

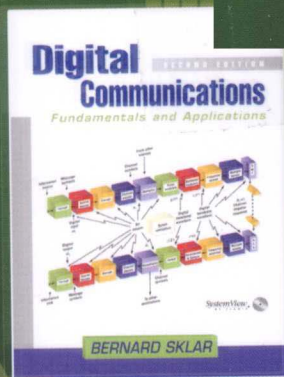
国外电子与通信教材系列

PEARSON

数字通信

——基础与应用（第二版）

Digital Communications
Fundamentals and Applications



[美] Bernard Sklar 著

徐平平 宋铁成 叶芝慧 等译

沈连丰 审校



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国外电子与通信教材系列

数字通信

——基础与应用

(第二版)

Digital Communications
Fundamentals and Applications
Second Edition

[美] Bernard Sklar 著

徐平平 宋铁成 叶芝慧 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

本书重点论述数字通信的技术基础和新应用。全书共分15章,详细阐述了数字通信系统的基本信号变换、信号处理步骤、基带信号及高斯噪声中的信号检测、带通信号及其调制和解调技术、链路分析、各种信道编码方法、网格编码调制、同步问题、多路复用和多址接入、扩频技术及其应用、信源编码、基本的加密/解密方法以及衰落信道等。全书反映了近年来的新技术和新理论,还给出了大量富有特色的例题和习题。

本书可作为高等院校通信类、信息类、电子类专业高年级本科生或低年级研究生的教材,也可供有关技术、科研和管理人员使用或作为继续教育的参考书。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Second Edition, ISBN: 9780130847881 by Bernard Sklar, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall PTR, Copyright © 2001 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY. Copyright © 2010.

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:01-2001-5095

图书在版编目(CIP)数据

数字通信:基础与应用:第2版/(美)斯克拉(Sklar, B.)著;徐平等译.

北京:电子工业出版社,2010.4

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Digital Communications: Fundamentals and Applications, Second Edition

ISBN 978-7-121-10472-5

I. 数… II. ①斯… ②徐… III. 数字通信-教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第036668号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

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

开 本:787×1092 1/16 印张:53.25 字数:1363千字

印 次:2010年4月第1次印刷

定 价:75.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,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zits@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

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。

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 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 清华大学深圳研究生院副院长
	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 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	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
	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、信息科学与技术学院院长

关于《数字通信——基础与应用》一书



这是一本很实用的数字通信教科书，适用于不同类型和学制的大专院校作为教科书或参考书。这本书的编写特点是系统完整、阐述精辟、取材新颖、数学表述精练、习题丰富；特别是附有一张光盘，其中包含二百多道需要在计算机上完成的习题以及关于数字信号处理的自学材料。全书正文共分为15章，并带有6个附录。第1章至第5章讲述了数字通信和通信链路的基本原理。第6章至第8章讨论了信道编码，其中对于一些重要的、有实用价值的或是较新出现的纠错编码方法，例如R-S码、Turbo码和网格编码调制等，本书都给予了充分的介绍。第11章的复用和多址接入、第12章的扩频技术和第15章的衰落信道，则是为当今移动通信的飞速发展而着重论述的。第14章关于密码学的论述是多数数字通信方面的教科书所未能囊括的。从上述编排来看，这也是一本很有特色的教科书。

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

樊昌信

再 版 序

2002年初,我们受电子工业出版社委托,组织翻译了 Bernard Sklar 的这本著作。译文出版8年来承蒙读者厚爱,得以多次印刷,其间使用本书的众多老师和同学通过多种形式与译审者沟通,交流研读心得,分析重点,讨论难点,商榷疑点,提出修改建议。这些沟通和探讨,反映出广大读者对本书所持的肯定态度。科技发展虽日新月异,但扎实的理论基础却总会让人长期受益。确实,该书内容深入浅出,概念清晰,理论分析严谨,不仅是一本面向本科高年级学生或低年级研究生的教科书,而且也是一本比较全面、系统、深入的数字通信方面的专著。另一方面,这些沟通交流也反映出严谨的学风仍然是学术界的追求,不轻易放过一个错误,无论是原著还是译文,也无论是一个字母还是一个标点;不轻易否定或肯定,有疑问的地方必须真正读懂,有的公式要仔细推导,有的内容要前后联系,只有这样才能融会贯通。出版社和译审者认真对待每一条反馈意见,对发现的译文和原文中错谬之处,平时在电子工业出版社的网页上给出勘误,而在每次重印时则必予以更正。值此译著以新的书号再版之际,谨向关心本书特别是对译文给过批评指正的同仁致以诚挚的感谢!

