

Казанский федеральный университет
Институт вычислительной математики и информационных технологий

В.М.Гостев

Архитектура сетей Ethernet

Учебно-методическое пособие

Содержание

- [1. Стандарты технологии Ethernet](#)
 - [2. Структура стандартов IEEE 802](#)
 - [3. Состав комплекса стандартов IEEE](#)
 - [4. Стандарт IEEE 802.2](#)
 - [5. Метод доступа CSMA/CD](#)
 - [6. Форматы кадров технологии Ethernet](#)
 - [7. Спецификации физической среды Ethernet](#)
 - [8. Стандарт 10Base-5](#)
 - [9. Стандарт 10Base-2](#)
 - [10. Стандарт 10Base-T](#)
 - [11. Стандарт 10Base-F](#)
 - [12. Правило 4-х повторителей](#)
 - [13. Методика расчета конфигурации сети Ethernet](#)
 - [14. Fast Ethernet как развитие классического Ethernet](#)
 - [15. Метод доступа к среде](#)
 - [16. Форматы кадров технологии Fast Ethernet](#)
 - [17. Спецификации физического уровня Fast Ethernet](#)
 - [18. Интерфейс МП](#)
 - [19. Физический уровень 100Base-FX - многомодовое оптоволокно](#)
 - [20. Физический уровень 100Base-TX - двухпарная витая пара](#)
 - [21. Физический уровень 100Base-T4 - четырехпарная витая пара](#)
 - [22. Правила построения сегментов Fast Ethernet при использовании повторителей класса I и класса II](#)
- [Список источников](#)

1. Стандарты технологии Ethernet

Ethernet – самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей. Общее количество сетей, использующих в настоящее время технологию Ethernet, оценивается в 5 миллионов, а количество компьютеров, работающих с установленными сетевыми адаптерами Ethernet – в 50 миллионов.

Когда говорят «Ethernet», то обычно имеют в виду любой из вариантов этой технологии. В более узком смысле, Ethernet – это сетевой стандарт, основанный на технологиях экспериментальной сети Ethernet Network, которую фирма Xerox разработала и реализовала в 1975 году (еще до появления персонального компьютера). Метод доступа был опробован еще раньше: во второй половине 60-х годов в радиосети Гавайского университета использовались различные варианты случайного доступа к общей радиосреде, получившие общее название Aloha. В 1980 году фирмы DEC, Intel и Xerox совместно разработали и опубликовали стандарт Ethernet версии II для сети, построенной на основе коаксиального кабеля. Поэтому стандарт Ethernet иногда называют стандартом DIX по заглавным буквам названий фирм.

На основе стандарта Ethernet DIX был разработан стандарт IEEE 802.3, который во многом совпадает со своим предшественником, но некоторые различия все же имеются. Так, в стандарте IEEE 802.3 выделены подуровни MAC и LLC, в то время как в оригинальном Ethernet эти подуровни объединены в единый канальный уровень. В Ethernet определяется протокол тестирования конфигурации (Ethernet Configuration Test Protocol), который отсутствует в IEEE 802.3. Несколько отличается и формат кадра, хотя минимальные и максимальные размеры кадров в этих стандартах совпадают.

В зависимости от типа физической среды стандарт IEEE 802.3 имеет различные модификации – 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, 10Base-F.

Для передачи двоичной информации по кабелю для всех вариантов физического уровня технологии Ethernet используется манчестерский код.

Все виды стандартов Ethernet используют один и тот же метод разделения среды передачи данных – метод CSMA/CD.

2. Структура стандартов IEEE 802

Стандарты семейства IEEE 802.X охватывают только два нижних уровня семиуровневой модели OSI – физический и канальный. Это связано с тем, что именно эти уровни в наибольшей степени отражают специфику локальных сетей; верхние уровни, начиная с сетевого, в значительной степени имеют общие черты как для локальных, так и для глобальных сетей.

Специфика локальных сетей также нашла свое отражение в разделении канального уровня на два подуровня, которые часто также называют уровнями. Канальный уровень (Data Link Layer) разделяется в локальных сетях на два подуровня:

- управления логическим каналом (Logical Link Control, LLC);
- управления доступом к среде (Media Access Control, MAC).

Причина выделения уровня MAC – наличие в локальных сетях разделяемой среды передачи данных. Именно этот уровень обеспечивает корректное совместное использование общей среды, предоставляя ее в соответствии с определенным алгоритмом в распоряжение той или иной станции сети. После того как доступ к среде получен, ее может использовать более

высокий уровень – уровень LLC, организующий передачу логических единиц данных, кадров информации, с различным уровнем качества транспортных услуг. В современных локальных сетях получили распространение несколько протоколов уровня MAC, реализующих различные алгоритмы доступа к разделяемой среде. Эти протоколы полностью определяют специфику таких технологий, как Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

Уровень LLC отвечает за передачу кадров данных между узлами с различной степенью надежности, а также реализует функции интерфейса с прилегающим к нему сетевым уровнем. LLC может работать в различных режимах, отличающихся качеством предоставляемых услуг этого уровня (наличием или отсутствием процедур восстановления кадров в случае их потери или искажения).

Протоколы уровней MAC и LLC взаимно независимы – каждый протокол уровня MAC может применяться с любым протоколом уровня LLC, и наоборот.

Стандарты IEEE 802 имеют структуру, показанную на рис.1:

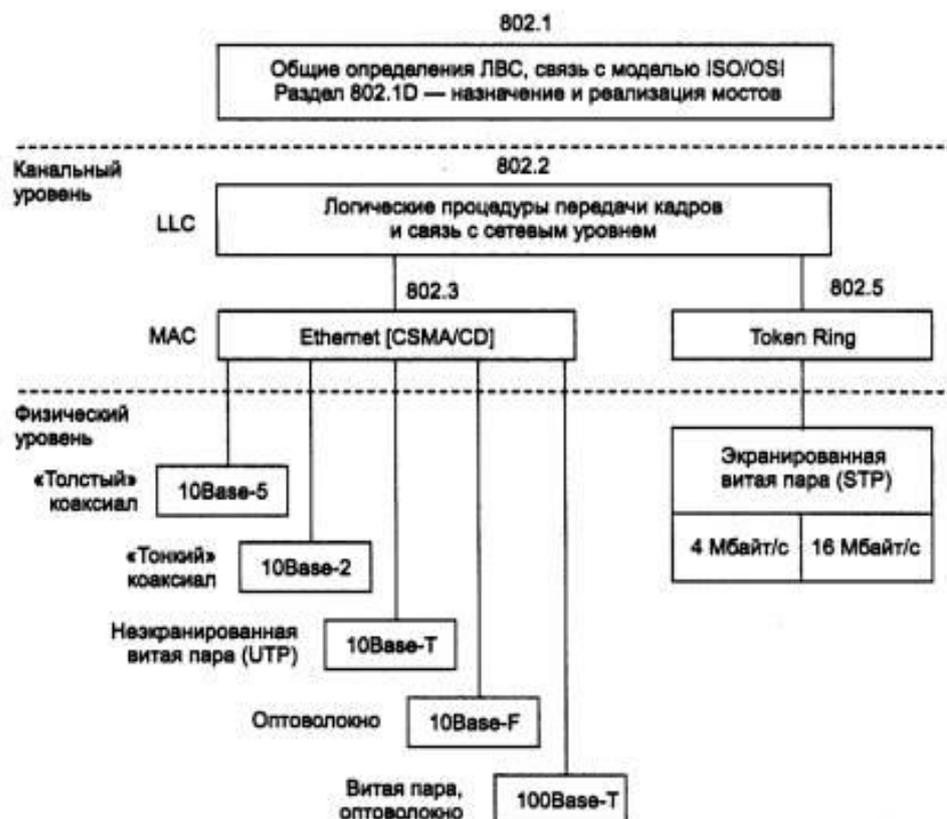


Рис.1. Структура стандартов IEEE 802

Эта структура стала результатом большой работы комитета IEEE 802 по выделению в разных фирменных технологиях общих подходов и общих функций, а также согласованию стилей их описания. Описание каждой технологии разделено на две части: описание уровня MAC и описание физического уровня. Как видно из рисунка, практически у каждой технологии единственному протоколу уровня MAC соответствует несколько вариантов протоколов физического уровня (на рисунке приведены только технологии Ethernet и Token Ring, но все сказанное справедливо также и для таких технологий, как ArcNet, FDDI, 100VG-AnyLAN).

Над протоколом MAC находится общий для всех технологий протокол LLC, поддерживающий несколько режимов работы, но независимый от выбора конкретной технологии. Стандарт LLC курирует подкомитет 802.2.

Особняком стоят стандарты, разрабатываемые подкомитетом 802.1. Эти стандарты носят общий для всех технологий характер. В подкомитете 802.1 были разработаны общие определения локальных сетей и их свойств, определена связь трех уровней модели IEEE 802 с моделью OSI. Но наиболее практически важными являются стандарты 802.1, которые описывают взаимодействие между собой различных технологий, а также стандарты по построению более сложных сетей на основе базовых топологий. Эта группа стандартов носит общее название стандартов межсетевое взаимодействие (internetworking). Сюда входят такие важные стандарты, как стандарт 802.1D, описывающий логику работы моста/коммутатора, стандарт 802.1H, определяющий работу транслирующего моста, который может без маршрутизатора объединять сети Ethernet и FDDI, Ethernet и Token Ring и т. п. Набор стандартов, разработанных подкомитетом 802.1, продолжает расти. Например, относительно недавно он пополнился стандартом 802.1Q, определяющим способ построения виртуальных локальных сетей VLAN в сетях на основе коммутаторов.

Стандарты 802.3, 802.4, 802.5 и 802.12 описывают технологии локальных сетей, которые появились в результате развития фирменных технологий, положенных в их основу. Так, основу стандарта 802.3 составила технология Ethernet, разработанная компаниями Digital, Intel и Xerox (или Ethernet DIX), стандарт 802.4 появился как обобщение технологии ArcNet компании Datapoint Corporation, а стандарт 802.5 в основном соответствует технологии Token Ring компании IBM.

Исходные фирменные технологии и их модифицированные варианты – стандарты 802.x – в ряде случаев долгие годы существовали параллельно.

Например, технология ArcNet так до конца не была приведена в соответствие со стандартом 802.4 (в начале 90-х годов производство оборудования ArcNet было свернуто). Расхождения между технологией Token Ring и стандартом 802.5 также периодически возникали, так как компания IBM регулярно вносила усовершенствования в свою технологию, и комитет 802.5 отражал эти усовершенствования в стандарте с некоторым запозданием. Исключение составляет технология Ethernet. Последний фирменный стандарт Ethernet DIX был принят в 1980 году, и с тех пор никто больше не предпринимал попыток фирменного развития Ethernet. Все новшества в семействе технологий Ethernet вносятся только в результате принятия открытых стандартов комитетом 802.3.

Более поздние стандарты изначально разрабатывались не одной компанией, а группой заинтересованных компаний, а затем передавались в соответствующий подкомитет IEEE 802 для утверждения. Так произошло с технологиями Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet. Группа заинтересованных компаний создавала сначала небольшое объединение, а затем по мере развития работ к нему присоединялись другие компании, так что процесс принятия стандарта носил открытый характер.

3. Состав комплекса стандартов IEEE

В состав комплекса 802 входят следующие стандарты:

IEEE 802-2001 – IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture

IEEE 802.1 – LAN/MAN Bridging & Management

- 802.1B – LAN/MAN Management
- 802.1D – MAC bridges
- 802.1E – System Load Protocol

- 802.1F – Common Definitions and Procedures for IEEE 802 Management Information
- 802.1G – Remote MAC bridging
- 802.1H – Media Access Control (MAC) Bridging of Ethernet V2.0 in Local Area Networks
- 802.1Q – Virtual LANs
- 802.1r – GARP Proprietary Attribute Registration Protocol (GPRP)
- 802.1s – Multiple Spanning Trees
- 802.1t – Media Access Control (MAC) Bridges: Technical and Editorial Corrections
- 802.1u – Virtual Bridged Local Area Networks – Amendment 1: Technical and editorial corrections
- 802.1v – VLAN Classification by Protocol and Port
- 802.1w – Rapid Reconfiguration of Spanning Tree
- 802.1x – Port Based Network Access Control

IEEE 802.2

- IEEE 802.2 – Logical Link Control

IEEE 802.3 – CSMA/CD (Ethernet)

- 802.3-2002 – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications
- 802.3ae-2002 – Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layer and Management Parameters for 10 Gb/s Operation

IEEE 802.4 – Token-Passing Bus Access Method

- 802.4-1990 – Token-Passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications
- 802.4h-1997 – Alternative Use of BNC Connectors and Manchester-Encoded Signaling Methods for Single-Channel Bus Physical Layer Entities

IEEE 802.5 – Token Ring Access Method

- 802.5-1998 – Token Ring Access Method and Physical Layer Specification
- 802.5c-1991 – Supplement to 802.5-1989, Recommended Practice for Dual Ring Operation with Wrapback Reconfiguration
- IEEE 802.5r and IEEE 802.5j, 1998 – Amendment 1: Dedicated Token Ring Operation and Fibre Optic Media
- 802.5t-2000 – Token Access Method and Physical Layer Specifications
- 802.5v-2001 – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 5: Token Ring access method and Physical Layer specifications – Amendment 5: Gigabit Token Ring operation
- 802.5w-2000 – (Corrigendum to IEEE Std 802-5:1998 including (ISO/IEC 8802-5:1998/Amd.1:1998) Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks –

Part 5: Token ring access method and physical layer specifications –Corrigendum 1

IEEE 802.6 – DQDB Access Method

- 802.6-1994 – Distributed Queue Dual Bus (DQDB) Access method and physical layer specifications
- 802.6j-1995 – Connection-Oriented Service on a DQDB Subnetwork of a MAN

IEEE 802.7 – Broadband LAN

- IEEE 802.7-1989 (R1997), IEEE Recommended Practices for Broadband Local Area Networks

IEEE 802.10 – Security

- 802.10-1998 – Interoperable LAN/MAN Security (SILS)
- 802.10a-1999 – Interoperable LAN/MAN Security (SILS) - Security Architecture Framework
- 802.10c-1998 – Supplement to 802.10-1998, Key management (Clause 3)

IEEE 802.11 – Wireless

- 802.11-1999 (ISO/IEC 8802-11: 1999) – Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- 802.11a-1999 – Amendment 1: High-speed Physical Layer in the 5 GHz band
- 802.11b-1999 – Higher speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band
- 802.11b-1999/Cor1-2001 - Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 2: Higher-speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band Corrigendum1
- IEEE 802.11d-2001, Amendment to IEEE 802.11-1999, (ISO/IEC 8802-11) – Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Specification for Operation in Additional Regulatory Domains

IEEE 802.12 – Demand Priority Access

- 802.12-1998 (ISO/IEC 8802-12:1998) – Demand-priority access method, physical layer and repeater specifications for 100 Mb/s Operation

IEEE 802.15 – Wireless Personal Area Networks

- IEEE 802.15.1(tm)-2002 – Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs(tm))

IEEE 802.16 – Broadband Wireless Metropolitan Area Networks

- IEEE Std 802.16-2001 – Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems

- IEEE Std 802.16.2(tm)-2001 – Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems

4. Стандарт IEEE 802.2

Все методы доступа используют протоколы уровня управления логическим каналом LLC, описанные в стандарте 802.2.

Протокол LLC уровня управления логическим каналом

В основу протокола LLC положен протокол HDLC (High-level Data Link Control Procedure), широко использующийся в территориальных сетях.

1. Три типа процедур уровня LLC

В соответствии со стандартом 802.2, уровень управления логическим каналом LLC предоставляет верхним уровням три типа процедур:

- LLC1 – сервис без установления соединения и без подтверждения;
- LLC2 – сервис с установлением соединения и подтверждением;
- LLC3 – сервис без установления соединения, но с подтверждением.

Этот набор процедур является общим для всех методов доступа к среде, определенных стандартами 802.3 – 802.5.

Сервис без установления соединения и без подтверждения LLC1 дает пользователю средства для передачи данных с минимумом издержек. Этот вид сервиса используется в тех случаях, когда такие функции как восстановление данных после ошибок и упорядочивание данных выполняются протоколами верхних уровней, поэтому нет необходимости дублировать их на уровне LLC.

Сервис с установлением соединений и с подтверждением LLC2 дает пользователю возможность установить логическое соединение перед началом передачи любого блока данных и, если это требуется, выполнить процедуры восстановления после ошибок и упорядочивания потока этих блоков в рамках установленного соединения. Протокол LLC2 во многом аналогичен протоколам семейства HDLC (LAP-B, LAP-D, LAP-M), которые применяются в глобальных сетях для обеспечения надежной передачи кадров на зашумленных линиях.

В некоторых случаях (например, при использовании сетей в системах реального времени, управляющих промышленными объектами), когда временные задержки, возникающие при установлении логического соединения перед отправкой данных, недопустимы, а подтверждение корректности приема переданных данных необходимо, базовый сервис без установления соединения и без подтверждения не подходит. Для таких случаев предусмотрен дополнительный сервис, называемый сервисом без установления соединения, но с подтверждением LLC3.

Чаще всего в локальных сетях используются протоколы LLC1. Это объясняется тем, что кабельные каналы локальных сетей обеспечивают высокую надежность передачи (низкую вероятность искажений бит и потери кадров). Поэтому использование повышающего надежность обмена протокола LLC2 часто приводит к неоправданной избыточности, лишь уменьшающей общую пропускную способность стека коммуникационных протоколов. Тем не менее, иногда протокол LLC2 применялся и в

локальных сетях. Так, этот протокол использовался стеком SNA в том случае, когда мейнфреймы или миникомпьютеры IBM взаимодействовали через сети Token Ring. Протокол LLC2 используется также компанией Hewlett-Packard в том случае, когда принтеры подключаются к сети Ethernet непосредственно, с помощью встроенных сетевых адаптеров.

2. Структура кадров LLC

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

- *Информационные кадры* предназначены для передачи информации в процедурах с установлением логического соединения и должны обязательно содержать поле информации. В процессе передачи информационных блоков осуществляется их нумерация в режиме скользящего окна.
- *Управляющие кадры* предназначены для передачи команд и ответов в процедурах с установлением логического соединения, в том числе запросов на повторную передачу искаженных информационных блоков.
- *Ненумерованные кадры* предназначены для передачи ненумерованных команд и ответов, выполняющих в процедурах без установления логического соединения передачу информации, идентификацию и тестирование LLC-уровня, а в процедурах с установлением логического соединения – установление и разъединение логического соединения, а также информирование об ошибках.

Все типы кадров уровня LLC имеют единый формат. Они содержат четыре поля:

- адрес точки доступа к сервису назначения (Destination Service Access Point, DSAP),
- адрес точки доступа к сервису источника (Source Service Access Point, SSAP),
- поле управления (Control, CTRL),
- поле данных (Data)

Кадр LLC обрамляется двумя однобайтовыми полями «Флаг». Флаги используются на MAC-уровне для определения границ блока. Отметим, что формат кадров LLC, за исключением поля SSAP, соответствует формату кадра HDLC, а также одного из вариантов протокола HDLC – протокола LAP-B, используемого в сетях X.25.

Флаг (01111110)	DSAP Адрес точки доступа к сервису назначения	SSAP Адрес точки доступа к сервису источника	CTRL Поле управления	DATA Данные	Флаг (01111110)
---------------------------	---	--	--------------------------------	-----------------------	---------------------------

Рис 1. Формат кадра LLC

Поле данных кадра LLC предназначено для передачи по сети пакетов протоколов верхних уровней – IP, IPX, AppleTalk, DECnet и др. Поле данных может отсутствовать в управляющих кадрах и некоторых нумерованных кадрах.

Поле управления (один байт) используется для обозначения типа кадра (информационный, управляющий или нумерованный). Кроме того, 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 LAR-B.

Поля DSAP и SSAP позволяют указать, какой сервис верхнего уровня пересылает данные с помощью этого кадра. Программному обеспечению узлов сети при получении кадров канального уровня необходимо распознать, какой протокол вложил свой пакет в поле данных поступившего кадра, для того, чтобы передать извлеченный из кадра пакет нужному протоколу для последующей обработки. Например, в качестве значения DSAP и SSAP может выступать код протокола IPX или же код протокола покрывающего дерева Spanning Tree.

3. Заголовок SNAP

Между заголовком LLC и полем данных LLC может использоваться дополнительный заголовок, называемый заголовком SNAP (Sub-Area Access Protocol). Дополнительный заголовок SNAP используется для передачи дополнительной информации о протоколе, который помещает свою информацию в поле данных кадра LLC. Стандарт 802.2 использует для этой цели однобайтовые поля DSAP и SSAP. В Ethernet DIX для этой цели использовалось двухбайтовое поле Type, в котором (в качестве стандарта де-факто) передавались двухбайтовые коды протоколов сетевого уровня, например, 0800 - для протокола IP и т.п.

Заголовок SNAP также содержит двухбайтовое поле Type, назначение и формат которого совпадает по назначению с полем Type кадра Ethernet DIX. Трехбайтовый код организации (OUI) используется для указания той организации по стандартизации, которая отвечает за числовые значения поля Type. Так, числовые значения поля Type для заголовка SNAP в случае использования его в кадрах Ethernet определяет комитет 802.3 IEEE, код которого равен 00 00 00.

Для других протоколов канального уровня значения кодов поля Type определяют другие организации по стандартизации. Таким образом, при использовании дополнительного заголовка SNAP достигается совместимость кадров 802.3 с кадрами Ethernet DIX по способу кодирования пакетов протоколов верхнего уровня, переносимых в поле данных. В поля DSAP и SSAP при использовании заголовка SNAP помещаются значения 170 (десятичные), которые говорят о том, что в поле данных кадра LLC вложен заголовок SNAP.

4. Временная диаграмма сервисов протокола LLC

На рис.2 показана временная диаграмма сервисов, предоставляемых уровнем LLC для верхних уровней. Все примитивы, изображенные на рисунке, имеют такие параметры, как адреса отправителя и получателя.

