

1. Протокол LLC уровня управления логическим каналом

Общие принципы построения автономных и ассоциативных LAN состоят в том, что для простейших LAN характерно использование общей пассивной физической среды передачи, связывающей сразу все абонентские системы, а не отдельные пары. Соединение отдельных пар АС осуществляется в соответствии с дополнительными протоколами уровня звена данных (протоколами доступа), регулирующими поочередное использование общей среды передачи всеми абонентскими системами. Для разделения традиционных для уровня звена данных функций управления логическим каналом и дополнительных функций управления доступом к физической среде практически все технологии построения LAN включают на данном уровне, как минимум, два соответствующих подуровня: LLC и MAC. Подуровень MAC тесно взаимодействует с физическим уровнем PHY, выполняющим функции формирования и обработки сигналов, передаваемых по различным физическим средам, а также функции доступа к разделяемой физической среде.

Указанная выше особенность технологий построения LAN связана с попыткой упростить их до минимума и не использовать в сети никаких активных систем передачи и коммутации, кроме самих компьютеров. В дальнейшем технологии построения LAN стали допускать образование ассоциативных сетей путем объединения автономных локальных сетей с помощью различных внутрисетевых коммуникационных устройств. На рис. 1 показаны структура и элементы LAN.

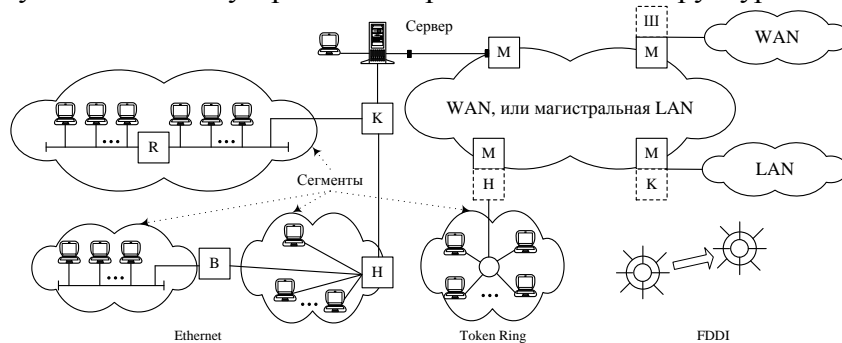


Рис. 1. Структура и элементы LAN:

Р – репитер; Н – концентратор (hub); В – мост (bridge); К – коммутатор;
М – маршрутизатор; Ш – шлюз

Специфика локальных сетей нашла отражение в разделении уровня звена данных на два подуровня, которые часто называют просто уровнями (см. рис. 2):
управления логическим каналом (LLC);
управления доступом к физической среде (MAC).

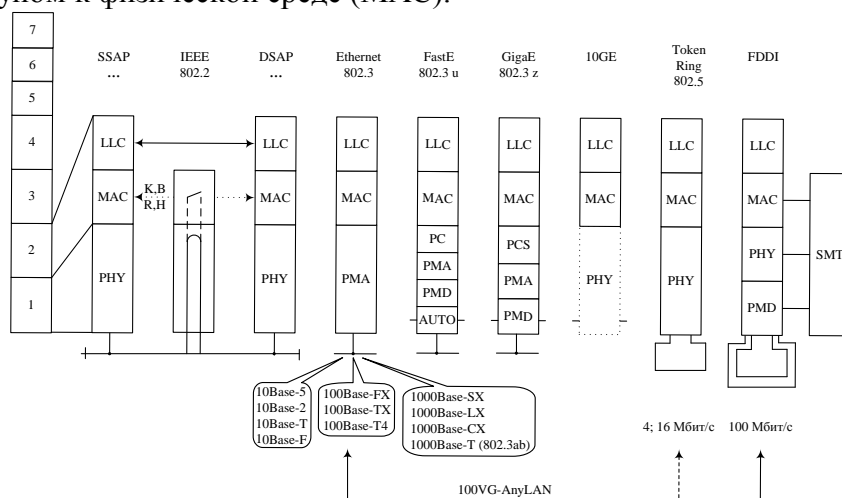


Рис. 2. Архитектура протоколов LAN

Уровень MAC появился из-за существования в локальных сетях разделяемой среды передачи

данных. Этот уровень обеспечивает (вместе с физическим уровнем PHY) корректное совместное использование общей среды, предоставляя ее в соответствии с определенным алгоритмом в распоряжение той или иной АС.

