

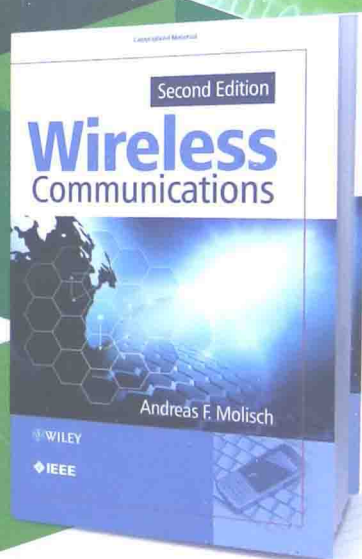
无线通信

(第二版)

Wireless Communications
Second Edition

【美】Andreas F. Molisch 著

田 斌 帖 翊 任光亮 译



经典译丛·信息与通信技术

无线通信

(第二版)

Wireless Communications
Second Edition

[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

内 容 简 介

本书系统讲解无线通信原理、技术和系统设计所涉及的各个方面。全书内容共分五部分(合计 29 章),包括无线传播信道的机制、特性、建模与探测,通信收发信机的调制、分集、信道编码、语音编码和均衡技术,多址与蜂窝、OFDM、扩频技术、多天线技术、认知无线电、中继与协作通信、视频编码,以及当前主流和最新出现的无线标准系统。本书既包含无线通信的通用处理技术,又包含当前热门的研究专题。书中的讲解凸显数学描述和直观物理解释相结合,深入浅出,给出的大量例题和习题(为第 30 章)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 Communications, Second Edition, 9780470741870, Andreas F. Molisch

Copyright © 2011, John Wiley & Sons, Ltd.

All rights reserved. This translation published under license.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS, Ltd.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Ltd.

本书简体中文字版专有翻译出版权由英国 John Wiley & Sons, Ltd. 授予电子工业出版社。未经许可,不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2011-3070

图书在版编目(CIP)数据

无线通信:第2版/(美)莫利斯(Molisch,A.F.)著;田斌,帖翊,任光亮译.

北京:电子工业出版社,2015.1

(经典译丛·信息与通信技术)

书名原文:Wireless Communications, Second Edition

ISBN 978-7-121-24989-1

I. ①无… II. ①莫… ②田… ③帖… ④任… III. ①无线通信-高等学校-教材 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 278987 号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

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:45.5 字数:1165 千字

版 次:2008 年 1 月第 1 版

2015 年 1 月第 2 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价:109.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,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。

译者序

无线通信近十余年来获得蓬勃的发展,已成为社会信息化最重要的推动力量,也是当前信息产业的重要支柱。无线通信技术极大地影响着人们的工作方式、生活方式和娱乐方式,个人通信的梦想指日可待。无线通信已经成为通信工程相关专业的一门重要课程,相关研究文献、论著、教材不断问世。无线通信领域的顶级专家、美国南加州大学 Molisch 教授的这本《无线通信》无疑是这方面的上乘之作。

该书 2005 年底出版了第一版,当时已堪称最全面清晰的集大成之作,中译本也于 2008 年初出版。该书分五个部分,第一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;第三部分则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、语音编码和信道均衡;第四部分则是多址和高级收发信机方案,讲述了多址与蜂窝、扩频、OFDM 及多天线系统等最新专题;第五部分则描述了当前主流的无线通信系统和标准。

第二版紧跟技术发展,新增了认知无线电、协作通信与中继、视频编码、3GPP 长期演进和 WiMax 等章,以及多用户 MIMO、802.11n 和信息论等重要小节,并结合当前的技术发展对全书其他部分进行了进一步修订和补充。有些章节内容尽管变化不大,却补充了大量习题,对于理解内容及实际中的应用有很大帮助。同时,从方便阅读的角度进行了不少修改,比如不少缩略词用全称代替(有些我们在第一版翻译时已经做过类似的处理),专业术语较多的几章,直接将专业术语的缩略词表附在该章后面。除此之外,作者花了较大心力进行推敲和润色,有的地方看似仅仅改动了一个虚词、换了一个近义词、增加了一个修饰语,或者增删了一点说明,文字的语气和表达的含义则有明显的变化。我们在第二版翻译时也都逐字逐句核对了这些细微变化,反复推敲译文文字,以求精确表达作者的本来含义。

