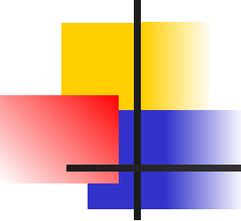


# Уровень канала и механизмы доступа к сети

БГАРФ, кафедра ИБ

Зензин Александр  
Степанович, к.т.н.  
Copyright © 2017



# Обзор

---

1. Уровень канала передачи данных.
  - 1.1. Методы построения протоколов канального уровня
  - 1.2. Протокол HDLC
2. Механизмы доступа к сети.

## *Уровень канала передачи данных.*

### *Методы построения протоколов канального уровня*

Уровень канала передачи данных (link layer) любой архитектуры связи должен обеспечивать надлежащую и правильную доставку кадров между соединениями сети. Для этой цели были разработаны разнообразные протоколы. Рассмотрим основные аспекты протокола управления каналом передачи данных и различные методы разработки таких протоколов.

Протокол канала должен объединять правила или процедуры, которые обеспечивают установление связи между двумя концами канала (эта фаза протокола называется фазой установления соединения). Кроме того, протокол должен обеспечивать надлежащую передачу пакетов данных в течении следующей фазы – передачи данных. Пакеты данных предоставляют информацию, передаваемую от вышестоящего сетевого уровня. Наконец, протокол должен предусматривать процедуры завершения связи либо когда канал больше не нужен, либо когда в нем появляются шумы или повреждения, нарушающие связь. Рассмотрим только фазу передачи данных.

Связь между двумя концами канала по своей природе асинхронна. Поэтому для того, чтобы обеспечивалась возможность регистрации передаваемых символов, в отдельных пакетах должна содержаться синхронинформация, обычно в форме поля синхронизации. Пакеты, принятые с ошибками, должны быть опознаны. Процедура подтверждения должна быть организована таким образом, чтобы указывалось, приняты пакеты правильно или неправильно. Наконец, пакеты должны быть пронумерованы, чтобы обеспечивалась надлежащая доставка информации на следующий вышестоящий (в данном случае, сетевой) уровень принимаемого конца канала.

## Уровень канала передачи данных.

### Методы построения протоколов канального уровня

Для выполнения этих функций к пакетам добавляются управляющие поля. Среди этих управляющих полей – поле (или поля) синхронизации, поле порядковых номеров и другие поля, описываемые ниже при обсуждении HDLC. Объединенные данные пакета с добавочными управляющими полями обычно называются кадром (frame). Следовательно, фактически между соседними узлами по каналу передается именно кадр. Пакет представляет собой часть данных в кадре. Гипотетический пример кадра показан на рис. 1.

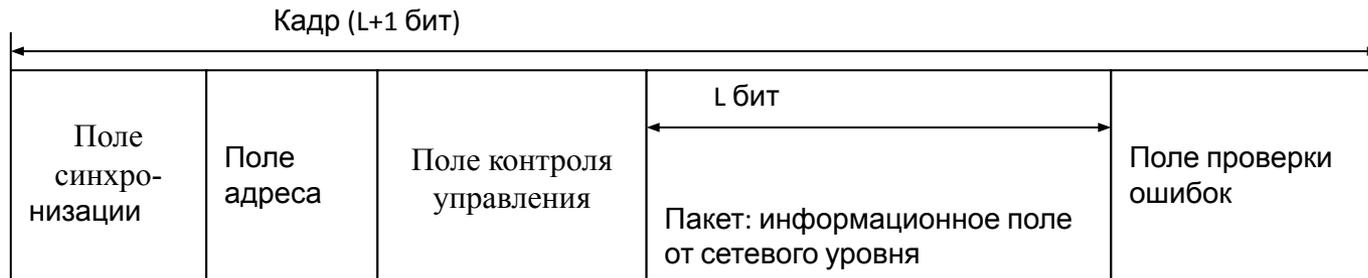


Рис. 1. Пример кадра для передачи по каналу

Существуют различные способы организации процесса обнаружения и исправления ошибок. В сетевой передаче данных применяется обнаружение ошибок с переспросом, называемое также обнаружением ошибок с Automatic Repeat Request (ARR) – автоматическим запросом повторения.

Возможен ряд вариантов процедуры ARR. Каждый правильно принятый кадр может быть подтвержден отдельно специальным кадром подтверждения, либо подтверждение может быть вставлено в управляющие поле кадров, переносащих данные в обратном направлении (в последнем случае должны применяться также и специальные подтверждающие кадры, поскольку информационного кадра для передачи подтверждения в нужный момент может не оказаться).

## Уровень канала передачи данных.

### Методы построения протоколов канального уровня

Для сообщения об ошибке может применяться также отрицательное подтверждение. В любом случае – при применении только подтверждающих кадров или положительных и отрицательных подтверждений – должны применяться переговоры во избежание перегрузок. Передающая сторона, не получившая ответ (положительное или отрицательное подтверждение) в течение заданного промежутка времени после передачи, повторяет соответствующий кадр. Если эта процедура не будет предусмотрена в протоколе, передающая сторона будет бесконечно долго ждать подтверждения, которое могло потеряться или поступить с ошибкой, что влечет за собой сброс. Следовательно, чтобы организовать процедуру перерывов, пакеты должны сохраняться в накопителе передающей стороны до получения подтверждения правильности передачи.

Существует также ряд способов обработки ответов на положительные (ACK) и отрицательные (NAK) подтверждения. Наиболее широко известны три следующие процедуры.

1. *Протокол с остановками и ожиданием.* При этой процедуре одновременно может передаваться только один кадр. После этого передающая сторона ждет подтверждения. Если поступит отрицательное подтверждение (когда таковое предусмотрено) или произойдет просрочка времени ожидания ответа, кадр передается повторно. Пакет сбрасывается из накопителя передающей стороны лишь после получения положительного подтверждения. Связь с остановками и ожиданием между двумя пунктами А и В показана на рис. 2. Этот протокол подходит для полудуплексной передачи, при которой передача сторон чередуется. Однако очевидно, что этот протокол снижает производительность в случае полного дуплекса (при независимой передаче в обоих направлениях), в частности, если время распространения сигнала по каналу значительно больше времени передачи пакета.

