



高等学校规划教材

# 数据通信与计算机网络

(第5版)

◎ 杨心强 陈国友 编著



中国工信出版集团



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

# 数据通信与计算机网络

## (第5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

本书是解放军陆军工程大学(原解放军理工大学)优秀教学成果,自1998年首次出版以来,曾于2002、2007和2012年分别出版了修订版。本次改版是在原有教材的基础上,根据教学大纲的要求以及数据通信和计算机网络的最新进展,进行了必要的调整、增补和修改,以适应当前教学的需要。

全书共12章。第1章是全书的概述。第2~4章较全面介绍数据通信基本知识、数据传输信道和数据传输技术。第5~9章重点介绍计算机网络的物理层、数据链路层(含局域网)、网络层、传输层和应用层。第10章介绍因特网的多媒体应用服务。第11章介绍无线网络。第12章介绍网络安全。各章均附有丰富的习题。附录A是部分习题参考答案,附录B是英文缩写词。为了便于教学,本书还提供可修改的电子课件。

本书可作为高等学校(含军事院校)计算机、通信、自动化、机电等工科专业教材,对工程技术人员也有参考价值。

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. —5版. —北京:电子工业出版社,2018.2

ISBN 978-7-121-33082-7

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. ①TN919 ②TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第285652号

策划编辑:章海涛

责任编辑:裴杰

印刷:北京季蜂印刷有限公司

装订:北京季蜂印刷有限公司

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:787×1092 1/16 印张:25.75 字数:650千字

版次:1998年1月第1版

2018年2月第5版

印次:2018年6月第2次印刷

定价:52.00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)88254888,88258888。

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。

本书咨询联系方式:192910558(QQ群)。

# 前 言

本教材是解放军陆军工程大学(原解放军理工大学)优秀教学成果,前四版(1998, 2003, 2007, 2012)均按照中国计算机学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。

本教材讲授数据通信与计算机网络的基本原理和有关技术。这次改版对于较为成熟和稳定的内容基本上未作较大的修改。考虑到数据通信与计算机网络技术发展很快,在新版教材中删除或简化了比较陈旧的内容,同时增写了不少新的内容,对重点内容适当地增加了一些习题,以适应教学的要求。

本版教材在内容编排上较前版有所调整。全书共 12 章。

第 1 章概述,着重介绍因特网的发展过程,增写了因特网交换点 IXP 的概念,并在介绍云计算时增写了大数据。

第 2 章数据通信基础知识。

第 3 章数据传输信道,增写了塑料光纤和散射传输。

第 4 章数据传输技术,将脉冲编码调制技术一节改写成模拟信号数字化的传输技术。

第 5~9 章是按照计算机网络五层体系结构进行介绍的。

第 5 章物理层,将基于五类线以太网接入技术改写为基于五/六类线的以太网接入技术。

第 6 章数据链路层,增写了 PPPoE 协议和网络适配器,简化了在物理层扩展以太网,改写了在数据链路层扩展以太网。

第 7 章网络层,增写了多协议标记交换 MPLS、移动 IP 及其协议和移动 IPv6。

第 8 章传输层,改写了 TCP 拥塞控制,增写了主动队列管理 AQM。

第 9 章应用层,增写了博客、微博、轻博和微信,取消了文件传送协议和远程登录协议 TELNET,把多媒体应用服务一节单独成第 10 章。

第 10 章因特网的多媒体应用服务,增写了服务质量的改进和 P2P 的流媒体应用服务的内容。

第 11 章无线网络,增写了蜂窝移动通信网。

第 12 章计算机网络的管理和安全,取消了加密策略,改写了两种密码体制的密钥分配和防火墙的主要类型,还增写了入侵检测系统。

各章末均附有习题。书后还有两个附录,附录 A 是部分习题参考答案,附录 B 是英文缩写词。为了便于教学,本书提供的可修改电子课件,请读者在电子工业出版社华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)注册下载。

本教材的参考学时为 60~70 学时。在课程学时数较少的情况下,可选用最基本的内容(在目录的相应章节前附有“\*”号)。

本教材的第 1~4、6~8、10~12 章由杨心强编写,第 5、9 章由陈国友编写。最后由杨心强负责统稿和全书的定稿。

本教材的特点是概念清楚、论述严谨、内容充实、图文并茂。此书将数据通信和计算机

网络两门课程融为一体，用通俗的语言，阐述了数据通信与计算机网络的基本概念和基本原理，同时也力求反映一些最新进展。

本教材可作为高等学校（含军事院校）计算机或通信以及其他有关专业的本科生教材，也可作为职业教育相关专业的参考教材，对从事数据通信和计算机网络工作的工程技术人员也有学习参考价值。