После того как доступ к среде получен, ею может пользоваться более высокий уровень – уровень LLC, организующий передачу логических единиц данных, кадров информации, с различным уровнем качества транспортных услуг. Протоколы уровня MAC (и уровня PHY) являются различными для различных технологий построения LAN.

Уровень LLC отвечает за передачу кадров данных между узлами с различной степенью надежности, а также реализует функции интерфейса с прилегающим к нему сетевым уровнем. Именно через уровень LLC сетевой протокол запрашивает у уровня звена данных нужную ему транспортную операцию с нужным качеством. На уровне LLC существует несколько режимов работы, отличающихся наличием или отсутствием на этом уровне процедур восстановления кадров в случае их потери или искажения, т. е. отличающихся качеством транспортных услуг этого уровня.

Протокол LLC обеспечивает для технологий локальных сетей нужное качество услуг транспортной службы, передавая свои кадры либо дейтаграммным способом, либо с помощью процедур с установлением соединения и восстановлением кадров. Протокол LLC помещает ПБД верхнего уровня в свой кадр, который дополняется необходимыми служебными полями (см. рис. 2.3, а): **DSAP** (*Destination Service Access Point*, поле доступа к службе получателя), **SSAP** (*Source Service Access Point*, точка доступа к службе отправителя) и Control (управляющее поле) (поле SNAP относится к протоколам сети Ethernet и рассматривается в п. 2.1.2). Далее через межуровневый интерфейс протокол LLC передает свой кадр вместе с адресной информацией об узле назначения соответствующему протоколу уровня MAC, который упаковывает кадр LLC в свой кадр.

2. Архитектура и технологии построения сетей Ethernet»

Ethernet – это самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей.

На основе Ethernet DIX был разработан стандарт IEEE 802.3. В стандарте IEEE 802.3 различаются уровни MAC и LLC.

В 1995 г. был принят стандарт Fast Ethernet, который во многом не является самостоятельным стандартом, о чем говорит следующий факт: его описание просто является дополнительным разделом к основному стандарту 802.3 – разделом 802.3u. Аналогично принятый в 1998 г. стандарт Gigabit Ethernet описан в разделе 802.3z основного документа. В июне 2002 г. комитетом IEEE 802 был принят новый стандарт 10GE (10 Gigabit Ethernet), который уже является технологией построения не только локальных, но и глобальных сетей.

Рассмотрим варианты технологий Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet более подробно.

Ethernet. В простейшем случае элементами сети Ethernet являются АС (компьютеры) с сетевыми адаптерами, реализующими протоколы Ethernet, и коаксиальный кабель с терминаторами (сопротивления 50 Ом) на концах, к которому подключаются все адаптеры, «параллельно» прокалывая оплетку (толстый коаксиал), или через Т-образный коаксиальный тройник (тонкий коаксиал). Хотя пространственно такая сеть имеет вид «последовательного» расположения компьютеров вдоль коаксиального кабеля (см. рис. 1).

Сеть может «удлиняться» с помощью репитеров, если при максимальном расстоянии между АС затухание в кабеле слишком велико. Подобный способ реализации «общей шины» является наиболее простым, но по длине кабеля не всегда самым экономичным. «Общая шина» вместе с репитерами может быть уложена внутрь концентратора (хаба). При этом пространственно сеть имеет радиальную структуру, а при использовании нескольких концентраторов – древовидную. В последнем случае можно добиться минимально возможной суммарной длины кабеля при заданном расположении АС. При наличии концентратора обычно используется не коаксиальный кабель, а витая пара, позволяющая разделить тракты приема и передачи от отдельных АС и упростить развязку между входами и выходами усилителей (репитеров) внутри концентраторов.

Для расширения сети или уменьшения нагрузки на общую физическую среду сеть Ethernet может разделяться на отдельные сегменты (домены коллизий) мостами и коммутаторами. Наряду с одноранговыми сетями, в которых все АС равны, могут строиться сети с сервером, который может играть роль администратора сети, а также выполнять функции маршрутизатора, обеспечивающего

подключение локальной сети через модем или выделенный цифровой канал к глобальной сети и удаленным локальным сетям (см. рис. 1).

