

Н.В.ТАТАРЧЕНКО, П.В.ТИШКОВ

**СИСТЕМЫ ДОСТУПА
К ИНФОРМАЦИОННЫМ СЕТЯМ
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**



УДК 681.327.8

ББК

Т

Рецензент:

доц. кафедры СиУТ БГУИР, канд. техн. наук,

М.Ю.Хоменок

Тарченко Н.В.

Т Системы доступа к информационным сетям. Учеб. пособие по дисциплине «Системы доступа к компьютерным и телекоммуникационным сетям» для студентов специальностей “Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения”, “Многоканальные системы телекоммуникаций” дневной, вечерней и заочной форм обучения / Н.В. Тарченко, П.В. Тишков. – Мн.: БГУИР, 2005. – 80 с.: ил.

ISBN 985-444-850-9

Дана классификация систем доступа к компьютерным и телекоммуникационным сетям, описание систем доступа на основе технологий локальных сетей.

УДК 681.327.8

ББК

ISBN 985-444-850-9

© Н.В. Тарченко, П.В. Тишков, 2005
© БГУИР, 2005

Учебное пособие

Тарченко Надежда Владимировна,
Тишков Павел Владимирович

СИСТЕМЫ ДОСТУПА К ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ И КОМПЬЮТЕРНЫМ СЕТЯМ

Учебное пособие

по дисциплине

“Системы доступа к компьютерным и телекоммуникационным сетям”

для студентов специальностей

“Многоканальные системы телекоммуникаций”

“Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения”

дневной, вечерней и заочной форм обучения

Редактор Т.П. Андрейченко

Корректор Е.Н. Батурчик

Компьютерная верстка

Подписано в печать

Формат 60х84 1/16.

Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс».

Печать ризографическая.

Усл. печ. л.

Уч.-изд. л. 5,5.

Тираж 200 экз.

Заказ 228

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования

«Белорусский Государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.

Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.

220013, Минск, П.Бровки, 6

Рецензия

на учебное пособие Тарченко Н.В., Тишкова П.В.

«Системы доступа к телекоммуникационным и компьютерным сетям»
для студентов специальностей “Многоканальные системы телекоммуникаций”,
“Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения”.

Представленное учебное пособие написано в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Системы доступа к телекоммуникационным и компьютерным сетям». В нем дана классификация систем доступа к широкополосным сетям, их краткая характеристика со ссылками на рекомендации МСЭ-Т, что позволяет, в случае необходимости обратиться к первоисточникам.

Основное внимание в пособии уделено системам доступа к телекоммуникационным и компьютерным сетям на основе технологий локальных сетей (LAN).

В связи с этим подробно расписан алгоритм обмена информацией в соответствии с моделью взаимодействия открытых систем (ВОС) с указанием функций, выполняемых тем или иным уровнем, и используемых протоколов.

В пособии представлены наиболее распространенные на сегодняшний день технологии локальных сетей, реализующие разные механизмы доступа к разделяемой среде передачи: Ethernet, Token Ring, 100VG-AnyLAN.

Представлены основные аппаратные компоненты, необходимые для создания локальной сети, дано описание их технических и функциональных характеристик.

Считаю, что данное учебное пособие может быть рекомендовано к опубликованию.

Доцент каф. СиУТ, к.т.н.

Хоменок М.Ю.

Содержание

1	Системы доступа к информационным сетям	5
1.1	Классификация систем доступа	5
1.2	Доступ с использованием традиционных сетей связи	5
1.3	Технология ISDN	6
1.4	Технологии xDSL	6
1.5	Технологии оптического доступа	9
1.6	Технологии коллективного доступа	10
1.7	Технологии КТВ	11
1.8	Технологии LAN	13
2	Концепция организации сетей	14
2.1	Основные определения, классификация сетей связи	14
2.2	Стандартизация в области компьютерных сетей	17
2.3	Модель взаимодействия открытых систем	18
2.3.1	Многоуровневые коммуникационные архитектуры	18
2.3.2	Функции уровней модели ВОС	21
2.4	Стеки коммуникационных протоколов	25
2.4.1	Стек протоколов OSI	26
2.4.2	Стек протоколов TCP/IP	27
2.4.3	Стек протоколов IPX/SPX	29
2.4.4	Стек протоколов NetBIOS/SMB	29
3	Сетевая архитектура	31
3.1	Эволюция компьютерных сетей	31
3.2	Классификация топологических элементов сети	32
3.3	Физическая топология ЛС	33
3.3.1	Физическая шинная топология (топология «цепь»)	33
3.3.2	Физическая топология «звезда»	34
3.3.3	Физическая топология «кольцо»	35
3.3.4	Ячеистая топология (mesh)	35
3.4	Логическая топология сети	36
3.5	Методы доступа к сети	37
4	Базовые технологии локальных сетей	39
4.1	Структура стандартов IEEE 802.x	39
4.2	Технология Ethernet	43
4.3	Формат кадра технологии Ethernet	44
4.4	Метод доступа CSMA/CD	46
4.5	Стандарты Ethernet со скоростью 10 Мбит/с	51
4.6	Технология Fast Ethernet (IEEE 802.3u)	57
4.7	Спецификации физического уровня	59
4.8	Высокоскоростная технология Gigabit Ethernet	68
4.8.1	Общая характеристика стандарта	68
4.8.2	Средства увеличения размеров домена коллизий	69
4.8.3	Спецификации физической среды стандарта 802.3z	70
4.9	Высокоскоростная технология 10Gigabit Ethernet	72

5	Основные характеристики стандарта Token Ring.....	73
5.1	Маркерный метод доступа.....	73
5.2	Форматы кадров Token Ring.....	74
5.3	Физическая реализация сетей Token Ring.....	78
6	Технология 100VG-AnyLAN	79
6.1	Общая характеристика технологии 100VG-AnyLAN	79
6.2	Структура сети 100VG-AnyLAN.....	80
7	Типовой состав оборудования локальной сети.....	82
7.1	Обобщенная структурная схема локальной сети	82
7.2	Роль кабельной системы	82
7.3	Стандарты кабелей	85
7.4	Сетевые адаптеры	90
7.5	Физическая структуризация локальной сети. Повторители и концентраторы	92
7.6	Логическая структуризация сети. Мосты и коммутаторы	94
7.7	Маршрутизаторы	97
7.8	Функциональное соответствие видов коммуникационного оборудования уровням модели OSI	99
	Литература	101

1 Системы доступа к информационным сетям

1.1 Классификация систем доступа

Сфера доступа к высокоскоростным телекоммуникационным и компьютерным сетям в последнее десятилетие является одной из наиболее динамично развивающихся областей телекоммуникаций. Современные технологии обеспечивают предоставление пользователю полного набора услуг (передачу речи, данных и видеоинформации) по одной линии связи, соединяющей его с оператором мультисервисной сети связи (МСС). Для организации абонентского доступа задействуются различные среды передачи и различные технологии.

Существующие технологии доступа к компьютерным и телекоммуникационным сетям можно разделить на два основных класса: проводные и беспроводные. В дальнейшем приведена классификация современных технологий проводного доступа.

Одним из важнейших критериев классификации технологий проводного доступа является используемая среда передачи. Это может быть витая медная пара, коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель, а также проводка сетей электропитания или радиотрансляционных сетей. С учетом данного критерия технологии проводного абонентского доступа можно распределить на следующие группы (см. таблицу 1.1):

- технологии цифровой абонентской линии – xDSL (витая медная пара – симметричный кабель);
- технологии сетей кабельного телевидения (коаксиальный и оптоволоконный кабели);
- технологии оптического доступа OAN (оптоволоконный кабель);
- технологии сетей коллективного доступа (проводка сетей электропитания, проводка радиотрансляционных сетей);
- технологии локальных вычислительных сетей LAN (витая пара, коаксиальный кабель и оптоволоконный кабель);
- технологии доступа к услугам цифровой сети с интеграцией служб (ISDN);
- услуги, предоставляемые абонентам телефонной сети общего пользования (ТфОП).

1.2 Доступ с использованием традиционных сетей связи

ТфОП создавалась для предоставления услуг телефонии. Доступ абонентов к ограниченному набору услуг ТфОП осуществляется по линиям связи на основе медных пар с помощью оборудования (телефонных и факсимильных аппаратов и модемов), функционирующего в соответствии с алгоритмами установления телефонных соединений.

Доступная пользователю в ТфОП полоса частот ограничена полосой стандартного телефонного канала 300...3400 Гц. Максимальная скорость передачи информации при организации доступа через ТфОП к телекоммуникаци-

онным сетям составляет 56,7 кбит/с, что связано с ограничением скорости передачи данных по каналу тональной частоты. При этом абонент не может одновременно пользоваться услугами телефонии и доступа в Интернет. Возможности расширения набора предоставляемых услуг и увеличения скорости доступа к этим услугам в ТфОП практически исчерпаны.

1.3 Технология ISDN

Сеть ISDN (Integrated Services Digital Network) – цифровая сеть с интеграцией служб – цифровая сеть связи с коммутацией каналов.

Доступ в сетях ISDN также осуществляется по симметричному абонентскому кабелю, однако при этом набор предоставляемых услуг по сравнению с ТфОП существенно больше. Базовый ISDN-доступ (ISDN-BRA канал с пропускной способностью 144 кбит/с, 2B+D) обеспечивает абоненту одновременный доступ к услугам телефонии и передачи данных. Возможен первичный доступ в формате ISDN-PRA с пропускной способностью 30B+D. Однако в силу невысокой эффективности использования сетей с коммутацией каналов для передачи пакетных данных, а также достаточно высокой стоимости технологии ISDN доступ не получил широкого распространения.

1.4 Технологии xDSL

Развитие xDSL-доступа отражает развитие методов передачи сигналов по витой медной паре. Эти технологии обеспечивают доступ к широкому спектру услуг по передаче мультимедийной информации. Вопросами стандартизации, а также продвижения технологий xDSL на рынке занимаются различные международные организации (ITU, ANSI, ETSI, DAVIC, ATM Forum, ADSL Forum).

Данные технологии можно разделить на подгруппы: симметричного и асимметричного xDSL-доступа. Первые находят применение главным образом в корпоративном секторе, вторые предназначены для предоставления услуг преимущественно индивидуальным пользователям.

Технологии симметричного xDSL-доступа

В данной подгруппе можно выделить следующие технологии (см. таблицу 1.1):

IDSL (ISDN DSL) – нестандартизованная технология передачи данных по одной медной паре со скоростью 128 кбит/с. При реализации технологии используются те же модемы или терминальные адаптеры, что и в сетях ISDN, однако технология IDSL в отличие от ISDN, которая является коммутируемой, поддерживает режим постоянного соединения с провайдером. IDSL может применяться для организации одновременной передачи речи и данных по одной витой паре на большие расстояния (до 40 км);

Таблица 1.1 – Классификация систем доступа к высокоскоростным сетям

Технологии проводного абонентского доступа								
ТфОП	ISDN	LAN	DSL		КТБ	OAN		СКД
			Симметр. доступ	Асимметр. доступ				
– телефон – факс – модем ПД – выделенная линия	– ISDN-BRA – ISDN-PRA	– Ethernet – Fast Ethernet – Gigabit Ethernet – Token Ring – HSTR – FDDI – CDDI – SDDI – EoV	– IDSL – HDSL – SDSL – SHDSL – MDSL – MSDSL – VDSL	– ADSL – RADSL – G.Lite – ADSL2 – ADSL2+ – VDSL	– DOCSIS 1.0 – DOCSIS 1.1 – DOCSIS 2.0 – Euro-DOCSIS – J.112 – IP-Cable-Com – Packet-Cable	– FTTx – FTTH – FTTB – FTTC – FTTCab	– PON – APON – EPON – BPON – GPON	– HPNA 1.x – HPNA 2.0 – HPNA 3.0 – PLC – EFM

HDSL (*High-bit-rate DSL*) – технология передачи потоков E1 (2048 кбит/с) по одной, двум и трем витым парам (ITU-T Рек. G.991.1). В технологии используются методы кодирования 2B1Q или PAM (PAM-8...PAM-256). Системы передачи на базе HDSL-технологии имеют большую (до 10 км) длину регенерационного участка и поэтому находят широкое применение при организации первичных цифровых трактов E1, объединении сегментов LAN, организации выносов и т.п.;

SDSL (*Symmetrical/single pair DSL*) – вариант HDSL, рассматриваемый как самостоятельная технология, в которой используется для передачи одна витая пара. Реализуемая скорость – от 128 до 2320 кбит/с. Оборудование SDSL используется, в частности, для связи сетей LAN по телефонным линиям;

MDSL (*Moderate speed DSL*) – "среднескоростной" вариант SDSL (от 384 до 1168 кбит/с). В технологии используется линейный код 2B1Q с адаптацией скорости передачи к условиям связи;

MSDSL (*Multirate-Symmetrical single pair DSL*) – вариант SDSL со скоростью передачи от 64 до 2320 кбит/с. При реализации MSDSL используется модуляция CAP с адаптацией скорости передачи к условиям связи;

SHDSL (*Single-pair High-speed DSL*) – стандартизованная ITU-T (Рек. G.991.2) технология передачи цифровых потоков со скоростью от 192 до 2320 кбит/с по одной витой паре. Предусмотрена возможность работы по двум витым парам со скоростью от 384 до 4640 кбит/с. Метод передачи TC-PAM обеспечивает спектральную совместимость при работе по одному кабелю оборудования SHDSL с системами ISDN, HDSL, ADSL. В технологии заложены возможности работы в МСС на базе транспортных технологий ATM, IP, Frame Relay;

VDSL (*Very high speed DSL*) – симметричный режим работы VDSL-систем, предусмотренный стандартом TS 101 270 организации ETSI. Скорость передачи цифровых потоков по обычной медной паре достигает 13 Мбит/с.

Технологии асимметричного xDSL-доступа

В подгруппе методов асимметричного xDSL-доступа можно выделить следующие технологии:

ADSL (*Asymmetrical DSL*) – технология передачи цифровых потоков на расстояние до 2,7 км со скоростями (согласно Рек. G.992.1 ITU-T) не менее 6,144 Мбит/с в сторону пользователя и 640 кбит/с и обратном направлении. Использование метода кодирования DMT позволяет обеспечить одновременную высокоскоростную передачу данных и речевых сигналов по одной витой паре. Оборудование ADSL-доступа подключается к транспортным сетям по технологиям SDH и ATM. Помимо ITU-T стандарты для технологии ADSL были разработаны также ANSI (T1.413) и ETSI (TS 101 388);

RADSL (*Rate Adaptive DSL*) – нестандартизованный в ITU-T вариант ADSL, позволяющий изменять скорость передачи в линии по желанию оператора либо по такому критерию, как качество линии. В настоящее время адапта-

ция скорости передачи к параметрам линии реализуется во всем выпускаемом ADSL-оборудовании.

G.Lite (Universal ADSL) – технология передачи цифровых потоков по обычной медной паре со скоростями (согласно Рек. G.992.2 ITU-T) не более 1,536 Мбит/с в сторону пользователя и 512 кбит/с в обратном направлении на расстояние до 3,5 км. Данная технология, в которой используется метод кодирования DMT, разработана для организации доступа в Интернет по витой медной паре как альтернатива дорогостоящему ADSL-доступу;

ADSL2 – технология передачи цифровых потоков по медной паре со скоростями (согласно Рек. G.992.3 ITU-T) не менее 8 Мбит/с в сторону пользователя и 800 кбит/с в обратном направлении. Планируется, что скорость передачи в оборудовании ADSL2 будет достигать 12 Мбит/с при передаче на расстояние до 1,5 км, а при использовании технологии инверсного мультиплексирования для ATM IMA скорость потока, направленного в сторону абонента по 4 витым парам, достигнет 40 Мбит/с;

G.Lite2 (второе поколение G.Lite). Требования к технологии определены в Рек. G.992.4 ITU-T;

ADSL2+. Требования к технологии определены в Рек. G.992.5 ITU-T, принятой в феврале 2003 г. Увеличенная полоса используемых частот (до 22 МГц) позволит передавать данные со скоростью до 25 Мбит/с на расстояние около 1 км;

VDSL технология передачи цифровых потоков по медной паре со скоростью до 52 Мбит/с в сторону пользователя на расстояние до 300 м. Стандартизация технологии пока не завершена.

В последнее время широкое распространение получает технология **Ethernet-over-VDSL (EoV)**.

1.5 Технологии оптического доступа

Наибольший объем услуг может быть предоставлен пользователю с помощью сетей оптического доступа OAN (Optical Access Networks) – активных (FTTH, FTTB, FTTC, FTTCab) или пассивных PON (Passive Optical Networks). Созданием и продвижением новейших технологий доступа, и в частности оптических технологий, занимается международный консорциум FSAN (Full Service Access Network).

Технологии сетей PON

Основными технологиями PON являются APON, BPON, GPON и EPON (см. таблицу 1.1).

Первые стандарты на PON были созданы FSAN в 1995 г. на базе транспортной технологии ATM и получили название APON (ATM PON). Технологии BPON (Broadband PON) и GPON (Gigabit rate PON) также основаны на использовании ATM, однако по сравнению с APON их возможности шире. Технология BPON обеспечивает динамическое назначение полосы частот и предусматривает возможность работы на дополнительных длинах волн. Требования к технологиям APON и BPON определены в Рек. G.983.7. ITU-T.

В сетях GPON общая пропускная способность должна превысить гигабитную отметку. Требования к этой технологии находятся в состоянии утверждения в ITU-T.

Технология EPON (Ethernet PON), предложенная рядом производителей, основана на транспортировке в сетях PON пакетов Ethernet вместо ячеек ATM.

Технологии FTTx

Доступ к широкому спектру услуг, включая видео, по оптическому волокну получил название FTTH (Fiber-To-The-Home). Однако его стоимость остается достаточно высокой. Новый виток развития технологий оптического доступа во второй половине 90-х годов связан со снижением цен на комплектующие для оптических сетей, а также с развитием гибридных технологий, когда к одной оптоволоконной линии подключается группа абонентов.

В настоящее время наряду с FTTH широко используется ряд других технологий, имеющих общее название FTTx. Они могут использоваться как совместно с технологиями PON, так и самостоятельно. Главное их достоинство – огромная пропускная способность, обеспечивающая доступ не только к услугам интерактивного видео и Интернета, но и к десяткам высококачественных цифровых видеоканалов.

Перспективы развития сетей OAN связаны в первую очередь со снижением цен на организацию оптического доступа. Рынок оборудования оптического доступа успешно развивается. Согласно прогнозу Infonetics Research Inc., объем рынка оборудования PON, составивший в 2002 г. 50 млн дол., в 2005 г. вырастет до 350 млн дол. Внедрение технологий APON, FTTC, FTTCab будет происходить в основном в сфере индивидуального пользования и малого бизнеса. Более дорогостоящие технологии FTTH и FTTB найдут, по-видимому, применение в сфере крупного и среднего бизнеса.

1.6 Технологии коллективного доступа

Сети коллективного доступа (СКД) предназначены для организации относительно недорогого доступа в Интернет индивидуальных пользователей, проживающих в многоквартирных домах. Идея коллективного доступа состоит в использовании существующей в домах кабельной инфраструктуры (витая медная пара, радиотрансляционные сети, электрическая проводка). В подключаемом к Интернету доме устанавливается концентратор трафика. Для подключения концентратора к узлу служб транспортной сети могут использоваться разные технологии (PON, FWA, спутниковые и др). Таким образом, сети коллективного доступа являются гибридными, объединяющими в себе как собственно сети коллективного доступа, так и сети, обеспечивающие транспортировку трафика.

К основным технологиям коллективного доступа относятся HPNA, PLC, EFM.

Серия стандартов HPNA

Стандарты HPNA появились в результате деятельности альянса Home Phoneline Networking Alliance, созданного в 1996 г. для разработки технологии,

которая на основе существующей в домах кабельной сети должна была обеспечить относительно недорогой доступ в Интернет. Технология HPNA стандартизована в ITU-T (Рек. G.989.1 и G.989.2).

HPNA 1.x. Стандарт HPNA 1.0 создан в 1998 г. Для передачи сигналов используется полоса частот 4...10 МГц, поэтому системы HPNA не оказывают влияния на телефонные и другие системы, работающие по тому же кабелю. Системы доступа HPNA 1.0 обеспечивают коллективный доступ к каналу с пропускной способностью 1 Мбит/с на расстояние до 150 м. В качестве метода доступа к среде передачи применяется CSMA/CD (IEEE 802.3). Для передачи информации используется модуляция DMT. Типовая топология сети – "звезда". Ядро сети - коммутатор HPNA, порты которого подключаются к соответствующей абонентской линии. Максимальное количество абонентов в сети - 32. В стандарте HPNA 1.1 дальность действия оборудования увеличена до 300 м.

HPNA 2.0. В сетях данного стандарта, появившегося в 2000 г., пропускная способность коллективного канала увеличена до 10 Мбит/с при дальности действия системы до 350 м. Типовая топология сети – "шина". Работа такой сети не требует применения коммутаторов и других активных устройств.

HPNA 3.0. В настоящее время ведется разработка нового стандарта HPNA 3.0, по которому пропускная способность домашней сети должна достигнуть 100 Мбит/с.

Технология PLC

Разработкой стандартов технологии PLC (Power Line Communications), реализуемой на базе инфраструктуры сетей электропитания, занимаются различные международные организации, такие как PLC Forum, Powerline World и Home Plug Powerline Alliance. Последняя из них приняла в 2001 г. единый стандарт HomePlug 1.0 specification, в котором определены скорости передачи данных до 14 Мбит/с, методы доступа к среде передачи CSMA/CD или CSMA/CA и модуляции OFDM. Стандартизация PLC-технологии ведется также и в ETSI (TS 101 867, TS 101 896, TR 102 049).

Технология EFM

Технология EFM (Ethernet in the First Mile – Ethernet на первой миле) требует создания в доме инфраструктуры на базе оптоволоконного кабеля или витой медной пары категории 3 и выше. Проект EFM разрабатывается рабочей группой IEEE802.3ah, в которой для определения сети доступа предпочитают использовать выражение "первая миля" вместо общепринятого термина "последняя миля". Цель проекта – выработать требования к функциям сети коллективного абонентского доступа на базе Ethernet (в отличие от сетей Ethernet стандарта IEEE802.3, предназначенных для корпоративного или частного использования). В создаваемом стандарте будут представлены различные сетевые архитектуры, предусмотрено использование различных сред передачи информации.

1.7 Технологии КТВ

Сети кабельного телевидения (КТВ) изначально предназначались для ор-

ганизации трансляции пользователям телевизионных программ по распределительным сетям на основе коаксиального кабеля и строились по однонаправленной схеме. В начале 90-х г. были предприняты многочисленные, но неудачные попытки создания и внедрения технологий построения интерактивных сетей доступа к мультимедийным услугам на базе гибридных сетей КТВ – Hybrid Fiber Coaxial (HFC). Массовое развертывание HFC-сетей началось после появления в 1997 г. стандарта DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification). Сегодня используется пять вариантов данного стандарта (см. таблицу 1.1), определяющих построение интерактивных систем КТВ на базе гибридной HFC-технологии: три американских (DOCSIS 1.0; 1.1; 2.0), один европейский (Euro-DOCSIS) и один международный (Рек. J.112 ITU-T).

DOCSIS 1.0. Этот стандарт был создан для сетей КТВ США. Он определяет физический и MAC-уровни (см. п. 2.3), уровень управления для кабельных модемов и головных станций, принципы обеспечения сетевой безопасности и качества обслуживания. Для организации обратного канала используется диапазон 5...42 МГц. Метод доступа к обратному каналу – TDMA, методы модуляции – QPSK и QAM-16, скорость передачи – до 1 Мбит/с. Для защиты информации используется стандарт цифрового шифрования DES с длиной ключа 40 бит. Модель обеспечения качества обслуживания основана на классах обслуживания QoS. Прямой канал с полосой частот 6 МГц (Рек. J.83.B ITU-T) может быть организован в диапазоне частот 88...860 МГц. Методы модуляции в прямом канале – QAM-64 и QAM-256, скорости передачи соответственно 30,34 и 42,88 Мбит/с.

DOCSIS 1.1. Вторая версия стандарта была создана в 1999 г. В ней была увеличена скорость передачи в обратном канале до 5 Мбит/с, улучшена эффективность использования пропускной способности обратного канала за счет введения механизмов фрагментации пакетов и подавления заголовков, повышена сетевая безопасность благодаря введению аутентификации кабельных модемов.

DOCSIS 2.0. В третьей версии стандарта, опубликованной в 2002 г., пропускная способность обратного канала увеличена до 30,72 Мбит/с при ширине полосы частот до 6,4 МГц. В качестве метода доступа к обратному каналу используются варианты Advanced TDMA (A-TDMA) или Synchronous CDMA (S-CDMA). В обратном канале дополнительно используются методы модуляции QAM-8, QAM-32, QAM-64, а также QAM-128 с решетчатым кодированием (trelliscoded).

Euro-DOCSIS. Эта спецификация представляет собой вариант американского стандарта DOCSIS, адаптированного к европейским кабельным сетям. Для организации обратного канала выделен диапазон 5...65 МГц, для прямого канала – 108-862 МГц. Полоса частот в прямом канале – 8 МГц (Рек. J.83.A ITU-T). Методы модуляции в прямом канале – QAM-64 и QAM-256, скорости передачи соответственно около 37 и 52 Мбит/с.

Рек. J.112. В 1998 г. версия DOCSIS 1.0 была принята ITU-T в качестве международного стандарта J.112. Расширения этого стандарта изложены в

опубликованных позднее приложениях А, В и С.

Разработки европейской спецификации технологии интерактивных HFC-сетей ведется в настоящее время под общим названием IP-CableCom. В США подобная разработка проводится в лаборатории CableLabs в рамках проекта PacketCable. Совершенствование этих технологий идет по пути создания дополнительных возможностей и внедрения новых услуг. Основные отличия спецификации связаны с особенностями построения телекоммуникационных сетей в Европе и США.

1.8 Технологии LAN

Технологии LAN разрабатывались для обеспечения доступа пользователей к ресурсам локальных сетей. Для доступа пользователей к услугам других ресурсов (Интернет, корпоративные сети и т.д.) современные LAN строятся по гибридной технологии и объединяют в себе собственно LAN и сети, обеспечивающие подключение LAN к транспортным сетям МСС. Среди технологий LAN можно выделить следующие (см. таблицу 1.1): Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10Gigabit Ethernet, Token Ring, HSTR, FDDI, CDDL, SDDI и EoV.

Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10Gigabit Ethernet

Технологии семейства Ethernet, разработанные в комитете IEEE 802.3, обеспечивают скорости передачи 10/100/1000/10000 Мбит/с. Все технологии, за исключением 10Gigabit Ethernet, поддерживают полудуплексный режим работы. В них используется метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий CSMA/CD. В технологиях Fast Ethernet и Gigabit Ethernet дополнительно реализована полнодуплексная версия протокола для работы в коммутируемых сегментах. Технология 10 Gigabit Ethernet работает только в дуплексном режиме. Топология сетей – "шина". В качестве среды передачи используется витая пара различных категорий и многомодовый оптоволоконный кабель (для Ethernet – также и коаксиальный, а для Gigabit Ethernet и 10Gigabit Ethernet – одномодовый оптоволоконный кабель). Протяженность сети зависит от используемой среды передачи и может составлять от 100 м до 2 км. Протоколы семейства Ethernet не поддерживают современных требований к качеству обслуживания QoS. Для реализации QoS используются дополнительные механизмы в коммутаторах и маршрутизаторах.

Token Ring и HSTR

Разработка технологий Token Ring и HSTR (High-Speed Token Ring) проводилась в комитете IEEE 802.5. Скорость передачи в сети Token Ring составляет 4 или 16 Мбит/с. Топология сети – "кольцо". Для доступа к сетевым ресурсам используется бесколлизийный маркерный метод, основанный на циркуляции по кольцу короткого сообщения – маркера. Передавать данные по сети может только станция, получившая маркер. По окончании передачи маркер пересылается следующей станции. Более скоростные версии Token Ring, получившие название HSTR, предусматривают передачу со скоростями 100 Мбит/с и 1 Гбит/с. Количество сетей Token Ring не превышает 10 % от общего числа LAN.

FDDI, CDDI, SDDI

Стандарт FDDI (Fiber Distributed Data Interface), принятый ANSI, определяет принципы построения локальных сетей со скоростью передачи данных 100 Мбит/с. Сети FDDI обладают высокой отказоустойчивостью благодаря реализации топологии "двойное оптическое кольцо" с противоположными направлениями передачи маркера в основном и вспомогательном кольцах. В начале 90-х г. FDDI была наиболее скоростной технологией, поэтому она стала применяться в основном в городских кольцевых магистралях с диаметром кольца до 100 км и расстоянием между узлами сети до двух км. Использование же FDDI в качестве технологии для построения LAN весьма ограничено из-за ее высокой стоимости. Технологии CDDI (Copper DDI) и SDDI (Shielded DDI) – это проводные варианты технологии FDDI для неэкранированной и экранированной витой медной пары соответственно.

Ethernet-over-VDSL

Заложенные в технологии VDSL возможности организации симметричного обмена данными начинают использоваться в последнее время для передачи Ethernet-трафика поверх VDSL. Современное оборудование Ethernet-over-VDSL (EoV) позволяет передавать данные по обычной медной паре со скоростью до 10 Мбит/с на расстояние до 1,5 км или до 4 Мбит/с на расстояние до 2,5 км. Топология сети - "звезда" или "точка-точка" .

В настоящее время более 85 % сетей LAN построены с использованием технологий семейства Ethernet. Их распространенность обусловлена простотой и низкой стоимостью оборудования Ethernet, позволяющего создавать корпоративные сети, в которых реализуемая скорость передачи информации может быть от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с. Но развитие технологии Ethernet идет не только в направлении увеличения пропускной способности LAN. Современное оборудование Ethernet применяется для построения городских сетей (Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet) и для организации абонентского доступа (EoV).

Данное пособие посвящено подробному рассмотрению вопросов доступа к высокоскоростным сетям на основе технологий LAN.

2 Концепция организации сетей

2.1 Основные определения, классификация сетей связи

Коммуникационная сеть – совокупность узлов и станций, соединенных коммуникационными каналами, и набор оборудования, обеспечивающего соединение станций и передачу между ними определенного продукта. В зависимости от вида продукта различают информационные сети, энергетические, транспортные и т.д.

Информационная сеть – коммуникационная сеть, в которой продуктом генерирования, переработки, хранения и использования является информация.

Компьютерная сеть – совокупность узлов (персональных компьютеров (ПК), терминалов, периферийных устройств), имеющих возможность инфор-

мационного взаимодействия друг с другом с помощью специального коммуникационного оборудования и программных средств.

Компьютерные сети можно классифицировать по ряду признаков.

1. В зависимости от расстояния между связываемыми узлами различают следующие сети:

- *локальная* (ЛС) (LAN – Local Area Network) – сеть передачи данных, охватывающая ограниченную территорию (обычно в пределах одного здания) и использующая относительно короткие линии связи между узлами сети (от десятка метров до 1...2 км);
- *кампусная* (CAN – Campus Area Network) – объединяет локальные сети близко расположенных зданий;
- *корпоративная* – организуется в масштабе предприятия и является совокупностью связанных между собой ЛС одного предприятия, учреждения;
- *городская*, или сеть мегаполиса (MAN – Metropolitan Area Network) – предназначена для обслуживания территорий крупных городов или регионов;
- *глобальная* или территориальная (WAN – Wide Area Network) – территориально-распределенная сеть, которая охватывает значительное географическое пространство, не имеет единой сетевой архитектуры, построена на основе коммутируемых или выделенных каналов существующих сетей. Фактически используются как конечный транспортный механизм для переноса данных из одной ЛС в другую.

2. В зависимости от характера соединения узлов сети различают следующие топологии сетей:

- шинная (магистраль);
- кольцевая («кольцо»);
- звездообразная («звезда»);
- иерархическая (древовидная);
- ячеистая;
- смешанная.

