

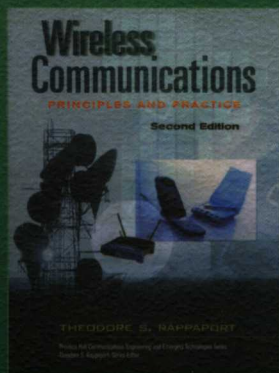
国外电子与通信教材系列



无线通信 原理与应用

(第二版)

Wireless Communications
Principles and Practice, Second Edition



[美] Theodore S. Rappaport 著

周文安 付秀花 王志辉 等译

宋俊德 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

无线通信原理与应用

(第二版)

Wireless Communications
Principles and Practice
Second Edition

[美] Theodore S. Rappaport 著

周文安 付秀花 王志辉 等译
宋俊德 审校

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

内 容 简 介

本书是一本高等院校无线通信课程的权威教材。全书深入浅出地讲解了无线通信技术与系统设计方面的内容,包括无线网络涉及的所有基本课题(特别是3G系统和无线局域网),并且讲解了无线网络技术的最新发展和全球主要的无线通信标准。全书共分为11章,集中讨论了蜂窝的概念、移动无线电传播、调制技术、多址技术及无线系统与标准,并结合理论对无线通信系统的各个方面进行了论述和统计分析。本书的语言生动、内容丰富,并以详细的讲解和实际的案例来阐明重要的知识点。

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,并对有一定通信理论基础的工程技术人员也有很好的参考价值。

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

Wireless Communications: Principles and Practice, Second Edition, ISBN: 0130422320 by Theodore S. Rappaport. Copyright © 2002.

All Rights Reserved.

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

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:01-2005-6588

图书在版编目(CIP)数据

无线通信原理与应用(第二版)/(美)拉帕波特(Rappaport, T. S.)著;周文安等译.

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:Wireless Communications: Principles and Practice, Second Edition

ISBN 7-121-02658-9

I. 无... II. ①拉... ②周... III. 无线电通信-高等学校-教材 IV. TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第052409号

责任编辑:冯小贝

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:32.5 字数:915千字

印 次:2006年7月第1次印刷

定 价:49.00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。

读者意见调查表

感谢您对电子工业出版社的支持！

为帮助我们进步，请将您的宝贵意见填于下表并寄回我们。

| 您购买的出版物名称 | |
|--|--|
| 先进性和实用性 | <input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差 |
| 图书文字可读性 (光盘使用方便性) | <input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差 (<input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差) |
| 图书篇幅适宜度 (光盘界面设计) | <input type="checkbox"/> 很合适 <input type="checkbox"/> 合适 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不合适 <input type="checkbox"/> 差 (<input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差) |
| 出版物中差错 | <input type="checkbox"/> 极少 <input type="checkbox"/> 较少 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 较多 <input type="checkbox"/> 太多 |
| 图书封面(光盘盘面及包装) 设计水平 | <input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差 |
| 图书(光盘盘面及包装) 印刷装订质量 | <input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差 |
| 纸张质量(光盘材质) | <input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不太好 <input type="checkbox"/> 差 |
| 定价 | <input type="checkbox"/> 很便宜 <input type="checkbox"/> 便宜 <input type="checkbox"/> 合理 <input type="checkbox"/> 贵 <input type="checkbox"/> 太贵 |
| 对宣传工作的感觉 | <input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不好 <input type="checkbox"/> 差 |
| 对服务质量的感覺 | <input type="checkbox"/> 很好 <input type="checkbox"/> 好 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不好 <input type="checkbox"/> 差 |
| 从何处获取出版物信息 | <input type="checkbox"/> 书目报 <input type="checkbox"/> 电子社宣传材料 <input type="checkbox"/> 书店 <input type="checkbox"/> 他人转告 <input type="checkbox"/> 网站 <input type="checkbox"/> 报刊 |
| 您认为电子工业出版社 应改进的方面 | <input type="checkbox"/> 先进性和实用性 <input type="checkbox"/> 文字可读性(光盘使用方便性) <input type="checkbox"/> 篇幅适宜度(光盘界面设计) <input type="checkbox"/> 出版物中差错 <input type="checkbox"/> 设计水平 <input type="checkbox"/> 印刷装订质量 <input type="checkbox"/> 纸张质量(光盘材质) <input type="checkbox"/> 定价 <input type="checkbox"/> 宣传工作 <input type="checkbox"/> 服务质量 |
| 您的具体意见或建议 | |
| 读者姓名: _____ 联系方式: _____ 从事工作: <input type="checkbox"/> 技术研发 <input type="checkbox"/> 技术管理 <input type="checkbox"/> 经营管理 <input type="checkbox"/> 行政管理 <input type="checkbox"/> 教育培训 <input type="checkbox"/> 在校学习 | |

