

新世纪计算机专业系列教材

计算机 网络教程

王全民 柴实生 李丽珍 编著



科学出版社

新世纪计算机专业系列教材

计算机网络教程

王全民 柴实生 李丽珍 编著

科学出版社

2002

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了计算机网络系统的理论、技术和应用,并介绍了网络的最新发展动态。全书共10章。第1、2章介绍数据通信基础和网络体系结构;第3、4章分别介绍局域网、广域网技术;第5章介绍网络互连技术;第6章介绍虚拟局域网、虚拟专用网;第7章介绍网络管理与网络安全;第8章介绍网络操作系统和应用编程接口;第9章介绍网络系统集成;第10章介绍网络应用与发展。每章都附有思考与习题。

本书可作为高等院校本科生或研究生的计算机网络课程的教材,也可供从事计算机网络及其应用方面的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络教程/王全民,柴实生,李丽珍编著. —北京:科学出版社,2002
(新世纪计算机专业系列教材)
ISBN 7-03-010742-X

I. 计… II. ①王…②柴…③李… III. 计算机网络—高等学校—教材
N. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 059524 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2002年8月第一次印刷 印张:23 1/2

印数:1—4 000 字数:533 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

新世纪计算机专业教材

编委会

顾问编委

施伯乐教授	复旦大学
白英彩教授	上海交通大学

主 任

左孝凌教授	上海交通大学
-------	--------

编 委

刘 璟教授	南开大学
宋方敏教授	南京大学
何炎祥教授	武汉大学
余雪丽教授	太原理工大学
阮家栋教授	上海工程技术大学
顾训穰教授	上海大学
徐汀荣教授	苏州大学
曾 明教授	西安交通大学
曹元大教授	北京理工大学
曹文君教授	复旦大学
陶树平教授	同济大学
缪淮扣教授	上海大学
谢康林教授	上海交通大学

总 序

20 年来, 计算机学科的发展日新月异, 促使现代科学在各个领域突飞猛进。目前, 计算机科学技术已应用在实时控制、信息处理、通信传输、企事业管理等领域, 成为人们工作、学习、生活必不可少的工具。计算机技术的发展瞬息万变, 具有以下三方面特点:

(一) 传统的工、理、文、医、商、农在计算机的应用方面都有着各自专业的需要, 例如, 经济、艺术、法律、管理、医学等各种学科都需要依赖于计算机技术的应用。除了各自领域的专业实践外, 应用计算机已是各个专业提高效率、发挥潜能、促进发展的必不可少的手段。因此现在很难用传统的工、理、文、医、商、农等去界定学科的分类。

(二) 计算机网络改变了计算机通信的时空距离。计算机应用的发展是与计算机网络的发展紧密相连的。从最初的局域网 (LAN) 到广域网 (WAN), 以至用一种新的方法将 LAN 和 WAN 互联起来, 即成为网际网 (Internetwork)。这种网际网的实验原型 Internetwork, 通常缩写为 Internet。计算机网格将计算机互连起来, 从而使计算机之间可以交换信息, 而且这种信息交换可以在几分钟内就影响到世界各地。计算机网络的发展, 带动了计算机学科在很多领域的拓展。

(三) 现代计算机学科向综合性发展。计算技术发展伊始, 每种学科均以软硬件分类, 泾渭分明。但自网络发展以来, Internet 软件中的两部分变得特别重要和特别具有开创性, 即网际协议 (Internet Protocol, 简称 IP) 和传输控制协议 (Transmission Control Protocol, 简称 TCP)。这些协议是必不可少的软件系统。但是在网络系统中, 网络的互连必须依靠路由器、服务器、接口插座、调制解调器等硬件设施, 所以计算机网络很难归结为软件或硬件的单一体系。

随着计算机技术的发展, 计算机与通讯、视频、声音等密不可分; 随着多媒体的发展和应用, 计算机科学已经愈来愈成为与数字传输、视频、声、光、电等综合的学科。

尽管计算机技术的发展如此神速、新异, 但像一切新学科的发展一样, 计算机教育水平仍滞后于计算机技术的发展。为了适应计算机教学改革的需要, 我们国内部分重点院校的教授、学者, 在科学出版社的积极鼓励和支持下, 成立了新世纪计算机专业教材编委会。自 2000 年 10 月以来, 我们群策群力, 多次探讨了当前教育与技术进展之间的差距, 并且仔细研讨了美国 ACM/IEEE-CS 公布的 *Computing Curricula 2001* 的优点与不足, 结合我国计算机教育的实际情况, 提出了编著一套适用于计算机本科专业的励精图治的教材计划。这套教材的选题、定位乃至作者的遴选, 都得到了国内很多著名教授和学者的认同, 并且有很多选题都争取到了一些著名教授亲自参与编写。这套教材立意着重基础, 反映导向, 注重实践。

