

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава I. Организация электросвязи Гражданской авиации России...	6
§1.1. Структура авиационной электросвязи ГА	6
§1.2. Организация авиационной фиксированной электросвязи	7
Организация фиксированной связи пунктов УВД	7
Организация связи в автоматизированных системах УВД	9
Внутриаэропортовая электросвязь.....	11
Другие виды фиксированной электросвязи	12
§1.3. Авиационная подвижная электросвязь.....	14
Общие требования к авиационной воздушной электросвязи.....	14
Электросвязь в районе аэродрома.....	15
Организация авиационной воздушной электросвязи на воздушных трассах.....	17
Другие виды подвижной электросвязи.....	18
§1.4. Радиовещательные передачи.....	20
Глава II. Компьютерные сети.....	21
§2.1. Роль компьютерных сетей в мире телекоммуникаций.....	21
Эволюция вычислительных систем.....	21
Конвергенция сетей.....	23
§2.2. Простейший случай сети из двух компьютеров	26
Взаимодействие двух компьютеров.....	26
Задача передачи данных по линии связи.....	29
§2.3. Общие принципы построения многокомпьютерных сетей.....	31
Топология физических связей.....	31
Адресация узлов сети.....	35
Общая задача коммутации.....	39
Типы и виды коммутации	48
Сеть Ethernet как пример технологии коммутации пакетов	59
§2.3. Основные программные и аппаратные компоненты сети.....	61
Многослойная модель сети.....	61
Сетевые службы и операционная система.....	62
Общая структура телекоммуникационной сети.....	64
§2.4. Требования к компьютерным сетям.....	67
Производительность.....	67
Надежность и безопасность.....	70
Расширяемость и масштабируемость.....	71
Прозрачность и управляемость.....	72
Качество обслуживания.....	74
§2.5. Открытые системы и модель OSI (Open System Interconnection).....	76

Многоуровневый подход.....	77
Модель OSI.....	80
§2.6. Линии связи.....	89
Типы линий связи.....	90
Аппаратура линий связи	94
Характеристики линий связи	97
§2.7. Передача данных на физическом и канальном уровнях.....	107
Аналоговая модуляция.....	108
Цифровое кодирование.....	115
Особенности протоколов канального уровня.....	117
Глава III. Авиационная наземная сеть передачи данных и телеграфной связи (АНС ПД и ТС).....	121
§3.1 Общие принципы организации АНС ПД и ТС	121
Назначение сети.....	121
Структура АНС ПД и ТС.....	122
Адресация в сети.....	127
§3.2. Управление АНС ПД и ТС.....	128
Правила и процедуры работы АНС ПД и ТС.....	129
§3.3. Центр коммутации сообщений «Аэронет 1» АНС ПД и ТС	130
Общее описание сети передачи данных	130
Транспортная среда.....	131
§3.4. Аппаратная архитектура центра коммутации сообщений и узла пакетной коммутации.....	139
Технические характеристики.....	139
Структура аппаратных средств ЦКС.....	142
Узел пакетной коммутации PSN и контрольный центр сети.....	143
Логическая архитектура ЦКС и узла пакетной коммутации PSN....	145
Модуль оператора.....	149
Подсистема супервизора ЦКС.....	150
Функции администратора ЦКС.....	153
Приложение.....	154
Список сокращений.....	156
Литература.....	160

Введение

Авиационная электросвязь гражданской авиации является одним из основных средств обеспечения руководства деятельностью гражданской авиации и управления воздушным движением. Правильная организация связи является одним из главных условий обеспечения безопасности и регулярности полетов воздушных судов, а также производственной деятельности предприятий и организаций гражданской авиации.

Электросвязь гражданской авиации представляет собой совокупность центров, станций связи, оконечных устройств, различных средств электросвязи, объединенных между собой сетями электросвязи. Условные обозначения средств авиационной электросвязи приведены в приложении.

Авиационная электросвязь гражданской авиации выполняет следующие основные функции:

- передачу центрами (пунктами) УВД экипажам воздушных судов указаний, распоряжений и различных видов сообщений по обеспечению безопасности и регулярности воздушного движения и получение от них донесений, сообщений на всех этапах полета;
- взаимодействие центров (пунктов) управления воздушным движением в процессе управления воздушным движением, планирования и организации полетов;
- оперативное взаимодействие служб авиапредприятий (предприятий по ИВП и УВД);
- передачу административно-управленческой и производственной информации;
- передачу данных различных АСУ гражданской авиации.

Основные требования, предъявляемые к авиационной электросвязи гражданской авиации:

- своевременность установления связи;
- надежность и бесперебойность связи;
- обеспечение требуемой скорости передачи информации;
- обеспечение требуемой достоверности передачи информации;
- обеспечение необходимой скрытности при передаче информации;
- максимальная эффективность и экономичность функционирования электросвязи.

Глава I. Организация электросвязи Гражданской авиации России

§ 1.1. Структура авиационной электросвязи ГА

Авиационная электросвязь Гражданской авиации Российской Федерации делится на следующие виды:

1. Авиационная фиксированная электросвязь;
2. Авиационная подвижная электросвязь;
3. Авиационное радиовещание.

Авиационная фиксированная электросвязь организуется для обеспечения следующих функций:

- взаимодействия центров (пунктов) управления воздушным движением;
- взаимодействия служб авиапредприятий ГА (предприятий по ИВП и УВД) в процессе осуществления производственной деятельности;
- деятельности производственно-диспетчерских служб и административно-управленческого персонала ГА;
- передачи метеорологической и полетной информации;
- международных полетов воздушных судов ГА;
- взаимодействия с органами ВВС;
- передачи данных.

Авиационная подвижная электросвязь организуется для обеспечения следующих функций:

- непосредственного ведения диспетчерами центров (пунктов) УВД радиотелефонной связи с экипажами воздушных судов и передачи данных на протяжении всего полета от начала руления до посадки и окончания руления;
- ведения центрами (пунктами) УВД радиотелефонной и радиотелеграфной связи с экипажами воздушных судов, находящихся в полете, в т. ч. с помощью радиооператоров;
- ведения центрами (пунктами) УВД, аварийно-спасательными службами связи с экипажами воздушных судов, терпящих или потерпевших бедствие.

Авиационное радиовещание организуется для обеспечения следующих функций:

- информирования экипажей воздушных судов, находящихся в полете, при оперативном полетно-информационном обслуживании (АФИС);
- автоматической передачи информации в районе аэродрома (АТIS);
- автоматической передачи метеоинформации для экипажей воздушных судов, находящихся на маршруте (WOLMET).

§ 1.2. Организация авиационной фиксированной электросвязи

Организация фиксированной связи пунктов УВД

Для обеспечения взаимодействия центров (пунктов) УВД организуются каналы речевой (телефонной) связи по принципу прямых или коммутируемых соединений с установкой на рабочих местах диспетчеров в центрах (пунктах) УВД аппаратуры оперативной связи. Коммутируемые каналы речевой связи могут использоваться по согласованию со службой УВД для взаимодействия РЦ (ВРЦ) ЕС УВД при условии обеспечения времени установления связи не более 15 сек.

В качестве каналов речевой связи применяются, как правило, каналы связи тональной частоты. На направлениях, где отсутствует возможность применения каналов связи тональной частоты, организуются радиорелейные каналы, каналы (сети) ВЧ радиосвязи, каналы спутниковой связи, линии передачи данных.

Каналы речевой связи организуются в соответствии со схемой организации связи центров ЕС УВД или схемой организации наземной связи и передачи данных в АС УВД.

Типовая схема организации авиационной наземной электросвязи РЦ приведена на рис.1.1.

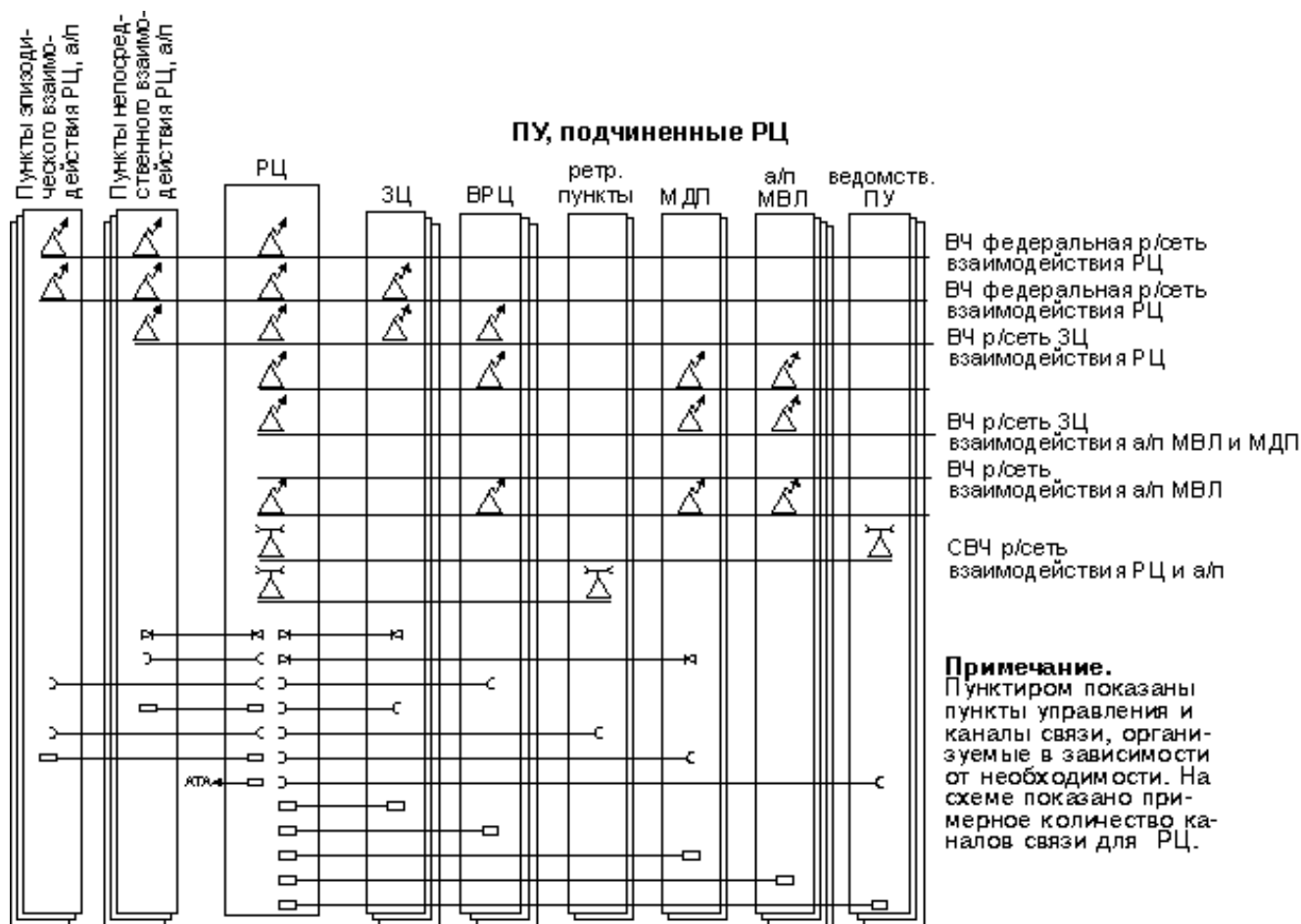


Рис. 1.1. Типовая схема организации авиационной наземной электросвязи РЦ

На схеме:

- РЦ - районный центр единой системы управления воздушным движением (РЦ ЕС УВД), который является оперативным органом, решающим задачи непосредственного управления движением воздушных судов в установленных границах района для рационального использования воздушного пространства и обеспечения безопасности полетов;
- ВРЦ - вспомогательный районный центр УВД с правом или без права руководства воздушным движением;
- МДП - местный диспетчерский пункт, осуществляющий руководство полетами по местным воздушным линиям в местные аэропорты;
- Информационные потоки обеспечиваются наземными радиотелефонными каналами, проводными телефонными каналами, телеграфными каналами, системой громкоговорящей связи, а также могут быть использованы аналоговые и цифровые каналы передачи данных.

Типовая схема организации авиационной наземной электросвязи зонального центра единой системы управления воздушным движением (ЗЦ ЕС УВД), совмещенного с РЦ, приведена на рис 1.2.

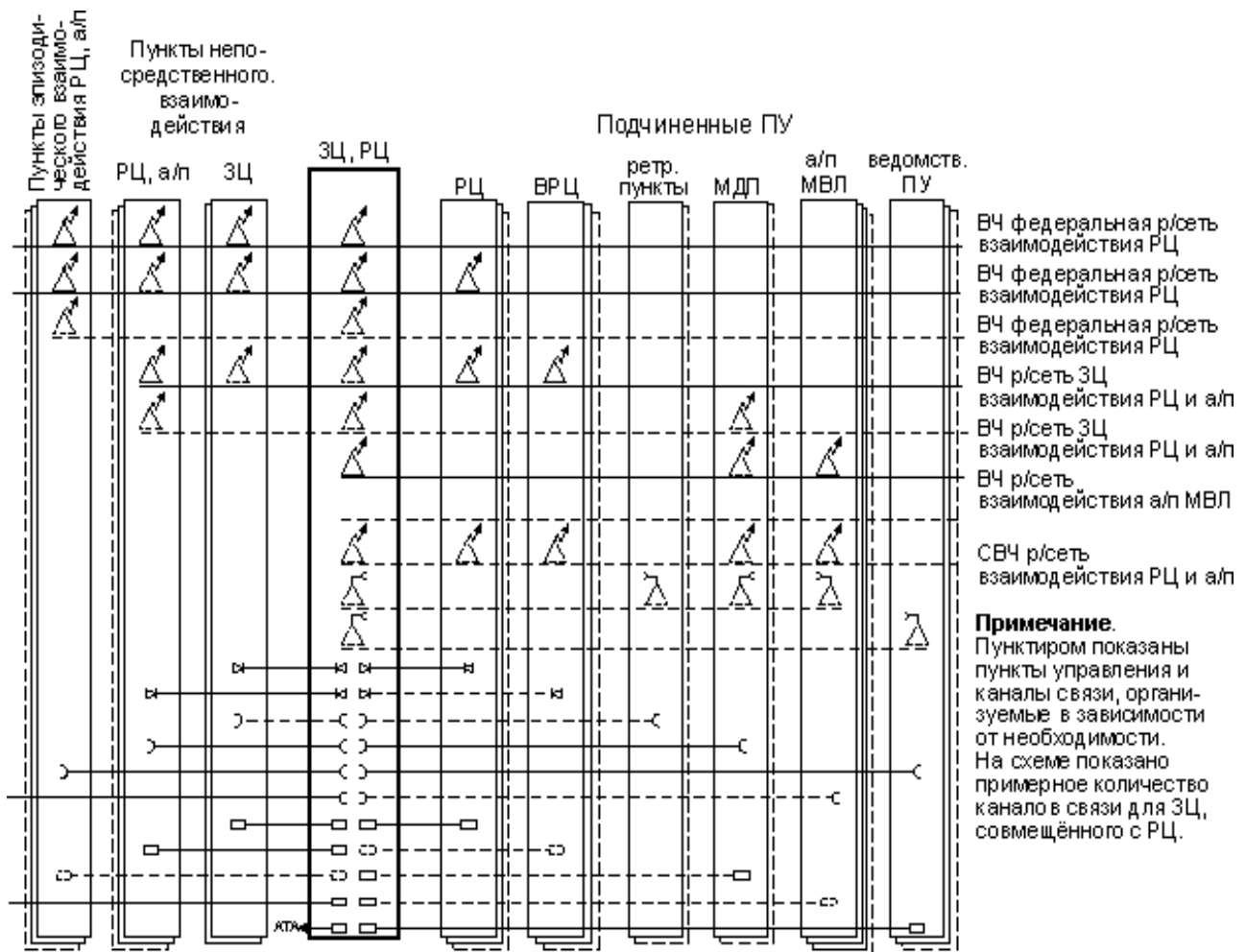


Рис. 1.2. Типовая схема организации авиационной наземной электросвязи ЗЦ, совмещенного с РЦ

ЗЦ - оперативный орган, осуществляющий планирование, координацию и обеспечение движения воздушных судов в установленной зоне УВД для рационального использования воздушного пространства и создания необходимых условий для обеспечения безопасности, регулярности и экономичности полетов.

На местных воздушных линиях (МВЛ) управление воздушным движением осуществляется службой движения с местных диспетчерских пунктов (МДП). Типовая схема организации авиационной электросвязи МДП приведена на рис 1.3. Она включает в себя авиационную воздушную радиосеть в зоне МВЛ

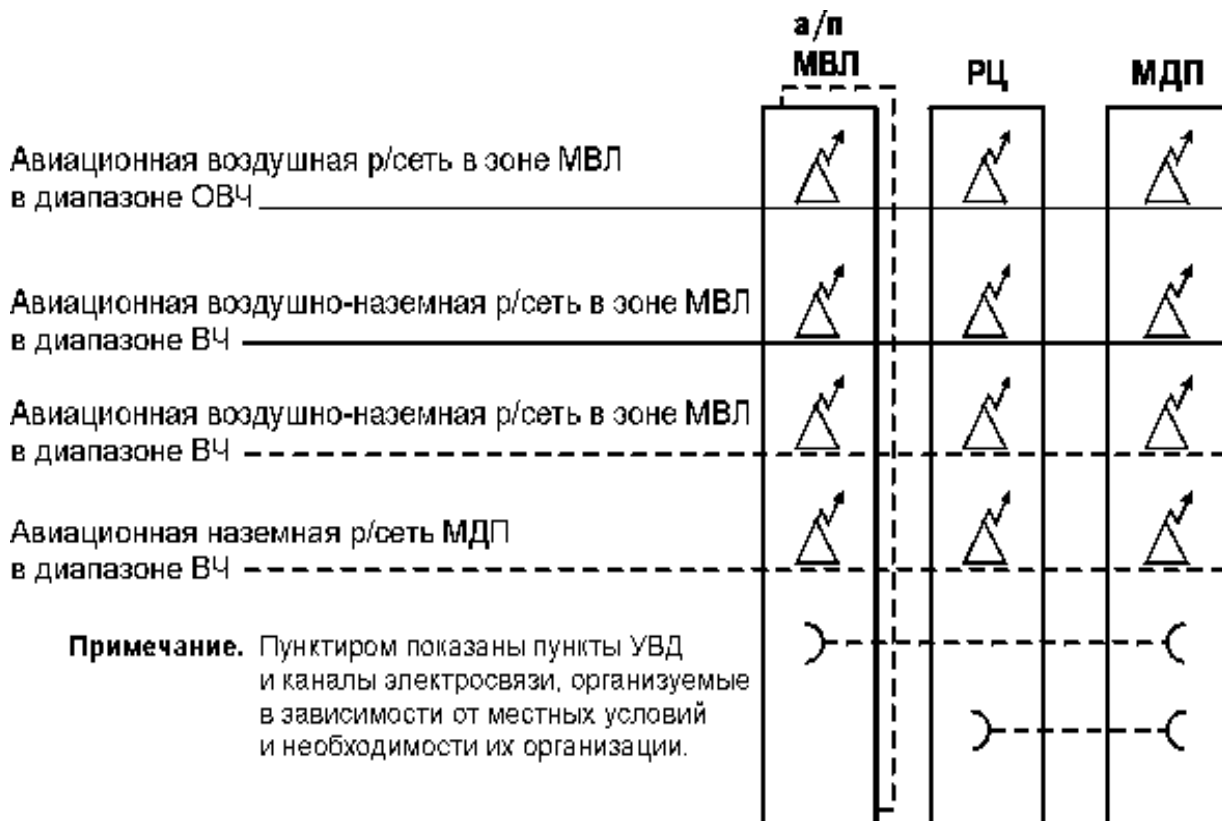


Рис. 1.3. Типовая схема организации авиационной электросвязи МДП

в диапазоне ОВЧ, авиационную воздушно-наземную сеть в зоне МВЛ в диапазоне ВЧ, телефонные и телеграфные каналы связи, которые организуются в зависимости от местных условий.

Организация связи в автоматизированных системах УВД

Системы УВД, в которых часть функций выполняется автоматическими устройствами, а часть – человеком, называют автоматизированными системами (АС) УВД. Эти системы классифицируются в зависимости от назначения (решаемых задач) и района применения. АС УВД различаются по назначению для решения задач:

- 1) организации и планирования;
- 2) оперативного управления и контроля воздушного движения;

3) комбинированные АС УВД, решающие первую и вторую задачи.

По району применения АС УВД делят на:

- районные (трассовые);
- аэроузловые;
- аэродромные;
- комбинированные (районные и аэроузловые);
- комбинированные (аэроузловые и аэродромные).

Для примера на рис. 1.4 представлена схема внешней связи трассового центра АС УВД.

АС УВД является информационно-управляющей системой, поэтому её функционирование основано на обмене информацией между различными элементами. Информация поступает в виде отдельных сообщений с помощью сети связи АС УВД. Эту информацию по признаку функциональной значимости можно разделить на две группы:

- 1) информация по планированию воздушного движения;
- 2) информация по управлению воздушным движением.

Авиационная наземная связь в АС УВД организуется в соответствии с принятой системой обеспечения управления воздушным движением и производственной деятельностью каждого предприятия. Внешняя связь в канале «земля – земля» разделяется на телефонную, телеграфную, передачу данных и, как исключение, радиоканалы.

Телефонные сети взаимодействия организуют по принципу прямых и коммутируемых соединений, используя ведомственные и арендованные каналы связи. Сеть используется для передачи информации о взаимодействии с другими пунктами УВД, пунктами управления других ведомств, метеорологической информации, управления радиостанциями, расположенными на радиолокационных позициях (иногда за сотни километров от пункта АС УВД).

Телеграфная информация передается по авиационной наземной сети передачи данных и телеграфной связи (АНС ПД и ТС), абонентами которой являются все пункты УВД и аэропорты гражданской авиации России, и которая имеет выход на международную авиационную фиксированную сеть телеграфной связи (AFTN). По сети AFTN передаются и обрабатываются сообщения о бедствии, по управлению воздушным движением, метеорологические и др.

Передача данных с радиолокационных позиций в АС УВД осуществляется по аналоговым и цифровым каналам передачи данных, причем количество таких позиций может достигать семи (и более) и располагаться они могут на многие сотни километров от пункта АС УВД. Проводные каналы ПД, как правило, резервируются спутниковыми каналами.

Внутренняя связь АС УВД организуется для связи абонентов внутри центра управления и может включать в себя систему громкоговорящей связи, мини-АТС, радиосети с наземными службами.

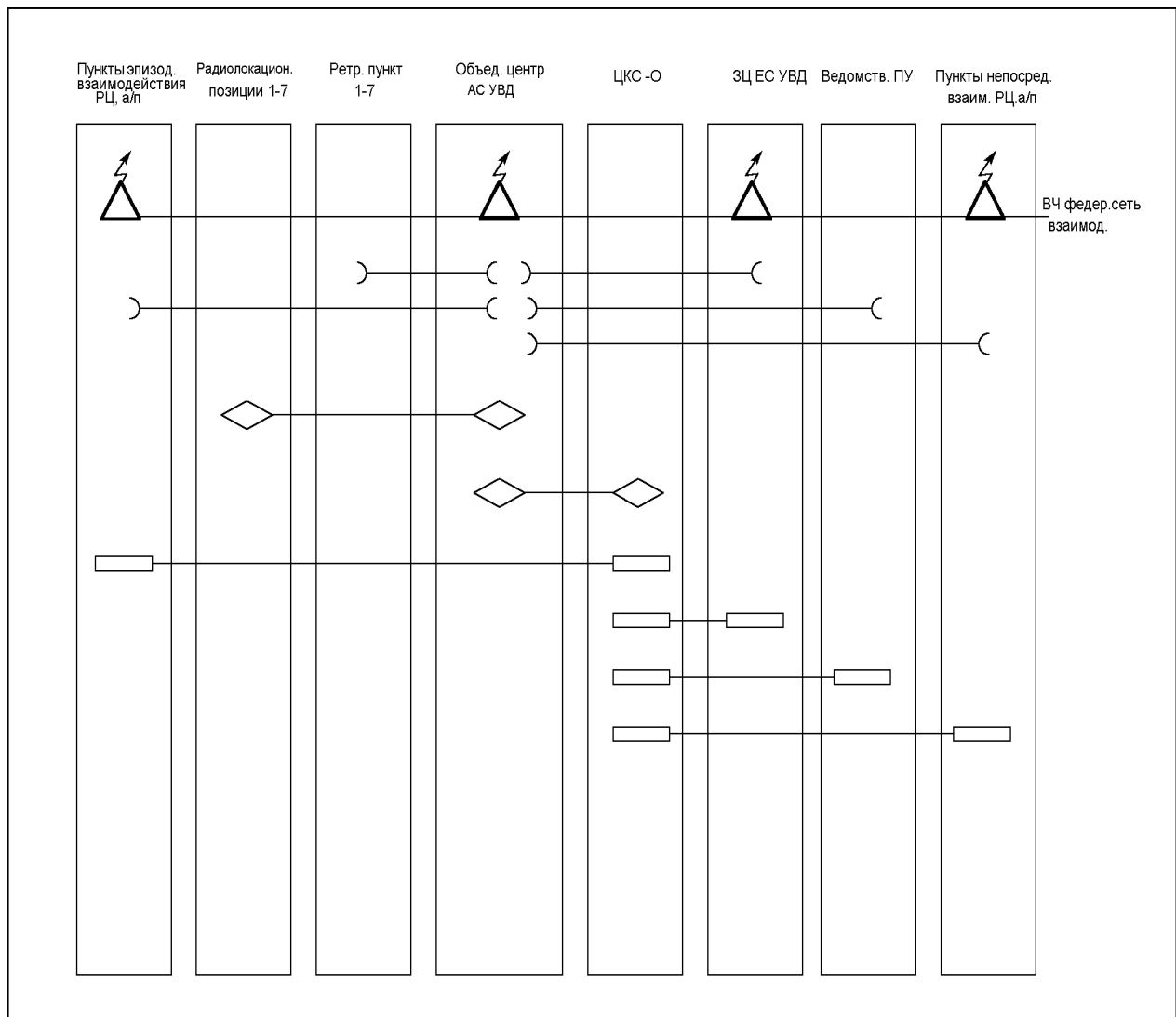


Рис. 1.4. Схема внешней связи трассового центра АС УВД

Внутриаэропортовая электросвязь

Внутриаэропортовая электросвязь предназначена для обеспечения производственной деятельности органов УВД, служб аэропорта, авиакомпаний и их взаимодействия между собой. Сети внутриаэропортовой электросвязи организуются с использованием любых сертифицированных (имеющих сертификат типа оборудования) средств электросвязи и передачи данных, включая сети радиосвязи с подвижными объектами аэропорта, по схемам, разрабатываемым в авиапредприятиях с учетом требований по электромагнитной совместимости на территории аэродрома. Функционально внутриаэропортовая электросвязь обеспечивает:

- возможность оперативного руководства деятельностью органов УВД, служб аэропорта и авиакомпаний в процессе планирования, подготовки и обслуживания рейсов воздушных судов, организации перевозок и обслуживания пассажиров;

- взаимодействие органов УВД и служб аэропорта, оповещение расчетов аварийно-спасательной команды при авиационных происшествиях и инцидентах;
- получение необходимой информации предприятиями, пассажирами и другими лицами, пользующимися услугами воздушного транспорта.

Внутриаэропортовая радиосвязь в предприятиях ГА с подвижными объектами организуется с помощью стационарных, мобильных и носимых радиостанций ОВЧ диапазона малой мощности (до 5 Вт) для обеспечения оперативной связью работников УВД аэропорта и авиакомпаний, занятых обслуживанием пассажиров на перроне и подготовкой воздушных судов, управлением движением спецавтотранспорта, передвижной перронной механизацией и т.п. Для каждой службы аэропорта и авиакомпании организуется отдельная радиосеть с соответствующими радиопозывными.

Порядок присоединения внутриаэропортовых сетей к сетям общего пользования, порядок регулирования пропуска трафика сетей общего пользования и порядок взаимодействия между ведомственными сетями и сетями общего пользования регулируются Федеральным законом о связи и соответствующими Положениями о сетях, к которым осуществляется присоединение.

Другие виды фиксированной электросвязи

Организация связи для обеспечения международных полетов

Электросвязь для обеспечения международных полетов воздушных судов организуется с целью:

- обеспечения речевой связью взаимодействующих центров (пунктов) УВД РФ и зарубежных стран;
- обеспечения передачи аэронавигационной информации и информации по планированию полетов и движению воздушных судов, в т.ч. и экипажам воздушных судов;
- передачи данных;
- передачи метеорологической информации.

Для обеспечения взаимодействия соответствующих центров (пунктов) УВД РФ и зарубежных стран организуются каналы прямой речевой связи между этими центрами. Как правило, для этой цели используются телефонные каналы, арендуемые у АО "Ростелеком", и соответствующего ведомства связи зарубежной страны. При отсутствии возможности организации арендуемого телефонного канала организуется речевой канал другими средствами (радиоканал радиорелейный, спутниковый и т. д.). При этом время установления связи должно быть не более 15 с. В качестве резерва для каналов речевой связи могут использоваться телеграфные каналы AFTN, сеть междугородной телефонной связи общего пользования и другие системы связи.

Аэронавигационная информация и информация по планированию полетов и движению воздушных судов передается по каналам CIDIN/AFTN.

Обмен коммерческой и служебной информацией между авиакомпаниями может осуществляться по каналам сети телеграфной связи и передачи данных международного общества авиационной электросвязи СИТА и по сети международной абонентской телеграфной связи ТЕЛЕКС.

Электросвязь для взаимодействия с органами ВВС

Организация электросвязи центров (пунктов) УВД с органами ВВС осуществляется в соответствии с принципиальной схемой организации связи центров ЕС УВД, принципиальной схемой организации наземной связи и передачи данных в АС УВД. Порядок организации и использования каналов связи между центрами (пунктами) УВД и органами ВВС определяется совместными межведомственными документами. В РЦ (ВРЦ) ЕС УВД и на аэродромах ГА, имеющих каналы связи с ВВС, осуществляются систематические проверки работоспособности каналов и обеспечивается их надежная работа.

Сети передачи данных

Сети передачи данных в гражданской авиации организуются для передачи дискретной информации в следующих автоматизированных системах:

- 1) управления воздушным движением - АС УВД;
- 2) планирования воздушного движения - АС ПВД;
- 3) управления производственно-хозяйственной деятельностью;
- 4) продажи авиабилетов и бронирования мест;
- 5) управления коммерческой деятельностью;
- 6) другие функциональные АСУ.

Для передачи данных могут использоваться:

- сеть авиационной наземной связи передачи данных и телеграфной связи гражданской авиации (АНС ПД и ТС ГА);
- сети и каналы связи других ведомств, юридических и физических лиц.

При разработке и проектировании автоматизированных систем управления типы и количество каналов передачи данных выбираются разработчиком проекта сети передачи данных (СПД) исходя из назначения и структуры АСУ, требований по надежности СПД, а также с учетом необходимости минимальных финансовых затрат.

Сеть авиационной фиксированной телеграфной электросвязи

Сеть авиационной фиксированной телеграфной электросвязи, являясь одной из систем связи авиационной фиксированной службы (АФС), обеспечивает передачу телеграфной информации между пунктами дислокации авиапредприятий, службами и должностными лицами гражданской авиации.

Сеть авиационной фиксированной телеграфной электросвязи гражданской авиации РФ построена в соответствии с требованиями (рекомендациями) международных стандартов и рекомендуемой практики аэронавигационного обслуживания и работает по правилам международной сети авиационной фиксированной электросвязи - AFTN и CIDIN.

Сеть авиационной фиксированной электросвязи ГА организуется по радиально-узловой схеме и состоит из следующих составляющих:

- центра коммутации сообщений федерального уровня (ЦКС-Ф);
- центра коммутации сообщений регионального уровня (ЦКС-Р);
- оконечного центра коммутации сообщений (ЦКС-О);
- оконечных станций (ОС).

Оперативное управление Федеративной сетью осуществляет Московский Центр коммутаций сообщений.

Взаимодействие между ЦКС осуществляется как по каналам передачи данных с использованием различных протоколов (CIDIN, X.25, FR и др.), так и по телеграфным каналам. Взаимодействие ЦКС с абонентами осуществляется формализованными сообщениями по каналам передачи данных и телеграфным каналам.

Количество и тип каналов связи между центрами коммутации зависит от потоков информации, пропускной способности каналов и необходимости обеспечения надежной работы сети авиационной электросвязи.

При отсутствии возможности организации проводных каналов телеграфной связи для передачи телеграфных сообщений организуются каналы спутниковой и радиосвязи.

§ 1.3. Авиационная подвижная электросвязь

Общие требования к авиационной воздушной электросвязи

Авиационная воздушная электросвязь является единственным средством связи диспетчеров службы УВД с экипажами воздушных судов и между экипажами воздушных судов, находящихся в полете.

Она должна обеспечивать следующие функции:

- непосредственное бесперебойное ведение радиотелефонной связи диспетчеров службы движения с экипажами воздушных судов на протяжении всего полета от взлета до посадки;
- ведение радиотелеграфной слуховой связи между диспетчерами службы движения (радиооператорами) и экипажами воздушных судов, находящихся в полете;
- постоянную готовность обмена сообщениями между диспетчерскими пунктами службы движения и экипажами воздушных судов;
- высокое качество связи;
- связь без поиска и подстройки;
- возможность циркулярной передачи сообщений экипажам воздушных судов.

Авиационная воздушная связь организуется в соответствии с принятыми принципами управления воздушным движением Российской Федерации. В каждом авиапредприятии или предприятии по ИВП и УВД на основании принятой структуры организации воздушного движения разрабатывается схема организации авиационной воздушной связи. Для этого используются средства ра-

диосвязи диапазонов ОВЧ, ВЧ, НЧ-СЧ и спутниковой связи. Средства диапазона ВЧ используются для обеспечения дальней связи с экипажами воздушных судов и связи на участках полета, где отсутствует радиосвязь на ОВЧ.

Средства диапазона НЧ-СЧ используются в районах, где не обеспечивается достаточная надежность радиосвязи в диапазоне ВЧ (например, в северных районах страны).

Наличие средств авиационной воздушной электросвязи на каждом диспетчерском пункте службы движения, их радиоданные, режим работы приводятся в Сборниках аэронавигационной информации по воздушным трассам и Сборниках радиосветотехнического обеспечения полетов по МВД, являющихся документами, исполнение которых обязательно для всех экипажей воздушных судов, диспетчеров службы движения и личного состава службы ЭРТОС.

Авиационная воздушная связь должна обладать высокой надежностью. Потеря связи с воздушными судами рассматривается как особый случай в полете. Радиосвязь с воздушным судном считается потерянной, если в течение 5 минут при использовании имеющихся каналов радиосвязи на неоднократные вызовы по каждому из них экипаж (диспетчер) не отвечает.

Для повышения надежности авиационной воздушной электросвязи каждая радиостанция сети резервируется. При необходимости проводятся организационно-технические мероприятия по увеличению дальности и непрерывности радиосвязи с воздушными судами. Таковыми являются:

- организация вынесенных на трассы полетов ретрансляторов диапазона ОВЧ;
- использование высот на местности и высотных сооружений для размещения на них средств радиосвязи диапазона ОВЧ;
- применение средств радиосвязи диапазона ОВЧ повышенной мощности и специальных антенных систем;
- внедрение в эксплуатацию новых средств радиосвязи и спутниковой связи;
- организации ВЧ каналов для передачи указаний диспетчеров и сообщений экипажей при отказах ОВЧ каналов (их отсутствии) или нарушении непрерывности радиосвязи.

При организации авиационной воздушной электросвязи необходимо учитывать:

- тактико-технические данные применяемых радиотехнических средств;
- электромагнитную совместимость применяемых радиотехнических средств;
- частотный диапазон применяемых радиотехнических средств;
- условия прохождения радиоволн (ионосферные атмосферные, промышленные и другие электрические помехи);
- возможность проведения организационно-технических мероприятий по совершенствованию авиационной воздушной электросвязи в процессе ее работы.

Электросвязь в районе аэродрома

Авиационная воздушная электросвязь в районе аэродрома организуется в соответствии с принятой для данного аэродрома схемой управления воздушным движением и осуществляется с использованием средств радиосвязи в диа-

пазоне ОВЧ. Для обеспечения управления воздушным движением и связи в районе аэродрома могут быть организованы следующие радиосети:

- подхода (по количеству секторов);
- круга;
- взлета и посадки;
- руления;
- аварийно-спасательная (общая для всех пунктов УВД);
- ATIS;
- WOLMET.

При использовании аэродромов РФ в качестве запасных воздушными судами всех ведомств управление полетами в районе аэродрома на этапах взлета, набора высоты, маневра для захода на посадку осуществляется с применением единых методов УВД, технологии работы и фразеологии радиообмена. С этой целью на аэродромах гражданской авиации класса А, Б и В, используемых в качестве запасных, а также на аэродромах совместного базирования и совместного использования дополнительно организуется единая командно-стартовая радиосвязь в диапазоне ОВЧ на частоте 124,0 МГц.

Объединение радиосетей руления, взлета и посадки, круга осуществляется службой движения в зависимости от принятой схемы управления воздушным движением и интенсивности движения воздушных судов с обязательной записью в Инструкции по производству полетов для данного аэродрома и в Сборниках аэронавигационной информации. В этих случаях назначается единая частота радиосвязи.

Типовая схема организации авиационной воздушной связи для УВД в районе аэродрома приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1



Диапазон	Услов. обозн.	Принадлежность	Назв. р/сети
ОВЧ	F-7 / I-III	ДПП-1,2,3	Подход (1,2,3)
ОВЧ	F-5 / I-I	ДПК	Круг
ОВЧ	F-5 / I-II	СДП, КДП МВЛ	Взлет, посадка
ОВЧ	F-5 / I-II	ПДП	Посадка
ОВЧ	F-4	ДПР, СДП	Руление
ОВЧ	F-9 / I	ДПП, ДПР	Спец.связь
ОВЧ	F-8	ДПП	Аварийн.спасат.
ОВЧ	F-20	АМСГ	Метеовещание

Организация авиационной воздушной электросвязи на воздушных трассах

Электросвязь на местных воздушных линиях

Обеспечение управления воздушным движением на местных воздушных трассах и линиях (МВЛ) осуществляется средствами радиосвязи в диапазонах ОВЧ, ВЧ, НЧ - СЧ. Основными средствами обеспечения управления воздушным движением на воздушных трассах и МВЛ являются средства радиосвязи того диапазона, которые обеспечивают управление на всю глубину полета воздушного судна в данных конкретных условиях. Для решения этой задачи организуются следующие радиосети:

- для управления в зоне РЦ (по числу секторов) в диапазоне ОВЧ;
- воздушная связь в зоне РЦ в диапазоне ВЧ (при отсутствии перекрытия ОВЧ полем);
- дальняя связь в диапазоне ВЧ;
- аварийно-спасательная связь в диапазоне ОВЧ.

Типовая схема организации авиационной воздушной радиосвязи для УВД и связи на воздушных трассах и районах МДП приведена в табл. 1.2.

Таблица 1.2



Диапазон	Услов. обозн.	Принадлежность	Назв. р/сети
ОВЧ	F-15/ I-IX	РЦ, ВРЦ	Зона РДС
ВЧ	F-16/ I-IX	РЦ	Круг
ВЧ	F-17/ I-III	ЦРОС ГА	Дальняя р/связь
ОВЧ	F-25	РЦ, ВРЦ	Спец.связь
ОВЧ	F-8	РЦ, ВРЦ	Аварийн.спасат.
ВЧ	F-8/ I	РЦ, ВРЦ	Аварийн.спасат.
ВЧ	F-21/I-III	РЦ, АМСГ	Метеовещание
ОВЧ	F-28	ПДСП	Информ.ПДСП
ОВЧ	F-30	РЦ	Резервн.РЦ

Количество радиосетей диапазона ОВЧ для управления в зоне РЦ определяется количеством секторов УВД, организуемых в зоне данного РЦ. Для обеспечения непрерывности управления воздушным движением по всей зоне РЦ с учетом особенностей распространения метровых радиоволн организуется несколько ОВЧ ретрансляторов, управление которыми должно осуществляться непосредственно диспетчером РЦ. Работа ОВЧ ретрансляторов производится

на частотах радиостанции диспетчера РЦ и по методу смещенных несущих частот (метод семейства частот).

Радиосети дальней связи диапазона ВЧ организуются для связи с экипажами воздушных судов, выполняющих дальние специальные и международные полеты.

Радиоканалы передачи информации в диапазоне ОВЧ организуются для связи между экипажами воздушных судов, авиакомпаниями (в целях получения необходимой коммерческой информации) и авиационно-техническими базами (для получения информации о состоянии материальной части воздушного судна, заявок о дополнительной заправке ГСМ, замене отдельных частей).

Для управления воздушным движением в высокоширотных районах, где не обеспечивается достаточная надежность радиосвязи в диапазоне ВЧ, организуются радиосети в диапазоне НЧ - СЧ.

Для обеспечения управления воздушным движением и связи на местных воздушных линиях и районах аэродромов МВЛ используются следующие сети:

- УВД и связи на МВЛ;
- УВД в районе аэродрома МВЛ;
- связи с аэропортами МВЛ.

Эти сети организуются на отдельных частотах для каждого МДП. Количество применяемых частот обеспечивает работу каждого пункта УВД без взаимных помех. Радиосети УВД в зоне МВЛ могут использоваться для авиационной фиксированной наземной радиосвязи между диспетчерскими пунктами службы движения.

Электросвязь на международных воздушных трассах

За организацию авиационной подвижной службы для обеспечения полетов на международных воздушных трассах несут ответственность государства, над территорией которых проходят участки воздушных трасс. Данные о работе средств авиационной подвижной службы указываются в Сборниках аэронавигационной информации по международным воздушным трассам.

Для обеспечения полетов по этим трассам за пределами Российской Федерации организуются каналы дальней радиосвязи в ВЧ диапазоне и подвижной спутниковой службы.

Другие виды подвижной электросвязи

Электросвязь при выполнении авиационных работ

Организация авиационной электросвязи при выполнении авиационных работ должна соответствовать характеру выполняемых задач по обеспечению управления полетами воздушных судов. Для этого используются действующие сети (каналы) электросвязи. При необходимости организуются отдельные сети (каналы) электросвязи путем создания постоянных или временных (мобильных) узлов связи, а также аренды или абонирования каналов других ведомств.

Электросвязь при проведении аварийно-спасательных и поисково-спасательных работ

Аварийные радиосети организуются для обеспечения связью экипажей воздушных судов с диспетчерскими пунктами УВД и океанскими судами при возникновении особых случаев в полете. В этих случаях радиосвязь осуществляется на частотах международной аварийно-спасательной службы 121,5 МГц и 2182 кГц. В целях своевременного оказания помощи экипажам и пассажирам воздушных судов, терпящих бедствие, в аэропортах гражданской авиации 1, 2 и 3 классов частота 121,5 прослушивается круглосуточно.

Аварийные радиосети используются только в строго определенных случаях:

- затруднения передачи по основной радиосети;
- необходимости установления связи между воздушными судами, совершившими вынужденную посадку, и воздушным судном, занятым поисково-спасательными операциями;
- необходимости обеспечения работы бортовых радиомаяков;
- при потере связи на основной радиосети.

Для обеспечения связи между воздушными судами, а также между воздушными судами и наземными службами, занятыми поисково-спасательными работами, организуется дополнительная радиосеть на частоте 123,1 МГц, переход на которую производится после установления связи на частоте международной спасательной службы 121,5 МГц.

Вызов в случае бедствия имеет абсолютный приоритет перед всеми другими передачами. Все корреспонденты радиосети, слышащие сигнал бедствия, продолжают слушать его до тех пор, пока не убедятся, что это сообщение принято одной из служб УВД. Всем станциям запрещается работать на частотах, на которых происходит обмен в случае бедствия, до получения сообщения, указывающего о возобновлении обычной работы. Любая радиостанция сети, принимающая сообщение о бедствии, обязана оказать помощь в установлении связи между экипажем и диспетчерами службы движения.

Электросвязь при использовании автоматизированного обмена данными

Система автоматизированного обмена данными с воздушными судами (САОД) «воздух-земля» предназначена для скоростного обмена информацией с пунктами УВД, ПДСП и другими службами о местонахождении воздушного судна, условиях полета, состоянии материальной части и др. в форме стандартизированных сообщений и воспроизводимых на дисплейных и печатающих устройствах. САОД «воздух-земля» не заменяет каналов оперативной радиотелефонной связи с воздушными судами, а является вспомогательной системой связи, предназначенной для сокращения объема и времени речевого обмена между экипажами воздушных судов и диспетчерскими службами аэропортов базирования РЦ, ПДСП, АТБ. Для работы САОД «воздух-земля» выделяются отдельные частотные каналы в диапазонах ОВЧ и ВЧ.

Спутниковая электросвязь

Спутниковая электросвязь организуется для обеспечения взаимодействия центров УВД, центров коммутации сообщений, передачи телеграфных сообщений, а также для обеспечения связи центров УВД с воздушными судами.

Спутниковая электросвязь используется, как правило, в районах страны, где использование традиционных средств радиосвязи затруднено или невозможно. Она может быть организована путем: аренды спутниковых каналов связи; создания локальных систем; создания региональных систем; создания ведомственной системы спутниковой связи ГА.

§ 1.4. Радиовещательные передачи

Радиовещательные передачи метеорологической и полетной информации являются одним из условий, обеспечивающих безопасность и регулярность воздушного движения. Для этого организуются специальные сети радиовещания.

Для оперативного обеспечения экипажей воздушных судов в районе аэродрома полетной и метеорологической информацией на аэродромах классов А, Б, В, Г, Д организуются радиовещательные сети ATIS для прилетающих и вылетающих воздушных судов. Автоматическое аэродромное метеовещание АТИС осуществляется циклично и непрерывно открытым текстом без сокращений со скоростью не более 90 слов/мин. Метеоинформация АТИС обновляется не реже чем через 30 мин. В случае возникновения опасных явлений и при изменении рабочего направления ВПП, состояния ее поверхности и коэффициента сцепления предусматривается внеочередная смена транслируемых сообщений. Программа передач АТИС содержит все множество сведений, необходимых экипажу для выполнения посадки или взлета. Она включает название аэродрома, наименование функции, выполняемой данным каналом АТИС (информация для прибытия, информация для вылета), время наблюдения (при передаче на английском языке – всемирное скоординированное UTC, на русском – московское), вид предполагаемого захода на посадку, используемые ВПП, особые условия на поверхности ВПП и коэффициент сцепления, задержку в зоне ожидания, эшелон перехода, скорость и направление ветра, дальность и видимость на ВПП, погоду на аэродроме, высоту нижней границы облаков, температуру воздуха и точку росы, данные для установки высотомера и т.п.

Для обеспечения экипажей воздушных судов, находящихся в полете, метеорологической информацией организуются радиовещательные передачи ВОЛМЕТ в диапазонах ОВЧ и ВЧ. С целью обеспечения надежного приема информации радиовещательных передач WOLMET в диапазоне ВЧ в пределах 1500 – 3000 км эти сети работают одновременно на нескольких частотах. Вещание осуществляется на русском и английском языках открытым текстом. Программой предусмотрено вещание следующих данных: позывной канала, время наблюдения, позывной аэропорта, ветер у земли, видимость огней высо-

кой и малой интенсивности, явления погоды, количество облаков нижнего яруса, форма облаков, высота нижней границы облачности и т.п.

Для обеспечения метеорологической информацией экипажей международных аэропортов и воздушных трасс организуются радиовещательные передачи на английском языке по правилам ИКАО.

Глава II. Компьютерные сети

§ 2.1. Роль компьютерных сетей в мире телекоммуникаций

Компьютерные сети, называемые также вычислительными сетями или сетями передачи данных, являются логическим результатом эволюции двух важнейших научно-технических отраслей современной цивилизации – компьютерных и телекоммуникационных технологий. С одной стороны, сети представляют собой частный случай распределенных вычислительных систем, в которых группа компьютеров выполняет набор взаимосвязанных задач, обмениваясь данными в автоматическом режиме. С другой стороны, компьютерные сети могут рассматриваться как средство передачи информации на большие расстояния, для чего в них применяются методы кодирования и мультиплексирования данных, получившие развитие в различных телекоммуникационных системах.

Эволюция вычислительных систем

Локальные сети (Local Area Network, LAN) – это объединение компьютеров, сосредоточенных на небольшой территории, обычно в радиусе 1-2 км, хотя в отдельных случаях локальная сеть может иметь и более протяженные размеры, например в несколько десятков километров. В общем случае локальная сеть представляет собой коммуникационную систему, принадлежащую одной организации. В середине 80-х годов утвердились стандартные технологии объединения компьютеров в сеть – Ethernet, Arcnet, Token Ring, Token Bas, несколько позже FDDI. Мощным стимулом для их появления послужили персональные компьютеры, они явились идеальными элементами для построения сетей – с одной стороны, они были достаточно мощными для работы сетевого программного обеспечения, а с другой – явно нуждались в объединении своей вычислительной мощности для решения сложных задач, а также разделения дорогих периферийных устройств и дисковых массивов. Поэтому персональные компьютеры стали преобладать в локальных сетях, причем не только в качестве клиентских компьютеров, но и в качестве центров хранения и обработки данных, т. е. сетевых серверов. Все стандартные технологии локальных сетей опираются на принцип коммутации пакетов. Конец 90-х гг. выявил явного лидера среди технологий локальных сетей – семейство Ethernet, в которое вошли классическая технология Ethernet 10Мбит/с, а также Fast Ethernet 100Мбит/с и Gigabit

Ethernet 1000Мбит/с. Простые алгоритмы работы, широкий диапазон иерархии скоростей позволяют рационально строить локальную сеть Ethernet в соответствии с потребностями пользователя.

Глобальные сети (Wide Area Networks, WAN) - сети, объединяющие территориально рассредоточенные компьютеры, возможно находящиеся в различных городах и странах. При их построении были отработаны многие основные идеи и концепции построения современных вычислительных сетей, а именно, многоуровневое построение коммуникационных протоколов, технология коммутации пакетов, маршрутизация пакетов в составных сетях. Выделяемый на время сеанса связи составной канал с постоянной скоростью не мог эффективно использоваться пульсирующим трафиком компьютерных данных, у которого периоды интенсивного обмена чередуются с продолжительными паузами. Натурные эксперименты и математическое моделирование показали, что пульсирующий и в значительной степени не чувствительный к задержкам компьютерный трафик гораздо эффективней передается сетями, использующими принцип коммутации пакетов, когда данные разделяются на небольшие порции – пакеты, которые самостоятельно перемещаются по сети за счет встраивания адреса узла в заголовок пакета.

