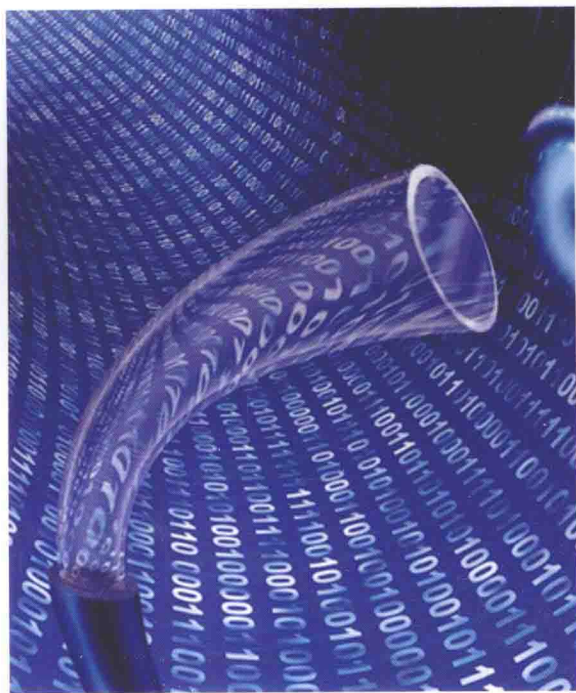


数据通信与网络协议

- ◆ 通信系统与通信模型
- ◆ 网络协议与协议模型
- ◆ 物理层标准与数据链路层协议
- ◆ 局域网与互联技术
- ◆ 通信子网与交换技术
- ◆ 网络层功能与路由协议
- ◆ IP交换与IP安全
- ◆ 传输层协议与安全
- ◆ 高层协议与QoS



马宏斌 王英丽 秦丹阳 编著



清华大学出版社

高等学校计算机应用规划教材

数据通信与网络协议

马宏斌 王英丽 秦丹阳 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本教程全面描述了数据通信与网络协议的体系结构、协议标准和实现技术。全书共分为11章,深入介绍了数据通信与网络协议的通信系统、通信模型、网络模型、网络协议体系结构、信号与编码、传输介质、接口标准、局域网技术、局域网互联技术、VLAN、通信子网交换技术、网络层协议、路由协议、IP计算、IP交换、IP安全、MPLS、传输层协议、SSL、RTP/RTCP、应用层功能协议、SIP、QoS等技术。

本教程内容丰富、结构合理、思路清晰、语言简练流畅、协议格式翔实,主要面向数据通信与计算机网络的初学者,适合作为高等院校的数据通信与网络技术的授课教材,以及数据通信网络技术服务人员的参考书。

本书的电子教案可以到 <http://www.tupwk.com.cn> 网站下载。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数据通信与网络协议/马宏斌,王英丽,秦丹阳 编著. —北京:清华大学出版社,2015

(高等学校计算机应用规划教材)

ISBN 978-7-302-40395-1

I. ①数… II. ①马… ②王… ③秦… III. ①数据通信—高等学校—教材 ②计算机网络—通信协议—高等学校—教材 IV. ①TN919 ②TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 123268 号

责任编辑:胡辰浩 袁建华

装帧设计:孔祥峰

责任校对:曹 阳

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址:<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载:<http://www.tup.com.cn>, 010-62794504

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.25 字 数:571千字

版 次:2015年7月第1版 印 次:2015年7月第1次印刷

印 数:1~1000

定 价:42.00元

前 言

遵循摩尔定律的IT产业如期地飞速发展，我们身边的生活也在随之改变。中国互联网络信息中心发布的“第35次中国互联网络发展状况统计报告”，记录了互联网对中国人民生活的影响，也说明网络已经融入我们的生活。网络技术不仅提供了资源共享的平台，而且提供了信息传输、即时交流、信息存储、数据计算、数据分析、信息决策的平台。网络技术作为生活的必要工具已经很成功了，但是，不同的使用者会面临不同的问题，使用者希望能认知、熟悉这个工具，管理者希望可以深入学习、理解网络技术的结构原理，网络提供方希望熟练运用网络技术为用户服务，对于专业人员则希望能掌握上面所有的问题。

网络技术知识体系的学习存在不同层次，包括大众层面的网络应用、基本概念；学习层面的网络协议体系、结构组成；专业层面的通信模型、网络协议规程；研究层面的多媒体通信QoS、网络安全协议体系。由于网络技术涉及的概念繁多、关系复杂，面对一个网络问题，往往同时包含理论知识和实践应用，专业图书无法面面俱到讲述所有的知识问题，增加了网络知识学习的复杂度和难度。幸运的是网络应用已经遍布我们的生活，提供了大量的感知示例，OSI/RM网络层次体系结构和TCP/IP协议集提供了学习的理论基础。