3. В зависимости от способа управления сети подразделяются на:

- *клиент/сервер* – в сети выделяется один или несколько узлов (серверов), выполняющих управляющие функции или функции обслуживания, остальные узлы – терминальные, на которых работает пользователь;
- *одноранговые* – все узлы в сети равноправны. Клиент – объект, который запрашивает некоторые услуги, сервер – объект, который их предоставляет. Каждый узел может выполнять функции и клиента и сервера;
- *тонкая клиентная сеть* – пользователь имеет дешевое оборудование для обращения к удаленным ПК. Сеть обслуживает заказы на выполнение вычислений и получение информации. Клиент не платит денег за приобретение программных продуктов, а только за выполнение заказа.

4. В зависимости от прав собственности различают сети:

- общего пользования;
- частные.

5. В зависимости от используемых сетевых протоколов (технологий). Например, в ЛС это протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI, в глобальных – X.25, Frame Relay, ATM, протоколы последовательной передачи: PPP, HDLC, LAPB и т.д.

6. В зависимости от используемых способов коммутации можно выделить следующие разновидности сетей:

- сеть с коммутацией каналов (КК) – использует способ организации связи без буферизации данных, когда при необходимости обмена информацией между станциями сети устанавливается физическое соединение с помощью одного или нескольких коммутаторов на все время сеанса связи до тех пор, пока соединение не будет разомкнуто.

- сеть с коммутацией сообщений (КС) – сеть, в которой пересылка сообщений осуществляется без нарушения их целостности по виртуальному каналу без создания физического соединения между оконечными станциями. На сегодня устарел и не используется.

- сеть с коммутацией пакетов (КП) – использует передачу пакетов с коммутацией в сетевых узлах. Сообщение передается по каналу с разбивкой на пакеты. Канал передачи данных занят только на время передачи пакета, без нарушения целостности пакета. Такая сеть обеспечивает эффективную передачу неравномерного трафика.

Достоинства сетей с КП по сравнению с сетями с КС:

- ускоряется передача данных в сетях, так как пакеты могут передаваться параллельно на разных участках сети;

- ограничение максимального размера пакета сверху позволяет оптимизировать объем памяти коммутационных устройств;

- при обнаружении ошибок осуществляется повторная передача пакета, а не всего сообщения.

Существуют два режима работы сетей с КП: режим виртуальных каналов и дейтаграммный режим.

В режиме виртуальных каналов пакеты одного сообщения передаются в естественном порядке по установленному маршруту, при этом по одной линии связи могут передаваться пакеты разных сообщений. Виртуальный канал может быть динамическим или постоянным (задаваться сетевым администратором). Контроль правильности передаваемых пакетов производится путем передачи от получателя к отправителю подтверждающего сообщения – квитанции. Этот контроль осуществляется во всех промежуточных и оконечных узлах сети с КП, или только в оконечных узлах.

Контроль правильности может осуществляться старт-стопным методом (отправитель до тех пор не передает следующий пакет, пока не получит подтверждения о правильном приеме предыдущего) или использовать способ передачи в «окне» («окно» может включать N пакетов, возможна задержка в получении пакетов в размере «окна»).

В дейтаграммном режиме сообщение делится на дейтаграммы (части сообщения, передаваемые независимо друг от друга). Дейтаграммы одного и того

же сообщения могут передаваться по сети по различным маршрутам и поступать к получателю в произвольной последовательности. Контроль качества производится только в конечном узле.

2.2 Стандартизация в области компьютерных сетей

Суть сети – соединение разнородного оборудования, поэтому проблема совместимости как программных, так и аппаратных средств является одной из наиболее важных. Решение ее невозможно без принятия всеми производителями сетевого оборудования и программного обеспечения определенных правил. Все развитие в области компьютерных сетей отражено в стандартах. Любая новая технология только тогда приобретает законный статус, когда она закреплена соответствующим стандартом.

В зависимости от статуса организаций различают следующие типы стандартов:

- стандарты отдельных фирм (стек протоколов DECnet фирмы Digital Equipment);
- стандарты специальных комитетов и объединений, создаваемых несколькими фирмами (стандарт технологии ATM, создаваемый специально созданным объединением ATM Forum, союз Fast Ethernet Alliance по разработке стандартов 100Base Ethernet);
- стандарты национальных организаций по стандартизации (стандарт FDDI, разработанный Американским национальным институтом стандартов – ANSI).
- международные стандарты (стек коммуникационных протоколов Международной организации по стандартизации ISO, стандарты Международного союза электросвязи ITU – X.25, Frame Relay).

Некоторые стандарты, развиваясь, могут переходить из одной категории в другую, в частности, фирменные стандарты на продукцию, получившую широкое распространение, становятся основой для международных и национальных стандартов.

Приведем краткие сведения об организациях, наиболее активно занимающихся разработкой стандартов в области компьютерных сетей (КС).

Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) – основана в 1946 г., представляет собой ассоциацию ведущих национальных организаций по стандартизации разных стран. Ею разработана модель взаимодействия открытых систем, которая является концептуальной основой стандартизации в области КС, а также стек коммуникационных протоколов OSI.

Международная комиссия по электротехнике (International Electrotechnical Commission, IEC) – устанавливает международные стандарты в области электричества и электроники.

Международный союз электросвязи (International Telecommunication Union, ITU) — специализированный орган ООН, отвечает за разработку стандартов для телекоммуникационного оборудования и услуг.

Наиболее значительную роль в стандартизации КС играет постоянно действующий в рамках этой организации сектор по телекоммуникационной стандартизации (ITU Telecommunication Standardization Sector, ITU-T). Основа его деятельности – разработка международных стандартов в области телефонии, телематических служб (электронная почта, факсимильная связь, теле-текст, телекс и так далее), передачи данных и аудио- и видеосигналов.

Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE) – национальная организация США, определяющая сетевые стандарты (серия стандартов 802.x).

Американский национальный институт стандартов (American National Standards Institute, ANSI) – представляет США в ISO. Им разработан стандарт FDDI по построению ЛС на основе оптического кабеля.

2.3 Модель взаимодействия открытых систем

2.3.1 Многоуровневые коммуникационные архитектуры

Главная цель при соединении сетевых устройств в рамках сети – возможность использования ресурсов каждого сетевого устройства всеми пользователями сети. Для организации обмена информацией должен иметься комплекс программных и аппаратных средств, распределенный по разным устройствам сети. По мере развития техники и расширения ассортимента предоставляемых сервисов возникла необходимость декомпозиции сетевой задачи – разбивки ее на несколько взаимосвязанных подзадач с определением правил взаимодействия между ними; таким образом сложная задача взаимодействия сетевых устройств формализуется.

Для описания способов взаимодействия между сетевыми устройствами организацией ISO была разработана модель взаимодействия открытых систем ВОО (Open System Interconnection, OSI). Под открытой системой понимается сетевое устройство, готовое взаимодействовать с другими сетевыми устройствами с использованием стандартных правил, определяющих формат, содержание и значение принимаемых и отправляемых сообщений.

Если системы (сети) построены с соблюдением правил открытости, то это обеспечивает:

- возможность построения сети на аппаратных и программных средствах различных производителей, придерживающихся одного стандарта;
- возможность безболезненной замены отдельных компонентов сети более совершенными с минимальными затратами;
- возможность сопряжения сетей;
- простоту освоения и обслуживания сети.

Модель ВОО основана на уровневых протоколах, что позволяет обеспечить:

- логическую декомпозицию сложной сети на уровни;
- стандартные интерфейсы между сетевыми уровнями;
- симметрию в отношении функций, реализуемых в узлах сети;

- общий язык для взаимопонимания разработчиков различных сетей.

Эта модель чётко определяет различные уровни взаимодействия систем, даёт им стандартные названия и указывает, какую работу должен делать каждый уровень. Для конечных систем этих уровней семь (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Семиуровневая модель ВОС

Внутри каждого узла взаимодействие между уровнями идет по вертикали. Взаимодействие между двумя узлами логически проходит по горизонтали – между соответствующими уровнями. Реально из-за отсутствия непосредственных горизонтальных связей производится спуск до нижнего уровня в источнике, связь через физическую среду и подъем до соответствующего уровня в приемнике информации. В промежуточных устройствах подъем идет до того уровня, на котором работает то или иное устройство.

Для каждого уровня определяется набор функций – запросов, с которыми к модулям данного уровня могут обращаться модули вышележащего уровня для решения своих задач.

Интерфейс – формально определенный набор функций, выполняемых данным уровнем для вышележащего уровня, а также форматы сообщений, которыми обмениваются два соседних уровня в ходе своего взаимодействия. Таким образом, интерфейс определяет совокупный сервис, представляемый данным уровнем вышележащему.

При организации взаимодействия сетевых устройств каждый уровень ведет «переговоры» с соответствующим уровнем другого сетевого устройства. При передаче сообщений на данном уровне должны быть согласованы:

- уровень и форма электрического сигнала;

- способ определения длины сообщения;
- методы контроля достоверности и правильности.

Протоколы – формализованные правила, определяющие последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты одного уровня, расположенные в разных узлах сети. Протоколом называются и программные средства, реализующие некоторый протокол. Как следствие протокол может иметь несколько программных реализаций (например протокол IPX, реализованный компаниями Microsoft и Novell). При сравнении протоколов необходимо учитывать не только логику работы, но и качество программных решений.

В целом данная модель содержит по сути две модели:

- горизонтальная модель на базе протоколов, обеспечивающая механизм взаимодействия программ и процессов одного уровня в различных узлах;
- вертикальная модель на основе услуг, обеспечиваемых соседними уровнями друг другу в одном узле.

Стандарты на различные технологии и протоколы, как правило, охватывают несколько смежных уровней. Стек коммуникационных протоколов – согласованный набор протоколов разных уровней, достаточный для организации межсетевого взаимодействия. На эффективность взаимодействия устройств в сети влияет качество всей совокупности протоколов, составляющих стек, т.е. насколько рационально распределены функции между протоколами разных уровней и насколько хорошо определены интерфейсы между ними.

В модели ВОС задача взаимодействия разделена на семь частных задач (уровней), каждая из которых может быть решена независимо от других. Каждый уровень поддерживает интерфейсы с выше- и нижележащими уровнями.

Функции всех уровней модели OSI могут быть отнесены к двум группам (рисунок 2.2):

- функции, зависящие от конкретной технической реализации сети;
- функции, ориентированные на работу с приложениями.

Три нижних уровня (физический, канальный, сетевой) являются сетезависимыми, т. е. протоколы этих уровней тесно связаны с технической реализацией сети, с используемым коммуникационным оборудованием. Три верхних уровня (сеансовый, представления, прикладной) ориентированы на приложения и мало зависят от технических особенностей построения сетей. На протоколы этих уровней не влияют изменения в топологии сети, замена оборудования, переход на другую сетевую технологию. Транспортный уровень, промежуточный, позволяет разрабатывать приложения, не зависящие от технических средств реализации сети.

ПК с установленной на нём сетевой ОС взаимодействует с другим ПК с помощью протоколов всех семи уровней с использованием различных коммуникационных устройств.

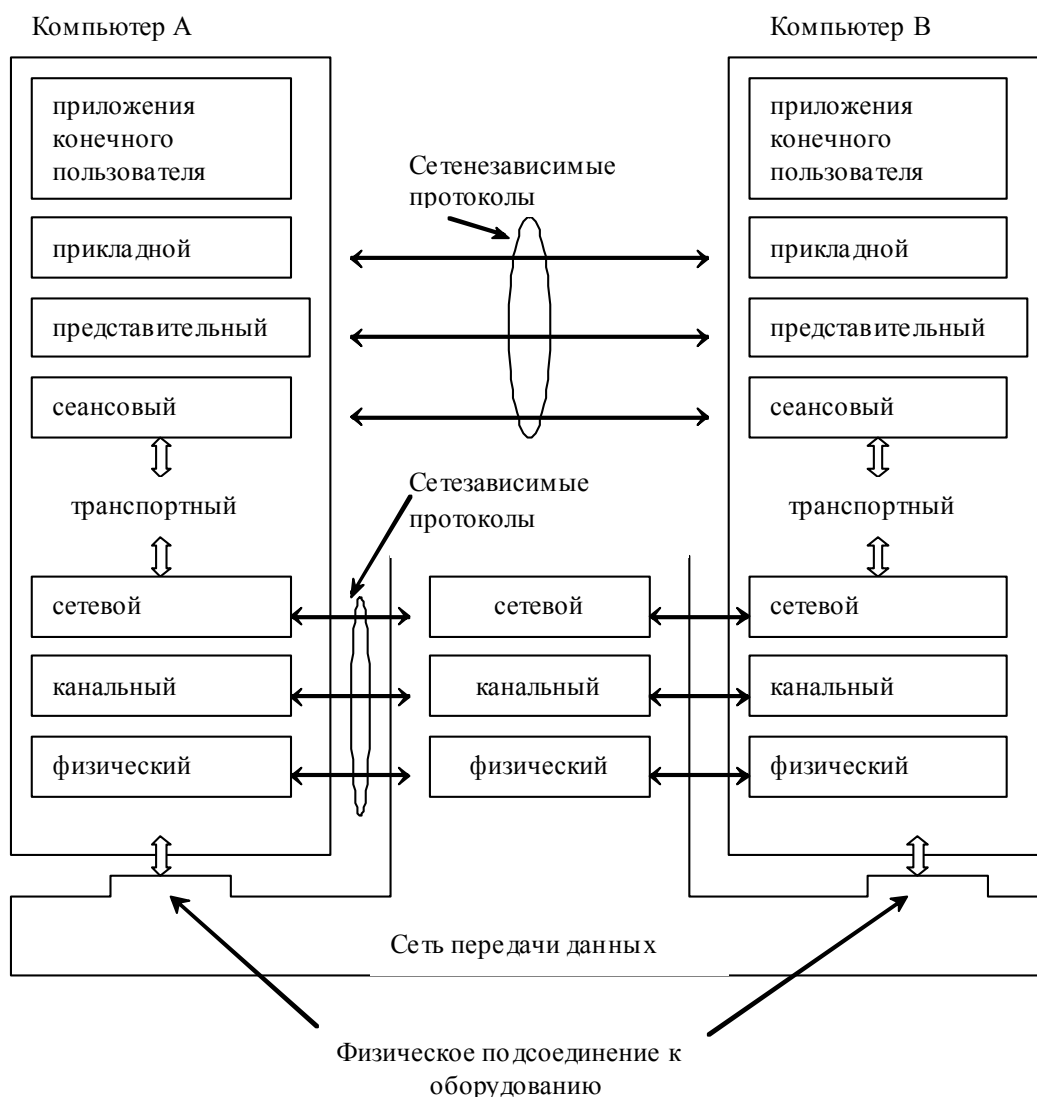


Рисунок 2.2 – Сетезависимые и сетезависимые уровни модели ВОС

2.3.2 Функции уровней модели ВОС

Физический уровень (physical layer) – нижний уровень модели ВОС, определяющий электрические, механические, функциональные и иные параметры реализации физической связи. На этом уровне обеспечивается физическое кодирование бит кадра и их передача по физическим каналам связи, таким как витая пара, коаксиальный кабель, волоконно-оптический кабель, радиолиния. На этом уровне определяются характеристики физических сред передачи данных, такие как полоса пропускания, помехозащищённость, волновое сопротивление и др. На этом же уровне определяются характеристики электрических (оптических) сигналов: крутизна фронтов импульсов, уровни напряжения или тока передаваемого сигнала, тип кодирования, скорость передачи, стандартизируются типы разъёмов и назначение каждого контакта.

Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети. В ПК функции физического уровня выполняются сетевым адаптером или последовательным портом.

Большинство базовых технологий локальных сетей допускают использование различных спецификаций физического уровня в одной сети. Эти спецификации отличаются средой передачи и способами передачи сигналов в среде. Согласование физических уровней осуществляется устройствами, имеющими интерфейсы с трансиверами различных типов.

Новые технологии опираются на стандарты, которые делят физический уровень на два подуровня:

- подуровень, зависящий от физической среды;
- подуровень, не зависящий от физической среды.

Это позволяет в большем объеме описывать процессы физического уровня.

Наиболее распространённые протоколы физического уровня:

RS-232C (ITU V.24/V.28) – протокол несбалансированной последовательной синхронной/асинхронной связи;

RS-422 (ITU V.11) – протокол последовательной симметричной передачи данных;

RS-449 (ITU V.36) – протокол последовательной симметричной дифференциальной передачи данных;

IEEE 802.5 – определяет физическое подключение для Token Ring;

IEEE 802.3 – определяет разновидности Ethernet.

Канальный уровень (data link layer)– обеспечивает надёжную передачу данных по физическому каналу. Обеспечивает формирование кадров (frames), передаваемых через физический уровень, контроль ошибок и управление потоком данных. Канальный уровень призван скрыть от вышестоящих уровней подробности технической реализации сети. Таким образом, канальный уровень обеспечивает создание, передачу и приём кадров данных, обслуживая запросы сетевого уровня, используя при этом сервис физического уровня.

Основная задача канального уровня – приём кадра из сети и отправка его в сеть. При этом осуществляется:

- физическая адресация передаваемых сообщений;
- соблюдение правил использования физического канала (доступ к разделяемой среде передачи);
- выявление неисправностей;
- управление потоками информации;
- механизм обнаружения и коррекции ошибок (путём формирования из пакета кадра).

Функции канального уровня реализуются сетевыми адаптерами ПК и их драйверами и различным коммуникационным оборудованием – мостами, маршрутизаторами, коммутаторами.

Согласно предложениям IEEE 802.2 канальный уровень делится на два подуровня (sublayers):

- подуровень LLC – Local Link Control – подуровень управления логическим каналом, отвечающий за достоверную передачу кадров между станциями сети и взаимодействие с сетевым уровнем;

- подуровень MAC – Media Access Layer – подуровень управления доступом к среде, регулирующий доступ к уровню физического кодирования и передачи сигналов.

Функции протоколов канального уровня различаются в зависимости от того, в локальных или глобальных сетях они используются.

Особенности канального уровня локальной сети:

- наличие подуровня доступа к разделяемой среде передачи;
- отсутствие, как правило, процедуры управления потоком данных;
- использование дейтаграммного метода доставки данных, так как используются для передачи каналы хорошего качества.

Наиболее распространенные протоколы канального уровня локальных сетей: Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

В глобальных сетях протоколы канального уровня обеспечивают обмен сообщениями только между двумя ПК, соединенными отдельной линией связи. Для них характерно отсутствие подуровня доступа к разделяемой среде, использование процедуры управления потоком кадров (от переполнения промежуточных коммутаторов при интенсивном трафике), применение методов передачи с предварительным установлением соединения.

Примеры протоколов типа «точка-точка»:

PPP – Point to Point Protocol;

SLIP – Serial Line Internet Protocol;

LAP-B – Line Access Protocol, Balanced;

LAP-D - Line Access Protocol for the D Channel.

Сетевой уровень (network layer) – форматирует данные транспортного уровня и снабжает их информацией, необходимой для маршрутизации. На этом уровне вводится понятие сеть, под которой понимается совокупность ПК, соединённых между собой в соответствии с одной из стандартных типовых топологий и использующих для передачи данных один из определённых для этой топологии протоколов.

Протоколы сетевого уровня служат для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей с различными принципами передачи информации между конечными узлами, т. е. внутри сети доставка данных регулируется канальным уровнем, доставка данных между сетями – сетевым.

Сообщение сетевого уровня – пакеты. При доставке пакетов на сетевом уровне используется понятие «номер сети», при этом адрес получателя содержит как номер сети, так и номер ПК в рамках сети.

Сетевой уровень отвечает за адресацию (трансляцию физических и сетевых адресов, обеспечение межсетевого взаимодействия), поиск пути от источника к получателю или между промежуточными устройствами, установление и обслуживание логической связи между узлами.

Сети соединяются между собой с помощью маршрутизаторов. Маршрутизатор – устройство, которое собирает информацию о межсетевых соединениях и на её основании определяет оптимальный путь доставки информации из

одного сегмента сети в другой. Проблема выбора наилучшего пути называется маршрутизацией, её решение – главная задача сетевого уровня. При этом самый короткий путь – не самый лучший.

Критериями выбора оптимального пути могут быть:

- пропускная способность канала связи;
- интенсивность трафика, изменяющегося во времени;
- надёжность передачи;
- минимальное время доставки.

Форматирование данных осуществляется в соответствии с той коммуникационной технологией, которая используется в сети для передачи данных (глобальные сети, локальные сети).

Протоколы сетевого уровня реализуются программными модулями операционной системы, программными и аппаратными средствами маршрутизаторов.

Используемые протоколы:

ARP (Address Resolution Protocol) – протокол взаимного преобразования аппаратных и сетевых адресов;

IP (Internet Protocol) – протокол доставки дейтаграмм стека TCP/IP;

IPX (Internetwork Packet Exchange) – протокол межсетевого обмена пакетами стека Novell;

X.25 – (частично реализован на уровне 2);

CLNP – сетевой протокол без организации соединений.

Транспортный уровень (transport layer) – обеспечивает приложениям верхних уровней стека (прикладному и сеансовому) передачу данных с той степенью надёжности и уровнем качества, которая им требуется.

Протоколы этого уровня разделяют блоки данных на пакеты, отсылают, собирают по достижении места назначения и в должной последовательности передают протоколам сеансового уровня. Работают медленнее, чем протоколы сетевого уровня, так как содержат большой объём информации, необходимой для коррекции ошибок.

Как уже отмечалось, транспортный уровень является пограничным и связующим между верхними уровнями, зависящими от приложений, и нижними, привязанными к конкретной сети. Относительно него определяются промежуточные системы, обеспечивающие передачу пакетов между источником и получателем, используя нижние уровни, и конечные системы, работающие на верхних уровнях. Протоколы транспортного уровня реализуются программными и аппаратными средствами ПК – сетевой операционной системой.

Наиболее распространены протоколы транспортного уровня:

TP0...TP4 (Transport Class Protocol 0...4) – классы протоколов модели OSI, ориентированные на различные виды сервиса нижних уровней;

TCP (Transmission Control Protocol) – протокол управления передачей – протокол передачи данных с установлением соединения стека TCP/IP;

UDP (User Datagram Protocol) – протокол передачи данных без установления соединения стека TCP/IP;

SPX (Sequenced Packet Exchange) – протокол упорядоченного обмена пакетами с установлением соединения стека Novell.

Сеансовый уровень (session layer) – обеспечивает инициализацию и завершение сеанса – диалога между устройствами сети, синхронизацию и последовательность пакетов в сетевом диалоге, надежность соединения до конца сеанса (обработку ошибок, повторные передачи). Используется не всеми приложениями.

Уровень представления данных (presentation layer) – обеспечивает гарантию того, что информация, передаваемая прикладным уровнем, будет понятна прикладному уровню другой системы, т. е. протоколы другого уровня выполняют преобразование форматов данных в некоторый общий формат представления и соответственное преобразование на приеме. В частности, протоколы этого уровня обеспечивают преобразование кодов, форматов файлов, сжатие и восстановление, шифрование и дешифрование данных.

Пример протокола – SSL (Secure Socket Layer) – обеспечивает конфиденциальность передачи данных в стеке TCP/IP.

Прикладной уровень (application layer) – высший уровень модели ВОС, обеспечивает пользовательской прикладной программе доступ к сетевым разделяемым ресурсам.

Примеры задач уровня: передача файлов, электронная почта, управление сетью.

Единица данных этого уровня – сообщение (message).

Примеры протоколов прикладного уровня:

FTP – File Transfer Protocol – протокол переноса файлов;

TFTP – Trivial File Transfer Protocol – упрощенный протокол переноса файлов

X.400 – передача сообщений и сервис электронной почты;

FTAM – File Transfer, Access and Management – удаленное манипулирование файлами;

Telnet – эмуляция терминала и удаленная регистрация.

В таблице 2.1 представлены основные отличительные признаки уровней модели ВОС.

2.4 Стеки коммуникационных протоколов

Стандартизация сетевых коммуникационных протоколов является одним из важнейших направлений в области вычислительных и телекоммуникационных сетей. В настоящее время на сетях используется большое количество стеков коммуникационных протоколов, наиболее распространенными являются стеки протоколов TCP/IP, IPX/SPX и OSI. В большинстве из них на нижних уровнях – физическом и канальном – используются одни и те же хорошо стандартизованные протоколы, которые позволяют использовать в сетях одну и ту же аппаратуру. На верхних уровнях модели ВОС все стеки

работают по своим протоколам, которые часто не соответствуют рекомендуемому моделью ВОС разбиению на уровни, в частности функции уровня представления и сеансового уровня, и, как правило, бывают объединены с прикладным. Такое несоответствие связано с тем, что эталонная модель ВОС появилась как результат обобщения уже существующих и реально используемых стеков протоколов.

Таблица 2.1 – Отличительные признаки уровней модели ВОС

Уровень	Ключевое слово	Данные	Ответственность
Прикладной	Разделение	Сообщение	Предоставляет сетевой сервис
Представления	Форматирование	Пакет	Трансляция данных и файлов. Шифрование, сжатие данных
Сеансовый	Диалог	Пакет	Управление диалогом (сеансом), поддержка вызовов удалённых процедур
Транспортный	Надёжность	Пакет, дейтаграмма	Надёжность передачи, гарантированная доставка, мультиплексирование данных верхних уровней
Сетевой	Маршрутизация	Дейтаграмма	Маршрутизация логических адресов, создание и введение таблиц маршрутизации, фрагментация и сборка данных, не ориентирован на соединение
Канальный	Кадр	Кадр	Доставка по физическому адресу устройства, синхронизация кадров, доступ к среде передачи
Физический	Биты	Биты	Синхронизация битов, согласование электрических и механических характеристик устройств сети

2.4.1 Стек протоколов OSI

Следует различать эталонную модель ВОС и стек протоколов OSI. Модель определяет концептуально схему взаимодействия открытых систем, а стек представляет собой набор вполне конкретных спецификаций протоколов. В отличие от других стек OSI полностью соответствует модели ВОС и включает спецификации протоколов для всех семи уровней ее взаимодействия.

На нижних уровнях стек OSI поддерживает протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI, протоколы глобальных сетей X.25, ATM, СЦИ/SDH, ISDN и др. Протоколы сетевого, транспортного и сеансового уровней стека ВОС/OSI специфицированы и реализованы различными производителями, но распространены пока мало. Наиболее распространенными являются прикладные протоколы

стека ВОС/ОSI, к которым относятся протоколы передачи файлов FTAM, эмуляции терминала VTP, справочной службы X.500, электронной почты X.400 и др.

Протоколы стека ОSI отличаются большой сложностью и неоднозначностью спецификаций из-за их высокой универсальности применительно ко всем существующим и вновь появляющимся сетевым технологиям. Из-за сложности они требуют больших затрат вычислительной мощности центрального процессора и являются подходящими для рабочих станций, а не для сетей персональных компьютеров.

Стек протоколов ВОС/ОSI – это международный стандарт, не зависящий от различных производителей сетевого оборудования. Поддерживается правительством США, популярен в Европе, так как там почти не осталось старых сетей, работающих по собственным протоколам.

2.4.2 Стек протоколов TCP/IP

Стек протоколов TCP/IP был разработан по инициативе Министерства обороны США для связи экспериментальной сети ARPAnet с другими сетями как набор общих протоколов для разнородной вычислительной среды. Этот стек используют для связи компьютеров всемирной информационной сети Интернет (Internet), а также в огромном числе корпоративных сетей. На нижнем уровне стек поддерживает все распространенные стандарты физического и канального уровней: для локальных сетей – это Ethernet, Token Ring, FDDI, для глобальных сетей – протоколы работы на аналоговых и цифровых коммутируемых и выделенных линиях SLIP, PPP; протоколы глобальных сетей X.25 и ISDN, АТМ и СЦИ/ SDN (табл. 2.2).

Основными протоколами стека, давшими ему название, являются протоколы IP (Internet Protocol) и TCP (Transmission Control Protocol), которые в терминологии модели ВОС относятся к сетевому и транспортному уровням. Протокол IP передает пакеты по составной сети, а протокол TCP гарантирует надежность их доставки. Наряду с протоколом TCP на транспортном уровне используется UDP (User Datagram Protocol) – протокол передачи пользовательских дейтаграмм, не ориентированный на установление соединения. Для обеспечения доставки дейтаграмм он использует адрес порта, являющегося указателем процесса, а не идентификатором соединения, как в TCP. Меньшие непроизводительные потери делают этот протокол более эффективным, чем TCP.

Стек протоколов TCP/IP вобрал в себя большое число протоколов прикладного уровня. К ним относятся такие популярные протоколы, как протокол пересылки файлов FTP (File Transfer Protocol), протокол эмуляции терминала Telnet, почтовый протокол SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), используемый в электронной почте сети Интернет, гипертекстовые сервисы службы WWW и др. В настоящее время стек протоколов TCP/IP – один из самых распространенных стеков транспортных протоколов в локальных, глобальных и магистральных телекоммуникационных сетях.

Стремительный рост популярности Интернет привел к тому, что протоколы TCP/IP в значительной мере вытесняют стек протоколов IPX/SPX компании Novell, необходимый для доступа к файловым серверам NetWare. Процесс становления стека протоколов TCP/IP в качестве стека номер один в любых сетях продолжается, и сейчас любая промышленная операционная система обязательно включает программную реализацию этого стека. Наряду с этим существует большое количество локальных, корпоративных и территориальных сетей, непосредственно не являющихся частями Интернет, в которых также используют протоколы TCP/IP. Чтобы отличать их от сети Интернет, эти сети называют сетями TCP/IP, или просто IP-сетями.

Как уже отмечалось, протоколы стека TCP/IP верхнего уровня обычно реализуют приложения или службы для работы в Интернет, например передачу файлов или электронную почту. Протокол FTP применяется для передачи файлов между узлами интерсети. Кроме этого, он позволяет пользователям взаимодействовать с удаленной системой. Этот протокол работает на трех верхних уровнях модели ВОС. На сеансовом уровне он администрирует сеанс, устанавливает соединение, передает файлы и закрывает соединение. На уровне представления выполняет трансляцию файлов, на прикладном уровне предлагает сетевые службы, а именно файловые и средства коллективной работы. Протокол FTP одноранговый, позволяет передавать файлы между разнородными узлами, поскольку использует общую файловую структуру, не зависящую от операционных систем.

Протокол Telnet используют для эмуляции удаленных терминалов. Эта служба позволяет пользователям обращаться к приложениям удаленной системы путем эмуляции одного из ее терминалов. Он поддерживает соединение между различными операционными системами, работает на верхних трех уровнях модели ВОС. На сеансовом уровне обеспечивает управление диалогом, используя полудуплексный метод, на уровне представления он выполняет трансляцию, используя последовательность байтов и коды символов. На прикладном уровне предлагает функции поддержки удаленных операций.

Протокол SMTP – упрощенный протокол электронной почты, маршрутизирующий почтовые сообщения. Он работает на прикладном уровне и обеспечивает средства обмена сообщениями. SMTP не предусматривает пользовательского интерфейса для приема и передачи сообщений, однако его поддерживают многие приложения электронной почты Интернет. Для передачи почтовых сообщений в интерсети SMTP использует протоколы TCP и IP.

Поскольку стек TCP/IP изначально создавался для глобальной сети Интернет, он имеет ряд преимуществ перед другими стеками, когда речь заходит о построении сетей, включающих глобальные связи. В частности, очень полезной является его способность фрагментировать пакеты, что оказывается весьма привлекательным для его применения в больших сетях, построенных по совершенно разным принципам. В каждой из таких сетей можно задать собственное значение максимальной длины единицы передаваемых данных (кадра). В таком случае при переходе из сети, имеющей большую максимальную длину кадра, в сеть с

меньшей максимальной длиной кадра, возникает необходимость деления передаваемого кадра на несколько частей, что весьма эффективно обеспечивает протокол IP стека TCP/IP.

Другой особенностью технологии TCP/IP является гибкая система адресации.

