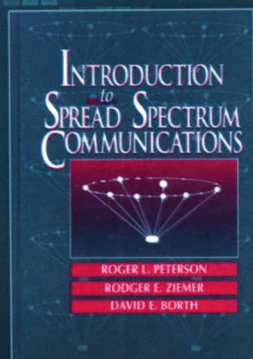


国外电子与通信教材系列

PEARSON  
Prentice  
Hall

# 扩频通信导论

Introduction to  
Spread Spectrum Communications



Roger L. Peterson  
[美] Rodger E. Ziemer 著  
David E. Borth

沈丽丽 侯永宏 马兰 等译  
侯春萍 审校



电子工业出版社

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

## 内 容 简 介

本书是 Roger L. Peterson 等人合著的经典著作。本书自成体系,内容连贯,由浅入深详细介绍了扩频通信的基本概念、原理和分析方法。内容包括:扩频调制的概念和扩频系统的类型,伪随机码的产生及其特性,扩频码的跟踪与捕捉方法,各种干扰环境下扩频通信系统的性能分析,以及利用前向纠错编码技术减少干扰影响的方法。本书例题和习题丰富,适合作为高等院校电子、通信等专业本科生和研究生的教材,也可以作为从事通信技术领域研究、开发工作的工程技术人员的参考书。

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

Introduction to Spread-Spectrum Communications, ISBN: 0024316237 by Roger L. Peterson, Rodger E. Ziemer and David E. Borth, Copyright © 1995. 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:01-2005-1938

### 图书在版编目(CIP)数据

扩频通信导论/(美)彼得森(Peterson, R. L.)等著;沈丽丽等译.-北京:电子工业出版社,2006.7  
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Introduction to Spread-Spectrum Communications