本教程描述数据信息在网络系统中的通信过程，讲述网络系统的结构组成、工作原理，分析了网络通信的不同阶段，需要遵循的网络协议和通信流程，以及数据信息被网络协议封装后的存在形式。遵循OSI/RM层次模型，形成知识共识，期望在学习过程中求同存异；参照TCP/IP协议集合，作为协议蓝本，但求在研究领域殊途同归。归类网络通信知识点，希望协助专业人员建立一个完整的网络认知体系解决相关问题。教程遵照OSI/RM参考模型，从整体到分层、从低层到高层描述了通信系统、通信模型、网络模型、网络协议体系结构、信号与编码、传输介质、接口标准、局域网技术、局域网互联技术、VLAN、通信子网交换技术、网络层协议、路由协议、IP计算、IP交换、IP安全、MPLS、传输层协议、SSL、RTP/RTCP、应用层功能协议、SIP、QoS等技术。每个章节通过TCP/IP标准的协议格式对关键技术进行了详细的分析，针对不同层次的协议格式，说明网络通信过程中数据信息流水线式的封装、转发、拆装的操作过程，以及操作对象的层次型分工。借助通用的TCP/IP协议集，认识、了解、验证、掌握网络协议的格式和工作原理。

本教程内容丰富、结构合理、思路清晰、语言简练流畅、协议格式翔实。每一章的引言部分承前启后，概述了本章的作用，引述本章的意义。在每一章的正文中，结合所讲述的关键技术和难点，穿插了大量标准协议格式的示例。每一章末尾都安排了有针对性的思考和练习，思考题有助于读者巩固所学的基本概念，练习题有助于培养读者的实际动手能力。

本书主要面向高等院校电子信息类、计算机类及其相关专业，数据通信与网络协议和相关课程的初学者，可以根据课程情况调整授课内容和侧重点；本书同时适合作为数据通信网络技术服务人员的参考书。

本书的电子教案可以到<http://www.tupwk.com.cn>网站下载。

除封面署名的作者外，参加本书编写的人员还有周巧姝、马楠、李晓、刘昱、王国成、孙男、李高岭、宁哲峰、马嘉斌、陶青山等人。由于作者水平有限，本书难免有不足之处，欢迎广大读者批评指正。我们的信箱是huchenhao@263.net，电话是010-62796045。

作 者

2015年3月

目 录

第1章 通信模型与OSI模型..... 1	第2章 协议模型与网络协议..... 29
1.1 通信系统..... 1	2.1 协议模型..... 29
1.1.1 通信系统的结构..... 1	2.1.1 协议行为..... 29
1.1.2 数字通信系统和数据 通信系统..... 2	2.1.2 协议数据..... 30
2.1.3 协议功能..... 31	2.2 TCP/IP网络协议..... 31
1.2 通信模型..... 3	2.2.1 因特网概述..... 31
1.2.1 基本服务对象..... 4	2.2.2 TCP/IP协议体系..... 32
1.2.2 连接类型..... 5	2.3 IP协议..... 34
1.2.3 通信阶段..... 5	2.3.1 IP版本4..... 34
1.2.4 通信设施..... 7	2.3.2 IPv4地址基本格式..... 37
1.2.5 寻址..... 7	2.3.3 IP版本6..... 38
1.3 通信服务质量..... 7	2.3.4 TCP/IP与OSI..... 40
1.3.1 可靠性..... 7	2.4 其他网络协议..... 41
1.3.2 安全性..... 8	2.4.1 IPX/SPX协议体系..... 41
1.3.3 性能..... 8	2.4.2 AppleTalk协议体系..... 42
1.4 计算机网络的发展..... 11	2.5 本章小结..... 43
1.4.1 发展标志性阶段..... 11	2.6 思考和练习..... 43
1.4.2 计算机网络定义..... 14	第3章 物理层功能与标准..... 44
1.5 计算机网络基本概念..... 14	3.1 物理层特性..... 44
1.5.1 网络体系的基本组成..... 14	3.2 传输介质..... 44
1.5.2 基本概念..... 15	3.2.1 有线介质..... 45
1.6 OSI层次结构..... 16	3.2.2 无线介质..... 46
1.6.1 OSI协议的概念..... 16	3.3 数字数据传输与接口..... 47
1.6.2 OSI分层结构..... 17	3.3.1 数字数据传输..... 47
1.6.3 服务的分类..... 19	3.3.2 数据终端设备和数据 电路终接设备接口..... 48
1.7 OSI模型..... 20	3.3.3 其他接口标准..... 51
1.7.1 层次化结构体系..... 20	3.3.4 以太网接口..... 51
1.7.2 OSI系统组成..... 21	3.3.5 FE自协商..... 53
1.7.3 OSI通信模型..... 22	3.4 信号..... 57
1.7.4 OSI参考模型各层功能和特性..... 23	3.4.1 模拟和数字..... 57
1.8 本章小结..... 27	
1.9 思考和练习..... 27	

