизии доходит до узла А, после чего узел А также передает jam-сигнал и прекращает передачу.

По стандарту IEEE 802.3 узел не может передавать очень короткие фреймы длиной менее 64 байт. Фреймы должны быть достаточно длинными, чтобы успеть достичь наиболее удаленной станции и та отправила бы сигнал обнаружения коллизии передающей станции до окончания передачи последней кадра.

Если надо передать всего несколько байт, поле данных будет дополнено специальными символами (Pad) до общей минимальной длины фрейма 64 байт.

Временной слот (slot time, ST) - это минимальное время, в течение которого станция обязана вести передачу, занимать канал. Это время тесно связано с другим важным временным параметром сети - окном коллизий (*collision window*). Окно коллизий равно времени двукратного прохождения сигнала между самыми удаленными узлами сети, то есть наихудшему случаю задержки, при которой станция еще может обнаружить, что произошла коллизия.

Окно коллизий также именуется *задержкой на двойном пробеге RTD (round-trip delay)*. В общем случае, RTD определяет суммарную задержку, вносимую кабельной системой, сетевыми адаптерами и временем обработки кадров хабами или коммутаторами.

Временной слот выбирается равным величине окна коллизий плюс некоторая дополнительная величина задержки для гарантии:

Временной слот = окно коллизий + дополнительная задержка.

Длительность битового интервала, то есть время передачи одного бита для скорости 10Мбит/с составляет 0,1 мкс. Величина временного слота в стандарте 802.3 для шинной топологии определена равной 512 битам и была рассчитана для максимальной длины коаксиального кабеля равной 2,5 км. Величина 512 определяет минимальную длину кадра в 64 байта, так как при кадрах меньшей длины станция может закончить передачу кадра и не успеть заметить факт возникновения коллизии из-за того, что искаженные коллизией сигналы дойдут до нее после завершения передачи. Такой кадр будет просто потерян.

IEEE 802.3 стандарт физического уровня

На уровне стандартов физического уровня IEEE определил варианты, зависящие от типа кабельной системы. Топология кабельной системы в современных сетях Ethernet всегда «звезда». Кабель может быть UTP, STP, либо одномодовое или многомодовое оптоволокно. Среда передачи определяет метод кодирования сигнала, скорость передачи данных и скорость передачи символов. Ниже приведена сводная таблица характеристик сетей Ethernet (табл. 4).

Форматы фреймов Ethernet

Стандарт Ethernet, описанный в документе 802.3, дает описание единственного формата фрейма MAC-подуровня. Фрейм MAC-подуровня должен вкладывать в себя (инкапсулировать) кадр подуровня LLC, описанный в документе 802.2. В промышленном варианте используются различные варианты фреймов MAC-подуровня.

Это связано с длительной историей развития технологии Ethernet до принятия стандартов IEEE 802. Большинство сетевых адаптеров рабочих станций, коммутаторов и маршрутизаторов умеет работать со всеми используемыми на практике форматами фреймов.

Таблица 4. Характеристики сетей Ethernet

	10Base-T	100Base-TX, T4	100Base-FX	1000Base-X	1000Base-T	10G-Base	10G-Base
Формат кадра Frame format	802.3	802.3	802.3	802.3	802.3	802.3	802.3
Метод доступа	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD
Flow control 802.2 LLC	802.3x	802.3x	802.3X	802.3x	802.3x	802.3x	802.3x
Скорость передачи информации Data rate*	10 Мбит/с	100 Мбит/с	100 Мбит/с	1000 Мбит/с	1000 Мбит/с	10 Гбит/с	10 Гбит/с
Скорость передачи двоичных символов Symbol rate**	20 Мбит/с	125 Мбит/с	125 Мбит/с	1250 Мбит/с	1250 Мбит/с	11,2 Гбит/с	11,2 Гбит/с
Вид кодирования	Manchester	MLT-3 и 4В/5В (дляТХ); 8В/6Т (дляТ4)	NRZI и 4В/5В	NRZIh 8В/10В	PAM5	NRZI и 64/66В	PAM 16
Топология Topology	STAR	STAR	STAR	STAR	STAR	STAR	STAR
Среда передачи Media	Витая пара UTP, STP Две пары	UTP Две пары или четыре пары	Оптоволокно MM (мульти-мод) 62,5/125 мкм 50/125 мкм	Оптоволокно-MM и SM (синглмод) 62.5/125 и 50/125 мкм, 9/125 мкм	UTP Четыре пары	Оптоволокно - мультимод и синглмод 62.5/125 и 50/125 мкм; 9/125 мкм	FUTP, STP, SFTP Четыре пары

* Скорость передачи полезной информации

** Фактическая скорость передачи сигнала в сети (бодовая скорость, тактовая частота)

Формат IEEE 802.3

Преамбула 7 Байт	SFD 1 Байт	Destination Address 6 Байт	Source Address 6 байт	Length Длина 2 Байта	802.2 заголовок и данные 46-1500 Байт	FCS 4 Байта
---------------------	---------------	----------------------------------	-----------------------------	----------------------------	--	----------------

Формат Ethernet II

Преамбула 8 Байт	Destination Address 6 Байт	Source Address 6 байт	Type Тип 2 Байта	802.2 заголовок и данные 46-1500 Байт	FCS 4 Байта
---------------------	----------------------------------	-----------------------------	------------------------	---	----------------

Рис. 3 Формат кадра Ethernet

- Поля имеют следующие назначения:
- *Поле преамбулы* состоит из семи байтов (IEEE 802.3). Каждый байт преамбулы содержит одну и ту же последовательность битов - 10101010. Преамбула используется для того, чтобы дать время и возможность принимающим сетевым устройствам синхронизировать свои тактовые генераторы (часы) с принимаемыми тактовыми сигналами.
- *Начальный ограничитель кадра SFD* состоит из одного байта с набором битов 10101011.
- Появление этой комбинации является указанием на начало фрейма.
- *Адрес получателя (Destination Address, DA)* - указывает физический адрес станции (MAC-адрес получателя, адрес ноды (node), для которой предназначен фрейм. Обычно имеет длину 6 байт. Это может быть одна станция (адрес индивидуальный - unicast), несколько станций (multicast) и множество станций (широковещательный адрес- broadcast).
- *Адрес отправителя (Source Address, SA)* - 6- байтовое поле, содержащее MAC-адрес станции-отправителя. Физические адреса станций в сетях ведутся IEEE. В первых трех байтах адреса содержится код производителя, определяемый IEEE. В остальных трех байтах - адрес устройства (прошит на адаптере или содержится во флэш-памяти), который задает производитель оборудования.
- *Поле типа кадра (Type) или длины кадра (Length)* имеет длину 2 байта.

Для кадра Ethernet_II в этом поле содержится информация о типе кадра. Значения этого поля в шестнадцатеричной системе для некоторых распространенных сетевых протоколов: 0x0800 - для IP, 0x0806 - для ARP, 0x0809B - для AppleTalk, 0x0600 - для XNS и 0x8137 - для

IPX/SPX.

Для кадра IEEE 802.3 в этом поле содержится выраженный в байтах размер поля данных. Если это число приводит к общей длине кадра меньшей, чем 64 байта, то к полю данных добавляется поле Pad.

Для протокола более высокого уровня не возникает путаницы с определением типа кадра, так как для кадра IEEE 802.3 значение этого поля не может быть больше 1500 (0x05DC). Поэтому в одной сети могут свободно сосуществовать оба формата кадров, более того один сетевой адаптер может взаимодействовать с обоими типами посредством стека протоколов.

- *Поле данных (LLC Data)* может содержать от 46 до 1500 байт. Оно содержит заголовок фрейма IEEE 802.2 (LLC фрейм) и данные.

