

国外电子与通信教材系列

西蒙·赫金

通信系统

(第四版)

Communication Systems
Fourth Edition

[加] Simon Haykin 著

宋铁成 徐平平 徐智勇 等译
沈连丰 审校



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

作者力作
经典之作

国外电子与通信教材系列

通信系统

(第四版)

Communication Systems

Fourth Edition

[加] Simon Haykin 著

宋铁成 徐平平 徐智勇 等译

沈连丰 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书对通信系统的基础理论和关键环节进行了深入分析,力图让学生在讨论中领会通信的精髓。全书首先给出通信系统的梗概及需要研究的关键技术,接着分章详细讨论了随机过程、连续波调制、脉冲调制、基带脉冲传输、信号空间分析、通带数据传输、扩频调制、多用户无线通信、信息论基础以及差错控制编码等。各章都附有大量习题,便于学生实践掌握。书中还给出了很有价值的附录,包括概率论、信号与系统简述、贝塞尔函数、汇合型超几何函数、密码学方面的介绍以及一些有用的表格等。全书强调通信理论的统计基础,并给出了用MATLAB模拟的8个计算机实验,这些实验几乎覆盖了各章节的主要内容,形成了独特的通信理论“软件实验室”。

本书可以作为高等院校通信类、信息类、电子类、计算机类等专业的研究生或高年级本科生的教材,也可供有关的科研和管理人员参考。

Simon Haykin: **Communication Systems, Fourth Edition.**

ISBN 0-471-17869-1

Copyright © 2001, John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS NEW YORK, CHICHESTER, BRISBANE, SINGAPORE AND TORONTO. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

Simplified Chinese translation edition Copyright © 2003 by John Wiley & Sons, Inc. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和John Wiley & Sons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。

版权贸易合同登记号:图字:01-2002-5887

图书在版编目(CIP)数据

通信系统(第四版)/(加)赫金(Haykin S.)著;宋铁成等译.-北京:电子工业出版社,2003.10
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Communication Systems, Fourth Edition

ISBN 7-5053-8254-3

I.通... II.①赫... ②宋... III.通信系统-教材 IV.TN914

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第086140号

责任编辑:马 岚 刘 静

印刷者:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

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:46 字数:1178千字

版 次:2003年10月第1版 2003年10月第1次印刷

定 价:69.00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zltz@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。

吴佑寿

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和自由组合使用。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、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。

电子工业出版社

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	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	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
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委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系副主任 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	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 移动通信国家重点实验室主任
	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委员会委员
	阮秋琦	北方交通大学教授、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
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子工程系主任 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
	郑宝玉	南京邮电学院副院长、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	西安交通大学教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
	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委员会委员
	徐重阳	华中科技大学教授、博士生导师、电子科学与技术系主任 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
	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、教材建设委员会主任
	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、秘书长
	杜振民	电子工业出版社副社长

译者序

通信在国民经济中的地位是不言而喻的。近年来,我国高校中设立信息工程、通信工程、电子工程、电子与信息工程等专业的越来越多,而“通信原理”、“数字通信”、“通信系统”、“通信系统工程”等课程则成为这些专业的学位课或学科主干课。围绕这些课程,国内已经出版了不少教材和专著,加上近年引进的一些国外新作,无疑给开设这些课程的教师和学生以更多的选择。受电子工业出版社的委托,我们翻译了《通信系统(第四版)》。该书对通信系统的基础理论和关键环节进行了深入分析,着重强调了通信理论应用的统计基础,给出了用 MATLAB 模拟的 8 个计算机实验,形成了独特的通信系统“软件实验室”,力图让学生在讨论中领会通信理论的精髓。本书既是一本很有特色的教材,也是一本通信技术的专著。

