



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

# 通信原理

王秉钧 冯玉珉 田宝玉 编著



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

# 通信原理

王秉钧 冯玉珉 田宝玉 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书全面系统地讲述现代通信系统的基本原理、基本性能、基本分析方法和应用。全书共分 11 章,包括绪论、信号与噪声分析、连续波调制系统、模拟信号的数字传输、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、常用现代数字调制技术、数字信号的最佳接收、多用户通信、信息论基础、信道编码等。本书对近年来新出现的通信体制和技术给予了充分重视。为了便于学习,各章均对本章要点做了介绍,并有小结、思考题、习题和 MATLAB 仿真实验题,并附有部分习题答案。

本书可作为高等院校电子信息类相关专业本科生教材,也可供科技工作者、工程技术人员参考或作为进修教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

### 图书在版编目(CIP)数据

通信原理/王秉钧,冯玉珉,田宝玉编著. —北京:清华大学出版社,2006.11

(新坐标大学本科电子信息类专业系列教材)

ISBN 7-302-12448-5

I. 通… II. ①王…②冯…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(2006)第 005786 号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:刘 彤

文稿编辑:顾 冰

印刷者:北京国马印刷厂

装订者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:30.5 字数:735 千字

版 次:2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-12448-5/TN·303

印 数:1~3000

定 价:38.00 元



# 编委会名单

## 顾问(按姓氏音节顺序):

- |     |                   |
|-----|-------------------|
| 李衍达 | 清华大学信息科学技术学院      |
| 郭贺铨 | 中国工程院/大唐电信科学技术研究院 |
| 姚建铨 | 天津大学激光与光电子研究所     |

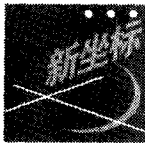
## 主任:

- |     |           |
|-----|-----------|
| 董在望 | 清华大学电子工程系 |
|-----|-----------|

## 编委会委员(按姓氏音节顺序):

- |     |                   |
|-----|-------------------|
| 鲍长春 | 北京工业大学电子信息与控制工程学院 |
| 陈 怡 | 东南大学高教所           |
| 戴瑜兴 | 湖南大学电气与信息工程学院     |
| 方达伟 | 中国计量学院信息工程学院      |
| 甘良才 | 武汉大学电子信息学院通信工程系   |
| 郭树旭 | 吉林大学电子科学与工程学院     |
| 胡学钢 | 合肥工业大学计算机与信息学院    |
| 金伟其 | 北京理工大学信息科技学院光电工程系 |
| 孔 力 | 华中科技大学控制系         |
| 刘振安 | 中国科学技术大学自动化系      |
| 陆大绘 | 清华大学电子工程系         |
| 马建国 | 西南科技大学信息与控制工程学院   |
| 彭启琮 | 电子科技大学通信与信息工程学院   |
| 仇佩亮 | 浙江大学电信系           |

- 沈伯弘 北京大学电子学系  
童家榕 复旦大学信息科学与技术学院微电子研究院  
汪一鸣(女) 苏州大学电子信息学院  
王福源 郑州大学信息工程学院  
王华奎 太原理工大学信息与通信工程系  
王 瑶(女) 美国纽约 Polytechnic 大学  
王毓银 北京联合大学  
王子华 上海大学通信学院  
吴建华 南昌大学电子信息工程学院  
徐金平 东南大学无线电系  
阎鸿森 西安交通大学电子与信息工程学院  
袁占亭 甘肃工业大学  
乐光新 北京邮电大学电信工程学院  
翟建设 南京解放军理工大学气象学院 4 系  
赵圣之 山东大学信息科学与工程学院  
张邦宁 南京解放军理工大学通信工程学院无线通信系  
张宏科 北京交通大学电子信息工程学院  
张 泽 内蒙古大学自动化系  
郑宝玉 南京邮电学院  
郑继禹 桂林电子工业学院二系  
周 杰 清华大学自动化系  
朱茂镒 北京信息工程学院