Так как прокладка высококачественных линий связи на большие расстояния обходится очень дорого, то в глобальных сетях часто используются уже существующие каналы связи, изначально предназначенные совсем для других целей. Например, в течение многих лет глобальные сети строились на основе телефонных каналов тональной частоты, способных в каждый момент времени вести передачу только одного разговора в аналоговой форме. Поскольку скорость передачи дискретных компьютерных данных по таким каналам была очень низкой (десятки килобит в секунду), набор предоставляемых услуг в глобальных сетях такого типа обычно ограничивался передачей файлов, преимущественно в фоновом режиме, и электронной почтой. Помимо низкой скорости такие каналы имели и другой недостаток – они вносят значительные искажения в передаваемый сигнал. Поэтому протоколы глобальных сетей, построенных с использованием каналов связи низкого качества, отличаются сложными процедурами контроля и восстановления данных. Типичным примером таких сетей являются сети X.25.

Прогресс глобальных компьютерных сетей во многом определялся прогрессом телефонных сетей. Применение в телефонных сетях цифровой формы передачи голоса привело к появлению высокоскоростных цифровых каналов, соединяющих АТС и позволяющих одновременно передавать десятки и сотни разговоров. Была разработана специальная технология плезиохронной цифровой иерархии (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDN), предназначенная для создания так называемых первичных или опорных сетей. Такие сети не представляют услуг конечным пользователям, они являются фундаментом, на котором строятся скоростные цифровые каналы «точка-точка», соединяющие оборудование другой сети, которая уже работает на конечного пользователя. Техноло-

гия PDN поддерживает скорости до 140Мбит/с. Появившаяся в конце 80-х годов технология синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy, SDN) расширила диапазон скоростей цифровых каналов до 10Гбит/с, а технология спектрального мультиплексирования (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM) – до сотен гигабит и даже нескольких терабит в секунду.

Конвергенция сетей

Сближение локальных и глобальных сетей

В конце 80-х гг. между локальными и глобальными сетями существовали следующие отличия:

1. Протяженность и качество линий связи.

Локальные компьютерные сети по определению отличаются от глобальных сетей небольшими расстояниями между узлами сети. Это в принципе делает возможным использование в локальных сетях более качественных линий связи.

2. Сложность методов передачи данных.

В условиях низкой надежности физических каналов в глобальных сетях требуются более сложные, чем в локальных сетях методы передачи данных и оборудование.

3. Скорость обмена данными.

В локальных сетях это величина от 10,16Мбит/с до 100Мбит/с в то время как в глобальных - от 2,4Кбит/с до 2Мбит/с.

4. Разнообразиие услуг.

Высокие скорости обмена данными породили в локальных сетях широкий набор услуг – это различные виды услуг файловой службы, услуг печати, услуг баз данных, электронная почта и др., в то время как глобальные сети в основном предоставляли почтовые услуги и иногда файловые услуги с ограниченными возможностями.

5. Масштабируемость.

«Классические» локальные сети обладают плохой масштабируемостью из-за жесткости базовых топологий, определяющих способ подключения станции и длину линии. При этом характеристики сети резко ухудшаются при достижении определенного предела по количеству узлов или протяженности линий связи. Глобальным сетям присуща хорошая масштабируемость, так как они изначально разрабатывались в расчете на работу с произвольными топологиями и сколь угодно большим количеством абонентов.

Постепенно различия между локальными и глобальными типами сетевых технологий стали сглаживаться. Тесная интеграция локальных и глобальных сетей привела к значительному взаимопроникновению соответствующих технологий. Сближение в методах передачи данных происходит на платформе цифровой (немодулированной) передачи данных по волоконно-оптическим линиям связи. Эту среду передачи данных используют практически все технологии локальных сетей для скоростного обмена информацией на расстояниях вы-

ше 100 м, на ней же построены современные магистрали первичных сетей SDN и DWDM, предоставляющие свои цифровые каналы для объединения оборудования глобальных сетей. Высокое качество цифровых каналов изменило требование к протоколам глобальных сетей. На первый план вместо процедур обеспечения надежности вышли процедуры обеспечения гарантированной средней скорости доставки информации пользователям, а также механизмы приоритетной обработки пакетов особенно чувствительного к задержкам трафика, например, голосового. Эти изменения нашли отражение в новых технологиях глобальных сетей, таких как “FR” и ATM. В этих сетях предполагается, что искажения битов происходят настолько редко, что ошибочный пакет выгоднее просто уничтожить, а все проблемы, связанные с его потерей, перепоручить программному обеспечению более высокого уровня, которое непосредственно не входит в состав сетей “FR” и ATM.

Большой вклад в сближение локальных и глобальных сетей внесло доминирование протокола IP. Этот протокол сегодня используется поверх любых технологий локальных и глобальных сетей – Ethernet, Token Ring, ATM, “FR” – для создания из различных подсетей единой составной сети. Глобальные сети, работающие на основе скоростных цифровых каналов, существенно расширили набор своих услуг и догнали в этом локальные сети. Стало возможным создание служб, работа которых связана с доставкой пользователю больших объемов информации в реальном времени – изображений, видеофильмов, голоса и т.д.

В локальных сетях, как и в глобальных, в последнее время уделяется большое внимание методам обеспечения защиты информации от несанкционированного доступа. Это обусловлено тем, что локальные сети перестали быть изолированными, чаще всего они имеют выход в глобальную сеть. Защита локальных сетей часто строится на тех же методах – шифрование данных, аутентификация и авторизация пользователей.

И, наконец, появляются новые технологии, изначально предназначенные для обоих видов сетей. Ярким представителем нового поколения технологий является технология ATM, которая может служить основой как глобальных, так и локальных сетей, эффективно объединяя все виды трафика в одной транспортной сети.

Конвергенция компьютерных и телекоммуникационных сетей

В настоящее время вычислительная техника нашла широкое применение в устройствах и системах связи. Применение вычислительной техники позволяет перейти к качественно новому этапу развития радиоэлектроники и связи в отношении принципов построения и используемой элементной базы. Принципы построения устройств и систем связи аналогичны принципам построения вычислительных систем. Компьютерные сети, называемые также вычислительными сетями или сетями передачи данных, являются результатом эволюции компьютерных и телекоммуникационных технологий. С одной стороны, сети представляют собой частный случай распределенных вычислительных систем, в которых группа компьютеров согласованно выполняет набор взаимосвязан-

ных задач, обмениваясь данными в автоматическом режиме. С другой стороны, компьютерные сети могут рассматриваться как средство передачи информации на большие расстояния, для чего в них применяются методы кодирования и мультиплексирования данных, получившие развитие в различных телекоммуникационных системах.

К телекоммуникационным сетям, кроме компьютерных, относятся телефонные сети, радиосети и телевизионные сети. В них в качестве ресурса, предоставляемого клиентам, выступает информация.

Телефонные сети оказывают интерактивные услуги, так как два абонента, участвующие в разговоре (или несколько абонентов, если это конференция) непрерывно проявляют активность.

Радиосети и телевизионные сети оказывают широкоэмитательные услуги, при этом информация может распространяться как в одну сторону – из сети к абонентам, по схеме "один ко многим", так и может быть двухсторонней (радиосети).

Конвергенция телекоммуникационных сетей идет по многим направлениям. Прежде всего, наблюдается сближение видов услуг, предоставляемых клиентам. Первая попытка создания универсальной, так называемой мультисервисной сети, способной оказывать различные услуги телефонии и передачи данных, привела к появлению цифровых сетей с интегральными услугами – ISDN. Технологическое сближение сетей происходит на основе цифровой передачи информации различного типа, метода коммутации пакетов и программирования услуг. Телефония уже давно сделала ряд шагов навстречу компьютерным сетям, прежде всего за счет представления голоса в цифровой форме, что делает принципиально возможным передачу телефонного и компьютерного трафика по одним и тем же цифровым каналам. Телефонные сети широко используют комбинацию методов коммутации каналов и пакетов. Так, для передачи служебных сообщений (так называемой сигнализации) применяются протоколы коммутации пакетов, аналогичные протоколам компьютерных сетей, а для передачи собственно голоса между абонентами коммутируется традиционный составной канал.

Дополнительные услуги телефонных сетей, такие как переадресация вызова, конференц-связь, телеголосование и др., могут создаваться с помощью так называемой интеллектуальной сети, по своей сути являющейся компьютерной сетью с серверами, на которых программируется логика услуг.

Сегодня пакетные методы коммутации постепенно теснят традиционные для телефонных сетей методы коммутации каналов даже при передаче голоса. На основе метода коммутации пакетов можно более эффективно использовать пропускную способность каналов связи и коммутационного оборудования. Например, паузы в телефонном разговоре могут составлять 40% общего времени соединения, однако только пакетная коммутация позволяет "вырезать" паузы и использовать высвободившуюся пропускную способность канала для передачи трафика других абонентов.

Использование коммутации пакетов для одновременной передачи через пакетные сети разнородного трафика – голоса, видео и текста – сделало актуальным разработку новых методов обеспечения требуемого качества обслуживания (Quality of Service, QoS). Методы QoS призваны минимизировать уровень задержек для чувствительного к ним трафика, например, голосового, и одновременно гарантировать среднюю скорость и динамичную передачу пульсаций для трафика данных.

§ 2.2. Простейший случай сети из двух компьютеров

Наиболее простым случаем связи двух устройств является их непосредственное соединение физическим каналом, называемое связью «точка-точка».

Взаимодействие двух компьютеров

В самом простом случае связь компьютеров может быть реализована с помощью тех же самых средств, которые используются для связи компьютера с периферией, например, через последовательный интерфейс RS-232C. При этом, в отличие от процедуры обмена данными компьютера с периферийным устройством, когда программа работает, как правило, только с одной стороны (со стороны компьютера), здесь происходит взаимодействие двух программ, выполняемых на каждом из компьютеров.

Программа, работающая на одном компьютере, не может получить непосредственный доступ к ресурсам другого компьютера - его дискам, файлам, принтеру. Она может только «попросить» об этом другую программу, выполняемую на том компьютере, которому принадлежат эти ресурсы. Эти «просьбы» выражаются в виде сообщений, передаваемых по каналам связи между компьютерами. Сообщения могут содержать не только команды на выполнение некоторых действий, но и собственно информационные данные (например, содержимое некоторого файла).

Рассмотрим случай, когда пользователю, работающему с текстовым редактором на персональном компьютере А, нужно прочитать часть некоторого файла, расположенного на диске персонального компьютера В (рис. 2.1). Предположим, что мы связали эти компьютеры по кабелю через СОМ-порты, которые, как известно, реализуют интерфейс RS-232C (такое соединение часто называют нуль-модемным). Пусть для определенности компьютеры работают под управлением MS-DOS, хотя принципиального значения в данном случае это не имеет.

Драйвер СОМ-порта вместе с контроллером СОМ-порта работают примерно так же, как и в случае взаимодействия ПУ с компьютером. Однако при этом роль устройства управления ПУ выполняют контроллер и драйвер СОМ-порта другого компьютера. Вместе они обеспечивают передачу по кабелю между компьютерами одного байта информации. (В «настоящих» локальных сетях подобные функции передачи данных в линию связи выполняются сетевыми адаптерами и их драйверами.)

Драйвер компьютера В периодически опрашивает признак завершения приема, устанавливаемый контроллером при правильно выполненной передаче данных, и при его появлении считывает принятый байт из буфера контроллера в оперативную память, делая его тем самым доступным для программ компьютера В. В некоторых случаях драйвер вызывается асинхронно, по прерываниям от контроллера. Аналогично реализуется и передача байта в другую сторону — от компьютера В к компьютеру А.

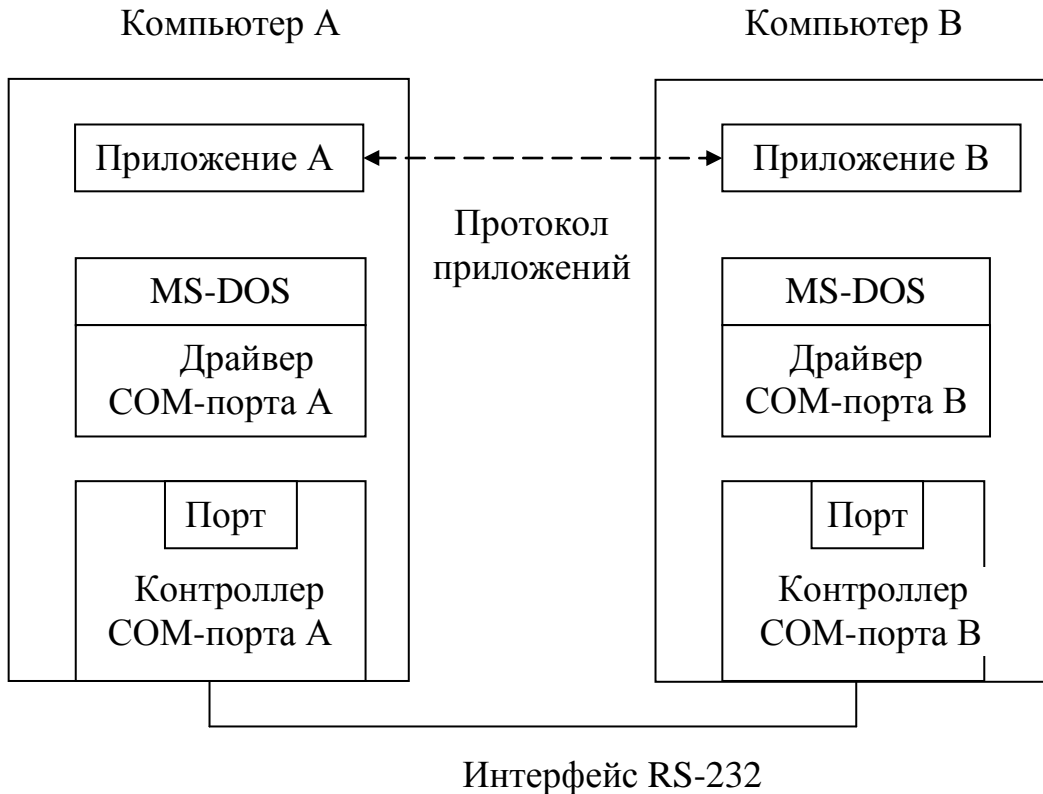


Рис. 2.1. Взаимодействие двух компьютеров

Таким образом, в распоряжении программ компьютеров А и В имеется средство для побайтового обмена данными. Рассматриваемая в нашем примере задача значительно сложнее, так как, во-первых, нужно получить из удаленного компьютера не отдельный байт, а определенную часть заданного файла, во-вторых, эти данные находятся не в оперативной памяти этого компьютера, а на его периферийном устройстве. Все связанные с этим дополнительные проблемы должны решить программы более высокого, чем драйверы СОМ-портов, уровня. Для определенности назовем такие программы компьютеров А и В приложением А и приложением В соответственно.

Итак, приложение А должно сформировать сообщение-запрос для приложения В. В запросе необходимо указать имя файла, тип операции (в данном случае - чтение), смещение и размер области файла, содержащей нужные данные. Это сообщение помещается в буфер в оперативной памяти.

Чтобы передать данный запрос удаленному компьютеру В, приложение А обращается к драйверу СОМ-порта собственного компьютера и сообщает ему

адрес буфера, в котором находится сообщение. Затем по только что описанной схеме драйвер и контроллер СОМ-порта А, взаимодействуя с драйвером и контроллером СОМ-порта В, передают сообщение байт за байтом приложению В.

Приложение В, получив сообщение, обращается к периферийному устройству, например, дисководу. Считанные с дисковода данные приложение В помещает в буферную область оперативной памяти, а далее с помощью драйвера СОМ-порта передает их по каналу связи в компьютер А, где они и попадают к приложению А.

Описанные функции приложения А могла бы выполнить сама программа текстового редактора. Однако не рационально включать эти функции в состав различных приложений (текстовых редакторов, графических редакторов, систем управления базами данных и др.), пользователи которых могут иметь потребность в доступе к удаленным файлам (хотя существует большое количество программ, которые действительно самостоятельно решают все задачи по межмашинному обмену данными, например, Kermit, программа обмена файлами через СОМ-порты, реализованная для различных ОС, Norton Commander 3.0 с функцией Link и др.). Гораздо выгоднее создать специальный программный модуль, который будет выполнять функции формирования сообщений-запросов к удаленной машине и приема результатов для всех приложений. Как уже было ранее сказано, такой служебный модуль называется клиентом. На стороне же компьютера В должна работать другая специализированная программа - сервер, постоянно ожидающая прихода запросов на удаленный доступ к файлам, расположенным на дисковом устройстве этого компьютера.

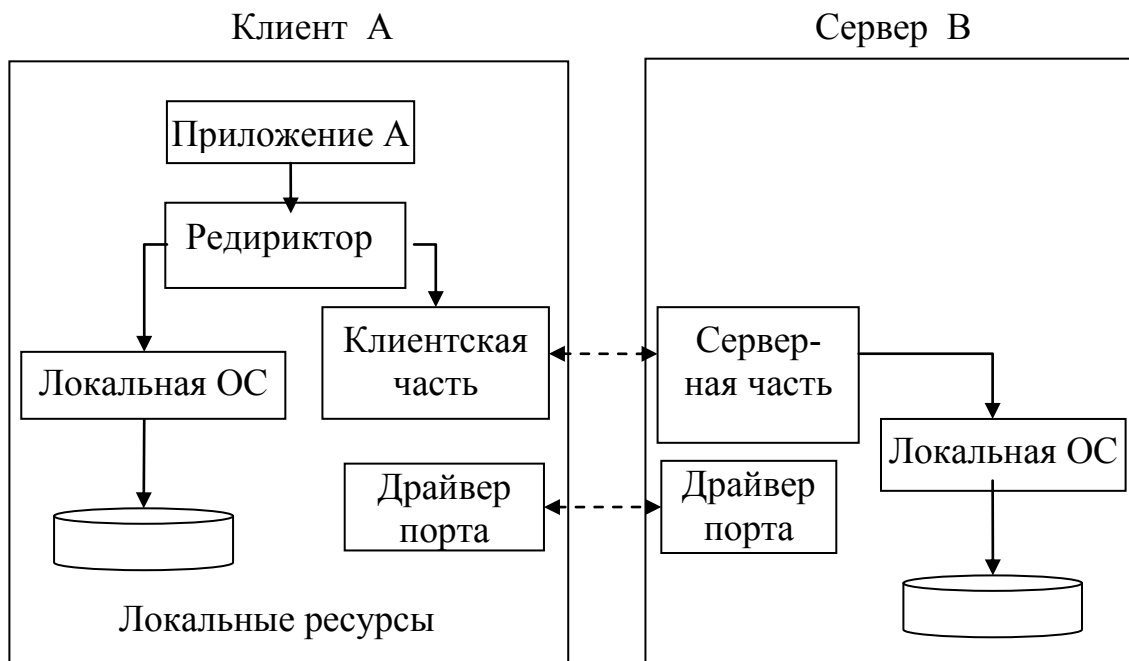


Рис. 2.2. Взаимодействие программных компонентов при связи двух компьютеров

Сервер, приняв запрос из сети, обращается к локальному файлу, возможно, с участием локальной ОС. Очень удобной и полезной функцией клиентской

программы является способность отличить запрос к удаленному файлу от запроса к локальному файлу. Если клиентская программа умеет это делать, то приложения не должны заботиться о том, с каким файлом они работают (локальным или удаленным), клиентская программа сама распознает и с помощью редириктора перенаправляет запрос к удаленной машине. Иногда функции распознавания выделяются в отдельный программный модуль, в этом случае редириктором называют не всю клиентскую часть, а только этот модуль.

Программные клиент и сервер выполняют системные функции по обслуживанию запросов всех приложений компьютера А на удаленный доступ к файлам компьютера В. Чтобы приложения компьютера В могли пользоваться файлами компьютера А, описанную схему нужно симметрично дополнить клиентом для компьютера В и сервером для компьютера А.

Схема взаимодействия клиента и сервера с приложениями и локальной операционной системой приведена на рис. 2.2. Несмотря на то, что рассмотрена очень простая схема связи только двух компьютеров, функции программ, обеспечивающих доступ к удаленным файлам, во многом совпадают с функциями модулей сетевой операционной системы, работающей в сети с более сложными аппаратными связями компьютеров.

Задача передачи данных по линии связи

Даже при рассмотрении простейшей сети, состоящей всего из двух компьютеров, можно увидеть многие проблемы, присущие любой вычислительной сети, в том числе проблемы, связанные с физической передачей сигналов по линиям связи.

В вычислительной технике для представления данных используется двоичный код. Внутри компьютера единицам и нулям данных соответствуют дискретные электрические сигналы. Представление данных в виде электрических или оптических сигналов называется кодированием. Существуют различные способы кодирования двоичных цифр 1 и 0, например, потенциальный способ, при котором единице соответствует один уровень напряжения, а нулю — другой, или импульсный способ, когда для представления цифр используются импульсы различной или одной полярности.

Аналогичные подходы могут быть использованы для кодирования данных и при передаче их между двумя компьютерами по линиям связи. Однако эти линии связи отличаются по своим электрическим характеристикам от тех, которые существуют внутри компьютера. Главное отличие внешних линий связи от внутренних состоит в их гораздо большей протяженности, а также в том, что они проходят вне экранированного корпуса по пространствам, зачастую подверженным воздействию сильных электромагнитных помех. Все это приводит к существенно большим искажениям прямоугольных импульсов (например, «заваливанию» фронтов), чем внутри компьютера. Поэтому для надежного распознавания импульсов на приемном конце линии связи при передаче данных внутри и вне компьютера не всегда можно использовать одни и те же скорости

и способы кодирования. Например, медленное нарастание фронта импульса из-за высокой емкостной нагрузки линии требует передачи импульсов с меньшей скоростью (чтобы передний и задний фронты соседних импульсов не перекрывались и импульс успел дорасти до требуемого уровня).

В вычислительных сетях применяют как потенциальное, так и импульсное кодирование дискретных данных, а также специфический способ представления данных - модуляцию, который никогда не используется внутри компьютера (рис. 2.3). При модуляции дискретная информация представляется синусоидальным сигналом той частоты, которую хорошо передает имеющаяся линия связи.

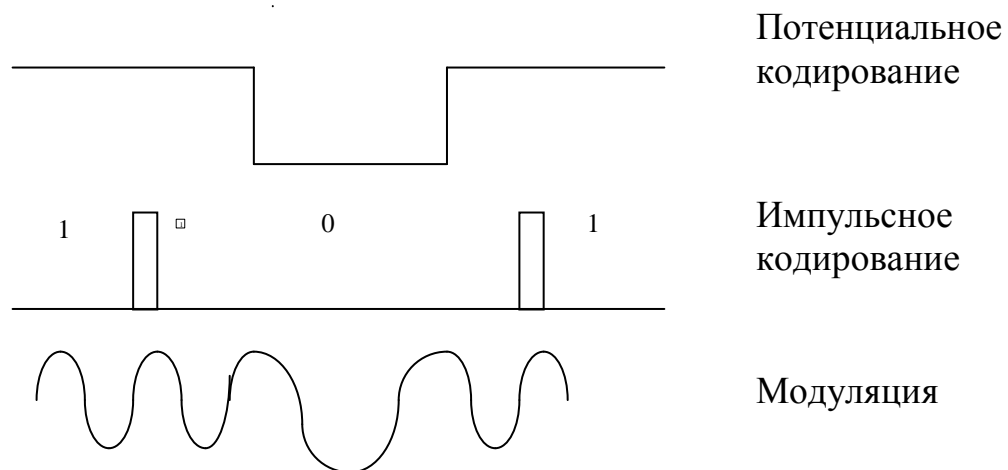


Рис. 2.3. Примеры представления дискретной информации

Потенциальное или импульсное кодирование применяется на каналах высокого качества, а модуляция на основе синусоидальных сигналов предпочтительнее в том случае, когда канал вносит сильные искажения в передаваемые сигналы. Обычно модуляция используется в глобальных сетях при передаче данных через аналоговые телефонные каналы связи, которые были разработаны для передачи голоса в аналоговой форме и поэтому плохо подходят для непосредственной передачи импульсов.

На способ передачи сигналов влияет и количество проводов в линиях связи между компьютерами. Для сокращения стоимости линий связи в сетях обычно стремятся к сокращению количества проводов и из-за этого используют не параллельную передачу всех битов одного байта или даже нескольких байтов, как это делается внутри компьютера, а последовательную, побитную передачу, требующую всего одной пары проводов.

Еще одной проблемой, которую нужно решать при передаче сигналов, является проблема взаимной синхронизации передатчика одного компьютера с приемником другого. При организации взаимодействия модулей внутри компьютера эта проблема решается очень просто, так как в этом случае все модули синхронизируются от общего тактового генератора. Проблема синхронизации при связи компьютеров может решаться разными способами, как путем обмена

специальными тактовыми синхроимпульсами по отдельной линии, так и путем периодической синхронизации заранее обусловленными кодами или импульсами характерной формы, отличающейся от формы импульсов данных.

Несмотря на предпринимаемые меры - выбор соответствующей скорости обмена данными, линий связи с определенными характеристиками, способа синхронизации приемника и передатчика, существует вероятность искажения некоторых битов передаваемых данных. Для повышения надежности передачи данных между компьютерами часто используется стандартный прием - подсчет контрольной суммы и передача ее по линиям связи после каждого байта или после некоторого блока байтов. Часто в протокол обмена данными включается как обязательный элемент сигнал-квитанция, который подтверждает правильность приема данных и посылается от получателя отправителю.

В каждый сетевой интерфейс, будь то порт маршрутизатора, концентратора или коммутатора, встроены средства, в той или иной мере решающие задачу надежного обмена двоичными сигналами, представленными соответствующими электромагнитными сигналами. Некоторые из сетевых устройств, такие как модемы и сетевые адаптеры, специализируются на проблемах физической передачи данных. Модемы выполняют в глобальных сетях модуляцию и демодуляцию дискретных сигналов, синхронизируют передачу электромагнитных сигналов по линиям связи, проверяют правильность передачи по контрольной сумме и могут выполнять некоторые другие операции. Сетевые адаптеры рассчитаны, как правило, на работу с определенной передающей средой - коаксиальным кабелем, витой парой, оптоволоком и т. п. Каждый тип передающей среды обладает определенными электрическими характеристиками, влияющими на способ использования данной среды, и определяет скорость передачи сигналов, способ их кодирования и некоторые другие параметры.

§ 2.3. Общие принципы построения многокомпьютерных сетей

До сих пор мы рассматривали вырожденную сеть, состоящую всего из двух машин. При объединении в сеть большего числа компьютеров возникает целый комплекс новых проблем.

Топология физических связей

Как только компьютеров становится больше двух, появляется проблема выбора конфигурации физических связей, или топологии. Под топологией сети понимается конфигурация графа, вершинам которого соответствуют конечные узлы сети (например, компьютеры) и коммуникационное оборудование (например, маршрутизаторы), а ребрам - электрические и информационные связи между ними.

Число возможных вариантов конфигураций резко возрастает при увеличении числа связываемых устройств. Так, если три компьютера мы можем связать двумя способами (рис. 2.4 а), то для четырех компьютеров можно предло-

жить уже шесть топологически разных конфигураций (при условии неразличимости компьютеров), что и иллюстрирует рис. 2.4 б.

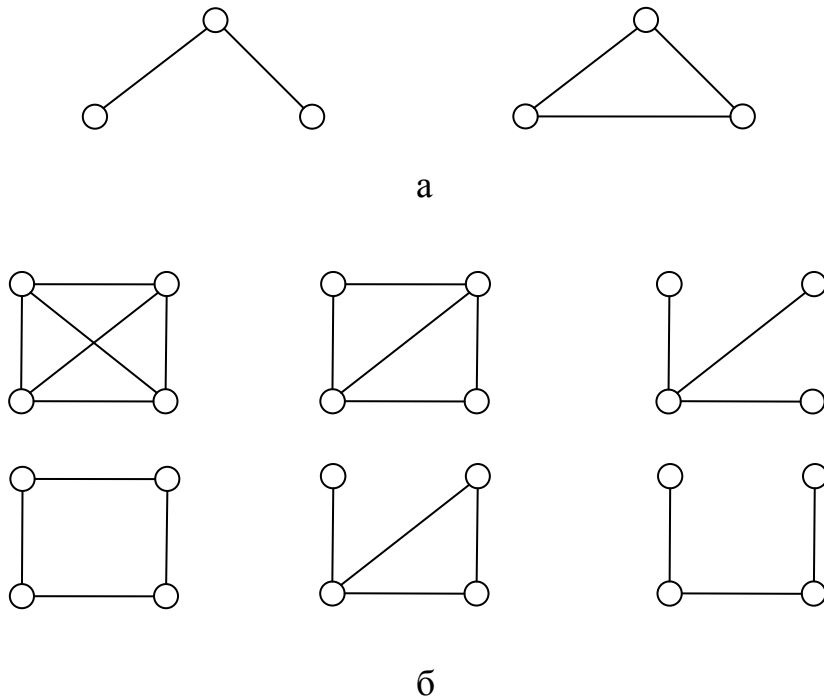


Рис. 2.4. Варианты связи нескольких компьютеров

Возможно соединение каждого компьютера с каждым или же их последовательное соединение друг с другом. В последнем случае сообщения передаются от компьютера к компьютеру «транзитом». При этом транзитные узлы должны быть оснащены специальными средствами, позволяющими им выполнять эту специфическую посредническую операцию. В качестве транзитного узла может выступать как универсальный компьютер, так и специализированное устройство.

От выбора топологии связей существенно зависят многие характеристики сети. Например, наличие между узлами нескольких путей повышает надежность сети и делает возможным балансировку загрузки отдельных каналов. Простота присоединения новых узлов, свойственная некоторым топологиям, делает сеть легко расширяемой. Экономические соображения часто приводят к выбору топологий, для которых характерна минимальная суммарная длина линий связи.

Различают полностью связанные и не полностью связанные топологии. Полностью связанная топология (рис. 2.5 а) соответствует сети, в которой каждый компьютер непосредственно связан со всеми остальными. Несмотря на логическую простоту, этот вариант оказывается громоздким и неэффективным. Действительно, в таком случае каждый компьютер в сети должен иметь большое количество коммуникационных портов, достаточное для связи с каждым из остальных компьютеров сети. Для каждой пары компьютеров должна быть выделена отдельная физическая линия связи. (В некоторых случаях даже две, если невозможно ис-

пользование этой линии для двусторонней передачи.) Полносвязные топологии в крупных сетях применяются редко, так как для связи N узлов требуется $N(N-1)/2$ физических дуплексных линий связей, то есть имеет место квадратичная зависимость. Чаще этот вид топологии используется в многомашинных комплексах или в сетях, объединяющих небольшое количество компьютеров.

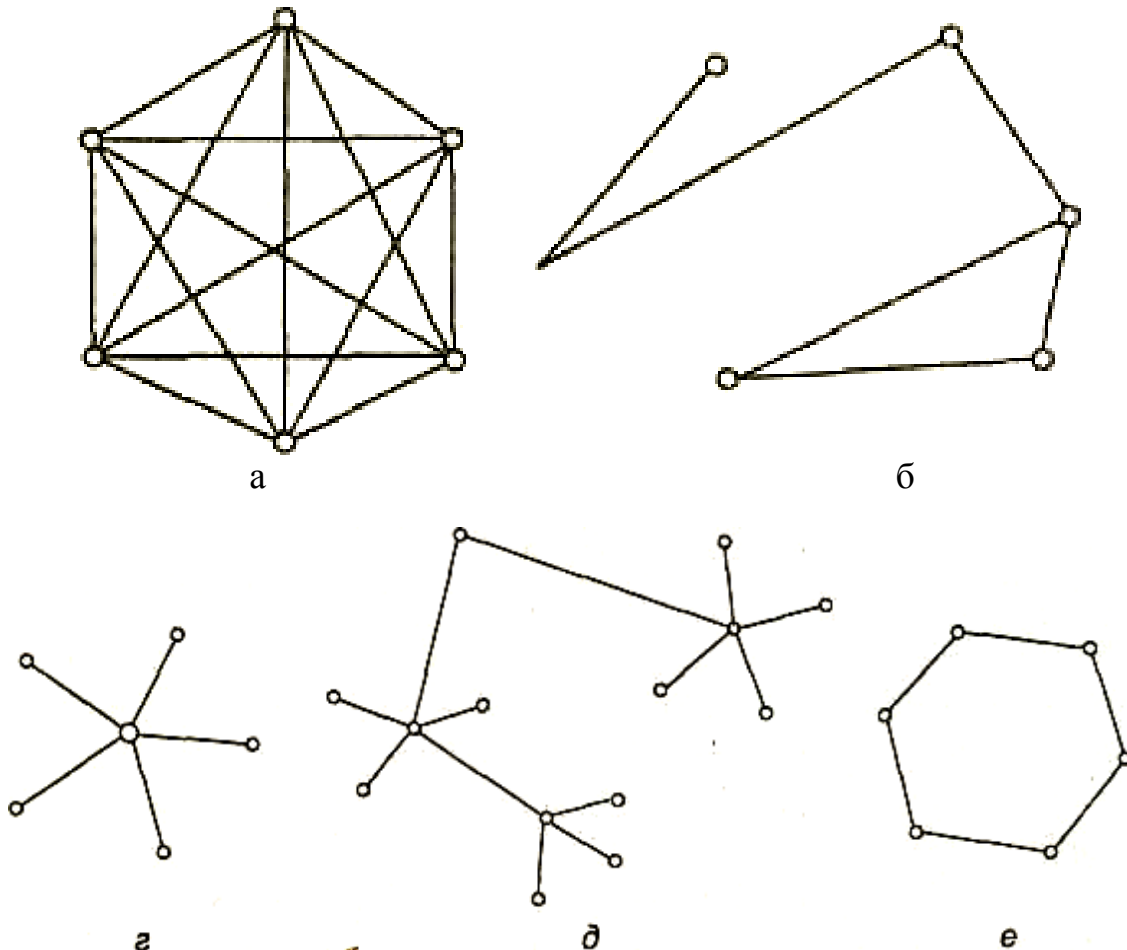


Рис. 2.5. Типовые топологии сетей

Все другие варианты основаны на неполносвязных топологиях, в которых для обмена данными между двумя компьютерами может потребоваться промежуточная передача данных через другие узлы сети.

Ячеистая топология получается из полностью связной путем удаления некоторых возможных связей (рис. 2.5 б). Ячеистая топология допускает соединение большого количества компьютеров и характерна, как правило, для крупных сетей.

В сетях с кольцевой конфигурацией (рис. 2.5 е) данные передаются по кольцу от одного компьютера к другому. Главным достоинством кольца является то, что оно по своей природе обладает свойством резервирования связей. Действительно, любая пара узлов соединена здесь двумя путями — по часовой стрелке и против нее. Кольцо представляет собой очень удобную конфигурацию и для организации обратной связи — данные, сделав полный оборот, воз-

вращаются к узлу-источнику. Поэтому отправитель может контролировать процесс доставки данных адресату. Часто это свойство кольца используется для тестирования связности сети и поиска узла, работающего некорректно. В то же время в сетях с кольцевой топологией необходимо принимать специальные меры, чтобы в случае выхода из строя или отключения какой-либо станции не прерывался канал связи между остальными станциями кольца.

Топология звезда (рис. 2.5 г) образуется в случае, когда каждый компьютер подключается отдельным кабелем к общему центральному устройству, называемому концентратором. В функции концентратора входит направление передаваемой компьютером информации одному или всем остальным компьютерам сети. В качестве концентратора может выступать как компьютер, так и специализированное устройство, такое как многоходовый повторитель, коммутатор или маршрутизатор. К недостаткам топологии типа звезда относится более высокая стоимость сетевого оборудования из-за необходимости приобретения специализированного центрального устройства. Кроме того, возможности по наращиванию количества узлов в сети ограничиваются количеством портов концентратора. Иногда имеет смысл строить сеть с использованием нескольких концентраторов, иерархически соединенных между собой связями типа звезда (рис. 2.5 д). Получаемую в результате структуру называют также деревом. В настоящее время дерево является самым распространенным типом топологии связей как в локальных, так и глобальных сетях.

Особым частным случаем звезды является топология с общей шиной. Здесь в качестве центрального элемента выступает пассивный кабель, к которому по схеме «монтажного ИЛИ» подключается несколько компьютеров (такую же топологию имеют многие сети, использующие беспроводную связь — роль общей шины здесь играет общая радиосреда). Передаваемая информация распространяется по кабелю и доступна одновременно всем компьютерам, присоединенным к этому кабелю. Основными преимуществами такой схемы являются ее дешевизна и простота наращивания, то есть присоединения новых узлов к сети. Самый серьезный недостаток общей шины заключается в ее низкой надежности: любой дефект кабеля или какого-нибудь из многочисленных разъемов полностью парализует всю сеть. Другим недостатком общей шины является ее невысокая производительность, так как при таком способе подключения в каждый момент времени только один компьютер может передавать данные по сети, поэтому пропускная способность канала связи всегда делится здесь между всеми узлами сети. До недавнего времени общая шина являлась одной из самых популярных топологий для локальных сетей.

Как правило, небольшие сети имеют топологию звезды, кольца или общей шины, в то время как для крупных сетей характерно наличие произвольных связей между компьютерами. В таких сетях можно выделить отдельные, произвольно связанные фрагменты (подсети), имеющие типовую топологию, поэтому их называют сетями со смешанной топологией (рис. 2.6).

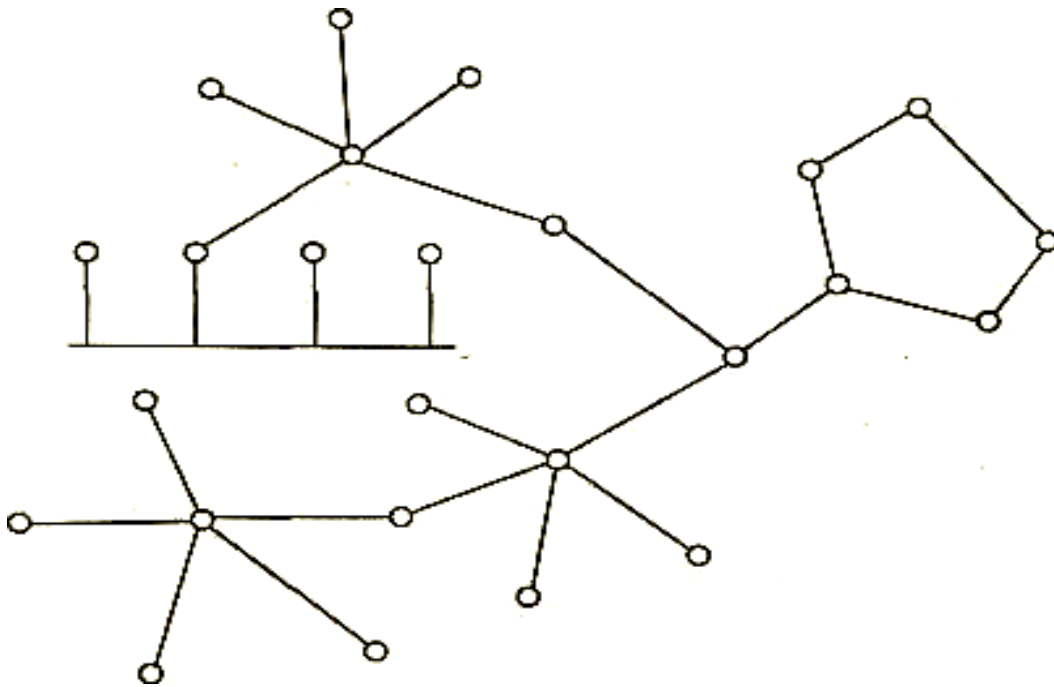


Рис. 2.6. Смешанная топология

Адресация узлов сети

При объединении трех и более компьютеров необходимо определить их адресацию, точнее адресацию их сетевых интерфейсов. Один компьютер может иметь несколько сетевых интерфейсов. Например, для создания полностью связанной структуры из N компьютеров необходимо, чтобы у каждого из них имелся $N - 1$ интерфейс.

Адреса могут быть числовыми (например, 129.26.255.255) и символьным (site.domen.ru). Один и тот же адрес может быть записан в разных форматах, скажем, числовой адрес в предыдущем примере 125.26.35.18 может быть записан и шестнадцатеричными цифрами — 81.1a.ff.ff.

Адреса могут использоваться для идентификации не только отдельных интерфейсов, но и их групп (групповые адреса). С помощью групповых адресов данные могут направляться одновременно сразу нескольким узлам. Во многих технологиях компьютерных сетей поддерживаются так называемые широковещательные адреса. Данные, направленные по такому адресу, должны быть доставлены всем узлам сети.

Множество всех адресов, которые являются допустимыми в рамках некоторой схемы адресации, называется адресным пространством. Адресное пространство может иметь плоскую (линейную) организацию (рис. 2.7 а) или иерархическую организацию (рис. 2.7 б). В первом случае множество адресов никак не структурировано. При иерархической схеме адресации оно организовано в виде вложенных друг в друга подгрупп, которые, последовательно сужая адресуемую область, в конце концов, определяют отдельный сетевой интерфейс. В показанной на рисунке трехуровневой структуре адресного простран-

ства адрес конечного узла задается тремя составляющими: идентификатором группы $\{K\}$, в которую входит данный узел, идентификатором подгруппы (L) и, наконец, идентификатором узла (n), однозначно определяющим его в подгруппе. Иерархическая адресация во многих случаях оказывается более рациональной, чем плоская. В больших сетях, состоящих из многих тысяч узлов, использование плоских адресов может привести к большим издержкам - конечным узлам и коммуникационному оборудованию придется оперировать с таблицами адресов, состоящими из тысяч записей.

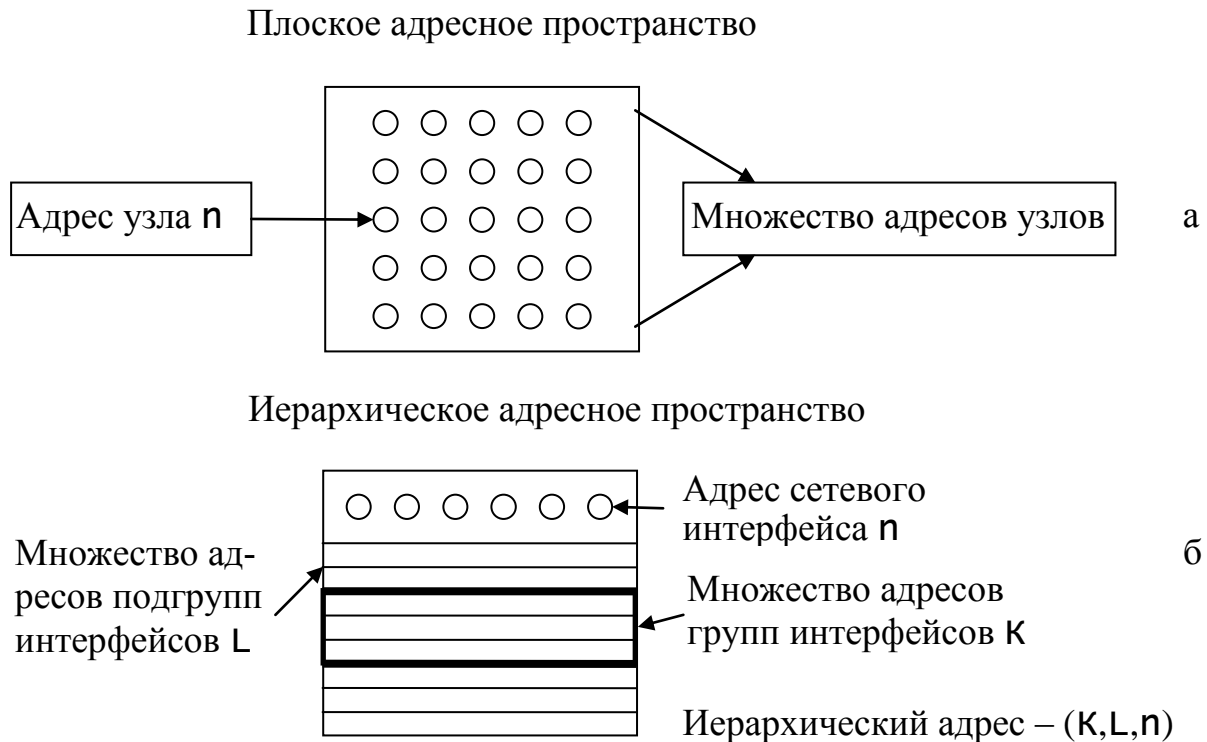


Рис. 2.7. Иерархическая структура адресного пространства

Иерархическая система адресации позволяет при перемещении данных до определенного момента пользоваться только старшей составляющей адреса, затем для дальнейшей локализации адресата воспользоваться следующей по старшинству частью и в конечном счете - младшей частью. Примером иерархически организованных адресов являются обычные почтовые адреса, в которых последовательно уточняется место нахождения адресата: страна, город, улица, дом, квартира.

К адресу сетевого интерфейса и схеме его назначения предъявляются следующие требования:

- адрес должен уникально идентифицировать сетевой интерфейс в сети любого масштаба;
- схема назначения адресов должна сводить к минимуму ручной труд администратора и вероятность дублирования адресов;

- адрес должен иметь структуру, удобную для построения больших сетей;
- адрес должен быть удобен для пользователей сети, то есть допускать символьное представление, например, Server 3 или www.cisco.com;
- адрес должен быть по возможности компактным, чтобы не перегружать память коммуникационной аппаратуры - сетевых адаптеров, маршрутизаторов и т. п.

Нетрудно заметить, что эти требования противоречивы, например, адрес, имеющий иерархическую структуру, скорее всего будет менее компактным, чем плоский. Символьные имена удобны для людей, но из-за переменного формата и потенциально большой длины их передача по сети не очень экономична. Так как все перечисленные требования трудно совместить в рамках какой-либо одной схемы адресации, на практике обычно используется сразу несколько схем, так что сетевой интерфейс компьютера может одновременно иметь несколько адресов-имен. Каждый адрес задействуется в той ситуации, когда соответствующий вид адресации наиболее удобен. А для преобразования адресов из одного вида в другой используются специальные вспомогательные протоколы, которые называют иногда протоколами разрешения адресов (address resolution protocol).

Примером плоского числового адреса является MAC-адрес, предназначенный для однозначной идентификации сетевых интерфейсов в локальных сетях. Такой адрес обычно используется только аппаратурой, поэтому его стараются сделать по возможности компактным и записывают в виде двоичного или шестнадцатеричного числа, например, 0081005e24a8. При задании MAC-адресов не требуется выполнение ручной работы, так как они обычно встраиваются в аппаратуру компанией-изготовителем, поэтому их называют также аппаратными (hardware) адресами. Использование плоских адресов является жестким решением - при замене аппаратуры, например, сетевого адаптера, изменяется и адрес сетевого интерфейса компьютера.

Типичными представителями иерархических числовых адресов являются сетевые IP- и IPX-адреса. В них поддерживается двухуровневая иерархия, адрес делится на старшую часть — номер сети и младшую — номер узла. Такое деление позволяет передавать сообщения между сетями только на основании номера сети, а номер узла используется после доставки сообщения в нужную сеть, точно так же, как название улицы используется почтальоном только после того, как письмо доставлено в нужный город. В последнее время, чтобы сделать маршрутизацию в крупных сетях более эффективной, предлагаются более сложные варианты числовой адресации, в соответствии с которыми адрес имеет три и более составляющих. Такой подход, в частности, реализован в новой версии протокола IPv6, предназначенного для работы в сети Интернет.

Символьные адреса или имена предназначены для запоминания людьми и поэтому обычно несут смысловую нагрузку. Символьные адреса легко использовать как в небольших, так и крупных сетях. Для работы в больших сетях символьное имя может иметь иерархическую структуру, например,

ftp-arch1.ucl.ac.uk. Этот адрес говорит о том, что данный компьютер поддерживает ftp-архив в сети одного из колледжей Лондонского университета (University College London — ucl) и эта сеть относится к академической ветви (ac) Интернета Великобритании (United Kingdom — uk). При работе в пределах сети Лондонского университета такое длинное символьное имя явно избыточно и вместо него удобно пользоваться кратким символьным именем, на роль которого хорошо подходит самая младшая составляющая полного имени, то есть имя ftp-arch1.

В современных сетях для адресации узлов применяются, как правило, одновременно все три приведенные выше схемы. Пользователи адресуют компьютеры символьными именами, которые автоматически заменяются в сообщениях, передаваемых по сети, числовыми номерами. С помощью этих числовых номеров сообщения передаются из одной сети в другую, а после доставки сообщения в сеть назначения вместо числового номера используется аппаратный адрес компьютера. Сегодня такая схема характерна даже для небольших автономных сетей, где, казалось бы, она явно избыточна — это делается для того, чтобы при включении этой сети в большую сеть не нужно было менять состав операционной системы.

Проблема установления соответствия между адресами различных типов, которой занимаются протоколы разрешения адресов, может решаться как полностью централизованными, так и распределенными средствами. В случае централизованного подхода в сети выделяется один или несколько компьютеров (серверов имен), в которых хранится таблица соответствия друг другу имен различных типов, например символьных имен и числовых номеров. Все остальные компьютеры обращаются к серверу имен, чтобы по символьному имени найти числовой номер компьютера, с которым необходимо обменяться данными.

При другом, распределенном, подходе каждый компьютер сам решает задачу установления соответствия между адресами. Например, если пользователь указал для узла назначения числовой номер, то перед началом передачи данных компьютер-отправитель посылает всем компьютерам сети широковещательное сообщение с просьбой опознать это числовое имя. Все компьютеры, получив это сообщение, сравнивают заданный номер со своим собственным. Тот компьютер, у которого обнаружилось совпадение, посылает ответ, содержащий его аппаратный адрес, после чего становится возможным отправка сообщений по локальной сети.

Распределенный подход хорош тем, что не предполагает выделения специального компьютера, который к тому же часто требует ручного задания таблицы соответствия адресов. Недостатком распределенного подхода является необходимость широковещательных сообщений — такие сообщения перегружают сеть, так как они требуют обязательной обработки всеми узлами, а не только узлом назначения. Поэтому распределенный подход используется только в небольших локальных сетях. В крупных сетях распространение широко-

вещательных сообщений по всем ее сегментам становится практически нереальным, поэтому для них характерен централизованный подход. Наиболее известной службой централизованного разрешения адресов является система доменных имен (Domain Name System, DNS) сети Интернет.

