

К. Е. Самуйлов, И. А. Шалимов, Д. С. Кулябов

СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ: ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ ДЛЯ ВУЗОВ

*Рекомендовано Учебно–методическим отделом
высшего образования в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по инженерно–техническим
направлениям и специальностям*

*Рекомендовано федеральным государственным казенным
образовательным учреждением высшего профессионального образования
«Академия Федеральной службы безопасности Российской Федерации»
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность
телекоммуникационных систем». Регистрационный номер рецензии
№ 3071 от 07 июля 2015 г. (ГОУ ВПО «Московский государственный
университет печати»)*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2016

УДК 621.3(075.8)

ББК 32я73

СЗЗ

Рецензенты:

Пестряков А. В. — доктор технических наук, профессор, декан факультета радио и телевидения Московского технического университета связи и информатики;

Кучерявый А. Е. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича;

Зефирова С. Л. — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационной безопасности систем и технологий Пермского государственного университета.

Сети и системы передачи информации: телекоммуникационные сети : учебник и практикум для вузов / К. Е. Самуйлов, И. А. Шалимов, Н. Н. Васин, В. В. Василевский, Д. С. Кулябов, А. В. Королькова. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 363 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-9916-7198-9

В учебнике последовательно изложены основные концепции современного состояния сетей и систем передачи информации. Рассматриваются аспекты и уровни организации сетей — от физического до уровня приложений модели взаимодействия открытых систем. Теоретический материал дополнен лабораторным практикумом и практическими заданиями.

Содержание учебника соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений инженерно-технических профилей, аспирантов, преподавателей, а также практических работников в области телекоммуникаций и информационной безопасности.

УДК 621.3(075.8)

ББК 32я73

*Информационно-правовая поддержка
предоставлена компанией «Гарант»*



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-9916-7198-9

© Коллектив авторов, 2016

© ООО «Издательство Юрайт», 2016

Оглавление

Авторский коллектив	9
Предисловие	10
Глава 1. Общие сведения о сетях и системах передачи информации.....	13
1.1. Основные термины и определения.....	13
1.2. Понятие протокола. Иерархия протоколов. Интерфейсы и сервисы	16
1.3. Обобщенная структурная схема сети	17
1.4. Методы коммутации информации в сетях связи	20
1.5. Основные технологии сетей передачи данных.....	24
1.6. Стандартизирующие организации	26
<i>Резюме.....</i>	<i>28</i>
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>28</i>
Глава 2. Принципы построения телекоммуникационных сетей.....	30
2.1. Обзор эталонной модели OSI.....	30
2.1.1. Принципы построения модели OSI	32
2.1.2. Уровни в модели OSI	33
2.2. Иерархия протоколов в различных стеках	38
2.2.1. Стек ISO/OSI.....	38
2.2.2. Стек TCP/IP.....	39
2.2.3. Стек IEEE 802	41
2.2.4. Стек IPX/SPX.....	42
2.2.5. Стек NetBIOS/SMB.....	42
2.2.6. Стек H.323.....	43
2.2.7. Стек SS7	44
<i>Резюме.....</i>	<i>46</i>
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>46</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>46</i>
Глава 3. Физический уровень	47
3.1. Среда передачи	47
3.1.1. Коаксиальный кабель.....	48
3.1.2. Витая пара	49
3.1.3. Оптоволокно.....	50
3.1.4. Структурированная кабельная система.....	52
3.2. Активное сетевое оборудование	57
3.3. Модуляция сигналов.....	58
3.3.1. Амплитудная модуляция	60
3.3.2. Частотная модуляция.....	60

3.3.3. Фазовая модуляция	60
3.3.4. Квадратурная амплитудная модуляция	61
3.3.5. Технология расширенного спектра	62
3.4. Кодирование сигнала	63
3.4.1. Код NRZ и NRZI.....	63
3.4.2. Код Rz	63
3.4.3. Манчестерский код	64
3.4.4. Код MLT-3.....	64
<i>Резюме.....</i>	65
<i>Контрольные вопросы</i>	65
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	65

Глава 4. Канальный уровень 66

4.1. Доступ к среде	66
4.1.1. Динамическое выделение канала.....	67
4.1.2. Протоколы множественного доступа	67
4.2. Группа стандартов IEEE 802.....	69
4.2.1. Структура стандартов IEEE 802.....	70
4.2.2. Протокол MAC	74
4.2.3. Протокол IEEE 802.2 LLC	75
4.3. Технология Ethernet.....	79
4.3.1. Метод доступа CSMA/CD.....	79
4.3.2. Форматы кадров Ethernet.....	80
4.3.3. Технология Fast Ethernet.....	83
4.3.4. Технология Gigabit Ethernet.....	84
4.4. Сети с маркерным доступом	86
4.4.1. Технология Token Bus Схема передачи данных.....	86
4.4.2. Технология Token Ring.....	88
4.4.3. Технология FDDI.....	91
4.5. Технология 100VG-AnyLAN	97
4.5.1. Элементы сети 100VG-AnyLAN.....	97
4.5.2. Схема передачи данных.....	98
4.5.3. Метод доступа Demand Priority.....	98
4.5.4. Процедура подготовки к связи (Link Training)	99
4.5.5. Основные параметры сети 100VG-AnyLAN.....	99
4.6. Технологии доступа с виртуальными каналами.....	100
4.6.1. Технология X.25.....	100
4.6.2. Технология Frame Relay.....	102
4.7. Технологии региональных сетей.....	106
4.7.1. Технологии опорной сети	106
4.7.2. Технологии уровня доступа	109
4.7.3. Технология Metro Ethernet.....	110
4.8. Технологии беспроводного доступа.....	112
4.8.1. Методы доступа к среде в беспроводных сетях.....	112
4.8.2. стек протоколов IEEE 802.11 (WiFi).....	113