Преимущества, которые дает стек протоколов TCP/IP для построения сетей, неразрывно связаны с высокими требованиями, предъявляемыми к ресурсам, и сложностью администрирования IP-сетей. Мощные функциональные возможности протоколов стека TCP/IP требуют для своей реализации больших вычислительных ресурсов и затрат. Реализация гибкой системы адресации и отказ от широкоэвентельных рассылок приводят к наличию в IP-сети различных централизованных служб типа DNS, DHCP и т.п. Каждая из этих служб предназначена для облегчения администрирования сети, включая конфигурирование сетевого оборудования.

2.4.3 Стек протоколов IPX/SPX

Этот стек компании Novell разработан для сетевой операционной системы NetWare еще в начале 80-х годов. Название стеку дали протоколы сетевого и сеансового уровней Internetwork Packet Exchange (IPX) и Sequenced Packet Exchange (SPX). Популярность стека IPX/SPX связана с популярностью операционной системы Novell NetWare, которая сохраняет мировое лидерство по числу установленных систем, хотя в последнее время она несколько снизилась (растет популярность Microsoft Windows NT).

Многие особенности стека IPX/SPX обусловлены ориентацией ОС NetWare ранних версий на работу в локальных сетях небольших размеров, состоящих из персональных компьютеров со скромными ресурсами, из-за чего протоколы стека IPX/SPX хорошо работали в локальных и не очень хорошо в больших корпоративных сетях, так как последние слишком перегружали медленные глобальные связи широкоэвентельными пакетами, которые интенсивно используются несколькими протоколами этого стека. Однако с момента выпуска ОС версии NetWare 4.0 компания Novell внесла и продолжает вносить в свои протоколы серьезные изменения, направленные на их адаптацию для работы в больших корпоративных сетях. Сейчас стек протоколов IPX/SPX реализован не только в NetWare, но и в некоторых других популярных сетевых ОС, например SCO UNIX, Microsoft Windows NT.

2.4.4 Стек протоколов NetBIOS/SMB

Стек протоколов NetBIOS/SMB широко используется в продуктах компаний IBM и Microsoft. На физическом и канальном уровнях в качестве протоколов этого стека используются наиболее распространенные протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI. На верхних уровнях работают протоколы NetBEUI и SMB.

Протокол этого стека NetBIOS (Network Basic Input/Output System) появился в 1984 г. как расширение стандартных функций базовой системы ввода/вывода (BIOS) IBM PC для сетевой программы PC Network компании IBM. В

дальнейшем этот протокол был заменен протоколом расширенного пользовательского интерфейса NetBEUI – NetBIOS Extended User Interface. Для обеспечения совместимости приложений в качестве интерфейса к протоколу NetBEUI был сохранен интерфейс NetBIOS. Протокол NetBEUI разрабатывался как эффективный, потребляющий немного ресурсов и предназначенный для сетей, насчитывающих не более 200 рабочих станций. Этот протокол содержит много полезных сетевых функций, которые можно отнести к сетевому, транспортному и сеансовому уровням модели ВОС, однако с его помощью невозможна маршрутизация пакетов. Это ограничивает его применение локальными сетями, не разделенными на подсети, и делает невозможным использование его в составных сетях. Некоторые ограничения NetBEUI снимаются реализацией этого протокола NBF (NetBEUI Frame), которая включена в ОС Microsoft Windows NT.

Протокол SMB (Server Message Block) выполняет функции уровней сеансового, представления и прикладного (см. табл. 2.2). На основе SMB реализуется файловая служба, а также службы печати и передачи сообщений между приложениями.

В таблице 2.2 показано соответствие некоторых наиболее распространенных стеков протоколов уровням модели ВОС. Зачастую это соответствие весьма условно, так как модель ВОС – это только концептуальное руководство по взаимодействию систем, причем достаточно общее. Конкретные протоколы различных сетевых технологий разрабатывались для решения специфических задач, причем многие из них появились до разработки модели ВОС. Разработчики стеков отдавали предпочтение скорости работы сети в ущерб модульности, поэтому ни один стек, кроме OSI, не разбит на семь уровней. Чаще всего в стеках протоколов явно выделяются 3-4 уровня: уровень сетевых адаптеров, в котором реализуются протоколы уровней физического и канального, сетевой уровень, транспортный и уровень служб, включающий в себя функции сеансового уровня, уровня представления и прикладного.

Таблица 2.2 – Соответствие основных стеков протоколов модели ВОС

Уровень модели ВОС	Стек протоколов			
	IBM/Microsoft	TCP/IP	Novell	OSI
Прикладной	SMB	Telnet, FTP, TFTP, SNMP, SMTP, WWW	NCP, SAP	X.400, X.500, FTAM
Представления				Протокол представления OSI
Сеансовый	NetBIOS	TCP, UDP	SPX	Сеансовый протокол OSI
Транспортный				Транспортный протокол OSI
Сетевой		IP, RIP, OSPF	IPX, RIP, NLSP	ES-ES, IS-IS
Канальный	Ethernet, Token Ring, FDDI, Fast Ethernet, SLIP, 100VG-AnyLAN, X.25, ATM, LAP-B, LAP-D, PPP			
Физический	Медный кабель, оптическое волокно, радиоперенос			

Таким образом, как в локальных, так и глобальных сетях идеологической основой стандартизации является многоуровневый подход к разработке средств сетевого взаимодействия. Протоколы в виде иерархически согласованных наборов протоколов дают формализованные правила, определяющие последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты, лежащие на одном уровне, но в разных узлах.

3 Сетевая архитектура

3.1 Эволюция компьютерных сетей

Технологии и функционирование вычислительных сетей развивались одновременно с эволюцией компьютерных технологий. Первые компьютеры 50-х годов, занимающие целые здания, предназначались для небольшого числа избранных пользователей. Они не были предназначены для интерактивной работы пользователя и использовались в режиме пакетной обработки, так как это позволяло максимально эффективно использовать самое дорогое устройство компьютера – процессор в ущерб эффективности работы использующих его специалистов.

По мере удешевления процессоров в начале 60-х годов появились новые способы организации вычислительного процесса, учитывающие интересы пользователя. Начали развиваться интерактивные многотерминальные системы разделения времени, когда вычислительная мощность оставалась полностью централизованной, а ряд функций (например ввод и вывод данных) становились распределенными. Такие многотерминальные системы хотя и имели внешние черты распределенных систем, сохраняли централизованный характер обработки данных.

В это же время появилась необходимость в соединении компьютеров, или удаленных терминалов и компьютера, находящихся на большом расстоянии друг от друга. На первых порах такое соединение организовывалось по телефонной сети с помощью модемов. Компьютеры получили возможность обмениваться данными в автоматическом режиме, что позволило реализовать службы обмена файлами, синхронизации баз данных, электронной почты и т.д. Таким образом хронологически первыми появились глобальные сети.

В начале 70-х годов произошел технологический прорыв в области производства компьютерных компонентов, компьютеры стали доступны по цене, а выполняемые ими функции разнообразными: от управления технологическими процессами до хранения информации. При этом появилась необходимость соединения таких компьютеров между собой, стали разрабатываться программные и аппаратные средства, необходимые для их взаимодействия. При этом разрабатывались они для сопряжения вполне конкретных устройств, что создавало большой простор для творчества.

В середине 80-х годов стали утверждаться стандартные технологии объединения компьютеров в сеть, причем мощным стимулом для их развития послужили персональные компьютеры. Теперь для создания сети достаточно

было приобрести и установить на ПК сетевую карту соответствующего стандарта, подсоединить ее к стандартному кабелю с помощью стандартных разъемов, установить на ПК одну из сетевых операционных систем. Локальные сети позволили упростить доступ пользователей к разделяемым ресурсам сети, а также уменьшить уровень профессиональных знаний, необходимых пользователю при работе в сети.

Современные тенденции в развитии компьютерных сетей:

- сокращение разрыва между локальными и глобальными сетями; в глобальных сетях появляются службы доступа к ресурсам, такие же, как и в локальных;
- использование в локальных сетях разнообразного коммуникационного оборудования – коммутаторов, маршрутизаторов, шлюзов, что дает возможность создавать корпоративные сети;
- передача и обработка речевых и видеосигналов, что потребовало внести изменения в работу протоколов, сетевых операционных систем и коммуникационного оборудования;
- слияние технологий информационных сетей (вычислительных, телефонных, телевизионных и т.д.) на базе технологии коммутации пакетов.

Таким образом, можно сделать вывод, что компьютерная сеть – сложный комплекс взаимосвязанных и согласованно функционирующих программных и аппаратных компонентов. Изучение сети в целом предполагает знание принципов работы ее отдельных элементов: ПК, коммуникационного оборудования, операционных систем, сетевых приложений.

Начнем анализ работы сети с рассмотрения вопросов топологии.

3.2 Классификация топологических элементов сети

Дадим определения основным элементам сети.

Узел сети – конечные и промежуточные коммуникационные устройства, имеющие сетевой адрес.

Кабельный сегмент – отрезок кабеля или цепочка отрезков кабелей, соединенных друг с другом, обеспечивающие соединение двух или более узлов сети.

Сегмент сети (сегмент) – совокупность узлов сети, использующих общую, разделяемую среду передачи.

Сеть (логическая) – совокупность узлов сети, имеющих единую систему адресации третьего уровня модели ВОС.

По способу использования кабельных сегментов различают:

- двухточечные соединения (point to point connection) – между двумя узлами сети;
- многоточечные соединения (multi point connection) – к одному кабельному сегменту подключается более двух узлов.

Связь между конечными узлами, подключенными к различным кабельным сегментам, обеспечивается коммуникационным оборудованием, имеющим не менее двух портов и работающим на разных уровнях модели ВОС.

Каждая сетевая технология имеет характерную для нее топологию.

Различают **физическую** топологию, определяющую физическую структуру сети (правила физических соединений узлов), и **логическую**, определяющую направления потоков данных между узлами (алгоритм передачи данных).

Логическая и физическая топологии относительно независимы друг от друга.

3.3 Физическая топология ЛС

Выбор физической топологии зависит от следующих факторов:

- структуры предприятия (как и где распределены ПК);
- способов диагностики неисправности;
- стоимости инсталляции «разводки»;
- типа используемого кабеля.

Имеются четыре основных сетевых топологии: «шина», «кольцо», «звезда», ячеистая, на базе которых и строятся ЛС.

3.3.1 Физическая шинная топология (топология «цепь»)

Шинная топология – такая топология сети, в которой кабель проходит от одного сетевого узла к другому, связывая все компьютеры в цепь (рисунок 3.1,а). Все сетевые компьютеры подключены к единому кабелю (кабельному сегменту), как правило, коаксиального типа. Для корректного функционирования концы шины должны быть подключены к согласованной нагрузке – терминаторам, которые обеспечивают отсутствие отражений. В сети с такой топологией связь между любыми двумя станциями устанавливается через один общий путь и данные, передаваемые любой станцией, одновременно доступны для всех станций. Так как все станции используют одну разделяемую среду передачи, в каждый момент только один узел может передавать данные.

Древовидная топология (рисунок 3.1,б) – топология на основе нескольких взаимосвязанных шин.

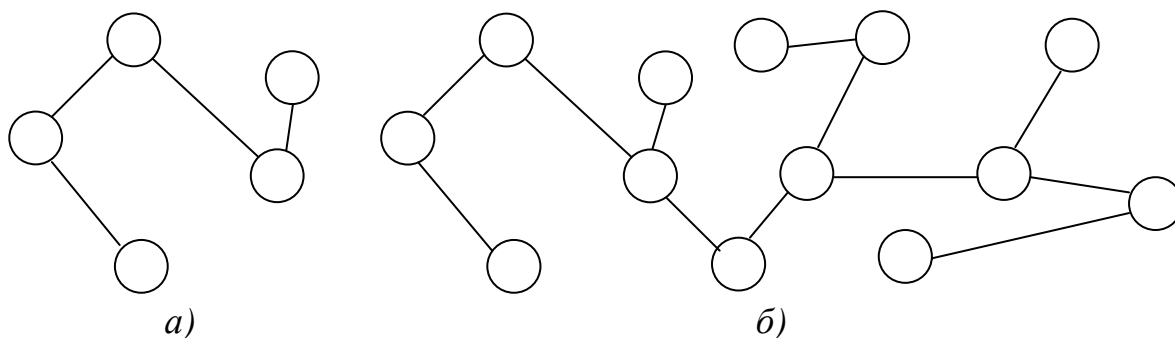


Рисунок 3.1 – Физическая шинная топология

Для обеспечения работоспособности сети, построенной по шинной топологии, необходимы:

- целостность кабеля;
- исправность сетевых элементов;
- отсутствие отражений в сети.

Преимущества шинной топологии:

- высокая эффективность кабельной системы, которая является наиболее дорогостоящей частью сети (минимальный расход кабеля);
- легко расширяется с использованием повторителей.

Недостатки:

- трудность в диагностике неисправностей сети;
- снижается производительность сети при интенсивном сетевом трафике.

3.3.2 Физическая топология «звезда»

В сети с топологией «звезда» (рисунок 3.2,а) каждый узел соединен отдельным кабелем напрямую с общим центральным узлом, который обеспечивает связь всех узлов сети. Для обработки запросов всех узлов центральный узел (Multistation Access Units (MAU) – устройство многостанционного доступа) должен быть достаточно сложным и соответственно дорогим устройством. Такая топология легко модифицируется, хорошо подходит для физически распределенных сетей.

Достоинства сети с топологией «звезда»:

- облегчается работа в сети, т.к. каждое соединение с центральной станцией работает независимо;
- простота создания сети, т.к. не приходится задумываться о расположении сетевых узлов друг относительно друга;
- простота диагностики неисправностей. Если какой-то узел не работает, возможны следующие источники нарушения работоспособности: оконечный узел, кабель между центральным и оконечными узлами, порт центрального узла, обслуживающий данный оконечный узел.

Недостатки такой сети:

- большой расход кабеля при создании сети и соответственно большие расходы;
- низкая надежность сети – при отказе центрального узла выходит из строя вся сеть, для предотвращения таких ситуаций необходимо задавать высокий уровень избыточности в центральном узле.

Разновидность топологии «звезда» – физически распределенная звездообразная топология (рисунок 3.2,б).

Для больших сетей одного центрального узла может быть недостаточно: или у него мало портов для поддержки всех оконечных узлов, или последние слишком далеко отстоят от центрального узла, или присутствуют две эти причины одновременно. В этом случае целесообразно применение топологии распределенная «звезда» – центральные узлы сети последовательно подключают-

ся друг к другу (по топологии «шина»), так что все узлы сети могут обмениваться информацией между собой. Для такой топологии характерны недостатки шинной топологии: разрыв кабеля между центральными узлами изолирует часть сети, но сохраняется связь в пределах центрального узла.

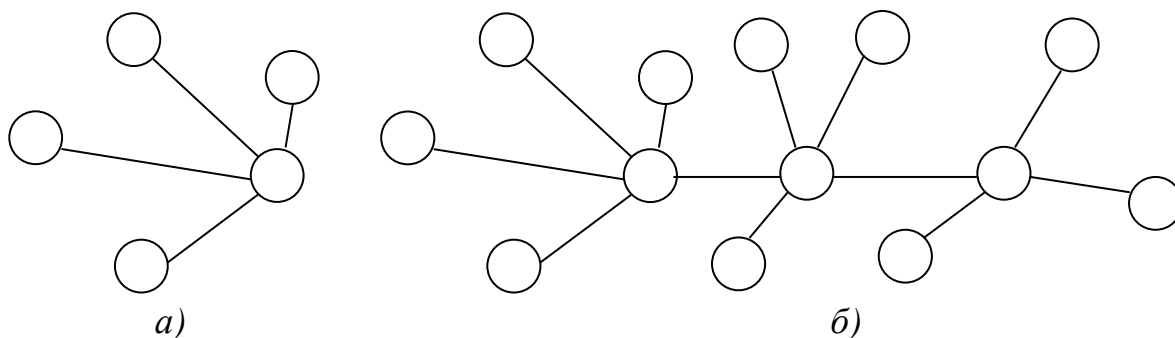


Рисунок 3.2 – Физическая топология «звезда».

3.3.3 Физическая топология «кольцо»

В сети с такой топологией (рисунок 3.3) все узлы соединены друг с другом двухточечными связями так, чтобы сформировать замкнутый контур. Данные передаются последовательно от узла к узлу, пока не дойдут до узла назначения. При этом имеется возможность реализовать более распределенную сеть, т. к. нет необходимости концентрировать в одном узле все мощности коммуникационной обработки.

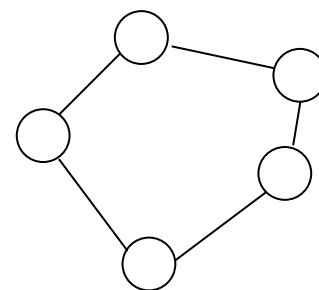


Рисунок 3.3 – Физическая топология «кольцо»

Достоинства кольцевой топологии:

- нет возможности узлу монополизировать сеть (при маркерном методе);
- повышение надежности сети по сравнению с предыдущими топологиями.

Недостатки такой топологии:

- стоимость и трудоемкость прокладки кабельной системы;
- трудности сохранения замкнутого контура кольца его при разрыве;
- отказ одного узла влияет на работоспособность всей сети;
- добавление/удаление узла сети приводит к разрыву кольца.

Используется в основном для глобальных волоконно-оптических сетей. В ЛС на основе физической топологии «кольцо» реализован автоматизированный офис фирмы IBM, сеть Кембриджского университета.

3.3.4 Ячеистая топология (mesh)

Топология, в которой узлы сети соединены напрямую друг с другом. Характеризуется наличием избыточных связей между узлами сети.

В полной ячеистой топологии существует прямая связь между всеми устройствами сети (рисунок 3.4,а). В такой сети не используются никакие переключения, т. к. каждый узел имеет выделенные связи со всеми остальными. Недостатком такой топологии является экспоненциальный рост стоимости сети

при возрастании числа узлов. Частичная ячеистая топология (рисунок 3.4,б) содержит лишь определенное количество избыточных связей. При такой топологии узлы с большим объемом межузлового трафика соединяются напрямую, остальные – через промежуточные.

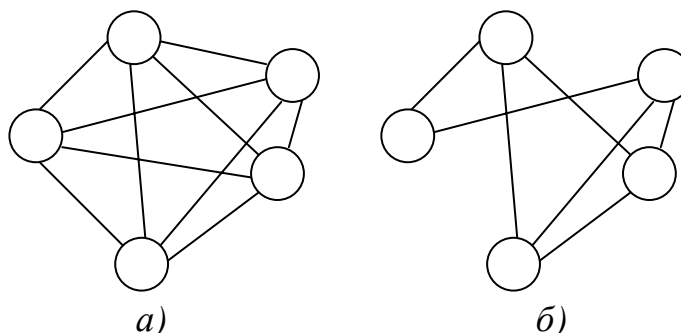


Рисунок 3.4 – Сети с полной (а) и частичной (б) ячеистой топологией

Достоинства ячеистой топологии:

- повышение отказоустойчивости сети;
- гарантированная пропускная способность для межузлового трафика;

Недостатки:

- сложность инсталляции и реконфигурации сети;
- высокая стоимость поддержки избыточных каналов.

3.4 Логическая топология сети

Логическая (или электрическая) топология сети описывает способ, в соответствии с которым устройства сети передают информацию от одного узла к другому. При этом физическая топология не имеет прямого отношения к логической.

В логической шинной топологии информация, передаваемая одним узлом, одновременно доступна для всех узлов, подключенных к данному сегменту, однако передачу принятых данных протоколу вышестоящего уровня производит только тот узел, которому информация адресована. Логическая топология реализуется на основе физических топологий «шина», «дерево», «звезда», ячеистой, использует случайный (вероятностный) метод доступа к разделяемой среде передачи (Ethernet) и детерминированный (на основе определенного алгоритма права доступа – ARCnet). Наиболее популярна при построении ЛС.

В логической кольцевой топологии информация передается последовательно от узла к узлу. Каждый узел принимает кадры только от предыдущего и посылает только последующему узлу по кольцу. Узел транслирует дальше по сети все кадры, а обрабатывает и передает протоколу более высокого уровня только адресованные ему. Реализуется на физической топологии «кольцо» или «звезда» с внутренним кольцом в центральном узле – концентраторе. Использует детерминированный метод доступа. Применяется в технологиях Token Ring и FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

3.5 Методы доступа к сети.

Для упрощения и удешевления аппаратных и программных решений первые локальные сети базировались на совместном использовании кабелей всеми узлами сети в режиме разделения времени (TDM). Использование разделяемых сред позволяет упростить логику работы сети, например в локальных сетях нет необходимости контролировать переполнение узлов сети кадрами от станций, решивших одновременно обмениваться информацией.

Однако наличие только одного пути передачи информации, разделяемого всеми узлами сети, ограничивает пропускную способность и надежность сети пропускной способностью и надежностью этого пути.

Типичная среда передачи ЛС – отрезок (сегмент) кабеля. К нему через соответствующее оборудование подключаются узлы (ПК) и возможно общее периферийное оборудование. Так как среда передачи данных общая, а запросы на сетевые обмены у узлов появляются асинхронно (в случайные моменты времени, не коррелированные между собой), то возникает проблема разделения общей среды между многими узлами, то есть проблема обеспечения доступа к сети. Доступ к сети – взаимодействие станций (узла связи) со средой передачи данных для обмена информацией с другими станциями.

Управление доступом к среде – установление алгоритма, в соответствии с которым станции получают доступ к среде передачи данных.

Методы доступа к среде передачи делятся на **случайные** (вероятностные) и **детерминированные**.

При **случайном** методе доступа все станции равноправны по доступу к сети. Узел, желающий передать кадр, прослушивает линию. Если линия занята или обнаружена коллизия (одновременная передача сигналов несколькими узлами), попытка передачи откладывается на некоторое время. Основные разновидности случайных методов доступа:

CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) – метод множественного доступа с контролем несущей и избеганием коллизий. Узел, готовый послать кадр, прослушивает линию, и если линия свободна, он посылает короткий сигнал запроса на передачу, определенное время ожидает ответа от станции назначения. При отсутствии ответа (подразумевается наличие коллизии) попытка передачи откладывается, при получении ответа в линию посылается кадр. Метод применяется в сети Apple LocalTalk, для него характерны простота и низкая стоимость устройств доступа.

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) – метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий. Узел, готовый послать кадр, прослушивает линию, и если линия свободна, он начинает передачу кадра, одновременно контролируя состояние линии. При обнаружении коллизии передача прекращается, и повторная попытка откладывается на случайное время t_D . В зависимости от времени t_D различают:

– настойчивый метод, при котором попытка захвата канала происходит сразу после его освобождения, что допустимо при слабой загрузке сети;

– ненастойчивый метод, при котором время t_D – случайная величина; применяется при большой загрузке сети, когда велика вероятность того, что несколько станций будут претендовать на доступ в линию сразу после её освобождения, что уменьшает вероятность возникновения коллизий.

Частота возникновения коллизий связана с количеством и активностью узлов сети. Метод доступа CSMA/CD эффективнее, чем CSMA/CA, но требует более сложных и дорогих устройств доступа. Применяется в сетях Ethernet, G-Net, IBM PC Network и т.д.

Общий недостаток случайных методов доступа – неопределенное время прохождения кадра, резко увеличивающееся при возрастании интенсивности сетевого трафика.

К достоинствам случайного метода доступа можно отнести:

- простота реализации, не требующая использования механизма централизованного управления;
- все сетевые узлы передают и принимают сигналы в одной полосе частот;
- среда передачи данных использует режим монополосной передачи;
- имеется один канал для передачи всех данных;
- только один узел сети может передавать данные в отдельный момент времени;
- узел может либо передавать, либо получать данные (работать в полудуплексном режиме).

При **детерминированном** методе узлы получают доступ к разделяемой среде передачи в определенном порядке. Порядок определяется контроллером сети, который может быть централизованным (его функции выполняются сервером) или распределенным (его функции выполняются оборудованием всех узлов). Такие методы доступа называют еще маркерными.

Маркерный метод – метод доступа к среде передачи данных ЛС, основанный на передаче полномочий передающей станции с помощью специального информационного объекта – маркера (token). Под полномочиями понимается право инициировать определенные действия, которые предоставляются объекту динамически.

Разновидности детерминированного метода:

- эстафетный метод – передача маркера осуществляется в порядке очереди;
- метод селекторного опроса (квитированной передачи) – сервер опрашивает станции и передает полномочия готовой к передаче;
- тактированный маркерный метод доступа – маркер циркулирует по кольцу и используется станциями для передачи своих данных.

Достоинства детерминированного метода доступа – ограниченное время прохождения кадра, не зависящее от загрузки сети.

Применяется в сетях ARCnet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN (Voice Grade wiring, any LAN architecture – речевая проводка, любая архитектура линии связи).

Современные сети требуют более совершенных методов доступа. Один из способов повышения эффективности – перенос управления доступом в центральный узел, задача которого – обеспечить прохождение кадра к узлу назначения с оптимизацией общей производительности сети и обеспечением уровня качества обслуживания, требуемого конкретным приложением. Примером могут служить локальные сети, использующие коммутатор. В этом случае между отправителем и получателем кадра создается временное коммутируемое соединение, что повышает производительность сети (switched Ethernet, switched Token Ring и т.д.).

Развитие и расширение использования ЛС потребовало применения специальных коммуникационных устройств, которые снимали ограничения единственной разделяемой среды передачи данных. Существует тенденция использовать в традиционных технологиях так называемую микросегментацию, когда оконечные узлы подключаются к коммутаторам по индивидуальным каналам. Такие сети дороже, но позволяют повышать производительность сети, за счет возможности работы в полнодуплексном режиме.

4 Базовые технологии локальных сетей

4.1 Структура стандартов IEEE 802.x

В 1980 г. в институте IEEE был организован комитет 802 по стандартизации локальных сетей, в результате работы которого было принято семейство стандартов 802.x, которые содержат рекомендации по проектированию двух нижних уровней ЛС. Позже результаты работы этого комитета легли в основу международных стандартов ISO 8802-1...11.

Стандарты семейства IEEE 802.x охватывают два нижних уровня модели ВОС – физический и канальный, которые в наибольшей степени отражают специфику локальных сетей. Старшие уровни, начиная с сетевого, являются общими как для локальных, так и для глобальных сетей.

Структура стандартов IEEE 802.x представлена на рисунке 4.1.

Подуровень LLC	802.1	802.2					802.7	802.8	802.9	802.10	802.11
Подуровень MAC		802.3	802.4	802.5	802.6	802.12					
Физический уровень		Ethernet	Token Bus	Token Ring	MAN	100VG					

Рисунок 4.1 – Структура стандартов IEEE 802.x

Группа стандартов 802.1 относится к управлению сетевыми устройствами на аппаратном уровне и обеспечению межсетевого взаимодействия. Сюда относятся, например:

- 802.1d – логика работы моста/коммутатора; алгоритм Spanning Tree (покрывающего дерева), исключающий петли при избыточных связях между коммутаторами;
- 802.1h – транслирующий мост для передачи кадров между различными технологиями, например Ethernet – Token Ring;
- 802.1q – построение виртуальных локальных сетей (ВЛС – VLAN), определение расширения формата кадров Ethernet, используемые для отметки о принадлежности кадра к ВЛС и приоритезации трафика;
- 802.2 описывает работу подуровня LLC – Logical Link Control – подуровня логической передачи данных, под которым объединяются технологии локальных сетей, т.е. он является общим для всех методов доступа к среде в соответствии со стандартами 802.3-5, 802.12;
- 802.3 описывает физический уровень и подуровень MAC (Media Access Control) технологии с методом доступа CSMA/CD – Ethernet;
- 802.4 описывает физический уровень и подуровень MAC технологии с шинной логической топологией и маркерным методом доступа – Token bus network;
- 802.5 описывает физический уровень и подуровень MAC технологии с кольцевой логической топологией и маркерным методом доступа – Token ring network; для каждого из стандартов 802.2...5 определены спецификации физического уровня, определяющие среду передачи, её параметры, методы кодирования информации;
- 802.6 описывает принципы построения сетей городского масштаба (MAN), узлы которых разбросаны на расстояние более 5 км;
- 802.7 – Broadband Technical Advisory Group – отчеты технической консультационной группы по широкополосной передаче;
- 802.8 – Fiber Optic Technical Advisory Group - отчеты технической консультационной группы по применению оптоволоконной техники в ЛС;
- 802.9 – Integrated Voice and data network – определяет принципы функционирования интегрированных сетей передачи речевых сигналов и данных;
- 802.10 – Network Security – стандарты сетевой безопасности: шифрование данных, сетевое управление;
- 802.11 – определяет принципы организации беспроводных технологий передачи данных;
- 802.12 – определяет технологию передачи с методом доступа по требованию с приоритетом (100VG–Any LAN).

Как уже было сказано, канальный уровень локальных сетей разбит на два подуровня:

- подуровень связи логических каналов (LLC – Logical Link Connection) или его ещё называют – уровень соединения канала передачи данных (DLC – Data Link Connection).
- подуровень управления доступом к среде передачи (MAC – Media Access Control).

Протоколы подуровней MAC и LLC взаимно не зависимы.

MAC-подуровень обеспечивает совместное использование общей среды, предоставляя её в распоряжение той или иной станции сети в соответствии с определенным алгоритмом. После того как получен доступ к среде, ею может пользоваться следующий подуровень, организующий надежную передачу кадров.

LLC-подуровень отвечает за достоверную передачу кадров данных между узлами, а также реализует функции интерфейса с прилегающим сетевым уровнем.

Протоколы подуровня LLC обеспечивают нужное качество услуг (сервис) для протоколов вышестоящего уровня. Протокол сетевого уровня передает для протокола LLC следующую информацию:

- пакет данных (IP, IPX и т.д.);
- адресную информацию об узле назначения;
- требования к качеству услуг.

Протокол LLC – протокол управления логическим каналом. Обеспечивает сервис трех типов:

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

Процедура LLC1 определяет обмен данными без предварительного установления соединения и без повторной передачи кадров в случае обнаружения ошибочной ситуации, то есть является процедурой дейтаграммного типа. Именно этот тип процедуры и используется во всех практических реализациях Ethernet. Поле управления для этого типа процедур имеет значение 03, что определяет все кадры как нумерованные. Дает пользователю средство для передачи данных с минимальными издержками. Используется, когда функции восстановления данных после ошибок и их упорядочивание выполняется протоколами высших уровней.

Процедура LLC2 определяет режим обмена с установлением соединений, нумерацией кадров, управлением потоком кадров и повторной передачей ошибочных кадров. Работает в режиме скользящего окна. В локальных сетях Ethernet этот режим используется редко. Повышает надежность передачи данных, но часто приводит к неоправданной избыточности.

Процедура LLC3 определяет режим передачи данных без установления соединения, но с получением подтверждения о доставке информационного кадра адресату. Только после этого может быть отправлен следующий информационный кадр. Используется в сетях с системой управления промышленными объектами в реальном времени, когда временные издержки установления логического соединения неприемлемы, а подтверждение корректности приема данных необходимо.

Чаще всего в ЛС используется сервис LLC1, так как кабельные каналы обеспечивают низкую вероятность ошибки и потери кадров. В конкретных устройствах могут поддерживаться несколько типов сервиса:

- устройства класса I поддерживают только LLC1;
- устройства класса II поддерживают LLC1 и LLC2;
- устройства класса III поддерживают LLC1 и LLC3;
- устройства класса IV поддерживают LLC1, LLC2 и LLC3;

Кадры подуровня LLC – блоки данных – Protocol Data Unit – PDU – делятся на три типа:

- информационные кадры, предназначенные для передачи информации в процедурах с установлением логического соединения; содержат информационное поле; в процессе передачи информационных блоков осуществляется их нумерация в режиме скользящего окна;

- управляющие кадры, предназначенные для передачи команд и ответов в процедурах с установлением логического соединения, в том числе и запросов на повторную передачу искаженных информационных блоков;

- ненумерованные кадры, предназначенные для передачи ненумерованных команд и ответов в процедуре без установления логического соединения, передачи информации, идентификации и тестирования LLC-подуровня; в процедурах с установлением логического соединения используются для установления и разъединения логического соединения и передачи информации об ошибках.

