



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



国家级特色专业 · 通信工程 · 核心课程规划教材

通信原理教程

Lectures on Communication Principles

(第3版)

樊昌信 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

通信原理教程

(第3版)

樊昌信 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书在简要介绍模拟通信原理的基础上,以数字通信原理为重点,讲述通信系统的组成、性能指标、工作原理、性能分析和设计方法。对于近年来新出现的通信体制和技术给予了充分的重视。

本书适用于普通高等学校工科电子类专业,作为本科3、4年级和研究生1年级的教科书或参考书,也可供从事通信专业工作的工程技术人员作为参考书或进修课程教材。

本书配有免费电子课件,并配套出版了《通信原理学习指导与习题解答》。

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

通信原理教程/樊昌信编著. —3版. —北京:电子工业出版社,2012.12

国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材

ISBN 978-7-121-17596-1

I. ①通… II. ①樊… III. ①通信理论-高等学校-教材 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第157994号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

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:21 字数:600千字

印 次:2012年12月第1次印刷

印 数:5000册 定价:49.00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。

质量投诉请发邮件至 zlls@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

教材建设是高等学校组织教学和进行学科建设的重要内容。

为贯彻落实教育部“质量工程”的具体工作，把课程、教材建设与资源共享提上新的高度，电子工业出版社充分发挥在电子信息领域的教育出版优势和独树一帜的品牌影响力，适时推出了这套“国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材”。

与以往出版的同类教材相比，这套教材具有以下特点：

- (1) 专业特色鲜明：以本科通信工程专业的专业核心课程为主线。
- (2) 注重先进性、系统性、教学适用性：基本理论阐述精练，深入浅出，便于自学；注意吸收新理论、新技术成果；加强实践性与应用性，结合实例进行讲解。
- (3) 配套教学支持：每本教材配有教学课件（电子教案），部分重要课程配套出版教学辅导书。
- (4) 质量保证：本套教材特别吸纳或整合了以下优秀资源：
 - ① 多数教材来源于优秀教材的修订和再版，包括教育部“十五”、“十一五”等历届国家级规划教材、国家级或省部级获奖教材、历届全国统编教材等。
 - ② 多数作者为著名教材作者、国家级/省级教学名师、国家级/省级优秀教学团队负责人。
 - ③ 其他优秀教学资源，如国家级/省级精品课程、国家级教学示范中心等组织编写的、体现相应课程或课程群特色的配套教材。

为做好本套教材的编写、出版工作，我们聘请了多位国内通信教育领域的著名教授作为教材顾问，并聘请了清华大学、东南大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校电子信息学院（系）的院长（系主任）成立教材编委会，从根本上保证了教材的高质量。在此对他们的辛勤工作表示衷心的感谢。

我们坚信：一流的教师队伍，一定有一流的教学理念和方法；一流的教学内容，需要配备一流的教材，从而体现一流的教学管理和教学质量。

《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》顾问委员

(按姓名音序排列)

迟惠生(北京大学) 程时昕(东南大学)
冯重熙(清华大学) 李承恕(北京交通大学)
吴伟陵(北京邮电大学) 吴诗其(电子科技大学)
谢希仁(解放军理工大学) 袁保宗(北京交通大学)

《国家级特色专业·通信工程·核心课程规划教材》编审委员

(按姓名音序排列)

主任委员 樊昌信(西安电子科技大学)

副主任委员

顾婉仪(北京邮电大学) 李建东(西安电子科技大学)
彭启琮(电子科技大学) 王金龙(解放军理工大学)
王希勤(清华大学) 王传臣(电子工业出版社)
吴镇扬(东南大学) 张思东(北京交通大学)

委员

安建平(北京理工大学) 鲍长春(北京工业大学)
陈咏恩(同济大学) 邓建国(西安交通大学)
段哲民(西北工业大学) 樊昌信(西安电子科技大学)
范平志(西南交通大学) 方勇(上海大学)
酆广增(南京邮电大学) 顾婉仪(北京邮电大学)
顾学迈(哈尔滨工业大学) 康健(吉林大学)
李建东(西安电子科技大学) 李晓峰(电子科技大学)
刘璐(山东大学) 彭启琮(电子科技大学)
仇佩亮(浙江大学) 唐朝京(国防科技大学)
唐向宏(杭州电子科技大学) 田宝玉(北京邮电大学)
王金龙(解放军理工大学) 王希勤(清华大学)
王祖林(北京航空航天大学) 王传臣(电子工业出版社)
韦岗(华南理工大学) 吴镇扬(东南大学)
徐昌庆(上海交通大学) 张德民(重庆邮电大学)
张思东(北京交通大学) 郑建生(武汉大学)
朱光喜(华中科技大学) 朱秀昌(南京邮电大学)