因此我们在基础课目方面, 首先列选了数据库原理、操作系统、编译程序原理、智能基础等基础教程。这些基础课教材都由一些国内著名学者执笔, 论述内容既注意打好扎实

基础,又注意要反映最新导向,高屋建瓴,使读者迅速接近最新领域。

同时,为了反映导向,我们抓住网络课程作为计算机专业学生的应用基础,编写了一本实用性极强的《计算机网络教程》。这本教材的编著思想是以基础—理论—应用为主线,通信是基础,协议是核心,互连是重点,应用是目标。

其次,为了拓展学生的网络应用本领,我们还安排了电子商务、多媒体应用以及 Web 数据库技术三门应用课程。电子商务和多媒体应用是计算机应用中最为热门的课程,也是拓展性极广的计算机应用领域,应用前景极为广阔。

Web 数据库技术是一种随着互联网技术发展起来的应用技术。它涉及网络、HTTP 协议、Script 语言、动态网页开发平台、远程数据访问技术等各种网络应用技术。目前国内外还无适合教材,因此,编写 Web 数据库技术的教材,可以说是填补了应用领域的一个空白。

在研究美国公布的“计算 2001-CS 教程”中,我们仔细探讨了数据结构这一课程的变化。在“计算 1991 教程”中,数据结构内容明确放在算法与数据结构之中,而“2001-CS 教程”却无数据结构的课程名称,代之以程序设计基础(Programming Fundamentals)。文件中提到了基本数据结构和抽象数据类型以及面向对象的程序设计等内容。从这里可以看出,数据结构是以程序设计基础作为研究对象的。另外该教程把算法与复杂性作为一个单独课程列出,这一方面说明算法是一种问题求解的策略,另一方面也说明基本算法及复杂性的讨论对于程序设计是多么重要。

为此在这套丛书中我们安排了一个软件课程系列,即开设从语言、数据结构、算法到软件工程的课程。首先我们从面向对象的 C++ 语言入手,进一步讲解语言学概论。主要内容是分析语法结构,掌握语言构成规律,读懂语言文本。任何计算机语言均可触类旁通,这种从结构规律来学会应用的方法,就是以不变应万变,因为从根本上说,尽管计算机语言千变万化,但万变不离其宗。在搞通语言基础上,我们组编了数据结构,或者说是研究程序设计基础。然后是学习基本算法,也就是为了程序设计需要,而进行问题求解,即进行常用算法讨论。为了使开发软件遵循工程管理方法,软件工程的学习将是计算机专业学生规范软件开发的必不可少的训练课程。

我们筹组这套丛书时,希望每本教材都有创意,能引起共鸣,能被关注,能被采纳,能被推广。但是我们也注意到,由于各个学校情况不同,各人观点不同,理解角度也有所不同,所以对教材的选用和编著,不易一致认同。不过我们希望这套教材能够反映当前学校动向,在促进学以致用等方面有所促进、有所推动,更希望兄弟院校的教师、学者能够积极使用,参与讨论,以使本套丛书能够不断修改,日臻完善。

最后我要感谢科学出版社的领导对本套丛书的列选、报审、出版所给予的鼓励和支持。

左孝凌

2001 年 7 月 30 日

前 言

计算机网络已经成为 21 世纪驱动社会发展的核心动力之一,在当今的知识经济时代,对人类的政治、经济和文化产生了深远的影响,并将对社会的发展发挥巨大的作用。计算机网络的应用已渗透到社会生活的各个角落,例如电子商务、电子政务、远程教育以及网络信息服务等都架构在计算机网络之上。计算机网络应用之所以能取得今天这样的成就,主要在于它的技术进步和市场需求。计算机网络技术的发展离不开人才,而人才的成长在于培养。为此,为加强网络基础理论的教学,紧密跟踪世界一流技术,本着为教学和产业服务的宗旨,在总结多年教学和网络建设经验的基础上,结合我国的实际情况编写了本书。