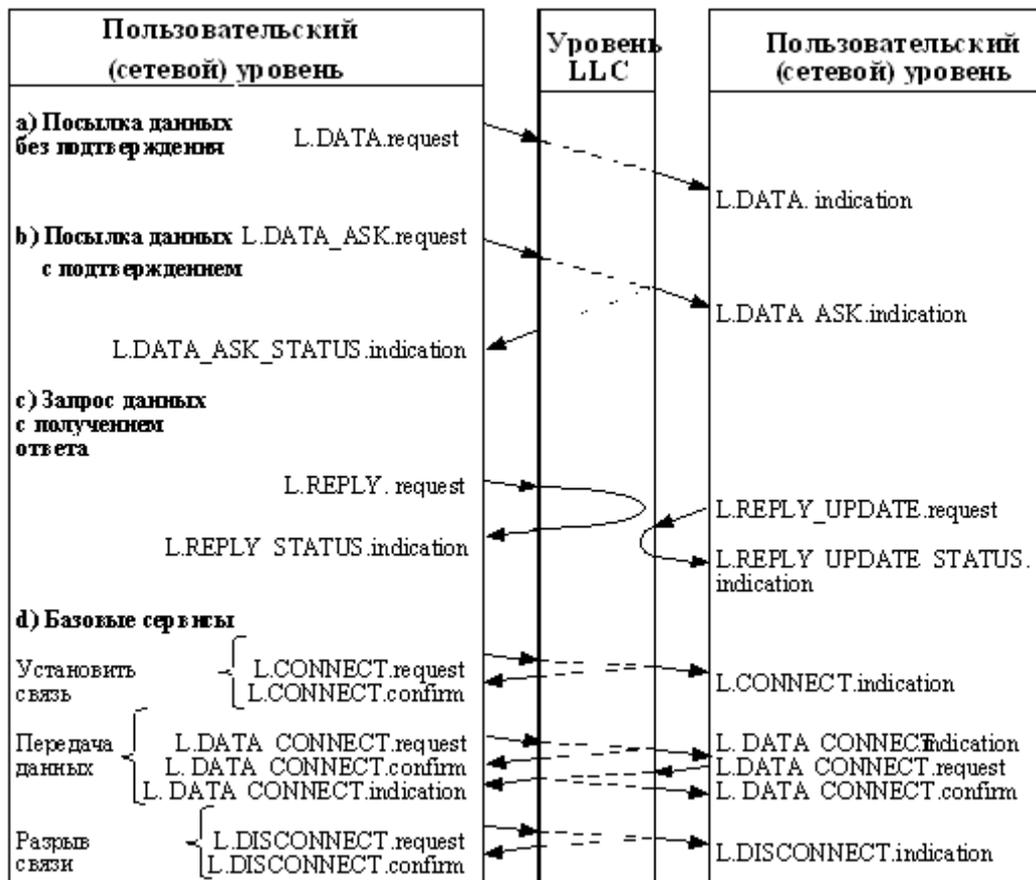


Рис.2. Примитивы уровня LLC

(а, б, в – без установления соединения, д – с установлением соединения)

При использовании сервиса без установления соединения и без подтверждения протокол LLC, получив запрос от пользователя (примитив L.DATA.request) на передачу данных, делает попытку послать данные, сопровождающие запрос, используя MAC-подуровень. Подтверждение успешности передачи отсутствует.

В этом варианте функции уровня LLC сведены к минимуму – он лишь обеспечивает интерфейс верхних уровней с MAC-уровнем. При использовании этого типа сервиса используются только нумерованные блоки.

При использовании сервиса без установления соединения, но с подтверждением, пользователь оповещается об успешности или не успешности передачи данных (примитив L.DATA_ACK_STATUS.indication).

При использовании сервиса с получением ответа используются следующие примитивы:

- Запрос содержимого буфера сообщения, управляемого протоколом LLC удаленного пользователя: L.REPLY.request и L.REPLY_STATUS.indication;
- Обновление содержимого буфера сообщения, управляемого протоколом LLC локального пользователя: L.REPLY_UPDATE.request и L.REPLY_UPDATE_STATUS.indication.

При использовании сервиса с установлением соединения перед отправкой любых данных должно быть установлено логическое соединение посредством выполнения примитива L.CONNECT. После того, как в рамках этого соединения будут переданы все данные, соединение должно быть разорвано с использованием примитива L.DISCONNECT.

Во время фазы передачи данных прием каждого свободного от ошибок блока данных подтверждается удаленным протоколом LLC. Это подтверждение преобразуется локальным протоколом LLC в примитив L.DATA_CONNECT.confirm и передается пользователю.

5. Метод доступа CSMA/CD

В сетях Ethernet используется метод доступа к среде передачи данных, называемый *методом множественного (коллективного) доступа с прослушиванием несущей и обнаружением коллизий (Carrier-Sense Multiply Access with Collision Detection, CSMA/CD)*.

Этот метод разработан для моноканальных сетей – сетей с общей (разделяемой) средой передачи сигналов (к таким сетям относятся и радиосети, для которых он и был изначально разработан). Все компьютеры такой сети имеют непосредственный доступ к общей передающей среде (радиоэфир, кабелю) поэтому она может быть использована для передачи данных между любыми двумя узлами сети. Простота схемы подключения – один из факторов, определивших успех стандарта Ethernet. Говорят, что передающая среда, к которой подключены все станции, обеспечивает работу в режиме *коллективного доступа (Multiply Access, MA)*.

Все данные, передаваемые по сети, помещаются в кадры определенной структуры, снабженные уникальным адресом станции назначения. Затем кадр передается по каналу. Все станции, подключенные к каналу, могут распознать факт передачи кадра. Та станция, которая узнает собственный адрес в заголовке кадра, записывает содержимое кадра в свой внутренний буфер и обрабатывает полученные данные. Адрес станции-источника также включен в исходный кадр, поэтому станция-получатель знает, кому нужно послать ответ.

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общему кабелю (рис.3). Для уменьшения вероятности такой ситуации передающая станция непосредственно перед отправкой кадра прослушивает канал (то есть

принимает и анализирует возникающие в нем сигналы), чтобы обнаружить, не передается ли уже по каналу кадр от другой станции. Если *опознается несущая (carrier-sense, CS)*, то станция откладывает передачу своего кадра до окончания чужой передачи, и только потом пытается вновь его передать. Но даже при таком алгоритме две станции одновременно могут решить, что по каналу в данный момент времени нет передачи, и начать одновременно передавать свои кадры. Говорят, что при этом происходит *коллизия*, так как содержимое обоих кадров «сталкивается» в общем канале, что приводит к искажению информации.

Чтобы корректно обработать коллизию, все станции одновременно наблюдают за передаваемыми по каналу сигналами. Если передаваемые и наблюдаемые сигналы отличаются, то фиксируется *обнаружение коллизии (collision detection, CD)*. Для увеличения вероятности немедленного обнаружения коллизии всеми станциями сети ситуация коллизии усиливается посылкой в сеть станциями, начавшими передачу своих кадров, специальной последовательности битов, называемой *jam-последовательностью*.

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

Из описания метода доступа видно, что он носит вероятностный характер, и вероятность успешного получения станцией в свое распоряжение общей среды зависит от загруженности сети, то есть от интенсивности возникновения запросов от станций на передачу кадров. При разработке этого метода предполагалось, что скорость передачи данных в 10 Мбит/с очень высока по сравнению с потребностями компьютеров во взаимном обмене данными, поэтому загрузка сети будет всегда небольшой. Это предположение иногда все еще остается справедливым, однако для приложений, работающих в реальном масштабе времени с мультимедийной

информацией, требуются гораздо более высокие скорости передачи данных. Поэтому наряду с классическим Ethernet'ом растет потребность и в высокоскоростных, технологиях.

Метод CSMA/CD определяет основные временные и логические соотношения, гарантирующие корректную работу всех станций в сети:

- Между двумя последовательно передаваемыми по общему каналу кадрами должна выдерживаться пауза в 9,6 мкс; эта пауза нужна для приведения в исходное состояние сетевых адаптеров станций, а также для предотвращения монопольного захвата среды передачи одной станцией.
- При обнаружении коллизии (условия ее обнаружения зависят от используемой физической среды) станция выдает в среду специальную 32-х битную последовательность (jam-последовательность), усиливающую явление коллизии для более надежного распознавания ее всеми узлами сети.
- При обнаружении коллизии станция, которая передавала кадр и обнаружила коллизию, после некоторой задержки пытается повторно передать свой кадр. Станция делает до 16 попыток передачи этого кадра, после чего отказывается от его передачи. Величина задержки выбирается как равномерно распределенное случайное число из интервала, длина которого экспоненциально увеличивается с каждой попыткой. Такой алгоритм выбора величины задержки снижает вероятность коллизий и уменьшает интенсивность выдачи кадров в сеть при ее высокой загрузке.

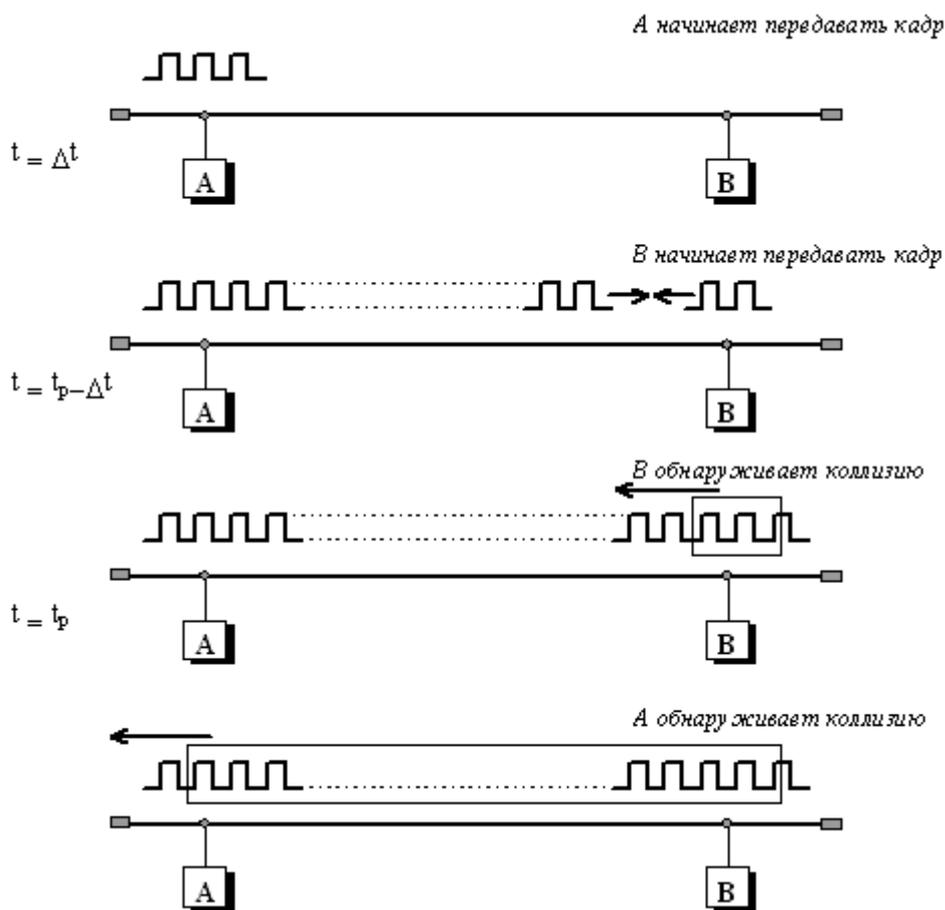


Рис.3. Схема возникновения коллизии в методе случайного доступа CSMA/CD

(t_p - задержка распространения сигнала между станциями A и B)

Четкое распознавание коллизий всеми станциями сети является необходимым условием корректной работы сети Ethernet. Если какая-либо передающая станция не распознает коллизию и решит, что кадр передан ею верно, то этот кадр будет утерян: поскольку информация кадра исказится из-за наложения сигналов при коллизии, он будет отбракован принимающей станцией (скорее всего из-за несовпадения контрольной суммы). Конечно, скорее всего, потерянная информация будет повторно запрошена и передана каким-либо протоколом верхнего уровня (например, транспортным или прикладным), работающим с установлением соединения и нумерацией своих сообщений. Но повторная передача сообщения протоколами верхних

уровней произойдет через гораздо более длительный интервал времени (возможно, десятки секунд) по сравнению с микросекундными интервалами, которыми оперирует протокол Ethernet. Поэтому, если коллизии не будут надежно распознаваться узлами сети Ethernet, то это приведет к заметному снижению полезной пропускной способности всей сети.

Все параметры протокола Ethernet подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе станций сети коллизии всегда четко распознавались. Именно поэтому минимальная длина поля данных кадра должна быть не менее 46 байт (что вместе со служебными полями дает минимальную длину кадра в 72 байта или 576 бит). Длина кабельной системы выбирается таким образом, чтобы за время передачи кадра минимальной длины сигнал коллизии успел распространиться до самой дальней станции сети. Поэтому для скорости передачи данных 10 Мбит/с, используемой в «классических» стандартах Ethernet, максимальное расстояние между двумя любыми станциями сети не должно превышать 2 500 метров.

С увеличением скорости передачи кадров в новых стандартах, базирующихся на том же методе доступа CSMA/CD (например, Fast Ethernet), максимальная длина сети уменьшается пропорционально увеличению скорости передачи. В стандарте Fast Ethernet она составляет 210 м, а в гигабитном Ethernet ограничена 25 метрами.

Независимо от используемой физической среды, все сети Ethernet должны удовлетворять двум ограничениям, связанным с методом доступа:

- максимальное расстояние между двумя любыми станциями не должно превышать 2500 м,
- в сети не должно быть более 1024 станций.

Кроме того, каждый вариант физической среды добавляет к этим ограничениям свои ограничения.

Уточним основные параметры операций передачи и приема кадров Ethernet, кратко описанные выше.

Станция, которая хочет передать кадр, должна сначала упаковать данные в кадр соответствующего формата. Затем для предотвращения смещения сигналов с сигналами другой передающей станции, MAC-уровень должен прослушивать сигналы в канале и в случае обнаружения несущей частоты 10 МГц отложить передачу своего кадра. После окончания передачи по каналу станция должна выдержать небольшую дополнительную паузу, называемую *межкадровым интервалом (interframe gap)*, что позволяет станции назначения принять и обработать передаваемый кадр, и после этого начать передачу своего кадра.

Одновременно с передачей битов кадра приемно-передающее устройство станции следит за принимаемыми по общему каналу битами, чтобы вовремя обнаружить коллизию. Если коллизия не обнаружена, то передается весь кадр, после чего MAC-уровень готов принять кадр из сети либо от LLC-уровня. Если же фиксируется коллизия, то MAC-уровень прекращает передачу кадра и посылает jam-последовательность, усиливающую состояние коллизии. После посылки в сеть jam-последовательности MAC-уровень выдерживает случайную паузу и повторно пытается передать свой кадр. Максимально возможное *число попыток повторной передачи кадра (attempt limit)* равно 16. При достижении этого предела фиксируется ошибка передачи кадра, сообщение о которой передается протоколу верхнего уровня.

Чтобы уменьшить интенсивность коллизий, каждая станция с каждой новой попыткой случайным образом увеличивает длительность паузы между попытками. Временное расписание длительности паузы определяется на

основе *усеченного двоичного экспоненциального алгоритма отсрочки* (*truncated binary exponential backoff*). Пауза всегда составляет целое число так называемых интервалов отсрочки.

Интервал отсрочки (slot time) – это время, в течение которого станция гарантированно может узнать, что в сети нет коллизии. Это время тесно связано с другим важным временным параметром сети – *окном коллизий (collision window)*. Окно коллизий равно времени двукратного прохождения сигнала между самыми удаленными узлами сети – наихудшему случаю задержки, при которой станция еще может обнаружить, что произошла коллизия. Интервал отсрочки выбирается равным величине окна коллизий плюс некоторая дополнительная величина задержки для гарантии:

интервал отсрочки = окно коллизий + дополнительная задержка

В стандартах 802.3 большинство временных интервалов измеряется в количестве битовых интервалов, величина которых для битовой скорости 10 Мбит/с составляет 0,1 мкс и равна времени передачи одного бита.

Величина интервала отсрочки в стандарте 802.3 определена равной 512 битовым интервалам, и эта величина рассчитана для максимальной длины коаксиального кабеля в 2,5 км. Величина 512 определяет и минимальную длину кадра в 64 байта, так как при кадрах меньшей длины станция может передать кадр и не успеть заметить факт возникновения коллизии из-за того, что искаженные коллизией сигналы дойдут до станции в наихудшем случае после завершения передачи. Такой кадр будет просто потерян.

Время паузы после N-ой коллизии полагается равным L интервалам отсрочки, где L – случайное целое число, равномерно распределенное в диапазоне $[0..2^N]$. Величина диапазона растет только до 10 попытки (напомним, что их не может быть больше 16), а далее диапазон остается равным $[0..2^{10}]$, то есть $[0..1024]$. Значения основных параметров процедуры передачи кадра стандарта 802.3 приведено в следующей таблице.

Основные параметры процедуры передачи кадра стандарта 802.3

Битовая скорость	10 Мбит/с
Интервал отсрочки	512 битовых интервалов
Межкадровый интервал	9,6 мкс
Максимальное число попыток передачи	16
Максимальное количество приращений диапазона паузы	10
Длина jam-последовательности	32 бита
Максимальная длина кадра (без преамбулы)	1518 байт (12 144 бита)
Минимальная длина кадра (без преамбулы)	64 байта (512 бит)
Длина преамбулы	64 бита

Учитывая приведенные параметры, нетрудно рассчитать максимальную производительность сегмента Ethernet в таких единицах, как число переданных пакетов минимальной длины в секунду (packets-per-second, pps). Количество обрабатываемых пакетов Ethernet в секунду часто используется при указании внутренней производительности мостов и маршрутизаторов, вносящих дополнительные задержки при обмене между

узлами. Поэтому интересно знать чистую максимальную производительность сегмента Ethernet в идеальном случае, когда на кабеле нет коллизий и нет дополнительных задержек, вносимых мостами и маршрутизаторами.

Так как размер пакета минимальной длины вместе с преамбулой составляет $64+8 = 72$ байта или 576 битов, то на его передачу затрачивается 57.6 мкс. Прибавив межкадровый интервал в 9.6 мкс, получаем, что период следования минимальных пакетов равен 67.2 мкс. Это соответствует максимально возможной пропускной способности сегмента Ethernet в 14880 пакетов/с.

Контроллер MAC Fast Ethernet, прежде чем приступить к передаче, прослушивает несущую. Несущая существует лишь тогда, когда другой узел ведет передачу. Уровень РНУ определяет наличие несущей и генерирует **сообщение** для MAC. Наличие несущей говорит о том, что среда занята и слушающий узел (или узлы) должны уступить передающему.

MAC, имеющий кадр для передачи, прежде чем передать его, должен подождать некоторый минимальный промежуток времени после окончания предыдущего кадра. Это время называется **межпакетным интервалом** (IPG, interpacket gap) и продолжается 0,96 микросекунды, то есть десятую часть от времени передачи пакета обычной Ethernet со скоростью 10 Мбит/с (IPG — единственный интервал времени, всегда определяемый в микросекундах, а не во времени бита).

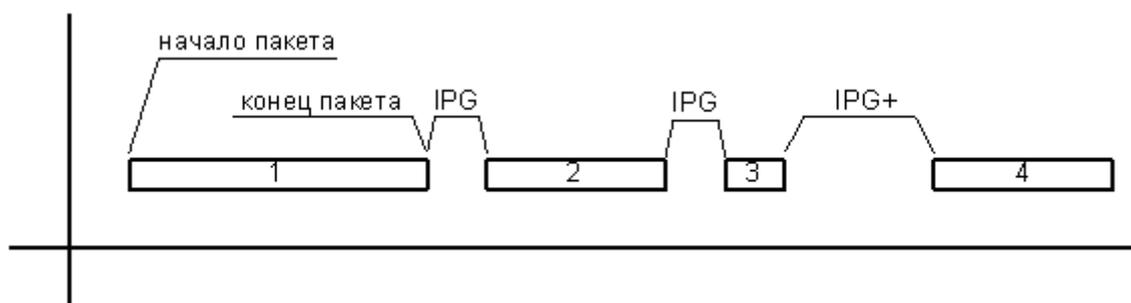


Рисунок 3.1. Межпакетный интервал

После окончания передачи пакета 1 все узлы ЛВС обязаны подождать в течение времени IPG, прежде чем смогут передавать. Временной интервал между пакетами 1 и 2, 2 и 3 на рис. 2 — это время IPG. После завершения передачи пакета 3 ни один узел не имел материала для обработки, поэтому временной интервал между пакетами 3 и 4 длиннее, чем IPG.

Все узлы сети должны соблюдать эти правила. Даже если на узле имеется много кадров для передачи и данный узел является единственным передающим, то после пересылки каждого пакета он должен выждать в течение, по крайней мере, времени IPG.

Именно в этом заключается часть CSMA правил доступа к среде Fast Ethernet. Короче говоря, многие узлы имеют доступ к среде и используют несущую для контроля ее занятости.

В ранних экспериментальных сетях применялись именно эти правила, и такие сети работали очень хорошо. Тем не менее, использование лишь CSMA привело к возникновению проблемы. Часто два узла, имея пакет для передачи и прождав время IPG, начинали передавать одновременно, что приводило к искажению данных с обеих сторон. Такая ситуация называется **коллизией** (collision) или конфликтом.

Для преодоления этого препятствия ранние протоколы использовали достаточно простой механизм. Пакеты делились на две категории: команды и реакции. Каждая команда, переданная узлом, требовала реакции. Если в

течение некоторого времени (называемого периодом тайм-аута) после передачи команды реакция на нее не была получена, то исходная команда подавалась вновь. Это могло происходить по нескольку раз (предельное количество тайм-аутов), прежде чем передающий узел фиксировал ошибку.

Эта схема могла прекрасно работать, но лишь до определенного момента. Возникновение конфликтов приводило к резкому снижению производительности (измеряемой обычно в байтах в секунду), потому что узлы часто простаивали в ожидании ответов на команды, никогда не достигающие пункта назначения. Перегрузка сети, увеличение количества узлов напрямую связаны с ростом числа конфликтов и, следовательно, со снижением производительности сети.

Проектировщики ранних сетей быстро нашли решение этой проблемы: каждый узел должен устанавливать факт потери переданного пакета путем обнаружения конфликта (а не ожидать реакции, которая никогда не последует). Это означает, что потерянные в связи с конфликтом пакеты должны быть немедленно переданы вновь до окончания времени тайм-аута. Если узел передал последний бит пакета без возникновения конфликта, значит, пакет передан успешно.

Метод контроля несущей хорошо сочетается с функцией обнаружения коллизий. Коллизии все еще продолжают происходить, но на производительности сети это не отражается, так как узлы быстро избавляются от них. Группа DIX, разработав правила доступа к среде CSMA/CD для Ethernet, оформила их в виде простого алгоритма.

