

解放军理工大学优秀教学成果



高等学校规划教材

数据通信与计算机网络

(第4版)

◎ 杨心强 陈国友 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校规划教材
解放军理工大学优秀教学成果

数据通信与计算机网络

(第4版)

杨心强 陈国友 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是解放军理工大学优秀教学成果,将数据通信和计算机网络两门课程融为一体,非常适合工科各专业教学需要。全书包括4个部分:第1部分概述;第2部分数据通信(数据通信基础知识和数据传输技术);第3部分计算机网络体系结构(物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层);第4部分网络技术(局域网、无线网络、因特网、计算机网络的管理和安全)。全书各章都配有丰富的习题和实践项目,免费为任课教师提供电子课件和部分习题参考答案。

本书可作为高校计算机、通信、自动化、机电等工科专业教材,也可作为工程技术人员参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数据通信与计算机网络/杨心强,陈国友编著. —4版. —北京:电子工业出版社,2012.5

高等学校规划教材

ISBN 978-7-121-16753-9

I. ①数… II. ①杨…②陈… III. ①数据通信—高等学校—教材②计算机网络—高等学校—教材
IV. ①TN919②TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第070033号

策划编辑:童占梅

责任编辑:秦淑灵

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 23.75 字数: 608千字

印 次: 2012年5月第1次印刷

印 数: 4 000册 定价: 39.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本教材的前三版（1998，2003，2007）均按照中国计算机学会教育委员会和全国高等学校计算机教育研究会（以下简称两会）编写的《计算机学科教学计划》之要求组织编写，被列入高等学校计算机专业规划教材，由两会推荐出版。

本版教材在全书的体系结构上做了较大的修改和调整。全书共 4 部分。

第 1 部分是概述，对通信系统模型、数据通信系统及网络、计算机网络及其体系结构和模型、网络标准、发展趋势等内容做了概述，增加了数据通信系统的主要性能指标和发展趋势。

第 2 部分是数据通信，介绍了数据通信基础知识和各种数据传输技术，增加了传输质量、传输介质的选择等内容，并按照数据与信号的组合方式分别介绍基带传输技术、频带传输技术和脉码调制技术，这将使内容更为清晰。

第 3 部分是计算机网络体系结构，仍以 TCP/IP 体系结构为基础，以 TCP/IP 协议族为主线，自下而上地介绍物理层、数据链路层，网络层、传输层和应用层的基本概念、功能和作用，以及各层的协议机制。在物理层的常用标准中增加了 EIA RS-485 和 RJ45。把数据链路层的局域网技术移入第 4 部分单独成章。网络层突出介绍网络互连的概念。传输层的内容变化不大。应用层的万维网、电子邮件、文件传送和多媒体应用服务各节都进行了较大的修改。

第 4 部分是网络技术，介绍局域网、无线网络、因特网，以及计算机网络管理和安全。局域网一章增加了局域网的组成、以太网的信道利用率、提高局域网的性能和 40/100 吉比特以太网等内容。无线网络一章的无线局域网取自第 3 版的第 6 章，并对部分内容做了修改，新增了无线个域网、无线城域网、无线传感器网和无线网格网。因特网的内容单独成章，其中因特网的发展过程取自第 3 版的第 1 章，增加了因特网的组成和下一代因特网，因特网的接入技术取自第 3 版的第 11 章，并进行了修改和充实。计算机网络管理和安全一章中的简单网络管理协议 SNMP 一节做了较大修改，虚拟专用网取自第 3 版的第 7 章，也做了修改。

为了加强学生对各章知识的理解，本版教材还为各章增添了“实践项目”一节，其目的是通过这些实践项目，激发学生对数据通信和网络技术的兴趣，提高学生的研读创新能力。

各章末均附有习题，供读者选用。

最后是参考文献及重要网址。另外，因篇幅所限，附录 A “部分习题参考答案”和附录 B “英文缩写词”，请读者在华信教育资源网下载使用。

本教材的参考学时数为 60~70 学时。在课程学时数较少的情况下，可以选取目录中带有“*”的章节。

本教材的第 1~2 章、第 3 章 3.1~3.5，3.7~3.9 节，第 8 章 8.1 节和 8.8 节、第 9~12 章由杨心强编写，第 3 章 3.6 节、第 8 章 8.2~8.7 节和各章的实践项目由陈国友编写。最后

由杨心强负责统编和全书的定稿。

在本书再版过程中, 解放军理工大学指挥自动化学院谢希仁教授对本书的再版提供了宝贵的资料。电子工业出版社高等教育分社童占梅副社长和责任编辑秦淑灵对再版工作也给予了全力支持和关照, 并为作者提供了极有参考价值的书籍。王丽辛高工为本书图稿的绘制给予了积极的支持和指导。本教材的前三版均得到北京航空航天大学杨文龙教授的关心和支持。对此, 编著者均表示诚挚的谢意。

由于编著者水平有限, 书中难免存在一些缺点和错误, 恳请专家和广大读者批评指正。
作者 E-mail: yang_xinqiang@163.com, goyalchen@163.com。

编著者

于南京·解放军理工大学指挥自动化学院

本书电子课件、部分习题参考答案及英文缩写词表请在华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn> 注册下载。

