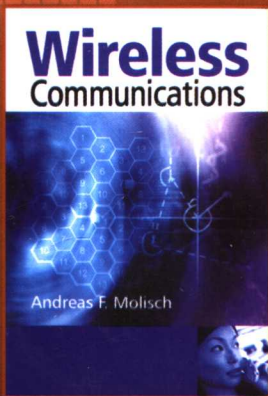


国外电子与通信教材系列



无线通信

Wireless Communications



[美] Andreas F. Molisch 著

田斌 帖翊 任光亮 译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TN92/73

2008

国外电子与通信教材系列

无线通信

Wireless Communications

[美] Andreas F. Molisch 著

田斌 帖翊 任光亮 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书深入浅出地讲解了无线通信原理、技术和系统设计的所涉及到的各个方面。全书共分5个部分,24章,内容全面、系统具体,包括从系统设计基本考虑、无线传播信道、通信收发信机信号处理、多址和高级系统方案,以及无线标准。既包含无线通信领域的通行处理技术,又包含最新出现的专题,如CDMA系统中的多用户检测、OFDM和智能天线,并讨论了当前主流的无线标准,包括蜂窝系统,无绳电话和无线局域网。本书语言流畅、内容丰富,基本理论和实际系统紧密结合,书中的讲解以及给出的大量例题和习题取自当前主流无线通信系统和标准的实际案例。

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、研究生和实践工程师的教材,更可作为无线通信工程师和科研人员案头必备的参考书。

Wireless Communicatons, Andreas F. Molisch.

Copyright © 2005, John Wiley & Sons Ltd.

All rights reserved. This translation published under license

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Ltd.

本书简体中文字版专有翻译出版权由 John Wiley & Sons, Ltd. 授予电子工业出版社。未经许可,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:01-2007-3854

图书在版编目(CIP)数据

无线通信/(美)莫利斯(Molisch, A. F)著;田斌等译.-北京:电子工业出版社,2008.1
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Wireless Communications

ISBN 978-7-121-05551-5

I. 无… II. ①莫… ②田… III. 无线电通信-教材 IV. TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第191382号

责任编辑:许菊芳

印 刷:北京民族印刷厂

装 订:北京鼎盛东极装订有限公司

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:34.75 字数:889.6千字

印 次:2008年1月第1次印刷

定 价:58.00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 zltz@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、信息科学与技术学院院长	

译者序

无线通信是通信产业发展最快的分支,特别是最近十余年的蓬勃发展,使之成为当前最重要的产业之一。很难找到另外一种技术能如此吸引媒体的广泛关注和公众的想像力。人们正真切地感受着无线通信对日常工作方式和生活方式的深刻影响带来的震撼。无线通信已经成为通信工程相关专业的一门重要课程,该领域的学生、教师、科研人员、广大无线通信从业工程师和相关管理人员都需要一本理论透彻、技术新颖、内容全面而又紧密结合实际的教科书。我们翻译本书的目的正是为了满足这一需求。

本书的译者为无线通信领域的研究人员和无线通信课程的中文和双语课程的主讲教师,一直关注该领域的发展和国外无线通信的优秀教材。Andreas F. Molisch 博士的这本《无线通信》无疑是这方面的优秀之作。著者是无线通信领域的顶级专家,在两所大学和三家著名研究机构工作过,是多个标准化小组的主席或成员,该书是其教学和科研的总结。本书全面系统地论述了无线通信的基本理论、技术和主流无线通信系统。该书分五个部分,引言部分讲述了无线业务的应用和需求,无线通信的技术挑战,以及噪声受限和干扰受限系统;第二部分论述了传播机制、信道统计描述、宽带和方向性信道、信道建模、信道探测以及天线,体现了无线通信信道传播的所有方面;第三部分描述了构建一个无线系统的收发信机设计,包括基本方案、调制解调和信道编译码、语音编解码和信道均衡;第四部分是多址和高级收发信机方案,讲述了多址与蜂窝、扩频、OFDM 及多天系统最新专题;第五部分描述了当前主流的无线通信系统和标准。本书讨论问题系统、全面、深入,概念清晰、理论严谨又直观形象,案例紧密结合实际。大量取材自实际系统的例题和习题很容易使读者形成具体的概念,而每章后面的延伸阅读特别适合读者做进一步的深入研究。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、研究生的教材,对于相关专业的教师、学生、科研人员以及无线通信工程师和管理人员,也是一本很好的参考书。