本书的第一次翻译由东南大学移动通信国家重点实验室的徐平平、宋铁成、叶芝慧、沈连丰等共同完成,课题组的部分博士研究生和硕士研究生参加了初译,徐平平、叶芝慧和沈连丰负责统稿和校对,其中徐平平 and 叶芝慧做了大量的具体工作,最后由沈连丰负责全书审校。这次再版,由沈连丰负责修订。由此可见,本书的翻译出版一直是集体智慧的结晶并渗透着众人的汗水。

尽管我们期望这次再版能够消除原译稿及原著中的错误和遗漏之处,但限于译审者水平,再版译文难免还有不妥之处,敬请同仁不吝指正。

前 言

本书对以前的版本进行了较大修正。修正后的主要特点如下：

- 扩展了纠错编码几章的内容，特别是里德-索罗蒙码（Reed-Solomon code）、Turbo 码以及网格编码调制等部分。
- 增加了一章专门讨论衰落信道及克服衰落影响的方法。
- 对基本的数字通信概念给予了更多的解释和描述。
- 丰富了每章末尾的习题和思考题。
- 英文原著附带的光盘中，包含了 200 多道习题及数字信号处理（Digital Signal Processing, DSP）的简明指导。这些内容现在可以登陆华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）下载。这些习题将有助于加强对课本知识的理解，通过 Windows 操作系统可以观察到波形，以理解某些概念，也可以通过改变某些参数来观察系统整体受到的影响。

与同类科目的短期课程相比，采用一学期的大学课程授课时可以有各种方式。在大学里，学生可以有充裕的时间用于培养必需技能和掌握数学工具，通过课后作业实现理论联系实际。短期课程与大学授课相比情况恰恰相反。由于时间因素，短期课程的授课老师只能讲解基本概念和应用。我发现一种比较好的短期课程的授课方法，这就是在课程开始时分发本课程的“思考清单”。它不仅仅是课程的提纲，也是概念的集合以及对那些没有明确说明、常常容易误解的术语集合的一种表达方式。短期课程的学生通过这些问题可以被激发到课程中去。我希望他们一旦习惯于每个问题的描述，或者回答该清单中的思考题，就能够以各自的方式掌握数字通信领域的知识。我已经领会到，这种基本概念的思考题不仅适用于短期课程的教学，同样也适用于整个学期课程的教学。下面是我为数字通信列出的“思考清单”。

1. 导致产生几种带宽定义的数学因素是什么？（见 1.7.2 节）
2. 为什么说比特能量与噪声功率谱密度的比 E_b/N_0 ，是表征数字通信系统性能最基本的特征？
3. 当表示时间事件时，是什么原因导致了最高有效位 MSB 和最低有效位 LSB 的混淆？（见 3.2.3.2 节）
4. 数字信号误码性能的劣化主要是由下述两种原因产生：a) 信噪比损失，b) 不可改善的误比特率导致的失真。二者有何区别？（见 3.2.2 节）
5. 许多情况下，较大的 E_b/N_0 并不能缓和由于码间串扰（intersymbol interference, ISI）引起的劣化。这是为什么？（见 3.3.2 节）
6. E_b/N_0 是在系统中的什么位置定义的？（见 4.3.2 节）
7. 数字调制方案总是属于下述两种具有相反状态特征的类型之一：a) 正交信号，b) 相位/幅度信号。试描述每种类型的特征。（见 4.8.2 和 9.7 节）
8. 为什么二进制相移键控（Binary Phase Shift Keying, BPSK）和正交相移键控（Quaternary Phase Shift Keying, QPSK）表现出相同的误比特率关系？对于 M 进制脉冲幅度调制（ M -ary Pulse