在本教材修改过程中，解放军陆军工程大学通信工程学院经文浩高工、王传风高工以及原工信部第 14 研究所的杨玮、朱晔都参与了本书的部分章节的编写，解放军陆军工程大学谢希仁教授提供了宝贵的资料。王丽辛高工为本书图稿的绘制给予了积极的支持和指导。对此，作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编者的电子邮件地址：[yang\\_xinqiang@163.com](mailto:yang_xinqiang@163.com)（来信时务请注明真实姓名、单位、通信地址和联系电话、邮编）。

作者

于南京·解放军陆军工程大学

# 反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E - m a i l: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

# 目 录

第 1 章 概述	1	*2.2 传输方式和传输速率	40
1.1 数据通信概述	1	2.2.1 传输方式	40
1.2 数据通信系统	2	2.2.2 传输速率	42
*1.2.1 数据通信系统的模型	2	2.2.3 频带利用率	43
1.2.2 数据通信系统的组成	3	*2.3 传输损伤和传输质量	44
1.2.3 数据通信系统的分类	4	2.3.1 传输损伤	44
*1.2.4 数据通信系统的主要性能指标	4	2.3.2 传输质量	44
1.3 数据通信网络	6	2.4 通信编码	48
1.4 计算机网络概述	7	习题 2	50
*1.4.1 计算机网络的发展过程	7	第 3 章 数据传输信道	51
*1.4.2 因特网的组成	10	*3.1 信道概述	51
1.4.3 计算机网络的定义及类别	12	3.1.1 信道概述	51
1.4.4 计算机网络的功能及应用	13	3.1.2 信道容量的计算	52
*1.4.5 计算机网络的性能指标	14	*3.2 传输介质	54
*1.5 计算机网络的体系结构和模型	17	3.2.1 导引型传输介质	54
1.5.1 层次型的体系结构	17	3.2.2 非导引型传输介质	59
1.5.2 计算机网络的模型	19	习题 3	66
1.5.3 若干重要概念	22	第 4 章 数据传输技术	68
1.6 标准及其制定机构	26	4.1 模拟信号数字化传输技术	68
1.6.1 标准	26	*4.1.1 模拟信号的抽样	68
1.6.2 标准制定机构	26	*4.1.2 抽样模拟信号的量化	70
*1.7 发展趋势	28	*4.1.3 脉冲编码调制 (PCM)	71
1.7.1 泛在网络和泛在计算	28	4.1.4 差分脉冲编码调制 (DPCM)	73
1.7.2 新信息服务和信息工具	30	4.1.5 自适应差分脉冲编码调制 (ADPCM)	73
1.7.3 云计算和大数据	31	4.2 数字基带传输技术	73
1.7.4 下一代网络	32	4.2.1 基带传输对信号的要求	74
1.7.5 网络融合	33	*4.2.2 基带信号的波形及其传输码型	74
习题 1	33	4.3 数字频带传输技术	78
第 2 章 数据通信基础知识	36	*4.3.1 基本数字调制技术	79
2.1 消息和信息、数据和信号	36	4.3.2 正交幅度调制	87
2.1.1 消息和信息	36	*4.3.3 幅相混合调制	87
2.1.2 信号	37	4.3.4 正交频分复用调制	89
2.1.3 数据	39		