4.8.3. Стек протоколов IEEE 802.16 (WiMAX).....	123
4.8.4. Технология Bluetooth.....	125
<i>Резюме.....</i>	132
<i>Контрольные вопросы</i>	133
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	134
Глава 5. Сетевой уровень	135
5.1. Протокол IPv4	136
5.1.1. Формат пакета IP.....	136
5.1.2. Схема адресации протокола IPv4	139
5.2. Протокол IPv6	145
5.2.1. Формат заголовка пакета IPv6.....	145
5.2.2. Дополнительные заголовки IPv6.....	147
5.2.3. Схема адресации протокола IPv6	149
5.3. Другие протоколы межсетевого уровня стека TCP/IP.....	157
5.3.1. Протокол ICMP.....	157
5.3.2. Протокол ARP.....	162
5.3.3. Протокол RARP	163
5.4. Маршрутизация	164
5.4.1. Ядерная маршрутизация.....	165
5.4.2. Протоколы маршрутизации.....	168
5.5. Коммутация пакетов по меткам (MPLS)	184
5.5.1. Архитектура MPLS	185
5.5.2. Формат MPLS-метки	186
5.5.3. Label Distribution Protocol.....	187
5.5.4. Сервисы на базе MPLS	188
5.5.5. Особенности MPLS.....	189
<i>Резюме.....</i>	189
<i>Контрольные вопросы</i>	190
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	191
Глава 6. Транспортный уровень	192
6.1. Основная концепция протоколов транспортного уровня.....	192
6.2. Протокол UDP.....	193
6.3. Протокол TCP.....	194
6.3.1. Формат пакета TCP	195
6.3.2. Установление сессии TCP.....	197
6.3.3. Управление потоком.....	198
6.3.4. Проблемы TCP	199
6.4. Протокол SCTP	200
6.4.1. Формат пакета SCTP.....	200
6.4.2. Функции SCTP.....	202
6.4.3. Множественность потоков и варианты доставки.....	203
6.4.4. Многодомность.....	204
6.4.5. Установление ассоциаций.....	204
6.4.6. Завершение работы ассоциации.....	205

6.5. Протокол DCCP.....	206
6.5.1. Характеристики DCCP.....	206
6.5.2. Типы сообщений DCCP	207
6.5.3. Формат заголовка DCCP	207
6.5.4. Процедура взаимодействия.....	208
6.5.5. Функциональность DCCP	208
<i>Резюме.....</i>	209
<i>Контрольные вопросы</i>	209
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	210
Глава 7. Обеспечение информационной безопасности сетей	211
7.1. Общие сведения об информационной безопасности.....	211
7.1.1. Отказ в обслуживании, DoS-атаки.....	214
7.1.2. Распределенная DoS-атака (DDoS).....	215
7.1.3. Формирование паролей на сетевых элементах	216
7.2. Межсетевые экраны	218
7.2.1. Общие сведения о межсетевых экранах.....	218
7.3. Списки доступа.....	220
7.3.1. Конфигурирование списков доступа	223
7.3.2. Конфигурирование расширенных списков доступа.....	225
7.3.3. Именованные списки доступа.....	227
7.3.4. Контроль списков доступа.....	227
7.4. Анализ MAC-адресов при сетевой фильтрации	228
7.4.1. Адресация коммутаторов, конфигурирование интерфейсов	228
7.4.2. Управление таблицей коммутации	229
7.4.3. Конфигурирование безопасности на коммутаторе.....	230
7.5. Виртуальные локальные сети.....	232
7.5.1. Общие сведения о виртуальных локальных сетях.....	232
7.5.2. Транковые соединения	236
7.5.3. Конфигурирование виртуальных локальных сетей	237
7.5.4. Маршрутизация между виртуальными локальными сетями.....	242
7.5.5. Конфигурирование транковых соединений.....	244
<i>Резюме.....</i>	246
<i>Контрольные вопросы</i>	247
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	247
Глава 8. Сети следующего поколения.....	249
8.1. Определение и суть NGN.....	249
8.1.1. Основополагающие характеристики NGN	250
8.1.2. Преимущества сетей, базирующихся на концепциях NGN	250
8.1.3. Спектр предоставляемых услуг	251
8.1.4. Архитектура NGN.....	251
8.1.5. Концепции NGN.....	255
8.1.6. Компоненты сети NGN	257
8.1.7. Softswitch и IMS как концепции NGN	257
8.2. Сеть на базе стека H.323.....	258
8.2.1. Архитектура сети H.323.....	259
8.2.2. Адресация элементов сети H.323	262

8.2.3. Основные характеристики H.323.....	263
8.2.4. Обработка звуковых сигналов (Audio Signal)	263
8.2.5. Обработка видеосигналов (Video Signal).....	268
8.2.6. Конференц-связь для передачи данных (Data)	272
8.2.7. Управление (Control).....	273
8.2.8. Мультимедийная передача.....	275
8.2.9. Эволюция H.323.....	275
8.3. Концепция Softswitch. Протокол SIP.....	277
8.3.1. Архитектура Softswitch.....	277
8.3.2. Протоколы в сетях Softswitch	279
8.3.3. Протокол SDP.....	284
8.3.4. Услуги в сетях Softswitch.....	285
8.4. Концепция IMS	286
8.4.1. Архитектура IMS	286
8.4.2. Услуги в сетях IMS	291
8.4.3. Протокол SIP.....	293
8.4.4. Преимущества и недостатки IMS	293
8.5. Концепция A-IMS.....	293
<i>Резюме.....</i>	295
<i>Контрольные вопросы</i>	295
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	296
Лабораторный практикум	297
Лабораторная работа 1. Методы кодирования и модуляция сигналов	297
Лабораторная работа 2. Расчет сети Fast Ethernet	319
Лабораторная работа 3. Знакомство с Packet Tracer. Моделирование простой сети	325
Лабораторная работа 4. Packet Tracer. Настройка маршрутизаторов	337
Список терминов	352
Литература	359
Ответы к заданиям	362

Авторский коллектив

Самуйлов Константин Евгеньевич — заведующий кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей, факультет физико-математических и естественных наук, Российский университет дружбы народов, доктор технических наук, профессор;

Шалимов Игорь Анатольевич — доктор технических наук, профессор;

Васин Николай Николаевич — доктор технических наук, профессор;

Василевский Валерий Владимирович — кандидат военных наук, доцент;

Кулябов Дмитрий Сергеевич — доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, факультет физико-математических и естественных наук, кандидат физико-математических наук, Российский университет дружбы народов;

Королькова Анна Владиславовна — доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, факультет физико-математических и естественных наук, кандидат физико-математических наук, Российский университет дружбы народов.