До сих пор мы говорили об адресах сетевых интерфейсов, которые указывают на порты узлов сети (компьютеров и коммуникационных устройств), однако конечной целью данных, пересылаемых по сети, являются не компьютеры или маршрутизаторы, а выполняемые на этих устройствах программы или процессы. Поэтому в адресе назначения наряду с информацией, идентифицирующей порт устройства, должен указываться адрес процесса, которому предназначены посылаемые по сети данные. После того, как эти данные достигнут указанного в адресе назначения сетевого интерфейса, программное обеспечение компьютера должно их направить соответствующему процессу. Понятно, что адрес процесса не обязательно должен задавать его однозначно в пределах всей сети, достаточно обеспечить его уникальность в пределах компьютера. Примером адресов процессов являются номера портов TCP и UDP, используемые в стеке TCP/IP.

Общая задача коммутации

Если топология сети не полносвязная, то обмен данными между произвольной парой конечных узлов (абонентов) должен идти в общем случае через транзитные узлы. Например, в сети, показанной на рис. 2.8, узлы 2 и 4, не связанные непосредственно, вынуждены передавать данные через транзитные узлы, в качестве которых могут выступить, например, узлы 1 и 5. Узел 1 должен выполнить передачу данных с интерфейса А на интерфейс В, а узел 5 — с интерфейса F на В. Последовательность транзитных узлов (сетевых интерфейсов) на пути от отправителя к получателю называется маршрутом.

В самом общем виде задача соединения конечных узлов через сеть транзитных узлов называется задачей коммутации. Она может быть представлена в виде следующих взаимосвязанных частных задач:

- определение информационных потоков, для которых требуется прокладывать пути;
- определение маршрутов для потоков;
- сообщение о найденных маршрутах узлам сети;
- продвижение потоков, то есть распознавание потоков и их локальная коммутация на каждом транзитном узле;
- мультиплексирование и демуплексирование потоков.

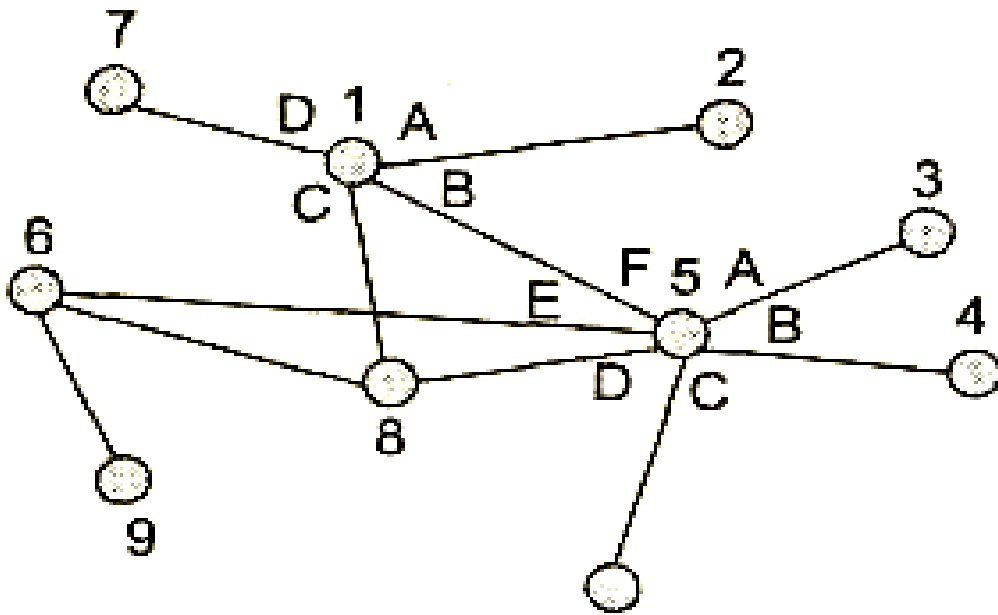


Рис. 2.8. Коммутация абонентов через сеть транзитных узлов

Информационный поток

Через один транзитный узел может проходить несколько маршрутов, например, через узел 5 (рис. 2.8) проходят данные, направляемые узлом 4 каждому из остальных узлов, а также все данные, поступающие в узлы 3, 7 и 10. Транзитный узел должен уметь распознавать потоки данных, которые на него поступают, для того чтобы обрабатывать их передачу именно на тот интерфейс, который ведет к нужному узлу. Информационным потоком, или потоком данных (data flow, data stream), называют непрерывную последовательность байтов (которые могут быть агрегированы в более крупные единицы данных — пакеты, кадры, ячейки), объединенных набором общих признаков, выделяющих его из общего сетевого трафика. Например, все данные, поступающие от одного компьютера, можно определить как единый поток, а можно представить их как совокупность нескольких подпотоков, каждый из которых в качестве дополнительного признака имеет адрес назначения. Каждый же из этих подпотоков, в свою очередь, можно разделить на подпотоки данных, относящихся к разным сетевым приложениям - электронной почте, копированию файлов, обращению к web-серверу.

В качестве обязательного признака при коммутации выступает адрес назначения данных, поэтому весь поток входящих в транзитный узел данных должен разделяться как минимум на подпотоки, имеющие различные адреса назначения. Тогда каждой паре конечных узлов будет соответствовать один поток и один маршрут. Однако, как уже было сказано, поток данных между двумя конечными узлами в общем случае может быть представлен несколькими разными потоками, причем для каждого из них может быть проложен свой особый маршрут. Действительно, на одной и той же паре конечных узлов может выполняться несколько взаимодействующих по сети приложений, которые предъ-

являют к ней свои особые требования. В этом случае выбор пути должен осуществляться с учетом характера передаваемых данных, например, для файлового сервера важно, чтобы передаваемые им большие объемы данных направлялись по каналам, обладающим высокой пропускной способностью, а для программной системы управления, которая посылает в сеть короткие сообщения, требующие обязательной и немедленной обработки, при выборе маршрута более важна надежность линии связи и минимальный уровень задержек на маршруте. Кроме того, даже для данных, предъявляющих к сети одинаковые требования, может прокладываться несколько маршрутов, чтобы за счет распараллеливания добиться одновременного использования различных каналов и тем самым ускорить передачу данных.

Признаки потока могут иметь глобальное или локальное значение: в первом случае они однозначно определяют поток в пределах всей сети, а во втором — в пределах одного транзитного узла. Пара уникальных адресов конечных узлов для идентификации потока — это пример глобального признака. Примером признака, локально определяющего поток в пределах устройства, может служить номер (идентификатор) интерфейса устройства, с которого поступили данные. Например, узел 1 (рис. 2.8) может быть настроен передавать все данные, поступившие с интерфейса А, на интерфейс В, а данные, поступившие с интерфейса D, на интерфейс С. Такое правило позволяет отделить поток данных, поступающий из узла 2, от потока данных из узла 7 и направлять их для транзитной передачи через разные узлы сети, в данном случае данные из узла 2 через узел 5, а данные из узла 7 — через узел 8.

Существует особый тип признака — метка потока. Метка может иметь глобальное значение, уникально определяющее поток в пределах сети. В таком случае она назначается данным потока на всем протяжении его пути следования от узла источника до узла назначения. В некоторых технологиях используются локальные метки потока, динамически меняющие свое значение при передаче данных от одного узла к другому.

Таким образом, при распознавании потоков во время коммутации в общем случае должны учитываться не только адреса назначения данных, но и другие их признаки, которые влияют на маршрут перемещения данных по сети.

Маршрут

Задать маршрут передачи данных - значит определить последовательность транзитных узлов и их интерфейсов, через которые надо передавать данные, чтобы доставить их адресату. Определение пути - сложная задача, особенно когда конфигурация сети такова, что между парой взаимодействующих сетевых интерфейсов существует множество путей. Следует заметить, что множество альтернативных путей между двумя конечными узлами - это лишь множество потенциальных возможностей. Задача определения маршрутов состоит в выборе из всего этого множества одного или нескольких путей. И хотя в частном случае множества имеющихся и выбранных путей могут совпадать,

чаще всего выбор останавливают на одном оптимальном по некоторому критерию маршруте.

В качестве критериев оптимальности маршрута можно определить:

- номинальную пропускную способность;
- загруженность каналов связи;
- задержки, вносимые каналами;
- количество промежуточных транзитных узлов;
- надежность каналов и транзитных узлов.

Но даже в том случае, когда между конечными узлами существует только один путь, его нахождение может представлять собой при сложной топологии сети нетривиальную задачу.

Маршрут может определяться эмпирически («вручную») администратором сети, который, используя различные, часто не формализуемые соображения, анализирует топологию сети и определяет последовательность интерфейсов, которую должны пройти данные, чтобы достичь получателя. Среди побудительных мотивов выбора того или иного пути могут быть: особые требования к сети со стороны различных типов приложений, решение передавать трафик через сеть определенного поставщика услуг, предположения о пиковых нагрузках на некоторые каналы сети, соображения безопасности.

Однако эвристический подход к определению маршрутов мало пригоден для большой сети со сложной топологией. В этом случае такая задача решается чаще всего автоматически. Для этого конечные узлы и другие устройства сети оснащаются специальными программными средствами, которые организуют взаимный обмен служебными сообщениями, позволяющий каждому узлу составить свое представление о топологии сети. Затем на основе этого исследования и математических алгоритмов определяются рациональные маршруты.

Оповещение сети о выбранном маршруте

После того, как маршрут определен (вручную или автоматически), надо «сообщить» о нем всем устройствам сети. Сообщение о маршруте должно нести каждому транзитному устройству примерно такую информацию: «если придут данные, относящиеся к потоку P , то нужно передать их на интерфейс F ». Сообщение о маршруте обрабатывается устройством коммутации, в результате создается новая запись в таблице коммутации, в которой локальному или глобальному признаку (признакам) потока (например, метке, номеру входного интерфейса или адресу назначения) ставится в соответствие номер интерфейса, на который устройство должно передавать данные, относящиеся к этому потоку. Конечно, детальное описание структуры сообщения о маршруте и содержания таблицы коммутации зависит от конкретной технологии, однако эти особенности не сказываются на существовании рассматриваемых процессов.

Передача информации о выбранных маршрутах так же, как и определение маршрута, может осуществляться и вручную, и автоматически. Администратор сети может зафиксировать маршрут, выполнив в ручном режиме конфигуриро-

вание устройства, например, жестко сконмутировав на длительное время определенные пары входных и выходных интерфейсов (так, например, работали «телефонные барышни» на первых коммутаторах). Он может также по собственной инициативе внести запись о маршруте в таблицу коммутации. Однако поскольку топология сети и информационных потоков может меняться (отказ или появление новых промежуточных узлов, изменение адресов или определение новых потоков), то гибкое решение задач определения и задания маршрутов предполагает постоянный анализ состояния сети и обновление маршрутов и таблиц коммутации, что очень сложно реализовать вручную.

Продвижение потоков

Далее, когда задачи определения и задания маршрута решены, должно произойти соединение, или коммутация, абонентов. Для каждой пары абонентов эта операция может быть представлена совокупностью нескольких (по числу транзитных узлов) локальных операций коммутации. Отправитель должен выставить данные на тот свой порт, из которого выходит найденный маршрут, а все транзитные узлы должны соответствующим образом выполнить «переброску» данных с одного своего порта на другой, другими словами, выполнить коммутации. Устройство, функциональным назначением которого является выполнение коммутации, называется коммутатором (switch). Коммутатор производит коммутацию входящих в его порты информационных потоков, направляя их в соответствующие выходные порты (рис. 2.9).

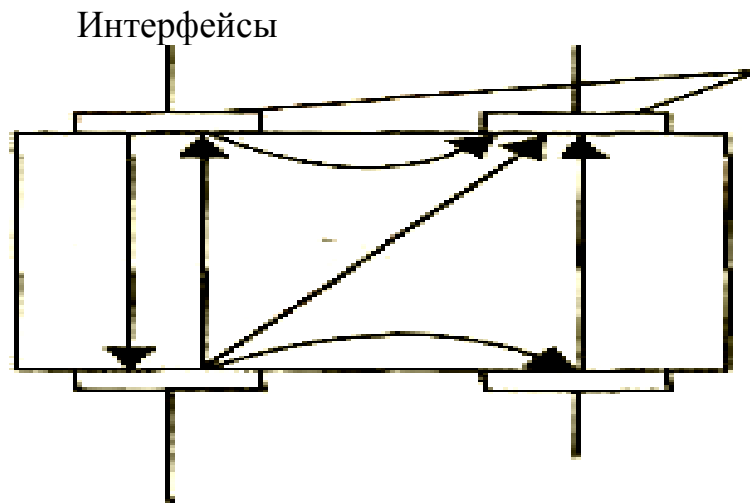


Рис. 2.9. Коммутатор

Однако прежде чем выполнить коммутацию, коммутатор должен опознать поток. Для этого поступившие данные анализируются на предмет наличия в них признаков какого-либо из потоков, заданных в таблице коммутации. Если произошло совпадение, то эти данные направляются на интерфейс, который был определен для них в маршруте.

Отметим, что термины коммутация, таблица коммутации и коммутатор в телекоммуникационных сетях могут трактоваться неоднозначно. Ранее уже был определен термин коммутация как процесс соединения абонентов сети через транзитные узлы. Этим же термином обозначается и соединение интерфейсов в пределах отдельного транзитного узла. Коммутатором в широком смысле называется устройство любого типа, способное выполнять операции переключения потока данных с одного интерфейса на другой. Операция коммутации может быть выполнена в соответствии с различными правилами и алгоритмами. Некоторые способы коммутации и соответствующие им таблицы и устройства получили специальные названия (например, маршрутизация, таблица маршрутизации, маршрутизатор). В то же время за другими специальными типами коммутации и соответствующими устройствами закрепились те же самые названия: коммутация, таблица коммутации и коммутатор, которые здесь используются в узком смысле, например коммутация и коммутатор локальной сети. Для телефонных сетей, которые появились намного раньше компьютерных, также характерна аналогичная терминология — коммутатор является здесь синонимом телефонной станции. Из-за солидного возраста и гораздо большей (пока) распространенности телефонных сетей чаще всего в телекоммуникациях под термином «коммутатор» понимают именно телефонный коммутатор.

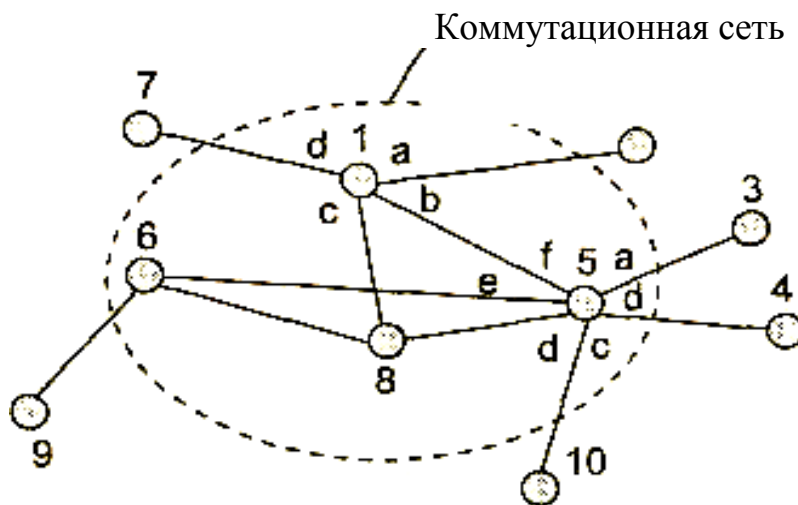


Рис. 2.10. Коммутационная сеть

Коммутатором может быть как специализированное устройство, так и универсальный компьютер со встроенным программным механизмом коммутации, в этом случае коммутатор называется программным. Компьютер может совмещать функции по коммутации данных, направляемых на другие узлы, с выполнением своих обычных функций как конечного узла. Однако во многих случаях более рациональным является решение, в соответствии с которым некоторые узлы в сети выделяются специально для выполнения коммутации. Эти узлы образуют коммутационную сеть, к которой подключаются все остальные.

На рис. 2.10. показана коммутационная сеть, образованная из узлов 1, 5, 6 и 8, к которой подключаются конечные узлы 2, 3, 4, 7, 9 и 10.

Мультиплексирование и демультиплексирование

Как было уже сказано, прежде чем выполнить переброску данных на определенные для них интерфейсы, коммутатор должен понять, к какому потоку они относятся. Эта задача должна решаться независимо от того, поступает ли на вход коммутатора только один поток в «чистом» виде, или «смешанный» поток, являющийся результатом агрегирования нескольких потоков. В последнем случае к задаче распознавания добавляется задача демультиплексирования — разделение суммарного агрегированного потока на несколько составляющих потоков. Как правило, операцию коммутации сопровождает также обратная операция — мультиплексирование (multiplexing), при которой из нескольких отдельных потоков образуется общий агрегированный поток, который можно передавать по одному физическому каналу связи. Операции мультиплексирования/демуплексирования имеют такое же важное значение в любой сети, как и операции коммутации, потому что без них пришлось бы все коммутаторы связывать большим количеством параллельных каналов, что свело бы на нет все преимущества неполносвязной сети связи между абонентами сети.

На рис. 2.11. показан фрагмент сети, состоящий из трех коммутаторов. Коммутатор 1 имеет пять сетевых интерфейсов. Рассмотрим, что происходит

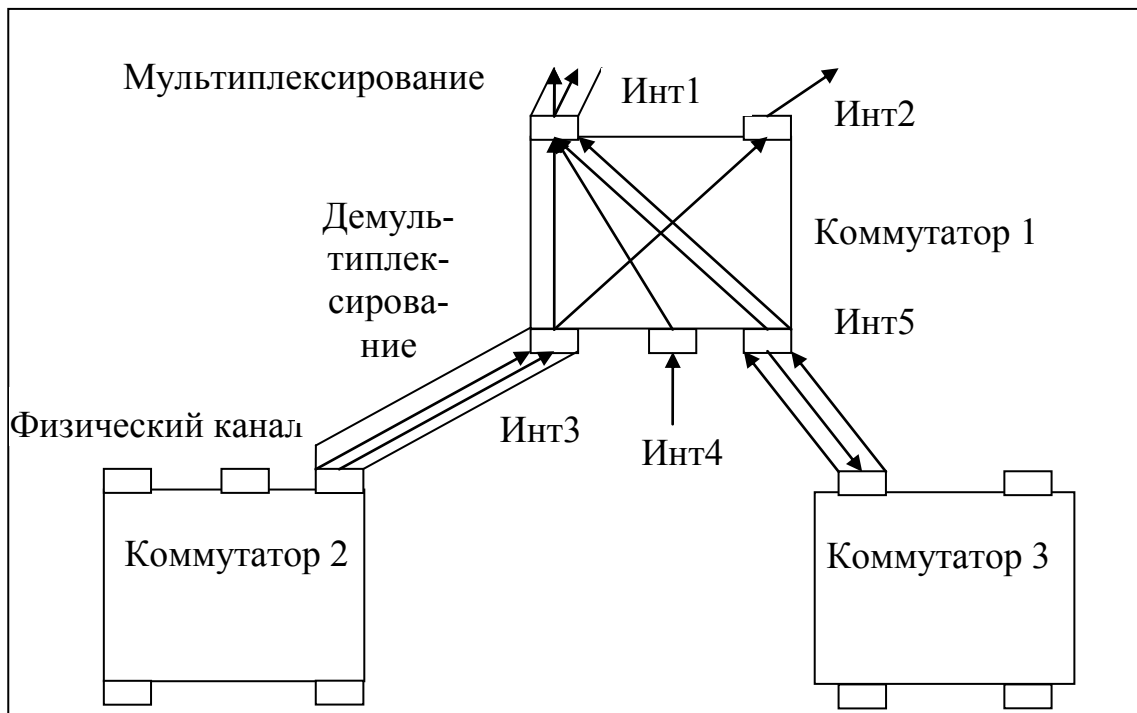


Рис. 2.11. Операции мультиплексирования и демуплексирования потоков при коммутации

на интерфейсе Инт1. Сюда поступают данные с трех интерфейсов — Инт3, Инт4 и Инт5. Все их надо передать в общий физический канал, то есть выпол-

нить операцию мультиплексирования. Мультиплексирование является способом обеспечения доступности имеющихся физических каналов одновременно для нескольких сеансов связи между абонентами сети.

Существует множество способов мультиплексирования потоков в одном физическом канале, важнейшим из них является разделение по времени. При этом способе каждый поток получает физический канал в свое распоряжение с фиксированным или случайным периодом времени и передает в это время по нему свои данные. Следующим по распространенности является частотное разделение канала, при котором каждый поток передает данные в выделенном ему частотном диапазоне.

Технология мультиплексирования должна позволять получателю такого суммарного потока выполнять обратную операцию — разделение (демультиплексирование) данных на слагаемые потоки. На интерфейсе Инт3 коммутатор выполняет демультиплексирование потока на три составляющих подпотока. Один из них он передает на интерфейс Инт1, другой — на Инт2, а третий — на Инт5. На интерфейсе Инт2 нет необходимости выполнять мультиплексирование или демультиплексирование — этот интерфейс выделен одному потоку в монопольное использование. В общем случае на каждом интерфейсе могут одновременно выполняться обе задачи — мультиплексирования и демультиплексирования.

Частный случай коммутатора, у которого все входящие информационные потоки коммутируются на один выходной интерфейс, где мультиплексируются в один агрегированный поток и направляются в один физический канал, называется мультиплексором и показан на рис. 2.12 а. Коммутатор, который имеет один входной интерфейс и несколько выходных, называется демультиплексором (рис. 2.12 б).

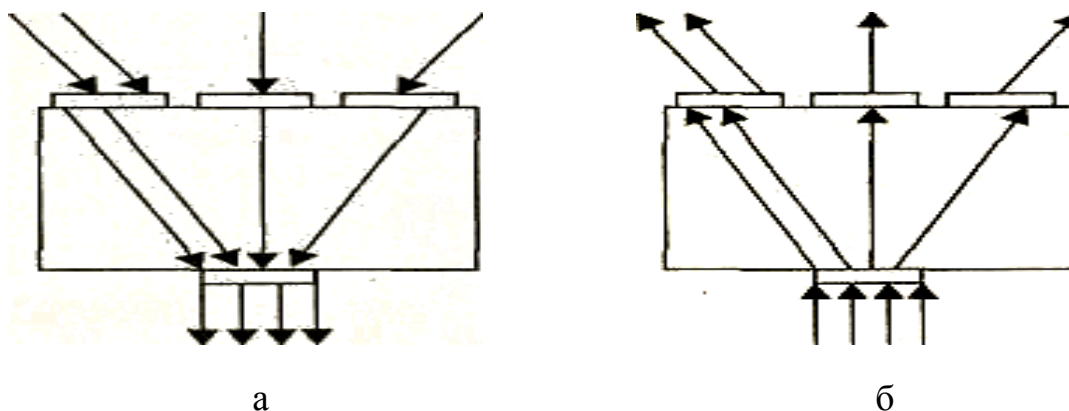


Рис. 2.12. Мультиплексор и демультиплексор

Разделяемая среда передачи данных

Еще одним параметром разделяемого канала связи является количество узлов, подключенных к такому каналу. В приведенных выше примерах к каналу

связи подключались только два взаимодействующих узла, точнее — два интерфейса (рис. 2.13 а и б). В телекоммуникационных сетях используется и другой вид подключения, когда к одному каналу подключается несколько интерфейсов (рис. 2.13 в). Такое множественное подключение интерфейсов порождает уже рассматривавшуюся выше топологию «общая шина», иногда называемую также шлейфовым подключением. Во этих случаях возникает проблема согласованного использования канала.

На рисунке показаны различные варианты разделения каналов связи между интерфейсами. Коммутаторы К1 и К2 связаны двумя однонаправленными физическими каналами, по которым информация может передаваться только в одном направлении. В этом случае передающий интерфейс является активным и физическая среда передачи находится целиком и полностью под его управлением. Пассивный интерфейс только принимает данные. Проблема разделения канала между интерфейсами здесь отсутствует. Заметим, однако, что задача мультиплексирования потоков данных в канале при этом сохраняется. На практике два однонаправленных канала, реализующих в целом дуплексную связь между двумя устройствами, обычно считаются одним дуплексным каналом, а пара интерфейсов одного устройства — как передающая и принимающая части одного и того же интерфейса. На рис. 2.13 б коммутаторы К1 и К2 связаны каналом, который может передавать данные в обе стороны, но только попеременно. При этом возникает необходимость в механизме согласования доступа интерфейсов К1 и К2 к такому каналу. Обобщением этого варианта является случай, показанный на рис. 2.13 в, когда к каналу связи подключается несколько (больше двух) интерфейсов, образуя общую шину.

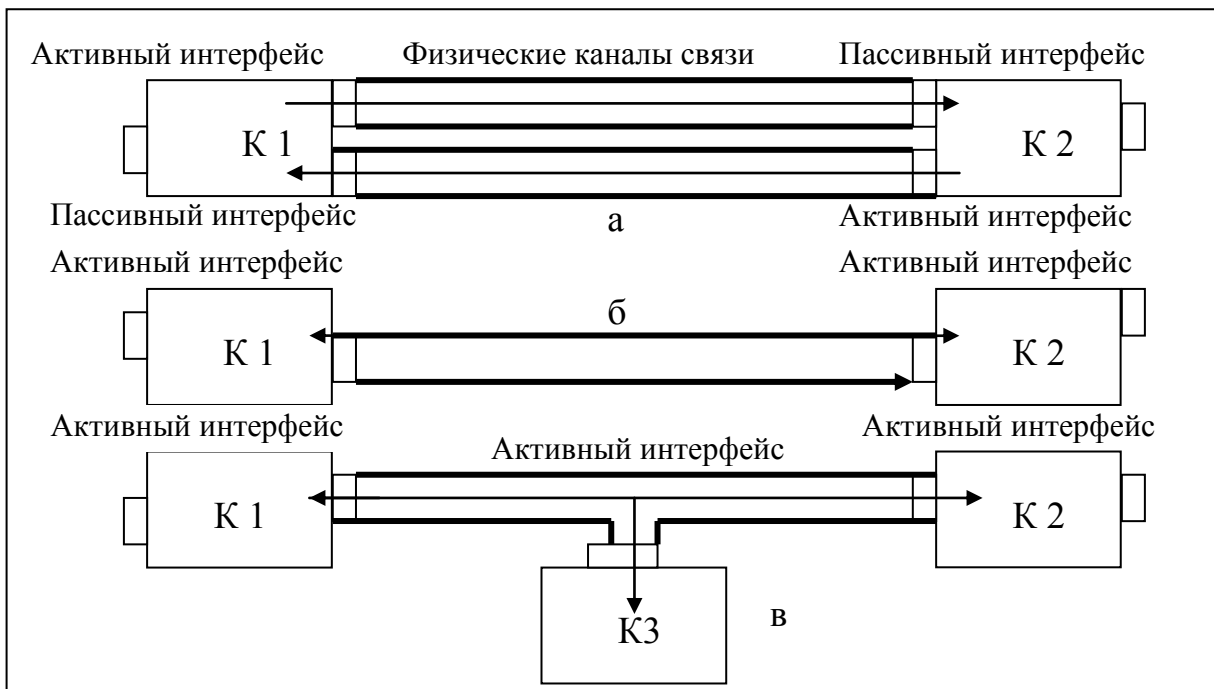


Рис. 2.13. Совместное использование канала связи

Совместно используемый несколькими интерфейсами физический канал называют разделяемым. Часто используется также термин разделяемая среда передачи данных. Разделяемые каналы связи используются не только для связей типа коммутатор-коммутатор, но и для связей компьютер-коммутатор и компьютер-компьютер.

Существуют различные способы решения задачи организации совместного доступа к разделяемым линиям связи. Одни из них используют централизованный подход, когда доступом управляет специальное устройство — арбитр, другие — децентрализованный. Внутри компьютера проблемы разделения линий связи между различными модулями также существуют — примером является доступ к системной шине, которым управляет либо процессор, либо специальный арбитр шины. В сетях организация совместного доступа к линиям связи имеет свою специфику из-за существенно большего времени распространения сигналов по линиям связи, поэтому процедуры согласования доступа к линии связи могут занимать слишком большой промежуток времени и приводить к серьезным потерям производительности сети.

Несмотря на все эти сложности, в локальных сетях разделяемые среды используются очень часто. Этот подход, в частности, реализован в широко распространенных классических технологиях Ethernet, Token Ring, FDDI. В глобальных сетях разделяемые между интерфейсами среды практически не используются. Это объясняется тем, что большие временные задержки распространения сигналов вдоль протяженных каналов связи приводят к слишком длительным переговорным процедурам доступа к разделяемой среде, сокращая до неприемлемого уровня долю полезного использования канала связи на передачу данных абонентов.

В последние годы наметилась тенденция отказа от разделяемых сред передачи данных и в локальных сетях. Это связано с тем, что за достигаемое таким образом удешевление сети приходится расплачиваться производительностью. Сеть с разделяемой средой при большом количестве узлов будет работать всегда медленнее, чем аналогичная сеть с индивидуальными линиями связи, так как пропускная способность индивидуальной линии связи достается одному компьютеру, а при ее совместном использовании делится между всеми компьютерами сети. Часто с такой потерей производительности мирятся ради увеличения экономической эффективности сети. Не только в классических, но и в совершенно новых технологиях, разработанных для локальных сетей, сохраняется режим разделяемых линий связи. Например, разработчики технологии Gigabit Ethernet, принятой в 1998 году в качестве нового стандарта, включили режим разделения передающей среды в свои спецификации наряду с режимом работы по индивидуальным линиям связи.

Типы и виды коммутации

В общем случае решение каждой из частных задач коммутации — определение потоков и соответствующих маршрутов, фиксация маршрутов в кон-

фигурационных параметрах и таблицах сетевых устройств, распознавание потоков и передача данных между интерфейсами одного устройства, мультиплексирование/ демultipлексирование потоков и разделение среды передачи — зависит от решения остальных. Комплекс технических решений обобщенной задачи коммутации в своей совокупности составляет базис любой сетевой технологии. От того, какой механизм прокладки маршрутов, продвижения данных и совместного использования каналов связи заложен в той или иной сетевой технологии, зависят ее фундаментальные свойства.

Среди множества возможных подходов к решению задачи коммутации абонентов в сетях выделяют два основополагающих:

- коммутация каналов (circuit switching);
- коммутация пакетов (packet switching).

Внешне обе эти схемы соответствуют приведенной на рис. 2.13 структуре сети, однако возможности и свойства их различны.

Сети с коммутацией каналов имеют более богатую историю, они ведут свое происхождение от первых телефонных сетей. Сети с коммутацией пакетов сравнительно молоды, они появились в конце 60-х годов как результат экспериментов с первыми глобальными компьютерными сетями. Каждая из этих схем имеет свои преимущества и недостатки, но по долгосрочным прогнозам многих специалистов будущее принадлежит технологии коммутации пакетов, как более гибкой и универсальной.

Коммутация каналов

Коммутационная сеть в случае коммутации каналов образует между конечными узлами непрерывный составной физический канал из последовательно соединенных коммутаторами промежуточных канальных участков. Условием того, что несколько физических каналов при последовательном соединении образуют единый физический канал, является равенство скоростей передачи данных в каждом из составляющих физических каналов. Равенство скоростей означает, что коммутаторы такой сети не должны буферизировать передаваемые данные.

В сети с коммутацией каналов перед передачей данных всегда необходимо выполнить процедуру установления соединения, в процессе которого и создается составной канал. После этого можно начинать передавать данные. Например, если сеть, изображенная на рис 2.13, работает по технологии коммутации каналов, то узел 1, чтобы передать данные узлу 7, должен передать специальный запрос на установление соединения коммутатору А, указав адрес назначения 7. Коммутатор А должен выбрать маршрут образования составного канала, а затем передать запрос следующему коммутатору, в данном случае Е. Далее коммутатор Е передает запрос коммутатору F, а тот, в свою очередь, передает запрос узлу 7. Если узел 7 принимает запрос на установление соединения, он направляет по уже установленному каналу ответ исходному узлу, после

чего составной канал считается скоммутированным и узлы 1 и 7 могут обмениваться по нему данными, например, вести телефонный разговор.

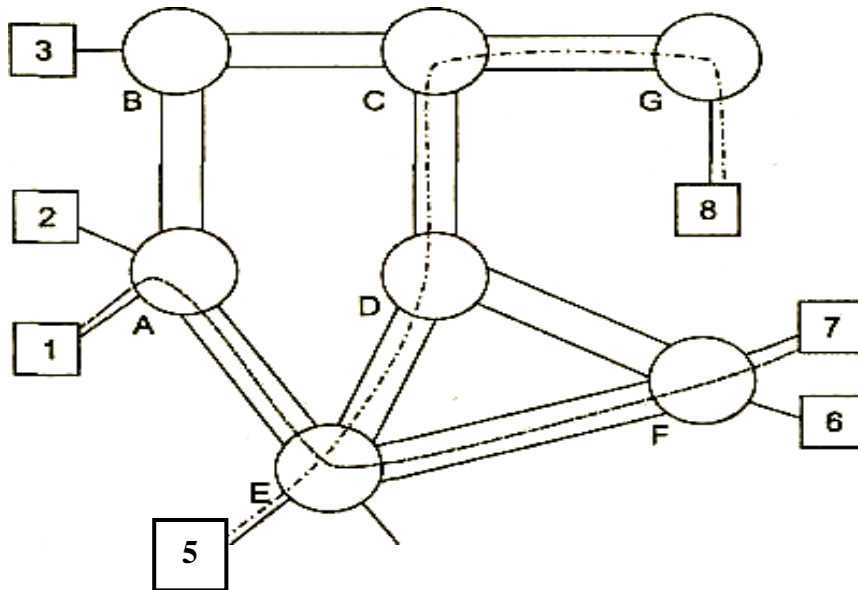


Рис. 2.13. Общая структура сети с коммутацией абонентов

Техника коммутации каналов имеет свои достоинства, главными из которых являются:

- наличие постоянной и известной скорости передачи данных по установленному между конечными узлами каналу, что позволяет пользователю сети на основе заранее произведенной оценки требуемой пропускной способности установить в сети канал нужной скорости;
- постоянный и достаточно низкий уровень задержки передачи данных через сеть, позволяющий качественно передавать данные, чувствительные к задержкам (называемые также трафиком реального времени) - голос, видео, различную технологическую информацию.

К недостаткам сетей с коммутацией каналов относятся:

- отказ сети в обслуживании запроса на установление соединения, проходящего по физическому каналу, через который уже проходит максимальное для данной техники мультиплексирования и для данного канала количество информационных потоков. Например, если между двумя телефонными станциями имеется физический канал, который допускает прохождение через него не более 30 соединений абонентов, и нужно установить еще одно соединение, то произойдет отказ в обслуживании. Отказ может случиться и на конечном участке составного канала, например, если абонент может поддерживать только одно соединение, что характерно для многих телефонных сетей. Например, при поступлении второго вызова по телефонной сети к уже разговаривающему абоненту сеть в этом случае передает вызывающему абоненту короткие гудки – сигнал «занято»;

- нерациональное использование пропускной способности физических каналов, обусловленное тем, что после установления соединения часть пропускной способности отводится составному каналу на все время соединения, то есть до тех пор, пока соединение не будет разорвано по инициативе абонентов или самой сети. В то же время во многих случаях абонентам не нужна пропускная способность канала на все время соединения, например, в телефонном разговоре встречаются паузы, еще более неравномерным во времени является взаимодействие компьютеров. Невозможность динамического перераспределения пропускной способности физического канала является принципиальным ограничением сети с коммутацией каналов, так как единицей коммутации здесь является информационный поток в целом. Модификация методов коммутации для снятия этого ограничения приводит к технике коммутации пакетов;
- наличие обязательной задержки перед передачей данных из-за существования фазы установления соединения.

Достоинства и недостатки любой сетевой технологии относительны. В определенных ситуациях на первый план выходят достоинства, а недостатки становятся несущественными. Так, техника коммутации каналов хорошо работает в тех случаях, когда нужно передавать только трафик телефонных разговоров, а с невозможностью «вырезать» паузы из разговора и более рационально использовать магистральные физические каналы между коммутаторами можно мириться. Однако при передаче очень неравномерного компьютерного трафика эта нерациональность уже выходит на первый план.

Коммутация пакетов

Техника коммутации пакетов была специально разработана для эффективной передачи компьютерного трафика. Эксперименты по созданию первых компьютерных сетей на основе техники коммутации каналов показали, что этот вид коммутации не позволяет достичь высокой общей пропускной способности сети. Типичные сетевые приложения генерируют трафик очень неравномерно, с высоким уровнем пульсации скорости передачи данных. Например, при обращении к удаленному файловому серверу пользователь сначала просматривает содержимое каталога этого сервера, что порождает передачу небольшого объема данных. Затем пользователь открывает требуемый файл в текстовом редакторе, и эта операция может создать достаточно интенсивный обмен данными, особенно если файл содержит объемные графические включения. После отображения нескольких страниц файла пользователь некоторое время работает с ними локально, что вообще не требует передачи данных по сети. Затем пользователь возвращает модифицированные копии страниц на сервер, что снова порождает интенсивную передачу данных по сети.

Коэффициент пульсации трафика отдельного пользователя сети, равный отношению средней интенсивности обмена данными к максимально возможной, может достигать 1:50 или даже 1:100. Если для описанного сеанса органи-

зывать коммутацию канала между компьютером пользователя и сервером, то большую часть времени канал будет простаивать. В то же время коммутационные возможности сети будут закреплены за данной парой абонентов и останутся недоступными другим пользователям сети.

При коммутации пакетов все передаваемые пользователем сети сообщения разбиваются в исходном узле на сравнительно небольшие части, называемые пакетами. Напомним, что сообщением называется логически завершенная порция данных: запрос на передачу файла, ответ на этот запрос, содержащий весь файл и т.п. Сообщения могут иметь произвольную длину, от нескольких байт до многих мегабайт. Пакеты обычно тоже могут иметь переменную длину, но в узких пределах, например, от 46 до 1500 байт. Каждый пакет снабжается заголовком, в котором указывается адресная информация, необходимая для доставки пакета узлу назначения, а также номер пакета, который будет использоваться узлом назначения для сборки сообщения (рис. 2.14). Пакеты транспортируются в сети как независимые информационные блоки. Коммутаторы сети принимают пакеты от конечных узлов и на основании адресной информации передают их друг другу, а в конечном итоге — узлу назначения.

Коммутаторы пакетной сети отличаются от коммутаторов каналов тем, что имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов, когда выходной порт коммутатора в момент принятия пакета занят передачей другого пакета (рис. 2.14.). В этом случае пакет находится некоторое время в очереди пакетов в буферной памяти выходного порта, а когда до него дойдет очередь, то он передается следующему коммутатору. Такая схема передачи данных позволяет сглаживать пульсации трафика на магистральных связях между коммутаторами и тем самым использовать их наиболее эффективным образом для повышения пропускной способности сети в целом.

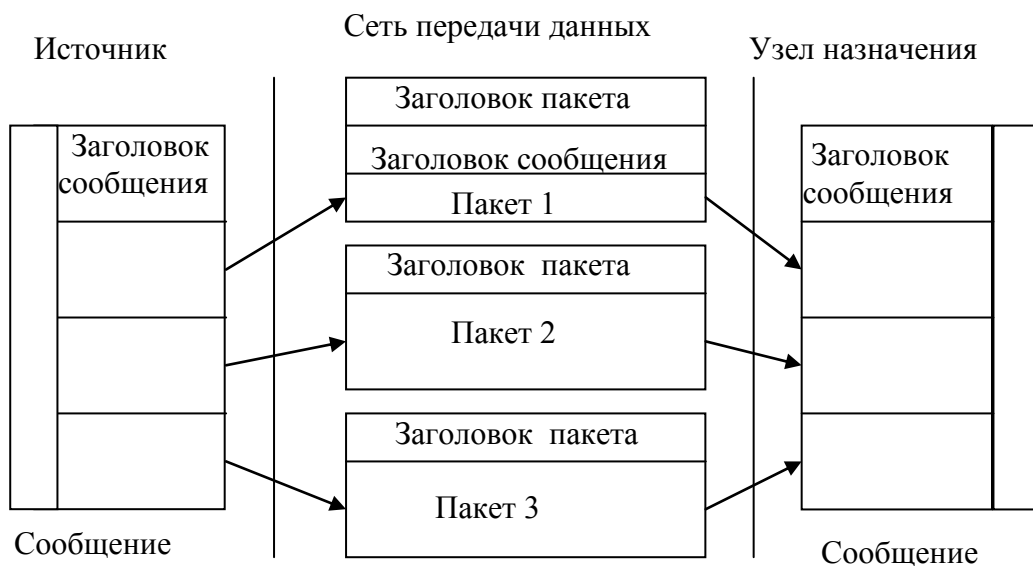


Рис. 2.14. Разбивка сообщения на пакеты

Конечно, для пары абонентов наиболее эффективным было бы предоставление им в единоличное пользование скомутированного канала связи, как это делается в сетях с коммутацией каналов. При этом способе время взаимодействия этой пары абонентов было бы минимальным, так как данные без задержек передавались бы от одного абонента другому. Простои канала во время пауз передачи абонентов не интересуют, для них важно быстрее решить свою собственную задачу. Сеть с коммутацией пакетов замедляет процесс взаимодействия конкретной пары абонентов, так как их пакеты могут ожидать в коммутаторах, пока по магистральным связям передаются другие пакеты, пришедшие в коммутатор ранее. Тем не менее общий объем передаваемых сетью компьютерных данных в единицу времени при коммутации пакетов выше, чем при коммутации каналов.

Причина состоит в том, что пульсации отдельных абонентов в соответствии с законом больших чисел распределяются во времени так, что их пики не совпадают. Поэтому коммутаторы постоянно и достаточно равномерно загружены работой, если число обслуживаемых ими абонентов действительно велико. На рис. 2.15 показано, что трафик, поступающий от конечных узлов на коммутаторы, очень неравномерно распределен во времени. Однако коммутаторы более высокого уровня иерархии, которые обслуживают соединения между коммутаторами нижнего уровня, загружены более равномерно, и поток пакетов в магистральном канале, соединяющих коммутаторы верхнего уровня, имеет почти максимальный коэффициент использования. Буферизация сглаживает пульсации, поэтому коэффициент пульсации на магистральном канале гораздо ниже, чем на каналах абонентского доступа — он может быть равным 1:10 или даже 1:2.

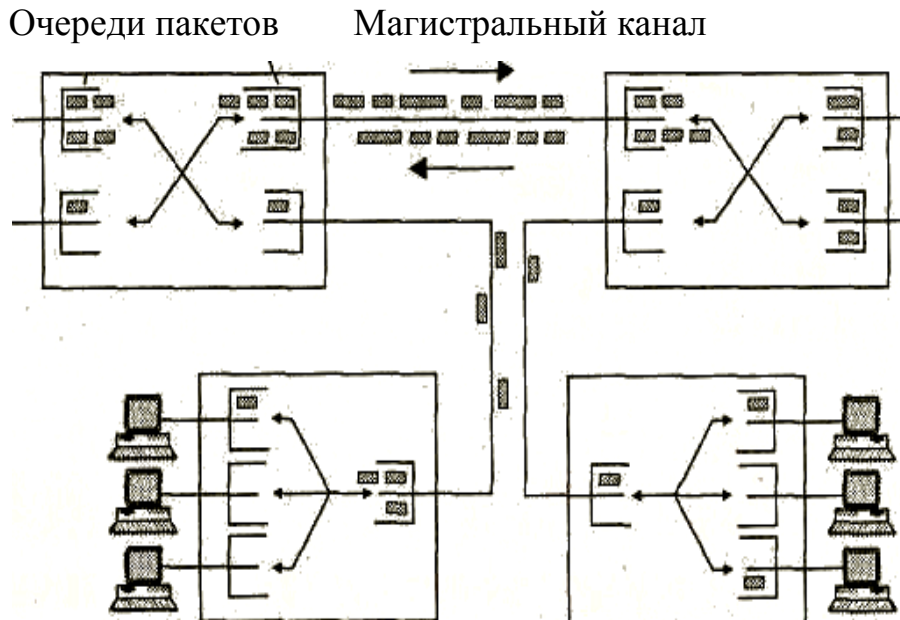


Рис. 2.15. Сглаживание пульсаций трафика в сети с коммутацией пакетов

Более высокая эффективность сетей с коммутацией пакетов по сравнению с сетями с коммутацией каналов (при равной пропускной способности каналов связи) была доказана как экспериментально, так и путем имитационного моделирования. Здесь уместна аналогия с мультипрограммными операционными системами. Каждая отдельная программа в такой системе выполняется дольше, чем в однопрограммной системе, когда программе выделяется все процессорное время, пока она не завершит свое выполнение. Однако общее число программ, выполняемых за единицу времени, в мультипрограммной системе больше, чем в однопрограммной.

Достоинства сетей с коммутацией пакетов:

- высокая общая пропускная способность сети при передаче пульсирующего трафика;
- возможность динамически перераспределять пропускную способность физических каналов связи между абонентами в соответствии с реальными потребностями их трафика.

Недостатки сетей с коммутацией пакетов:

- неопределенность скорости передачи данных между абонентами сети, обусловленная зависимостью задержек в очередях буферов коммутаторов сети от общей загрузки сети;
- переменная величина задержки пакетов данных, которые могут достигать значительных величин в моменты мгновенных перегрузок сети;
- возможные потери данных из-за переполнения буферов.

В настоящее время активно разрабатываются и внедряются методы, позволяющие преодолеть указанные недостатки, которые особенно остро проявляются для чувствительного к задержкам трафика, требующего при этом постоянной скорости передачи. Это так называемые методы обеспечения качества обслуживания (QoS).

Сети с коммутацией пакетов, в которых реализованы методы обеспечения качества обслуживания QoS, позволяют одновременно передавать различные виды трафика, в том числе такие важные, как телефонный и компьютерный. Поэтому методы коммутации пакетов сегодня считаются наиболее перспективными для построения конвергентной сети, которая обеспечит комплексные качественные услуги для абонентов любого типа.

Развиваются и методы коммутации каналов. Сегодня сети с коммутацией каналов успешно работают не только в традиционных телефонных сетях, но и широко применяются для образования высокоскоростных постоянных соединений в так называемых первичных (опорных) сетях технологий SDN и DWDM, которые активно используются для создания магистральных физических каналов между коммутаторами телефонных или компьютерных сетей. В будущем вполне возможно появление новых технологий коммутации, в том или ином виде комбинирующих принципы коммутации пакетов и каналов.

Коммутация сообщений

Коммутация сообщений по своим принципам близка к коммутации пакетов. Под коммутацией сообщений понимается передача единого блока данных между транзитными компьютерами сети с временной буферизацией этого блока на диске каждого компьютера. Сообщение в отличие от пакета имеет произвольную длину, которая определяется не технологическими соображениями, а содержанием информации, составляющей сообщение. Например, сообщением может быть текстовый документ, файл с кодом программы, электронное письмо. Транзитные компьютеры могут соединяться между собой как сетью с коммутацией пакетов, так и сетью с коммутацией каналов. Сообщение хранится в транзитном компьютере на диске, причем время хранения может быть достаточно большим, если компьютер загружен другими работами или сеть временно перегружена. По такой схеме обычно передаются сообщения, не требующие немедленного ответа, чаще всего сообщения электронной почты. Режим передачи с промежуточным хранением на диске называется режимом хранения и передачи (store-and-forward).

Режим коммутации сообщений разгружает сеть для передачи трафика, требующего быстрого ответа, например, трафика службы WWW или файловой службы. Количество транзитных компьютеров стараются по возможности уменьшить. Если компьютеры подключены к сети с коммутацией пакетов, то число промежуточных компьютеров обычно уменьшается до двух. Например, когда пользователь передает почтовое сообщение своему серверу исходящей почты, тот сразу старается передать сообщение серверу входящей почты адресата. Но если компьютеры связаны между собой телефонной сетью, то часто используется несколько промежуточных серверов, так как прямой доступ к конечному серверу может быть невозможен в данный момент из-за перегрузки телефонной сети (абонент занят) или экономически невыгоден из-за высоких тарифов на дальнюю телефонную связь.

Техника коммутации сообщений появилась в компьютерных сетях раньше техники коммутации пакетов, но потом была вытеснена последней, как более эффективной по критерию пропускной способности сети. Запись сообщения на диск занимает достаточно много времени, кроме того, наличие дисков предполагает использование в качестве коммутаторов специализированных компьютеров, что удорожает сеть. Сегодня коммутация сообщений работает только для некоторых не оперативных служб, причем чаще всего поверх сети с коммутацией пакетов, как служба прикладного уровня.

Постоянная и динамическая коммутация

Как сети с коммутацией пакетов, так и сети с коммутацией каналов можно разделить на два класса - сети с динамической коммутацией и сети с постоянной коммутацией.

В первом случае сеть разрешает устанавливать соединение по инициативе пользователя сети. Коммутация выполняется на время сеанса связи, а затем (опять же по инициативе одного из взаимодействующих пользователей) связь разрывается. В общем случае любой пользователь сети может соединиться с любым другим пользователем сети. Обычно период соединения между парой пользователей при динамической коммутации составляет от нескольких секунд до нескольких часов и завершается при выполнении определенной работы — передачи файла, просмотра страницы текста или изображения и т. п.

Во втором случае сеть не предоставляет пользователю возможность выполнить динамическую коммутацию с другим произвольным пользователем сети. Вместо этого сеть разрешает паре пользователей заказать соединение на длительный период времени. Соединение устанавливается не пользователями, а персоналом, обслуживающим сеть. Время, на которое устанавливается постоянная коммутация, измеряется обычно несколькими месяцами. Режим постоянной (permanent) коммутации в сетях с коммутацией каналов часто называется сервисом выделенных (dedicate) или арендуемых (leased), каналов. В том случае, когда постоянное соединение через сеть коммутаторов устанавливается с помощью автоматических процедур, инициированных обслуживающим персоналом, его часто называют полупостоянным соединением, в отличие от режима ручного конфигурирования каждого коммутатора.

Примерами сетей, поддерживающих режим динамической коммутации, являются телефонные сети общего пользования, локальные сети, сети TCP/IP. Наиболее популярными сетями, работающими в режиме постоянной коммутации, сегодня являются сети технологии SDN, на основе которых строятся выделенные каналы связи с пропускной способностью в несколько гигабит в секунду. Некоторые типы сетей поддерживают оба режима работы. Например, сети X.25 и АТМ могут предоставлять пользователю возможность динамически связаться с любым другим пользователем сети и в то же время отправлять данные по постоянному соединению одному вполне определенному абоненту.

