



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代通信原理

第二版

罗新民 薛少丽 田 琛 编



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代通信原理

第二版

罗新民 薛少丽 田琛 编

通信地址：北京市西城区德胜大街4号

ISBN 978-7-04-034265-1

ISBN 978-7-04-034265-1

ISBN 978-7-04-034265-1

ISBN 978-7-04-034265-1



高等教育出版社

Higher Education Press

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,在2003年出版的《现代通信原理》(第一版)内容的基础上修订而成。本教材以现代通信系统为背景、以通信系统的模型为主线,讲述现代通信系统的基本原理、基本技术和系统性能的分析方法,包括模拟通信系统和数字通信系统,并以数字通信系统为主。主要介绍信号设计、编码、调制等基本理论和噪声分析方法。

全书共分12章,包括:绪论、确定信号分析、随机信号与噪声分析、信号设计导论、幅度调制系统、角度调制系统、信源编码、数字基带传输系统、数字载波传输系统、差错控制编码、同步原理及通信网等。

本书的特点是概念清楚、内容全面、自成体系、便于自学。既注重基本理论和基本概念的阐述,又力图反映通信技术的一些最新发展。可作为高等学校工科信息工程、通信与电子类专业高年级学生及研究生教材,也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代通信原理/罗新民,薛少丽,田琛编.—2版,—北京:高等教育出版社,2008.6

ISBN 978-7-04-024262-1

I. 现… II. ①罗…②薛…③田… III. 通信理论—高等学校—教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 060062 号

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
总 机 010-58581000
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 廊坊市科通印业有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
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>

开 本 787×960 1/16
印 张 34
字 数 640 000

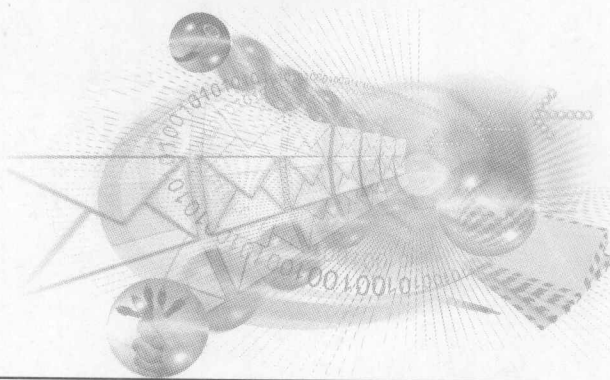
版 次 2003年12月第1版
2008年6月第2版
印 次 2008年6月第1次印刷
定 价 41.90元

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 24262-00

高等教育出版社
Higher Education Press



第二版前言

本书第一版自 2003 年 12 月出版以来,受到了国内同行的广泛关注,先后多次印刷。此次第二版在保持第一版概念清楚、内容全面的特点的基础上,根据近年来电子信息技术的新发展以及注重学生能力培养、加强基础和拓宽专业的新要求,对第一版中的部分次要内容做了适当的删减,增加了一些新内容,并进一步扩充了各章的习题数量。考虑到“现代通信原理”课程的专业基础课的性质和地位,第二版采用了和第一版相同的结构,以保持教材的连续性和相对稳定性。具体删减内容包括第四章 4.6 节中 m 序列移位-相加-移位性质的证明过程及 4.7 节的随机电报信号,同时对 12.1.3 节中通信网的交换方式及 12.4 节综合业务数字网(ISDN)的内容进行了简化。增加的部分包括第二章中 2.5 节的信号带宽、第四章 4.6 节中的 Gold 序列、第十章中的 BCH 码、CRC 码及交织编码等内容。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,并得到了西安交通大学“十一五”本科教材建设规划项目的资助。此次编写过程中,由于张传生老师出国在外,未能参加编写,但张老师一直关心本书的编写工作,并多次提出好的建议。此外在使用第一版教材的过程中,殷勤业教授、阎鸿森教授和邓建国教授提出了许多宝贵意见,在此一并致以深切的谢意。

本次编写由罗新民编写第一章至第九章的内容,薛少丽编写第十章至十二章的内容,田琛负责各章习题的收集整理,最后由罗新民对全书做了修改和定稿。由于编者水平和学识有限,本次出版仍可能存在不妥和错误之处,殷切希望广大读者及同行专家批评指正,提出宝贵意见和建议。