В зависимости от значений первых нескольких байт поля данных, различными операционными системами и протоколами третьего уровня могут быть организованы дополнительные форматы фреймов Ethernet для определенных целей:

Ethernet_802.3 (в настоящее время устаревающий формат, используемый операционной системой Novell Netware) - первые два байта LLC Data равны 0xFFFF;

EthernetJSNAP (стандартный IEEE 802.2 SNAP формат, которому отдается наибольшее предпочтение в современных сетях, стек протоколов TCP/IP) - первый байт LLC Data равен 0xAA;

Ethernet_802.2 (стандартный IEEE 802.2 формат, Novell NetWare 4.0) - первый байт LLC Data не равен ни 0xFF (11111111), ни 0xAA (10101010).

- *Поле Pad (наполнитель)*- заполняется только в том случае, если поле данных невелико с целью удлинения длины фрейма до минимального размера в 64 байта. Как уже отмечалось, это обеспечивает корректную работу механизма обнаружения коллизий.
- *Поле контрольной суммы FCS (frame check sequence)* длиной 4 байта содержит значение, которое вычисляется по определенному алгоритму в процессе кодирования содержимого кадра помехоустойчивым циклическим кодом с образующим полиномом 32-й степени. После получения кадра принимающая станция выполняет собственное вычисление контрольной суммы для этого кадра, сравнивает полученное значение с принятым значением поля контрольной суммы и, таким образом, определяет, не искажен ли полученный кадр. Контрольная сумма вычисляется по всем полям кадра за исключением преамбулы, SDF и FCS.

100 Base Ethernet или Fast Ethernet

Основная идея Fast Ethernet (быстрого Ethernet) заключается в том, чтобы оставить без изменений формат кадров Ethernet, процедуры и лишь уменьшить битовый интервал со 100 нс (0,1 мкс) до 10 нс. 100-мегабитный Ethernet (100Base Ethernet, Fast Ethernet) использует абсолютно тот же формат кадра, метод доступа в канал CSMA/CD, топологию «звезда» и контроль соединения (LLC ~ подуровень), что и стандарт IEEE 802.3 (10BaseT Ethernet).

Принципиальная разница заключена на физическом уровне OSI - в реализации устройств РНУ. Реально физическое устройство РНУ ~ это чип на сетевом адаптере или на отдельном трансивере. Подробно мы их обсудим далее.

С появлением быстрого Ethernet сети Ethernet становятся не только разделяемыми (shared), но и коммутируемыми. Сердцем такой системы является коммутатор, содержащий высокоскоростную шину, организующую пересылку фреймов между портами. Средой передачи данных стала не только медь, но и оптоволокно. Кроме того, появились средства управления трафиком - протоколы IEEE 802.1.

Существуют три основных версии Fast Ethernet: 100 Base-TX, 100 Base-T4 и 100 Base-FX. Все версии обладают одинаковой скоростью передачи -100 Мбит/с, но используют разную среду передачи (табл. 5).

Возможность использования для организации быстрого Ethernet витой пары категории 3 означает *возможность не перекладывать кабель* во всем здании при модернизации сети.

Это было очень существенно для многих компаний в 1995 году, когда был принят стандарт на такие сети. Технология стомегабитного Ethernet описывается стандартом IEEE 802.3u, который является просто добавлением к стандарту IEEE 802.3.

Канальный уровень

Подуровень LLC является интерфейсом между MAC-подуровнем и сетевым уровнем модели **OSI**. Как уже говорилось выше, он не изменился с появлением Fast Ethernet.

Подуровень MAC соответствует стандарту 802.3, метод доступа в канал - CSMA/CD, метод контроля ошибок - кодирование циклическим кодом (CRC) и посылка пробки, временной слот - 512 бит, длина фрейма 64-1518 байт, формат фрейма описан в предыдущей главе.

Физический уровень

Протоколы и устройства физического уровня определяют, каким образом данные передаются физической средой (например, кабельной системой) и гарантируют, что данные правильно представляются для MAC-подуровня и для самой среды во время передачи.

На рис. 4. приведено сравнение стандартов 802.3u и 802.3.

На рис. 5 представлен состав подуровней канального и физического уровня Fast Ethernet.

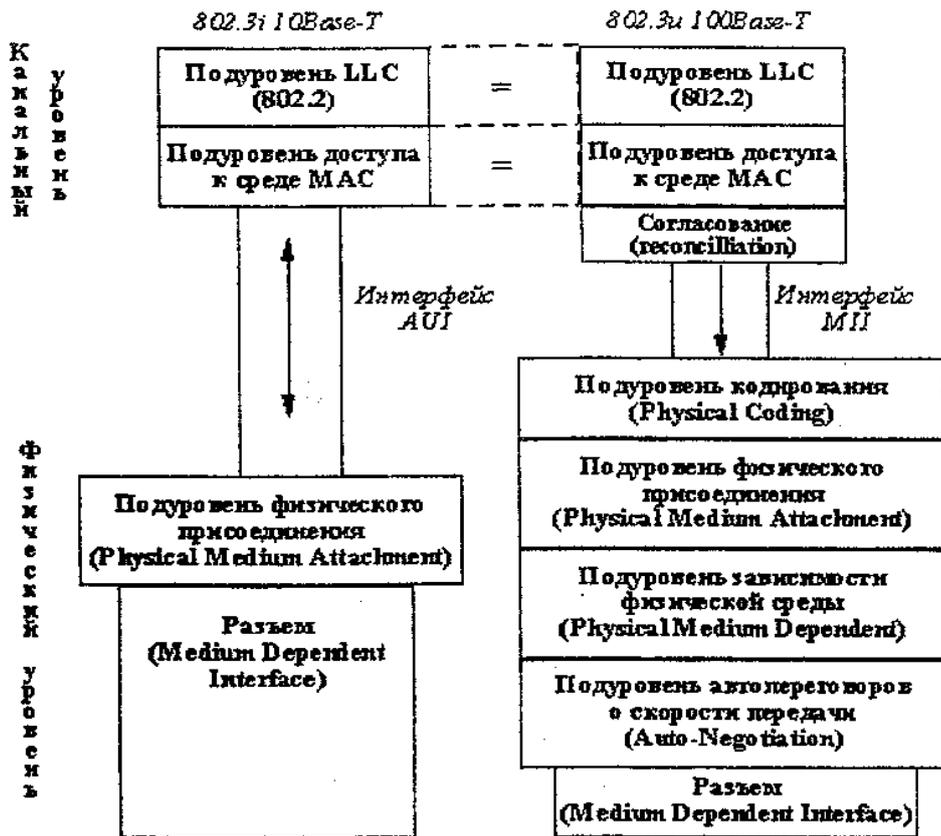


Рис. 4. Сравнение стандартов 802.3 и 802.3u

Канальный уровень. LLC-подуровень		
Канальный уровень. MAC-подуровень		
Физический уровень. Reconciliation-подуровень согласования		
Физический уровень. МП-подуровень независимого от среды передачи интерфейса.		
PHY-FX	PHY-TX	PHY-T4

Рис. 5. Физический уровень Fast Ethernet

Подуровень согласования Reconciliation необходим для согласования команд между MAC-подуровнем и подуровнем независимого от среды интерфейса МП. Он определяет логические, электрические и механические характеристики для взаимодействия CSMA/CD-контроллера (канальный уровень) и различных физических сред. Подуровень согласования переводит сигналы независимого интерфейса в сигналы PHY спецификаций IEEE 802.3.

Подуровень интерфейса МП

Подуровень интерфейса МП поддерживает независимый от используемой физической среды способ обмена данными между MAC – подуровнем и подуровнем PHY. Передача данных осуществляется по шине шириной 4 бита с тремя контрольными сигналами. Два специальных сигнала используются, чтобы определить существование несущей и существование коллизии.

Для управления передачей по интерфейсу используются управляющие параметры – два сигнала управления и регистры состояния и контроля. Пользователь не видит специальных коннекторов МП, они находятся на сетевом адаптере, и МП просто связывает чип MAC и чип PHY.