ISBN 7-121-02825-5

I. 扩... II. ①彼... ②沈... III. 扩频通信-教材 IV. TN914.42

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第070593号

责任编辑:李秦华

印刷:北京牛山世兴印刷厂

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

经销:各地新华书店

开本:787×1092 1/16 印张:21 字数:538千字

印次:2006年7月第1次印刷

定价:35.00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。

# 国外电子与通信教材系列 ①

中文书名	英文书名	作者	译审者	版别
信息论与编码理论 (第二版)	The Theory of Information and Coding, 2E	Robert J. McEliece	项海格	中、英
电子学 (第二版)	The Art of Electronics, 2E	Paul Horowitz	吴利民	中、英
电路 (第六版)	Electric Circuits, 6E	James W. Nilsson	路而红	中、英
工程电路分析 (第六版)	Engineering Circuit Analysis, 6E	William H. Hayt, Jr	王大鹏	中、英
射频电路设计: 理论与应用	RF Circuit Design: Theory and Applications	Reinhold Ludwig	王子宇	中
数字电路简明教程	Digital Electronics: A Simplified Approach	Robert D. Thompson	马爱文	中
数字系统: 原理与应用 (第九版)	Digital Systems: Principles and Applications, 9E	Ronald J. Tocci	贺煜耀	中
数字设计 (第三版)	Digital Design, 3E	M. Morris Mano	徐志军	中
高速数字设计	High-Speed Digital Design: A Handbook of Black Magic	Howard Johnson	王 强	中、英
线性电路分析基础 (第二版)	Elementary Linear Circuit Analysis, 2E	Leonard S. Bobrow		英
现代逻辑设计 (第二版)	Contemporary Logic Design, 2E	Randy H. Katz		英
逻辑电路设计基础	Introduction to Logic Design	Alan B. Marcovitz	徐安士	中
数字集成电路设计	Digital Integrated Circuit Design	Ken Martin		英
信号与系统 (第二版)	Signals and Systems, 2E	Alan V. Oppenheim		英
信号与系统 (第二版)	Signals and Systems, 2E	Simon Haykin	林秩盛	中、英
信号与系统结构精析	Structure and Interpretation of Signals and Systems	Edward A. Lee	吴利民	中
信号与系统: 连续与离散 (第四版)	Signals and Systems: Continuous and Discrete, 4E	Rodger E. Ziemer	滕建辅	中
自适应滤波器原理 (第四版)	Adaptive Filter Theory, 4E	Simon Haykin	郑宝玉	中、英
自适应滤波算法与实现 (第二版)	Adaptive Filtering: Algorithms and Practical Implementation, 2E	Paulo S. R. Diniz	杨义先	中
统计与自适应信号处理	Statistical and Adaptive Signal Processing	Dimitris Manolakis	周 正	中
统计信号处理基础: 估计与检测理论	Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume I: Estimation Theory & Volume II: Detection Theory	Steven M. Kay	罗鹏飞	中
调制、检测与编码	Modulation, Detection and Coding	Tommy Öberg	项海格	中
信号完整性分析	Signal Integrity - Simplified	Eric Bogatin	李玉山	中
合成孔径雷达: 系统与信号处理	Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing	John C. Curlander	文江平	中
合成孔径雷达图像处理	Traitement des images de RSO	Henri Maitre	孙 洪	中
数字图像处理 (MATLAB 版)	Digital Image Processing Using MATLAB	Rafael C. Gonzalez	阮秋琦	中、英
数字图像处理 (第二版)	Digital Image Processing, 2E	Rafael C. Gonzalez	阮秋琦	中、英
数字信号处理基础	Fundamentals of Digital Signal Processing	Joyce Van de Vegte	侯正信	中、英
数字信号处理引论 (第二版)	Signal Processing First, 2E	James H. McClellan	周利清	中
数字信号处理实践方法 (第二版)	Digital Signal Processing: A Practical Approach, 2E	Emmanuel Ifeachor	罗鹏飞	中、英
数字信号处理: 系统分析与设计	Digital Signal Processing: System Analysis and Design	Paulo S. R. Diniz	门爱东	中、英
数字信号处理: 基于计算机的方法(第二版)	Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach, 2E	Sanjit K. Mitra	孙 洪	中
基于计算机的信号处理实践	Computer-Based Exercises for Signal Processing Using MATLAB Ver.5	James H. McClellan	杨忠根	中
离散时间语音信号处理: 原理与应用	Discrete-Time Speech Signal Processing: Principles and Practice	Thomas F. Quatieri	匡镜明	中
信号处理滤波器设计: 基于MATLAB和Mathematica的设计方法	Filter Design for Signal Processing Using MATLAB and Mathematica	Miroslav D. Lutovac	朱义胜	中、英
VHDL 数字系统设计 (第二版)	Digital System Design with VHDL, 2E	Mark Zwolinsk	李仁发	中
小波与傅里叶分析基础	A First Course in Wavelets with Fourier Analysis	Albert Boggess	芮国胜	中、英
LabVIEW 6i 实用教程	LabVIEW 6i Student Edition	Robert H. Bishop	乔瑞萍	中
Verilog HDL 高级数字设计	Advanced Digital Design with the Verilog HDL	Michael D. Ciletti	张雅绮	中、英
Verilog 数字设计与综合: Verilog HDL (IEEE1364-2001) 语法详解 (第二版)	Verilog HDL: A Guide to Digital Design and Synthesis, 2E	Samir Palnitkar	夏宇闻	中
MATLAB 原理与工程应用	An Engineer's Guide to MATLAB	Edward B. Magrab	高会生	中