表格寄回 邮寄地址: 北京市万寿路 173 信箱电子工业出版社外版室 邮政编码: 100036 收信人: 冯小贝
 传真: (010) 88254560 收件人: 冯小贝
 电子信箱: fengxiaobei@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。

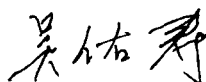
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版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

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 |
| | 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

如今在信息通信领域里,发展最快、应用最广的就是无线电通信技术,其在移动中实现的无线通信又称为移动通信。现在,人们把二者合称为无线(wireless)移动(mobile)通信。这一应用已深入到人们生活和工作的各个方面。在该领域工作和学习的学生、大学教师、研究人员、工程技术人员及管理人员,都非常希望有一本在理论、技术和应用方面讲解得系统而又全面的教材。本书就是为满足这一需求而进行的有益探索。

众所周知,作为大学的本科生和研究生的教材,首先要保证提供一定深度和广度的基本理论,从而为学生的未来学习和工作打下扎实的基础。尽管技术和应用的发展日新月异,但是只要掌握好这些基本理论,就能不断地通过继续学习而跟上技术的飞速发展。掌握基本理论对学生、研究人员和技术人员是非常重要的,本书在基本理论方面进行了从易到难的阐述,并为读者提供了大量的习题和实例,从而能更好地掌握与运用基本理论。

由于本书阐述的重点是无线电通信系统(含个人通信),因此作者在讲述了一定的基础理论之后,介绍了一些技术开发、设计和应用的相关内容。这样,认真学习过本书的学生在毕业后就可以顺利地成为一名称职的研究设计人员和工程师。而一些正在从事研究、开发、设计和应用的工作人员,也能通过学习本书来指导有关的工作。

如前所述,无线移动通信系统的飞速发展要求我们不但要掌握它的过去、现在,还要掌握它的未来。本书中也简要介绍了一些与无线移动通信系统(含个人通信)相关的标准和发展方向,以帮助读者掌握未来,与时俱进。

由于本书作者既是大学教师 and 研究人员,也负责过工程技术培训,因此他知道如何结合以上三种实践经验才能写出一本受多方面人员欢迎的图书。时代在飞速发展,技术也是千变万化,因此不可能撰写出一直可用的、内容无需变化的相关著作。但我们相信作者会随着理论、技术和应用的进展而不断对本书进行修改和完善。

谢谢在信息与通信领域学习和工作的人们,特别是那些在无线移动通信与因特网(个人通信)领域工作的精英们,是你们的勤奋和努力为人类的学习、工作和生活创造了美好未来。相信本书会为你实现这一目标做出贡献。

本书翻译工作由周文安和付秀花负责,同时为本书翻译提供帮助的还有王志辉、刘露、金旭、何新、陈刚、张玲玲、刘娜、孙博辉、胡浩、王家政、胡萍、刘博、罗戈锋、胡伟俊、徐波、吕婷、刘颖兮、刘雁、董丽蓉、陈少蓓、赵莹、宋希东、解冰,在此表示感谢。全书最后由周文安、付秀花、王志辉进行统稿与校对工作,并由宋俊德教授进行了审校。虽然我们在翻译的过程中尽了最大努力,但是由于水平有限,加之时间仓促,不当和疏漏之处在所难免,敬请读者不吝指正。