目 录

第 1 部分 概 述

第 1 章 数据通信与计算机网络概述	1	1.5.2 计算机网络模型	17
1.1 通信系统模型	1	1.5.3 若干重要概念	20
1.2 模拟通信、数字通信和数据通信	2	1.6 标准及其制定机构	24
1.2.1 模拟通信和数字通信	2	1.6.1 标准	24
1.2.2 数据通信	3	1.6.2 国际性标准化组织	24
1.3 数据通信系统及网络	3	1.6.3 因特网的标准化组织	25
*1.3.1 数据通信系统	3	*1.7 发展趋势	26
1.3.2 数据通信网络	5	1.7.1 泛在网络和泛在计算	26
1.4 计算机网络概述	7	1.7.2 新信息服务	28
*1.4.1 计算机网络的发展过程	7	1.7.3 云计算	28
1.4.2 计算机网络的定义及分类	10	1.7.4 下一代网络	29
1.4.3 计算机网络的功能及应用	12	1.7.5 网络融合	29
*1.4.4 计算机网络的性能指标	13	1.8 实践项目	30
*1.5 计算机网络的体系结构和模型	15	1.9 习题	30
1.5.1 层次型的体系结构	15		

第 2 部分 数 据 通 信

第 2 章 数据通信基础知识	32	2.6 实践项目	59
2.1 信息、数据和信号	32	2.7 习题	60
2.1.1 信息	32	第 3 章 数据传输技术	62
2.1.2 数据	33	3.1 数字基带传输技术	62
2.1.3 信号	34	3.1.1 基带传输对信号的要求	62
*2.2 传输方式和传输速率	37	*3.1.2 基带信号的波形及其传输码型	63
2.2.1 传输方式	37	3.2 数字频带传输技术	66
2.2.2 传输速率	38	*3.2.1 基本数字调制技术	67
2.2.3 频带利用率	40	3.2.2 正交幅度调制	74
*2.3 传输损伤和传输质量	40	*3.2.3 幅相混合调制	75
2.3.1 传输损伤	40	3.2.4 正交频分复用调制	76
2.3.2 传输质量	41	3.3 脉冲编码调制技术	77
2.4 通信编码	44	*3.3.1 标准 PCM 技术	77
*2.5 传输信道及传输介质	45	3.3.2 自适应差分脉冲编码调制技术	78
2.5.1 信道概述	46	3.4 信道访问技术	79
2.5.2 信道容量的计算	46	3.4.1 轮询访问技术	79
2.5.3 传输介质	48	*3.4.2 争用访问技术	81

*3.5	信道复用技术	85	*3.7.2	位同步	97
3.5.1	频分复用	85	3.7.3	群同步	98
3.5.2	波分复用	86	3.7.4	网同步	99
3.5.3	时分复用	87	3.8	数据交换技术	102
3.5.4	码分复用	89	3.8.1	电路交换	102
3.6	扩频技术	91	3.8.2	报文交换	102
3.6.1	概述	91	*3.8.3	分组交换	103
3.6.2	直接序列扩频	92	*3.9	差错控制技术	104
3.6.3	跳频扩频	93	3.9.1	差错控制概述	104
3.6.4	跳时扩频	94	3.9.2	差错检测	106
3.6.5	混合扩频	95	3.9.3	差错纠正	110
3.7	同步控制技术	96	3.10	实践项目	111
3.7.1	载波同步	96	3.11	习题	113

第3部分 计算机网络体系结构

第4章	物理层	115	5.3.3	PPP协议的帧格式	135
*4.1	物理层概述	115	5.3.4	PPP协议的状态图	136
*4.2	物理层接口特性	115	*5.4	广播信道的数据链路层	137
4.2.1	机械特性	116	5.4.1	局域网概述	137
4.2.2	电气特性	116	5.4.2	局域网的体系结构	138
4.2.3	功能特性	117	5.5	IEEE 802 标准	141
4.2.4	规程特性	119	5.6	实践项目	141
4.3	物理层的常用标准	119	5.7	习题	143
*4.3.1	EIA RS-232	119	第6章	网络层	144
4.3.2	EIA RS-449	122	*6.1	网络层概述	144
4.3.3	EIA RS-485	123	6.1.1	虚拟互连网络	144
*4.3.4	RJ45	124	6.1.2	网络层提供的服务	145
*4.4	数字传输系统	125	*6.2	网际协议 IPv4	147
4.4.1	PCM 传输体制	125	6.2.1	分类的 IP 地址	147
4.4.2	同步光纤网 SONET 和同步 数字序列 SDH	126	6.2.2	划分子网	149
4.5	实践项目	128	6.2.3	无分类编址	153
4.6	习题	129	6.2.4	地址转换机制	155
第5章	数据链路层	130	6.2.5	IP 数据报的格式	158
*5.1	数据链路层概述	130	6.2.6	IP 层分组转发机制	161
*5.2	点对点信道的三个基本问题	131	*6.3	因特网路由选择协议	165
5.2.1	帧定界	131	6.3.1	路由选择协议概述	165
5.2.2	透明传输	133	6.3.2	内部网关协议	167
5.2.3	差错检测	134	6.3.3	外部网关协议	173
*5.3	点对点信道的数据链路层协议	134	6.3.4	路由选择的关键部件—— 路由器	174
5.3.1	数据链路层协议概述	134	*6.4	网际控制报文协议 ICMP	175
5.3.2	PPP 协议	135	6.5	IP 多播及其协议	178