4.4 信道访问技术	89	5.5.4 光纤接入技术	136
4.4.1 轮询访问技术	90	习题 5	137
*4.4.2 争用访问技术	91	<b>第 6 章 数据链路层</b>	138
*4.5 信道复用技术	94	*6.1 数据链路层概述	138
4.5.1 频分复用	94	*6.2 点对点信道的 3 个基本问题	139
4.5.2 波分复用	95	6.2.1 帧定界	139
4.5.3 时分复用	97	6.2.2 透明传输	141
4.5.4 码分复用	99	6.2.3 差错检测	142
4.6 同步控制技术	101	*6.3 点对点信道的数据链路层协议	142
4.6.1 载波同步	101	6.3.1 PPP 和 PPPoE 协议	142
*4.6.2 位同步	102	6.3.2 PPP 和 PPPoE 协议的帧格式	143
4.6.3 群同步	103	6.3.3 PPP 协议的状态图	144
4.6.4 网同步	104	6.4 广播信道的数据链路层	145
4.7 数据交换技术	107	*6.4.1 局域网概述	145
4.7.1 电路交换	107	*6.4.2 局域网的体系结构	147
4.7.2 报文交换	108	6.4.3 IEEE 802 标准	148
*4.7.3 分组交换	108	*6.5 使用广播信道的以太网	148
*4.8 差错控制技术	110	6.5.1 以太网概述	148
4.8.1 差错控制概述	110	6.5.2 以太网的 MAC 子层	150
4.8.2 差错检测	112	6.5.3 CSMA/CD 协议	151
4.8.3 差错纠正	116	6.5.4 以太网的信道利用率	153
习题 4	117	*6.6 扩展的以太网	154
<b>第 5 章 物理层</b>	120	6.6.1 在物理层扩展以太网	155
*5.1 物理层概述	120	6.6.2 在数据链路层扩展以太网	156
*5.2 物理层接口特性	120	*6.7 高速以太网	160
5.2.1 机械特性	121	6.7.1 100Base-T 以太网	160
5.2.2 电气特性	121	6.7.2 吉比特以太网	160
5.2.3 功能特性	122	6.7.3 10 吉比特以太网	161
5.2.4 规程特性	123	6.7.4 40/100 吉比特以太网	162
5.3 物理层的常用标准	124	习题 6	162
*5.3.1 EIA RS-232	124	<b>第 7 章 网络层</b>	165
5.3.2 EIA RS-449	127	*7.1 网络层概述	165
*5.3.3 RJ-45	128	7.1.1 虚拟互连网络	165
*5.4 数字传输系统	129	7.1.2 网络层提供的服务	166
*5.5 宽带接入技术	132	*7.2 网际协议 IPV4	168
5.5.1 基于五/六类线的以太网接入技术	132	7.2.1 分类的 IP 地址	168
5.5.2 基于铜线的 xDSL 技术	132	7.2.2 划分子网	171
5.5.3 基于混合光纤/同轴电缆的接入技术	134	7.2.3 无分类编址	174



7.2.4	地址解释和地址转换	176	8.3.4	TCP 拥塞控制	249
7.2.5	IP 数据报的格式	181	8.3.5	TCP 连接管理	255
7.2.6	IP 层的分组转发机制	185	习题 8		260
*7.3	因特网的路由选择协议	189	<b>第 9 章 应用层</b>		264
7.3.1	路由选择协议概述	189	9.1	应用层概述	264
7.3.2	内部网关协议	191	*9.2	域名系统	265
7.3.3	外部网关协议	197	9.2.1	概述	265
7.3.4	路由选择的关键部件——路由器	198	9.2.2	因特网的域名结构	266
*7.4	网际控制报文协议 ICMPv4	199	9.2.3	域名服务器	268
7.5	多协议标记交换 MPLS	202	9.2.4	域名解析	269
7.5.1	MPLS 概述	202	*9.3	万维网	271
7.5.2	MPLS 的基本原理	203	9.3.1	概述	271
7.5.3	MPLS 的首部和格式	206	9.3.2	统一资源定位符 URL	272
7.6	IP 多播及其协议	207	9.3.3	超文本传送协议 HTTP	273
7.6.1	IP 多播概述	207	9.3.4	超文本标记语言 HTML	277
7.6.2	局域网 IP 多播	208	9.3.5	万维网的文档	279
7.6.3	因特网 IP 多播协议	209	9.3.6	万维网的信息检索	281
*7.7	移动 IP 及其协议	211	9.3.7	博客、微博和轻博	282
7.7.1	移动 IP 概述	211	9.3.8	社交网站	283
7.7.2	移动 IP 的基本原理	212	*9.4	电子邮件	285
7.7.3	移动 IP 的几个问题	214	9.4.1	概述	285
*7.8	下一代因特网的网络层协议	215	9.4.2	电子邮件的格式	286
7.8.1	网际协议 IPv6	215	9.4.3	简单邮件传送协议 SMTP	287
7.8.2	网际控制报文协议 ICMPv6	223	9.4.4	邮件读取协议 POP3 和 IMAP4	289
7.8.3	移动 IPv6	224	9.4.5	通用因特网邮件扩充协议 MIME	289
习题 7		225	9.4.6	基于万维网的电子邮件	292
<b>第 8 章 传输层</b>		230	*9.5	动态主机配置协议 DHCP	292
*8.1	传输层概述	230	9.6	应用进程间的通信	294
8.1.1	传输层的基本功能	230	9.6.1	系统调用	294
8.1.2	传输层的协议	231	9.6.2	应用编程接口	295
8.1.3	传输层的服务	232	习题 9		296
8.1.4	传输层的端口	232	<b>第 10 章 因特网的多媒体应用服务</b>		298
*8.2	用户数据报协议 UDP	234	*10.1	多媒体应用服务概述	298
8.2.1	UDP 概述	234	10.1.1	多媒体信息的传输特性	298
8.2.2	UDP 报文的格式	234	10.1.2	音频/视频服务的分类	300
*8.3	传输控制协议 TCP	236	10.1.3	音频/视频信号的数字化和压缩	300
8.3.1	TCP 概述	236	10.2	流式存储音频/视频	302
8.3.2	TCP 报文段的格式	237	10.2.1	具有元文件的万维网服务器	302
8.3.3	TCP 传输控制	239			