宋俊德
北京邮电大学
电子工程学院

前 言

撰写本书第二版的目的是引导初学者进入并了解当今世界发展最快的工程领域之一——个人无线通信。本书按照先易后难的思路,对无线通信系统的核心设计、应用工具、研究与开发中涉及的重要技术概念及其不断发展的标准进行了详尽介绍。本书的作者既是一名教师和研究人员,同时也担任着技术培训和咨询等工作,因此有着丰富的教学经验和实践经验。书中的内容继续沿用了1990年第一次引入电子工程专业的课程模式,在那时全世界只有不到五百万的无线电话用户。到了21世纪,已经有超过6亿人成为无线电话服务的使用者,占到了世界人口的10%,并且这个数字将在2010年到达50%。

本书在第一版的基础上又进行了修改和更新,可作为工程师和研究人员的参考用书,也可作为本科生和研究生的专业教材。本书包含了无线通信中的基础理论和实际应用,适合所有的无线技术人员使用。为了强调重要概念,书中提供了大量的工程实例和课后习题。第二版中又增加了最近更新的无线工程技术标准,使其更加适合企业的短期培训课程及其他领域的人员使用。

书中引用了若干篇期刊文章,以提供给感兴趣的读者阅读,这些文章对于掌握其他领域的技术是很有必要的。为了方便初学者,应电气和电子工程师协会(IEEE)之邀,作者还编写了两册无线技术期刊摘要,这些期刊包含了无线通信产业所用到的相关技术内容。摘要丛书对于读者理解无线通信技术很有帮助,但不是必需的,可以作为本书的补充材料使用。本书提供了详尽的自学教程和丰富的参考资料,可以作为读者的自学用书、教学参考书或使用手册。同时,为了帮助读者巩固所学知识,本书还提供了大量的例子和习题。

本书面向那些已经掌握诸如概率论、通信原理和电磁学基础等技术概念的学生和工程师。然而,就如同无线通信产业本身一样,书中综合了许多不同技术学科的内容,所以并不是所有读者对本书讲解的主题都学习过预备课程。为了提供广泛的背景知识,本书中的重要概念都是首先围绕原理展开,以便于读者掌握无线通信技术的基础。本书可作为工业应用中的指导手册或作为课堂上的教材。

本书的内容和章节的顺序采用1991年作者在弗吉尼亚综合理工学院和州立大学研究生一年级课程的教学中所使用的授课方式。第1章介绍了无线通信技术的发展,以及无线系统从第一代模拟技术到第二代数字技术的演进;讲述了世界范围内蜂窝无线通信的增长和20世纪90年代中期无线通信产业的状况。第2章总体介绍了21世纪重要的现代无线通信系统,比如第三代(3G)移动通信、无线局域网(WLAN)、本地多点业务分配系统(LMDS)及蓝牙技术。通过阅读第2章的内容,可以使读者体会到无线技术中的各种业务(如语音服务、数据业务、多媒体业务等)是如何深入到我们的日常生活中。第3章介绍了诸如频率复用、切换等蜂窝无线通信中的基本概念,这些概念是利用有限频段向移动用户提供无线通信服务的核心。第3章也讲述了中继效率的原理,以及移动台和基站间的干扰是怎样影响蜂窝系统容量的。第4章介绍了无线传输路径损耗、链路预算和对数正态阴影衰落的问题,并描述了许多不同的运营环境中无线电波传播的大尺度效应的建模和预测方法。第5章讲述了无线电波传播的小尺度效应问题(比如衰落、时延扩展和多普勒扩展),并讲述了如何测量和建模不同信号带宽和运动速度通过多径信道对瞬时接收信号所产生的影响。无线电波的传播已经成为有史以来最难分析和设计的问题,因为它不像有线通信系统那样能够提供一个