# Уровень канала передачи данных.

## Методы построения протоколов канального уровня

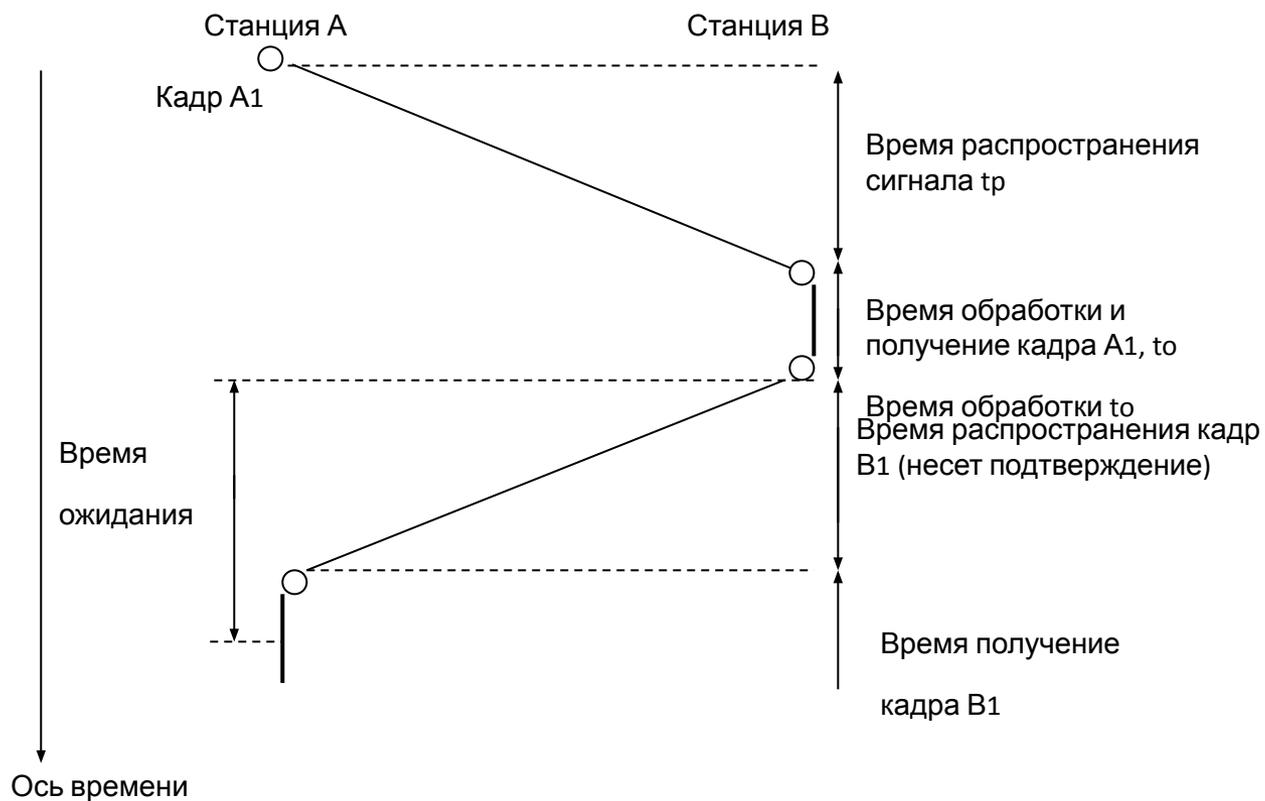


Рис. 2. Протокол с остановками и ожиданием

## Уровень канала передачи данных.

### Методы построения протоколов канального уровня

2. *N*-возвращения, или непрерывная передача. Здесь кадры, если они имеются, передаются непрерывно без ожидания подтверждения. При получении отрицательного подтверждения или истечении установленного времени ожидания неподтвержденный кадр и все последующие кадры передаются вновь. Простой пример такой передачи представлен на рис. 3, где показана передача кадров из А в В с подтверждением АСК каждого кадра при его получении стороной В. На рис. 3 предполагается, что кадр 3 принят с ошибкой, на что последовало отрицательное подтверждение NAK, которое привело к повторной передаче третьего и всех последующих кадров. Заметим, что каждый переданный кадр имеет время ожидания подтверждения, и отсчет этого времени начинается сразу же после завершения передачи кадра. На рис. 3 можно предположить, что кадр 3 оказался единственным, для которого истекло время ожидания подтверждения.

Если в протоколе не используется отрицательное подтверждение, то в этом случае могут возникнуть две возможности:

- в пункте В обнаружена ошибка по тайм-ауту кадра 3, кадр в пункте В сбрасывается и больше ничего не предпринимается;
- положительное подтверждение из пункта В исказилось при передаче; в этом случае пункт А повторяет передачу 3-го и всех последующих кадров.

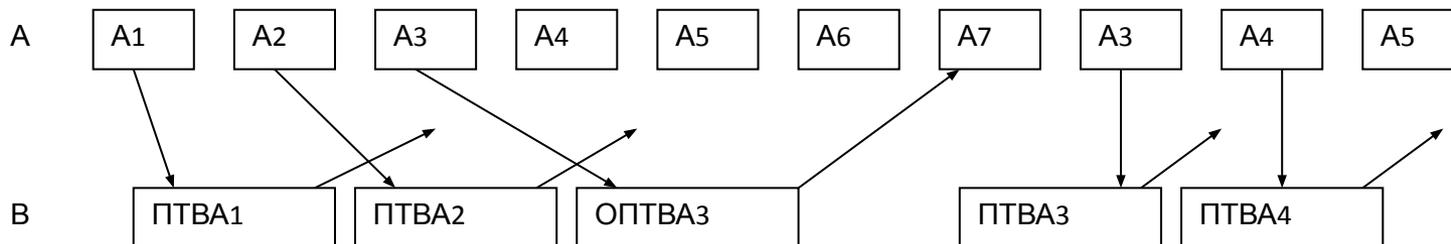
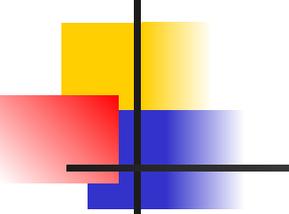


Рис. 3. Протокол с *N*-возвращениями: обработка подтверждения и сигнала истечения перерыва



## *Уровень канала передачи данных.*

### *Методы построения протоколов канального уровня*

---

Непрерывная передача кадров очевидно увеличивает пропускную способность. В практических версиях протокола с N-возвращениями (например в HDLC) не все кадры требуют подтверждения. Положительное подтверждение может служить подтверждением правильной передачи не только данного кадра, но и всех ему предшествовавших.