第 3 版说明

本书第 3 版,除了改进一些文字叙述和进行勘误外,主要基于以下几点考虑:

(1) 由于通信网技术的发展,一些老的组网技术日渐显得陈旧,而一些新的组网技术和网络功能,特别是无线移动网络,层出不穷,迅猛涌现;第 13 章通信网的内容显得不能适应当前的技术应用现状,即使增补新的相关内容,也可能挂一漏万。此外,许多学校开设有后续课程,分别讲述各种通信网,例如移动通信网、卫星通信网、计算机通信网等。故将第 13 章通信网删去。

(2) 由于信道容量日益增大,多媒体通信得到广泛应用,以及通信数字化的进程加快,使得信源压缩编码技术得到普遍应用,因此将第 12 章的内容做了较大更新,删去了大部分信息理论内容,增加了语音、图像和数字数据压缩原理的介绍。

(3) 为了便于读者计算习题,附录部分增加了常用三角公式备查。

(4) 部分院校反映各章习题偏少,这次再版补充了习题。

(5) 为便于读者检索,第 2 版中增加了索引,但是付印后发现索引占用了较多页码(达 37 页),甚至超过了多数章的页数。为了节省篇幅,在第 3 版中删除了索引。

为了使本书得到不断改进,作者在此再次恳请读者提出批评指正意见,并对多年来给予指正和来信商榷的读者表示诚挚的感谢。

编著者

于西安电子科技大学

(chxfan@xidian.edu.cn)

再版说明

本书自2004年5月出版后,经国内数十所大学4年多的使用,积累了更多教学经验,需要对全书内容进行全面修订。此外,由于通信技术的迅速发展,在技术内容的阐述上,也需要做部分更新。

这次再版所作的修订约达百余处。其中大部分改动是使论述更为准确、严谨和易于阅读;与初版比较没有体系和章节上的不同。另有少量错误和不当叙述的更正及内容更新。例如,增加对于目前广泛应用的因特网的体系结构介绍,以及对于有较大实用前景的新技术,如LDPC码、统一通信、WiMAX,给予初步关注。

本书已经列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,这也是驱动这次修订的一个因素。

另外,为便于广大读者查阅,增加了索引,强化了本书的查阅和手册功能。

编著者

于西安电子科技大学

前 言

近年来,通信理论和技术有着迅猛的发展。在我国,电信业务的应用已经深入到千家万户,庞大的现代通信网已经成为国家的重要基础设施之一。我国大陆的电话普及率在1980年时仅为0.43%,到2003年底固定电话主线普及率和移动电话普及率已经分别迅速达到20.5%和20.8%;这相当于普及率增长了约100倍;因特网上网人数已达到7800万人,居世界第二位。与此相应,我国电信企、事业单位的数量和其中从业人员的数量也大量增加。在这种形势下,电信专业新生力量的培养和在职人员的再教育是一项重要的任务。为了适应这一形势发展的需要,特编写了这本教科书。

目前的通信网已经基本上实现了数字化。在我国公共通信网中传输的信号主要是数字信号,恐怕只有用户环路中传输的信号,和个别特殊应用中传输的信号,还是模拟信号。因此,本书中将讨论模拟信号传输技术的篇幅压缩到了最低程度,而将绝大部分章节用于讨论数字通信,包括数字信号的变换、编码和传输,以及模拟信号的数字化。

在讨论数字通信技术的章节中,对于某些较新的通信技术给予了应有的重视,例如网格编码调制(TCM)、正交频分调制(OFDM)、多址技术、扩谱技术和TURBO码等。在叙述中还注意结合卫星通信和计算机通信等当前发展迅速的网路中的应用实例进行讲解。由于在通信技术领域中自国外引进的新名词术语和缩略语很多,为了方便读者阅读其他资料,本书中在许多中文名词第一次出现的同时还给出相应的英文名词和缩略词。