- Amplitude Modulation, M -PAM) 和 M^2 进制正交幅度调制 (M^2 -QAM) 的误比特率是否也有相同的关系? (见 4.8.4 和 9.8.3.1 节)
9. 在正交信号中, 为什么随着信号维数的增加误差性能得到改善? (见 4.8.5 节)
 10. 为什么自由空间损耗 (free-space loss) 是波长的函数? (见 5.3.3 节)
 11. 接收信噪比 (S/N) 和载噪比 (C/N) 之间的关系是什么? (见 5.4 节)
 12. 试描述在选用纠错编码方法时应考虑的 4 种权衡因素。(见 6.3.4 节)
 13. 为什么在 E_b/N_0 取值较低时, 传统纠错编码的误码特性反而更差? (见 6.3.4 节)
 14. 怎样使用标准阵 (standard array) 理解分组码并对其进行性能估算? (见 6.6.5 节)
 15. 为什么在实际系统设计时, -1.6 dB 的香农 (Shannon) 极限不是可用目标? (见 8.4.5.2 节)
 16. 维特比 (Viterbi) 译码算法不生成后验概率的情况下产生的后果是什么? 维特比算法的更具有描述性的名称是什么? (见 8.4.6 节)
 17. 为什么二进制和四进制正交移频键控 (Frequency Shift Keying, FSK) 表现出相同的带宽效率关系? (见 9.5.1 节)
 18. 试描述接收信号的能量与各种数据速率的微妙关系, 这些速率包括从数据比特到信道比特、码元、码片等。(见 9.7.7 节)
 19. 给出下列术语的定义: 波特, 状态, 信源, 码片, 鲁棒信号。(见 1.3.3 节和 7.2.2 节, 第 11 章, 12.3.2 节和 12.4.2 节)
 20. 在衰落信道中, 为什么信号色散与衰落速度是相互独立的? (见 15.1.1.1 节)

希望读者能够意识到以这种方式来提问自己是有用的和富有挑战性的。现在让我们以更加系统的方式描述本书的目的。本书是面向本科高年级学生、一年级研究生以及工程师的, 能够提供对数字通信系统的更加全面广泛的认识。虽然重点是数字通信, 但是也包括了必需的模拟方面的基础知识, 因为数字信号被调制后送给信道传送的通常是模拟波形。数字通信系统的主要特征是它只处理离散消息的有限集合, 而模拟通信系统的特点是其消息是连续的。数字通信系统接收机的目的不是恢复出精确波形, 而是对有噪声和干扰污染的信号进行判决, 即接收到的消息应该是发射机发送的有限波形集合中的那一个。在实现该目标的过程中, 出现了几类鼓舞人心的信号处理技术。

本书以一种统一的结构详述这些技术。每章均以框图开始, 框图中的重点部分对应于该章的主题。本书的主要目的是帮助那些已经涉足该领域并想在该领域继续发展的读者培养一种组织和结构观念, 并确保在专门研究某一细节时仍然保持全局观念。从信源到发射机、信道、接收机以及最后的信宿, 一直在跟踪研究信号及其关键处理步骤。信号变换是根据以下 9 类功能来组织的: 格式化及信源编码、基带信号、带通信号、均衡、信道编码、多路复用和多址接入、扩频、加密、同步。纵观本书, 我们的重点放在了系统目标和基本系统参数 (例如信噪比、差错概率、带宽使用等) 之间的均衡上。

本书的组织结构

第 1 章全面介绍了数字通信系统以及后续章节要重点讲解的基本信号变换, 回顾了随机变量的基本概念和加性高斯白噪声 (Additive White Gaussian Noise, AWGN) 模型, 同时也阐述了功率谱密度和自相关函数之间的关系以及信号通过线性系统传输的基本概念。第 2 章讨论信号格式化 (formatting) 处理步骤, 也就是数字信号基带传输, 这样可以使消息信号与数字系统兼容。第 3 章