3.4.2	周期性和非周期性信号	58	4.6.1	PPPOE协议的基本概念	101
3.4.3	模拟信号	58	4.6.2	PPPOE的发现阶段	102
3.4.4	数字信号	61	4.6.3	PPPOE发现阶段的数据报文	103
3.5	数据调制与编码	64	4.6.4	PPPOE的会话阶段	104
3.5.1	调制与编码原理	64	4.7	本章小结	105
3.5.2	数字-数字编码	65	4.8	思考和练习	105
3.5.3	模拟-数字编码	65	第5章 通信子网交换技术	106	
3.5.4	数字-模拟编码	65	5.1	复用技术	106
3.5.5	模拟-模拟编码	66	5.1.1	复用	108
3.6	本章小结	66	5.1.2	复用类型	108
3.7	思考和练习	66	5.2	交换技术	112
第4章 数据链路层功能与协议	67		5.2.1	电路交换	112
4.1	数据链路层功能	67	5.2.2	分组交换	112
4.1.1	数据链路层所提供的服务	68	5.2.3	消息交换	115
4.1.2	传输的同步	68	5.2.4	OSI模型网络层连接服务	115
4.1.3	数据链路层的其他 控制功能	69	5.3	通信网络技术	115
4.1.4	线路规程	69	5.3.1	公用交换电话网	115
4.1.5	流量控制	71	5.3.2	综合业务数字网	116
4.1.6	错误控制	74	5.3.3	X.25	121
4.1.7	差错控制	77	5.3.4	帧中继	124
4.2	数据链路层协议	83	5.3.5	ATM	126
4.3	面向字符的协议	84	5.3.6	ATM的局域网技术	135
4.3.1	二进制同步通信协议	84	5.3.7	其他通信网络技术	137
4.3.2	BSC协议帧	85	5.4	本章小结	141
4.4	面向比特的协议	86	5.5	思考和练习	141
4.4.1	高级数据链路控制协议	86	第6章 局域网技术	143	
4.4.2	帧格式	88	6.1	局域网	143
4.4.3	关于帧的其他内容	91	6.1.1	局域网的特征	143
4.4.4	HDLC的子集及相关协议	92	6.1.2	局域网的体系结构	143
4.5	PPP协议	93	6.2	有线局域网	144
4.5.1	PPP协议的基本概念	93	6.2.1	802项目	144
4.5.2	PPP协议的三组件	93	6.2.2	IEEE 802标准系列	145
4.5.3	PPP链路的建立	95	6.2.3	802.1	145
4.5.4	LCP的可选配置参数	98	6.2.4	802.2	145
4.5.5	PPP扩展协议	100	6.2.5	802.3以太网	145
4.6	PPPOE协议	101	6.2.6	802.4令牌总线	151
			6.2.7	802.5令牌环网	152

6.2.8	FDDI	155	7.4.3	IGMPv3的改进	208
6.2.9	IEEE 802.6	157	7.4.4	IGMP SSM Mapping	209
6.3	无线局域网	161	7.4.5	IGMP Proxying	210
6.3.1	无线局域网的协议体系	161	7.5	IP地址计算	211
6.3.2	无线局域网的组成	162	7.5.1	全局地址	211
6.3.3	802.11标准	165	7.5.2	IP地址子网掩码	212
6.3.4	802.11帧	165	7.5.3	IP地址计算公式	213
6.3.5	无线局域网的访问控制	169	7.5.4	IP私有地址	213
6.4	局域网互联技术	176	7.5.5	子网划分	215
6.4.1	网络互联基本技术	177	7.5.6	VLSM和CIDR	217
6.4.2	局域网交换机	181	7.6	路由表	218
6.5	VLAN	182	7.6.1	路由表基础	218
6.5.1	VLAN的概念	182	7.6.2	路由表生成	220
6.5.2	VLAN的实现机制	183	7.6.3	路由表	220
6.5.3	VLAN的划分方法	184	7.7	动态主机配置协议	221
6.5.4	VLAN帧结构	186	7.8	本章小结	222
6.5.5	VLAN访问链接模式	188	7.9	思考和练习	222
6.5.6	VLAN的TRUNK协议(VTP)	192	第8章	路由协议	224
6.6	本章小结	192	8.1	核心路由器体系结构	224
6.7	思考和练习	192	8.1.1	自治系统	224
第7章	网络层功能协议与IP计算	194	8.1.2	内部网关协议	225
7.1	网络层功能	194	8.1.3	外部网关协议	225
7.1.1	互联网络的需求	194	8.1.4	边界网关协议	225
7.1.2	通用协议格式	196	8.1.5	域内路由算法	226
7.2	ARP地址映射	199	8.2	路由选择信息协议(RIP)	226
7.2.1	ARP原理	199	8.2.1	RIP	226
7.2.2	ARP格式	201	8.2.2	RIP解决的问题	227
7.2.3	ATM的ARP	202	8.2.3	RIP报文格式	228
7.3	Internet控制报文协议	203	8.3	EIGRP	230
7.3.1	ICMP功能	203	8.3.1	EIGRP Metric	230
7.3.2	ICMP报文的类型	203	8.3.2	EIGRP邻居	231
7.3.3	ICMP地址掩码请求与应答	204	8.3.3	EIGRP数据包和运行过程	231
7.3.4	ICMP时间戳请求与应答	204	8.3.4	EIGRP选路	232
7.3.5	ICMP端口不可达差错	205	8.3.5	EIGRP负载均衡	233
7.4	互联网组管理协议IGMP	205	8.4	OSPF协议	234
7.4.1	IGMP功能	205	8.4.1	OSPF术语	234
7.4.2	IGMPv2的改进	207	8.4.2	OSPF数据包交换过程	238