Пропускная способность сетей с коммутацией пакетов

Одним из отличий метода коммутации пакетов от метода коммутации каналов является неопределенность пропускной способности соединения между двумя абонентами. В методе коммутации каналов после образования составного канала пропускная способность сети при передаче данных между конечными узлами известна — это пропускная способность канала. Данные после задержки, связанной с установлением канала, начинают передаваться на максимальной для канала скорости (рис. 2.16 а).

Время передачи сообщения в сети с коммутацией каналов $T_{\text{КК}}$ равно сумме времени задержки распространения сигнала по линии связи $t_{\text{ЗР}}$ и времени задержки передачи сообщения $t_{\text{ЗП}}$. Задержка распространения сигнала зависит от скорости распространения электромагнитных волн в конкретной физической среде, которая колеблется от 0,6 до 0,9 скорости света в вакууме. Время пере-

дачи сообщения равно V/C , где V — объем сообщения в битах, а C — пропускная способность канала в битах в секунду.

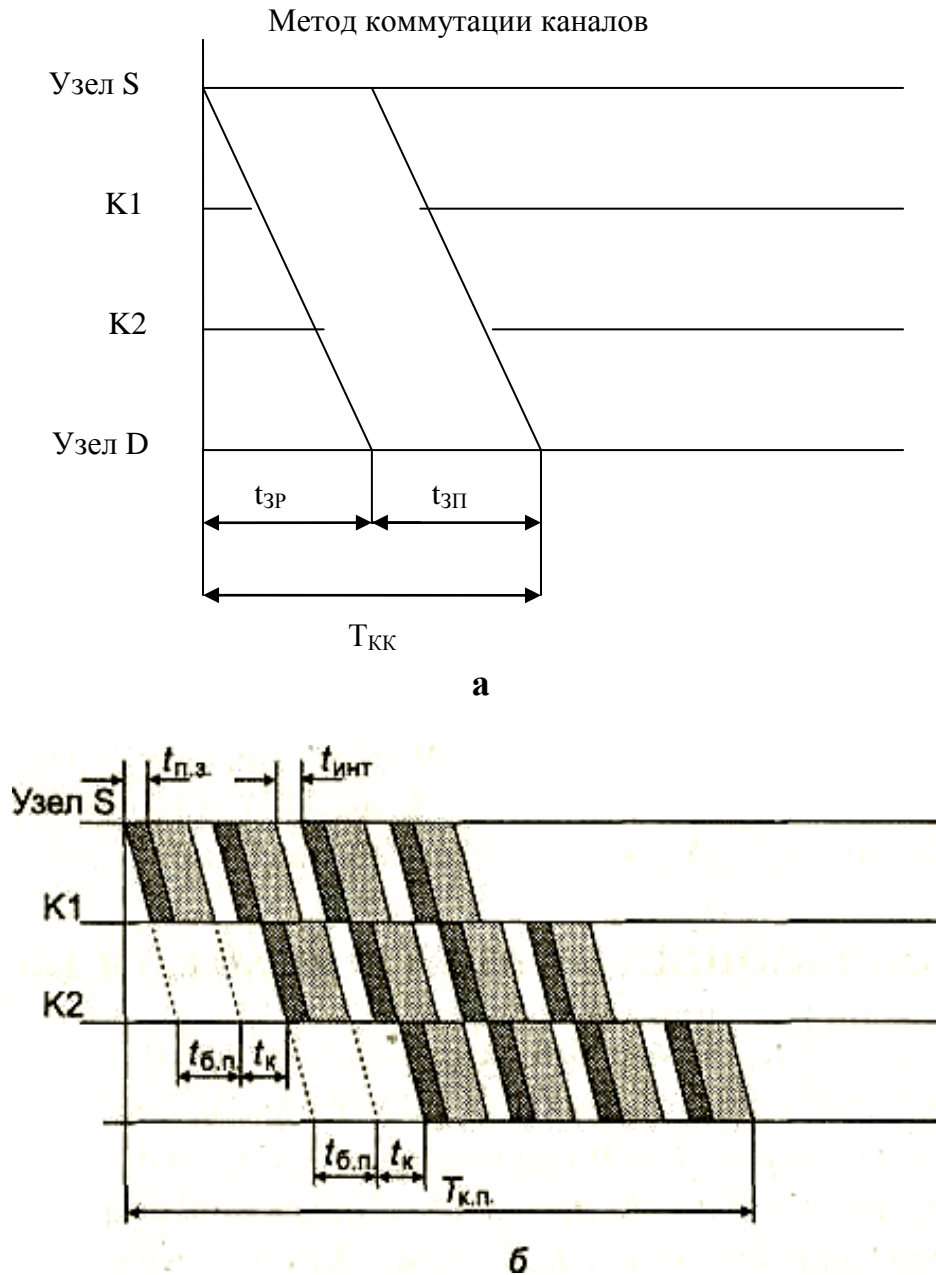


Рис. 2.16. Задержка передачи данных в сетях:
а - с коммутацией каналов; б - с коммутацией пакетов

В сети с коммутацией пакетов наблюдается принципиально другая картина. Процедура установления соединения в этих сетях, если она используется, занимает примерно такое же время, как и в сетях с коммутацией каналов, то остановимся только на времени передачи данных. На рис. 2.16 б показан пример передачи в сети с коммутацией пакетов. Предполагается, что в сеть передается сообщение того же объема, что и сообщение, иллюстрируемое рис. 2.16, однако оно разделено на пакеты, каждый из которых снабжен заголовком. Вре-

мя передачи сообщения в сети с коммутацией пакетов обозначено как $T_{к.п.}$. При передаче сообщения, разбитого на пакеты, по сети с коммутацией пакетов, возникают следующие временные задержки:

- задержки в источнике передачи, который, помимо передачи собственно сообщений, тратит дополнительное время на передачу заголовка, $t_{пз}$;
- задержки, вызванные наличием интервала между передачей каждого следующего пакета, $t_{инт}$ (это время уходит на формирование очередного пакета стеком протоколов);
- задержки времени буферизации пакета $t_{бп}$ (коммутатор не может начать передачу пакета, не приняв его полностью в свой буфер);
- задержки времени коммутации $t_{к}$.

Время буферизации равно времени приема пакета с битовой скоростью протокола. Время коммутации складывается из времени ожидания пакета в очереди и времени перемещения пакета в выходной порт. Если время перемещения пакета фиксировано и обычно невелико (от нескольких микросекунд до нескольких десятков микросекунд), то время ожидания пакета в очереди колеблется в очень широких пределах и заранее неизвестно, так как зависит от текущей загрузки сети пакетами.

Каждый из коммутаторов вносит задержку коммутации от долей до сотен миллисекунд. Общая задержка, вносимая несколькими коммутаторами, может составить несколько сотен миллисекунд, что сравнимо с общим временем передачи данных в сети с коммутацией каналов.

Неопределенность пропускной способности сети с коммутацией пакетов является своеобразной платой за ее общую эффективность при некотором ущемлении интересов отдельных абонентов. Аналогично, в мультипрограммной операционной системе время выполнения приложения предсказать заранее невозможно, так как оно зависит от количества других приложений, с которыми делит процессор данное приложение.

На эффективность работы сети существенно влияют размеры пакетов, которые передает сеть. Слишком большие пакеты приближают сеть с коммутацией пакетов к сети с коммутацией каналов, поэтому эффективность сети при этом падает, слишком маленькие пакеты заметно увеличивают долю служебной информации, так как каждый пакет несет с собой заголовок фиксированной длины, а количество пакетов, на которые разбиваются сообщения, при уменьшении размера пакета резко возрастает. Существует некоторый размер пакета, который обеспечивает максимальную эффективность работы сети, однако его трудно определить точно, так как он зависит от многих факторов, постоянно меняющихся в процессе работы сети. Поэтому разработчики протоколов сетей с коммутацией пакетов выбирают пределы, в которых может находиться длина пакета, а точнее размеры его поля данных, так как заголовок, как правило, имеет фиксированную длину. Обычно нижний предел поля данных выбирается равным нулю, что разрешает передавать служебные пакеты без пользовательских данных, а верхний предел не превышает значения 4 Кбайт. Приложения

при передаче данных пытаются занять максимальный размер поля данных, чтобы быстрее выполнить обмен данными, а небольшие пакеты обычно используются для квитанций о доставке пакета.

При выборе размера пакета необходимо учитывать также и интенсивность битовых ошибок канала. На ненадежных каналах необходимо уменьшать размеры пакетов, так как это уменьшает объем повторно передаваемых данных при искажениях пакетов.

Сеть Ethernet как пример технологии коммутации пакетов

Рассмотрим, каким образом описанные выше общие подходы к решению наиболее важных проблем построения сетей воплощены в наиболее популярной сетевой технологии — Ethernet.

Сетевая технология — это согласованный набор стандартных протоколов и реализующих их программно-аппаратных средств (например, сетевых адаптеров, драйверов, кабелей и разъемов), достаточный для построения вычислительной сети. Понятие «достаточности» подчеркивает то обстоятельство, что этот набор представляет собой минимальный набор средств, с помощью которых можно построить работоспособную сеть. Возможно, эту сеть можно улучшить, например, за счет выделения в ней подсетей, что сразу потребует, кроме протоколов стандарта Ethernet, применения протокола IP, а также специальных коммуникационных устройств — маршрутизаторов. Улучшенная сеть будет, скорее всего, более надежной и быстродействующей, но за счет надстроек над средствами технологии Ethernet, которая составляет базис сети.

Термин «сетевая технология» чаще всего используется в описанном выше узком смысле, но иногда применяется и его расширенное толкование как любого набора средств и правил для построения сети, например, «технология сквозной маршрутизации», «технология создания защищенного канала», «технология IP-сетей». Протоколы, на основе которых строится сеть определенной технологии (в узком смысле), специально разрабатывались для совместной работы, поэтому от разработчика сети не требуется дополнительных усилий по организации их взаимодействия. Иногда сетевые технологии называют базовыми технологиями, имея в виду то, что на их основе строится базис любой сети. Примерами базовых сетевых технологий могут служить наряду с Ethernet такие известные технологии локальных сетей, как Token Ring и FDDI или же технологии территориальных сетей X.25 и Frame Relay. Для получения работоспособной сети в этом случае достаточно приобрести программные и аппаратные средства, относящиеся к одной базовой технологии — сетевые адаптеры с драйверами, концентраторы, коммутаторы, кабельная система и т. п., — и соединить их в соответствии с требованиями стандарта на данную технологию.

Основной принцип, положенный в основу Ethernet, — случайный метод доступа к разделяемой среде передачи данных. В качестве такой среды может использоваться толстый или тонкий коаксиальный кабель, витая пара, оптоволокно или радиоволны (кстати, первой сетью, построенной на принципе слу-

чайного доступа к разделяемой среде, была радиосеть Aloha Гавайского университета).

В стандарте Ethernet строго зафиксирована топология электрических связей. Компьютеры подключаются к разделяемой среде в соответствии с типовой топологией «общая шина» (рис. 2.17). С помощью разделяемой во времени шины любые два компьютера могут обмениваться данными. Управление доступом к линии связи осуществляется специальными контроллерами — сетевыми адаптерами Ethernet. Каждый компьютер, а более точно, каждый сетевой адаптер, имеет уникальный адрес. Передача данных происходит со скоростью 10 Мбит/с. Эта величина является пропускной способностью сети Ethernet.

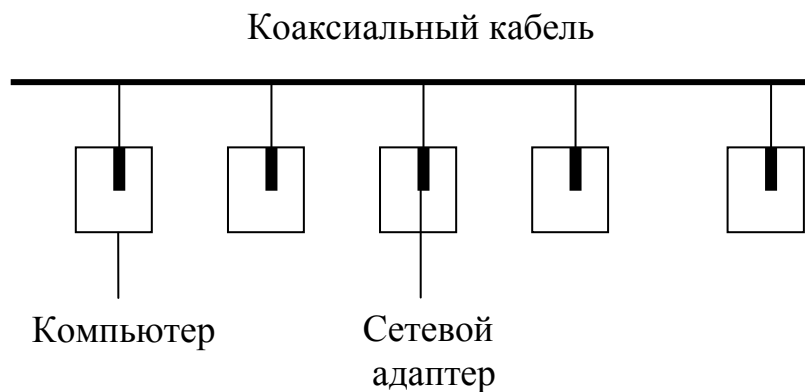


Рис. 2.17. Сеть Ethernet

При передаче данных в сети Ethernet используется метод случайного доступа. Его суть состоит в том, что любой компьютер может передавать данные по сети, только если сеть свободна, то есть если никакой другой компьютер в данный момент не занимается обменом. Поэтому важной частью технологии Ethernet является процедура определения доступности среды.

После того, как компьютер убеждается, что сеть свободна, он начинает передачу, «захватывая» при этом среду. Время монопольного использования разделяемой среды одним узлом ограничивается временем передачи одного кадра. Кадр — это единица данных, которыми обмениваются компьютеры в сети Ethernet. Кадр имеет фиксированный формат и наряду с полем данных содержит различную служебную информацию, например, адрес получателя и адрес отправителя.

Сеть Ethernet устроена так, что при попадании кадра в разделяемую среду передачи данных все сетевые адаптеры одновременно начинают принимать этот кадр. Все они анализируют адрес назначения, располагающийся в одном из начальных полей кадра, и, если этот адрес совпадает с их собственным адресом, кадр помещается во внутренний буфер сетевого адаптера. Таким образом, компьютер-адресат получает предназначенные ему данные.

Иногда может возникать ситуация, когда одновременно два или более компьютера решают, что сеть свободна, и начинают передавать информацию.

Такая ситуация, называемая коллизией, препятствует правильной передаче данных по сети. В стандарте Ethernet предусмотрен алгоритм обнаружения и корректной обработки коллизий. Вероятность возникновения коллизии зависит от интенсивности сетевого трафика.

После обнаружения коллизии сетевые адаптеры, которые пытались передать свои кадры, прекращают передачу и после паузы случайной длительности пытаются снова получить доступ к среде и передать тот кадр, который вызвал коллизию.

Главным достоинством сетей Ethernet, благодаря которому они стали такими популярными, является их экономичность. Для построения сети достаточно иметь по одному сетевому адаптеру для каждого компьютера плюс один физический сегмент коаксиального кабеля нужной длины. Другие базовые технологии, например, Token Ring, для создания даже небольшой сети требуют наличия дополнительного устройства — концентратора.

Кроме того, в сетях Ethernet реализованы достаточно простые алгоритмы доступа к среде, адресации и передачи данных. Простая логика работы сети ведет к упрощению и соответственно удешевлению сетевых адаптеров и их драйверов. По той же причине адаптеры сети Ethernet обладают высокой надежностью.

Третьим замечательным свойством сетей Ethernet является их хорошая расширяемость, то есть легкость подключения новых узлов.

Другие базовые сетевые технологии — Token Ring, FDDI, — хотя и обладают многими индивидуальными чертами, в то же время имеют много общих свойств с Ethernet. В первую очередь — это применение регулярных фиксированных топологий (иерархическая звезда и кольцо), а также разделяемых сред передачи данных. Существенные отличия одной технологии от другой связаны с особенностями используемого метода доступа к разделяемой среде. Так, отличия технологии Ethernet от технологии Token Ring во многом определяются спецификой заложенных в них методов разделения среды — случайного алгоритма доступа в Ethernet и метода доступа путем передачи маркера в Token Ring.

§ 2.3. Основные программные и аппаратные компоненты сети

Многослойная модель сети

Даже в результате достаточно поверхностного рассмотрения работы сети становится ясно, что вычислительная сеть — это сложный комплекс взаимосвязанных и согласованно функционирующих программных и аппаратных компонентов. Изучение сети в целом предполагает знание принципов работы ее отдельных элементов, к которым относятся:

- компьютеры;
- коммуникационное оборудование;
- операционные системы;

– сетевые приложения.

Весь комплекс программно-аппаратных средств сети может быть описан многослойной моделью. Первым слоем обычно считают основу любой сети - аппаратный слой стандартизированных компьютерных платформ. В настоящее время в сетях применяются компьютеры различных классов — от персональных компьютеров до мэйнфреймов и суперЭВМ. Набор компьютеров в сети должен соответствовать набору разнообразных задач, решаемых сетью.

Второй слой — это коммуникационное оборудование. Хотя компьютеры и являются центральными элементами обработки данных в сетях, в последнее время не менее важную роль стали играть коммуникационные устройства. К ним относятся кабельные системы, повторители, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы и модульные концентраторы, которые из вспомогательных компонентов сети превратились в основные наряду с компьютерами и системным программным обеспечением как по влиянию на характеристики сети, так и по стоимости. Сегодня коммуникационное устройство может представлять собой сложный специализированный мультипроцессор, который нужно конфигурировать, оптимизировать и администрировать. Изучение принципов работы коммуникационного оборудования требует знакомства с большим количеством протоколов, используемых как в локальных, так и глобальных сетях.

Третьим слоем, образующим программную платформу сети, являются операционные системы (ОС). От того, какие концепции управления локальными и распределенными ресурсами положены в основу сетевой ОС, зависит эффективность работы всей сети. При проектировании сети важно учитывать, насколько просто данная операционная система может взаимодействовать с другими ОС сети, насколько она обеспечивает безопасность и защищенность данных, до какой степени она позволяет наращивать число пользователей, можно ли перенести ее на компьютер другого типа и многие другие соображения.

Самым верхним слоем сетевых средств являются различные сетевые приложения, такие как: сетевые базы данных, почтовые системы, средства архивирования данных, системы автоматизации коллективной работы и др. Очень важно представлять диапазон возможностей, предоставляемых приложениями для различных областей применения, а также знать, насколько они совместимы с другими сетевыми приложениями и операционными системами.

Сетевые службы и операционная система

Для конечного пользователя сеть — это не компьютеры, кабели и концентраторы и даже не информационные потоки, а тот набор сетевых служб, с помощью которых он получает возможность просмотреть список имеющихся в сети компьютеров, прочитать удаленный файл, распечатать документ на «чужом» принтере или послать почтовое сообщение. Именно совокупность предо-

ставляемых возможностей — по широте выбора, удобству, надежности и безопасности — определяет для пользователя облик той или иной сети.

Кроме собственно обмена данными сетевые службы должны решать и другие, более специфические задачи, например, задачи, порождаемые распределенной обработкой данных. К таким задачам относится обеспечение непротиворечивости нескольких копий данных, размещенных на разных машинах (служба репликации), или организация выполнения одной задачи параллельно на нескольких машинах сети (служба вызова удаленных процедур). Среди сетевых служб можно выделить административные, то есть такие, которые в основном ориентированы не на простого пользователя, а на администратора и служат для организации правильной работы сети в целом. Служба администрирования учетных записей о пользователях, которая позволяет администратору вести общую базу данных о пользователях сети, система мониторинга сети, позволяющая захватывать и анализировать сетевой трафик, служба безопасности, в функции которой может входить среди прочего выполнение процедуры логического входа с последующей проверкой пароля, — все это примеры административных служб.

Реализация сетевых служб осуществляется программными средствами. Основные службы — файловая служба и служба печати — обычно предоставляются сетевой операционной системой, а вспомогательные, например, служба баз данных, факса или передачи голоса, — системными сетевыми приложениями, или утилитами, работающими в тесном контакте с сетевой ОС. Вообще говоря, распределение служб между ОС и утилитами достаточно условно и меняется в конкретных реализациях ОС.

При разработке сетевых служб приходится решать проблемы, которые свойственны любым распределенным приложениям: определение протокола взаимодействия между клиентской и серверной частями, распределение функций между ними, выбор схемы адресации приложений и др.

Одним из главных показателей качества сетевой службы является ее удобство. Для одного и того же ресурса может быть разработано несколько служб, которые по-разному решают одну и ту же задачу. Отличия могут заключаться в производительности или уровне удобства предоставляемых услуг. Например, файловая служба может быть основана на использовании команды передачи файла из одного компьютера в другой по имени файла, что требует от пользователя знания этого имени. Файловая служба может быть реализована так, что пользователь монтирует удаленную файловую систему к локальному каталогу, а далее обращается к удаленным файлам как к своим собственным, что гораздо удобнее. Качество сетевой службы зависит и от качества пользовательского интерфейса — интуитивной понятности, наглядности, рациональности.

При определении степени удобства разделяемого ресурса часто употребляют термин «прозрачность». Прозрачный доступ — это такой доступ, при котором пользователь не замечает, где расположен нужный ему ресурс — на соб-

ственном или удаленном компьютере. После того, как он смонтировал удаленную файловую систему в свое дерево каталогов, доступ к удаленным файлам становится для него совершенно прозрачным. Сама операция монтирования также может иметь разную степень прозрачности — в сетях с меньшей прозрачностью пользователь должен знать и задавать в команде имя компьютера, на котором хранится удаленная файловая система, в сетях с большей степенью прозрачности соответствующий программный компонент сети производит поиск разделяемых томов файлов безотносительно мест их хранения, а затем предоставляет их пользователю в удобном для него виде, например, в виде списка или набора значков.

Для обеспечения прозрачности важен способ адресации (именования) разделяемых сетевых ресурсов. Имена разделяемых сетевых ресурсов не должны зависеть от их физического расположения на том или ином компьютере. В идеале пользователь не должен ничего менять в своей работе, если администратор сети переместил том или каталог с одного компьютера на другой. Сам администратор и сетевая операционная система имеют информацию о расположении файловых систем, но от пользователя она скрыта. Такая степень прозрачности пока редко встречается в сетях — обычно для получения доступа к ресурсам определенного компьютера сначала приходится устанавливать с ним логическое соединение. Такой подход применяется, например, в сетях Windows NT.

Общая структура телекоммуникационной сети

Несмотря на то, что различия между компьютерными, телефонными, телевизионными и первичными сетями, безусловно, существенны, все они на достаточно высоком уровне абстракции имеют подобные структуры. Телекоммуникационная сеть в общем случае состоит из следующих компонентов (рис. 2.18):

- сети доступа (access network);
- магистральной сети или магистрали (core network или backbone);
- информационных центров или центров управления сервисами (data centers или services control point).

Как сеть доступа, так и магистральная сеть строятся на основе коммутаторов. Каждый коммутатор оснащен некоторым количеством портов, которые соединяются с портами других коммутаторов каналами связи. Сеть доступа составляет нижний уровень иерархии телекоммуникационной сети. К этой сети подключаются конечные (терминальные) узлы — оборудование, установленное у пользователей (абонентов, клиентов) сети.

В случае компьютерной сети конечными узлами являются компьютеры, телефонной — телефонные аппараты, а телевизионной или радиосети — соответствующие теле- и радиоприемники.

Основное назначение сети доступа — концентрация информационных потоков, поступающих по многочисленным каналам связи от оборудования

пользователей, в сравнительно небольшом количестве узлов магистральной сети. Сеть доступа, как и телекоммуникационная сеть в целом, может состоять из нескольких уровней. Коммутаторы, установленные в узлах нижнего уровня, мультиплексируют информацию, поступающую по многочисленным абонентским каналам и передают ее коммутаторам магистралей.

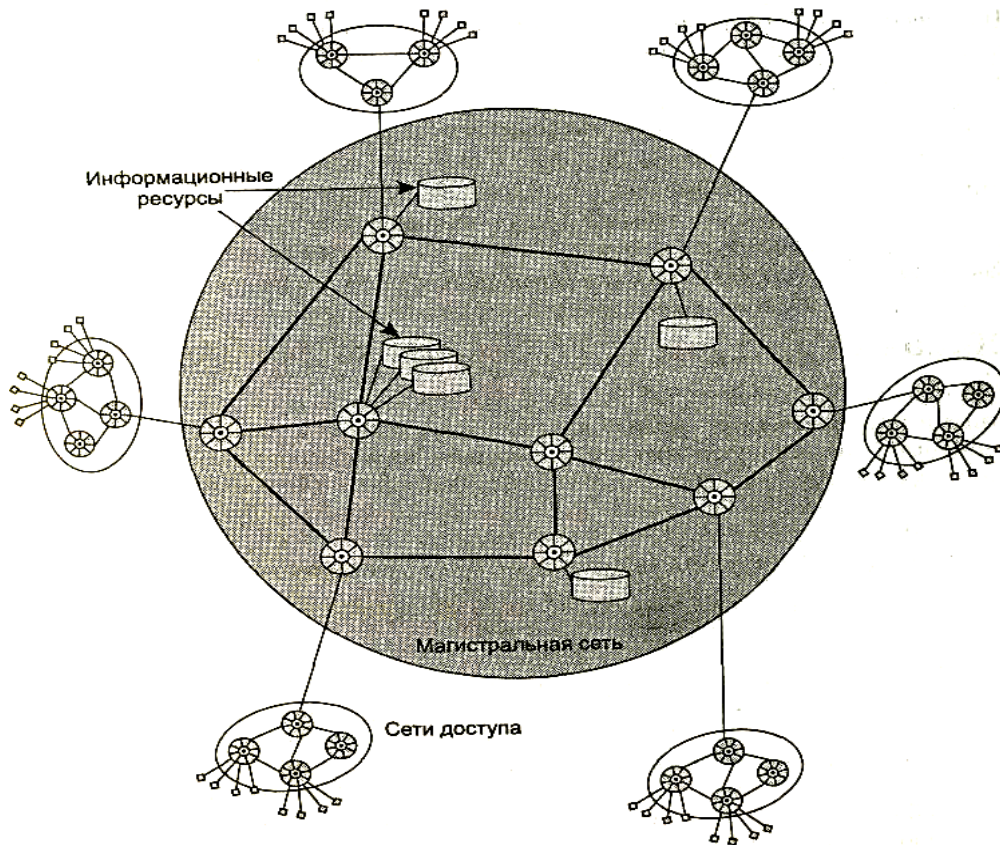


Рис. 2.18. Структура телекоммуникационной сети

Количество уровней сети доступа зависит от ее размера, небольшая сеть доступа может состоять из одного уровня, а крупная – из двух-трех. Следующие уровни осуществляют дальнейшую концентрацию трафика, собирая его и мультиплексируя в более скоростные каналы.

Магистральная сеть объединяет отдельные сети доступа, выполняя функции транзита трафика между ними по высокоскоростным каналам. Коммутаторы магистралей могут оперировать не только с информационными соединениями между отдельными пользователями, но и с агрегированными информационными потоками, переносящими данные большого количества пользовательских соединений. В результате информация с помощью магистралей попадает в сеть доступа получателей, демультиплексируется там и коммутируется таким образом, что на входной порт оборудования пользователя поступает только та информация, которая ему адресована.

В том случае, когда абонент-получатель подключен к тому же коммута-

тору доступа, что и абонент-отправитель (непосредственно или через подчиненные по иерархии связей коммутаторы), последний самостоятельно выполняет необходимую операцию коммутации.

Информационные центры или центры управления сервисами, — это собственные информационные ресурсы сети, на основе которых осуществляется обслуживание пользователей. В таких центрах может храниться информация двух типов:

- пользовательская информация, которая непосредственно интересует конечных пользователей сети;
- вспомогательная служебная информация, помогающая предоставлять некоторые услуги пользователям.

Примером информационных ресурсов первого типа могут служить web-порталы, на которых расположена разнообразная справочная и новостная информация, информация электронных магазинов и т. п. В телефонных сетях такими центрами являются службы экстренного вызова (например, милиции, скорой помощи) и справочные службы различных организаций и предприятий — вокзалов, аэропортов, магазинов и т. п. В телевизионных сетях такими центрами являются телестудии, поставляющие «живую» картинку или же воспроизводящие ранее записанные сюжеты или фильмы.

Ресурсами второго типа являются: системы аутентификации и авторизации пользователей, с помощью которых организация, владеющая сетью, проверяет права пользователей на получение тех или иных услуг; системы биллинга, которые в коммерческих сетях подсчитывают плату за полученные услуги; базы данных учетной информации пользователей, хранящие имена и пароли; перечни услуг, на которые подписан каждый пользователь. В телефонных сетях существуют централизованные центры управления сервисами (Services Control Point, SCP), в которых установлены компьютеры, хранящие программы нестандартной обработки телефонных вызовов пользователей, например, вызовов к бесплатным справочным службам коммерческих предприятий (так называемые службы 800) или вызовов при проведении телеголосования. Еще одним из распространенных видов вспомогательного информационного центра является централизованная система управления сетью, которая представляет собой программное обеспечение, работающее на одном или нескольких компьютерах.

Естественно, у сетей каждого конкретного типа имеется много особенностей, тем не менее их структура в целом соответствует описанной выше. В то же время, в зависимости от назначения и размера сети в ней могут отсутствовать или же иметь несущественное значение некоторые составляющие обобщенной структуры. Например, в небольшой локальной компьютерной сети нет ярко выраженных сетей доступа к магистрали - они сливаются в общую и достаточно простую структуру. В корпоративной сети, как правило, отсутствует система биллинга, так как услуги сотрудником предприятия оказываются не на коммерческой основе. В некоторых телефонных сетях могут отсутствовать информационные центры, а в телевизионных — сеть доступа приобретает вид

распределительной сети, так как информация в ней распространяется только в одном направлении — из сети к абонентам.

§ 2.4. Требования к компьютерным сетям

Главным требованием, предъявляемым к сетям, является выполнение сетью того набора услуг, для оказания которых она предназначена, например, предоставление доступа к файловым архивам или страницам публичных web-сайтов, обмен электронной почтой в пределах предприятия или в глобальных масштабах, интерактивный обмен речевыми сообщениями IP-телефонии и т. п. Все остальные требования — производительность, надежность, совместимость, управляемость, защищенность, расширяемость и масштабируемость — связаны с качеством выполнения основной задачи. И хотя все эти требования весьма важны, часто понятие «качество обслуживания» (QoS) компьютерной сети трактуется более узко — в него включаются только две самые важные характеристики сети — производительность и надежность.

Производительность

Потенциально высокая производительность — это одно из основных преимуществ распределенных систем, к которым относятся компьютерные сети. Это свойство обеспечивается принципиальной, но не всегда реализуемой возможностью распараллеливания работ между несколькими компьютерами сети.

Существует несколько основных характеристик производительности сети:

- время реакции;
- скорость передачи данных;
- пропускная способность;
- задержка передачи и вариация задержки передачи.

Время реакции сети является интегральной характеристикой производительности сети с точки зрения пользователя. Именно эту характеристику имеет в виду пользователь, когда говорит: «сегодня сеть работает медленно».

В общем случае время реакции определяется как интервал времени между возникновением запроса пользователя к какой-либо сетевой службе и получением ответа на этот запрос.

Очевидно, что значение этого показателя зависит от типа службы, к которой обращается пользователь, от самого пользователя и от сервера, к которому обращается пользователь, а также от текущего состояния элементов сети, например, загруженности сегментов, коммутаторов и маршрутизаторов, через которые проходит запрос, загруженности сервера и т. п. Поэтому имеет смысл использовать также и средневзвешенную оценку времени реакции сети, усредняя этот показатель по пользователям, серверам и времени дня (от которого в значительной степени зависит загрузка сети).

Время реакции сети обычно складывается из нескольких составляющих. В общем случае, в него входит время подготовки запросов на клиентском ком-

пьютере, время передачи запросов между клиентом и сервером через сегменты сети и промежуточное коммуникационное оборудование, время обработки запросов на сервере, время передачи ответов от сервера клиенту и время обработки получаемых от сервера ответов на клиентском компьютере. Ясно, что разложение времени реакции на составляющие не интересует пользователя, ему важен конечный результат, однако для сетевого специалиста очень важно выделить из общего времени реакции составляющие, соответствующие этапам собственно сетевой обработки данных, — передачу данных от клиента к серверу через сегменты сети и коммуникационное оборудование.

Знание сетевых составляющих времени реакции дает возможность оценить производительность отдельных элементов сети, выявить узкие места и в случае необходимости выполнить модернизацию сети для повышения ее общей производительности.

Скорость передачи данных отражает объем данных, переданных сетью или ее частью в единицу времени. Пропускная способность уже не является пользовательской характеристикой, так как она говорит о скорости выполнения внутренних операций сети — передаче пакетов данных между узлами сети через различные коммуникационные устройства. Зато она непосредственно характеризует качество выполнения основной функции сети — транспортировки сообщений — и поэтому чаще используется при анализе производительности сети, чем время реакции.

Скорость передачи данных измеряется либо в битах в секунду, либо в пакетах в секунду. Пропускная способность может быть мгновенной, максимальной и средней.

Средняя скорость вычисляется путем деления общего объема переданных данных на время их передачи, причем выбирается достаточно длительный промежуток времени — час, день или неделя.

Мгновенная скорость отличается от средней тем, что для усреднения выбирается маленький промежуток времени, например, 10 мс или 1 с.

Максимальная скорость — это наибольшая мгновенная пропускная способность, зафиксированная в течение периода наблюдения. Максимально достижимая скорость передачи данных называется пропускной способностью элемента сети.

Чаще всего при проектировании, настройке и оптимизации сети используются такие показатели, как средняя и максимальная *пропускные способности*. Средняя пропускная способность отдельного элемента или всей сети позволяет оценить работу сети на большом промежутке времени, в течение которого в силу закона больших чисел пики и спады интенсивности трафика компенсируют друг друга. Пропускная способность позволяет оценить возможности сети справляться с пиковыми нагрузками, характерными для особых периодов работы сети, например, утренних часов, когда сотрудники предприятия почти одновременно регистрируются в сети и обращаются к разделяемым файлам и базам данных.

Пропускную способность можно измерять между любыми двумя узлами или точками сети, например, между клиентским компьютером и сервером, между входным и выходным портами маршрутизатора. Для анализа и настройки сети очень полезно знать данные о пропускной способности отдельных элементов сети.

Важно отметить, что из-за последовательного характера передачи данных различными элементами сети общая пропускная способность сети любого составного пути в сети будет равна минимальной из пропускных способностей составляющих элементов маршрута. Для повышения пропускной способности составного пути необходимо в первую очередь обратить внимание на самые медленные элементы. Иногда полезно оперировать общей пропускной способностью сети, которая определяется как максимальное количество информации, переданной между всеми узлами сети в единицу времени. Этот показатель характеризует качество сети в целом, не дифференцируя его по отдельным сегментам или устройствам.

Обычно при определении пропускной способности сегмента или устройства в передаваемых данных не выделяется трафик какого-то определенного пользователя, приложения или компьютера — подсчитывается общий объем передаваемой информации. Тем не менее, для более точной оценки качества обслуживания такая детализация желательна, и в последнее время системы управления сетями все чаще позволяют ее выполнять.

Задержка передачи определяется как задержка между моментом поступления данных на вход какого-либо сетевого устройства или части сети и моментом появления их на выходе этого устройства. Этот параметр производительности по смыслу близок ко времени реакции сети, но отличается тем, что всегда характеризует только сетевые этапы обработки данных, без задержек обработки конечными узлами сети. Обычно качество сети характеризуют величинами максимальной задержки передачи и вариацией задержки. Не все типы трафика чувствительны к задержкам передачи, во всяком случае, к тем величинам задержек, которые характерны для компьютерных сетей, обычно задержки не превышают сотен миллисекунд, реже — нескольких секунд. Такого порядка задержки пакетов, порождаемых файловой службой, службой электронной почты или службой печати, мало влияют на качество этих служб с точки зрения пользователя сети. С другой стороны, такие же задержки пакетов, переносящих голосовые данные или видеоизображение, могут приводить к значительному снижению качества доставляемой пользователю информации — возникновению эффекта «эха», невозможности разобрать некоторые слова, дрожание изображения и т. п.

Пропускная способность и задержки передачи являются независимыми параметрами, так что сеть может обладать, например, высокой пропускной способностью, но вносить значительные задержки при передаче каждого пакета. Пример такой ситуации дает канал связи, образованный геостационарным спутником. Пропускная способность этого канала может быть весьма высокой,

например, 2 Мбит/с, в то время как задержка передачи всегда составляет не менее 0,24 с, что определяется скоростью распространения электрического сигнала (около 300 000 км/с) и длиной канала (72 000 км).

Надежность и безопасность

Одной из первоначальных целей создания распределенных систем, к которым относятся и вычислительные сети, являлось достижение большей надежности по сравнению с отдельными вычислительными машинами.

Важно различать несколько аспектов надежности. Для технических устройств используются такие показатели надежности, как среднее время наработки на отказ, вероятность отказа, интенсивность отказов. Однако эти показатели пригодны только для оценки надежности простых элементов и устройств, которые могут находиться только в двух состояниях — работоспособном или неработоспособном. Сложные системы, состоящие из многих элементов, кроме состояний работоспособности и неработоспособности, могут иметь и другие промежуточные состояния, которые эти характеристики не учитывают. В связи с этим для оценки надежности сложных систем применяется другой набор характеристик.

Готовность или *коэффициент готовности* {availability) означает долю времени, в течение которого система может быть использована. Готовность может быть улучшена путем введения избыточности в структуру системы: ключевые элементы системы должны существовать в нескольких экземплярах, чтобы при отказе одного из них функционирование системы обеспечивали другие.

Чтобы компьютерную систему можно было отнести к высоконадежным, она должна как минимум обладать высокой готовностью, но этого недостаточно. Необходимо обеспечить сохранность данных и защиту их от искажений. Кроме этого должна поддерживаться согласованность (непротиворечивость) данных, например, если для повышения надежности на нескольких файловых серверах хранятся несколько копий данных, то нужно постоянно обеспечивать их идентичность.

Так как сеть работает на основе механизма передачи пакетов между конечными узлами, то одной из характерных характеристик надежности является вероятность доставки пакета узлу назначения без искажений. Наряду с этой характеристикой могут использоваться и другие показатели: вероятность потери пакета (по любой из причин — из-за переполнения буфера маршрутизатора, из-за несовпадения контрольной суммы, из-за отсутствия работоспособного пути к узлу назначения и т. д.), вероятность искажения отдельного бита передаваемых данных, отношение потерянных пакетов к доставленным.

Другим аспектом общей надежности является *безопасность* {security), то есть способность системы защитить данные от несанкционированного доступа. В распределенной системе это сделать гораздо сложнее, чем в централизованной. В сетях сообщения передаются по линиям связи, часто проходящим через

общедоступные помещения, в которых могут быть установлены средства прослушивания линий. Другим уязвимым местом могут быть оставленные без присмотра персональные компьютеры. Кроме того, всегда имеется потенциальная угроза взлома защиты сети от неавторизованных пользователей, если сеть имеет выходы в глобальные сети общего пользования.

Еще одной характеристикой надежности является *отказоустойчивость* (fault tolerance). В сетях под отказоустойчивостью понимается способность системы скрывать от пользователя отказ отдельных ее элементов. Например, если копии таблицы базы данных хранятся одновременно на нескольких файловых серверах, то пользователи могут просто не заметить отказ одного из них. В отказоустойчивой системе отказ одного из ее элементов приводит к некоторому снижению качества ее работы (деградации), а не к полному останову. Так, при отказе одного из файловых серверов в предыдущем примере увеличивается только время доступа к базе данных из-за уменьшения степени распараллеливания запросов, но в целом система продолжает выполнять свои функции.

Расширяемость и масштабируемость

Термины расширяемость и масштабируемость иногда используют как синонимы, но это неверно, каждый из них имеет четко определенное самостоятельное значение.

Расширяемость (extensibility) означает возможность сравнительно легко добавления отдельных элементов сети (пользователей, компьютеров, приложений, служб), наращивания длины сегментов сети и замены существующей аппаратуры более мощной. При этом принципиально важно, что легкость расширения системы иногда может обеспечиваться в некоторых весьма ограниченных пределах. Например, локальная сеть Ethernet, построенная на основе одного сегмента толстого коаксиального кабеля, обладает хорошей расширяемостью, в том смысле, что позволяет легко подключать новые станции. Однако такая сеть имеет ограничение на число станций — оно не должно превышать 30-40. Хотя сеть допускает физическое подключение к сегменту и большего числа станций (до 100), но при этом чаще всего резко снижается производительность сети. Наличие такого ограничения и является признаком плохой масштабируемости системы при хорошей расширяемости.

Масштабируемость (scalability) означает, что сеть позволяет наращивать количество узлов и протяженность связей в очень широких пределах, при этом производительность сети не ухудшается. Для обеспечения масштабируемости сети приходится применять дополнительное коммуникационное оборудование и специальным образом структурировать сеть. Например, хорошей масштабируемостью обладает многосегментная сеть, построенная с использованием коммутаторов и маршрутизаторов и имеющая иерархическую структуру связей. Такая сеть может включать несколько тысяч компьютеров и при этом обеспечивать каждому пользователю сети нужное качество обслуживания.

Прозрачность и управляемость

Прозрачность

Прозрачность (transparency) сети достигается в том случае, когда сеть представляется пользователям не как множество отдельных компьютеров, связанных между собой сложной системой кабелей, а как единая традиционная вычислительная машина с системой разделения времени. Известный лозунг компании Sun Microsystems: «Сеть — это компьютер» — говорит именно о такой прозрачной сети.

Прозрачность может быть достигнута на двух различных уровнях — на уровне пользователя и на уровне программиста. На уровне пользователя прозрачность означает, что для работы с удаленными ресурсами он использует те же команды и привычные ему процедуры, что и для работы с локальными ресурсами. На программном уровне прозрачность заключается в том, что приложению для доступа к удаленным ресурсам требуются те же вызовы, что и для доступа к локальным ресурсам. Прозрачность на уровне пользователя достигается проще, так как все особенности процедур, связанные с распределенным характером системы, маскируются от пользователя программистом, который создает приложение. Прозрачность на уровне приложения требует сокрытия всех деталей распределенности средствами сетевой операционной системы.

Сеть должна скрывать все особенности операционных систем и различия в типах компьютеров. Пользователь компьютера Macintosh должен иметь возможность обращаться к ресурсам, поддерживаемым UNIX-системой, а пользователь UNIX должен иметь возможность разделять информацию с пользователями Windows 95. Подавляющее число пользователей ничего не хочет знать о внутренних форматах файлов или о синтаксисе команд UNIX. Пользователь терминала IBM 3270 должен иметь возможность обмениваться сообщениями с пользователями сети персональных компьютеров без необходимости вникать в секреты трудно запоминаемых адресов.

Концепция прозрачности может быть применена к различным аспектам сети. Например, прозрачность расположения означает, что от пользователя не требуется знаний о месте расположения программных и аппаратных ресурсов, таких как процессоры, принтеры, файлы и базы данных. Имя ресурса не должно включать информацию о месте его расположения, поэтому имена типа machine1: prog.c или \\ftp_serv\pub прозрачными не являются. Аналогично, прозрачность перемещения означает, что ресурсы должны свободно перемещаться из одного компьютера в другой без изменения своих имен. Еще одним из возможных аспектов прозрачности является прозрачность параллелизма, заключающаяся в том, что процесс распараллеливания вычислений происходит автоматически, без участия программиста, при этом система сама распределяет параллельные ветви приложения по процессорам и компьюте-

рам сети. В настоящее время нельзя сказать, что свойство прозрачности в полной мере присуще многим вычислительным сетям, это скорее цель, к которой стремятся разработчики современных сетей.

Управляемость

Управляемость сети подразумевает возможность централизованно контролировать состояние основных элементов сети, выявлять и разрешать проблемы, возникающие при работе сети, выполнять анализ производительности и планировать развитие сети. В идеале средства управления сетями представляют собой систему, осуществляющую наблюдение, контроль и управление каждым элементом сети — от простейших до самых сложных устройств, при этом такая система рассматривает сеть как единое целое, а не как разрозненный набор отдельных устройств.

Хорошая система управления наблюдает за сетью и, обнаружив проблему, активизирует определенное действие, исправляет ситуацию и уведомляет администратора о том, что произошло и какие шаги предприняты. Одновременно с этим система управления должна накапливать данные, на основании которых можно планировать развитие сети. Наконец, система управления должна быть независима от производителя и обладать удобным интерфейсом, позволяющим выполнять все действия с одной консоли.

Решая тактические задачи, администраторы и технический персонал сталкиваются с ежедневными проблемами обеспечения работоспособности сети. Эти задачи требуют быстрого решения, обслуживающий сеть персонал должен оперативно реагировать на сообщения о неисправностях, поступающих от пользователей или автоматических средств управления сетью. Постепенно становятся заметны более общие проблемы производительности, конфигурирования сети, обработки сбоев и безопасности данных, требующие стратегического подхода, то есть планирования сети. Планирование, кроме этого, включает прогноз изменений требований пользователей к сети, вопросы применения новых приложений, новых сетевых технологий и т. п.

Полезность системы управления особенно ярко проявляется в больших сетях: корпоративных или публичных глобальных. Без системы управления в таких сетях нужно присутствие квалифицированных специалистов по эксплуатации в каждом здании каждого города, где установлено оборудование сети, что в итоге приводит к необходимости содержания огромного штата обслуживающего персонала.

Совместимость

Совместимость или интегрируемость означает, что сеть способна включать в себя самое разнообразное программное и аппаратное обеспечение, то есть в ней могут сосуществовать различные операционные системы, поддерживающие разные стеки коммуникационных протоколов, а также аппаратные средства и приложения от разных производителей. Сеть, состоящая из разно-

типных элементов, называется неоднородной или гетерогенной, а если гетерогенная сеть работает без проблем, то она является интегрированной. Основной путь построения интегрированных сетей — использование модулей, выполненных в соответствии с открытыми стандартами и спецификациями.

Качество обслуживания

В общем случае качество обслуживания (QoS) определяет вероятностные оценки выполнения тех или иных требований, предъявляемых к сети приложениями или пользователями. Например, при передаче голосового трафика через сеть под качеством обслуживания чаще всего понимают гарантии того, что голосовые пакеты будут доставляться сетью с задержкой не более N мс, при этом вариация задержки не превысит n мс, и эти характеристики станут выдерживаться сетью с вероятностью γ на определенном временном интервале. Это значит, что приложению, которое передает голосовой трафик, важно, чтобы сеть гарантировала соблюдение именно этого, приведенного выше набора характеристик качества обслуживания. Файловому сервису нужны гарантии средней полосы пропускания и расширения ее на небольших интервалах времени до некоторого максимального уровня для быстрой передачи пульсаций. В идеале сеть должна гарантировать особые параметры качества обслуживания, сформулированные для каждого отдельного приложения. Однако по понятным причинам разрабатываемые и уже существующие механизмы QoS ограничиваются решением более простой задачи — гарантированием неких усредненных требований, заданных для основных типов приложений.

Обычно параметры, фигурирующие в разнообразных определениях качества обслуживания, регламентируют следующие показатели работы сети:

- скорость передачи данных;
- задержки передачи пакетов;
- уровень потерь и искажений пакетов.

Качество обслуживания гарантируется для некоторого потока данных. Напомним, что поток данных — это последовательность пакетов, имеющих некоторые общие признаки, например, адрес узла-источника, информация, идентифицирующая тип приложения (номер порта TCP/UDP) и т. п. К потокам применимы такие понятия, как агрегирование и дифференцирование. Так, поток данных от одного компьютера может быть представлен как совокупность потоков от разных приложений, а потоки от компьютеров одного предприятия агрегированы в один поток данных абонента некоторого поставщика услуг.

Механизмы поддержки качества обслуживания сами по себе не увеличивают пропускной способности. Сеть не может дать больше того, что имеет. Так что фактическая пропускная способность каналов связи и транзитного коммуникационного оборудования — это ресурсы сети, являющиеся отправной точкой для работы механизмов QoS. Механизмы QoS только управляют распределением имеющейся пропускной способности в соответствии с требованиями

приложений и настройками сети. Самый очевидный способ перераспределения пропускной способности сети состоит в управлении очередями пакетов.

Поскольку данные, которыми обмениваются два конечных узла, проходят через некоторое количество промежуточных сетевых устройств, таких как концентраторы, коммутаторы и маршрутизаторы, то поддержка QoS требует взаимодействия всех сетевых элементов на пути трафика, то есть «из конца в конец» («end-to-end»). Любые гарантии QoS настолько хороши, насколько их обеспечивает наиболее «слабый» элемент в цепочке между отправителем и получателем. Поэтому нужно хорошо понимать, что поддержка QoS только в одном сетевом устройстве, пусть даже и магистральном, может весьма незначительно улучшить качество обслуживания или же совсем не повлиять на параметры QoS.

Реализация в компьютерных сетях механизмов поддержки QoS является сравнительно новой тенденцией. Долгое время компьютерные сети существовали без таких механизмов, и это объясняется в основном двумя причинами.

Во-первых, большинство приложений, выполняемых в сети, были нетребовательными. Для таких приложений задержки пакетов или отклонения средней пропускной способности в достаточно широком диапазоне не приводили к значительной потере функциональности. Примерами нетребовательных приложений являются наиболее распространенные в сетях 80-х годов приложения электронной почты или удаленного копирования файлов.

Во-вторых, сама пропускная способность 10-мегабитных сетей Ethernet во многих случаях не являлась дефицитом. Так, разделяемый сегмент Ethernet, к которому было подключено 10-20 компьютеров, изредка копирующих небольшие текстовые файлы, не превышающие несколько сотен килобайт, позволял трафику каждой пары взаимодействующих компьютеров пересекать сеть так быстро, как это требовалось породившим этот трафик приложениям.

В результате большинство сетей работало с тем качеством транспортного обслуживания, которое обеспечивало потребности приложений. Правда, никаких гарантий относительно нахождения задержек пакетов или пропускной способности, с которой пакеты передаются между узлами, в определенных пределах эти сети не давали. Более того, при временных перегрузках сети, когда значительная часть компьютеров одновременно начинала передавать данные с максимальной скоростью, задержки и пропускная способность становились такими, что работа приложений давала сбой (уменьшение скорости, прерывание сеансов и т. п.).

Транспортный сервис, который предоставляли такие сети, получил название *best effort*, то есть сервис «с максимальными усилиями». Сеть старается обработать поступающий трафик как можно быстрее, но при этом никаких гарантий относительно результата своих усилий не дает. Примерами являются большинство популярных технологий, разработанных в 80-е годы: Ethernet, Token Ring, IP, X.25. Сервис «с максимальными усилиями» основан на некотором справедливом алгоритме обработки очередей, возникающих при перегрузках

сети, когда в течение некоторого времени скорость поступления пакетов в сеть превышает скорость продвижения этих пакетов. В простейшем случае алгоритм обработки очереди рассматривает пакеты всех потоков как равноправные и продвигает их в порядке поступления (First Input First Output, FIFO). В том случае, когда очередь становится слишком большой (не уместается в буфере), проблема решается простым отбрасыванием вновь поступающих пакетов.

Очевидно, что сервис «с максимальными усилиями» обеспечивает приемлемое качество обслуживания только в тех случаях, когда производительность сети намного превышает средние потребности, то есть является избыточной. В такой сети пропускная способность достаточна даже для поддержания трафика пиковых периодов нагрузки. Также очевидно, что такое решение не экономично, по крайней мере, по отношению к пропускным способностям сегодняшних технологий и инфраструктур, особенно для глобальных сетей. Так как пиковые нагрузки и области, где они возникают, трудно предсказать, то такой путь не дает долговременного решения.