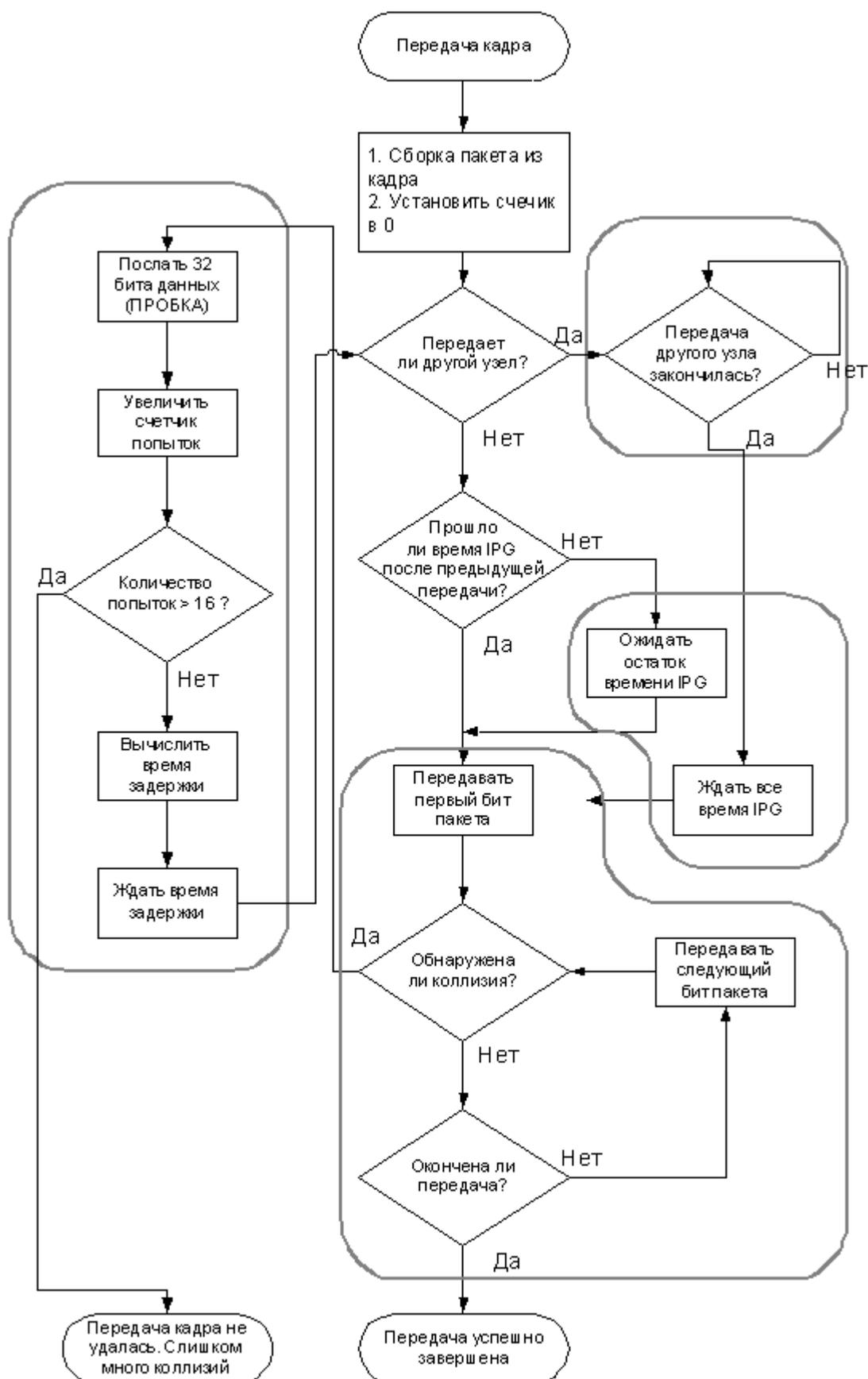


Рисунок 3.2. Алгоритм работы CSMA/CD

6. Форматы кадров технологии Ethernet

Стандарт на технологию Ethernet, описанный в документе 802.3, дает описание единственного формата кадра MAC-уровня. Так как в кадр MAC-уровня должен вкладываться кадр уровня LLC, описанный в документе 802.2, то по стандартам IEEE в сети Ethernet может использоваться только единственный вариант кадра канального уровня, образованный комбинацией заголовков MAC и LLC подуровней. Тем не менее, на практике в сетях Ethernet на канальном уровне используются заголовки 4-х типов. Это связано с длительной историей развития технологии Ethernet до принятия стандартов IEEE 802, когда подуровень LLC не выделялся из общего протокола и, соответственно, заголовков LLC не применялся. Затем, после принятия стандартов IEEE и появления двух несовместимых форматов кадров канального уровня, была сделана попытка приведения этих форматов к некоторому общему знаменателю, что привело еще к одному варианту кадра.

Различия в форматах кадров могут иногда приводить к несовместимости аппаратуры, рассчитанной на работу только с одним стандартом, хотя большинство сетевых адаптеров, мостов и маршрутизаторов умеет работать со всеми используемыми на практике форматами кадров технологии Ethernet.

Ниже приводится описание всех четырех модификаций заголовков кадров Ethernet (причем под заголовком кадра понимается весь набор полей, которые относятся к канальному уровню):

- Кадр 802.3/LLC (или кадр Novell 802.2)
- Кадр Raw 802.3 (или кадр Novell 802.3)

- Кадр Ethernet DIX (или кадр Ethernet II)
- Кадр Ethernet SNAP

Заголовок кадра 802.3/LLC является результатом объединения полей заголовков кадров, определенных в стандартах 802.3 и 802.2.

Стандарт 802.3 определяет восемь полей заголовка:

- *Поле преамбулы* состоит из семи байтов синхронизирующих данных. Каждый байт содержит одну и ту же последовательность битов - 10101010. При манчестерском кодировании эта комбинация представляется в физической среде периодическим волновым сигналом. Преамбула используется для того, чтобы дать время и возможность схемам приемопередатчиков (transceiver) прийти в устойчивый синхронизм с принимаемыми тактовыми сигналами.
- *Начальный ограничитель* кадра состоит из одного байта с набором битов 10101011. Появление этой комбинации является указанием на предстоящий прием кадра.
- *Адрес получателя* - может быть длиной 2 или 6 байтов (MAC-адрес получателя). Первый бит адреса получателя - это признак того, является адрес индивидуальным или групповым: если 0, то адрес указывает на определенную станцию, если 1, то это групповой адрес нескольких (возможно всех) станций сети. При ширококвещательной адресации все биты поля адреса устанавливаются в 1. Общепринятым является использование 6-байтовых адресов.
- *Адрес отправителя* - 2-х или 6-ти байтовое поле, содержащее адрес станции отправителя. Первый бит - всегда имеет значение 0.
- *Двухбайтовое поле длины* определяет длину поля данных в кадре.

- *Поле данных* может содержать от 0 до 1500 байт. Но если длина поля меньше 46 байт, то используется следующее поле - поле заполнения, чтобы дополнить кадр до минимально допустимой длины.
- *Поле заполнения* состоит из такого количества байтов заполнителей, которое обеспечивает определенную минимальную длину поля данных (46 байт). Это обеспечивает корректную работу механизма обнаружения коллизий. Если длина поля данных достаточна, то поле заполнения в кадре не появляется.
- *Поле контрольной суммы* - 4 байта, содержащие значение, которое вычисляется по определенному алгоритму (полиному CRC-32). После получения кадра рабочая станция выполняет собственное вычисление контрольной суммы для этого кадра, сравнивает полученное значение со значением поля контрольной суммы и, таким образом, определяет, не искажен ли полученный кадр.

Кадр 802.3 является кадром MAC-подуровня, в соответствии со стандартом 802.2 в его поле данных вкладывается кадр подуровня LLC с удаленными флагами начала и конца кадра. Формат кадра LLC был описан выше.

Результирующий кадр 802.3/LLC изображен в левой части рисунка 4. Так как кадр LLC имеет заголовок длиной 3 байта, то максимальный размер поля данных уменьшается до 1497 байт.

LLC, но отличается тем, что на месте поля длины в нем определено поле типа протокола (поле Type). Это поле предназначено для тех же целей, что и поля DSAP и SSAP кадра LLC - для указания типа протокола верхнего уровня, вложившего свой пакет в поле данных этого кадра. Для кодирования типа протокола используются значения, превышающие значение максимальной длины поля данных, равное 1500, поэтому кадры Ethernet II и 802.3 легко различимы.

Еще одним популярным форматом кадра является кадр Ethernet SNAP (SNAP - SubNetwork Access Protocol, протокол доступа к подсетям). Кадр Ethernet SNAP определен в стандарте 802.2Н и представляет собой расширение кадра 802.3 путем введения дополнительного поля идентификатора организации, которое может использоваться для ограничения доступа к сети компьютеров других организаций.

В таблице 3 приведены данные о том, какие типы кадров Ethernet обычно поддерживают реализации популярных протоколов сетевого уровня.

Тип кадра	Сетевые протоколы
Ethernet_II	IPX, IP, AppleTalk Phase I
Ethernet 802.3	IPX
Ethernet 802.2	IPX, FTAM
Ethernet_SNAP	IPX, IP, AppleTalk Phase II

Поддержка протоколами кадров Ethernet

***Как и на производстве, кадры в сети Ethernet решают все. Они служат вмещением для всех высокоуровневых пакетов, поэтому, чтобы понять друг друга, отправитель и получатель должны использовать один и тот же тип кадров Ethernet. К счастью (или к сожалению), кадры могут быть всего четырех разных форматов, и к тому же не сильно отличающихся друг от друга. Более того, базовых форматов кадров существует всего два (в английской терминологии их называют "raw formats") - Ethernet_II и Ethernet_802.3, причем они отличаются назначением всего одного поля.

Современные компьютерные сети гетерогенны по своей природе, а сетевые протоколы третьего уровня используют зачастую разные типы кадров Ethernet. Так, в старых версиях NetWare 3.x компании Novell базовым форматом по умолчанию является Ethernet_802.3, а не 802.2 или SNAP, как это предусмотрено стандартами IEEE, причем, кроме нее, этот формат больше никто не применяет. С выходом NetWare 4.x протоколы IPX/SPX используют по умолчанию стандартные кадры Ethernet_802.2, а с планируемым переводом IntranetWare на протоколы TCP/IP эта сетевая ОС будет, возможно, работать по умолчанию с кадрами Ethernet_SNAP, так как именно этот формат применяется в новейших реализациях TCP/IP. Вообще говоря, пакеты протоколов IPX/SPX могут передаваться с помощью кадров любых типов, поэтому - а также потому, что тип Ethernet_802.3 используется исключительно Novell, - в этом уроке мы будем рассматривать кадры Ethernet преимущественно с точки зрения сетей NetWare.

ETHERNET II

Несмотря на то что мы привычно называем стандарт 802.3 именем Ethernet, это не совсем правильно, так как последнее название является торговой маркой Xerox, Intel и Digital, чья технология послужила прототипом этого столь популярного стандарта. Формат Ethernet_II соответствует оригинальному формату кадров Ethernet и имеет следующий вид.

Как и всякий кадр, Ethernet_II начинается с семибайтной преамбулы, состоящей из чередующихся единиц и нулей, и однобайтного начального ограничителя кадра, в котором два младших бита равны 112, а не 102, как остальные биты в преамбуле и ограничителе. Однако, если быть более точным, в Ethernet_II преамбула не разделяется на собственно преамбулу и начальный ограничитель кадра - и это является одним из отличий Ethernet от IEEE 802.3, хотя весьма несущественным, можно сказать, схоластическим, тем более что очень часто преамбула вообще рассматривается как часть физического механизма синхронизации передающей и принимающей стороны, а не как часть кадра (поэтому на рисунках мы не будем обозначать преамбулу и начальный ограничитель).

Собственно заголовок кадра состоит из шестибайтного поля адреса получателя (Destination Address), шестибайтного поля адреса отправителя (Source Address) и двухбайтного поля типа протокола (Frame Type) (см. Рисунок 2). При передаче каждого байта адреса младшие биты (крайние справа) передаются первыми. В адресе получателя первый передаваемый бит (бит 0 байта 0) указывает тип адреса - обычный или групповой. Таким образом, нечетный первый байт адреса получателя означает, что кадр предназначен группе станций. Разновидностью многоадресной передачи является широковещательная передача. В этом случае все биты адреса получателя задаются равными 1.

БАЗОВЫЕ КАДРЫ ETHERNET II И 802.3

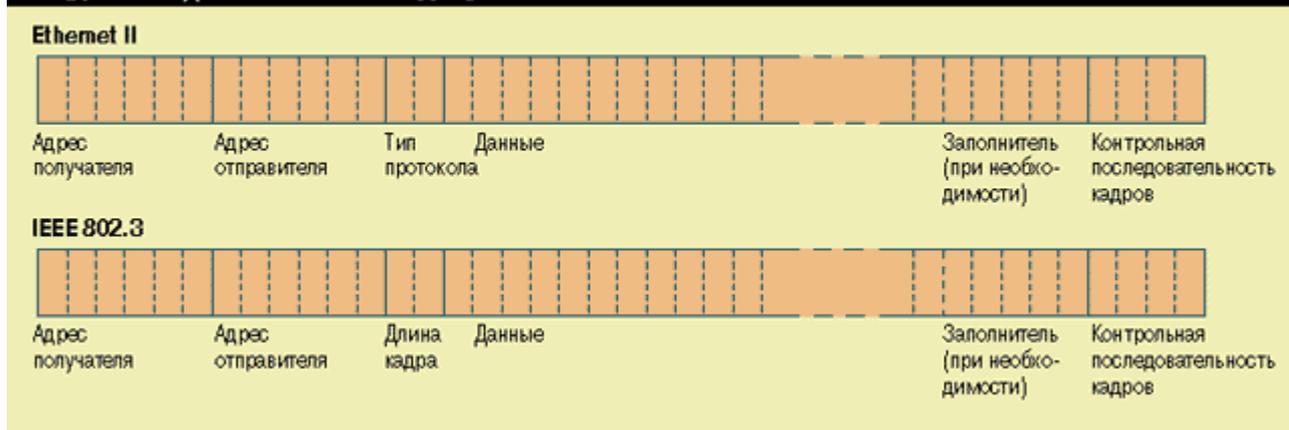


Рисунок 4.1

Базовые пакеты Ethernet II и IEEE 802.3 имеют одинаковую структуру. Их различие - в назначении 13-го и 14-го байтов: поля типа протокола и длины кадра соответственно. Совместное использование разных форматов кадров в одном сегменте Ethernet возможно благодаря тому, что тип протокола характеризуется числом, большим 0x05FE.

Однако поле адреса отправителя должно содержать адрес конкретной станции-отправителя.

В случае обычных адресов первые три байта служат для идентификации производителя сетевой платы, а последние три байта составляют уникальный номер конкретной платы. Так, первые три байта адреса популярных сетевых плат производства 3Com выражаются следующим числом - 02608C в шестнадцатеричной системе счисления (далее для обозначения чисел в шестнадцатеричной системе счисления мы будем использовать обозначение 0x, т. е. идентификатор 3Com будет иметь вид 0x02608C). Адрес получателя называется также физическим или MAC-адресом.

Вообще говоря, адрес получателя идентифицирует непосредственного, а не конечного получателя, например маршрутизатор в сети Ethernet. Конечный получатель идентифицируется с помощью высокоуровневых протоколов. В

случае TCP/IP - это IP-адрес станции и TCP- или UDP-порт процесса на данной станции.

Поле типа протокола идентифицирует высокоуровневый протокол, такой как IP, AppleTalk и т. д., контейнером для пакета которого служит кадр. Ниже мы приводим значения поля типа протокола для некоторых распространенных сетевых протоколов:

Internet Protocol (IP) - 0x0800;

Address Resolution Protocol (ARP) - 0x0806;

AppleTalk - 0x809B;

Xerox Network System (XNS) - 0x0600;

NetWare IPX/SPX - 0x8137.

Следующее поле кадра служит собственно для передачи полезной информации (на уровне кадра к полезной нагрузке мы относим такую служебную информацию высокоуровневых протоколов, как заголовок пакета и т. п.).

В отличие от служебных полей, поле данных имеет переменную длину, причем оно не может быть короче 46 байт и длиннее 1500 байт. Таким образом, общая длина кадра без учета преамбулы и начального ограничителя кадра находится в диапазоне от 64 до 1518 байт. В случае, когда реальный объем передаваемых данных меньше 46 байт (например, для эмуляции терминала часто передается всего один символ, вводимый с клавиатуры), поле данных дополняется до минимального размера заполнителем. Байт заполнения может вставляться, даже если объем передаваемых данных более 46 байт. По предложению Novell, в случае нечетного количества байт драйвер сетевой платы добавляет еще один. Это

сделано потому, что некоторые старые маршрутизаторы не понимают кадры нечетной длины.

Последнее поле в кадре - это четырехбайтное поле контрольной последовательности кадра (Frame Check Sequence, FCS). Значение этого поля вычисляется на основе содержимого заголовка и данных (вместе с заполнителем, но без учета преамбулы и ограничителя) с помощью 32-разрядного циклического избыточного кода (Cyclic Redundancy Code, CRC-32) по следующей формуле (в двоичной системе счисления):

контрольная последовательность = MOD (данные/полином)

В Ethernet порождающим полиномом служит многочлен $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$. Данный код позволяет обнаружить 99,99999977% всех ошибок в сообщениях длиной до 64 байт! Таким образом, вероятность того, что принимающая станция воспримет испорченный кадр как целый, практически равна нулю.

После приема кадра принимающая станция заново вычисляет контрольную последовательность и сравнивает полученный результат с содержимым поля FCS. В случае несовпадения пакет считается испорченным и игнорируется.

БАЗОВЫЙ ФОРМАТ КАДРА 802.3

Определяемый спецификацией 802.3 формат кадра практически идентичен своему предшественнику за исключением того, что поле типа протокола имеет смысл длины кадра. На первый взгляд это неизбежно должно привести к путанице, когда кадры Ethernet II и Ethernet 802.3 передаются между станциями в одном сегменте. Однако на практике эти кадры не представляет труда отличить друг от друга. Как мы уже говорили, длина поля данных не превышает 1500 байт, поэтому, в соответствии с принятыми соглашениями, тип высокоуровневого протокола задается большим, чем

0x05FE (1518 в шестнадцатеричной системе счисления - полная длина кадра), благо двухбайтное поле может принимать 65 536 разных значений. Таким образом, если значение поля между адресом отправителя и данными меньше или равно 1518, то это кадр 802.3, в противном случае - это кадр Ethernet_II.

Другое небольшое отличие между Ethernet и 802.3 состоит в классификации групповых адресов. В отличие от Ethernet, спецификация 802.3 подразделяет групповые адреса на имеющие глобальное и локальное значение. Однако это разделение редко используется на практике. (О третьем незначительном отличии - в преамбуле - мы говорили выше.)

В соответствии с эталонной моделью OSI, каждый протокольный блок данных содержит (инкапсулирует) пакеты вышележащих протоколов своего стека. Протокол 802.3 описывает метод доступа к среде передачи - нижний подуровень канального уровня, и для него вышележащим протоколом является протокол логического

управления каналом (Logical Link Control, LLC) - верхний подуровень канального уровня. Таким образом, согласно требованиям стандарта, поле данных должно содержать заголовок LLC. В ранних версиях NetWare компания Novell проигнорировала этот заголовок и стала помещать пакеты IPX/SPX непосредственно за полем длины кадра, и поле данных начиналось так же, как и обычный заголовок IPX, с двух байтов, состоящих из единиц (число 0xFFFF). Иными словами, Novell использовала кадры просто в качестве контейнера.

В принципе применение базового формата кадра 802.3 без служебной информации верхнего подуровня канального уровня позволяет Novell несколько сократить накладные расходы в расчете на кадр. Однако выигрыш невелик, а в гетерогенной среде применение нестандартного формата ведет к проигрышу, так как маршрутизатор или сетевая плата

вынуждены проверять дополнительные поля для определения типа пакета. Это послужило одним из побудительных мотивов, почему начиная с версии 4.0 Novell перешла по умолчанию на стандартный формат Ethernet_802.2. Другой причиной было то, что использование базовых кадров Ethernet_802.3 делало невозможным применение таких опций защиты, как подпись пакетов, из-за того, что поле контрольной суммы пакета было фиксированным и равным 0xFFFF, чтобы кадр Ethernet_802.3 можно было отличить от других типов кадров.

ДВА СТАНДАРТНЫХ ФОРМАТА

Спецификации IEEE предусматривают всего два стандартных формата - 802.2 и 802.2 SNAP, причем второй является естественным расширением первого. Как уже говорилось, стандартный кадр должен содержать в поле данных служебную информацию логического управления каналом, а именно однобайтное поле точки доступа к сервису для получателя (Destination Service Access Point, DSAP), однобайтное поле точки доступа к сервису для отправителя (Source Service Access Point, SSAP) и однобайтное управляющее поле (см. Рисунок 3). Назначением номеров точек доступа к сервису (Service Access Point, SAP) занимается IEEE, и он выделил следующие номера:

0xE0 для Novell;

0xF0 для NetBIOS;

0x06 для TCP/IP;

AA для SNAP.

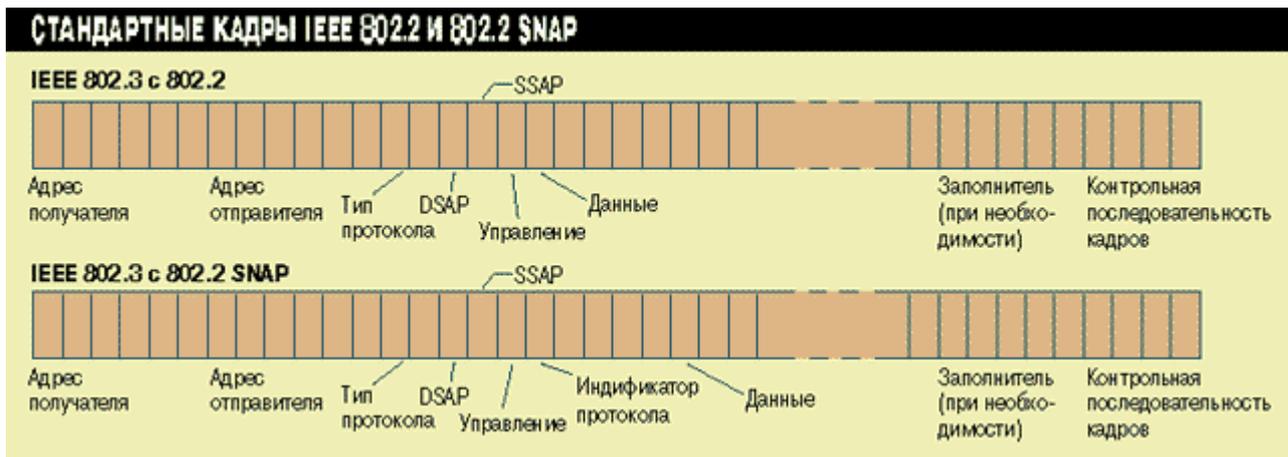


Рисунок 4.2

Формат IEEE 802.2 SNAP представляет собой расширение стандартного формата IEEE 802.2. Кадры обоих типов содержат заголовок 802.2 LLC в начале поля данных.

Поля DSAP и SSAP служат для определения вышележащего протокола и, как правило, содержат одно и то же значение. Управляющее поле обычно задается равным 0x03 (в соответствии с протоколом LLC это означает, что соединение на канальном уровне не устанавливается).

Протокол доступа к подсети (Sub-Network Access Protocol, SNAP) был разработан с целью увеличения числа поддерживаемых протоколов, так как однобайтные поля SAP позволяют поддерживать не более 256 протоколов. Формат Ethernet_SNAP предусматривает дополнительное пятибайтное поле для идентификации протокола (Protocol Identification, PI) внутри поля данных, причем значения двух последних байтов этого поля совпадают со значениями поля протокола в Ethernet_II в случае, если кадры содержат пакеты одного и того же высокоуровневого протокола, например они равны 0x8137 для NetWare.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМАТА КАДРА

Отличить один формат кадра Ethernet от другого не представляет большого труда, и сделать это можно с помощью следующего простого алгоритма (см. Рисунок 4). Сначала драйвер должен проверить значение поля типа протокола/длины кадра (13-й и 14-й байты в заголовке). Если записанное там значение превышает 0x05FE (максимально возможная длина кадра), то это кадр Ethernet_II.