来信请发至:luoxm@mail.xjtu.edu.cn。

编 者

2008 年 4 月

于西安交通大学



第一版前言

“现代通信原理”是信息工程、通信与电子类专业的一门重要专业基础课程。本书以现代通信系统为背景,以通信系统的模型为主线,讲述现代通信系统的基本原理、基本技术和系统性能的分析方法,包括模拟通信系统和数字通信系统,并以数字通信系统为主。主要介绍信号设计、编码、调制等基本理论和噪声分析方法。

本教材是在我校编写的《信息传输基础》(西安交通大学出版社,1993年)及《数字通信原理》(西安交通大学出版社,1990年)两本教材的基础上,吸收了国内外同类教材的优点,并结合近几年来我校的教学实践和改革成果后重新编写而成的。本书在原教材的基础上增加了不少应用实例和例题,以便读者进一步理解所学内容,同时对原教材中的习题也进行了充实。

本教材的参考教学时数为70~90学时。使用本教材时,可根据不同的教学要求灵活讲授。全书共分12章,包括:绪论、确定信号分析、随机信号和噪声分析、信号设计导论、幅度调制系统、角度调制系统、信源编码、数字基带传输系统、数字载波传输系统、差错控制编码、同步原理及通信网。

本教材的特点是概念清楚,内容全面,自成体系,便于自学,既注重基本理论和基本概念的阐述,又力图反映一些通信技术的最新发展。本教材可作为工科信息工程、通信与电子类专业高年级本科生及研究生教材,也可作为相关领域工程技术人员的参考书。读者应具备概率论、电路、信号与系统和通信电子线路等方面的知识。

本教材由张传生编写第一、二章,罗新民编写第三、四、五、六、七、八、九章,薛少丽编写第十、十一、十二章,最后由罗新民对全书做了修改和统稿。西安电子科技大学刘增基教授仔细审阅了全书,并提出了十分宝贵的意见。此外,在本教材的编写过程中,还得到了阎鸿森教授和邓建国教授的大力支持和帮助,在此一并致以深切的谢意。

由于编者水平和学识有限,加之时间仓促,书中不妥和错误之处在所难免,殷切希望广大读者及同行专家批评指正。

编 者

2003年6月

于西安交通大学

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将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，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E-mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

策划编辑 吴陈滨

责任编辑 魏芳

封面设计 张楠

责任绘图 吴文信

版式设计 陆瑞红

责任校对 刘莉

责任印制 韩刚

目 录

第一章

1

绪 论

1.1 通信技术的发展和展望	1
1.2 信息、信息量与信道容量公式	3
1.2.1 消息、信号与信息	3
1.2.2 信息量	4
1.2.3 平均信息量	5
1.2.4 香农信道容量公式	7
1.3 通信系统模型	9
1.3.1 通信系统一般模型	9
1.3.2 通信系统的分类	11
1.3.3 模拟通信系统与数字通信系统	12
1.4 通信系统的主要性能指标	13
1.4.1 有效性	14
1.4.2 可靠性	14
习题	15

第二章

18

确定信号分析

2.1 信号的正交展开与频谱分析	18
2.1.1 信号的正交展开	18
2.1.2 信号的频谱分析	20
2.2 能量信号与功率信号	23
2.2.1 能量信号与能量谱密度函数	23

2.2.2 功率信号与功率谱密度函数	24
2.3 相关函数与功率谱密度函数	26
2.3.1 能量信号的相关函数	27
2.3.2 能量信号的相关定理	29
2.3.3 功率信号的相关函数	30
2.4 窄带系统与窄带信号分析	32
2.4.1 一般方法——傅里叶逆变换法	33
2.4.2 解析法——等效低通网络函数法	34
2.5 信号带宽	35
2.6 复数信号与时域希尔伯特(Hilbert)变换	36
2.6.1 复数信号的定义	37
2.6.2 复数信号的实部与虚部及希尔伯特变换	38
2.6.3 实时间信号的复指数表示与解析信号表示	39
2.6.4 窄带实时间信号自相关函数的复数化求解	41
习题	43

第三章

49

随机信号与噪声分析

3.1 随机过程的基本概念	49
3.2 随机过程的统计描述	51
3.2.1 随机过程的分布函数与概率密度函数	51
3.2.2 随机过程的数字特征	53
3.3 平稳随机过程	56
3.3.1 平稳随机过程的定义及其含义	56
3.3.2 平稳随机过程的一维与二维概率密度函数	57
3.3.3 平稳随机过程的数字特征	57
3.3.4 平稳随机过程自相关函数的性质	57
3.3.5 平稳随机过程的各态历经性(遍历性)	59
3.4 平稳随机过程的自相关函数与功率谱密度的关系——维纳-欣钦定理	60
3.5 两个随机过程之间的统计联系	63
3.5.1 联合分布函数与联合概率密度函数	63
3.5.2 互相关函数	64
3.5.3 互谱密度函数	65
3.6 正态随机过程	66