Все типы кадров подуровня LLC имеют единый унифицированный формат, показанный на рисунке 4.2.

1 байт	1 байт	1 байт	1 байт		1 байт
флаг 01111110	DSAP	SSAP	Control	Data	флаг 01111110

Рисунок 4.2 – Формат кадра LLC

DSAP – Destination Service Access Point – адрес точки доступа сервиса назначения;

SSAP – Source Service Access Point – адрес точки доступа сервиса источника;

Control – поле управления, задает тип кадра LLC-подуровня, а так же порядковый номер кадра в режиме с установлением соединения;

Data – поле данных для размещения данных протоколов верхнего уровня, в некоторых управляющих и ненумерованных кадрах может отсутствовать;

Флаг – однобайтовое поле, используемое на MAC-подуровне для определения границ блоков данных.

Поля DSAP, SSAP указывают, какой сервис верхнего уровня посылает данные с помощью этого кадра, то есть на приеме необходимо распознавать, какой протокол вложил свой пакет в поле данных, чтобы передать извлеченный из кадра пакет нужному протоколу для дальнейшей обработки.

4.2 Технология Ethernet

Технология Ethernet, прописанная в стандарте IEEE 802.3, определяет сеть с передачей данных со случайным методом доступа к разделяемой среде передачи CSMA/CD. Из-за значительной простоты стандарта и соответственно низкой стоимости оборудования технология Ethernet широко применяется в современных сетях.

Этапы эволюции стандарта Ethernet показаны на рисунке 4.3.

Сеть Ethernet была впервые сконструирована в 70-х г. доктором Робертом Меткалфом как часть проекта «офиса будущего» и работала со скоростью 2,94 Мбит/с. В 1980 г. сеть Ethernet была стандартизирована консорциумом фирм DEC – Intel – Xerox (DIX) как сеть со скоростью 10 Мбит/с, а в 1985 г. стандартизирована комитетом 802 IEEE. С тех пор новые технологии Ethernet наследуют признаки базовой структуры исходной схемы Ethernet: логическая шинная топология и метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов.

Следует отметить, что разновидности технологии Ethernet отличаются не только скоростью передачи и режимом работы, но и используемым коммуникационным оборудованием и средой передачи. Если на этапе внедрения стандарта главные интерфейсы основывались на использовании коаксиального кабеля, то сейчас предпочтение отдается неэкранированной витой паре UTP категории 5 (cat.5) и оптическому волокну. Использование коммутаторов и сетевых карт, поддерживающих дуплексную передачу данных без коллизий при логической топологии «точка-точка», позволяет создавать протяженные волоконно-оптические сегменты сети, что значительно расширяет сферу применения технологии.

Основные отличительные признаки разновидностей стандарта Ethernet представлены в таблице 4.1.

Главное различие между сетями Ethernet разных типов – в используемых физических средах передачи данных и зависящих от них скоростях работы. Однако небольшие отличия на физическом уровне и одинаковый стандарт канального уровня позволяет многим из них взаимодействовать друг с другом.

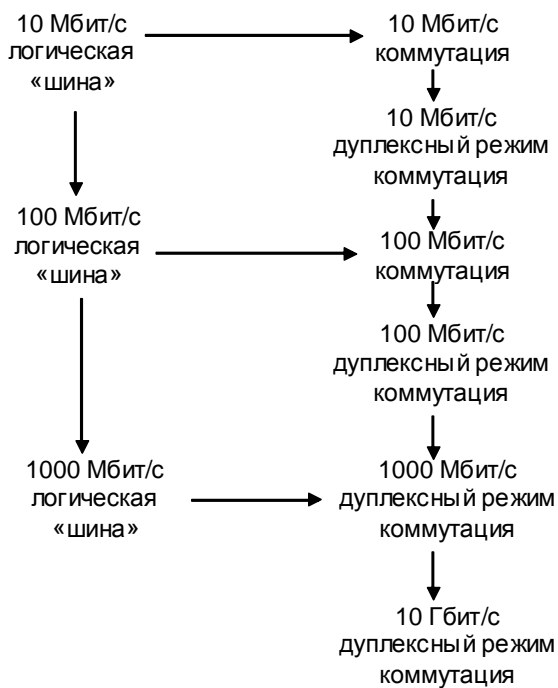


Рисунок 4.3 – Этапы эволюции стандарта Ethernet

Таблица 4.1 - Характеристики технологии Ethernet

Тип	Скорость передачи	Направляющая система	Длина сегмента, м
10 Base – 5	10 Мбит/с	КК толстый	500
10 Base – 2	10	КК тонкий	185
10 Base – T	10	UTP	100
10 Base – FL	10	ОВ	412 ... 2 000
100 Base – TX	100	UTP (2 пары)	100
100 Base – T4	100	UTP (4 пары)	100
100 Base – FX	100	ОВ	
1000 Base – SX	1000	МОВ 62,5/125	260
		МОВ 50/125	500
1000 Base – LX	1000	ООВ 9/125	5 000
		МОВ 50/125	550
		МОВ 62,5/125	400
1000 Base – CX	1000	STP	25

Формат кадра технологии Ethernet

Стандарт IEEE 802.3 дает описание единственного формата кадра подуровня MAC, в который должен вкладываться кадр канального подуровня LLC. На практике на канальном уровне используются кадры четырех различных форматов (рисунок 4.4), что связано с длительной историей развития технологии Ethernet. При этом практически все сетевые адаптеры, коммутаторы и маршрутизаторы работают со всеми используемыми форматами кадров, распознавая их автоматически.

Форматы кадров Ethernet:

- кадр 802.3/LLC;
- кадр 802.3 «Raw»;
- кадр Ethernet II или Ethernet DIX;
- кадр Ethernet SNAP.

Поля кадра имеют следующее назначение.

P (Preamble) – преамбула – байты синхронизирующих данных 10101010; обеспечивают приемопередатчикам (трансиверам) возможность прийти в состояние тактовой синхронизации.

SFD (Start of Frame Delimiter) – начальный ограничитель; состоит из одного байта 10101011, появление которого указывает на предстоящий прием кадра.

DA (Destination Address) – поле адреса назначения, на сегодняшний день размером 6 байт, ранее 2 байта. Может содержать адрес одного из трех типов. Тип адреса задается его первым битом.

- 00х – уникальный MAC-адрес (unicast address) единственного получателя кадра;

- FF-FF-FF-FF-FF-FF (все единицы) – широковещательный адрес (broadcast address), указывающий на то, что данный кадр адресован всем увидевшим его абонентам;
- 01-xx-xx-xx-xx-xx – групповой адрес (multicast address), являющийся признаком, по которому узлы обрабатывают интересующие их кадры. Байты 2...6 являются идентификатором группы.

SA (Source Address) – поле адреса источника. Содержит MAC-адрес узла, пославшего кадр. Позволяет принимающей станции распознать узел, пославший информацию. Первый бит этого поля всегда «0».

T (Type) – поле тип задает протокол верхнего уровня, использующего данный кадр (для Ethernet II).

Length – поле длины (2 байта) определяет длину полей LLC и данных в кадре. Длина кадра указывается, если длина поля непостоянна.

DSAP и SSAP – точки доступа сервиса назначения и сервиса источника – содержат идентификаторы протокола верхнего уровня.

Data – поле данных, несет полезную информацию протокола более высокого уровня. Если длина поля данных меньше 46 байт, то используется поле заполнения, которое обеспечивает минимальную длину поля данных.

FCS (Frame Check Sequence) – поле контрольной суммы (4 байта); содержит код CRC-32 для определения ошибок при приеме кадра.

кадр Ethernet II

P	DA	SA	Type	Data	FCS
8	6	6	2	46-1500	4

кадр 802.3 «Raw»

P	SFD	DA	SA	Length	Data	FCS
7	1	6	6	2	46-1500	4

кадр 802.3/LLC

P	SFD	DA	SA	Length	DSAP	SSAP	Control	Data	FCS
7	1	6	6	2	1	1	1	43-1497	4
Заголовок LLC									

кадр Ethernet SNAP

P	SFD	DA	SA	Length	DSAP	SSAP	Control	OUI	T	Data	FCS
7	1	6	6	2	1	1	1	3	2	38-1492	4
Заголовок LLC									Заголовок SNAP		

Рисунок 4.4 – Формат кадров Ethernet

4.3 Метод доступа CSMA/CD

Как уже отмечалось, основные типы локальных сетей стандартизированы американским институтом инженеров по электротехнике и электронике IEEE. Соответствующие стандарты определяют структуру сетей на физическом и канальном уровне модели ВОС, т.е. описывают как физическую среду передачи данных, так и методы передачи кадров по сети.

Стандарт IEEE 802.2 определяет правила передачи данных на канальном уровне для сетевых топологий стандартов IEEE 802.3-5, которые применимы как к сетям Ethernet, так и Token Ring, и описывают взаимодействие между сетевыми протоколами, например TCP/IP и локальными сетями различных типов.

В этом стандарте канальный уровень, как уже отмечалось, разделяется на два подуровня. На подуровне LLC обеспечивается управление интерфейсом между всеми сетевыми топологиями и протоколами передачи данных сетевого уровня. Для выполнения этой задачи средства LLC уровня опираются на средства подуровня MAC, предоставляющего определенные сведения об адресации информации. Используемый метод адресации определяется типом сети.

Метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий (CSMA/CD) использует логическую шинную топологию и реализован следующим образом.

Каждый узел сети имеет сетевой адаптер – устройство, которое реализует метод CSMA/CD на аппаратном уровне. Адаптер имеет приемопередатчик – трансивер, подключенный к общей разделяемой среде передачи.

Адаптер узла, желающего передать информацию, прослушивает линию и дожидается отсутствия сигнала в линии. Если линия свободна, он формирует кадр данных, начинающийся с синхронизирующей преамбулы, за которой следует поток двоичных данных в манчестерском коде (кадр 1 на рисунке 4.5).



Рисунок 4.5 – Метод доступа CSMA/CD

Адаптеры остальных узлов сети принимают этот кадр, декодируют его и помещают в свой приемный буфер. Окончание кадра определяется по пропа-

данию сигнала в линии. Затем адаптер 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 некорректен, то он отбрасывается, если корректен, то приемник сетевого адаптера анализирует адресную информацию. Если адрес назначения кадра соответствует MAC-адресу сетевого адаптера узла, то кадр передается для дальнейшей обработки протоколам вышестоящих уровней, в частности подуровню LLC; если нет, то игнорируется на аппаратном уровне.

Узел 2 во время передачи кадра узлом 1 также пытается начать передачу кадра, однако, обнаружив, что среда занята, ожидает ее освобождения.

После окончания передачи кадра все узлы сети обязаны выдержать технологическую паузу IPG (Inter Packet Gap), которую называют еще межкадровым интервалом. IPG необходим для приведения сетевых адаптеров в исходное состояние, а также для предотвращения монопольного захвата среды одной станцией.

После окончания IPG узлы имеют возможность начать передачу своего кадра, так как среда свободна. Однако из-за задержек при распространении сигнала по кабелю не все узлы одновременно фиксируют факт окончания передачи.

При этом возможна ситуация, когда две станции одновременно или с некоторой задержкой пытаются передать кадры, решив, что среда свободна. В этом случае в линии происходит столкновение двух сигналов – коллизия, что приводит к искажению информации. В примере на рисунке коллизия возникла из-за одновременной передачи данных узлами 1 и 3. Множество всех станций сети, одновременная передача данных любой пары из которых приводит к коллизии, называется **доменом коллизий** (collision domain).

Следует отметить, что коллизии являются нормальным, хотя и нежелательным явлением в сети Ethernet, являясь результатом распределенного характера сети.

Метод CSMA/CD хорошо работает лишь при общей загрузке канала (среды передачи) до 30%. При большей нагрузке коллизии приводят к прогрессирующему уменьшению пропускной способности. И хотя технология Ethernet допускает наличие в одном сегменте до тысячи сетевых узлов, однако при их высокой активности разумный размер домена коллизий ограничен несколькими десятками узлов. При этом протяженность домена коллизий ограничена временем распространения сигнала между самыми удаленными друг от друга узлами.

Метод CSMA/CD предоставляет средства, позволяющие уменьшить вероятность возникновения коллизий путем прослушивания каждым узлом сети сигнала в линии. Если такой передачи нет, то по результатам приема сигнала контроля несущей принимается решение “все свободно” и рабочая станция начинает передачу пакета.

Описанный метод позволяет избегать конфликтов в сети при следующих условиях:

- низкой интенсивности сетевого трафика;
- ограниченной протяженности размеров сети.

Средства CSMA/CD не смогут устранить коллизию, если две рабочие станции начнут передачу данных одновременно. При перекрытии во времени двух кадров средства CSMA/CD позволяют избежать повторения коллизии, то есть метод не предназначен для предотвращения любого конфликта, но он минимизирует время, на которое коллизия задерживает работу сети.

При этом метод не гарантирует станции, что она когда-либо сможет получить доступ к среде.

Подуровень управления доступом к среде

Подуровень MAC (Media Access Control) 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.

Временные соотношения в технологии Ethernet принято измерять в битовых интервалах – BT (*bit time*). Битовый интервал – время, необходимое для передачи одного бита; зависит от битовой скорости передачи той или иной разновидности Ethernet. Так при скорости передачи 10 Мбит/с $BT = 0,1$ мкс, а при скорости 1000 Мбит/с $BT = 1$ нс.

Межкадровый интервал IPG, независимо от разновидности Ethernet, имеет протяженность в 96 BT.

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

- между двумя последовательными передаваемыми по общей шине кадрами должна выдерживаться пауза 96 BT. Пауза нужна для приведения в исходное состояние сетевых адаптеров узлов, а также против монопольного захвата среды передачи данных одной станцией;
- при обнаружении коллизий станция высылает в линию специальную 32-х битную jam-последовательность, усиливающую явление коллизии;
- после обнаружения коллизии каждый узел, который передавал кадр и столкнулся с коллизией, повторно передает свой кадр после некоторой случайной задержки. Случайный характер паузы уменьшает вероятность одновременной попытки захвата разделяемой среды несколькими узлами. Узел делает максимально 16 попыток передачи кадра, после чего отказывается от передачи.

Величина задержки выбирается как произведение интервала отсрочки TS на случайное число L_n , которое зависит от номера попытки n :

$$t_{RT} = TS \times L_n.$$

Интервал отсрочки (time slot) TS составляет 512 БТ и определяет временной интервал, в течение которого станция гарантированно может узнать, что в сети нет коллизий. Число L_n – случайное целое, равномерно распределенное в диапазоне $0 \dots 2^n$ для $n = 1, 2 \dots 10$ и в диапазоне $0 \dots 2^{10}$ для $n = 11 \dots 16$. После 16 неудачных попыток передачи адаптер отказывается от доступа, сообщая о неудаче протоколу вышестоящего уровня.

Четкое распознавание коллизий всеми станциями - необходимое условие корректной работы сети Ethernet.

Стандартом Ethernet регламентируются следующие правила обнаружения коллизии конечным узлом А:

1. Узел А должен обнаружить коллизию до того, как передаст 576-й бит кадра;
2. Узел А должен прекратить передачу раньше, чем будет передан кадр минимальной длины (576 бит);
3. Перекрывание между передачами узлов А и В должно быть меньше 575 БТ. Перекрывание – битовый интервал, начиная с момента передачи первого бита узлом А и приемом узлом А последнего бита, испущенного узлом В.

Правило 3 – наиболее важное, оно задает пространственные ограничения на размер домена коллизий (диаметром домена коллизий называется расстояние между максимально удаленными узлами). Его можно сформулировать следующим образом: задержка на двойном пробеге RTD не должна превышать $RTD < 575$ БТ. Задержка на двойном пробеге RTD (round trip delay) определяет общую задержку из-за конечной длины сегмента и при обработке кадров на физическом уровне в повторителях, концентраторах и оконечных узлах.

По стандарту Ethernet узел не может передавать очень короткие кадры. Минимальный размер кадра составляет 72 байта, или 576 бит. Время канала (ST – slot time) – минимальное время, в течение которого узел обязан нести передачу, занимать канал, соответствует времени передачи кадра минимальной длины и связано с максимальным допустимым расстоянием между узлами сети.

Влияние задержек на механизм обнаружения коллизий можно проиллюстрировать с помощью рисунка 4.6, на котором приведена временная диаграмма действий двух узлов, заметно удаленных друг от друга.

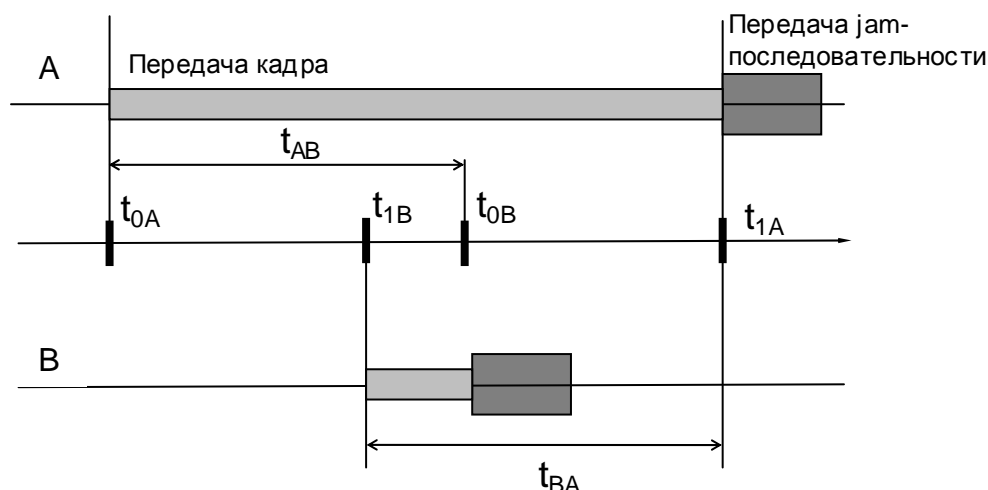


Рисунок 4.6 – Влияние задержек на обнаружение коллизии

Пусть узел А начал передавать кадр в момент времени t_{0A} , и вскоре появилась потребность в передаче у узла В. Узел В будет видеть линию свободной вплоть до момента t_{0B} , и в момент времени t_{1B} ему ничего не будет мешать начать передачу. Однако в момент времени t_{0B} передатчик узла В обнаружит коллизию и вместо передачи кадра начнет передавать сигнал коллизии. Станция А обнаружит коллизию только в момент времени t_{1A} и тоже прекратит передачу кадра. Максимальное время, в течение которого передатчик узла А будет передавать кадр, составляет $t_{AB} + t_{BA} = RTD$. И это время должно быть меньше, чем время передачи самого короткого кадра, иначе кадры, оборванные коллизией, будут восприниматься как нормальные.

Все параметры протокола Ethernet подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе все коллизии в пределах одного домена коллизий четко распознавались. Параметры сети приведены в таблице 4.2.

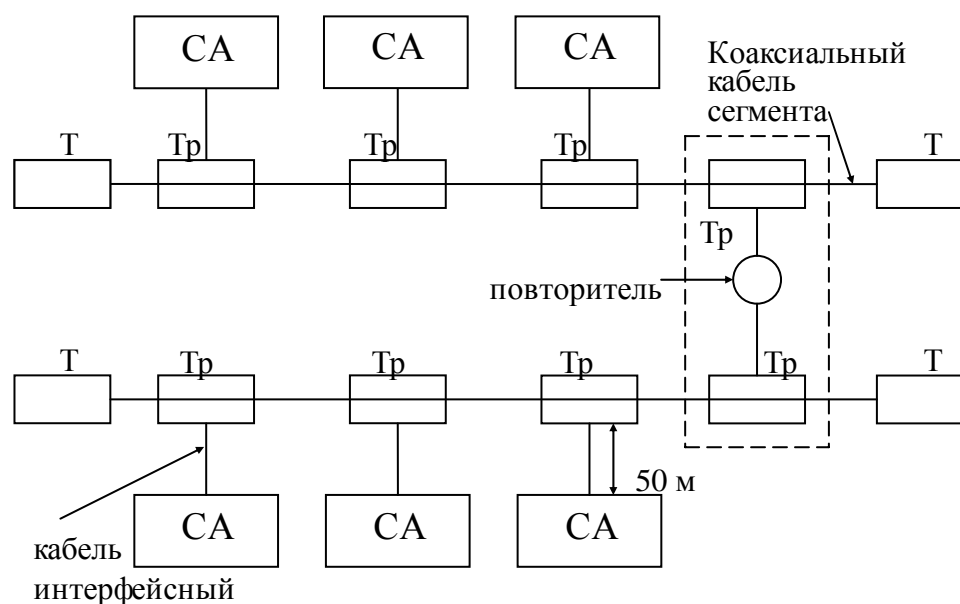
Таблица 4.2 – Параметры уровня MAC-Ethernet

Параметры	Значения
Интервал отсрочки TS	512 БТ
Межкадровый интервал IPG	96 БТ
Максимальное число попыток передачи	16
Максимальное число возрастания диапазона паузы	10
Минимальная длина случайной паузы после коллизии	0 БТ
Максимальная длина паузы после коллизии	1024 TS 524 000 БТ
Длина JAM-последовательности	32 бита
Максимальная длина кадра (с преамбулой)	1526 байт
Минимальная длина кадра (с преамбулой)	72 байт
Максимальное число станций в домене коллизий	1024

4.4 Стандарты Ethernet со скоростью 10 Мбит/с

Исторически первые сети технологии Ethernet были созданы на коаксиальном кабеле. Позже были определены и другие спецификации физического уровня, позволяющие использовать различные среды передачи. При этом метод доступа и временные параметры остаются одними и теми же для любой спецификации физической среды технологии Ethernet 10 Мбит/с. Варианты Ethernet описываются стандартом IEEE 802.3.

10Base5 – классический вариант Ethernet, использующий в качестве среды передачи толстый коаксиальный кабель RG-8 с волновым сопротивлением 50 Ом и внешним и внутренним диаметрами проводников 2,17 мм и 12,5 мм соответственно. Отсюда и второе название этой спецификации – Thick Ethernet. Реализуется на основе физической топологии «шина». Под сегментом в данном случае понимается часть кабеля, используемая в качестве линии передачи данных и имеющая на концах согласующие элементы для предотвращения отражений – терминаторы. Непосредственно на кабель устанавливается трансивер с 15-контактным разъемом AUI-интерфейса. Трансивер (MAU – Media Attachment Unit – устройства доступа к среде) – активный приемопередатчик с детектором коллизий и высоковольтной гальванической развязкой между коаксиальным кабелем и цепями AUI-интерфейса. Структура сети 10Base5 на основе двух сегментов показана на рисунке 4.7. Соединяются сегменты с помощью повторителя – устройства, воспринимающего сигнал и повторяющего его в другом кабельном сегменте. Повторитель выполняет функции регенерации формы электрических сигналов и их синхронизации, прозрачен для узлов сети, обязан передавать кадры без искажений, модификаций, потери, дублирования. Использование повторителей позволяет увеличивать размер сети.



Tr – трансивер; CA – сетевой адаптер; T – терминатор

Рисунок 4.7 – Сеть 10Base5 из двух сегментов.

Интерфейс AUI (Attachment Unit Interface) предназначен для передачи сигналов приема, передачи, коллизии и питания цепей трансивера. Этим интерфейсом через интерфейсный кабель трансивер соединяется с сетевым адаптером. Интерфейсный кабель (AUI-кабель) имеет четыре витые пары с разъемом DB-15.

Трансивер, как уже говорилось, устанавливается непосредственно на кабеле и выполняет следующие функции:

- прием/передача данных с кабеля на кабель;
- определение коллизии;
- электрическая развязка между кабелем и сетевым адаптером;
- защита кабеля от некорректной работы адаптера (контроль болтливости).

Структурная схема трансивера приведена на рисунке 4.8. Топологические ограничения спецификации 10Base5 приведены в таблице 4.3.

Правило 5-4-3 означает, что в сети возможно использование не более 5 сегментов, соединенных 4 повторителями, при этом не более 3 сегментов могут быть нагружены.

Достоинства спецификации 10Base5:

- хорошая защищенность кабеля от внешних воздействий;
- относительно большое расстояние между узлами;
- возможность простого перемещения ПК в пределах длины AUI-кабеля.

Недостатки спецификации 10Base5:

- высокая стоимость кабеля;
- сложность прокладки из-за его большой жесткости;
- потребность в специальном инструменте для заделки кабеля;
- остановка работы всей сети при повреждении магистрали;
- необходимость заранее предусмотреть проводку кабеля по всем местам возможной установки ПК.



РЭ – развязывающий элемент

Рисунок 4.8 - Структурная схема трансивера

Таблица 4.3 – Топологические ограничения спецификации 10Base5

Параметр	Значение
Максимальная длина сегмента	500 м
Максимальное количество подключаемых устройств в сегменте	100
Максимальное допустимое число сегментов	5
Минимальное расстояние между узлами (подключаемыми устройствами) в сегменте	2,5 м
Максимальное число повторителей	4
Максимальная общая длина сети с повторителями	2500 м
Максимальная длина AUI-кабеля	50
Максимальное количество узлов в сети с повторителями	297
Применение повторителей по правилу	5-4-3

10Base-2 – облегченный вариант Ethernet на коаксиальном кабеле RG-58 с диаметром центрального медного проводника 0,89 мм, внешнего – 6,25 мм, волновым сопротивлением 50 Ом. Имеет еще название Thin (тонкий) Ethernet. Использует физическую топологию «шина». На концах кабельных сегментов устанавливаются 50-омные терминаторы. Сетевой адаптер 10Base-2 имеет встроенный трансивер, оканчивающийся BNC-разъемом. К кабелю адаптеры подключаются с помощью Т-коннекторов. В данной спецификации кабель «висит» на ПК, что затрудняет его перемещение. Структура сети 10Base2 из одного сегмента приведена на рисунке 4.9.



Рисунок 4.9 – Сеть 10Base2

Топологические ограничения спецификации 10Base2 приведены в таблице 4.4.

Достоинство спецификации 10Base2 – простота реализации сети, так как для соединения ПК требуются только сетевые адаптеры, Т-коннекторы, 50-омные терминаторы.

Недостатки спецификации 10Base2:

- тонкий коаксиальный кабель более восприимчив к внешним помехам;
- в магистральном кабеле имеется большое количество механических соединений;

- пользователь имеет доступ к разъемам и может нарушить целостность магистрали;
- низкие эстетика и эргономичность (два кабеля от ПК и запас на возможное его перемещение);
- ограниченное число нагруженных сегментов (не более трех).

По электрическим сигналам, передаваемым по кабелю, 10Base5 и 10Base2 совместимы. Возможно построение комбинированных сегментов, состоящих из RG-8 и RG-58.

Таблица 4.4 – Топологические ограничения спецификации 10Base2

Параметр	Значение
Максимальная длина сегмента	185 м
Максимальное количество подключаемых устройств в сегменте	30
Максимальное допустимое число сегментов	5
Минимальное расстояние между узлами (подключаемыми устройствами)	1 м
Максимальное число повторителей	4
Максимальная общая длина сети с повторителями	925 м
Максимальное количество узлов в сети с повторителями	297
Применение повторителей по правилу	5-4-3

10Base-T – Twisted Pair Ethernet – кабельная сеть с использованием неэкранированных витых пар и концентраторов. Стандарт принят в 1991г. и имеет обозначение 802.3i.

Спецификация 10Base-T использует две неэкранированные витые пары (UTP – Unshielded Twisted Pair) категории не ниже 3. Физическая топология – «звезда», в центре которой находится активное устройство: многопортовый повторитель – концентратор (hub). Сеть спецификации 10BaseT на основе трехпортового повторителя показана на рисунке 4.10. Соединение с концентратором осуществляется с помощью двух витых пар, одна из которых предназначена для передачи данных от передатчика сетевого адаптера узла Tx к приемнику порта концентратора Rx, другая – от передатчика порта концентратора Tx к приемнику сетевого адаптера узла Rx. Разделение цепей передачи и приема изменяет способ обнаружения коллизий: передатчик обнаруживает коллизию по факту получения сигнала приемником во время работы передатчика. Концентратор осуществляет функции повторения сигналов на всех отрезках витых пар, подключенных к его портам, так что образуется единая среда передачи данных – домен коллизий, использующий логической шинную топологию. Концентратор обнаруживает коллизию при одновременном получении сигналов по нескольким своим входам Rx и посылает jam-последовательности на все свои выходы Tx.

Топологические ограничения спецификации 10BaseT приведены в таблице 4.5.

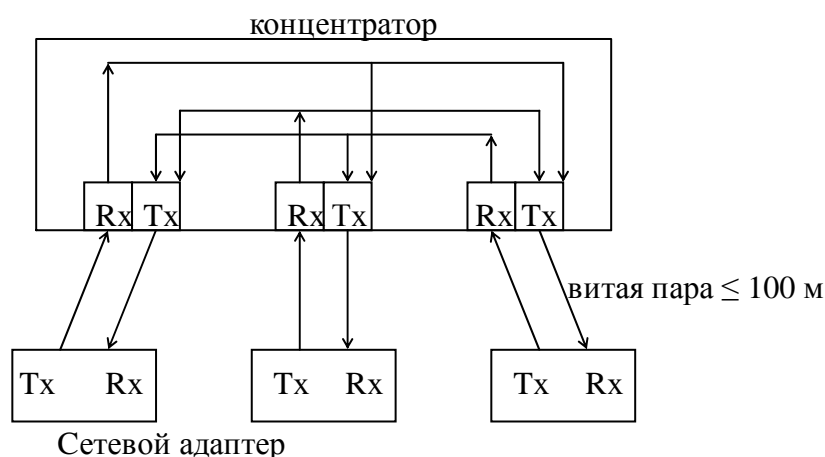


Рисунок 4.10 - Сеть стандарта 10BaseT

Таблица 4.5 – Топологические ограничения спецификации 10BaseT

Параметр	Значение
Максимальная длина сегмента	100 м
Максимальное число подключаемых узлов в сегменте	2
Максимальное допустимое число сегментов	1024
Максимальное число узлов в сети	1024
Максимальное число повторителей между двумя любыми узлами сети	4
Максимальная протяженность сети	500

Количество узлов в коллизийном домене может составлять 1024, что достигается применением многопортовых концентраторов. Возможно применение активных (усиливающих сигнал) и пассивных повторителей. Расстояние между активными повторителями может достигать 600 м, между пассивными – 30 м. Возможно иерархическое соединение концентраторов в топологию «дерево».

Преимущества данной спецификации технологии Ethernet связаны с ее физической топологией:

- к каждому узлу подходит только один гибкий кабель;
- повреждение одного кабеля приводит к отказу соединения только одного узла;
- возможность контроля состояния каждой линии связи, обеспечение конфиденциальности передачи;
- возможность перехода от разделяемой среды передачи к коммутируемой;
- облегчается эксплуатация сети, так как концентратор автоматически отключает сетевой адаптер в случае его неисправности.

Концентратор Ethernet работает только на физическом уровне модели ВОС и позволяет объединять несколько физических сегментов. И хотя витые пары являются дуплексными средами, обеспечивают передачу и прием сигналов по независимым каналам, сам повторитель Ethernet не позволяет организо-

вать дуплексную передачу и создает вокруг себя домен коллизий. Сеть реализована по логической шинной топологии.

Концентратор работает следующим образом:

- если он получает кадр или сигнал коллизии CP (Collision Presence) только на один из портов, он транслирует кадр или сигнал CP во все остальные порты;
- если он получает кадр или CP по двум и более портам, он транслирует сигнал CP во все порты без исключения.

10Base-F – Fiber Ethernet – сеть, использующая в качестве среды передачи многомодовое или одномодовое оптические волокна.

Функционально сеть стандарта 10Base-F состоит из тех же элементов, что и сеть стандарта 10Base-T – сетевых адаптеров, концентраторов и отрезков кабеля, соединяющих адаптер с портом концентратора. Как и при использовании витой пары, для соединения адаптера с концентратором используется два оптоволоконна: одно соединяет выход адаптера со входом повторителя, а другое – вход адаптера с выходом повторителя. Использует физическую топологию «звезда». Имеет следующие спецификации:

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 – четыре.