Стандарт IEEE 802.3 имеет следующие варианты (см. рис. 2) подсоединения к физической среде **PMA** (*Physical Medium Attachment*, подуровень физического присоединения):

10Base-5 – коаксиальный кабель диаметром 0,5 дюйма, называемый «толстым» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента – 500 м (без повторителей);

10Base-2 – коаксиальный кабель диаметром 0,25 дюйма, называемый «тонким» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента – 185 м (без повторителей);

10Base-T – кабель на основе неэкранированной витой пары – **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*). Образует звездообразную топологию на основе концентратора. Расстояние между концентратором и конечным узлом – не более 100 м;

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

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

Стандарты Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet используют один и тот же метод разделения среды передачи данных – метод CSMA/CD (*carrier-sense-multiply-access with collision detection*), даже если вместо разделяемой среды в виде коаксиального кабеля или концентратора, подключаемого витой парой, используется коммутатор с дуплексным подключением, исключающим конфликты (см. рис. 1). По-русски данный метод называют КДОН/ОК (коллективный доступ с опознаванием несущей и обнаружением конфликтов) или МДКН/ОК (множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов).

Данный метод применяется исключительно в сетях с логической общей шиной (к которым относятся и радиосети, породившие этот метод). Все АС (станции, компьютеры, а также коммуникационные устройства или обобщенно «узлы») такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных любым из них.

Fast Ethernet. Fast Ethernet Alliance сохраняет случайный метода доступа CSMA/CD и обеспечивает преимущественность и согласованность сетей 10 и 100 Мбит/с.

Все отличия технологии Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне (см. рис. 2). Уровни MAC и LLC в Fast Ethernet остались абсолютно теми же, и их описывают прежние главы стандартов 802.3 и 802.2; поэтому далее сосредоточим внимание только на особенностях физического уровня.

Физический уровень технологии Fast Ethernet является более сложным, поскольку обеспечить скорость передачи 100 Мбит/с, очевидно, сложнее, чем 10 Мбит/с.

Коаксиальный кабель, давший миру первую сеть Ethernet, в число разрешенных сред передачи для новой технологии Fast Ethernet не попал. Это общая тенденция многих новых технологий, поскольку на небольших расстояниях, витая пара категории 5 позволяет передавать данные с той же скоростью, что и коаксиальный кабель, но сеть получается более дешевой и удобной в эксплуатации. На больших расстояниях оптическое волокно обладает гораздо более широкой полосой пропускания, чем коаксиал, а стоимость сети получается ненамного выше, особенно если учесть высокие затраты на поиск и устранение неисправностей в крупной кабельной коаксиальной системе.

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

Устройство физического уровня состоит, в свою очередь, из нескольких подуровней (см. рис. 2): логического кодирования данных (**PC** – *Physical Coding*), преобразующего поступающие от уровня MAC байты в символы кода 4В/5В или 8В/6Т;

физического присоединения (PMA);

зависимости от среды передачи данных (**PMD** – *Physical layer Medium Dependent*), который совместно с предыдущим подуровнем обеспечивает формирование соответствующих данной среде сигналов;

подуровня автопереговоров (*Auto*), который позволяет двум взаимодействующим портам автоматически выбрать наиболее эффективный режим работы, например полудуплексный или полнодуплексный (этот подуровень является факультативным).

Официальный стандарт 802.3u установил для разных сред передачи три различных спецификации физического уровня Fast Ethernet (см. рис. 2):

100Base-TX – для двух пар кабеля (прием/передача) UTP категории 5 или **STP** (*Shielded Twisted Pair* – экранированная витая пара) Type 1 (используемые коды – 4B/5B и MLT-3);

100Base-T4 – для четырех пар кабеля UTP категории 3, 4 или 5 (используемый код – 8B/6T);

100Base-FX – для двух волокон (прием/передача) многомодового оптического кабеля (используемые коды – 4B/5B и NRZI).