全书以“背景与预览”开篇,首先给出了通信系统的梗概及需要研究的关键技术,接着详细介绍了随机过程,并着重强调其二阶统计特性,随后综合分析了模拟通信的连续波调制。第 3 章和第 4 章讨论了脉冲调制和基带脉冲传输,同时论述了基带形式的脉幅调制信号的传输、信道噪声的影响和数字通信系统中带限信道的性能等。第 5 章至第 7 章则分析了加性高斯白噪声信道下的信号空间,为学生建立起有限能量信号的几何描述的基础,研究了通带数据传输和扩频调制技术。第 8 章专门讨论多用户无线通信的一些关键技术,分析了多径信道和衰落信道的特性以及 TDMA 和 CDMA 等多址技术的性能,介绍了无线通信中的语音编码、自适应天线阵列等概念。第 9 章给出了信息论中的基本限制,它们被广泛应用于数据压缩和数据传输中。最后一章讨论差错控制编码,包括分组码和卷积码,还专门讨论了网格编码调制和 Turbo 码。本书的附录部分也很有价值,包括概率论、信号与系统描述、贝叶斯函数、汇合型超几何函数和密码学等方面的介绍,最后还给出了一些有用的图表。

本书的主要目的是为大学高年级学生或低年级研究生提供关于通信系统的现代分析方法,课程的内容可以根据学生的层次和教师的兴趣酌情增减。关于本书中所有习题的详细解答,以及其他教学用资料,都有相应的网络资源(详情见书后附带的“教学支持说明”),这也为授课老师提供了有力的帮助。全书内容深入浅出,概念清晰,理论分析严谨,逻辑性强,对 IT 领域的科研技术人员以及相关专业的教师和学生来说,也是一本很好的参考书。

本书的翻译,第 2 章至第 4 章由徐平平负责,第 5 章至第 8 章由宋铁成负责,其余由徐智勇负责。沈斐协助翻译了“背景与预览”以及第 1 章,于森、戚继群、董丽君、瞿慧、吴舟等分别协助翻译了第 2 章至第 11 章。全书先由瞿慧、董丽君负责初校,然后由徐智勇、宋铁成再校对,最后由沈连丰负责审校和统稿。本室博士后刘云以及博士生李文峰、傅永生、邱晓华、顾燕、谷金山、钱小勇、许国军、黄忠虎、胡静、鲍淑娣等做了许多具体工作。因此,本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!

译稿对原书中的错误和遗漏之处进行了更正和注释。由于译审者水平有限,加之时间仓促,译文中难免有不妥之处,敬请读者不吝指正。

译者

2003 年 8 月

于东南大学移动通信国家重点实验室

前 言

电子工程教育在过去的 20 年里发生了一些根本性的变化,预计这种情况仍将继续下去。现在的电子工程专业的本科教学计划包括下面两门基础课程:

- **信号与系统**。这门课讲述信号和系统的连续时间和离散时间形式,对傅里叶变换的不同形式、拉普拉斯变换和 z 变换进行了详细讲述。通常,这门课还包括对通信系统的初步论述。
- **概率论和随机过程**。这门课先使学生对离散和连续的随机变量有一个直观的理解,然后介绍了随机过程的概念及性质。

通常,在这两门预备课程之后会引入关于通信系统的高级课程。

本书的第四版就是在这种背景下并以此为主要目的写成的。简而言之,本书所提供的对通信系统的论述内容,适用于一到两个学期的本科高年级课程。本书的重点在于通信理论及其应用的统计学基础。

本书注重逻辑性并配有大量例题加以说明,其目的就是通过讨论帮助学生直观地掌握理论知识。除了“背景与预览”这一章,其他每章的结尾都附有大量的习题,这些习题不仅能够帮助学生测试他们对本章所涵盖内容的理解程度,同时也能促使他们拓展对这些内容的思考。每章均有注释与参考,为进一步阅读提供了建议。不影响连贯性而可以绕开的章节或者子章节由脚注加以标识。

本书的一个特色就是包含 8 个基于 MATLAB 的计算机实验。这组实验构成了“软件实验室”的基础,每一个实验均设计了用来扩充相关章节知识的内容。更为重要的是,这些实验开发了 MATLAB 独特的教育功能。

“背景与预览”这一章提供了预备内容和激发学习兴趣的材料,为在接下来的 10 章中全面论述通信系统做了铺垫。这些章节的内容是按以下顺序组织的:

第 1 章详细讲述了随机过程,重点是随机过程的部分性质(如二阶统计)。实际上,讨论仅局限于广义平稳过程。本章对随机过程的相关性和功率谱进行了详细论述。高斯过程和窄带噪声在通信系统的研究中起着重要作用,因此本章的后半部分对其进行了论述,论述将涉及到通信环境中常出现的瑞利分布和莱斯分布。

第 2 章总体讲述了连续波调制(如模拟通信)及其不同形式,简述如下:

(i) 幅度调制,可以是以下几种形式(根据已调载波频谱特性的不同来区分)中的一种:

- 标准幅度调制
- 抑制载波的双边带调制
- 正交幅度调制
- 单边带调制
- 残留边带调制

(ii) 角度调制,可以假定是以下两种相关联形式中的一种:

- 相位调制

● 频率调制

本章还对这些波形的时域和频谱特性、调制和解调方法,以及信道噪声对性能的影响进行了讨论。

第3章讲述脉冲调制,同时也讨论了抽样、量化和编码过程,这是模拟信号数字化传输的基础。本章也可以看成是模拟通信向数字通信的过渡。特别对以下几种脉冲调制方式进行了讨论:

(i) 模拟脉冲调制(这里只将时间用离散形式表示)包括以下几种特殊形式:

- 脉冲幅度调制
- 脉冲宽度(持续时间)调制
- 脉冲位置调制

因为脉冲幅度调制是其他模拟或者数字调制方式的基础,所以对它的性质进行了详细讨论。

(ii) 数字脉冲调制(同时将时间和信号幅度用离散形式表示)包括以下几种特殊形式:

- 脉冲编码调制
- 增量调制
- 差分脉冲编码调制

在增量调制中,为简化系统的实现,其抽样率要远高于脉冲编码调制。相反地,在差分脉冲编码调制中,则通过采用一个预编码器来减小抽样率。这个预编码器利用了信息承载信号的相关特性。

(iii) MPEG1 音频编码标准,包括一个作为编码器设计关键的心理声学模型。

第4章涵盖了基带脉冲传输。基带脉冲传输就是用基带形式的脉冲幅度调制信号来进行传输。主要讨论了以下两个要点:信道噪声和有限的信道带宽对数字通信系统性能的影响。假定信道噪声是加性白噪声,则可采用匹配滤波器使得噪声的影响最小。匹配滤波器是设计通信接收机的基础。由于是有限信道带宽,因此会出现码间干扰现象。为了克服这种信号相关干扰的不良影响,我们通常采用脉冲成形滤波器或相关编码器/译码器,本章对这两种方法都进行了讨论。本章还对用于用户和因特网服务提供商之间直接通信的数字用户线路进行了讨论。接着对为克服信道噪声和码间干扰组合影响而采用的最佳线性接收机进行了推导,进而介绍了自适应均衡。

第5章讨论加性高斯白噪声信道的信号空间分析。尤其是建立了能量有限信号的几何表示基础,进而衍生出相干接收机,并证明了它和匹配滤波器是等效的,本章以差错概率及其近似计算的讨论作为结束。

第6章讨论通带数据传输,这里用正弦信号来简化数字调制信号在带通信道中的传输。本章建立在第5章提到的信号的几何表示基础之上。特别地,对于以下几种调制技术,估算了信道噪声对数字通信产生的影响:

1. 相移键控,这是和相位调制相对应的数字调制方式,即用载波的相位来表示一组给定的离散量。

2. 混合幅度/相位调制,包括正交幅度调制和无载波幅度/相位调制。
3. 频移键控,这是和频率调制相对应的数字调制方式,即用载波的频率来表示一组给定的离散量。
4. 多信道调制类,紧随离散多音之后,已经成为非对称数字用户线路的标准。

在数字通信系统中,定时非常重要,这意味着接收机必须与发射机同步,本书提及的接收机包括相干的和非相干的。相干接收机需要恢复载波相位和符号定时,而非相干接收机只需要恢复符号定时而不必恢复载波相位,采用这种策略是基于对随机载波相位恢复成本的考虑。本章的后半部分讨论了同步技术,尤其偏重于离散时间信号的同步。

第7章介绍扩频调制,这种调制方式与前面几章讨论的传统调制方式不同,它通过牺牲信道带宽来获得好的安全性并保护信号免受干扰。这里讨论了直接序列扩频和跳频两种扩频方式。

第8章论述多用户无线通信,多用户无线通信就是多个用户能接入一个普通的无线信道,这种通信信道常用于卫星和无线通信系统中,这里对这两种系统都进行了讨论。本章还介绍了链路预算分析,主要偏重于介绍相关的天线和传播的概念,以及噪声的计算。

