

现代电子信息科学技术基础

现代数字通信

高 强 李 峭 费 礼 编著
熊华钢 审校



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

现代电子信息科学技术基础

现代数字通信

XIANDAI SHUZI TONGXIN



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书主要介绍了现代数字通信的相关技术,对信源编码技术、基带传输技术、数字调制技术、同步技术、多用户检测技术、多址接入技术、数字交换与组网技术以及卫星通信系统、数字移动通信系统、超宽带通信系统、无线自组织网络进行了全面系统的论述,使读者能够对数字通信的基本概念有明确的认识。

本书概念性强,突出基本概念以及基本原理的阐述,注重理论与实际的结合,深入浅出,图文并茂,适用范围较宽,可作为高等院校电子、通信、计算机、自动控制等相关专业研究生和高年级本科生的专业教材或参考书,也可供工程技术人员及技术管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代数字通信/高强,李峭,费礼编著. —北京:高等教育出版社,2010.9

ISBN 978 - 7 - 04 - 030811 - 2

I. ①现… II. ①高…②李…③费… III. ①数字通信 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 156900 号

策划编辑 陈红英

版式设计 张 岚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京四季青印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 31
字 数 650 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 9 月第 1 版
印 次 2010 年 9 月第 1 次印刷
定 价 49.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30811 - 00

前言

在当今信息化社会中,随着通信技术的飞速发展,相关的通信理论、技术也得到了飞速发展。数字通信已成为信息传输的重要手段,数字通信的新设备不断涌现,全球数字化已成为当今社会发展的主要潮流,人们越来越离不开数字通信,越来越期望了解和掌握数字通信技术。

数字通信是迅速发展的信息技术,目前将科研的发展前沿与基础的通信理论有机结合进行阐述的著作还很少。本书将对数字通信的基本原理、前沿技术以及目前常见的和正在研究的通信系统和网络进行介绍和论述。本书材料来源于国内外的教材、研究文献和作者的科研成果,内容紧扣数字通信低成本、高速率、分布式的发展趋势,对常见的通信系统与网络 and 未来的通信系统与网络进行较全面的论述。全书共分 12 章,主要内容如下:

第 1 章概述,主要介绍通信系统的基本组成和基本概念,重点介绍数字通信的主要技术、特点以及主要性能指标。

第 2 章信源编码技术,主要介绍无失真和失真信源编码的原理,并简要介绍其应用。

第 3 章基带传输技术,介绍基带传输信号的波形表示和基本码型,重点介绍数字基带传输系统的结构和性能。

第 4 章现代数字调制技术,简要介绍几种简单的数字调制技术原理,主要介绍多相相移键控、正交振幅调制、网格编码调制等调制原理和各自的性能特点,最后对已经广泛应用于现代数字通信系统中的扩频技术的原理和性能做简单介绍。

第 5 章同步技术,简要介绍同步技术的几种分类,详细介绍载波同步、位同步、帧同步和网同步的实现方法及其性能指标,重点是位同步技术。

第 6 章多用户检测技术,首先简要介绍多路复用与多址的概念和多址接入的方法,并以多用户信息论为指导比较了 FDMA、TDMA 和 CDMA 多用户通信系统的容量,随后针对 CDMA 系统的多用户检测进行研究与讨论。