## 国外电子与通信教材系列 ②

中文书名	英文书名	作者	译审者	版别
DSP 原理及其C 编程开发技术	DSP Applications Using C and the TMS320C6X DSK	Rulph Chassaing	韩月秋	中
数字通信: 基础与应用 (第二版)	Digital Communication: Fundamentals and Applications, 2E	Bernard Sklar	沈连丰	中、英
通信系统 (第四版)	Communication System, 4E	Simon Haykin	沈连丰	中、英
通信系统工程 (第二版)	Communication Systems Engineering, 2E	John G. Proakis	沈连丰	中、英
电子通信系统 (第四版)	Electronic Communications Systems Fundamentals Through Advanced, 4E	Wayne Tomasi	薛荣华	中、英
现代通信系统 (MATLAB 版) (第二版)	Contemporary Communication Systems Using MATLAB and Simulink, 2E	John G. Proakis	刘树棠	中
数字与模拟通信系统 (第六版)	Digital and Analog Communication Systems, 6E	Leon W. Couch, II	朱世华	中
无线通信与网络	Wireless Communications and Networking	John W. Mark	滕建辅	中
宽带无线数字通信	Wideband Wireless Digital Communications	Andreas F. Molisch	姚彦	中、英
视频处理与通信	Video Processing and Communications	Yao Wang	侯正信	中
卫星通信 (第二版)	Satellite Communications, 2E	Timothy Pratt	甘良才	中、英
光纤通信 (第五版)	Fiber Optic Communications, Fifth Edition	Joseph C. Palais		英
光纤通信 (第三版)	Optical Fiber Communications, 3E	Gerd Keiser	李玉权	中
无线通信与移动通信中信号处理研究的新进展	Signal Processing Advances in Wireless and Mobile Communications, Volume 1: Trends in Channel; Volume 2: Trends in Single- and Multi-User Systems	Georgios Giannakis	彭启琮	中
高级电子通信系统 (第六版)	Advanced Electronic Communications Systems, 6E	Wayne Tomasi	薛荣华	中
移动无线通信	Mobile Wireless Communications	Mischa Schwartz		英
无线通信系统: 信号接收的高级技术	Wireless Communications system: Advanced Techniques for Signal Reception	Xiaodong Wang	郑宝玉	中
无线通信原理与应用 (第二版)	Wireless Communications: Principles and Practice, 2E	Theodore Rappaport		英
半导体器件基础	Semiconductor device Fundamentals	Robert F. Pierret	黄如	中
电子电路设计基础	Introduction to Electronic Circuit Design	Richard R. Spencer	张为	中、英
半导体物理与器件 (第三版)	Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles, 3E	Donald A. Neamen	赵毅强	中
数字集成电路: 电路、系统与与设计(第二版)	Digital Integrated Circuits: A Design Perspective, 2E	Jan M. Rabaey	周润德	中
CMOS模拟集成电路设计 (第二版)	CMOS Analog Circuit Design, 2E	Phillip E. Allen	王志功	中、英
CMOS 数字集成电路分析与设计(第三版)	CMOS Digital Integrated Circuits: Analysis and Design, 3E	Sung-Mo Kang	王志功	中
CMOS 射频集成电路设计	The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits	Thomas H. Lee	余志平	中、英
专用集成电路	Application-Specific Integrated Circuits	Michael J. S. Smith	章倩苓	中、英
微系统设计	Microsystem Design	Stephen D. Senturia	王晓红	中
先进半导体存储器: 结构、设计与应用	Advanced Semiconductor Memories: Architectures, Designs, and Applications	Ashok K. Sharma	朱钧林	中
低压低功耗CMOS/BiCMOS超大规模集成电路	CMOS/BiCMOS ULSI Low Voltage, Low Power	Kiat-Seng Yeo	周元兴	中
片上系统: 可重用设计方法学 (第三版)	Reuse Methodology Manual for System-on-a-Chip Designs, 3E	Michael Keating	沈绪榜	中
半导体制造技术	Semiconductor Manufacturing Technology	Michael Quirk	海潮和	中
芯片制造 (第四版)	Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing, 4E	Peter Van Zant	赵树武	中
电路设计基础	Fundamental of Electronic Circuit Design	David Comer	王华奎	中
超大规模集成电路测试: 数字、存储器和混合信号系统	Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory & Mixed-Signal VLSI Circuits	Michael L. Bushnell	蒋安平	中
微电子电路 (第四版)	Microelectronic Circuits, 4E	Adel S. Sedra		英
天线 (第三版) (上册) (下册)	Antennas: For All Applications, 3E	John Daniel Kraus	章文勋	中

● 更多图书信息, 请登录华信教育资源网: [www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn)

● 详细的资料索取与教辅支持, 请联系: 010-88254555, 88254560, [te\\_service@phei.com.cn](mailto:te_service@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。

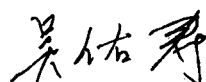
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版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

为作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 | 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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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，教授级高级工程师<br>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<br>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