为了尽量适应不同学校的教学和在职读者的需要,本书将全部内容分为两篇。第一篇为基本内容,是入门者必读的。第二篇为选读内容,各章都有相对独立性,可以根据不同教学要求选学其中部分章节,也适合通信工程技术人员作为参考资料选读所需部分。此外,为了照顾不同教学计划和不同教学时间的需求,对于一些较烦琐的计算和数学证明等内容,采用不同的字号和字体排印(小五号楷体),在学习中可以根据情况跳过这些部分,不会影响对后面章节内容的理解。各章末皆附有思考题和习题。思考题协助读者复习本章内容,可以起到由读者自己对本章内容作小结的作用;而习题则可以促使读者深入领会本章内容,将理论联系实际,提高解决实际问题的能力。书后还附有少量参考文献,供读者查阅有关结论的出处。书中没有列出更多的参考文献,因为在这网络信息时代,读者可以很容易地从因特网上获得所需的资料。

第一篇共有7章。第1章重点介绍通信,特别是数字通信和信道的基本概念,使读者建立初步的认识。第2章深入讨论信号的特性和信道对信号传输的影响。第3章简要阐明模拟调制系统的原理。第4章详细讨论模拟信号的抽样、量化和编码方法。第5章对基带传输系统设计的各个方面做了基本介绍。第6章对几种基本的数字调制系统做了较详细和深入的讨论。第7章讨论数字通信系统中必不可少的同步,包括载波同步、位同步、群同步和网同步方法。

第二篇共有7章。第8章从数字信号最佳接收的角度讨论系统的理想性能,并与实际系统性能作比较。第9章讲述多路复用、复接和多址接入技术,并且特别介绍了主要的国际标准建议和一些实用体制。第10章讨论纠错编码和差错控制技术,着重介绍了各种性能优良的纠错码的原理。第11章是在第6章的基础上较全面地讨论各种先进的数字调制技术。第12章阐述信息理论,这是从基本理论上分析通信系统的性能,寻找最佳的信源编码方法和通信系统的最佳性能。第13章介绍各种通信网,包括电话网、数据通信网、综合业务数字网和移动通信网。第14章简要介绍密码学原理。第二篇的各章都具有相对的独立性,可根据需要从中选学,不会因跳过

某章而影响理解(只是第 10 章中的维特比译码算法和第 11 章中的 TCM 有一定的联系)。

本书的参考学时数为 36~90(或 2 至 5 个学分),可安排成一学期或两学期的课程,并辅以相应的实验课。

学习本课程的先修课程主要有:模拟电子线路、高频电子线路、数字逻辑电路、线性代数、概率论,以及信号与系统。对于学习过“信号与系统”的学生,本书的第 2 章可以作为复习性的介绍或跳过。

为便于教学,本教材将免费提供电子课件,可通过登录电子工业出版社华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn> 下载,或通过电话 010-88254532 联系索取。

本书的编写,得到了西安电子科技大学通信工程学院、综合业务网国家重点实验室和信息科学研究所各级领导的大力支持,以及本人所在的小组中吴宇红、张岗山、刘炯、冯磊和周战琴等同志多方面的帮助。在此一并致谢。

限于作者水平,书中错误疏漏在所难免,殷切希望广大读者批评指正。

作者的电子邮件地址: chxfan@xidian.edu.cn

(来信时务请注明真实姓名、单位、职务、电话和通信地址、邮编)

编著者

于西安电子科技大学

为满足部分高校双语教学的需要,作者精心编写的与本书内容完全一致的《通信原理》(英文版,书号 978-7-121-10959)教材,已经由电子工业出版社出版,欢迎选用。