6.5.1	IP 多播概述	178	8.2.4	域名解析	231
6.5.2	局域网 IP 多播	179	*8.3	万维网	232
6.5.3	因特网 IP 多播协议	180	8.3.1	概述	232
*6.6	下一代网际协议 IPv6	182	8.3.2	统一资源定位符 URL	233
6.6.1	IPv6 概述	182	8.3.3	超文本传送协议 HTTP	234
6.6.2	IPv6 数据报的格式	183	8.3.4	超文本标记语言 HTML	238
6.6.3	IPv6 的地址	185	8.3.5	万维网的文档	240
6.6.4	由 IPv4 过渡到 IPv6	189	8.3.6	搜索引擎	242
6.6.5	网际控制报文协议 ICMPv6	190	*8.4	电子邮件	243
6.7	实践项目	191	8.4.1	概述	243
6.8	习题	192	8.4.2	电子邮件的格式	245
第 7 章	传输层	196	8.4.3	简单邮件传送协议 SMTP	245
*7.1	传输层概述	196	8.4.4	邮件读取协议 POP3 和 IMAP4	247
7.1.1	传输层的基本功能	196	8.4.5	通用因特网邮件扩充 协议 MIME	247
7.1.2	传输层的协议及服务	197	8.4.6	基于万维网的电子邮件	250
7.1.3	传输层的端口	198	*8.5	文件传送	250
*7.2	用户数据报协议 UDP	199	8.5.1	概述	250
7.2.1	UDP 概述	199	8.5.2	文件传送协议 FTP	250
7.2.2	UDP 报文的格式	200	8.5.3	简单文件传送协议 TFTP	252
*7.3	传输控制协议 TCP	201	8.5.4	网络文件系统 NFS	253
7.3.1	TCP 概述	201	8.6	远程登录协议 TELNET	253
7.3.2	TCP 报文段的格式	202	*8.7	动态主机配置协议 DHCP	255
7.3.3	TCP 传输控制	204	8.8	多媒体应用服务	257
7.3.4	TCP 拥塞控制	214	*8.8.1	概述	257
7.3.5	TCP 连接管理	217	8.8.2	流式存储音频/视频	260
7.3.6	TCP 连接管理模型	220	*8.8.3	实时交互音频/视频	263
7.4	实践项目	222	8.9	应用进程间的通信	271
7.5	习题	223	8.9.1	系统调用	271
第 8 章	应用层	226	8.9.2	应用编程接口	271
8.1	应用层概述	226	8.10	实践项目	273
*8.2	域名系统	227	8.11	习题	274
8.2.1	概述	227			
8.2.2	因特网的域名结构	228			
8.2.3	域名服务器	229			

第 4 部分 网 络 技 术

第 9 章	局域网	276	9.1.5	网络操作系统	281
9.1	局域网的组成	276	*9.2	传统以太网	282
9.1.1	网线和接头	276	9.2.1	以太网概述	282
9.1.2	网卡	277	9.2.2	CSMA/CD 协议	283
9.1.3	集线器	279	9.2.3	以太网的信道利用率	285
9.1.4	网络交换机	279	*9.3	扩展以太网的覆盖范围	286

9.3.1	在物理层扩展局域网	286	11.3.3	基于五类线的以太网接入技术	334
9.3.2	在数据链路层扩展局域网	287	11.3.4	光纤接入技术	335
9.4	虚拟局域网	291	11.4	下一代因特网	335
*9.5	提高局域网的性能	293	11.4.1	Internet2	336
9.5.1	提高服务器的性能	293	11.4.2	下一代因特网 NGI	336
9.5.2	提高线路的容量	294	11.5	实践项目	337
9.5.3	减少网络的需求	294	11.6	习题	338
*9.6	高速局域网	295	第 12 章 计算机网络的管理和安全	339	
9.6.1	100BASE-T 以太网	295	*12.1	计算机网络的管理	339
9.6.2	吉比特以太网	296	12.1.1	网络管理概述	339
9.6.3	10 吉比特以太网	297	12.1.2	网络管理的一般模型	340
9.6.4	40/100 吉比特以太网	297	12.1.3	网络管理的体系结构	340
9.7	实践项目	300	12.1.4	ISO 的网络管理功能	341
9.8	习题	301	*12.2	简单网络管理协议 SNMP	342
第 10 章 无线网络	303		12.2.1	管理信息结构	343
*10.1	无线局域网	303	12.2.2	管理信息库	345
10.1.1	无线局域网概述	303	12.2.3	SNMP 报文和协议数据单元	346
10.1.2	IEEE 802.11 标准	305	*12.3	计算机网络的安全	348
10.1.3	802.11 局域网的 MAC 层	306	12.3.1	计算机网络面临的安全威胁	348
10.1.4	802.11 局域网的 MAC 帧	310	12.3.2	计算机网络的安全性需求	349
10.1.5	802.11 局域网提供的服务	311	*12.4	数据加密技术	350
10.2	无线个域网	312	12.4.1	数据加密通信的模型	350
10.2.1	蓝牙技术	312	12.4.2	对称密钥密码体制	351
10.2.2	低速无线个域网	314	12.4.3	公开密钥密码体制	353
10.2.3	高速无线个域网	317	*12.5	网络安全策略	356
10.3	无线城域网	318	12.5.1	加密策略	356
10.3.1	无线城域网概述	318	12.5.2	密钥分配	357
10.3.2	IEEE 802.16 标准	319	12.5.3	鉴别	358
10.4	其他无线网络	321	12.5.4	防火墙	359
10.4.1	无线传感器网	321	12.6	虚拟专用网	361
10.4.2	无线网格网	323	12.7	因特网的安全协议	363
10.5	实践项目	325	12.7.1	网络层安全协议	363
10.6	习题	326	12.7.2	传输层安全协议	366
第 11 章 因特网	328		12.7.3	应用层安全协议	367
*11.1	因特网的发展过程	328	12.8	实践项目	369
*11.2	因特网的组成	330	12.9	习题	370
11.2.1	因特网的核心部分	330	附录 A 部分习题参考答案(见网上教学资源)		
11.2.2	因特网的周边部分	330	附录 B 英文缩写词(见网上教学资源)		
*11.3	因特网接入技术	331	参考文献及重要网址	372	
11.3.1	基于铜线的 xDSL 技术	331			
11.3.2	基于混合光纤/同轴电缆的接入技术	333			

