



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

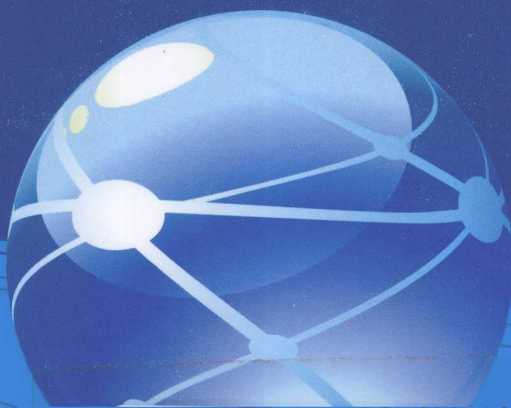
高等学校电子信息类系列教材

通信系统原理

(第2版)

□ 冯玉珉 郭宇春 编著

□ 张树京 主审



清华大学出版社

北京交通大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
北京高等教育精品教材

高等学校电子信息类系列教材

通信系统原理

(第2版)

冯玉珉 郭宇春 编著
张树京 主审

清华大学出版社
北京交通大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书共分10章,从通信系统角度,重点讨论“编码、调制、传输与噪声”,并增强数字通信原理内容,同时,根据通信的发展,增加了现代数字通信新技术和多用户通信原理。本书编写着重突出“概念—思路—重点—方法—应用”,并同时提供与本书配套的学习指南《通信系统原理学习指南》(修订本)。

本书适于通信与电子信息类专业学生作为教材,同时适用于从事通信、信息工作的科技、工程人员参考,也可供投考研究生复习和青年教师备课参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

通信系统原理/冯玉珉,郭宇春编著.—2版.—北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2010.12

(高等学校电子信息类系列教材)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5121-0413-6

I. ①通… II. ①冯… ②郭… III. ①通信系统—高等学校—教材 IV. ①TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第242293号

责任编辑:韩 乐

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京东光印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:25 字数:630千字

版 次:2011年2月第2版 2011年2月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0413-6/TN·75

印 数:1~3 000册 定价:37.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

高等学校电子信息类系列教材 编审委员会成员名单

主 任 谈振辉

副主任 张思东 赵尔沅

委 员 (以姓氏笔画为序)

王志刚	邓忠礼	冯玉珉	冯锡生	卢先河
刘 云	齐立心	朱定华	严国萍	李承恕
汪希时	沙 斐	张有根	张林昌	陈常嘉
郑光信	屈 波	钟章队	徐佩霞	薛 质

总 序

近年来,我国高等教育经历了重大的改革,已经在教育思想和观念上、教育方法和手段上有了长足的进步,在较大范围和较深层次上取得了成果。为了推进课程改革、加快我国大学教育国际化的进程,教学内容和课程体系改革已经是势在必行。特别在通信与信息领域,随着微电子、光电子技术、计算机技术及光纤等相关技术的发展,尤其是计算机技术与通信技术相结合,使得现代通信正经历着一场变革,各种新技术、新业务、新系统和新应用层出不穷,传统的教学内容和课程体系已不能满足要求,同时教材内容也需要更新。在此背景下,我们决定编写一套紧跟国际科技发展又适合我国国情的“高等学校电子信息类系列教材”,以适应我国高等教育改革的新形势。

“高等学校电子信息类系列教材”涉及传输技术、交换技术、IP技术、接入技术、通信网络技术及各种新业务等。我们在取得教学改革成果的基础上,组织了一批具有多年教学经验、从事科研工作的教师参与编写这套专业课程系列教材。

本系列专业课程教材具有以下特色:

- 在编写指导思想上,突出实用性、基础性、先进性和时代特征,强调核心知识,结合实际应用,理论与实践相结合;
- 在教材体系上,强调知识结构的系统性和完整性,强调课程间的有机联系,注重学生知识运用能力和创新意识的培养;
- 在教材内容上,重点阐述系统的基本概念和原理、基本组成、基本功能及基本应用,对一些新技术和新应用做较系统的介绍。内容丰富,层次分明,重点突出,叙述简洁,深入浅出。

本系列专业课程教材包括:

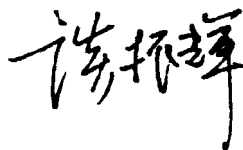
《现代通信概论》、《通信系统原理(第2版)》、《通信系统原理学习指南》、《数字通信》、《现代交换技术》、《光纤通信理论基础》、《光纤通信系统及其应用》、《光接入网技术及其应用》、《现代移动通信系统》、《数字微波通信》、《卫星通信》、《现代通信网》、《自动控制原理》、《蓝牙技术原理与协议》、《计算机通信网基础》、《多媒体通信》、《数字图像处理学》、《网络信息安全技术》等。

本系列教材的出版得到北京交通大学教务处的的大力支持,同时也得到北京交通大学出版社、清华大学出版社有关同志的精心指导和全力帮助。

本系列教材适合于高等院校通信及相关专业本科生教育,也可作为从事电信工作的技术人员自学教材及培训教材。

“高等学校电子信息类系列教材”

编审委员会主任



2010年12月

序

冯玉珉教授编著的《通信系统原理》经过修订后,受到同行专家的好评,并深受广大师生的欢迎,特别是与之相配套的教材《通信系统原理学习指南》更是得到热销,本教材被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和北京高等教育精品教材,值得庆贺。

本教材与20世纪出版过的同名教材相比,内容上有了诸多更新和补充,特别是在第8章内新增了复合编码的内容,第9章新增了正交频分复用的内容,以及新增了第10章多用户通信内容。体现了作者联系实际、推陈出新的精神,反映了最近10多年来通信技术的发展和创新能力,达到了教育部倡导的“要大力锤炼精品教材”的宗旨。

新编的通信系统原理教材仍然保持了原先教材的特色和风格,与同类教材相比它强调通信系统的整体性,以及实现通信系统整体性的关键技术和质量指标(兼顾通信有效性和可靠性指标)。回顾1981年通信系统原理教材(试用版)问世的时候,国内没有设置通信原理的课程和教材,当时沿用前苏联的教学计划和课程设置,在数理化等公共基础课之后就是通信的专业课,例如发送设备、接收设备、天线、传输线路、载波原理、交换原理等,它们相互独立,相应的技术指标也是各自为政,不能反映整个通信系统的传输质量和通信系统的有效性缺乏一门课程将通信系统组合起来视为一个整体。在多年教学实践的过程中深切体会有必要增设一门能够衔接公共基础课与专业课之间的专业基础课,同时能够将原来分散的通信专业课融合为一体,于是通信系统原理(有时简称通信原理)课程在第一轮教学改革中问世,同时出版了反映该课程教学大纲内容的通信系统原理教材。经过试用和两次改版后得到了各兄弟院校的大力支持,在20多年里总共发行约3万余册,相继被评为国家级优秀教材(1985年)和国家级优秀教学成果奖(1992年)。

新编的《通信系统原理(第2版)》及与之相配套的《通信系统原理学习指南》,章节安排合理,内容由浅入深,理论联系实际,适合通信专业本科学生使用。其中第1章是概括介绍通信系统的要素和组成原理,以及反映通信系统的主要质量指标,是初学通信课程的基本知识内容。第2章是运用随机过程、概率统计等数学工具来分析通信系统内的信号和噪声,在这章内数学公式比较多,其结论对通信系统的传输质量分析是很重要的,也可以视为承上启下和理论联系实际的基础知识。第3章介绍的模拟调制系统虽然现已不再应用,但模拟调制技术仍然是信号调制理论的基础,因此有必要给初学的读者详细介绍。第4章着重介绍模拟信号数字化过程,特别是PCM技术是在通信系统内传输数字语音和数字图像的基础,是数字通信全面推广的功臣。第5章是分析在信道存在噪声和失真的条件下如何提高数据信号传输的质量,以及如何采取相应的技术措施。第6章是详细介绍数字调制技术和分析调制后信号的传输性能,这部分内容紧密联系实际,是数字通信的基础。第7章最佳接收是对通信系统的优化,也是改进提高通信系统传输质量的方向。在第8章内新增了复合编码的内容,特别是Turbo码代表了当前信道编码的发展方向,在国际卫星通信中受到重视。同样,在第9章内新增了正交频分