应广大师生的要求,本教材的配套用书为《通信原理学习指导与习题解答》(书号 978-7-121-03861),书中附有本教材的全部习题解答。

本书中的文字符号及其说明

a	平均值	L	平均码字长度
a_i	预测系数	m	调幅度
A	安培,地址字段	M	量化电平数
A	振幅,流入话务量	$m(t)$	调制信号
A_0	成功话务量	m_f	调制指数
b	比特	n	整数,正整数
B	带宽,呼损率	n_0	白噪声单边功率谱密度
B	字节	N	正整数,噪声功率
c	常数	N_0	唯一解距离
C	控制字段	N_q	量化噪声功率的平均值
C	信道容量	p	预测阶数,整数
$C(f)$	信道的传输函数	P	功率,信号平均功率,概率
$C(jn\omega)$	周期性功率信号的频谱	$P(f)$	信号功率谱密度
E	能量	$p_X(x)$	X 的概率密度
Erl	爱尔兰	$P(X \leq x)$	$X \leq x$ 的概率
e_k	预测误差	$P(X, Y)$	联合概率
$\text{erf}(x)$	误差函数	$P(X/Y)$	条件概率
$\text{erfc}(x)$	补误差函数	$P(y_j/x_i)$	转移概率
F	标志字段,帧	pix	像素
f_m	调制信号频率	pkt	分组
f_0	载波频率	q_k	量化误差
f_s	抽样频率	r	信号噪声功率比,信息的冗余度百分比,码元速率
$F(\omega)$	频谱密度	R	电阻
$F_X(x)$	X 的概率分布函数	R_b	信息速率
FCS	帧校验序列	R_B	码元速率
$G(f)$	信号能量谱密度	r_k	量化预测误差
$G_T(f)$	发送滤波器的传输函数	$R(j)$	数字信号的自相关函数
$G_R(f)$	接收滤波器的传输函数	$R(\tau)$	自相关函数
H	熵	$R_{12}(\tau)$	互相关函数
$H(f)$	传输函数	REJ	拒绝
Hz	赫兹	RNR	未准备好接收
I	信息帧	RR	准备好接收
I	电流,信息量	s	秒
J	焦耳	S	信号电压或电流,信号功率
k	整数	S	监督帧
K	整数,密钥长度	s_k	信号抽样值
l	码字长度		

s_q	量化信号值	Y	密文
SREJ	选择性拒绝	$y(t)$	信号加噪声电压
$S(f)$	能量信号的频谱密度,即 $s(t)$ 的傅里叶变换	Z	密钥
$s(t)$	信号时间波形	$\delta(t)$	单位冲激函数
$Sa(t)$	抽样函数	$\delta_T(t)$	周期性单位冲激函数
T	码元持续时间	Δ	量化台阶
T_b	每比特的持续时间	Δf	频带宽度;调制频移
U	无编号帧	$\Delta(f)$	单位冲激函数的频谱密度
$u(t)$	单位阶跃函数	Δv	量化间隔
V	伏特	α	本原元
V	电压	σ	标准偏差
W	瓦特	σ^2	方差
x	随机变量的取值	$\phi(x)$	概率积分函数
X	随机变量,信源,明文	φ_0	初始相位
$X(t)$	随机过程	ω_0	载波角频率
$X_i(t)$	随机过程的一个实现	Ω	欧姆

目 录

第 一 篇

第 1 章 概论	(1)
1.1 通信的发展	(1)
1.2 消息、信息和信号	(1)
1.3 数字通信	(3)
1.3.1 基本概念	(3)
1.3.2 数字通信的优点	(3)
1.3.3 数字通信系统模型	(4)
1.3.4 数字通信系统的主要性能指标	(6)
1.4 信道	(7)
1.4.1 无线信道	(7)
1.4.2 有线信道	(12)
1.4.3 信道模型	(13)
1.4.4 信道特性对信号传输的影响	(15)
1.5 信道中的噪声	(18)
1.6 小结	(18)
思考题	(19)
习题	(19)
第 2 章 信号	(20)
2.1 信号的类型	(20)
2.1.1 确知信号和随机信号	(20)
2.1.2 能量信号和功率信号	(20)
2.2 确知信号的性质	(21)
2.2.1 频域性质	(21)
2.2.2 时域性质	(26)
2.3 随机信号的性质	(27)
2.3.1 随机变量的概率分布	(27)
2.3.2 随机变量的概率密度	(29)
2.4 常见随机变量举例	(29)
2.5 随机变量的数字特征	(30)
2.5.1 数学期望	(30)
2.5.2 方差	(31)
2.5.3 矩	(31)
2.6 随机过程	(32)
2.6.1 随机过程的基本概念	(32)
2.6.2 平稳随机过程	(33)