# 序言

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”是清华大学出版社“新坐标高等理工教材与教学资源体系创新与服务计划”的一个重要项目。进入 21 世纪以来,信息技术和产业迅速发展,加速了技术进步和市场的拓展,对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这个变化必然反映到高等学校的定位和教学要求中,也必然反映到对适用教材的要求。本项目是针对这种需求,为培养层次化和多样化的电子信息类人才提供系列教材。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”面向全国教学研究和教学主导型普通高等学校电子信息类专业的本科教学,覆盖专业基础课和专业课,体现培养知识面宽、知识结构新、适应性强、动手能力强的人才的需要。我们组编的本系列教材力求符合这个定位和教学要求,编写的基本指导思想可概括为:

1. 教材的类型、选题和大纲的确定尽可能符合教学需要,以提高适用性。教材类型初步确定为专业基础课和专业课,专业基础课拟按电子信息大类编写,以体现宽口径;专业课包括本专业和非本专业两种,以利于兼顾专业能力的培养与扩展知识面的需要。选题首先从目前没有或虽有但不符合教学要求的教材开始,逐步扩大。

2. 重视基础知识和基础知识的提炼与更新,反映技术发展的现状和趋势,让学生既有扎实的基础,又了解科学技术发展的现状。

3. 重视工程性内容的引入,理论和实际相结合,培养学生的工程概念和能力。工程教育是多方面的,从教材的角度,要充分利用计算机的普及和多媒体手段的发展,为学生建立工程概念、进行工程实验和设计训练提供条件。

4. 将分析和设计工具与教材内容有机结合,培养学生使用工具的能力。

5. 教材的结构上要符合学生的认识规律,由浅入深,由特殊到一般。叙述上要易读易懂,适合自学。配合教材出版多种形式的教学辅助资料,包括教师手册、学生手册、习题集和习题解答、电子课件等。

本系列教材即将陆续出版了,希望能被更多的教师和学生使用,并热忱地期望将使用过程中发现的问题和改进的建议告诉我们,通过作者和使用者之间的互动,必然会形成一批精品教材,为我国的高等教育作出贡献。欢迎对编委会的工作提出宝贵意见。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”编委会



# 前言

现代通信技术发展十分迅速,门类颇多、要对通信系统作深入的研究,首先要掌握最基本的通信理论,理解通信系统的基本原理,弄懂其内在的机理。“通信原理”是通信与信息类专业的一门重要的专业基础课。该课程的基本任务主要是讲述通信系统的基本原理、基本性能和基本分析方法。其中心内容是讲解各种调制方式和编码方式的基本原理、基本性能以及如何可靠而有效地实现信息传输,以便为研究设计新的通信系统、掌握通信系统的发展方向和具体技术奠定基础。该课程既要为后续专业课程提供必要的基础知识和理论依据,又要为提高学生的专业素质和毕业后的继续学习、更新知识打好基础。

与前些年相比,现代通信技术已经取得许多新的重大发展,尤其在移动通信和接入网领域出现了许多新的调制、编码和信息传输方式,例如 TCM、OFDM、CAP、多用户通信、扩频技术和 Turbo 编码等。本书对于近来出现的新技术给予了应有的重视,同时增加了计算机仿真内容,以便培养学生的综合设计能力和创新意识,激发学习兴趣和创新能力,为学生将来进入社会从事相关工作奠定较好的“能力”基础。

本书参考学时为 48~90 学时,为了适应不同专业、不同层次、不同教学要求和在职读者的需要,本书在内容的选取上注重理论与实际的结合,基本理论、基本概念、基本方法与技术应用能力培养的结合,简化了部分繁琐的理论推导,突出对知识的理解和应用。力求在概念和原理的讲述上严格、准确、精练、理论适中、循序渐进、便于阅读和自学。为了适应当前高校课时压缩的教学特点。可以根据教学要求和学时数选授本书部分内容。

为了便于广大师生深入理解和掌握课程内容,在编排结构上各章均对本章要点做了介绍,列出了该章的纲目要求,学习目标和重点,并附有小结、思考题、习题、仿真实验题和部分习题答案。使读者有的放矢,使学习内容更加具体化、重点突出;小结全面系统地总结了该章的基本内容和重要结论;思考题协助读者复习该章内容,起到由读者自己对该章内容作小结的作用,同时读者自测对内容掌握的程度;习题则促使读者深入领会该章内容,将理论联系实际,提高分析问题、解决问题的能力。