Производители аппаратуры обычно помещают управляющий интерфейс станции непосредственно на чип MAC. Приведем примеры реализации аппаратуры.

Существуют два варианта реализации интерфейса МП: внутренний и внешний.

При внутреннем варианте микросхема, реализующая подуровня MAC и Reconciliation, с помощью интерфейса МП соединяется с микросхемой PHY на плате сетевого адаптера рабочей станции (рис. 6).

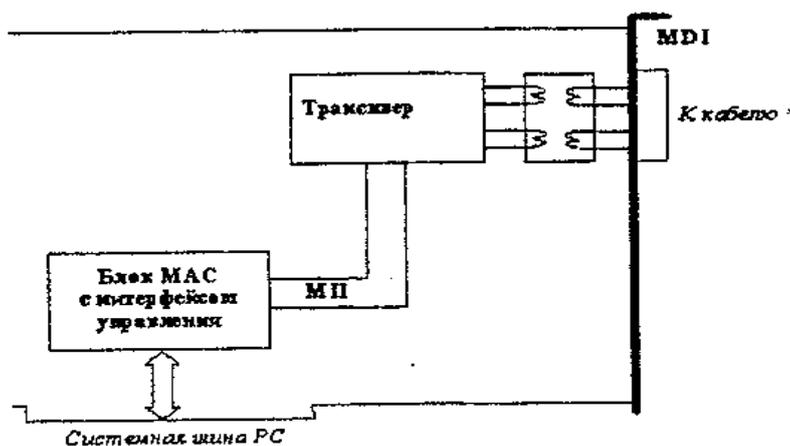


Рис. 6. Сетевой адаптер с внутренним интерфейсом МII

Внешний вариант (рис.7) соответствует случаю, когда РНУ (трансивер) вынесен в отдельное устройство и соединен кабелем МII через разъем МII с микросхемой МАС-подуровня.

Этот вариант реализуется в маршрутизаторах. Разъем МII в отличие от разъема АUI (10 Base Ethernet) имеет 40 пинов, максимальная длина кабеля МII составляет 1 метр. Сигналы, передаваемые через интерфейс МII, имеют амплитуду 5В.

Интерфейс МII используется не только для связи РНУ с МАС, но и для соединения устройств РНУ с микросхемой повторения сигналов в хабе, где не используется МАС – контроллер.

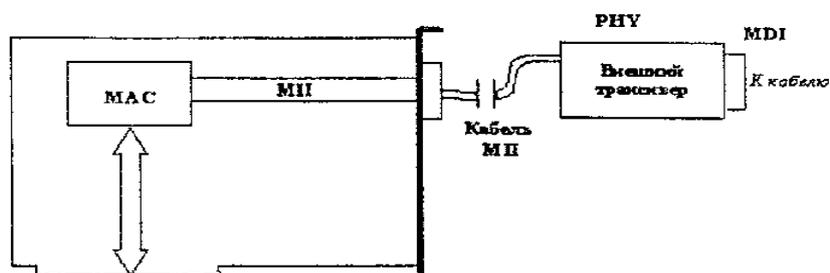


Рис. 7. Использование внешнего трансивера с интерфейсом МII.

Передача данных по МII

МII использует 4-битную шину для передачи данных от МАС к РНУ и от РНУ к МАС. Канал передачи синхронизируется тактовым сигналом (часы), генерируемым устройством РНУ, а разрешается передача сигналом «Передача» или «Прием», генерируемым МАС-контроллером.

Определение ошибок МП

Если устройство *PHY* обнаружило ошибку в состоянии физической среды, то оно может передать сообщение об этом на подуровень MAC в виде сигнала «Ошибка приема» (receive error). MAC-контроллер сообщает об ошибке устройству *PHY* с помощью сигнала «Ошибка передачи» (transmit error).

МП управление

Управление в МП предназначено для передачи информации от MAC к *PHY* о состоянии регистров состояния и контроля. Данные о конфигурации и состоянии порта хранятся соответственно в двух регистрах: регистре контроля (Control Register) и регистре состояния (Status Register).

Регистр контроля используется для установки скорости передачи по порту, установке диагностического режима и типе передачи порта - полудуплексный или дуплексный и т.п.

Регистр статуса содержит информацию о текущей активности соединения (порта) и возможности работы порта в различных режимах:

100Base-T4;

100Base-TX, дуплексная передача;

100Base-TX, полудуплексная передача;

10 Мбит/с, дуплексная передача;

10 Мбит/с, полудуплексная передача;

Устройства подуровня PHY

Эти устройства обеспечивают кодирование данных, поступающих от MAC- подуровня для передачи их по кабелю определенного типа, синхронизацию передаваемых данных, а также прием и декодирование данных. Они могут быть внешними (внешний трансивер) или внутренними (чип адаптера).

Быстрый Ethernet поддерживает три вида среды передачи, поэтому существуют и три вида PHY.

В таблице 5. приведены общие характеристики различных PHY Fast Ethernet.

Таблица 5. Общие характеристики устройств физического уровня (PHY) Fast Ethernet

Тип PHY	Тип среды	Авто-переговоры	Непрерывная передача сигнала	Тип кодирования сигнала	Полнодуплексный режим
FX	Оптоволокно мультимод	нет	да	4B5B	да
TX	Медь (UTP) 5 категория и выше (2 пары)	да	да	4B5B	да
T4	Медь (UTP) 3, 4, 5 категории (4 пары)	да	нет	8B6T	нет

По стандарту IEEE PHY имеет три подуровня: подуровень физического кодирования (PCS-physical coding sublayer), подуровень физического присоединения среды (PMA-physical medium attachment) и подуровень зависящего от среды интерфейса (PMD-physical dependent interface).

Все эти подуровни реализуются обычно на одном чипе - трансивере.

Устройства 100Base-FX

Спецификация *100 BaseFX* определяет работу протокола Fast Ethernet по многомодовому оптоволокну в дуплексном и полудуплексном режиме. Между спецификациями *100 Base FX* и *100 Base TX* есть много общего, поэтому общие для двух спецификаций свойства будут даваться под обобщенным названием *PHYFX/TX*.

PHY FX/TX использует непрерывную схему передачи. То есть, всегда ведется передача холостых сигналов. Начало передачи данных определяется по SFD (см. предыдущую главу), а конец по EFD (следует за последним байтом CRS). После EFD PHY начнет опять посылать холостые сигналы. Непрерывная передача позволяет постоянно отслеживать целостность соединения.

В спецификациях *PHY FX/TX* PCS использует метод логического кодирования 4B/5B в сочетании с *NRZI (PHYFX)* или *MLT-3 (PHYTX)*. Использование избыточного кодирования вынуждает передавать биты результирующего кода 4B/5B со скоростью 125 Мбит/с, то есть, время передачи одного бита (битовый интервал) в устройстве *PHY* составляет 8 наносекунд.

Так как из 32 возможных комбинаций 5-битных слов для передачи данных нужно

только 16, то остальные 16 комбинаций возможно использовать для передачи управляющей информации.

После преобразования исходных 4-битовых комбинаций в 5-битовые слова PCS представляет их в виде оптических или электрических сигналов в кабеле, соединяющем узлы сети. *PHY FX* и *PHY TX* используют для этого методы физического кодирования - *NRZI* и *MLT-3* соответственно. Эти методы определены в стандарте FDDI для передачи сигналов по оптоволокну (спецификация ANSI FDDI PMD) и витой паре (спецификация TP-PMD).

В качестве коннекторов PMD 100Base-FX (эту часть PMD называют MDI) используются SC, ST и MIC.

Устройства 100Base-TX

Кроме использования метода кодирования *MLT-3*, спецификация *PHY TX* отличается от спецификации *PHY FX* тем, что PCS использует скремблирование передаваемой двоичной последовательности (пара скремблер-дескремблер, *scrambler/descrambler*), как это определено в спецификации ANSI TP-PMD для обеспечения приблизительно равновероятной статистики единиц и нулей сигнала и отсутствия постоянной составляющей.

