

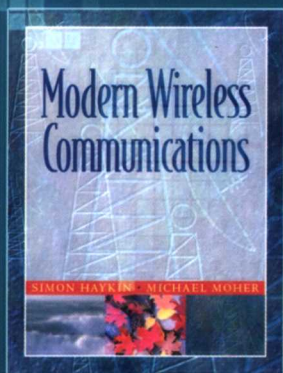
国外电子与通信教材系列

PEARSON
Prentice
Hall

西蒙·赫金

现代无线通信

Modern Wireless Communications



[加] Simon Haykin 著
Michael Moher

郑宝玉 等译



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

作者力作
经典力作

国外电子与通信教材系列

现代无线通信

Modern Wireless Communications

[加] Simon Haykin 著
Michael Moher

郑宝玉 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是无线通信方面的一部新作,在取材、内容组织和课程讲解方面均有特色。该书主要集中于介绍无线网络的物理层,着重讨论了无线电传播的基础概念和无线多址通信的基本理论。书中分别结合调制、编码、扩频和分集等主题,按照无线信道多址方式(即频谱利用率)的演进过程(FDMA, TDMA, CDMA, SDMA)来讲述无线通信技术;并在比较各种多址方法的基础上,给出无线通信的体系结构和组网技术的最新进展。这样既有利于读者全面掌握无线通信的相关知识,也有助于读者清晰地了解无线通信的发展需要。

本书适合作为通信工程和电子信息类相关专业高年级本科生和研究生的教材,同时对于工程技术人员也有一定的参考价值。

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

Modern Wireless Communications, ISBN: 0130224723 by Simon Haykin and Michael Moher, 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:01-2004-2238

图书在版编目(CIP)数据

现代无线通信/(加)赫金(Haykin, S.)等著;郑宝玉等译. -北京:电子工业出版社, 2006.5
(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Modern Wireless Communications

ISBN 7-121-02508-6

I. 现... II. ①赫... ②郑... III. 无线电通信-教材 IV. TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第037894号

责任编辑:冯小贝

印 刷:北京人卫印刷厂

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:29 字数:742千字

印 次:2006年5月第1次印刷

定 价:45.00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zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

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

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。

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、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、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，教授级高级工程师
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

最近十几年,无线通信经历了巨大变化。无线通信及其应用已成为当今信息科学技术最活跃的研究领域之一。无线通信的快速增长及其在各行各业中的广泛应用,正在许多方面改变着人们通信联络的方式。无线传播正在赋予通信一种与众不同的特征——移动性。这种移动性可以帮助实现人类的美好愿望——在任何时间、任何地点与任何人的个人通信,使得人们的生活更加便捷、更加丰富多彩。

《现代无线通信》一书是无线通信方面的一部新作。该书在材料取舍、内容组织和讲授方式方面均具有鲜明特色。书中主要针对无线网络的物理层,阐述了无线电传播基础和现代无线通信的基本理论及技术。本书的一个显著特点是将调制、编码、扩频和分集技术分别与频分多址、时分多址、码分多址和空分多址技术相结合,讨论了各种无线多址通信技术及其演进过程,并在比较各种多址方式的基础上给出无线通信体系结构和组网技术的最新进展。这种新颖的处理方式,既有利于读者全面掌握现代无线通信的相关知识,也有助于读者清晰了解无线通信技术的发展脉络。

本书的内容深入浅出,既有系统、完整的理论阐述,又有紧密结合各种无线通信技术最新课题(如WLAN、Wi-Fi、WiMAX、UWB等)的实例分析,并附有大量可帮助读者加深理解书中内容和概念的思考题与习题。这本书可作为通信工程和电子信息类相关专业高年级本科生和研究生的教材,并且对于工程技术人员也有很好的参考价值。

本书由郑宝玉教授主持翻译工作,并负责全书统稿和审校。在本书的翻译过程中,得到了多方面的支持和帮助。除主持者外,为本书提供初稿和做出贡献的有:崔景伍高级工程师,以及钱小聪、赵贤敬、颜振亚、许文昭、陈梅清、贾孝德、万欢根等。由于时间仓促,加之译者水平有限,翻译中错误和不妥之处在所难免,敬请读者和同行批评指正。

序 言

无线通信的快速增长及其在各行各业中的广泛应用,正在许多方面改变着人们通信联络的方式。更为重要的是,依靠无线传播将承载信息的信号从发射机传送到接收机的物理机制,已经赋予通信一种与众不同的特征,即移动性。