Предисловие

Учебник содержит целостное представление о существующих сетевых технологиях и архитектуре современных телекоммуникаций, показывает их эволюцию и перспективы развития. Авторы учебника являются практиками, обладающими большим опытом преподавания дисциплины студентам профильных специальностей и направлений подготовки.

Основной упор делается на описание протоколов и архитектуру сетей и систем телекоммуникаций. Для понимания эволюции развития телекоммуникаций авторы предлагают ознакомиться не только с современным состоянием протоколов и архитектур, но и дают обзор их эволюционного развития.

Учебник направлен на достижение следующих целей:

- ввести учащихся в предметную область существующих систем и сетей телекоммуникаций;
- сформировать понятийный аппарат в области концепций, архитектур, стандартов современных систем и сетей телекоммуникаций;
- ознакомить слушателей с современными технологиями в области систем и сетей телекоммуникаций;
- создать у слушателей понимание принципов построения современных систем и сетей телекоммуникаций.

Структурно в книге можно выделить две взаимосвязанные части: протоколы компьютерных сетей и мультисервисные сети. Первая часть изучает протоколы компьютерных сетей согласно структуре эталонной модели взаимодействия открытых систем. Уделяется основное внимание двум стекам протоколов — Ethernet и TCP/IP. Другие стеки протоколов показаны в целом без практического применения. Вторая часть рассматривает современное состояние сетей телекоммуникаций.

В учебнике представлено восемь глав.

В первой главе даются и объясняются базовые понятия систем телекоммуникаций. Дается обзор существующих сетей связи, сетевых сервисов. Рассматриваются структура и основные аспекты деятельности стандартизирующих организаций.

Во второй главе рассматриваются общие принципы построения модели взаимодействия открытых систем (OSI), иерархия протоколов различных стеков протоколов (TCP/IP, IEEE, ISO/OSI, H.323, SS7 и др.) по отношению к модели OSI.

В третьей главе анализируются методы и технологии физического уровня модели OSI, расширенного в духе IEEE 802. В частности, дается обзор возможных сред передачи (в том числе и стандарты кабельной системы), методов кодирования сигнала и сферы их применения.

В четвертой главе изучаются методы и протоколы доступа к среде (семейства ALOHA и CSMA), а также технологии сетей (Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, 100VG-AnyLAN, Wireless Networks, WiMAX, Bluetooth, FDDI, ISDN, Frame Relay). Упор делается на стандарты IEEE 802.x, особенно на IEEE 802.3 (Ethernet).

В пятой главе рассматриваются протоколы межсетевого уровня стека протоколов TCP/IP. Особое внимание уделяется протоколу IP. В этой же главе отдельным пунктом изучается проблема маршрутизации и протоколы статической (iproute2, click), а также динамической маршрутизации (RIP, OSPF, BGP, IGRP). Кратко описываются другие протоколы межсетевого уровня стека протоколов TCP/IP (ARP, RARP, ICMP, IGMP).

В шестой главе разбираются протоколы транспортного уровня стека протоколов TCP/IP: TCP (формат TCP-пакета, алгоритм установления связи (сессия TCP), надежная доставка, технология скользящего окна, процедура «медленный старт»), UDP (формат UDP-пакета, псевдозаголовки, ненадежная передача), DCCP, SCTP.

В седьмой главе обсуждаются вопросы обеспечения информационной безопасности сетей передачи данных. Дается краткий обзор существующих угроз, рассматриваются элементы обеспечения защиты сетевого оборудования.

Восьмая глава посвящена мультисервисным сетям. В ней описываются основные подходы к построению сетей последующих поколений (NGN). Дается сравнительный обзор концепций Softswitch и IMS как развитие концепций конвергирования сетей коммутации каналов (в частности, ТфОП) и сетей коммутации пакетов (в частности, IP-сети). Описываются архитектурные особенности и основные протоколы обоих подходов.

В результате освоения материала данного учебника студент должен:

знать

- основную терминологию, определения и понятия предметной области сетей связи;
- методы коммутации в сетях связи;
- основные стандартизирующие организации в области сетей связи и сферу их деятельности;
- эталонную модель взаимодействия открытых систем, модели TCP/IP, IEEE802;
- перечень основных протоколов различных стеков сетей и систем передачи информации;
- основные типы сред передачи данных, их характеристики, область их применения;
- типы модуляции аналоговых сигналов, основные методы кодирования сигналов;
- основные модели, технологии и протоколы доступа к среде передачи данных, структуру протоколов доступа к среде;
- структуры заголовков протоколов межсетевого уровня стека TCP/IP;
- принципы организации адресного пространства IPv4 и IPv6;
- принципы коммутации по меткам (технология MPLS);

- принципы построения сетей передачи данных и настройки сетевого оборудования;
- структуры заголовков протоколов транспортного уровня стека TCP/IP, принципы передачи данных на транспортном уровне;

уметь

- грамотно пользоваться языком предметной области сетей связи;
- зная основные функции протоколов различных стеков, определять их место в модели взаимодействия открытых систем;
- определять элементы структурированной кабельной системы организации, ограничения их применения;
- строить временные диаграммы информационных сигналов;
- ориентироваться в стандартах IEEE 802;
- оценивать работоспособность сети, построенной на базе технологии Fast Ethernet;
- планировать адресное пространство IPv4, определять тип адреса IPv6;
- определять область применения того или иного транспортного протокола;

владеть

- базовыми знаниями в области современных сетей и систем передачи информации;
- навыками анализа основных характеристик уровней модели взаимодействия открытых систем;
- навыками анализа основных характеристик протоколов различных стеков;
- способностью применять математический аппарат, в том числе с использованием вычислительной техники, для решения профессиональных задач, например для оценки работоспособности сети, построенной на базе технологии Fast Ethernet;
- способностью планировать структуру сети передачи данных;
- способностью настраивать коммутационное и маршрутизирующее оборудование;
- способностью анализировать данные заголовков сетевых протоколов и протоколов транспортного уровня.