鉴于计算机仿真已成为普遍使用的系统设计和分析的有力工具。本书各章最后均给出了仿真例题和1或2道习题,以便读者通过仿真深入验证和理解有关内容。

为了适应教学的需要,我们将陆续编写出版学习辅导教材、实验教材,电子教案等一系列配套资料,以供读者使用。

本书由王秉钧编写第1,3~7,9章,冯玉珉编写第2,8,11章,田宝玉编写第10章。

在本书编写过程中,北京邮电大学乐光新教授对本书的编写要求、内容安排进行了全面指导,提出了许多指导性意见和建议,在此我们表示由衷的感谢。同时我们也征求了20多所院校一线任课教师的意见,他们对本书的出版给予了很大支持,提出了许多非常宝贵和具体的建议和意见,对此我们表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏和错误,恳请读者批评指正。

作者

2005年5月





# 符号表

## 一、符号

$a_n$	常数, 系数
$A, A_0$	振幅
$b_n$	常数, 系数
$B$	带宽
$B$	字节
$B_c$	相关带宽
$c$	常数
$c_n$	常数, 系数
$C$	信道容量, 电容, 码组
$d$	距离
$d_n$	常数, 系数
$e(t)$	误差信号
$E$	能量, 错误式样
$E_b/n_0$	比特能量与单边噪声功率谱密度之比
$f$	频率
$f_m$	调制信号频率
$f_0$	载波频率
$f_s$	抽样频率
$f(t)$	消息(调制)信号波形
$F(\omega)$	频谱密度
$F_X(x)$	$X$ 的概率分布函数(或以 $F(x)$ 表示)
$g(t)$	基带信号波形
$g(x)$	生成多项式
$G_p$	处理增益
$H$	熵, 平均信息量
$H$	校验矩阵
$h(t)$	线性网络的冲激响应
$H(\omega)$	传输函数
$I$	信息量

$j$	虚数 ( $\sqrt{-1}$ )
$K$	常数
$L$	电感
$m$	均值
$n(t)$	噪声波形, 高斯型噪声
$n_0$	单边噪声功率谱密度
$N$	噪声功率, 整数
$N_i$	输入噪声功率
$N_o$	输出噪声功率
$N_q$	量化噪声平均功率
$P$	功率
$P_b$	误比特率
$P_c$	误码率
$p_X(x)$	$X$ 的概率密度 (或用 $p(x)$ 表示)
$P(X \leq x)$	$X \leq x$ 的概率
$P(X \cdot Y)$	联合概率
$P(X Y)$	条件概率, 转移概率
$R$	信息速率, 码率 (编码)
$R_b$	信息速率 (比特率)
$R_B$	码元速率 (符号速率)
$R(\tau)$	自相关函数
$R_{12}(\tau)$	互相关函数
$r$	功率信噪比
$s$	秒
$S$	信号平均功率
$S(\omega)$	功率谱密度
$S/N$ (或 SNR)	信噪功率比
$Sa(x)$	抽样函数
$s(t)$	信号波形
$T$	时间间隔, 码元周期 (间隔)
$T_b$	比特周期
$T_s$	抽样周期, 码元周期 (间隔)
$v$	速度
$v(t)$	输出波形
$X(t)$	随机过程
$y(t)$	输出信号波形
$y(\omega)$	输出信号频谱
$\alpha$	滚降系数, 常数
$\beta$	调制指数, 常数

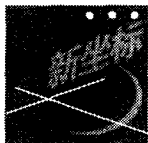
$\delta(t)$	冲激函数
$\Delta$	量化阶距, 欧氏距离, 多径时延扩展
$\Delta f$	最大频偏, 调制频移, 频带宽度
$\Delta t$	相关时间
$\Delta\theta$	最大相位偏移
$\Delta\omega$	最大频偏(角频率)
$\eta$	效率, 频带利用率
$\theta(t)$	相位波形
$\theta_0$	起始相位
$\lambda$	波长
$\rho$	相关系数
$\sigma$	标准(偏)差
$\sigma^2$	方差
$\tau$	脉冲宽度, 自相关函数的独立变量
$\varphi(t)$	已调波波形
$\phi(x)$	概率积分函数
$\phi(\omega)$	已调波频谱
$\omega$	角频率
$\omega_0$	载波角频率