3.6.1	正态随机过程的定义	66
3.6.2	正态随机过程的性质	67
3.7	平稳随机过程通过线性系统	68
3.8	白噪声、散弹噪声与热噪声	72
3.9	白色随机过程通过窄带线性系统——窄带噪声	76
3.9.1	窄带噪声的波形特征	77
3.9.2	$n_c(t)$ 与 $n_s(t)$ 以及 $R(t)$ 与 $\theta(t)$ 的统计特性	78
3.10	正弦波加窄带高斯噪声的统计特性	83
	习题	85

第四章

92

信号设计导论

4.1	信号与信号设计	92
4.1.1	信号设计的基本概念	93
4.1.2	信号设计的基本原则	94
4.2	匹配滤波器	94
4.2.1	匹配滤波器的传输函数	95
4.2.2	匹配滤波器的输出响应	98
4.2.3	输入为非白噪声时匹配滤波器的传输特性	101
4.3	信号单元的相关函数	103
4.3.1	信号单元	103
4.3.2	波形信号单元的相关函数	103
4.3.3	序列信号单元的相关函数	105
4.4	鸟声信号单元	108
4.4.1	鸟声信号的时域表示	108
4.4.2	鸟声信号的频谱	109
4.4.3	鸟声信号单元的自相关函数	110
4.5	巴克(Barker)序列	113
4.5.1	巴克序列及其自相关函数	113
4.5.2	巴克序列的演变	114
4.5.3	巴克序列的检测问题	115
4.6	m 序列信号单元	117
4.6.1	m 序列的产生	118
4.6.2	特征多项式与序列多项式	120
4.6.3	m 序列的产生条件	123

III



4.6.4	m 序列信号单元的性质	126
4.6.5	Gold 序列	133
4.6.6	非线性反馈移位寄存器序列——M 序列	135
4.6.7	m 序列的应用	137
4.7	超正交单纯码与阿达玛(Hadamard)矩阵	144
4.7.1	超正交单纯码	144
4.7.2	阿达玛矩阵 H	147
习题		150

第五章

153

幅度调制系统

5.1	引言	153
5.2	标准幅度调制(AM)	154
5.2.1	AM 信号的时域与频域表示	154
5.2.2	AM 信号的解调	156
5.2.3	AM 信号的功率分布与调制效率	158
5.3	抑制载波双边带调制(DSB)	161
5.3.1	DSB 信号的时域表示	161
5.3.2	DSB 信号的频域表示	161
5.3.3	DSB 信号的解调	162
5.4	单边带调制(SSB)	163
5.4.1	SSB 信号产生模型与已调信号频谱	163
5.4.2	SSB 信号的解调	164
5.4.3	SSB 信号的时域波形	165
5.5	残留边带调制(VSB)	167
5.5.1	VSB 信号产生模型	167
5.5.2	VSB 信号的解调	168
5.6	幅度调制系统的一般模型	170
5.6.1	幅度调制信号产生的一般模型	170
5.6.2	SSB 调制模型	171
5.6.3	VSB 调制模型	175
5.7	幅度调制信号解调的一般模型	178
5.7.1	同步解调	178
5.7.2	包络解调	178
5.8	幅度调制系统的抗噪声性能	179

5.8.1	通信系统抗噪声性能的分析模型	179
5.8.2	幅度调制系统同步解调时的抗噪声性能	181
5.8.3	幅度调制系统包络解调时的抗噪声性能	185
	习题	187

第六章

191

角度调制系统

6.1	引言	191
6.2	角度调制的基本概念	191
6.2.1	相位调制(PM)	192
6.2.2	频率调制(FM)	192
6.3	调频信号频谱分析与卡森(Carson)带宽	195
6.3.1	窄带调频(NBFM)	195
6.3.2	简谐波信号调制时的宽带调频	196
6.3.3	卡森带宽	199
6.4	调频信号的产生与解调	199
6.4.1	调频信号的产生	199
6.4.2	调频信号的解调	200
6.5	调频系统的抗噪声性能	201
6.5.1	窄带调频系统的抗噪声性能	201
6.5.2	宽带调频系统的抗噪声性能	204
6.6	加重措施对噪声特性的改善	209
6.7	频分复用(FDM)	212
	习题	213