第 1 部分 概 述

第 1 章 数据通信与计算机网络概述

数据通信是 20 世纪 50 年代随着计算机技术和通信技术的迅速发展,以及两者的相互渗透而兴起的一种新的通信方式。20 世纪七八十年代,计算机技术与数据通信技术逐渐融合,使得计算机-通信产业的各个方面发生了巨大变化,从元器件制造到系统集成均皆如此。同时,技术和制定技术标准的组织,都向着综合的公用网络系统发展,并以统一的方式来访问分布在世界各地的数据和信息源。

本章对数据通信和计算机网络两大部分作概括性的介绍。

1.1 通信系统模型

下面以两台 PC 通过电话线,再经公用电话网进行通信的简单例子,来说明任何一个通信系统都可用一个简单的通信模型来抽象地描述其内在含义。该模型框图如图 1-1 所示。

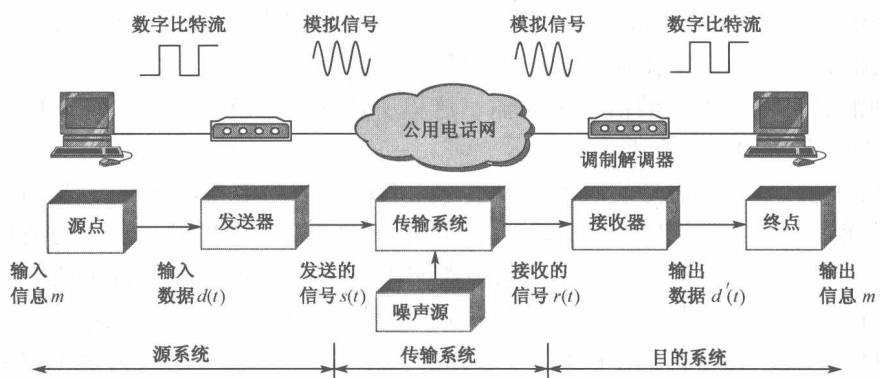


图 1-1 通信系统模型框图

该模型包括源系统、传输系统和目的系统三个部分,有以下 5 个组成要素:

- (1) 源点。它是生成传输数据的设备,如 PC。
- (2) 发送器。通常,源点生成的数据要通过发送器编码后才能成为在传输系统中进行传输的电信号。如调制解调器从相连的 PC 获得数字比特流,并变换成能在电话网上传输的模拟信号。
- (3) 传输系统。它是简单的传输线或复杂的网络系统。
- (4) 接收器。接收来自传输系统的信号,并转换为终点能处理的信息。如调制解调器接收来自传输系统的模拟信号,并将其转换成数字比特流。
- (5) 终点。它是获取来自接收器数据的设备。

在图 1-1 中, 用户将输入信息 m 输入源点, PC 通常产生一个随时间变化的数据 $d(t)$, 作为发送器的输入信号。该信号由发送器转换成适合在传输介质中传送的发送信号 $s(t)$ 。当 $s(t)$ 通过传输介质传送时, 会受到各种噪声的干扰, 发生畸变和失真等。因而, 接收器收到的信号 $r(t)$, 可能已不同于发送信号 $s(t)$ 。接收器要依据信号 $r(t)$ 和传输介质的特性, 把 $r(t)$ 转换成输出数据 $d'(t)$ 。当然, 转换后的输出数据 $d'(t)$ 只是输入数据 $d(t)$ 的近似值或估计值。最后, 终点将从输出数据 $d'(t)$ 中识别出被交换的信息 m' 。这里必须指出的是, 如果传输系统适于传送数字信号, 那么 PC 产生的比特流就没有必要转换成模拟信号, 可直接传输。

以上是对该通信系统模型工作原理的简单描述, 这里回避了技术实现的复杂细节。这种复杂性主要体现在: 传输系统的利用、接口、信号的产生、同步、交换管理、差错检测和纠正, 以及流量控制等。

通过上例不难看出: 通信系统模型对通信系统的描述是具有代表性的, 它为通信系统的组成刻画了明确的框架结构; 该模型的描述包含着许多基本概念和基础知识, 也涉及大量复杂的通信技术。这些内容都将在以后各个章节中详细阐述。

1.2 模拟通信、数字通信和数据通信

1.2.1 模拟通信和数字通信

通信传输的消息有多种形式, 如符号、文字、数据、语音、图形、图像等。它们大致可归纳成两种类型: 连续消息和离散消息。连续消息指消息的状态是随时间连续变化的, 如强弱连续变化的语音。离散消息指消息的状态是可数的或离散的, 如符号、文字和数据等。通常, 我们把连续消息和离散消息分别称为模拟消息和数字消息。