译者在根据从事无线通信课程的教学实践的经验体会到,该书作为教材可以为学生在无线通信领域打下比较好的基础,并且可以根据学生情况,选取不同的内容开设不同层次的课程,为深入研究创造良好的条件。

本书第4~7章,第14~15章,第23章由田斌翻译,第1~3章,第8~9章,第17~18章,第21~22章由帖翊翻译,第10~13章,第16章,第19~20章和第24章由任光亮翻译,田斌负责统筹全书。Molisch 博士非常关注本书的翻译工作并邀请麻省理工学院的沈渊先生阅校了本书全部译稿,两人将可能有疑问和译者指出的原书有误的地方进行了讨论和确认,并对译稿提出了有益的建议。原书有误的地方大都在译者注中标出,以便读者可能阅读原著时参考,个别出现在公式中的错误则直接更正过来。西安电子科技大学张会宁副教授及研究生陈月芬、丛犁、倪浩、李远英、李慕茵、焦飞、高键、彭任斌、孙垂强、宋薇、王焱、罗美玲、贾关兴、胞欣欣等协助做了大量工作。借此机会,一并表示诚挚的谢意。尽管译者尽了最大努力,但正如译者在翻译过程中所感受到的,这实在是一件深不见底的工作,加之译者水平有限,时间又不能无限拖延,肯定存在疏漏和不当之处,敬请读者不吝指正,我们将会及时在 <http://wtxbook.googlepages.com/> 上提供中译本勘误表。本书原著的教辅材料和勘误表可以参考 www.wiley.com/go/molisch。

译者

西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室

前 言

1994年, 当我以讲义的形式为一门无线通信课程撰写本书的初稿时, 其前言是以论证开设这样一门课程的必要性开始的。我详尽地解释了理解无线系统(尤其是数字蜂窝系统)对于通信工程师的重要性。现在, 十多年过去了, 这样的论证看上去稍微有些离奇和过时了。无线产业已经成为电信产业中增长最快的部分, 并且在世界上几乎不存在什么人不是某种形式的无线技术的使用者。从普遍存在的蜂窝电话到无线局域网, 到正在快速增长的无线传感器, 人们被无线通信设备包围着。

学习无线通信的关键性挑战之一就是影响这一领域的令人惊奇的宽广主题。传统上, 通信工程师的关注点主要集中在像数字调制和编码理论这样一些内容上, 而天线与电波传播的研究领域是与之完全分离的, 人们甚至以为“这是两条永不相交的平行线”。然而, 这种各行其道的方式对于无线通信的学习是不合适的。我们需要理解影响系统性能的所有方面, 并能够使整个系统得以运作。本书就试图提供这样一个概括——集中于无线通信物理层的运作上。

另一个挑战在于, 不仅是实际的无线系统, 而且作为无线技术基础的科学也处于持续不断的变化之中。常常有人认为, 无线系统快速地变化, 而无线通信的科学基础保持不变, 因而工程师可以依靠以前获取的知识来应付许多轮的系统革新, 仅仅需要对他们的一套技能做出微小调整就可以了。这种想法听上去很好, 可遗憾的是, 它是错误的。例如, 10年以前, 像多天线系统、OFDM、Turbo码和LDPC码及多用户检测这样一些主题通常只是学术好奇心所在, 最多也只能成为博士阶段的课程, 今天, 它们不仅支配着主流的研究和系统发展, 而且代表着学生和从业工程师们所必须掌握的至关重要的基础知识。我所希望的是, 通过对新的方面和更多“经典”主题的兼顾处理, 本书可以向目前的学生和研究者提供将来仍然会有价值的知识和工具。