的重点是基带信号 (baseband signaling)、高斯噪声中的信号检测以及最佳接收机。第4章涉及了带通信号 (bandpass signaling) 及其调制、解调、检测技术。第5章进行了通信链路分析 (link analysis), 这是对系统整体进行研究的一个重要课题, 这里考虑了通常容易被忽略的一些细节。第6章、第7章和第8章研究了信道编码 (channel coding) ——这是一种提供多种系统性能均衡的具有成本-效益的方式, 其中第6章的重点是线性分组码 (linear block code), 第7章是卷积码 (convolutional code), 而第8章则是里德-索罗蒙码和级联码 (譬如 Turbo 码)。

第9章考虑了各种调制/编码系统在误比特率性能、带宽效率和信噪比之间的均衡, 重点讨论了编码调制部分, 特别是网格编码调制 (trellis-coded modulation)。第10章讨论了数字系统的同步问题 (synchronization), 包括用锁相环 (Phase-Locked Loop) 实现载波同步, 以及比特同步、帧同步和网同步, 并介绍了一些用数字手段实现同步的方法。

第11章介绍了多路复用 (multiplexing) 和多址接入 (multiple access), 对高效使用通信资源的可用技术进行了探索。第12章介绍了扩频 (spread spectrum) 技术及其在多址接入、测距和抗干扰领域的应用, 这种技术无论在军事上还是商业上都有着重要意义。第13章阐述了信源编码 (source coding), 这是数据格式化的一个特殊类别。格式化和信源编码都涉及到数据的数字化, 二者的主要不同在于信源编码降低了数据的冗余度。之所以没有在格式化章节之后安排信源编码而在后面的章节才讨论, 是为了不打断基本处理步骤表达的连续性。第14章介绍了基本的加密/解密 (encryption/decryption) 思想, 包括一些常用概念, 称为公共密钥加密系统的一类系统, 以及广泛应用于E-mail的安全加密软件 Pretty Good Privacy (PGP)。第15章讲述衰落信道 (fading channel), 讨论了诸如移动无线通信之类涉及信道特征的一些应用, 它们不同于非衰落信道的情形, 设计能够抵抗衰落劣化效应的通信系统, 要比设计非衰落时的相应系统更具有挑战性; 本章还讨论了各种能够缓和衰落之影响的技术, 并且说明了一些已经实现的成功设计案例。

我们假定本书的读者已经掌握了有关傅里叶 (Fourier) 变换和卷积的知识。附录A回顾了这些技术, 重点说明了研究通信系统时特别用到的特性。同样, 我们也认为读者已经对概率论的基本知识有一定的了解, 并且对随机变量比较熟悉, 在此基础上, 附录B阐述了统计判决理论, 重点强调了假设检验——这对于理解检测理论是非常重要的。另外, 新增加了附录E, 对 s 域、 z 域以及数字滤波做了简短的说明。本书附带光盘里还有简要的 DSP 的知识。

如果本书采用两学期课时授课, 建议按如下方式进行教学: 第一学期讲解前7章, 第二学期讲解后面8章。如果只采用一学期的课时授课, 则建议上课内容从第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第6章、第7章、第9章、第10章和第12章中挑选。

目 录

第 1 章 信号和频谱	1
1.1 数字通信信号处理	2
1.1.1 为什么要进行数字化	2
1.1.2 典型通信系统的方框图	3
1.1.3 基本的数字通信术语	8
1.1.4 数字通信与模拟通信的性能比较	9
1.2 信号分类	9
1.2.1 确定信号和随机信号	9
1.2.2 周期信号和非周期信号	10
1.2.3 连续信号和离散信号	10
1.2.4 能量信号和功率信号	10
1.2.5 单位冲激函数	11
1.3 频谱密度	12
1.3.1 能量谱密度	12
1.3.2 功率谱密度	12
1.4 自相关函数	14
1.4.1 能量信号的自相关函数	14
1.4.2 周期(功率)信号的自相关函数	14
1.5 随机信号	14
1.5.1 随机变量	15
1.5.2 随机过程	16
1.5.3 时间平均和各态遍历	18
1.5.4 随机过程的功率谱密度和自相关函数	19
1.5.5 通信系统中的噪声	22
1.6 线性系统的信号传输	24
1.6.1 冲激响应	25
1.6.2 频域传递函数	26
1.6.3 无失真传输	27
1.6.4 信号、电路和频谱	32
1.7 数字数据的带宽	34
1.7.1 基带与带通	34
1.7.2 带宽问题	35
1.8 小结	39
参考文献	39
习题	39