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 – четыре.

Стандарт **10Base-FB** предназначен для магистрального соединения концентраторов. Он позволяет иметь в сети до пяти концентраторов при максимальной длине одного сегмента 2000 м и максимальной длине сети 2740 м. Концентраторы, соединенные по стандарту 10Base-FB, постоянно обмениваются специальными последовательностями сигналов, отличающимися от сигналов кадров данных, для обнаружения отказов своих портов. Такой режим позволяет концентраторам стандарта 10Base-FB 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 называется также *синхронный Ethernet*.

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

AUI-интерфейс и трансиверы Ethernet

AUI-интерфейс – это средонезависимый интерфейс в рамках стандарта Ethernet, который обеспечивает взаимодействие между подуровнем физической сигнализации PLS (Physical Signaling) и подуровнем физического подключения к среде PMA (Physical Medium Attachment) (рисунок 4.11).

Отдельное устройство с подуровнями PMA и MDI (Medium Dependent Interface – интерфейс, зависящий от среды) называется трансивером. Стандартный разъем со стороны устройства, соответствующего вышележащим уровням (PLS и выше), называется AUI-портом, а со стороны устройства, соответствующего подуровням PMA и MDI, портом MAU. Порт AUI и порт MAU имеют 15-контактные разъемы. При этом трансивер может непосредственно подключаться к AUI порту сетевого устройства или с помощью интерфейсного кабеля длиной не более 50 м.

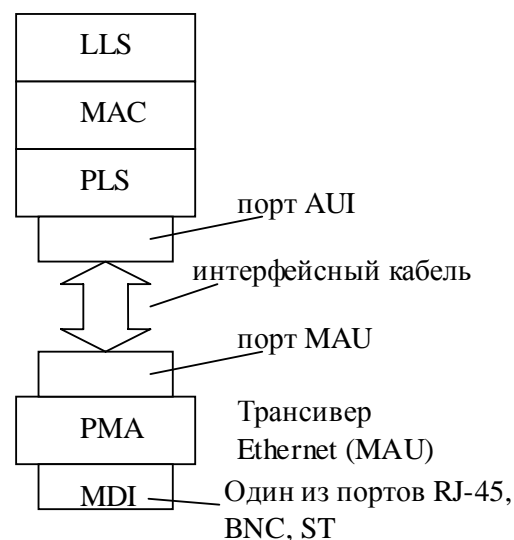


Рисунок 4.11– Структура уровней стандарта Ethernet

По типу средозависимого (физического) интерфейса различают четыре разновидности трансиверов MAU:

- 10Base5 – трансивер, обеспечивающий подключение толстого коаксиального кабеля;
- 10Base2 (BNC) – трансивер-переходник для подключения тонкого коаксиального кабеля;
- 10BaseT (RJ-45) – трансивер для подключения витой пары;
- 10Base FL (две оптические розетки ST) – оптический трансивер для подключения ОВ.

4.5 Технология Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

Ethernet со скоростью 10 Мбит/с 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 согласовывалась 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 сети Ethernet стали перегруженными, реакция серверов в них значительно упала, а частота возникновения коллизий существенно возросла, еще более снижая номинальную пропускную способность.

Повышение требований к пропускной способности каналов между узлами сети связано со следующими факторами:

- повышением производительности клиентских компьютеров;
- увеличением числа пользователей в сети;

- появлением приложений, работающих с мультимедийной информацией, которая хранится в файлах очень больших размеров;
- увеличение числа сервисов, работающих в реальном масштабе времени.

Следовательно, имеется потребность в экономичном решении, предоставляющем нужную пропускную способность во всех перечисленных случаях. Ситуация усложняется еще и тем, что нужны различные технологические решения: для организации магистралей сети и подключения серверов – одни, для подключения настольных клиентов – другие.

Для повышения пропускной способности сети можно применить несколько способов:

- сегментация сети с помощью мостов и маршрутизаторов,
- сегментация сети с помощью коммутаторов;
- повышение пропускной способности самого протокола.

Сегментация сети с помощью мостов или маршрутизаторов может повысить пропускную способность сегментов сети за счет их разгрузки от трафика других сегментов только в том случае, когда межсегментный трафик составляет незначительную долю от внутрисегментного, поскольку и мосты, и маршрутизаторы не обладают высокой внутренней пропускной способностью.

Появление коммутаторов, которые в отличие от традиционного моста имели большое количество портов и обеспечивали передачу кадров между портами одновременно, позволило эффективно применять коммутаторы для тех сетей, в которых межсегментный трафик не очень отличался от внутрисегментного. Будущее технологии Ethernet после появления коммутаторов стало более устойчивым, так как появилась возможность соединить низкую стоимость технологии Ethernet с высокой производительностью сетей, построенных на основе коммутаторов.

В 1992 г. 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 г. и по конец 1993 г. группа IEEE изучила решения, предложенные различными производителями.

В мае 1995 г. 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. Для технологии Fast Ethernet характерны:

- увеличение пропускной способности в 10 раз;

- сохранение метода случайного доступа CSMA-CD;
- сохранение формата кадра Ethernet;
- поддержка традиционных сред передачи данных (витая пара, ОВ);
- поддержка двух скоростей и автоопределение 10/100Мбит/с;
- низкая стоимость.

Более сложная структура физического уровня технологии Fast Ethernet вызвана тем, что в ней используется три варианта кабельных систем – оптоволокно, двухпарная витая пара категории 5 и четырехпарная витая пара категории 3. 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.

Технология Fast Ethernet явилась эволюционным развитием классической технологии Ethernet. Ее основными достоинствами являются:

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

Указанные свойства позволяют осуществлять постепенный переход от сетей 10BaseT к скоростным сетям, сохраняющим значительную преемственность с хорошо знакомой технологией. Официальный стандарт 100Base-T (802.3u) установил три различных спецификации для физического уровня (в терминах семиуровневой модели ВОС) для поддержки следующих типов кабельных систем:

- 100Base-TX для двухпарного кабеля на неэкранированной витой паре UTP категории 5, или на 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 оптического волокна.

4.7 Спецификации физического уровня

Структура физического уровня и его связь с МАС-подуровнем

Для технологии Fast Ethernet разработаны различные варианты физического уровня, отличающиеся не только типом кабеля и электрическими параметрами импульсов, как это сделано в технологии Ethernet 10 Мбит/с, но и способом кодирования сигналов и количеством используемых в кабеле проводников. Поэтому физический уровень Fast Ethernet имеет более сложную структуру, чем классический Ethernet. Эта структура представлена на рисунке 4.12.

Физический уровень состоит из трех подуровней:

- уровень согласования (reconciliation sublayer);

- независимый от среды интерфейс (Media Independent Interface, МИИ);
- устройство физического уровня (Physical layer device, РНУ).

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

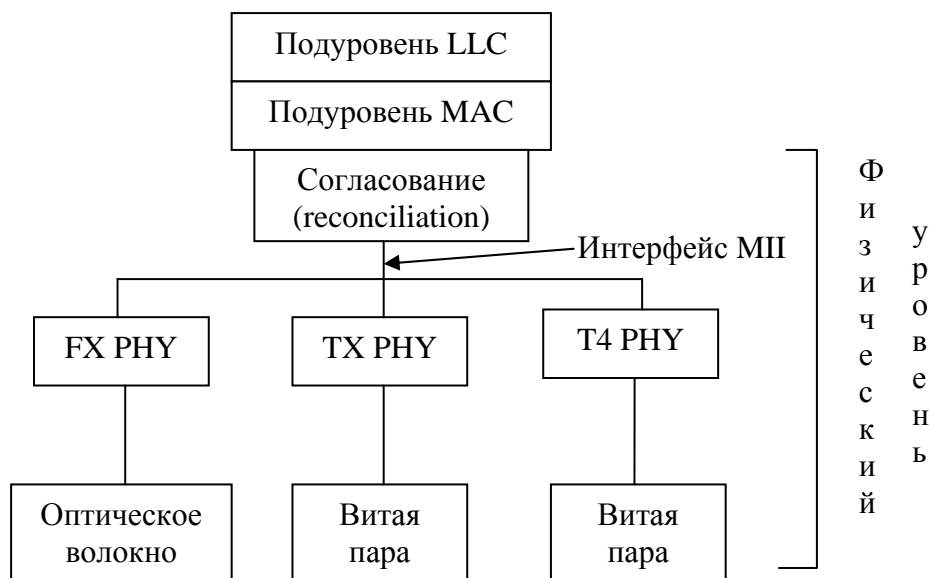


Рисунок 4.12 – Структура физического уровня Fast Ethernet

Интерфейс МП поддерживает не зависимый от используемой физической среды способ обмена данными между МАС-подуровнем и подуровнем РНУ. Этот интерфейс аналогичен по назначению интерфейсу АUI классического Ethernet'a за исключением того, что интерфейс АUI 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 МАС-подуровнем и подуровнями кодирования сигнала, которых в стандарте Fast Ethernet три: FX, TX и T4.

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

Интерфейс МП

Существует два варианта реализации интерфейса МП: внутренний и внешний.

При внутреннем варианте микросхема, реализующая подуровни МАС и согласования, с помощью интерфейса МП соединяется с микросхемой трансивера внутри одного и того же конструктива, например платы сетевого адаптера или модуля маршрутизатора (рисунок 4.13). Микросхема трансивера реализует все функции устройства РНУ.

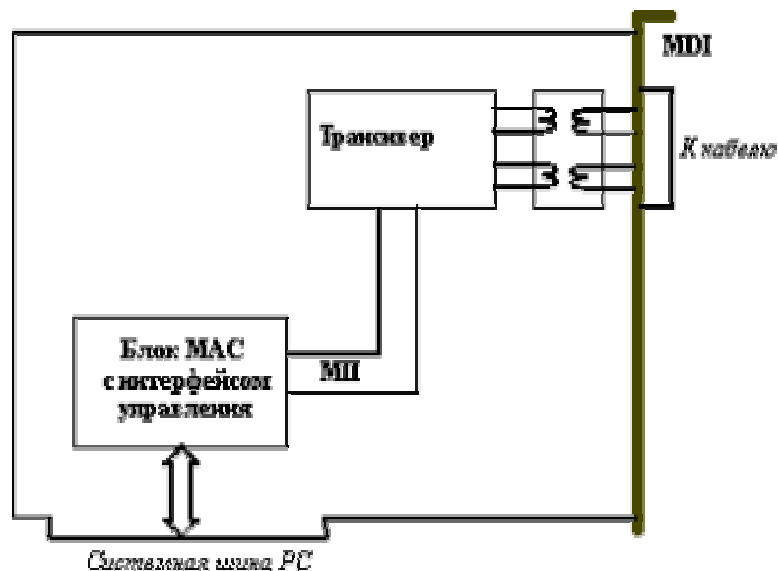


Рисунок. 4.13 – Сетевой адаптер с внутренним интерфейсом МII

Внешний вариант соответствует случаю, когда трансивер вынесен в отдельное устройство и соединен кабелем МII через разъем МII с микросхемой МАС-подуровня (рисунок 4.14). Разъем МII в отличие от разъема АUI имеет 40 контактов, максимальная длина кабеля МII составляет 1 м. Сигналы, передаваемые по интерфейсу МII, имеют амплитуду 5 В.

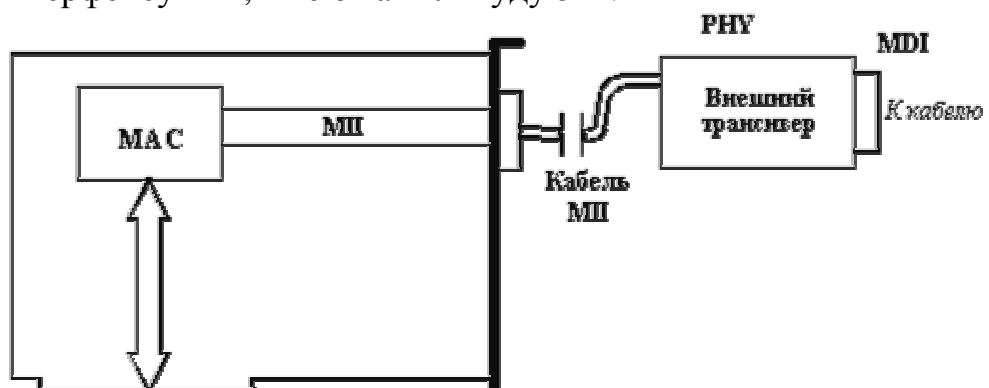


Рисунок 4.14 – Использование внешнего трансивера с интерфейсом МII

Физический уровень 100Base-FX – многомодовое волокно

Физический уровень RNY ответственен за прием данных в параллельной форме от МАС-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 RNY должен принимать сигналы по кабелю, определять моменты синхронизации бит, извлекать биты из физических сигналов, преобразовывать их в параллельную форму и передавать подуровню МАС.

Структура физического уровня 100Base-FX представлена на рисунке 4.15. Эта спецификация определяет работу протокола Fast Ethernet по многомодовому ОВ в полудуплексном и полнодуплексном режимах на основе кодирования 4В5В. При этом каждый узел соединяется с сетью двумя оптическими волокнами, идущими от приемника (Rx) и от передатчика (Tx).

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

Кодирование 4B5B

Версии Ethernet 100 Мбит/с используют для передачи данных метод кодирования 4B5B, при котором каждые четыре бита данных MAC-подуровня представляются пятью битами (символами) последовательного линейного кода.

При использовании пяти символов для кодирования шестнадцати исходных комбинаций, можно построить такую таблицу кодирования, в которой любой исходный 4-битовый код представляется 5-битовым кодом с чередующимися нулями и единицами. Тем самым обеспечивается тактовая синхронизация приемника с передатчиком. Так как исходные биты MAC-подуровня передаются со скоростью 100Мбит/с, то символы результирующего кода 4B5B передаются со скоростью 125 Мбод.

Из 32 возможных комбинаций 5-битовых кодовых слов для кодирования исходных данных используется только 16, остальные 16 кодовых слов кода 4B5B используются в служебных целях. Существование запрещенных комбинаций символов также позволяет отбраковывать ошибочные символы, что повышает устойчивость работы сетей с RNY FX/TX.

Наличие служебных символов позволило использовать в спецификациях FX/TX схему непрерывного обмена сигналами между передатчиком и приемником и при свободном состоянии среды, что отличает их от спецификации 10Base-T, когда незанятое состояние среды обозначается полным отсутствием на ней импульсов информации. Для обозначения незанятого состояния среды используется служебный символ Idle (11111), который постоянно циркулирует между передатчиком и приемником, поддерживая их синхронизм и в периодах между передачами информации, а также позволяя контролировать физическое состояние линии (рисунок 4.16).

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 (рисунок 4.17).

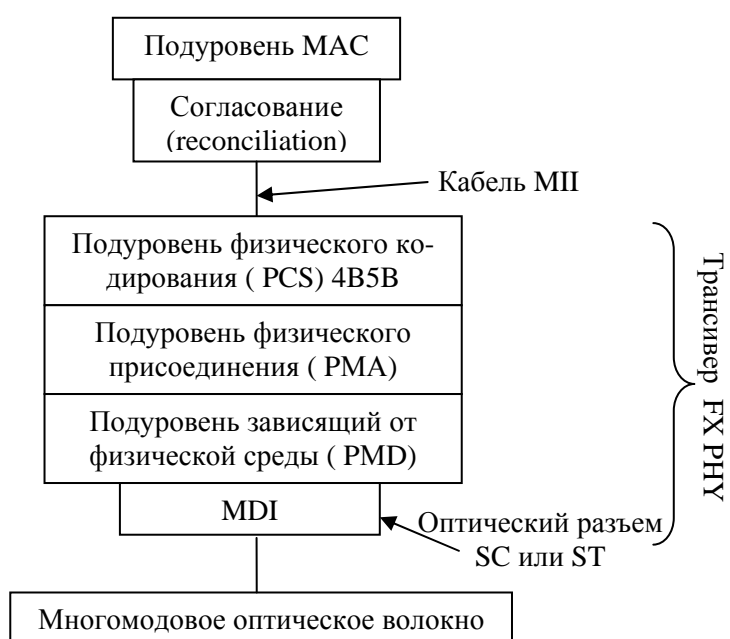


Рисунок 4.15 – Физический уровень RNY FX

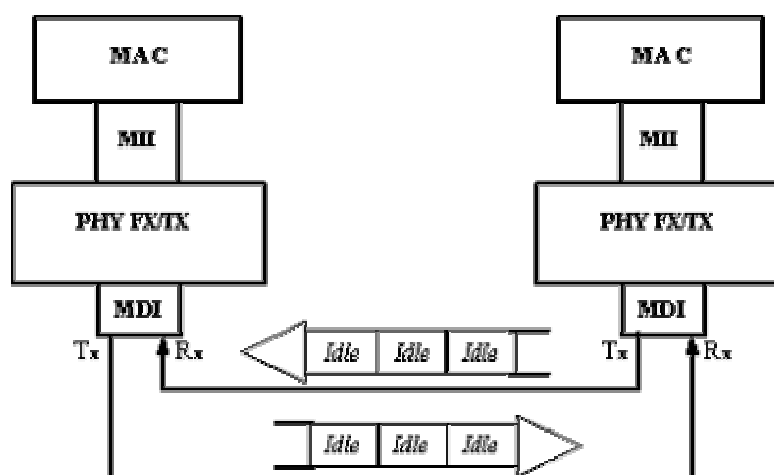


Рисунок 4.16 – Обмен символами Idle при незанятом состоянии среды

Преамбула <i>Idle</i>	JK	Преамбула	SFD	DA	SA	L	Данные	CRC-32	T	Преамбула <i>Idle</i>
--------------------------	----	-----------	-----	----	----	---	--------	--------	---	--------------------------

JK – ограничитель начала потока значащих символов

T – ограничитель конца потока значащих символов

Рисунок 4.17 – Непрерывный поток данных спецификаций PHY FX/TX

Передача по линии с использованием кода NRZI

После преобразования в код 4B5B для передачи по оптическому или электрическому кабелю используются различные методы физического кодирования. В частности, спецификации PHY FX и PHY TX используют коды NRZI и MLT-3 соответственно.

Код NRZI (Non Return to Zero Invert to ones) код без возврата к нулю с инвертированием единиц. Этот код представляет собой модификацию простого кода NRZ (Non Return to Zero), когда для представления логических «1» и «0» используются потенциалы двух уровней. В коде NRZI также используется два уровня сигнала, но уровень, используемый для кодирования текущего бита, зависит от уровня, который использовался для кодирования предыдущего (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 кода NRZI видно, что для обеспечения частых изменений сигнала, а значит, и для поддержания самосинхронизации приемника, нужно исключить из кодов слишком длинные последовательности нулей. Коды 4B5B построены так, что гарантируют не более трех нулей подряд при любом сочетании бит в исходной информации. На рисунке 4.18 приведен пример кодирования последовательности бит методами NRZ и NRZI.

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

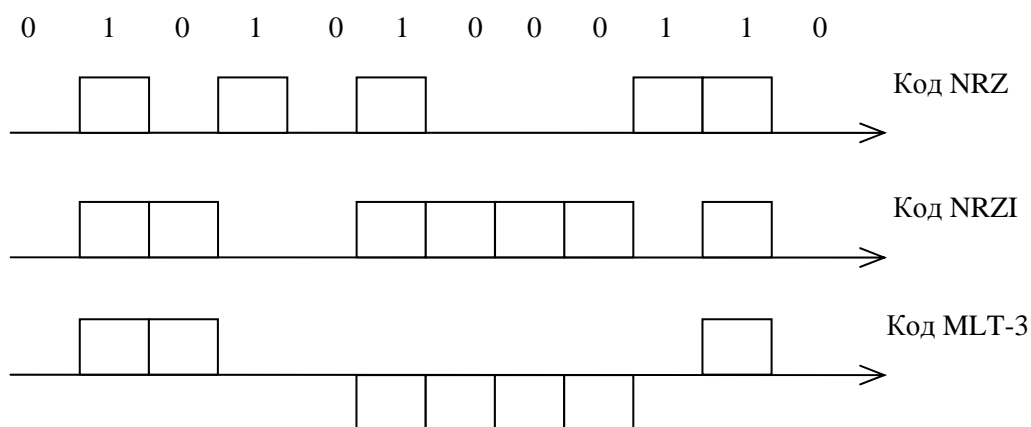


Рисунок 4.18 – Осциллограммы сигналов в кодах NRZ, NRZI, MLT-3

Физический уровень 100Base-TX – двухпарная витая пара

Структура физического уровня спецификации RHY TX представлена на рисунке 4.19.

Основные отличия от спецификации RHY FX – использование кода MLT-3 для передачи 5-битовых слов кода 4B5B по витой паре, а также наличие функции автопереговоров (Auto-negotiation) для выбора режима работы порта.

Код MLT-3 является усложненным вариантом кода NRZI и использует сигналы уровней +U, 0, -U, постоянные в течение битового интервала. При передаче «0» значение не изменяется, при передаче «1» значения последовательно изменяются: +U, 0, -U, 0, +U и т.д. (рисунок 4.18).

Кроме использования метода MLT-3, спецификация RHY TX отличается от спецификации RHY FX тем, что в ней используется пара скремблер/дескремблер

(scrambler/descrambler) перед передачей на подуровень линейного кодирования MLT-3. Скремблирование используется для того, чтобы равномерно распределить энергию сигнала по всему частотному спектру, что уменьшает электромагнитное излучение кабеля.

Auto-negotiation – автопереговоры по установке режима работы порта

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

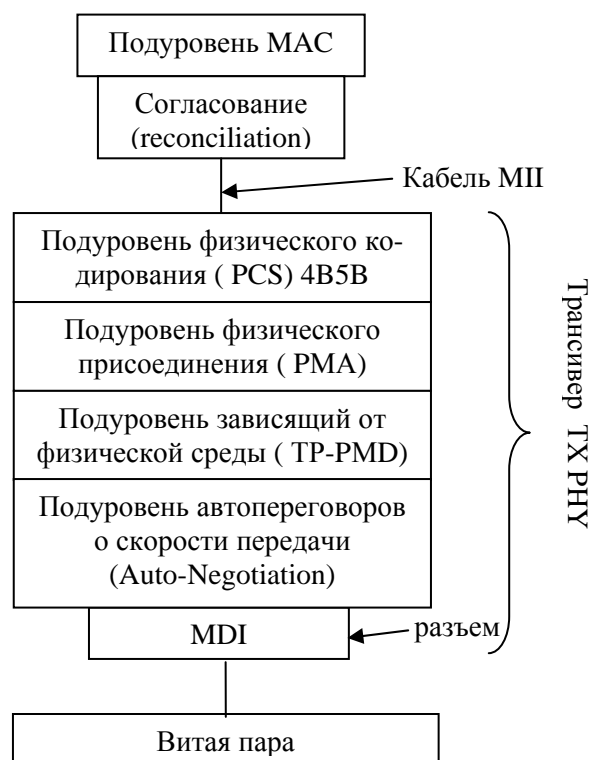


Рисунок 4.19 – Физический уровень RHY TX

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 (две пары категории 3)

- 10Base-T full-duplex (две пары категории 3)

- 100Base-TX (две пары категории 5 (или Type 1A STP))

- 100Base-TX full-duplex (две пары категории 5 (или Type 1A STP))

- 100Base-T4 (четыре 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 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 пакеты таких импульсов, инкапсулирующие информацию переговорного процесса Auto-negotiation. Такие пакеты носят название Fast Link Pulse burst (FLP).

Устройство, начавшее процесс Auto-negotiation, посылает своему партнеру пакет импульсов FLP, в котором содержится 8-битовое 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 пакетом импульсов FLP, в котором 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 мс 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 исполь-

зуется метод доступа к среде CSMA/CD и отсутствует понятие коллизий, так как каждый узел одновременно передает и принимает кадры данных по каналам передачи T_x и приема R_x . Полнодуплексная работа возможна только при соединении сетевого адаптера с коммутатором или же при непосредственном соединении коммутаторов.

При полнодуплексной работе стандарты 100Base-TX и 100Base-FX обеспечивают скорость обмена данными между узлами 200 Мбит/с (по 100 Мбит/с в каждом направлении).

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 переполняются и он начнет терять кадры Ethernet, что всегда крайне нежелательно, так как восстановление информации будет осуществляться более медленными протоколами транспортного или прикладного уровней.

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

Физический уровень 100Base-T4 - четырехпарная витая пара

Спецификация RHY T4 была разработана для того, чтобы можно было использовать для высокоскоростного Ethernet'a имеющуюся проводку на витой паре категории 3. Эта спецификация использует все четыре пары кабеля для того, чтобы можно было повысить общую пропускную способность за счет одновременной передачи потоков бит по нескольким витым парам.

Структура физического уровня RHY T4 изображена на рисунке 4.20.

Вместо кодирования 4B5B в этом методе используется кодирование 8B6T. Каждые восемь бит информации MAC-уровня кодируются шестью трехуровневыми символами (ternary symbols). Каждая троичная цифра имеет

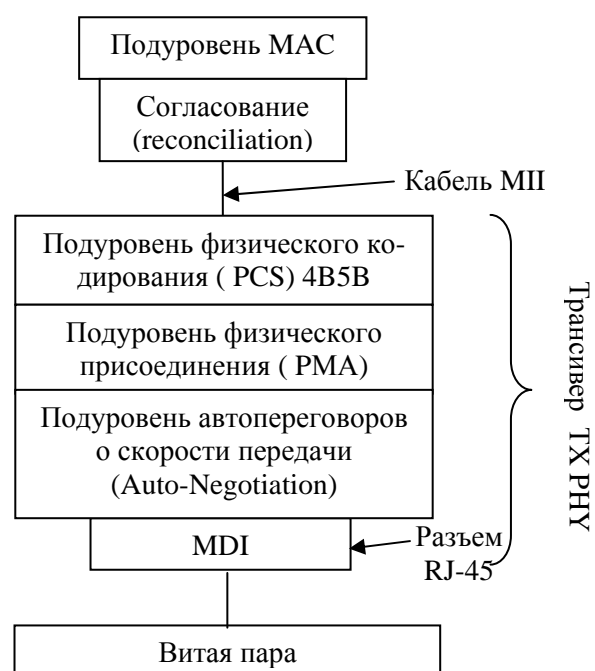


Рисунок 4.20 – Физический уровень RHY T4

длительность 40 нс. Группа из шести троичных символов затем передается на одну из трех передающих витых пар независимо и последовательно. Четвертая пара всегда используется для прослушивания несущей частоты в целях обнаружения коллизии. Скорость передачи данных по каждой из трех передающих пар равна 33,3 Мбит/с, поэтому общая скорость протокола 100Base-T4 составляет 100 Мбит/с. В то же время из-за принятого способа кодирования скорость передачи сигнала по каждой паре равна 25 Мбод, что и позволяет использовать витую пару категории 3.

На рисунке 4.21 показано соединение порта MDI сетевого адаптера 100Base-T4 с портом MDI-X повторителя. Из рисунка видно, пара 1-2 используется для передачи данных от порта MDI к порту MDI-X, пара 3-6 – 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.

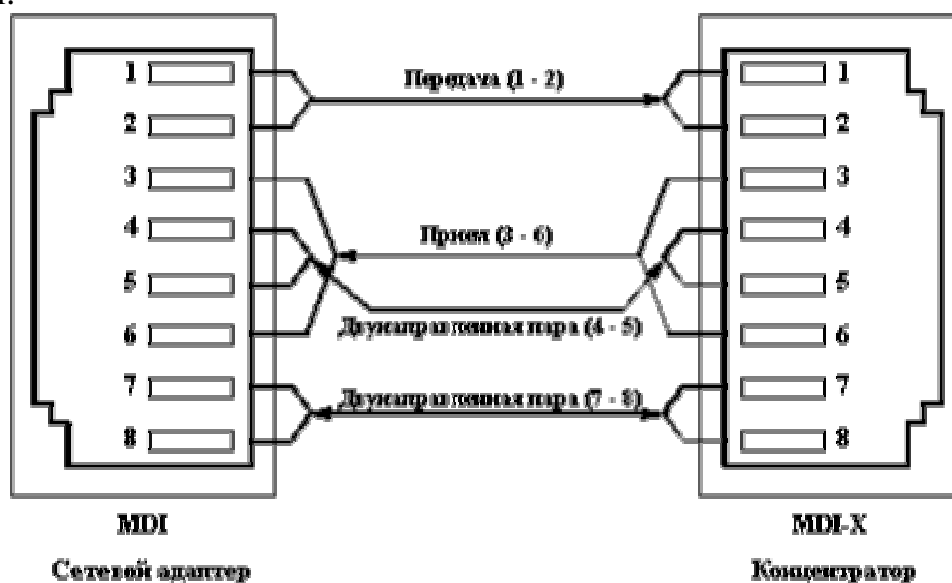


Рисунок 4.21 – Соединение узлов по спецификации PHY T4

В таблице приведены основные характеристики спецификации физического уровня технологии Fast Ethernet.

Таблица 4.4 – Основные характеристики спецификаций физического уровня Fast Ethernet.

Характеристика	100 Base FX	100 Base TX	100 Base T4
Порт	Duplex SC	RI-45	RI-45
Среда передачи	ОВ	UPT кат. 5	UPT кат. 3,4,5
Код	4B/5B	4B/5B	8B/6T
Код в линии	NRZI	MLT-3	NRZI
Число	Два ОВ	Две витые пары	Четыре витые пары
Длина сегмента	412 м (МОВ)	< 100 м	< 100 м
	возможен дуплекс	возможен дуплекс	полудуплекс

4.8 Высокоскоростная технология Gigabit Ethernet

4.8.1 Общая характеристика стандарта

Достаточно быстро после появления на рынке продуктов технологии Fast Ethernet появилась потребность в следующем уровне иерархии скоростей. В 1995 году более высокий уровень скорости могли предоставить только коммутаторы АТМ, однако при отсутствии в то время удобных средств трансформирования этой технологии в локальные сети и в связи с очень высоким уровнем стоимости внедрять их в локальную сеть практически никто не решался. Поэтому через 5 месяцев после окончательного принятия стандарта Fast Ethernet в июне 1995 г. исследовательской группе по изучению высокоскоростных технологий IEEE было предписано заняться рассмотрением возможности выработки стандарта Ethernet с еще более высокой битовой скоростью.

Летом 1996 г. была создана группы 802.3z для разработки протокола, максимально подобного Ethernet, но с битовой скоростью 1000 Мбит/с с возможностью плавного перевода магистралей сетей на Gigabit Ethernet. К тому же опыт передачи данных на гигабитных скоростях уже имелся, как в территориальных сетях (технология SDH), так и в локальных – технология Fibre Channel, которая используется в основном для подключения высокоскоростной периферии к большим компьютерам и передает данные по волоконно-оптическому кабелю со скоростью, близкой к гигабитной, посредством кода 8B10B.

Для согласования усилий в этой области был образован Gigabit Ethernet Alliance, в который вошли Bay Networks, Cisco Systems и 3Com и другие, сейчас Gigabit Ethernet Alliance насчитывает более 100 участников. В качестве первого варианта физического уровня был принят уровень технологии Fiber Channel с кодом 8B10B (как и в случае Fast Ethernet, когда для ускорения работ был принят отработанный физический уровень FDDI).

Первая версия стандарта была рассмотрена в январе 1997 г., а окончательно стандарт 802.3z был принят 29 июня 1998 г. на заседании комитета IEEE 802.3. Реализация Gigabit Ethernet на витой паре категории 5 регламентируется стандартом 802.3ab.

Важно отметить, что Gigabit Ethernet, так же как и его менее скоростные аналоги, на уровне протокола не поддерживает:

- качество обслуживания;
- избыточные связи;
- тестирование работоспособности узлов и оборудования (в последнем случае - за исключением тестирования связи порт-порт, как это делается для Ethernet 10Base-T и 10Base-F и Fast Ethernet).