本书为高年级本科生和研究生, 以及从业工程师和研究者撰写。尽管在本书相应章节的开始处会简短地回顾有关领域的通信基础知识, 我们仍然假定读者是对通信基本理论(如调制、解调)和电磁场理论的基本内容有所了解的。本书的核心材料试图将学生提升到可以阅读更高级的专题文章甚至是研究论文的程度。对于所有想要更加深入的读者, 大多数章节都包括“延伸阅读”小节, 其中列举了最重要的参考文献。本教材既包括数学公式又给出直观的解释。我坚信这种“双管齐下”的方式可以引导学生对材料做最深入的理解。除作为教材外, 也希望本书能成为研究者和从业者的参考工具书。为达此目的, 我尝试着使得每个孤立章节更容易阅读。所有的首字母缩写词在每一章头一次出现时都会给予解释(而不仅仅是在书中头一次出现时); 符号列表(见第504页)解释了公式中用到的符号的含义。频繁交叉引用也将有助于实现这一目的。

纲要

本书分为五个部分。

第一部分(引言)对无线通信给予了高层次的综述。第1章首先对不同无线业务进行了分类, 并描述了各种不同应用在数据速率、覆盖范围、能量消耗等方面所形成的种种要求。这一章也包括简要的历史回顾以及对无线通信的经济和社会因素的讨论。第2章描述了无线通信的基本挑战, 如,

多径传播和受限的频谱资源。第3章讨论了噪声和干扰如何限制无线系统的通信能力,以及链路预算如何作为简单的系统规划工具来提供关于可达覆盖范围和性能的初步设计依据。

第二部分描述无线传播信道和天线的各个方面。由于传播信道是通信得以发生的媒介,理解它对本书其余内容的理解是至关重要的。第4章描述了基本传播过程:自由空间传播、反射、绕射、散射和波导效应。人们发现信号从发射机到接收机可能有不同的传播路径,它们涉及到一种或多种上述传播过程,从而产生了许多多径分量。对多径传播效应采用统计描述的方式往往是比较适宜的。第5章针对窄带系统给出了一个统计表示,解释了小尺度(瑞利)衰落和大尺度衰落。第6章讨论了宽带系统的一些表示方法,以及在发射机和接收机处可以辨别多径成分方向的系统。第7章介绍了不同传播环境中的传播信道的特定模型,涵盖了路径损耗模型、宽带模型和方向性模型。因为所有的实际信道模型都是基于测量(或者为测量所证实)的,第8章总结了用于测量信道脉冲响应的多种技术。最后,第9章简要讨论了无线应用中使用的天线,特别谈到在基站和移动台处的不同限制。

本书第三部分讨论无线收发信机的结构和理论。在第10章对射频收发信机的组件进行了简短概括之后,第11章描述无线应用中用到的不同调制制式。对调制制式的讨论不仅包括数学公式和信号空间表示,也包括了对各种应用目的下其优缺点的评估。第12章的主题是所有这些调制解调器在平坦衰落信道和频率选择性信道中的性能。在此,我们得到的一个关键性结论是:衰落会导致错误概率急剧上升,且增加发射功率并不是改善性能的适宜方式。随后两章以改善这种情况下的性能为动机,分别讨论了分集和信道编码,这两种措施对降低衰落信道下的错误概率非常有效。有关编码的章节也包括了对近年来获得广泛关注的近香农限的编码(Turbo码和LDPC码)的讨论。由于语音通信仍然是蜂窝电话和类似设备的最为重要的应用,第15章讨论了语音数字化的不同方式,通过压缩信息可以使语音在无线信道上高效传输。最后第16章讨论了均衡器,它被用来降低宽带频率选择性无线信道的有害效应。本部分所有章节都讨论单个链路,即一个发射机与一个接收机之间的链路。

然后,第四部分考虑在给定区域内同时运作多条无线链路的客观需求。这个称为多址(multiple-access)的问题有着许多不同的解决方案。第17章讨论频率域的多址(FDMA)和时间域的多址(TDMA),以及分组无线电,后者对数据传输的重要性不断增长。该章也讨论了蜂窝原理和频率重用概念,这一概念构成了蜂窝系统以及许多其他大容量无线系统的技术基础。第18章描述了扩展频谱技术,尤其是采用不同扩谱序列来区分不同用户的码分多址(CDMA)。该章也讨论了多用户检测,它是一种可以大大降低多址干扰影响的非常先进的接收机方案。第四部分的另一个主题是“高级收发信机技术”。第19章描述了OFDM(正交频分复用),这种调制方式可以在大时延扩展的信道中支持非常高的数据速率。最后,第20章讨论了多天线技术,其中“智能天线”通常设置在基站处,是一种具备复杂信号处理能力的多天线单元,可以用来降低干扰(作为其众多优点之一),因而也就增加了蜂窝系统的容量。而MIMO(多输入多输出)系统就更进了一步,它允许通过发射机的多天线单元来传输并行数据流,然后由接收机处的多天线单元接收和解调。这些系统相对于单个链路可以获得巨大的容量提升。