*3. Процедура выборочного повторения.* В этом случае повторная передача требуется только для кадра, о котором поступило отрицательное подтверждение или для которого истекло время ожидания подтверждения. Это очевидно увеличивает пропускную способность по сравнению со случаем N-возвращений. Однако на приемном конце требуется накопитель с перестроениями, так как в этом случае кадры могут повторно передаваться и приниматься не по порядку.

Во всех трех рассмотренных случаях подразумевалось, что нумерация кадров не представляет никаких проблем. На практике же поле порядковых номеров ограничено. Если передан кадр с максимальным порядковым номером и на него не поступает подтверждение (это называется «дефицитом порядковых номеров»), то передатчик должен приостановить посылку кадров. Новый кадр может быть послан лишь после получения подтверждения.

## Протокол HDLC

Протокол HDLC (High-level Data link Control) во многих отношениях базируется на протоколе SDLC фирмы IBM. Работы по стандартизации, которые велись в США параллельно работам ISO и взаимодействовали с ними, привели Американский национальный институт стандартов ANSI к разработке стандартной процедуры управления каналом передачи данных ADCCP (Advanced data communication control procedure). Все эти и другие подобные им протоколы являются примерами протокола, *ориентированного на разряды*, в котором применяется структура кадров устраняющая конкретную зависимость структуры кадра от размера информационного пакета сетевого уровня.

*Стандартный формат кадра HDLC.* В начале и конце кадра для установления и поддержания синхронизации применяется восьмиразрядная последовательность 01111110, называемая флагом, или меткой. Поскольку в начале и конце кадра применяются флаги, в установке структуры информационного поля нет необходимости. Информационное поле (пакет), поступающий от вышестоящего сетевого уровня, может содержать любое желаемое число разрядов. Так как флаги, появляющиеся в начале и конце кадра, содержат шесть последовательных единиц, такая последовательность не может больше нигде появляться в кадре. Для исключения этой возможности используется подстановка разрядов: при передаче в любой момент, когда вне поля F появляются пять единиц, вставляется дополнительный нуль. Такие нули удаляются в приемнике. Если где-либо в кадре будут обнаружены семь последовательных единиц, такой кадр признается ошибочным.

F	Адрес	Контроль и управление	Информационный пакет	Поле проверки	F
---	-------	-----------------------	----------------------	---------------	---

Флаг 8 разр.  
01111110

8 разр.

16  
разрядов

Флаг 8 разр.  
01111110

# Протокол HDLC

Для обработки информационного потока, контрольных и управляющих сигналов и ответов на них определены три типа кадров:

- формат И (передача информации);
- формат К (контроль и управление);
- формат Н (ненумерованный).



Кадры К и Н не несут информационного поля. Они применяются только для целей контроля и управления. Восемьразрядное управляющее поле в кадре определяет, какой тип кадра будет передан, а для кадров К и Н – какой передается конкретный управляющий сигнал. Восемьразрядное управляющее поле расшифровывается для кадров каждого из трех типов. Ноль в первом разряде управляющего поля указывает на кадр типа И. Пара символов 10 и 11 в первых двух разрядах указывает соответственно на кадры типа К и Н. Третий и четвертый разряды кадра К, обозначенные буквой S, обеспечивают различие возможностей передачи четырех различных кадров типа К. Пять разрядов в кадре Н, обозначенных буквой M, обеспечивают возможность передачи 32 различных типов этого кадра. Три разряда в поле кадра И, обозначенные N(S), несут порядковый номер кадра И.

# Протокол HDLC

Таким образом, стандартной в нормальном HDLC является порядковая нумерация кадров по модулю 8. Каждый следующий информационный кадр несет порядковый номер на единицу больше предыдущего. Когда передатчик достигает максимального порядкового номера, он прекращает передачу, пока не будет получен кадр, переданный в обратном направлении и несущий подтверждение. Для подтверждения принятых кадров И применяются разряды N(R) в кадрах И и К. Номер N(R) подтверждает получение кадра с номером N(R)-1 и любых кадров, предшествовавших этому номеру и не подтвержденных ранее. Число N(R) показывает, что приемник ожидает кадр И с номером N(R). Например, N(R)=5 (в двоичной записи 101) подтверждает получение кадра И номер четыре (и любых еще не подтвержденных предшествующих кадров) и показывает, что ожидается кадр И с номером 5. Поля N(S) и N(R) могут быть расширены до семи разрядов, чтобы использовать порядковые номера по модулю 128. Передатчик регистрирует в накопителе все кадры, на которые еще не получено положительное подтверждение. Если же положительное подтверждение получено, кадр может быть стерт, а его порядковый номер может использоваться вновь.



## Протокол HDLC

Протокол HDLC определяет три режима работы.

Режим нормального ответа (NRM-Normal Response Mode). Этот режим работы применяется в условиях централизованного управления. Он пригоден для многоточечной передачи с запросами, при которой одна главная, или первичная, станция связывается с одной или несколькими подчиненными, или вторичными станциями, причем последним разрешается начинать передачу только в ответ на команду первичной станции.

Режим асинхронного ответа (ARM – Asynchronous Response Mode). Этот режим подобен режиму NRM за исключением того, что подчиненной станции не требуется разрешение от главной станции на передачу.

Асинхронный балансный режим (ABM - Asynchronous Balanced Mode). Этот режим служит только для передачи по каналу от одной точки к другой, причем обе станции обслуживают равноправных партнеров. Класс процедур для этого режима образует основу уровня канала протокола X.25. Он аналогичен режиму сбалансированных процедур доступа к каналу (LAPB). Ниже обсуждение сосредоточено исключительно на асинхронном балансном режиме работы HDLC (или ADCCP).

При HDLC передача данных, проверка ошибок и восстановление осуществляются при помощи кадров И и К; обсудим здесь только это. Кадры Н применяются в фазе соединения / разъединения процедуры управления каналом, а также при необходимости предоставления расширенного набора порядковых номеров.

## Протокол HDLC

Как уже говорилось, существуют четыре возможных кадра  $K$ , из них в режиме АВМ применяются только три. Эти три управляющие кадра с соответствующими значениями разрядов  $S$  и описанием функций, для выполнения которых эти кадры предназначены, приводятся в виде следующей таблицы:

Наименование	S	S	Функция
Готовность приема (ГП)	0	0	Поле $N(R)$ подтверждает все кадры, принятые к этому моменту, включая $N(R)-1$
Неготовность приема (НГП)	1	0	Обеспечивает управление потоком при временных перегрузках. Поле $N(R)$ также подтверждает прием всех предшествующих кадров, включая $N(R) - 1$ .
Отказ (ОТК)	0	1	Поле $N(R)$ сообщает об отказе приема всех кадров, начиная с $N(R)$ . Оно дает положительное подтверждение для всех предыдущих кадров, включая $N(R)$ .