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЕТЯХ И СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

В результате освоения главы 1 студент должен:

знать

- основные понятия, термины и определения предметной области сетей связи;
- стандартизирующие организации в области сетей связи, ограничения сфер их

деятельности;

уметь

- грамотно пользоваться языком предметной области сетей связи;
- применять методы коммутации информации в сетях связи;

владеть

• основополагающими знаниями в области современных сетей и систем передачи информации.

Данная глава посвящена введению в предметную область сетей связи. В ней рассматриваются основные понятия, связанные с сетевыми технологиями. Основу главы составили материалы авторов из источников [1–3].

1.1. Основные термины и определения

Сеть связи можно рассматривать как систему, состоящую из линий связи, соединяющих некоторое множество узлов, и предназначенную для передачи данных от одного узла к другому с определенными параметрами качества обслуживания.

Основу сетей связи составляют *многоканальные системы передачи* (МСП), для передачи информации используются электромагнитные сигналы. Структурная схема МСП приведена на рис. 1.1.

Сообщения абонентов при помощи C/C_i преобразуются в первичные электрические сигналы. Множество сформированных сигналов коммутируются на передающей стороне коммутаторами КП и на приемной стороне коммутаторами КПр, чтобы установить соединение источника сообщения $ИС_j$ с соответствующим получателем ПС_j.

Первичные электрические сигналы при помощи преобразователя П преобразуются во вторичные или линейные сигналы, характеристики которых хорошо согласуются с параметрами линии связи. На приемной стороне Пр принимает и преобразует линейные сигналы в первичные.

Наиболее дорогостоящим элементом многоканальной системы передачи является линия связи, поскольку ее протяженность может составлять сотни и даже тысячи километров.

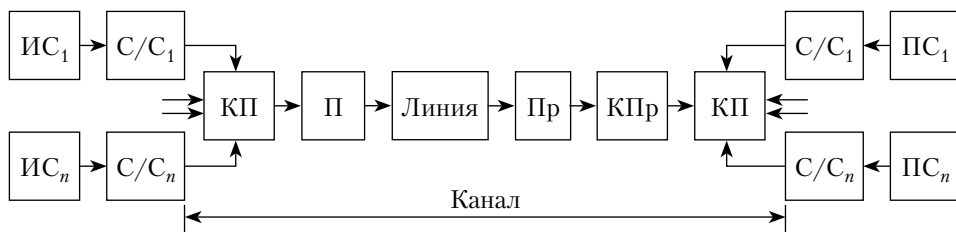


Рис. 1.1. Структурная схема МСП:

$ИС_i$ — источники передаваемых сообщений; C/C_i — преобразователи сообщения в первичный сигнал на передающей стороне и полученного первичного сигнала в сообщение на приемной стороне; $КП$ — коммутатор передающей стороны; $КПр$ — коммутатор приемной стороны; $П$ — преобразователь первичного сигнала в линейный сигнал (передатчик); $Пр$ — преобразователь линейного сигнала в первичный (приемник); $ПС_i$ — получатели сообщений

Под *линией связи (каналом связи)* обычно понимают некую физическую среду распространения сигналов, связывающую некоторое множество технических устройств, обеспечивая при этом передачу с сигналов на заданное расстояние определенными показателями: полосой частот, скоростью передачи и т.п. Например, линию связи может образовывать кабельная система на базе оптоволокну или меди, или радиоканал (беспроводная среда передачи).

Линии связи (каналы связи) необходимы для того, чтобы множество одновременно передаваемых сигналов не мешали друг другу в общей линии многоканальной системы. На рис. 1.1 каналы образуются оборудованием коммутаторов и формируются в среде общей линии связи.

Каналы связи разделяют на *непрерывные (аналоговые)* и *дискретные (цифровые)*. Кроме того, каналы связи могут иметь один из трех типов направленности передачи информации [1]:

- симплексный (Simplex Transmission) — передача данных в одном направлении;
- полудуплексный (Half-Duplex Transmission) — передача данных в двух направлениях, но только в одном направлении в каждый момент времени;
- дуплексный (Duplex Transmission) — передача данных одновременно в двух направлениях.

Сеть передачи информации образуется путем соединения между собой множества источников и приемников сообщений (абонентов). Соединение обеспечивается аппаратными средствами многоканальных систем и средой передачи сигналов (линиями связи).

Аппаратуру абонентов принято называть *узлами*, или *конечными устройствами* ($У$) сетей, которым соответствует широко распространенное англоязычное наименование *Host* (хост). Соединение многочисленных узлов (абонентов), находящихся на большом расстоянии друг от друга, обычно обеспечивается через транзитные (промежуточные) *сетевые элементы* ($СЭ$) (рис. 1.2).

Таким образом, *сеть передачи информации* представляет собой совокупность узлов ($У$) и сетевых элементов ($СЭ$), соединенных линиями (кана-

лами) связи. При этом сетевые элементы производят перемещение (*коммутацию*) поступившего сообщения с одного интерфейса (входного порта) на другой (выходной порт). Например, в сети (см. рис. 1.2) при передаче сообщения от узла У2 узлу У6 сетевой элемент СЭ1 производит коммутацию сообщения с входного интерфейса В на выходной интерфейс С, сетевой элемент СЭ3 — с входного интерфейса В на выходной Е. Таким образом, формируется *маршрут*, по которому осуществляется передача сообщений.