Общее в технологиях Gigabit Ethernet с Ethernet и Fast Ethernet:

- сохранение форматов кадров Ethernet;
 - реализация полудуплексной версии протокола, поддерживающей метод доступа CSMA/CD, и полнодуплексной версии, работающей с коммутаторами;
- сохранение недорогого решения для разделяемых сред позволяет применять

Gigabit Ethernet в небольших рабочих группах, имеющих быстрые серверы и рабочие станции;

- поддержка всех основных видов кабелей, используемых в Ethernet и Fast Ethernet: волоконно-оптический, витая пара категории 5, коаксиал.

Для сохранения приведенных выше свойств были внесены изменения не только в физический уровень, но и в подуровень MAC.

При разработке стандарта Gigabit Ethernet были решены следующие проблемы:

- обеспечение приемлемого диаметра сети для полудуплексного режима работы;
- достижение битовой скорости 1000 Мбит/с на основных типах кабелей;
- поддержка кабеля на витой паре.

4.8.2 Средства увеличения размеров домена коллизий

В связи с ограничениями, накладываемыми методом CSMA/CD на длину кабеля, версия Gigabit Ethernet для разделяемой среды допускала бы длину сегмента всего в 25 м при сохранении размера кадров и всех параметров метода CSMA/CD неизменными. Т. к. существует большое количество применений, когда нужно повысить диаметр сети хотя бы до 200 м, необходимо было решить эту задачу за счет минимальных изменений в технологии Fast Ethernet. Для решения данной проблемы были предприняты меры, основывающиеся на известном соотношении времени передачи кадра минимальной длины и времени двойного оборота.

Минимальный размер кадра (без учета преамбулы) был увеличен с 64 до 512 байт (4096 БТ). В этом случае время двойного оборота увеличивается до 4095 БТ, что делает допустимым диаметр сети около 200 м при использовании одного повторителя. При двойной задержке сигнала в 10 БТ/м ОВ длиной 100 м вносит вклад во время двойного оборота 1000 БТ, и если задержка повторителя составляет 1000 БТ, двух сетевых адаптеров – 1000 БТ, то в сумме время двойного оборота составит 4000 БТ, что удовлетворяет условию распознавания коллизий.

Для увеличения длины кадра до требуемой величины сетевой адаптер дополняет поле данных до длины 448 байт так называемый расширением (extention), представляющим собой поле, заполненное запрещенными кодовыми словами кода 8В10В, которые нельзя принять за коды данных.

Для сокращения накладных расходов при использовании слишком длинных кадров для передачи коротких квитанций конечным узлам разрешено передавать несколько кадров подряд, без передачи среды другим станциям. Такой режим получил название Burst Mode – монопольный пакетный режим. Станция может передать подряд несколько кадров с общей длиной не более 65 536 бит или 8192 байт. Если станции нужно передать несколько небольших кадров, то она может не дополнять их до размера в 512 байт, а передавать подряд до исчерпания предела в 8192 байт (в этот предел входят все байты кадра, в том числе преамбула, заголовок, данные и контрольная сумма). Предел 8192

байт называется BurstLength. Если станция начала передавать кадр и предел BurstLength был достигнут в середине кадра, то кадр разрешается передать до конца.

Увеличение «совмещенного» кадра до 8192 байт несколько задерживает доступ к разделяемой среде других станций, но при скорости 1000 Мбит/с эта задержка не столь существенна.

4.8.3 Спецификации физической среды стандарта 802.3z

Другой сложнейшей задачей было достижение битовой скорости 1000 Мбит/с на основных типах кабелей.

В стандарте 802.3z определены следующие типы физической среды:

- одномодовый волоконно-оптический кабель;
- многомодовый волоконно-оптический кабель 62,5/125;
- многомодовый волоконно-оптический кабель 50/125;
- двойной коаксиал с волновым сопротивлением 75 Ом.

Многомодовый кабель

Для передачи данных по традиционному для компьютерных сетей многомодовому волоконно-оптическому кабелю стандарт определяет применение излучателей, работающих на двух длинах волн: 1300 и 850 нм. Применение светодиодов с длиной волны 850 нм объясняется тем, что они дешевле, чем светодиоды, работающие на волне 1300 нм, хотя при этом максимальная длина кабеля уменьшается, т. к. затухание многомодового ОВ на волне 850 м более чем в два раза выше, чем на длине волны 1300 нм. Однако возможность удешевления чрезвычайно важна для такой в целом дорогой технологии, как Gigabit Ethernet.

Для многомодового оптоволоконного стандарта 802.3z определил спецификации 1000Base-SX и 1000Base-LX для длин волн 850 нм и 1300 нм соответственно. (S – Short Wavelength, короткая волна, L – Long Wavelength, длинная волна). Спецификации стандарта Gigabit Ethernet представлены в таблице 4.5.

Для спецификации 1000Base-SX предельная длина оптоволоконного сегмента для кабеля 62,5/125 оставляет 220 м, а для кабеля 50/125 – 500 м. Очевидно, что эти максимальные значения могут достигаться только для полnodуплексной передачи данных, т. к. время двойного оборота сигнала на двух отрезках 220 м равно 4400 ВТ, что превосходит предел 4095 ВТ даже без учета повторителя и сетевых адаптеров. Для полдуплексной передачи максимальные значения сегментов оптоволоконного кабеля всегда должны быть меньше 100 м. Приведенные расстояния в 220 и 500 м рассчитаны для худшего по стандарту случая полосы пропускания многомодового кабеля, находящегося в пределах от 160 до 500 МГц/км. Реальные кабели обычно обладают значительно лучшими характеристиками, находящимися между 600 и 1000 МГц/км. В этом случае можно увеличить длину кабеля до 800 м.

Одномодовый кабель

Для спецификации 1000Base-LX в качестве источника излучения всегда применяется полупроводниковый лазер с длиной волны 1300 нм, среда переда-

чи – одномодовое ОВ. Максимальная длина кабеля для одномодового ОВ равна 5000 м.

Спецификация 1000Base-LX может работать и на многомодовом кабеле. В этом случае предельное расстояние составляет 550 м. Это связано с особенностями распространения когерентного света в широком канале многомодового кабеля. Для присоединения лазерного трансивера к многомодовому кабелю необходимо использовать специальный адаптер.

Твинаксиальный кабель

В качестве среды передачи данных используется высококачественный твинаксиальный кабель (Twiax) с волновым сопротивлением 150 Ом (2x75 Ом). Данные посылаются одновременно по паре проводников, каждый из которых окружен экранирующей оплеткой. При этом получается режим полудуплексной передачи. Для обеспечения полнодуплексной передачи необходимы еще две пары коаксиальных проводников. Начал выпускаться специальный кабель, который содержит четыре коаксиальных проводника, так называемый Quad-кабель. Он внешне напоминает кабель категории 5 и имеет близкие к нему внешний диаметр и гибкость. Максимальная длина твинаксиального сегмента составляет всего 25 м, поэтому это решение подходит для оборудования, расположенного в одной комнате.

Gigabit Ethernet на витой паре категории 5

Самая сложная задача, решенная в технологии Gigabit Ethernet, поддержка кабеля на витой паре. Как известно, каждая пара кабеля категории 5 имеет гарантированную полосу пропускания до 100 МГц. Для передачи по такому кабелю данных со скоростью 1000 Мбит/с было решено организовать параллельную передачу одновременно по всем четырем парам кабеля (так же, как и в технологии 100VG-AnyLAN).

Это сразу уменьшило скорость передачи данных по каждой паре до 250 Мбит/с. Для такой скорости был выбран метод кодирования PAM5 (AИМ5), который имеет спектр не выше 100 МГц. Код PAM5 использует 5 уровней потенциала при передаче сигнала в линию. При таком кодировании за один такт по одной паре передается два бита информации, а незадействованные комбинации приемник использует для контроля принимаемой информации и выделения правильных комбинаций на фоне шума. Код PAM5 на тактовой частоте 125 МГц укладывается в полосу 100 МГц кабеля категории 5.

Для распознавания коллизий и организации полнодуплексного режима в спецификации 802.3aB применяется техника эхокомпенсации. В этом случае для отделения принимаемого сигнала от передаваемого собственным передатчиком приемник вычитает из результирующего сигнала известный ему передаваемый сигнал. Для выполнения этой операции используются цифровые сигнальные процессоры - DSP (Digital Signal Processor).

При полудуплексном режиме работы получение встречного потока данных считается коллизией, а для полнодуплексного режима работы - нормальной ситуацией.

Таблица 4.5 – Основные характеристики спецификаций физического уровня Gigabit Ethernet

Характеристика	1000Base-LX	1000Base-SX	1000Base-CX	1000BaseT
Среда передачи	МОВ, ООВ 1310 нм	МОВ 850 нм	SPT	UPT кат. 5
Протяженность, м	5000 ООВ 550 МОВ/50 мкм 400 МОВ/62,5 мкм	500 МОВ/50 мкм 275 МОВ/62,5 мкм	25 м	100 м
Код	8B/10B			

4.9 Высокоскоростная технология 10Gigabit Ethernet

13 июня 2002 г. IEEE была одобрена окончательная версия проекта стандарта 802.3ae для Ethernet, работающего со скоростью 10 Гбит/с. Как уже отмечалось, технология 10Gigabit Ethernet сохраняет тот же формат заголовка с 8-байтовой преамбулой, минимальный и максимальный размеры кадра. Самым большим изменением в ней является отказ от метода доступа CSMA/CD, т.к. 10Gigabit Ethernet работает только в дуплексном режиме. В связи с этим в сетях 10 Gigabit Ethernet не используются концентраторы, а только коммуникационные устройства, работающие на канальном уровне модели ВОС и выше.

Изначально для 10 Gigabit Ethernet было предложено несколько типов стандартизированных интерфейсов: на основе многомодового и одномодового ОВ, поддерживающих три различные длины волны (850, 1310, 1550 нм) для применения в LAN и WAN. Основные характеристики этих интерфейсов приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Характеристики спецификаций физического уровня 10Gigabit Ethernet

Наименование	Тип	Длина волны, нм	Физический интерфейс	Тип ОВ/ диаметр, мкм	Дальность, м
10GBase-SR	последовательный	850	LAN	МОВ/50	65
				МОВ/62,5	26
10GBase-SR	последовательный	1310	LAN	ООВ/9	10000
10GBase-ER	последовательный	1550	LAN	ООВ/9	40000
10GBase-LX4	WWDM	1310	LAN	МОВ/62,5	300
				ООВ/9	10000
10GBase-SW	последовательный	850	WAN	МОВ/50	65
				МОВ/62,5	26
10GBase-SW	последовательный	1310	WAN	ООВ/9	10000
10GBase-EW	последовательный	1550	WAN	ООВ/9	40000

Интерфейс 10GBase-LX4 основан на технологии спектрального мультиплексирования, когда передача данных производится параллельно на четырех длинах волн во втором окне прозрачности.

Большое число оптических интерфейсов позволяет реализовывать различные по цене и дальности решения, использовать, если это возможно, уже проложенное ОВ.

Институт IEEE ратифицировал стандарт 10Gigabit Ethernet Over Copper, присвоив ему наименования 802.3ak и 10GBase-CX4. Стандарт регламентирует систему передачи данных на скорости 10 Гбит/с по биаксиальному медному кабелю (такой же применяется в межсоединениях Infiniband). IEEE 802.3ak – первый из стандартов "медной" Ethernet, не использующий кабели категорий 5 или 6. Обеспечивает передачу данных на расстояние до 15 м.

5 Основные характеристики стандарта Token Ring

5.1 Маркерный метод доступа

Технология Token Ring – архитектура сетей с кольцевой логической топологией и детерминированным методом доступа, основанным на передаче станциями права на использование кольца в определенном порядке. Право на использование кольца передается с помощью кадра специального формата, называемого маркером или токеном.

Стандарт Token Ring был принят комитетом 802.5 в 1985 г.

Сети Token Ring работают с битовыми скоростями 4, 16 и 100 Мбит/с. Ведутся работы по гигабитной реализации сети. Смешение станций, работающих на различных скоростях, в одном кольце не допускается.

Кольцевая логическая топология реализуется, как правило, на основе физической топологии «звезда», в центре которой находится устройство много-станционного доступа - MSAU (Multi-Station Access Unit). Последние в свою очередь объединяются по физической топологии «кольцо».

Детерминированный метод доступа означает, что максимальная задержка в получении права на передачу предсказуема и определяется размерами сети.

В сетях с маркерным методом доступа, как уже отмечалось ранее, право на доступ к среде передается циклически от станции к станции по логическому кольцу. Кольцо образуется отрезками кабеля, соединяющими соседние станции. Таким образом, каждая станция связана с предшествующей и последующей станциями и может непосредственно обмениваться данными только с ними. Для обеспечения доступа станций к физической среде по кольцу циркулирует кадр специального формата и назначения - *маркер*.

Получив маркер, станция анализирует его, при необходимости модифицирует и при отсутствии у нее данных для передачи обеспечивает его продвижение к следующей станции. Станция, которая имеет данные для передачи, при получении маркера изымает его из кольца, что дает ей право доступа к физической среде и передачи своих данных. Затем эта станция передает в кольцо кадр данных установленного формата последовательно по битам. Переданные

данные проходят по кольцу всегда в одном направлении от одной станции к другой.

При поступлении кадра данных к одной или нескольким станциям эти станции копируют для себя этот кадр и вставляют в этот кадр подтверждение приема. Станция, выдавшая кадр данных в кольцо, при обратном его получении с подтверждением приема изымает этот кадр из кольца и выдает новый маркер для обеспечения возможности другим станциям сети передавать данные.

Время удержания одной станцией маркера ограничивается *тайм-аутом удержания маркера*, по истечении которого станция обязана передать маркер далее по кольцу.

В сетях Token Ring 16 и 100 Мбит/с используется алгоритм *раннего освобождения маркера (Early Token Release)*, в соответствии с которым станция передает маркер следующей сразу же после окончания передачи последнего бита кадра, не дожидаясь возвращения по кольцу этого кадра с битом подтверждения приема. В этом случае пропускная способность кольца используется более эффективно и приближается к 80 % от номинальной.

Для различных видов сообщений передаваемым данным могут назначаться различные *приоритеты*.

Дополнительную ответственность по управлению кольцом несет активный монитор (Active Monitor), которым назначается одна из станций при инициализации кольца. Активный монитор осуществляет управление тайм-аутом в кольце, порождает новые маркеры (если необходимо), чтобы сохранить рабочее состояние, и генерирует диагностические кадры при определенных обстоятельствах. Если монитор отказал по какой-либо причине, существует механизм, с помощью которого новым активным монитором становится другая станция (резервный монитор).

5.2 Форматы кадров Token Ring

В Token Ring существует три различных формата кадров: маркер, кадр данных, прерывающая последовательность (рисунок 5.1):

Маркер									
SD	AC	ED							
1	1	1							

Кадр данных									
SD	AC	FC	DA	SA	RI	Data	FCS	ED	FS
1	1	1	6	6	≥ 0	≥ 0	4	1	1

Прерывающая последовательность	
SD	ED
1	1

Рисунок 5.1 – Форматы кадров Token Ring

Поля кадра имеют следующее назначение.

SD (Starting Delimiter) – *начальный ограничитель* находится в начале любого кадра, проходящего по сети. Поле состоит из уникальной серии электрических импульсов **JK1JK000**.

AC (Access Control) – *поле контроля доступ*. Содержит данные четырех типов (рисунок 5.2): P – биты приоритета, T – бит маркера, M – бит монитора, R – резервные биты.

ED (Ending Delimiter) – *конечный ограничитель* – последнее поле маркера, содержит уникальную серию электрических импульсов **JK1JK11E**, которые нельзя спутать с данными. Кроме отметки конца маркера это поле также содержит два подполя: бит промежуточного кадра **I** и бит ошибки **E**.

FC (Frame Control) – *байт управления кадром* с форматом **FFZZZZZZZ**. Поле **FF** определяет тип кадра:

00 – кадр, содержащий информацию подуровня MAC,

01 – кадр, содержащий информацию подуровня LLC (информационный),

1x – резерв.

Поле **ZZZZZZZ** – идентификатор управления MAC: для каждого типа кадра, содержащий информацию подуровня MAC, используется по-своему.

DA (Destination Address) – *адрес назначения*. Первый бит поля адреса определяет групповой или индивидуальный адрес, второй бит определяет, назначен адрес локально или глобально.

SA (Source Address) – *адрес источника*. Самый старший бит поля адреса источника RII (Routing Information Indicator) является признаком использования поля RIF при обращении к станциям другого кольца.

RIF (Route Info) – поле, необходимое для пересылки кадра в другое кольцо через мосты или маршрутизаторы. Если RII = 1, то первые два байта этого поля используются для управления маршрутизацией, а последующие пары байт содержат адреса сегментов (колец), находящихся на пути к получателю.

Data – *поле данных* может содержать данные одного из управляющих кадров MAC или запись пользовательских данных, предназначенных для (или получаемых от) протокола более высокого уровня, такого как IPX или NetBIOS.

FCS (Frame Check Sequence) – *поле контрольной суммы* (четыре байта) содержит код CRC–32 для определения ошибок при приеме кадра. Вычисляется для полей с FC по **Data**.

FS (Frame Status) – *статус кадра*. Байт формата **ACrrACrr**, где r – резервные биты, A – биты распознавания адреса, C – биты копирования кадра. Биты распознавания адреса и копирования кадра первоначально установлены в «0». Получающая станция устанавливает бит распознавания адреса в «1», чтобы сообщить, что она опознала адрес получателя, и бит копирования кадра – в «1», когда копирует содержимое кадра; данные копируются в буфер, если кадр получен без ошибок.

Маркер

Кадр маркера состоит из трех полей, каждое длиной в один байт (см. рисунок 5.1): SD, AC, ED.

Каждый кадр или маркер имеет приоритет, устанавливаемый битами приоритета (значение от 0 до 7, 7 – наивысший приоритет). Станция может воспользоваться маркером, если она получила маркер с приоритетом, меньшим или равным ее собственному. Сетевой адаптер станции, если ему не удалось захватить маркер, помещает свой приоритет в резервные биты маркера, но только в том случае, если записанный в резервных битах приоритет ниже его собственного. Эта станция будет иметь преимущественный доступ при последующем поступлении к ней маркера.

Схема использования приоритетного метода захвата маркера показана на рисунке 5.2.

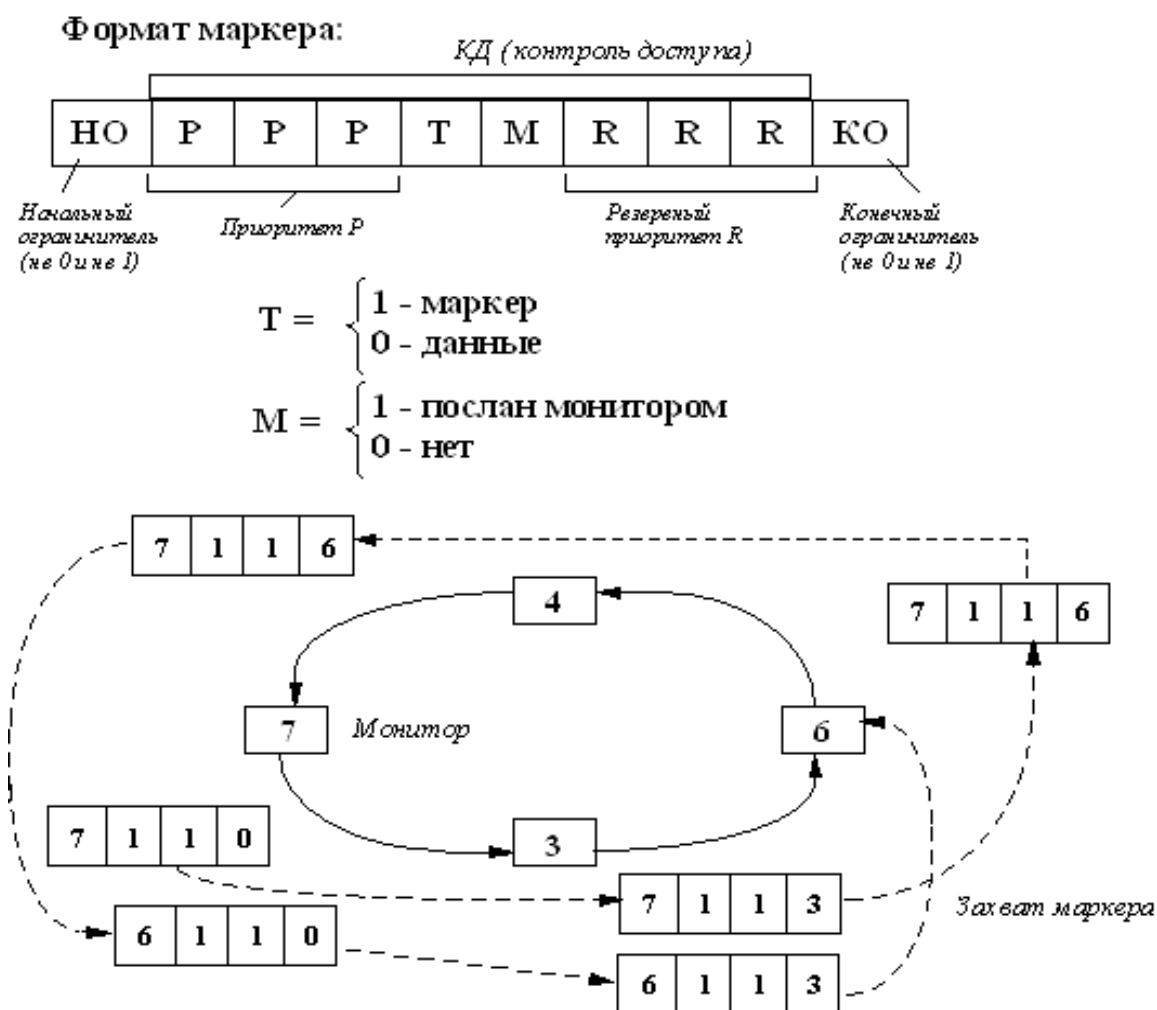


Рисунок 5.2 – Приоритеты в кольце Token Ring

Сначала монитор помещает в поле текущего приоритета Р максимальное значение приоритета, а поле резервного приоритета R обнуляется (маркер 7110). Маркер проходит по кольцу, в котором станции имеют текущие приоритеты 3, 6 и 4. Т. к. эти значения меньше, чем 7, то захватить маркер станции не могут, но они записывают свое значение приоритета в поле резервного при-

оритета, если их приоритет выше его текущего значения. В результате маркер возвращается к монитору со значением резервного приоритета $R = 6$. Монитор переписывает это значение в поле P , а значение резервного приоритета обнуляет, и снова отправляет маркер по кольцу. При этом обороте его захватывает станция с приоритетом 6 - наивысшим приоритетом в кольце в данный момент времени.

Бит маркера имеет значение «0» для маркера и «1» для кадра.

Бит монитора устанавливается в «1» активным монитором и в «0» любой другой станцией, передающей маркер или кадр. Если активный монитор видит маркер или кадр, содержащий бит монитора в «1», то активный монитор знает, что этот кадр или маркер уже однажды обошел кольцо и не был обработан станциями. Если это кадр, то он удаляется из кольца. Если это маркер, то активный монитор переписывает приоритет из резервных битов полученного маркера в поле приоритета. Поэтому при следующем проходе маркера по кольцу его захватит станция, имеющая наивысший приоритет.

Кадр данных

Кадр данных может переносить данные либо для управления кольцом (данные MAC-уровня), либо пользовательские данные (LLC-уровня). Стандарт Token Ring определяет 6 типов управляющих кадров MAC-уровня. Поле **FC** определяет тип кадра (MAC или LLC) и, если он определен как MAC, то поле также указывает, какой из шести типов кадров представлен данным кадром.

Назначение этих шести типов кадров следующее:

- чтобы удостовериться, что адрес станции уникальный, она посылает кадр "Тест дублирования адреса", когда впервые присоединяется к кольцу;
- чтобы сообщить другим станциям, что активный монитор еще жив, он посылает кадр "Активный монитор существует" так часто, как только может;
- кадр "Существует резервный монитор" отправляется любой станцией, не являющейся активным монитором;
- резервный монитор отправляет "Маркеры заявки", когда подозревает, что активный монитор отказал. Резервные мониторы затем договариваются между собой, какой из них станет новым активным монитором;
- станция отправляет кадр "Сигнал" в случае возникновения серьезных сетевых проблем, таких как оборванный кабель, или при обнаружении станции, передающей кадры без ожидания маркера. Определяя, какая станция отправляет кадр сигнала, диагностирующая программа может локализовать проблему;
- кадр "Очистка" отправляется после того, как произошла инициализация кольца, и новый активный монитор заявляет о себе.

Прерывающая последовательность

Состоит из двух байтов, содержащих начальный ограничитель и конечный ограничитель. Прерывающая последовательность может появиться в любом месте потока битов и сигнализирует о том, что текущая передача кадра или маркера отменяется.

Как видно из описания процедур обмена данными, в сети Token Ring на уровнях MAC и LLC применяются процедуры без установления связи, но с подтверждением получения кадров.

5.3 Физическая реализация сетей Token Ring

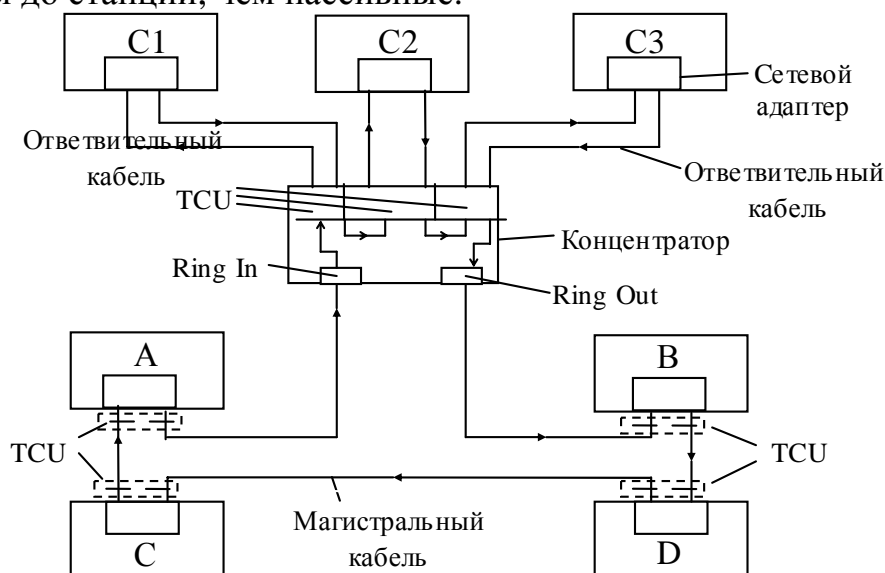
Стандарт Token Ring предусматривает построение связей в сети как с помощью непосредственного соединения станций друг с другом, так и образование кольца с помощью концентраторов (называемых MSAU – Multi-Station Access Unit).

На рисунке 5.3 показаны основные аппаратные элементы сети Token Ring и способы их соединения.

В приведенной конфигурации показаны станции двух типов.

Станции C1, C2 и C3 – это станции, подключаемые к кольцу через концентратор. Обычно такими станциями являются компьютеры с установленными в них сетевыми адаптерами. Станции этого типа соединяются с концентратором ответвительным кабелем (lobe cable), который обычно является экранированной витой парой (Shielded Twisted Pair, STP), соответствующей стандартному типу кабеля из кабельной системы IBM (Type 1, 2, 6, 8, 9).

Максимальная длина ответвительного кабеля зависит от типа концентратора, типа кабеля и скорости передачи данных. Обычно для скорости 16 Мбит/с максимальная длина кабеля Type 1 может достигать 200 м, а для скорости 4 Мбит/с – 600 м. Концентраторы Token Ring делятся на активные и пассивные. Пассивные концентраторы обеспечивают только соединения портов внутри концентратора в кольцо, активные выполняют и функции повторителя, обеспечивая ресинхронизацию сигналов и исправление их амплитуды и формы. Естественно, что активные концентраторы поддерживают большие расстояния до станции, чем пассивные.



*C1, C2, C3 – станции, подключенные к концентратору
A, B, C, D – станции, непосредственно подключенные к кольцу*

Рисунок 5.3 – Конфигурация кольца Token Ring

Остальные станции сети соединены в кольцо непосредственными связями. Такие связи называются магистральными (trunk cable). Обычно связи такого рода используются для соединения концентраторов друг с другом для образования общего кольца. Порты концентраторов, предназначенные для такого соединения, называются портами Ring-In и Ring-Out.

Для предотвращения влияния отказавшей или отключенной станции на работу кольца станции подключаются к магистрали кольца через специальные устройства, называемые устройствами подключения к магистрали (Trunk Coupling Unit, TCU). В функции такого устройства входит образование обходного пути, исключающего заход магистрали в MAC-узел станции при ее отключении или отказе. Обычно для этих целей в TCU используются реле, которые питаются постоянным током во время нормальной работы. При пропадании тока контакты реле переключаются и образуют обходной путь, исключая станцию.

При подключении станции в кольцо через концентратор устройства TCU встраивают в порты концентратора.

Максимальное количество станций в одном кольце не должно превышать 260 при использовании STP и 72 при использовании UTP.

Существуют сетевые адаптеры и концентраторы Token Ring, поддерживающие и оптоволокно.

Минимальный размер кадра – 21 байт, максимальный – 18200 байт для скоростей 16 и 100 Мбит/с и 4550 байт для скорости 4 Мбит/с. Кадр должен укладываться в максимальное время, отведенное для передачи конкретной станции. По умолчанию время удержания маркера составляет 8,9 мс.

6 Технология 100VG-AnyLAN

6.1 Общая характеристика технологии 100VG-AnyLAN

В качестве альтернативы технологии Fast Ethernet фирмы AT&T и HP выдвинули проект новой технологии со скоростью передачи данных 100 Мбит/с – 100Base-VG. В этом проекте было предложено усовершенствовать метод доступа с учетом потребности мультимедийных приложений, при этом сохранить совместимость формата пакета с форматом пакета сетей 802.3. В сентябре 1993 г. по инициативе фирм IBM и HP был образован комитет IEEE 802.12, который занялся стандартизацией новой технологии. Проект был расширен за счет поддержки в одной сети кадров не только формата Ethernet, но и формата Token Ring. В результате новая технология получила название 100VG-AnyLAN, то есть технология для любых сетей (Any LAN – любые сети), имея в виду, что в локальных сетях технологии Ethernet и Token Ring используются в подавляющем количестве узлов.

Летом 1995 г. технология 100VG-AnyLAN получила статус стандарта IEEE 802.12.

В технологии 100VG-AnyLAN определены новый метод доступа Demand Priority и новая схема кодирования Quartet Coding, использующая избыточный код 5B6B.

Метод доступа Demand Priority основан на передаче концентратору функций арбитра, решающего проблему доступа к разделяемой среде. Метод Demand Priority повышает коэффициент использования пропускной способности сети за счет введения простого, детерминированного метода разделения общей среды, использующего два уровня приоритетов: низкий – для обычных приложений и высокий – для мультимедийных.

Технология 100VG-AnyLAN имеет меньшую популярность среди производителей коммуникационного оборудования, чем технология Fast Ethernet. Компании, которые не поддерживают технологию 100VG-AnyLAN, объясняют это тем, что для большинства сегодняшних приложений и сетей достаточно возможностей технологии Fast Ethernet, которая не так заметно отличается от привычной большинству пользователей технологии Ethernet. В более далекой перспективе эти производители предлагают использовать для мультимедийных приложений технологию ATM, а не 100VG-AnyLAN.

Тем не менее число сторонников технологии 100VG-AnyLAN растет и насчитывает около 30 компаний. Среди них находятся не только компании Hewlett-Packard и IBM, но и такие лидеры, как Cisco Systems, Cabletron, D-Link и другие. Все эти компании поддерживают обе конкурирующие технологии в своих продуктах, выпуская модули с портами как Fast Ethernet, так и 100VG-AnyLAN.