Вспомним, что кадр  $I$  тоже несет поле  $N(R)$ , которое используется для подтверждения предшествующих кадров, включая  $N(R)-1$ . Таким образом, HDLC предусматривает как возможности «попутной доставки» подтверждений путем включения их в кадры  $I$ , передаваемые в обратном направлении, так и отдельные подтверждения, называемые кадрами ГП, которые могут быть использованы для передачи положительных подтверждений при отсутствии кадров  $I$ , или если такая форма желательна, кадр ОТК обеспечивает возможность отрицательного подтверждения. Заметим, что при режиме АВМ протокола HDLC используется **возможность N – возвратный**: кадр ОТК отклоняет все кадры  $I$ , начиная с номера  $N(R)$ . Следовательно, все они должны быть переданы повторно.

## Протокол HDLC

В соответствии с каждым из описанных сейчас трех режимов работы определяются классы процедур с конкретными функциями и факультативными возможностями. Для режима ABM они называются процедурами сбалансированного асинхронного класса (BAC – Balanced Asynchronous Class). Конкретные функции вызывают применение кадров И, ГП, НГП, а также некоторые предусмотренные кадры Н, используемые для установки и разъединения канала. Добавлены также две факультативные возможности: применение ОТК (возможность 2) и ограничения, требующие, чтобы кадры И были только командами (возможность 8). Такой составной класс процедур называется классом BAC – 2,8 и соответствует процедурам класса LAPB уровня канала X.25.

Понятие команды возникает при использовании адресного поля кадра и разряда P/F (Poll/Final – Опрос/Конец). В несбалансированных режимах HDLC, при которых, в частности, различаются главная станция и одна или несколько подчиненных, адрес всегда относится к подчиненной станции. При сбалансированном же режиме (ABM) адрес всегда относится к отвечающей станции. Поскольку кадр И в соответствии с факультативной возможностью 8 является всегда командой, он должен нести адрес принимающей станции. Кадры ГП и НГП могут быть либо командами, либо ответами. В первом случае должен быть адрес принимающей станции. В последнем кадры несут свой собственный адрес.

Команды ОТК всегда рассматриваются как ответы и несут свои собственные адреса. Механизм команд-ответов реализуется с помощью разрядов P/F.

## Протокол HDLC

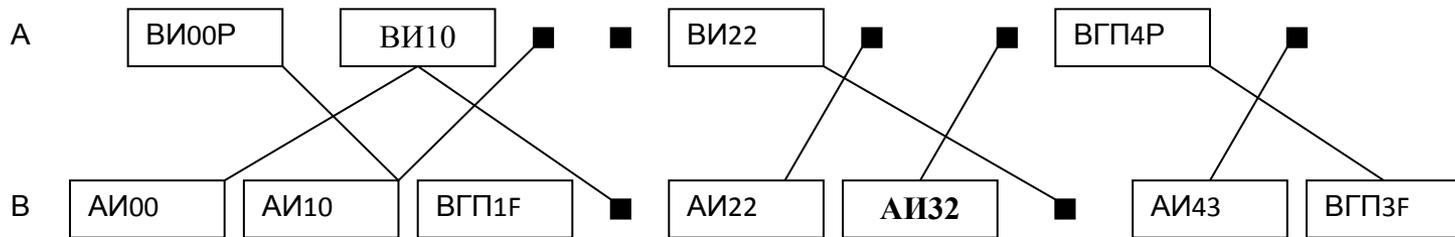
Если в команде этот разряд устанавливается в 1, это означает Р. Ответ на Р=1 должен нести F=1. В режиме нормального ответа разряда Р/F используется для передачи метки. В режиме же АВМ при процедурах ВАС-2,8 информационный кадр И при установке разряда Р в положение 1 требует в ответ кадр К (ГК, ОТК, НГП) с F=1, так как кадр И не может быть ответом. Кадр ГП с установкой разряда Р вызывает ответную посылку кадра К с F=1. Процедура Р/F называется **процедурой контрольной точки**. Одним из примеров ее применения является форсирование немедленного подтверждения. В ответ на получение кадра И, у которого разряд Р=1, принимающая сторона немедленно посылает кадр ГП с разрядом F=1 впереди любого кадра И, ожидающего передачи. (Это пример применения относительного приоритета).

В чем причины того, что мы обращаемся к процедуре контрольной точки Р/F дополнительно к существующей системе обнаружения ошибок? Эта процедура может применяться для проверки наличия действующего канала передачи данных; она может применяться для формирования срочного подтверждения конкретного кадра И раньше, чем такое подтверждение может поступить в косвенной форме с помощью более высокого порядка номера N(R); она может применяться для ускорения передачи кадра ОТК, т.е. отрицательного подтверждения в случае ошибки до того, как сработает механизм перерыва. (В определенных условиях это может ускорить исправление ошибки и уменьшить число кадров, которые потребовалось бы передать повторно в случае обнаружения ошибки обычным способом). Наконец, эта процедура может применяться для подготовки к освобождению канала (разъединению). В этом случае она может быть использована для выяснения остающихся без подтверждений кадров и других управляющих сигналов. Важно подчеркнуть, что процедура контрольной точки Р/F, как некоторые другие в наборе HDLC, является факультативной.

## Протокол HDLC

Хотя ряд процедур и определен конкретно, другие процедуры оставлены неопределенными, и это позволяет более гибко использовать канал передачи данных.

Для лучшего понимания использования различных кадров К в режиме АВМ HDLC проследим за типовым потоком кадров туда и обратно между двумя станциями А и В. Пример на рисунке ниже показывает только режим передачи данных. Предполагается передача, свободная от ошибок.