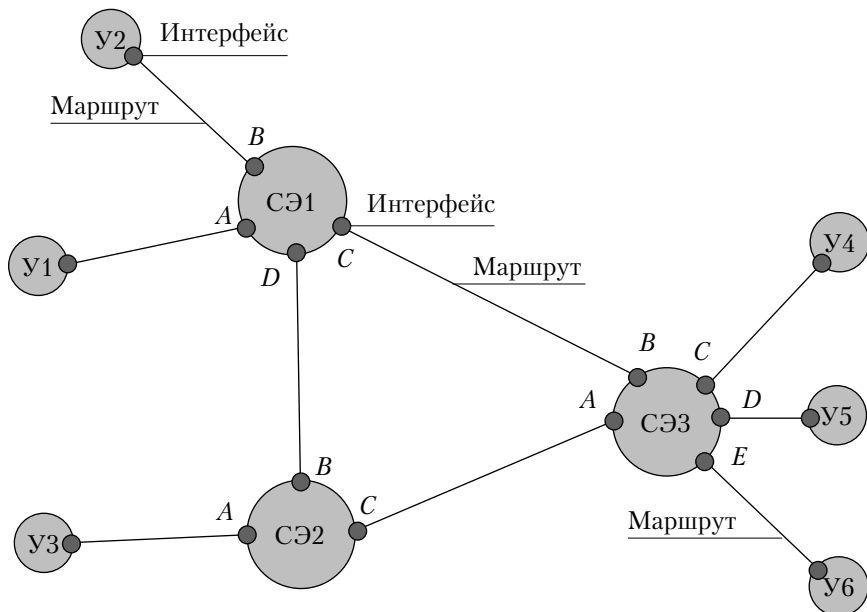


Рис. 1.2. Сеть передачи информации [3]

В некоторых сетях все возможные маршруты заранее созданы, и необходимо только выбрать оптимальный. Процесс выбора оптимального маршрута получил название *маршрутизация*, а устройство, ее реализующее, — *маршрутизатор*. Таким образом, промежуточные сетевые элементы могут выполнять функции коммутаторов, которые формируют маршрут, и (или) маршрутизаторов, которые производят выбор оптимального маршрута.

Для выбора (создания) маршрута необходимо задать *адреса* источника и получателя сообщения. Выбор оптимального маршрута сетевые элементы (маршрутизаторы) производят на основе *таблиц коммутации* (или *маршрутизации*) с использованием определенного критерия — *метрики*.

При анализе систем передачи информации рассматривается процесс передачи сигналов между сетевыми элементами и формирование каналов для передачи многих информационных потоков, а при анализе сетей передачи информации — процессы коммутации и маршрутизации, т.е. передачи *информационных потоков (трафика сообщений)* по каналам (*трактам*) линий сети связи.

Информационный поток — это совокупность передаваемых сообщений, или последовательность информационных единиц, объединенных общими признаками.

1.2. Понятие протокола. Иерархия протоколов. Интерфейсы и сервисы

Под сетевым протоколом обычно понимают совокупность правил взаимодействия двух элементов сети при обмене информацией между ними.

Большинство протоколов имеют иерархический принцип организации (рис. 1.3): нижележащий уровень предоставляет через интерфейс некоторый набор услуг (сервисов) вышележащему уровню, не раскрывая детали реализации предоставляемой услуги.

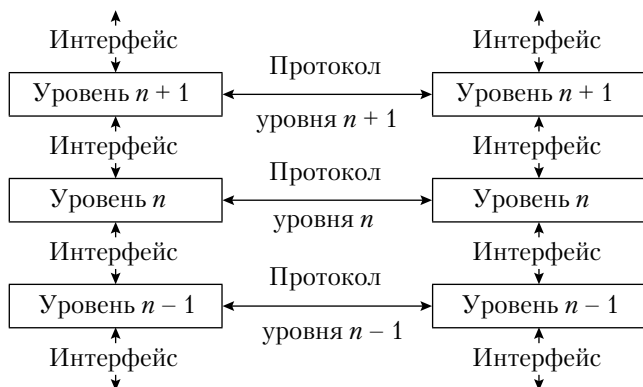


Рис. 1.3. Уровни протоколов [1; 2]

Правила и соглашения, используемые при взаимодействии уровня n одного узла и уровня n другого узла, называются *протоколом уровня n* .

На каждом уровне имеется активный элемент (сущность (Entity)). *Одноранговыми сущностями* называют сущности одного уровня на разных узлах сети. Сущности уровня n предоставляют услуги уровню $n+1$, т.е. являются поставщиками услуг. При этом сущности уровня $n+1$ являются потребителями услуг уровня n . Оказывая услуги уровню $n+1$, уровень n может использовать услуги (быть потребителем) нижележащего уровня $n-1$.

Сервис (услуга) определяет операции, которые будет выполнять уровень, но не реализацию этих операций. Сервис, по сути, описывает интерфейс взаимодействия двух смежных уровней — поставщика услуг (нижележащего уровня) и потребителя (вышележащего уровня).

Доступ к услугам некоторого уровня обеспечивается через *точки доступа к услуге (Service Access Point, SAP)*, т.е. посредством набора правил используемого для взаимодействия между уровнями интерфейса. Через SAP сущность вышележащего уровня передает сущности нижележащего уровня *элемент данных интерфейса (Interface Data Unit, IDU)*, который состоит из *элемента данных услуги (Service Data Unit, SDU)* и некоторой *управляющей информации (Interface Control Information, ICI)*. При этом SDU может быть разбит на несколько фрагментов. Тогда его пересылка осуществляется в виде отдельных *элементов данных протокола (Protocol Data Unit, PDU)* или *пакетов*.

Таким образом, *протокол* определяет набор правил, которые описывают формат и назначение пакетов, передаваемых между одноранговыми

сущностями внутри уровня. По сути, протокол определяет услуги уровня, на котором он работает. Протокол может претерпеть изменения, но предоставляемые услуги не должны меняться.

Протоколы разделяют на протоколы с *установлением соединения* (*Connection Oriented*) и без установления соединения (*Connectionless*). В первом случае до начала обмена данными отправитель и получатель должны установить соединение, определив предварительно некоторые параметры протокола. После завершения передачи данных (завершения сеанса передачи) соединение должно быть разорвано с помощью обмена специальными управляющими сообщениями.

Во втором случае передача данных осуществляется без организации специальной процедуры по установлению соединения с получателем отправляемых данных.

Список протоколов, который использует элемент сети, называется *стеком протоколов*. Совокупность уровней и протоколов образуют архитектуру сети.