本书最后一部分描述标准化的无线系统。标准化至关重要,因为这样可以使得不同厂商的设备能够在一起工作,并可以支持用户跨越国界时系统的无缝隙运作。本书在第21章、第22章和第23章分别描述了最为成功的蜂窝无线标准——GSM(全球移动通信系统),IS-95及其高级形式CDMA 2000和宽带CDMA(也称做UMTS)。进而,第24章描述了最重要的无线局域网标准——IEEE 802.11。

本书的配套网站 (www.wiley.com/go/molisch) 含有一些我认为有用但放入本书会使之体系显得过于庞大的材料。特别地, 各章的附录和关于 DECT (数字增强型无绳电话) 系统这一最重要的无绳电话标准的补充材料, 可以在此网站找到。

课程实施建议

本书所涵盖的内容涉及无线通信领域从非常基本到相当高级的众多主题, 所提供的素材远远超过了一个学期课程中所能讲解的分量。教师因此可以根据学生的不同水平和兴趣来自由订制教学内容。书中在正文里包含了精选的例子, 并且在书末 (参见第 25 章) 给出了大量课后练习题。教师可以从本书的配套网站上下载练习题的答案以及授课用的幻灯片。

以下是几种不同要求的课程的内容组织建议:

● 入门性课程

- 引言 (第 1~3 章);
- 无线信道基础 (4.1~4.3 节、5.1~5.4 节、6.1 节、6.2 节、7.1~7.3 节);
- 初级信号处理 (第 10~11 章、12.1 节、12.2.1 节、12.3.1 节、13.1~13.2 节、13.4 节、14.1~14.3 节、16.1~16.2 节);
- 多址和系统设计 (第 17 章、第 22 章和 18.2~18.3 节、21.1~21.7 节)。

● 无线传播

- 引言 (第 2 章);
- 基本传播效应 (第 4 章);
- 统计信道描述 (第 5~6 章);
- 信道建模和测量 (第 7~8 章);
- 天线 (第 9 章)。

此课程也可以结合进更多的电磁场理论和天线的基本素材。

● 无线通信的高级主题

- 引言和复习: 应根据学生的具体情况进行内容选择;
- CDMA 和多用户检测 (18.2~18.4 节);
- OFDM (第 19 章);
- 超宽带通信 (18.5 节、6.6 节);
- 多天线系统 (6.7 节、7.4 节、8.5 节、13.5~13.6 节和第 20 章);
- 高级编码 (14.5~14.6 节)。

● 当前的无线系统

- 基于 TDMA 的蜂窝系统 (第 21 章);
- 基于 CDMA 的蜂窝系统 (第 22~23 章);
- 无绳系统 (配套网站上的补充材料);
- 无线局域网 (第 24 章);
- 以及依据学生的知识水平从之前章节中选出的有关基本理论的素材。

致谢

这本书是我在无线通信领域多年教学和研究的结晶。这许多年来, 我曾在两所大学 [奥地利的维也纳技术大学 (TUV) 和瑞典的兰德大学 (LU)] 任教, 还曾在三个工业研究实验室 [奥地利维