## 二、定义函数

$I_0(x)$	第一类零阶修正贝塞尔函数
$J_n(\cdot)$	第一类 $n$ 阶贝塞尔函数
$\ln(\cdot)$	自然对数
$\lg(\cdot)$	以 10 为底的对数
$\text{lb}(\cdot)$	以 2 为底的对数
$Q(x)$	高斯概率密度函数积分
$\text{erf}(\cdot)$	误差函数
$\text{erfc}(\cdot)$	互补误差函数

## 三、运算符

$\text{Im}\{\cdot\}$	虚部
$\text{Re}\{\cdot\}$	实部
$E[\cdot]$	统计平均
$[\cdot] * [\cdot]$	卷积
$[\cdot]^*$	复共轭
$[\hat{\cdot}]$	希尔伯特变换
$[\cdot] \cdot [\cdot]$	点积



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 通信与通信系统 .....	1
1.1.1 通信的基本含义 .....	1
1.1.2 通信系统模型 .....	2
1.1.3 模拟通信、数字通信和数据通信 .....	3
1.2 通信系统分类与通信方式 .....	6
1.2.1 通信系统的分类 .....	6
1.2.2 通信方式 .....	8
1.3 信息及其度量 .....	10
1.4 信道和噪声 .....	11
1.4.1 信道分类 .....	11
1.4.2 有线信道与无线信道 .....	11
1.4.3 信道模型 .....	15
1.4.4 恒参信道与变参信道特征 .....	17
1.4.5 信道中的噪声 .....	18
1.4.6 信道容量的概念 .....	19
1.5 通信系统的主要性能指标 .....	23
1.5.1 通信系统的有效性 .....	23
1.5.2 通信系统的可靠性 .....	24
1.5.3 频带利用率和功率利用率 .....	25
1.6 通信发展简史 .....	26
1.7 小结 .....	27
1.8 思考题 .....	28
1.9 习题 .....	28
<b>第 2 章 信号与噪声分析</b> .....	30
2.1 信号表示法 .....	30
2.2 信号频谱分析概述 .....	31
2.2.1 傅里叶级数 .....	32
2.2.2 傅里叶变换 .....	33

2.2.3	卷积与相关 .....	35
2.2.4	能量谱、功率谱及帕氏定理 .....	36
2.3	随机变量的统计特征 .....	38
2.3.1	随机变量 .....	38
2.3.2	随机变量的统计特征 .....	39
2.3.3	随机变量的数字特征 .....	41
2.3.4	常用的随机变量类型 .....	42
2.4	随机过程 .....	44
2.4.1	随机过程的概念和定义 .....	44
2.4.2	随机信号的统计特征 .....	45
2.4.3	平稳随机过程 .....	47
2.4.4	自相关函数性质和重要关系式 .....	48
2.4.5	平稳随机过程的功率谱 .....	50
2.5	遍历性平稳随机过程 .....	51
2.6	关于不相关、正交和统计独立的讨论 .....	52
2.6.1	三种统计特征的概念 .....	52
2.6.2	统计独立与不相关 .....	52
2.6.3	不相关与正交以及不独立的关系 .....	53
2.7	平稳随机信号通过线性系统 .....	53
2.7.1	响应信号的均值 .....	53
2.7.2	响应信号的自相关函数及功率谱 .....	54
2.8	高斯型随机过程 .....	55
2.8.1	信道干扰与噪声 .....	55
2.8.2	高斯型白噪声 .....	55
2.8.3	热噪声 .....	56
2.8.4	限带高斯白噪声 .....	57
2.9	窄带高斯噪声 .....	58
2.9.1	窄带高斯噪声的统计特征 .....	58
2.9.2	高频载波加窄带高斯噪声 .....	60
2.9.3	高斯过程与高斯白噪声特征的描述 .....	61
2.10	小结 .....	62
2.11	思考题 .....	62
2.12	习题 .....	63
2.13	仿真实验题——随机过程仿真 .....	68
<b>第3章</b>	<b>连续波调制系统 .....</b>	<b>70</b>
3.1	调制的功能和分类 .....	70
3.1.1	调制的功能 .....	71
3.1.2	调制的分类 .....	71