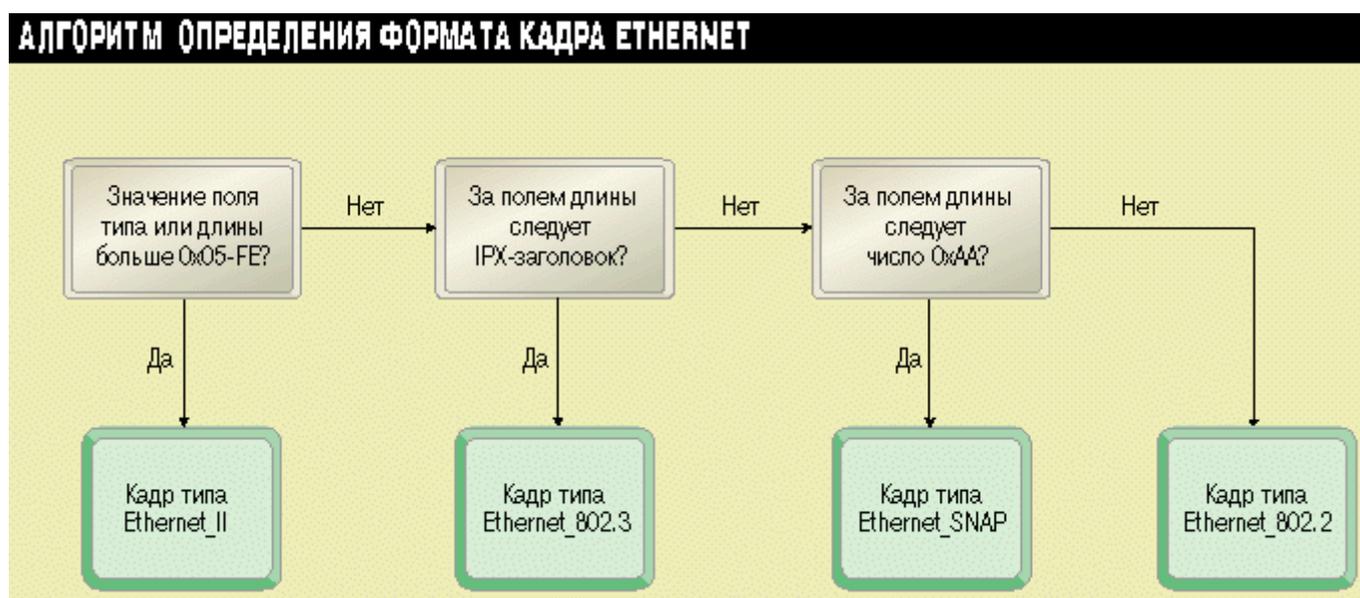


Рисунок 4.3.

Для определения типа кадра Ethernet сначала необходимо проверить значение поля после адреса отправителя, а затем первых двух байтов поля данных.

Если нет, следует продолжить проверку. Если первые два байта равны 0xFFFF, то это формат Ethernet_802.3 для NetWare 3.x. В противном случае это стандартный формат кадра 802.2, и нам остается только выяснить, какой из двух - обычный (Ethernet_802.2) или расширенный (Ethernet_SNAP). В случае Ethernet_SNAP значение первого, впрочем, как и второго, байта в

поле данных равняется 0xAA. (Значение третьего байта равняется 0x03, но это проверять излишне.)

ЗА КАДРОМ

Разные протоколы используют разные форматы кадров. Однако число последних не так уж велико, и их несложно отличить один от другого. К тому же протокол TCP/IP выдвигается на доминирующую позицию не только в глобальных, но и в локальных сетях, поэтому даже Novell решила отказаться от своего протокола IPX/SPX в пользу TCP/IP в следующей версии NetWare. Это означает, что в большинстве случаев администратору сети не придется беспокоиться о том, какой формат кадров Ethernet используется. Однако, как показывает опыт, унаследованные технологии живут довольно долго, так что знание форматов кадров может представлять не только теоретический, но и практический интерес.

Формат кадра	Протокол	Способ идентификации вышележащего протокола
Ethernet_II	DecNET, LAT, старые реализации TCP/IP	Поле типа протокола
802.3	NetWare 3.x	Первые два байта поля данных равны 0xFFFF
802.2	NetWare 4.x, LLC2	Поле DSAP
SNAP	EtherTalk, реализации TCP/IP	Пятибайтное поле после служебной информации LLC

Протоколы и соответствующие типы кадров

7. Спецификации физической среды Ethernet

Исторически первые сети технологии Ethernet были созданы на коаксиальном кабеле диаметром 0.5 дюйма. В дальнейшем были определены и другие спецификации физического уровня для стандарта Ethernet, позволяющие использовать различные среды передачи данных в качестве общей шины. Метод доступа CSMA/CD и все временные параметры Ethernet остаются одними и теми же для любой спецификации физической среды.

Физические спецификации включают следующие среды передачи данных:

10Base-5 - коаксиальный кабель диаметром 0.5 дюйма, называемый "толстым" коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента - 500 метров (без повторителей).

10Base-2 - коаксиальный кабель диаметром 0.25 дюйма, называемый "тонким" коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента - 185 метров (без повторителей).

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

10Base-F - оптоволоконный кабель. Топология аналогична стандарту на витой паре. Имеется несколько вариантов этой спецификации - FOIRL, 10Base-FL, 10Base-FB.

Число 10 обозначает битовую скорость передачи данных этих стандартов - 10 Мб/с, а слово Base - метод передачи на одной базовой частоте 10 МГц (в отличие от стандартов, использующих несколько несущих частот, которые называются broadband - широкополосными

8. Стандарт 10Base-5

Стандарт 10Base-5 соответствует экспериментальной сети Ethernet фирмы Херох и может считаться классическим Ethernet'ом. Он использует в качестве среды передачи данных коаксиальный кабель с диаметром центрального медного провода 2,17 мм и внешним диаметром около 10 мм ("толстый" Ethernet).

Кабель используется как моноканал для всех станций. Сегмент кабеля имеет максимальную длину 500 м (без повторителей) и должен иметь на концах согласующие терминаторы сопротивлением 50 Ом, поглощающие распространяющиеся по кабелю сигналы и препятствующие возникновению отраженных сигналов.

Различные компоненты сети, выполненной на толстом коаксиале, показаны на рисунке 5.

Станция должна подключаться к кабелю при помощи приемопередатчика - трансивера. Трансивер устанавливается непосредственно на кабеле и питается от сетевого адаптера компьютера (рис. 6). Трансивер может подсоединяться к кабелю как методом прокалывания, обеспечивающим непосредственный физический контакт, так и бесконтактным методом.

Трансивер соединяется с сетевым адаптером интерфейсным кабелем AUI (Attachment Unit Interface) длиной до 50 м, состоящим из 4 витых пар (адаптер должен иметь разъем AUI). Допускается подключение к одному сегменту не более 100 трансиверов, причем расстояние между подключениями трансиверов не должно быть меньше 2.5 м.

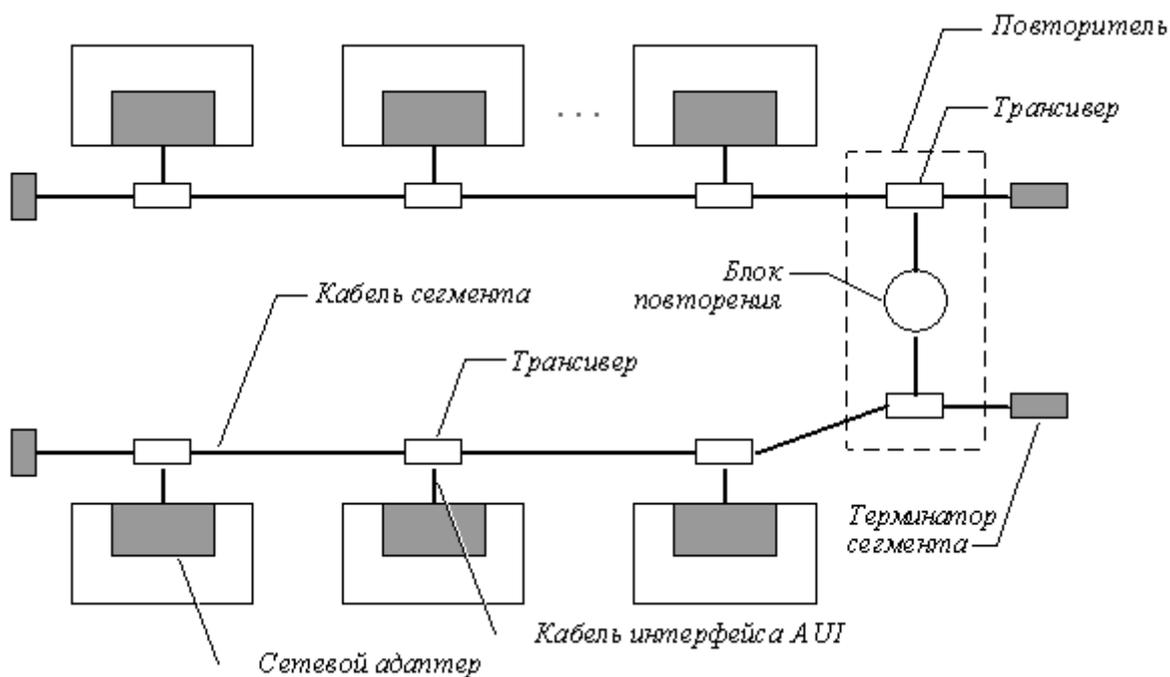


Рис. 5. Компоненты физического уровня сети стандарта 10 Base-5, состоящей из двух сегментов

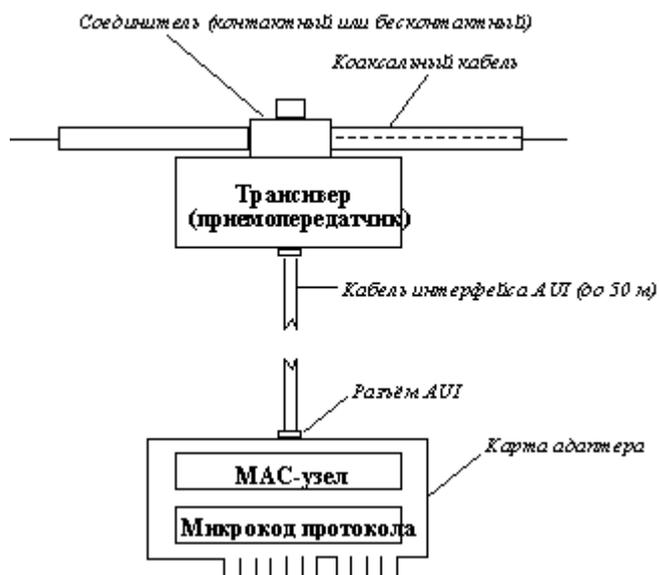


Рис. 6. Структурная схема сетевого адаптера стандарта 10Base-5 ("толстый" Ethernet)

Трансивер - это часть сетевого адаптера, которая выполняет следующие функции:

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

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

Упрощенная структурная схема трансивера показана на рисунке 7. Детектор коллизий определяет наличие коллизии в коаксиальном кабеле по повышенному уровню постоянной составляющей сигналов. Если постоянная составляющая превышает определенный порог, то значит на кабель работает более чем один передатчик.

К *достоинствам* стандарта 10Base-5 относятся:

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

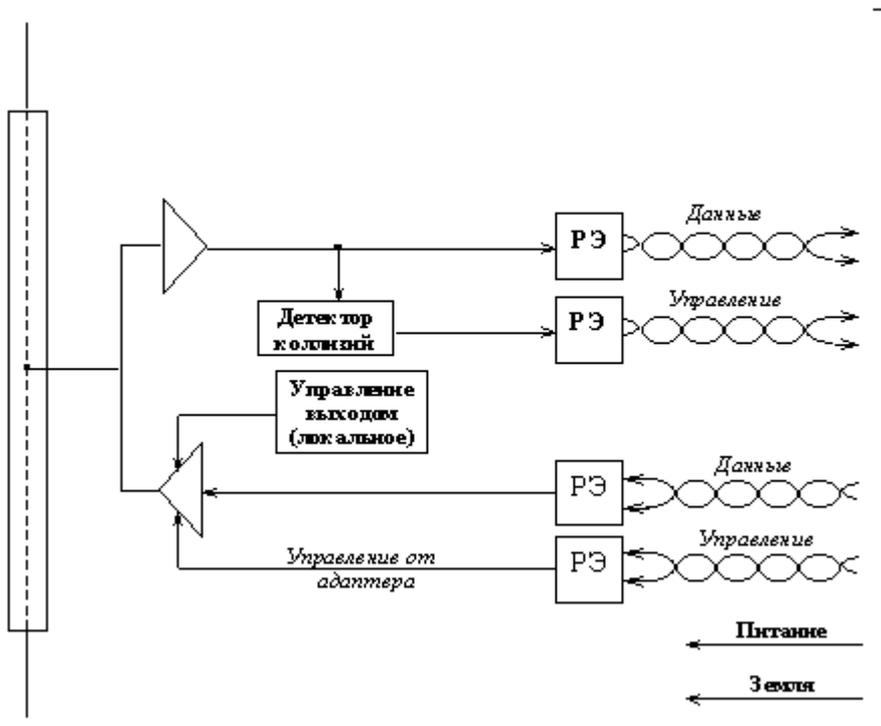


Рис. 7. Структурная схема трансивера

К недостаткам следует отнести:

- высокую стоимость кабеля,
- сложность его прокладки из-за большой жесткости,
- наличие специального инструмента для заделки кабеля,
- при повреждении кабеля или плохом соединении происходит останов работы всей сети,
- необходимо заранее предусмотреть подводку кабеля ко всем возможным местам установки компьютеров

9. Стандарт 10Base-2

Стандарт 10Base-2 использует в качестве передающей среды *коаксиальный кабель* с диаметром центрального медного провода 0,89 мм и внешним диаметром около 5 мм ("тонкий" Ethernet, волновое сопротивление кабеля 50 Ом). Максимальная длина сегмента без повторителей составляет 185 м, сегмент должен иметь на концах согласующие терминаторы 50 Ом.

Станции подключаются к кабелю с помощью T-коннектора, который представляет из себя тройник, один отвод которого соединяется с сетевым адаптером, а два других - с двумя концами разрыва кабеля. Максимальное количество станций, подключаемых к одному сегменту, 30. Минимальное расстояние между станциями - 1 м.

Этот стандарт очень близок к стандарту 10Base-5. Но трансиверы в нем объединены с сетевыми адаптерами за счет того, что более гибкий тонкий коаксиальный кабель может быть подведен непосредственно к выходному разъему платы сетевого адаптера, установленной в шасси компьютера. Кабель в данном случае "висит" на сетевом адаптере, что затрудняет физическое перемещение компьютеров.

Топология сегмента сети стандарта 10Base-2 показана на рисунке 8.

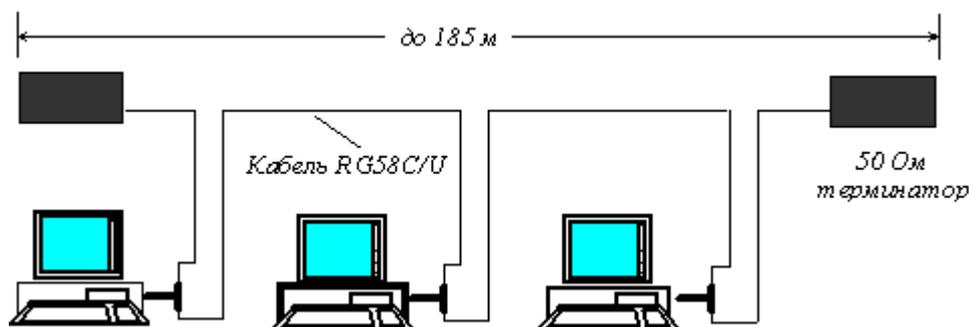


Рис. 8. Сеть стандарта 10Base-2

Реализация этого стандарта на практике приводит к наиболее простому решению для кабельной сети, так как для соединения компьютеров требуются только сетевые адаптеры и Т-коннекторы. Однако этот вид кабельных соединений наиболее сильно подвержен авариям и сбоям: кабель восприимчив к помехам, в моноканале имеется большое количество механических соединений (каждый Т-коннектор дает три механических соединения, два из которых имеют жизненно важное значение для всей сети), пользователи имеют доступ к разъемам и могут нарушить целостность моноканала. Кроме того, эстетика и эргономичность этого решения оставляют желать лучшего, так как от каждой станции через Т-коннектор отходят два довольно заметных провода, которые под столом часто образуют моток кабеля - запас, необходимый на случай даже небольшого перемещения рабочего места.

Общим недостатком стандартов 10Base-5 и 10Base-2 является отсутствие оперативной информации о состоянии моноканала. Повреждение кабеля обнаруживается сразу же (сеть перестает работать), но для поиска отказавшего отрезка кабеля необходим специальный прибор - кабельный тестер.

10. Стандарт 10Base-T

Стандарт принят как дополнение к набору стандартов Ethernet и имеет обозначение 802.3i.

Использует в качестве среды двойную неэкранированную витую пару (Unshielded Twisted Pair, UTP). Соединения станций осуществляются по топологии "точка - точка" со специальным устройством - многопортовым повторителем с помощью двух витых пар. Одна витая пара используется

для передачи данных от станции к повторителю (выход Tx сетевого адаптера), а другая - для передачи данных от повторителя станции (вход Rx сетевого адаптера). На рисунке 9 показан пример трехпортового повторителя.

Многопортовые повторители в данном случае обычно называются концентраторами (англоязычные термины - hub или concentrator). Концентратор осуществляет функции повторителя сигналов на всех отрезках витых пар, подключенных к его портам, так что образуется единая среда передачи данных - моноканал (шина). Повторитель обнаруживает коллизии в сегменте в случае одновременной передачи сигналов по нескольким своим Rx входам и посылает jam-последовательность на все свои Tx выходы. Стандарт определяет битовую скорость передачи данных 10 Мб/с и максимальное расстояние отрезка витой пары между двумя непосредственно связанными узлами (станциями и концентраторами) не более 100 м при использовании витой пары качества не ниже категории 3.

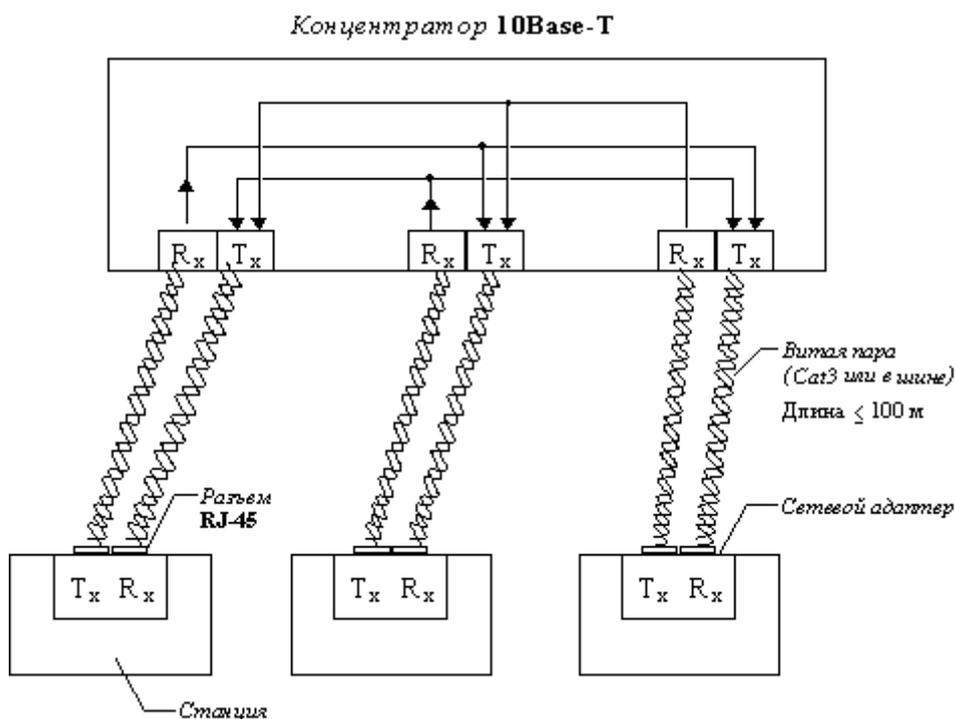


Рис. 9. Сеть 10Base-T - один домен коллизий

Tx - передатчик, Rx - приемник

Возможно иерархическое соединение концентраторов в дерево (рис. 10). Для обеспечения синхронизации станций при реализации процедур доступа CSMA/CD и надежного распознавания станциями коллизий в стандарте определено максимально число концентраторов между любыми двумя станциями сети.

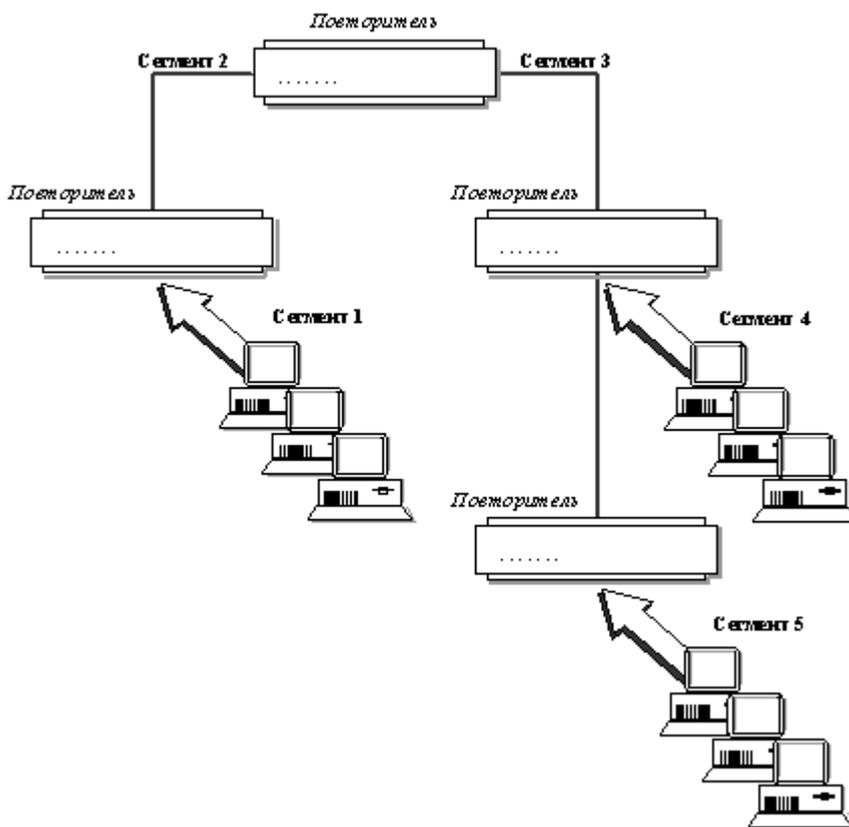


Рис.10. Повторители (концентраторы)

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

Сети, построенные на основе стандарта 10Base-T, обладают по сравнению с коаксиальными вариантами Ethernet'a многими преимуществами. Эти преимущества связаны с разделением общего физического кабеля на отдельные кабельные отрезки, подключенные к центральному коммуникационному устройству. И хотя логически эти отрезки по-прежнему образуют общий домен коллизий, их физическое разделение

позволяет контролировать их состояние и отключать в случае обрыва, короткого замыкания или неисправности сетевого адаптера на индивидуальной основе. Это обстоятельство существенно облегчает эксплуатацию больших сетей Ethernet, так как концентратор обычно автоматически выполняет такие функции, уведомляя при этом администратора сети о возникшей проблеме.