思考题	42
练习	42
第 2 章 格式化和基带调制	43
2.1 基带系统	45
2.2 格式化文本数据 (字符编码)	45
2.3 消息、字符和码元	48
2.3.1 消息、字符和码元的例子	48
2.4 格式化模拟信息	49
2.4.1 采样定理	49
2.4.2 混叠	54
2.4.3 采用过采样的原因	57
2.4.4 数字系统的信号接口	59
2.5 干扰源	59
2.5.1 采样和量化的影响	59
2.5.2 信道的影响	60
2.5.3 量化脉冲的信噪比	60
2.6 脉冲编码调制	62
2.7 均匀量化和非均匀量化	63
2.7.1 语音幅度的统计	63
2.7.2 非均匀量化	64
2.7.3 压扩特性	64
2.8 基带传输	66
2.8.1 二进制数字的波形表示	66
2.8.2 PCM 波形的类型	67
2.8.3 PCM 波形的频谱特性	69
2.8.4 比特每 PCM 码字以及比特每码元	70
2.8.5 M 进制脉冲调制波形	71
2.9 相关编码	73
2.9.1 双二进制信号	73
2.9.2 双二进制解码	74
2.9.3 预编码	74
2.9.4 双二进制码等效转移函数	75
2.9.5 二进制信号与双二进制信号的比较	77
2.9.6 多二进制信号	77
2.10 小结	77
参考文献	78
习题	78
思考题	80
练习	80

第 3 章	基带信号解调与检测	81
3.1	信号和噪声	82
3.1.1	通信系统中差错性能的劣化	82
3.1.2	解调和检测	82
3.1.3	信号和噪声的矢量表示	85
3.1.4	数字通信系统中的信噪比参数	90
3.1.5	E_b/N_0 作为度量指标的原因	91
3.2	高斯噪声干扰下二进制信号的检测	92
3.2.1	最大似然接收机结构	92
3.2.2	匹配滤波器	94
3.2.3	匹配滤波器的相关实现	96
3.2.4	最佳差错性能	98
3.2.5	二进制信号的差错概率性能	101
3.3	码间串扰	105
3.3.1	降低码间串扰的脉冲整形	107
3.3.2	差错性能劣化的两种类型	109
3.3.3	整形脉冲的解调 / 检测	112
3.4	均衡	115
3.4.1	信道特性	115
3.4.2	眼图	116
3.4.3	均衡滤波器的类型	117
3.4.4	预置式均衡与自适应均衡	121
3.4.5	滤波器更新率	123
3.5	小结	124
	参考文献	124
	习题	125
	思考题	127
	练习	127
第 4 章	带通调制和解调	128
4.1	为什么需要调制	128
4.2	数字带通调制技术	129
4.2.1	正弦信号的相量表示	131
4.2.2	相移键控	133
4.2.3	频移键控	134
4.2.4	幅移键控	134
4.2.5	振幅相位联合键控	134
4.2.6	波形振幅系数	135
4.3	高斯噪声背景下的信号检测	135
4.3.1	判决区域	135
4.3.2	相关接收机	136