长期以来,为了较好地完成高校本科生扩频通信原理课程的教学工作,我们一直渴望能够找到一本系统讲述扩频通信原理的书籍。2004年秋,在北京小汤山召开的电子工业出版社通信教材的研讨会上,我看到了“Introduction to Spread-Spectrum Communications”一书。这本书全面且系统地介绍了扩频通信的基本原理、关键技术以及应用背景。原书共有10章。第1章回顾了数字通信的基本概念,简单地总结了数字通信的基本理论,为扩频通信概念和原理的引出提供了背景知识。第2章对扩频通信系统进行了一般性的描述,引出了扩频调制的概念和采用扩频调制的原因。同时还介绍了几种主要的扩频方法,有BPSK/DSSS, QPSK/DSSS, MSK/DSSS, 相干慢跳频扩频(FHSS), 非相干慢跳频扩频, 非相干快跳频扩频和混合DSSS/FHSS。第3章讨论了扩频通信系统中扩频码的产生问题。在介绍了包括有限域代数的一些数学预备知识之后,讨论了带有反馈电路的移位寄存器二进制序列的产生方法,定义了最大长度序列( $m$ 序列),并用较多的篇幅描述了 $m$ 序列的性质。同时还简要地介绍了其他的一些码序列,如Gold码和非线性码。接下来的两章重点讨论了扩频码的同步问题。扩频码同步过程被分成两个部分:码的初始同步(捕捉)和码的跟踪。第4章讨论了各种类型跟踪环的分析方法和跟踪环结构,包括各类相干、非相干延迟锁定跟踪环(DLL)和摆动跟踪环(TDL)。第5章从串行搜索这种简单的码捕捉技术开始,由浅入深,给出了步进串行搜索的一般性分析方法。然后讨论了多次逗留检测技术和序贯检测技术的分析方法。第6章分析了各种干扰环境下扩频系统的性能。第7章讨论了加入前向纠错编码之后扩频系统的性能,简要地介绍了一些重要的编码方法。第8章介绍了衰落信道的特性,为扩频技术用于陆地蜂窝移动通信系统奠定了基础。第9章重点描述了扩频技术在数字蜂窝移动通信系统中的应用,讲述了与CDMA蜂窝系统相关的一些概念,如频率复用的概念等;同时介绍了一些具体的应用实例,如北美的DS-CDMA系统等。最后一章讨论了非合作情况下检测扩频信号和提取其参数的方法。

为了配合高等学校本科生扩频通信原理课程的教学工作,将有限的学时用于扩频通信基本概念和基本原理的讲解上,在本书的翻译过程中我们对该书进行了改编。首先,考虑到许多高校会在通信原理和移动通信等相关课程中全面地讲述数字通信的基本概念和衰落信道的基本知识,因此略去了原书的第1章和第8章。对于原书第9章的内容,鉴于原书出版的年代较久,并考虑到CDMA技术近年来的发展,我们曾建议原书作者补充一些新内容,如第三代移动通信系统(WCDMA和CDMA2000)的内容,但未果,所以也将其略去。对于原书的第10章,主要研究低概率下扩频信号的截获与检测问题,属于扩频技术的另外一种应用,在翻译时也将其略去。原书还包括有7个附录,分别总结了锁相理论,高斯概率函数,随机二进制数字序列和随机音频信号的功率谱密度,两个 $m$ 序列乘积的功率谱计算,鉴相器输出自相关函数和功率谱的估计, $\chi^2$ 概率分布和Mrcum  $Q$ 函数的数值近似,以及数学公式列表。为了便于感兴趣的读者学习和研究,这些附录的内容(英文版)可以在电子工业出版社的网址<http://www.phei.com.cn>的“教材教辅”上找到。



本书由侯春萍负责全书的翻译组织、审校和文字统一工作。其中第1章、第2章和第6章由沈丽丽负责组织翻译,第3章由马兰负责组织翻译,第4章由杨蕾负责组织翻译,第5章由侯永宏负责组织翻译。参加本书翻译工作的还有王丽娟、宋晓炜、阎磊、屈悦、林林、傅蕊、林牲、徐振梅、王晓宁、董小林、柳鑫、段志鲲、应义财、张征、张彦龙、张力强、孙迪、廖崇琦、段红乐、刘丽、靳军莉、韩彬彬、王悦,在此表示衷心的感谢。