第二版保持并强化了第一版内容系统完整、概念清晰、理论严谨而又直观形象的特色,突出了技术发展的最新成果,涵盖了无线通信的最新研究内容与前沿领域,既是通信工程领域的本科和研究生的绝好教材,更可作为无线通信领域研究人员和工程技术人员案头必备的参考书。

本书第 4 章至第 7 章、第 14 章、第 15 章、第 21 章、第 23 章和第 26 章由田斌翻译,第 1 章至第 3 章、第 8 章、第 9 章、第 17 章、第 18 章、第 22 章、第 24 章和第 25 章由帖翊翻译,第 10 章至第 13 章、第 16 章、第 19 章、第 20 章、第 27 章至第 29 章由任光亮翻译,第 30 章为前面各章的习题,其译文由相应各章的译者分别完成,田斌负责统筹全书。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。本书作者 Molisch 教授非常重视本书的翻译工作,多次和译者进行邮件交流。本书所有的中文译稿都寄给过他,他邀请的中国学生和学者阅读后再和他交流,提出了不少有益的建议。

西安电子科技大学研究生王奇伟、成波、丛犁、任晓娜、沈东阳、彭任斌、闵泉云、李奕洋、李慕菡、吴迪、龚阳雪、李林甫、冯妙琨、白渊玲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，但由于译者水平和时间所限，肯定存在疏漏和不当之处，敬请读者不吝指正，我们发现错误会及时在 <http://web.xidian.edu.cn/btian> 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

于西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室

前言和致谢

从 2005 年本书推出第一版至今,无线通信的研究与技术持续处于势不可挡的进步之中。这一发展状况以及本书第一版所获得的积极回应促成了第二版的问世,这一版将涵盖近年来出现的一些新的课题。这样,我们就可以通过现在的版本使本书与现代化无线通信工程所涉及主题的宽广程度仍然保持一致。

新版本中有超过 150 页的新内容,涵盖了以下方面:

- 认知无线电(新增的第 21 章);
- 协作通信、中继和 ad hoc 网络(新增的第 22 章);
- 视频编码(新增的第 23 章);
- 3GPP 长期演进(新增的第 27 章);
- WiMAX(新增的第 28 章)。

此外,新版本对以下内容作了明显的扩充和增补:

- MIMO(在第 20 章中),尤其是关于多用户 MIMO 新增了一节的内容(20.3 节)。
- IEEE 802.11n(高吞吐量 WiFi),在 29.3 节。
- 编码(比特交织编码调制),在 14.5 节。
- 在 14.1 节、14.9 节及附录 17(见配套网站)中介绍了信息论。
- 信道模型:在附录 7(见配套网站)中有对标准化信道模型的更新内容。
- 许多处小改动和重新阐释,部分基于本书的读者和教师的反馈。

这些扩充对学生(及研究者)学习“新潮”技术至关重要。绝大多数增补内容对于有关高级无线概念和技术的研究生课程应当是最适合不过的了。此外,关于 LTE(或 WiMAX)的内容,在更为基础的课程中,也非常适合作为标准化系统的示例(例如,可以取代关于 GSM 或者 WCDMA 系统的讨论)。

就第一版而言,采用本书作为其课程教材的教师是可以获得演示幻灯片和试题解答手册的。这些材料同样可以从出版商配套网站 www.wiley.com/go/molisch 获得。这个站点包含针对本书所有读者的重要资源:包括勘误表、内容更新、额外的参考文献和其他类似的材料。

