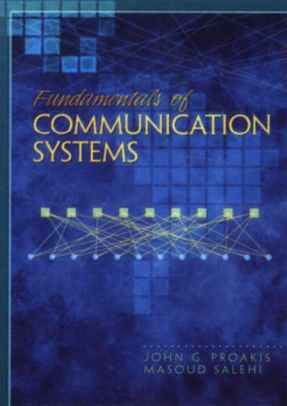


国外电子与通信教材系列

PEARSON
Prentice
Hall

通信系统原理

Fundamentals of Communication Systems



[美] John G. Proakis 著
Masoud Salehi

李 锵 关 欣 译
杨爱萍 董 健

滕建辅 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

作者力作
奉献经典

内 容 简 介

本书全面阐述了现代通信系统分析和设计所必需的基本原理,并对重要的数学基础知识进行了回顾。涉及的内容包括信号与线性系统,幅度调制,角度调制,噪声对模拟通信系统的影响,模数转换,AWGN基带信道中的数字调制,带限AWGN信道中的数字传输,通过载波调制进行数字信息传输和可靠通信编码等,并对信息论等主题进行了介绍。全书提供了许多实例以突出所述理论的工程应用,各章还配有大量难度不等的习题,以及一些计算机练习,帮助读者检验并巩固所学内容。

本书适合作为电子、通信相关专业高年级本科生和低年级研究生的通信系统课程教材,对于工程技术人员和自学人员也是非常有用的读本。

Simplified Chinese edition Copyright © 2006 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Fundamentals of Communication Systems, ISBN: 013147135X by John G. Proakis and Masoud Salehi, Copyright © 2005. All rights reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2005-0329

图书在版编目(CIP)数据

通信系统原理/(美)普埃克(Proakis, J. G.)等著;李镛等译. -北京:电子工业出版社,2006.6
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Fundamentals of Communication Systems
ISBN 7-121-02625-2

I. 通... II. ①普... ②李... III. 通信系统-教材 IV. TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第047853号

责任编辑:贺瑞君

印 刷:北京智力达印刷有限公司

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:37 字数:1019千字

印 次:2006年6月第1次印刷

定 价:55.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授

“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

教材出版委员会

- | | | |
|-----|------------|---|
| 主任 | 吴佑寿 | 中国工程院院士、清华大学教授 |
| 副主任 | 林金桐
杨千里 | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师
总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长
中国通信学会常务理事、博士生导师 |
| 委员 | 林孝康 | 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 徐安士 | 北京大学教授、博士生导师、电子学系主任 |
| | 樊昌信 | 西安电子科技大学教授、博士生导师
中国通信学会理事、IEEE 会士 |
| | 程时昕 | 东南大学教授、博士生导师 |
| | 郁道银 | 天津大学副校长、教授、博士生导师
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 阮秋琦 | 北京交通大学教授、博士生导师
计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长
国务院学位委员会学科评议组成员 |
| | 张晓林 | 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员
中国电子学会常务理事 |
| | 郑宝玉 | 南京邮电大学副校长、教授、博士生导师
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 朱世华 | 西安交通大学副校长、教授、博士生导师
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员 |
| | 彭启琮 | 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员 |
| | 毛军发 | 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 赵尔沅 | 北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任 |
| | 钟允若 | 原邮电科学研究院副院长、总工程师 |
| | 刘彩 | 中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工
信息产业部通信科技委副主任 |
| | 杜振民 | 电子工业出版社原副社长 |
| | 王志功 | 东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长
教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员 |
| | 张中兆 | 哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长 |
| | 范平志 | 西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长 |

译者序

随着人类步入信息化社会,电子信息科学技术正以惊人的速度发展,开辟了社会发展的新纪元。从20世纪90年代开始至今,通信技术特别是移动通信技术取得了举世瞩目的成就,因特网已经成为全球信息传输的崭新平台,实现了人们随时随地进行信息交换的愿望。个人通信系统与超高速通信网络的飞速发展如何更加有效、可靠地进行信息传输带来了许多新的课题,我们坚信,随着数字通信技术的发展,这些问题都会迎刃而解。