1.3. Обобщенная структурная схема сети

Архитектура сети связи является одной из основных характеристик, определяющих состав сети, раскрывающий типы образующих ее функциональных компонентов, иерархию и характер их взаимодействия.

В связи с большим разнообразием видов передаваемых сообщений и сигналов, среды распространения, методов и устройств коммутации или маршрутизации сигналов и информационных потоков архитектура сетей связи классифицируется согласно требованиям *Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ РФ)*.

Единая сеть электросвязи РФ определяется совокупностью сетей связи различного назначения и технологий, располагающихся на территории РФ. Модель архитектуры сети связи, предложенная в положении о ЕСЭ РФ, может быть представлена в виде, показанном на рис. 1.4.

Первый уровень модели — *первичная сеть* (первичные сети), образуемая на системах передачи определенных родов связи. Первичные сети разделяются на *магистральные*, *внутризоновые* и *местные* (городские и сельские). Первичная сеть представляет собой совокупность всех каналов связи независимо от назначения и вида связи; она включает линии связи и каналообразующую аппаратуру.

Второй уровень — *вторичные сети*, образуемые на базе каналов передачи первичной сети и систем коммутации, выполняющих функции распределения сообщений по заданному адресу. Вторичные сети различаются по виду передаваемых по ним сообщений: телефонные, передачи данных, телеграфные, передачи газет, звукового вещания, телевизионного вещания и др. При интеграции сетей связи вторичные сети превращаются в единую сеть, обеспечивающую передачу и распределение сообщений различных видов связи (передачи речи, данных, факсимильных сообщений и др.).

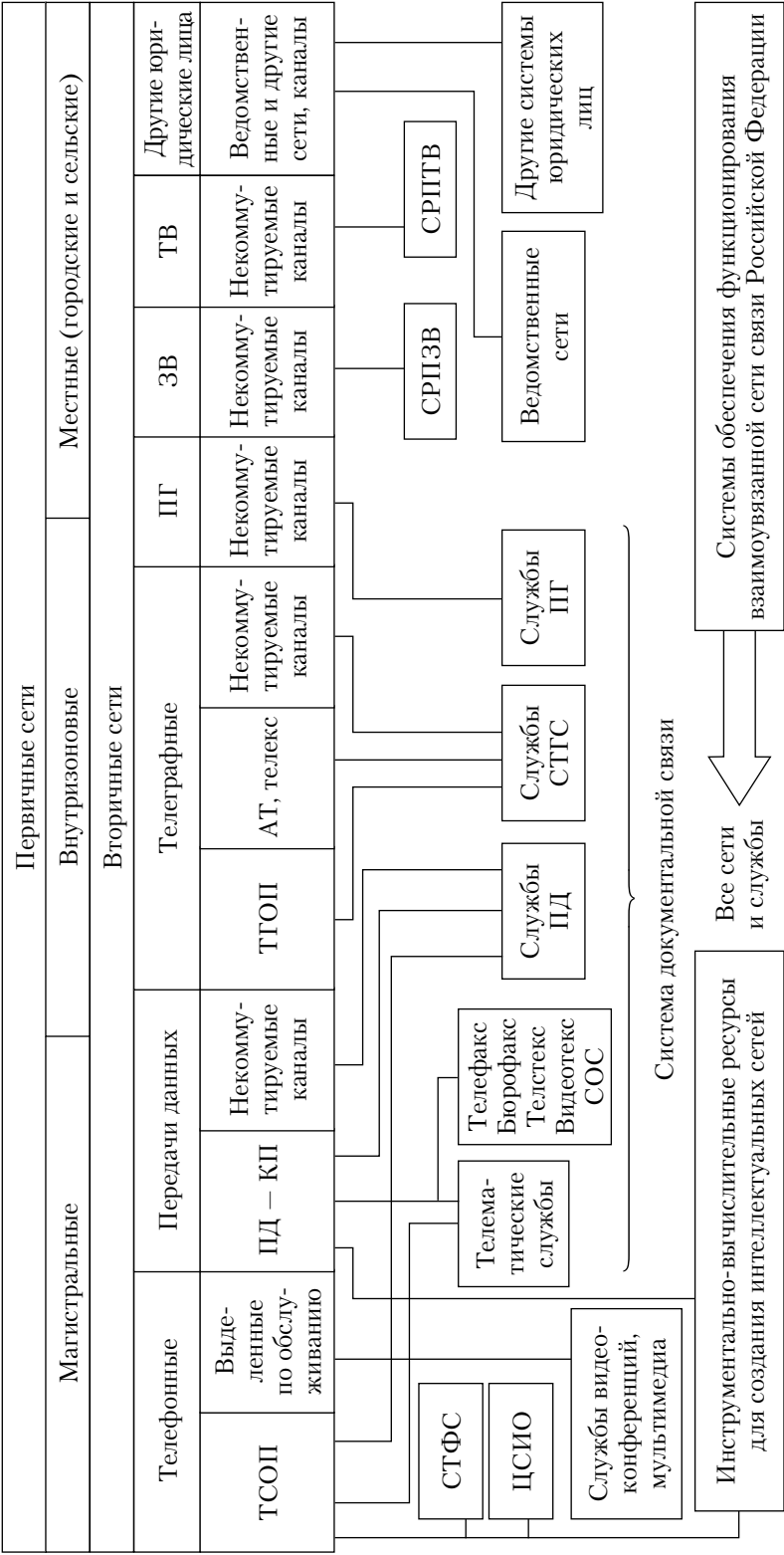


Рис. 1.4. Модель архитектуры ЕСЭ РФ:

ТСОП — телефонная сеть общего пользования; СТФС — сеть телефонной связи; СТГС — сеть телеграфной связи; ЦСИО — цифровые сети с интеграцией обслуживания; ПД — КП — передача данных — коммутация пакетов; ПД — передача данных; ТВ — телевидение; ПГ — передача газет; СРПЗВ — сети распределения программ звукового вещания; ЗВ — звуковое вещание; СРПТВ — сети распределения программ телевизионного вещания; АТ — абонентское телеграфирование

Третий уровень модели — *службы связи*, обеспечивающие предоставление пользователям услуг различных видов связи.