复用的内容，它在多载波移动通信制式中得到了广泛应用。这里特别要提出新增的第10章的内容非常重要，多用户通信是构成宽带通信网的基础，尤其宽带移动通信网代表了当前通信技术的前沿，第三代移动通信和超宽带无线通信受到通信专家和制造商的青睐。

以上10章内容的有机结合，充分论述了通信系统组成的各个关键技术。既追溯到历史上曾经起到主导作用的模拟通信技术，又强调了目前正在成为主流的数字通信技术，同时还展望了下一代的通信技术。历经100多年的通信技术发展和进步在本书内都能见到和涉及，无疑对初学通信专业的读者是一本入门教材，而对于具有通信专业背景的工程技术人员也可以从本书中得到启发，并进一步深化对通信技术的理解和运用。我想这正是本书受到好评和热销的原因。



2010年12月 上海

前 言

作者曾于1989年随同主编张树京教授参与编写了1992年出版的《通信系统原理》教材，同时主编了配套的习题集。10多年来，通信技术已有了很大的发展，对本课程教学提出了新的要求，作者在20多年的教学实践和与同行的不断交流中也有不少新的认识，编写一本当前更为适用的教材早已是作者的心愿。在恩师张树京教授的悉心指导下，完成了本书的编写工作，并于2003年出版。该书出版以来，经过两次修订，均及时调整与更新有关章节内容，追踪通信新技术及其应用。本次修订为第2版，具有如下特点。

- 全书以现代数字通信系统为主线，虽然保留了通信原理的基本内容，但却进行了显著压缩；对数字信号基带传输、最佳接收和信道编码等3章进行了更新或充实。特别是增设了“常用的现代数字调制”和“多用户通信”，包括了多种传输制式和先进技术，正在大力推广应用，应当作为本课程的重要授课内容。

- 信息—编码—调制—传输—噪声，可以说整个通信领域都充满着、渗透着数字理论。因此本书着重刻划了所设计的多种数字模型，并尽量完善地展示多功能模块和系统的数字运作过程。

- 在列举多种模块和系统的数学模型中，本书明确揭示了它们的共同本质，试用一个“相关系数” ρ ： $-1 \leq \rho \leq 1$ 。一个通信系统的发送端和接收端分别适用其中的 $-1 \leq \rho \leq 0$ 和 $0 \leq \rho \leq 1$ 。前者为正交特性，包括码字间，序列间或发送信号星座中信息星点间的距离特性，复用信道、复用信号及同一个通信系统中消息符号间的正交性。后者为相关特性，包括接收系统的相关检测，相干或非相干及最佳接收。可以说正交与相关概念与理论是通信系统设计的精髓。

- 本书第2版仍以“阐明概念，清彻思绪，突出重点，剖析实质，结合应用”作为书写的基本着力点，增加各章例题，和配套教材《通信系统原理学习指南》中大量例题或应用案例相配合，提高教材的可读性。

最后，在本书第2版面市之际，由衷地感谢《通信系统原理》的开创者，著名的通信专家——恩师张树京教授。并借此机会对多年来给作者以热切教诲和指导的前辈，著名通信专家简水生院士、袁保宗、李承恕、张林昌及汪希时教授等各位恩师表示深切谢意。对本书给予首肯的著名通信专家，北京邮电大学乐光新教授，北京交通大学吴湘琪教授，天津大学王秉钧教授表示真挚谢意。还要感谢本教学组长期通力合作各位教师。最后对一贯支持本课程和教材书写及为之申报精品课程和精品教材、教学成果奖的教务处领导张有根教授，原电子信息学院院长张思东教授给以最真诚的谢意。