稳定、固定的传播路径。当通信的一端运动的时候,无线电信道是随机的,并且经历阴影衰落和多径衰落。第5章还新增了智能天线和定位系统发展与分析中至关重要的空-时信道建模。

第6章介绍了无线通信中最常用的模拟和数字调制技术,并讲述了在选择调制方式时的评价方法。此外还阐述了诸如接收机的复杂度、调制和解调的实现、衰落信道的误比特率(BER)与频谱利用率等问题。信道编码、自适应均衡和天线分集等概念在第7章进行了讲解。在人们步行和驾车时使用的便携式无线通信系统中,可以单独地或综合地使用这些方法,以提高在衰落和噪声环境下的数字移动无线通信的质量(即减少BER)。

第8章介绍了语音编码技术。在过去的十年里,语音编码技术在降低高质量数字化语音传输系统所需要的传输数据速率方面取得了显著的进展,这使无线系统设计者能够将终端用户的业务和网络的体系结构进行匹配。在本章中还提到了推动自适应脉冲编码调制和线性预测编码发展的原理,同时也讨论了如何使用这些技术在已有的和将来的蜂窝、无线与个人通信系统中评估语音质量。第9章介绍了时分、频分和码分多址技术,以及最新的分组预留和空分多址等多址接入技术。第9章还讲述了每种接入方式是如何容纳大量移动用户的,并解释了多址接入技术如何影响蜂窝系统的容量和网络结构。第10章描述了广域无线通信系统的组网问题,并提供了目前世界上已经投入使用或将来推荐使用的蜂窝、无线和个人通信系统采用的组网方案。第11章通过描述和比较现有的第二代蜂窝、无绳和个人通信系统,总结了前9章的主要内容。第11章还提出了个人通信系统的设计和实现中的一些折中方法,这一章讨论的主要电信标准的相关信息可以单独作为某些商用的广域无线系统的参考资料。

附录中包含中继理论、噪声系数、噪声计算和扩频码分系统的高斯近似法,为那些对解决实际无线通信问题感兴趣的读者提供了详细的参考内容。附录中还包括了几百个工程中用到的数学公式和恒等式。作者尝试将更多的有用信息放在附录中,这样会使学生们在使用时更加方便,实际工程师也利用它们解决超出本书讲解之外的更多问题。

如果本书作为工业界人士的使用,第1章~第4章、第9章及第11章对那些在蜂窝系统设计和射频测试/维护领域工作的工程师会有所帮助。而第1章、第2章、第6章~第8章和第11章则是为刚进入无线领域的技术人员和现代数字信号处理工程师精心准备的。对于更广泛的读者,如网络操作者、管理人员、运营商及相关的专业政策管理人员等,相信他们会和工程师一样对第1章、第2章和第10章、第11章的内容感兴趣。

如果在本科教学中使用这本教材,指导教师可能会集中讲解第1章~第6章或第1章~第5章及第9章,在本科生课程的第二学期或是研究生课程中可以按层次讲解其他章节。同样,第1章、第2章、第3章、第4章、第6章、第8章、第9章及第10章的有用材料可以很容易加到有关通信和网络原理的本科生课程中。如果在研究生课程中使用这本教材,那么可在半学期内完成第1章~第6章及第10章的授课,并在接下来的学期教授第7章~第8章及第11章的内容。在第2章、第10章和第11章中,作者添加了那些在实际网络实施和世界标准中重要的但是很少写出来的内容。