第 1 章介绍数据通信的基础,包括传输媒体、信道性能和指标、数据通信的编码、数据的完整性、多路技术与数据交换技术。第 2 章以 OSI 与 TCP/IP 模型为基础,分析了网络的分层体系结构,并对 IEEE 802 及 TCP/IP 协议进行了较详细的介绍。第 3 章介绍局域网技术。主要以 10Mb/s 以太网、100Mb/s 以太网及千兆以太网技术为核心,同时对无线局域网技术作了详细的介绍。第 4 章按照广域网的骨干技术和接入技术顺序,依次介绍 PSTN、帧中继、ATM、SONET/SDH、移动通信、卫星通信技术、ISDN、ADSL 和 Cable Modem 技术。第 5 章按照网络互连的层次,介绍常用的网络互连设备的原理与技术,主要包括中继器、交换机、路由器及三层交换机。第 6 章介绍虚拟局域网、虚拟专用网的原理、技术及实现。第 7 章介绍网络管理与网络安全的原理,主要包括网络管理、SNMP 协议、网络管理工具;网络安全的层次划分和主要的网络安全技术。第 8 章介绍 Linux 网络操作系统与域名服务器,Web 服务器的安装、配置和管理;以及网络应用编程接口 Socket 的原理和编程方法。第 9 章介绍网络系统集成概念和方法,包括网络规划与设计、网络拓扑结构、网络系统集成的硬件系统、软件系统、结构化布线系统等内容。第 10 章介绍网络应用与发展,包括主要网络应用及 IPv6、全光网、下一代 Internet 技术等。

本书与《计算机网络实验教程》配套使用。

本书由王全民、柴实生和李丽珍共同编写。其中第 1、2、8 章由柴实生编写,第 3~5 章由王全民编写,第 6、7、9、10 章由李丽珍编写。全书由余雪丽教授审定。

由于作者水平有限,书中难免存在一些缺点、错误,恳请广大读者批评赐教。

最后,特别感谢余雪丽教授在百忙之中对全书进行了认真的审阅,提出了许多宝贵的意见,同时感谢给予本书大力支持的同事及各位朋友们。

王全民

2002 年 2 月

目 录

1 数据通信基础	1
1.1 数据通信模型	1
1.2 信道性能和指标	2
1.2.1 信道容量与信道传送速率	2
1.2.2 传输误码率	3
1.3 传输媒体	4
1.3.1 光纤	4
1.3.2 双绞线	4
1.3.3 同轴电缆	5
1.3.4 无线传输	5
1.4 数据通信的编码	7
1.4.1 数据帧的编码	7
1.4.2 信道编码	9
1.5 数据的完整性	12
1.5.1 纠错编码	12
1.5.2 校验码与重传机制	13
1.6 多路技术	15
1.6.1 频分多路复用	15
1.6.2 时分多路复用	15
1.6.3 波分多路复用	16
1.6.4 码分多路复用	16
1.7 数据交换技术	16
1.7.1 电路交换	16
1.7.2 报文交换	17
1.7.3 报文分组交换	18
1.7.4 虚电路交换	18
1.7.5 信元交换	19
思考与习题	19
2 网络体系结构	21
2.1 概述	21
2.1.1 网络体系的分层原则	22
2.1.2 网络协议的横向与纵向特征	23
2.2 典型协议模型	25
2.2.1 OSI 协议模型	25
2.2.2 TCP/IP 协议模型	27

2.2.3	两种协议模型的比较	28
2.3	物理层协议	29
2.3.1	OSI 的物理层协议	29
2.3.2	EIA-RS-232C 接口协议	30
2.3.3	EIA-RS-422 接口协议	32
2.4	链路层协议	32
2.4.1	帧同步	32
2.4.2	差错控制	33
2.4.3	流量控制	33
2.4.4	链路管理	34
2.5	数据链路层协议	34
2.5.1	停等协议	34
2.5.2	顺序接收的管道协议	35
2.5.3	选择重传协议和滑动窗口协议	36
2.5.4	HDLC 链路规程	37
2.6	局域网与城域网	40
2.6.1	局域网体系结构	40
2.6.2	局域网的拓扑结构	42
2.6.3	逻辑链路控制子层 LLC	44
2.6.4	媒体访问控制子层 MAC	44
2.6.5	带冲突检测的载波监听多路访问 CSMA/CD	46
2.6.6	令牌环	48
2.6.7	令牌总线	50
2.6.8	分布式队列双总线 DQDB	52
2.7	网络层协议 IP	54
2.7.1	IP 地址的表示	55
2.7.2	IP 地址与物理地址的映射	57
2.7.3	路由表与报文投递	58
2.7.4	路由选择	58
2.7.5	差错与控制协议 ICMP	67
2.8	传输层协议 TCP	69
2.8.1	网络服务与服务质量	69
2.8.2	TCP 的连接管理	70
2.8.3	TCP 的传输管理	73
2.8.4	TCP 的拥塞控制	75
	思考与习题	75
3	局域网技术	77
3.1	局域网体系结构	77
3.1.1	局域网的定义和特性	77
3.1.2	拓扑结构	78
3.1.3	局域网的标准	79
3.1.4	局域网参考模型	80