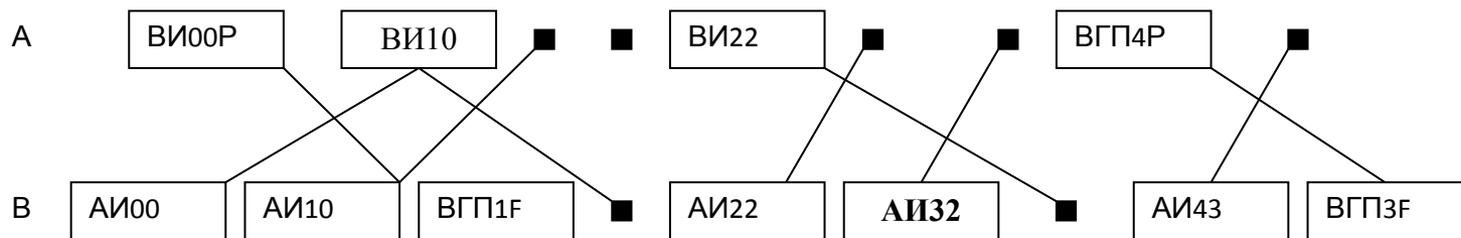


Используются следующие обозначения:

1. Кадры И. Адрес, тип, N(S), N(R), P (необязательная процедура; если она применяется – 1, в противном случае – 0). Например AI10P обозначает, что речь идет об информационном кадре, адресованном от станции В на станцию А, причем N(S)=1, N(R)=0, т.е. станция В ожидает от станции А кадр номер 0, а разряд P/F установлен в положение 1 (следовательно, ожидается ответ F=1).
2. Кадры К. Адрес, тип, N(R), P/F. На месте адреса, как говорилось выше, указывается принимающая сторона в случае команды и собственный адрес в случае в случае ответа. Поскольку кадр К может быть любого из трех типов (ГП, НГП или ОТК), этот тип должен быть указан. Число N(R) опять-таки подтверждает все предыдущие кадры, включая кадр с номером N(R) – 1. Разряд же P/F записывается в виде P, если кадр является командой, и в виде F, если кадр является ответом на кадр P (в любом случае разряд P/F уст - ся на 1).

## Протокол HDLC

В примере станция А начинает передачу на станцию В посылкой информационного кадра с номером 0. Станция А запрашивает немедленное подтверждение путем передачи  $P=1$ . Поскольку сторона А еще не приняла от стороны В ни одного кадра И, число  $N(S)$  принимает значение 0. В то же время сторона В независимо посылает последовательно два информационных кадра АИ00 и АИ10 (станция В также ожидает кадр И с номером 0). По получении кадра ВИ00Р сторона В немедленно посылает подтверждение ВГП1F. Тем самым подтверждается получение со стороны А кадра И и указывается, что ожидается кадр с номером 1. Затем сторона В получает от А информационный кадр ВИ10 и подтвердит его своим информационным кадром АИ22. За ним сторона В посылает кадр АИ32. Позднее получение обоих этих кадров будет подтверждено стороной А управляющим кадром ВГП4Р. Такой кадр может быть применен, если, например, сторона А готовит разъединение. Тогда сторона В отвечает кадром ВГП3F.



### Опрос и случайный доступ в сетях передачи данных.

Описание этих двух механизмов доступа, а также их сравнение представляет интерес не только само по себе; оно важно еще и тем, что непосредственно ведет к обсуждению двух наиболее широко распространенных методов доступа к локальным сетям. Локальные сети (LAN – Local Area Networks) – это частный случай сетей, охватывающих небольшие географические зоны.

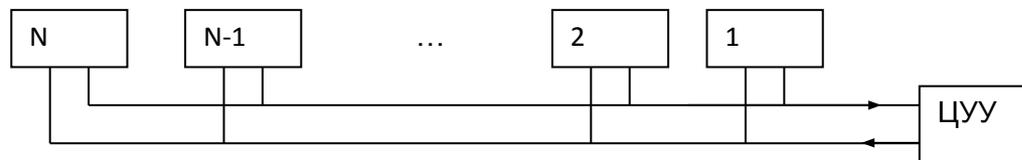
Необходимо различать два типа доступа к сети. В первом случае каждый пользователь (терминал или ЭВМ) получает доступ к сети через специально *выделенный порт* (с коммутатором пакетов, мультиплексором или концентратором). Для приема сообщений пользователя либо с записью их в соответствующий накопитель, либо с передачей в исходящую линию порты могут последовательно сканироваться, либо может быть использован механизм прерывания. В этом случае состязаний за доступ не происходит. Обычно в сетях с коммутацией пакетов сообщения пользователей накапливаются, а затем считываются в порядке поступления в соответствующую линию либо в полученном виде с добавлением заголовка, либо разбиваются на более мелкие пакеты. Эти операции выполняются коммутаторами пакетов или концентраторами. Применяемый в этом случае метод доступа называется *статистическим (асинхронным) объединением во времени* (мультиплексированием).

Второй метод доступа основан на использовании *общего канала или среды*, к которым имеют доступ все пользователи. Примером может служить радиоканал, в котором все пользователи передают на одной и той же частоте. Одним из частных случаев является система пакетной радиосвязи, в которой пользователи состязаются за доступ к общей среде.

## Механизмы доступа к сети

Другим примером может служить интерактивное кабельное телевидение с пользователями, передающими по одной или нескольким телевизионным полосам. К этой категории относятся также схемы спутниковой радиосвязи. Другим примером общего канала является коаксиальный кабель или другая проводящая среда. Пользователи, подключенные к кабелю или другой проводящей среде в различных точках, могут связываться друг с другом или общей управляющей системой.

Первый способ этого метода доступа состоит в управлении доступом либо из центрального управляющего устройства, либо путем передачи управления от одного пользователя другому на децентрализованной основе. Для описания этого класса стратегий доступа применяется родовой термин опрос (polling). В его децентрализованной версии, применяемой в локальных сетях, вместо этого применяют термин передача метки или передача мерка (token passing).



Рассмотрим *опрос путем переключки*. При такой стратегии доступа, как показывает ее название, станции опрашиваются одна за другой центральной системой на наличие у них сообщений для передачи. Станция, получившая разрешение, осуществляет передачу по показанной исходящей линии, заключая эту передачу уведомлением центрального управляющего устройства (ЦУУ) о том, что передача закончена. Тогда управляющее устройство посылает опрос по входящей линии следующей станции по своему списку, повторяя тот же самый процесс.

## Механизмы доступа к сети

Станция не имеющая сообщений для передачи, передает соответствующий ответ центральному управляющему устройству по исходящей линии. После того как все станции получают разрешения на передачу, цикл завершается, а затем начинается новый цикл. В продолжении цикла некоторые станции могут опрашиваться более одного раза, а так же опрос может быть сделан адаптивным с учетом колебаний нагрузки или соображений приоритетов.