第七章

217

信源编码

7.1	离散无记忆信源(DMS)编码	217
7.1.1	等长编码	218
7.1.2	不等长编码	218
7.2	抽样定理	221
7.2.1	低通信号的抽样定理	221
7.2.2	自然抽样	224
7.2.3	平顶抽样	225
7.2.4	带通信号的抽样定理	227



目录

7.3	脉冲模拟调制	228
7.4	脉冲编码调制(PCM)	230
7.4.1	PCM 基本原理	230
7.4.2	均匀量化与量化噪声	230
7.4.3	压扩原理与非均匀量化	232
7.4.4	PCM 编码	237
7.4.5	PCM 译码	243
7.5	PCM 信号的时分复用	244
7.5.1	时分复用(TDM)原理	244
7.5.2	PCM 基群帧结构与高次群	245
7.5.3	PCM 信号的带宽	247
7.5.4	时分复用(TDM)与频分复用(FDM)的比较	248
7.6	PCM 系统的抗噪声性能	248
7.6.1	量化噪声的影响	249
7.6.2	误码对输出信号的影响	249
7.7	自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)	250
7.8	增量编码调制(DM 或 ΔM)	252
7.8.1	ΔM 的基本原理	252
7.8.2	量化噪声与过载量化噪声	254
7.8.3	增量编码调制系统的抗噪声性能	256
7.8.4	增量总和($\Delta - \Sigma$)调制与自适应数字压扩增量调制	259
7.9	PCM 系统与 ΔM 系统的比较	264
7.10	语音和图像信号的压缩编码	265
7.10.1	语音压缩编码	266
7.10.2	图像压缩编码	268
	习题	269

VI

第八章

数字基带传输系统

8.1	引言	274
8.2	数字基带信号	275
8.2.1	数字基带信号的要求	275
8.2.2	数字基带信号的波形	276
8.2.3	常用的基带传输码型	278
8.3	数字基带信号的功率谱	281

8.4	无码间串扰传输系统与奈奎斯特(Nyquist)准则	285
8.4.1	基带系统传输特性与码间串扰	285
8.4.2	无码间串扰系统特性	286
8.4.3	奈奎斯特第一准则	287
8.4.4	无码间串扰的滚降系统特性	288
8.5	部分响应系统	291
8.5.1	余弦谱传输特性	291
8.5.2	正弦谱传输特性	293
8.5.3	部分响应系统	294
8.6	基带系统的最佳化	296
8.6.1	理想信道下的最佳基带系统	296
8.6.2	非理想信道下的最佳基带系统	297
8.7	基带系统的抗噪声性能	298
8.7.1	理想系统的抗噪声性能	298
8.7.2	最佳基带系统的抗噪声性能	300
8.8	均衡器原理	301
8.8.1	频域均衡	302
8.8.2	时域均衡	304
8.9	眼图	309
	习题	311

第九章

317

数字载波传输系统

9.1	引言	317
9.2	二进制数字已调信号及其功率谱	318
9.2.1	2ASK 信号	318
9.2.2	2FSK 信号	320
9.2.3	2PSK 与 2DPSK 信号	323
9.3	二进制数字调制系统的性能分析	326
9.3.1	2ASK 系统的抗噪声性能	326
9.3.2	2FSK 系统的抗噪声性能	330
9.3.3	2PSK 与 2DPSK 系统抗噪声性能	334
9.4	各种数字调制系统的性能比较	338
9.5	数字信号的最佳接收	339
9.5.1	数字信号接收的统计描述	339



9.5.2	最佳接收机结构	342
9.5.3	二进制最佳接收机性能分析	346
9.6	多进制数字调制系统	350
9.6.1	多进制幅移键控(MASK)	350
9.6.2	多进制频移键控(MFSK)	352
9.6.3	多进制相移键控(MPSK)	353
9.7	改进型数字调制系统	358
9.7.1	QAM 调制	359
9.7.2	连续相位频移键控(CPSK)与 MSK、TMF 调制	362
9.7.3	高斯最小频移键控(GMSK)方式	367
	习题	368