第 7 章多址接入技术,主要介绍多址接入技术的实现,包括频分多址、时分多址、码分多址,并阐述多址接入算法以及局域网的多址接入技术。

第 8 章现代数字交换与组网技术,主要介绍程控交换技术、分组交换技术和 ATM 交换技术。

第9章卫星通信系统,介绍卫星通信的基本概念,详细阐述卫星通信信号的传输技术、多址技术和组网技术。

第10章数字移动通信系统,介绍数字移动通信的基本概念、特点、发展以及关键技术,详细阐述了蜂窝数字移动通信系统和CDMA移动通信系统,并介绍第三代移动通信系统。

第11章超宽带通信系统,介绍超宽带无线电的基本概念、超宽带信道以及超宽带接入方法,详细阐述了基带脉冲超宽带、调制载波超宽带的原理及实现。

第12章无线自组织网络,介绍无线自组织网络的基本概念,详细阐述了无线自组织网络的信道接入协议、路由协议、功率的管理与控制以及发展和应用前景。

本书是为高等院校电子、通信、计算机、自动控制等相关专业研究生和高年级本科生编写。对军民用通信的研究和开发也具有一定参考价值。

本书的编写出版得益于大量国内外出版的著作和文献(列于每章后的参考文献中),在此对其作者深表谢意。宋双、张旭、李志纯、欧阳骞、张晶、黄思宇、多雪松、左翼、王皓参加了本书部分书稿的整理工作。另外,在本书的编写过程中还得到了不少同事和研究生的帮助,在此谨表谢意。

限于作者的水平,书中不妥和谬误之处难免,恳请读者批评指正。

作者
2010年7月

目录

第1章 概述	1
名词术语释义	1
1.1 通信系统的组成及分类	2
1.2 数字通信及其主要技术	5
1.2.1 数字通信系统的组成	5
1.2.2 数字通信的主要技术	7
1.3 数字通信的主要特点	10
1.4 通信信道与信道模型	11
1.4.1 信道的定义与分类	11
1.4.2 信道的数学模型	12
1.5 数字通信系统的主要性能指标	13
1.6 数字通信发展趋势	15
练习题	17
参考文献	17
第2章 信源编码技术	18
名词术语释义	18
2.1 信源编码的基本概念	19
2.1.1 编码器	19
2.1.2 码的分类	20
2.2 无失真信源的编码	22
2.2.1 定长编码及定长编码定理	22
2.2.2 变长编码及变长编码定理	24
2.3 失真信源的编码	33
2.3.1 失真测度	33
2.3.2 信息率失真函数	35
2.3.3 限失真信源编码定理	37
2.3.4 熵压缩编码的具体方法	39

2.4 音频编码	42
2.4.1 波形编码 ADPCM 的基本原理	43
2.4.2 参量编码的线性预测编码器 LPC	44
2.5 视频编码	46
2.5.1 静止图像压缩编码及其技术标准 JPEG	46
2.5.2 面向通信的视频压缩编码及其技术标准 H. 261	48
2.5.3 活动图像压缩编码及其技术标准 MPEG	50
2.6 例题	52
练习题	54
参考文献	55
第3章 基带传输技术	56
名词术语释义	56
3.1 数字基带传输的基本概念	57
3.2 数字基带信号波形	58
3.2.1 基带信号时域表示	59
3.2.2 基带信号频域表示	61
3.3 基带传输码型与码型变换	65
3.3.1 基带传输码型的特点	65
3.3.2 常见基带传输码型	66
3.4 数字基带传输系统	70
3.4.1 数字基带传输系统结构	70
3.4.2 无失真基带传输	71
3.4.3 部分响应系统	77
3.4.4 无码间串扰基带系统抗噪声性能	79
3.4.5 时域均衡	81
3.5 眼图	86
3.6 例题	87
练习题	89
参考文献	89
第4章 现代数字调制技术	90
名词术语释义	90
4.1 简单数字调制	91
4.1.1 二进制幅移键控	92
4.1.2 二进制频移键控	93
4.1.3 二进制相移键控	95

4.2 多相相移键控	97
4.2.1 四相相移键控	97
4.2.2 高阶多相相移键控	102
4.3 正交振幅调制	103
4.3.1 QAM 基本原理	103
4.3.2 QAM 性能分析	107
4.4 恒包络调制	110
4.4.1 准恒包络调制技术	111
4.4.2 几种恒包络调制技术	115
4.5 网格编码调制	123
4.5.1 TCM 基本原理	123
4.5.2 TCM 的研究和应用发展	126
4.6 扩频技术	127
4.6.1 扩频技术原理	128
4.6.2 伪随机序列	132
4.6.3 扩频技术的性能特点	134
4.6.4 扩频技术应用	138
4.7 例题	139
练习题	141
参考文献	142
第5章 同步技术	143
名词术语释义	143
5.1 同步技术分类	144
5.2 载波同步技术	145
5.2.1 直接法	145
5.2.2 插入导频法	148
5.2.3 载波同步系统性能指标	151
5.3 位同步技术	154
5.3.1 外同步法	154
5.3.2 自同步法	156
5.3.3 位同步系统的性能指标	157
5.4 帧同步技术	159
5.4.1 起止同步法	160
5.4.2 连贯式插入法	160
5.4.3 间歇式插入法	163