Для работы по витой паре определено пять различных режимов работы, которые могут поддерживать устройства 100Base-TX или 100Base-T4, выбирая один из них при автопереговорах в следующем порядке возрастания приоритета:

100Base-T – две пары категории 3;

100Base-T full-duplex – две пары UTP категории 3;

100Base-TX – две пары UTP категории 5 или STP категории 1A;

100Base-T4 – четыре пары UTP категории 3;

100Base-TX full-duplex – две пары UTP категории 5 или STP категории 1A.

Gigabit Ethernet. Довольно быстро после появления на рынке продуктов Fast Ethernet стала ощущаться недостаточность скорости 100 Мбит/с. Во многих случаях серверы, подключенные по 100-мегабитному каналу, перегружали магистрали сетей, работающие также на скорости 100 Мбит/с – магистрали FDDI и Fast Ethernet. Ощущалась потребность в следующем уровне иерархии скоростей.

Первая версия стандарта была рассмотрена в январе 1997 г., а окончательно стандарт 802.3z был принят 29 июня 1998 г. на заседании комитета IEEE 802.3. Работы по реализации Gigabit Ethernet на витой паре категории 5 были переданы специальному комитету 802.3ab.

Основная идея разработчиков стандарта Gigabit Ethernet состояла в максимальном сохранении идей классической технологии Ethernet при достижении битовой скорости в 1000 Мбит/с даже в ущерб функциям предоставления услуг с гарантируемым качеством (по скорости и своевременности), функциям использования обходных путей и функциям автоматического тестирования оборудования (за исключением тестирования связи порт – порт, как это делается для Ethernet 10Base-T и 10Base-F и Fast Ethernet).

Технология Gigabit Ethernet имеет общие свойства с технологиями Ethernet и Fast Ethernet, а именно:

сохраняются все форматы кадров Ethernet;

по-прежнему существует полудуплексная версия протокола, поддерживающая метод доступа CSMA/CD, и полнодуплексная версия, работающая с коммутаторами;

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

Стандарт 802.3z установил для оптической и коаксиальной среды передачи следующие спецификации физического уровня Gigabit Ethernet (см. рис. 2):

1000Base-SX – для многомодового оптоволокна на длине волны 850 нм (S означает *Short Wavelength* – короткая волна) с максимальной длиной сегмента в дуплексном режиме для кабеля 62,5/125 – 220 м, а для кабеля 50/125 – 500 м (в полудуплексном режиме – до 100 м).

1000Base-LX – для одномодового оптоволокна на длине волны 1300 нм (L означает *Long Wavelength* – длинная волна) с максимальной длиной сегмента в дуплексном режиме 5000 м (для многомодового кабеля – 550 м).

1000Base-CX – для двойного коаксиала (твинаксиального кабеля – *Twinax*) с волновым сопротивлением 150 Ом (2·75 Ом). Данные посылаются одновременно по паре проводников, каждый

из которых окружен экранирующей оплеткой. При этом получается режим полудуплексной передачи. Для обеспечения полнодуплексной передачи необходимы еще две пары коаксиальных проводников. Используется также специальный кабель, который содержит четыре коаксиальных проводника – так называемый Quad-кабель. Он внешне напоминает кабель категории 5 и имеет близкий к нему внешний диаметр и гибкость. Максимальная длина твинаксиального сегмента составляет всего 25 м, поэтому решение подходит для оборудования, расположенного в одной комнате.

Распространение доступа в Интернет через Ethernet можно сравнить с той революцией, которая произошла несколько лет назад в области мобильной телефонной связи - из экзотики для VIP-персон "мобильник" превратился в массовую и общедоступную услугу.

О Terabit Ethernet (так упрощенно называют технологию Ethernet со скоростью передачи 1 Тб/с) стало известно в 2008 году из заявления создателя Ethernet Боба Меткалфа на конференции OFC который предположил, что технология будет разработана к 2015 году, правда, не выразив при этом какой-либо уверенности, ведь для этого придется решить немало проблем. Однако, по его мнению, ключевой технологией, которая может обслужить дальнейший рост трафика, станет одна из разработанных в предыдущем десятилетии — DWDM (Density Wavelength Division Multiplexing (плотное волновое мультиплексирование)).