第9章讲述信息论的一些基本原理,其中包括用于无失真数据压缩、数据压缩和数据传输的香农理论。这些理论为信源和通信信道界定了性能上限。形成这些理论的两个基本概念是:(1)信源的熵(类似于热力学中熵的定义);(2)信道容量。

第10章论述差错控制编码,围绕着为了在噪声信道中进行稳定传输而对数字数据进行编码的各种技术进行展开。讨论了以下四种差错控制编码:

1. 线性分组码,是一组线性无关的码字,每组码字均由信息比特和校验比特组成。校验比特用于差错控制。
 2. 循环码,是线性分组码的一种。
 3. 卷积码,对连续消息序列用串行方式进行卷积操作。
 4. Turbo 码,用物理上可实现的方式,建立了一种接近香农信道容量的新的编码构成方法。
- 对上述码的编码和译码方法均进行了讨论。

本书还包括如下6个附录作为补充内容:

- 附录1是对概率论的复习。
- 附录2是对信号与系统的简述,回顾了傅里叶变换及其性质、各种带宽的定义、希尔伯特变换和窄带信号与系统的低通等价模型。
- 附录3介绍贝塞尔函数及其修正形式,贝塞尔函数用于研究频率调制、噪声环境下信号的非相干检测和符号定时同步。
- 附录4介绍汇合型超几何函数,用于噪声环境下幅度调制信号的包络检波。
- 附录5介绍密码学,这是通信安全的基础。
- 附录6包括12个有用的表格。

如前所述,本书的主要目的就是为高年级本科生提供适合一到两个学期教学的现代通信系统教材。课程内容的组织自然也由采用此书的学生背景和教师兴趣决定。本书的内容既有深度又有广度,能满足各种背景和兴趣的读者,这为本书内容的取舍提供了相当的灵活性。为了给授课教师提供一定的帮助,关于书中所有问题的详细解答,以及其他教学用资料,都有相

应的网络资源(详情见书后附带的“教学支持说明”)。

致谢

我要对以下同仁表示深切的谢意:Gregory J. Pottie 博士(加州大学),Santosh Venkatesh 博士(宾夕法尼亚大学),Stephen G. Wilson 博士(弗吉尼亚大学),Gordon Stüber 博士(佐治亚理工学院),Venugopal Veeraralli 博士(康奈尔大学),Granville E. Ott 博士(德州大学)。他们审阅了先前版本的草稿,对成书提供了大量的建议。第2章中讨论的噪声对包络检波的影响是基于 Santosh Venkatesh 博士为我们提供的课程笔记,对此我要表示谢意。我还要感谢 Gordon Stüber 博士同意我引用图 6.32。

我要感谢 Michael Moher 博士(渥太华通信研究中心),他审阅了先前版本草稿中的5章,并对 Turbo 码提出了很多建设性意见。同样还要感谢 Brendan Frey 博士(滑铁卢大学)在提炼 Turbo 码内容方面提供的极为宝贵的帮助,他还为讲述低密度奇偶校验码提供了绘制图 9.18 的软件,并允许我引用图 10.27 和图 10.33。我要感谢 David Conn 博士(McMaster 大学)审阅了“背景与预览”一章,并为如何改进此章内容的表述提供了建议。

我还要对下述人员致谢:Jean-Jacque Werner 博士(朗讯科技),James Mazo(朗讯科技),Andrew Viterbi 博士(高通),Radford Neal 博士(多伦多大学),Yitzhak (Irwin) Kalet 博士(Technion),Walter Chen 博士(摩托罗拉),John Cioffi 博士(斯坦福大学),Jon Mark 博士(滑铁卢大学)和 Robert Dony 博士(Guelph 大学)。他们为本书所选内容提出了很多宝贵的建议,谨此表示深切的谢意。同时也对 Donald Wunsch II 博士(密苏里大学)的校阅和建议表示感谢。

感谢我的研究生 Mathini Sellathurai (McMaster 大学),他完成了本书的计算机实验部分;Hugh Pasika (McMaster 大学),他对“背景与预览”一章提出了很多有用的建议,并对本书的一些插图进行了计算。也非常感谢 Mathini Sellathurai 和 Alpesh Patel 校对了全书。

