

国外电子信息科学教材系列

无线通信原理与应用

Wireless Communications Principles and Practice

[美] Theodore S. Rappaport

蔡涛 李旭 杜振民 译

宋俊德 审校



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国外电子信息科学教材系列

无线通信原理与应用

Wireless Communications
Principles and Practice

[美] Theodore S. Rappaport 著

蔡 涛 李 旭 杜振民 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

本书是一本经典的大学通信专业教材。全书深入浅出地讨论了无线通信的相关基础理论,并涉及到了第三代系统的基本发展方向和有关问题。全书共分 10 章,从实际应用的角度,结合理论对无线通信系统的各个方面做了精辟地论述和统计分析。全书语言生动、流畅,非常适合于有一定通信理论基础的工程技术人员和在校相关专业的师生阅读。

Translation copyright © 1999 by Publishing House of Electronics Industry.

(Wireless Communications Principles and Practice)

Copyright © 1996 Prentice Hall Inc.

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original Publisher, Prentice Hall Inc., a Simon Schuster Company.

本书中文简体专有翻译出版权由 Simon & Schuster 下属的 Prentice Hall, Inc. 授予电子工业出版社。该专有出版权受法律保护。

图书在版编目(CIP)数据

无线通信原理与应用/(美)瑞普特(Rappaport T.S.)著;蔡涛等译.-北京:电子工业出版社,1999.11

(国外电子信息科学教材系列)

书名原文:Wireless Communications Principles and Practice

ISBN 7-5053-4877-9

I. 无… II. ①瑞… ②蔡… III. 无线电通信 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 60272 号

丛 书 名:国外电子信息科学教材系列

书 名:无线通信原理与应用

著 者:[美]Theodore S. Rappaport

译 者:蔡 涛 李 旭 杜振民

审 校 者:宋俊德

责任编辑:徐 堃

特约编辑:孙维民

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:民族印刷厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<http://www.phei.com.cn>

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:31.25 字数:770 千字

版 次:1999 年 11 月第 1 版 1999 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5053-4877-9
TN·1181

印 数:5000 册 定价:48.00 元

版权贸易合同登记号 图字:01-98-1778

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请向购买书店调换;

若书店售罄,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

2/38/33 10

译文序

当今世界已进入了飞速发展的信息时代,信息产业已成为国民经济的主导产业,通信则成为信息产业中发展最为迅速,进步最快的行业。如果再仔细的观察和研究,不难发现,在通信领域有两个最积极、最活跃和发展最快的分支——移动通信网(含卫星通信与地面移动通信)和 Internet 网,人们把二者比作天地两大网。地上有个星罗棋布的 Internet 网。Internet 网是由光纤,电缆和电话线的一部分担任传输并把成千上万的计算机连接起来。最初是以传输数据为主,现在包括了图像和语音(IP-电话)。移动通信网中的第一代是以传输话音为主的,后来到了第二代引入了数据传输,而第三代则引入了多媒体技术(即:语音、数据和图像),成为 Internet 无线接入的主要技术。因此,两网运行,传输和处理的内容相同了。移动用户要接入 Internet,要实现移动中的 Internet 服务,要通过 Internet 网实现全球基于 IP 的连接,而 Internet 急需通过卫星通信、地区移动通信构造天地 Internet 网。人们已经预见,到 2005 年,在移动网上会有大约 8 亿的用户,在 Internet 上则会有 7 亿的用户。这两大网诱人的巨大市场,使通信行业集中瞄准了这个发展大方向。只有两大网的发展和联合,真正意义上的个人通信(即无论任何人在何时、何地与他人实现任何种类的通信——数据、语音、图像)才成为可能。因此移动通信是实现未来个人通信的关键。

本书重点是介绍移动通信的,有些章节也涉及了一些卫星通信和 Internet 网的内容。随着国内移动通信的迅猛发展,人们迫切需要一本全面介绍上述内容的书。本书不仅系统的介绍了无线移动通信的基本理论、工作原理、系统结构、接口、有关标准、工程设计和实际应用,而且各章中都突出了基本知识、基本概念的讲述,同时注重了工程实际和实际应用,列举了许多分析、计算的例子,对工程技术人员会很有启发。本书既有系统性,又不失重点;既有一定的深度,又广采各家最新研究成果,深入浅出,避开了繁琐的数学推导(必要数学推导在附录中可以找到),因而概念清晰,易于理解。每章之后又有大量的问题和练习,以帮助读者巩固重要概念和所学知识。因此它是一本很好的教科书,可供无线通信专业的本科高年级学生和研究生使用,也可供本领域工程技术人员,大学老师作参考。