5.4.4 帧同步系统性能指标	166
5.4.5 帧同步的保护	167
5.5 网同步	169
5.5.1 准同步方式	171
5.5.2 码速调整法	171
5.5.3 水库法	172
5.5.4 主从同步法	173
5.5.5 相互同步法	174
5.6 例题	175
练习题	176
参考文献	176
第6章 多用户检测技术	177
名词术语释义	177
6.1 多路复用与多址接入	179
6.2 FDMA 系统及 TDMA 系统容量	180
6.3 CDMA 系统容量	181
6.3.1 CDMA 系统容量——单用户检测	181
6.3.2 CDMA 系统容量——多用户检测	181
6.3.3 FDMA、TDMA 和 CDMA 多用户系统容量的比较	183
6.4 DS-CDMA 系统多用户检测	184
6.4.1 CDMA 接收机——滤波与判决	184
6.4.2 多用户检测技术的发展与分类	185
6.4.3 最佳多用户检测接收机	186
6.4.4 线性检测器	187
6.4.5 干扰抵消型检测器	191
6.4.6 盲多用户检测	192
6.5 多用户检测器的性能	193
6.5.1 比特差错率	194
6.5.2 渐近多用户有效性	195
6.5.3 抗远近效应能力	196
6.6 例题	196
练习题	197
参考文献	197
第7章 多址接入技术	199
名词术语释义	199

7.1	基本原理	200
7.2	频分多址	202
7.3	时分多址	204
7.4	码分多址	209
7.4.1	CDMA 发展历史	210
7.4.2	CDMA 特点	211
7.4.3	直接序列扩频	212
7.4.4	码分多址系统性能	216
7.4.5	CDMA 系统容量	218
7.4.6	CDMA 的两种形式	220
7.5	多址接入算法	224
7.5.1	ALOHA 系统信息到达统计	225
7.5.2	时隙 ALOHA	226
7.5.3	预约 ALOHA	228
7.6	局域网多址接入技术	228
7.6.1	CSMA 协议	228
7.6.2	带有冲突检测的 CSMA 协议	229
7.6.3	带冲突避免的多址接入协议	229
7.6.4	忙音多址接入协议	231
7.6.5	IEEE 802.11	231
7.7	例题	234
	练习题	235
	参考文献	235
第 8 章	现代数字交换与组网技术	237
	名词术语释义	237
8.1	程控交换技术	238
8.1.1	程控交换机的发展历史	239
8.1.2	程控交换机组成	240
8.1.3	呼叫处理的一般过程	246
8.1.4	基本交换单元	248
8.2	分组交换技术	251
8.2.1	分组交换技术概述	252
8.2.2	分组交换的基本原理	252
8.2.3	分组交换网组成	254
8.2.4	分组交换网通信协议	255