Методы *случайного доступа*, как показывает их название, полностью децентрализованные. Пользователь может передавать в сущности когда угодно, возможно, лишь с незначительными ограничениями, зависящими от конкретно принятого метода доступа. Эти методы простилаются от чистой Алохи, при которой пользователь (станция) передает когда угодно, если имеет в наличии сообщение (пакет), предназначенное для доставки в некоторый пункт назначения и методов, при которых пользователь ограничивается возможностью передачи лишь в определенные промежутки времени, до более сложных методов, при которых пользователь перед передачей «прослушивает» среду и осуществляет передачу лишь в том случае, если находит ее свободной. В числе других разновидностей метода – *резервирование*, при котором пользователь может путем случайного доступа запросить разрешение на передачу полного сообщения в некоторое зарезервированное время.

Начнем обсуждение с простейшей схемы – *чистой Алохи*. Эта схема была применена для доступа к общему каналу сотрудниками Гавайского университета в начале 1970-х гг. Она была предвестницей многих стратегий случайного доступа, которые с тех пор были предложены и нашли применение. По этой схеме пользователь, желающий передать сообщение, делает это когда ему удобно.

## Механизмы доступа к сети

В результате могут накладываться во времени два или несколько сообщений, вызвав *столкновение*. Поэтому должны существовать методы распознавания столкновения и сообщение о нем пострадавшим пользователям. Это может выполняться центральной станцией, специально создаваемой для этой цели (в первоначальной системе Алоха все сообщения направлялись по радио на центральный пункт), или путем применения положительных подтверждений в сочетании с перерывом. В любом случае при обнаружении столкновения пострадавшие станции предпринимают *попытки повторной передачи* потерянного сообщения, но они должны распределять время попыток случайным образом, следуя некоторому алгоритму разрешения столкновений, чтобы избежать нового конфликта. Стратегия типа чистой Алохи, хотя она и очень проста, оказывается чрезвычайно расточительной в смысле использования пропускной способности и позволяет добиться производительности самое большее 0.18 пропускной способности канала. Максимально возможная производительность схемы чистой Алохи может быть удвоена с помощью простого приема разметки шкалы времени и разрешения пользователям начинать попытки передачи сообщений только в начале каждого временного интервала, равного длительности сообщения. Этот метод получил название *синхронной Алохи*.

Основная стратегия случайного доступа типа Алоха обеспечивает максимальную производительность не более 0.368 от пропускной способности канала, и то при условии, если все станции строго синхронизированы. Можно ли улучшить этот предел схемы Алоха?

Рассмотрим протокол CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (МДПН/ОС – многостанционный доступ с проверкой несущей и обнаружением столкновений). Он основан на методе чистой Алохи и позволяет улучшить ее характеристики.

## Механизмы доступа к сети

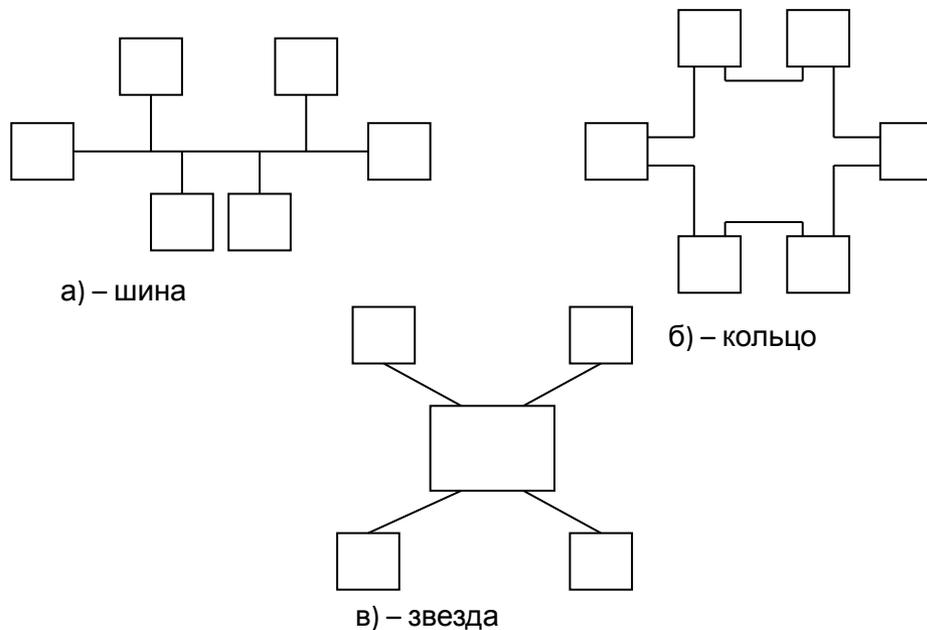
Метод CSMA/CD входит в протокол сети Ethernet и принят как один из стандартных методов в локальных сетях.

Основная концепция протокола CSMA/CD очень проста. Все станции прослушивают передачу по линии. Станция, желающая передать сообщение, выходит на связь только после обнаружения свободного состояния канала. Эта процедура называется проверка несущей (Carrier Sense), а стратегия, основанная на такой проверке, - схемой многостанционного доступа с проверкой несущей (CSMA). Очевидно, что столкновения все же могут возникнуть, поскольку станции физически разнесены одна от другой, и две или несколько станций могут обнаружить свободное состояние канала и начать передавать, что и вызовет столкновение. Если станции обнаруживают столкновение (обнаружение столкновения - Collision Detect), они передают всем остальным станциям специальный сигнал о помехе и отменяют свои передачи. Возможность проверки несущей позволяет увеличить производительность канала по сравнению с чистой Алохой, а обнаружение столкновения с прекращением передачи вместо ее завершения дает еще большее повышение производительности.

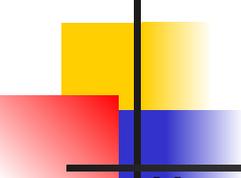
Был предложен и проанализирован ряд методов CSMA. Они различаются тем, как происходит управление передачей, если канал оказался занятым. Например, в схеме с  $p$ -настойчивостью станция, обнаружившая занятый канал, осуществляет передачу после того, как канал станет свободным, с вероятностью  $p$ . С вероятностью  $(1-p)$  передача откладывается на промежуток времени  $t$  распространения сигнала. При схеме с  $i$ -настойчивостью станция осуществляет попытку передачи, как только канал окажется свободным. Протокол CSMA/CD, работающий по правилу  $i$ -настойчивости с добавлением возможности обнаружения столкновения в целях дальнейшего улучшения характеристик, принят в качестве протокола в схеме Ethernet (30% от полосы пропускания среды).