3.1.5	逻辑链路层控制协议	85
3.2	以太网技术	89
3.2.1	10M 以太网	89
3.2.2	100M 以太网	96
3.2.3	千兆以太网技术	99
3.2.4	交换式以太网	104
3.2.5	以太网络的发展	109
3.3	无线网络技术	111
3.3.1	无线局域网	111
3.3.2	体系结构	112
3.3.3	蓝牙技术	114
	思考与习题	115
4	广域网技术	116
4.1	广域网技术概述	116
4.1.1	广域网标准	116
4.1.2	广域网参考模型	116
4.1.3	实现模型	117
4.1.4	通信链路	118
4.2	公用交换电话网	118
4.2.1	概述	118
4.2.2	计算机交换机	119
4.2.3	调制解调器	121
4.3	帧中继网	125
4.3.1	概述	125
4.3.2	帧中继协议	125
4.3.3	物理层协议	126
4.3.4	数据链路层协议	127
4.3.5	帧中继呼叫控制	128
4.4	ATM	130
4.4.1	基本概念	130
4.4.2	ATM 高层	132
4.4.3	ATM 适配层	132
4.4.4	ATM 层	133
4.4.5	物理层	135
4.5	数据数字网络	136
4.5.1	DDN 的组成	136
4.5.2	DDN 的特点	137
4.5.3	DDN 的带宽及应用	137
4.6	SONET/SDH	137
4.6.1	SONET 概述	138
4.6.2	SONET 帧结构	138
4.6.3	光纤入户	140

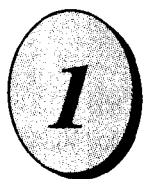
4.7	移动通信	141
4.7.1	移动通信	141
4.7.2	全球移动通信系统 GSM	142
4.7.3	通用分组无线业务 GPRS	143
4.7.4	无线软件应用协议 WAP	145
4.8	卫星通信系统	147
4.8.1	卫星通信	147
4.8.2	甚小口径天线地球站	149
4.8.3	低轨道卫星通信系统	150
4.9	ISDN	152
4.9.1	概述	152
4.9.2	ISDN 协议参考模型	154
4.9.3	ISDN 通信信道	157
4.10	ADSL	158
4.10.1	xDSL 与 ADSL	158
4.10.2	ADSL 技术	159
4.11	Cable Modem	161
4.11.1	基本原理	161
4.11.2	传输模式	162
4.11.3	Cable Modem 的分类	163
4.11.4	Cable Modem 的发展	164
	思考与习题	165
5	网络互连及设备	166
5.1	网络互连	166
5.1.1	概述	166
5.1.2	网络互连原理	167
5.2	网络适配器	170
5.2.1	网卡的分类	170
5.2.2	以太网卡的工作原理	171
5.2.3	以太网卡安装与使用	175
5.3	中继器和集线器	177
5.3.1	中继器工作原理及冲突域	177
5.3.2	集线器	179
5.4	网桥	181
5.4.1	网桥的功能	181
5.4.2	网桥的路径算法	182
5.5	交换机	187
5.5.1	交换机的基本原理	187
5.5.2	交换机结构	188
5.5.3	交换机的作用和应用范围	190
5.5.4	交换机的选择	191
5.6	路由器	192