如果没有早先的几位弗吉尼亚综合理工学院研究生的帮助和创造性的工作,那么就不可能完成这本书的撰写。我很高兴得到 Rias Muhamed、Varun Kapoor、Kevin Saldanha 和 Anil Doradla 的帮助与鼓励,他们是我在教授蜂窝无线电和个人移动通信课程时认识的。Kevin Saldanha 还为这本书制作了排版文件(这可不是一件小任务)。在编辑和修改这本书中的一些章节时,这些同学的帮助是不可估量的,他们在整个过程中不断地给我鼓励。另外,以下各位对本书提供了不少有益的建议和评论,他们的研究工作对本书亦产生了很大的影响: Scott Seidel, Joe Liberti, Dwayne Hawbaker, Marty Feuerstein, Yingie Li, Ken Blackard, Victor Fung, Weifang Huang, Prabhakar Koushik,

Orlando Landron, Francis Dominique, Greg Bump, Bert Thoma, Zhigang Rong, Jeff Laster, Michael Buehrer, Keith Brafford 和 Sandip Sandhu 在最初的文稿中也提供了很多有用的建议和帮助。在第二版中,我还要对在准备新材料中给我很大帮助的人表示衷心的感谢,他们是 Hao Xu, Roger Skidmore, Paulo Cardieri, Greg Durgin, Kristen Funk, Ben Henty, Neal Patwari 和 Aurelia Scharnhorst。

本书在实用性方面得到了业界评论家的很多帮助。Bell Atlantic Mobile Systems 的 Roman Zaputowycz, McCaw Communications 的 Mike Bamburak, Ortel 的 David McKay, PrimeCo 的 Jihad Hermes, Ariel Communications 的 Robert Rowe, Qualcomm 的 William Gardner, AT&T Wireless 的 John Snapp 提供了非常有价值的原始材料,并且告诉我如何才能以最好的方式将知识与技术展现给学生和工程师。Metawave 的 Marty 和 Cellular One 的 Mike Lord 提供了广泛的、全面的评论,这在很大程度上提高了原稿的写作水平。Agilent Technologies 的 Larry Sakayama, Florida Institute of Philip DiPiazza 教授和 Triplecom 的 Jeff Stosser 等人为第二版提出了很多有价值的观点。Wireless Valley Communications 技术组等一些机构也为本书的修改提供了很多反馈意见和实际的建议。

学术界和无线通信领域的许多教师也提供了非常有益的建议。包括北加州州立大学的 J. Keith 教授、弗吉尼亚技术学院的 William H. Tranter 和纽约州立大学的 Thomas Robertazzi 教授。弗吉尼亚技术学院的 Jeffrey Reed 教授和 Brian Woerner 教授还从教学的角度提供了极好的建议。我非常感激以上所有人的贡献。同时,我还想感谢世界各地曾提供过很有价值的反馈信息及发现很多拼写错误的教师、学生和工程师们。

我由衷感谢美国国家科学基金、美国国防高级研究项目局和移动便携无线电研究项目小组的发起人及友人的帮助,他们从 1988 年开始就一直支持我们的研究和教学活动。普度大学的许多优秀的教师,特别是我的导师 Clare D. McGillem 教授使我学习到有关通信的知识及如何完成一个研究项目。我很幸运能成为普度大学的毕业生中同时从事工程实践和教学工作的一员。

最后,感谢我的家人和学生,以及 Prentice Hall 的 Bernard Goodwin,他们帮助我将这本书奉献给大家。

Theodore S. Rappaport

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 PTR 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 PTR 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 PTR 的相关网站：<http://www.pearsoned.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： 010-8008100855
传真： 010-88819170
E-mail: service@pearsoned.com.cn