## Семейство стандартов 802.

Рассмотрим локальные сети, применяемые для соединения терминалов, компьютеров, рабочих станций и других информационных систем, расположенных в одном здании или нескольких не слишком удаленных зданиях. Системы локальных сетей обычно связываются шинной или кольцевой схемой, как показано на рис. а и б. Третья схема, показанная на рис. в, - звезда; она также находит применение, но обычно в сочетании с учрежденческой автоматической телефонной станцией – УАТС



Структуры локальной сети



## Механизмы доступа к сети

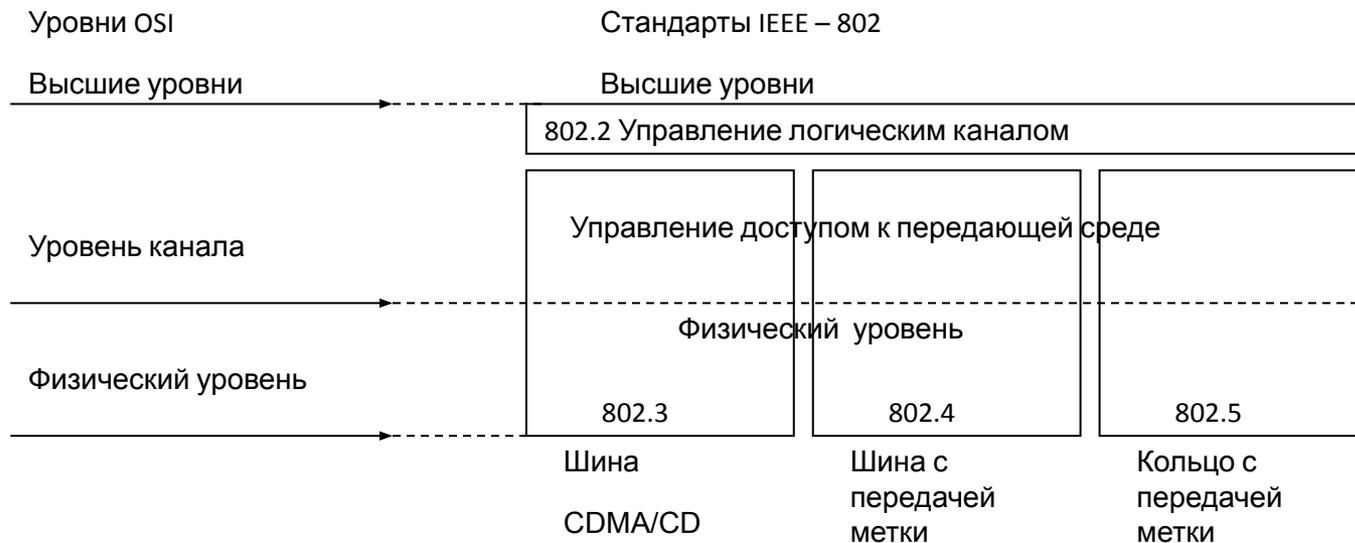
Максимальная протяженность таких сетей из конца в конец, если они работают с очень высокими скоростями, составляет на более нескольких километров. При реализации локальных сетей было предложено много механизмов доступа. В этом разделе рассматриваются два механизма: CSMA/CD и метод доступа с передачей метки для кольцевой структуры.

Семейство стандартов 802 относится к физическому и канальному уровням, как описано в базовой эталонной модели взаимосвязи открытых систем ISO. Стандарты доступа определяют три способа доступа к среде и относятся к физическому уровню; каждый соответствует определенному применению или системным целям. К стандартам, определяющим эти способы, относятся следующие:

1. ISO/IEC 8802 – 3 (ANSI/IEEE Std 802.3 – 1990 Edition), ЛВС, использующая в качестве метода доступа CSMA/CD.
2. ISO/IEC 8802 – 4 (ANSI/IEEE Std 802.4 – 1990), шина, использующая для доступа метод передачи маркера.
3. IEEE Std 802.5 – 1989, кольцо, использующее для доступа метод передачи маркера.
4. IEEE Std 802.6 – 1990, двойная шина, использующая в качестве метода доступа распределенный опрос.
5. ISO 8802 – 2 (ANSI/IEEE Std 802.2 – 1989), стандарт управления логическим звеном (Logical Link Control) используется совместно со стандартами доступа к среде.

## Механизмы доступа к сети

Различные методы доступа к локальным сетям, входящие в семейство стандартов IEEE 802, в том числе метод 802.3 CSMA/CD, были разработаны в соответствии с эталонной моделью OSI. Они совпадают с физическим уровнем и частью уровня канала этой модели. Стандарты доступа, будь то CSMA/CD, шина с передачей метки, кольцо с передачей метки или любой другой, описывают форматы и протоколы, применяемые на подуровне управления доступом к передающей среде уровня канала, а также на физическом уровне. В свою очередь, все стандарты доступа связаны с вышестоящими уровнями OSI через стандарт управления логическим звеном IEEE 802.2, который составляет остальную часть уровня канала. С точки зрения стандарта OSI управление логическим звеном пользуется услугами подуровня управления доступом к передающей среде для предоставления услуг сетевому и другим вышестоящим уровням. Логическое управление каналом выполняет такие функции канала передачи данных, которые не зависят от передающей среды и управления доступом к этой среде.