本书虽然多次修改，仍会存在不妥之处或某些瑕疵，敬请通信界同仁和广大读者提出批评指正。

作 者

2011年1月北京

目 录

第1章 通信系统概述	(1)
1.1 信息与信息技术	(1)
1.1.1 信息	(1)
1.1.2 信息技术	(2)
1.1.3 媒体与多媒体	(2)
1.1.4 信息量	(3)
1.2 通信与通信系统	(3)
1.2.1 通信	(4)
1.2.2 通信系统	(4)
1.3 传输信道和噪声	(7)
1.3.1 信道分类	(7)
* 1.3.2 恒参与变参信道特征	(8)
1.3.3 信道的干扰	(11)
1.3.4 几种常用信道特征	(12)
1.3.5 信道容量的概念	(13)
1.4 通信频段的划分	(17)
1.5 通信系统质量指标	(18)
1.5.1 通信质量概述	(18)
1.5.2 通信系统有效性技术	(19)
1.5.3 通信系统可靠性技术	(19)
1.6 通信发展简史	(20)
1.7 复习与思考	(22)
第2章 信号与噪声分析	(23)
2.1 信号与系统表示法	(23)
2.1.1 通信系统常用信号类型	(23)
2.1.2 系统表示法	(25)
2.2 信号频谱分析概略	(25)
2.2.1 傅里叶级数	(26)
2.2.2 傅里叶变换	(26)
2.2.3 卷积与相关	(28)
2.2.4 能量谱、功率谱及帕氏定理	(29)
2.3 希尔伯特变换	(31)
2.3.1 希氏变换	(31)
2.3.2 希氏变换的主要性质	(32)

* 2.3.3 预包络	(32)
2.4 随机变量的统计特征	(33)
2.4.1 概率的公理概念和运算	(33)
2.4.2 随机变量	(36)
2.4.3 随机变量的统计特征	(37)
2.4.4 常用的随机变量类型	(38)
2.4.5 随机变量统计平均	(40)
* 2.4.6 随机变量的变换	(40)
2.4.7 二维随机变量及其统计特征	(41)
2.4.8 二维高斯随机变量的统计特征	(42)
2.5 随机过程	(44)
2.5.1 随机过程的概念和定义	(44)
2.5.2 随机信号的统计特征和平稳随机过程	(45)
2.5.3 关于不相关、正交和统计独立的讨论	(49)
2.5.4 遍历性平稳随机过程	(50)
2.5.5 平稳随机信号的功率谱	(51)
2.6 随机信号通过系统的分析	(53)
2.6.1 平稳随机信号通过线性系统	(54)
2.6.2 随机信号进入乘法器	(55)
2.7 高斯型随机过程	(56)
2.7.1 高斯随机过程的统计特征	(56)
2.7.2 白噪声	(57)
2.7.3 热噪声	(57)
2.7.4 限带高斯白噪声	(58)
2.8 窄带高斯噪声	(60)
2.8.1 窄带高斯噪声的统计特征	(60)
2.8.2 高频载波加窄带高斯噪声	(64)
2.9 本章小结	(66)
2.10 复习与思考	(66)
2.11 习题	(67)
2.11.1 傅里叶变换及信号分析	(67)
2.11.2 概率与随机变量	(67)
2.11.3 随机过程统计特征	(68)
2.11.4 随机信号与高斯噪声通过系统	(68)
2.11.5 两个随机过程的统计关系	(69)
第3章 模拟调制系统	(70)
3.1 调制的功能和分类	(70)
3.1.1 调制功能	(70)
3.1.2 调制的分类	(71)