也纳的FTW电信研究中心；美国新泽西州米德尔顿的AT&T(Bell)研究实验室；美国麻省剑桥的三菱电气研究实验室(MERL)]工作过，并在这些地方与我的同事们共事，同时还与在欧洲、美国和日本的其他机构工作的众多研究者进行过合作。所有这些都深深影响了我对无线通信的认识，因此影响所及都体现在这本书里。我对他们都深怀感激之情。首先，我第一个想要感谢的是奥地利无线通信的先驱和前辈Ernst Bonek，是他开启了这项计划。我曾与他进行过不计其数的探讨，这些讨论涉及到本书以及先于本书的讲稿(这些讲稿曾用于在维也纳技术大学我们共同任教的课程)在理论内容和教学方法上的方方面面。没有他的建议和鼓励，这本书是永远不可能付梓的。我还要对在维也纳技术大学时的同事和学生，特别是Paulina Erätuuli, Josef Fuhl, Alexander Kuchar, Juha Laurila, Gottfried Magerl, Markus Mayer, Thomas Neubauer, Heinz Novak, Bernhard P. Oehry, Mario Paier, Helmut Rauscha, Alexander Schneider, Gerhard Schultes和Martin Steinbauer所给予的帮助深表谢意。我在兰德大学的同事和学生同样为本书做出了非常大的贡献：Peter Almers, Ove Edfors, Fredrik Floren, Anders Johanson, Johan Karedal, Vincent Lau, Andre Stranne, Fredrik Tufvesson和Shurjeel Wyne。他们的贡献不仅在于就素材如何组织表达方面给出过许多颇具建设性的建议，而且书中用到的图示和例子都出自他们之手，尤其是书中大多数练习题及其解答都是由他们完成的，而19.5节的内容正是基于Ove Edfors的思想。特别感谢来自格拉茨技术大学(GUT)的Gernot Kubin，他完成了关于语音编码的第15章。我在FTW, AT&T和MERL的同事和上司：Markus Kommenda, Christoph Mecklenbraueker, Helmut Hofstetter, Jack Winters, Len Cimini, Moe Win, Martin Clark, Yang-Seok Choi, Justin Chuang, Jin Zhang, Kent Wittenburg, Richard Waters, Neelesh Mehta, Phil Orlik, Zafer Sahinoglu, Daqin Gu(他对第24章做出了很大的贡献), Giovanni Vanucci, Jonathan Yedidia, Yves-Paul和Hongyuan Zhang同样深深地影响了本书。除了许多具体的帮助和建议，更是为着他对本书所表现出的积极关注和所给出的弥足珍贵的意见，我向Larry Greenstein致以特别的谢意和感激之情。

同样特别感谢本书的诸位评阅人。原稿曾被出版社选定的匿名专家们和我的几个在不同研究机构任职的朋友和同事严谨地审读过：John B. Anderson(第11~13章), Anders Derneryd(第9章), Larry Greenstein(第1~3章, 第7章, 第17~19章); Steve Howard(第22章), Thomas Kaiser(第20章), Achilles Kogantis(第23章), Gerhard Kristensson(第4章), Thomas Kuerner(第21章), Gerald Matz(第5~6章), Neelesh B. Mehta(第20章), Bob O'Hara(第24章), Phil Orlik(17.4节), John Proakis(第16章), Said Tatesh(第23章), Reiner Thomae(第8章), Chintha Tellambura(第11~13章), Giorgia Vitetta(第16章), Jonathan Yedidia(第14章)。我向所有这些都致以至深的感激之情。当然，我应对仍然可能存在的任何错漏担负全责。

出版人Mark Hammond、项目编辑Sarah Hinton以及助理编辑Olivia Underhill都来自于John Wiley & Sons出版有限公司，他们曾以专业水平的建议和极大的耐心指导着本书的写作。Manuela Heigl和Katalin Stibli充满激情而又小心谨慎地完成了大量的打字和制图工作。Originator公司非常专业地对文稿进行了排版。

目 录

第一部分 引 言

第 1 章 无线业务的应用和需求	2
1.1 历史	2
1.1.1 一切是如何开始的	2
1.1.2 第一个系统	3
1.1.3 模拟蜂窝系统	3
1.1.4 GSM 以及世界范围的蜂窝革命	4
1.1.5 新无线系统及电信泡沫的爆裂	5
1.1.6 无线通信的复兴	6
1.2 业务类型	6
1.2.1 广播	6
1.2.2 寻呼	7
1.2.3 蜂窝电话	8
1.2.4 集群无线电	9
1.2.5 无绳电话	9
1.2.6 无线局域网	11
1.2.7 个域网	11
1.2.8 固定无线接入	12
1.2.9 卫星蜂窝通信	12
1.3 业务需求	12
1.3.1 数据速率	13
1.3.2 覆盖范围和用户数目	13
1.3.3 移动性	14
1.3.4 能量消耗	15
1.3.5 频谱的使用	16
1.3.6 传输方向	17
1.3.7 服务质量	17
1.4 经济和社会因素	17
1.4.1 构建无线通信系统的经济条件	17
1.4.2 无线通信市场	18
1.4.3 行为影响力	19
第 2 章 无线通信的技术挑战	20
2.1 多径传播	21
2.1.1 衰落	21