Тем не менее, построение сетей с избыточной пропускной способностью, будучи самым простым способом обеспечения нужного уровня качества обслуживания, все еще применяется на практике. Например, некоторые поставщики сетевых услуг TCP/IP предоставляют гарантию качественного обслуживания, постоянно поддерживая определенный уровень превышения пропускной способности своих магистралей над потребностями клиентов.

В условиях, когда многие механизмы поддержания качества обслуживания только разрабатываются, использование для этих целей избыточной пропускной способности часто оказывается единственно возможным, хотя и временным решением.

§ 2.5. Открытые системы и модель OSI (Open System Interconnection)

Универсальный тезис о пользе стандартизации, справедливый для всех отраслей в компьютерных сетях, приобретает особое значение. Суть сети — это соединение разного оборудования, а значит, проблема совместимости является одной из наиболее острых. Без принятия всеми производителями общепринятых правил построения оборудования прогресс в деле «строительства» сетей был бы невозможен. Поэтому все развитие компьютерной отрасли в конечном счете отражено в стандартах — любая новая технология только тогда приобретает «законный» статус, когда ее содержание закрепляется в соответствующем стандарте.

В компьютерных сетях идеологической основой стандартизации является многоуровневый подход к разработке средств сетевого взаимодействия. Именно на основе этого подхода была разработана стандартная, семиуровневая модель взаимодействия открытых систем, ставшая своего рода универсальным языком сетевых специалистов.

Многоуровневый подход

Декомпозиция задачи сетевого взаимодействия

Организация взаимодействия между устройствами в сети является сложной задачей. Как известно, для решения сложных задач используется универсальный прием — декомпозиция, то есть разбиение одной сложной задачи на несколько более простых задач-модулей. Декомпозиция состоит в четком определении функций каждого модуля, а также порядка их взаимодействия (интерфейсов). В результате достигается логическое упрощение задачи и, кроме того, появляется возможность модификации отдельных модулей без изменения остальной части системы.

При декомпозиции часто используют многоуровневый подход. Он заключается в следующем. Все множество модулей, решающих частные задачи, разбивают на группы и упорядочивают по уровням, образуя иерархию. В соответствии с принципом иерархии для каждого промежуточного уровня можно указать непосредственно примыкающие к нему соседние вышележащий и нижележащий уровни (рис. 2.19). Группа модулей, составляющих каждый уровень, должна быть сформирована таким образом, чтобы все модули этой группы для выполнения своих задач обращались с запросами только к модулям соседнего нижележащего уровня.

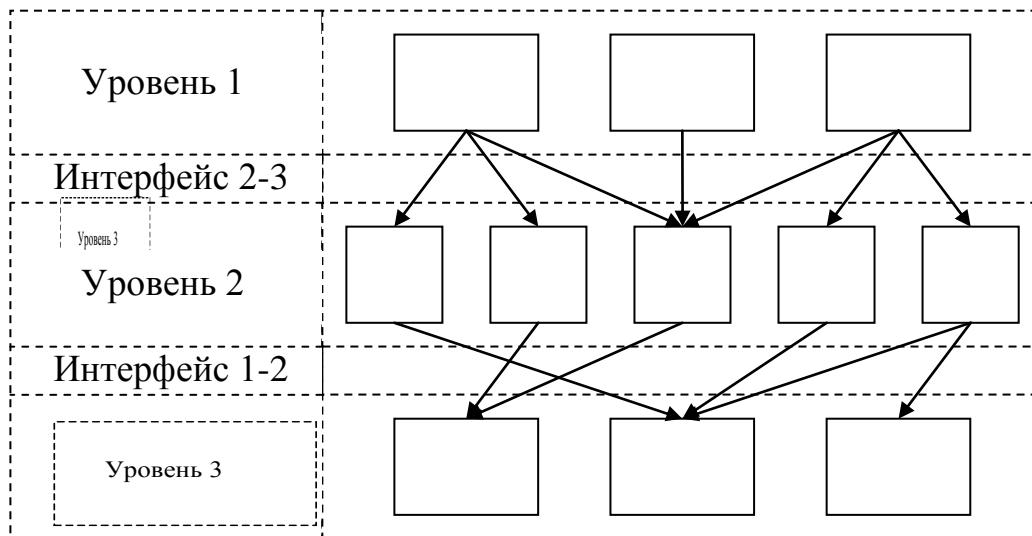


Рис. 2.19. Многоуровневый подход – создание иерархии задач

С другой стороны, результаты работы всех модулей, отнесенных к некоторому уровню, могут быть переданы только модулям соседнего вышележащего уровня. Такая иерархическая декомпозиция задачи предполагает четкое определение функции каждого уровня и интерфейсов между уровнями. Интерфейс определяет набор функций, которые нижележащий уровень предоставляет вышележащему. В результате иерархической декомпозиции достигается относительная независимость уровней, а значит, возможность их автономной разра-

ботки и модификации. Средства решения задачи организации сетевого взаимодействия, конечно, тоже могут быть представлены в виде иерархически организованного множества модулей. Например, модулям нижнего уровня можно поручить вопросы, связанные с надежной передачей информации между двумя соседними узлами, а модулям следующего, более высокого уровня — транспортировку сообщений в пределах всей сети. Очевидно, что последняя задача — организация связи двух любых, не обязательно соседних узлов — является более общей и поэтому ее решение может быть получено путем многократных обращений к нижележащему уровню.

Так, связывание узлов А и В (рис. 2.20) может быть сведено к последовательному связыванию пар промежуточных смежных узлов. Таким образом, модули вышележащего уровня при решении своих задач рассматривают средства нижележащего уровня как инструмент.

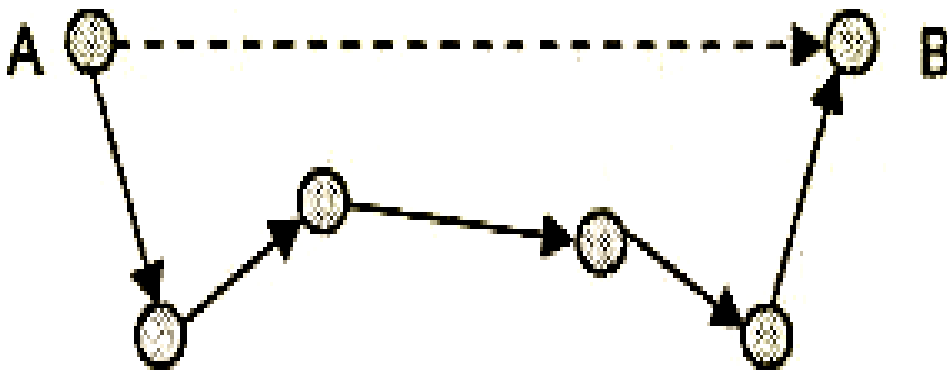


Рис. 2.20. Декомпозиция задачи связывания произвольной пары узлов на более частные задачи связывания пар соседних узлов

Протокол, интерфейс, стек протоколов

Многоуровневое представление средств сетевого взаимодействия имеет свою специфику, связанную с тем, что в процессе обмена сообщениями участвуют две стороны, то есть в данном случае необходимо организовать согласованную работу двух «иерархий», работающих на разных компьютерах. Оба участника сетевого обмена должны принять множество соглашений. Например, они должны согласовать уровни и форму электрических сигналов, способ определения размера сообщений, договориться о методах контроля достоверности и т. п. Другими словами, соглашения должны быть приняты для всех уровней, начиная от самого низкого — уровня передачи битов — до самого высокого, реализующего сервис для пользователей сети.

На рис. 2.21 показана модель взаимодействия двух узлов. С каждой стороны средства взаимодействия представлены четырьмя уровнями. Процедура взаимодействия этих двух узлов может быть описана в виде набора правил взаимодействия каждой пары соответствующих уровней обеих участвующих сторон. Формализованные правила, определяющие последовательность и формат

сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты, лежащие на одном уровне, но в разных узлах, называются *протоколом*.

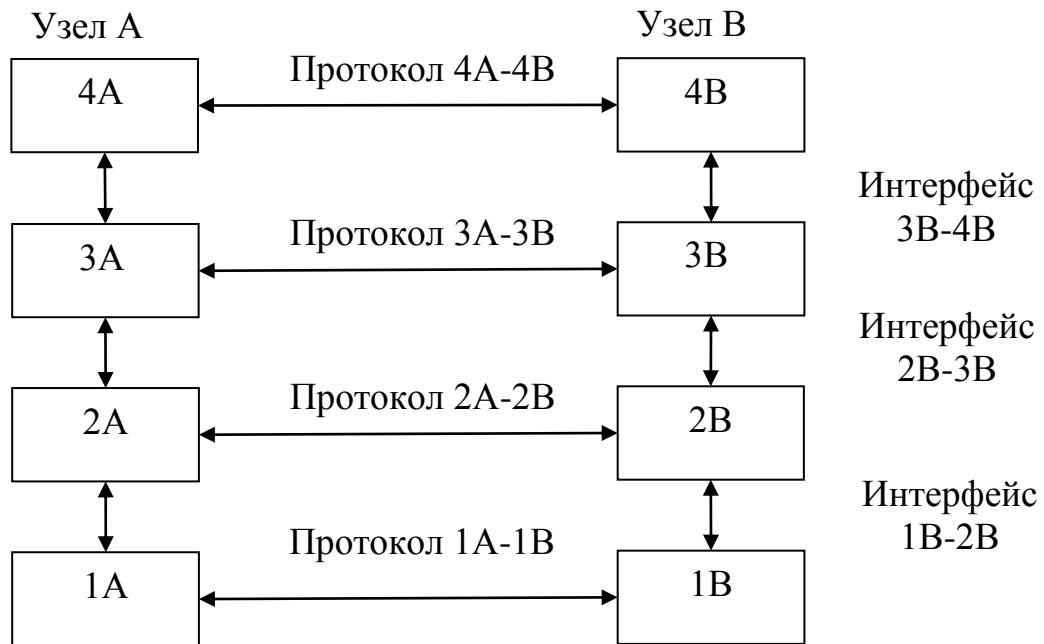


Рис. 2.21. Взаимодействие двух узлов

Модули, реализующие протоколы соседних уровней и находящиеся в одном узле, также взаимодействуют друг с другом в соответствии с четко определенными правилами и с помощью стандартизованных форматов сообщений. Эти правила принято называть *интерфейсом*. Интерфейс определяет набор сервисов, предоставляемый данным уровнем соседнему уровню. В сущности, протокол и интерфейс выражают одно и то же понятие, но традиционно в сетях за ними закрепили разные области действия: протоколы определяют правила взаимодействия модулей одного уровня в разных узлах, а интерфейсы — правила взаимодействия модулей соседних уровней в одном узле.

Средства каждого уровня должны обрабатывать, во-первых, свой собственный протокол, а во-вторых, интерфейсы с соседними уровнями.

Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется *стеком* коммуникационных протоколов.

Коммуникационные протоколы могут быть реализованы как программно, так и аппаратно. Протоколы нижних уровней часто реализуются комбинацией программных и аппаратных средств, а протоколы верхних уровней, как правило, чисто программными средствами.

Программный модуль, реализующий некоторый протокол, часто для краткости также называют «протоколом». При этом соотношение между протоколом — формально определенной процедурой и протоколом — программным модулем, реализующим эту процедуру, аналогично соотношению между алгоритмом решения некоторой задачи и программой, решающей эту задачу.

Понятно, что один и тот же алгоритм может быть запрограммирован с разной степенью эффективности. Точно так же и протокол может иметь несколько программных реализаций. Именно поэтому при сравнении протоколов следует учитывать не только логику их работы, но и качество программных решений. Более того, на эффективность взаимодействия устройств в сети влияет качество всей совокупности протоколов, составляющих стек, в частности, насколько рационально распределены функции между протоколами разных уровней и насколько хорошо определены интерфейсы между ними.

Протоколы реализуются не только компьютерами, но и другими сетевыми устройствами — концентраторами, мостами, коммутаторами, маршрутизаторами и т. д. Действительно, в общем случае связь компьютеров в сети осуществляется не напрямую, а через различные коммуникационные устройства. В зависимости от типа устройства в нем должны быть встроенные средства, реализующие тот или иной набор протоколов.

Модель OSI

Общая характеристика модели OSI

Из того, что протокол является соглашением, принятым двумя взаимодействующими объектами, в данном случае двумя работающими в сети компьютерами, совсем не следует, что он обязательно является стандартным. Но на практике при реализации сетей стремятся использовать стандартные протоколы. Это могут быть фирменные, национальные или международные стандарты.

В начале 80-х годов ряд международных организаций по стандартизации — ISO, ITU-T и некоторые другие - разработали модель, которая сыграла значительную роль в развитии сетей. Эта модель называется моделью взаимодействия открытых систем или моделью OSI. Модель OSI определяет различные уровни взаимодействия систем в сетях с коммутацией пакетов, дает им стандартные имена и указывает, какие функции должен выполнять каждый уровень. Модель OSI была разработана на основании большого опыта, полученного при создании компьютерных сетей, в основном глобальных, в 70-е годы. Полное описание этой модели занимает более 1000 страниц текста.

В модели OSI (рис. 2.22) средства взаимодействия делятся на семь уровней: прикладной, представительный, сеансовый, транспортный, сетевой, канальный и физический. Каждый уровень имеет дело с одним определенным аспектом взаимодействия сетевых устройств.

Модель OSI описывает только системные средства взаимодействия, реализуемые операционной системой, системными утилитами, системными аппаратными средствами.

Итак, пусть приложение обращается с запросом к прикладному уровню, например, к файловой службе. На основании этого запроса программное обеспечение прикладного уровня формирует сообщение стандартного формата. Обычное сообщение состоит из заголовка и поля данных. Заголовок содержит

служебную информацию, которую необходимо передать через сеть прикладному уровню машины-адресата, чтобы сообщить ему, какую работу надо выполнить. В нашем случае заголовок, очевидно, должен содержать информацию о месте нахождения файла и о типе операции, которую необходимо над ним выполнить. Поле данных сообщения может быть пустым или содержать какие-либо данные, например, те, которые необходимо записать в удаленный файл. Но для того чтобы доставить информацию по назначению, предстоит решить еще много задач, ответственность за которые несут нижележащие уровни.

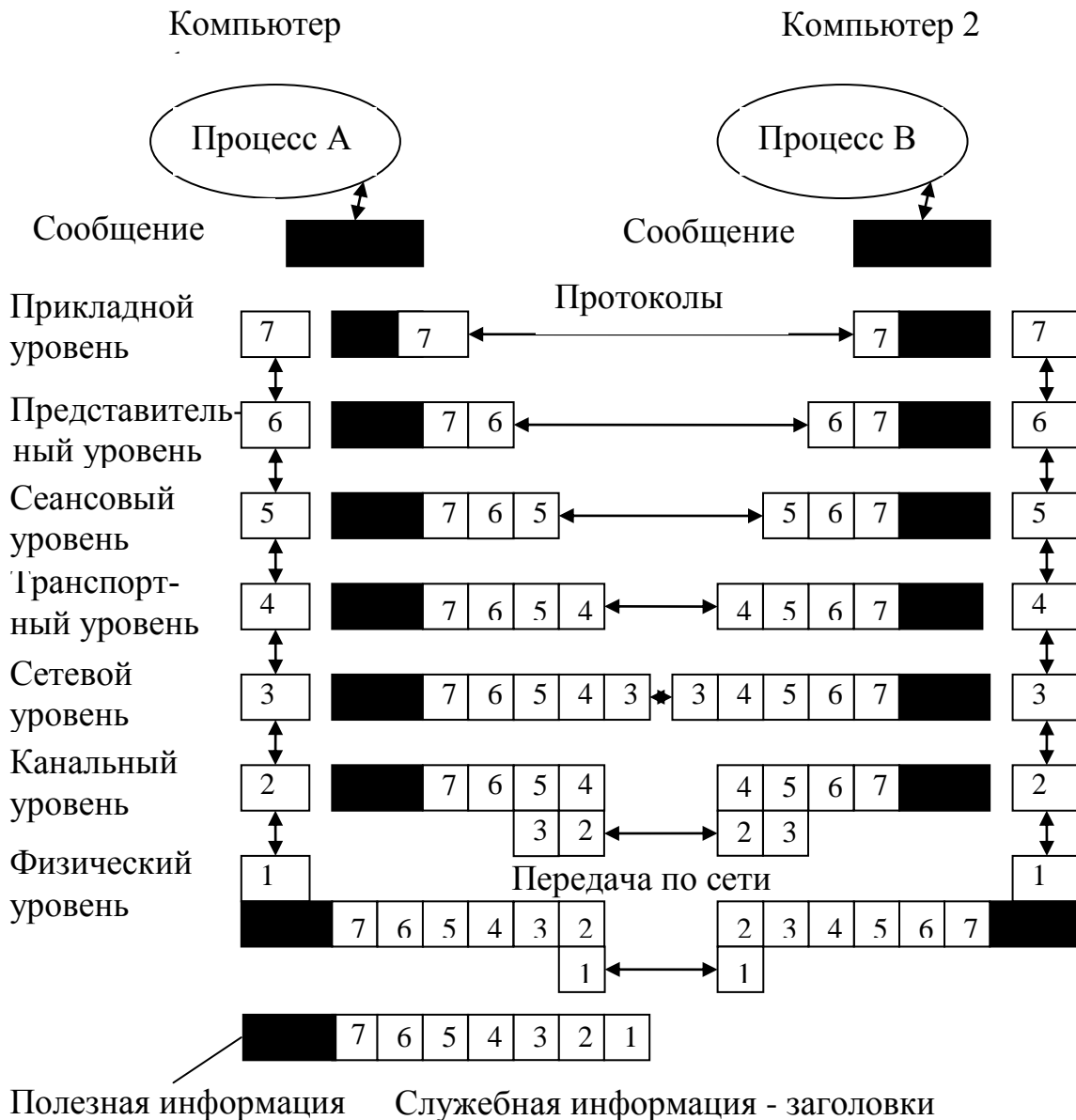


Рис. 2.22. Модель взаимодействия открытых систем ISO/OSI

После формирования сообщения прикладной уровень направляет его вниз по представительному уровню. Протокол представительного уровня на основании информации, полученной из заголовка прикладного уровня, выпол-

няет требуемые действия и добавляет к сообщению собственную служебную информацию — заголовок представительного уровня, в котором содержатся указания для протокола представительного уровня машины-адресата. Полученное в результате сообщение передается вниз сеансовому уровню, который, в свою очередь, добавляет свой заголовок и т. д. (Некоторые реализации протоколов помещают служебную информацию не только в начале сообщения в виде заголовка, но и в конце, в виде так называемого «концевика».) Наконец, сообщение достигает нижнего, физического уровня, который собственно и передает его по линиям связи машине-адресату. К этому моменту сообщение «обрастает» заголовками всех уровней.

Когда сообщение по сети поступает на машину-адресат, оно принимается ее физическим уровнем и последовательно перемещается вверх с уровня на уровень. Каждый уровень анализирует и обрабатывает заголовок своего уровня, выполняя соответствующие данному уровню функции, а затем удаляет этот заголовок и передает сообщение вышележащему уровню.

Наряду с термином сообщение (message) существуют и другие термины, применяемые сетевыми специалистами для обозначения единиц обмена данными в процедурах обмена. В стандартах ISO для обозначения единиц обмена данными, с которыми имеют дело протоколы разных уровней, используется общее название протокольный блок данных {Protocol Data Unit, PDU). Для обозначения блока данных определенных уровней часто используются специальные названия: кадр (frame), пакет (packet), датаграмма (datagram), сегмент (segment).

Модель не включает средства взаимодействия приложений конечных пользователей. Свои собственные протоколы взаимодействия приложения реализуют, обращаясь к системным средствам. Поэтому необходимо различать уровень взаимодействия приложений и прикладной уровень.

Следует также иметь в виду, что приложение может взять на себя функции некоторых верхних уровней модели OSI. Например, некоторые системы управления базой данных (СУБД) имеют встроенные средства удаленного доступа к файлам. В этом случае приложение, выполняя доступ к удаленным ресурсам, не использует системную файловую службу - оно обходит верхние уровни модели OSI и обращается напрямую к системным средствам, ответственным за транспортировку сообщений по сети, которые располагаются на нижних уровнях модели OSI.

Физический уровень

Физический уровень (Physical layer) имеет дело с передачей битов по физическим каналам связи, таким, например, как коаксиальный кабель, витая пара, оптоволоконный кабель или цифровой территориальный канал. К этому уровню имеют отношение характеристики физических сред передачи данных, такие как полоса пропускания, помехозащищенность, волновое сопротивление и др. На этом же уровне определяются характеристики электрических сигналов,

передающих дискретную информацию, например, крутизна фронтов импульсов, уровни напряжения или тока передаваемого сигнала, тип кодирования, скорость передачи сигналов. Кроме этого, здесь стандартизируются типы разъемов и назначение каждого контакта.

Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера функции физического уровня выполняются сетевым адаптером или последовательным портом.

Примером протокола физического уровня может служить спецификация 10Base-T технологии Ethernet, которая определяет в качестве используемого кабеля неэкранированную витую пару категории 3 с волновым сопротивлением 100 Ом, разъем RJ-45, максимальную длину физического сегмента 100 м, манчестерский код для представления данных в кабеле, а также некоторые другие характеристики среды и электрических сигналов.

Канальный уровень

На физическом уровне происходит передача битов. При этом не учитывается, что в некоторых сетях, в которых линии связи используются (разделяются) попеременно несколькими парами взаимодействующих компьютеров, физическая среда передачи может быть занята. Поэтому одной из задач канального уровня (Data Link Layer) является проверка доступности среды передачи. Другой задачей канального уровня является реализация механизмов обнаружения и коррекции ошибок. Для этого на канальном уровне биты группируются в наборы, называемые кадрами (frames). Канальный уровень обеспечивает корректность передачи каждого кадра, помещая специальную последовательность битов в начало и конец каждого кадра для его выделения, а также вычисляет контрольную сумму, обрабатывая все байты кадра определенным способом и добавляя контрольную сумму к кадру. Когда кадр приходит по сети, получатель снова вычисляет контрольную сумму полученных данных и сравнивает результат с контрольной суммой из кадра. Если они совпадают, кадр считается правильным и принимается. Если же контрольные суммы не совпадают, то фиксируется ошибка. Канальный уровень может не только обнаруживать ошибки, но и исправлять их за счет повторной передачи поврежденных кадров. Необходимо отметить, что функция исправления ошибок не является обязательной для канального уровня, поэтому в некоторых протоколах этого уровня она отсутствует, например, в Ethernet и Frame Relay.

Хотя канальный уровень и обеспечивает доставку кадра между любыми двумя узлами локальной сети, он это делает только в сети с совершенно определенной топологией связей, именно той топологией, для которой он был разработан. К таким типовым топологиям, поддерживаемым протоколами канального уровня локальных сетей, относятся общая шина, кольцо и звезда, а также структуры, полученные из них с помощью мостов и коммутаторов. Примерами протоколов канального уровня являются протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI.

В локальных сетях протоколы канального уровня используются компьютерами, мостами, коммутаторами и маршрутизаторами. В компьютерах функции канального уровня реализуются совместными усилиями сетевых адаптеров и их драйверов.

В глобальных сетях, которые редко обладают регулярной топологией, канальный уровень часто обеспечивает обмен сообщениями только между двумя соседними компьютерами, соединенными индивидуальной линией связи. Примерами протоколов «точка-точка» (как часто называют такие протоколы) могут служить широко распространенные протоколы PPP и LAP-B. В таких случаях для доставки сообщений между конечными узлами через всю сеть используются средства сетевого уровня. Именно так организованы сети X.25. Иногда в глобальных сетях функции канального уровня в чистом виде выделить трудно, так как в одном и том же протоколе они объединяются с функциями сетевого уровня. Примерами такого подхода могут служить протоколы технологий ATM и Frame Relay.

В целом канальный уровень представляет собой весьма мощный и законченный набор функций по пересылке сообщений между узлами сети. В некоторых случаях протоколы канального уровня оказываются самодостаточными транспортными средствами и могут допускать работу поверх себя непосредственно протоколов прикладного уровня или приложений, без привлечения средств сетевого и транспортного уровней. Например, существует реализация протокола управления сетью SNMP непосредственно поверх Ethernet, хотя стандартно этот протокол работает поверх сетевого протокола IP и транспортного протокола UDP. Естественно, что применение такой реализации будет ограниченным — она не подходит для составных сетей разных технологий, например, Ethernet и X.25, и даже для такой сети, в которой во всех сегментах применяется Ethernet, но между сегментами существуют петлевидные связи. А вот в двухсегментной сети Ethernet, объединенной мостом, реализация SNMP над канальным уровнем будет вполне работоспособной.

Тем не менее, для обеспечения качественной транспортировки сообщений в сетях любых топологий и технологий функций канального уровня оказывается недостаточно, поэтому в модели OSI решение этой задачи возлагается на два следующих уровня — сетевой и транспортный.

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня. Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты и кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей такого кадра, а также сопровождая кадр контрольной суммой. Протокол канального уровня имеет локальный смысл, он предназначен для доставки кадров данных, как правило, в пределах сетей с простой топологией связей и однотипной или близкой технологией, например, в односегментных сетях Ethernet или же в многосегментных сетях Ethernet и Token Ring иерархической топологии, разделенных только мостами и коммута-

торами. Во всех этих конфигурациях адрес назначения имеет локальный смысл для данной сети и не изменяется при прохождении кадра от узла-источника к узлу назначения. Возможность передавать данные между локальными сетями разных технологий связана с тем, что в этих технологиях используются адреса одинакового формата, к тому же производители сетевых адаптеров обеспечивают уникальность адресов независимо от технологии.

Другой областью действия протоколов канального уровня являются связи типа «точка-точка» глобальных сетей, когда протокол канального уровня ответственен за доставку кадра непосредственному соседу. Адрес в этом случае не имеет принципиального значения, а на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов, особенно коммутируемых телефонных, часто требует выполнения подобных действий.

Если же перечисленные выше условия не соблюдаются, например, связи между сегментами Ethernet имеют петлевидную структуру, либо объединяемые сети используют различные способы адресации, как это имеет место в сетях Ethernet и X.25, то протокол канального уровня не может в одиночку справиться с задачей передачи кадра между узлами и требует помощи протокола сетевого уровня.

Сетевой уровень

Сетевой уровень (Network Layer) служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, причем эти сети могут использовать совершенно разные принципы передачи сообщений между конечными узлами и обладать произвольной структурой связей. Функции сетевого уровня достаточно разнообразны. Начнем их рассмотрение на примере объединения локальных сетей.

Протоколы канального уровня локальных сетей обеспечивают доставку данных между любыми узлами только в сети с соответствующей типовой топологией, например, топологией иерархической звезды. Это очень жесткое ограничение, которое не позволяет строить сети с развитой структурой, например, сети, объединяющие несколько сетей предприятия в единую сеть, или высоконадежные сети, в которых существуют избыточные связи между узлами. Можно было бы усложнять протоколы канального уровня для поддержания петлевидных избыточных связей, но принцип разделения обязанностей между уровнями приводит к другому решению. Чтобы, с одной стороны, сохранить простоту процедур передачи данных для типовых топологий, а с другой — допустить использование произвольных топологий, вводится дополнительный сетевой уровень. На сетевом уровне сам термин сеть наделяют специфическим значением. В данном случае под сетью понимается совокупность компьютеров, соединенных между собой в соответствии с одной из стандартных типовых топологий и использующих для передачи данных один из протоколов канального уровня, определенный для этой топологии.

Внутри сети доставка данных обеспечивается соответствующим канальным уровнем, а вот доставкой данных между сетями занимается сетевой уровень, который и поддерживает возможность правильного выбора маршрута передачи сообщения даже в том случае, когда характер структуры связей между составляющими сетями отличается от принятого в протоколах канального уровня.

Сети соединяются между собой специальными устройствами, называемыми маршрутизаторами. Маршрутизатор — это устройство, которое собирает информацию о топологии межсетевых соединений и на ее основании пересылает пакеты сетевого уровня в сеть назначения. Чтобы передать сообщение от отправителя, находящегося в одной сети, получателю, находящемуся в другой сети, нужно совершить некоторое количество транзитных передач между сетями, или хопов (от слова hop — прыжок), каждый раз выбирая подходящий маршрут. Таким образом, маршрут представляет собой последовательность маршрутизаторов, через которые проходит пакет.

На рис. 2.23 показаны четыре сети, связанные тремя маршрутизаторами. Между узлами А и В данной сети пролегают два маршрута: первый через маршрутизаторы 1 и 3, а второй через маршрутизаторы 1, 2 и 3.

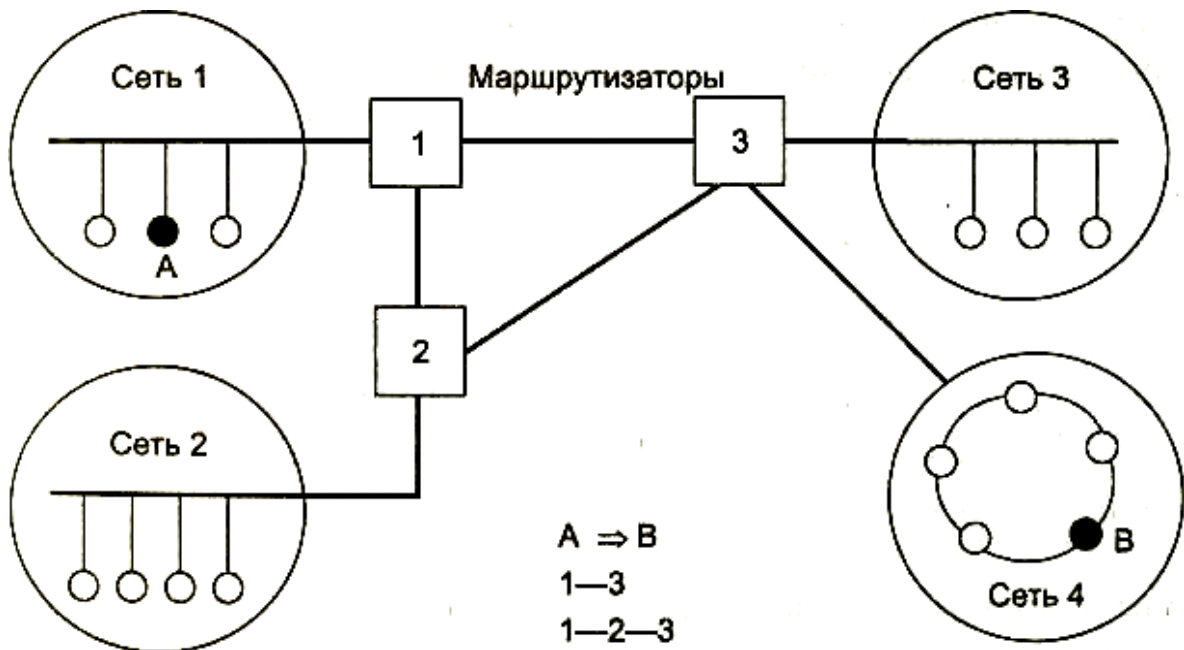


Рис. 2.23. Пример составной сети

Проблема выбора наилучшего пути называется маршрутизацией, и ее решение является одной из главных задач сетевого уровня. Эта проблема осложняется тем, что самый короткий путь не всегда самый лучший. Часто критерием при выборе маршрута является время передачи данных по этому маршруту; оно зависит от пропускной способности каналов связи и интенсивности трафика, которая может изменяться с течением времени. Некоторые алгоритмы маршру-

рутизации пытаются приспособиться к изменению нагрузки, в то время как другие принимают решения на основе средних показателей за длительное время. Выбор маршрута может осуществляться и по другим критериям, например, надежности передачи.

В общем случае функции сетевого уровня шире, чем функции передачи сообщений по связям с нестандартной структурой, которые мы сейчас рассмотрели на примере объединения нескольких локальных сетей. Сетевой уровень решает так же задачи согласования разных технологий, упрощения адресации в крупных сетях и создания надежных и гибких барьеров на пути нежелательного трафика между сетями.

Сообщения сетевого уровня принято называть пакетами. При организации доставки пакетов на сетевом уровне используется понятие «номер сети». В этом случае адрес получателя состоит из старшей части — номера сети и младшей — номера узла в этой сети. Все узлы одной сети должны иметь одну и ту же старшую часть адреса, поэтому термину «сеть» на сетевом уровне можно дать и другое, более формальное определение: сеть — это совокупность узлов, сетевой адрес которых содержит один и тот же номер сети.

На сетевом уровне определяются два вида протоколов. Первый вид — сетевые протоколы — реализуют продвижение пакетов через сеть. Именно эти протоколы обычно имеют в виду, когда говорят о протоколах сетевого уровня. Однако часто к сетевому уровню относят и другой вид протоколов, называемых протоколами обмена маршрутной информацией или просто протоколами маршрутизации. С помощью этих протоколов маршрутизаторы собирают информацию о топологии межсетевых соединений. Протоколы сетевого уровня реализуются программными модулями операционной системы, а также программными и аппаратными средствами маршрутизаторов.

Транспортный уровень

На пути от отправителя к получателю пакеты могут быть искажены или утеряны. Хотя некоторые приложения имеют собственные средства обработки ошибок, существуют и такие, которые предпочитают сразу иметь дело с надежным соединением. Транспортный уровень (Transport Layer) обеспечивает приложениям или верхним уровням стека — прикладному и сеансовому — передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется. Модель OSI определяет пять классов сервиса, предоставляемых транспортным уровнем. Эти виды сервиса отличаются качеством предоставляемых услуг: срочностью, возможностью восстановления прерванной связи, наличием средств мультиплексирования нескольких соединений между различными прикладными протоколами через общий транспортный протокол, а главное — способностью к обнаружению и исправлению ошибок передачи, таких как искажение, потеря и дублирование пакетов.

Выбор класса сервиса транспортного уровня определяется, с одной стороны, тем, в какой степени задача обеспечения надежности решается самими

приложениями и протоколами более высоких, чем транспортный, уровней, а с другой стороны, этот выбор зависит от того, насколько надежной является система транспортировки данных в сети, обеспечиваемая уровнями, расположенными ниже транспортного — сетевым, канальным и физическим. Так, например, если качество каналов передачи связи очень высокое и вероятность возникновения ошибок, не обнаруженных протоколами более низких уровней, невелика, то разумно воспользоваться одним из облегченных сервисов транспортного уровня, не обремененных многочисленными проверками, квитированием и другими приемами повышения надежности. Если же транспортные средства нижних уровней изначально очень ненадежны, то целесообразно обратиться к наиболее развитому сервису транспортного уровня, который работает, используя максимум средств для обнаружения и устранения ошибок, включая предварительное установление логического соединения, контроль доставки сообщений по контрольным суммам и циклической нумерации пакетов, установление тайм-аутов доставки и т. п.

Как правило, все протоколы, начиная с транспортного уровня и выше, реализуются программными средствами конечных узлов сети — компонентами их сетевых операционных систем. В качестве примера транспортных протоколов можно привести протоколы TCP и UDP стека TCP/IP и протокол SPX стека Novell.

Протоколы нижних четырех уровней обобщенно называют сетевым транспортом или транспортной подсистемой, так как они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями. Оставшиеся три верхних уровня решают задачи предоставления прикладных сервисов на основании имеющейся транспортной подсистемы.

Сеансовый уровень

Сеансовый уровень (Session Layer) обеспечивает управление взаимодействием: фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент, предоставляет средства синхронизации. Последние позволяют вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа можно было вернуться назад к последней контрольной точке, а не начинать все с начала. На практике немногие приложения используют сеансовый уровень, и он редко реализуется в виде отдельных протоколов, хотя функции этого уровня часто объединяют с функциями прикладного уровня и реализуют в одном протоколе.

Представительный уровень

Представительный уровень (Presentation Layer) имеет дело с формой представления передаваемой по сети информации, не меняя при этом ее содержания. За счет уровня представления информация, передаваемая прикладным уровнем одной системы, всегда понятна прикладному уровню другой системы. С помощью средств данного уровня протоколы прикладных уровней могут

преодолеть синтаксические различия в представлении данных или же различия в кодах символов, например, кодов ASCII и EBCDIC. На этом уровне может выполняться шифрование и дешифрование данных, благодаря которым секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех прикладных служб. Примером такого протокола является протокол Secure Socket Layer (SSL), который обеспечивает секретный обмен сообщениями для протоколов прикладного уровня стека TCP/IP.

Прикладной уровень

Прикладной уровень (Application Layer) — это в действительности просто набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как файлы, принтеры или гипертекстовые web-страницы, а также организуют свою совместную работу, например, по протоколу электронной почты. Единица данных, которой оперирует прикладной уровень, обычно называется сообщением.

Существует очень большое разнообразие служб прикладного уровня. Приведем в качестве примера хотя бы несколько наиболее распространенных реализаций файловых служб: NCP в операционной системе Novell NetWare, SMB в Microsoft Windows NT, NFS, FTP и TFTP, входящие в стек TCP/IP.

§ 2.6. Линии связи

При построении сетей применяются линии связи, использующие различную физическую среду: телефонные и телеграфные провода, подвешенные в воздухе, медные коаксиальные кабели, медные витые пары, волоконно-оптические кабели, радиоволны. При выборе того или иного типа линий связи разработчики прежде всего учитывают их технические характеристики, стоимость, а также простоту монтажа. Сегодня наиболее перспективными являются волоконно-оптические кабели. На них строятся как магистрали крупных территориальных и городских сетей, так и высокоскоростные линии связи локальных сетей. Популярной средой является также витая пара, которая характеризуется отличным отношением качество/стоимость.

Линия связи (рис. 2.24) состоит в общем случае из физической среды, по которой передаются информационные сигналы, аппаратуры передачи данных и промежуточной аппаратуры. Синонимом термина «линия связи» является термин «канал связи».

Физическая среда передачи данных может представлять собой кабель, то есть набор проводов, изоляционных и защитных оболочек, соединительных разъемов, а также земную атмосферу или космическое пространство, через которые распространяются информационные сигналы. В современных телекоммуникационных системах информация передается с помощью электрического тока или напряжения, радиосигналов или световых сигналов — все эти физические процессы представляют собой колебания электромагнитного поля различной частоты и природы.

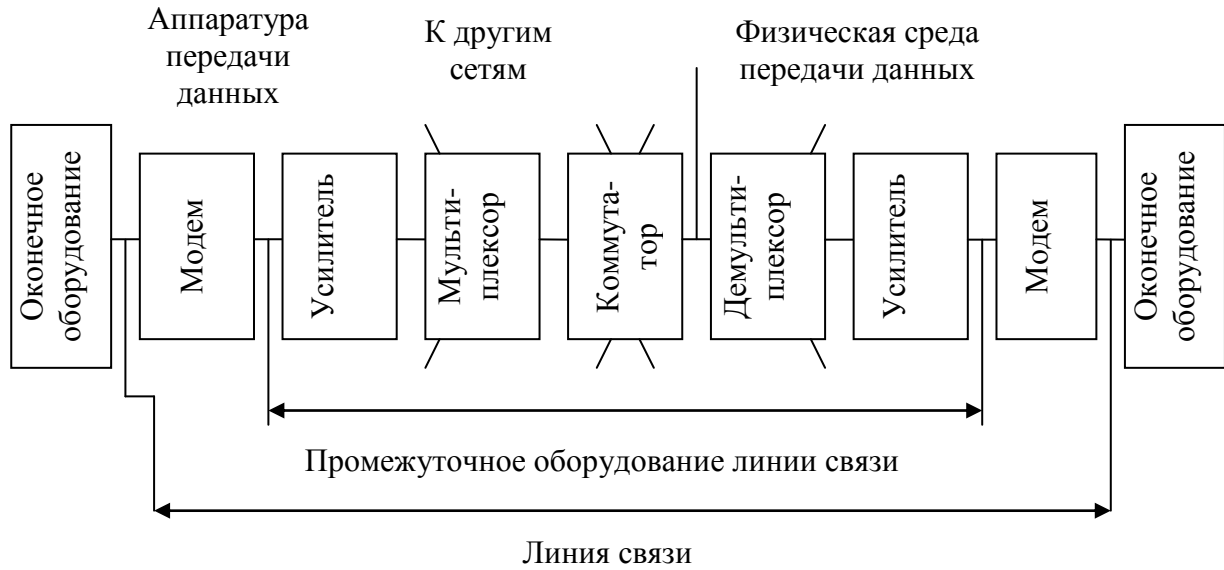


Рис. 2.24. Состав линии связи

Типы линий связи

В зависимости от среды передачи данных линии связи разделяются на следующие типы:

- проводные (воздушные);
- кабельные (медные и волоконно-оптические);
- радиоканалы наземной и спутниковой связи.

Проводные линии связи

Проводные (воздушные) линии связи выполнены проводами без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенных между столбами по воздуху. По таким линиям связи традиционно передаются телефонные или телеграфные сигналы, но при отсутствии других возможностей эти линии используются и для передачи компьютерных данных. Скоростные качества и помехозащищенность этих линий низкие. Сегодня проводные линии связи быстро вытесняются кабельными.

Кабельные линии связи

Кабельные линии имеют достаточно сложную конструкцию. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции: электрической, электромагнитной, механической, а также, возможно, климатической. Кроме того, кабель может быть оснащен разъемами, позволяющими быстро выполнять присоединение к нему различного оборудования. В компьютерных (и телекоммуникационных) сетях применяются три основных типа кабеля: кабели на основе скрученных пар медных проводов, коаксиальные кабели с медной

жилой, а также волоконно-оптические кабели (первые два типа кабелей называют также медными кабелями).

В зависимости от условий прокладки и эксплуатации кабели делятся на внутренние кабели (кабели зданий) и внешние кабели, которые, в свою очередь, делятся на подземные, подводные и кабели воздушной проводки.

Скрученная пара проводов называется витой парой. Скручивание проводов снижает влияние внешних и взаимных помех на полезные сигналы, передаваемые по кабелю. Для неответственных применений внутри здания иногда используются симметричные кабели из нескрученных пар. Кабели на основе витой пары называются симметричными кабелями из-за того, что они состоят из двух одинаковых в конструктивном отношении проводников. Симметричный кабель может быть как экранированным — на основе экранированной витой пары, так и неэкранированным — на основе неэкранированной витой пары.

Нужно отличать электрическую изоляцию проводящих жил, которая имеется в любом кабеле, от электромагнитной изоляции. Первая состоит из непроводящего диэлектрического слоя — бумаги или полимера, например, поливинилхлорида или полистирола. Во втором случае кроме электрической изоляции проводящие жилы помещаются также внутрь электромагнитного экрана, в качестве которого чаще всего применяется проводящая медная оплетка. Симметричный кабель может состоять из нескольких витых пар. В настоящее время кабельные системы зданий чаще всего строятся на основе неэкранированной витой пары, при этом наиболее часто используется витая пара так называемой категории 5 - в соответствии с классификацией американского национального стандарта для кабелей такого назначения.

Коаксиальный кабель состоит из несимметричных пар проводников. Каждая пара представляет собой внутреннюю медную жилу и соосную с ней внешнюю жилу, которая может быть полый медной трубой или оплеткой, отделенной от внутренней жилы диэлектрической изоляцией. Внешняя жила играет двойную роль — по ней передаются информационные сигналы, также она является экраном, защищающим внутреннюю жилу от внешних электромагнитных полей. Существует несколько типов коаксиального кабеля, отличающихся характеристиками и областями применения — для локальных компьютерных сетей, для глобальных телекоммуникационных сетей, для кабельного телевидения и т. п.

Волоконно-оптические линии связи

Волоконно-оптический кабель состоит из тонких (5-60 микрон) гибких стекловолокон (волоконных световодов), по которым распространяются световые сигналы. Это наиболее качественный тип кабеля - он обеспечивает передачу данных с очень высокой скоростью (до 10 Гбит/с и выше) и к тому же лучше других типов передающей среды обеспечивает защиту данных от внешних помех (в силу особенностей распространения света такие сигналы легко экранировать).

Каждый световод состоит из центрального проводника света (сердцевины) — стекловолокна, и стеклянной оболочки, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от покрывающего слоя оболочки. В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника различают:

- многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления (рис. 2.25 а);
- многомодовое волокно с плавным изменением показателя преломления (рис. 2.25 б);
- одномодовое волокно (рис. 2.25 в).

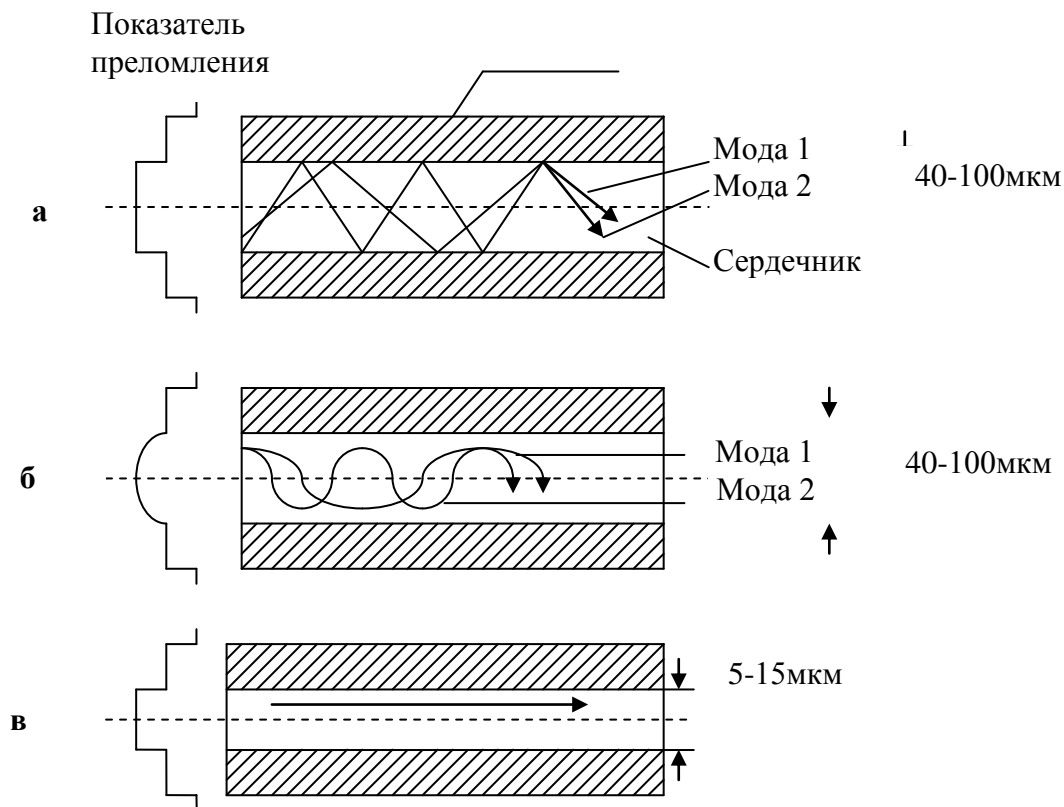


Рис. 2.25. Типы оптического кабеля

Понятие «мода» описывает режим распространения световых лучей во внутреннем сердечнике кабеля. В одномодовом кабеле используется центральный проводник очень малого диаметра, соизмеримого с длиной волны света — от 5 до 10 мкм. При этом практически все лучи света распространяются вдоль оптической оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Изготовление сверхтонких качественных волокон для одномодового кабеля представляет собой сложный технологический процесс, что делает одномодовый кабель достаточно дорогим. Кроме того, в волокно такого маленького диаметра достаточно сложно направить пучок света, не потеряв при этом значительную часть его энергии.

В многомодовых кабелях используются более широкие внутренние сердечники, которые легче изготовить технологически. В стандартах определены два наиболее употребительных многомодовых кабеля: 62,5/125 мкм и 50/125 мкм, где 62,5 мкм или 50 мкм — диаметр центрального проводника, а 125 мкм — диаметр внешнего проводника.

В многомодовых кабелях во внутреннем проводнике одновременно существует несколько световых лучей, отражающихся от внешнего проводника под разными углами. Угол отражения луча называется модой луча. В многомодовых кабелях с плавным изменением коэффициента преломления режим распространения каждой моды имеет сложный характер. Интерференции лучей разных мод ухудшают качество передаваемого сигнала, что приводит к искажениям передаваемых импульсов в многомодовом оптическом волокне. Многомодовые кабели проще изготавливать, поэтому они дешевле одномодовых, но и их характеристики существенно хуже, чем одномодовых. В результате многомодовые кабели используются в основном для передачи данных на небольшие расстояния (до 300-2000 м) на скоростях не более 1 Гбит/с, а одномодовые — для передачи данных со сверхвысокими скоростями в несколько десятков гигабит в секунду (а при использовании технологии DWDM — до нескольких терабит в секунду), на расстояниях от нескольких километров (локальные и городские сети) до нескольких десятков и даже сотен километров (дальняя связь).

В качестве источников излучения света в волоконно-оптических кабелях применяются:

- светодиоды или светоизлучающие диоды;
- полупроводниковые лазеры или лазерные диоды.

Для одномодовых кабелей применяются только лазерные диоды, так как при таком малом диаметре оптического волокна световой поток, создаваемый светодиодом, невозможно без больших потерь направить в волокно — он имеет чересчур широкую диаграмму направленности излучения, в то время как лазерный диод — узкую. Поэтому более дешевые светодиодные излучатели используются только для многомодовых кабелей.

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 (увеличения длины) кабеля.

Сама стоимость волоконно-оптических кабелей ненамного превышает стоимость кабелей на витой паре, однако проведение монтажных работ с оптоволоконном обходится намного дороже из-за трудоемкости операций и высокой стоимости применяемого монтажного оборудования. Так, присоединение оптического волокна к разъему требует проведения высокоточной обрезки волокна в плоскости, строго перпендикулярной оси волокна, а также выполнения соединения путем сложной операции склеивания, а не обжатия, как это делается

для витой пары. В случае же некачественных соединений резко сужается полосу пропускания волоконно-оптических кабелей и линий.