3.2	调幅与双边带调制	(72)
3.2.1	调幅 (AM) 波时域波形	(72)
3.2.2	调幅波的频谱	(73)
3.2.3	调幅信号的功率分配	(73)
3.2.4	双边带调制	(74)
3.3	单边带与残留边带调制	(75)
3.3.1	单边带信号的产生	(75)
3.3.2	残留边带调制	(78)
3.4	线性调制的系统模型和解调	(79)
3.4.1	线性调制的通用模型	(79)
3.4.2	相干解调与非相干解调	(80)
3.5	线性调制系统的噪声性能分析	(82)
3.5.1	相干解调系统信噪比计算	(82)
3.5.2	线性调制系统性能评价	(83)
3.6	非线性调制	(85)
3.6.1	角度调制概念	(85)
3.6.2	单音调角	(86)
3.7	窄带调角	(87)
3.7.1	窄带调频信号分析	(88)
3.7.2	窄带调相	(89)
3.8	宽带调频信号分析	(89)
3.8.1	WBFM 时-频域特征	(89)
3.8.2	$J_n(\beta)$ 性质与 FM 信号频谱特征	(91)
3.8.3	调频信号有关参数分析	(92)
3.9	调频波的解调及性能分析	(93)
3.9.1	宽带调频信号的非相干解调与性能分析	(93)
3.9.2	FM 系统的预/去加重技术	(96)
3.9.3	FM 门限效应	(98)
3.10	本章小结	(100)
3.11	复习与思考	(101)
3.12	习题	(101)
3.12.1	线性调制系统信号分析	(101)
3.12.2	解调与性能分析	(102)
3.12.3	调频信号分析	(103)
3.12.4	鉴频与性能分析	(104)
3.12.5	调相信号与解调性能	(105)
3.12.6	综合性题目	(105)
第4章	模拟信号编码传输	(107)
4.1	模拟信号数字化概述	(107)

4.1.1	脉冲编码调制概念	(107)
4.1.2	PCM 和数字信号优点	(108)
4.2	抽样与脉冲模拟调制	(108)
4.2.1	低通信号抽样定理	(108)
*4.2.2	模拟信号脉冲调制	(111)
4.3	量化与编码	(113)
4.3.1	量化与编码概念	(113)
*4.3.2	编码技术概要	(116)
4.3.3	线性(均匀)量化与量化信噪比	(117)
4.4	语音 PCM	(121)
4.4.1	非均匀量化	(122)
4.4.2	A 律/13 折线的 PCM 编码	(123)
*4.4.3	PCM 传输格式	(125)
4.5	差分脉码调制	(130)
4.5.1	预测编码概述	(130)
4.5.2	DPCM 系统分析	(130)
4.6	增量调制	(134)
4.6.1	增量调制基本特点	(134)
4.6.2	过载特性	(135)
*4.6.3	改进型 DM	(136)
*4.6.4	DM 系统量化噪声	(138)
*4.7	自适应差分脉码调制	(139)
4.8	本章小结	(142)
4.9	复习与思考	(142)
4.10	习题	(143)
4.10.1	线性量化 PCM	(143)
4.10.2	非均匀量化 PCM	(144)
4.10.3	预测编码	(145)
第 5 章	数字信号基带传输	(146)
5.1	数字基带信号的脉冲波形表示和传输码型	(146)
5.1.1	表示数字基带信号的常用脉冲波形	(146)
5.1.2	几种常用的传输码型	(148)
5.1.3	传输码型选择和波形设计要求	(150)
5.2	数字基带信号功率谱	(151)
5.2.1	数字基带信号分析	(151)
5.2.2	功率谱计算	(152)
5.2.3	基带功率谱特征	(153)
5.3	符号间干扰	(154)
5.4	无失真数字基带传输——奈奎斯特第一准则	(155)

5.4.1	奈奎斯特准则的充要条件	(155)
5.4.2	奈奎斯特理想信道传输	(157)
5.4.3	升余弦响应频谱——奈氏第一准则实现方法	(158)
5.5	部分响应系统——奈奎斯特第二准则	(160)
5.5.1	双二进制信号——第 I 类部分响应	(160)
5.5.2	第 IV 类部分响应	(163)
*5.5.3	相关电平编码的推广	(165)
*5.6	波形成形的数字技术	(166)
5.7	信道均衡	(167)
5.7.1	均衡概念	(167)
5.7.2	抽头-延迟线均衡	(167)
*5.7.3	自适应均衡	(170)
5.8	数字信号基带传输误码性能分析	(171)
5.9	眼图	(174)
5.9.1	眼图的构成	(174)
5.9.2	眼图包括的主要参量	(174)
5.10	本章小结	(175)
5.11	复习与思考	(176)
5.12	习题	(177)
5.12.1	码型与功率谱	(177)
5.12.2	奈氏准则及其实现	(178)
5.12.3	均衡	(179)
5.12.4	误码性能	(180)
第 6 章	数字信号的频带传输	(181)
6.1	概述	(181)
6.1.1	数字信号正弦载波调制	(181)
6.1.2	数字调制技术系列和分类	(182)
6.2	二元幅移键控	(182)
6.2.1	ASK 信号分析	(182)
6.2.2	ASK 信号相干检测	(184)
6.2.3	非相干 ASK 抗噪声性能分析	(185)
6.3	二元频移键控	(187)
6.3.1	相位不连续的频移键控信号	(187)
6.3.2	FSK 信号的检测及抗噪声性能	(189)
6.3.3	连续相位频移键控信号	(191)
6.4	二元相移键控	(193)
6.4.1	二元相移键控的构成	(193)
6.4.2	PSK 相干检测及抗噪声性能	(195)
6.4.3	相对(差分)相移键控	(196)