Четвертый уровень — *пользователь услуг связи*. Он определяется видом связи (передача речи, телеграфных и/или факсимильных сообщений, сообщений данных), а также терминальным оборудованием, имеющимся у пользователя.

При классификации сетей по категориям сети ЕСЭ подразделяются на *сети общего пользования, выделенные сети, технологические сети и сети связи специального назначения*.

В соответствии с выполняемыми функциями сети ЕСЭ разделяются на *сети доступа* и *транспортные сети*. По транспортной сети передаются высокоскоростные (широкополосные) потоки информации. Транспортная сеть связи включает магистральную (междугородную и международную) и зоновые (региональные) сети связи. Сеть доступа обеспечивает доступ абонентов к транспортной сети; она также называется *сетью абонентского доступа* и по территориальному признаку является местной сетью. Данная сеть состоит из абонентских линий и оконечных устройств.

Обобщенная структурная схема телекоммуникационной сети включает в себя *транспортный уровень* (магистральная сеть), *уровень доступа* (сети доступа) и *терминальное оборудование пользователей*.

Компоненты телекоммуникационной сети:

- магистральные сети;
- сети доступа;
- терминального оборудования пользователей;
- информационных центров, или *центров управления сервисами (Services Control Point, SCP)*.

Магистральная сеть объединяет отдельные сети доступа, обеспечивая транспорт трафика между ними по высокоскоростным каналам. По сути, магистральные сети относятся к глобальным сетям связи (*Wide Area Network, WAN*).

Сеть доступа располагается на нижнем уровне иерархии телекоммуникационной сети и предназначена для агрегации потоков, поступающих по различным каналам связи от клиентского оборудования, в магистральной сети.

Сеть доступа представляет собой региональную сеть большой разветвленности. Она может быть многоуровневой. Сетевые элементы нижнего уровня мультиплексируют информацию, поступающую по многочисленным абонентским каналам (абонентскими окончаниями), и передают ее сетевым элементам верхнего уровня для перенаправления элементам магистралей. Размер сети доступа определяет число ее уровней — небольшая сеть доступа будет иметь один уровень, крупная — несколько.

В компьютерной сети *оконечным оборудованием* являются компьютеры, в телефонной — телефонные аппараты, в телевизионной или радиосети — соответствующие теле- или радиоприемники.

Оконечное оборудование пользователей может формировать сеть, не входящую в состав телекоммуникационной сети. Например, совокупность компьютеров пользователей организации образует *локальную сеть*

(*Local Area Network, LAN*). Локальные сети характеризуются высокой скоростью передачи данных на сравнительно небольшие расстояния.

Информационные центры (центры управления сервисами) предоставляют информационные сетевые услуги. В таких центрах хранится пользовательская информация (информация, непосредственно интересующая конечных пользователей) и служебная информация, помогающая поставщику услуг предоставлять услуги пользователям.

Пользовательская информация обычно содержит разнообразную справочную и новостную информацию. Подобные центры телефонных сетей оказывают, например, услуги экстренного вызова милиции или скорой помощи, а также справочные услуги различных организаций и предприятий — вокзалов, аэропортов, магазинов и т.п.

К служебной информации обычно относят различные данные системы авторизации и аутентификации пользователей, с помощью которых организация, которая владеет сетью, проверяет права пользователей на получение тех или иных услуг. Это могут быть системы биллинга, используемые для определения платы за предоставляемые услуги, или базы данных, содержащие учетные записи пользователей и перечни предоставляемых пользователям услуг.

Сети конкретного типа обладают своими особенностями, в них могут отсутствовать некоторые элементы обобщенной сети, но в целом их структура соответствует описанной выше.

1.4. Методы коммутации информации в сетях связи

Основными задачами, решаемыми системами коммутации в сетях передачи информации, являются:

- распределение информации;
- предоставление абонентам различного типа услуг связи;
- объединение элементов сети связи в единую систему.

Оборудование систем коммутации вместе с программным обеспечением образуют *коммутационный центр* (КЦ) сети связи.

Распределение информации может осуществляться или путем распределения каналов, или распределением информационных потоков по направлениям связи. В сетях связи информация распределяется в процессе *коммутации*.

Коммутацией называется совокупность операций, при выполнении которых сигнал, поступивший на вход элемента сети связи, называемого *системой коммутации*, поступает на ее выход с измененным идентификатором пункта назначения. Иначе под коммутацией в какой-либо системе понимается изменение координаты информационного сигнала на выходе этой системы по отношению к его координате на ее входе. Координаты могут быть пространственные, временные, спектральные, фазовые и т.п. В настоящее время применяются пространственная и временная коммутация.

Различают два вида коммутации: долговременную и оперативную. Под *долговременной* понимается коммутация, выполняемая вне зависимости от поступления заявки от источника информации на передачу одиночного

сообщения. Коммутация этого вида осуществляется по плану (схеме) связи или по команде от системы (лица) управления связью.

Оперативной называется коммутация, осуществляемая по заявке источника информации (абонента) на установление соединения для передачи одного сообщения. После передачи каждого сообщения (по сигналу «отбой») установленное соединение разрушается. Различают несколько типов оперативной коммутации. В сетевых технологиях наиболее часто находят применение коммутация каналов и коммутация пакетов [1; 2]:

- коммутация каналов (Circuit Switching) — режим передачи, при котором на время передачи информации (до разъединения соединения) формируется составной канал (соединение), проходящий через несколько транзитных узлов;

- коммутация сообщений (Message Switching) — режим передачи, при котором осуществляется прием, хранение, выбор исходящего направления и дальнейшая передача сообщений без нарушения их целостности;

- коммутация пакетов (Packet Switching) — режим передачи сообщений, при котором сообщения разбиваются на пакеты ограниченного размера, причем канал передачи занят только во время передачи пакета и освобождается после ее завершения;

- коммутация ячеек (Cell Switching) — режим передачи пакетов фиксированного размера.