10.2.2	媒体服务器	303	11.5.1	蜂窝移动通信概述	349
10.2.3	实时流式协议 RTSP	304	11.5.2	蜂窝移动通信系统	350
*10.3	实时交互音频/视频	305	11.5.3	移动用户在蜂窝移动通信网中的 漫游通信	353
10.3.1	IP 电话的基本原理	305	11.5.4	无线应用协议 WAP	355
10.3.2	IP 电话的关键技术	306	习题 11		357
10.3.3	IP 电话的信令标准	307	<b>第 12 章 计算机网络的管理和安全</b>		<b>359</b>
10.3.4	实时传输协议 RTP	310	*12.1	计算机网络的管理	359
10.3.5	实时传输控制协议 RTCP	312	12.1.1	网络管理概述	359
*10.4	服务质量的改进	314	12.1.2	网络管理的一般模型	359
10.4.1	服务质量概述	314	12.1.3	网络管理的体系结构	360
10.4.2	改进服务质量的几种机制	314	12.1.4	ISO 的网络管理功能	361
10.4.3	综合服务	317	*12.2	简单网络管理协议 SNMP	362
10.4.4	区分服务	319	12.2.1	管理信息结构	363
10.5	P2P 的流媒体应用服务	321	12.2.2	管理信息库	365
10.5.1	P2P 流媒体应用服务概述	321	12.2.3	SNMP 报文和协议数据单元	366
10.5.2	使用 P2P 的几种应用软件	322	*12.3	计算机网络的安全	368
10.5.3	P2P 分发文件的分析	324	12.3.1	计算机网络面临的安全威胁	368
习题 10		325	12.3.2	计算机网络的安全性需求	369
<b>第 11 章 无线网络</b>		<b>327</b>	*12.4	加密模型和密码体制	370
11.1	无线局域网	327	12.4.1	数据加密通信的模型	370
*11.1.1	无线局域网概述	327	12.4.2	对称密钥密码体制	371
11.1.2	802.11 局域网物理层	330	12.4.3	公开密钥密码体制	373
*11.1.3	802.11 局域网的 MAC 层协议	331	*12.5	网络安全策略	374
*11.1.4	802.11 局域网的 MAC 帧	336	12.5.1	密钥分配	374
11.1.5	802.11 提供的服务	337	12.5.2	鉴别	376
11.2	无线个域网	338	12.5.3	数字签名	378
11.2.1	蓝牙技术	338	12.5.4	防火墙与入侵检测	379
11.2.2	低速无线个域网	339	12.6	因特网的安全协议	382
11.2.3	高速无线个域网	342	12.6.1	网络层安全协议	382
11.3	无线城域网	343	12.6.2	传输层安全协议	385
11.3.1	无线城域网概述	343	12.6.3	应用层安全协议	387
11.3.2	IEEE 802.16 标准	344	习题 12		389
11.4	其他无线网络	346	<b>附录 A 部分习题参考答案</b>		<b>391</b>
11.4.1	无线传感器网	346	<b>附录 B 英文缩写词</b>		<b>392</b>
11.4.2	无线网格网	347	<b>参考文献</b>		<b>402</b>
*11.5	蜂窝移动通信网	349			

# 第 1 章 概 述

本章是全书的概要，分为两个部分。第一部分是数据通信，介绍数据通信的基本概念及模型，数据通信系统的组成、主要性能指标和数据通信网络。第二部分是计算机网络，先介绍计算机网络的发展过程，因特网的组成，计算机网络的定义、类别、功能和性能指标。然后讲述计算机网络的体系结构和模型、若干重要概念和标准及其制定机构。最后是发展趋势。