这两种消息可以用不同的信号来传输。这里所述的信号就是通信系统在传输介质中传输的信号 $s(t)$ 。它有两种基本形式:

一种是模拟信号, 其信号的波形可以表示为时间的连续函数, 如图 1-2 (a) 所示。这里, “模拟” 的含义是指用电参量 (如电压、电流) 的变化来模拟源点发送的消息。如电话信号就是语音声波的电模拟, 它是利用送话器的声/电变换功能, 把语音声波压力的强弱变化转变成语音电流的大小变化。以模拟信号为传输对象的传输方式称为模拟传输, 以模拟信号来传送消息的通信方式称为模拟通信, 而传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。

另一种是数字信号, 其特征是幅度不随时间连续变化, 只能取有限个离散值。通常以两个离散值 (“0” 和 “1”) 来表示二进制数字信号, 如图 1-2 (b) 所示。以数字信号为传输对象的传输方式称为数字传输, 以数字信号来传送消息的通信方式称为数字通信, 而传输数字信号的通信系统称为数字通信系统。

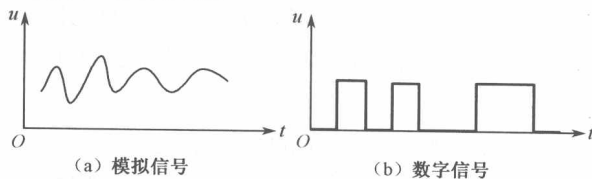


图 1-2 模拟信号与数字信号

必须指出, 模拟信号和数字信号虽是两种不同形式的信号, 但它们在传输过程中是可以相互变换的。模拟信号可以采用模/数转换技术变换为离散的数字信号, 而数字信号也可

以通过数/模转换技术变换为连续的模拟信号。

与模拟通信相比,数字通信具有以下优点:抗干扰性强、保密性好、设备易于集成化和便于使用计算技术对其进行处理等。它的主要缺点是占用的信道频带比模拟通信宽得多,降低了信道的利用率。但随着信道性能的改善,这一问题将会得到解决。

1.2.2 数据通信

数据通信是指由源点产生的数据,通过模拟或数字传输的信道,按照一定的通信协议,形成数据流传送消息的通信方式。从某种意义上来说,数据通信可看成是数字通信的特例,具有数字通信的一切优点。数据通信主要是“人(通过终端)-机(计算机)”通信或者“机-机”通信,它以数据传输为基础,包括数据传输和数据交换,以及在传输前后的数据处理过程。由于数据通信离不开计算机,因此人们常把数据通信与计算机通信这两个名词混用。目前,计算机在各个领域都得到了广泛的应用,因而数据通信有着广阔的应用领域和发展前景。

1.3 数据通信系统及网络

如前所述,数据通信主要是“人-机”通信或“机-机”通信,而数据传输又是实现数据通信的基础。因此,凡是将终端设备与计算机经由模拟或数字传输系统连接起来,并以收集、传输、分配和处理数据为目的的系统都称为数据通信系统。它是实现数据通信的功能性物理实体。

1.3.1 数据通信系统

1. 数据通信系统的组成

数据通信系统的具体组成可以从不同的角度予以不同的描述。从该系统设备级的构成,可认为数据通信系统由以下三个子系统组成:

(1) 终端设备子系统。终端设备子系统由数据终端设备及有关的传输控制设备组成。数据终端设备有数据输入设备和数据输出设备之分,它在数据通信系统中的作用是将发送的信息变换为二进制信号输出,或者把接收到的二进制信号转换为用户能够理解的信息形式。它既具有编码器的功能,又具有解码器的功能。终端设备的形式很多,较常用的有键盘终端、显示器、打印机等。传输控制设备用于数据传输的控制,借助传输控制代码完成线路控制功能,包括通信线路的自动呼叫、自动接通/断开、确认对方的通信状态,以及实现差错控制功能等。智能终端是备有微处理器的、具有一定数据处理能力并能控制数据传输的一种终端设备,但它的主要功能是实现数据转换,而不是完成数据处理。

(2) 数据传输子系统。由传输信道及两端的数据电路终接设备构成。传输信道既可以采用固定连接的专用线路,也可以采用通信网。数据电路终接设备是为数据终端与传输信道之间提供交换和编码功能、以及建立、保持和释放线路连接功能的设备。如调制解调器、信号变换器、自动呼叫和应答装置等。对于不同的传输信道,数据电路终接设备的作用也不同,其要求是实现信号变换,使之适应信道的需求。

(3) 数据处理子系统。指包括通信控制器在内的计算机。通信控制器把来自主计算机

的数据经通信控制器分送给相应的通信线路，或者把来自通信线路的数据经由通信控制器送往主计算机，它是主计算机与各条通信线路之间的“桥梁”。通信控制器的功能包括：线路控制、差错控制、传输控制、报文处理、接口控制、速率变换和多路控制等。计算机主要完成数据处理的任务。