11. Стандарт 10Base-F

Стандарт 10Base-F использует в качестве среды передачи данных оптоволокно. Функционально сеть стандарта 10Base-F состоит из тех же элементов, что и сеть стандарта 10Base-T - сетевых адаптеров, многопортового повторителя и отрезков кабеля, соединяющих адаптер с портом повторителя. Как и при использовании витой пары, для соединения адаптера с повторителем используется два оптоволоконна - одно соединяет выход Tx адаптера со входом Rx повторителя, а другое - вход Rx адаптера с выходом Tx повторителя.

Стандарт FOIRL (Fiber Optic Inter-Repeater Link) - это первый стандарт комитета 802.3 для использования оптоволоконна в сетях Ethernet. Он гарантирует длину оптоволоконной связи между повторителями до 1 км при общей длине сети не более 2500 м. Максимальное число повторителей - 4.

Стандарт 10Base-FL предназначен для соединения конечных узлов с концентратором и работает с сегментами оптоволоконна длиной не более 2000 м при общей длине сети не более 2500 м. Максимальное число повторителей - 4.

Стандарт 10Base-FB предназначен для магистрального соединения повторителей. Он позволяет иметь в сети до 5 повторителей при максимальной длине одного сегмента 2000 м и максимальной длине сети 2740 м. Повторители, соединенные по стандарту 10Base-FB постоянно обмениваются специальными последовательностями сигналов, отличающимися от сигналов кадров данных, для обнаружения отказов своих портов. Поэтому, концентраторы стандарта 10Base-FB могут поддерживать резервные связи, переходя на резервный порт при обнаружении отказа основного с помощью тестовых специальных сигналов. Концентраторы этого стандарта передают как данные, так и сигналы простоя линии синхронно, поэтому биты синхронизации кадра не нужны и не передаются. Стандарт 10Base-FB поэтому называют также *синхронный Ethernet*.

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

12. Правило 4-х повторителей

При описании топологии сети стандарта 10Base-5 приводились ограничения на длину одного непрерывного отрезка коаксиального кабеля, используемого в качестве общей шины передачи данных для всех станций сети. Отрезок кабеля, завершающийся на обоих концах терминаторами и имеющий общую длину не более 500 м называется физическим сегментом сети. Однако при расчете окна коллизий общая максимальная длина сети 10Base-5 считалась равной 2500 м. Противоречия здесь нет, так как стандарт 10Base-5 (впрочем как и остальные стандарты физического уровня Ethernet) допускает соединение нескольких сегментов коаксиального кабеля с

помощью повторителей, которые обеспечивают увеличение общей длины сети.

Повторитель соединяет два сегмента коаксиального кабеля и выполняет функции регенерации электрической формы сигналов и их синхронизации (*retiming*). Повторитель прозрачен для станций, он обязан передавать кадры без искажений, модификации, потери или дублирования. Имеются ограничения на максимально допустимые величины дополнительных задержек распространения битов нормального кадра через повторитель, а также битов jam-последовательности, которую повторитель обязан передать на все подключенные к нему сегменты при обнаружении коллизии на одном из них. Воспроизведение коллизии на всех подключенных к повторителю сегментах - одна из его основных функций. Говорят, что сегменты, соединенные повторителями, образуют один *домен коллизий (collision domain)*.

Повторитель состоит из трансиверов, подключаемых к коаксиальным сегментам, а также блока повторения, выполняющего основные функции повторителя.

На рисунке 5 раздела «Стандарт 10Base-5» показан пример сети, состоящей из двух сегментов, соединенных одним повторителем.

В общем случае стандарт 10Base-5 допускает использование *до 4-х повторителей*, соединяющих в этом случае *5 сегментов* длиной до 500 метров каждый, если используемые повторители удовлетворяют ограничениям на допустимые величины задержек сигналов. При этом общая длина сети будет составлять 2500 м, и такая конфигурация гарантирует правильное обнаружение коллизии крайними станциями сети. Только 3 сегмента из 5 могут быть нагруженными, то есть сегментами с подключенными к ним трансиверами конечных станций.

Правила 4-х повторителей и максимальной длины каждого из сегментов легко использовать на практике для определения корректности конфигурации сети. Однако эти правила применимы только тогда, когда все соединяемые сегменты представляют собой одну физическую среду, то есть в нашем случае толстый коаксиальный кабель, а все повторители также удовлетворяют требованиям физического стандарта 10Base-5. Аналогичные простые правила существуют и для сетей, все сегменты которых удовлетворяют требованиям другого физического стандарта, например, 10Base-T или 10Base-F. Однако для смешанных случаев, когда в одной сети Ethernet присутствуют сегменты различных физических стандартов, правила, основанные только на количестве повторителей и максимальных длинных сегментов становятся более запутанными. Поэтому более надежно рассчитывать время полного оборота сигнала по смешанной сети с учетом задержек в каждом типе сегментов и в каждом типе повторителей и сравнивать его с максимально допустимым временем, которое для любых сетей Ethernet с битовой скоростью 10 Мб/с не должно превышать 575 битовых интервалов (количество битовых интервалов в пакете минимальной длины с учетом преамбулы). Примеры таких расчетов будут даны после рассмотрения всех физических стандартов Ethernet.

13. Методика расчета конфигурации сети Ethernet

Для того, чтобы сеть Ethernet, состоящая из сегментов различной физической природы, работала корректно, необходимо, чтобы выполнялись три основных условия:

- Количество станций в сети не превышает 1024 (с учетом ограничений для коаксиальных сегментов).
- Удвоенная задержка распространения сигнала (Path Delay Value, PDV) между двумя самыми удаленными друг от друга станциями сети не превышает 575 битовых интервалов.
- Сокращение межкадрового расстояния (Interpacket Gap Shrinkage) при прохождении последовательности кадров через все повторители не более, чем на 49 битовых интервалов (напомним, что при отправке кадров станция обеспечивает начальное межкадровое расстояние в 96 битовых интервалов).

Соблюдение этих требований обеспечивает корректность работы сети даже в случаях, когда нарушаются простые правила конфигурирования, определяющие максимальное количество повторителей и максимальную длину сегментов каждого типа.

Физический смысл ограничения задержки распространения сигнала по сети уже пояснялся - соблюдение этого требования обеспечивает своевременное обнаружение коллизий.

Требование на минимальное межкадровое расстояние связано с тем, что при прохождении кадра через повторитель это расстояние уменьшается. Каждый пакет, принимаемый повторителем, ресинхронизируется для исключения дрожания сигналов, накопленного при прохождении последовательности импульсов по кабелю и через интерфейсные схемы. Процесс ресинхронизации обычно увеличивает длину преамбулы, что уменьшает межкадровый интервал. При прохождении кадров через несколько повторителей межкадровый интервал может уменьшиться настолько, что сетевым адаптерам в последнем сегменте не хватит времени на обработку предыдущего кадра, в результате чего кадр будет просто потерян. Поэтому не допускается суммарное уменьшение межкадрового интервала более чем на 49 битовых интервалов. Величину уменьшения

межкадрового расстояния при переходе между соседними сегментами обычно называют в англоязычной литературе Segment Variability Value, SVV, а суммарную величину уменьшения межкадрового интервала при прохождении всех повторителей - Path Variability Value, PVV. Очевидно, что величина PVV равна сумме SVV всех сегментов, кроме последнего.

Расчет PDV

Для упрощения расчетов обычно используются справочные данные, содержащие значения задержек распространения сигналов в повторителях, приемопередатчиках и в различных физических средах. В таблице 3 приведены данные, необходимые для расчета значения PDV для всех физических стандартов сетей Ethernet, взятые из справочника Technical Reference Pocket Guide (Volume 4, Number 4) компании Bay Networks.

Расчет PDV

Тип сегмента	База левого сегмента	База промежуточного сегмента	База правого сегмента	Задержка среды на 1 м	Максимальная длина сегмента
10Base-5	11.8	46.5	169.5	0.0866	500
10Base-2	11.8	46.5	169.5	0.1026	185
10Base-T	15.3	42.0	165.0	0.113	100
10Base-FB	-	24.0	-	0.1	2000

10Base-FL	12.3	33.5	156.5	0.1	2000
FOIRL	7.8	29.0	152.0	0.1	1000
AUI (> 2 м)	0	0	0	0.1026	2+48

Поясним терминологию, использованную в этой таблице, на примере сети, изображенной на рисунке 11.

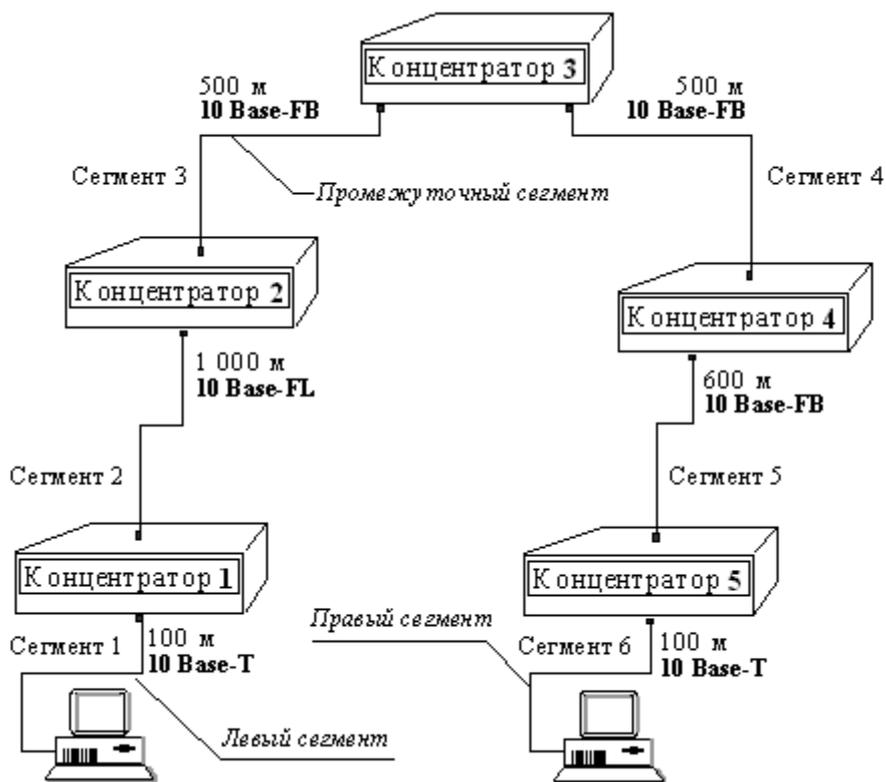


Рис. 11. Пример сети Ethernet, состоящей из сегментов различных физических стандартов

Левым сегментом называется сегмент, в котором начинается путь сигнала от выхода передатчика (выход Tx) конечного узла. Затем сигнал проходит через промежуточные сегменты и доходит до приемника (вход Rx) наиболее удаленного узла наиболее удаленного сегмента, который называется правым. С каждым сегментом связана постоянная задержка, названная базой, которая зависит только от типа сегмента и от положения сегмента на пути сигнала (левый, промежуточный или правый). Кроме этого, с каждым сегментом связана задержка распространения сигнала вдоль кабеля сегмента, которая зависит от длины сегмента и вычисляется путем умножения времени распространения сигнала по одному метру кабеля (в битовых интервалах) на длину кабеля в метрах.

Общее значение PDV равно сумме базовых и переменных задержек всех сегментов сети. Значения констант в таблице даны с учетом удвоения величины задержки при круговом обходе сети сигналом, поэтому удваивать полученную сумму не нужно.

Так как левый и правый сегмент имеют различные величины базовой задержки, то в случае различных типов сегментов на удаленных краях сети необходимо выполнить расчеты дважды: один раз принять в качестве левого сегмента сегмент одного типа, а во второй раз - сегмент другого типа, а результатом считать максимальное значение PDV. В нашем примере крайние сегменты сети принадлежат к одному типу - стандарту 10Base-T, поэтому двойной расчет не требуется, но если бы они были сегментами разного типа, то в первом случае нужно было бы принять в качестве левого сегмент между станцией и концентратором 1, а во втором считать левым сегмент между станцией и концентратором 5.

Рассчитаем значение PDV для нашего примера.

Левый сегмент 1: $15.3 \text{ (база)} + 100 \text{ м} \cdot 0.113 \text{ /м} = 26.6$

Промежуточный сегмент 2: $33.5 + 1000 \cdot 0.1 = 133.5$

Промежуточный сегмент 3: $24 + 500 \text{ г} \cdot 0.1 = 74.0$

Промежуточный сегмент 4: $24 + 500 \text{ г} \cdot 0.1 = 74.0$

Промежуточный сегмент 5: $24 + 600 \text{ г} \cdot 0.1 = 84.0$

Правый сегмент 6: $165 + 100 \text{ г} \cdot 0.113 = 176.3$

Сумма всех составляющих дает значение PDV, равное 568.4.

Так как значение PDV меньше максимально допустимой величины 575, то эта сеть проходит по величине максимально возможной задержки оборота сигнала. Несмотря на то, что ее общая длина больше 2500 метров.

Расчет PVV

Для расчета PVV также можно воспользоваться табличными значениями максимальных величин уменьшения межкадрового интервала при прохождении повторителей различных физических сред (таблица взята из того же справочника, что и предыдущая).

Тип сегмента	Передающий сегмент	Промежуточный сегмент
10Base-5 или 10Base-2	16	11
10Base-FB	-	2
10Base-FL	10.5	8
10Base-T	10.5	8

В соответствии с этими данными рассчитаем значение PVV для нашего примера.

Левый сегмент 1 10Base-T: дает сокращение в 10.5 битовых интервалов

Промежуточный сегмент 2 10Base-FL: 8

Промежуточный сегмент 3 10Base-FB: 2

Промежуточный сегмент 4 10Base-FB: 2

Промежуточный сегмент 5 10Base-FB: 2

Сумма этих величин дает значение PVV, равное 24.5, что меньше предельного значения в 49 битовых интервалов.

В результате, приведенная в примере сеть по всем параметрам соответствует стандартам Ethernet.

Пакетная передача

Для сети Ethernet на 10 или 100 Мбит/с минимальный размер кадра составляет 64 байта. Поскольку время, необходимое для передачи 64-байтового кадра на гигабитной скорости, в десять раз меньше времени передачи на скорости 100 Мбит/с, максимальный размер сети сокращается до 20 м. Он будет еще меньше, если учесть задержки в ретрансляторах и других активных компонентах, которые при использовании современной технологии невозможно уменьшить до одной десятой времени задержек в ретрансляторе на 100 Мбит/с.

Компания Sun Microsystems предложила метод расширения среды передачи, позволяющий вернуться к допустимому значению диаметра сети в 200 м, сохранив при этом параметры CSMA/CD. Ее предложение заключается в

увеличении минимальной длины передаваемого кадра с 64 до 512 байт и передаче кадров короче минимального размера в 512-байтном окне для корректного распознавания конфликтов. Для заполнения оставшегося места к кадрам, имеющим длину меньше 512 байт, присоединяется символ расширения канала.

Такой метод расширения канала довольно прост, однако при его применении могут возникнуть некоторые проблемы. Очевидно, что передача сигналов расширения канала вместо реальных данных приведет к снижению коэффициента использования канала при передаче коротких кадров. Например, на 64-байтный кадр будет приходиться 448 байт присоединенных к нему пустых (неинформативных) символов расширения канала. Кроме того, подобное расширение повышает вероятность конфликтов и усиливает некоторые недостатки алгоритма CSMA/CD, такие как эффект захвата, потеря кадров, переменные задержки и несовпадения.

Влияние этих факторов на сеть зависит от величины трафика. Однако вполне определенно гигабитная сеть не даст ожидаемого десятикратного увеличения пропускной способности по сравнению с сетью Fast Ethernet, потому что не сможет работать при таком же уровне трафика.

Другой метод, называемый передачей блоков пакетов (*packet bursting*), позволяет повысить использование пропускной способности при передаче коротких кадров и снизить вероятность конфликтов в сильно загруженных сетях с расширенными каналами. Эта концепция, разработанная компанией NBase Communications и принятая комитетом IEEE 802.3z, дополняет метод расширения каналов. Идея заключается в том, чтобы передавать пакет кадров каждый раз, когда первый кадр успешно прошел 512-байтное окно конфликтов, и применять метод расширения канала только к первому кадру в пакете.

При этом уменьшаются потери времени на передачу сигналов расширения канала. Если станция должна передать несколько кадров, то первый из них она будет передавать так, как если бы объединения кадров в пакет не было. Это значит, что она будет расширять кадры, которые короче 512 байт, и, если в окне конфликтов указывается, что кадр не прошел, передавать их заново. Если же передача первого кадра прошла успешно, станция может присоединять к нему нерасширенные кадры до тех пор, пока не будет превышен предел размера пакета, составляющий 1500 байт. Чтобы на время передачи пакета заблокировать начало передачи другими станциями, между кадрами пакета вводятся сигналы расширения канала.

В сущности, первый кадр очищает канал для передачи всего пакета. Если он передан успешно, то в правильно спроектированной сети гарантируется бесконфликтная передача и остальных кадров. Пакет имеет переменный размер, однако его максимальная длина не превышает 3017 байт.

При пакетной передаче кадров сигналы расширения канала не находятся в одном кадре, а распределяются по нескольким, за счет чего повышается коэффициент использования канала при передаче коротких кадров: например, по сравнению с пропускной способностью сети Fast Ethernet для чисто 64-байтных кадров он увеличивается с 10% почти до 40%, или в 2-8 раз. Кроме того, пакетная передача снижает вероятность конфликтов, потому что они возможны только при передаче первого кадра пакета. Оценить реальное улучшение довольно трудно, так как оно зависит от характера трафика. Наиболее эффективной пакетная передача будет для трафика, представляющего собой последовательность коротких кадров. Однако поскольку короткие пакеты есть в каждой сети, вероятность потери кадров в схеме пакетной передачи увеличивается при более высокой сетевой нагрузке, в результате чего пропускная способность сети возрастает.

Схема пакетной передачи

Чтобы обрабатывать с гигабитными скоростями сетевой трафик в сети Ethernet, алгоритм CSMA/CD был усовершенствован за счет применения в нем технологий расширения каналов и пакетной передачи. Первая повышает допустимый размер Ethernet-кадра до 512 байт, а вторая разрешает проблемы пропускной способности.

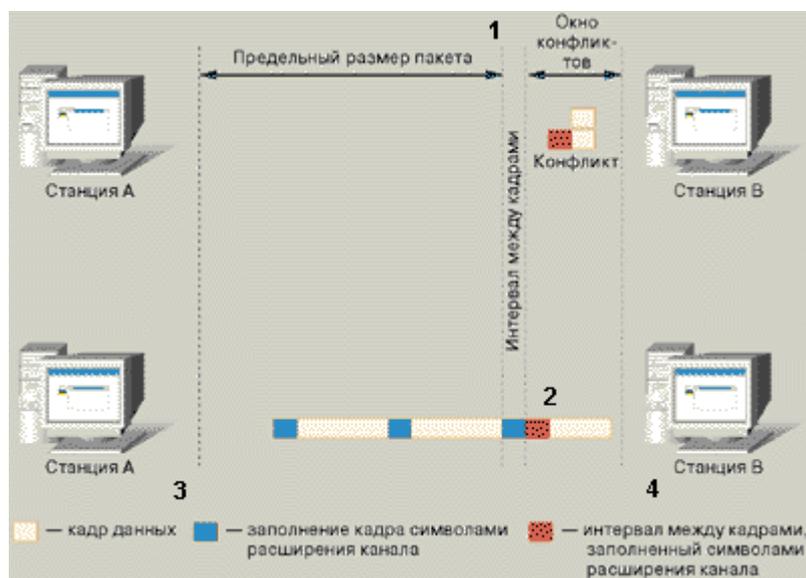


Рис 5. Схема пакетной передачи

1. Станция А передает свой первый кадр так, будто пакетной передачи нет. Поскольку кадр меньше 512 байт, она расширяет его за счет использования сигналов расширения канала. Расширение кадров вступает в конфликт с данными, передаваемыми станцией Б, поэтому станция А должна повторить передачу.
2. После установленного периода ожидания станция А повторяет передачу кадра, расширив его до 512 байт. Поскольку конфликта не обнаружено,

станция передает дополнительные кадры до тех пор, пока не будет достигнут предельный размер пакета.

3. Станция А вставляет сигналы расширения канала между кадрами пакета, так что во время интервала между передачей кадров другие станции данных не передают.

4. Станция Б, имеющая более длительный, чем станция А, период ожидания повторной передачи, прежде чем начать новую попытку, должна ждать, пока А закончит свою передачу.

14. Fast Ethernet как развитие классического Ethernet

Технология Fast Ethernet является эволюционным развитием классической технологии Ethernet. 10-Мегабитный Ethernet устраивал большинство пользователей на протяжении около 15 лет. Однако в начале 90-х годов начала ощущаться его недостаточная пропускная способность. Если для компьютеров на процессорах Intel 80286 или 80386 с шинами ISA (8 Мбайт/с) или EISA (32 Мбайт/с) пропускная способность сегмента Ethernet составляла 1/8 или 1/32 канала "память - диск", то это хорошо согласовывалось с соотношением объемов локальных данных и внешних данных для компьютера. Теперь же у мощных клиентских станций с процессорами Pentium или Pentium PRO и шиной PCI (133 Мбайт/с) эта доля упала до 1/133, что явно недостаточно. Поэтому многие сегменты 10-Мегабитного Ethernet'a стали перегруженными, реакция серверов в них значительно упала, а частота возникновения коллизий существенно возросла, еще более снижая номинальную пропускную способность.

В 1992 году группа производителей сетевого оборудования, включая таких лидеров технологии Ethernet как SynOptics, 3Com и ряд других, образовали некоммерческое объединение Fast Ethernet Alliance для разработки стандарта на новую технологию, которая обобщила бы достижения отдельных компаний в области Ethernet-преемственного высокоскоростного стандарта. Новая технология получила название Fast Ethernet.

Одновременно были начаты работы в институте IEEE по стандартизации новой технологии - там была сформирована исследовательская группа для изучения технического потенциала высокоскоростных технологий. За период с конца 1992 года и по конец 1993 года группа IEEE изучила 100-Мегабитные решения, предложенные различными производителями. Наряду с предложениями Fast Ethernet Alliance группа рассмотрела также и другую высокоскоростную технологию, предложенную компаниями *Hewlett-Packard* и *AT&T*.