8.4.3	OSPF启动过程	239	9.4.2	VPN原理	276
8.4.4	OSPF网络类型 (Network Type)	239	9.5	本章小结	277
8.4.5	OSPF链路类型(Link Type)	240	9.6	思考和练习	277
8.4.6	OSPF外部路由	240	第10章 传输层功能与协议	278	
8.4.7	OSPF末节区域	242	10.1	传输层功能与协议	278
8.4.8	OSPF LSA类型	245	10.1.1	OSI传输服务	279
8.4.9	OSPF虚链路(Virtual Link)	245	10.1.2	传输层	280
8.5	IS-IS动态路由协议	247	10.1.3	传输层的责任	284
8.5.1	OSI与CLNS概述	247	10.1.4	连接	285
8.5.2	IS-IS基本概念	248	10.2	SSL协议	287
8.5.3	IS-IS区域	250	10.2.1	SSL基本概念	287
8.5.4	IS-IS的网络类型	251	10.2.2	SSL协议过程	288
8.5.5	IS-IS的PDU格式	252	10.3	实时传输协议RTP	292
8.6	BGP	252	10.3.1	RTP术语	292
8.6.1	BGP概述	252	10.3.2	RTP使用场景 (RTP Use Scenarios)	293
8.6.2	BGP的消息	253	10.3.3	实时传输协议RTP	293
8.6.3	BGP的路由属性	254	10.3.4	实时传输控制协议RTCP	294
8.6.4	IBGP和IGP同步	256	10.3.5	轮廓文件和格式文件	295
8.7	本章小结	257	10.4	本章小结	296
8.8	思考和练习	257	10.5	思考和练习	296
第9章	IP交换与IP安全	259	第11章	OSI高层服务与协议	297
9.1	IP交换	259	11.1	会话层服务	297
9.1.1	第三层交换	260	11.1.1	会话层功能与服务	298
9.1.2	支撑技术	260	11.1.2	同步点	298
9.2	MPLS	261	11.1.3	NETBIOS	299
9.2.1	MPLS基本结构	262	11.2	表示层服务	301
9.2.2	标签(标记)	263	11.2.1	翻译	301
9.2.3	MPLS工作流程	264	11.2.2	加密/解密	301
9.2.4	LSP	265	11.2.3	认证	302
9.2.5	LDP协议	266	11.2.4	数据压缩	304
9.3	IP安全	269	11.3	应用层服务	304
9.3.1	IPSec	269	11.4	高层实现技术	306
9.3.2	IKE	272	11.4.1	域名系统	306
9.3.3	GRE协议	274	11.4.2	TELNET	307
9.4	VPN	275	11.4.3	文件传输协议	308
9.4.1	VPN基础	275	11.4.4	文件访问	309

11.4.5 电子邮件.....	309	11.6.1 QoS基础	319
11.4.6 SNMP网络管理模型.....	311	11.6.2 流量监管、流量整形和 端口限速.....	320
11.4.7 万维网.....	313	11.6.3 拥塞管理配置.....	323
11.5 SIP协议	314	11.7 本章小结	327
11.5.1 SIP基本概念.....	315	11.8 思考和练习	327
11.5.2 SIP概念	316	参考文献.....	329
11.5.3 SIP协议栈结构	318		
11.6 QoS简介.....	319		

第1章 通信模型与OSI模型

在北国之城哈尔滨和南海重镇三沙市之间，如果相互交换当地特产，经常借助物流公司、运输工具、交通系统管理并传送物资。物流公司管理物品的收集仓储、包装加工、中转配送；运输工具关注物品的数量体积、物品包装、决定承载能力和运输速度。交通系统管理交通规则、运输秩序、决定两地之间的交通方式、运输距离和时间；邮递双方则关心物品完好程度、损坏丢失、到达时间、资费合理等问题。如果在两地之间传输文本、音频、图像、视频等数字化信息，需要什么样的系统来实现呢？本章将全面研究通信系统的基本模型和组成原理，分析OSI网络参考模型，为数据通信所涉及的各方面技术问题，提供一个完善和标准的参考体系。

本章的学习目标：

- 掌握通信系统结构组成
- 理解通信模型的结构与服务类型
- 理解通信服务质量的重要参数
- 掌握计算机网络发展阶段的特征
- 理解计算机网络的基本组成
- 掌握OSI协议层次结构原理
- 理解OSI模型服务与功能

1.1 通信系统

目前，在电子设备之间只能传输可以被数字化的信息。数字化信息需要遵循数字化模型，转为可以度量的数字或数据，转变为一系列电子设备和计算机可以处理和存储的二进制代码，这就决定了数字化信息传输的数据海量、传输高速、自动化管理等特殊性质。现代通信技术在发送端以发送用户的电子设备，将作为消息源的信息转换成电信号，经由信道传送到远方的接收端，接收端用户电子设备再从所接收信号中还原出接收信息，转交给收信者，利用简单的通信系统模型进行信息传输，实现非人工的远程信息运输。