图 1-3 所示为数据通信系统的组成框图。

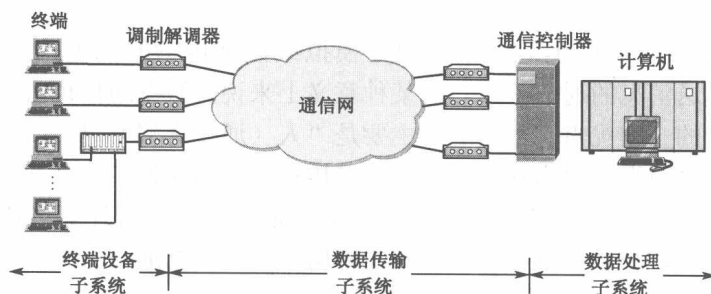


图 1-3 数据通信系统的组成框图

2. 数据通信系统的分类

根据数据传输子系统及终端设备子系统在逻辑上是否与数据处理子系统相连接，可把数据通信系统分为脱机系统和联机系统。脱机系统的工作效率低，只在数据通信发展初期用做非实时处理系统，目前的数据通信系统几乎都是联机系统。

根据数据处理子系统对数据的处理形式不同，数据通信系统又可分为以下三种：

(1) 联机实时系统。指数据处理子系统能够实时地处理终端设备子系统输入的数据，并将处理结果送回的一种数据处理系统。它适用于要求迅速地随机处理实时数据的场合。联机实时系统按不同的应用进行分类，如交互应答系统、数据采集系统和数据分发系统等。

(2) 远程批处理系统。它是接收来自远程的终端设备子系统通过数据传输子系统传来的批量型作业，对其处理后再将处理结果送回指定的远程终端设备子系统的一种数据处理系统。该系统是在通常的批处理系统的基础上，加上远程作业录入程序后形成的。远程作业录入程序具有接收远地作业，并将它列入本地批处理作业队列的功能。

(3) 分时处理系统。它将计算机的时间划分成很短的时间片，由众多的终端设备子系统通过数据传输子系统按时间片共享一个数据处理子系统的一种数据处理系统。此时，用户可以通过各自的终端或控制台，以交互方式操作或控制其作业的运行，共享数据处理子系统的各种硬、软件资源。

3. 数据通信系统的主要性能指标

数据通信系统的性能指标是评估数据通信系统性能和设计数据通信系统的依据。数据通信系统的性能指标主要有两个。

(1) 有效性指标

有效性指标是衡量数据通信系统传输能力的指标。通常用带宽、传输速率和频带利用率等指标来表示。这三个指标本书将在 2.1.3、2.2.2、2.3.3 节详细说明。

(2) 特征性指标

数据通信系统还有一些用来衡量数据通信系统传输质量的指标，这些特征性指标与上述有效性指标有很大的关系。

① 差错率。数据通信的目的是使接收端获得正确的数据，因此，接收端数据的差错程度是衡量数据通信质量非常重要的指标。差错率常用误码率来表示，该指标将在 2.3.2 小节详细说明。

② 可靠性。可靠性是指系统在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。可靠性常用下面两个主要指标来描述。

平均无故障工作时间 MTBF (Mean Time Between Failure)，指系统各部件相邻两次故障的平均间隔时间。一般来说，MTBF 值越大越好。

平均故障维修时间 MTTR (Mean Time To Repair)，指系统发生故障时维修花费的平均时间。一般来说，MTTR 值越小越好。

若一个数据通信系统从工作开始至 T 时刻，共发生过 N 次故障，进行过 N 次维修，每次正常运行时间为 Δt_i ，每次维修时间为 Δt_{Fi} ，则这两个指标可分别表示为

$$MTBF = \sum_{i=1}^N \frac{\Delta t_i}{N} \quad (1-1)$$

$$MTTR = \sum_{i=1}^N \frac{\Delta t_{Fi}}{N} \quad (1-2)$$

式中， $\sum_{i=1}^N \Delta t_i$ 为系统无故障工作总时间； $\sum_{i=1}^N \Delta t_{Fi}$ 为系统故障维修总时间。

对数据通信系统而言，在整个生命周期内都需要持续工作。可靠性定量特征的描述用系统有效度更为确切。所谓系统有效度 (A) 是指“系统在规定条件下和规定时间内，维持规定功能的概率”，它反映了系统平均无故障工作时间和平均维修时间及它们之间的关系。其表达式为

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1-3)$$

影响可靠性的因素很多，主要有设备可靠性、信道质量、操作人员水平和工作态度等。

③ 通信建立时间。通信建立时间是反映数据通信系统同步性能的一个指标，该指标应尽可能短。对于间歇性通信或瞬间通信而言，此项指标尤为重要。

④ 适应性。适应性是指系统对外界条件变化的适应能力。例如，对环境温度、湿度、电源等变化范围以及震动、冲击等条件的适应能力。

⑤ 使用维修性。使用维修性是指操作与维修是否简单方便。系统应具有必要的性能显示及自动故障检测报警功能，以便及时且迅速地排除故障。与此同时，还要求系统的体积小、重量轻。

⑥ 经济性。经济性就是通常所说的性能价格比指标。性能价格比是性能与价格的比值，此值越大越好。此项指标除与设备本身的生产成本有关外，还与频带利用率、信号功率利用率等技术性能有关。