目 录

| | |
|------------------------------------|----|
| 第 1 章 无线通信系统概述 | 1 |
| 1.1 移动无线通信的发展 | 1 |
| 1.2 美国移动无线电话 | 3 |
| 1.3 全球移动通信系统 | 4 |
| 1.4 无线通信系统的实例 | 6 |
| 1.5 蜂窝无线通信和个人通信的发展趋势 | 12 |
| 1.6 习题 | 13 |
| 第 2 章 现代无线通信系统 | 16 |
| 2.1 2G 蜂窝网络 | 17 |
| 2.2 3G 无线网络 | 22 |
| 2.3 无线本地环路 (WLL) 与 LMDS | 26 |
| 2.4 无线局域网 (WLAN) | 30 |
| 2.5 蓝牙和个域网 (PAN) | 34 |
| 2.6 小结 | 36 |
| 2.7 习题 | 36 |
| 第 3 章 蜂窝的概念：系统设计基础 | 38 |
| 3.1 概述 | 38 |
| 3.2 频率复用 | 38 |
| 3.3 信道分配策略 | 41 |
| 3.4 切换策略 | 41 |
| 3.5 干扰和系统容量 | 45 |
| 3.6 中继和服务等级 | 51 |
| 3.7 提高蜂窝系统容量 | 58 |
| 3.8 小结 | 65 |
| 3.9 习题 | 65 |
| 第 4 章 移动无线电传播：大尺度路径损耗 | 72 |
| 4.1 无线电波传播介绍 | 72 |
| 4.2 自由空间传播模型 | 73 |
| 4.3 电场和功率 | 75 |
| 4.4 三种基本传播机制 | 77 |
| 4.5 反射 | 78 |
| 4.6 地面反射 (双线) 模型 | 82 |
| 4.7 绕射 | 86 |

| | | |
|--------------|---------------------------------|------------|
| 4.8 | 散射 | 93 |
| 4.9 | 运用路径损耗模型进行实际的链路预算设计 | 95 |
| 4.10 | 室外传播模型 | 99 |
| 4.11 | 室内传播模型 | 108 |
| 4.12 | 建筑物信号穿透 | 114 |
| 4.13 | 射线跟踪和特定站址建模 | 114 |
| 4.14 | 习题 | 114 |
| 第 5 章 | 移动无线电传播：小尺度衰落和多径效应 | 122 |
| 5.1 | 小尺度多径传播 | 122 |
| 5.2 | 多径信道的冲激响应模型 | 124 |
| 5.3 | 小尺度多径测量 | 131 |
| 5.4 | 移动多径信道的参数 | 135 |
| 5.5 | 小尺度衰落类型 | 141 |
| 5.6 | 瑞利和莱斯分布 | 144 |
| 5.7 | 多径衰落信道的统计模型 | 147 |
| 5.8 | 小尺度衰落无线信道的多径成型因子理论 | 159 |
| 5.9 | 小结 | 171 |
| 5.10 | 习题 | 172 |
| 第 6 章 | 移动无线电中的调制技术 | 177 |
| 6.1 | 调频与调幅 | 177 |
| 6.2 | 幅度调制 | 178 |
| 6.3 | 角度调制 | 183 |
| 6.4 | 数字调制概述 | 193 |
| 6.5 | 波形编码 | 195 |
| 6.6 | 脉冲成形技术 | 197 |
| 6.7 | 调制信号的几何表示 | 203 |
| 6.8 | 线性调制技术 | 205 |
| 6.9 | 恒包络调制 | 217 |
| 6.10 | 线性和恒包络组合调制技术 | 225 |
| 6.11 | 扩频调制技术 | 230 |
| 6.12 | 衰落和多径信道中的调制性能 | 238 |
| 6.13 | 习题 | 245 |
| 第 7 章 | 均衡、分集和信道编码 | 249 |
| 7.1 | 概述 | 249 |
| 7.2 | 均衡原理 | 250 |
| 7.3 | 一种常用的自适应均衡器 | 251 |
| 7.4 | 一种通信接收机的均衡器 | 254 |
| 7.5 | 均衡技术分类 | 255 |
| 7.6 | 线性均衡器 | 256 |