Подуровень PMD (иногда называют TP-PMD) включает разъемы RJ-45 и обеспечивает функцию автопереговоров (*auto-negotiation*). Эта функция позволяет двум взаимодействующим устройствам согласовать скорость и виды операций, которые оба устройства могут выполнять, и исключить виды операций, которые устройства не разделяют.

Устройства 100 Base T4

Спецификация *PHY T4* была разработана, чтобы обеспечить возможность использования для 100-мегабитного Ethernet витой пары UTP категории 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 4В/5В в этой спецификации используется кодирование 8В/6Т. Каждые 8 бит информации MAC-уровня кодируются 6-ю троичными символами (*ternary symbols*). Каждый троичный символ имеет длительность 40 наносекунд.

Группа из 6-ти троичных символов 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.

PHY T4 поддерживает функцию автопереговоров.

Подуровень Автопереговоров

Спецификации *PII T4* и *PHY T4* поддерживают функцию *Auto-negotiation*, с помощью которой два взаимодействующих устройства *PHY* могут автоматически согласовать скорость передачи.

Переговорный процесс происходит при включении питания устройства, но также может быть инициирован при помощи матобеспечения. Именно эта функция *PM* позволяет одновременно работать устройствам *10Base-T* и *100Base-TX* или *T4*.

Сетевой адаптер, который поддерживает только технологию *10 Base T*, каждые 16 мс посылает импульсы для проверки целостности линии, связывающей его с соседним узлом. При их обнаружении адаптер *100BaseTX (T4)* понимает, что партнер работает на скорости в 10 Мбит/с и тоже начинает на ней работать.

Адаптеры *100 Base-TX (T4)* посылают специальные пачки импульсов. Такие пачки носят название *Fast Link Pulse burst (FLP)*. При старте или рестарте адаптера (либо средствами драйвера адаптера), он посылает своему партнеру пачку импульсов *FLP* и 8-битное слово, содержащее приоритет передачи, соответствующий наибольшей скорости работы адаптера.

Если соседний адаптер поддерживает функцию *Auto-negotiation* и также может поддерживать предложенную скорость передачи, то он отвечает пачкой импульсов *FLP*, в которой подтверждает данный режим, и на этом переговоры заканчиваются.

Если же партнер может поддерживать менее скоростной (приоритетный) режим, то он указывает его в ответе и этот режим выбирается в качестве рабочего.

Таким образом, всегда выбирается наиболее возможная для двух адаптеров скорость передачи.

Дуплексный режим работы

100-мегабитный Ethernet был разработан для передачи в полнодуплексном режиме (*full duplex*). Но метод доступа *CSMA/CD* предполагает только полудуплексный режим. Поэтому

полнодуплексный режим организуется в высокоскоростных версиях Ethernet за счет коммутации.

Например, коммутатор одновременно получает данные от файл-сервера и передает данные рабочей станции. И в этом (и только в этом) смысле реализован полнодуплексный режим Ethernet, причем соответственно со скоростью 200 Мбит/с.

Контроль соединения

Быстрый Ethernet предполагает дополнительные функции коммутаторов для контроля соединения. При этом определяются процедуры управления буфером коммутатора, куда поступают принимаемые фреймы. Без этого механизма возможны ситуации переполнения буфера и потери фреймов Ethernet, что приведет к восстановлению информации медленными протоколами транспортного или прикладного уровней.

Обычно, при заполнении буфера коммутатора до определенного предела, устройство посылает передающему устройству сообщение о временном прекращении передачи (XOFF). При освобождении буфера посылается сообщение о возможности возобновить передачу (XON).

Как варианты реализации режима автопереговоров (автосогласования скорости), так и варианты реализации пол но дуплексного режима могут по-разному осуществляться производителями аппаратуры.

То есть каждый раз при работе с новым производителем следует разобраться в том, как они понимают эти проблемы.

1000 Base Ethernet

1000 Base Ethernet или Gigabit Ethernet, как и технология Fast Ethernet, использует тот же формат кадра, метод доступа CSMA/CD, топологию «звезда» и управление передачей и контроль соединения (LLC -подуровень), что и стандарт IEEE 802.3u и 10BaseT Ethernet.

Принципиальная разница технологий опять заключается в реализации физического уровня OSI - реализации устройств *PHY*, Для реализации трансиверов *PHY*, подключаемых к оптоволокну, использовались разработки IEEE 802.3 и ANSI X3T11 Fibre Channel.

В 1998 году был опубликован стандарт 802.3z для оптоволокну и 802.3ab для витой пары. Приведем модель IEEE для 1000 Base Ethernet, соответствующую первому и второму уровню модели OSI (рис.6).

Канальный уровень

Как уже говорилось выше, на канальном уровне изменений относительно стандарта 802.3u нет.

Физический уровень

На физическом уровне модели OSI организацией IEEE выделены, как и в 100-мегабитном Ethernet, подуровни:

- Reconciliation - подуровень согласования;
- GMII - подуровень независимого от среды передачи интерфейса;
- PHY — подуровень физического устройства. Подуровень *PHY*, в свою очередь, делится на три подуровня: PCS, PMA, PMD.

Как и в стандарте Fast Ethernet, в Gigabit Ethernet способ кодирования сигнала определяется средой передачи. Функцию кодирования выполняет подуровень кодирования *PCS*, вместо интерфейса *MII* реализован интерфейс *GMI*. Подуровень *PMD* по большей части реализован, как и в 100Base Ethernet, то есть, применяются разъемы RJ-45 для витой пары и разъемы ST, SC для оптоволокна, а вот реализации *PCS* и *PMA* отличаются от 100Base Ethernet.

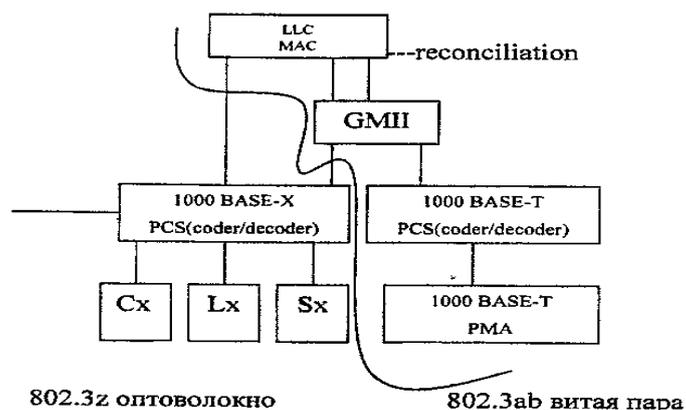


Рис. 8. Модель IEEE для стандарта 1000 Base Ethernet

GMII интерфейс

Независимый от среды интерфейс *GMI* (Gigabit Media Independent Interface) обеспечивает взаимодействие между подуровнем MAC и физическим уровнем. *GMII* интерфейс является расширением интерфейса *Mil* и может поддерживать скорости 10, 100 и 1000 Мбит/с.

Через интерфейс *GMI* передается сигнал, обеспечивающий синхронизацию (clock

signal), два сигнала состояния линии (один указывает наличие несущей, а другой указывает на отсутствие коллизий), несколько других управляющих сигналов и обеспечивается питание.

Устройства физического уровня 1000 Base X

В зависимости от реализации подуровня PMD (среды передачи) выделяют три типа реализации 1000 Base X Ethernet, основные характеристики которых приведены ниже:

- 1000 Base SX определяется использованием светодиодов с допустимой длиной волны в 850 нм и 1300 нм для передачи сигнала по многомодовому оптоволокну 62,5/125 или 50/125 мкм. В зависимости от характеристик оптоволокну ограничение по расстоянию будет до 500 м.
- 1000 Base LX определяется использованием лазеров с допустимой длиной волны в пределах диапазона 1270-1355 нм. Передача сигнала осуществляется по одномодовому оптоволокну 9/125 мкм. Ограничение по расстоянию - 5км.
- 1000 Base CX определяется использованием специальной экранированной витой пары с DB-9 разъемом (не такая, как разработанная IBM экранированная витая пара Type I или Type II). Максимальное расстояние 25м. Используется сейчас крайне редко в системах централизованного хранения данных. И поэтому мы не будем подробно описывать стандарт 1000 Base CX.