必须指出，本章中计算机网络体系结构的内容比较抽象。在还没有了解具体的计算机网络之前，可能难以完全理解这些知识。但这些知识将是学习后续章节的基础，建议在学习后续章节时，经常重温这些知识，这对全面掌握计算机网络的概念是很有帮助的。

## 1.1 数据通信概述

通信 (communication) 是指人与人或人与自然之间通过某种行为或媒体进行的信息交流与传递。不同的环境对通信有着不同的解释，在出现电波传递信息后，通信被单一解释为信息的传递，是指由一地向另一地进行信息的传输与交换的过程，其目的是传递消息 (message) 中包含的信息 (information)。目前，通信方式主要有两类：一类是利用人力或机械的方式传递信息，如邮政；另一类是利用电 (包括电流、电波或光波) 传递信息，即电信 (telecommunication)，它具有迅速、准确、可靠等特点，几乎不受时间、地点、空间、距离的限制，因而得到了飞速发展和广泛应用。

通信传递的消息有多种形式，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 1-1 (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 1-1 (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。

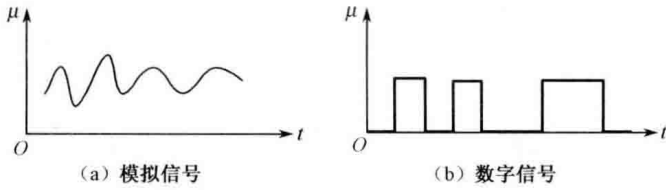


图 1-1 模拟信号与数字信号

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。

数据通信是通信技术和计算机技术相结而产生的一种新的通信方式。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“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。

## 1.2 数据通信系统

### \*1.2.1 数据通信系统的模型

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。数据通信系统的模型如图 1-2 所示。

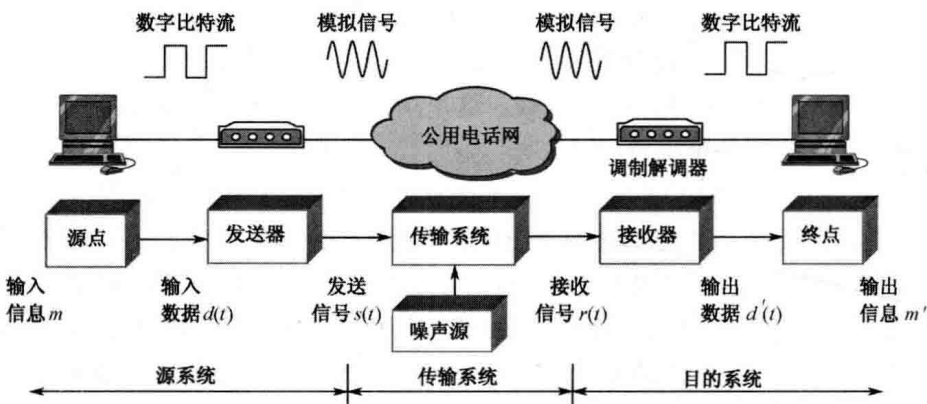


图 1-2 数据通信系统的模型

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 1-2 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，如果传输系统能够传送数字信号，那么 PC 产生的比特流就没有必要转换成模拟信号，可以直接传输。

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：数据通信系统模型对数据通信系统的描述是具有代表性的，它为数据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，还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。

## 1.2.2 数据通信系统的组成

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。

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 3 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，其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。集中器是设置在远程终端较密集处的一种传输控制设备，它的一端用多条低速线路与各终端设备相连，其另一端则用一条较高速率的线路与数据传输子系统相接。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。

(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務。

图 1-3 为数据通信系统的组成框图。

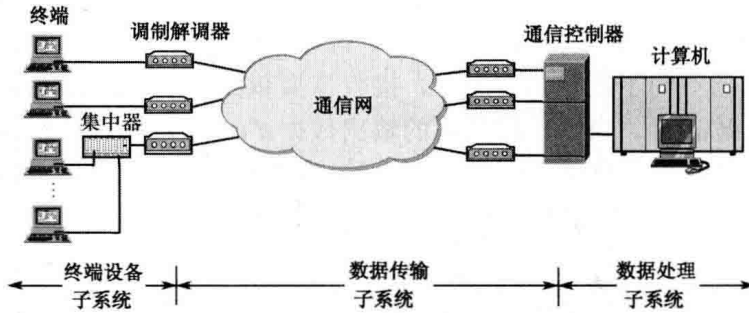


图 1-3 数据通信系统的组成框图

### 1.2.3 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作非实时处理系统，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 3 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送来的批量型作业，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。