2.6.3	各态历经性	(33)
2.6.4	平稳随机过程的自相关函数和功率谱密度	(34)
2.7	高斯过程	(39)
2.8	窄带随机过程	(41)
2.8.1	窄带随机过程的基本概念	(41)
2.8.2	窄带随机过程的性质	(42)
2.9	正弦波加窄带高斯过程	(44)
2.10	信号通过线性系统	(45)
2.10.1	线性系统的基本概念	(45)
2.10.2	确知信号通过线性系统	(46)
2.10.3	随机信号通过线性系统	(49)
2.11	小结	(51)
	思考题	(52)
	习题	(52)
第3章	模拟调制系统	(56)
3.1	概述	(56)
3.2	线性调制	(56)
3.2.1	振幅调制(AM)	(57)
3.2.2	双边带(DSB)调制	(59)
3.2.3	单边带(SSB)调制	(59)
3.2.4	残留边带(VSB)调制	(61)
3.3	非线性调制	(62)
3.3.1	基本原理	(62)
3.3.2	已调信号的频谱和带宽	(63)
3.3.3	角度调制信号的接收	(65)
3.4	小结	(65)
	思考题	(66)
	习题	(66)
第4章	模拟信号的数字化	(69)
4.1	引言	(69)
4.2	模拟信号的抽样	(69)
4.2.1	低通模拟信号的抽样	(69)
4.2.2	带通模拟信号的抽样	(71)
4.2.3	模拟脉冲调制	(72)
4.3	抽样信号的量化	(73)
4.3.1	量化原理	(73)
4.3.2	均匀量化	(73)
4.3.3	非均匀量化	(74)
4.4	脉冲编码调制	(79)
4.4.1	脉冲编码调制(PCM)的基本原理	(79)
4.4.2	自然二进制码和折叠二进制码	(80)
4.4.3	PCM系统的量化噪声	(82)

4.5 差分脉冲编码调制	(82)
4.5.1 差分脉冲编码调制(DPCM)的原理	(82)
4.5.2 DPCM 系统的量化噪声和信号量噪比	(83)
4.6 增量调制	(84)
4.6.1 增量调制原理	(84)
4.6.2 增量调制系统中的量化噪声	(85)
4.7 小结	(87)
思考题	(87)
习题	(88)
第5章 基带数字信号的表示和传输	(90)
5.1 概述	(90)
5.2 字符的编码方法	(90)
5.3 基带数字信号的波形	(90)
5.4 基带数字信号的传输码型	(92)
5.5 基带数字信号的频率特性	(94)
5.5.1 计算 $v_c(t)$ 的功率谱密度	(95)
5.5.2 计算 $u_c(t)$ 的功率谱密度	(96)
5.5.3 计算 $s(t)$ 的功率谱密度	(96)
5.5.4 功率谱密度计算举例	(97)
5.6 基带数字信号传输与码间串扰	(98)
5.6.1 基带数字信号传输系统模型	(98)
5.6.2 码间串扰及奈奎斯特准则	(98)
5.6.3 部分响应系统	(101)
5.7 眼图	(105)
5.8 时域均衡器	(106)
5.8.1 概述	(106)
5.8.2 横向滤波器基本原理	(106)
5.8.3 横向滤波器的实现	(109)
5.9 小结	(110)
思考题	(111)
习题	(111)
第6章 基本的数字调制系统	(114)
6.1 概述	(114)
6.2 二进制振幅键控(2ASK)	(115)
6.2.1 基本原理	(115)
6.2.2 功率谱密度	(116)
6.2.3 误码率	(117)
6.3 二进制频移键控(2FSK)	(121)
6.3.1 基本原理	(121)
6.3.2 功率谱密度	(123)
6.3.3 最小频率间隔	(124)
6.3.4 误码率	(125)

6.4	二进制相移键控(2PSK)	(127)
6.4.1	基本原理	(127)
6.4.2	功率谱密度	(129)
6.4.3	误码率	(130)
6.5	二进制差分相移键控(2DPSK)	(131)
6.5.1	基本原理	(131)
6.5.2	功率谱密度	(133)
6.5.3	误码率	(133)
6.6	二进制数字键控传输系统性能比较	(135)
6.7	多进制数字键控	(136)
6.7.1	多进制振幅键控(MASK)	(137)
6.7.2	多进制频移键控(MFSK)	(138)
6.7.3	多进制相移键控(MPSK)	(141)
6.7.4	多进制差分相移键控(MDPSK)	(144)
6.7.5	振幅/相位联合键控(APK)	(147)
6.7.6	多进制数字键控实用系统举例	(149)
6.8	小结	(150)
	思考题	(150)
	习题	(151)
第7章	同步	(153)
7.1	概述	(153)
7.2	载波同步方法	(153)
7.2.1	插入导频法	(154)
7.2.2	直接提取法	(154)
7.2.3	载波同步性能	(157)
7.3	位同步	(158)
7.3.1	外同步法	(159)
7.3.2	自同步法	(159)
7.3.3	位同步误差对误码率的影响	(161)
7.4	群同步	(162)
7.4.1	概述	(162)
7.4.2	集中插入法	(163)
7.4.3	分散插入法	(164)
7.4.4	群同步性能	(166)
7.5	网同步	(167)
7.5.1	概述	(167)
7.5.2	开环法	(167)
7.5.3	闭环法	(169)
7.6	小结	(170)
	思考题	(171)
	习题	(171)