由于译者的水平有限,译文中难免有不妥乃至错误之处,敬请读者指正。

# 序 言

本书重点介绍了扩频通信。扩频调制占用的带宽远远大于要传输的原始信号的带宽,并且与原始信号的带宽无关。为什么要占用这样大的带宽来进行调制呢?是不是太浪费了?这样做有如下几个原因是:

1. 能获得一定程度的抗干扰能力和抗阻塞能力(称为阻塞抑制, JR)
2. 能得到一种在背景噪声中隐蔽传送信号的方法,使窃听者的截获概率非常低(称为低截获概率, LPI)。
3. 能够抵御来自多条传输路径(也就是多径)信号的干扰。
4. 能够实现多个用户共享一个公用信道(称为多址接入)。
5. 能提供一种测量两点之间范围或距离的方法。

扩频通信的研究起源于第二次世界大战,目的是在敌方控制区内提供一种保密通信的方法。20世纪70年代之前,这项工作大部分在暗中进行。1977年,(美国)电气及电子工程师学会(IEEE)发表了第一篇有关扩频的学术论文,紧接着又有4篇学术论文[1~5]在“IEEE Journal on Selected Areas on Communications”上发表。此外,在这些期刊的一些其他论文中,以及在一些其他主题的期刊中也出现了涉及扩频这个概念的内容。同时与扩频及其各种应用有关的几本书也相继出版[6~9]。

图 P.1 是一个数字通信系统的框图。这个图有几个部分是在其他通信系统中找不到的。在大多数通信系统中,都包括如下的“标准”部件:

1. 信源,包括信源编码器。
2. 数据调制器。
3. 功率放大(如果是无线传播信道则包括天线)。
4. 接收机前端(如是无线传播信道则包括接收天线)。
5. 定时和同步。
6. 数据解调器。
7. 信宿,包括信源解码器。

不是在每一个通信系统中都存在的“非标准”部件有:

1. 加密器。
2. 信道编码器。
3. 扩频调制器。
4. 解扩器。
5. 信道解码器。
6. 解密器。

在上述6个非标准部件中,2~5是扩频通信系统中的标准部件。很明显,为了实现扩频,扩频调制器和解扩器是必需的。不太容易看出来的是,为了使恢复的性能不低于智能干扰机,在扩频系统中信道编码和信道解码功能(暗指带有附加的交织和解交织功能)也是必需的。这些问题和其他的一些问题,包括扩频码的产生和同步等重要问题都将在本书的后面几个章中陆续讲述。