В центре дискуссий была проблема сохранения соревновательного метода доступа CSMA/CD. Предложение по Fast Ethernet'у сохраняло этот метод и тем самым обеспечивало преемственность и согласованность сетей 10Base-T и 100Base-T. Коалиция HP и AT&T, которая имела поддержку гораздо меньшего числа производителей в сетевой индустрии, чем Fast Ethernet Alliance, предложила совершенно новый метод доступа, называемый *Demand Priority*. Он существенно менял картину поведения узлов в сети, поэтому не смог вписаться в технологию Ethernet и стандарт 802.3, и для его стандартизации был организован новый комитет IEEE 802.12.

В мае 1995 года комитет IEEE принял спецификацию Fast Ethernet в качестве стандарта 802.3u, который не является самостоятельным стандартом, а представляет собой дополнение к существующему стандарту 802.3 в виде глав с 21 по 30. Отличия Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне (рис. 16).

Более сложная структура физического уровня технологии Fast Ethernet вызвана тем, что в ней используется три варианта кабельных систем - оптоволокно, 2-х парная витая пара категории 5 и 4-х парная витая пара категории 3, причем по сравнению с вариантами физической реализации Ethernet (а их насчитывается шесть), здесь отличия каждого варианта от других глубже - меняется и количество проводников, и методы кодирования. А так как физические варианты Fast Ethernet создавались одновременно, а не эволюционно, как для сетей Ethernet, то имелась возможность детально определить те подуровни физического уровня, которые не изменяются от варианта к варианту, и остальные подуровни, специфические для каждого варианта.

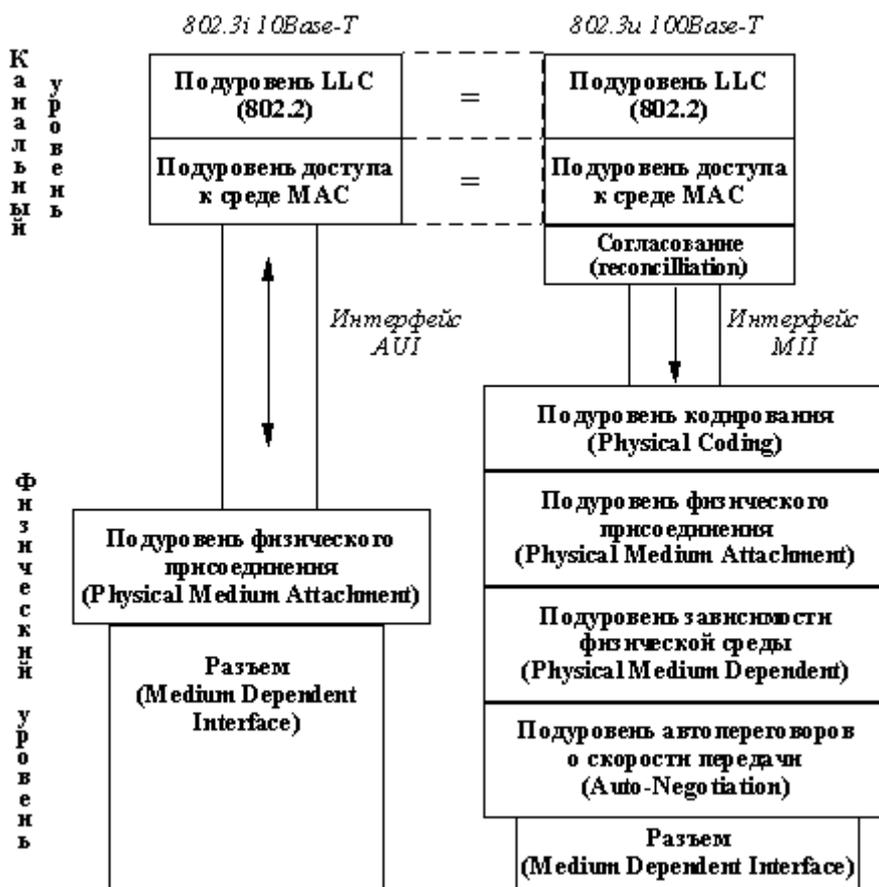


Рис. 16. Отличия стека протоколов 100Base-T от стека протоколов 10Base-T

Основными достоинствами технологии Fast Ethernet являются:

- увеличение пропускной способности сегментов сети до 100 Мб/с;
- сохранение метода случайного доступа Ethernet;
- сохранение звездообразной топологии сетей и поддержка традиционных сред передачи данных - витой пары и оптоволоконного кабеля.

Указанные свойства позволяют осуществлять постепенный переход от сетей 10Base-T - наиболее популярного на сегодняшний день варианта Ethernet - к скоростным сетям, сохраняющим значительную преемственность с хорошо знакомой технологией: Fast Ethernet не требует коренного переобучения персонала и замены оборудования во всех узлах сети.

Официальный стандарт 100Base-T (802.3u) установил три различных спецификации для физического уровня (в терминах семиуровневой модели OSI) для поддержки следующих типов кабельных систем:

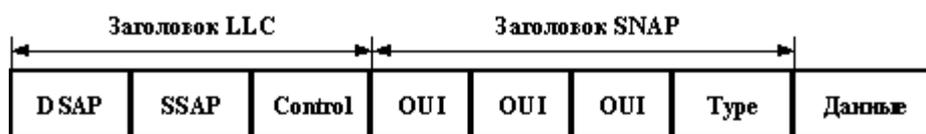
- 100Base-TX для двухпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 5, или экранированной витой паре STP Type 1;
- 100Base-T4 для четырехпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 3, 4 или 5;
- 100Base-FX для многомодового оптоволоконного кабеля.

15. Метод доступа к среде

Подуровни LLC и MAC в стандарте Fast Ethernet не претерпели изменений. Напомним кратко их функции.

Подуровень LLC обеспечивает интерфейс протокола Ethernet с протоколами вышележащих уровней, например, с IP или IPX. Кадр LLC, изображенный на рисунке 17, вкладывается в кадр MAC и позволяет за счет полей DSAP и SSAP идентифицировать адрес сервисов назначения и источника соответственно. Например, при вложении в кадр LLC пакета IPX, значения как DSAP, так и SSAP должны быть равны E0. Поле управления кадра LLC позволяет реализовать процедуры обмена данными трех типов:

- Процедура типа 1 определяет обмен данными без предварительного установления соединения и без повторной передачи кадров в случае обнаружения ошибочной ситуации, то есть является процедурой дейтаграммного типа. Поле управления для этого типа процедур имеет значение 03, что определяет все кадры как нумерованные.
- Процедура типа 2 определяет режим обмена с установлением соединений, нумерацией кадров, управлением потоком кадров и повторной передачей ошибочных кадров. В этом режиме протокол LLC аналогичен протоколу HDLC.
- Процедура типа 3 определяет режим передачи данных без установления соединения, но с получением подтверждения о доставке информационного кадра адресату.



DSAP (Destination Service Access Point) – точка доступа к сервису назначения

SSAP (Source Service Access Point) – точка доступа к сервису отправителя

Control – поле управления, для процедур типа 1=03

OUI (Organizational Unit Identifier) – идентификатор организации

Type – тип протокола, вложенного в поле данных

Рис. 17. Формат кадра LLC с расширением SNAP

Существует расширение формата кадра LLC, называемое SNAP (Subnetwork Access Protocol). В случае использования расширения SNAP в поля DSAP и SSAP записывается значение AA, тип кадра по-прежнему равен 03, а для обозначения типа протокола, вложенного в поле данных, используются следующие 4 байта, причем байты идентификатора организации (OUI) всегда равны 00 (за исключением протокола AppleTalk), а последний байт (TYPE) содержит идентификатор типа протокола (например, 0800 для IP).

Заголовки LLC или LLC/SNAP используются мостами и коммутаторами для трансляции протоколов канального уровня по стандарту IEEE 802.2H.

Подуровень MAC ответственен за формирование кадра Ethernet, получение доступа к разделяемой среде передачи данных и за отправку с помощью физического уровня кадра по физической среде узлу назначения.

Разделяемая среда Ethernet, независимо от ее физической реализации (коаксиальный кабель, витая пара или оптоволокно с повторителями), в любой момент времени находится в одном из трех состояний - свободна, занята, коллизия. Состояние занятости соответствует нормальной передаче кадра одним из узлов сети. Состояние коллизии возникает при одновременной передаче кадров более, чем одним узлом сети.

MAC-подуровень каждого узла сети получает от физического уровня информацию о состоянии разделяемой среды. Если она свободна, и у MAC-

подуровня имеется кадр для передачи, то он передает его через физический уровень в сеть. Физический уровень одновременно с побитной передачей кадра следит за состоянием среды. Если за время передачи кадра коллизия не возникла, то кадр считается переданным. Если же за это время коллизия была зафиксирована, то передача кадра прекращается, и в сеть выдается специальная последовательность из 32 бит (jam-последовательность), которая должна помочь однозначно распознать коллизию всеми узлами сети.

После фиксации коллизии MAC-подуровень делает случайную паузу, а затем вновь пытается передать данный кадр. Случайный характер паузы уменьшает вероятность одновременной попытки захвата разделяемой среды несколькими узлами при следующей попытке. Интервал, из которого выбирается случайная величина паузы, возрастает с каждой попыткой (до 10-ой), так что при большой загрузке сети и частом возникновении коллизий происходит притормаживание узлов. Максимальное число попыток передачи одного кадра - 16, после чего MAC-подуровень оставляет данный кадр и начинает передачу следующего кадра, поступившего с LLC-подуровня.

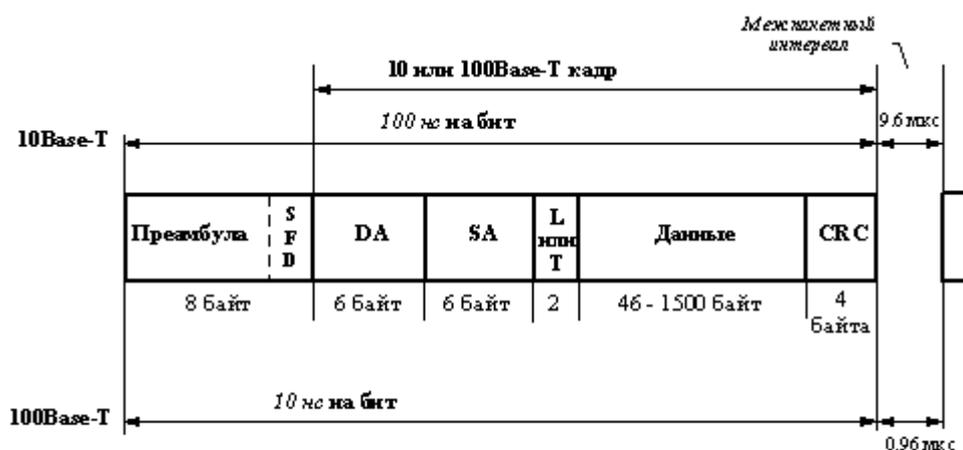
MAC-подуровень узла приемника, который получает биты кадра от своего физического уровня, проверяет поле адреса кадра, и если адрес совпадает с его собственным, то он копирует кадр в свой буфер. Затем он проверяет, не содержит ли кадр специфические ошибки: по контрольной сумме (FCS error), по максимально допустимому размеру кадра (jabber error), по минимально допустимому размеру кадра (runts), по неверно найденным границам байт (alignment error). Если кадр корректен, то его поле данных передается на LLC-подуровень, если нет - то отбрасывается.

16. Форматы кадров технологии Fast Ethernet

Форматы кадров технологии Fast Ethernet не отличаются от форматов кадров технологий 10-мегабитного Ethernet'a. На рисунке 18 приведен формат MAC-кадра Ethernet, а также временные параметры его передачи по сети для скорости 10 Мбит/с и для скорости 100 Мбит/с.

В кадрах стандарта Ethernet-II (или Ethernet DIX), опубликованного компаниями Xerox, Intel и Digital еще до появления стандарта IEEE 802.3, вместо двухбайтового поля L (длина поля данных) используется двухбайтовое поле T (тип кадра). Значение поля типа кадра всегда больше 1518 байт, что позволяет легко различить эти два разных формата кадров Ethernet DIX и IEEE 802.3.

Все времена передачи кадров Fast Ethernet в 10 раз меньше соответствующих времен технологии 10-мегабитного Ethernet'a: межбитовый интервал составляет 10 нс вместо 100 нс, а межкадровый интервал – 0.96 мкс вместо 9.6 мкс соответственно.



SFD (Start of Frame Delimiter) – ограничитель начала кадра

DA, SA – адреса назначения и источника соответственно

L – длина поля данных (для кадра 802.3)

T – тип протокола в поле данных (для Ethernet II)

Рис. 18. Формат MAC-кадра и времена его передачи

17. Спецификации физического уровня Fast Ethernet

Для технологии Fast Ethernet разработаны различные варианты физического уровня, отличающиеся не только типом кабеля и электрическими параметрами импульсов, как это сделано в технологии 10 Мбит/с Ethernet, но и способом кодирования сигналов, и количеством используемых в кабеле проводников. Поэтому физический уровень Fast Ethernet имеет более сложную структуру, чем классический Ethernet.

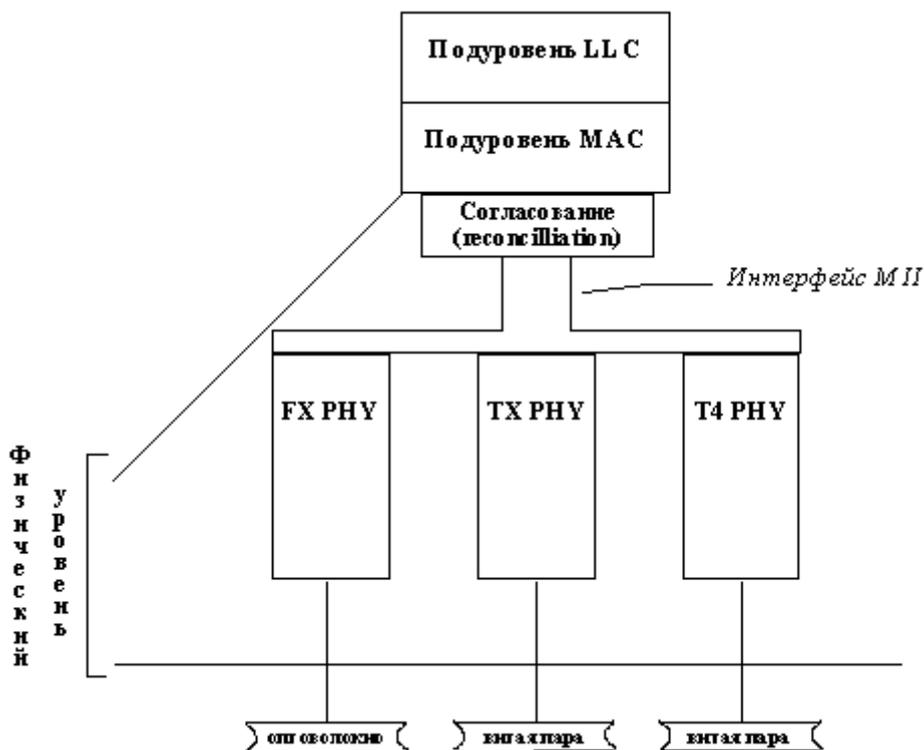


Рис. 19. Структура физического уровня Fast Ethernet

Физический уровень состоит из трех подуровней:

- Уровень согласования (Reconciliation Sublayer).
- Независимый от среды интерфейс (Media Independent Interface, MII).
- Устройство физического уровня (Physical Layer Device, PHY).

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

Интерфейс МП поддерживает независимый от используемой физической среды способ обмена данными между MAC-подуровнем и подуровнем PHY. Этот интерфейс аналогичен по назначению интерфейсу AUI классического Ethernet'a за исключением того, что интерфейс AUI располагался между подуровнем физического кодирования сигнала (для любых вариантов кабеля использовался одинаковый метод физического кодирования - манчестерский код) и подуровнем физического присоединения к среде, а интерфейс МП располагается между MAC-подуровнем и подуровнями кодирования сигнала, которых в стандарте Fast Ethernet три - FX, TX и T4.

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

18. Интерфейс МП

Существует два варианта реализации интерфейса МП: внутренний и внешний.

При внутреннем варианте микросхема, реализующая подуровни MAC и согласования, с помощью интерфейса МП соединяется с микросхемой трансивера внутри одного и того же конструктива, например, платы сетевого адаптера или модуля маршрутизатора. Микросхема трансивера реализует все функции устройства PHY.

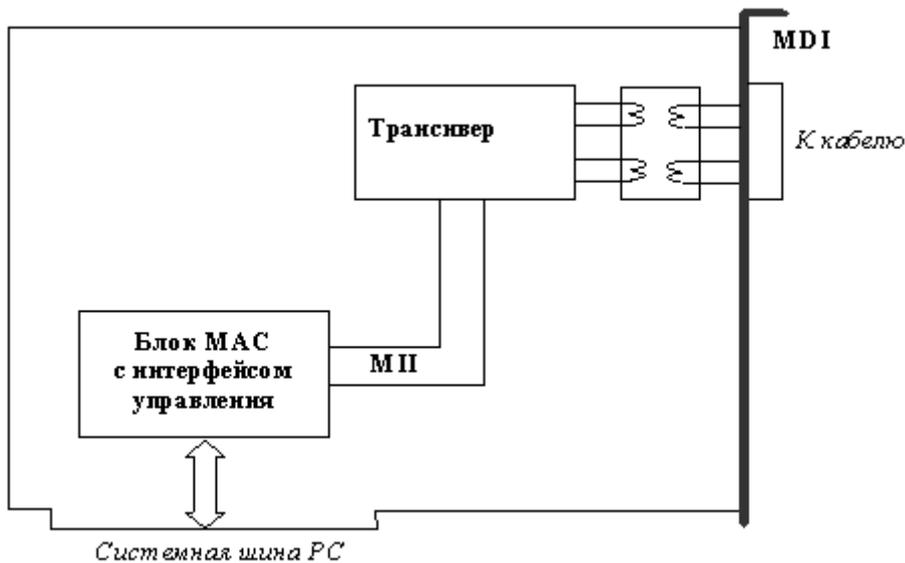


Рис. 20. Сетевой адаптер с внутренним интерфейсом МП

Внешний вариант соответствует случаю, когда трансивер вынесен в отдельное устройство и соединен кабелем МП через разъем МП с микросхемой MAC-подуровня (рис. 21). Разъем МП в отличие от разъема АUI имеет 40 контактов, максимальная длина кабеля МП составляет 1 метр. Сигналы, передаваемые по интерфейсу МП, имеют амплитуду 5 В.

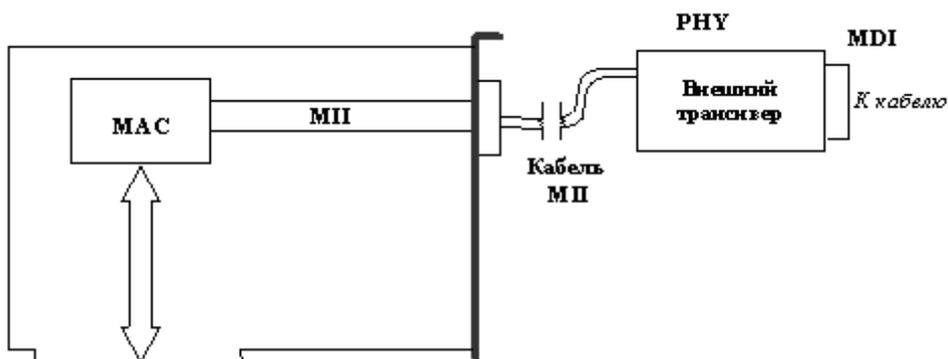


Рис. 21. Использование внешнего трансивера с интерфейсом МП

Интерфейс МП может использоваться не только для связи РНУ с MAC, но и для соединения устройств РНУ с микросхемой повторения сигналов в многопортовом повторителе-концентраторе (рис. 22).



Рис. 22. Повторитель со встроенными устройствами РНУ

Передача данных через МП

МП использует 4-битные порции данных для параллельной передачи их между МАС и РНУ. Канал передачи данных от МАС к РНУ образован 4-битной шиной данных, которая синхронизируется тактовым сигналом, генерируемым РНУ, а также сигналом "Передача", генерируемым МАС-подуровнем.

Аналогично, канал передачи данных от РНУ к МАС образован другой 4-битной шиной данных, которая синхронизируется тактовым сигналом и сигналом "Прием", которые генерируются РНУ.

Если устройство РНУ обнаружило ошибку в состоянии физической среды, то оно может передать сообщение об этом на подуровень МАС в виде сигнала "Ошибка приема" (receive error). МАС-подуровень (или повторитель) сообщают об ошибке устройству РНУ с помощью сигнала "Ошибка передачи" (transmit error). Обычно, повторитель, получив от РНУ какого-либо порта сигнал "Ошибка приема", передает на все устройства РНУ остальных портов сигнал "Ошибка передачи".

В МП определена двухпроводная шина для обмена между МАС и РНУ управляющей информацией. МАС-подуровень использует эту шину для передачи РНУ данных о режиме его работы. РНУ передает по этой шине

информацию по запросу о статусе порта и линии. Данные о конфигурации, а также о состоянии порта и линии хранятся соответственно в двух регистрах: регистре управления (Control Register) и регистре статуса (Status Register).

Регистр управления используется для установки скорости работы порта, для указания, будет ли порт принимать участие в процессе автопереговоров о скорости линии, для задания режима работы порта - полудуплексный или полнодуплексный, и т.п. Функция автопереговоров (Auto-negotiation) позволяет двум устройствам, соединенным одной линией связи, автоматически, без вмешательства оператора, выбрать наиболее высокоскоростной режим работы, который будет поддерживаться обоими устройствами.

Регистр статуса содержит информацию о действительном текущем режиме работы порта, в том числе и в том случае, когда режим выбран в результате проведения автопереговоров.

Регистр статуса может содержать данные об одном из следующих режимов:

- 100Base-T4;
- 100Base-TX full-duplex;
- 100Base-TX half-duplex;
- 10 Mb/s full-duplex;
- 10Mb/s half-duplex;
- ошибка на дальнем конце линии.

19. Физический уровень 100Base-FX – МНОГОМОДОВОЕ ОПТОВОЛОКНО

Физический уровень РНУ ответственен за прием данных в параллельной форме от MAC-подуровня, трансляцию их в один (TX или FX) или три последовательных потока бит с возможностью побитной синхронизации и передачу их через разъем на кабель. Аналогично, на приемном узле уровень РНУ должен принимать сигналы по кабелю, определять моменты синхронизации бит, извлекать биты из физических сигналов, преобразовывать их в параллельную форму и передавать подуровню MAC.

Структура физического уровня 100Base-FX представлена на рисунке 23.