8.2.5	CCITT X 系列协议	257
8.2.6	用户终端与分组交换网络的连接	259
8.2.7	网间互联	259
8.3	ATM 交换技术	260
8.3.1	ATM 信元	261
8.3.2	B-ISDN 参考模型	264
8.3.3	ATM 交换原理	268
8.3.4	基本排队机制	271
8.3.5	共享存储器交换机的模型	273
8.3.6	ATM 服务质量	276
8.4	例题	277
	练习题	280
	参考文献	280
第9章	卫星通信系统	281
	名词术语释义	281
9.1	卫星通信概述	282
9.1.1	卫星通信的基本概念	282
9.1.2	卫星通信的特点	283
9.1.3	卫星通信系统组成	284
9.1.4	卫星通信的分类	288
9.1.5	卫星通信的发展	290
9.2	卫星通信调制和传输技术	292
9.2.1	卫星通信调制技术	292
9.2.2	卫星通信传输技术	295
9.3	卫星通信多址技术	296
9.3.1	卫星通信多址方式的信道分配技术	297
9.3.2	卫星通信频分多址技术	297
9.3.3	卫星通信时分多址技术	300
9.3.4	卫星通信空分多址技术	301
9.3.5	卫星通信码分多址技术	302
9.4	卫星通信组网技术	304
9.4.1	卫星移动通信网络关键技术	305
9.4.2	Ad Hoc 网络	308
9.4.3	空基移动网络	312
9.4.4	卫星移动通信网络路由算法	316

9.5 例题	318
练习题	319
参考文献	319
第10章 数字移动通信系统	320
名词术语释义	320
10.1 数字移动通信的基本概念	321
10.1.1 移动通信的特点	321
10.1.2 移动通信系统的发展	322
10.2 数字移动通信关键技术	325
10.2.1 自适应链路技术	325
10.2.2 多址接入技术	327
10.2.3 扩频技术	328
10.3 蜂窝数字移动通信系统	329
10.3.1 GSM 的特点	330
10.3.2 GSM 的组成	330
10.3.3 GSM 的主要参数	331
10.3.4 GSM 的接口	332
10.3.5 GSM 的传输方式	333
10.3.6 GSM 身份鉴别	334
10.3.7 GSM 呼叫建立过程	334
10.3.8 GSM 关键技术	335
10.3.9 GSM 网络规划设计流程	336
10.3.10 GSM 支持的业务	336
10.3.11 GSM 发展前景	337
10.4 CDMA 移动通信系统	337
10.4.1 CDMA 原理	337
10.4.2 CDMA 移动通信系统的结构	339
10.4.3 CDMA 移动通信系统提供的服务	342
10.4.4 CDMA 移动通信系统的特点	343
10.4.5 CDMA 移动通信系统的关键技术	345
10.4.6 CDMA 移动通信系统的无线链路	348
10.5 第三代移动通信系统及后续发展	353
10.5.1 第三代移动通信系统简介	353
10.5.2 第三代移动通信系统的三种主流标准	353
10.5.3 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 标准的比较	355

10.5.4 第三代移动通信系统的关键技术	358
10.5.5 第三代移动通信系统提供的服务	360
10.5.6 第三代移动通信系统的发展前景	361
10.5.7 第四代移动通信系统简介	362
10.6 例题	363
练习题	364
参考文献	364
第11章 超宽带通信系统	365
名词术语释义	365
11.1 超宽带无线电的基本概念	366
11.1.1 超宽带无线电的分类	367
11.1.2 UWB 无线电的特点	369
11.1.3 UWB 无线电的关键技术	372
11.2 基带脉冲超宽带	374
11.2.1 基带脉冲超宽带定义	375
11.2.2 基带脉冲超宽带分类	375
11.2.3 UWB 信号脉冲	376
11.2.4 脉冲无线电 UWB 系统实现	378
11.3 调制载波 UWB	378
11.3.1 单载波 DS-CDMA	379
11.3.2 多带正交频分复用 UWB(MB-OFDM-UWB)	380
11.4 UWB 信道	385
11.4.1 UWB 信道模型	385
11.4.2 信道和接收机	387
11.4.3 UWB 信道估计	392
11.5 UWB 接入方法	396
11.5.1 TH-PPM 多址接入技术	397
11.5.2 DS-UWB 多址技术	401
11.5.3 伪混沌跳时多址技术	405
11.5.4 混沌序列扩频多址接入	408
11.6 例题	410
练习题	411
参考文献	411
第12章 无线自组织网络	413
名词术语释义	413