6.5	三种二元数字调制的性能比较	(198)
6.6	多元数字调幅与调频	(201)
6.6.1	多元调制的特点	(201)
6.6.2	多元数字调幅	(201)
6.6.3	多元数字调频	(204)
6.7	多元数字调相	(206)
6.7.1	MPSK 信号表示法	(206)
6.7.2	多元调相信号空间特征与噪声性能	(209)
6.8	本章小结	(214)
6.9	复习与思考	(214)
6.10	习题	(215)
第7章	数字信号的最佳接收	(218)
7.1	最佳接收准则	(218)
7.1.1	最大输出信噪比准则	(218)
7.1.2	最小均方误差准则	(219)
7.1.3	最大后验概率或最大似然接收准则	(219)
7.2	利用匹配滤波器的最佳接收	(220)
7.2.1	匹配滤波器的设计	(220)
7.2.2	匹配滤波器输出信号分析	(222)
7.2.3	匹配滤波器的实现	(222)
7.3	带通数字信号的最佳接收	(225)
7.3.1	未知相位载波信号的最佳接收	(225)
7.3.2	相关接收	(229)
*7.4	理想接收机模型	(232)
7.5	最佳接收误码率统计分析	(234)
7.5.1	三种最佳接收机统一性及条件	(234)
*7.5.2	误比特率分析计算	(235)
7.6	本章小结	(238)
7.7	复习与思考	(239)
7.8	习题	(239)
7.8.1	匹配滤波器接收	(239)
7.8.2	相关接收	(241)
第8章	信道编码	(242)
8.1	差错控制概述	(242)
8.1.1	二元对称信道和错误式样	(242)
8.1.2	差错控制分类	(244)
8.1.3	常用差错控制码	(245)
8.1.4	差错控制定理	(247)
8.2	线性分组码	(248)

8.2.1	概念与思路	(248)
8.2.2	(n, k) 线性分组码的构成	(249)
8.2.3	伴随式解码	(252)
8.2.4	汉明界	(253)
8.2.5	汉明码及其扩展	(254)
8.2.6	完备码	(255)
8.2.7	分组码的对偶码	(255)
8.3	(n, k) 循环码	(255)
8.3.1	码多项式表示及其运算	(255)
8.3.2	(n, k) 循环码的描述	(257)
8.3.3	循环码编码方法和编码电路	(258)
8.3.4	循环码的对偶码与缩短码	(259)
8.3.5	伴随式纠错解码	(260)
*8.4	几种重要的循环码	(260)
8.4.1	CRC 码	(261)
8.4.2	BCH 码	(261)
8.4.3	R-S 码	(262)
8.5	卷积码	(262)
8.5.1	卷积码特征	(262)
8.5.2	卷积码数学描述	(263)
8.5.3	卷积码图示法	(264)
8.5.4	卷积码维特比解码与纠错能力	(266)
8.6	复合编码	(269)
8.6.1	级联码	(269)
8.6.2	交织码和乘积码	(271)
*8.6.3	Turbo 码	(274)
8.7	本章小结	(275)
8.8	复习与思考	(276)
8.9	习题	(277)
8.9.1	差错控制概念	(277)
8.9.2	(n, k) 分组码	(277)
8.9.3	循环码特性	(278)
8.9.4	卷积码	(279)
8.9.5	复合编码	(279)
第9章	先进的数字调制技术	(281)
9.1	概述	(281)
9.2	正交调幅 (幅-相调制)	(282)
9.2.1	QAM 信号的基本构成特点	(282)
*9.2.2	MQAM 信号相关接收与抗噪声性能	(286)