作者为新增内容的撰写付出了相当大的努力,同时也得到了南加州大学电气工程系主任 Sandy Sawchuk 的鼎力支持。特别感谢 Anthony Vetro,他撰写了关于视频编码的新增章节(第 23 章)。我也要感激那些热心地同意对新增内容进行评阅的专家们,他们是: Honggang Zhang 和 Natasha Devroye(第 21 章), Gerhard Kramer、Mike Neely、Bhaskar Krishnamachari(第 22 章), Erik Dahlman(第 27 章), Yang-Seok Choi Hujun Jin 和 V. Shashidar(第 28 章), Guiseppe Caire(第 14 章和第 17 章的新增内容), Robert Heath 和 Claude Oestges(第 20 章的新增内容),以及 Eldad Perahia(29.3 节)。像往常一样,任何残存错误的责任均在于我。

我也非常感谢南加州大学(USC)参加我多门课程的学生们，同样感谢世界各地的读者和学生们，他们曾提出过有助于内容更正和改进的各种建议。新增章节的习题由 Junyang Shen、Hao Fang 和 Christian Mehluehrer 编写。感谢 Neelesh B. Mehta 提供了关于 LTE 的多幅图片给我。

就第一版而言，来自 John Wiley & Sons 有限公司的 Mark Hammond 担任组稿编辑，Sarah Tilley 担任制作编辑。特别感谢 Laserwords 的 Dhanya Ramesh，她相当专业地完成了书稿的录入排版工作。

第一版前言

1994年,当我以讲义的形式为一门无线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程度。现在,10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适用的。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,不仅实际无线系统,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作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之所在,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。我所希望的就是,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“深入阅读”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作最深入的理解。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);符号表解释了公式中用到的符号的含义。频繁地交互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)对无线通信给出了高层次的综述。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、电能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章简要地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的概括之后,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”通常被设置在基站处,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来说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,因为这样可以使不同厂商的设备能够协作,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章至第23章分别描述了最为成功的蜂窝无线标准,即GSM(全球移动通信系统),IS-95及其高级形式CDMA

2000 和宽带 CDMA(也称为 UMTS)。进而,第 24 章描述了最重要的无线局域网标准,即 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,可以在该网址找到。

课程实施建议

本书涵盖了无线通信的全部内容,从非常基本的主题到相当高级的主题,所提供的素材远远超过了一个学期课程中所能讲解的份量。教师因此可以根据学生的不同水平和兴趣来自由地订制教学内容。书中在正文里包含了精选的例子,并且在书末(第 25 章)给出了大量的课后练习题,练习题的答案以及讲课用的幻灯片,教师可以从本书的配套网站上下载得到。

以下包括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 章至第 3 章);
- 无线信道基础(4.1 节至 4.3 节、5.1 节至 5.4 节、6.1 节、6.2 节、7.1 节至 7.3 节);
- 初级信号处理(第 10 章、第 11 章和 12.1 节、12.2.1 节、12.3.1 节、13.1 节、13.2 节、13.4 节、14.1 节至 14.3 节、16.1 节和 16.2 节);
- 多址和系统设计(第 17 章、第 22 章和 18.2 节、18.3 节、21.1 节至 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 章和第 6 章);
- 信道建模和测量(第 7 章和第 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:教师应根据听众的具体情况进行内容选择;
- CDMA 和多用户检测(18.2 节至 18.4 节);
- OFDM(第 19 章);
- 超宽带通信(18.5 节和 6.6 节);
- 多天线系统(6.7 节、7.4 节、8.5 节、13.5 节、13.6 节和第 20 章);
- 高级编码(14.5 节和 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 章和第 23 章);
- 无绳系统(配套网站上的补充材料);
- 无线局域网(第 24 章);
- 以及依据听众的知识水平从之前章节中选出的有关基本理论的素材。