Радиоканалы наземной и спутниковой связи

Радиоканалы наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн. Существует большое разнообразие типов радиоканалов, отличающихся как используемым частотным диапазоном, так и дальностью канала. Диапазоны коротких, средних и длинных волн (КВ, СВ и ДВ), называемые также диапазонами амплитудной модуляции по типу используемого в них метода модуляции сигнала, обеспечивают дальнюю связь, но при невысокой скорости передачи данных. Более скоростными являются каналы, работающие на диапазонах ультракоротких волн (УКВ), для которых используется частотная модуляция, а также диапазонах сверхвысоких частот (СВЧ). Для устойчивой связи на этих частотах требуется наличие прямой видимости между передатчиком и приемником, поэтому их используют в качестве спутниковых и радиорелейных каналов. Отметим, что в диапазоне СВЧ (свыше 4 ГГц) влиянием ионосферы Земли на распространение сигналов можно пренебречь, поэтому они используются для организации спутниковых каналов связи.

В компьютерных сетях сегодня применяются практически все описанные типы физических сред передачи данных, но наиболее перспективными являются волоконно-оптические кабели. На них сегодня строятся как магистрали крупных территориальных и городских сетей, так и высокоскоростные линии связи локальных сетей. Популярной средой является также витая пара, которая характеризуется отличным отношением качества к стоимости, а также простой монтажа. Если сети организуются на больших территориях с небольшим количеством пользователей, используются спутниковые каналы, имеющие в этом случае лучшие показатели по стоимости по сравнению с волоконно-оптическими кабелями. Для связи с мобильными пользователями применяются либо каналы, использующие радиосвязь (при компактном распределении пользователей), либо спутниковые каналы (в случаях, когда стоимость передачи данных не имеет значения, например, для структур МЧС). Наиболее популярными из таких сетей являются мобильные телефонные сети, а мобильные компьютерные сети представленные сетями радио-Ethernet, имеют несравнимо меньшее распространение. В мобильных сетях нового, так называемого третьего поколения (3G) предусматривается одновременная передача голоса и компьютерных данных, при этом каждый вид трафика считается одинаково важным.

Аппаратура линий связи

Аппаратура линий связи включает в себя: аппаратуру передачи данных; аппаратуру пользователя линии связи; промежуточную аппаратуру.

Аппаратура передачи данных (АПД)

Аппаратура передачи данных (Data Circuit Terminating Equipment, DCE) в компьютерных сетях непосредственно присоединяет компьютеры или локальные сети пользователя к линии связи и является, таким образом, пограничным оборудованием. Традиционно аппаратуру передачи данных включают в состав линии связи. Примерами DCE являются модемы, терминальные адаптеры сетей ISDN, устройства подключения к цифровым каналам. Обычно DCE работает на физическом уровне, отвечая за передачу информации в физическую среду (в линию) и прием из нее сигналов нужной формы и мощности.

Аппаратура пользователя линии связи

Этот тип аппаратуры обрабатывает данные для передачи по линии связи и подключается непосредственно к аппаратуре передачи данных. Носит обобщенное название оконечное оборудование данных или ООД (Data Terminal Equipment, DTE). Примером DTE могут служить компьютеры, коммутаторы или маршрутизаторы. Эту аппаратуру не включают в состав линии связи. Разделение оборудования на классы DCE и DTE в локальных сетях является достаточно условным. Например, адаптер локальной сети можно считать как принадлежностью компьютера, то есть DTE, так и составной частью канала связи, то есть DCE. В глобальной сети это разделение становится более четким, при этом устройство DCE обычно относят к глобальной сети, а устройство DTE — уже нет.

Промежуточная аппаратура

Промежуточная аппаратура обычно используется на линиях связи большой протяженности. Она решает две основные задачи:

- улучшение качества сигнала;
- создание постоянного составного канала связи между двумя абонентами сети,

и обычно включает в себя следующие типы оборудования:

- усилители, повышающие мощность сигналов;
- регенераторы, восстанавливающие форму импульсных сигналов, исказившихся при передаче на большое расстояние;
- мультиплексоры, демультимплексоры и коммутаторы, создающие между двумя абонентами сети непрерывный составной канал из отрезков физической среды.

В локальных сетях промежуточная аппаратура не используется в том случае, если протяженность физической среды — кабелей или радиоэфира — позволяет одному сетевому адаптеру принимать сигналы непосредственно от другого сетевого адаптера без промежуточного усиления. В противном случае применяются устройства типа повторителей и концентраторов.

В глобальных сетях обеспечить качественную передачу сигналов на расстояния в сотни и тысячи километров без промежуточной аппаратуры невозможно. Поэтому они включают в себя как оборудование 1-го и 2-го типов, решающее первую основную задачу, так и оборудование 3-го типа, решающее вторую основную задачу, то есть создающее между двумя абонентами сети непрерывный составной канал из отрезков физической среды — кабелей с усилителями.

Некоторые из этих отрезков, обладающие широкой полосой пропускания, например, отрезки волоконно-оптического или коаксиального кабеля, одновременно участвуют в образовании сразу нескольких составных каналов. Такой высокоскоростной канал, по которому передаются одновременно данные от большого числа сравнительно низкоскоростных абонентских линий, обычно называют уплотненным каналом. Наличие промежуточной коммутационной аппаратуры избавляет создателей глобальной сети от необходимости прокладывать отдельную кабельную линию для каждой пары соединяемых узлов сети.

Важно отметить, что показанные на рис. 2.24 мультиплексор, демультиплексор и коммутатор образуют составной канал на долговременной основе, например, на месяц или год, причем абонент не может влиять на процесс коммутации этого канала - указанные устройства управляются по отдельным входам, не показанным на рисунке. Когда нужно образовать новое постоянное соединение между какими-либо двумя конечными узлами сети, находящимися, например, в разных городах, то мультиплексоры, коммутаторы и демультиплексоры настраиваются оператором канала соответствующим образом.

Промежуточная аппаратура канала связи прозрачна для пользователя, он ее не замечает и не учитывает в своей работе. Для него важны только качество полученного канала в целом, влияющее на скорость и надежность передачи дискретных данных. В действительности же невидимая пользователями промежуточная аппаратура образует сложную сеть. Эту сеть называют первичной сетью, так как сама по себе она никаких высокоуровневых служб (например, файловой или передачи голоса) не поддерживает, а только служит основой для построения компьютерных, телефонных или иных сетей, которые иногда называют наложенными или вторичными сетями.

В зависимости от типа промежуточной аппаратуры все линии связи делятся на *аналоговые* и *цифровые*. В аналоговых линиях промежуточная аппаратура предназначена для усиления аналоговых сигналов, то есть сигналов, которые имеют непрерывный диапазон значений. Такие линии связи традиционно применялись в телефонных сетях для связи АТС между собой. Для создания высокоскоростных каналов, которые мультиплексируют несколько низкоскоростных аналоговых абонентских каналов, при аналоговом подходе обычно используется техника частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM).

В цифровых линиях связи передаваемые сигналы имеют конечное число состояний. Как правило, элементарный сигнал, то есть сигнал, передаваемый за

один такт работы передающей аппаратуры, имеет 2, 3 или 4 состояния, которые передаются в линиях связи импульсами или потенциалами прямоугольной формы. С помощью таких сигналов передаются как компьютерные данные, так и оцифрованные речь и изображение (именно из-за общего вида представления информации современными компьютерными, телефонными и телевизионными сетями стали возможны общие первичные сети). В цифровых каналах связи используется специальная промежуточная аппаратура — регенераторы, которые улучшают форму импульсов и обеспечивают их ресинхронизацию, то есть восстанавливают период их следования. Промежуточная аппаратура мультиплексирования и коммутации первичных сетей работает по принципу временного мультиплексирования каналов (Time Division Multiplexing, TDM), когда каждому низкоскоростному каналу выделяется определенная доля времени (тайм-слот или квант) высокоскоростного канала.

В настоящее время аналоговые каналы стали применяться в первичных сетях нового типа, использующих метод мультиплексирования по длине волны (Wave-length Division Multiplexing, WDM). В первичных сетях WDM каждый канал передает свою информацию с помощью световой волны определенной длины (и соответственно частоты). Такой канал также называется спектральным каналом, так как ему выделяется определенная полоса спектра светового излучения. Аппаратура передачи дискретных компьютерных данных по аналоговым линиям связи существенно отличается от аппаратуры такого же назначения, предназначенной для работы с цифровыми линиями. Аналоговая линия связи предназначена для передачи сигналов произвольной формы и не предъявляет никаких требований к способу представления единиц и нулей аппаратурой передачи данных (это справедливо для сетей FDM, WDM/DWDM), а цифровой — все параметры передаваемых линий импульсов стандартизированы.

Характеристики линий связи

К основным характеристикам линий связи относятся параметры распространения и параметры влияния. Первые характеризуют процесс распространения полезного сигнала в зависимости от внутренних параметров линии, например, погонной индуктивности медного кабеля. Вторые описывают степень влияния на полезный сигнал других сигналов — внешних помех, помех от других пар проводников в медном кабеле. Те и другие важны, так как сигнал на выходе линии связи всегда является результатом воздействия на исходный сигнал как внутренних, так и внешних факторов.

В каждой из этих групп можно выделить первичные и вторичные параметры. Первичные параметры описывают физическую природу линии связи, например, погонное активное сопротивление, погонную индуктивность, погонную емкость и погонную проводимость изоляции медного кабеля, или же зависимость коэффициента преломления оптического волокна от расстояния от оптической оси. Вторичные параметры отражают результат процесса распространения сигнала по линии связи и не зависят от ее типа. Например, важным вто-

ричным параметром распространения любой линии связи является степень ослабления мощности сигнала при прохождении им определенного расстояния вдоль линии связи – так называемое затухание сигнала. Для медных кабелей не менее важен и такой вторичный параметр влияния, как степень ослабления помехи по соседней витой паре, он позволяет оценить, могут ли вызывать передаваемые по одной паре сигналы ложное срабатывание приемника, подключенного к соседней паре на той же стороне кабеля, что и передатчик.

Перед описанием основных характеристик линии связи опишем процесс искажения сигналов при их прохождении по этой линии.

Искажение сигналов на линиях связи

Из теории гармонического анализа известно, что любой периодический процесс можно представить в виде суммы простейших гармонических колебаний различных частот и амплитуд (рис. 2.26). Каждое такое колебание называется гармоникой, а набор всех гармоник называют спектральным разложением исходного сигнала.

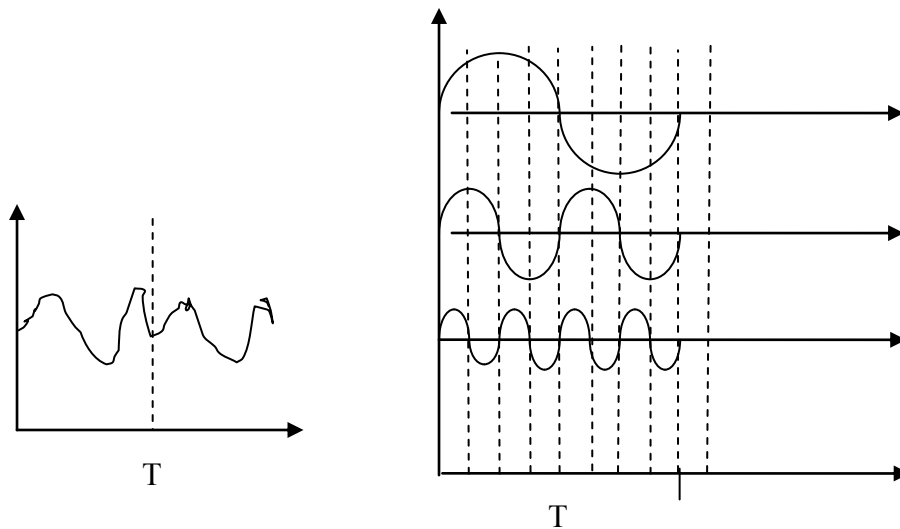


Рис. 2.26. Разложение периодического сигнала на простейшие гармонические колебания

Непериодические сигналы можно представить в виде интеграла синусоидальных сигналов с непрерывным спектром частот. Например, спектральное разложение идеального импульса (единичной мощности и нулевой длительности) имеет составляющие на всем спектре частот (рис. 2.27).

Техника нахождения спектра любого исходного сигнала хорошо известна. Для некоторых сигналов, которые описываются аналитически (например, для последовательности прямоугольных импульсов одинаковой длительности и амплитуды), спектр легко вычисляется на основании формул Фурье.

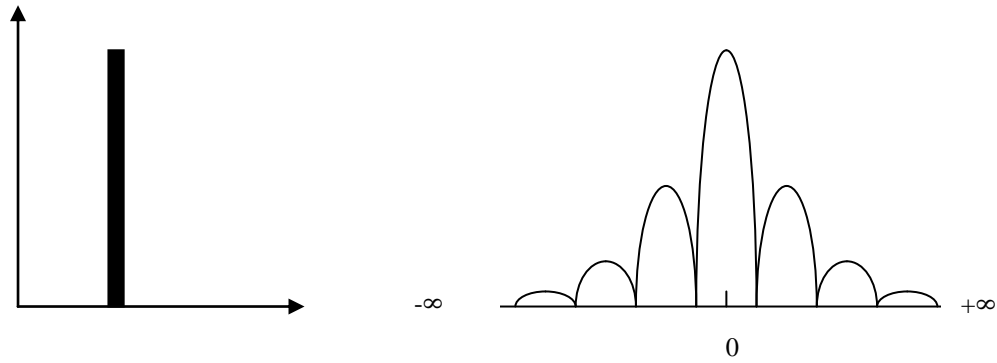


Рис. 2.27. Спектральное разложение идеального импульса

Для сигналов произвольной формы, встречающихся на практике, спектр можно найти с помощью специальных приборов – спектральных анализаторов, которые измеряют спектр реального сигнала и отображают амплитуды составляющих гармоник на экране, распечатывают их на принтере или предлагают для обработки и хранения в компьютере.

Искажение передающим каналом синусоиды какой либо частоты приводит в конечном счете к искажению амплитуды и формы передаваемого сигнала любого вида. Искажения формы проявляются в том случае, когда синусоиды различных частот искажаются неодинаково. Если это аналоговый сигнал, передающий речь, то изменяется тембр голоса за счет искажения обертонов - боковых частот. При передаче импульсных сигналов, характерных для компьютерных сетей, искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою прямоугольную форму. Вследствие этого на приемном конце линии сигналы могут плохо распознаваться.

Линия связи искажает передаваемые сигналы из-за того, что ее физические параметры отличаются от идеальных. Так, например, медные провода всегда представляют собой некоторую распределенную по длине комбинацию активного сопротивления, емкостной и индуктивной нагрузок. В результате для синусоид различных частот линия будет обладать разным полным сопротивлением, а значит, и передаваться они будут по-разному.

Волоконно-оптический кабель также имеет отклонение от идеальной среды передачи света – вакуума. Если линия связи включает промежуточную аппаратуру, то последняя тоже может вносить дополнительные искажения, так как невозможно создать устройства, которые бы одинаково хорошо передавали весь спектр синусоид, от нуля до бесконечности.

Кроме искажений сигналов, вносимых внутренними физическими параметрами линии связи, существуют и внешние помехи, которые вносят свой вклад в искажение формы сигналов на выходе линии. Эти помехи создают различные электрические двигатели, электронные устройства, атмосферные явления и т.д. Несмотря на защитные меры, предпринимаемые разработчиками кабелей, и наличие усилительно-коммутирующей аппаратуры, полностью ком-

пенсировать влияние внешних помех не удастся. Кроме внешних помех в кабеле существуют и внутренние помехи – так называемые наводки одной пары проводников на другую. В результате сигналы на выходе линии связи обычно имеют сложную форму (как показано на рис. 2.28), по которым иногда трудно понять, какая дискретная информация была подана на вход линии.

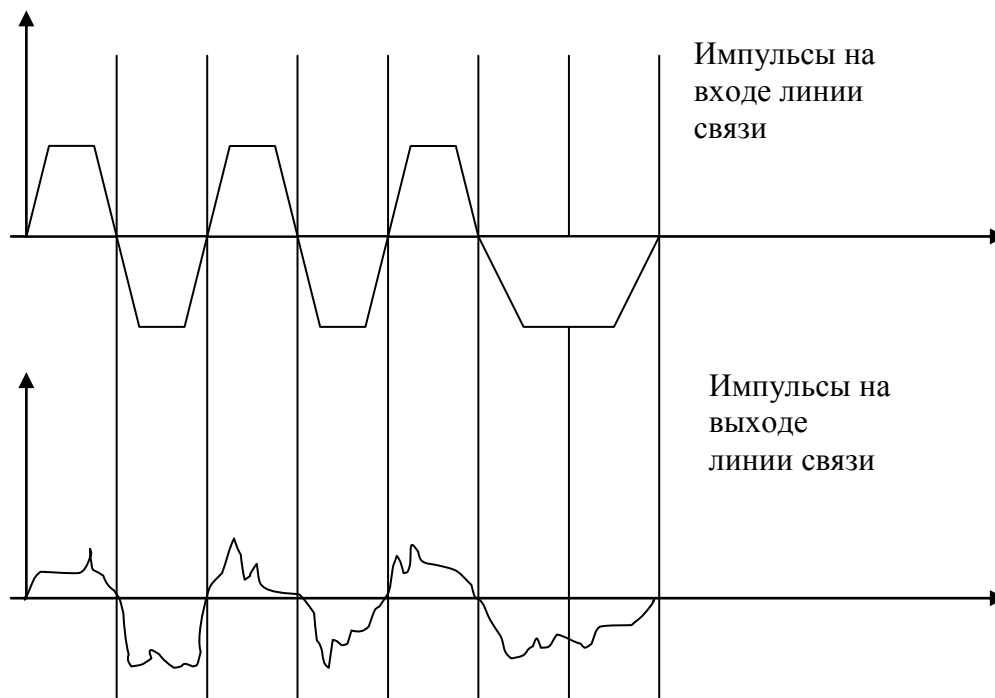


Рис. 2.28. Искажение импульсов в линии связи

Качество исходных сигналов (крутизна фронтов, общая форма импульсов) зависит от качества передатчика, генерирующего сигналы в линию связи. Одной из важных характеристик передатчика является спектральная характеристика. Для генерации качественных прямоугольных импульсов необходимо, чтобы спектральная характеристика передатчика представляла собой как можно более узкую полосу. Например, лазерные диоды имеют значительно меньшую ширину спектра излучения (1-2нм) по сравнению со светодиодами (30-50нм) при генерации импульсов, поэтому частота модуляции лазерных диодов может быть намного выше, чем светодиодов.

Затухание и волновое сопротивление

Степень искажения синусоидальных сигналов линиями связи оценивается по таким характеристикам, как затухание и полоса пропускания.

Затухание показывает, насколько уменьшается мощность эталонного синусоидального сигнала на выходе линии по отношению к мощности сигнала на входе этой линии. Затухание A обычно измеряется в децибелах (дБ) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \cdot \lg (P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}),$$

где $P_{\text{ВЫХ}}$ – мощность сигнала на выходе линии;
 $P_{\text{ВХ}}$ – мощность сигнала на входе линии.

Так как мощность выходного сигнала кабеля без промежуточных усилителей всегда меньше, чем мощность входного сигнала, затухание кабеля всегда является отрицательной величиной.

Степень затухания мощности синусоидального сигнала при его прохождении по линии связи обычно зависит от частоты синусоиды, поэтому полной характеристикой будет зависимость затухания от частоты во всем представляющем для практики интерес диапазоне. Наряду с этой характеристикой можно также использовать такие характеристики линии связи, как амплитудно-частотная и фазово-частотная зависимости. Две последние характеристики дают более точное представление о характере передачи сигналов через линию связи, чем характеристика затухания, так как на их основе, зная форму исходного сигнала, всегда можно найти форму выходного сигнала.

Для этого необходимо найти спектр входного сигнала, преобразовать амплитуду составляющих его гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой, а фазу – в соответствии с фазово-частотной характеристикой, затем найти форму выходного сигнала, сложив и проинтегрировав преобразованные гармоники.

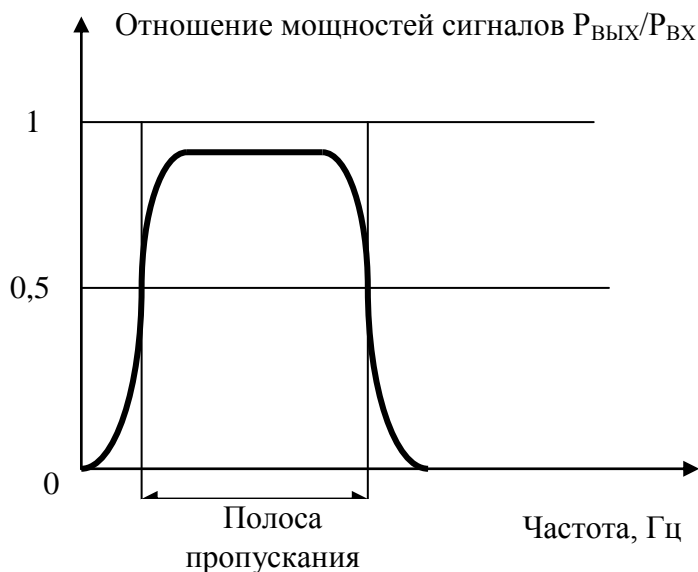


Рис. 2.29. Зависимость затухания от частоты

Затухание является более обобщенной характеристикой линии связи, так как позволяет судить не о точной форме сигнала, а о его мощности (интегральной результирующей от формы сигнала). На практике затухание чаще используется в качестве характеристики линии связи, в частности, в стандартах на такую важную составляющую линии связи, как кабель, затухание является одной из основных характеристик. Чаще всего при описании параметров линии связи приводятся значения затухания всего в нескольких точках общей зависимости,

при этом каждая из этих точек соответствует определенной частоте, на которой чем меньше затухание, тем выше качество линии связи. Обычно затуханием характеризуют пассивные участки линии связи, состоящие из кабелей и кроссовых секций, без усилителей и регенераторов.

В качестве характеристики передатчика часто используется абсолютный уровень мощности сигнала. Уровень мощности, как и затухание, измеряется в децибелах. При этом в качестве базового значения мощности сигнала, относительно которого измеряется текущая мощность, принимается значение в 1 мВт. Таким образом, уровень мощности P вычисляется по следующей формуле:

$$P = 10 \cdot \lg (P/1\text{мВт}), [\text{дБм}],$$

где P – мощность сигнала в милливаттах;

дБм – единица измерения уровня мощности (децибел на 1 мВт).

Важным вторичным параметром распространения медной линии связи является ее волновое сопротивление. Этот параметр представляет собой полное (комплексное) сопротивление, которое встречает электромагнитная волна определенной частоты при распространении вдоль однородной цепи. Волновое сопротивление зависит от таких первичных параметров линии связи, как активное сопротивление, погонная индуктивность и погонная емкость, а также от частоты самого сигнала. Выходное сопротивление передатчика должно быть согласовано с волновым сопротивлением линии, иначе затухание сигнала будет чрезмерно большим.

Помехоустойчивость и достоверность

Помехоустойчивость линии определяет ее способность уменьшать уровень помех, создаваемый во внешней среде или на внутренних проводниках самого кабеля. Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической среды, а также от экранирующих и подавляющих средств самой линии. Наименее помехоустойчивыми являются радиолинии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной – волоконно-оптические линии, малочувствительные к внешнему электромагнитному излучению. Обычно для уменьшения помех, появляющихся из-за внешних электромагнитных полей, проводники экранируют и/или скручивают. Параметры, характеризующие помехоустойчивость, относятся к параметрам влияния линии связи.

Первичными параметрами влияния медного кабеля являются электрическая и магнитная связь. Электрическая связь определяется отношением наведенного тока в цепи, подверженной влиянию, к напряжению, действующему во влияющей цепи. Магнитная связь – это отношение электродвижущей силы, наведенной в цепи, подверженной влиянию, к току во влияющей цепи. Результатом электрической и магнитной связи являются наведенные сигналы (наводки). Существуют несколько различных параметров, характеризующих устойчивость кабеля к наводкам.

Перекрестные наводки на ближнем конце (NEXT) определяют устойчивость кабеля в том случае, когда наводка образуется в результате действия сигнала, генерируемого передатчиком, подключенным к одной из соседних пар на том же конце кабеля, на котором работает подключенный к подверженной влиянию паре приемник. Показатель NEXT, выраженный в децибелах, равен $10 \cdot \lg (P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{НАВ}})$, где $P_{\text{ВЫХ}}$ – мощность выходного сигнала, $P_{\text{НАВ}}$ – мощность наведенного сигнала. Чем меньше значение NEXT, тем лучше кабель. Так, для витой пары категории 5 показатель NEXT должен быть меньше -27дБ на частоте 100МГц.

Перекрестные наводки на дальнем конце (FEXT) позволяют оценить устойчивость кабеля к наводкам для случая, когда передатчик и приемник подключены к разным концам кабеля. Очевидно, что этот показатель должен быть лучше, чем NEXT, так как до дальнего конца кабеля сигнал приходит ослабленный затуханием каждой пары.

Показатели NEXT и FEXT обычно используются применительно к кабелю, состоящему из нескольких витых пар, так как в этом случае взаимные наводки одной пары на другую могут достигать значительных величин.

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Иногда этот показатель называют интенсивностью битовых ошибок (BER). Величина BER для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок (например, самокорректирующихся кодов или протоколов с повторной передачей искаженных кадров) составляет, как правило, от 10^{-4} до 10^{-6} , в оптоволоконных линиях связи – 10^{-9} . Значение достоверности передачи данных, например, в 10^{-4} говорит о том, что в среднем из 10^4 бит искажается значение одного бита.

Искажения бит происходят как из-за наличия помех на линии, так и по причине искажения формы сигнала, ограниченной полосой пропускания линии. Поэтому для повышения достоверности передаваемых данных нужно повышать степень помехозащищенности линии, снижать уровень перекрестных наводок в кабеле, а также использовать более широкополосные линии связи.

Полоса пропускания

Полоса пропускания - еще одна вторичная характеристика, которая с одной стороны, непосредственно зависит от затухания, а с другой стороны, прямо влияет на такой важнейший показатель линии связи, как максимально возможная скорость передачи.

Полоса пропускания – это непрерывный диапазон частот, для которого затухание не превышает некоторый заранее установленный предел. Другими словами, полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений (часто граничными частотами считаются частоты, на которых мощность выходного сигнала уменьшается в два раза по отношению к входному, что соответствует затуханию в -3дБ). Ширина полосы пропускания в наиболь-

шей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи.

Таким образом, затухание, помехоустойчивость и полоса пропускания являются универсальными характеристиками линии связи, и от их значений зависит то, как через линию связи будут передаваться сигналы любой формы.

Пропускная способность

Пропускной способностью называется количество бит информации, передаваемое в единицу времени по линии связи. Она определяется характеристиками физической среды и способами передачи данных.

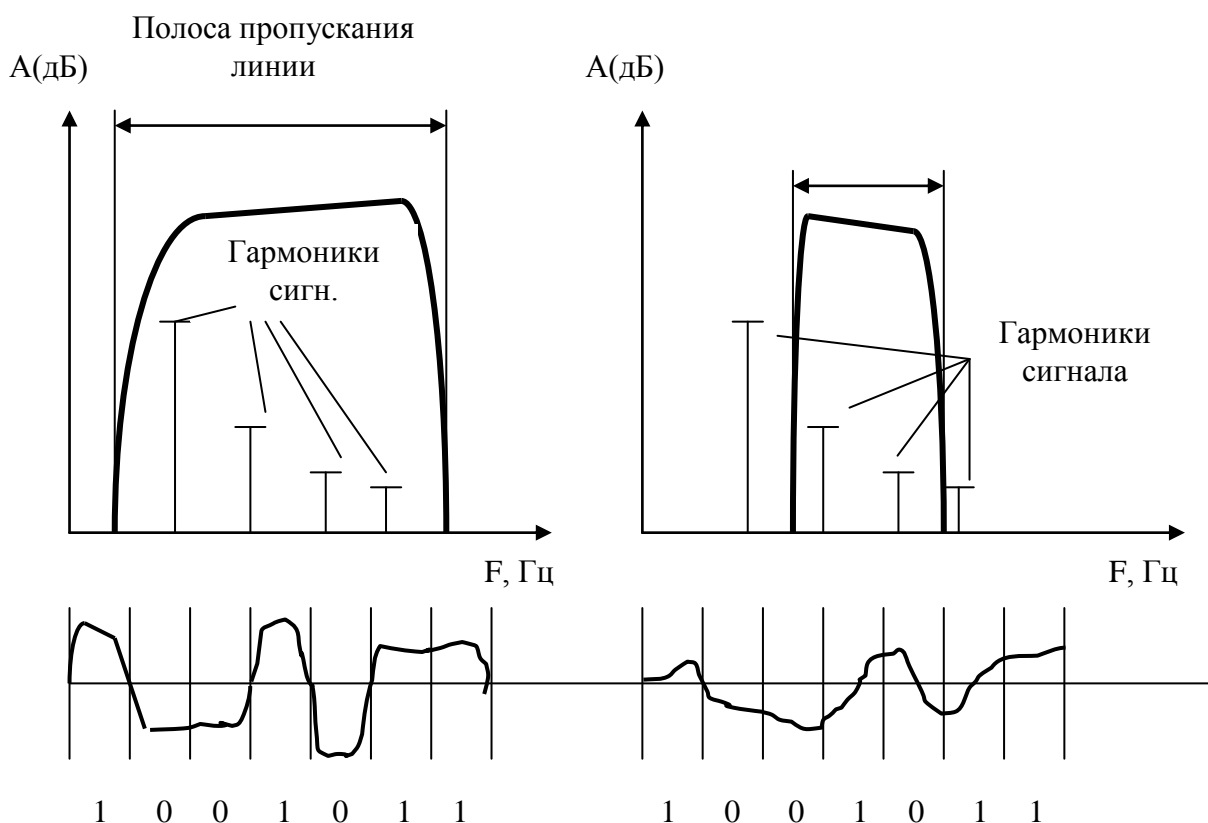


Рис. 2.30. Соответствие между полосой пропускания линии связи и спектром сигнала

Пропускная способность линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи в битах в секунду и производных, таких как Кбит/с, Мбит/с и т. д.

Пропускная способность линии связи зависит не только от ее характеристик, таких как затухание и полоса пропускания, но и от спектра передаваемых сигналов. Если значимые гармоники сигнала (то есть те гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал) попадают в полосу пропускания линии, то такой сигнал будет хорошо передаваться данной линией связи и приемник сможет правильно распознать информацию, отправленную по

линии передатчиком. Если же значимые гармоники выходят за границы полосы пропускания линии связи, то сигнал будет значительно искажаться, приемник будет ошибаться при распознавании информации, а значит, информация не сможет передаваться с заданной пропускной способностью (рис. 2.30).

Нельзя говорить о пропускной способности линии связи до тех пор, как для нее определен протокол физического уровня. Например, поскольку для цифровых линий всегда определен протокол физического уровня, задающий битовую скорость передачи данных, то для них всегда известна и пропускная способность – 64Кбит/с, 2 Мбит/с и т.п.

В тех же случаях, когда только предстоит определить, какой из множества существующих протоколов можно использовать на данной линии, очень важными являются остальные характеристики линии, такие как полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость и др.

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется физическим или линейным кодированием. От выбранного способа кодирования зависит спектр сигналов и соответственно пропускная способность линии. Таким образом, для одного способа кодирования линия может обладать одной пропускной способностью, а для другого - другой.

Большинство способов кодирования используют изменение какого-либо параметра периодического сигнала – частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого изменяются, называется несущим сигналом или несущей частотой, если в качестве сигнала используется синусоида.

Если сигнал изменяется так, что можно различить только два его состояния, то любое его изменение будет соответствовать наименьшей единице информации – *биту*. Если же сигнал имеет более двух различимых состояний, то любое его изменение будет нести несколько битов информации.

Количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в *бодах*. Период времени между соседними изменениями информационного сигнала называется тактом работы передатчика.

Пропускная способность линии в битах в секунду в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, и это соотношение зависит от способа кодирования.

Если сигнал имеет более двух различимых состояний, то пропускная способность в битах в секунду выше, чем число бод. Например, если информационными параметрами является фаза и амплитуда синусоиды, причем различаются четыре состояния фазы в 0, 90, 180 и 270° и два значения амплитуды сигнала, то информационный сигнал может иметь 8 различимых состояний. В этом случае модем, работающий со скоростью 2400 бод (с тактовой частотой 2400Гц), передает информацию со скоростью 7200бит/с, так как при одном изменении сигнала передается три бита информации.

При использовании сигналов с двумя различными состояниями может наблюдаться обратная картина. Это часто происходит потому, что для надежного распознавания приемником пользовательской информации каждый бит в последовательности кодируется путем нескольких изменений информационного параметра несущего сигнала. Например, при кодировании единичного значения бита импульсом положительной полярности, а нулевого значения бита импульсом отрицательной полярности физический сигнал дважды изменяет свое состояние при передаче каждого бита. При таком кодировании пропускная способность линии в два раза ниже, чем число бод, передаваемое по линии.

На пропускную способность линии влияет не только физическое, но и логическое кодирование. Логическое кодирование выполняется до физического кодирования и подразумевает замену битов исходной информации новой последовательностью битов, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами, например, возможностью для приемной стороны обнаруживать ошибки в принятых данных. Сопровождение каждого байта исходной информации одним битом четности – это пример очень часто применяемого способа логического кодирования при передаче данных с помощью модемов. Другим примером логического кодирования может служить шифрование данных, обеспечивающее их конфиденциальность при передаче через общественные каналы связи. При логическом кодировании чаще всего исходная последовательность бит заменяется более длинной последовательностью, поэтому пропускная способность канала по отношению к полезной информации при этом уменьшается.

Связь между пропускной способностью и полосой пропускания линии

Чем выше частота несущего периодического сигнала, тем больше информации в единицу времени передается по линии и тем выше пропускная способность линии при фиксированном способе физического кодирования. Однако, с другой стороны, с увеличением частоты периодического несущего сигнала увеличивается и ширина спектра этого сигнала, то есть разность между максимальной и минимальной частотами того набора синусоид, которая в сумме дает выбранную для физического кодирования последовательность сигналов. Линия передает этот спектр синусоид с теми искажениями, которые определяются ее полосой пропускания. Чем больше несоответствие между полосой пропускания линии и шириной спектра передаваемых информационных сигналов, тем больше искажение сигналов и тем вероятнее ошибки в распознавании информации принимающей стороной, а значит, скорость передачи информации на самом деле оказывается меньше, чем можно было предположить.

Связь между полосой пропускания линии и ее максимально возможной пропускной способностью, вне зависимости от принятого способа физического кодирования, установил К.Шеннон:

$$C = F \log_2(1 + P_C/P_{\text{ш}}).$$

Здесь C – максимальная пропускная способность линии в битах в секунду; F – ширина полосы пропускания линии в герцах; P_C – мощность сигнала; $P_{\text{ш}}$ – мощность шума.

Из этого соотношения видно, что хотя теоретического предела пропускной способности линии с фиксированной полосой пропускания не существует, на практике такой предел имеется. Действительно, повысить пропускную способность линии можно за счет увеличения мощности передатчика или же уменьшения мощности шума (помехи) на линии связи. Обе эти составляющие поддаются изменению с большим трудом. Повышение мощности передатчика ведет к значительному увеличению его габаритов и стоимости. Снижение уровня шума требует применения специальных кабелей с хорошим защитным экраном, что весьма дорого, а также снижения шума в передатчике и промежуточной аппаратуре, чего достичь весьма не просто. К тому же влияние мощностей полезного сигнала и шума на пропускную способность ограничено логарифмической зависимостью, которая растет не так быстро, как прямо пропорциональная.

Максимально возможную пропускную способность линии связи без учета шума на линии определяет другое соотношение, полученное Найквистом:

$$C = 2F \log_2 M,$$

где M – количество различных состояний информационного параметра.

Если сигнал имеет два различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи. Если же передатчик использует более двух устойчивых состояний сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько битов исходных данных, например, два бита при наличии четырех различных состояний сигнала. Хотя формула Найквиста явно не учитывает наличие шума, косвенно его влияние отражается в выборе количества состояний информационного сигнала.

§ 2.7. Передача данных на физическом и канальном уровнях

При передаче дискретных данных по каналам связи применяются два основных типа физического кодирования — на основе синусоидального несущего сигнала и на основе последовательности прямоугольных импульсов. Первый способ часто называется также модуляцией, или аналоговой модуляцией, подчеркивая тот факт, что кодирование осуществляется за счет изменения параметров аналогового сигнала. Второй способ обычно называют цифровым кодированием. Эти способы отличаются шириной спектра результирующего сигнала и сложностью аппаратуры, необходимой для их реализации.

При использовании прямоугольных импульсов спектр результирующего сигнала получается весьма широким. Это не удивительно, если вспомнить, что спектр идеального импульса имеет бесконечную ширину. Применение синусоиды приводит к спектру гораздо меньшей ширины при той же скорости переда-

чи информации. Однако для синусоидальной модуляции требуется более сложная и дорогая аппаратура, чем для генерирования прямоугольных импульсов.

В настоящее время все чаще данные, изначально имеющие аналоговую форму (речь, телевизионное изображение), передаются по каналам связи в дискретном виде, то есть в виде последовательности единиц и нулей. Процесс представления аналоговой информации в дискретной форме называется дискретной модуляцией. Термины «модуляция» и «кодирование» часто используют как синонимы.

Аналоговая модуляция

Аналоговая модуляция применяется для передачи дискретных данных по каналам с узкой полосой частот, типичным представителем которых является канал тональной частоты, предоставляемый в распоряжение пользователям общественных телефонных сетей.

Типичная амплитудно-частотная характеристика канала тональной частоты представлена на рис. 2.31. Этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, таким образом, его полоса пропускания равна 3100 Гц. Хотя человеческий голос имеет гораздо более широкий спектр (примерно от 100 Гц до 10 кГц), для приемлемого качества передачи речи диапазон в 3100 Гц является хорошим решением. Строгое ограничение полосы пропускания тонального канала связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях.

Устройство, которое выполняет функции модуляции несущей синусоиды на передающей стороне и демодуляции на приемной стороне, носит название модем (модулятор-демодулятор).

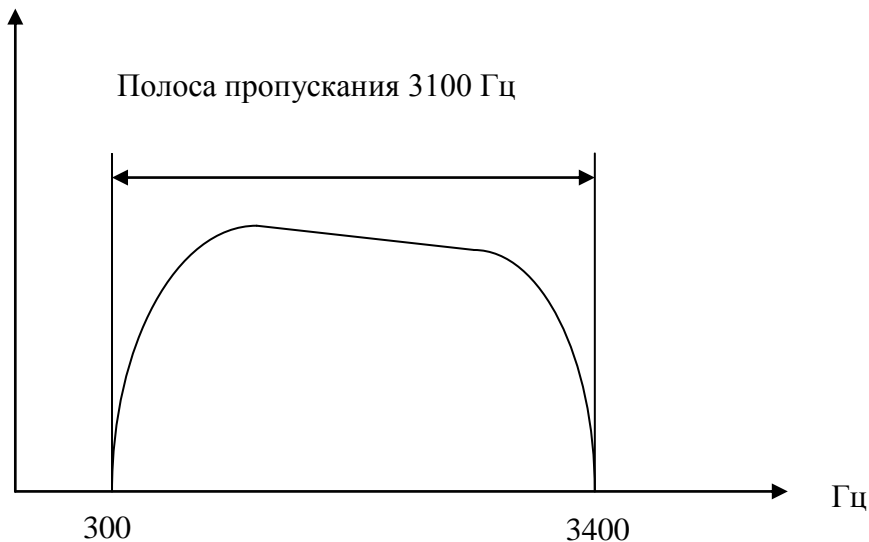


Рис. 2.31. Амплитудно-частотная характеристика канала ТЧ

Методы аналоговой модуляции

При физическом кодировании способом аналоговой модуляции информация кодируется изменением амплитуды, частоты или фазы синусоидального сигнала несущей частоты. Основные способы аналоговой модуляции показаны на рис. 2.32. На диаграмме (рис. 2.32 а) показана последовательность битов исходной информации, представленная потенциалами высокого уровня для логической единицы и потенциалом нулевого уровня для логического нуля. Такой способ кодирования называется потенциальным кодом и часто используется при передаче данных между блоками компьютера.

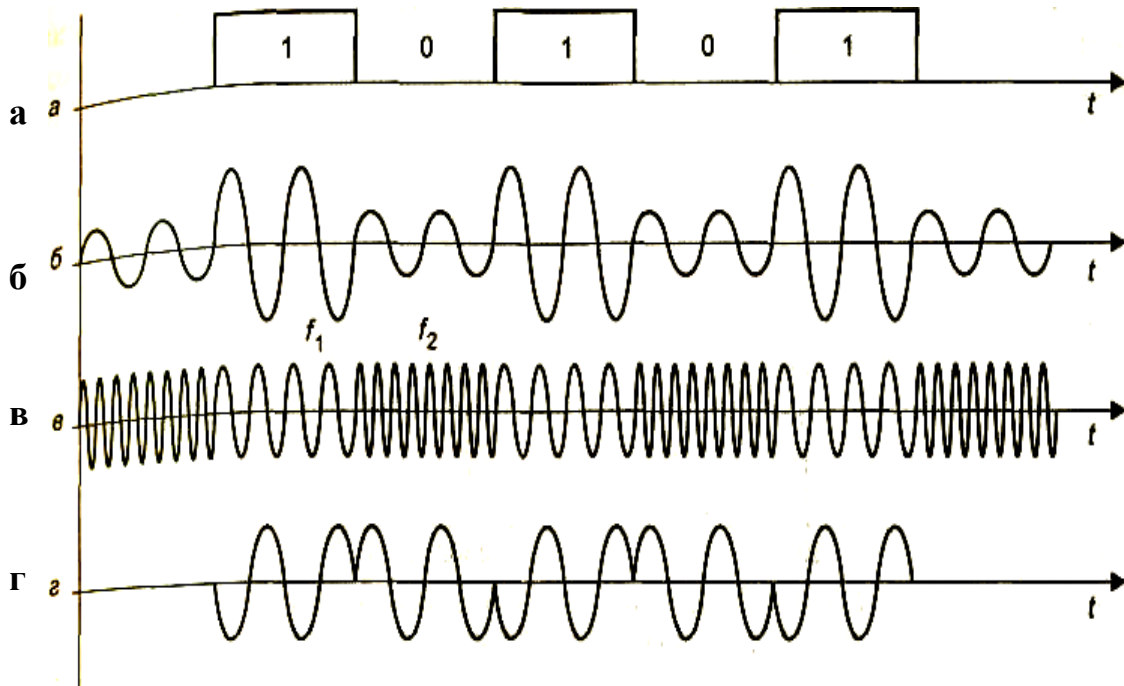


Рис. 2.32. Различные типы модуляции

При амплитудной модуляции (рис. 2.32 б) для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля — другой. Этот способ редко используется в чистом виде на практике из-за низкой помехоустойчивости, но часто применяется в сочетании с другим видом модуляции — фазовой модуляцией.

При частотной модуляции (рис. 2.32 в) значения “1” и “0” исходных данных передаются синусоидами с различной частотой — f_1 и f_2 . Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с.

При фазовой модуляции (рис. 2.32 г) значениям данных “0” и “1” соответствуют сигналы одинаковой частоты, но различной фазы, например, 0° и 180° или 0° , 90° , 180° и 270° .

В скоростных модемах часто используются комбинированные методы модуляции, как правило, амплитудная в сочетании с фазовой.

Спектр модулированного сигнала

Спектр результирующего модулированного сигнала зависит от типа модуляции и скорости модуляции, то есть желаемой скорости передачи битов исходной информации.

Рассмотрим сначала спектр сигнала при потенциальном кодировании. Пусть логическая единица кодируется положительным потенциалом, а логический ноль — отрицательным потенциалом такой же величины. Для упрощения вычислений предположим, что передается информация, состоящая из бесконечной последовательности чередующихся единиц и нулей, как это и показано на рис. 2.32 а. Заметим, что в данном случае величины бод и битов в секунду совпадают.

Для потенциального кодирования спектр непосредственно получается из формул Фурье для периодической функции. Если дискретные данные передаются с битовой скоростью N бит/с, то спектр состоит из постоянной составляющей нулевой частоты и бесконечного ряда гармоник с частотами $f_0, 3f_0, 5f_0, 7f_0, \dots$, где $f_0 = N/2$. Амплитуды этих гармоник убывают достаточно медленно — с коэффициентами $1/3, 1/5, 1/7, \dots$ от амплитуды гармоники f_0 (рис. 2.33 а). В результате спектр потенциального кода требует для качественной передачи широкую полосу пропускания. Кроме того, нужно учесть, что реально спектр сигнала постоянно меняется в зависимости от того, какие данные передаются по линии связи. Например, передача длинной последовательности нулей или единиц сдвигает спектр в сторону низких частот, а в крайнем случае, когда передаваемые данные состоят только из единиц (или только из нулей), спектр состоит из гармоники нулевой частоты. При передаче чередующихся единиц и нулей постоянная составляющая отсутствует. Поэтому спектр результирующего сигнала потенциального кода при передаче произвольных данных занимает полосу от некоторой величины, близкой к 0 Гц, до примерно $7f_0$ (гармониками с частотами выше $7f_0$ можно пренебречь из-за их малого вклада в результирующий сигнал). Для канала тональной частоты верхняя граница при потенциальном кодировании достигается для скорости передачи данных в 971 бит/с, а нижняя неприемлема для любых скоростей, так как полоса пропускания канала начинается с 300 Гц. В результате потенциальные коды на каналах тональной частоты никогда не используются.

При амплитудной модуляции спектр состоит из синусоиды несущей частоты f_c , и двух боковых гармоник: $(f_c + f_m)$ и $(f_c - f_m)$, где f_m — частота изменения информационного параметра синусоиды, которая совпадает со скоростью передачи данных при использовании двух уровней амплитуды (рис. 2.33 б). Частота f_m определяет пропускную способность линии при данном способе кодирования. При небольшой частоте модуляции ширина спектра сигнала также оказывается небольшой (равной $2f_m$), поэтому сигналы не будут искажаться линией, если ее полоса пропускания будет больше или равна $2f_m$.

Для канала тональной частоты такой способ модуляции приемлем при скорости передачи данных не больше $3100/2 = 1550$ бит/с. Если же для пред-

ставления данных используются 4 уровня амплитуды, то пропускная способность канала повышается до 3100 бит/с.

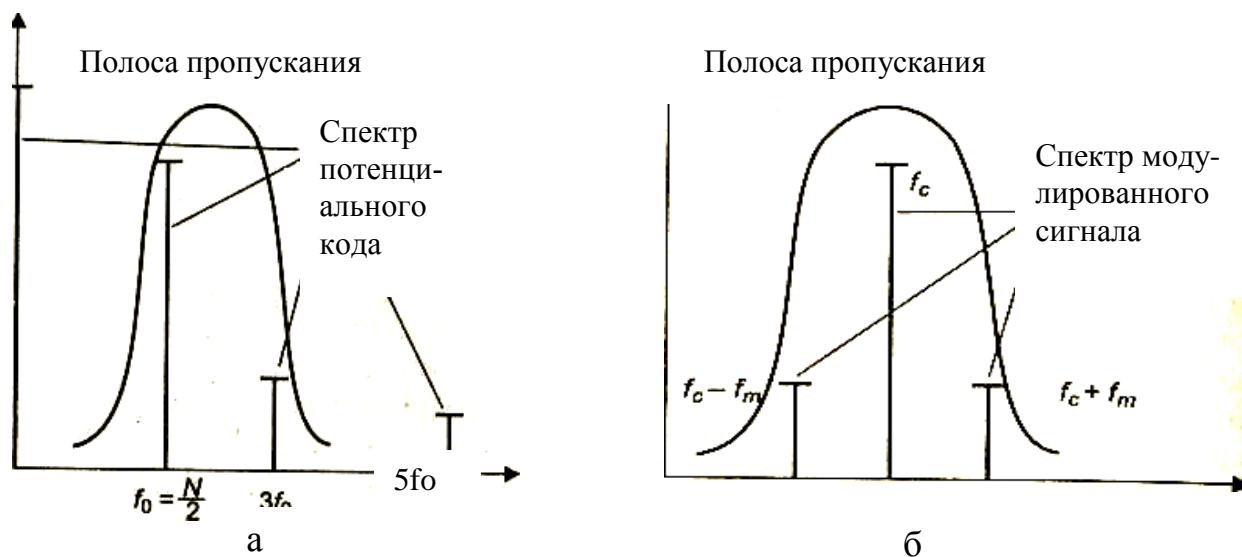


Рис. 2.33. Спектр сигналов при потенциальном кодировании и амплитудной модуляции

При фазовой и частотной модуляциях спектр сигнала получается более сложным, чем при амплитудной, так как боковых гармоник здесь образуется более двух, но они тоже симметрично расположены относительно основной несущей частоты, а их амплитуды быстро убывают. Поэтому эти виды модуляции также хорошо подходят для передачи данных по каналу тональной частоты. Для повышения скорости передачи данных используют комбинированные методы модуляции. Наиболее распространенными являются методы квадратурной амплитудной модуляции (Quadrature Amplitude Modulation, QAM). Эти методы основаны на сочетании фазовой модуляции с 8 значениями величин сдвига фазы и амплитудной модуляции с 4 уровнями амплитуды. Однако из возможных 32 комбинаций сигнала используются далеко не все. Например, в так называемых решетчатых кодах допустимы всего 6, 7 или 8 комбинаций для представления исходных данных, а остальные комбинации являются запрещенными. Такая избыточность кодирования требуется для распознавания модемом ошибочных сигналов, являющихся следствием искажения из-за помех, которые на телефонных каналах, особенно коммутируемых, весьма значительны по амплитуде и продолжительны по времени.

Дискретная модуляция аналоговых сигналов

Одной из основных тенденций развития сетевых технологий является передача в одной сети как дискретных, так и аналоговых данных. Источниками дискретных данных являются компьютеры и другие вычислительные устройства, а источником аналоговых данных являются такие устройства как телефо-

ны, видеокамеры и т.п. На ранней стадии все типы данных передавались в аналоговой форме, при этом дискретные компьютерные данные преобразовывались в аналоговые с помощью модемов.

Однако передача дискретных данных в аналоговой форме не позволяет улучшить качество принятых данных, если они исказились при передаче. Сам аналоговый сигнал не дает никаких указаний ни о том, что произошло искажение, ни о том, как его исправить, поскольку форма сигнала может быть любой, в том числе и такой, какую зафиксировал приемник. Поэтому на смену аналоговой технике записи и передаче звука и изображения пришла цифровая техника. Эта техника использует так называемую дискретную модуляцию исходных непрерывных во времени аналоговых процессов.

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов как по амплитуде, так и по времени (рис. 2.34). Рассмотрим принцип дискретной модуляции на примере импульсно-кодовой модуляции, ИКМ (Pulse Amplitude Modulation, PAM), которая широко применяется в цифровой телефонии.

Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом – за счет этого происходит дискретизация во времени. Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности, что означает дискретизацию по значению функции – непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется дискретным множеством ее значений. Устройство, которое выполняет подобную функцию, называется аналого-цифровым преобразователем (АЦП). После этого замеры передаются по каналам связи в виде последовательности единиц и нулей. При этом применяются те же методы кодирования, что и в случае передачи изначально дискретной информации, то есть, например, методы, основанные на коде V8ZS или 2B1Q.

На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность битов, а специальная аппаратура, называемая цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), производит демодуляцию оцифрованных амплитуд непрерывного сигнала, восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

Дискретная модуляция основана на теории отображения Найквиста—Котельникова. В соответствии с этой теорией аналоговая непрерывная функция, переданная в виде последовательности ее дискретных по времени значений, может быть точно восстановлена, если частота дискретизации была в два или более раз выше, чем частота самой высокой гармоники спектра исходной функции. Если это условие не соблюдается, то восстановленная функция будет существенно отличаться от исходной.

Преимуществом цифровых методов записи, воспроизведения и передачи аналоговой информации является возможность контроля достоверности считанных с носителя или полученных по линии связи данных. Для этого можно применять те же методы, которые применяются для компьютерных данных (и рассматриваются более подробно далее), — вычисление контрольной суммы, повторная передача искаженных кадров, применение самокорректирующихся кодов.

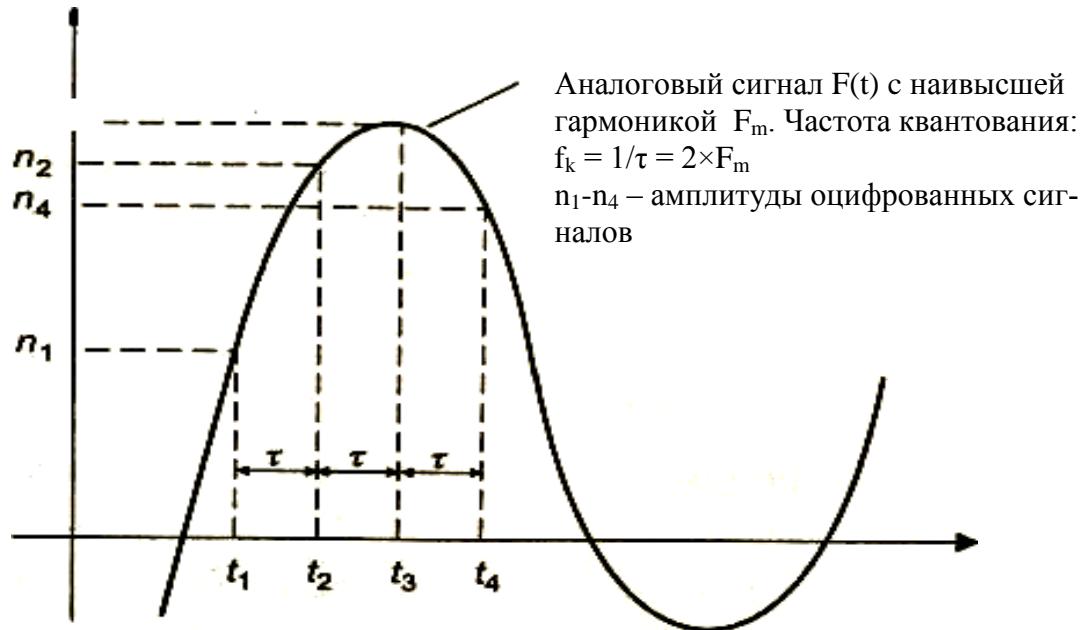


Рис. 2.34. Дискретная модуляция непрерывного процесса

Для качественной передачи голоса в методе ИКМ используется частота квантования амплитуды звуковых колебаний в 8000 Гц. Это связано с тем, что в аналоговой телефонии для передачи голоса был выбран диапазон от 300 до 3400 Гц, который достаточно качественно передает все основные гармоники собеседников. В соответствии с теоремой Найквиста—Котельникова для качественной передачи голоса достаточно выбрать частоту дискретизации, в два раза превышающую самую высокую гармонику непрерывного сигнала, то есть $2 \times 3400 = 6800$ Гц. Выбранная в действительности частота дискретизации 8000 Гц обеспечивает некоторый запас качества. В методе ИКМ обычно используется 7 или 8 бит кода для представления амплитуды одного замера. Соответственно это дает 127 или 256 градаций звукового сигнала, что оказывается вполне достаточным для качественной передачи голоса.

При использовании метода ИКМ для передачи одного голосового канала необходима пропускная способность 56 или 64 кбит/с в зависимости от того, каким количеством битов представляется каждый замер. Если для этих целей используется 7 бит, то при частоте передачи замеров в 8000 Гц получаем:

$$-8000 \times 7 = 56000 \text{ бит/с или } 56 \text{ кбит/с,}$$

а для случая 8 бит:

$$-8000 \times 8 = 64000 \text{ бит/с или } 64 \text{ кбит/с.}$$

Стандартным является цифровой канал 64 кбит/с, который также называется элементарным каналом цифровых телефонных сетей.

Передача непрерывного сигнала в дискретном виде требует от сетей жесткого соблюдения временного интервала в 125 мкс (соответствующего ча-

стоте дискретизации 8000 Гц) между соседними замерами, то есть требует синхронной передачи данных между узлами сети. При несоблюдении синхронности прибывающих замеров исходный сигнал восстанавливается неверно, что приводит к искажению голоса, изображения или другой мультимедийной информации, передаваемой по цифровым сетям. Так, искажение синхронизации в 10 мс может привести к эффекту «эха», а сдвиги между замерами в 200 мс приводят к невозможности распознавания произносимых слов. В то же время потеря одного замера при соблюдении синхронности между остальными замерами практически не сказывается на воспроизводимом звуке. Это происходит за счет сглаживающих устройств в цифро-аналоговых преобразователях, которые основаны на свойстве инерционности любого физического сигнала — амплитуда звуковых колебаний не может мгновенно измениться на большую величину.

На качество сигнала после ЦАП влияет не только синхронность поступления на его вход замеров, но и погрешность дискретизации амплитуд этих замеров. В теореме Найквиста—Котельникова предполагается, что амплитуды функции измеряются точно, в то же время использование для их хранения двоичных чисел с ограниченной разрядностью несколько искажает эти амплитуды. Соответственно искажается восстановленный непрерывный сигнал, что называется шумом дискретизации (по амплитуде).

Существуют и другие методы дискретной модуляции, позволяющие представить замеры голоса в более компактной форме, например, в виде последовательности 4-битных или 2-битных чисел. При этом один голосовой канал требует меньшей пропускной способности, например, 32 Кбит/с, 16 Кбит/с или еще меньше. С 1985 года применяется стандарт ССИТТ кодирования голоса, называемый Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM). Коды ADPCM основаны на расхождении разностей между последовательными замерами голоса, которые затем и передаются по сети. В коде ADPCM для хранения одной разности используется 4 бит, и голос передается со скоростью 32 Кбит/с. Более современный метод, Linear Predictive Coding (LPC), делает замеры исходной функции реже, но использует прогнозирование направления, в котором изменяется амплитуда сигнала. При помощи этого метода можно понизить скорость передачи голоса до 9600 бит/с.

Представленные в цифровой форме непрерывные данные легко можно передать через компьютерную сеть. Для этого достаточно поместить несколько замеров в кадр какой-нибудь стандартной сетевой технологии, снабдить кадр правильным адресом назначения и отправить адресату. Адресат должен извлечь из кадра замеры и подать их с частотой квантования (для голоса — с частотой 8000 Гц) на цифро-аналоговый преобразователь. По мере поступления следующих кадров с замерами голоса операция должна повториться. Если кадры будут прибывать достаточно синхронно, то качество голоса может быть достаточно высоким. Однако, как мы уже знаем, кадры в компьютерных сетях могут задерживаться как в конечных узлах (при ожидании доступа к разделяемой среде), так и в промежуточных коммуникационных устройствах — мостах, комму-

таторах и маршрутизаторах. Поэтому качество голоса при передаче в цифровой форме через компьютерные сети обычно бывает невысоким. Для качественной передачи оцифрованных непрерывных сигналов — голоса, изображения — сегодня используют специальные цифровые сети, такие как ISDN, ATM, а также сети цифрового телевидения. Тем не менее для передачи внутрикорпоративных телефонных разговоров сегодня характерны сети Frame Relay, задержки передачи кадров которых укладываются в допустимые пределы.

Цифровое кодирование

При цифровом кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды.

В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются. Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо частью импульса — перепадом потенциала определенного направления.

При использовании прямоугольных импульсов для передачи дискретной информации необходимо выбрать такой способ кодирования, который одновременно достигал бы следующих целей:

- наименьшей ширины спектра результирующего сигнала при одной и той же битовой скорости;
- синхронизации между передатчиком и приемником;
- способности распознавать ошибки;
- низкой стоимости реализации.

Более узкий спектр сигналов позволяет на одной и той же линии (с одной и той же полосой пропускания) добиваться более высокой скорости передачи данных. Кроме того, часто к спектру сигнала предъявляется требование отсутствия постоянной составляющей, то есть отсутствия постоянного тока между передатчиком и приемником. В частности, применение различных трансформаторных схем гальванической развязки препятствует прохождению постоянного тока. Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени необходимо считывать новую информацию с линии связи. Эта проблема в сетях решается сложнее, чем при обмене данными между близко расположенными устройствами, например, между блоками внутри компьютера или же между компьютером и принтером. На небольших расстояниях хорошо работает схема, основанная на отдельной тактирующей линии связи (рис. 2.35), так что информация снимается с линии данных только в момент прихода тактового импульса. В сетях использование этой схемы вызывает трудности из-за неоднородности характеристик проводников в кабелях. На больших расстояниях неравномерность скорости распространения сигнала может привести к тому, что тактовый импульс придет несколько позже или раньше соответствующего сигнала данных, и бит данных будет пропущен или считан повторно. Другой причиной, по которой в сетях отказываются от

использования тактирующих импульсов, является экономия проводников в дорогостоящих кабелях.

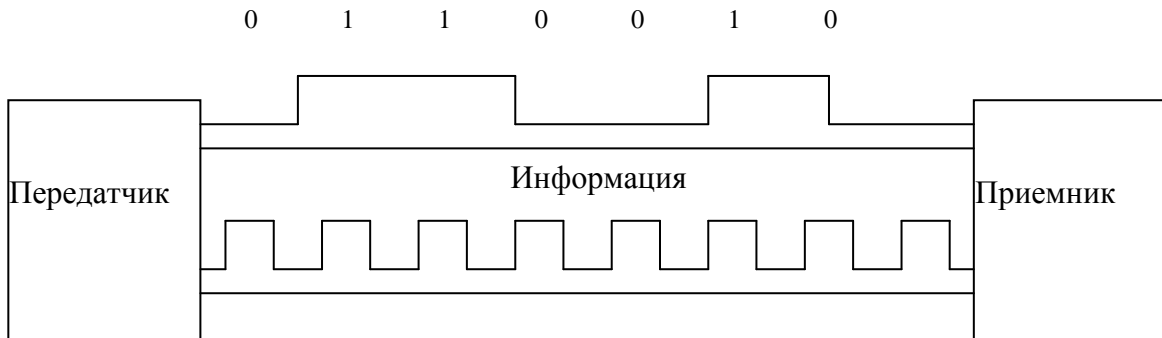


Рис. 2.35. Синхронизация приемника и передатчика на небольших расстояниях

Поэтому в сетях применяются так называемые самосинхронизирующиеся коды, сигналы которых несут для передатчика указание о том, в какой момент времени нужно осуществлять распознавание очередного бита (или нескольких битов, если код ориентирован более чем на два состояния сигнала). Любой резкий перепад сигнала (так называемый фронт) может служить хорошим указанием для синхронизации приемника с передатчиком.

При использовании синусоид в качестве несущего сигнала результирующий код обладает свойством самосинхронизации, так как изменение амплитуды несущей частоты дает возможность приемнику определить момент появления входного кода.

Распознавание и коррекцию искаженных данных сложно осуществить средствами физического уровня, поэтому чаще всего эту работу берут на себя протоколы лежащие выше: канальный, сетевой, транспортный или прикладной. С другой стороны, распознавание ошибок на физическом уровне экономит время, так как приемник не ждет полного помещения кадра в буфер, а отбраковывает его сразу при распознавании ошибочных битов внутри кадра.

Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из применяемых популярных методов цифрового кодирования обладает своими преимуществами и своими недостатками по сравнению с другими.

На широкополосных каналах связи применяются потенциальные и импульсные методы кодирования, в которых данные представлены различными уровнями постоянного потенциала сигнала либо полярностями импульса или его фронта.

При использовании потенциальных кодов особое значение приобретает задача синхронизации приемника с передатчиком, так как при передаче длинных последовательностей нулей или единиц сигнал на входе приемника не изменяется и приемнику сложно определить момент съема очередного бита данных.

Наиболее простым потенциальным кодом является код без возвращения к нулю (NRZ), однако он не является самосинхронизирующимся и создает постоянную составляющую.

Наиболее популярным импульсным кодом является манчестерский код, в котором информацию несет направление перепада сигнала в середине каждого такта. Манчестерский код применяется в технологиях Ethernet и Token Ring.

Для улучшения свойств потенциального кода NRZ используются методы логического кодирования, исключающие длинные последовательности нулей. Эти методы основаны на:

- введении избыточных битов в исходные данные (коды типа 4B/5B);
- скремблировании исходных данных (коды типа 2B1Q).

Улучшенные потенциальные коды обладают более узким спектром, чем импульсные, поэтому они находят применение в высокоскоростных технологиях, таких как FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet.

Особенности протоколов канального уровня

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, к узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня. Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты в кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей такого кадра, а также сопровождая кадр контрольной суммой. Протокол канального уровня обычно работает в пределах одной сети, которая, как правило, входит в более крупную составную сеть, объединяемую протоколами сетевого уровня. Адреса, с которыми работает протокол канального уровня, используются для доставки кадров только в пределах этой сети, а для перемещения пакетов из сети в сеть применяются уже адреса следующего, сетевого уровня. Поэтому таблицы продвижения, на основе которых работают устройства канального уровня, содержат только адреса узлов своей сети, что существенно сокращает количество записей в них, а следовательно, повышает скорости их просмотра и продвижения кадра.

Типичными представителями протоколов канального уровня являются протоколы семейства Ethernet, которые применяются в основном в локальных сетях, а в последнее время все чаще стали использоваться в сетях масштаба города (мегаполиса). В глобальных сетях протоколы канального уровня применяются в пределах «вырожденной» сети — канала «точка-точка», а также в сетях с произвольной топологией, но уже после того, как в них проложен виртуальный путь. Примером протокола канального уровня первого типа является протокол PPP (Point-to-Point Protocol), а второго — протоколы канального уровня сетей Frame Relay и АТМ. В коммутаторах глобальных сетей, поддерживающих эти протоколы, таблицы продвижения также содержат адреса, имеющие локальное (то есть только для данного коммутатора) значение, поэтому они, как и таблицы продвижения коммутаторов локальных сетей, имеют небольшие размеры и просматриваются относительно быстро, по сравнению с

таблицами маршрутизации, включающими адреса всех сетей составной сети и иногда состоящими из десятков тысяч записей (как это и происходит с таблицами маршрутизации магистральных маршрутизаторов Интернета).

Каждый протокол канального уровня можно охарактеризовать следующим набором свойств:

- асинхронный/синхронный режим передачи байтов;
- символично-ориентированный/бит-ориентированный;
- с предварительным установлением соединения/дейтаграммный;
- с обнаружением искаженных данных/без обнаружения;
- с обнаружением потерянных данных/ без обнаружения;
- с восстановлением искаженных и потерянных данных/без восстановления;
- с поддержкой динамической компрессии данных/без поддержки;

Некоторые из этих свойств присущи не только протоколам канального уровня, но и протоколам более высоких уровней.

Передача с установлением соединения и без установления соединения

При передаче кадров данных на канальном уровне используются как дейтаграммные процедуры, работающие без установления соединения, так и процедуры с предварительным установлением логического соединения.

При дейтаграммной передаче кадр посылается в сеть «без предупреждения», и никакой ответственности за его утерю протокол не несет (рис. 2.36 а). Предполагается, что сеть всегда готова принять кадр от конечного узла. Дейтаграммный метод работает быстро, так как никаких предварительных действий перед отправкой данных не требуется. Однако при таком методе трудно организовать в рамках протокола отслеживание факта доставки кадра узлу назначения. Этот метод не гарантирует доставку пакета.

Передача с установлением соединения более надежна, но требует больше времени для передачи данных и вычислительных затрат от конечных узлов. В этом случае узлу-получателю отправляется служебный кадр специально, формата с предложением установить соединение (рис. 2.36 б). Если узел-получатель согласен с этим, то он посылает в ответ другой служебный кадр, подтверждающий установление соединения и предлагающий для данного логического соединения некоторые параметры, которые будут использоваться в рамках данного соединения. Это могут быть, например, идентификатор соединения, максимальное значение поля данных кадров, количество кадров, которые можно отправить без получения подтверждения и т. п. Узел-инициатор соединения может завершить процесс установления соединения отправкой третьего служебного кадра, в котором сообщит, что предложенные параметры ему подходят. На этом логическое соединение считается установленным, и в его рамках можно передавать информационные кадры с пользовательскими данными. После передачи некоторого законченного набора данных, например, определенного файла, узел инициирует разрыв данного логического соединения, посылая соответствующий служебный кадр.

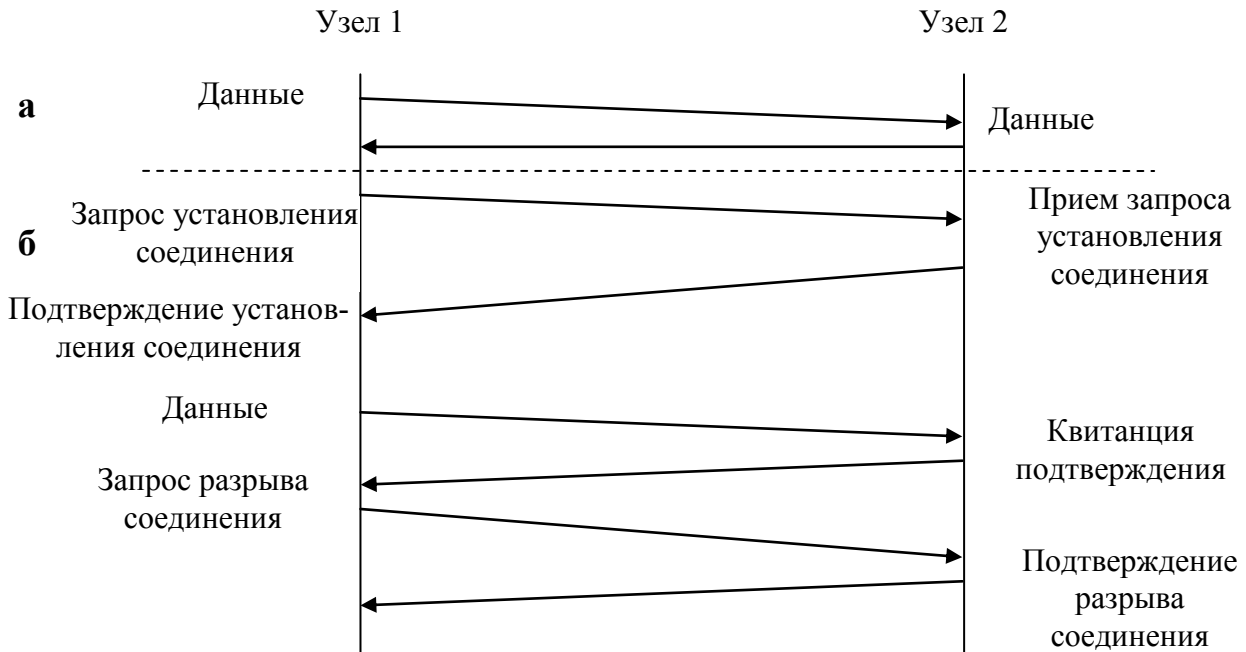


Рис. 2.36. Протоколы: а - без установления соединения, б - с установлением соединения

Заметим, что в отличие от протоколов дейтаграммного типа, которые поддерживают только один тип кадра — информационный, протоколы, работающие с установлением соединения, должны поддерживать как минимум два типа кадров: служебные, для установления (и разрыва) соединения, и информационные, переносящие собственно пользовательские данные.

Логическое соединение может быть рассчитано как на передачу данных в одном направлении — от инициатора соединения, так и в обоих направлениях.

Процедура установления соединения может использоваться для достижения следующих целей:

- для взаимной аутентификации либо пользователей, либо оборудования (маршрутизаторы тоже могут иметь имена и пароли, которые нужны для уверенности в том, что злоумышленник не подменил корпоративный маршрутизатор и не отвел поток данных в свою сеть для анализа);
- для согласования изменяемых параметров протокола: MTU, различных таймаутов и т.д.;
- для обнаружения и коррекции ошибок.

Установление логического соединения дает точку отсчета для задания начальных значений номеров кадров. При потере нумерованного кадра приемник, во-первых, получает возможность обнаружить этот факт, а во-вторых, он может сообщить передатчику, какой кадр нужно передать повторно.

В некоторых технологиях процедуру установления логического соединения используют при динамической настройке коммутаторов сети для маршрутизации всех последующих кадров, которые будут проходить через сеть в рам-

ках данного логического соединения. Так работают сети технологий X.25, Frame Relay и АТМ.

Как видно из приведенного списка, при установлении соединения могут преследоваться разные цели, в некоторых случаях – несколько одновременно.

Основной задачей протоколов канального уровня является доставка кадра узлу назначения в сети определенной технологии и достаточно простой (регулярной) топологии.

Асинхронные протоколы разрабатывались для обмена данными между низко скоростными старт-стопными устройствами: телетайпами, алфавитно-цифровыми терминалами и т. п. В этих протоколах для управления обменом данными используются не кадры, а отдельные символы из нижней части кодовых таблиц ASCII или EBCDIC. Пользовательские данные могут оформляться в кадры, но байты в таких кадрах всегда отделяются друг от друга стартовым и стоповыми сигналами.

Синхронные протоколы посылают данные непрерывным битовым потоком, без разделения его на байты.

В зависимости от способа выделения начала и конца кадра синхронные протоколы делятся на символьно-ориентированные и бит-ориентированные. В первых для этой цели используются символы кодов ASCII или EBCDIC, а в последних — специальный набор битов, называемый флагом. Бит-ориентированные протоколы более рационально расходуют поле данных кадра, так как для исключения из него значения, совпадающего с флагом, добавляют к нему только один дополнительный бит, а символьно-ориентированные протоколы добавляют целый символ.

В дейтаграммных протоколах отсутствует процедура предварительного установления соединения, за счет этого срочные данные отправляются в сеть без задержек.

Протоколы с установлением соединения могут обладать многими дополнительными свойствами, отсутствующими у дейтаграммных протоколов. Наиболее часто в них реализуется такое свойство, как способность восстанавливать искаженные и потерянные кадры.

Для обнаружения искажений наиболее популярны методы, основанные на циклических избыточных кодах (CRC), которые выявляют многократные ошибки. Для восстановления кадров используется метод повторной передачи на основе квитанций. Этот метод работает по алгоритму с простоями источника, а также по алгоритму скользящего окна.

Для повышения полезной скорости передачи данных в сетях применяется динамическая компрессия данных на основе различных алгоритмов. Коэффициент сжатия зависит от типа данных и применяемого алгоритма и может колебаться в пределах от 1:2 до 1:8.

Глава III. Авиационная наземная сеть передачи данных и телеграфной связи (АНС ПД и ТС)

§ 3.1. Общие принципы организации АНС ПД и ТС

Назначение сети

Авиационная наземная сеть передачи данных и телеграфной связи (далее АНС ПД и ТС) предназначена для обеспечения обмена данными при:

- организации воздушного движения;
- планировании использования воздушного пространства;
- производственно-хозяйственной, административно-управленческой и коммерческой деятельности предприятий, организаций и учреждений, работающих в области гражданских воздушных перевозок.

АНС ПД и ТС функционирует независимо от формы собственности и ведомственной подчиненности предприятий, организаций и учреждений как на территории России, так и для обмена информацией с зарубежными службами, полномочными организациями и летно-эксплуатационными агентствами.

Функционирование АНС ПД и ТС осуществляется в соответствии с Российским законодательством. Она функционирует на принципе равенства предоставления услуг всем пользователям сети без каких-либо дискриминационных ограничений. Оказание услуг осуществляется на договорной основе в соответствии с взаимно оговоренными условиями, объемами и качеством.

Услуги связи оказываются на постоянной круглосуточной основе с обеспечением соответствующей надежности функционирования всех отдельных элементов сети и сети в целом с применением централизованного технологического и оперативного управления ресурсами элементов сети.

Представляемые услуги сети соответствуют уровню современных технологий в области связи и обеспечивают возможность обмена данными пользователей в соответствии с стандартами МОС (Международный отраслевой союз), МСЭ-Т (Международный совет электро-телекоммуникаций) и ИКАО.

Требования к оборудованию, программному обеспечению и квалификации персонала

Используемое в центрах (узлах) сети оборудование и программное обеспечение должно:

- соответствовать по своим характеристикам и функциональным возможностям Российским и международным стандартам и рекомендациям в области телекоммуникаций;
- иметь определяемые законодательством России сертификаты соответствия и/или разрешения на применение в АНС ПД и ТС, подтвержденные результатами соответствующих испытаний.

Характеристики оборудования АНС ПД и ТС, обеспечивающего сопряжение с оборудованием взаимоувязанной сети связи Российской Федерации

или иных сетей связи, соответствуют техническим условиям операторов этих сетей.

Специалисты, эксплуатирующие оборудование АНС ПД и ТС должны иметь общетехническую и специальную подготовку и обеспечивать техническую эксплуатацию и восстановление работоспособности оборудования.

Структура АНС ПД и ТС

АНС ПД и ТС состоит из авиационной наземной федеральной сети передачи данных и телеграфной связи (АНФС ПД) и авиационных наземных региональных сетей передачи данных и телеграфной связи (АНРС ПД), использующих единую разрешенную номенклатуру аппаратно-программных технических средств, имеющих общий принцип построения и централизованного управления, а также единую систему адресации.

Оперативное и технологическое управление сетью осуществляется главным центром, в качестве которого выступает Московский центр. Главный центр АНС ПД и ТС является национальным центром международных сетей AFTN и CIDIN ICAO.

Сети АНФС ПД и АНРС ПД представляют собой совокупность центров коммутации сообщений и узлов передачи данных, объединенных в единую сеть каналами связи. В сеть АНФС ПД входят федеральные центры коммутации сообщений, являющиеся одновременно основными центрами соответствующих региональных сетей.

Перечень Федеральных центров авиационной наземной сети передачи данных и телеграфной связи приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ п/п	Центры Федеральной сети	Тип оборудования	Год ввода в экспл.
1	ЦКС ФГУП ЦРОС ГА г. Москва	ЦКС «Аэронет-1»	1995
2	ЦКС ФГУП РТЦ АИСС г. Ростов-на-Дону	ЦКС «Аэронет-1»	1995
3	ЦКС ФГУ АП «Пулково» г. С.Петербург	ЦКС «Аэронет-1»	1995
4	ЦКС ОАО «Аэропорт Кольцово» г. Екатеринбург	ЦКС «Аэронет-1»	1995
5	ЦКС филиала «Аэронавигация Западной Сибири» г. Новосибирск	ЦКС «Аэронет-1»	1995
6	ЦКС филиала «Аэронавигация Восточной Сибири» г. Иркутск	ЦКС «Аэронет-1»	1995
7	ЦКС филиала «Аэронавигация Дальнего Востока» г. Хабаровск	ЦКС «Аэронет-1»	1995

Продолжение табл. 3.1

8	ЦКС Самарского центра ОВД филиала «Аэронавигация Центральной Волги» г. Самара	ЦКС «Поток 05»	1999
9	ЦКС Сыктывкарского филиала «Аэронавигация Северного Урала» г. Сыктывкар	ЦКС «Сыктывкар»	1996
10	ЦКС Архангельского центра ОВД филиала «Архангельскаэронавигация» г. Архангельск	ЦКС «Монитор»	2003
11	ЦКС Красноярского центра ОВД филиала «Аэронавигация Центральной Сибири» г. Красноярск	ЦКС «ПОТОК-03М-32»	1991
12	ЦКС Якутского центра ОВД филиала «Аэронавигация Северо-Восточной Сибири» г. Якутск	ЦКС «Поток 03м»	2000
13	ЦКС филиала «Камчатаэронавигация» г. Петропавловск-Камчатский	ЦКС «Монитор»	2000
14	ЦКС ОАО «Международный аэропорт Казань» г. Казань	ЦКС «Поток -32-01»	1991
15	ЦКС филиала «Башаэронавигация» г. Уфа	ЦКС «Поток-32-03»	1991
16	ЦКС Магаданского центра УВД филиала «Аэронавигация Северо-Востока» г. Магадан	ЦКС «Поток 32-03»	1995
17	ЦКС центра обеспечения деятельности филиала «Аэронавигация Севера Сибири» г. Тюмень	ЦКС «Монитор»	1998
18	ЦКС ЗАО «Аскар» г. Тюмень	ЦКС «Поток-05»	2000

Схема технологической авиационной наземной федеральной сети передачи данных и телеграфной связи приведена на рис 3.1.

Взаимодействие АНС ПД и ТС с международными сетями AFTN и CIDIN осуществляется в соответствии с решениями Федеральной авиационной службы России на основе соглашений с администрациями гражданской авиации стран-членов ИКАО под технологическим управлением и контролем главного центра сети.

Взаимодействие АНС ПД и ТС с другими международными сетями выполняется главным центром сети с операторами этих сетей в соответствии с действующим законодательством. Сопряжение АНС ПД и ТС с другими сетями производится в пунктах размещения центров АНФС ПД, определяемых на основе совместных решений главного центра АНС ПД и ТС и операторов взаимодействующих сетей.

Перечень международных центров AFTN и CIDIN, взаимодействующих с центрами АНФС ПД и ТС, приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2

№ п/п	Адресный указатель	Международный центр AFTN и CIDIN
1	BICC	Рейкьявик, Исландия
2	EBBVA	Брюссель, Бельгия
3	EBBDA	Центр ОВД, Евроконтроль, Бельгия
4	EDDDA	Франкфурт, Германия
5	EETN	Таллинн, Эстония
6	EFNKA	Хельсинки, Финляндия
7	ENAMA	Амстердам, Голландия
8	EKCHA	Копенгаген, Дания
9	ENHVA	Берген, Норвегия
10	EPWWA	Варшава, Польша
11	EGGGA	Лондон, Великобритания
12	ESSSA	Стокгольм, Швеция
13	EVRR	Рига, Латвия
14	LBSFA	София, Болгария
15	LCNCA	Никосия, Кипр
16	LDDDA	Загреб, Хорватия
17	LEEEA	Мадрид, Испания
18	LFLFA	Бордо, Франция

Продолжение табл. 3.2

19	LFPYA	Центр ОВД, Евроконтроль, Франция
20	LGGGA	Афины, Греция
21	LIIIA	Рим, Италия
22	LKPRA	Прага, Чехия
23	LLBGA	Тель-Авив, Израиль
24	LHBP	Будапешт, Венгрия
25	LOWWA	Вена, Австрия
26	LPPTA	Лиссабон, Португалия
27	LSSSA	Женева, Швейцария
28	LTACA	Анкара, Турция
29	LZIBA	Братислава, Словакия
30	UAAA	Алматы, Казахстан
31	UACC	Астана, Казахстан
32	UBBB	Баку, Азербайджан
33	UDDD	Ереван, Армения
34	UGGG	Тбилиси, Грузия
35	UKKK	Киев, Украина
36	UMMM	Минск, Белоруссия
37	RJAA	Токио, Япония
38	ZBBB	Пекин Китай
39	ZMUB	Улан-Батор, Монголия

Адресация в сети

Функционально, в соответствии с используемыми АНС ПД и ТС технологическими принципами обмена информации, применяются две независимые друг от друга системы адресации:

1. Система адресации при передаче информации с коммутацией сообщений;
2. Система адресации при передаче данных на основе протоколов сетей передачи данных общего пользования.

Используемые в АНС ПД и ТС системы адресации имеют централизованное управление, осуществляемое главным центром сети. Действующие в АНС ПД и ТС системы адресации для обеспечения совместимости с другими сетями полностью соответствуют международным правилам и стандартам. При передаче информации с коммутацией сообщений используемая система адресации соответствует как правилам принятым для АНС ПД и ТС, так и нормам и правилам, принятым ИКАО для международных сетей AFTN и CIDIN. Используемая для передачи данных система адресации соответствует рекомендации МСЭ-Т X.121 для сетей пакетной коммутации общего пользования, нормам и правилам, установленным Министерством связи России для сетей передачи данных.

Назначение условных обозначений пунктов (указателей местоположений) для использования в системе адресации при обмене информацией с коммутацией сообщений производится главным центром АНС ПД и ТС в соответствии с принятым в России порядком с обязательным внесением изменений в соответствующие документы и публикации. Присвоение адресов пользователям при обмене информацией с коммутацией сообщений производится международной организацией гражданской авиации ИКАО по представлению авиационной службой России, а в частных случаях, для обеспечения адресации пользователя исключительно в пределах юрисдикции Российской Федерации - главным центром АНС ПД и ТС.

Назначение адресов и разрешение их использования при передаче информации между пользователями АНС ПД и ТС и пользователями других национальных и международных сетей (за исключением авиационных сетей AFTN и CIDIN) выполняется главным центром сети на основе соглашений с операторами других сетей.

Индексы местоположения и адресные указатели, используемые для адресации телеграфных сообщений при организации обмена с коммутацией сообщений, содержатся в документах:

1. Сборник телеграфных индексов пунктов, организаций, служб и должностных лиц гражданской авиации;
2. Указатели (индексы) местоположения (DOC 7910 ИКАО);
3. Условные обозначения летно-эксплуатационных агентств, авиационных полномочных органов и служб (DOC 8585 ИКАО).

§ 3.2. Управление АНС ПД и ТС

Государственное регулирование

Функционирование АНС ПД и ТС на всех уровнях в целом подлежит государственному регулированию, за исключением вопросов хозяйственной деятельности, подлежащих управлению и решению на уровне хозяйствующих субъектов. Государственное регулирование АНФС ПД осуществляется непосредственно авиационной службой России, а государственное регулирование сетями АНРС ПД осуществляют соответствующие региональные управления авиационной службы России.

Государственному регулированию подлежат вопросы соблюдения законодательства в области связи и нормативных актов и документов, подлежащих выполнению операторами связи, а также вопросы:

- обеспечения непрерывного и надежного функционирования сети на круглосуточной основе в интересах всех пользователей сети, создания и упразднения центров АНС ПД и ТС, открытия и закрытия каналов связи для организации взаимодействия между центрами (узлами) сети и взаимодействия с другими международными и национальными сетями, организации технической эксплуатации средств связи;
- организации и проведения модернизации сети при реализации комплексных программ и региональных и федеральных планов развития систем организации воздушного движения и использования воздушного пространства;
- соблюдения единой тарифной политики и организации системы взаиморасчетов в АНС ПД и ТС.

Оперативное и технологическое управление

Вопросы оперативного и технологического управления в АНС ПД и ТС решаются главным центром в соответствии с нормативными документами авиационной службы России. Оперативное и технологическое управление включает:

- централизованное постоянное сопровождение применяемых в сети систем адресации, в том числе опубликование и распространение среди центров, узлов и пользователей сети нормативно-справочных материалов и текущих изменений к ним;
- поддержание и совершенствование технологических процессов обмена информацией в АНС ПД и ТС при ее взаимодействии с другими сетями на основе соблюдения международных и Российских стандартов и правил, регулирующих деятельность сети;
- постоянный контроль за соблюдением центрами, узлами и пользователями правил и процедур работы, применением разрешенных и сертифицированных средств;

- обеспечение эффективного использования каналов и центров (узлов) сети путем централизованного управления маршрутизацией при обмене данными между центрами (узлами) сети и децентрализованного управления маршрутизацией при обмене информацией сообщений на локальном уровне;
- централизованное управление взаимодействием центров (узлов) АНС ПД и ТС с центрами международных сетей AFTN/CIDIN и другими сетями;
- проведение испытаний предполагаемых к использованию в сети технических и программных средств на соответствие стандартам и правилам, действующим в сети, разработку методических указаний для проведения испытаний;
- организацию и проведение периодического контроля используемых технических средств на соответствие сертификатам и/или разрешениям на применение;
- совершенствование функционирования сети на основе использования статистической информации о работе центров и узлов сети, каналов связи.

Правила и процедуры работы АНС ПД и ТС

Правила и процедуры сети при работе с коммутацией сообщений

При использовании процедур коммутации сообщений для организации обмена информацией и взаимодействия элементов сети между собой, с международными центрами AFTN и с пользователями применяются следующие нормативные документы:

1. Руководство по авиационной связи (РС ГА-99);
2. Требования к функциональным характеристикам средств коммутации сообщений телеграфной сети связи ГА (ТСТС ГА-72);
3. Приложение 10 к Конвенции о Международной гражданской авиации – в части Стандартов и Рекомендованной Практики (SARPS) для Аэронавигационной Фиксированной Телекоммуникационной Сети (AFTN).

Правила и процедуры при передаче информации по протоколу CIDIN

При использовании процедур передачи данных на принципах пакетной коммутации с использованием протокола обмена сети CIDIN для обмена информацией и организации взаимодействия элементов сети между собой, с международными центрами сети CIDIN и с пользователями применяются следующие нормативные документы:

1. Приложение 10 к Конвенции о Международной гражданской авиации – в части Стандартов и Рекомендованной практики (SARPS) для Общей Сети Обмена Данными ИКАО (CIDIN);
2. Руководства по Общей Сети Обмена Данными ICAO (ICAO EUR DOC 005), с учетом требований РС ГА-99.

Правила и процедуры сети при работе с коммутацией пакетов

При использовании процедур коммутации пакетов для организации обмена и взаимодействия элементов сети между собой и с другими сетями, работающими на принципах сетей общего пользования, применяется Рекомендация X-25 МСЭ-Т. Аппаратные и программные средства центров и узлов должны обеспечивать возможность модернизации сети на основе применения современных более эффективных протоколов и технологий обмена (FRAME RELAY, АТМ.Х.400).

Для подключения пользователей к оборудованию центров (узлов) АНС ПД и ТС с целью предоставления им услуг по передаче данных с коммутацией пакетов используются процедуры в соответствии с Рекомендациями X.25, X.3, X.28 МСЭ-Т. Доступ пользователей к сети может осуществляться либо по выделенным каналам или физическим линиям с использованием всех разрешенных к применению в АНС ПД и ТС типов протоколов, либо коммутируемым каналам телефонных сетей общего пользования, с использованием процедур в соответствии с Рекомендациями X.3, X.28 МСЭ-Т. Подключение к сети технических средств пользователя может также осуществляться с использованием эмуляции протоколов, используемых в сетях ЭВМ в соответствии с принятыми в них стандартами и согласно разрешенным в АНС ПД и ТС условиям их применения.

§ 3.3. Центр коммутации сообщений «Аэронет 1» АНС ПД и ТС

Общее описание сети передачи данных

Верхний уровень сети центров коммутации сообщений

Верхний уровень АНС ПД и ТС состоит из семи центров коммутации сообщений типа «Аэронет 1» (Москва, Ростов, С.Петербург, Екатеринбург, Новосибирск, Иркутск и Хабаровск), соединенных с национальными и международными телеграфными сетями и сетью передачи данных гражданской авиации и способных обеспечить гарантированный обмен информацией в соответствии с рекомендациями ИКАО для AFTN и CIDIN сетей, как это установлено в Приложении 10 Конвенции Международной Гражданской Авиации и регламентирующими документами гражданской авиации России. Центры коммутации сообщений связаны телеграфной сетью AFTN, CIDIN линиями точка-точка и посредством сети пакетной коммутации.

Сеть пакетной коммутации

В состав каждого из семи центров входит узел пакетной коммутации (PSN) (X25), который гарантирует обмен информации в соответствии с рекомендациями ССІТТ для сетей общего пользования. Сеть пакетной коммутации используется центрами коммутации сообщений для эффективного взаимодействия посредством протокола CIDIN, а также другими пользователями посред-

ством стандартного транспортного протокола для пакетных сетей данных, названных CCITT X.25 SDLC и асинхронных (X28).

Пользователи могут соединяться с узлом пакетной коммутации ЦКС через арендованные выделенные или коммутируемые линии между центрами коммутации сообщений (ЦКС) верхнего уровня с центрами AFTN, центрами CIDIN.

Каждый центр коммутации сообщений выполняет процедуры для обмена данными между национальной и международной телеграфными сетями и сетями передачи данных для гражданской авиации.

Обмен данными по стандартным телеграфным каналам между ЦКС и удаленными AFTN центрами осуществляется в соответствии с рекомендациями ICAO для сетей AFTN.

Обмен данными по каналам тональной частоты между ЦКС и удаленными центрами CIDIN осуществляется в соответствии с рекомендациями ICAO для сетей ICAO.

Транспортная среда

Центры коммутации сообщений соединяют национальные и международные AFTN и CIDIN центры посредством телеграфных сетей и сетей передачи данных.

Эти сети имеют стандартные протоколы AFTN и CIDIN и используются для обмена данными. Кроме этого, также используется стандартный протокол X.25 для сетей с коммутацией пакетов.

AFTN протокол

Авиационная Фиксированная Служба обеспечивает телекоммуникационные услуги между фиксированными точками. Широко распространенная в мире система авиационной фиксированной связи AFTN является частью AFS для обмена сообщениями и/или данными между авиационными фиксированными станциями, имеющими одинаковые или совместимые характеристики.

AFTN протокол устанавливает процедуры очередности, передачи, приема и доставки сообщений. Все AFTN процедуры и форматы соответствуют национальным регламентирующим документам России (РС ГА-99).

Целью информационного обмена являются:

- сообщения о бедствии (посылаются подвижной станцией и относятся к серьезным событиям, грозящим жизни людей);
- срочные сообщения, относящиеся к авиационной безопасности;
- сообщения о безопасности полетов, содержащие информацию о движении самолетов;
- метеорологические сообщения: прогнозы, наблюдения и т.п.;
- сообщения о регулярности полетов, о загрузке, обслуживании самолета и т.п.;
- авиационные административные сообщения, регулирующие деятельность властей гражданской авиации;

- сообщения о бронировании авиационных билетов;
- обычные авиационные сообщения;
- служебные сообщения, касающиеся процедур обмена информацией.

Текст любого сообщения может быть передан и принят на кириллице или латинском алфавите и может быть закодирован одним из двух телеграфных кодов: ITA-2 и IA5. Сообщения маршрутизируются внутри России на обоих алфавитах, за границу только на латинском. ЦКС управляет адресацией путем представления адресов AFTN абонентам, телеграфным станциям и другим коммутирующим центрам.

AFTN адресация формируется следующим образом. Каждый адрес состоит из шести или восьми знаков, где первые четыре представляют «индикатор положения» или место назначения, а следующие в соответствии с определением ИКАО представляют организационную адресацию (т.е. авиационные власти, службы по обслуживанию воздушных судов и т.п.).

Адреса, содержащиеся в полученных AFTN сообщениях, соответствуют таблицам маршрутизации.

Под маршрутами понимается соединение между двумя телекоммуникационными центрами. В телеграфной сети под маршрутом понимается телеграфный физический канал, подсоединенный к двум центрам. Сообщения, принятые центром как входные, будут передаваться по назначению по маршрутам.

Каждый маршрут имеет ряд общих маршрутных параметров (статус, телеграфный алфавит для сообщений на этом маршруте и т.п.).

Очереди используются для управления потоком сообщений от ЦКС к другим подсистемам и наоборот. Сообщения, полученные ЦКС и предназначенные для передачи, ставятся в очередь в зависимости от того, по какому маршруту они должны быть переданы. Очереди на передачу для каждого выходного маршрута зависят от приоритета сообщения, их может быть три.

Приоритет передачи	Указатель приоритета
1	СС
2	ДД, ФФ
3	ГГ, КК

Указатель приоритета «СС» присваивается сообщениям, содержащим сведения:

- о сигналах бедствия;
- о воздушных судах, потерявших связь и не обнаруженных радиолокаторами;
- о воздушных судах, не прибывших в аэропорты назначения;
- о летных происшествиях;
- по вопросам оказания помощи терпящим бедствие людям, воздушным и морским судам и др.

Указатель приоритета «ДД» присваивается телеграммам, имеющим сообщения:

- о чрезвычайных происшествиях, повреждениях воздушных судов на земле;
- об ограничениях и запрещениях полетов по воздушным трассам и в районах аэродромов по всем причинам;
- о распоряжениях по обеспечению полетов воздушных судов, выполняющих особо важные задания;
- о направлении воздушных судов, находящихся в полете, на другие аэродромы;
- для служебных сообщений по организации работы сети.

Указатель приоритета «ФФ» присваивается телеграммам, имеющим сообщения:

- о внезапно возникших или ожидаемых опасных для авиации метеорологических явлениях;
- о вылетах воздушных судов;
- о местонахождении воздушных судов в полете;
- для немедленной передачи экипажу воздушного судна, находящегося в полете или готового к вылету;
- о воздушном судне, находящемся в полете или готового к вылету;
- о передаче управления воздушным движением;
- о планах полетов;
- о прекращении ограничений и возобновлении приема воздушных судов на аэродромы;
- о прогнозе погоды и фактической погоде.

Указатель приоритета «ГГ» присваивается телеграммам, имеющим сообщения:

- о предварительных планах полета;
- о загрузке воздушных судов;
- о пролете воздушными судами контрольных пунктов;
- о посадках воздушных судов;
- о задержках, отменах, возвратах, перерывов рейсов.

Указатель приоритета «КК» присваивается телеграммам, имеющим сообщения:

- службы аэронавигационной информации ;
- об обслуживании воздушного судна, находящегося в полете, а также если вылет воздушного судна по расписанию должен быть произведен в течение 48 часов после подачи сообщения;
- по эксплуатации и обслуживанию оборудования, необходимого для обеспечения безопасности или регулярности полетов воздушных судов;
- об изменениях в расписании движения воздушных судов, которые должны вступить в действие в течение 72 часов после подачи сообщения;
- по подготовке служб для обслуживания воздушных судов, выполняющих рейсы вне расписания, если сообщения подаются за 48 часов до предполагаемого времени вылета.

При приеме существует только одна очередь на каждом входном маршруте.

Другой вид очереди установлен для сообщений, которые приходят или передаются в подсистему оператора. ЦКС посылает в подсистему оператора искаженные сообщения или сообщения с нарушениями формата для исправления или отправления абоненту специального служебного сообщения. Сообщения с ошибками могут быть аннулированы только при ошибках двух видов: нарушениях формата и ошибках маршрутизации. Исправленные сообщения передаются снова, или должно быть передано служебное сообщение.

Сообщения обрабатываются ЦКС как «сообщения AFTN» в специальном формате. Сообщения принимаются ЦКС от двух коммуникационных серверов и обрабатываются (анализируется формат и т.п.), записываются в архив и передаются на выходной маршрут (маршруты) в зависимости от назначения.

Существуют следующие форматы AFTN сообщений. Сообщение может быть общим (информационным) или служебным; они могут быть переданы по национальным или международным каналам (используется только латинский алфавит).

Сообщение, подготовленное пользователем для подачи на станцию связи, должно состоять из адресной части, строки отправителя, текста и служебных сведений.

Адресная часть состоит из указателя приоритета срочности и адресных указателей, записанных в одну строку. Адресная строка содержит не более семи адресных указателей. В случаях, когда количество адресных указателей сообщения, подаваемого на станцию связи для отправки, превышает семь, допускается оформление дополнительных адресных строк, но не более трех. В этом случае все адресные строки имеют одинаковый указатель приоритета. При составлении адресного указателя пользователь должен пользоваться «Сборником телеграфных индексов пунктов, эксплуатантов, предприятий, служб и должностных лиц ГА» и официальным документом ICAO ДОС 8585 и ДОС 7910.

Обозначение отправителя составляется аналогично телеграфному обозначению адресата.

Время подачи сообщения обозначается в 24-часовом исчислении. Применяется всемирное координированное время (UTC).

Текст сообщения составляется кратко, ясно, с применением простых общедоступных фраз, а также принятых в гражданской авиации кодовых выражений.

Текст сообщения не должен содержать сигналов «ЗЦЗЦ», «+:+:», «НННН», «,,,,», указанных в непрерывной последовательности, так как эти сигналы применяются во время передачи в качестве сигналов начала и конца телеграммы.

Для служебных целей ICAO рекомендует тексты 27 служебных сообщений.

CIDIN протокол

CIDIN (Common ICAO Data Interchang Network) является частью AFS, которая использует бит-ориентированные процедуры и технику пакетной коммутации.

Более детальное описание CIDIN протоколов и протоколов обмена между AFTN и CIDIN приведено в документах ICAO:

1. AERONAUTICAL TELECOMMUNICATIONS Volume 1;
2. EUR CIDIN MANUAL.

Сеть CIDIN была спроектирована для замены различных сетей, обеспечивающих трафик Авиационной Фиксированной Службы (AFS) в Европейском регионе. Целью сети CIDIN является: усовершенствование AFTN; создание сети, способной поддерживать другие протоколы, отличные от AFTN.

CIDIN обеспечивает улучшение транспортной среды для AFTN и для других протоколов и способен:

- работать на средних скоростях;
- независимо кодировать сообщения;
- использовать технику пакетной коммутации;
- автоматически заменять линию или оборудование при отказе;
- подтверждать принятие сообщения.

Протокол CIDIN обеспечивает транспорт для сообщений в формате AFTN. Сообщения AFTN выдаются обычной техникой и поступают в сеть независимо от других видов сообщений. Центр AFTN включает в себя интерфейс, который обеспечивает прозрачность CIDIN для AFTN. Обработывая специальный ключ/адрес сообщения, ЦКС коммутирует его к узлам сети передачи данных CIDIN. Этот ключ/адрес определен специальным кодом. Когда ЦКС маршрутизирует сообщение к AFTN абоненту через сеть передачи данных, он адресует его к сетевому узлу того центра, который несет ответственность за передачу сообщения этому абоненту. Центры, подсоединенные к сети передачи данных, классифицируются по ICAO как «входные центры» или входные точки в сеть передачи данных для трафика AFTN сети и «выходные центры» или выходные точки для пользователей AFTN.