1.1.1 通信系统的结构

通信系统的基本组成和 workflow，是一个简单的信息通信的基本模型，如图1-1所示。模型由消息源即信源、发送终端即发送变换器、信道、接收终端即接收变换器和收信者即信宿5个主要部分组成。通信过程中的干扰、失真和差错可以统一规划为进入信道的噪声，虽然实际的现象更为复杂。

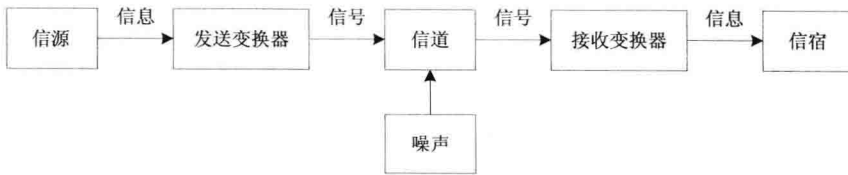


图1-1 通信系统的基本框图

这个模型是具有双向功能的，即图中的信源和信宿身份经常需要转换，要求通信具有双向和双工的属性，就像移动通信双方通话一样，终端设备需要同时具备发送和接收功能，连接收发终端的信道也具有双向传送功能。为了高效地利用信道资源，以较少的信道为较多的用户服务，信道的两端需要具有用户信号汇集、转接和分配功能的交换设备，就像家里的WIFI路由器，承担着类似于自然交通系统的责任和任务。综上所述，实现端到端消息传输的通信设备和设施的整合称之为通信系统。一个实际的通信系统通常由终端设备、交换设备和传输系统或链路三大部分组成。通信系统一般参照所用的传输媒介、信源的种类、所传信号的属性、结构和复用方式等特征进行分类。

1.1.2 数字通信系统和数据通信系统

模拟信号的数据化技术为通信系统和网络的数字化奠定了基础，但数据通信的主要任务不在此。在网络融合技术的发展历程中，数字通信系统和数据通信系统将率先逐步融合。

1. 数字通信系统模型

实物运输系统，要求保持物品原样不变，传送物品并完好无损地将物品交付给接收者。和其他物品打包汇集装载在一个运输工具不同，数字化信息通信需要将信息转换为适合在传输介质中传输的电信号或光信号，之后传输，并在交付给接收者之前再转化为原来的信息。就像用户使用手机为网友传输一首歌曲，用户在WIFI路由器和手机之间传输过程中，听不到任何声音，而接收方收到后才可以正常播放。

一个支持各种业务信号的通用数字通信系统模型如图1-2所示。在发信端，模拟信号数字化功能可包含在信源编码器内，而收信端从数字信号恢复出模拟信号的功能则包含在信宿译码器内。并且，这一对编译码器还具有数字复用/去复用、加密/解密、码型变换/反变换、同步、控制信

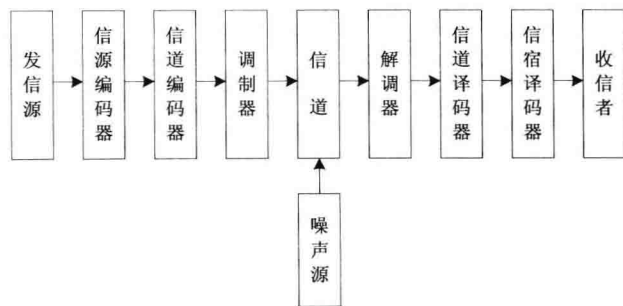


图1-2 数字通信系统模型

令、维护和管理、开销数据的插入/分出等功能，以提高数字通信效率和安全性。以上处理过程是任何一对直接通信结点之间的模型，信源和信宿这一对结点之间，可能有很多这样的结点对。

数字信号具有不限距离的远程传输能力，数字通信系统除包括上述信源编码器、信宿译码器外，为了远程传输，还包括由信道编码器、调制器、信道、解调器和信道译码器组成的传输系统，以及保证接收和发送两端设备协调一致，同步工作的数字同步系统、控制信令通道和网管数据通道等。由于信道特性不理想造成的码元间干扰，以及存在传输信道内的噪声，极易造成传输差错，

信道编码器的作用是提高数字信号传输的可靠性，因此信道编码器又称为差错控制编码器。

2. 数据通信系统

数据通信是计算机和通信相结合的一种通信方式，是通过数据终端与计算机或计算机与计算机间的通信，自动化实现大部分通信过程及相关通信对象的通信事务处理，诸如检测传输差错，甚至能自动校正传输差错。数据通信系统的基本结构如图1-3所示，这是一个远端的数据终端设备DTE通过一个由传输信道和其两端的数据电路终接设备DCE组成的数据电路，与另一个计算机系统相连的基本通信模型。