2.1.2	符号间干扰	23
2.2	频谱限制	24
2.2.1	频率的分配	24
2.2.2	受管制频谱的频率重用	25
2.2.3	非管制频谱的频率重用	26
2.3	能量限制	26
2.4	用户移动性	27
第3章	噪声受限和干扰受限系统	28
3.1	概述	28
3.2	噪声受限系统	28
3.2.1	链路预算	30
3.3	干扰受限系统	33

第二部分 无线传播信道

第4章	传播机制	36
4.1	自由空间损耗	36
4.2	反射和透射	37
4.2.1	斯涅尔 (Snell) 定律	37
4.2.2	分层电介质结构的反射和透射	39
4.2.3	d^{-4} 功率定律	41
4.3	绕射	42
4.3.1	单屏或楔形绕射	42
4.3.2	多屏绕射	46
4.4	粗糙表面的散射	50
4.4.1	Kirchhoff 理论	50
4.4.2	微扰理论	50
4.5	波导	52
4.6	附录	52
第5章	无线信道的统计描述	53
5.1	概述	53
5.2	时不变两径模型	54
5.3	时变两径模型	56
5.4	不含主导分量的小尺度衰落	57
5.4.1	一个计算机实验	57
5.4.2	振幅与相位统计量的数学推导	60
5.4.3	瑞利分布的性质	61
5.4.4	瑞利分布场强的衰落余量	63
5.5	含有主导分量的小尺度衰落	64
5.5.1	一个计算机实验	64
5.5.2	振幅和相位分布的推导	65

5.5.3 Nakagami 分布	67
5.6 多普勒谱	68
5.7 衰落的时间依赖性	71
5.7.1 电平通过率	71
5.7.2 平均衰落持续时间	71
5.7.3 随机频率调制	72
5.8 大尺度衰落	73
5.9 附录	76
第 6 章 宽带和方向性信道的特性	78
6.1 概述	78
6.2 时延色散的成因	78
6.2.1 两径模型	78
6.2.2 一般的情况	79
6.3 无线信道的系统理论描述	82
6.3.1 确定性线性时变系统的特性	82
6.3.2 随机系统函数	84
6.4 WSSUS 模型	84
6.4.1 广义平稳	85
6.4.2 非相关散射	85
6.4.3 WSSUS 假设	86
6.4.4 抽头延时线模型	86
6.5 精简参数	87
6.5.1 相关函数的积分	87
6.5.2 功率时延谱的矩	88
6.5.3 多普勒谱的矩	88
6.5.4 相干带宽和相干时间	89
6.5.5 窗参数	89
6.6 超宽带信道	92
6.7 方向性描述	93
6.8 附录	95
第 7 章 信道模型	97
7.1 概述	97
7.2 窄带模型	98
7.2.1 小尺度和大尺度衰落模型	98
7.2.2 路径损耗模型	98
7.3 宽带模型	99
7.3.1 抽头延时线模型	99
7.3.2 功率时延谱模型	100
7.3.3 射线和簇到达时间模型	101
7.3.4 标准化的信道模型	102
7.4 方向性模型	102