第一版致谢

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(奥地利的维也纳理工大学(TUV)和瑞典的隆德大学(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,其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理工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。我还要对我在维也纳理工大学时的同事和学生,特别是 Paulina Erätuuili、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。我在隆德大学的同事和学生同样为本书作出了非常大的贡献,他们是: Peter Almers、Ove Edfors、Fredrik Floren、Anders Johanson、Johan Karedal、Vincent Lau、Andre Stranne、Fredrik Tufvesson 和 Shurjeel Wyne。他们的贡献不光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理工大学(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 Mecklenbraeuer、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 Nakache 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 章至第 13 章)、Anders Derneryd (第 9 章)、Larry Greenstein (第 1 章至第 3 章、第 7 章、第 17 章至第 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 章和第 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 章至第 13 章)、Giorgia Vitetta (第 16 章)、Jonathan Yedidia (第 14 章)。我向所有这些人都致以至深的感激之情。当然,我应对仍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 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录入和制图工作,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	1.3.4 能量消耗	16
1.1 历史	2	1.3.5 频谱的使用	17
1.1.1 一切是如何开始的	2	1.3.6 传输方向	18
1.1.2 第一个系统	3	1.3.7 服务质量	18
1.1.3 模拟蜂窝系统	4	1.4 经济和社会因素	19
1.1.4 GSM 及世界范围的蜂窝 革命	4	1.4.1 构建无线通信系统的经济 条件	19
1.1.5 新无线系统及电信泡沫 的爆裂	5	1.4.2 无线通信市场	20
1.1.6 无线通信的复兴	6	1.4.3 行为影响力	21
1.2 业务类型	7	第 2 章 无线通信的技术挑战	22
1.2.1 广播	7	2.1 多径传播	23
1.2.2 寻呼	8	2.1.1 衰落	23
1.2.3 蜂窝电话	9	2.1.2 符号间干扰	25
1.2.4 集群无线电	10	2.2 频谱限制	26
1.2.5 无绳电话	10	2.2.1 频率的分配	26
1.2.6 无线局域网	11	2.2.2 受管制频谱的频率重用	28
1.2.7 个域网	12	2.2.3 非管制频谱的频率重用	28
1.2.8 固定无线接入	12	2.3 能量限制	29
1.2.9 ad hoc 网络和传感器网络	12	2.4 用户移动性	30
1.2.10 卫星蜂窝通信	13	第 3 章 噪声受限和干扰受限系统	31
1.3 业务需求	13	3.1 引言	31
1.3.1 数据速率	14	3.2 噪声受限系统	31
1.3.2 覆盖范围和用户数目	14	3.2.1 链路预算	33
1.3.3 移动性	15	3.3 干扰受限系统	36

第二部分 无线传播信道

第 4 章 传播机制	40	4.2.1 斯涅尔(Snell)定律	41
4.1 自由空间衰减	40	4.2.2 分层电介质结构的反射和 透射	43
4.2 反射和透射	41		