在通信技术日新月异的今天,学习通信专业知识不仅需要扎实的基础理论,同时需要学习和掌握更多的现代通信技术和网络技术。John G. Proakis 与 Masoud Salehi 合著的《通信系统原理》是作者多年教学和科研成果的总结。该书全面、系统地论述了通信系统基本理论、基本技术以及系统分析与设计中用到的基本工具和方法,并将重点放在数字通信系统上。本书利用第2章和第5章两章的篇幅给出了这门课程所涉及的背景知识,即以频域方法和傅里叶分析为重点的线性系统分析及概率论、随机变量和随机过程的内容。之后在第3章、第4章和第6章适当地介绍了传统的模拟通信系统,包括模拟信号的调制与解调,以及加性噪声对幅度调制和角度调制模拟信号解调的影响。第7章至第13章系统地阐述了数字通信的基本原理,包括模数转换、基本 AWGN 信道中的数字调制方法、数字通信系统的信号同步方法、带限 AWGN 信道中的数字通信问题、数字信号的载波传输、数字信源编码以及信道编码与解码等,同时对多径信道中的数字通信、多载波调制、扩频、GSM 与 IS95 数字蜂窝通信,以及自由空间视距信道中的链路预算分析进行了简要介绍。

该书各章都配有典型的例题,图文并茂,并且每章都安排了内容丰富的习题和上机习题,既有助于加深对所学内容的理解,又具有相当的实用价值。可以说,各章后的上机习题是本书的一大特色,学生利用 MATLAB 语言实现并解决这些问题,不仅是对学生能力和掌握程度的检验,同时也为其今后的学习和进一步研究打下坚实的基础。全书内容深入浅出,概念阐述清晰,理论分析严谨,逻辑性强,是一本在学术界较有影响的优秀教材,适合作为高等院校电子、信息、通信和计算机等专业本科生通信原理课程的教科书,也是一本比较全面、系统而且深入的通信理论专著,对通信领域的科研技术人员以及相关专业的教师和学生而言,称得上是一本很好的参考书。

我们非常高兴地承担了本书的翻译工作,在翻译的过程中不断学习、不断提高,相信本书对高等院校本科生通信原理的教学工作会起到积极的促进作用。本书的前言、第1章、第8章至第10章由李镛翻译,第3章、第11章和第13章由关欣翻译,第2章和第5章由杨爱萍翻译,第4章、第6章、第7章和第12章由董健翻译,全书由滕建辅教授审校。参加本书译校工作的还有张为、张瑞峰、徐岩、沈运强、李健、赵全明、马杰、张立民、王淑艳、王明国、史斌、郭利斌、贾贻鲁、刘志杨、赖焰根、陈敏俊、李亚奇、董刚、沈振乾、孔冰、褚青、方青、马爱萍和郭琦

等。在翻译的过程中，我们还参考了原书作者其他多部著作的译本，如叶芝慧、赵新胜等译，沈连丰审校的《通信系统工程（第二版）》，张力军等译的《数字通信（第三版、第四版）》等。电子工业出版社的编辑贺瑞君、马岚为本书的后期制作做了大量的文字和校对工作，因此该书的翻译出版是集体智慧的结晶，渗透着众人的汗水。在此，对所有为这本书的出版提供了帮助的人们表示诚挚的感谢！

由于译审者水平有限，加之时间仓促，译文中难免有不妥乃至错误之处，敬请读者不吝指正。

译者
2006年春节
于天津大学

前 言

本书是为电气工程专业高年级本科生的通信系统课程编写的教科书，主要目的是介绍现代通信系统所采用的基本技术以及系统分析与设计中用到的基本工具和方法。虽然本书主要是面向本科生的，但对工程技术人员也是非常有用的。

本书的重点放在第 7 章至第 13 章所详细介绍的数字通信系统上，这些系统构成了现代通信系统的骨干，包括新一代的无线通信系统、卫星通信系统以及数据传输网络。第 3 章、第 4 章和第 6 章适当地介绍了传统的模拟通信系统，另外，本书还利用两章的篇幅详细地讲述了这门课程的背景知识，即以频域方法和傅里叶分析为重点的线性系统分析，以及概率论、随机变量和随机过程的内容。虽然这些主题大多都分散在电子工程专业的不同课程中，但根据作者的经验，学生通常需要在通信系统这门课中复习这部分知识，因此，快速地回顾这些课程的相关内容是非常必要的。