В сети связи между двумя коммутационными центрами могут использоваться простые либо составные каналы связи (каналы передачи). Простой канал связи (передачи) образуется на базе одной системы передачи (СП) и состоит из двух комплектов каналообразующей аппаратуры (КОА), соединенных направляющей системой (НС) или, по-другому, средой распространения сигналов электросвязи. Составной канал связи представляет собой два и более последовательно соединенных простых каналов (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Структура составного канала

Коммутация каналов может осуществляться по заявке абонента (источника информации) на время передачи одного сообщения (оперативная коммутация каналов) либо оператором связи по плану или по запросу другого оператора вне зависимости от конкретной заявки на передачу сообщений (долговременная или кроссовая коммутация каналов). В первом случае примерами могут служить соединения между абонентами на местной либо междугородной телефонных сетях; во втором случае — закрепление

оконечной аппаратуры связи за конкретным типовым каналом связи или образование составного канала на кроссе узла связи.

Так как созданный (скоммутированный) канал связи выделяется в полное распоряжение пары абонентов, то он обеспечивает требуемое качество передачи сообщения. Например, технологии коммутации каналов широко используются в телефонных сетях общего пользования (ТфОП). Однако при этом каналы связи используются неэффективно. Паузы между словами и, особенно, между фразами могут быть достаточно большими. Поэтому коэффициент использования канала часто оценивают величиной 0,25.

В отличие от сетей с коммутацией каналов сети с коммутацией пакетов могут более эффективно использовать свои ресурсы. При передаче информации важно обеспечить надежность ее доставки получателю. Надежность обеспечивается не только за счет использования надежных аппаратных средств связи, но и за счет повторной передачи сообщения в случае его потери или искажения. Поэтому большие сообщения делятся на сравнительно небольшие *пакеты*. При потере части сообщения повторно передается не все сообщение, а только потерянный или искаженный пакет.

Каждому пакету присваивается адрес получателя информации и признак принадлежности пакета к данному сообщению. В ряде случаев пакету присваивается его порядковый номер в данном сообщении. Формат пакета включает две части: *служебную* и *информационную* (рис. 1.6). Служебная часть пакета содержит адрес получателя сообщения, а также другую служебную информацию.



Рис. 1.6. Формат пакета при коммутации пакетов

По внешнему виду каждый пакет формально представляет собой независимое сообщение.

Для исключения потерь передаваемых по сети пакетов данных сетевые устройства должны иметь *буферы памяти* на своих интерфейсах, с тем чтобы в них хранились пакеты, ожидающие своей очереди на обработку. Для обеспечения требуемой надежности передачи сообщений по сети наряду с повторной передачей пакетов данных и использования буферов памяти на интерфейсах сеть должна работать в недогруженном режиме, когда средняя интенсивность поступления данных будет меньше средней интенсивности их обработки.

Примером сетей с коммутацией пакетов являются компьютерные сети, которые создавались для передачи цифровых данных.

В создаваемых в настоящее время мультисервисных *сетях следующего поколения (Next Generation Network, NGN)* технология коммутации пакетов используется для передачи всех видов трафика (аудиосигналов IP-телефонии, видеoinформации, компьютерных данных). Однако требования к *качеству обслуживания (Quality of Service, QoS)* разных видов передаваемого трафика будут различны.

Например, при передаче по сети с коммутацией пакетов трафика аудиосигналов IP-телефонии, который чувствителен к задержкам пакетов и вариации задержек, указанные параметры должны быть минимизированы. Каналы передачи видеoinформации должны характеризоваться малыми задержками и возможностью передачи большого объема данных с высокой скоростью. При передаче компьютерных данных, которые слабо чувствительны к задержкам, однако очень чувствительны к потерям и искажениям пакетов (сообщений), важно обеспечить *надежность* за счет повторной передачи потерянных или искаженных пакетов.

Характерным для коммутации пакетов является «эстафетная» передача пакета от терминала связи (ТС) источника информации к коммутационному центру КЦ1 через запоминающее устройство (ЗУ1), далее от КЦ1 к КЦ2 через ЗУ2, от КЦ2 к КЦ3 через ЗУ3 и т.д. к терминалу связи потребителя информации (рис. 1.7).

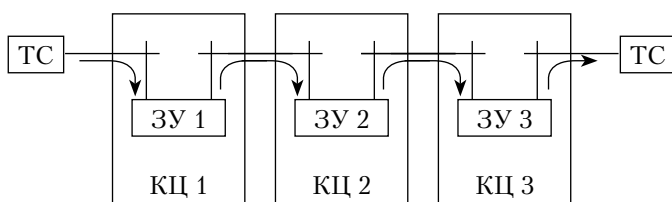


Рис. 1.7. Принцип коммутации пакетов

В зависимости от принятых на сети связи алгоритмов передачи и коммутации пакетов различают *виртуальные* или *дейтаграммные* соединения или сети. При реализации виртуальных соединений все пакеты одного сообщения передаются по одному пути, определенному при установлении соединений для первого пакета данного сообщения. В этом случае для сокращения времени передачи сообщения во всех пакетах, кроме первого, информация о номере вызываемого абонента из служебной части пакета может быть исключена (остается лишь признак принадлежности пакета к данному сообщению). Примером сетей с виртуальными каналами являются сети Frame Relay, ATM.

При дейтаграммном способе передачи пакетизированных сообщений каждый пакет ищет на сети связи свой (оптимальный на момент его поступления) путь от источника к потребителю информации. Естественно, что при этом каждый из них должен в своей служебной части содержать полный адрес вызываемого абонента. На окончном (приемном) пункте все пакеты объединяются (агрегируются, сшиваются) в одно сообщение. Однако при этом следует учесть, что ввиду независимости прохождения пакетов по сети связи со сложной структурой может случиться, что ранее поступивший пакет может выбрать более длинный путь, чем пакет, поступивший после него, который выбрал более короткий путь. В таком случае может возникнуть ситуация, при которой на конечный пункт сети раньше придет пакет, переданный позже. То есть пакеты будут приняты не в том порядке, в котором передавались. Для правильной «сшивки» сообщения из поступающих пакетов каждый из них в служебной части должен содер-