4.2.3	d^{-4} 功率定律	45	6.2.2	一般的情况	84
4.3	绕射	46	6.3	无线信道的系统理论描述	86
4.3.1	单屏或楔形绕射	46	6.3.1	确定性线性时变系统的特性	86
4.3.2	多屏绕射	50	6.3.2	随机系统函数	87
4.4	粗糙表面的散射	54	6.4	WSSUS 模型	88
4.4.1	基尔霍夫理论	54	6.4.1	广义平稳	88
4.4.2	微扰理论	55	6.4.2	非相关散射	89
4.5	波导	56	6.4.3	WSSUS 假设	89
4.6	附录	56	6.4.4	抽头延迟线模型	90
	深入阅读	56	6.5	精简参数	91
第 5 章	无线信道的统计描述	57	6.5.1	相关函数的积分	91
5.1	概述	57	6.5.2	功率时延谱的矩	91
5.2	时不变两径模型	58	6.5.3	多普勒谱的矩	92
5.3	时变两径模型	60	6.5.4	相干带宽和相干时间	93
5.4	不含主导分量的小尺度衰落	61	6.5.5	窗参数	95
5.4.1	一个计算机实验	61	6.6	超宽带信道	96
5.4.2	振幅与相位统计量的数学推导	64	6.6.1	具有大相对带宽的超宽带信号	96
5.4.3	瑞利分布的性质	65	6.6.2	具有大绝对带宽的超宽带信号	97
5.4.4	瑞利分布场强的衰落余量	67	6.7	方向性描述	97
5.5	含有主导分量的小尺度衰落	68	6.8	附录	100
5.5.1	一个计算机实验	68		深入阅读	100
5.5.2	振幅和相位分布的推导	69	第 7 章	信道模型	101
5.5.3	Nakagami 分布	71	7.1	概述	101
5.6	多普勒谱	72	7.2	窄带模型	102
5.6.1	移动中的移动台的时变性	72	7.2.1	小尺度和大尺度衰落模型	102
5.6.2	固定无线系统中的时变性	74	7.2.2	路径损耗模型	102
5.7	衰落的时间依赖性	75	7.3	宽带模型	103
5.7.1	电平通过率	75	7.3.1	抽头延迟线模型	103
5.7.2	平均衰落持续时间	76	7.3.2	功率时延谱模型	104
5.7.3	随机频率调制	77	7.3.3	射线和簇到达时间模型	105
5.8	大尺度衰落	78	7.3.4	标准化的信道模型	106
5.9	附录	81	7.4	方向性模型	106
	深入阅读	81	7.4.1	一般模型结构及因子分解	106
第 6 章	宽带和方向性信道的特性	82	7.4.2	基站处的角度色散	107
6.1	概述	82	7.4.3	移动台处的角度色散	107
6.2	时延色散的成因	82			
6.2.1	两径模型	82			

7.4.4 极化	108	8.5 可分辨方向测量	127
7.4.5 模型实现	108	8.5.1 接收阵列的数据模型	128
7.4.6 标准化方向性模型	110	8.5.2 波束成形	129
7.4.7 多输入多输出矩阵模型	111	8.5.3 高分辨率算法	130
7.5 确定性信道建模方法	111	8.5.4 多输入多输出测量	132
7.5.1 射线发射	112	8.6 附录	133
7.5.2 射线跟踪	113	深入阅读	133
7.5.3 有效性考虑	114	第9章 天线	134
7.5.4 地理数据库	115	9.1 引言	134
7.6 附录	115	9.1.1 天线的系统集成	134
深入阅读	115	9.1.2 天线参量特征	134
第8章 信道探测	117	9.2 移动台天线	137
8.1 引言	117	9.2.1 单极子和偶极子天线	137
8.1.1 信道探测的必要性	117	9.2.2 螺旋天线	138
8.1.2 通用探测器结构	117	9.2.3 微带天线	139
8.1.3 无线信道的可辨识性	119	9.2.4 平面倒F形天线	140
8.1.4 对测量数据的影响	120	9.2.5 辐射耦合双L形天线	141
8.2 时域测量	121	9.2.6 多波段天线	141
8.2.1 冲激探测器	121	9.2.7 移动台天线的安置	141
8.2.2 相关探测器	122	9.3 基站天线	142
8.3 频域分析	123	9.3.1 天线类型	142
8.4 改进的测量方法	123	9.3.2 阵列天线	142
8.4.1 扫描时延互相关器	123	9.3.3 改进天线方向图	143
8.4.2 逆滤波	124	9.3.4 环境对天线方向图的 影响	143
8.4.3 平均	125	深入阅读	145
8.4.4 同步	126		
8.4.5 矢量网络分析仪测量	126		

第三部分 收发信机和信号处理

第10章 无线通信链路结构	149	11.2.3 功率谱	158
10.1 收发信机结构	149	11.2.4 信号空间图	159
10.2 简化模型	153	11.3 几种重要的调制	161
深入阅读	153	11.3.1 二进制相移键控	161
第11章 调制	154	11.3.2 正交相移键控 QPSK	163
11.1 概述	154	11.3.3 $\pi/4$ -DQPSK	165
11.2 基本概念	155	11.3.4 偏移正交相移键控	167
11.2.1 脉冲幅度调制	155	11.3.5 高阶调制	168
11.2.2 多脉冲调制和连续相位 调制	157	11.3.6 二进制频移键控	169
		11.3.7 最小频移键控	171