Стандарты 1000 Base X основываются на стандарте Fibre Channel.

Fibre Channel - это технология взаимодействия устройств хранения и процессора компьютера по оптоволокну. Fibre Channel имеет 4-уровневую архитектуру. Два нижних уровня FC-0 (коннекторы и среда передачи) и FC-1 (кодирование/декодирование) перенесены в Gigabit Ethernet в качестве PMA и PMD устройств.

Устройство PCS кодирует сигнал методом 8B/10B+NRZI, что дает преобразование 8 информационных бит в 10-битные слова, с добавлением символов для синхронизации и контроля за ошибками. При этом Fibre Channel передает сигнал со скоростью 1,062 гигабод, а Ethernet -со скоростью 1,25 гигабод.

Устройства физического уровня 1000Base T

1000 Base T - это стандартный интерфейс Gigabit Ethernet для передачи по неэкранированной витой паре категории 5е и выше на расстояния до 100 метров. Для передачи используются все четыре пары медного кабеля, скорость передачи по одной паре 250 Мбит/с. При этом данные по каждой паре могут передаваться одновременно в двух направлениях (dual duplex).

Технически реализовать дуплексную передачу информации со скоростью 1 Гбит/с по витой паре UTP категории 5е оказалось довольно сложно, значительно сложнее, чем в стандарте *100Base IX*. Переходное влияние на ближнем и дальнем конце от трех соседних витых пар на данную пару в кабеле потребовало разработки специальной скремблированной, помехоустойчивой передачи и интеллектуального распознавания и восстановления сигнала на приеме.

В стандарте утверждена модуляция PAM-5 в качестве метода физического кодирования.

Кабель UTP категории 5е стандартизован на частотах до 100 МГц, то есть обеспечивает передачу сигнала со скоростью 125 МБод, так как основная частота сигнала не превышает 62,5 МГц. Скорость передачи данных по одной витой паре составляет 250 Мбит/с.

Передача происходит по всем четырем парам со скоростью 1000 Мбит/с.

Управление

Вопросы управления в Gigabit Ethernet решаются согласно протоколам 802.1. Реализуются протоколы управления при помощи средств операционных систем сетевого оборудования на третьем уровне модели OSI и выше.

10G Base Ethernet

10G Base Ethernet, как и 100 Base и 1000 Base Ethernet, использует тот же формат кадра, управление доступом в канал (MAC-подуровень), управление соединением (LLC-подуровень), что и стандарт IEEE 802.3. Принципиальная разница опять заключается в физическом уровне -реализации устройств *PHY*.

Существуют 2 версии 10-гигабитного Ethernet в зависимости от среды передачи:

- витая пара - стандарт *10G Base T*;

- оптоволокно - стандарт *10G Base E (10 GbE)*.

Канальный уровень

На канальном уровне изменений относительно 802.3и нет.

Физический уровень

На физическом уровне протоколов OSI выделены подуровни:

- *Reconcilliation* — подуровень согласования;
- *XGMII/XAU1* - подуровень независимого от среды передачи интерфейса между MAC и *PHY*(*Reconcilliation-PCS*);
- *PHY*- подуровень физического устройства.

Подуровень согласования и подуровень независимого от среды интерфейса несут те же функции, что и в *100 Base Ethernet*.

XGMII- это 74-битный интерфейс с 32-битной шиной для приема и 32-битной шиной для передачи между MAC и *PHY*. Но сейчас внедрен новый усовершенствованный интерфейс *XAU1*, прообраз которого применялся еще в некоторых устройствах *1000 BaseX*.

Для *10G Base Ethernet* он представляет собой 4-битную последовательную шину в 2,5 раза более высокоскоростную, чем для *1000 Base Ethernet*.

PHY, как и раньше, имеет три подуровня: *PCS*, *PMA*, *PMD*. Как и раньше, для оптоволоконной и витой пары реализация этих подуровней физического уровня модели OSI различна.

При этом на подуровне *PMD* используются разъемы, похожие на RJ-45, для витой пары и ST, SC - для оптоволоконной (но с другими методами склосов волокон).

10G Base E (10GbE)

В 2002 г. опубликован стандарт 802.3ae для оптоволоконной. Он разрабатывался с целью сделать *10GbE* протоколом для метросетей (MAN) и глобальных сетей (WAN).

В связи с этим IEEE 802.3ae определяет два вида *PHY*: *LAN PHY* и *WAN PHY*.

При этом не только увеличена скорость передачи до 10Гбит/с и расстояние до 40 км, но и развиты все средства управления 802.1, включая качество обслуживания (QoS), классы обслуживания (CoS), кэширование, балансирование нагрузки серверов, защита от несанкционированного доступа. Обсуждение функций управления выходит за рамки данного курса.

Поскольку протоколы TCP/IP (3-й и 4-й уровень модели OSI) позволяют передавать голос и видео, их передает и Ethernet без каких-либо модификаций.

Для того чтобы получить дешевые решения в качестве *WAN PHY*, не используются сложные PMD для оптических сетей (SONET/SDH), а используются простые Ethernet PMD.

Однако они имеют возможность на микросхемном уровне присоединять IP/Ethernet коммутаторы к мультиплексорам SONET/SDH.

Это позволило в Ethernet использовать для передачи данных по WAN-сетям возможности SONET/SDH на первом уровне протоколов OSI. SONET (Synchronous optical network, 1984 г.) - это первый стандарт физического уровня модели OSI передачи оптического сигнала в сетях. С 1988 года телекоммуникационные операторы применяют SONET при передаче голоса. Базовая скорость передачи - 51,8 Мбит/с.

Поток со скоростью 51,8 Мбит/с называют OC-1 (оптическая несущая-1). Максимальная скорость работы SONET с OC-192 составляет 9,5Гбит/с ($192 \cdot OC-1 = 9,5$ Гбит/с). По стандарту SONET регенерирующие устройства ставятся через каждые 25 км, сейчас возможны расстояния до 100 и даже 300 км без регенерирующих устройств.

Устройства *PHY* для LAN и WAN сетей используют одни и те же PMD и PMA решения и отличаются на уровне PCS. Для совместимости с существующими оптоволоконными сетями *WAN PHY* реализует организацию фреймов SONET на специальном подуровне WIS (WAN Interface Sublayer). LAN *PHY* это "не умеет", поскольку предполагается, что будет использоваться в новых оптоволоконных сетях с WAN-расстояниями.

Подуровень PMD может работать без мультиплексирования и с WDM-мультиплексированием.

Характеристики подуровней *PHY* приведены в таблице 6.

Топологии, требования к кабельным системам

Поскольку 10GbE стал протоколом для LAN, MAN и WAN-сетей, возможны различные топологии для построения сетей на базе его оптоволоконных версий.

Таблица 6. Характеристики подуровней *PHY* 10GbE

	Тип Ethernet	10 GbE LAN	10 GbE MAN	10 GbE WAN
		последовательный	WDM	последовательный
PCS (NRZI и логическое кодирование)		64B/66B	8B/10B	64B/66B
PMA		XSBI (XGMII)	XAUI	XSBI (XGMII)
PMD	10GBase-ER	1550 нм-40км	310 нм -10GBase-LX4 10км	1550 нм-40 км

	10GBase-LR	1310КМ- 10КМ		1310нм-10КМ
	10GBase-SR	850 нм - 300 м		850 нм - 300 м
Скорость		10,3 Гбит/с	12,5 Гбит/с	9,5 Гбит/с

LAN

Если 10 GbE применяется для создания непосредственно локальной сети, то топология сети - «звезда». «Звезда» также применяется при создании центров хранения данных NAS и SAN (специальный вариант подключения устройств хранения и доступа к данным в локальную сеть). Их обсуждение выходит за рамки данного учебного пособия.