• x •

5.6.1	体系结构与功能	192
5.6.2	路由器的组成	194
5.6.3	路由器的类型及特点	196
5.6.4	路由器的配置和使用	197
5.6.5	怎样选择路由器	199
5.7	三层交换机	201
5.7.1	三层交换机产生的背景	201
5.7.2	三层交换机的实现	201
5.7.3	Bay 公司的三层交换机 Switch Node	202
5.7.4	主干交换机的选择	204
	思考与习题	206
6	虚拟计算机网	207
6.1	虚拟局域网	207
6.1.1	虚拟局域网概述	207
6.1.2	VLAN 的工作原理、技术特点及其模型	207
6.1.3	VLAN 的协议与标准	210
6.1.4	虚拟网的技术	212
6.1.5	虚拟网的应用	213
6.1.6	虚拟网实例	215
6.2	虚拟专用网	217
6.2.1	虚拟专用网概述	217
6.2.2	VPN 的工作原理、技术特点	218
6.2.3	VPN 的安全技术	221
6.2.4	VPN 实现	225
	思考与习题	228
7	网络管理与网络安全	229
7.1	概述	229
7.2	网络管理	230
7.2.1	网络管理的功能	231
7.2.2	SNMP 协议	237
7.2.3	网管工具	243
7.3	网络安全	244
7.3.1	网络安全的层次划分	244
7.3.2	防火墙技术	246
7.3.3	加密技术	251
7.3.4	IP 协议加密	253
7.3.5	认证与数字签名	256
7.3.6	攻击检测技术	259
7.3.7	病毒与黑客问题	262
7.3.8	管理问题	267
	思考与习题	267
8	网络操作系统与应用编程接口	269

8.1	Linux 操作系统简介	269
8.1.1	Linux 操作系统的简单历史	269
8.1.2	Linux 操作系统的特点	270
8.1.3	Linux 操作系统的主要功能	271
8.2	Linux 的安装	271
8.2.1	安装前的准备	271
8.2.2	Linux 的安装步骤	273
8.3	用户管理	275
8.3.1	用户的种类与属性	275
8.3.2	用户管理命令	276
8.3.3	用户组管理	277
8.3.4	磁盘空间限额设置	277
8.4	系统管理	278
8.4.1	用户监视	278
8.4.2	进程管理	280
8.4.3	其他系统管理命令	282
8.5	Linux 网络子系统	282
8.5.1	套接字	283
8.5.2	网络配置的基本方法	283
8.5.3	基本网络操作命令	285
8.6	服务器的安装和管理	286
8.6.1	域名服务器	286
8.6.2	Web 服务器	289
8.6.3	虚拟主机	294
8.6.4	PHP	295
8.6.5	安全控制	296
8.7	套接字 Socket 与编程	297
8.7.1	客户/服务器模型	298
8.7.2	套接字的地址结构	299
8.7.3	基本套接字函数	299
8.7.4	域名地址服务函数	303
8.7.5	服务名函数	305
8.8	应用编程实例	306
8.8.1	通信协议	306
8.8.2	服务器方程序	306
8.8.3	客户方程序	310
	思考与习题	312
9	网络系统集成	313
9.1	概述	313
9.2	网络规划与设计	314
9.2.1	设计的准则与规范	315
9.2.2	规划与设计的步骤	317

9.2.3	质量保证	318
9.3	网络结构设计	319
9.3.1	网络类型的选择	320
9.3.2	园区网网络类型、拓扑及协议选型	321
9.4	系统集成的硬件系统	322
9.4.1	网络设备的选择	322
9.4.2	服务器	324
9.5	系统集成的软件系统	326
9.5.1	网络操作系统	326
9.5.2	网络应用软件	327
9.6	综合布线系统的设计	328
9.7	网络系统集成实例	332
	思考与习题	339
10	网络应用与发展	341
10.1	概述	341
10.2	主要网络应用	341
10.2.1	电子学习	341
10.2.2	电子商务	342
10.2.3	电子政务	342
10.2.4	无线互联网应用	343
10.2.5	信息检索	343
10.2.6	IP 电话	343
10.3	网络技术发展	345
10.3.1	IPv6	345
10.3.2	IP/DWDM 技术	348
10.3.3	新一代网络——光因特网	349
10.3.4	智能网工程	352
10.3.5	下一代 Internet 宽带网络技术	353
	思考与习题	358
	主要参考文献	359