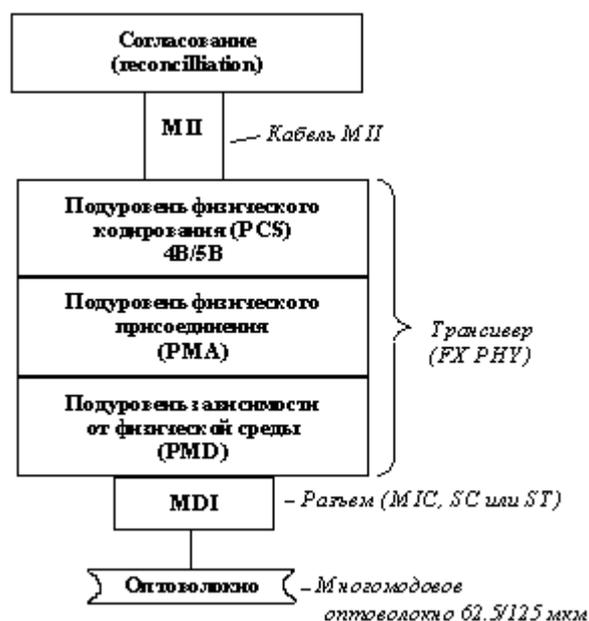


Рис. 23. Физический уровень РНУ FX

Эта спецификация определяет работу протокола Fast Ethernet по многомодовому оптоволокну в полудуплексном и полнодуплексном режимах на основе хорошо проверенной схемы кодирования и передачи оптических сигналов, использующейся уже на протяжении ряда лет в

стандарте FDDI. Как и в стандарте FDDI, каждый узел соединяется с сетью двумя оптическими волокнами, идущими от приемника (Rx) и от передатчика (Tx).

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

Метод кодирования 4В/5В

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

При использовании пяти бит для кодирования шестнадцати исходных 4-х битовых комбинаций, можно построить такую таблицу кодирования, в которой любой исходный 4-х битовый код представляется 5-ти битовым кодом с чередующимися нулями и единицами. Тем самым обеспечивается синхронизация приемника с передатчиком. Так как исходные биты MAC-подуровня должны передаваться со скоростью 100Мб/с, то наличие одного

избыточного бита вынуждает передавать биты результирующего кода 4В/5В со скоростью 125 Мб/с, то есть межбитовое расстояние в устройстве РНУ составляет 8 наносекунд.

Так как из 32 возможных комбинаций 5-битовых порций для кодирования порций исходных данных нужно только 16, то остальные 16 комбинаций в коде 4В/5В используются в служебных целях.

Наличие служебных символов позволило использовать в спецификациях FX/TX схему непрерывного обмена сигналами между передатчиком и приемником и при свободном состоянии среды, что отличает их от спецификации 10Base-T, когда незанятое состояние среды обозначается полным отсутствием на ней импульсов информации. Для обозначения незанятого состояния среды используется служебный символ Idle (11111), который постоянно циркулирует между передатчиком и приемником, поддерживая их синхронизм и в периодах между передачами информации, а также позволяя контролировать физическое состояние линии (рис. 24).

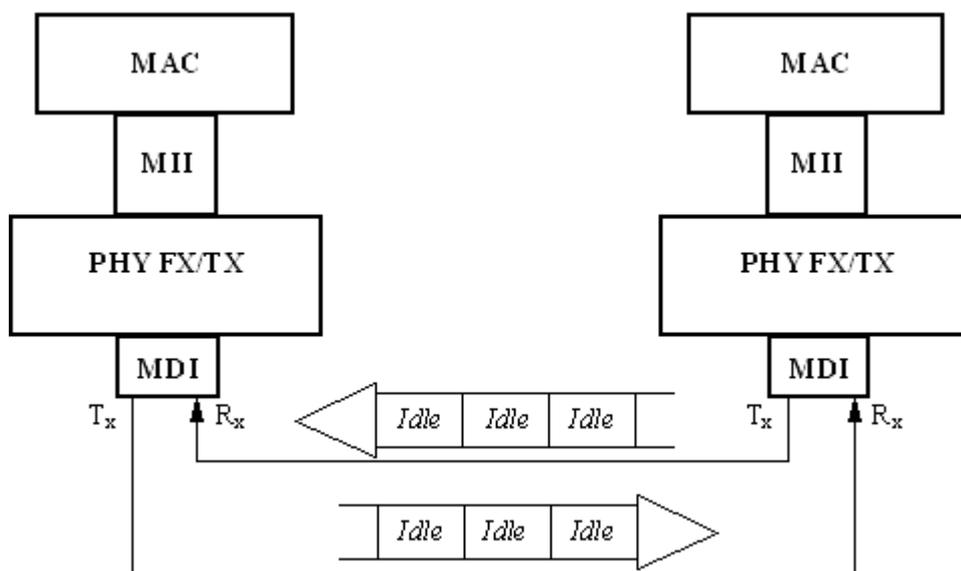


Рис. 24. Обмен символами Idle при незанятом состоянии среды

Существование запрещенных комбинаций символов позволяет отбраковывать ошибочные символы, что повышает устойчивость работы сетей с PHY FX/TX.

Для отделения кадра Ethernet от символов Idle используется комбинация символов Start Delimiter (пара символов JK), а после завершения кадра перед первым символом Idle вставляется символ T (рис. 25).



— первый байт преамбулы

JK _ ограничитель начала потока значащих символов

T _ ограничитель конца потока значащих символов

Рис. 25. Непрерывный поток данных спецификаций PHY FX/TX

Алгоритм 4В/5В

Выполняет преобразование 4 Bit-to-5 Bit. Полученная избыточность кода позволяет использовать специальные комбинации для управления потоком и проверки подлинности принятой комбинации. Однако применение такого кода увеличивает частоту передаваемого сигнала до 125 МГц.

Комбинации управления потоком

Комбинация	Символьное значение	Назначение
1100010001	JK	Ограничитель начала потока
0110100111	TR	Ограничитель завершения потока

11111	Idle	Заполнитель между потоками
-------	------	----------------------------

Таблица кодировки символов

Линейный код	Символ
11110	0
01001	1
10100	2
10101	3
01010	4
01011	5
01110	6
01111	7
10010	8
10011	9

10110	A
10111	B
11010	C
11011	D
11100	E
11101	F

Принятые комбинации несоответствующие вышеописанным считаются ошибочными.

Алгоритм 8В/6Т

Алгоритм кодирования 8В6Т преобразует восьмибитовый октет данных (8В) в шестибитовый тернарный символ (6Т). Кодовые группы 6Т предназначены для передачи параллельно по трем витым парам кабеля, поэтому эффективная скорость передачи данных по каждой витой паре составляет одну треть от 100 Мбит/с, то есть 33,33 Мбит/с. Скорость передачи тернарных символов по каждой витой паре составляет 6/8 от 33,3 Мбит/с, что соответствует тактовой частоте 25 МГц. Именно с такой частотой работает таймер интерфейса МП. В отличие от бинарных сигналов, которые имеют два уровня, тернарные сигналы, передаваемые по каждой паре, могут иметь три уровня.

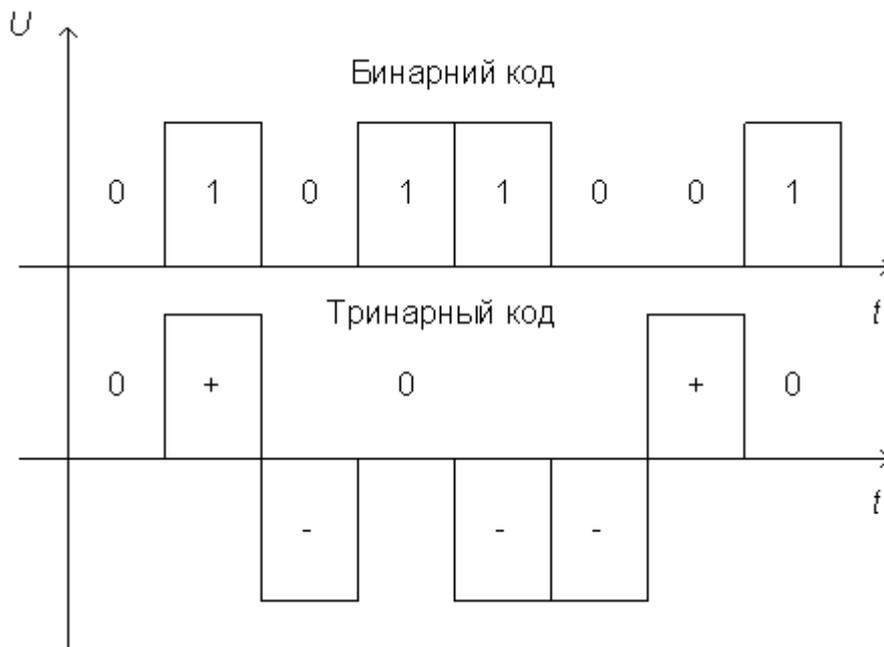


Таблица кодировки символов

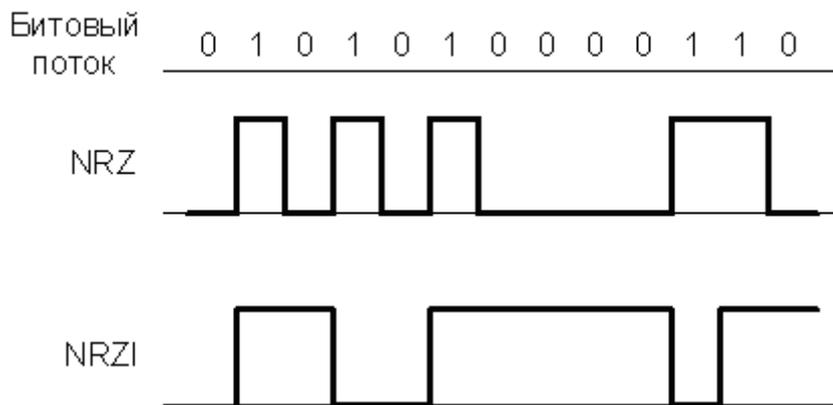
Линейный код	Символ
--+00--+	0
0-++-+0	1
0-+0-+	2
0-+++0-	3
--+0+0-	4
+0--+0	5

+0-0-+	6
+0-+0-	7
-+00+-	8
0-+++0	9
0-+0+-	A
0-+-0+	B
-+0-0+	C
+0-+-0	D
+0-0+-	E
+0 -- 0+	F

Метод кодирования NRZI

NRZI – Non Return to Zero Invertive (инверсное кодирование без возврата к нулю) Этот метод является модифицированным методом Non Return to Zero (NRZ), где для представления 1 и 0 используются потенциалы двух уровней. В коде NRZ I также используется 2 потенциала, но его текущее значение зависит от предыдущего. Если текущее значение бита “1”, то полученный

потенциал должен быть инверсией от предыдущего, если значение бита “0” – такой же.

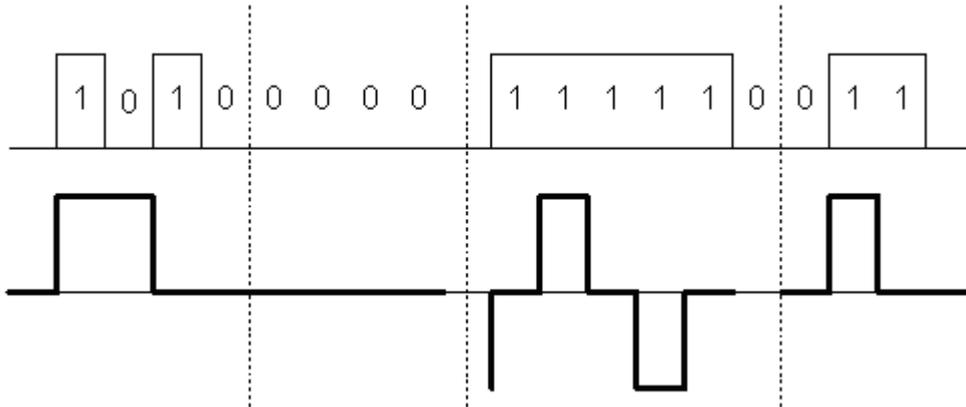


Поскольку код не защищен от долгих последовательностей “нулей” или “единиц”, то это может привести к проблемам синхронизации. Поэтому перед передачей, заданную последовательность битов рекомендуется предварительно закодировать кодом предусматривающим скремблирование (скремблер предназначен для придания свойств случайности передаваемой последовательности данных с целью облегчения выделения тактовой частоты приемником).

Метод кодирования MLT-3

MLT-3 Multi Level Transmission – 3 (многоуровневая передача) - немного схож с кодом NRZ, но в отличии от последнего имеет три уровня сигнала.

Единице соответствует переход с одного уровня сигнала на другой, причем изменение уровня сигнала происходит последовательно с учетом предыдущего перехода. При передаче “нуля” сигнал не меняется.



Этот код, так же как и NRZ нуждается в предварительном кодировании.

Передача 5-битовых кодов по линии методом NRZI

После преобразования 4-битовых порций MAC-кодов в 5-битовые порции PHY их необходимо представить в виде оптических или электрических сигналов в кабеле, соединяющем узлы сети. Спецификации PHY FX и PHY TX используют для этого различные методы физического кодирования - NRZI и MLT-3 соответственно. Эти же методы определены в стандарте FDDI для передачи сигналов по оптоволокну (спецификация PMD) и витой паре (спецификация TP-PMD).

Рассмотрим метод *NRZI* - *Non Return to Zero Invert to ones* - метод без возврата к нулю с инвертированием для единиц. Этот метод представляет собой модификацию простого потенциального метода кодирования, называемого *Non Return to Zero (NRZ)*, когда для представления 1 и 0 используются потенциалы двух уровней. В методе NRZI также используется два уровня потенциала сигнала, но потенциал, используемый для кодирования текущего бита зависит от потенциала, который использовался для кодирования предыдущего бита (так называемое, дифференциальное кодирование). Если текущий бит имеет значение 1, то текущий потенциал представляет собой инверсию потенциала предыдущего

бита, независимо от его значения. Если же текущий бит имеет значение 0, то текущий потенциал повторяет предыдущий.

Из описания метода NRZI видно, что для обеспечения частых изменений сигнала, а значит и для поддержания самосинхронизации приемника, нужно исключить из кодов слишком длинные последовательности нулей. Коды 4B/5B построены так, что гарантируют не более трех нулей подряд при любом сочетании бит в исходной информации. На рисунке 26 приведен пример кодирования последовательности бит методами NRZ и NRZI.

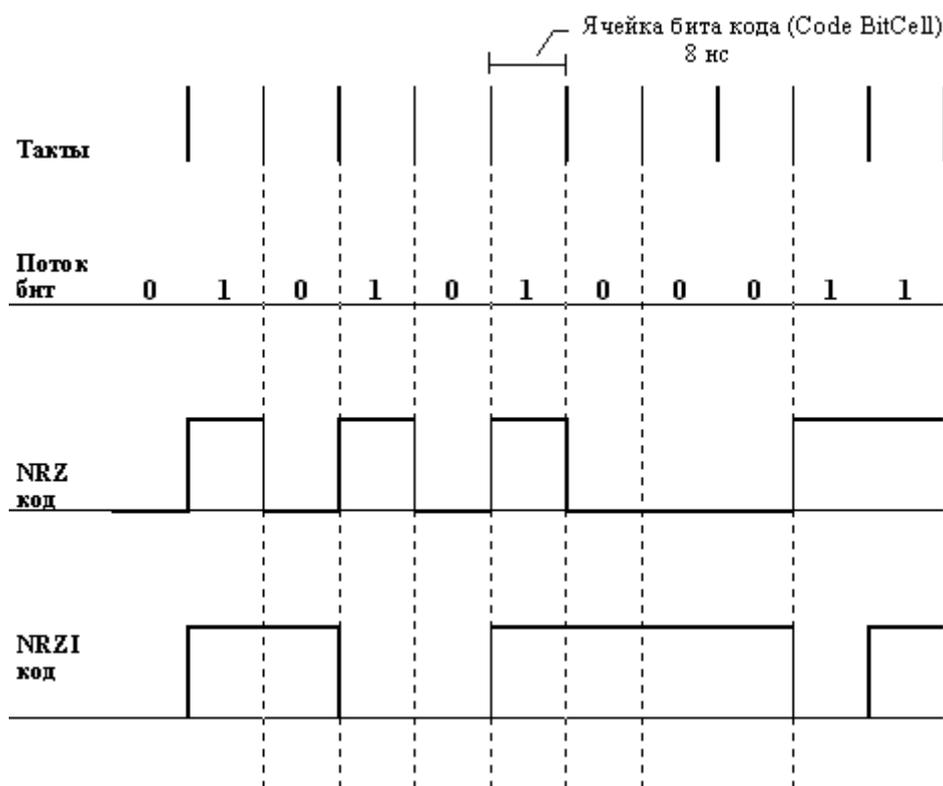


Рис. 26. Сравнение методов кодирования NRZ и NRZI

Основное преимущество NRZI кодирования по сравнению с NRZ кодированием в более надежном распознавании передаваемых 1 и 0 на линии в условиях помех.

20. Физический уровень 100Base-TX - двухпарная витая пара

Структура физического уровня спецификации PHY TX представлена на рисунке 27.

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

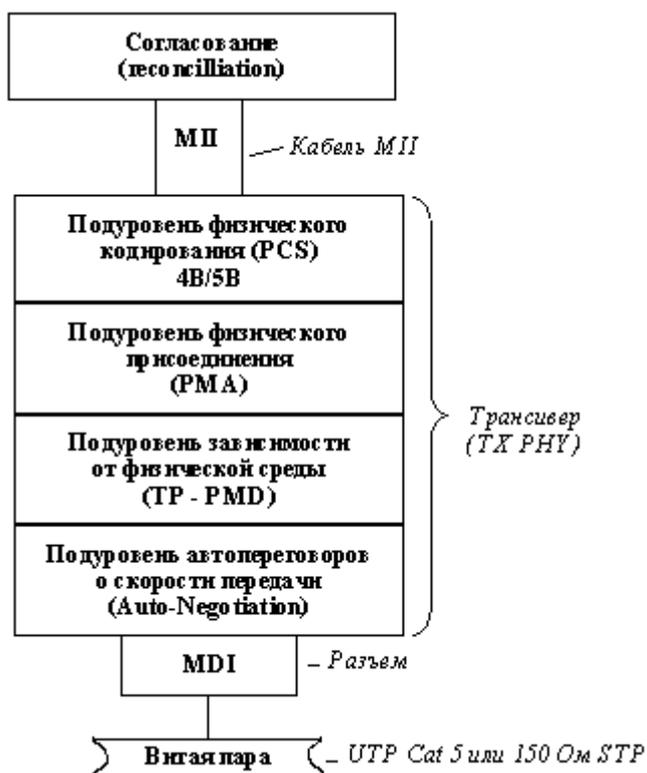


Рис. 27. Структура физического уровня PHY TX

Метод MLT-3 использует потенциальные сигналы двух полярностей для представления 5-битовых порций информации (рис. 28).

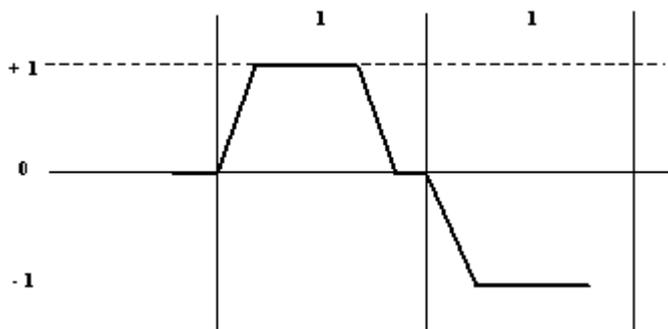


Рис. 28. Метод кодирования MLT-3

Кроме использования метода MLT-3, спецификация PHY TX отличается от спецификации PHY FX тем, что в ней используется пара шифратор-дешифратор (scrambler/descrambler), как это определено в спецификации ANSI TP-PMD. Шифратор принимает 5-битовые порции данных от подуровня PCS, выполняющего кодирование 4B/5B, и зашифровывает сигналы перед передачей на подуровень MLT-3 таким образом, чтобы равномерно распределить энергию сигнала по всему частотному спектру - это уменьшает электромагнитное излучение кабеля.

Автопереговорный процесс

Спецификации PHY TX и PHY T4 поддерживают функцию *Auto-negotiation*, с помощью которой два взаимодействующих устройства PHY могут автоматически выбрать наиболее эффективный режим работы.

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

Всего в настоящее время определено 5 различных режимов работы, которые могут поддерживать устройства PHY TX или PHY T4 на витых парах:

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

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

Для организации переговорного процесса используются служебные сигналы проверки целостности линии технологии 10Base-T - link test pulses, если узел-партнер поддерживает только стандарт 10Base-T. Узлы, поддерживающие функцию Auto-negotiation, также используют существующую технологию сигналов проверки целостности линии, при этом они посылают пачки таких импульсов, инкапсулирующие информацию переговорного процесса Auto-negotiation. Такие пачки носят название *Fast Link Pulse burst (FLP)*.

Устройство, начавшее процесс auto-negotiation, посылает своему партнеру пачку импульсов FLP, в котором содержится 8-битное слово, кодирующее предлагаемый режим взаимодействия, начиная с самого приоритетного, поддерживаемого данным узлом.

Если узел-партнер поддерживает функцию Auto-negotiation и также может поддерживать предложенный режим, то он отвечает пачкой импульсов FLP,

в которой подтверждает данный режим и на этом переговоры заканчиваются. Если же узел-партнер может поддерживать менее приоритетный режим, то он указывает его в ответе и этот режим выбирается в качестве рабочего. Таким образом, всегда выбирается наиболее приоритетный общий режим узлов.

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

Полнодуплексный режим работы

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

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

При полнодуплексной работе стандарты 100Base-TX и 100Base-FX обеспечивают скорость обмена данными между узлами 200 Мб/с.

Полнодуплексный режим работы для сетей 100Base-T пока не принят комитетом IEEE в качестве стандарта. Тем не менее, многие производители выпускают как сетевые адаптеры, так и коммутаторы для этого режима. Из-

за отсутствия стандарта эти продукты не обязательно корректно работают друг с другом.

В полнодуплексном режиме необходимо определить процедуры управления потоком кадров, так как без этого механизма возможны ситуации, когда буферы коммутатора переполнятся и он начнет терять кадры Ethernet, что всегда крайне нежелательно, так как восстановление информации будет осуществляться более медленными протоколами транспортного или прикладного уровней.

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

Среда 100Base-TX

В качестве среды передачи 100Base-TX применяются две витые пары, причем одна пара используется для передачи данных, а вторая — для их приема. Поскольку спецификация ANSI TP - PMD содержит описания как экранированных, так и неэкранированных витых пар, то спецификация 100Base-TX включает поддержку как неэкранированных, так и экранированных витых пар типа 1 и 7.

Разъем MDI (Medium Dependent Interface)

Интерфейс канала 100Base-TX, зависящий от среды, может быть одного из двух типов. Для кабеля на неэкранированных витых парах в качестве разъема MDI следует использовать восьмиконтактный разъем RJ 45 категории 5. Этот же разъем применяется и в сети 10Base-T, что обеспечивает обратную совместимость с существующими кабельными разводками категории 5. Для экранированных витых пар в качестве разъема MDI необходимо использовать разъем STP IBM типа 1, который является экранированным разъемом DB9. Такой разъем обычно применяется в сетях Token Ring.