3.2	幅度调制(线性调制).....	72
3.2.1	调幅(AM) .....	73
3.2.2	抑制载波双边带调幅(DSB) .....	77
3.2.3	单边带调幅(SSB) .....	78
3.2.4	残留边带调幅(VSB) .....	81
3.3	调幅信号的解调.....	83
3.3.1	调幅信号的相干解调 .....	83
3.3.2	调幅信号的非相干解调 .....	84
3.4	本地载波同步的方法.....	86
3.5	线性调制系统的抗噪声性能.....	88
3.5.1	线性调制相干解调的抗噪声性能 .....	88
3.5.2	AM信号包络检波的抗噪声性能 .....	91
3.6	角度调制(非线性调制).....	94
3.6.1	角度调制的基本概念 .....	94
3.6.2	窄带角度调制 .....	96
3.6.3	宽带角调 .....	98
3.6.4	角调波的产生和解调.....	101
3.7	角调系统的抗噪声性能 .....	106
3.7.1	窄带角调相干解调的抗噪声性能.....	106
3.7.2	宽带角调非相干解调的抗噪声性能.....	108
3.7.3	调频(FM)的门限效应 .....	111
3.7.4	调频中的预加重和去加重.....	114
3.8	频分复用(FDM)技术 .....	115
3.9	小结 .....	117
3.10	思考题.....	119
3.11	习题.....	120
3.12	仿真实验题——模拟调制仿真.....	125
<b>第4章</b>	<b>模拟信号的数字传输.....</b>	<b>128</b>
4.1	抽样定理 .....	128
4.1.1	低通信号的抽样定理.....	128
4.1.2	带通信号的抽样.....	132
4.1.3	模拟脉冲调制.....	133
4.2	脉冲编码调制(PCM) .....	134
4.2.1	脉码调制的基本原理.....	135
4.2.2	量化.....	137
4.2.3	压缩与扩张.....	139
4.2.4	编码.....	144
4.2.5	逐次比较型编译码原理.....	146

4.2.6	二进制 PCM 系统的抗噪声性能 .....	149
4.3	差分脉码调制(DPCM) .....	150
4.3.1	预测编码的概念 .....	150
4.3.2	DPCM 基本原理 .....	151
4.3.3	DPCM 性能评价 .....	152
4.4	增量调制( $\Delta M$ 或 DM) .....	153
4.4.1	$\Delta M$ 基本特点 .....	153
4.4.2	$\Delta M$ 与 PCM 系统的比较 .....	156
4.5	自适应差值脉码调制(ADPCM) .....	158
4.6	时分复用与复接 .....	159
4.6.1	时分复用(TDM)原理 .....	159
* 4.6.2	准同步数字系列(PDH) .....	162
* 4.6.3	同步数字系列(SDH) .....	167
4.7	小结 .....	170
4.8	思考题 .....	171
4.9	习题 .....	172
4.10	仿真实验题——PCM 系统计算机仿真 .....	175
<b>第 5 章</b>	<b>数字信号的基带传输</b> .....	<b>179</b>
5.1	概述 .....	179
5.2	数字基带信号的常用码型 .....	180
5.3	数字基带信号的功率谱分析 .....	188
5.4	无码间串扰的基带传输特性 .....	191
5.4.1	基带传输系统模型和码间串扰的概念 .....	191
5.4.2	无码间串扰的条件——奈奎斯特第一准则 .....	192
5.5	部分响应传输系统——奈奎斯特第二准则 .....	196
5.5.1	第 I 类部分响应波形 .....	197
5.5.2	部分响应的一般形式 .....	199
5.6	无码间串扰基带传输系统的抗噪声性能 .....	201
5.7	眼图 .....	203
5.8	信道均衡 .....	204
5.8.1	时域均衡原理 .....	205
5.8.2	时域均衡器的实现 .....	206
5.9	定时同步的基本方法 .....	208
5.9.1	位同步 .....	208
5.9.2	帧同步 .....	212
5.10	小结 .....	213
5.11	思考题 .....	214
5.12	习题 .....	214