12.1	无线自组织网络概述	414
12.1.1	无线自组织网络定义	414
12.1.2	无线自组织网络的发展及特点	415
12.1.3	具有可扩展结构的无线自组织网络	417
12.1.4	无线自组织网络应用	420
12.2	无线自组织网络信道接入协议	422
12.2.1	信道接入协议面临的问题和挑战	422
12.2.2	信道接入协议分类	426
12.2.3	几种代表性的信道接入协议	428
12.2.4	信道接入协议分析	436
12.3	无线自组织网络路由协议	437
12.3.1	无线自组织网络路由协议概述	438
12.3.2	无线自组织网络路由协议分类	440
12.3.3	AODV 路由协议	445
12.4	无线自组织网络的功率管理与控制	453
12.4.1	提高网络容量的功率管理与控制机制	455
12.4.2	降低能耗的功率管理与控制机制	458
12.5	无线自组织网络发展	465
12.5.1	无线自组织网络发展现状及挑战	465
12.5.2	应用前景	470
12.6	例题	471
	练习题	473
	参考文献	473
	名词术语英汉对照	474

第 1 章 概述

名词术语释义

单边带 (Single Side Band, SSB) 调制后信号频谱只包含基带信号的一个边带。

幅移键控 (Amplitude Shift Keying, ASK) 数字基带信号控制载波幅度的一种数字调制方式。

脉冲编码调制 (Pulse Code Modulation, PCM) 模拟信号经过抽样、量化、编码的数字化过程。

密集型光波复用 (Dense Wavelength Division Multiplexing) 利用激光在一根光纤上组合传送一组波长的光,用来在现有的光纤骨干网上提高带宽。

频移键控 (Frequency Shift Keying, FSK) 数字基带信号控制载波频率的一种数字调制方式。

相移键控 (Phase Shift Keying, PSK) 数字基带信号控制载波相位的一种数字调制方式。

信源 (Information Source) 产生消息和消息序列的源。

信源编码 (Source Encoding) 对信源输出的消息进行适当的变换和处理,目的是提高信息传输的效率。

正交幅度调制 (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) 一种矢量调制,将输入比特先映射到一个复平面上,形成复数调制符号。然后将符号的同相、正交分量分别采用幅度调制在相互正交的两个载波上。

综合业务数字网 (Integrated Services Digital Network, ISDN) 以电话综合数字网为基础发展而成的通信网,用来传送包括话音、数字、图像信号在内的各种信号。

相对相移键控 (Differential Phase Shift Keying, DPSK) 数字基带信号控制相邻码元时间内的载波相位差的一种数字调制方式。

从远古时代到现代文明社会,人类社会的各种活动与通信密切相关,特别是当今世界已进入信息时代,通信已渗透到社会的各个领域,通信产品随处可见,通信已成为现代文明的标志之一,对人们日常生活和社会活动及发展将起到更加重要的作用。通信技术,特别是数字通信技术近年来发展非常迅速,它的应用越来越广泛。本章主要介绍通信的基本概念,如通信的组成、分类以及通信系统的主要技术问题,衡量通信系统的主要性能指标及通信发展趋势,等等。这些基本概念是现代数字通信技术的基础。

1.1 通信系统的组成及分类

1. 通信系统的组成

实现信息传递所需的一切技术设备和传输介质的总和称为通信系统。以基本的点对点通信为例,通信系统的组成(通常也称为一般模型)如图 1.1 所示。

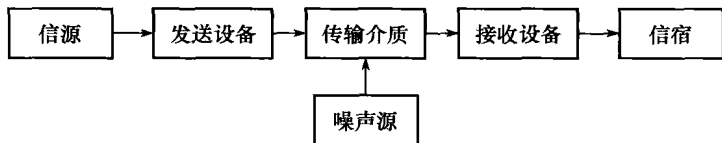


图 1.1 通信系统的一般模型

(1) 信源。(信息源,也称发终端),其作用是把待传输的消息转换成原始电信号,如电话系统中电话机可看做是信源。信源输出的信号称为基带信号。所谓基带信号是指没有经过调制(进行频谱搬移和变换)的原始电信号,其特点是信号频谱从零频率附近开始,具有低通性。根据原始电信号的特征,基带信号可分为数字基带信号和模拟基带信号,相应地,信源也分为数字信源和模拟信源。