MAN

В сетях MAN технология 10 GbE реализуется на «темных» волокнах, то есть на ранее проложенных, но неиспользованных кабельных оптоволоконных системах без терминирования и репиторов с длиной до 100 км. Топология такой сети напоминает очень большую ЛВС с соединяющими коммутаторами 3- и 4-го уровня. Может использоваться топология «точка-точка», «кольцо-звезда».

Пример схемы сети с топологией «точка-точка, point-to-point», с использованием одномодового волокна и передачей информации на расстояния до 40 км приведен на рис. 7.

При использовании уже существующих муниципальных сетей MAN 10GbE-коммутаторы локальных приложений присоединяются к кольцу DWDM-мультиплексоров с протоколом SONET OC-192 (рис. 9).

Используется топология «кольцо-звезда», конвертация фреймов Ethernet в протокол SONET происходит на 1-ом уровне модели OSI при помощи *PHY*-устройств (*WANPHY*).

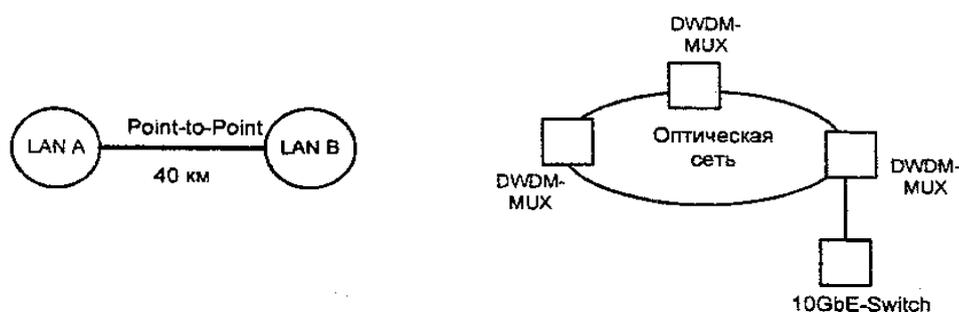


Рис. 9 Соединение локальных сетей двух кампусов LAN A и LAN B

10G Base T

В 2006 году IEEE был ратифицирован стандарт 802.3ap для витой пары. Следует сразу предупредить, что этот стандарт не имеет до сих пор основы в виде стандарта TIA/EIA на соответствующую витую пару. Одной из ключевых проблем внедрения 10-гигабитной технологии Ethernet являются перекрестные наводки с *соседних кабелей* и необходимость их тестирования в полевых условиях.

Для подтверждения характеристик системы необходимо собирать информацию не только внутри 4-парного кабеля, но и извне.

На высоких частотах начинают сказываться наводки с пар одного кабеля на пары другого. Для экранированных кабелей внешними наводками можно пренебречь, поскольку они отсекаются экраном. Для неэкранированных кабелей следует учитывать наводки на пары одного кабеля со стороны пар других кабелей, его окружающих (принцип плотной упаковки).

Внутри оболочки у каждой пары кабеля шаг скрутки свой, поэтому самыми сильными будут наводки между парами одного и того же цвета.

Необходимо измерение целого ряда дополнительных параметров, например: ANEXT (Alien Near End Cross Talk), PSANEXT (Power Sum Alien Near End Cross Talk), AFEXT (Alien Far End Cross Talk) и PSAFEXT (Power Sum Alien Far End Cross Talk).

Подробно эти параметры не обсуждаются в рамках данного учебного пособия.

Подуровень PCS должен использовать скремблирование, блоки LDPC-кодов для коррекции ошибок (2048 бит с 325 проверочными битами), кодирование сигнала PAM-16, эхоподавление.

Интерфейсом для передачи MAC является XAUI. Более подробно можно говорить о реализации на витой паре только после выхода всех соответствующих стандартов.

Автопереговоры для систем на витой паре - как в 10/100/1000 Base Ethernet TX.

Управление

Как и в 100Base Ethernet, в 10GBase Ethernet вопросы управления решаются согласно протоколам 802.1 и реализуются при помощи средств операционных систем сетевого оборудования на третьем уровне модели OSI и выше.

Вопросы качества сервиса и классы сервиса не обсуждаются в рамках этого учебного пособия.

TCP/IP и модель Интернет

Интернет-протоколы, несомненно, являются наиболее популярными коммуникационными протоколами, которые применяются для взаимодействия гетерогенных сетей с различными устройствами физического уровня модели OSI. Наиболее известны из них TCP (Transmission Control Protocol) и IP (Internet Protocol) - сетевые протоколы 4 и 3 уровня модели OSI.

В целом же Интернет-протоколы работают на уровнях OSI выше второго и представляют собой совокупность (порядка сотни) протоколов, намеренно разработанных для операций над устройствами различных физических и канальных технологий.

История Интернет-протоколов

Разработка протоколов TCP/IP началась в начале 70-х годов в Стэнфорде и финансировалась Министерством Безопасности США через агентство DARPA. Сеть пакетной коммутации, поддерживаемая DARPA, называлась ARPANET и предназначалась для объединения государственных и образовательных учреждений США.

Разработка была окончена в конце 70-х годов, а в 1983 году было заявлено, что всё оборудование и программные продукты, присоединяемые к ARPANET, должны поддерживать Интернет-протоколы.

Исследования для сети Интернет организует IAB (Internet Architecture Board). Большинство исследований и протоколов Интернета документируются в технических документах, называемых RFC (Request For Comments). Ведением библиотек RFC и регистрацией всех взаимоотношений занимается информационный центр SRI (Stanford Research Institute), находящийся в США.

В развитии Интернета большое значение имеют протоколы операционной системы UNIX, которая включила в свой сетевой стандарт протоколы TCP/IP.

Соответствие Интернет-модели и модели OSI

По аналогии с моделью OSI существует модель функций, которые осуществляют Интернет-протоколы. Ее называют моделью Интернет. Приведем соотношение модели Интернет с моделью OSI (таблица 7).

Таблица 7 Соотношение моделей OSI и Интернет

Модель OSI	Модель Интернет	Некоторые протоколы Интернет	Протоколы компании SUN Microsystems
Application	Process	FTP, SMTP, Telnet	NTS, XDR, RPC
Presentation			
Session			
Transport	Host-to-Host	TCP, UDP	
Network	Internet	IP, ICMP	
Data Link			
Physical			

С точки зрения IAB функции трех верхних уровней модели OSI должны выполняться на одном уровне модели Интернет - Process. IAB на этом уровне создал модель того, как должно работать сетевое приложение.

Например, электронная почта (SMTP) или эмуляция терминала (Telnet). На уровне Host-to-Host выполняются функции передачи пакета транспортного уровня OSI, а на уровне Internet - сетевого уровня OSI. Эти функции реализованы в протоколах, которые приведены в таблице 7.

Часть протоколов уровней Process и Host-to-Host были параллельно с IAB реализованы в ОС Unix и теперь используются как протоколы Интернет. Протоколы IP и TCP мы подробно обсудим в последующих главах. А сейчас рассмотрим остальные наиболее часто применяемые протоколы.

Наиболее важные Интернет протоколы

Telnet - эмуляция удалённого терминала.

Telnet - это программа, позволяющая эмулировать экран компьютера «другой породы» на своем. Со временем этот протокол стал стандартом и применяется в сетевой аппаратуре для ее конфигурации или мониторинга с другого компьютера.

Например, для получения экрана коммутатора на персональном компьютере. Аналогичной программой является HyperTerminal.