第十章

差错控制编码

10.1	差错控制编码的基本原理	373
10.1.1	引起误码的原因与降低误码的常用方法	373
10.1.2	差错控制编码的基本方法与差错控制方式	375
10.1.3	有扰信道的编码定理	377
10.1.4	重复编码的例子	377
10.1.5	码间距离 d 及检错纠错能力	379
10.2	常用的简单编码	382
10.2.1	奇偶监督码	382
10.2.2	二维奇偶监督码	383
10.2.3	恒比码	384
10.3	线性分组码	385
10.3.1	线性分组码的概念	385
10.3.2	线性分组码的构成与监督矩阵	386
10.3.3	线性分组码的生成矩阵	389
10.3.4	线性分组码的伴随式与检错纠错能力	391
10.3.5	汉明码	392
10.4	循环码	393
10.4.1	循环码的基本概念与码多项式	393
10.4.2	循环码的生成多项式与生成矩阵	396
10.4.3	循环码的编码与解码	398
10.4.4	BCH 码	401

10.4.5	CRC 码	403
10.5	交织编码	404
10.5.1	交织编码的基本原理	404
10.5.2	交织编码的方法与性能	405
10.6	卷积码	406
10.6.1	卷积码	406
10.6.2	网格编码调制(TCM)	413
10.6.3	Turbo 码	416
	习题	420

第十一章

424

同步原理

11.1	同步的基本概念	424
11.2	锁相环(PLL)的基本工作原理	425
11.2.1	模拟锁相环	425
11.2.2	数字锁相环	430
11.3	载波同步	436
11.3.1	插入导频法	436
11.3.2	直接提取载波法	437
11.3.3	载波同步的性能与相位误差对解调信号的影响	442
11.4	码元同步	443
11.4.1	插入导频法	443
11.4.2	直接提取位同步法	444
11.4.3	位同步相位误差对性能的影响	446
11.5	群(帧)同步	447
11.5.1	起止式同步法	447
11.5.2	连贯插入特殊码字同步法	448
11.5.3	间隔式插入同步码法	449
11.5.4	群同步系统的性能	450
11.5.5	关于自群同步简介	451
11.6	数字通信网的网同步	452
11.6.1	主从同步方式	453
11.6.2	相互同步方式	454
11.6.3	独立时钟的同步方式	455
	习题	458



第十二章

通信网

12.1 通信网的基本原理	460
12.1.1 通信网的概念	460
12.1.2 通信网的基本要求	463
12.1.3 通信网的交换方式	464
12.1.4 通信网的约定	466
12.1.5 多址接入	469
12.2 通信网的基本结构	471
12.2.1 通信网的拓扑结构	471
12.2.2 通信网的类型	472
12.2.3 通信网的网络体系结构	474
12.3 数据通信网	476
12.3.1 概述	476
12.3.2 利用普通公用电话网进行数据通信	478
12.3.3 分组交换网	480
12.3.4 数字数据网(DDN)	484
12.4 综合业务数字网(ISDN)简介	487
12.4.1 ISDN 的概念	487
12.4.2 ISDN 的网络功能体系结构	488

习题	489
----	-----

附录

附录 A 傅里叶变换的性质与常用傅氏变换对	491
附录 B 误差函数表	494
附录 C 英文缩略词	496

部分习题答案

500

参考资料

525

第一章

绪 论

1.1 通信技术的发展 and 展望

物质、能量和信息是构成社会的三大基本要素。当前,人类社会已步入了“信息社会”,一场信息化革命的风暴正席卷全球。这是继农业革命、工业革命之后的又一次改变人类社会进程的伟大革命。在信息社会,人们无需再像以前那样将主要的时间和精力用于物质、能源的开发和利用上,而是以更多的精力与信息打交道。信息社会的最主要特征是,信息已成为一种重要的社会资源。信息社会与工业社会、农业社会的最大差异在于信息已成为人类生存及社会进步的重要推动力。信息的开发和利用已成为社会生产力发展的重要标志。

现代通信系统起着信息传输和交换的作用,在信息社会中更显示出它的重要性,通信系统可视为信息社会的生命线。通信技术的发展代表着人类社会的文明和进步,因此从事通信方面工作的技术人员应该了解通信技术的过去和现在,并能预测未来的发展趋势。

自人类存在以来,在生存斗争中总要进行思想交流和消息的传递。远古时代的人类用表情和动作进行信息交换,这是人类最原始的通信。在漫长的生活中,人类创造了语言和文字,进而用语言和文字(书信)进行消息的传递。