5.13	仿真实验题——基带数字传输的仿真	217
<b>第6章</b>	<b>数字信号的频带传输</b>	<b>220</b>
6.1	概述	220
6.2	二进制数字调制原理	221
6.2.1	二进制振幅键控(2ASK)	221
6.2.2	二进制频移键控(2FSK)	223
6.2.3	二进制相移键控(2PSK)	228
6.2.4	二进制差分相移键控(2DPSK)	230
6.3	二进制数字调制系统的抗噪声性能	232
6.3.1	非相干解调系统的抗噪声性能	232
6.3.2	相干解调系统的抗噪声性能	235
6.3.3	二进制数字调制系统的性能指标	238
6.4	多进制数字调制系统	239
6.4.1	概述	239
6.4.2	多进制振幅键控(MASK)	240
6.4.3	多进制频移键控(MFSK)	242
6.4.4	多进制相移键控(MPSK)	243
6.4.5	多进制差分相移键控(MDPSK)	248
6.4.6	多进制数字调制系统的抗噪声性能	250
6.5	小结	251
6.6	思考题	252
6.7	习题	253
6.8	仿真实验题——多元数字调制系统性能仿真	254
<b>第7章</b>	<b>现代数字调制技术</b>	<b>258</b>
7.1	正交调幅(QAM)	258
7.1.1	多进制正交调幅(MQAM)	259
7.1.2	无载波振幅/相位调制(CAP)	261
7.2	改进型QPSK	263
7.2.1	交错正交相移键控(OQPSK)	264
7.2.2	$\pi/4$ 差分正交相移键控( $\pi/4$ DQPSK)	265
7.3	最小频移键控(MSK)	267
7.4	高斯最小频移键控(GMSK)	269
7.5	正交频分复用(OFDM)	271
7.5.1	概述	271
7.5.2	OFDM系统的优缺点	272
7.5.3	OFDM系统的基本原理	273
7.5.4	OFDM系统的应用	276



7.6	扩频调制 .....	277
7.6.1	概述 .....	277
7.6.2	直接序列扩频 .....	282
7.6.3	跳频扩频 .....	284
7.6.4	扩频码序列 .....	286
7.6.5	扩频码的同步 .....	291
7.7	数字调制应用举例——调制解调器 .....	292
7.8	小结 .....	295
7.9	思考题 .....	295
7.10	习题 .....	296
7.11	仿真实验题——幅相调制仿真 .....	297
<b>第8章</b>	<b>数字信号的最佳接收 .....</b>	<b>300</b>
8.1	最佳接收准则 .....	300
8.1.1	最大输出信噪比准则 .....	301
8.1.2	最小均方误差准则 .....	301
8.1.3	最大后验概率或最大似然判决准则 .....	301
8.2	利用匹配滤波器的最佳接收 .....	302
8.2.1	匹配滤波器的设计 .....	302
8.2.2	匹配滤波器输出信号分析 .....	304
8.2.3	匹配滤波器的实现 .....	305
8.2.4	匹配滤波器接收误码性能分析 .....	307
8.3	数字信号载波传输的最佳接收 .....	308
8.3.1	未知相位信号的最佳接收 .....	309
8.3.2	相关接收 .....	311
8.4	理想接收机模型 .....	314
8.4.1	理想接收机数学模型分析 .....	314
8.4.2	与相关接收的等效性分析 .....	315
8.5	最佳接收误码率统计分析 .....	316
8.5.1	几种最佳接收的统一性及条件 .....	316
8.5.2	误比特率分析计算 .....	317
8.5.3	各种调制方式的系统误比特率 .....	319
8.5.4	最佳接收与相干接收的比较 .....	321
8.6	小结 .....	321
8.7	思考题 .....	322
8.8	习题 .....	323
8.9	仿真实验题——数字信号最佳接收仿真 .....	326
<b>第9章</b>	<b>多用户通信 .....</b>	<b>328</b>
9.1	多用户信道的分类 .....	328