我们认为学习这门课程的学生已经具备了微积分、线性代数、基本电子电路、线性系统理论及概率论与随机变量的背景知识，其中线性系统理论以及概率论与随机变量的知识会在本书的两章中加以回顾。

本书的组织结构

本书首先在第 1 章给出通信系统的简要综述，此后在第 2 章介绍时域和频域中信号的表示与系统分析的方法，重点放在信号表示的傅里叶级数和傅里叶变换，以及线性系统分析中变换方法的应用。

第 3 章和第 4 章介绍模拟信号的调制与解调，其中第 3 章讲述幅度调制(AM)，第 4 章讲述频率调制(FM)和相位调制(PM)。上述两章还讨论了无线电与电视广播系统以及模拟移动蜂窝无线通信系统。

第 5 章回顾了概率论与随机过程的基本定义与概念，并且特别强调了高斯随机过程，该过程可用做加性噪声干扰的易于处理的数学模型。本章还给出了随机信号的时域与频域表示方法。

第 6 章讨论了加性噪声对幅度调制(AM)和角度调制(FM, PM)模拟信号解调的影响，并根据其信噪比性能比较了这些模拟信号调制方法。本章还讨论了利用锁相环(PLL)估计载波相位的方法，最后介绍了热噪声的特性以及传输损耗对模拟通信系统的影响。

第 7 章专门介绍模数转换的知识。首先讲述采样定理与量化技术，之后是波形编码方法，包括 PCM、DPCM 和 DM。本章最后简要讨论了 LPC 语音编码和图像压缩 JPEG 标准。

第 8 章介绍基本加性白高斯噪声(AWGN)信道中的调制方法，利用信号的几何表示方法讲述了各种类型的二进制与非二进制调制方法，并采用差错概率评估了这些方法的性能。本章的最后一个主题是集中讨论数字通信系统的信号同步方法。

第 9 章讨论带限 AWGN 信道中的数字通信问题，从符号间干扰(ISI)的角度讲述了信道失真对发射信号的影响，并对用于抑制 ISI 的自适应均衡器设计进行了讨论。

第 10 章介绍了通过载波调制的数字信号传输。本章所讨论的载波调制方法包括脉冲幅度调制(PAM)、相移键控(PSK)、正交幅度调制(QAM)、频移键控(FSK)和连续相位频移键控(CPFASK)。

第 11 章的内容是数字通信主题选讲,包括衰落多径信道中的数字通信、多载波调制(正交频分多路复用)、扩频信号与系统、GSM 与 IS95 数字蜂窝通信简介,以及自由空间(视距)信道中的链路预算分析。

第 12 章集中阐述信息通信的基本限制,包括无记忆信源的信息容量以及加性白高斯噪声信道的容量。本章还讲述了两种应用广泛的数字信源输出编码算法,即霍夫曼编码算法和 Lempel-Ziv 算法。

本书的最后一章——第 13 章介绍信道编码与译码,其中线性分组码与卷积码可用于增强数字通信系统在加性白高斯噪声环境中的性能,同时讨论了分组码与卷积码的硬判决与软判决译码。本章还对带限信道编码(格形码调制)、turbo 码和低密度奇偶校验码进行了讨论。

全书提供了许多实例以突出所述理论的工程应用,各章还配有大量难度不等的习题,各章习题之后是一些精选的上机习题,这些习题通常要求使用 MATLAB 仿真相应章节推导的算法,教师可以从出版公司获得 MATLAB 练习的解答。

课程选择

本书既可以作为通信统一学期的教材,也可以作为两学期的教材。课程的设计主要考虑学生前期是否修过概率论与随机过程,另外要考虑是否介绍模拟调制与解调技术。下面我们给出三种课程设计方案,当然教师也可以设计自己的教学组合。