9.2.3	MQAM 与 MPSK 性能比较	(287)
9.3	改进型 QPSK	(289)
9.3.1	OQPSK 与 DOQPSK	(289)
9.3.2	IJF-OQPSK	(290)
*9.3.3	$\frac{\pi}{4}$ -QPSK 与 $\frac{\pi}{4}$ -DQPSK	(291)
9.4	最小频移键控	(293)
9.4.1	MSK 信号空间	(293)
9.4.2	MSK 信号的最佳接收与性能特征	(297)
*9.4.3	改进型 MSK	(299)
9.5	扩频调制	(302)
9.5.1	扩频调制的基本原理	(302)
9.5.2	PN 与 m 序列	(304)
9.5.3	直接序列扩频 (DS-SS)	(306)
9.5.4	干扰容限 J_m	(308)
9.5.5	跳频扩频概述	(309)
9.6	网格编码调制	(311)
9.6.1	编码调制一体化基本思路	(311)
9.6.2	TCM 信号的构成	(312)
9.6.3	TCM 信号解码	(316)
*9.6.4	8VSB-TCM 模式	(317)
9.7	正交频分复用 (OFDM)	(318)
9.7.1	多载波和 OFDM 基本概念	(318)
9.7.2	OFDM 技术实施	(319)
*9.7.3	OFDM 典型应用示例和性能评价	(322)
9.8	本章小结	(326)
9.9	复习与思考	(327)
9.10	习题	(327)
9.10.1	QAM 与 MSK	(327)
9.10.2	扩频调制	(328)
9.10.3	TCM 和 OFDM	(329)
第 10 章	多用户通信	(330)
10.1	多用户通信概述	(330)
10.1.1	多用户通信及其分类	(330)
10.1.2	通信资源的分配方式	(331)
10.2	频分多址和时分多址	(332)
10.2.1	频分复用/多址 (FDM/FDMA)	(332)
10.2.2	时分复用/多址 (TDM/TDMA)	(334)
10.3	码分多址 (CDMA)	(336)

10.3.1	CDMA 概述	(336)
10.3.2	CDMA 分类	(337)
10.3.3	CDMA 系统的干扰问题	(338)
10.4	局域网中的多址技术	(342)
10.4.1	ALOHA	(342)
10.4.2	载波侦听多址网 (CSMA)	(344)
10.4.3	接入控制的预约方式	(346)
* 10.5	其他多址技术	(347)
10.5.1	空分与极化多址	(347)
10.5.2	光接入系统中的多址技术	(347)
10.6	无线多址系统中的电波传播和多径衰落	(348)
10.6.1	多径传播与衰落	(348)
10.6.2	多径衰落信道相干带宽和相干时间	(349)
10.7	多径衰落信道的分集接收技术	(351)
10.7.1	分集技术概述	(351)
10.7.2	分集技术分类	(352)
10.7.3	分集中的合并技术	(353)
10.7.4	Rake 接收	(353)
* 10.8	移动无线通信中的多址技术典型示例 (简介)	(354)
10.8.1	数字移动无线多址系统特征	(354)
10.8.2	GSM 系统中的多址技术	(356)
10.8.3	IS-54 和 IS-95 多址技术特点	(359)
10.8.4	“3G”——第三代移动通信的宽带 CDMA 技术	(360)
10.9	本章小结	(362)
10.10	复习与思考	(363)
10.11	习题	(363)
10.11.1	多用户/多址概念	(363)
10.11.2	GSM-TDMA	(364)
10.11.3	CDMA	(364)
10.11.4	传输损耗和多径衰落	(365)
附录 A	概率积分函数表、误差函数表	(366)
A1	概率积分函数表	(366)
A2	误差函数表	(367)
附录 B	三角函数恒等式	(368)
附录 C	英文缩写词	(369)
部分习题答案		(374)
参考文献		(380)