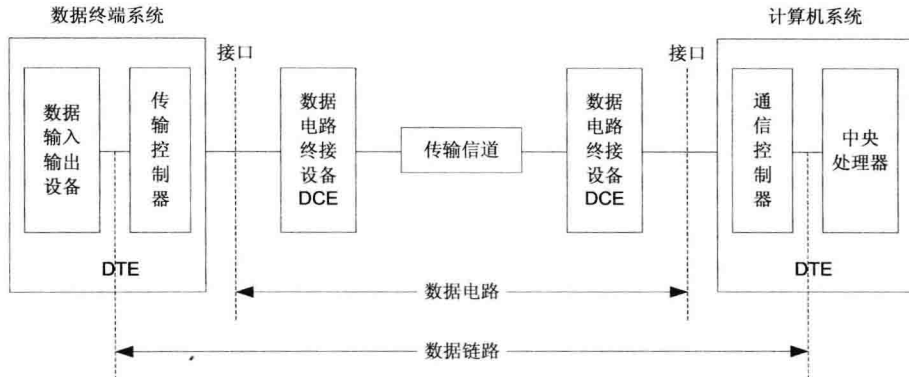


图1-3 数据通信系统基本结构

数字通信系统是实现数字信号交换和传输的系统，实现电路交换和高速率宽带大容量实时传输。数据通信系统是实现数据信号交换和传输的系统，实现高速分组交换和宽带传输。

数据通信系统的非实时性应用，因为传输信道容量和带宽的极大丰富而显著改善，从而能在Internet网上成功运营IP电话。数字通信系统可以承载数据信号，数字信号也可以在数据通信系统中传送。两个系统都能传输语音、图像和数据以及各种综合业务，随着“三网融合”的实施与实现，数字网和数据网将融合为以IP为核心的下一代网络(NGN)。

1.2 通信模型

类似于物流、交通、运输系统为用户提供物资运输服务，通信系统需要参照用户的需求、各方系统的能力和职责，设定可行的通信服务项目，建立一套完整服务规则与运营体系。在这个体系需要建立没有人工参与、实现信息传输的服务模型。

通信服务基于一个抽象的通信模型，该模型通过规定参与者的行为和作用、允许交换数据的数目和顺序、信息流的方向和对话的持续时间，制定通信双方的实施次序、状态、流程。通信模型中联系通信双发的第三方，即由数据链路组成的传输系统，是通信模型中的关键和枢纽，这个通信对象类似于物流系统，具有以下两个重要的特性。

第一，对服务对象数量的限制，即是为通信双方两者服务，还是为多个通信对象服务。类似于实物运输中的专用交通服务和公共交通服务。

第二，对数据链路的数据传输，提供可靠、有序、时效的管理方式。服务对象可以是通信双方，也可以是通信多方，类似于实物运输中，为了保障物品可靠、时效运输设置的交付确认、签收制度。在数据通信中，设置了数据传输序号确认机制，保证传输的有序性。

通信模型广泛使用的面向连接和面向数据报两种服务。传统面向连接的服务模型，通信双方的对话有建立、数据传输和释放3个阶段。在建立阶段，服务提供者和接收用户使用通信规程确定新连接的建立参数，也可能会协商一定的服务能力。只有在连接建立已经成功地完成之后，数据传输阶段才能开始。面向连接的通信结构通常局限于两个用户，两个用户可以双向地发送无限制的数据，数据传输是可靠的，数据的丢失、差错、乱序和重复能被接收者检测，甚至纠正。

面向数据报的服务模型，通信双方之间只能交换单个数据单元，即数据报，可能有多个目的地，数据传输通常是不可靠的。

1.2.1 基本服务对象

对于通信模型的组成结构，可以采用面向对象的方法进行分析，包括可见的通信参与的发送、接收、中转对象，传输信息的媒介对象，传输的信息对象，高层的类对象。还有在实物传输中可见的包装物品的包裹，在数据通信中则是不容易看见的封装信息的数据包裹。

数据通信的过程是无人参与的，因此实物传输中人工的工作，同样需要执行者进行实时的交流，为通信提供服务。在北电网络模块化通信系统构架(Modular Communication System, MCS)参考体系结构中基本对象类和语义关系如图1-4所示。其中，参考模型描述了数据通信系统模拟人工服务时，所需的功能单元和相互关系，为我们学习通信任务的结构组成，提供了一个层次的分解参考模型。

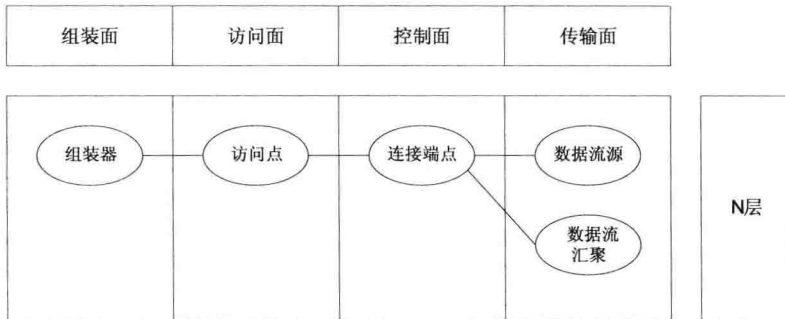


图1-4 MCS构架的参考服务对象

模块化通信系统提供两类服务：组装服务和通信服务。定义为组装器类的服务对象提供组装服务，组装服务能配置用户定制的通信服务。通信服务允许对相应的用户进行寻址、维护连接和交换服务数据单元(Service Data Unit, SDU)，它的服务是由不同类的服务对象提供的，包括服务访问点类、连接端点类、数据流源类和数据流汇聚类。组装器类对象配置和控制用户定制的通信系统。每个通信服务可能拥有不同的能力。在同一时刻组装器能控制和维护多个通信服务以应对用户的需求。