本书是针对通信系统这一传统课程教学而撰写的一部新作,它可作为电气工程专业的本科生教材,也可供一年级研究生作为无线通信课程的教科书使用。本书的讨论主要集中于物理层,重点介绍无线传播基础和多址通信技术的基本理论。本书首次以导论性著作的方式涵盖了无线通信的多方面新技术。

1. 本书的结构

本书共有 7 章的内容,此外还提供了 9 个附录与参考文献。

第 1 章首先通过回顾无线通信的历史,激发人们研究和学习无线通信的兴趣。然后介绍了无线网络的 OSI 模型,集中讨论了物理层的问题,这些问题也是本书的主要内容。

第 2 章重点讲解无线传播。首先阐述了传播过程的物理机理,包含自由空间传播、反射和绕射。这些物理机理可帮助我们更深入地了解地面和室内传播效应的统计模型。这一章还讨论了衰落和非相关散射的小尺度影响问题,这些问题导致不同类型无线信道的详细分类。本章的后半部分首先描述了噪声和干扰,讲解了这些噪声和干扰如何与传播组合在一起,并通过链路预算分析来确定无线通信的系统性能。

第 3 章重点讲述数字传输中的调制过程,以便为如下问题的讨论做铺垫:

- 线性调制信号的复基带表示,以及线性无线通信信道和线性带通滤波器的输入/输出描述。
- 相邻信道干扰和发射功率放大器的非线性问题。

然后,本章比较了各种无线通信的调制方法,讨论了存在信道噪声和瑞利衰落时的接收机性能,并分析了频分多址(FDMA)问题。

第 4 章集中讨论了编码技术和时分多址(TDMA)问题。在简要回顾香农(Shannon)的经典信息论之后,本章介绍了语音信号的信源编码,接着讨论卷积码、交错和 turbo 码的基础内容。在无线通信范畴内,本章讲解了卷积码和 turbo 码的相关优点。此外,作者详细论述了信道估计、跟踪和信道均衡问题。最后,这一章介绍 TDMA 及其优于 FDMA 之处。

第 5 章讨论了扩频、CDMA 和蜂窝系统。首先介绍扩频系统的基础,即直接序列系统和跳频系统及其干扰容限。本章有一节集中讨论了作为扩频系统基本组成部分的 Walsh-Hadamard 序列、最大长度序列、Gold 码和随机序列等扩频码设计问题。随后描述了 RAKE 接收机、信道估计、码同步和直接序列系统的多径性能,继而引出在蜂窝环境下建立直接序列系统的讨论。

第 6 章主要介绍空间分集的概念和相关课题。这一章首先讨论接收机分集,它是解决长期困扰无线通信衰落问题的传统技术。然后,引入一个非常有用的概念——多输入多输出

(MIMO)无线通信,并给出其特例——接收机空间分集和发射机空间分集。更为重要的是,MIMO 通信技术代表了无线通信的“空间拓展”;它以复杂度为代价,为发射功率有限和信道带宽固定的无线资源提供了一种可显著提高频谱效率的实用技术。MIMO 无线通信的讨论还包括正交空时分组码(STBC),它的最好实例是 Alamouti 码及其差分形式。最后,本章讨论了 SDMA 和智能天线。

第 7 章建立了物理层与前几章所述的通信网络高层中多址主题之间的联系。这一章首先比较各种多址技术;然后研究了与无线系统有关的各种管理功能,如信令、功控和切换等;同时讲解了电话系统和数据传输系统之间的差异。最后,本章讨论的内容既可用于电话通信也可用于数据传输的无线网络体系结构。

1.1 课题实例

本书的一个显著特征是书中除第 1 章外每章中都含有课题实例。书中具体讨论了下列主题:

- 第 2 章:实验传播模型、无线局域网(LAN)、脉冲无线电和超宽带系统
- 第 4 章:全球移动通信系统(GSM)、联合均衡与译码以及随机访问技术
- 第 5 章:码分多址(CDMA)标准 IS-95、GPS、蓝牙技术和 WiFi 系统
- 第 6 章:BLAST 体系结构、分集、空-时分组码以及 V-BLAST 和锁眼信道
- 第 7 章:无线电话网络标准、无线数据网络标准和 IEEE 801.11 MAC

1.2 附录

作为本书的补充,书中包括下列 9 个附录:

- 傅里叶理论
- 贝塞尔函数
- 随机变量和随机过程
- 匹配滤波器
- 误差函数
- 最大后验概率(MAP)译码
- MIMO 链路容量
- 特征分解
- 自适应天线阵列

提供这些附录的目的是使本书充分满足读者的需要。

1.3 本书的其他特点

其中每一章都含有一定数量的习题,以帮助读者理解书中讨论的问题。每章结尾还提供了大量的附加习题,通过求解这些习题,可以进一步帮助读者加深理解相关的内容。

此外,每一章都给出了例题并附有详细的解答,这些例题覆盖了主题内容的不同方面。

2. 本书的辅助材料

每一章的习题均附答案。每章结尾习题的解答已汇编成教师手册。(采用本书作为教材的教师可参见书后的“教学支持说明”,以获取相关的资料。)

给出书中试验结果和图表的 MATLAB 程序也包含在教师手册中。这些 MATLAB 文件可从网站 <http://www.prenhall.com/haykin> 下载。

书中插图的 JPG 格式的电子副本也可在上述网站中得到。这些材料可用做采用本书授课时的 PPT 素材。

3. 致谢

作者感谢多位同事为本书提供了背景材料和相关的素材,他们以各种方式为本书的撰写过程提供了帮助。作者特别感谢以下贡献者:

Claude Berrou 博士(法国 ENST Bretagne)
Stewart Crozier 博士(加拿大通信研究中心)
Suhas Diggavi 博士[瑞士联邦技术学院(EPFL)]
David Gesbert 博士(瑞典 Oslo 大学)
Lajos Hanzo 博士(英国 Southampton 大学)
John Lodge 博士(加拿大通信研究中心)
Mathini Sellathurai 博士(加拿大通信研究中心)
Abbas Yongaçoglu 博士(加拿大渥太华大学)
Mansoor Shafi 博士(新西兰电信)

我们要深深感谢对本书初稿提出许多关键性建议的读者书评,他们的建议为本书的撰写提供了很多帮助。

此外,我们要感谢 McMaster 大学的 Kris Huber 和空时 DSP 公司的 Blair Simpson,他们协助绘制了本书的大量插图。

感谢允许我们引用某些图表的 IEEE 公司和欧洲电信标准化研究所。

我们要特别感谢 Prentice Hall, Pearson 教育出版公司的 Tom Robbins、Craig Little 和相关的工作人员为本书所做出的贡献及付出的辛勤劳动。

我们还要感谢各自的妻子 Nancy 和 Dianne 及家庭成员,他们的不断支持和鼓励是本书得以圆满完成的基础。

最后,我们对 McMaster 大学的 Lola Brooks 在准备本书不同版本文稿时所做的工作表示感谢。

SIMON HAYKIN
Ancaster, Ontario
MICHAEL MOHER
Ottawa, Ontario

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 通信系统	2
1.3 物理层	3
1.4 数据链路层	4
1.5 本书概要	6
第 2 章 传播与噪声	8
2.1 引言	8
2.2 自由空间传播	9
2.3 地面传播:物理模型	14
2.4 地面传播:统计模型	22
2.5 室内传播	25
2.6 移动无线电的局域传播影响	26
2.7 信道分类	36
2.8 噪声与干扰	47
2.9 链路计算	56
2.10 课题实例 1:Okumura-Hata 实验模型	62
2.11 课题实例 2:无线局域网	65
2.12 课题实例 3:脉冲无线电和超宽带技术	68
2.13 小结与讨论	72
附加习题	73
第 3 章 调制和频分多址	78
3.1 引言	78
3.2 调制	79
3.3 线性调制技术	81
3.4 脉冲成形	87
3.5 线性调制信号和带通系统的复数表示	92
3.6 数字已调信号的信号空间表示	95
3.7 非线性调制技术	98
3.8 频分多址	107
3.9 备受关注的两个实际问题	108