Пакет CIDIN имеет вид:

Заголовок пакета	Трансп. заголовок	Сообщение СИДИН
------------------	-------------------	-----------------

Заголовок пакета СИДИН должен содержать следующие компоненты:

- данные пакетного циклового счетчика (PLC);
- указатель приоритета сообщения (MP);
- выходной(ые) адрес(а) (Ax);
- адрес (a) назначения (Ad).

Транспортный заголовок должен содержать следующие компоненты:

- идентификационный номер сообщения (MIN);
- номер пакета CIDIN (CPSN);
- индикатор окончного пакета CIDIN (FCP);
- код и формат сообщения или поле сетевого управления (MCF/NMF);
- индикатор типа сообщения (MT);
- индикатор защиты от исправлений (CP);

- индикатор сетевого подтверждения (NA);
- входной адрес (Ac);
- конец заголовка (EON).

В поле данных CIDIN размещается сообщение АФТН. Это поле не должно превышать размер в 256 байтов.

Пакеты CIDIN по каналам передачи данных «точка-точка» передаются между центрами CIDIN. Такие каналы выхода на Европу имеет только Московский ЦКС (Франкфурт на Майне - 64 Кбит/с, Афины - 9,6 Кбит/с). Пакеты, которые должны быть переданы по каналам передачи данных в сети АНС ПД и ТС, должны быть отформатированы в пакет X.25.

X.25 протокол

Сеть пакетной коммутации данных использует правила X.25, рекомендованные ССИТТ (красная книга).

Процедура одного соединения (Singl Linc procedure, SLP) используется для обмена данными между двумя смежными точками в сети. SLP процедуры используют принципы высокого уровня контроля данных (High level Data Link Control – HDLC), определенных международной организацией стандартизации (Organization for standardization – ISO).

Сеть пакетной коммутации обеспечивает обмен данными между пользователями различного вида и взаимодействие с другими сетями связи (национальными и международными).

Сеть пакетной коммутации дает возможность для связи с другими национальными и международными сетями, только если эти сети имеют интерфейсы, работающие в пакетном режиме в соответствии с процедурами протокола X.25. Сеть пакетной коммутации считает другую сеть X.25 как своего собственного пользователя.

Правила открытия соединения между пользователями локальной сети и другой сети X.25 определены в Рекомендациях X.25 и X.121.

Протокол сети коммутации пакетов X.25 используется при обмене между узлами пакетной коммутации и узлом и портом пользователя. Процедура LAPB (Link Access Protocol Balanced) используется на 2-м уровне. Эта процедура выполняется для предохранения диалога двух станций от ошибок при передаче.

LAPB - полностью дуплексная процедура. Базовым элементом для обмена служит фрейм (между флагами начала и конца может быть любое число байтов от 4 до 135 или 256, включая два для CRC).

3-й уровень в соответствии с Рекомендациями X.25 определяет возможность создания нескольких каналов связи, известных как виртуальные цепи. Эти виртуальные цепи могут быть коммутируемыми (SVC) или постоянными (PVC) с установленным заранее владельцем и адресом назначения. В случае SVC выбор пути соединения зависит от программного обеспечения сетевого узла. В этом смысле ЦКС осуществляет смешанное маршрутизирование, зависящее от конфигурации узла и пропускной способности.

центра (В и С), используемых для транзита сообщений от А к D или наоборот. Рассматривая данную схему можно выделить следующие моменты:

- в трансляционных центрах (В и С) транспортный уровень (уровень 4) не используется;
- сетевой уровень (уровень 3) состоит из двух подуровней: 3а и 3б. Уровень 3а является «протоколом сетевого доступа», в то время как уровень 3б необходим для создания работающего сетевого уровня;
- две стороны трансляционного центра работают независимо друг от друга, за исключением самого верхнего уровня, на котором осуществляется мост между подуровнями. Основной функцией моста является маршрутизирование;
- существуют два типа трансляционных центров: транзитные центры и конечные (выходные) центры. В первых (В) протокол уровня 3б проходит прозрачно через центр и маршрутируется на подуровень 3а. Соединение между А и С называется «длинной PVC». Во вторых маршрутирование выполняется на верхнем подуровне 3б;

Уровни от 1 до 3а соответствуют рекомендациям X25 ССІТТ. Уровни 3б и 4 соответствуют специальным протоколам ІСАО.

Форматы протокола

Рассмотрим форматы каждого уровня, за исключением первого. Приняты следующие названия:

Уровень 4	сообщение CIDIN;
Уровень 3б	пакет CIDIN;
Уровень 3а	пакт X25;
Уровень 2	фрейм данных (data link frame).

Компоновочные процедуры для уровня 2 те же самые, что и для уровня LAPB, описанные в рекомендациях для X.25, желтая книга (версия 1980) ІТУ ССІТТ.

Данные, которые должны быть переданы через канальный уровень (data link), называются data link фреймом. Формат фрейма показан на рис. 3.3.

Флаг F	Адрес A	Контроль C	Информация I	FCS	Флаг F
-----------	------------	---------------	-----------------	-----	-----------

Рис. 3.3. Формат фрейма data link

§ 3.4. Аппаратная архитектура центра коммутации сообщений и узла пакетной коммутации

Технические характеристики

ЦКС выполнен как центр коммутации сообщений, связанный с телеграфной сетью AFTN-ИКАО и сетью пакетной коммутации CIDIN-ИКАО. Полный обмен трафиками между ними с высокой пропускной способностью достигается благодаря полностью совместимой модульной аппаратной конфигурации.

ИКАО установила правила, в соответствии с которыми авиационный трафик внутри страны и международный следует определенным процедурам и форматам, по которым он передается. Все центры должны соответствовать этим правилам и должны иметь соответствующие характеристики.

Таблица 3.3

Характеристики ЦКС и пропускная способность линий

ЦКС	Телеграфные линии	CIDIN линии	Пропускная способность, Тлг/с	Пропускная способность, Пак/с
Ростов	96	12	4	40
С.Петербург	64	12	2	20
Екатеринбург	96	8	4	30
Новосибирск	80	8	3	30
Иркутск	64	12	2	30
Хабаровск	64	12	2	30

Интерфейс между ЦКС и локальным PSN работает на скоростях от 300 до 9600 бод на каждой линии. Для того чтобы получить скорость обмена 38,4б/с между ЦКС и PSN, подключается 4 CIDIN линии к PSN от двух серверов данных (Data Communication Server, DCS).

При обмене данными между ЦКС через сеть пакетной коммутации (PSN) с использованием процедуры CIDIN гарантируется:

- использование постоянных виртуальных каналов (PVC), включая long PVC, в соответствии со стандартами ИКАО;
- использование коммутируемых виртуальных каналов (SVC).

Базисные технические характеристики

1. Оборудование ЦКС обеспечивает прием и передачу информации по стандартным телеграфным каналам и стандартным телефонным линиям, соответствующим спецификации ССИТТ.
2. Телеграфные каналы должны обеспечивать работу в различных режимах: симплексом (передача/прием), полудуплексном и полном дуплексном; с различными скоростями: 50, 75, 100, 150, 200 и 300 бод, количеством зна-

- ков (5,6,7 и 8 бит); четностью и стоп битом размером (1,5 или 3). Типовой режим 7,5 бит для ITA-2 и 11 бит для IA-5.
3. Телеграфные линии работают в одинарном или двойном токовых режимах. Уровень тока переключаемый от ± 5 до ± 40 мА.
 4. Коммуникационные линии данных, контролируемые платой PC-Node и соединяющие ЦКС по CIDIN или узлу пакетной коммутации, должны работать на скорости в пределах от 300 до 9600 бод.
 5. Телеграфные линии могут быть сгруппированы в соответствии со скоростью передачи и т.п.
 6. Все параметры телеграфных и каналов передачи данных могут быть изменены индивидуально без остановки центра.

Применяемые программные спецификации и параметры надежности

После остановки центра необходимо время для перезапуска прикладной программы, называемое **временем перезапуска**. Оно зависит от конфигурации самого ЦКС и количества данных, находящихся в журнальных файлах. Фазы рестарта можно разделить на следующие последовательные операции:

- начальная загрузка и запуск до уровня 3. Такая фаза возникает только на остановке ЦКС. Первоначальная загрузка выполняется на все машинные компоненты ЦКС для того, чтобы запустить операционную систему, затем нужно ждать несколько минут, чтобы гарантировать связь между всеми машинами и модулями центра;
- запуск супервизором. В первую очередь должны быть запущены подсистема супервизора и его графический интерфейс. Затем супервизор запускает прикладную программу;
- перезапуск прикладной программы и перезапуск журнала. В этой точке возможно возникновение двух ситуаций: корректная остановка центра, при которой все модули ЦКС запускаются, информация об очередях и индексах читается; остановка из-за аварии – все модули запускаются, информация об очередях и индексах читается из журнала.

Возможны следующие типы остановки ЦКС.

1. Корректная остановка центра.

Предполагается, что центр имеет следующие конфигурационные параметры: размер журнальной партии 10Мбайт, размер ISF_logger 0,5Мбайт, 100 сообщений средней длиной 300 байт ожидают в очередях. Время перезапуска будет менее 4 мин. (от запуска супервизором).

2. Остановка из-за аварии.

Предполагается, что параметры центра сконфигурированы так: размер журнальной партии 10Мбайт; размер файла ICF_logger 0,5Мбайта; 100Кбайт из журнала должны быть прочитаны, чтобы восстановить очереди. Время рестарта будет менее 5 мин. от начала запуска центра супервизором.

Возможно уменьшение времени останковки ЦКС до 2 мин. при оптимизации параметров центра.

При первоначальной загрузке в отсутствие трафика необходимо запустить программное обеспечение. Время, необходимое для этой процедуры, называется **временем запуска**. Для запуска ЦКС необходимо:

- загрузить определенные транспортные функции;
- запустить подсистему супервизора и его графический интерфейс (время - не менее 3 мин.);
- запустить супервизором прикладное программное обеспечение (в зависимости от размеров файлов журнальных партиций, время запуска – не менее 30 с).

Общее время запуска - не менее 3 мин. При оптимизации параметров его можно сократить до 2 мин.

Параметры надежности ЦКС. Некоторые аппаратные компоненты могут действовать вплоть до аварии, другие имеют горячий резерв и не требуют останковки центра для замены.

1. Уровень МТБФ - 100000 ч. Среднее время одного ресурса 100000 ч.
2. Уровень МТТР центра ≤ 30 мин.
3. Вероятность ошибок передачи на физических линиях зависит от качества этих линий. Нет возможности установить верхнюю границу.
4. Вероятность потери центром сообщения $< 10^{-8}$.
5. Вероятность немаршрутизирования сообщения $< 10^{-8}$.
6. Коррекция на телеграфных каналах при приеме $\leq 45\%$, искажения при передаче $< 1\%$.
7. Диагностические системы и процедуры аппаратных и программных средств обеспечивают выяснение неисправности до элемента, который необходимо заменить;
8. Нарботка на один сбой программного обеспечения ≤ 2000 ч.

Сеть пакетной коммутации (АНС ПД и ТС)

Сеть пакетной коммутации Аэрофлота является географической сетью, базирующейся на архитектуре SIXNET, которая представила глобальные решения транспорта информации в соответствии с назначением. Сеть пакетной коммутации с модульным аппаратным и программным обеспечением пригодна для дальнейшего развития и модификации. Сеть создана с использованием следующих продуктов:

- узлов X.25;
- PAD's;
- контрольного центра сети (NCC).

Структура сети показана на рис 3.1 и позволяет:

- соединение с другими сетями X.25, работающими в соответствии с Рекомендациями CCITT;
- соединение между X.25, SDLC, ASYNCRONOUS пользователями.

Производительность каждого узла приведена в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Узел	Производительность, Пак/с
Ростов	140
С.Петербург	120
Екатеринбург	130
Новосибирск	120
Иркутск	140
Хабаровск	120
Москва	180

Сетевой центр контроля обеспечивает для всей сети:

- конфигурацию сетевых узлов;
- конфигурацию каждой линии (протоколов);
- выдачу статистической информации о производительности, ошибках, информационном обмене по линиям X25, анализ работы сети;
- занесение данных в файл статистики.

Защищенность информации обеспечивается:

- механизмами секретности каждого протокола;
- наличием в каждом узле сети не менее 128 виртуальных каналов (PVC и SVC).

Параметры надежности сети:

- наличие резерва и возможность замены без остановки аппаратных компонентов;
- уровень MTBF узла составляет 23000 ч, средний ресурс - 100000 ч;
- уровень MTTR узла < 30 мин.;
- вероятность неправильной обработки пакета узлом менее 10^{-8} ;
- вероятность ошибки при передаче по физической линии зависит от качества линии.

Диагностические системы и процедуры обеспечивают определение неисправного аппаратного или программного модуля для замены. Развитие сети обеспечивает SIXNET архитектура. Для процедур старта и рестарта применяется автоматическая диагностика;

Структура аппаратных средств ЦКС

ЦКС состоит из пяти главных аппаратных и программных subsystems:

1. Subsystem центра коммутации сообщений, которая базируется на отказоустойчивом миникомпьютере под операционной системой Unix (Tandem Integrity FT System «S-Model») и является ядром всей системы и интерфейсами для всех других subsystems. Она обеспечивает анализ формата сообщений, запись и хранение, маршрутизирование и направление их

на передачу, а также автоматическую обработку служебных сообщений AFTN;

2. Телеграфная подсистема построена на телеграфных серверах, которые базируются на компьютерах i486/33 МГц и действуют под операционной системой Unix, контролируя специальные телеграфные мультиплексоры, которые, в свою очередь, обеспечивают интерфейс с телеграфными линиями. Каждый телеграфный сервер подсоединен к подсистеме центра коммутации сообщений через локальную вычислительную сеть Ethernet с использованием протокола TCP/IP. Для повышения надежности телеграфные мультиплексоры и телеграфные сервера соединены избыточным числом асинхронных каналов. Телеграфный мультиплексор имеет высоконадежный интерфейс с каждой телеграфной линией. Он имеет модульную многопроцессорную структуру, пригодную для обеспечения работы от 8 до 500 линий. Все телеграфные сервера (TGS) смонтированы в девятнадцатидюймовых шкафах, имеющих питание, вентиляцию и т. п. Шкаф снабжен монитором и клавиатурой, которые посредством Мастер консоли могут быть подключены к любому TGS.
3. Подсистема данных построена на серверах данных (Data Communication Server, DCS), которые базируются на смонтированных в шкафу i486/33 МГц компьютерах под операционной системой Unix. В каждом DCS располагается один или два AT bus Protocol Processors, каждый из которых управляет четырьмя линиями сети CIDIN. Эти платы имеют свой собственный процессор (MC 68010), память и поддерживают низшие уровни протокола CIDIN (уровень 2 и 3a). Каждый DCS соединен с подсистемой центра коммутации сообщений через ЛВС Ethernet, используя протокол TCP/IP.
4. Подсистема Супервизора (SPV) базируется на двух графических рабочих станциях (Olivetti PC i486/33), обеспечивая супервизирование с продвинутых графических интерфейсов для управления системой, конфигурирования, мониторинга и т. п. Эти рабочие станции работают под операционной системой Unix и средой графического пользовательского интерфейса X-windows.
5. Подсистема оператора базируется на двух графических рабочих станциях (Olivetti PC i486/33), обеспечивая операторов центра продвинутым графическим пользовательским интерфейсом для составления АФТН сообщений, просмотра сообщений, адресованных центру, исправления некорректных сообщений и т.п. Рабочие станции находятся под Unix и средой X-windows.

Структурная схема ЦКС показана на рис.3.4.

Узел пакетной коммутации PSN и контрольный центр сети

Узел пакетной коммутации PSN выполнен из компактных модулей для удобства построения сети коммутации пакетов. Контрольный центр сети (NCC)

выполнен на другой базе. В базовой архитектуре не применяются платы со специальными функциями, но используются базовые элементы, известные как МТВ (материнская плата), которая может работать совершенно независимо или быть соединенной с себе подобными. Она содержит комплект TLC и карту TOKEN, которые позволяют осуществлять удаленную загрузку программы в другие PSN. Преимущества такого модульного построения позволяют избежать остановки сети в случае аварии. Расширение числа пользователей осуществляется с добавлением МТВ+TLC+TOKEN карт. Модули размещаются в шкафу. Каждый модуль имеет 6 портов V24 и скорость на шине 2,5 Мб/с. Каждому модулю требуется 2,5 с для рестарта, 10 с для загрузки конфигурации с NCC и около 3 мин. для обновления программного обеспечения. Процессоры стоят в каждом модуле (Z8001В-16bit на 10Мбит.) Память распределена следующим образом: RAM – 256Kb, RAM с батареей -16Kb, EPROM – 128Kb, Flash-EPROM – 1Mb

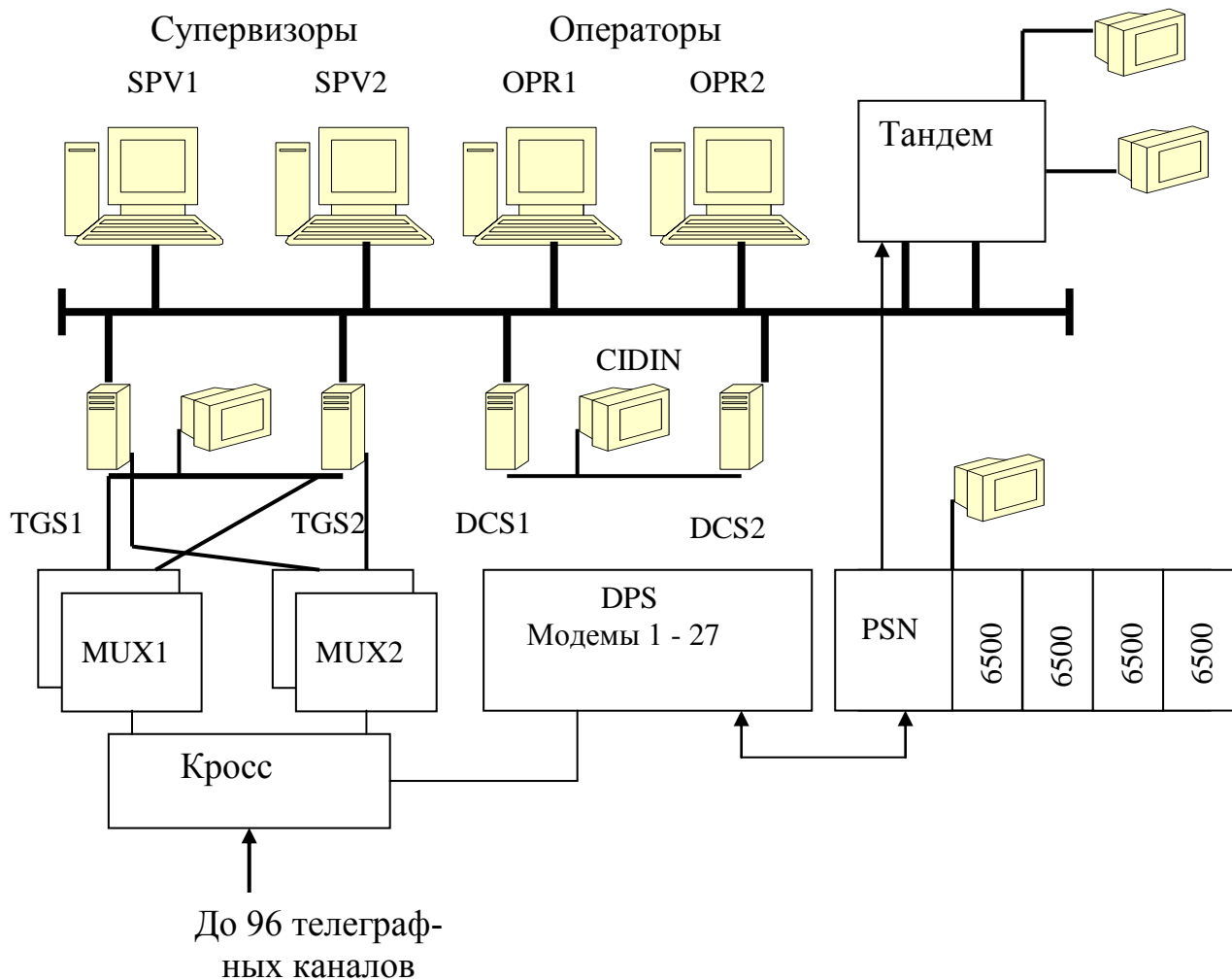


Рис. 3.4. Структурная схема аппаратных средств ЦКС

PAD на шасси имеет следующие элементы: МТВ+TLC+TOKEN карты, блок питания и вентилятор. PAD укомплектован тем же самым процессором и памятью.

Компоненты NCC с двойной функцией позволяют оператору управлять сетью и производить загрузку программного продукта в удаленные модули. NCC имеет в основе компьютер, совместимый с Olivetti, монитор, клавиатуру и находится под операционной системой Xenix. Связь с сетью осуществляется через плату TOKEN.

Логическая архитектура ЦКС и узла пакетной коммутации PSN

В каждом из семи ЦКС верхнего уровня типа «Аэронет 1» установлены центр коммутации сообщений и узел сети пакетной коммутации. На рис.3.5 показаны логические блоки, которые установлены в каждом центре.

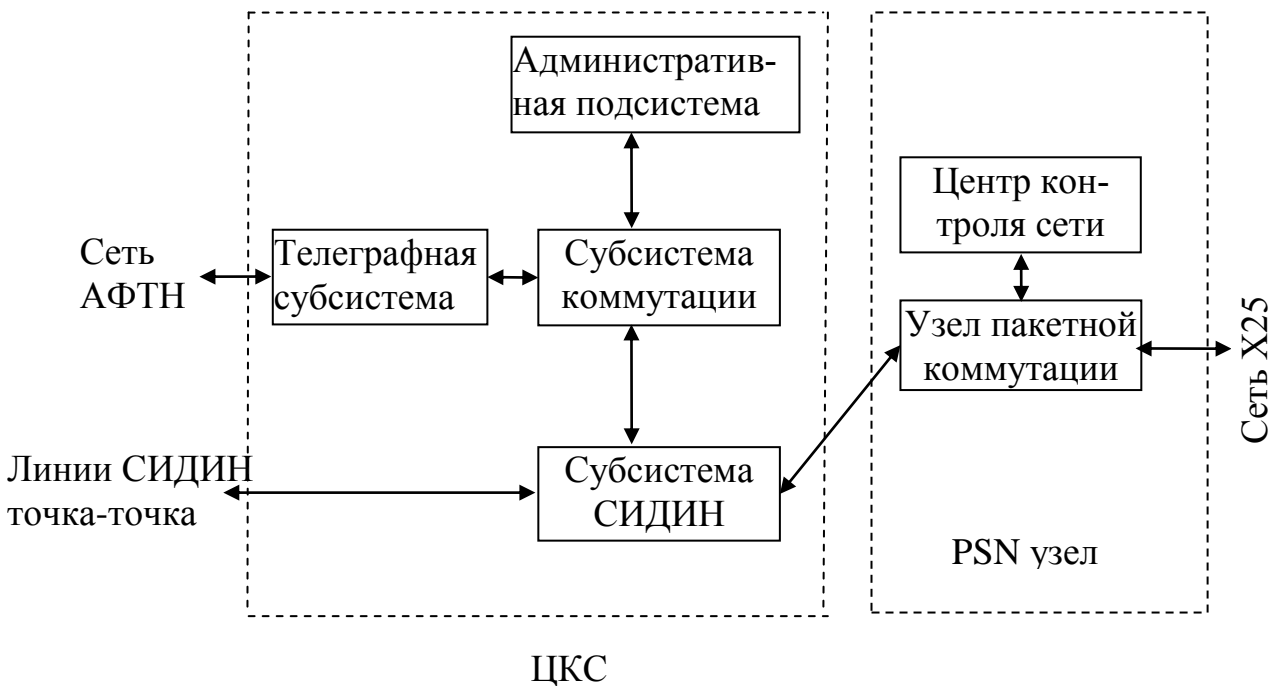


Рис.3.5. Логические блоки ЦКС

Субсистема коммутации сообщений является ядром ЦКС и позволяет связать друг с другом все компоненты. Она выполняет анализ, маршрутизирование и запись сообщений, автоматически обрабатывая служебные сообщения.

Телеграфная подсистема взаимодействует с телеграфными линиями, используя коды ITA-2 и IA-5.

Субсистема CIDIN взаимодействует с сетью CIDIN с помощью каналов CIDIN «точка-точка» и через сеть X.25.

Административная подсистема позволяет супервизорам и операторам выполнять маршрутизирование и управлять работой центра.

Узел пакетной коммутации является частью сети X25 и позволяет ЦКС и другим пользователям иметь доступ к сети.

Центр контроля сети позволяет сетевому администратору выполнять конфигурирование, контроль и управление всей сетью.

Основной функцией ЦКС является трансляция или передача AFTN сообщений от (или к) станциям AFTN, подключенным к нему. При этом используются два вида линий для обмена сообщениями:

- телеграфная сеть AFTN, сформированная телеграфными линиями «точка-точка», по которым происходит обмен в соответствии с протоколом AFTN;
- сеть CIDIN, соединяющая центры телефонными каналами, используемыми для цифрового обмена данными на средних скоростях.

Обмен данными в сети регулируется коммуникационным протоколом, который разделен на уровни, частично соответствующие модели ISO/OSI.

Необходимо отметить, что сеть CIDIN является транспортным средством для AFTN сообщений. Следовательно, можно считать узел сети CIDIN как отдельный компонент центра коммутации AFTN сообщений, обеспечивающий услуги сети CIDIN по доставке.

С другой стороны, центр коммутации сообщений AFTN взаимодействует с телеграфными линиями. По аналогии с узлом сети CIDIN, можно рассматривать как часть ЦКС другие компоненты, называемые телеграфным AFTN интерфейсом, необходимые для передачи/приема от (к) телеграфных линий.

Главным из всех компонентов является система коммутации AFTN сообщений, которая несет ответственность за выполнение AFTN протокола и выполняет следующие прикладные функции:

- анализ формата полученных сообщений;
- запись сообщений в журнал и сохранение;
- маршрутизирование;
- специальную служебную AFTN процедуру;
- контроль и управление выходными очередями.

Двумя другими компонентами, которые можно выделить, являются:

1. Система оператора, которая имеет дело со служебными сообщениями AFTN, создает и передает новые сообщения, исправляет неформатные сообщения и т. п.
2. Система супервизора, которая решает две задачи:
 - конфигурирование и управление центром;
 - контроль аппаратных средств и программного обеспечения с восстановлением после аварии, контроль трафика AFTN, статуса каналов, очередей и т.п.

Все компоненты центра имеют интерфейс с системой супервизора, а прикладные функции AFTN ЦКС имеют интерфейс с системой оператора. Таким образом, функции AFTN ЦКС логически сгруппированы по уровням, где на вершине находятся прикладные функции (т.е. сообщение AFTN и протокол об-

работки), а далее имеются два нижних уровня компонентов (телеграфная подсистема и узел сети CIDIN), обеспечивающих сообщениям прохождение и доставку к телеграфным линиям и сети CIDIN соответственно. Все эти компоненты объединены посредством одной или двух локальных сетей с протоколом TCP/IP, обеспечивающих обмен данными.

Субсистема пакетной коммутации

Сеть АНС ПД и ТС базируется на сети пакетной коммутации, спроектированной фирмой SIXNET. Правила работы сети определены стандартом X.25 CCITT. Надежность работы обеспечивается протоколами третьего и второго уровней X.25.

Оптимизация обмена данными обеспечивается механизмом маршрутизации, установленным в каждом узле. Он обеспечивает соединение между локальными или удаленными пользователями по лучшей линии. Два пользователя соединяются через сеть по логическому каналу. Таких пар может быть много по одной физической линии, это особенность сети X.25.

В сети пакетной коммутации Аэрофлота могут работать три вида пользователей:

- асинхронные пользователи;
- SDLC пользователи;
- X25 пользователи.

ЦКС является пользователем X25. Как уже указывалось, сеть состоит из узлов, PAD, центра контроля NCC и линий.

Узлы

Узлы концентрируют и маршрутизируют трафик данных, соединяя по запросу одного пользователя с другим или с узлом, выбирая всегда лучший путь. Каждый узел имеет в сети уникальный номер. Топографически сеть пакетной коммутации состоит из семи узлов, нумерованных от 1 до 7, расположенных в следующих городах:

Город	Номер узла
Москва	1
С.Петербург	2
Ростов	3
Екатеринбург	4
Новосибирск	5
Иркутск	6
Хабаровск	7

Узел представляет собой модульную конструкцию, в которой может располагаться несколько элементов. Соединение между ними выполнено с исполь-

зованием технологии Token. Максимальное количество модулей в одном узле – 255. Номер узла – это сетевой параметр и он конфигурируется NCC.

(Port Assembler Dissambler, PAD)

PAD позволяет подсоединять к сети различные типы пользователей. Они подсоединяются к узлу через линии X.25. От асинхронных пользователей PAD принимает пакеты данных для отправки в сеть в соответствии с параметрами, рекомендованными X3 и определенными для каждого PAD. Для пользователей SDLC PAD осуществляет эмуляцию SDLC. Реализация эмуляции зависит от того, как пользователь подсоединен к PAD: или как C.U. (Control Unit), или как F.E.P. (Front End Processor). PAD может подсоединяться к ЦКС или другим пользователям.

NCC

Контроль работы сети, управление и сетевую конфигурацию можно выполнять с NCC. Его оборудование базируется на операционной системе UNIX (XENIX).

NCC дает возможность супервизору сети работать в трех направлениях: контроль сети, управление сетью, конфигурация сети. Во время работы сети можно выбрать любое направление.

Контроль работы сети позволяет супервизору получать и оценивать два вида сигнализаций: об авариях и о событиях. Если в сети появляется какая-либо сигнализация, она появляется и на NCC. К аварийным относятся: перезапуск модуля узла, выключение модуля, включение модуля, включение линии, выключение линии и т.п. К классу событий относятся все сигнализации, приходящие из сети во время ее обычной работы: входной вызов, выходной вызов, входная и выходная очистка, входной и выходной перезапуск и т.п.

Функция сетевого управления позволяет супервизору выбрать режим работы сети с наименьшими ошибками.

Функция сетевого конфигурирования позволяет супервизору модифицировать конфигурацию каждого узла сети, всю сетевую структуру.

NCC позволяет получать всю статистику, относящуюся к работе линий X.25. Используя асинхронные входы, с NCC могут одновременно работать до пяти удаленных пользователей. Установка паролей позволяет ограничить количество пользователей в сети.

Линии

Характеристики линии зависят от протокола, который используется пользователем для работы на ней. Линии, соединяющие узел с пользователем X.25 или двух пользователей должны иметь следующие характеристики:

- выделенные;
- «точка-точка»;
- синхронные;

- полный дуплекс;
- скорость до 64 Кб/с.

Линии для соединения пользователей SDLC с сетью должны иметь следующие характеристики:

- выделенные;
- «точка-точка» или многоточие;
- синхронные;
- полудуплекс;
- скорость до 19,2 Кб/с.

Линии для соединения между асинхронными пользователями и сетью должны иметь следующие характеристики:

- выделенные или коммутируемые;
- «точка-точка»;
- синхронные;
- полудуплекс;
- скорость до 19,2 Кб/с.

Характеристики линий определяются параметрами. НСС дает возможность модифицировать эти параметры.

Взаимодействие между центром коммутации сообщений и узлом пакетной коммутации

Сеть пакетной коммутации прилагается к центру коммутации сообщений для передачи AFTN сообщений к удаленным AFTN центрам. Сообщения AFTN, посылаемые ЦКС, могут достигать удаленного центра AFTN, подсоединенного к сети пакетной коммутации, за счет работы подсистемы CIDIN. Соединение между подсистемой CIDIN и узлом PSN осуществляется через плату PC –Node.

Низшие уровни протокола CIDIN, размещенные на плате PS – Node, взаимодействуют с узлом PSN, используя X.25 PVC и SVC для достижения удаленного CIDIN центра.

Модуль оператора

Модуль оператора объединяет всю работу, которую должен выполнить оператор центра. С одной стороны, он взаимодействует с программным обеспечением ЦКС, с другой стороны, с программным обеспечением модуля. Модуль оператора рассматривается с логической точки зрения как часть ЦКС; он выполняет всю обработку AFTN сообщений, но не занимается управлением центром.

К функциям модуля оператора относятся:

- работа с сообщениями, которые требуют восстановления и обработки;
- создание и передача абонентам служебных сообщений;
- поиск сообщений в архиве;
- управление репортами;

- управление операторским интерфейсом.

Подсистема супервизора ЦКС

Подсистема супервизора базируется на различных модулях, работающих как на центральной машине (Тандеме), так и на персональных компьютерах, соединенных с другими компонентами центра через локальную вычислительную сеть. Таким образом, задачей центра является контроль и управление: связью центра со всеми его подсистемами; подсистемами CIDIN и телеграфной связи.

Управление ЦКС

Как часть ЦКС подсистема супервизора включает функции конфигурации и реконфигурации параметров всего ЦКС вместе с обычным управлением всеми ресурсами ЦКС, такими как телеграфные каналы, адресацией, маршрутизацией, линиями CIDIN, виртуальными каналами и всем оборудованием.

Модуль рабочей станции супервизора является интерфейсом между человеком и программным обеспечением центра. Почти все операции супервизора, касающиеся управления, конфигурирования, обслуживания, выполняются через этот инструмент. Графический интерфейс, который работает под программами X-Windows и Motif, позволяет выполнять большинство операций, используя «мышь».

Модуль рабочей станции супервизора взаимодействует с модулем подсистемы супервизора. Вся отображаемая информация, полученная этим модулем, и все действия человека преобразуются в запросы, которые посылаются в подсистему супервизора. Сам интерфейс запускается на определенном рабочем уровне центра.

Площадь титула	
Рабочая площадь	Площадь команд
	Площадь меню
Площадь контроля	Площадь аварий

Рис. 3.6. Структура графической части рабочей станции супервизора

Модуль рабочей станции супервизора логически разделен на следующие подмодули: читатель интерфейса супервизора (Supervisor Interface Reader) и графический интерфейс супервизора. Главной целью первого модуля является преобразование входных данных (индикаций и ответов), полученных от модуля супервизора, в X-события, т.к. графический интерфейс воспринимает данные входных сообщений только как X-события. Все данные индикации и ответов попадают на графический интерфейс через канал Unix.

Графический интерфейс супервизора (GUI) разделен на шесть частей: титульную, рабочую, контроля, командную, меню и аварийной сигнализации.

Титульная часть показывает титул интерфейса вместе с названием центра и текущей датой и временем. Взаимодействие не предусмотрено.

Командная часть обеспечивает некоторые специальные команды, которые отсутствуют во внутренних интерфейсных функциях.

Площадь меню обеспечивает выбор того, что будет контролироваться в рабочей части.

Площадь контроля показывает в реальном времени те события, которые происходят в центре.

Площадь сигнализации аварий показывает аварийные ситуации с указанием цветом (желтым или красным) их степени.

Рабочая площадь обеспечивает реальный интерфейс с центром, показывая то, что выбрано в меню.

Основные функции модуля супервизора

1. Контроль. Одна из важнейших функций супервизора. Контролирует:
 - маршруты. Имеются два пути для подсчета количества телеграмм, стоящих в очереди на маршруте. Первый путь заключается в просмотре всех очередей на всех маршрутах, второй – выбор одного маршрута и проверка очередей в соответствии с приоритетами (СС, ДД, ФФ, КК);
 - статус линий. В рабочей площади контроля телеграфных линий можно оценить физический статус линий, показания обновляются через 5 с;
 - номер телеграммы (CSN). В рабочей площади телеграфных линий можно контролировать номер последней принятой (LR), последней принятой перед аварией (LRBB), последней посланной (LS), последней посланной перед аварией телеграммы;
 - статус партиций журнала. В рабочей площади состояния журнала имеется информация о состоянии файлов журнальных партиций (свободен, занят, идет текущая запись, резервируется, зарезервирован), номер журнального сегмента, текущий размер партиции в байтах и т.п.;
 - статус системы. В этом случае дается информация о статусе ЦКС;
 - окно MUX показывает статус мультиплексоров и их конфигурацию в системе;

- окно линий показывает статус (открыта, закрыта или в аварии) всех сконфигурированных линий, соединенных с MUX;
 - окно линий CIDIN показывает статус (отключена, непригодна, отсоединена или подсоединена) всех линий CIDIN, сконфигурированных в системе;
 - окно PVC'S показывает статус (ОК или КО) всех PVC's, сконфигурированных на CIDIN линиях внутри системы;
 - окно маршрутов показывает статус (открыт или закрыт) всех маршрутов (виртуальных, CIDIN или телеграфных) в системе;
 - окно очередей показывает очереди, сконфигурированные для передачи, которые превысили первый (желтый) или второй (красный) пороги;
 - окно Ах центров показывает, в каком состоянии находятся сконфигурированные центры – достижимы они или недостижимы;
 - окно обходов - количество обходов, установленных на маршрутах и адресах;
 - окно загрузки системы - приблизительный процент загрузки центральной машины;
 - окно журнала показывает, сколько дисковых партиций сконфигурировано в журнальных файлах, их заполнение.
2. Команды. Посредством команд решаются главные задачи супервизора, т.е. управление и конфигурирование ЦКС. Все команды супервизор отдает через GUI, они преобразуются в запросы, которые посылаются к модулю супервизора для организации исполнения. После того как команда послана к соответствующему модулю, модуль посылает ответ в виде соответствующей индикации. Индикация будет преобразована в уведомление и послана назад на GUI супервизора. Только на нем можно увидеть, что сделано и необходимо сделать.
 3. Индикации управления. Все индикации, принятые GUI супервизора и используемые для изменения структуры данных, отображаются в контрольной площади GUI супервизора (если они содержат текст) и могут быть отображены в окне индикаций в рабочей площади. Здесь может быть записано до 2000 индикаций.
 4. Таблицы для управления конфигурацией. Окно конфигурации в рабочей площади позволяет добавлять, модифицировать или уничтожать таблицы конфигурации центра. Когда изменение, добавление или уничтожение выполняется с GUI супервизора, внутренняя копия таблиц данных не изменяется до нормальной обработки запроса на изменение, добавление или уничтожение. Запрос посылается модулем конфигурации к модулю супервизора и только в случае подтверждения происходит обновлении таблиц конфигурации.
 5. Управление авариями. Некоторые особые индикации, получаемые GUI супервизора, трансформируются в индикации аварий в площади сигнали-

зации аварий. К ним относятся: статус очередей на передачу, статус машин центра, статус партиций журнала.

Функции администратора ЦКС

Администратор ЦКС несет ответственность за выполнение контроля работы и администрирование ЦКС, т.е. за управление файловой системой, системой статистики центра, журнальными файлами, таблицами базы данных и т.д. Он должен знать операционную систему Unix и архитектуру ЦКС, т.к. многие их свойства имеют отношение к работе ЦКС и такие задачи не решаются супервизором и оператором центра.

Администратор при выполнении своих задач использует специальные утилиты, к которым он может иметь доступ, используя регистрацию администратора Unix с терминала, подсоединенного к ЦКС.

Приложение

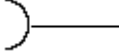

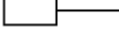
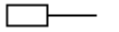


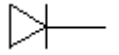

Обозначения средств радио- и радиорелейной связи

№	Наименование средств и объектов связи	Условные обозначения
1	Радиостанция *	
2	Радиостанция главная *	
3	Радиостанция подвижная (автомобильная)	
4	Радиостанция портативная (носимая)	
5	Радиопередатчик	
6	Радиоприемник	
7	Радиостанция тропосферной связи	
8	Передающий радиоцентр (ПРЦ)	
9	Приемный радиоцентр (ПМРЦ)	
10	Радиорелейная станция	
11	Радиорелейная станция (один полукомплект)	
12	Радиорелейная станция (автомобильная)	
13	Радиостанция космическая	
14	Радиостанция наземная (космической связи)	
15	Радиостанция на воздушном судне	
16	Радиостанция на автомобиле	
17	Радиостанция с АФУ (А - приемопередающая, Б - передающая, В - приемная)	
18	Ретранслятор	

* - в треугольнике обозначается мощность радиопередатчика в кВт;

* - треугольник закрашивается светло-голубым цветом.

Обозначения средств проводной связи

№	Наименование аппаратуры	Условные обозначения
1	Аппарат телефонный, общее назначение	
2	Аппарат телефонный, закрытый спецаппаратурой	
3	Аппарат телеграфный, общее назначение	
4	Аппарат телеграфный, стартстопный	
5	Аппарат телеграфный, стартстопный, закрытый спецаппаратурой	
6	Аппарат передачи данных (АПД)	
7	Аппаратура громкоговорящей связи (ГТС)	
8	Аппаратура фототелеграфная	

Список сокращений

АМ	- амплитудная модуляция;
АМЦ	- авиационный метеоцентр;
АМСГ	- авиационная метеослужба гражданская;
АНРС ПД	- авиационная наземная региональная сеть передачи данных;
АНС ПД и ТС	- автоматизированная наземная сеть передачи данных и телеграфной связи ГА;
АНФС ПД	- авиационная наземная федеральная сеть передачи данных ;
АПД	- аппарат передачи данных;
АС ПВД	- автоматизированная система планирования воздушного движения;
АС УВД	- автоматизированная система управления воздушным движением;
АСУ	- автоматизированная система управления;
АТИС	- автоматическое информирование экипажей воздушных судов, находящихся в полете, при оперативно-информационном обслуживании;
АТБ	- авиационная техническая база;
АТС	- автоматическая телефонная станция;
АФИС	- автоматическая передача информации в районе аэродрома;
АФС	- авиационная фиксированная служба;
АФТН	- авиационная фиксированная телеграфная сеть;
АФУ	- антенно-фидерное устройство;
АЦП	- аналого-цифровое преобразование;
ВВС	- военные воздушные силы;
ВОЛМЕТ	- автоматическая передача метеоинформации для экипажей воздушных судов, находящихся на маршруте;
ВПП	- взлетно-посадочная полоса;
ВРЦ	- вспомогательный районный центр управления воздушным движением;
ВЧ	- диапазон высоких частот;
ГА	- гражданская авиация;
ГГС	- громко говорящая связь;
ГСМ	- горюче-смазочные материалы;
ДПК	- диспетчерский пункт круга;
ДПП	- диспетчерский пункт подхода;
ДПР	- диспетчерский пункт руления;
ДПСР	- диспетчерский пункт системы посадки;
ЕС УВД	- единая система управления воздушным движением;
ЗЦ УВД	- зональный центр УВД;
ИКАО	- международная организация гражданской авиации;
ИВП	- использование воздушного пространства;

ИКМ	- импульсно-кодовая модуляция;
КДП	- командный диспетчерский пункт;
ЛВС	- локальная вычислительная сеть;
МВЛ	- местные воздушные линии;
МДП	- местный диспетчерский пункт;
МСЭ-Т	- международный союз электросвязи по телефонии;
НЧ	- диапазон низких частот;
ОВЧ	- диапазон особо высоких частот;
ООД	- оконечное оборудование данных;
ОС	- оконечная станция;
ОС	- операционная система;
ПДП	- пункт диспетчера посадки;
ПДСП	- производственная диспетчерская служба предприятия;
ПРМЦ	- приемный радиоцентр;
ПРЦ	- передающий центр;
ПУ	- пункт управления;
РС ГА	- руководство по связи гражданской авиации;
РП	- руководитель полетов;
РЦ	- районный центр управления воздушным движением;
СДП	- стартовый диспетчерский пункт;
СИТА	- международное общество электросвязи;
СОАД	- система автоматизированного обмена данными;
СПД	- сеть передачи данных;
СЧ	- диапазон средних частот;
СУБД	- система управления базой данных;
ТЕЛЕКС	- международная абонентская телеграфная сеть;
УВД	- управление воздушным движением;
ЦАП	- цифро-аналоговое преобразование;
ЦКС-Ф	- центр коммутации сообщений федерального уровня;
ЦКС-Р	- центр коммутации сообщений регионального уровня;
ЦКС-О	- оконечный центр коммутации сообщений;
ЭМС	- электромагнитная совместимость;
ЭРТОС	- служба эксплуатации радиотехнического оборудования и связи;
Ad	- Destination Address - адрес центра назначения;
ADPSM	- Adaptive Differential Pulse Code Modulation - стандарт кодирования голоса;
AFS	- Aeronautical Fixed Service - авиационная фиксированная служба;
AFTN	- Aeronautical Fixed Telegraphic Network - авиационная фиксированная телеграфная сеть;
ATIS	- Automate Terminal Information Service - служба автоматического оповещения о погоде и состоянии ВПП в пункте посадки;

ATM	- Asynchronous Transfer Mode - асинхронный режим передачи;
Ax	- Exit Address - выходной адрес центра;
BER	- Bit Error Rate - интенсивность битовых ошибок;
CCITT	- Consultative Committee on International Telegraphy and Telephony - Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии;
CIDIN	- Common ICAO Data Interchange Network - протокол сети ИКАО для обмена данными;
CRC	- Cyclic Redundancy Check - циклический избыточный код;
CSN	- Canal Sequence Number - порядковый номер;
DCE	- Data Circuit Terminating Equipment - аппаратура передачи данных;
DCS	- Data Communication Server - сервер данных;
DNS	- Domain Name System - система доменных имен;
DPS	- Data Patch System - устройство для подключения в канал передачи данных анализатора протокола;
DTE	- Data Terminal Equipment - оконечное оборудование данных;
DWDM	- Dense Wave Division Multiplexing - технология спектрального мультиплексирования;
FCS	- поле контрольной суммы;
FDDI	- Fiber Distributed Data Interface - оптоволоконный интерфейс распределенных данных;
FDM	- Frequency Division Multiplexing - частотное мультиплексирование;
FEXT	- Far End Cross Talk - перекрестные наводки на дальнем конце;
FIFO	- First Input First Output - алгоритм обработки пакетов;
FR	- Frame Relay - технология пакетной передачи данных;
GUI	- Supervisor Graphical Interface - графический интерфейс;
HDLC	- High Level Data Link Control - протокол обмена данными с высоким уровнем контроля;
IA- 5	- International Alphabet No.5 - международный телеграфный код №5;
ICAO	- International Civil Aviation Organization - международная организация гражданской авиации
ISDN	- Integrated Services Digital Network - цифровые сети с интегральными услугами;
ISF_logger	- программный файл, в котором записана программа остановки ЦКС;
ISO	- International Organization Standardization - международная организация по стандартизации;
ITA-2	- International Telegraphic Alphabet No.2 - международный телеграфный код №2;
ITU	- International Telecommunications Union - международный

	союз электросвязи;
LAN	- Local Area Network - локальные сети;
LAP-B	- Link Access Protocol Balanced - протокол канального уровня сети X.25;
LDF	- Link Data Field - цифровые данные контрольной суммы;
LPC	- Linear Predictive Coding - метод кодирования голоса;
LR	- Last Resave - последняя принятая телеграмма;
LS	- Last Sent - порядковый номер последней посланной телеграммы;
MP	- Message Priority Indicator - индикатор приоритета;
MTBF	- Mean Time Between Failure - среднее статистическое время, через которое произойдет отказ;
MTTR	- Mean Time to Repair - среднее время восстановления;
MUX	- Multiplexor – мультиплексор;
NCC	- Network Control Center - центр контроля сети;
NEXT	- Near End Cross Talk - перекрестные наводки на ближнем конце;
QoS	- Quality of Servise - качество обслуживания;
OPR	- рабочая станция оператора ЦКС;
OSI	- Open System Interconnection - модель взаимодействия открытых систем;
PAD	- Port Assembler Dissembler - порт сборки разборки пакетов;
PAM	- Pulse Amplitude Modulation - импульсно-кодовая модуляция;
PDN	- Plesiochronous Digital Hierarchy - технология плезиохронной иерархии;
PDU	- Protocol Data Unit - протокольный блок данных;
PLC	- Packet Looping Counter - цикловой счетчик пакетов;
PPP	- Point to Point Protocol - протокол канального уровня точка-точка;
PSN	- Packet Switching Network - сеть пакетной коммутации;
PVC	- Permanent Virtual Circuit - постоянный виртуальный канал;
QAM	- Quadrature Amplitude Modulation - квадратурная амплитудная модуляция;
SDLC	- Synchronous Data Link Control - протокол канального уровня, поддерживающий двухточечные и многоточечные соединения;
SDN	- Synchronous Digital Hierarchy - технология синхронной цифровой иерархии;
SIXNET	- итальянская фирма-разработчик сети АНС ПД и ТС;
SLP	- Singl Link Procedure - процедура одного соединения;
SNMP	- Simple Network Management Protocol - протокол управления сетью;
SPV	- рабочая станция супервизора ЦКС;
SVC	- Switched Virtual Circuit - коммутируемый виртуальный канал;

TCP/IP	- Transmission Control Protocol/Internet Protocol - управляющий протокол передачи/интернет протокол;
TDM	- Time Division Multiplexing - временное мультиплексирование;
TGS	- Telegraphic Server - телеграфный сервер;
TLC	- компонент, позволяющий загрузить программное обеспечение в PSN с NCC;
UDP	- User Datagram Protocol - протокол пользовательских дейтаграмм;
UNIX	- операционная система;
UTC	- всемирное скоординированное время;
WAN	- Wide Area Network - глобальная сеть;
WDM	- Wave-length Division Multiplexing - мультиплексирование по длине волны;
WOLMET	- Report as Weather Condition ft Major Airports - метеоинформация в основных аэропортах;
WWW	- World Wide Web - сервер службы данных;
X.25	- протокол сети пакетной коммутации

Литература

1. Набатов О.С. Вдовиченко Н.С. Связь в автоматизированных системах управления воздушным движением. –М. :Транспорт, 1984.
2. Крыжановский Г.А. Черняков М.В. Комплексование авиационных систем передачи информации.-М: Транспорт 1992.
3. Верещака А.И. Олянюк П.В. Авиационная радиоэлектроника, средства связи и радионавигации. – М: Транспорт 1993.
4. Фролов В.И. Кондряков В.А. Колосова Л.А. Организация и средства авиационной связи. Ленинград 1989.
5. Руководство по авиационной электросвязи РС ГА – 99. Москва. 1999.
6. Олифер В.Г. Олифер Н.А. Компьютерные сети. Питер, 2005.
7. Танненбаум Э. Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2002
8. Аннабел З. Дод. Мир телекоммуникаций. Обзор технологий и отрасли. – М ЗАО «Олимп-Бизнес», 2002
9. Aeroflot Project. Technical Project for MSS and PSN. Irkutsk.