通信服务是由多个相应的服务访问点(SAP)对象表示的。每个SAP对象提供对它所代表的服务的访问能力，它使用户能建立和释放通信连接。每个SAP对象上绑定了一个唯一的通信地址，用来在服务提供者的作用范围内识别相关的用户。

通信参与方的一个连接是由多个相应的连接端点(Connection End Point, CEP)对象表示的。每个CEP对象提供对一个特定的连接的访问能力。与一个CEP对象相连的用户可以在连接生命期内改变通信模式，或修改所代表的连接QoS。

通信传输的对象是一个数据流，是由一个数据流源(SRC)对象和一个或多个数据流汇聚(SNK)

对象表示的。SRC对象可以在所代表的流上发送SDU，这些SDU以后能被相应的SNK对象接收。

1.2.2 连接类型

通信模型中，两点之间的连接比较简单，但是网络中大多是多点连接。连接的服务模型有：灵活的通信服务质量QoS连接、多点连接、临时连接。

传统的连接通常局限于特定方向一个数据流的固定的点到点结构。但是，类似于视频会议，需要设置了一个多点连接，允许多个用户加入这个连接，可以存在任意数目的数据流和任意的布局。所有的通信服务都可以基于一个多点连接的抽象模型。一个多点连接代表一个有两个或多个用户参与的通信联系，只有加入到同一连接的用户才能通过交换信息进行通信。用户信息由提供者作为服务数据单元SDU进行传递。SDU被提供者透明地传送，即它对信息内容、格式和编码方面不能作任何的限制。除非SDU含有高级别的通信服务质量需求。

在任何时刻，能够存在拥有不同参与者的多个连接，连接本身只提供用户间的逻辑联系，信息交换的方法是由一个抽象的数据流来定义。数据流是一个SDU序列，它从一个数据流源端口单向地流到一个或多个数据流汇聚端口。具有多个数据流汇聚汇集的流被称为多点播送流(multicast stream)。如图1-5所示在一个数据流源端口和多个数据流汇聚端口之间的单向数据管道。

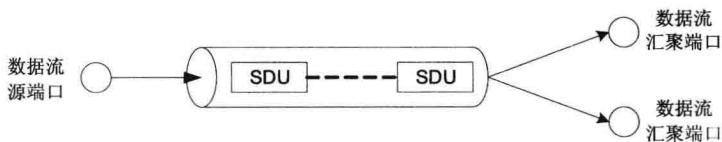


图1-5 多点播送的数据流

原则上讲，一个连接可以包含无限数目的数据流，可以自由地对它们进行布局和重新调整。在一个连接的生命期内，可以创建新数据流，也可以终止已经存在的数据流。一个连接中数据流的布局是通信模式定义的。通信模式包含连接中所有参与者的地址，指定了特定参与者之间存在着数据流，也可以指定点到点或点到多点性质不同的通信结构和方向性。

类似于实物传输中破损和传递时间等问题，对于通信多方是传输效果，称为通信的服务质量，定义了连接及流在可靠性、安全性和性能方面的性质。同一连接上的不同数据流可以赋予不同的服务质量。

1.2.3 通信阶段

通信服务模型定义通信对象的关系之后，需要考虑的是通信的流程与状态。通信服务有服务组装、连接建立、数据传输、连接释放和服务删除5个阶段。通信的流程是个相对复杂的过程，涉及的通信对象、数据的处理、处理数据功能单元组成和分工、处理单元与通信单元的任务关系等等诸多事宜和问题。类似于在网络购物配送的过程，用户可能只接触了销售员和送货员，流程中的实物传输和物品处理，以及相关的人员分工和过程，用户是无从知晓的，甚至不用明了的。本书不会讲述实物传送系统的组成结构原理，不会对比与数据通信的区别，只讨论网络技术的公认概念和标准，并作简单类比，希望将误读误解降到最低。毕竟二者只是在传输环节的流程和目标性相似，具体单元结构和实现技术是大相径庭的。

1. 服务组装

类似于电子商务系统的网络购物流程，网络应用使用专用的通信服务之前，必须向组装服务

发请求，来组装这些服务。每一层拥有一个组装服务，它是由组装平面的服务对象所提供的，称为组装器。应用向它本地的组装器传递它所要求的通信服务能力，以及该应用在以后的对话中让其他应用识别它的通信地址，组装器则返回一个与给定的通信地址绑定的服务访问点(Service Access Point, SAP)对象。访问点对象是访问平面中的服务对象，它们代表一个被特别请求与组装的通信服务，提供对通信能力的访问。借助于一个访问点，应用就能建立和释放连接了。在任何时刻每个访问点只能绑定到一个通信地址，然而，网络应用能拥有多个访问点与不同通信地址相联系。通信服务的组装是由一个本地服务行为完成的。

2. 连接建立

连接建立期间，服务提供者和所有的相关用户，需要在连接的控制消息中公开明示对新的通信联系取得一致，同时可以交换SDU进行连接能力的协商。在建立一个连接时，用户的角色或者是发起者，或者是响应者。发起者请求建立连接，而响应者等待给它的连接指示。