3.10	无线通信中各种调制策略的比较	111
3.11	信道估计和跟踪	114
3.12	接收机性能:误比特率	119
3.13	课题实例 1:正交频分复用	121
3.14	课题实例 2:无绳通信	126
3.15	小结和讨论	128
	附加习题	128
第 4 章	编码与时分多址	134
4.1	引言	134
4.2	取样	136
4.3	为什么取样之后要进行编码	137
4.4	香农信息论	138
4.5	语音编码	141
4.6	差错控制编码	144
4.7	卷积码	146
4.8	卷积码的最大似然译码	150
4.9	维特比算法	151
4.10	交织	154
4.11	卷积码的噪声性能	159
4.12	turbo 码	161
4.13	无线通信的信道编码策略的比较	167
4.14	RF 调制	170
4.15	信道估计和均衡中的基带处理	171
4.16	时分多址	175
4.17	课题实例 1:GSM	178
4.18	课题实例 2:联合均衡和译码	180
4.19	课题实例 3:随机接入技术	183
4.20	小结和讨论	188
	附加习题	189
第 5 章	扩频和码分多址	194
5.1	引言	194
5.2	直接序列调制	195
5.3	扩频码	199
5.4	CDMA 在无线通信中的优点	210
5.5	码同步	219
5.6	信道估计	221
5.7	功率控制:远-近问题	222

5.8	FEC 编码和 CDMA	224
5.9	多用户检测	226
5.10	蜂窝环境下的 CDMA	228
5.11	跳频扩频	231
5.12	课题实例 1: IS-95	235
5.13	课题实例 2: GPSS	242
5.14	课题实例 3: 蓝牙系统	243
5.15	课题实例 4: WCDMA	245
5.16	课题实例 5: Wi-Fi	249
5.17	小结和讨论	251
	附加习题	252
第 6 章	分集、容量和空分多址	256
6.1	引言	256
6.2	“接收空间分集”技术	257
6.3	多输入多输出天线系统	270
6.4	接收机已知信道时的 MIMO 信道容量	274
6.5	信道矩阵的奇异值分解	281
6.6	MIMO 无线通信中的空 - 时码	284
6.7	差分空 - 时分组码	299
6.8	空分多址和智能天线	306
6.9	课题实例 1: BLAST 结构	314
6.10	课题实例 2: 分集、空 - 时分组码和 V-BLAST	323
6.11	课题实例 3: 锁眼信道	329
6.12	小结与讨论	331
	附加习题	332
第 7 章	无线体系构架	340
7.1	引言	340
7.2	各种多址技术的比较	340
7.3	OSI 参考模型	343
7.4	OSI 模型和无线通信	345
7.5	MAC 子层信号传输和协议	346
7.6	功率控制	348
7.7	切换	351
7.8	网络层	352
7.9	课题实例 1: 无线电话网络标准	355
7.10	课题实例 2: 无线数据网标准	356
7.11	课题实例 3: IEEE 802.11 MAC	358

7.12 小结和讨论	359
习题	359
附录 A 傅里叶理论	362
附录 B 贝塞尔函数	372
附录 C 随机变量与随机过程	374
附录 D 匹配滤波器	384
附录 E 误差函数	389
附录 F MAP 算法	392
附录 G MIMO 链路的容量	393
附录 H 特征分解	402
附录 I 自适应阵列天线	404
词汇表	410
参考文献	442

第1章 绪 论

可以想像,有线电报就像是一只很大的猫,它的尾巴在纽约,而它的脑袋在洛杉矶并喵喵地叫。大家明白这个道理吗?无线通信的操作方式与此完全相同:这边发射信号,那边接收它,惟一不同的是两者之间没有猫。

——爱因斯坦(1879~1955)

1.1 背景

理解无线电波形是学习无线通信的基础,但人们知道电磁波存在还是不久之前的事情。此后的很短时间内,在无线电通信领域发生了大量具有里程碑意义的事件。这些事件包括:

- 在1864年,麦克斯韦(James Clerk Maxwell)建立了光的电磁波理论并预言了电磁波的存在。作为对他的尊敬与怀念,电磁波传播的基本方程组被命名为麦克斯韦方程。
- 在1887年,赫兹(Heinrich Hertz)首次证明了无线电波的存在。
- 在1894年,在麦克斯韦与赫兹开创性工作的基础上,Oliver Lodge在150米这个相当短的距离内验证了无线通信的可行性。
- 在1895~1901年期间,马可尼(Guglielmo Marconi)研究出较长距离传送无线电波的设备,并于1901年12月12日达到了传输距离极限,即进行了横跨大西洋——从英格兰的康沃儿(Cornwall)到加拿大纽芬兰(Newfoundland)的信号山(Signal Hill)之间的无线电波传输试验。同一时期,俄罗斯的波波夫(A. S. Popoff)也进行了类似试验。
- 在1902年,第一个点对点(从美国加利福尼亚州到Catalina岛)的无线电链路在美国建立。这些无线电系统通常为无线电报。
- 在1906年,Reginald Fessenden进行了第一次无线电广播。他通过调幅(AM)技术传输音乐和话音。
- 在1906年之后的一段时间里,军用和商用船舶很快采用了无线电技术。无线通信因在1912年泰坦尼克号(Titanic)邮轮沉没事件中拯救了700多个生命而备受赞誉。
- 早期的陆地移动无线通信的记录是它在警察方面的应用。在1921年,底特律警察局最早在车辆上有效使用了无线通信,该无线系统工作的载波频率大约为2 MHz。到了1934年,美国有194个市政府和58个州立警察机构使用了AM无线通信进行移动语音通信。
- 在1927年,大西洋两岸同时进行了第一次电视广播。贝尔实验室(Bell Labs)在纽约地区试验了电视播放,同时John Baird在英国也进行了类似试验。
- 扩频技术在第二次世界大战前和二战期间崭露头角。此时有两个特殊的应用:密码和测距(ranging)。扩频密码技术通常类似于自然界中像噪声那样的信号与语音信号相乘。噪声信号或表征它的信息通常在某一分割的信道上传送,以便允许在接收机中进行解密。
- 在1946年,第一个公共移动电话系统在美国的5个城市建立。