FTP (File Transfer Protocol) - протокол передачи файлов. Файл — это объект с точки зрения моделей OSI и Интернет, содержащий данные и набор атрибутов (атрибуты наименования и атрибуты доступа).

Для того чтобы различные ОС могли обмениваться файлами, они сначала должны договориться о том, какие атрибуты должны быть у файлов, как осуществляются

манипуляции над файлом, вход пользователя в систему, обращение к директории и т.д.

SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) - протокол, используемый для передачи электронной почты между серверами при помощи протоколов UDP и IP.

RIP (Routing Information Protocol) - протокол маршрутизации, который динамически обновляет маршрутную информацию в небольших сетях. Это делается посредством широковещательной рассылки, а затем сбора информации о маршрутах прохождения сообщений. Работает RIP вместе с протоколом IP.

ICMP (Internet Control Message Protocol) - управляющий протокол, работающий совместно с IP для контроля за сообщениями, то есть служит для передачи информации об ошибках и некоторых сервисных функциях. Дополнительно рассмотрим его ниже.

UDP (User Datagram Protocol) - протокол транспортного уровня без подтверждения о доставке и без установления соединения. Пример его использования приведем ниже.

ARP (Address Resolution Protocol) - протокол сетевого уровня служит для трансляции IP-адреса в MAC-адрес. Выполняется операционной системой сетевого устройства.

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) - протокол динамического присвоения IP-адреса устройству из выделенного пула адресов. Выполняется специальным DHCP сервером, который в качестве матобеспечения входит в состав различных операционных систем.

Отдельно стоят протоколы, реализованные в ОС UNIX и ставшие фактически Интернет-протоколами. Они входят в состав операционных систем как общего назначения, так и специализированных операционных систем коммутаторов, маршрутизаторов или шлюзов. На рис. 8 приведена модель работы операционных систем и стандартных приложений в соотношении с моделями OSI и Интернет. Подробное ее описание выходит за рамки этого курса.

Во всех универсальных ОС по определенным правилам работают приложения передачи сообщений (MHS), организации директорий (DS), файловой системы (FTAM), удаленного терминала (VT), управления (SNMP).

На уровнях презентации и сессии стандартизируется работа оболочки (Shell) - матобеспечения ОС на рабочей станции.

Заметим, что ядро ОС и ядро СУБД (CORE OS, CORE DB) должны работать в любой телекоммуникационной среде.

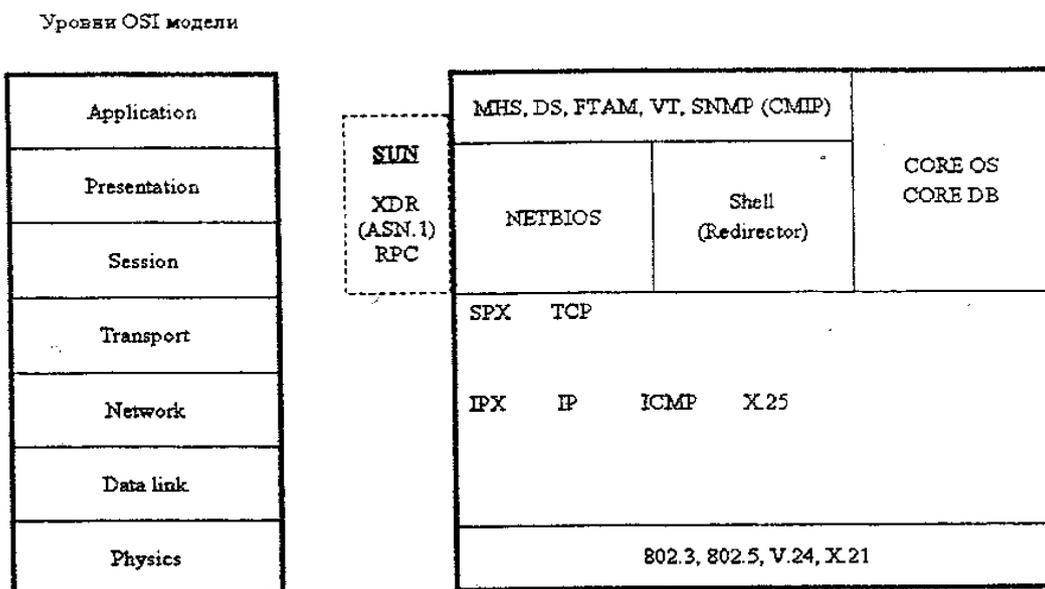


Рис 10 . Соотношение модели OSI и модели ОС и СУБД

На рис. 10. показаны протоколы компании SUN Microsystems. SUN разработала свою модель реализации протоколов трех верхних уровней OSI. Она называется SUN ONC (Open Network Computing).

Это протоколы - NFS, XDR (ASN.1) и RPC. Создатели Интернет описали эти протоколы в отдельных RFC и фактически провозгласили стандарт на файловую систему, обращение между приложениями и описание данных в машинно-независимом формате.

NFS (Network File System) - протокол организации и доступа к файловой системе в удаленном варианте. Этот доступ стандартизирован для всех ОС и приложений при помощи специальных библиотек – процедур RPC.

RPC - это совокупность библиотек, которые позволяют вызывать процедуры для общения между узлами сети. Библиотеки входят в состав или ОС, или СУБД.

Локальное приложение всегда обращается к оболочке (shell, redirector) на рабочей станции. Этот программный продукт определяет, требует ли этот запрос работы на локальной станции или он должен быть передан в сеть для обработки на сервере.

Сервер обрабатывает множество RPC- запросов и файлов при помощи файловой системы и отправляет через RPC ответный пакет приложению. Такое приложение в сети называют «клиентом», а процесс работы приложением «клиент-сервер».

Протокол IP. Вспомогательные протоколы уровня Internet

Интернет-протокол IP обеспечивает передачу дейтаграмм без гарантии доставки и без установления соединения. Протокол IP получает их от TCP в виде пакетов, которые называются TPDU (Transport Protocol Data Units). При этом IP может разбивать TPDU на

мелкие части и заново собирать их на станции назначения или маршрутизаторе (роутере).

Путей до станции назначения может быть много, IP обеспечивает передачу дейтаграммы от одного роутера к другому. Переход через роутер называется «хоп». Каждый роутер определяет для дейтаграммы следующий хоп.

Различные кусочки TPDU могут иметь различные маршруты, поэтому IP собирает (реассемблирует) их на станции назначения по порядковым номерам. Таким образом, IP отвечает за маршрут, фрагментацию и реассемблирование.

Для определения маршрутов используются специальные протоколы маршрутизации (например, RIP), которые строят таблицы маршрутизации на роутерах.

Для того чтобы понять, как работает протокол IP, рассмотрим формат его дейтаграммы (рис. 11). Дейтаграмма представляет собой слова по 32 бита для версии протокола IPv4.

32 бита			
Version	IHL	Type of Service	Total Length
ID	Flags	Offset	
TTL	Protocol		CRC
Source Addr.			
Destination Addr.			
Options			
Data			

Рис. 11. Формат IP-пакета

Здесь:

Version (версия) - номер версии протокола (например, IPv4 или IPv6).

IHL — Internet Header Length (длина заголовка), указывает число 32-битных слов, использованных в заголовке.

Type of Service (тип сервиса) - тип обработки (степень приоритетности пакета), который более высокий уровень передает протоколу IP, например, приоритет ответа, требование времени задержки ответа или пропускной способности маршрута.

Total Length (длина пакета) - информация о длине всего пакета в байтах.

ID (Identification) - специальный уникальный идентификатор (целая переменная), присваиваемый дейтаграмме, для того чтобы на приеме собрать части одной дейтаграммы от одного источника согласно смещению.

Flags (флаги) - специальные два бита, указывающие, можно ли дробить данную дейтаграмму и является ли данный фрагмент последним в дейтаграмме.