11.3.8	最小频移键控的解调	173	13.3	宏分集和同播	207
11.3.9	高斯最小频移键控	174	13.4	信号的合并	208
11.3.10	脉冲位置调制	175	13.4.1	选择式分集	208
11.3.11	频谱效率小结	177	13.4.2	开关分集	210
11.4	附录	177	13.4.3	合并分集	211
深入阅读		177	13.5	在衰落信道中分集接收的 差错率	215
第12章	解调	178	13.5.1	平坦衰落信道中的 差错率	215
12.1	加性高斯白噪声信道中的 解调器结构和差错率	178	13.5.2	频率选择性衰落信道中的 差错率	217
12.1.1	信道模型和噪声	178	13.6	发射分集	219
12.1.2	信号空间图及最佳 接收机	179	13.6.1	具有信道状态信息的 发射机分集	220
12.1.3	差错率的计算方法	181	13.6.2	无信道状态信息的 发射机分集	220
12.2	平坦衰落信道中的差错率	186	13.7	附录	221
12.2.1	平均误比特率(经典的 计算方法)	186	深入阅读		221
12.2.2	计算平均差错率的 另一种方法	188	第14章	信道编码	222
12.2.3	中断概率与平均错误 概率	191	14.1	编码与信息论基础	222
12.3	时延及频率色散衰落信道中 的差错概率	192	14.1.1	编码历史与动机	222
12.3.1	差错基底的物理原因	192	14.1.2	信息论的基础概念	222
12.3.2	采用群时延法计算 差错基底	196	14.1.3	信道容量	224
12.3.3	一般衰落信道:二次高斯 变量法	197	14.1.4	功率与带宽的关系	225
12.3.4	误比特率	199	14.1.5	与实际系统的关系	226
深入阅读		199	14.1.6	实际编码的分类	226
第13章	分集	200	14.2	分组编码	227
13.1	引言	200	14.2.1	引言	227
13.1.1	分集的原理	200	14.2.2	编码	228
13.1.2	相关系数的定义	201	14.2.3	译码	229
13.2	微分集	201	14.2.4	差错识别和纠正	230
13.2.1	空间分集	202	14.2.5	级联码	231
13.2.2	时分集	204	14.3	卷积码	231
13.2.3	频率分集	205	14.3.1	卷积码原理	231
13.2.4	角度分集	206	14.3.2	维特比译码 (经典表示)	233
13.2.5	极化分集	207	14.3.3	维特比算法的改进	235
			14.4	网格编码调制	236
			14.4.1	基本原理	236
			14.4.2	集分割	238