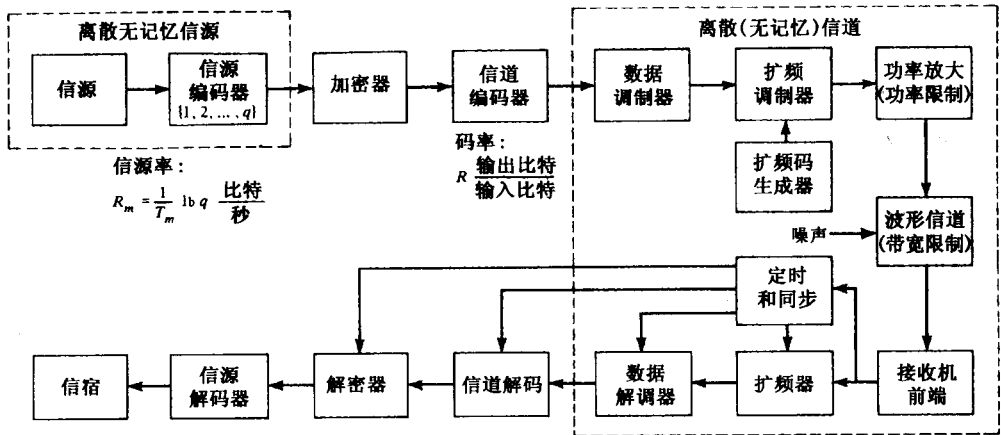


图 P.1 典型的数字通信系统框图

正如前面描述的那样,发明扩频通信系统是为了在军事环境中实现保密通信。对于扩频应用的扩展,在这个序言的参考文献中提供了大量的细节[6,8,10~14]介绍。一个开始为军事应用而开发的现代扩频通信系统是全球定位系统(GPS),但是它现在已经广泛地被用在很多的民用通信中。军事上的名称是 NAVSTAR[11,15],应用包括空间探测,为给旅游者提供导航帮助的车辆定位[16],给猎人和渔民提供定位,给商业车辆和船只提供定位。全球定位系统由均匀环绕地球的 24 颗人造卫星(有些卫星是作为热备份的)组成,这些卫星位于 12 点钟的轨道上,每个卫星任一时刻的位置都是已知的。每颗卫星发送两路频率分别为 1575.42 MHz 和 1227.60 MHz 的扩频信号,也分别被称为 L1 和 L2 信号。L1 信号采用短码扩频,使捕获相对容易,这种扩频码叫做 C/A 码(Clear/Acquisition 码)。相对于 L2 信号,这种扩频码的定位精度不高。L2 码被称为精确码,或 P 码(两种码的精度差异大约是十分之几)。L1 和 L2 信号都能以一个较低的速率来传输卫星数据。一个潜在的用户至少可以捕获到四个可视卫星的扩频码,并利用几个相关延迟方程式的近似解来确定自己的位置。仅仅采用延迟测量,定位精度是在数 10 英尺<sup>①</sup>这个数量级;若再采用特殊的处理技术,也就是所谓的差分 GPS,定位精度可以控制在 1 英尺左右甚至更小的范围内。尽管 GPS 最初是为军事系统开发的,但是它在民用领域也有很大的发展潜力。可是,应用在民用领域还存在一些危险性。比如,如果所有的民用飞机都利用 GPS 来导航,一旦发生战争,为了保证 P 码的安全而不能再用于民用,其后果将不堪设想。

随着时间的推移,最初只是用于军事领域的扩频通信系统越来越多地被用在民间通信中,GPS 就是最好的一个例子。扩频通信另一个完全民用化的应用是蜂窝移动无线通信。虽然第一代蜂窝移动系统是窄带系统,并采用频分多址方式来为众多的用户提供服务,但是在未来移动无线电系统中利用扩频来实现多址接入的标准已被制订出来,其扩频系统的测试正在进行。本书将用一整章来介绍这个系统。

扩频被作为接入调制而提出的一个相关系统是卫星陆地移动通信。已经提出了许多这样的系统,并且得到了不同程度的发展。在一些应用中,这些系统借助于卫星网络为个人手持电话用户和固定电话用户提供世界范围内的通信服务。通常这些连接要经过多颗卫星。为了接入作为中继器的通信卫星,这些系统中至少有一些系统采用扩频调制。

扩频调制将发挥巨大作用的另外一个领域是个人通信系统(PCS)[17,18]领域。这里几乎包

① 1 英尺 = 0.304 8 m——编者注。

括所有涉及到一个人利用一个系统与家庭或办公室进行通信的所有应用。这里的概念是:个人的电话号码不再被分配给一个地点,而是被分配给这个人。所提供的业务不仅仅是语音,还包括数据。很显然,个人通信系统最初的主要应用是面向带有数据和传真调制解调器的笔记本电脑,但是随着技术不断的发展,PCS必将深入到人类生活的方方面面。实际上,(美国)联邦通信委员会对个人通信系统的定义是:“能与各种有竞争力的网络融合,并且能够为个人和商业提供服务的一系列移动或便携式无线通信业务……,个人通信系统的主要目标是要满足人们在移动中实现通信的各种需求”[18]。

本书对扩频系统理论给出了一个全面的论述。由于本书并未涉及上面所提到的一些应用,因此只能算是一个导论。尽管如此,采用本书作为教材可以获得进一步深入研究扩频应用的全部背景知识。