(2) 发送设备。其基本功能是将信源和信道匹配起来,即将信源产生的原始电信号(基带信号)变换成适合在信道中传输的信号。变换方式是多种多样的,在需要频谱搬移的场合,调制是最常见的变换方式。对传输数字信号来说,发送设备还常常包含信源编码和信道编码等。信源编码是对信源信息进行压缩处理,提高信息传输的效率;而信道编码则是使数字信号与传输介质匹配,提高传输的可靠性。

发送设备还包括为达到某些特殊要求所进行的各种处理,如多路复用、保密处理、纠错编码处理等。

(3) 传输介质。其指信号传输的介质,可以是有线的,也可以是无线的,甚至还可以包含某些设备。信号在传输介质中传输形成信息通道,称为信道。在信道中会混入噪声甚至干扰,图 1.1 中的噪声源,是信道中的所有噪声以及分散在通信系统中其他噪声的集合。传输的过程中必然引入干扰,如脉冲干扰等。介质的固有特性和干扰特性直接关系到信息变换方式的选取。

(4) 接收设备。其功能与发送设备相反,即进行解调、译码、解码等。它的任务是从带有干扰的接收信号中恢复出相应的原始电信号来,对于多路复用信号,还包括解除多路复用,实现正确分路。

(5) 信宿(也称受信者或收终端)。它是将复原的原始电信号转换成相应的消息,如

电话机将对方传来的电信号还原为声音。

以上所述是单向通信系统,但在大多数场合下信源兼为收信者,通信的双方需要随时交流信息,因而要求双向通信,电话就是一个最好的例子。这时,通信的双方都要有发送设备和接收设备。如果两个方向有各自的传输介质,则双方都可独立进行发送和接收;但若共用一个传输介质,则必须用频率或时间分割的办法来共享。

此外,通信系统除了完成信息传递之外,还必须进行信息的交换,传输系统和交换系统共同组成一个完整的通信系统,乃至通信网络。

2. 通信系统的分类

通信的目的是传递消息,按照不同分类方式,通信可分成许多类别,下面介绍几种常见的分类方式。

(1) 按传输介质分。按消息由一地向另一地传递时传输介质的不同,通信可分为两大类,一类称为有线通信,另一类称为无线通信。所谓有线通信,是指传输介质为架空明线、电缆、光缆、波导等形式的通信,其特点是介质能看得见,摸得着。所谓无线通信,是指传输消息的介质为看不见、摸不着的介质(如电磁波)的一种通信形式。通常,有线通信可进一步再分类,如明线通信、电缆通信、光缆通信等。无线通信常见的形式有微波通信、短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信和激光通信等。

(2) 按传输介质中所传输的信号特征分。前面已经指出,按照传输介质中传输的是模拟信号还是数字信号,可以相应地把通信系统分为模拟通信系统与数字通信系统。

数字通信系统近 20 年得到了迅速发展,其原因是:

- ① 抗干扰能力强。
- ② 便于进行各种数字信号处理。
- ③ 易于集成化。
- ④ 经济效益已赶上或超过模拟(载波)通信。
- ⑤ 传输与交换可结合起来,传输电话与传输数据也可结合起来,成为一个统一体,有利于实现综合业务通信网。
- ⑥ 便于多路复用。

(3) 按工作频段分。按通信设备的工作频率不同,通信系统可分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。表 1.1 列出了通信中使用的频段、常用传输介质及主要用途。

表 1.1 通信频段、常用传输介质及主要用途

频率范围	波长	频段名称	常用传输介质	用途
3 Hz ~ 30 kHz	$10^8 \sim 10^4$ m	甚低频	双绞线、超长波 无线电	音频、电话、数据终端、长距离导航、 时标