Offset (смещение) - указатель того, какое смещение относительно начала пакета

свойственно данной его части (в байтах). Согласно смещению собирается исходный TPDU и, если один из фрагментов не достиг назначения, отбрасывается весь пакет.

TTL (Time to Live, время жизни) - это счетчик, значение которого уменьшается на единицу при прохождении дейтаграммы через каждый последующий роутер. Таким образом, определена максимальная длина пути, которую может пройти пакет от источника до получателя сообщения.

Когда значение счетчика становится равным 0, дейтаграмма отбрасывается. Так реализуется защита от возможных петель в сети.

Protocol (протокол) - указание того, какой протокол будет обрабатывать сообщение на более высоком уровне (host-to-host). Основным протоколам (например, TCP) присвоены номера в RFC.

CRC (cyclic redundancy check) - контрольная последовательность, позволяющая обнаружить ошибки при приеме.

Source Address, Destination Address - IP-адрес источника и IP-адрес получателя сообщения.

Options (опции) - для дополнительных сервисов. Например, для поддержки маршрутов SR, доступа к оборудованию с ограниченным доступом.

IP-адрес - это 32 - битный адрес, назначаемый устройствам, которые имеют доступ в Интернет. Эти устройства называют хостами. Это может быть рабочая станция, сервер, роутер. Любой, кто хочет иметь доступ в Интернет, должен получить такой уникальный адрес (или пул адресов) для своего устройства или своей сети.

Адреса ведет InterNIC Registration Services, Network Solutions. Практически его выдает ваш провайдер Интернет.

IPv4 -адрес - это 32-битное число, состоящее из двух частей: адрес сети (net-id) и адрес устройства (host-id).

Всего существует 5 классов сетей (рис. 9).

Адресация класса А (Class A) используется, если в сети много хостов (глобальные сети). Сети класса В (Class B) содержат среднее число хостов в сети.

Сети класса С (Class C) содержат маленькое число хостов. ClassA-адреса присваивались очень давно. ClassB-адреса получить сейчас практически невозможно. ClassD-адреса зарезервированы для рассылки специальных широковещательных сообщений (broadcast). ClassE-адреса зарезервированы вообще. Для обычного использования остаются адреса ClassC.

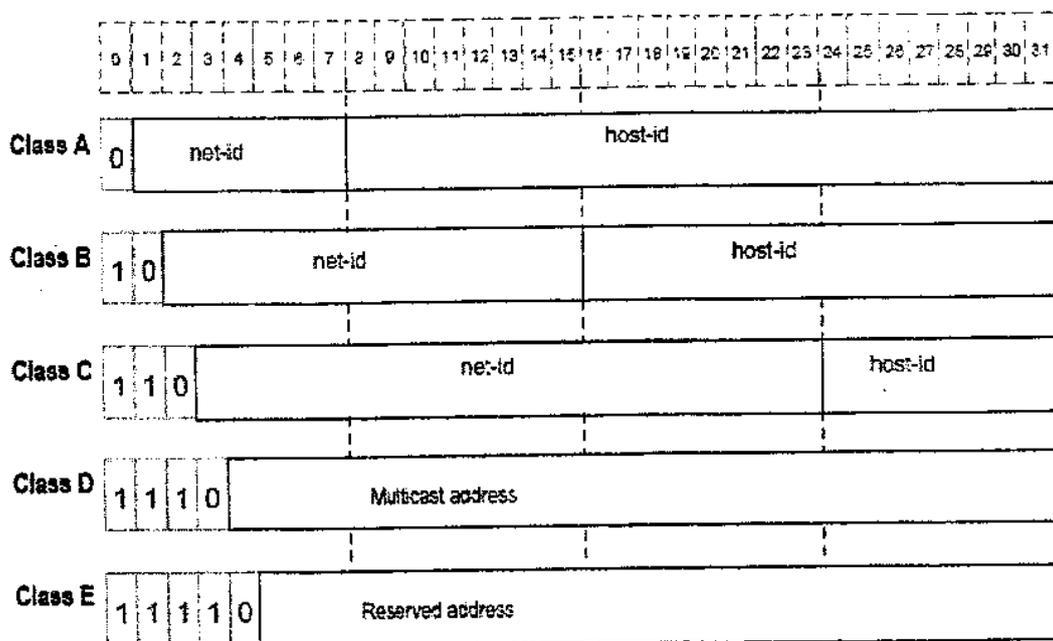


Рис. 12. Формат адреса IPv4

Поскольку записывать адрес в двоичном виде неудобно, его представляют, как 4 байта и переводят каждый байт в десятичное число и разделяют их точками. Например, так:

Binary	1100 0100	1101 1100	0000 0101	1000 0010
hexidecimal	C4	DC	05	82
Dotted-decimal	196	220	5	130

196.220.5.130

Согласно RFC 950 в схеме адресации выделили подсети - «subnet». Адрес подсети выделяется администратором из области адресации хостов. Механизм, при помощи которого выделяются подсети, называется *маска подсети*.

Маска подсети определяет, какая часть адреса относится к адресу подсети, а какая - к адресу хоста в этой подсети. Маска подсети - это строка бит, в которой все биты адреса подсети устанавливаются в «1», а все биты адреса, оставшиеся для номера хоста, - в «0».

Эта строка бит представляется затем в десятичной записи с точками. Есть определенные соглашения по адресам. Приведем их здесь подробнее:

- Биты адреса хоста никогда не устанавливаются все в «0» или все в «1». Эти адреса зарезервированы. Если на месте адреса хоста нули (например, для сети Class B 145.32.0.0), то это обращение к сети. Если на месте адреса сети нули, то это обращение к хосту (например, обращение к хосту 2.3 в сети класса B - 0.0.2.3).

в RFC.

Destination Port (порт назначения) - поле порта, который идентифицирует процесс ULP назначения, то есть тот процесс, который будет обрабатывать сегмент на приемной стороне.

Sequence Number (последовательный номер) - 32-битное поле, которое содержит номер байта данных, с которого начинается само сообщение.

Если сообщение фрагментируется, то TCP использует последовательные номера, чтобы реассемблировать его и гарантировать доставку ULP.

Acknowledgement Number (номер подтверждения) - если ACK-бит установлен (опишем далее, как это делается), то это 32-битное поле содержит последовательный номер следующего байта данных, который источник пакета предполагает получить.

Например, если принятый пакет содержит 40 байт информации с номером подтверждения 0, то в возвращаемом пакете Acknowledgement Number - 40.

TCP использует принцип скользящего окна (sliding window) и передает одно подтверждение на серию принимаемых сегментов.

Offset (смещение) - число 32-битных слов в заголовке.

Flags (флаги) - 6 бит разнообразной контрольной информации, которая используется для установки соединения, контроля, задания приоритетов пакета:

- Флаг URG-разрешен указатель (пойнтер) на поле срочного пакета (опишем далее).
- Флаг Push-указатель на немедленную отсылку пакета более низким уровням протоколов или ULP.
- Флаг ReSeT-признак необходимости переустановки текущего TCP соединения.
- Флаг SYN-устанавливается между принимающим и передающим устройством в первом пакете. Далее следует процедура «рукопожатия», где задается начальный Sequence Number.
- Флаг FIN-говорит о том, что передающее устройство не имеет больше информации для отсылки и соединение должно быть разорвано.

CRC - контрольная сумма для обнаружения ошибок.

Window (окно) - число байт данных, которое принимаем или передаем в текущий момент, «1» в Ack. Number означает, что принимающее устройство готово принимать.

Вместе с Seq. Number и Ack. Number осуществляется механизм скользящего окна.

Urgent Pointer (пойнтер важности) - указатель места (смещение), с которого начинается сверхважная информация в поле данных. Например, прерывания.

Options (опции) - для дополнительного контроля за пересылкой сверхважной информации. Например, максимальный размер сегмента TCP.

Вместе с протоколом TCP на уровне Host-to-Host работает транспортный протокол UDP. О нем следует прочитать в дополнительной информации.