6.2 Структура сети 100VG-AnyLAN

Сеть 100VG-AnyLAN всегда включает центральный концентратор, называемый концентратором уровня 1 или корневым концентратором (рисунок 6.1).

Корневой концентратор имеет связи с каждым узлом сети, образуя топологию «звезда». Этот концентратор представляет собой интеллектуальный центральный контроллер, который управляет доступом к сети, постоянно выполняя цикл "кругового" сканирования своих портов и проверяя наличие запросов на передачу кадров от присоединенных к ним узлов. Концентратор принимает кадр от узла, выдавшего

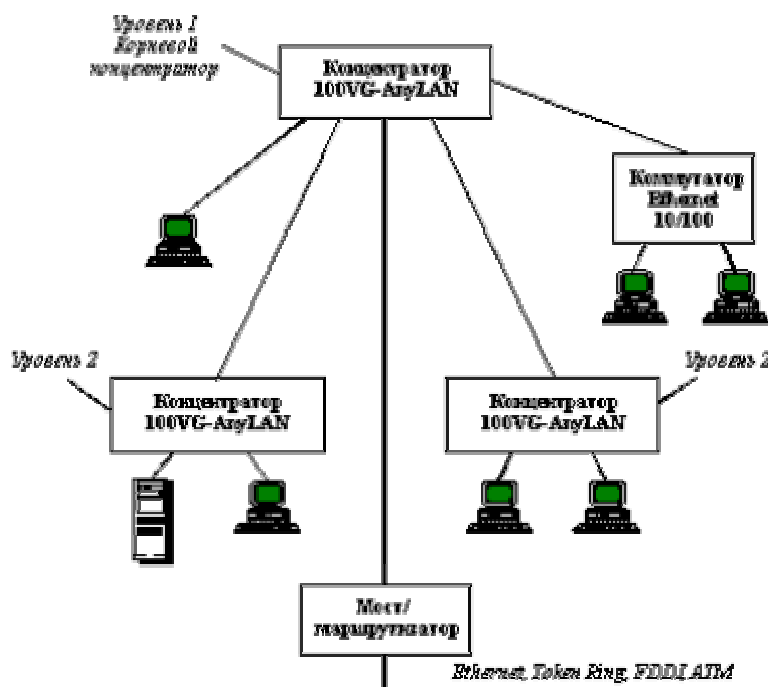


Рисунок 6.1 – Структура сети 100VG-AnyLAN

запрос, и передает его только через тот порт, к которому присоединен узел с адресом, совпадающим с адресом назначения, указанным в кадре.

Каждый концентратор может быть сконфигурирован на поддержку либо кадров 802.3 Ethernet, либо кадров 802.5 Token Ring. Все концентраторы, расположенные в одном и том же логическом сегменте (не разделенном мостами, коммутаторами или маршрутизаторами), должны быть сконфигурированы на поддержку кадров одного типа. Для соединения сетей 100VG-AnyLAN, использующих разные форматы кадров 802.3, нужен мост, коммутатор или маршрутизатор. Аналогичное устройство требуется и в том случае, когда сеть 100VG-AnyLAN должна быть соединена с сетью FDDI или ATM.

Каждый концентратор имеет один "восходящий" (up-link) порт и N "нисходящих" портов (down-link), как это показано на рисунке 6.2.

Восходящий порт работает как порт узла, но он зарезервирован для присоединения в качестве узла к концентратору более высокого уровня. Нисходящие порты служат для присоединения узлов, в том числе и концентраторов нижнего уровня. Каждый порт концентратора может быть сконфигурирован для работы в нормальном режиме или в режиме монитора. Порт, сконфигурированный для работы в нормальном режиме, передает только те кадры, которые предназначены узлу, подключенному к данному порту. Порт, сконфигурированный для работы в режиме монитора, передает все кадры, обрабатываемые концентратором. Такой порт может использоваться для подключения анализатора протоколов.

Узел представляет собой компьютер или коммуникационное устройство технологии 100VG-AnyLAN – мост, коммутатор, маршрутизатор или концентратор. Концентраторы, подключаемые как узлы, называются концентраторами 2-го и 3-го уровней. Всего разрешается образовывать до трех уровней иерархии концентраторов.

Связь, соединяющая концентратор и узел, может быть образована либо четырьмя парами неэкранированной витой пары категорий 3, 4 или 5 (4-UTP Cat 3, 4, 5), либо двумя парами неэкранированной витой пары категории 5 (2-UTP Cat 5), либо двумя парами экранированной витой пары типа 1 (2-STP Type 1), либо 2 парами многомодового оптоволоконного кабеля.

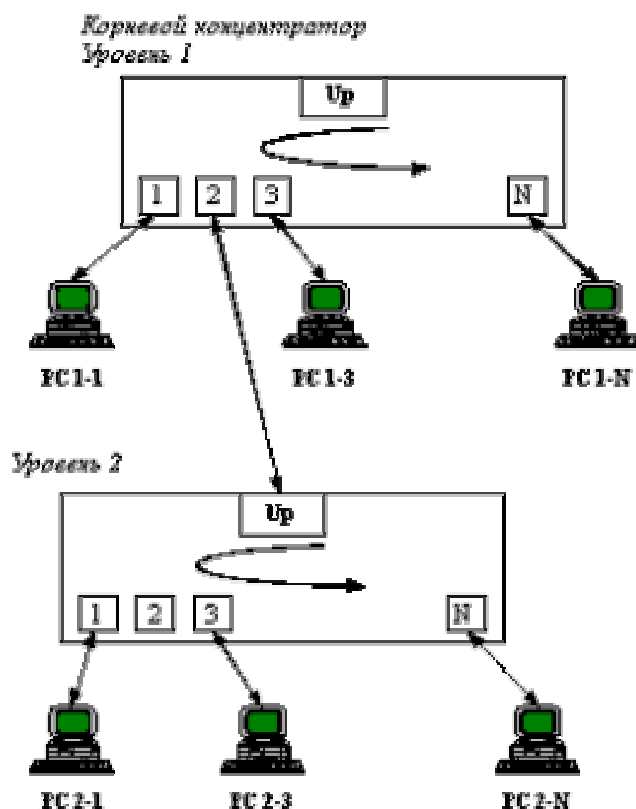


Рисунок 6.2 – Круговой опрос портов концентраторами сети 100VG-AnyLAN

7 Типовой состав оборудования локальной сети

7.1 Обобщенная структурная схема локальной сети

Фрагмент вычислительной сети (рисунок 7.1) включает основные типы коммуникационного оборудования, применяемого сегодня для образования локальных сетей и соединения их через глобальные связи друг с другом. Для построения локальных связей между компьютерами используются различные виды кабельных систем, сетевые адаптеры, концентраторы-повторители, мосты, коммутаторы и маршрутизаторы. Для подключения локальных сетей к глобальным связям используются специальные выходы (WAN-порты) мостов и маршрутизаторов, а также аппаратура передачи данных по длинным линиям – модемы (при работе по аналоговым линиям) или же устройства подключения к цифровым каналам (ТА - терминальные адаптеры сетей ISDN, устройства обслуживания цифровых выделенных каналов типа CSU/DSU и т.п.).

7.2 Роль кабельной системы

Для построения локальных связей в вычислительных сетях в настоящее время используются различные виды кабелей - коаксиальный кабель, кабель на основе экранированной и неэкранированной витой пары и оптоволоконный кабель. Наиболее популярным видом среды передачи данных на небольшие расстояния (до 100 м) становится *неэкранированная витая пара*, которая включена практически во все современные стандарты и технологии локальных сетей и обеспечивает пропускную способность до 100 Мбит/с (на кабелях категории 5). *Оптоволоконный кабель* широко применяется как для построения локальных связей, так и для образования магистралей глобальных сетей, обеспечивает пропускную способность канала и передачу на значительные расстояния (до нескольких десятков километров без промежуточного усиления сигнала).

В качестве среды передачи данных в вычислительных сетях используются также электромагнитные волны различных частот – КВ, УКВ, СВЧ. Однако радиосвязь используется только в тех случаях, когда оказывается невозможной прокладка кабеля, например в зданиях, являющихся памятниками архитектуры. Это объясняется недостаточной надежностью сетевых технологий, построенных на использовании электромагнитного излучения. Для построения глобальных каналов этот вид среды передачи данных используется шире – на нем построены спутниковые каналы связи и наземные радиорелейные каналы, работающие в зонах прямой видимости в СВЧ-диапазонах.

Согласно зарубежным исследованиям (журнал LAN Technologies), 70 % времени простоев обусловлено проблемами, возникшими вследствие низкого качества применяемых кабельных систем. Поэтому важно правильно построить фундамент сети – кабельную систему. В последнее время в качестве такой надежной основы все чаще используется структурированная кабельная система.

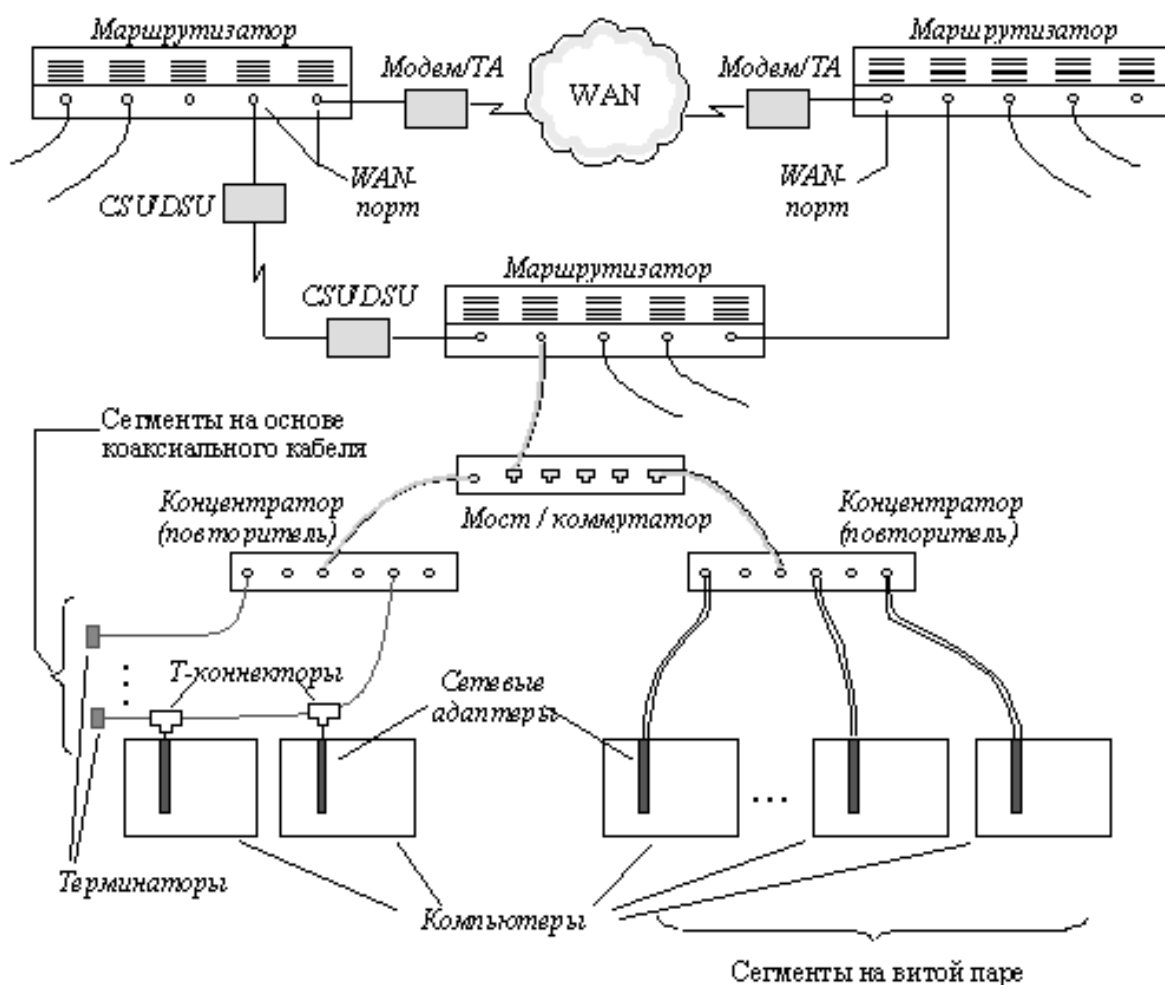


Рисунок 7.1 - Фрагмент сети

Структурированная кабельная система (Structured Cabling System, SCS) – это набор коммутационных элементов (кабелей, разъемов, коннекторов, кроссовых панелей и шкафов), а также методика их совместного использования, которая позволяет создавать регулярные, легко расширяемые структуры связей в вычислительных сетях.

Структурированная кабельная система представляет своего рода «конструктор», с помощью которого проектировщик сети строит нужную ему конфигурацию из стандартных кабелей, соединенных стандартными разъемами и коммутируемых на стандартных кроссовых панелях. При необходимости конфигурацию связей можно легко изменить: добавить компьютер, сегмент, коммутатор, изъять ненужное оборудование, а также поменять соединения между компьютерами и концентраторами.

Хорошая структурированная кабельная система строится избыточной. В будущем это может сэкономить средства, так как изменения в подключении новых устройств можно производить за счет перекоммутации уже проложенных кабелей.

Структурированная кабельная система планируется и строится иерархической звездообразной, с главной магистралью и многочисленными ответвлениями от нее (рисунок 7.2).

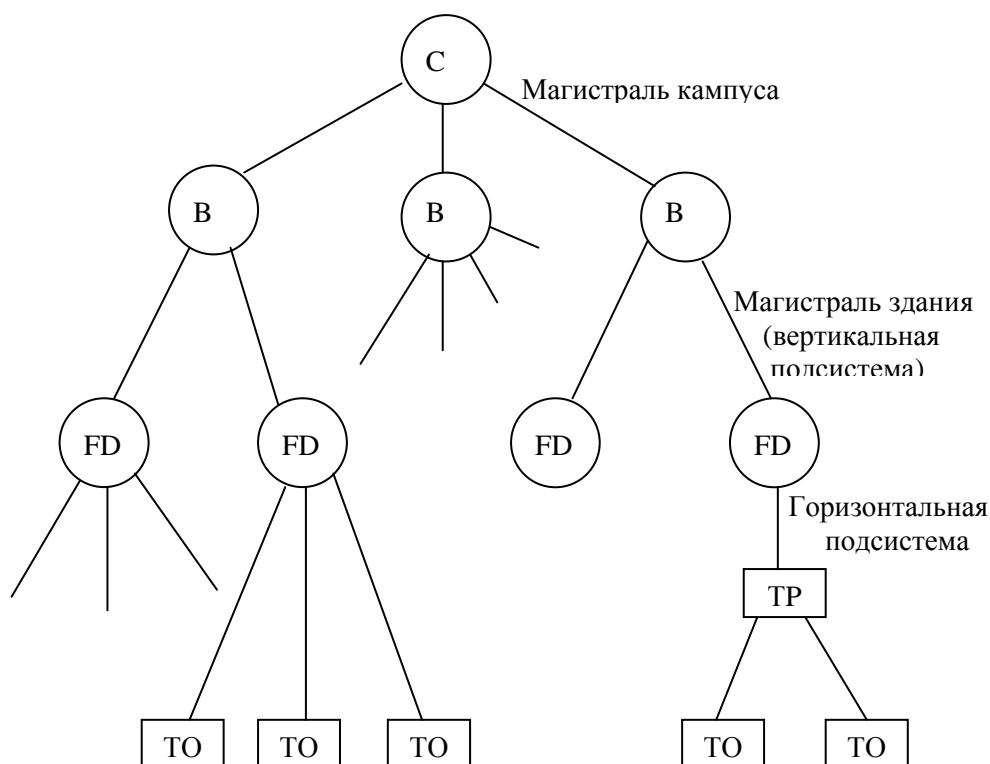


Рисунок 7.2 – Иерархия структурированной кабельной системы

Согласно концепции СКС, по всей площади здания, на которой потенциально могут располагаться рабочие места, устанавливаются абонентские телекоммуникационные розетки TO (Telecommunication Outlet). От каждой абонентской розетки прокладываются кабели к распределительным панелям – этажным распределителям FD (Floor Distributor), расположенным в телекоммуникационных помещениях (Telecommunication Closet), которые обычно располагаются на каждом этаже здания. Кабели от рабочих мест к этажным распределителям называются горизонтальными, хотя фактически они могут иметь и вертикальные участки. Этажные распределители связываются магистральными (вертикальными) кабелями с домовым распределителем BD (Building Distributor). Если сеть связывает несколько близко расположенных зданий (кампус), то домовые распределители связываются с распределителем комплекса зданий CD (Campus Distributor) магистралью комплекса зданий (кампусной магистралью).

В горизонтальной подсистеме могут присутствовать необязательные точки перехода TP (Transition Point) – места, где могут соединяться части горизонтального кабеля. При этом в каждой горизонтальной линии допускается не более одной точки перехода. Абонентские кабели между TO и ПК специфичны для каждого приложения и стандартом не охватываются.

Итак, типичная иерархическая структура структурированной кабельной системы включает:

- горизонтальные подсистемы (в пределах этажа);
- вертикальные подсистемы (внутри здания);

– подсистему кампуса (в пределах одной территории с несколькими зданиями).

Преимущества структурированной кабельной системы:

Универсальность. Структурированная кабельная система при продуманной организации может стать единой средой для передачи компьютерных данных в локальной вычислительной сети, организации локальной телефонной сети, передачи видеoinформации и даже передачи сигналов от датчиков пожарной безопасности или охранных систем. Это позволяет автоматизировать многие процессы по контролю, мониторингу и управлению хозяйственными службами и системами жизнеобеспечения.

Увеличение срока службы. Срок старения хорошо структурированной кабельной системы может составлять 8...10 лет.

Уменьшение стоимости добавления новых пользователей и изменения мест их размещения. Стоимость кабельной системы в основном определяется не стоимостью кабеля, а стоимостью работ по его прокладке. Поэтому более выгодно провести однократную работу по прокладке кабеля, возможно с большим запасом по длине, чем несколько раз выполнять прокладку, наращивая длину кабеля. Это помогает быстро и дешево изменять структуру кабельной системы при перемещениях персонала или смене приложений.

Возможность легкого расширения сети. Структурированная кабельная система является модульной, поэтому ее легко наращивать, позволяя легко и ценой малых затрат переходить на более совершенное оборудование, удовлетворяющее растущим требованиям к системам коммуникаций.

Обеспечение более эффективного обслуживания. Структурированная кабельная система облегчает обслуживание и поиск неисправностей по сравнению с шинной кабельной системой.

Надежность. Структурированная кабельная система имеет повышенную надежность, поскольку обычно производство всех ее компонентов и техническое сопровождение осуществляется одной фирмой-производителем.

7.3 Стандарты кабелей

Основой СКС является кабель. Кабель – это достаточно сложное изделие, состоящее из проводников, слоев экрана и изоляции. В некоторых случаях в состав кабеля входят разъемы, с помощью которых кабели присоединяются к оборудованию. Кроме этого, для обеспечения быстрой перекоммутации кабелей и оборудования используются различные электромеханические устройства, называемые кроссовыми секциями, кроссовыми коробками или шкафами.

В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам, что позволяет строить кабельную систему сети из кабелей и соединительных устройств разных производителей. Сегодня в мировой практике наиболее употребительны следующие стандарты:

– Американский стандарт EIA/TIA-568A, который был разработан совместными усилиями нескольких организаций: ANSI, EIA/TIA и лабораторией Underwriters Labs (UL). Стандарт EIA/TIA-568 разработан на основе предыду-

щей версии стандарта EIA/TIA-568 и дополнений к этому стандарту TSB-36 и TSB-40A);

- Международный стандарт ISO/IEC 11801;
- Европейский стандарт EN50173.

Эти стандарты близки между собой и по многим позициям предъявляют к кабелям идентичные требования. Кроме этих открытых стандартов, многие компании в свое время разработали свои фирменные стандарты, из которых до сих пор имеет практическое значение только один – стандарт компании IBM.

При стандартизации кабелей принят протольно-независимый подход. Это означает, что в стандарте оговариваются электрические, оптические и механические характеристики, которым должен удовлетворять тот или иной тип кабеля или соединительного изделия – разъема, кроссовой коробки и т. п. Однако для какого протокола предназначен данный кабель, стандарт не оговаривает, нужно просто знать, какие типы стандартных кабелей поддерживают те или иные протоколы.

В ранних версиях стандартов определялись только характеристики кабелей, без соединителей. В последних версиях стандартов появились требования к соединительным элементам и к *линиям (каналам)*, представляющим типовую сборку элементов кабельной системы. Остановимся на основных требованиях к самим кабелям, не рассматривая характеристик соединительных элементов и собранных линий.

В стандартах кабелей оговаривается достаточно много характеристик, из которых наиболее важны следующие:

- *Затухание (Attenuation)* – характеризует величину потери мощности сигнала при передаче, измеряется в децибелах на метр на определенной частоте или диапазоне частот сигнала;

- *Перекрестные искажения на ближний конец (Near End Cross Talk, NEXT)*, измеряются в децибелах на определенной частоте сигнала;

- *Импеданс (волновое сопротивление)* – полное (активное и реактивное) сопротивление электрической цепи, измеряется в Ом и является относительно постоянной величиной для кабельных систем. В области высоких частот (100...200 МГц) импеданс зависит от частоты;

- *Активное сопротивление* – сопротивление постоянному току электрической цепи. В отличие от импеданса активное сопротивление не зависит от частоты и возрастает с увеличением длины кабеля;

- *Емкость* – свойство металлических проводников накапливать энергию. Емкость является нежелательной величиной, поэтому следует стремиться к тому, чтобы она была как можно меньше (иногда применяют термин «паразитная емкость»). Высокое значение емкости в кабеле приводит к искажению сигнала и ограничивает полосу пропускания линии;

- *Уровень внешнего электромагнитного излучения* – нежелательное переменное напряжение в проводнике, бывает двух типов: фоновый и импульсный, низко-, средне- и высокочастотный. Источниками фонового электромагнитного

излучения в диапазоне до 150 кГц являются линии электропередачи, телефоны и лампы дневного света; в диапазоне от 150 кГц до 20 МГц – компьютеры, принтеры, ксероксы; в диапазоне от 20 МГц до 1 ГГц – телевизионные и радиопередатчики, микроволновые печи. Основными источниками импульсного электромагнитного излучения являются моторы, переключатели и сварочные агрегаты. Измеряется в милливольтцах;

– *Диаметр или площадь сечения проводника.* Для медных проводников достаточно употребительной является американская система AWG (American Wire Gauge), которая вводит некоторые условные типы проводников. Чем больше номер типа проводника, тем меньше его диаметр. В европейских и международных стандартах диаметр проводника указывается в миллиметрах.

Помимо универсальных характеристик, таких, например, как затухание, которые применимы для всех типов кабелей, существуют характеристики, которые применимы только к определенному типу кабеля. Например, параметр *шаг скрутки проводов* используется только для характеристики витой пары, а параметр NEXT применим только к многопарным кабелям на основе витой пары.

Основное внимание в современных стандартах уделяется кабелям на основе витой пары и волоконно-оптическим кабелям.

Кабели на основе неэкранированной витой пары

Медный неэкранированный кабель UTP в зависимости от электрических и механических характеристик разделяется на 5 категорий. Кабели категорий 1 и 2 были определены в стандарте EIA/TIA-568, но в стандарт 568А уже не вошли как устаревшие.

Кабели *категории 1* применяются там, где требования к скорости передачи минимальны. Обычно это кабель для цифровой и аналоговой передачи голоса и низкоскоростной (до 20 кбит/с) передачи данных. До 1983 г. это был основной тип кабеля для телефонной разводки.

Кабели *категории 2* были впервые применены фирмой IBM при построении собственной кабельной системы. Главное требование к кабелям этой категории – способность передавать сигналы со спектром до 1 МГц.

Кабели *категории 3* были стандартизованы в 1991 г., когда был разработан *Стандарт телекоммуникационных кабельных систем для коммерческих зданий* (EIA-568), на основе которого затем был создан действующий стандарт EIA-568А. Стандарт EIA-568 определил электрические характеристики кабелей категории 3 для частот в диапазоне до 16 МГц, поддерживающих, таким образом, высокоскоростные сетевые приложения. Кабель категории 3 предназначен как для передачи данных, так и для передачи речевых сигналов. Шаг скрутки проводов равен примерно три витка на один фут (30,5 см). Кабели категории 3 сейчас составляют основу многих кабельных систем зданий, в которых они используются для передачи речевых сигналов и сигналов данных.

Кабели *категории 4* представляют собой несколько улучшенный вариант кабелей категории 3. Кабели категории 4 обязаны выдерживать тесты на частоте передачи сигнала 20 МГц и обеспечивать повышенную помехоустойчивость

и низкие потери сигнала. Кабели категории 4 хорошо подходят для применения в системах с увеличенными расстояниями (до 135 метров) и в сетях Token Ring с пропускной способностью 16 Мбит/с. На практике используются редко.

Кабели *категории 5* были специально разработаны для поддержки высокоскоростных протоколов. Поэтому их характеристики определяются в диапазоне до 100 МГц. Большинство новых высокоскоростных стандартов ориентируются на использование витой пары категории 5. На этом кабеле работают протоколы со скоростью передачи данных 100 Мбит/с – FDDI (с физическим стандартом TP-PMD), Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, а также более скоростные протоколы – ATM на скорости 155 Мбит/с и Gigabit Ethernet на скорости 1000 Мбит/с. Кабель категории 5 пришел на замену кабелю категории 3, и сегодня все новые кабельные системы крупных зданий строятся именно на этом типе кабеля (в сочетании с волоконно-оптическим).

Наиболее важные электромагнитные характеристики кабеля категории 5:

- полное волновое сопротивление в диапазоне частот до 100 МГц равно 100 Ом (стандарт ISO 11801 допускает также кабель с волновым сопротивлением 120 Ом);
- величина перекрестных наводок NEXT в зависимости от частоты сигнала должна принимать значения не менее 74 дБ на частоте 150 кГц и не менее 32 дБ на частоте 100 МГц;
- затухание имеет предельные значения от 0,8 дБ (на частоте 64 кГц) до 22 дБ (на частоте 100 МГц);
- активное сопротивление не должно превышать 9,4 Ом на 100 м;
- емкость кабеля не должна превышать 5,6 нФ на 100 м.

Все кабели UTP независимо от их категории выпускаются в 4-парном исполнении. Каждая из четырех пар кабеля имеет определенный цвет и шаг скрутки. Обычно две пары предназначены для передачи данных, а две – для передачи аналоговых телефонных сигналов.

Для соединения кабелей с оборудованием используются вилки и розетки RJ-45, представляющие 8-контактные разъемы.

Особое место занимают кабели *категорий 6 и 7*. Для кабеля категории 6 характеристики определяются до частоты 200 МГц, а для кабелей категории 7 – до 600 МГц. Кабели категории 7 обязательно экранируются, причем как каждая пара, так и весь кабель в целом. Кабель категории 6 может быть как экранированным, так и неэкранированным. Основное назначение этих кабелей – поддержка высокоскоростных протоколов на отрезках кабеля большей длины, чем кабель UTP категории 5. Некоторые специалисты сомневаются в необходимости применения кабелей категории 7, так как стоимость кабельной системы при их использовании получается соизмеримой по стоимости сети с использованием волоконно-оптических кабелей, а характеристики кабелей на основе оптических волокон выше.

Кабели на основе экранированной витой пары

Экранированная витая пара STP хорошо защищает передаваемые сигналы от внешних помех, а также меньше излучает электромагнитных колебаний, что защищает в свою очередь пользователей сетей от вредного для здоровья излучения. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку, т. к. требует выполнения качественного заземления. Экранированный кабель применяется только для передачи данных.

Основным стандартом, определяющим параметры экранированной витой пары, является фирменный стандарт IBM. В этом стандарте кабели делятся не на категории, а на типы: Type 1...9.

Основным типом экранированного кабеля является кабель Type 1 стандарта IBM. Он состоит из двух пар скрученных проводов, экранированных проводящей оплеткой, которая заземляется. Электрические параметры кабеля Type 1 примерно соответствуют параметрам кабеля UTP категории 5. Однако волновое сопротивление кабеля Type 1 равно 150 Ом, что необходимо учитывать при замене кабельной проводки (при использовании STP Type 1 необходимы соответствующие трансиверы). Сегодня кабель STP Type 1 включен в стандарты EIA/TIA-568A, ISO 11801 и EN50173, то есть приобрел международный статус.

Экранированные витые пары используются также в кабеле IBM Type 2, который представляет кабель Type 1 с добавленными двумя парами неэкранированного провода для передачи аналогового телефонного сигнала.

Для присоединения экранированных кабелей к оборудованию используются разъемы конструкции IBM.

Не все типы кабелей стандарта IBM относятся к экранированным кабелям, некоторые определяют характеристики неэкранированного телефонного кабеля (Type 3) и оптоволоконного кабеля (Type 5).

Коаксиальные кабели

Существует большое количество типов коаксиальных кабелей, используемых в сетях различного типа – телефонных, телевизионных и компьютерных. Ниже приводятся основные типы и характеристики этих кабелей.

– RG-8 и RG-11 – «толстый» коаксиальный кабель, разработанный для сетей Ethernet 10Base-5. Имеет волновое сопротивление 50 Ом и внешний диаметр 0,5 дюйма (около 12 мм). Этот кабель имеет достаточно толстый внутренний проводник диаметром 2,17 мм, который обеспечивает хорошие механические и электрические характеристики (затухание на частоте 10 МГц - не хуже 18 дБ/км). Однако этот кабель сложно монтировать, он плохо гнется.

– RG-58/U, RG-58 A/U и RG-58 C/U – разновидности «тонкого» коаксиального кабеля для сетей Ethernet 10Base-2. Кабель RG-58/U имеет сплошной внутренний проводник, а кабель RG-58 A/U – многожильный. Кабель RG-58 C/U проходит «военную приемку». Все эти разновидности кабеля имеют волновое сопротивление 50 Ом, но обладают худшими механическими и электрическими характеристиками по сравнению с «толстым» коаксиальным кабелем. Тонкий внутренний проводник 0,89 мм не так прочен, зато обладает гораздо

большей гибкостью, удобной при монтаже. Затухание в этом типе кабеля выше, чем в «толстом» коаксиальном кабеле, что приводит к необходимости уменьшать длину кабеля для получения одинакового затухания в сегменте. Для соединения кабелей с оборудованием используется разъем типа BNC.

– RG-59 - телевизионный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом. Широко применяется в кабельном телевидении.

Коаксиальные кабели с волновым сопротивлением 50 Ом (т. е. «тонкий» и «толстый») описаны в стандарте EIA/TIA-568. Новый стандарт EIA/TIA-568A коаксиальные кабели не описывает как морально устаревшие.

Волоконно-оптические кабели

Волоконно-оптические кабели используют:

- многомодовое волокно (Multi Mode Fiber, MMF) со ступенчатым и плавным изменением профиля показателя преломления;
- одномодовое волокно (Single Mode Fiber, SMF).

По количеству волокон кабели подразделяют на симплексные (одножильные), дуплексные (два волокна) и многожильные. Для передачи информации используются длины волн 1550, 1300 и 850 нм, что соответствует окнам прозрачности ОВ. В качестве источников излучения используются светодиоды (на длинах волн 850 и 1300 нм) и лазерные диоды (на длинах волн 1300 и 1550 нм). Волоконно-оптические кабели присоединяют к оборудованию разъемами FC, ST и SC.

Ориентировочные значения основных параметров оптических волокон приведены в таблице 7.1.

Волоконно-оптические кабели обладают отличными характеристиками всех типов: электромагнитными, механическими (хорошо гнутся, а в соответствующей изоляции обладают хорошей механической прочностью). Однако у них есть один серьезный недостаток – сложность соединения волокон с разъемами и между собой при необходимости наращивания длины кабеля.