一个连接的建立可以通过无证实、提供者证实和用户证实的服务行为来完成。无证实的建立允许发起者和响应者在请求或指示了新连接以后，数据传输阶段就开始。对于提供者证实的建立，发起者要等到新连接已向响应者指示时才能传输数据，已向响应者指示了这一点是由提供者证实的。对于用户证实的建立，新连接要等到所有的响应者都公开明示地接受了这个新连接时才证实。

根据所建立连接的类型，发起者和响应者认为一个连接已经建立的时间点可能不同，然而只有双方都收到建立连接已经成功的消息时，才能进入数据传输阶段。

对每一个新连接，用户从它们本地的访问点对象中得到一个新的连接端点(CEP)对象。连接端点对象是控制面中的服务对象，它使相关用户能对连接进行控制，如插入一个新的连接参与者，或删除一个新的连接参与者。连接端点对象唯一地与一个通信访问点的对象相关联，然而在同一时刻可以有多个连接端点对象分配给访问点对象。

3. 数据传输

在数据传输阶段，用户可以按所定义的数据流的布局交换无限数目的服务数据单元。对于每一个流，用户拥有传输面的服务对象，称为数据流源(SRC)对象和数据流汇聚(SNK)对象。

数据流源对象代表一个数据流的端点，在该端点与之相关的用户可以发出SDU以便发送。数据流汇聚对象，用户会吸收所传输的SDU。根据源端口和汇聚端口，用户之间形成生产者/消费者关系。生产者在数据流源端口发出SDU，消费者在数据流汇聚端口接收SDU。

数据流源和数据流汇聚唯一地与一个连接端点对象相关联。按照所定义的数据流布局，多个源和汇聚可能加入同一个连接端点。在数据传输阶段，可能会加入或删除流，消费者也可能加入或离开流。

SDU的传输可通过无证实、提供者证实和用户证实的服务行为完成。对于无证实SDU传输，生产者不知道SDU传递给消费者的时刻。使用提供者证实的传输，提供者向SDU的生产者证实每个SDU的到达。用户证实的SDU传输向生产者提供了更多的可靠性，即它所发送的SDU不仅到达了，而且还被消费者接收和处理了，因为消费者要对每个收到的SDU进行证实，证实信息中可以传递一个应答的SDU。

4. 连接释放

在一个连接上，最后一个用户离开它之后，意味着该连接被释放了，它的连接端点对象就离

开了一个连接。删除一个连接端点对象也废弃了所有与之相关联的数据流源和汇聚对象。

一个连接端点可以中断式的或完善的语义被释放。突然释放立即关闭该端点，不考虑是否还有SDU正在传输当中，所有未完成传输或未发送的SDU肯定丢失了。完善的释放要等到所有的服务数据单元成功地被发送之后，才关闭该连接端点对象，否则就是出现了致命的错误，通告提供者无论如何也得终止通信。“成功发送”的定义依赖于所选择的服务质量，如果选择了可靠服务，提供者试图正确地传递所有的SDU，必要时使用重传技术。然而对于没有服务质量要求的服务，随时就结束了。

释放一个连接端点可以用无证实的服务行为或本地服务行为来完成。对于无证实行为，在发出对自己的连接端点的释放请求之后，从用户的观点来看，连接释放阶段就结束了。本地服务行为则需要证实连接端点的中断式或完善的释放，需要给所有存在数据流关系的用户发出一个释放指示。

5. 服务删除

在取消阶段，一个用户的访问点对象失效了，所有与之相关的连接端点被突然地释放，所绑定的通信地址在提供者作用的范围内已不再有效。取消一个访问点是通过一个本地服务行为完成的。

1.2.4 通信设施

连接建立、数据传输和连接释放是一种通信服务所必备的通信设施，除此之外，通信服务还可以定义一些附加的、可选设施，诸如连接转发、连接迁移、连接搜寻、连接合并、连接分离、连接再协商、加入数据流汇聚、删除数据流汇聚、流转发、划分子流、代理建立、第三方建立等。

1.2.5 寻址

寻址是一种在一个已定义的范围内标识和定位对象的概念。通信服务的用户需要用地址来指定与之建立连接的参与者。通信服务的提供者用这些地址，定位相应的服务用户所在的节点和服务访问点。

每个访问点都绑定了一个无二义性的通信地址，在服务提供者的作用范围内，定位该访问点以及与之关联的用户。只有当用户关联到一个访问点时，才能在提供者覆盖的网络中被其他结点知道。在任一时刻每个用户只能关联到一个访问点上。这样，一个拥有多个访问点的应用，逻辑上可以看成是多个用户，每个用户有着不同的通信地址。访问点和它们的地址是由服务提供者管理的。通信地址可以按单一地址和组地址来分类。

1.3 通信服务质量

服务质量指的是涉及可靠性、安全性和性能方面的通信属性(称为QoS属性)，这些属性用一组QoS参数表征，为通信效果提供了参考标准。

1.3.1 可靠性

数据通信过程中的信息被损坏、丢失、重复和乱序等情况经常发生。当使用一个通信服务时，