- 在 1947 年,第一个由 7 个天线塔组成的连接纽约和波士顿的微波中继系统开始运行。这个中继系统可容纳两个城市的 2400 人同时通话。
- 在 1958 年,伴随着 SCORE 通信卫星的升空,无线通信进入了新的时代。虽然这颗卫星只有一路语音信道容量,但它的成功揭开了无线通信新时代的序幕。
- 在 1981 年,第一个模拟蜂窝系统——北欧移动电话(NMT),在斯堪的纳维亚半岛上建立。不久,高级移动电话服务(AMPS)于 1983 年在北美建立。
- 在 1988 年,第一个数字蜂窝系统在欧洲建立,称为全球移动通信系统(GSM)。最初打算提供一个泛欧标准来取代当时大量运行的不兼容模拟系统,GSM 之后很快就出现了北美 IS-54 数字标准。

这些只是在过去 150 年间无线通信所取得成就的一部分。今天,无线设备到处可见:手机已经非常普及,卫星广播电视直接到户,办公室正在被带有无线网络的以太网电缆取代。这些无线业务的引入大大增加了现有的许多应用和大量未知应用的移动性和服务范围。无线是公用网络正在快速增长的领域,它在专用(private and dedicated)通信系统中同样起着重要的作用。现在正是无线通信令人振奋的时代。

1.2 通信系统

今天的公用通信网络是一个复杂的系统。诸如公用电话交换网(PSTN)和因特网(Internet)之类的网络,在城市之间以及在不同国家、语言、文化之间提供了无缝连接。无线仅仅是这些复杂系统的一个组成部分,这些系统的设计受到如下三个方面或层面的影响。

1. **物理层**。这一层为任意一对节点对之间传输比特(即二进制数字)提供了物理机制。在无线系统中,这一层用于完成承载信息的电磁波的调制和解调,而且其中也包含了传输媒介。用来调制和解调的模块经常称为调制解调器。
2. **数据链路层**。无线链路往往是不可靠的,数据链路层的一个作用就是进行纠错或检测(尽管这个功能物理层也具有)。数据链路层通常重传错收的数据包;但是对于某些应用,这一层也会丢弃数据包。该层还负责提供不同用户分享传输媒介的方式。在无线系统中,传输媒介就是无线电频谱。数据链路层的一部分——媒体访问控制(MAC)子层用来保证使信号帧沿着不同媒介发送而不受其他节点的过分干扰。这种方式称为多址通信。
3. **网络层**。该层有若干功能,其中一个功能是确定信息从源节点到终节点的路由。其第二个功能是确定服务质量(QoS)。第三个功能是流量控制,以保证网络不会拥塞。在某些节点可以移动的无线系统对网络层提出了更高的要求,因为这些节点之间的联系经常不断改变。

以上就是网络七层模型中的三层,其中通信过程就发生在这三层。这个模型称为开放系统互连(OSI)参考模型^①,我们将在本书后面的章节中详细讨论它。物理层是这个模型的最底层,而且它直接与传输媒介连接。网络较高层受传输媒介的影响较小。

^① OSI 参考模型作为计算机-计算机通信的模式而开发出来。此后,该模型以定性的方式用于许多网络。Bertsekas and Gallager(1992)的第 1 章综述了 OSI 模型,这本书的后续章节叙述了它在数据网络中的应用。