### \*1.2.4 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, 详见 2.1.2、2.2.2 和 2.2.3 节。

## 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, 详见 2.3.2 节。

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), 指系统发生故障时需要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它工作开始至  $T$  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  $\Delta t_i$ , 每次维修时间为  $\Delta t_{Fi}$ , 则这两个指标可分别表示为

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

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

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。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。此项指标除了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 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。换言之，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。

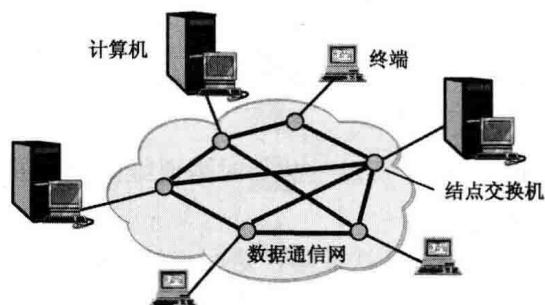


图 1-4 数据通信网络的示意图

数据通信网络由硬件和软件两个部分组成。硬件部分包括计算机和数据终端设备、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。

数据通信网络的分类方法有多种，最通用的是按照其覆盖的地理范围划分为以下 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。因而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，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。多数局域网通常都通过主干网络 BN (Backbone Network) 连接到广域网，主干网络的传输速率更高，覆盖范围更广。

### 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

计算机网络是通信技术与计算机技术密切结合的产物，同时这两种技术又都离不开半导体技术（尤其是大规模集成电路技术）的飞速发展。

计算机网络出现的时间并不长，但其发展速度迅猛，其经历的过程如下。

#### 1. 由互联网到因特网的发展过程

计算机网络的发展经历了由单一计算机网络向互联网发展的过程。

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，构成了一个覆盖范围更大的网络，俗称互联网，通常用 Internet 来表示。其实，互联网是“网络的网络（network of networks）”，互联网是一个通用名词，泛指由多个计算机网络互连而成的计算机网络，在这些网络之间采用的通信协议（即通信规则）是可以任意选择的。图 1-5 是互联网的概念示意图。

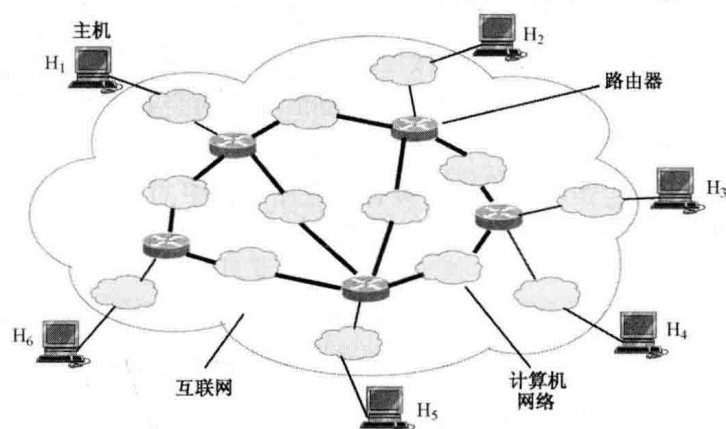


图 1-5 互联网的概念示意图

因特网是指当前全球最大的、开放的、由众多网络相互连接而成的特定互联网，通常用 Internet 来表示，它采用 TCP/IP 协议族作为通信规则，其前身是美国的 APRANET。因特网的基础结构大体上经历了 3 个阶段的演进。这 3 个阶段在时间上并非截然分开而是有部分重叠的。

第一阶段是从单个 APRA 网向互联网发展的阶段。早在 20 世纪 60 年代后期，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，就着手研制 ARPA 网。ARPA 网最初只是一个单独的分组交换网，并不是互联网。20 世纪 70 年代中期，ARPA 又开始研究多种网络的互连技术，这就导致互连网络的出现，是现今因特网的雏形。1983 年 TCP/IP 协议成为 ARPANET 上的标准协议，使得所有使用 TCP/IP 协议的计算机都能利用互联网相互通信。1990 年，ARPANET 正式宣布关闭，因为它的实验任务业已完成。

第二阶段是构建成三级结构的因特网。从 1985 年起，美国国家科学基金会 NSF