# 目 录

第 1 章 扩频系统概述 .....	1
1.1 简介 .....	1
1.2 通信中的两个问题 .....	2
1.2.1 脉冲噪声干扰 .....	2
1.2.2 低检测概率 .....	3
1.3 直接序列扩频 .....	4
1.3.1 BPSK 直接序列扩频 .....	4
1.3.2 QPSK 直接序列扩频 .....	11
1.3.3 MSK 直接序列扩频 .....	14
1.4 跳频扩频 .....	17
1.4.1 相干慢跳频扩频 .....	17
1.4.2 非相干慢跳频扩频 .....	21
1.4.3 非相干快跳频扩频 .....	21
1.5 混合直接序列/跳频扩频 .....	23
1.6 扩频系统的复包络表示 .....	25
1.7 小结 .....	28
参考文献 .....	28
习题 .....	29
第 2 章 用于扩频系统的二进制移位寄存器序列 .....	33
2.1 简介 .....	33
2.2 定义、数学背景和序列发生器的基本原理 .....	33
2.2.1 定义 .....	33
2.2.2 有限域代数 .....	35
2.2.3 序列发生器基础 .....	40
2.2.4 移位寄存器发生器的状态机表示 .....	48
2.3 最大长度序列 .....	51
2.3.1 $m$ 序列的特性 .....	52
2.3.2 $m$ 序列的功率谱 .....	53



2.3.3	生成 $m$ 序列的多项式列表 .....	54
2.3.4	$m$ 序列的部分自相关特性 .....	58
2.3.5	$c(t)c(t+s)$ 的功率谱 .....	61
2.3.6	$m$ 序列特定时延的产生 .....	62
2.4	Gold 码 .....	68
2.5	非线性码发生器 .....	70
2.6	小结 .....	74
	参考文献 .....	74
	习题 .....	75
<b>第 3 章</b>	<b>码跟踪环</b> .....	<b>78</b>
3.1	简介 .....	78
3.2	宽带信号的最佳跟踪 .....	79
3.3	基带延迟锁定跟踪环 .....	81
3.4	非相干延迟锁定跟踪环 .....	89
3.5	$\tau$ 摆动非相干跟踪环路 .....	102
3.6	双摆动非相干跟踪环 .....	109
3.7	采用任意数据和扩频调制的非相干延迟锁定跟踪环 .....	111
3.8	用于跳频系统的码跟踪环 .....	119
3.9	小结 .....	128
	参考文献 .....	129
	习题 .....	131
<b>第 4 章</b>	<b>接收机扩频码的初始同步</b> .....	<b>134</b>
4.1	简介 .....	134
4.2	问题定义和最佳同步器 .....	135
4.3	串行搜索同步技术 .....	137
4.3.1	同步时间均值与方差的计算 .....	137
4.3.2	改进的扫描策略 .....	141
4.3.3	不确定区域的连续线性扫描 .....	143
4.3.4	加性高斯白噪声中的信号检测 .....	148
4.4	平均同步时间的一般性分析 .....	182
4.5	使用匹配滤波器的同步 .....	187
4.6	对接收到的扩频码进行估计来实现同步 .....	195
4.7	跟踪环进入 .....	197
4.8	小结 .....	202

参考文献 .....	203
习题 .....	206
<b>第 5 章 扩频系统在干扰环境下的性能</b> .....	<b>210</b>
5.1 简介 .....	210
5.2 扩频通信的系统模型 .....	210
5.3 未编码扩频系统的性能 .....	215
5.3.1 在加性高斯白噪声或阻塞噪声干扰情况下的性能 .....	215
5.3.2 部分波段干扰时的性能 .....	223
5.3.3 脉冲噪声干扰时的性能 .....	233
5.3.4 单音频干扰时的性能 .....	236
5.3.5 多音频干扰时的性能 .....	247
5.3.6 结论 .....	251
5.4 小结 .....	253
参考文献 .....	253
习题 .....	256
<b>第 6 章 前向纠错扩频系统的性能</b> .....	<b>258</b>
6.1 简介 .....	258
6.2 分组码的基本概念 .....	259
6.2.1 分组码的定义 .....	259
6.2.2 最佳译码准则 .....	261
6.2.3 错误概率估计 .....	265
6.3 卷积编码的基本概念 .....	274
6.3.1 基本概念 .....	274
6.3.2 卷积编码的定义 .....	274
6.3.3 卷积码的译码 .....	278
6.3.4 维特比算法 .....	282
6.3.5 译码和误比特率 .....	294
6.3.6 其他 .....	295
6.4 纠错码效果 .....	297
6.4.1 BCH 码 .....	297
6.4.2 R-S 码 .....	298
6.4.3 卷积码的最大自由距离 .....	299
6.4.4 硬判决 FH/MFSK 信道的重复编码 .....	302