Кабель UTP категории 5(e)

В интерфейсе среды UTP 100Base-TX применяются две пары проводов. Для минимизации перекрестных наводок и возможного искажения сигнала оставшиеся четыре провода не должны использоваться с целью передачи каких-либо сигналов. Сигналы передачи и приема для каждой пары являются поляризованными, причем один провод передает положительный (+), а второй — отрицательный (-) сигнал. Цветовая маркировка проводов кабеля и номера контактов разъема для сети 100Base-TX приведены в табл. 1. Хотя уровень PHY 100Base-TX разрабатывался после принятия стандарта ANSI TP-PMD, однако номера контактов разъема RJ 45 были изменены для согласования со схемой разводки, уже использующейся в стандарте 10Base-T. В стандарте ANSI TP-PMD контакты 7 и 9 применяются для приема данных, в то время как в стандартах 100Base-TX и 10Base-T для этого предназначены контакты 3 и 6. Такая разводка обеспечивает возможность использования адаптеров 100Base-TX вместо адаптеров 10 Base - T и их подключения к тем же кабелям категории 5 без изменений разводки. В разъеме RJ 45 используемые пары проводов подключаются к контактам 1, 2

и 3, 6. Для правильного подключения проводов следует руководствоваться их цветовой маркировкой.

Таблица 1. Назначение контактов разъема MDI кабеля UTP 100Base-TX

<i>Номер контакта</i>	<i>Название сигнала</i>	<i>Цвет провода</i>
1	Передача +	Белый/оранжевый
2	Передача -	Оранжевый
3	Прием +	Белый/зеленый
4	Не используется	Синий
5	Не используется	Белый/синий
6	Прием -	Зеленый
7	Не используется	
8	Не используется	

* - Категория 5e была разработана позднее для Gigabit Ethernet (IEEE 802.ab) и отвечает всем требованиям категории 5, что делает первую пригодной для Fast Ethernet.

Кабель STP типа 1

Стандарт 100Base-TX также поддерживает кабель на экранированных витых парах с полным сопротивлением 150 Ом. Этот кабель распространен не так широко, как кабель на неэкранированных витых парах, и обычно имеется в зданиях, оборудованных сетью Token Ring. Кабели на экранированных витых парах прокладываются согласно спецификации ANSI TP-PMD для кабеля на экранированных витых парах и используют для них девятиконтактный разъем типа D. В разьеме DB-9 применяются контакты 1, 2 и 5, 9. Если плата NIC не имеет разъема DB-9, то к концам кабеля STP необходимо подключить штекер RJ 45 категории 5.

Назначение контактов разъема MDI кабеля STP 100Base-TX

<i>Номер контакта</i>	<i>Название сигнала</i>	<i>Цвет провода</i>
1	Прием +	Оранжевый
2	Не используется	
3	Не используется	
4	Не используется	
5	Передача +	Красный
6	Прием -	Черный

7	Не используется	
8	Не используется	
9	Передача -	Зеленый
10	Земля	Оболочка кабеля

Среда 100Base-FX

В сетях стандарта 100Base-FX используется волоконно-оптический, длиной сегмента до 412 метров. Стандарт определяет, что в кабеле имеются две жилы многомодового волокна — одна для передачи, а другая для приема данных. Если NIC рабочей станции функционирует в полнодуплексном режиме, то длина кабеля может составить до 2000 метров. Волоконно-оптические кабели бывают двух категорий: многомодовые и одномодовые.

Многомодовый кабель

В волоконно-оптическом кабеле этого типа используется волокно с сердцевиной диаметром 50, либо 62,5 микрометра и внешней оболочкой толщиной 125 микрометров. Такой кабель называется многомодовым оптическим кабелем с волокнами 50/125 (62,5/125) микрометров. Для передачи светового сигнала по многомодовому кабелю применяется светодиодный приемопередатчик с длиной волны 850 (820) нанометров. Если многомодовый кабель соединяет два порта переключателей, работающих в полнодуплексном режиме, то он может иметь длину до 2000 метров.

Одномодовый кабель

Одномодовый волоконно-оптический кабель имеет меньший, чем у многомодового, диаметр сердцевины - 10 микрометра, и для передачи по одномодовому кабелю используется лазерный приемопередатчик, что в совокупности обеспечивает эффективную передачу на большие дистанции. Длина волны передаваемого светового сигнала близка к диаметру сердцевины, который равен 1300 нанометрам. Это число известно как длина волны нулевой дисперсии. В одномодовом кабеле дисперсия и потери сигнала очень незначительны, что позволяет передавать световые сигналы на большие расстояния, нежели в случае применения многомодового волокна.

Разъем MDI

Для подключения волоконно-оптического кабеля на данный момент созданы разъемы следующих типов:

- MIC (Media Interface) используется в сетях FDDI. Для того чтобы обеспечить правильное подключение кабелей FDDI, разъемы помечаются буквами A, B, M и S. Буква обозначает, куда подключать штекер: к узлу или к определенному порту концентратора FDDI. Если в качестве разъема MDI 100Base-FX используется MIC FDDI, то спецификация IEEE требует, чтобы этот разъем был маркирован буквой M;
- ST;
- SC – дуплексный разъем, единственный рекомендованный комитетом IEEE для употребления в сети 100Base-FX Fast Ethernet;
- MT-RJ;

21. Физический уровень 100Base-T4 – четырепарная витая пара

Спецификация РНУ Т4 была разработана для того, чтобы можно было использовать для высокоскоростного Ethernet'a имеющуюся проводку на витой паре 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.

Структура физического уровня РНУ Т4 изображена на рисунке 29.

Вместо кодирования 4В/5В в этом методе используется кодирование 8В/6Т. Каждые 8 бит информации МАС-уровня кодируются 6-ю троичными цифрами (ternary symbols), то есть цифрами, имеющими три состояния. Каждая троичная цифра имеет длительность 40 наносекунд. Группа из 6-ти троичных цифр затем передается на одну из трех передающих витых пар, независимо и последовательно. Четвертая пара всегда используется для прослушивания несущей частоты в целях обнаружения коллизии. Скорость передачи данных по каждой из трех передающих пар равна 33.3 Мб/с, поэтому общая скорость протокола 100Base-T4 составляет 100 Мб/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.

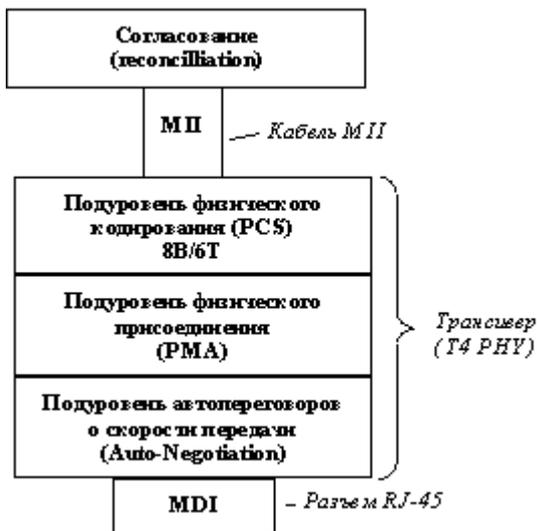


Рис. 29. Физический уровень PHY T4

На рисунке 30 показано соединение порта MDI сетевого адаптера 100Base-T4 с портом MDI-X повторителя. Из рисунка видно, пара 1-2 всегда используется для передачи данных от порта MDI к порту MDI-X, пара 3-6 всегда используется для приема данных портом MDI от порта MDI-X, а пары 4-5 и 7-8 являются двунаправленными и используются и для приема, и для передачи, в зависимости от потребности.

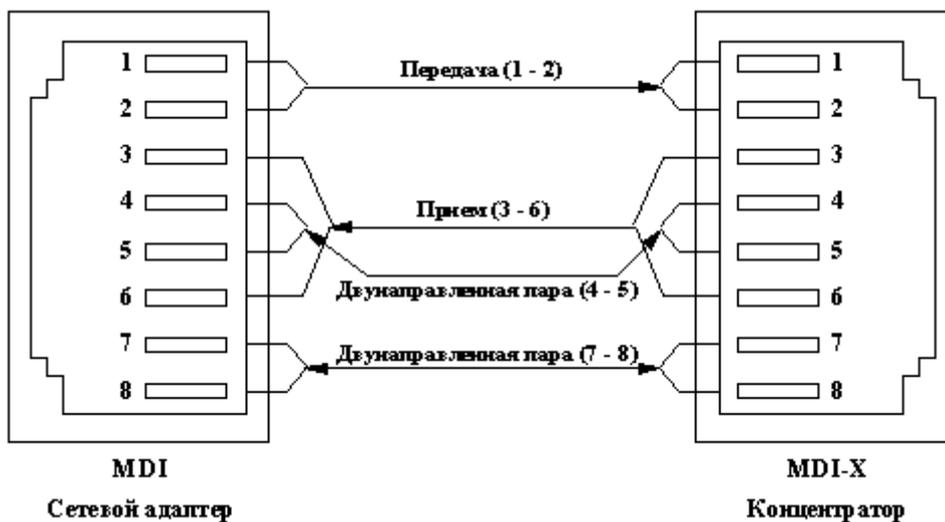


Рис. 30. Соединение узлов по спецификации PHY T4

Среда 100Base-T4

100Base-T4 является единственным полностью новым стандартом уровня РНУ в рамках стандарта 100Base-T, поскольку 100Base-TX и 100Base-FX были разработаны с использованием стандартов ANSI FDDI. Стандарт 100Base-T4 предназначался для организаций, у которых уже проложены кабели UTP категории 3 или 4. Спецификация 100Base-T4 поощряет использование кабелей категории 5 везде, где это возможно. Если в стенах здания проложены кабели UTP категории 3 или 4, то дополнительное использование кабелей категории 5 позволяет улучшить качество сигнала.

Разъем MDI

В сетях 100Base-T4 применяется неэкранированная витая пара категорий 3, 4 или 5. Используются четыре пары проводов, а это означает, что задействованы все восемь контактов разъема RJ45. Одна из четырех пар служит для передачи данных, другая — для приема, а две оставшиеся — для двунаправленной передачи данных. Три из четырех пар используются для одновременной передачи данных, а четвертая — для обнаружения коллизий. Один провод каждой пары передает положительный (+) сигнал, а другой — отрицательный (-) сигнал. Кабель 100Base-T4 не допускает работу в полнодуплексном режиме. Необходимо правильно подключить провода к контактам разъемов и не расплетать пары проводов.

Таблица 3. Назначение контактов разъема MDI кабеля UTP 100Base-T4

Номер контакта	Название сигнала	Цвет провода
1	TX D1 +	Белый/оранжевый

2	TX D1 -	Оранжевый
3	RX D2 +	Белый/зеленый
4	BI D3 +	Синий
5	BI D3 -	Белый/синий
6	RX D2-	Зеленый
7	BI D4 +	Белый/коричневый
8	BI D4 -	Коричневый

Ограничения длины кабеля

В сетях 100Base-TX уровень сигнала не так важен по сравнению со временем распространения сигналов. Механизм CSMA/CD в сети Fast Ethernet работает так же, как в сети Ethernet 10 Мбит/с, и пакеты имеют аналогичный размер, но их скорость распространения через среду передачи в десять раз выше. Из-за того, что механизм детектирования коллизий остался тем же, системы все еще должны выявлять возникновение коллизии прежде, чем истечет время состязания (то есть прежде, чем будут переданы 512 байт данных). Таким образом, поскольку трафик распространяется быстрее, временной зазор уменьшается, и максимальная длина сети также должна быть сокращена, чтобы выявление коллизий происходило безошибочно. По этой причине предельная общая длина сети 100Base-TX примерно составляет 210 м. Это значение необходимо соблюдать намного более жестко, чем максимум в 500 м для сети 10Base-T.

Когда планируется сеть, необходимо учитывать тот факт, что требование стандарта Fast Ethernet к максимальной длине сегмента кабеля в 100 м включает в себя всю длину кабеля, соединяющего компьютер с концентратором. Если кабельная разводка внутренняя и заканчивается на стороне компьютера настенной розеткой, а на стороне концентратора — коммутационной панелью, то в длину сегмента необходимо включить коммутационные кабели, соединяющие компьютер с розеткой и коммутационную панель с концентратором. Спецификация рекомендует брать максимальную длину для сегмента кабеля внутренней разводки, равной 90 м, оставляя 10 м для коммутационных кабелей.

Конфигурации концентраторов

Так как предельно допустимая длина для сегмента 100Base-TX составляет те же 100 м, что и для 10Base-T, ограничения на общую длину сети сказываются на конфигурации ретранслирующих концентраторов, используемых для соединения сегментов. Стандарт Fast Ethernet описывает два типа концентраторов для сетей 100Base-TX: класс I и класс II. Каждый концентратор Fast Ethernet должен иметь римскую цифру I или II, идентифицирующую его класс.

Концентраторы класса I предназначены для поддержки сегментов кабеля с различными типами передачи сигналов. 100Base-TX и 100Base-FX используют один и тот же тип передачи сигналов, в то время как 100Base-T4 — отличный от него (поскольку присутствуют две двунаправленные пары). Концентратор класса I содержит схему, которая переводит входящие сигналы 100Base-TX, 100Base-FX и 100Base-T4 в общий цифровой формат, а затем снова осуществляет конверсию в сигнал, соответствующий выходному порту концентратора. Указанные преобразования приводят к тому, что концентратор класса I вносит сравнительно большую задержку

времени, и поэтому на пути между двумя любыми узлами в сети не должно быть больше одного концентратора этого класса.

Концентраторы класса II могут поддерживать сегменты кабеля только с одинаковыми средами передачи сигналов. Так как преобразований не производится, концентратор немедленно передает входящие данные на выходные порты. Из-за того, что временная задержка короче, между двумя любыми узлами в сети может быть установлено до двух концентраторов класса II, но при этом все сегменты должны использовать идентичную среду передачи сигналов. Это означает, что концентратор класса II может поддерживать либо 100Base-TX и 100Base-FX одновременно, либо отдельно 100Base-T4.

Дополнительные ограничения длины сегментов также основываются на сочетании используемых в сети сегментов кабеля и концентраторов. Чем сложнее становится конфигурация сети, тем меньше должен быть максимальный размер области коллизий. Эти ограничения собраны в табл. 4.

Нормативы для многосегментной конфигурации Fast Ethernet

	Один концентратор класса I	Один концентратор класса II	Два концентратора класса II
Все сегменты медные (100Base-TX или 100Base-T4)	200 метров	200 метров	205 метров

Все сегменты оптоволоконные (100Base-FX)	272 метра	320 метров	228 метров
Один сегмент 100Base-T4 и один сегмент 100Base-FX	231 метр	Не применяется	Не применяется
Один сегмент 100BaseTX и один сегмент 100Base-FX	260,8 метра	308,8 метра	216,2 метра

Следует помнить, что в сетевой конфигурации, содержащей два концентратора класса II, самое длинное соединение между двумя узлами в действительности включает три кабеля: два кабеля для присоединения узлов к соответствующим им концентраторам и один кабель для соединения двух концентраторов между собой. Например, стандарт предполагает, что дополнительные 5 м, учтенные в ограничении длины для всех медных сетей, будут выбраны при соединении двух концентраторов (рис. 8.13). Однако на практике три кабеля могут быть любой длины, но их общая длина не должна превышать 205 м.

Преодоление ограничений топологии

Одним из наиболее часто критикуемых ограничений Fast Ethernet является диаметр сети, который не должен превышать 205 метров. Такое ограничение затрудняет прямую замену некоторых сетей Ethernet на Fast Ethernet. Поставщики других технологий, в частности Token Ring, 100 VG AnyLAN и FDDI, подчеркивают, что их технологии могут поддерживать

сети гораздо большего диаметра. Это действительно так и первоначально ограничивало применение Fast Ethernet сетями рабочих групп и подразделений. Тем не менее такое ограничение топологии может быть легко преодолено путем использования переключателей и полнодуплексных волоконно-оптических связей.

Способом преодоления ограничений топологии является разбиение единой области коллизий на несколько при помощи переключателя. Диаметр сети Fast Ethernet, использующей медный кабель и повторитель Класса I, не может превысить 200 метров. Если мы добавим к этой сети единственный переключатель и установим повторители на различные порты, то максимальный диаметр полной переключаемой ЛВС возрастет до 400 метров.

Реальное преимущество сети с переключателями проявляется тогда, когда несколько переключателей соединяются полнодуплексным волоконно-оптическим кабелем, длина которого может достигать 2000 метров (в случае применения многомодового кабеля. При применении одномодового кабеля расстояния достигают десятков километров и зависят от типа используемого оборудования). Этот прием прекрасно подходит для опорной сети.

22. Правила построения сегментов Fast Ethernet при использовании повторителей класса I и класса II

Технология Fast Ethernet, как и все некоаксиальные варианты Ethernet'a рассчитана на подключение конечных узлов - компьютеров с соответствующими сетевыми адаптерами - к многопортовым концентраторам-повторителям или коммутаторам.

Правила корректного построения сегментов сетей Fast Ethernet включают:

- ограничения на максимальные длины сегментов, соединяющих DTE с DTE;
- ограничения на максимальные длины сегментов, соединяющих DTE с портом повторителя;
- ограничения на максимальный диаметр сети;
- ограничения на максимальное число повторителей и максимальную длину сегмента, соединяющего повторители.

Рассмотрим вначале влияние ограничений длин сегментов DTE-DTE.

В качестве *DTE (Data Terminal Equipment)* может выступать любой источник кадров данных для сети: сетевой адаптер, порт моста, порт маршрутизатора, модуль управления сетью и другие подобные устройства. Порт повторителя не является DTE. В типичной конфигурации сети Fast Ethernet несколько DTE подключается к портам повторителя, образуя сеть звездообразной топологии.

Спецификация IEEE 802.3u определяет следующие максимальные значения сегментов DTE-DTE:

Значения сегментов DTE-DTE

Стандарт	Тип кабеля	Максимальная длина сегмента
100Base-TX	Category 5 UTP	100 метров
100Base-FX	многомодовое оптоволокно 62.5/125 мкм	412 метров (полудуплекс) 2 км (полный дуплекс)
100Base-T4	Category 3,4 или 5 UTP	100 метров

Остановимся подробнее на ограничениях, связанных с соединениями с повторителями.

Повторители Fast Ethernet делятся на два класса.

Повторители класса I поддерживают все типы систем кодирования физического уровня: 100Base-TX/FX и 100Base-T4. Повторители класса II поддерживают только один тип системы кодирования физического уровня - 100Base-TX/FX или 100Base-T4.

В одном домене коллизий допускается наличие только одного повторителя класса I. Это связано с тем, что такой повторитель вносит большую задержку при распространении сигналов из-за необходимости трансляции различных систем сигнализации.

Максимальное число повторителей класса II в домене коллизий - 2, причем они должны быть соединены между собой кабелем не длиннее 5 метров.

Небольшое количество повторителей Fast Ethernet не является серьезным препятствием при построении сетей. Во-первых, наличие стековых повторителей снимает проблемы ограниченного числа портов - все каскадируемые повторители представляют собой один повторитель с достаточным числом портов - до нескольких сотен. Во-вторых, применение коммутаторов и маршрутизаторов делит сеть на несколько доменов коллизий, в каждом из которых обычно имеется не очень большое число станций.

В следующей таблице сведены правила построения сети на основе повторителе класса I.

Правила построения сети на основе повторителе класса I

Тип кабелей	Максимальный диаметр сети	Максимальная длина сегмента
Только витая пара (TX)	200 м	100 м
Только оптоволокно (FX)	272 м	136 м
Несколько сегментов на витой паре и один на оптоволокне 260 м	100 м (TX)	160 м (FX)

Несколько сегментов на витой паре и несколько сегментов на оптоволокне 272 м	100 м (TX)	136 м (FX)
---	------------	------------

Эти ограничения проиллюстрированы типовыми конфигурациями сетей, показанными на рисунке.

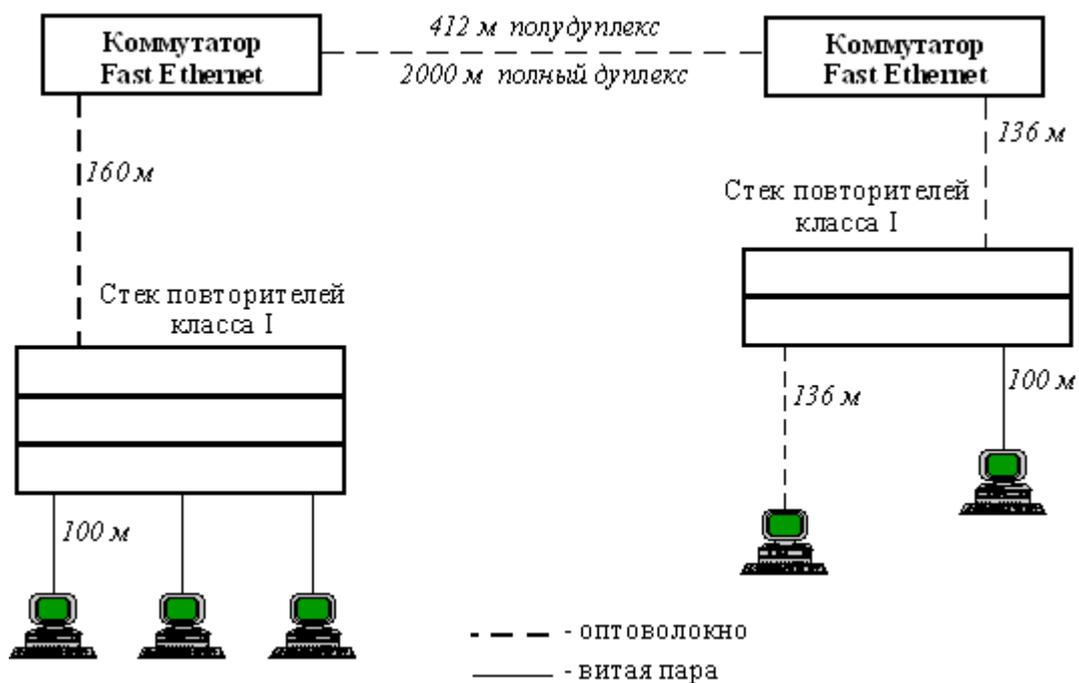


Рис. 31. Примеры построения сети с помощью повторителей класса I

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Интернет-ресурсы

- https://standards.ieee.org/standard/802_3-2018.html
- https://standards.ieee.org/project/802_3.html#Standard
- <http://grouper.ieee.org/groups/802/1>
- <http://www.citforum.ru/nets>
- lib.tsonline.ru/articles2/fix-op/10gigabitnii-ethernet

Литература

- Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.:Питер, 2020. – 1008 с.
- Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. – СПб.:Питер, 2019. – 960 с.
- Букатов А.А., Гуда С.А. Компьютерные сети. Расширенный начальный курс. – СПб.:Питер, 2019. – 496 с.
- Куроуз Дж., Росс К. Компьютерные сети: Нисходящий подход. – М.: Издательство "Э", 2016. – 912 с.
- Смирнова Е.В., Козик П.В. Технологии современных сетей Ethernet. Методы коммутации и управления потоками данных. – СПб.:БХВ-Петербург, 2012. – 272 с.
- Благодаров А.В., Пылькин А.Н., Скуднев Д.М., Шибанов А.П. Моделирование и синтез оптимальной структуры сети Ethernet. – М.:Горячая Линия-Телеком, 2011. – 112 с.

Рекомендовано для использования в учебном процессе решением
кафедры системного анализа и информационных технологий
Казанского федерального университета
от 17.11.2021