14.5	比特交织编码调制	240	15.3.1	短时平稳模型	261
14.6	Turbo 码	241	15.3.2	线性预测声码器(LPC) ...	262
14.6.1	引言	241	15.3.3	正弦模型	264
14.6.2	编码器	241	15.3.4	谐波 + 噪声模型	264
14.6.3	Turbo 译码器	242	15.3.5	循环平稳模型	264
14.7	低密度奇偶校验码	243	15.4	量化和编码	265
14.7.1	低密度奇偶校验码的 定义	244	15.4.1	标量量化	265
14.7.2	低密度奇偶校验码的 编码	244	15.4.2	矢量量化	266
14.7.3	低密度奇偶校验码的 译码	245	15.4.3	预编码中的噪声成形 ...	268
14.7.4	性能改进	247	15.4.4	合成分析	270
14.8	衰落信道的编码	248	15.4.5	信源信道联合编码	271
14.8.1	交织	248	15.5	从语音传输到声音的 远程呈现	272
14.8.2	分组码	250	15.5.1	语音激活检测	272
14.8.3	卷积码	250	15.5.2	接收端增强	273
14.8.4	级联码	251	15.5.3	回声和噪声	273
14.8.5	衰落信道下的网格编 码调制	251	15.5.4	远程呈现的业务增强 ...	273
14.9	衰落信道的信息论性能限 ...	252	深入阅读		274
14.9.1	各态历经容量与中断 容量	252	第 16 章	均衡器	275
14.9.2	仅接收端已知信道状 态信息的容量	253	16.1	引言	275
14.9.3	CSIT 和 CSIR 的容量 ——注水法	253	16.1.1	时域和频域均衡	275
14.10	附录	254	16.1.2	信道和均衡器的模型 ...	276
深入阅读		254	16.1.3	信道估计	277
第 15 章	语音编码	255	16.2	线性均衡器	278
15.1	概述	255	16.2.1	迫零均衡器	279
15.1.1	语音电话作为对话多 媒体业务	255	16.2.2	最小均方误差准则	279
15.1.2	信源编码基础	255	16.2.3	均方误差均衡器的 自适应算法	281
15.1.3	语音编码器设计	256	16.2.4	其他线性结构	283
15.2	语音	257	16.3	判决反馈均衡器	283
15.2.1	语音的产生	257	16.3.1	最小均方误差判决 反馈均衡器	284
15.2.2	语言声学	258	16.3.2	迫零判决反馈均衡器 ...	285
15.2.3	语音感知	260	16.4	最大似然序列估计: 维特比 检测器	285
15.3	语音信号的随机模型	261	16.5	均衡器结构的比较	287
			16.6	分数间隔均衡器	288
			16.7	盲均衡	288
			16.7.1	简介	288

16.7.2 恒模算法	289	16.7.5 评价	290
16.7.3 盲最大似然估计	289	16.8 附录	290
16.7.4 使用二阶或高阶统计特性的算法	290	深入阅读	290

第四部分 多址和高级收发信机方案

第 17 章 多址和蜂窝原理	293	18.2.5 同步	320
17.1 引言	293	18.2.6 码族	320
17.2 频分多址	293	18.3 蜂窝码分多址系统	324
17.2.1 频率划分实现多址	293	18.3.1 码分多址原理回顾	324
17.2.2 中继增益	295	18.3.2 功率控制	325
17.3 时分多址	298	18.3.3 提升容量的方法	327
17.4 分组无线电	299	18.3.4 与其他多址方式的结合	328
17.4.1 ALOHA	300	18.4 多用户检测	328
17.4.2 载波侦听多址	301	18.4.1 简介	328
17.4.3 分组预约多址	302	18.4.2 线性多用户检测	329
17.4.4 各方式之间的比较	302	18.4.3 非线性多用户检测器	330
17.4.5 分组无线电的路由问题	303	18.5 跳时脉冲无线电	332
17.5 双工	304	18.5.1 简易脉冲无线电	332
17.6 蜂窝网络原理	305	18.5.2 跳时脉冲无线电	333
17.6.1 重用距离	305	18.5.3 时间色散信道下的脉冲无线电	335
17.6.2 小区形状	305	深入阅读	337
17.6.3 六边形小区的小区规划	306	第 19 章 正交频分复用	338
17.6.4 增加容量的方法	308	19.1 引言	338
17.7 附录	310	19.2 正交频分复用的原理	338
深入阅读	310	19.3 收发信机实现	339
第 18 章 扩展频谱系统	311	19.4 频率选择性信道	340
18.1 跳频多址	311	19.4.1 循环前缀	341
18.1.1 跳频原理	311	19.4.2 频率选择性信道中的性能	342
18.1.2 跳频多址(FHMA)	312	19.4.3 编码正交频分复用	344
18.2 码分多址	313	19.5 信道估计	345
18.2.1 直接序列扩频的基本原理	314	19.5.1 基于导频符号的方法	345
18.2.2 多址	315	19.5.2 基于离散导频的方法	345
18.2.3 数学表示	316	19.5.3 基于特征值分解的算法	346
18.2.4 码分多址情况下的多径传播效应	317	19.6 峰平比	347