我尤其要感谢 Wiley 公司的编辑 Bill Zobrist 在本书整个写作过程中的大力支持和帮助;感谢 Wiley 的高级编辑 Monique Calello 在写作的各个阶段对本书质量不知疲倦的监督;感谢 Katherine Hepburn 为本书所做的广告宣传和市场推广;感谢 Karen Tongish 仔细编辑抄写了本书草稿;感谢 Katrina Avery 认真校对了每一页;感谢 Kristen Maus 组织了本书的索引。

同样,我还要向我的技术协调人 Lola Brooks 致谢,感谢她为输入本书手稿所付出的不知疲倦的努力。我也很高兴在这里感谢 McMaster 大学图书馆的助理馆员 Brigitte Maier 和资料管理员 Regina Bendig 多次为我查找参考书目中的文献资料提供帮助。

Simon Haykin

目 录

背景与预览	1
第 1 章 随机过程	25
1.1 简介	25
1.2 随机过程的数学定义	25
1.3 平稳过程	27
1.4 均值、相关函数和协方差函数	28
1.5 遍历过程	34
1.6 随机过程通过一个线性时不变滤波器	35
1.7 功率谱密度	36
1.8 高斯过程	45
1.9 噪声	48
1.10 窄带噪声	53
1.11 基于同相和正交分量的窄带噪声表示法	54
1.12 基于包络和相位分量的窄带噪声表示法	56
1.13 正弦信号加窄带噪声	58
1.14 计算机实验:平衰落信道	60
1.15 总结与讨论	63
注释与参考	65
习题	66
第 2 章 连续波调制	75
2.1 引言	75
2.2 幅度调制	76
2.3 线性调制方案	79
2.4 频率搬移	87
2.5 频分复用	89
2.6 角度调制	91
2.7 频率调制	92
2.8 FM 系统中的非线性影响	107
2.9 超外差接收机	108
2.10 连续波调制系统中的噪声	110
2.11 相干检测线性接收机中的噪声	112
2.12 包络检波 AM 接收机的噪声	114
2.13 FM 接收机中的噪声	121
2.14 计算机实验:锁相环	133
2.15 总结与讨论	138

注释与参考	140
习题	141
第3章 脉冲调制	157
3.1 引言	157
3.2 抽样过程	157
3.3 脉冲幅度调制	161
3.4 其他脉冲调制形式	164
3.5 带宽-噪声权衡	165
3.6 量化过程	166
3.7 脉冲编码调制	172
3.8 PCM 系统中的噪声	179
3.9 时分复用	181
3.10 数字复接器	183
3.11 PCM 的优点、局限性和改进	186
3.12 增量调制	187
3.13 线性预测	191
3.14 差分脉冲编码调制	194
3.15 自适应差分脉冲编码调制	197
3.16 计算机实验:自适应增量调制	199
3.17 MPEG 音频编码标准	200
3.18 总结与讨论	203
注释与参考	204
习题	205
第4章 基带脉冲传输	213
4.1 引言	213
4.2 匹配滤波器	213
4.3 噪声引起的差错率	218
4.4 码间干扰	223
4.5 无失真基带二进制传输的奈奎斯特准则	225
4.6 相关电平编码	231
4.7 基带 M 进制 PAM 传输	238
4.8 数字用户线	239
4.9 最佳线性接收机	244
4.10 自适应均衡	248
4.11 计算机实验:眼图	253
4.12 总结与讨论	256
注释与参考	257
习题	260

第 5 章 信号空间分析	268
5.1 引言	268
5.2 信号的几何表示	269
5.3 连续 AWGN 信道到矢量信道的变换	276
5.4 似然函数	279
5.5 噪声中信号的相干检测:最大似然译码	280
5.6 相干接收机	283
5.7 差错概率	285
5.8 总结与讨论	292
注释与参考	292
习题	293
第 6 章 通带数据传输	299
6.1 引言	299
6.2 通带传输模型	302
6.3 相干 PSK	303
6.4 幅度/相位混合调制方案	321
6.5 相干 FSK	331
6.6 未知相位信号的检测	351
6.7 非相干正交调制	355
6.8 非相干二进制 FSK	360
6.9 差分相移键控	361
6.10 单载波数字调制方式的比较	364
6.11 语音频带调制解调器	367
6.12 多信道调制	376
6.13 离散多音	384
6.14 同步	391
6.15 计算机实验:载波恢复与符号定时	400
6.16 总结与讨论	406
注释与参考	406
习题	409
第 7 章 扩频调制	420
7.1 引言	420
7.2 伪噪声序列	421
7.3 扩频的概念	427
7.4 相干二进制 PSK 的直接序列扩频	429
7.5 信号空间的维度和处理增益	432
7.6 差错概率	435
7.7 跳频扩频	437