第 二 篇

第 8 章 数字信号最佳接收原理	(173)
8.1 数字信号的统计表述	(173)
8.2 数字信号的最佳接收准则	(174)
8.3 确知数字信号的最佳接收机	(176)
8.4 确知数字信号最佳接收机的误码率	(177)
8.5 随相数字信号的最佳接收	(180)
8.6 起伏数字信号的最佳接收	(182)
8.7 实际接收机和最佳接收机的性能比较	(184)
8.8 数字信号的匹配滤波接收原理	(184)
8.8.1 数字信号的匹配滤波接收法	(184)
8.8.2 数字信号的相关接收法	(188)
8.9 最佳基带传输系统	(189)
8.10 小结	(191)
思考题	(192)
习题	(192)
第 9 章 多路复用和多址技术	(194)
9.1 概述	(194)
9.2 频分复用(FDM)	(195)
9.3 时分复用(TDM)	(197)
9.3.1 准同步数字体系(PDH)	(198)
9.3.2 复接与码速调整	(200)
9.3.3 同步数字体系(SDH)	(201)
9.4 码分复用(CDM)	(203)
9.4.1 基本原理	(203)
9.4.2 正交码	(206)
9.4.3 伪随机码	(207)
9.5 多址技术	(211)
9.5.1 频分多址	(211)
9.5.2 时分多址	(213)
9.5.3 局域网中的多址技术	(218)
9.6 小结	(221)
思考题	(222)
习题	(223)
第 10 章 信道编码和差错控制	(225)
10.1 概述	(225)
10.2 纠错编码的基本原理	(227)
10.3 纠错编码系统的性能	(229)
10.4 奇偶监督码	(230)
10.4.1 一维奇偶监督码	(230)
10.4.2 二维奇偶监督码	(231)

10.5	线性分组码	(231)
10.6	循环码	(235)
10.6.1	循环码的概念	(235)
10.6.2	循环码的运算	(236)
10.6.3	循环码的编码方法	(238)
10.6.4	循环码的解码方法	(239)
10.6.5	截短循环码	(240)
10.6.6	BCH 码	(240)
10.6.7	RS 码	(242)
10.7	卷积码	(242)
10.7.1	卷积码的编码	(242)
10.7.2	卷积码的解码	(243)
10.8	Turbo 码和 LDPC 码	(246)
10.9	小结	(249)
	思考题	(250)
	习题	(250)
第 11 章	先进的数字带通调制和解调	(253)
11.1	概述	(253)
11.2	偏置正交相移键控及 $\pi/4$ 相移正交相移键控	(253)
11.3	最小频移键控及高斯最小频移键控	(254)
11.3.1	MSK 信号的基本原理	(254)
11.3.2	MSK 信号的相位连续性	(255)
11.3.3	MSK 信号的正交表示法	(256)
11.3.4	MSK 信号的产生和解调	(258)
11.3.5	MSK 信号的功率谱密度	(259)
11.3.6	MSK 信号的误码率性能	(260)
11.3.7	高斯最小频移键控	(260)
11.4	正交频分复用	(260)
11.4.1	概述	(260)
11.4.2	OFDM 的基本原理	(261)
11.4.3	OFDM 的实现	(263)
11.5	网格编码调制	(264)
11.5.1	网格编码调制的基本概念	(264)
11.5.2	TCM 信号的产生	(265)
11.5.3	TCM 信号的解调	(267)
11.6	扩展频谱技术	(268)
11.6.1	概述	(268)
11.6.2	直接序列扩谱	(268)
11.6.3	跳频扩谱	(270)
11.6.4	扩谱码的同步	(271)
11.6.5	分离多径技术	(271)
11.7	小结	(273)