Таблица 7.1 – Основные параметры оптических волокон

Волокно	Затухание, дБ/км			Полоса пропускания, МГц км		Числовая апертура
	850 нм	1300 нм	1550 нм	850 нм	1300 нм	
мкм/мкм	850 нм	1300 нм	1550 нм	850 нм	1300 нм	NA
8/125	-	0,35	0,22	-	-	0,1
9,5/125						
50/125	2,7...3,5	0,7...2,0	-	400...500	400...500	0,2
62,5/125	2,7...3,5	0,7...1,5	-	160...200	400...500	0,275

7.4 Сетевые адаптеры

Сетевой адаптер (Network Interface Card, NIC) – периферийное устройство компьютера, предназначенное для сопряжения сетевых устройств (ПК, сервер и т.д.) со средой передачи в соответствии с принятыми правилами обмена информацией. Как и любой контроллер компьютера, сетевой адаптер ра-

ботает под управлением драйвера операционной системы и распределение функций между сетевым адаптером и драйвером может изменяться от реализации к реализации.

В первых локальных сетях сетевой адаптер с сегментом коаксиального кабеля представлял собой весь спектр коммуникационного оборудования, с помощью которого организовывалось взаимодействие ПК. В большинстве современных стандартов для локальных сетей предполагается, что между сетевыми адаптерами взаимодействующих ПК устанавливается специальное коммуникационное устройство (концентратор, мост, коммутатор или маршрутизатор), которое берет на себя некоторые функции по управлению потоком данных.

Сетевой адаптер обычно выполняет следующие функции:

- оформление передаваемой информации в виде кадра определенного формата. Кадр включает несколько служебных полей, среди которых имеется адрес компьютера назначения и контрольная сумма кадра, по которой сетевой адаптер станции назначения делает вывод о корректности доставленной по сети информации;

- получение доступа к среде передачи данных. В локальных сетях, как уже отмечалось, применяются разделяемые между группой компьютеров каналы связи (общая шина, кольцо), доступ к которым предоставляется по специальному алгоритму. В последних стандартах и технологиях локальных сетей наметился переход от использования разделяемой среды передачи данных к использованию индивидуальных каналов связей компьютера с коммуникационными устройствами сети. Технологиями, использующими индивидуальные линии связи, являются 100VG-AnyLAN, ATM и коммутирующие модификации традиционных технологий – switching Ethernet, switching Token Ring и switching FDDI. При использовании индивидуальных линий связи в функции сетевого адаптера часто входит установление соединения с коммутатором сети;

- кодирование последовательности бит кадра в код, предназначенный для передачи в линию, и соответствующее декодирование при приеме. Кодирование должно обеспечить передачу исходной информации по линиям связи с определенной полосой пропускания и определенным уровнем помех таким образом, чтобы принимающая сторона смогла распознать с заданной степенью вероятности посланную информацию;

- преобразование информации из параллельной формы в последовательную и обратно. Эта операция связана с тем, что для упрощения проблемы синхронизации сигналов и удешевления линий связи в вычислительных сетях информация передается в последовательной форме, бит за битом, а не побайтно, как внутри компьютера;

- синхронизация битов, байтов и кадров. Для устойчивого приема передаваемой информации необходимо поддержание постоянного синхронизма приемника и передатчика информации. Сетевой адаптер использует для решения

этой задачи специальные методы кодирования, не использующие дополнительной шины с тактовыми синхросигналами. Эти методы обеспечивают периодическое изменение состояния передаваемого сигнала, которое используется тактовым генератором приемника для поддержания состояния синхронизма. Кроме синхронизации на уровне битов, сетевой адаптер решает задачу синхронизации и на уровне байтов, и на уровне кадров.

Сетевые адаптеры различаются по типу и разрядности используемой в компьютере внутренней шины данных – ISA, EISA, PCI, MCA.

Сетевые адаптеры различаются также по типу принятой в сети сетевой технологии – Ethernet, Token Ring, FDDI и т.п. Как правило, конкретная модель сетевого адаптера работает по определенной сетевой технологии (например Ethernet). В связи с тем что для каждой технологии сейчас имеется возможность использования различных сред передачи данных (тот же Ethernet поддерживает коаксиальный кабель, неэкранированную витую пару и оптоволоконный кабель), сетевой адаптер может поддерживать как одну, так и одновременно несколько сред. В случае, когда сетевой адаптер поддерживает только одну среду передачи данных, а необходимо использовать другую, применяются трансиверы и конверторы.

7.5 Физическая структуризация локальной сети. Повторители и концентраторы

Для построения простейшей односегментной сети достаточно иметь сетевые адаптеры и кабель подходящего типа. Но даже в этом простом случае часто используются дополнительные устройства – повторители сигналов, позволяющие преодолеть ограничения на максимальную длину кабельного сегмента.

Основная функция *повторителя* (repeater) – повторение сигналов, поступающих на один из его портов, на всех остальных портах (Ethernet) или на следующем в логическом кольце порте (Token Ring, FDDI) синхронно с сигналами-оригиналами. Повторитель улучшает электрические характеристики сигналов и их синхронность, и за счет этого появляется возможность увеличивать общую длину кабеля между самыми удаленными в сети станциями.

Многопортовый повторитель часто называют *концентратором* (hub, concentrator), что отражает тот факт, что данное устройство реализует не только функцию повторения сигналов, но и концентрирует в одном центральном устройстве функции объединения компьютеров в сеть. Практически во всех современных сетевых стандартах концентратор является необходимым элементом сети, соединяющим отдельные компьютеры в сеть.

Как уже отмечалось ранее, отрезки кабеля, соединяющие два компьютера или какие-либо два других сетевых устройства, образуют физический сегмент. Таким образом, концентраторы и повторители, которые используются для добавления новых физических сегментов, являются средством физической структуризации сети.

Концентраторы образуют из отдельных физических отрезков кабеля общую среду передачи данных – *логический сегмент*. Логический сегмент также называют доменом коллизий, поскольку при попытке одновременной передачи данных любых двух компьютеров этого сегмента, хотя бы и принадлежащих разным физическим сегментам, возникает блокировка передающей среды. Следует особо подчеркнуть, что какую бы сложную структуру не образовывали концентраторы, например путем иерархического соединения (рисунок 7.3), все компьютеры, подключенные к ним, образуют единый логический сегмент, в котором любая пара взаимодействующих компьютеров полностью блокирует возможность обмена данными для других компьютеров.

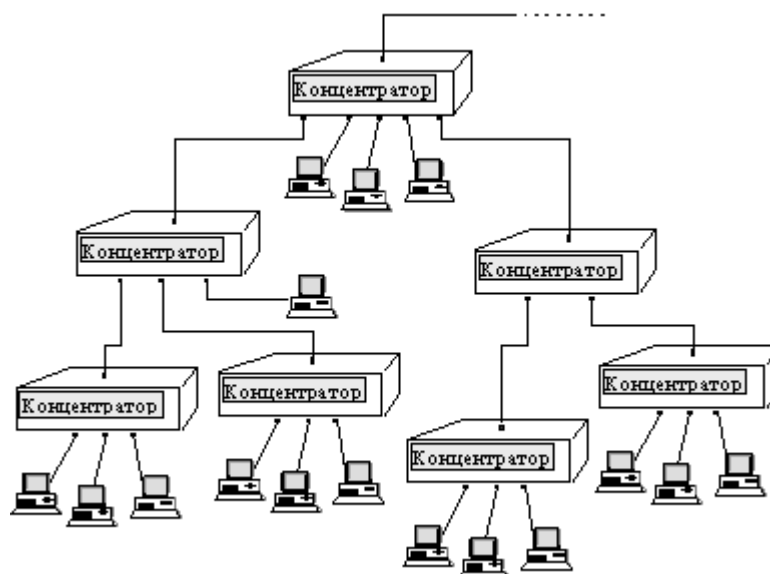


Рисунок 7.3 – Логический сегмент, построенный с использованием концентраторов

Появление устройств, централизующих соединения между отдельными сетевыми устройствами, потенциально позволяет улучшить управляемость сети и ее эксплуатационные характеристики (модифицируемость, ремонтпригодность и т.п.). С этой целью разработчики концентраторов часто встраивают в свои устройства, кроме основной функции повторителя, ряд вспомогательных функций, весьма полезных для улучшения качества сети.

Различные производители концентраторов реализуют в своих устройствах различные наборы вспомогательных функций, но наиболее часто встречаются следующие:

- объединение сегментов с различными физическими средами (например коаксиал, витая пара и оптоволокно) в единый логический сегмент;
- автосегментация портов – автоматическое отключение порта при его некорректном поведении (повреждение кабеля, интенсивная генерация пакетов ошибочной длины и т.п.);
- поддержка между концентраторами резервных связей, которые используются при отказе основных;

- защита передаваемых по сети данных от несанкционированного доступа (например путем искажения поля данных в кадрах, повторяемых на портах, не содержащих компьютера с адресом назначения);
- поддержка средств управления сетями – протокола SNMP, баз управляющей информации MIB.

7.6 Логическая структуризация сети. Мосты и коммутаторы

Несмотря на появление новых дополнительных возможностей, основной функцией концентраторов остается передача пакетов по общей разделяемой среде. Коллективное использование многими компьютерами общей кабельной системы в режиме разделения времени приводит к существенному снижению производительности сети при интенсивном трафике. Общая среда перестает справляться с потоком передаваемых кадров, и в сети возникает очередь компьютеров, ожидающих доступа. Это явление характерно для всех технологий, использующих разделяемые среды передачи данных, независимо от используемых алгоритмов доступа (хотя наиболее страдают от перегрузок трафика сети Ethernet с методом случайного доступа к среде).

Поэтому сети, построенные на основе концентраторов, не могут расширяться в требуемых пределах: при определенном количестве компьютеров в сети или при появлении новых приложений всегда происходит насыщение передающей среды, и задержки в ее работе становятся недопустимыми. Эта проблема может быть решена путем логической структуризации сети с помощью мостов, коммутаторов и маршрутизаторов.

Мост (bridge), а также его быстродействующий функциональный аналог *коммутатор* (switching hub), делят общую среду передачи данных на логические сегменты. Логический сегмент образуется путем объединения нескольких физических сегментов (отрезков кабеля) с помощью одного или нескольких концентраторов. Каждый логический сегмент подключается к отдельному порту моста/коммутатора (рисунок 7.4). При поступлении кадра на какой-либо из портов мост/коммутатор повторяет этот кадр, но не на всех портах, как это делает концентратор, а только на том порту, к которому подключен сегмент, содержащий компьютер-адресат.

Разница между мостом и коммутатором состоит в том, что мост в каждый момент времени может осуществлять передачу кадров только между одной парой портов, а коммутатор одновременно поддерживает потоки данных между всеми своими портами. Другими словами, мост передает кадры последовательно, а коммутатор – параллельно. (Для упрощения изложения далее в этом разделе будет использоваться термин "коммутатор" для обозначения этих обоих разновидностей устройств, поскольку все сказанное ниже в равной степени относится и к мостам, и к коммутаторам.) Следует отметить, что в последнее время локальные мосты полностью вытеснены коммутаторами. Мосты используются только для связи локальных сетей с глобальными, т.е. как сред-

ства удаленного доступа, поскольку в этом случае необходимость в параллельной передаче между несколькими парами портов просто не возникает.

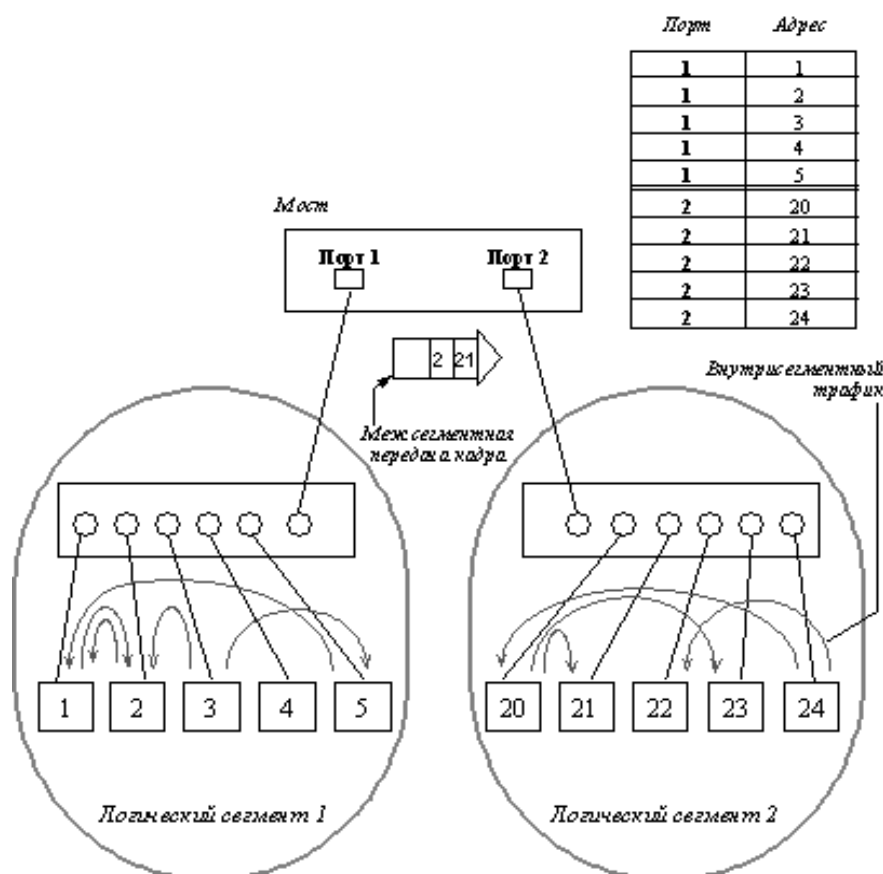


Рисунок 7.4 - Разделение сети на логические сегменты

При работе коммутатора среда передачи данных каждого логического сегмента остается общей только для тех компьютеров, которые подключены к этому сегменту непосредственно. Коммутатор осуществляет связь сред передачи данных различных логических сегментов. Он передает кадры между логическими сегментами только при необходимости, т.е. только тогда, когда взаимодействующие компьютеры находятся в разных сегментах.

Деление сети на логические сегменты улучшает производительность сети, если в сети имеются группы компьютеров, преимущественно обменивающиеся информацией между собой. Если же таких групп нет, то введение в сеть коммутаторов может только ухудшить общую производительность сети, так как принятие решения о том, нужно ли передавать пакет из одного сегмента в другой, требует дополнительного времени.

Однако даже в сети средних размеров такие группы, как правило, имеются. Поэтому разделение ее на логические сегменты дает выигрыш в производительности – трафик локализуется в пределах групп, и нагрузка на их разделяемые кабельные системы существенно уменьшается.

Коммутаторы принимают решение о том, на какой порт нужно передать кадр, анализируя адрес назначения, помещенный в кадр, а также на основании информации о принадлежности того или иного компьютера определенному сегменту, подключенному к одному из портов коммутатора, то есть на основа-

нии информации о конфигурации сети. Для того чтобы собрать и обработать информацию о конфигурации подключенных к нему сегментов, коммутатор должен пройти стадию "обучения", т.е. самостоятельно проделать некоторую предварительную работу по изучению проходящего через него трафика. Определение принадлежности компьютеров сегментам возможно за счет наличия в кадре не только адреса назначения, но и адреса источника, сгенерировавшего пакет. Используя информацию об адресе источника, коммутатор устанавливает соответствие между номерами портов и адресами компьютеров. В процессе изучения сети мост/коммутатор просто передает появляющиеся на входах его портов кадры на все остальные порты, работая некоторое время повторителем. После того как мост/коммутатор узнает о принадлежности адресов сегментам, он начинает передавать кадры между портами только в случае межсегментной передачи. Если уже после завершения обучения на входе коммутатора вдруг появится кадр с неизвестным адресом назначения, то этот кадр будет повторен на всех портах.

Мосты/коммутаторы, работающие описанным способом, обычно называются *прозрачными* (transparent), поскольку появление таких мостов/коммутаторов в сети совершенно незаметно для ее конечных узлов. Это позволяет не изменять их программное обеспечение при переходе от простых конфигураций, использующих только концентраторы, к более сложным, сегментированным.

Существует и другой класс мостов/коммутаторов, передающих кадры между сегментами на основе полной информации о межсегментном маршруте. Эту информацию записывает в кадр станция-источник кадра, поэтому говорят, что такие устройства реализуют алгоритм *маршрутизации от источника* (source routing). При использовании мостов/коммутаторов с маршрутизацией от источника конечные узлы должны быть в курсе деления сети на сегменты и сетевые адаптеры, в этом случае должны в своем программном обеспечении иметь компонент, занимающийся выбором маршрута кадров.

За простоту принципа работы прозрачного моста/коммутатора приходится расплачиваться ограничениями на топологию сети, построенной с использованием устройств данного типа – такие сети не могут иметь замкнутых маршрутов – петель. Мост/коммутатор не может правильно работать в сети с петлями, при этом сеть засоряется зацикливающимися пакетами и ее производительность снижается.

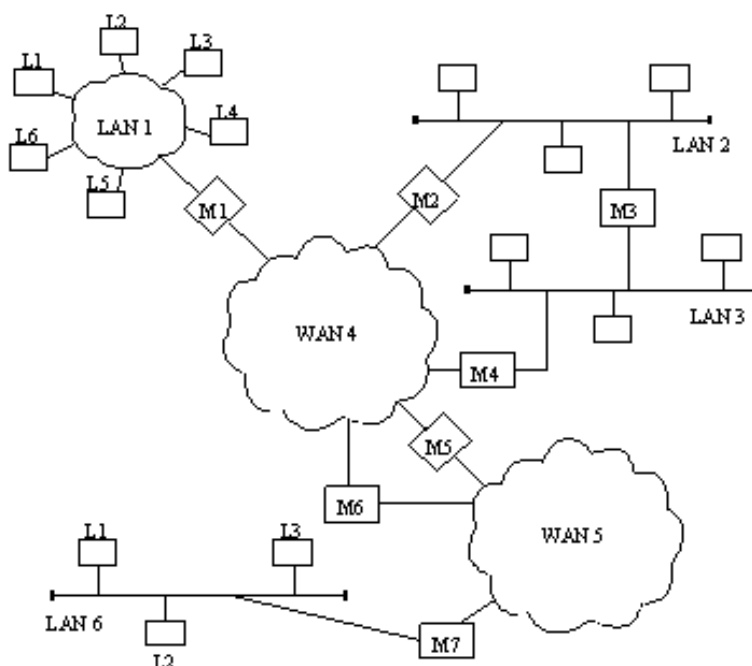
Для автоматического распознавания петель в конфигурации сети разработан алгоритм *покрывающего дерева* (Spanning Tree Algorithm, STA). Этот алгоритм позволяет мостам/коммутаторам адаптивно строить дерево связей, когда они изучают топологию связей сегментов с помощью специальных тестовых кадров. При обнаружении замкнутых контуров некоторые связи объявляются резервными. Мост/коммутатор может использовать резервную связь только при отказе какой-либо основной. В результате сети, построенные на основе мостов/коммутаторов, поддерживающих алгоритм покрывающего дерева,

обладают некоторым запасом надежности, но повысить производительность за счет использования нескольких параллельных связей в таких сетях нельзя.

7.7 Маршрутизаторы

Маршрутизатор (router) позволяет организовывать в сети избыточные связи, образующие петли. Он справляется с этой задачей за счет того, что принимает решение о передаче пакетов на основании более полной информации о графе связей в сети, чем мост или коммутатор. Маршрутизатор имеет в своем распоряжении базу топологической информации, которая говорит ему, например, о том, между какими подсетями общей сети имеются связи и в каком состоянии (работоспособном или нет) они находятся. Имея такую карту сети, маршрутизатор может выбрать один из нескольких возможных маршрутов доставки пакета адресату. В данном случае под маршрутом понимают последовательность прохождения пакетом маршрутизаторов. Например, на рисунке 7.5 для связи станций L2 сети LAN1 и L1 сети LAN6 имеется два маршрута: M1-M5-M7 и M1-M6-M7.

В отличие от моста/коммутатора, который не знает, как связаны сегменты друг с другом за пределами его портов, маршрутизатор видит всю картину связей подсетей друг с другом, поэтому он может выбрать правильный маршрут и при наличии нескольких альтернативных маршрутов. Решение о выборе того или иного маршрута принимается каждым маршрутизатором, через который проходит сообщение.



M1, M2, ... , M7 – маршрутизатор;

LAN1, LAN2, LAN3, WAN4, WAN5, LAN6 – уникальные номера сетей в едином формате;

L1, L2, ... – локальные номера узлов (дублируются, разный формат)

Рисунок 7.5 – Структура сети, построенной на основе маршрутизаторов

Для того чтобы составить карту связей в сети, маршрутизаторы обмениваются специальными служебными сообщениями, в которых содержится информация о тех связях между подсетями, о которых они знают (эти подсети подключены к ним непосредственно или же они узнали эту информацию от других маршрутизаторов).

Построение графа связей между подсетями и выбор оптимального по какому-либо критерию маршрута на этом графе представляют собой сложную задачу. При этом могут использоваться разные критерии выбора маршрута: наименьшее количество промежуточных узлов, время, стоимость или надежность передачи данных.

Маршрутизаторы позволяют объединять сети с различными принципами организации в единую сеть, которая в этом случае часто называется *интерсет* (internet). Название интерсет подчеркивает ту особенность, что образованное с помощью маршрутизаторов объединение компьютеров представляет собой совокупность нескольких сетей, сохраняющих большую степень автономности, чем несколько логических сегментов одной сети. В каждой из сетей, образующих интерсет, сохраняются присущие им принципы адресации узлов и протоколы обмена информацией. Поэтому маршрутизаторы могут объединять не только локальные сети с различной технологией, но и локальные сети с глобальными.

Маршрутизаторы не только объединяют сети, но и надежно защищают их друг от друга. Причем эта изоляция осуществляется гораздо проще и надежнее, чем с помощью мостов/коммутаторов. Например, при поступлении кадра с неправильным адресом мост/коммутатор обязан повторить его на всех своих портах, что делает сеть незащищенной от некорректно работающего узла. Маршрутизатор же в таком случае просто отказывается передавать "неправильный" пакет дальше, изолируя дефектный узел от остальной сети.

Кроме того, маршрутизатор предоставляет администратору удобные средства фильтрации потока сообщений за счет того, что сам распознает многие поля служебной информации в пакете и позволяет их именовать понятным администратору образом. Нужно заметить, что некоторые мосты/коммутаторы также способны выполнять функции гибкой фильтрации, но задавать условия фильтрации администратор сети должен сам в двоичном формате, что достаточно сложно.

Кроме фильтрации, маршрутизатор может обеспечивать приоритетный порядок обслуживания буферизованных пакетов, когда на основании некоторых признаков пакетам предоставляются преимущества при выборе из очереди.

В результате маршрутизатор оказывается сложным интеллектуальным устройством, построенным на базе одного, а иногда и нескольких мощных процессоров. Такой специализированный мультипроцессор работает, как правило, под управлением специализированной операционной системы.

7.8 Функциональное соответствие видов коммуникационного оборудования уровням модели OSI

Лучшим способом для понимания отличий между сетевыми адаптерами, повторителями, мостами/коммутаторами и маршрутизаторами является рассмотрение их работы в терминах модели ВОС. Соотношение между функциями этих устройств и уровнями модели ВОС показано на рисунке 7.6.

Повторитель, который регенерирует сигналы, за счет чего позволяет увеличивать длину сети, работает на физическом уровне.

Сетевой адаптер работает на физическом и канальном уровнях. К физическому уровню относится та часть функций сетевого адаптера, которая связана с приемом и передачей сигналов по линии связи, а получение доступа к разделяемой среде передачи, распознавание MAC-адреса компьютера – это уже функция канального уровня.

Мосты/коммутаторы выполняют большую часть работы на канальном уровне. Для них сеть представляется набором MAC-адресов устройств. Они извлекают эти адреса из заголовков, добавленных к пакетам на канальном уровне, и используют их во время обработки пакетов для принятия решения о том, на какой порт отправить тот или иной пакет. Коммутаторы не имеют доступа к информации об адресах сетей, относящейся к более высокому уровню. Поэтому они ограничены в принятии решений о возможных путях или маршрутах перемещения пакетов по сети.

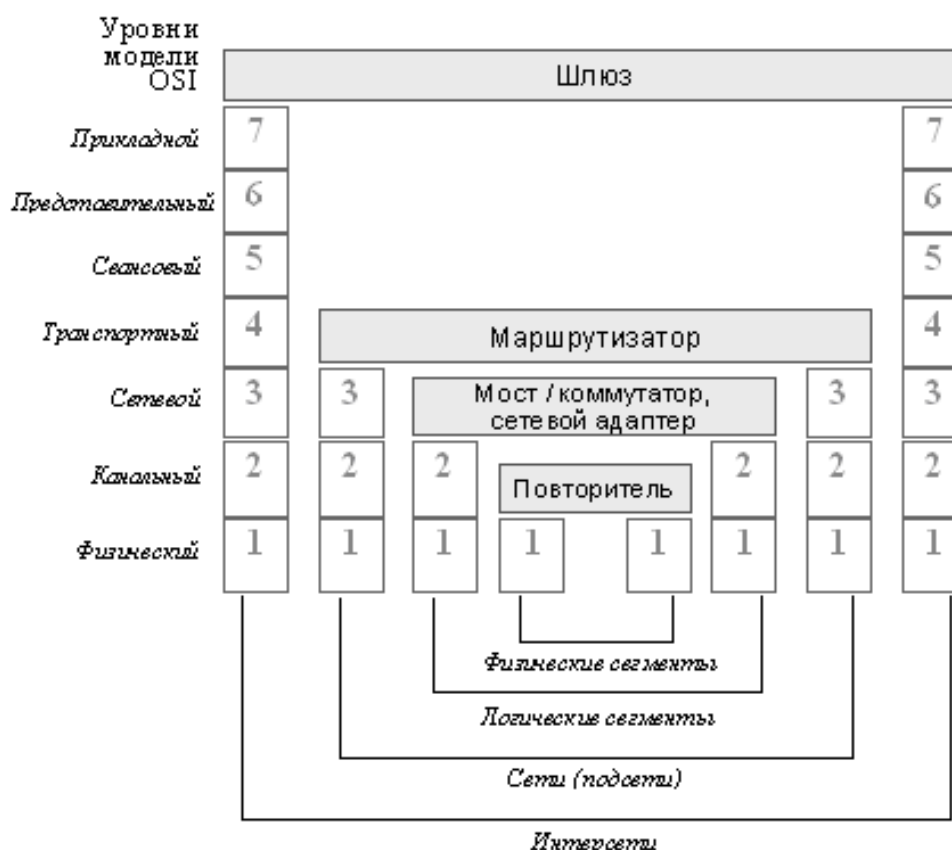


Рисунок 7.6 - Соответствие функций коммуникационного оборудования модели ВОС

Маршрутизаторы работают на сетевом уровне модели ВОС. Для маршрутизаторов сеть - это набор сетевых адресов устройств и множество сетевых путей. Маршрутизаторы анализируют все возможные пути между любыми двумя узлами сети и выбирают самый короткий из них. При выборе могут приниматься во внимание и другие факторы, например, состояние промежуточных узлов и линий связи, пропускная способность линий или стоимость передачи данных.

Для того чтобы маршрутизатор мог выполнять возложенные на него функции, ему должна быть доступна более развернутая информация о сети, нежели та, которая доступна мосту. В заголовке пакета сетевого уровня кроме сетевого адреса имеются данные, например о критерии, который должен быть использован при выборе маршрута, о времени жизни пакета в сети, о том, какому протоколу верхнего уровня принадлежит пакет.

Благодаря использованию дополнительной информации маршрутизатор может осуществлять больше операций с пакетами, чем мост/коммутатор. Поэтому программное обеспечение, необходимое для работы маршрутизатора, является более сложным.

На рисунке 7.6 показан еще один тип коммуникационных устройств - шлюз, который может работать на любом уровне модели ВОС. *Шлюз (gateway)* – это устройство, выполняющее трансляцию протоколов. Шлюз размещается между взаимодействующими сетями и служит посредником, переводящим сообщения, поступающие из одной сети, в формат другой сети. Шлюз может быть реализован как чисто программными средствами, установленными на обычном компьютере, так и на базе специализированного компьютера. Трансляция одного стека протоколов в другой представляет собой сложную интеллектуальную задачу, требующую максимально полной информации о сети, поэтому шлюз использует заголовки всех транслируемых протоколов.

Литература

1. Foltzer L. FTTH in my lifetime' Please!// Lightwave. 2002 July
2. Hranac R. DOCSIS 2.0: Wazzup // СТ 2002, № 10.
3. Martens L., De Ketelaere W. Euro-DOCSIS Makes Strides // СТ. 2002. №10.
4. NGN Initiative. Project: IST-2000-26418. Access Networks Working Group. Deliverable D2: Technology Catalog. 2001. November.
5. www.lightreading.com.
6. Аллон М. Широкополосные службы - по существующей кабельной проводке // Сети и системы связи. – 2002. – № 10.
7. Андерсон К., Минаси М. Локальные сети. Полное руководство. – М.: ЭНТРОП, 1999. – 624 с.
8. Барабаш П., Махровский О. Развитие современных мультисервисных сетей на базе интерактивных систем кабельного телевидения// Broadcasting. – 2003. – № 2.
9. Барское А. Ethernet для операторов, да еще поверх VDSL// Сети и системы связи. – 2002. – № 4
10. Блэк Ю. Сети ЭВМ: Протоколы, стандарты, интерфейсы. – М.: Мир, 1990. – 506 с.
11. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы. – М.: Радио и связь, 1991. – 304 с.
12. Бондарь И.Н. Интеграция потоков данных и голоса в абонентских сетях ТфОП // Вестник связи.-2002. – № 6.
13. Варгаузин В. Применение технологии VDSL в операторских сетях на базе Ethernet // Телемультимедиа. – 2002. – № 4
14. Дженнингс Ф. Практическая передача данных: Модемы, сети, протоколы. - М.: Мир, 1989. –272 с.
15. Ди Минико К., Толли Б. Ethernet на первой миле // Журнал сетевых решений/LAN. – 2002. – № 7,8.
16. Захаров Г.П. Симонов М.В. Яновский Г.Г. Службы и архитектура широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1993. – 148 с.
17. Золотов С. Протоколы Internet. - СПб.: BHV, 1998. – 172 с.
18. Иванова Т.И. Абонентские терминалы и компьютерная телефония. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 240 с.
19. Котиков ИМ. Пространство технологий абонентского доступа для оператора связи // Технологии и средства связи.- 2003. -№1.
20. Куин Л., Рассел Р. Fast Ethernet. – К.: Издательская группа BHV,1998. – 448с.
21. Мельников Д.А. Информационные процессы в современных компьютерных сетях. - М.: Кудиц-образ, 1999. – 256 с.
22. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 252 с.
23. Никифоров А.В. Технология PLC - телекоммуникации по сетям электропи-

тания // Сети и системы связи. - 2002. -№5.

24. Олифер В., Олифер Н. Новые технологии и оборудование IP-сетей. – СПб.: БХВ - Санкт-Петербург, 2000.

25. Олифер В.Г, Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2001. – 672 с.

26. Горальски В. Технология ADSL и DSL – М.: ЛОРИ, 2000. – 296 с.

27. Убайдуллаев Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 267с.

28. Челли с Д., Перкинс Ч., Стриб М. Основы построения сетей. Учебное руководство для специалистов MCSE. – М.: Лори, 1997. – 323 с.

29. Щербо В.К. Стандарты вычислительных сетей. Взаимосвязи сетей. Справочник. – М. Кудиц-образ, 2000. – 272 с.

30. Гук. М. Аппаратные средства локальных сетей. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2004. – 573 с.

31. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2000. – 704 с.

32. Спортак М., Паппас Ф. Компьютерные сети и сетевые технологии. – К.: ООО ТИД-ДС, 2002. – 736 с.

33. Ирвин Дж., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход. – СПб.: БХВ - Санкт-Петербург, 2003. – 448 с.