7.8 计算机实验:最大长度码和 Gold 码	442
7.9 总结与讨论	445
注释与参考	445
习题	446
第 8 章 多用户无线通信	449
8.1 引言	449
8.2 多址技术	450
8.3 卫星通信	451
8.4 无线链路分析	453
8.5 无线通信	464
8.6 多径信道的统计特性	469
8.7 瑞利衰落信道上的二进制信号	475
8.8 TDMA 和 CDMA 无线通信系统	479
8.9 无线通信中的语音信源编码	482
8.10 无线通信中的自适应天线阵列	484
8.11 总结与讨论	489
注释与参考	490
习题	491
第 9 章 信息论基础	497
9.1 引言	497
9.2 不确定性、信息和熵	497
9.3 信源编码定理	502
9.4 无失真数据压缩	503
9.5 离散无记忆信道	509
9.6 互信息	511
9.7 信道容量	514
9.8 信道编码定理	516
9.9 连续信号的相对熵和互信息	520
9.10 信息容量定理	522
9.11 信息容量定理的含义	526
9.12 有色噪声信道的信息容量	532
9.13 率失真定理	536
9.14 数据压缩	538
9.15 总结与讨论	539
注释与参考	540
习题	542
第 10 章 差错控制编码	549
10.1 引言	549

10.2 离散无记忆信道	551
10.3 线性分组码	553
10.4 循环码	562
10.5 卷积码	574
10.6 卷积码的最大似然译码	579
10.7 网格编码调制	586
10.8 Turbo 码	591
10.9 计算机实验: Turbo 码的译码	598
10.10 低密度奇偶校验码	599
10.11 不规则码	606
10.12 总结与讨论	607
注释与参考	608
习题	610
附录 1 概率论	617
附录 2 信号与系统简述	627
附录 3 贝塞尔函数	645
附录 4 汇合型超几何函数	650
附录 5 密码学	652
附录 6 表格	669
术语表	676
参考文献	682
索引	697

背景与预览

这里列出的背景与预览材料将为以后各章的通信系统学习做铺垫。我们将着重介绍以下几方面：

- 通信过程
- 基本通信资源,即发射功率和信道带宽
- 信源
- 两种主要交换方式:电路交换和分组交换
- 用于传送发射机与接收机间信息承载信号的通信信道
- 通信系统的基础——调制过程
- 模拟与数字通信系统
- 香农信息容量定理
- 一个数字通信的问题

本章以通信发展史上的重要事件作为结束,以激励读者。

通信过程^[1]

如今,通信已经渗透到我们日常生活的各个角落,这可以很容易从许多方面发现。如我们手边的电话,起居室中的电视和收音机,办公室和家中可以接入因特网的计算机终端,以及报纸等,都可以迅速地把世界各地的消息传送给们。通信还使我们得以获知远海上航行的船只、空中翱翔的飞机,甚至外太空火箭和卫星的状态。坐在车中可以通过无线电话与远方的办公室或家中通话。通信使得由传感器测得的天气情况可以随时送达给预报员。事实上,诸如上述有关通信应用的例子不胜枚举。

最基本的通信意味着通过一个系列过程从一点向另一点进行信息的传送。其描述如下：

1. 消息信号的产生,如语音、音乐、图像或计算机数据。
2. 通过一系列诸如电子的、可听到的或可看到的符号对消息信号进行描述,并精确到某一精度。
3. 用一种适于在物理媒介中传输的方式对这些符号进行编码。
4. 将编码后的符号发送到指定的目的地。
5. 对原始符号进行译码和重现。
6. 对原始消息信号的重新生成。系统的非理想性会造成信号质量的下降。

当然,还有许多人类思维不能实时介入的通信方式。例如,在两台或多台计算机之间进行的计算机通信中,人能做的只是启动计算机程序或指令,或者监控这些程序或指令的结果。

无论考察哪种通信过程,每一个通信系统都由三个基本部分组成,即发射机、信道和接收机,如图 1 所示。发射机位于空间中的某一点,接收机位于远离发射机的另一点,而信道是连