7.4.1	一般模型结构及因子分解	102
7.4.2	基站处的角度散射	103
7.4.3	移动台处的角度色散	103
7.4.4	极化	104
7.4.5	模型实现	104
7.4.6	标准化方向性模型	106
7.4.7	多输入多输出矩阵模型	107
7.5	确定性信道建模方法	107
7.5.1	射线发射	108
7.5.2	射线跟踪	109
7.5.3	有效性考虑	109
7.5.4	地理数据库	111
7.6	附录	111
第8章	信道探测	113
8.1	概述	113
8.1.1	信道探测的必要性	113
8.1.2	通用探测器结构	113
8.1.3	无线信道的可识别性	115
8.1.4	对测量数据的影响	116
8.2	时域测量	117
8.2.1	冲激探测器	117
8.2.2	相关探测器	118
8.3	频域分析	119
8.4	改进的测量方法	119
8.4.1	扫描时延互相关器 (STDCC)	119
8.4.2	逆滤波	120
8.4.3	平均	121
8.4.4	同步	122
8.4.5	矢量网络分析仪测量	122
8.5	可分辨方向测量	123
8.5.1	接收阵列的数据模型	124
8.5.2	波束形成	125
8.5.3	高分辨率算法	126
8.5.4	多人多出测量	128
8.6	附录	128
第9章	天线	130
9.1	概述	130
9.1.1	天线的系统集成	130
9.1.2	天线参量特征	130
9.2	移动台天线	133

9.2.1	单极子和偶极子天线	133
9.2.2	螺旋天线	134
9.2.3	微带天线	135
9.2.4	平面倒 F 型天线	136
9.2.5	辐射耦合双 L 型天线	136
9.2.6	多波段天线	137
9.2.7	移动台天线的安置	137
9.3	基站天线	138
9.3.1	天线类型	138
9.3.2	阵列天线	138
9.3.3	改进天线方向图	139
9.3.4	环境对天线方向图的影响	139

第三部分 收发信机和信号处理

第 10 章	无线通信链路结构	142
10.1	收发信机结构	142
10.2	简化模型	146
第 11 章	调制	147
11.1	概述	147
11.2	基本概念	148
11.2.1	脉冲幅度调制	148
11.2.2	多脉冲调制和连续相位调制	151
11.2.3	功率谱	152
11.2.4	信号空间图	153
11.3	几种重要的调制	154
11.3.1	二进制相移键控 (BPSK)	154
11.3.2	四相相移键控 (QPSK)	157
11.3.3	p/4-DQPSK	160
11.3.4	偏移四相相移键控 (OQPSK)	162
11.3.5	高阶调制	163
11.3.6	二进制频移键控	165
11.3.7	最小频移键控 (MSK)	167
11.3.8	MSK 的解调	169
11.3.9	高斯频移键控 (GMSK)	170
11.3.10	脉位调制 (PPM)	171
11.3.11	频谱效率小结	173
11.4	附录	173
第 12 章	解调	174
12.1	加性高斯白噪声信道中的解调器结构和差错率	174
12.1.1	信道模型和噪声	174

12.1.2	信号空间图及最佳接收机	175
12.1.3	差错率的计算方法	178
12.2	平坦衰落信道中的差错率	183
12.2.1	平均误比特率—经典的计算方法	183
12.2.2	另一种计算平均差错率的方法	185
12.2.3	中断概率与平均错误概率	188
12.3	时延及频率色散衰落信道中的差错率	189
12.3.1	差错基底的物理原因	189
12.3.2	采用群时延法计算差错基底	192
12.3.3	一般衰落信道：二次高斯变量法	194
第 13 章	分集	197
13.1	概述	197
13.1.1	分集的原理	197
13.1.2	相关系数的定义	198
13.2	微分集	198
13.2.1	空间分集	199
13.2.2	时分集	202
13.2.3	频率分集	202
13.2.4	角度分集	203
13.2.5	极化分集	204
13.3	宏分集和同播	204
13.4	信号的合并	205
13.4.1	选择式分集	206
13.4.2	开关分集	208
13.4.3	合并分集	208
13.5	在衰落信道中分集接收的差错概率	212
13.5.1	平坦衰落信道中的差错概率	212
13.5.2	频率选择性衰落信道中的符号差错概率	214
13.6	发射分集	216
13.6.1	具有信道状态信息的发射机分集	216
13.6.2	无信道状态信息的发射机分集	216
13.7	附录	217
第 14 章	信道编码	218
14.1	概述	218
14.1.1	历史与动机	218
14.1.2	编码的分类	218
14.2	分组编码	219
14.2.1	引言	219
14.2.2	编码	220
14.2.3	译码	221
14.2.4	差错识别和纠正	222