⑦ 标准性。系统的标准性是缩短研制周期、降低生产成本、利于用户选购、便于维修的重要措施。采用国际标准的设计理念，更有利于系统升级换代，也易得到技术上的支持。

1.3.2 数据通信网络

在数据通信系统中，任意两台终端设备之间进行直接连接是不切实际的，原因是：

(1) 当两个设备之间相距很远。如数百千米乃至数千千米时，要在两者之间架设一条

专用线路，投资相当可观，而使用效率又不可能很高。

(2) 若一数据通信系统中设有多台终端设备，要在每一对设备之间都建立专用线路彼此相连，这也是不切实际的。

解决这一问题的有效办法是将所有设备连接到一个通信网络上。就是说，数据通信系统中的数据传输子系统实际上是一个数据通信网络。这个通信网络是由一些处于不同地理位置的数据传输设备、数据交换设备和通信线路等构成的，其作用是使网上任意两结点之间都能正确、快速地传送数据和交换数据。数据通信网络的示意图如图 1-4 所示。

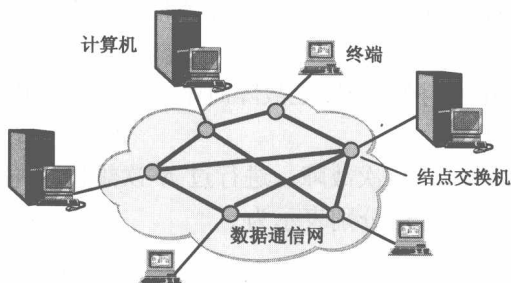


图 1-4 数据通信网络的示意图

数据通信网络由硬件和软件两个部分组成。硬件部分包括数据传输设备、数据交换设备和通信线路等。软件部分则是支持上述硬件配置实现网络协议功能的各种程序。在数据通信网络中，结点交换机完成数据存储转发的任务，计算机或终端通过结点交换机的中间转递作用使其成对地进行数据交换。

数据通信网络按照覆盖的物理范围可分为以下 3 种主要类型。

数据通信网络按照覆盖的物理范围可分为以下 3 种主要类型。

1. 广域网

广域网通常是指覆盖范围很广的远程网络，它由一些结点交换机以及连接这些交换机的链路组成。结点交换机只提供交换功能，将数据从一个结点交换机传送到另一个结点交换机，直至到达终点。为了提高网络的可靠性，一个结点交换机往往与多个结点交换机相连接。因此就网络拓扑结构而言，广域网属于网格形。由于覆盖范围广，距离远，广域网一般由国家或大公司出资组建。

广域网曾采用过电路交换技术。为了提高交换信息的速度，又提出了帧中继 FR (Frame Relay) 和异步传输模式 ATM (Asynchronous Transfer Mode)。目前，广域网采用分组交换技术。

2. 局域网

局域网是指通过通信线路，把较小地域范围内的各种设备连接在一起的通信网络。它与广域网相比较，其主要区别在于：覆盖范围小，局域网之间相连的设备均属同一单位，传输速率较高。目前应用较普遍的是以太网和无线局域网。

3. 城域网

城域网的地域覆盖范围界于广域网与局域网之间，是一种主要面向企事业用户、可提供丰富业务和支持多种通信协议的公用网络。城域网在网络容量、覆盖范围和容许成本等方面都不及广域网，而在网络环境、传输距离和业务范围等方面则优于局域网。因此，城域网既不同于广域网，又不同于局域网。城域网是广域网和局域网的桥接区，也是底层传送网、接入网和上层各种业务网的融合区，更是未来的四网（指电信网、有线电视网、计算机网和电力线通信网）融合区，因而将以不同背景的技术来构建。

1.4 计算机网络概述

1.4.1 计算机网络的发展过程

通信技术与计算机技术既相互渗透又密切结合，这主要体现在两个方面：①通信技术为多台计算机之间进行信息传输和交换提供了必要的手段；②计算机技术应用于各个通信领域，极大地提高了通信系统的各项性能。这两个方面当然都离不开半导体技术（尤其是大规模集成电路技术）的进展。

计算机网络出现的时间并不长，但其发展速度迅猛，经历了一个从单一计算机网络向互联网发展的过程。

1. 计算机网络的发展过程

20 世纪 40 年代世界上第一台数字电子计算机问世之际，计算机与通信的联系并不密切。早期的电子计算机量少，价高。由于设备高度集中，给用户使用计算机带来诸多不便。为解决这一问题，制造商开发了具有收发功能的终端和电传机。用户可以在终端上输入数据，经通信线路送往远地的计算机，而计算机的计算结果也可以回送给终端用户。这便是计算机与通信相结合的开始。

早期的计算机为了提高资源的利用率，采用批处理的工作方式。为了适应终端与计算机的连接，出现了多重线路控制器（multiline controller），它使得一台计算机可与多台远程终端相连接，如图 1-5 所示。这种以单个计算机为中心的远程联机系统称为面向终端的计算机通信网络。当时典型的联机系统有：20 世纪 50 年代设计并投入使用的美国空军半自动地面防空系统 SAGE，60 年代建立的美国航空公司飞机票预订系统 SABRE-1。