1. 模拟与数字通信一学期课程:第 2 章和第 5 章的部分内容,第 3 章、第 4 章、第 6 章、第 7 章和第 8 章全部,以及第 7 章到第 13 章节选。
2. 数字通信一学期课程:第 2 章和第 5 章的部分复习章节,以及第 7 章到第 13 章。
3. 模拟与数字通信两学期课程:
 - 第一学期讲授第 2 章到第 6 章
 - 第二学期讲授第 7 章到第 13 章

致谢

感谢本书的审阅人(弗吉尼亚大学的 Stephen Wilson、马萨诸塞大学阿姆赫斯特分校的 Dennis Goeckel、得州农机大学的 Costas N. Georghiades、密歇根州立大学的 Selin Aiyente 以及圣何塞州立大学的 Morelos-Zaragoza)对本书手稿提出的意见和建议,正是他们的建议使得本书的几个主题有了重大改进。我们还要感谢 Gloria Doukakis 为手稿的准备所提供的帮助。

John G. Proakis
加州大学圣迭戈分校兼职教授
东北大学退休教授

Masoud Salehi
东北大学

教学支持说明

本书系我社获全球最大的教育出版集团—— Pearson Education Group 独家授权之简体中文版。

Pearson Education 旗下的国际知名教育图书出版公司 Prentice Hall 的高品质的电子与通信类出版物是全美及全球高校采用率最高的教材，享誉全球教育界、工商界和技术界。为秉承 Prentice Hall 出版公司对于其教材类产品的一贯教学支持，Pearson Education 将向采纳本书作为教材的教师免费提供网上教学支持课件。任何一位注册的教师都可直接下载所有在线的教学辅助资料。

为确保此资源仅为教师教学所使用，烦请填写如下情况调查表，并回寄或传真给电子工业出版社。

证 明

兹证明_____大学_____系 / 院_____专业_____学年（学期）
开设的_____课程，共_____学时，现采用电子工业出版社出版的英文原版 /
简体中文版_____（书名 / 作者）作为主要教材。
任课教师为_____，学生_____个班共_____人。

任课教师需要与本书配套的教学辅助资料。

电 话：_____

传 真：_____

E-mail：_____

联系地址：_____

邮 编：_____

建议和要求：

系 / 院主任：_____（签字）

（系 / 院办公室章）

_____年____月____日

本书还配有其他教学辅导资料，相关事宜敬请访问 Prentice Hall 的相关网站：<http://www.prenhall.com>。

请与我们联系

Publishing House of Electronics Industry
电子工业出版社：www.phei.com.cn
www.hxedu.com.cn
北京市万寿路 173 信箱外版教材事业部
邮编：100036
电话：010-88254555
传真：010-88254560
E-mail: Te_service@phei.com.cn

Pearson Education Beijing Office
培生教育出版集团北京办事处
北京市西三环北路 19 号外研大厦 2202 室
邮编：100089
电话：010-88819178
传真：010-88819170
E-mail: service@pearsoned.com.cn

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 历史回顾	1
1.1.1 电报与电话	1
1.2 电子通信系统的基本组成	3
1.2.1 数字通信系统	5
1.2.2 数字通信的早期工作	7
1.3 通信信道及其特性	8
1.4 通信信道的数学模型	13
1.5 深入阅读	14
第 2 章 信号与线性系统	15
2.1 基本概念	15
2.1.1 信号的基本运算	15
2.1.2 信号的分类	16
2.1.3 几种重要信号及其性质	22
2.1.4 系统的分类	27
2.1.5 LTI 系统的时域分析	29
2.2 傅里叶级数	30
2.2.1 傅里叶级数及其性质	31
2.2.2 LTI 系统对周期信号的响应	38
2.2.3 帕斯瓦尔关系式	40
2.3 傅里叶变换	41
2.3.1 从傅里叶级数到傅里叶变换	41
2.3.2 傅里叶变换的基本性质	45
2.3.3 周期信号的傅里叶变换	55
2.3.4 LTI 系统的信号传输	57
2.4 滤波器设计	59
2.5 功率和能量	62
2.5.1 能量型信号	62
2.5.2 功率型信号	65
2.6 希尔伯特变换及其性质	67
2.7 低通和带通信号	69
2.8 深入阅读	70
习题	71