4.4	相干检测	140
4.4.1	PSK 的相干检测	140
4.4.2	采样匹配滤波器	141
4.4.3	多相相移键控的相干检测	145
4.4.4	FSK 的相干检测	147
4.5	非相干检测	149
4.5.1	差分 PSK 的检测	149
4.5.2	二进制差分 PSK 举例	151
4.5.3	FSK 的非相干检测	152
4.5.4	非相干正交 FSK 信号需要的频率间隔	154
4.6	复包络	157
4.6.1	调制器的正交实现	158
4.6.2	D8PSK 调制举例	158
4.6.3	D8PSK 解调举例	160
4.7	二进制系统的差错性能	161
4.7.1	BPSK 相干检测的误比特率	161
4.7.2	差分编码二进制 PSK 相干检测的误比特率	163
4.7.3	二进制正交 FSK 相干检测的误比特率	164
4.7.4	二进制正交 FSK 非相干检测的误比特率	164
4.7.5	二进制 DPSK 的误比特率	166
4.7.6	各种调制类型误比特率的比较	168
4.8	M 进制信号及其性能	169
4.8.1	理想误比特率性能	169
4.8.2	M 进制信号	169
4.8.3	MPSK 信号的矢量图	171
4.8.4	BPSK 和 QPSK 具有相同的误比特率	172
4.8.5	MFSK 信号的矢量图	173
4.9	M 进制系统的误码性能 ($M > 2$)	176
4.9.1	MPSK 的误码率	176
4.9.2	MFSK 的误码率	177
4.9.3	正交信号误比特率和误码率之比较	180
4.9.4	多相信号误比特率与误码率之比较	180
4.9.5	码间串扰的影响	181
4.10	小结	182
	参考文献	182
	习题	182
	思考题	185
	练习	185
第 5 章	通信链路分析	186
5.1	系统工程中的系统链路预算	186

5.2	信道	187
5.2.1	自由空间的概念	187
5.2.2	差错性能的降低	187
5.2.3	信号损耗和噪声的来源	188
5.3	接收信号功率和噪声功率	191
5.3.1	量程方程	191
5.3.2	接收信号功率与频率的函数关系	194
5.3.3	路径损耗与频率的关系	195
5.3.4	热噪声功率	197
5.4	链路预算分析	198
5.4.1	两个重要的 E_b/N_0 值	200
5.4.2	链路预算的分贝形式	201
5.4.3	链路余量的充足值	201
5.4.4	链路可用率	202
5.5	噪声系数、噪声温度和系统温度	207
5.5.1	噪声系数	207
5.5.2	噪声温度	209
5.5.3	线路损耗	209
5.5.4	复合噪声系数和复合噪声温度	211
5.5.5	系统有效温度	212
5.5.6	天电噪声温度	216
5.6	采样链路分析	220
5.6.1	链路预算细节	220
5.6.2	接收机品质因素	222
5.6.3	各向同性接收功率	222
5.7	卫星中继	223
5.7.1	非再生中继	223
5.7.2	非线性中继放大器	227
5.8	系统权衡	228
5.9	小结	228
	参考文献	229
	习题	229
	思考题	233
	练习	233
第 6 章	信道编码 (一)	234
6.1	波形编码	234
6.1.1	对极和正交信号	236
6.1.2	M 进制信号处理	237
6.1.3	波形编码	237
6.1.4	波形编码系统举例	240

6.2	差错控制类型	242
6.2.1	终端连接	242
6.2.2	自动重发请求	243
6.3	结构化序列	244
6.3.1	信道模型	244
6.3.2	编码效率和冗余度	245
6.3.3	奇偶校验码	246
6.3.4	使用纠错编码的原因	248
6.4	线性分组码	252
6.4.1	矢量空间	252
6.4.2	矢量子空间	252
6.4.3	(6, 3) 线性分组码举例	253
6.4.4	生成矩阵	254
6.4.5	系统线性分组码	255
6.4.6	监督矩阵	256
6.4.7	伴随式检验	257
6.4.8	纠错	258
6.4.9	译码器的实现	261
6.5	检错和纠错能力	263
6.5.1	二进制矢量的重量和距离	263
6.5.2	线性码的最小距离	263
6.5.3	检错和纠错	263
6.5.4	6元组空间的视图	266
6.5.5	擦除纠正	268
6.6	标准阵的用途	268
6.6.1	估码能力	268
6.6.2	(n, k) 码的一个例子	269
6.6.3	(8, 2) 码的设计	270
6.6.4	检错和纠错的权衡	271
6.6.5	标准阵提供的知识	274
6.7	循环码	274
6.7.1	循环码的代数结构	274
6.7.2	二进制循环码的特性	276
6.7.3	系统形式的编码	276
6.7.4	多项式除法电路	278
6.7.5	(n-k) 级移位寄存器的系统编码	279
6.7.6	(n-k) 级移位寄存器检错	281
6.8	常用分组码	282
6.8.1	汉明码	282
6.8.2	扩展格雷码	285
6.8.3	BCH 码	285