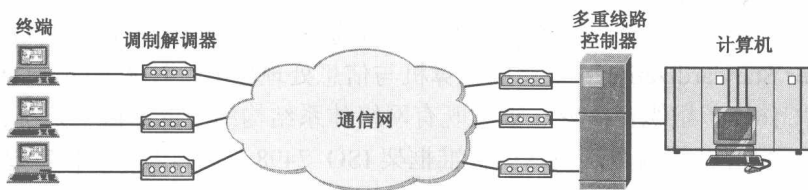


图 1-5 采用多重线路控制器的计算机网络

在远程联机系统中，随着所连接的远程终端个数的增多，计算机与远程终端的通信对成批数据处理构成很大的额外开销，因而出现了前置处理机 FEP（Front End Processor，简称前端机）取代多重线路控制器来完成全部通信任务，而让主机（即原来的计算机）专门进行数据处理，显然这将提高主机数据处理的效率。另外，远程终端数量的不断增多，将使通信费用随之增加，为了节省通信费用和提高线路的利用率，通常在终端较密集处设置集中器或复用器。

20 世纪 60 年代后期开始出现将多台主计算机通过通信线路互连构成的计算机网络。在这种结构模式中，主计算机承担着数据处理和通信双重任务。为了提高主计算机数据处理的效率，又专门设立通信控制处理机 CCP（Communication Control Processor）来负责网上各主计算机之间的通信控制和通信处理任务，而主计算机仅负责数据处理，如图 1-6 所示。各 CCP 构成的通信子网构成整个网络的内层，主计算机和终端构成资源子网，成为整个网络的外层。通信子网为资源子网提供信息传输服务。没有通信子网，整个网络无法工作；而没

有资源子网，通信子网也将失去存在的意义，只有两者结合才能构成统一的资源共享的层次式网络。这样，用户不仅共享通信子网的资源，而且还共享资源子网中的软件和硬件资源。

这种以通信子网为中心的典型代表是 ARPA 网（ARPANET）。ARPA 网是美国国防部高级研究计划局 DARPA（Defense Advanced Research Project Agency）为促进对新型计算机网络的研究，于 1969 年 12 月建成的一个具有 4

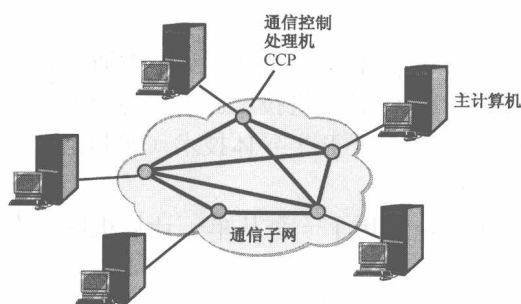


图 1-6 具有通信子网的计算机网络

个结点的实验性网络。在 ARPA 网中，运行用户应用程序的主计算机称为主机，负责通信控制处理的 CCP 称为接口报文处理机 IMP（Interface Message Processor）。IMP 和与其互连的通信线路构成通信子网，通过通信子网互连的主计算机向网络提供可共享的软硬件资源，并构成资源子网。IMP 之间以存储转发方式传送信息，其存储转发信息的单位称为分组

（packet）。因此，以存储转发方式传送分组的通信子网又称为分组交换网。在 ARPA 网中，IMP 是实现分组交换的结点，通常由小型机或微型机来实现。为了区别于主机，常称其为结点机。以 ARPA 网为先例，在 20 世纪七八十年代，英国、法国、日本和加拿大等发达国家都相继建成了计算机网络。我国计算机网络的建设也是在 80 年代初起步的。

计算机网络产生了很好的经济效益和社会效益。但是，它的根本性不足是没有统一的网络体系结构，使得不同制造商生产的计算机及网络互连起来十分困难。这个问题在 20 世纪 70 年代后期就引起了人们的重视。一些著名的计算机公司（如 IBM、DEC）相继推出了自己的网络体系结构，以及实现该网络体系结构的软、硬件产品。这样，用户只要购买该公司的网络产品，自备或租用通信线路，就可以达到组建或扩建计算机网络的目的。由此可见，要实现不同体系结构计算机网络的互连，客观上要求计算机网络体系向标准化方向发展。

1977 年，为适应计算机网络向标准化发展的趋势，国际标准化组织 ISO（International Organization for Standardization）下属的计算机与信息处理标准化技术委员会 TC97 成立了一个分委员会 SC16。该组织在研究、吸收既有网络体系结构经验的基础上，提出了一个试图使各种计算机在世界范围内互连成网的标准框架 ISO 7498（我国的相应标准是 GB 9387），即著名的“开放系统互连基本参考模型 OSI/RM（Open System Interconnection/ Reference Model）”。这里，“开放”意指只要遵循 OSI 标准，一个系统就可以与位于世界上任何地方，也遵循同一标准的其他任何系统进行通信；“系统”是指在现实的系统中与互连有关的各个部分。因此，OSI/RM 是一个抽象的概念。OSI 模型已被国际社会普遍接受，被认为是一个标准化的框架结构。

然而，在贯彻执行 OSI 标准的过程中，OSI 未能取得预想的应用前景。到 20 世纪 90 年代初，虽然整套 OSI 国际标准都已制定出来，但由于 TCP/IP 协议族已成为占主导地位的商用体系结构，通过了广泛的测试，并在因特网（Internet）中得到广泛的应用，这样就出现了 TCP/IP 胜过 OSI 的局面。因此，得到最广泛应用的不是国际标准 OSI，而是非国际标准 TCP/IP。TCP/IP 被认为是事实上的国际标准。

人们从生活实践中逐渐认识到计算机网络的发展潜力，以及它对我们工作和生活的各个方面的影响。在 20 世纪 70 年代中期，人们意识到多个计算机网络间的资源共享问题。也就是说，把多个计算机网络通过路由器互连起来，构成一个覆盖范围更大的网络，俗称互联