6.5 交织 .....	308
6.6 编码边界 .....	311
6.6.1 利用信道参数 $D$ 的差错率限定 .....	311
6.6.2 计算截止速率 $R_0$ .....	313
6.7 小结 .....	314
参考文献 .....	315
习题 .....	318

# 第1章 扩频系统概述

## 1.1 简介

到目前为止,以前讨论过的调制解调技术,都是为在平稳附加白高斯噪声(AWGN)环境中使数字信息从一个地方到另一个地方尽可能有效地通信而设计的。相对而言,通过选择信号的传输方式可以有效地利用功率和带宽这些通信资源。而通过解调器的设计可以使给定的发射信号在 AWGN 环境下的误比特率最小。为了得到给定的误比特率,要定量权衡调制解调器所需要的带宽和  $E_b/N_0$  的大小。

尽管现实中许多通信信道都能精确地用平稳 AGWN 信道模型来表示,但还有一些重要的信道不适合这种模型。比如,某军用通信系统可能被调制解调器中心频率附近的一个单音频连续波(CW)干扰,或者被调制解调器自己的一个失真重发信号干扰。这两种情况中的任何一种干扰都不能用平稳 AWGN 模型来表示。另外还有一种干扰源能发射非平稳的脉冲 AGWN。

当发射机和接收机之间存在多条传播路径时,会产生另外一种不能用平稳 AGWN 模型来表示的干扰。这时调制解调器会因接收到它自身信号的延时信号而被干扰。这种现象被称为多径接收,是数字微波无线视距传播中存在的问题,比如那些需要远程传输电话的无线电和市区内的移动无线电等,还包括其他地方的一些应用。

下面,本书将集中讨论一种调制解调技术,这种技术有助于减轻上面所描述的各种类型的干扰所带来的有害影响,这种调制解调技术被称为扩频,这是由于它所采用的传输带宽远远大于传送数字信息所需要的最小带宽。作为一个扩频系统,调制解调器必须具有下列特征:

1. 被传输信号能量所占的带宽必须大于信息比特速率所对应的带宽(通常是远大于),而且几乎与信息比特速率无关。
2. 必须进行解调,且接收到的信号与发射机中用来对信息信号进行扩频的本地再生信号是部分相关的。

有大量的数调制技术,其传输带宽都远大于传输数据所需要的最小带宽,但它们不一定是扩频调制。比如,低速编码使传输带宽增加,但却不满足以上的任何一个条件。宽带调频也会产生一个很大的传输带宽,但也不是扩频。

在解决大范围通信问题时,扩频技术是非常有用的。通过使用扩频而获得的性能改善量被定义为扩频系统的处理增益。换句话说,处理增益是在环境相同的情况下采用扩频技术的系统性能和不采用扩频技术的系统性能之间的差值。处理增益一种最常用的近似表示是扩展带宽和信息速率的比值。事实上,许多作者都是这样定义处理增益的,或者将处理增益定义成一种类似的带宽比。只要一直牢记实际系统的性能改善是扩频系统设计者关心的重点,而选择哪种定义并不重要。

本章将进一步说明学习扩频系统的理由,并对应用最广泛的扩频系统类型进行介绍。在 1.2 节中,描述了利用扩频技术可以部分解决的两个重要的通信问题;1.3 节和 1.4 节中描述了两种基本类型的扩频系统:直接序列(DS)扩频和跳频(SH);在 1.5 节中,描述了混合系统。本章还讨论了用在扩频中的复包络模型。