数据通信基础

1.1 数据通信模型

数据通信是计算机网络的信息传送基础。数据通信的模型如图 1-1 所示。

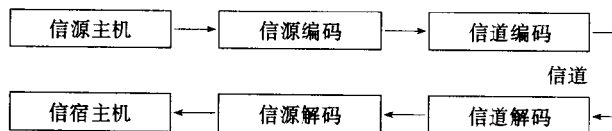


图 1-1 数据通信模型

在数据通信的模型中,信源和信宿主机分别是信息传送的发送和接收者。在计算机中,所有的信息都是由多个“0”与“1”所组合成的某种编码表示的。例如,每个 ASCII 字符的编码由 7 个“0”或“1”表示,每个汉字的编码由 16 个“0”或“1”表示,每个整数由 16 位或 32 位“0”或“1”表示等。在计算机内,对这种多位的编码是以并行的方式进行处理、传送和存储的。计算机的字长越长,数据总线的位数越多,并行处理的能力就越强。

对于计算机间的信息传送来说,不可能也不必要为这种并行编码的每一位建立一条传送信道。传送是在一条信道上,将这种编码按照一定的次序,各位依次传送到对方去的。为了适应这种串行的传送方式,在传送信息时必须首先将信息在机内的并行编码变为串行编码。将并行编码变换为串行编码的处理是信源编码的主要功能之一。当串行编码信息传送到接收方后,还需要通过信宿方的信源解码,将串行编码重新恢复为并行编码,才能使信宿机得到与信源机完全相同的原始编码。

为了使接收方在进行信宿解码时能够正确地按次序将所收到的串行编码恢复为并行编码,发送方在每次传送的开始,都有一个通知接收方开始接收一组编码的信息——帧起始标志,以便接收方根据这个标志准确地知道每次传送的开始位置。其次,为了使接收方能够准确地收到每一位串行编码,还要求在发送的信源编码中包含有用于识别编码位置的信息——位同步时钟。

为了使经过信源编码后的信息能利用信道传送出去,还要使串行的数据编码适合于信道媒体的传输特性,这个过程称为信道编码。典型的实例是使用传送连续模拟信号的信道传送数据信息,这时,就需要信道编码。它通常是对某种正弦波按信源编码的次序进行调制,使调制后的正弦波带有所传送的数据信息,然后将这种调制正弦波形式的信息在信道上传送出去;在接收方,接收到的调制正弦波经过反调制变换,即信道解码后,恢复为与信源方完全相同的编码。

连接信源和信宿双方传输的媒体构成了信道。由于信道上传输的信号随着传输距离的增加而衰减,而且信道上存在噪声干扰,因此传送到信宿方的信息有可能被破坏而造成传输错误。为保证数据传输的正确性,收发双方还必须要发现并纠正错误的措施。

按照数据的传输方式,可以分为单工、半双工和全双工三种方式。在单工方式下,信号

只能沿一个方向从媒体的一端传送到另一端;发送者能发不能收,接收者能收不能发。广播信道是这种传输方式的典型例子。在半双工方式下,信号虽然可沿着媒体向两个方向传递,但同一时刻只能传递一个方向的信号,对讲机就是工作在这种方式下的。显然,上述两种传输方式只要有一条信道就够了:单工方式需要一条单向传输的信道,半双工方式需要一条能双向传输的信道。如果在传输的双方之间有两条方向相反的、单向传输的信道,那么传输的双方就可以同时收、发信号了,这就是全双工的传输方式。

1.2 信道性能和指标

1.2.1 信道容量与信道传送速率

信道容量是指信道能传送信息的最大能力,它取决于信道的物理传输特性和所受到的干扰噪声的强度。

如果信道传送的是以高电平和低电平表示的二值脉冲信号,分别表示代码“0”和“1”时,则每位“0”或“1”称为一个比特。以信道每秒所传送的比特位数的多少来度量信道的传输率,称为比特速率,它等于传送1比特位所需时间的倒数,即

$$S_p = \frac{1}{T_b} \quad (1-1)$$

如果信道传送的是连续变化的模拟信号,则信道允许通过的最低和最高频率正弦波信号的差值称为信道的带宽。带宽反映了信道所允许通过的传送信号的变化率,信道带宽越宽,则允许传送的模拟信号的变化速率就越高。例如,普通模拟电话线路所允许的传送信号范围是300~4000Hz,这种线路的带宽约为3700Hz左右,也就是可允许通过的信号的变化率为3700Hz。