上机习题	81
第 3 章 幅度调制	84
3.1 调制简介	84
3.2 幅度调制	85
3.2.1 双边带抑制载波幅度调制	85
3.2.2 常规幅度调制	90
3.2.3 单边带幅度调制	94
3.2.4 残留边带调幅	96
3.3 幅度调制器和解调器的实现	98
3.4 信号多路复用	102
3.4.1 频分多路复用	103
3.4.2 正交载波多路复用	103
3.5 AM 无线电广播	104
附录 3A: SSB AM 信号表达式的推导过程	106
习题	107
上机习题	112
第 4 章 角度调制	115
4.1 FM 与 PM 信号的表示形式	115
4.2 角度调制信号的频谱特征	118
4.2.1 正弦信号的角度调制	118
4.2.2 任意消息信号的角度调制	122
4.3 角度调制器与解调器的实现	122
4.4 FM 无线电广播与电视广播	128
4.4.1 FM 无线电广播	128
4.4.2 电视广播	130
4.5 移动无线电话系统	137
4.6 深入阅读	139
习题	139
上机习题	142
第 5 章 概率论和随机过程	144
5.1 概率与随机变量回顾	144
5.1.1 样本空间、事件和概率	144
5.1.2 条件概率	145
5.1.3 随机变量	147
5.1.4 随机变量的函数	153
5.1.5 复随机变量	155

5.1.6	随机变量的和	159
5.2	随机过程: 基本概念	159
5.2.1	统计平均值	162
5.2.2	宽平稳过程	163
5.2.3	复随机过程	164
5.2.4	随机过程与线性系统	165
5.2.5	平稳过程的功率谱密度	167
5.2.6	求和过程的功率谱密度	170
5.3	高斯过程及白过程	170
5.3.1	高斯过程	171
5.3.2	白过程	172
5.3.3	滤波噪声过程	174
5.4	深入阅读	177
	习题	178
	上机习题	185
第 6 章	模拟通信系统中噪声的影响	190
6.1	噪声对幅度调制系统的影响	190
6.1.1	噪声对基带系统的影响	190
6.1.2	噪声对 DSB-SC AM 的影响	190
6.1.3	噪声对 SSB AM 的影响	192
6.1.4	噪声对常规 AM 的影响	193
6.2	噪声对角度调制的影响	196
6.2.1	角度调制的门限效应	202
6.2.2	预加重滤波和去加重滤波	204
6.3	模拟调制系统的比较	207
6.4	使用锁相环进行载频相位估计	208
6.4.1	加性噪声对相位估计的影响	210
6.5	模拟通信系统中传输损耗和噪声的影响	215
6.5.1	热噪声源的特征	215
6.5.2	有效噪声温度与噪声系数	216
6.5.3	传输损耗	218
6.5.4	信号传输中继器	219
6.6	深入阅读	221
	习题	221
	上机习题	225
第 7 章	模数转换	227
7.1	信号抽样与由抽样重构信号	227

7.1.1	抽样定理	227
7.2	量化	231
7.2.1	标量量化	231
7.2.2	矢量量化	236
7.3	编码	238
7.4	波形编码	238
7.4.1	脉冲编码调制	239
7.4.2	差分脉冲编码调制	241
7.4.3	增量调制	242
7.5	分析-合成技术	244
7.6	数字音频传输和数字音频记录	247
7.6.1	电话传输系统中的数字音频信号	247
7.6.2	数字音频录制	248
7.7	JPEG 图像编码标准	251
7.8	深入阅读	254
	习题	254
	上机习题	258
第 8 章	加性高斯白噪声基带信道中的数字调制	260
8.1	信号波形的几何表示	260
8.2	二进制脉冲调制	263
8.2.1	二进制脉冲幅度调制	263
8.2.2	二进制脉冲位置调制	265
8.3	加性高斯白噪声环境中二进制已调信号的最佳接收机	267
8.3.1	相关型解调器	268
8.3.2	匹配滤波器型解调器	273
8.3.3	二进制信号最佳检测器的性能	279
8.4	M 进制脉冲调制	281
8.4.1	M 进制脉冲幅度调制	282
8.4.2	M 进制正交信号	283
8.4.3	双正交信号	285
8.4.4	单纯形信号	287
8.4.5	二进制编码信号波形	288
8.4.6	AWGN 信道中 M 进制信号的最佳接收机	290
8.5	M 进制脉冲调制的差错概率	298
8.5.1	M 进制脉冲幅度调制的差错概率	298
8.5.2	M 进制正交信号的差错概率	301
8.5.3	差错概率的一致边界	303
8.5.4	M 进制双正交信号的差错概率	306