| | | |
|---------------|---------------------------|------------|
| 7.7 | 非线性均衡器 | 258 |
| 7.8 | 自适应均衡算法 | 261 |
| 7.9 | 部分间隔均衡器 | 266 |
| 7.10 | 分集技术 | 266 |
| 7.11 | RAKE 接收机 | 274 |
| 7.12 | 交织 | 275 |
| 7.13 | 信道编码原理 | 276 |
| 7.14 | 分组码和有限域 | 277 |
| 7.15 | 卷积码 | 286 |
| 7.16 | 编码增益 | 288 |
| 7.17 | 网格编码调制 | 289 |
| 7.18 | turbo 码 | 289 |
| 7.19 | 习题 | 289 |
| 第 8 章 | 语音编码 | 292 |
| 8.1 | 概述 | 292 |
| 8.2 | 语音信号的特性 | 293 |
| 8.3 | 量化技术 | 294 |
| 8.4 | 自适应差分脉冲编码调制 (ADPCM) | 297 |
| 8.5 | 频域语音编码 | 298 |
| 8.6 | 声码器 | 301 |
| 8.7 | 线性预测编码器 | 303 |
| 8.8 | 为移动通信选择语音编解码器 | 306 |
| 8.9 | GSM 编解码器 | 308 |
| 8.10 | USDC 编解码器 | 309 |
| 8.11 | 语音编码器的性能评估 | 311 |
| 8.12 | 习题 | 312 |
| 第 9 章 | 无线通信多址接入技术 | 314 |
| 9.1 | 概述 | 314 |
| 9.2 | 频分多址 (FDMA) | 316 |
| 9.3 | 时分多址 (TDMA) | 318 |
| 9.4 | 扩频多址 (SSMA) | 320 |
| 9.5 | 空分多址 (SDMA) | 323 |
| 9.6 | 分组无线电 (PR) | 324 |
| 9.7 | 蜂窝系统的容量 | 329 |
| 9.8 | 习题 | 342 |
| 第 10 章 | 无线网络 | 344 |
| 10.1 | 概述 | 344 |
| 10.2 | 无线网络和固定电话网的区别 | 345 |
| 10.3 | 无线网络的发展 | 348 |

| | | |
|---------------|---------------------------------|------------|
| 10.4 | 固定网络传输层次 | 350 |
| 10.5 | 无线网络中的业务路由 | 351 |
| 10.6 | 无线数据业务 | 353 |
| 10.7 | 公共信道信令 (CCS) | 356 |
| 10.8 | 综合业务数字网 (ISDN) | 357 |
| 10.9 | 7号信令系统 (SS7) | 359 |
| 10.10 | SS7的一个实例: 全球蜂窝网络互操作性 | 363 |
| 10.11 | 个人通信业务与个人通信网 (PCS/PCN) | 364 |
| 10.12 | 网络接入的协议 | 368 |
| 10.13 | 网络数据库 | 369 |
| 10.14 | 通用移动通信系统 (UMTS) | 370 |
| 10.15 | 小结 | 370 |
| 第 11 章 | 无线系统和标准 | 372 |
| 11.1 | AMPS 和 ETACS | 372 |
| 11.2 | 美国数字蜂窝标准 (IS-54 和 IS-136) | 377 |
| 11.3 | 全球移动系统 (GSM) | 382 |
| 11.4 | CDMA 数字蜂窝标准 (IS-95) | 394 |
| 11.5 | 无绳电话中的 CT2 标准 | 403 |
| 11.6 | 欧洲数字无绳电话 (DECT) | 404 |
| 11.7 | 个人接入通信系统 (PACS) | 407 |
| 11.8 | 太平洋数字蜂窝 (PDC) | 409 |
| 11.9 | 个人手提电话系统 (PHS) | 410 |
| 11.10 | 美国 PCS 和 ISM 频段 | 410 |
| 11.11 | 美国无线微波频段电视 | 411 |
| 11.12 | 全球标准总结 | 412 |
| 11.13 | 习题 | 414 |
| 附录 A | 中继理论 | 416 |
| 附录 B | 链路预算中的噪声系数计算 | 424 |
| 附录 C | 成型因子理论中的方差率关系式 | 427 |
| 附录 D | 成型因子理论中的近似空间自协方差函数 | 429 |
| 附录 E | 扩频 CDMA 的高斯近似 | 431 |
| 附录 F | Q 、 erf 和 $erfc$ 函数 | 447 |
| 附录 G | 数学公式表 | 451 |
| 附录 H | 缩略词 | 459 |
| 附录 I | 参考文献 | 471 |
| 索引 | | 487 |