这两种度量单位分别对应了两种类型的信道:传送数值信号的数字信道和传送模拟信号的模拟信道。

数字信号也可在模拟信道上传送。方法是通过信道编码设备,对正弦波用数字脉冲信号进行调制,然后在模拟信道上传送调制后的正弦波,最后在信宿方的信道解码设备上将调制正弦波恢复为数字脉冲信号。这样的传输变换称为调制与解调。

因此,有

$$S_p = \frac{1}{T_b} = B_p \times n \quad (1-2)$$

其中, B_p 表示信道每秒钟的调制次数,即调制速率,称为波特率; n 是每次调制所表示的数字信号的位数。

在模拟信道上传送数字信号时,波特率表示调制信号的变化率,因此它取决于信道的带宽,而带宽就是信道可取的最大波特率。其次是每次调制所表示的数字信号的位数,它与信道可取的调制状态数有关。若信道可取的调制状态数为 K ,则

$$S_p = B_p \log_2 K \quad (1-3)$$

K 称为信道的调制级数。

由上式可知,当 $K=2$,即每个调制正弦信号代表的状态为2时,有 $S_p = W_b$,它说明,当直接用表示“0”和“1”的二值信号来调制传送数字信号的正弦波时,信道的数据传送速

率就等于信道的波特率,这种传输方式称为基带传输。

信道可达的理论极限数据传送速率与信道的带宽和调制级数的关系为

$$S_{\max} = 2W \log_2 K \quad (1-4)$$

上式源于奈奎斯特采样定理。

在模拟信道上传送数字信号,所使用的调制对象通常是正弦波。由于正弦波表示为 $A_t \cos(\omega_t + \phi)$, 所以,常用的调制手段有:

ASK: 幅度键控调制,用幅度的变化表示数字信息,见图 1-2(b)。

FSK: 频率键控调制,用频率的变化表示数字信息,见图 1-2(c)。

PSK: 相位键控调制,用相位的变化表示数字信息,见图 1-2(d)。

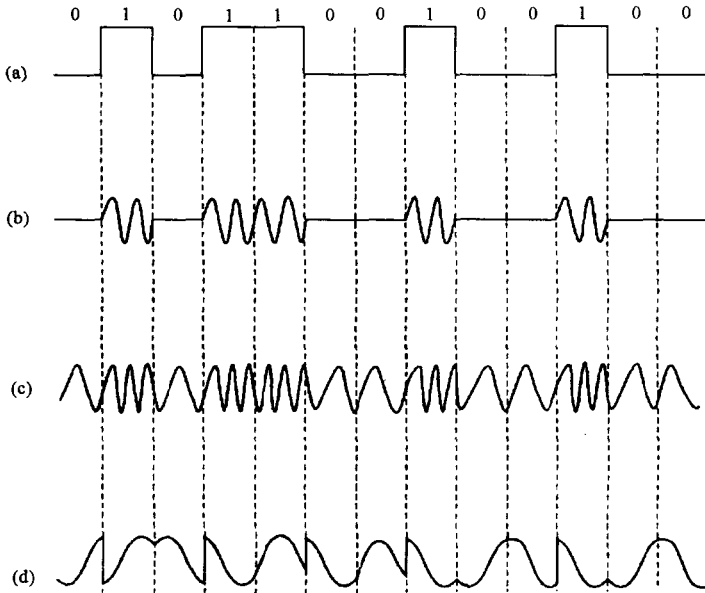


图 1-2 幅度、频率、相位调制

为了使用更多的调制级数,提高信道的传送速率,可以对正弦波的幅度和频率同时进行调制,也可以对正弦波的幅度和相位同时调制。一种被广泛使用的调制方式是正交相位-幅度调制即 QAM。它可同时对幅度和相位进行调制,得到的调制级数可达 64 甚至 256 级。

虽然调制级数越大,信道的传输速率就越高,但可取的调制级数有一定的限制。理论上,在一个带宽为 W_b 的有噪声的信道上,信道可达到的极限数据传送速率 $S_{\max}$ 与信道的信号/噪声比 S/N 的关系是

$$S_{\max} = W_b \log_2 (1 + S/N) \quad (1-5)$$

上式源于能量守恒定律,因此是信道可传送速率的极限。比较式(1-3)和(1-5),就不难分析和理解它们之间的关系了。

1.2.2 传输误码率

由于信道上存在着噪声和来自外界的干扰,因此数据的传输过程中会产生错误。信道