Связь между стандартами IEEE-802 и моделью OSI для локальных сетей

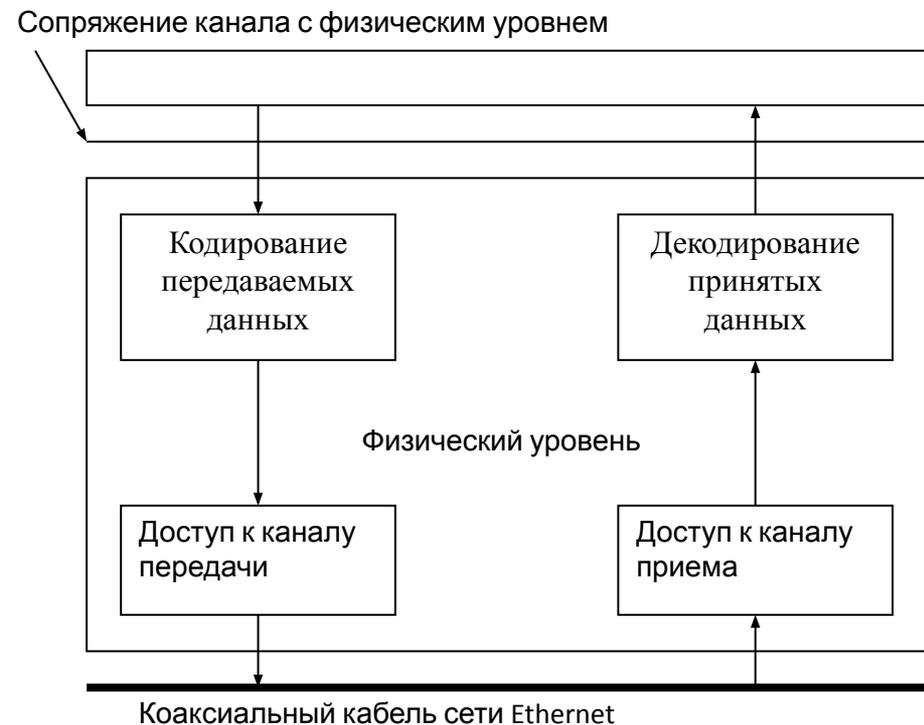
## Механизмы доступа к сети

Опишем теперь, как CSMA/CD, или спецификация сети Ethernet (стандарта IEEE 802.3) соответствует схеме архитектуры, приведенной на предыдущем рисунке. Вспомним, что протокол CSMA/CD имеет следующие особенности:

1. Контроль несущей; выход на передачу только в случае, если в передающей среде нет энергии.
2. Во время передачи контроль за столкновениями; при обнаружения столкновения – сброс сообщения и выработка нового порядка выхода на связь.

Как эти механизмы доступа реализованы в сети Ethernet? За проверку наличия обмена в передающей среде (в случае сети Ethernet в коаксиальном кабеле) ответствен физический уровень, которые передает сигнал проверки несущей управлению доступом к среде. Этот уровень также сравнивает сигнал в среде с сигналом, генерируемым при передачи, и выдает сигнал об обнаружении столкновения, если в канале произойдет столкновение (интерференция).

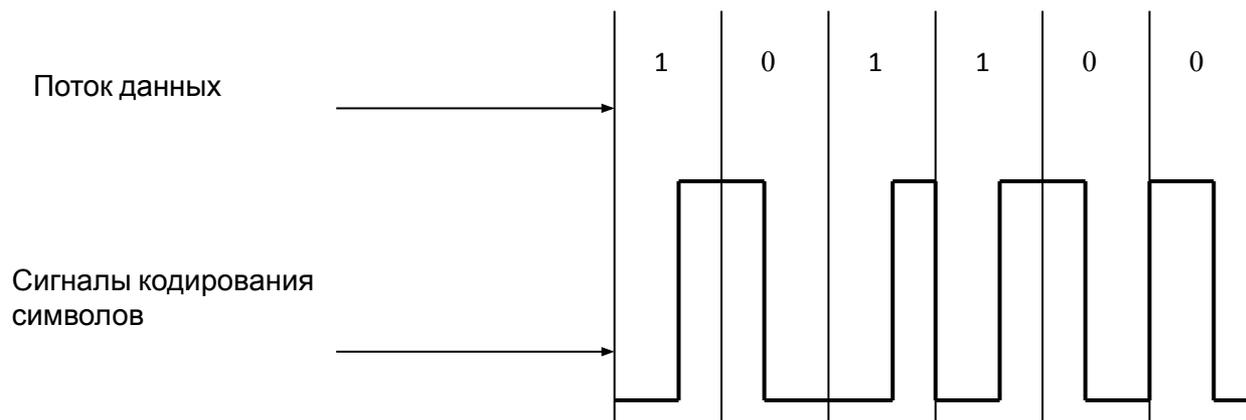
Эти функции выполняются подуровнем доступа к каналу физического уровня. Показанный на рисунке блок доступа к каналу приема и доступа передачи. Для генерирования сигнала проверки несущей служат блоки доступа к каналу приема и доступа к каналу передачи. Оба названных сигнала интерпретируются подуровнем управления доступа к среде уровня канала.



Функции физического уровня: сеть Ethernet

## Механизмы доступа к сети

Кроме проверки двух сигналов – обнаружения столкновения и проверки несущей, - блоки доступа к каналу передают символы в коаксиальный кабель и принимают их из кабеля. Блок кодирования передаваемых данных физического уровня (см. предыдущий рис.) кодирует символы в двоичные сигналы с помощью *манчестерского кода*. Пример такого кода показан на нижнем рисунке. При этой схеме первая половина символьного интервала применяется для передачи логического дополнения к разряду этого интервала; в течении второй половины передается исходное значение этого разряда. Таким образом, единицы передаются положительным фронтом сигнала, а нули – отрицательным. Функции кодирования/декодирования манчестерского кода выполняются передающим блоком кодирования и приемным блоком декодирования физического уровня, показанным на предыдущем рисунке. Эти блоки также генерируют и удаляют 64-разрядные серии, называемые преамбулами, которые предшествуют фактически передаваемому кадру, и применяются для синхронизации.



## Механизмы доступа к сети

Как и в протоколе HDLC, данные по локальной сети передаются в виде кадров, которые содержат дополнительно к данным, поступающим от вышестоящих уровней, еще адрес и поле проверки ошибок. Формат кадра сети Ethernet показан на нижнем рисунке. Максимальная длина кадра составляет 1518 байт. Первые 12 байт несут адреса пункта назначения и источника. Поле типа (2 байта) резервируется для вышестоящих уровней; протоколом Ethernet они не интерпретируются. Для обнаружения ошибок в конце кадра применяется проверочная последовательность кадра ППК (4 байта). Однако в отличие от HDLC исправление ошибок на уровне Ethernet не производится; как уже говорилось, эта функция передается вышестоящим уровням. Указание об обнаружении ошибки в символах передается на вышестоящие уровни для принятия мер на подуровне логического управления каналом или на вышестоящих уровнях.

Адрес получателя	Адрес источника	Тип	Данные	ППК
6 октет	6 октет	2 октета	45-1500 октет	4 октета

Передача метки (маркера) по кольцу как метод доступа также была стандартизована 802-м комитетом IEEE.

Концепция стандарта очень проста. Передачу осуществляет станция, которая получила на это разрешение в виде специального кадра, называемого меткой. После этого она передает метку следующей станции, которая может эту метку принять.

Схема кольца с передачей метки, хотя и является децентрализованной, все же требует общего управления для восстановления при возможных трудностях с меткой. Например, метка может быть потеряна. Для восстановления в этом и других случаях одна из станций кольца обозначается как действующий монитор, контролирующей правильность прохождения метки и восстанавливающий ее в случае необходимости.