8.5.5	M 进制单纯形信号的差错概率	306
8.5.6	二进制编码信号的差错概率	307
8.5.7	数字脉冲调制方法的比较	308
8.6	码元同步	308
8.6.1	超前-滞后门同步器	309
8.6.2	最小均方误差法	310
8.6.3	最大似然法	312
8.6.4	谱线法	312
8.7	深入阅读	314
	习题	315
	上机习题	323
第 9 章	带限 AWGN 信道中的数字传输	329
9.1	带限信道中的数字传输	329
9.1.1	带限基带信道中的数字 PAM 传输	332
9.2	带限信道的信号设计	333
9.2.1	无码间干扰的带限信号设计——奈奎斯特准则	335
9.2.2	具有受控 ISI 的带限信号设计——部分响应信号	339
9.3	数字 PAM 信号检测的差错概率	341
9.3.1	无 ISI 的数字 PAM 信号检测的差错概率	342
9.3.2	具有受控 ISI 的数据的逐码元检测	342
9.3.3	部分响应信号逐码元检测的差错概率	345
9.3.4	部分响应信号的最大似然序列检测	347
9.4	存在信道失真时的系统设计	348
9.4.1	确知信道的发送滤波器与接收滤波器设计	350
9.4.2	信道均衡	351
9.5	深入阅读	365
	习题	365
	上机习题	369
第 10 章	经过载波调制的数字信息传输	375
10.1	调幅数字信号	375
10.1.1	调幅信号的解调与检测	377
10.2	调相数字信号	380
10.2.1	调相信号的解调与检测	383
10.2.2	差分相位调制与解调	387
10.2.3	相位相干 PSK 调制的差错概率	388
10.2.4	DPSK 的差错概率	392
10.3	正交调幅数字信号	393

10.3.1	正交调幅信号的解调与检测	396
10.3.2	QAM 的差错概率	398
10.4	调频数字信号	401
10.4.1	调频信号的解调与检测	403
10.4.2	FSK 非相干检测的差错概率	408
10.4.3	连续相位 FSK	410
10.5	调制方法的比较	418
10.6	载波调制信号的码元同步	421
10.7	深入阅读	422
	习题	422
	上机习题	428
第 11 章	数字通信专题选讲	433
11.1	多径衰落信道中的数字传输	433
11.1.1	时变多径信道模型	433
11.1.2	非频率选择性瑞利衰落信道的二值调制性能	436
11.1.3	通过信号分集改善性能	439
11.1.4	频率选择性信道和 RAKE 解调器	441
11.2	多载波调制和 OFDM	444
11.2.1	OFDM 系统的调制和解调	445
11.2.2	采用 FFT 算法实现 OFDM 系统	446
11.2.3	OFDM 信号的频谱特性	448
11.2.4	OFDM 系统的峰值与平均值功率比	450
11.2.5	OFDM 系统的应用	451
11.3	扩频通信系统	453
11.3.1	扩频数字通信系统模型	453
11.3.2	直接序列扩频系统	454
11.3.3	DS 扩频信号的一些应用	461
11.3.4	PN 序列的生成	463
11.3.5	跳频扩频	465
11.4	数字蜂窝通信系统	467
11.4.1	GSM 系统	467
11.4.2	基于 IS-95 的 CDMA 系统	470
11.4.3	第三代蜂窝通信系统	472
11.5	有线和无线通信信道性能分析	473
11.5.1	再生中继器	473
11.5.2	无线信道中的链路预算分析	474
11.6	深入阅读	476
	习题	477