第1章 无线通信系统概述

1897年，马可尼（Guglielmo Marconi）第一次向世人展示了无线电通信的威力，实现了在英格兰海峡行驶的船只之间保持持续的通信。从此以后，移动物体之间的通信就得到了举世瞩目的发展，全世界的人们不断地经历着新的无线通信方法的产生，并且享受着多种多样的无线通信服务。特别是在过去的十年中，无线移动通信的数字和射频电路制造技术方面取得了突破性进展。新一代大规模集成电路等技术的出现，使得移动设备的体积更小、价格更便宜、功能更可靠，这些都极大推动了移动无线通信的发展。此外，数字交换技术也推动了移动通信网络的大规模发展。相信在未来的十年中，无线移动通信将以更快的步伐向前迈进。

1.1 移动无线通信的发展

本书首先回顾了移动无线通信的发展历史。通过这个简短的回顾，读者可以体会到蜂窝无线通信和个人通信服务（PCS）给我们的生活所带来的巨大影响；并且在未来的几十年间，这种影响还将持续出现。同时，对于刚涉足蜂窝无线电领域的初学者而言，通过回顾无线通信的历史，可以了解到政府部门和业务竞争者在新的无线通信系统及相关服务和技术的发展中所产生的深远影响。虽然本书并没有考虑蜂窝无线通信和个人通信中相关的技术政策问题，但是必须指出，相关技术政策同样是新技术、新服务发展中的基本推动力之一，因为管理无线频谱使用的是政府部门，而不是服务提供商、设备制造商、企业家或者研究人员。因此，如果一个国家想在迅速发展的无线个人通信领域中保持竞争力，那么政府管理人员就应该不断地参与到新技术的研究和开发中。

目前，无线通信技术进入了其有史以来发展最快的时期，技术的发展使网络能够得到快速部署并广泛应用。最初，移动通信是缓慢地伴随着技术的发展而发展的。直到20世纪60年代和20世纪70年代，在贝尔实验室（Bell Laboratories）提出了蜂窝的概念（[Nob62], [Mac79], [You79]）之后，才出现了真正能够向所有人提供无线通信服务的技术。在20世纪70年代，随着高可靠度的、小型化的晶体射频电路的发展，无线通信的时代来临了。之后，这些技术逐渐成熟，并直接推动了近年来全球蜂窝和个人通信系统的飞速发展。应该看到，在未来的面向客户的移动和便携式通信系统的发展中，客户需求、数字信号处理技术、接入和网络方面的技术的发展等都会起到重要的作用；同时，影响新业务开展的频谱分配方案和相关的管理政策也会是未来无线通信发展中的重要因素。

下面的市场分析数据显示了无线通信用户数量的增长情况。图1.1从技术对日常生活的影响方面，比较了移动通信技术和20世纪发明的其他重要技术。需要指出的是，图1.1中标有“移动电话”的曲线并不包括非电话的移动无线应用，例如寻呼、娱乐无线通信、调度、民用无线电（CB）、公共服务、无绳电话或地面微波无线系统。事实上，在1990年，美国国内获得许可证的非蜂窝无线系统就已拥有超过1200万的用户，这比当时的蜂窝通信的用户数目多两倍[FCC91]。随着20世纪90年代末无线用户数的显著增长，Nextel公司购买了私有移动无线许可证，组成了全国性的商业蜂窝服务。这是一种新颖的商业模式，它使得如今的蜂窝和个人通信系统（PCS）的消费者比非蜂窝通信系统的用户数量多很多。图1.1显示了在移动电话发展初期，由于技术难度大、成本高，35年