需要说明的是,由于书中一些新的专业词汇,国内尚无统一标准译法,只好按实际含义较准确的译出,并选择了原书的部分索引作为附录 G,供读者参考和指正。

本书由蔡涛博士、李旭博士后和杜振民高级工程师翻译,宋俊德对全书作了审校。为本书翻译作出贡献的有:张鹏,徐红梅,邓志辉,张璋,蒋华,林炜平,刘峰,刘昀,王海等同志。由于译者水平有限,错误和不妥之处在所难免,望读者批评指正。

宋俊德

1999 年 6 月于北京邮电大学

前 言

本书的目的是引导初学者入门并了解当今世界工程上发展最快的领域之一——蜂窝移动和个人通信领域。本书按照先易后难,先简单后复杂的思路对无线通信系统的设计、实现、研究和开发等工作中涉及到的重要技术概念作了详尽的介绍。本书是在我作为一位教师、研究人员和咨询者,并在我的经验基础上,应电气和电子工程师协会(IEEE)之邀而写的一门为电气工程学生的大学课程和实际工程师及技术员的自学教程而写的。在本书中引用了若干期刊文章,以便那些感兴趣的读者阅读更多的文章,这些额外的文章对掌握任何一个领域都是必要的。然而,为了作为手册或教学使用,或是为了那些对继续阅读额外的文章感到困难的读者,所以本书写成了一本完整的,独立的教材和参考书。在本书中为帮助读者巩固所学内容材料,提供了很多的例子和问题。

本书面向那些已经熟悉诸如概率论、通信原理和基本电磁学等技术概念的学生和工程师。然而,就像无线通信产业本身一样,本书综合了许多不同技术学科的材料,所以不大可能每个人对所有覆盖到的主题都上过先修课程。为了提供广泛的背景知识,本文中的重要概念以第一原理(first principles)逐渐展开,以便读者掌握无线通信的基础。这本书可以作为工业应用中的手册或课堂上的教学工具。

本书中材料和章节的顺序是从我1991年在弗吉尼亚综合理工学院和州立大学教授的一年级研究生的课程中改编而来。第1章讲述了世界范围内的蜂窝无线电通信的快速发展,及其对未来的展望。第2章讲述了诸如频率复用,切换等蜂窝无线电通信概念,这些概念是利用有限频带向移动用户提供无线通信服务的核心。第2章也讲述了移动台和基站间的干扰是如何影响蜂窝系统的容量的。第3章介绍了无线传输路径损失和对数正态阴影,并描述了在许多不同的操作环境中不同的建模和估算无线传输的大尺度效应的方法。第4章包含了小尺度无线传输效应,比如,衰减、时延扩展和多普勒扩展,并讲述了如何去测量和建模,以及对通过多径信道接收到的信号的影响。无线电波传输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提供一个稳定的、固定的传输路径,当一端是运动的时候,无线路径是随机的,并且经历阴影覆盖和多径衰落。

第5章提供了目前最常用移动通信的模拟和数字调制技术,并讲述在选择某种调制方式时的评价方法。此外还提供了诸如接收机的复杂度、调制和解调的实现、衰落信道的比特误码率分析和频谱利用率等问题。信道编码、自适应均衡和天线各向异性等概念会在第6章讲述。在人们步行和驾车时通信中使用的便携式无线电系统中,可以单独地或综合使用这些方法,以提高存在衰落和噪声情况下数字移动无线通信的质量,即减少误码率。

第7章介绍了语音编码。在过去的十年里,在降低高质量数字化语音所需要的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使用户业务和网络结构相匹配。在此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。也讨论了如何使用这些技术在已有的和将有的蜂窝、无线和个人通信系统中评估语音质量。第8章介绍时分、频分和码分多址,同样也介绍最近的诸如分组预留、空分多址等多址接入技术。第8章还讲述了每种接入方式是如何容纳大量移动用户,并解释了多址接入如何影响蜂窝系统的容量和网络结构。第9章描述了针对广域网无线通信系统的联网考虑,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、无绳和个人通信系统的实用联网途径。第 10 章总结了前 9 章材料,并描述和比较了世界上现有和未来的蜂窝、无线和个人通信系统。在这一章还提出了个人通信系统的设计和实现中的评估方法,收录了主要无线电标准的相关信息。

附录包含中继原理、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人提供了详细的参考内容。

在工业应用方面,第 1 到第 4 章和第 8 章会对那些在蜂窝系统设计和的射频测试/维护领域的实际工程师有帮助。第 5~7 章是为刚涉及到无线领域的现代数字信号处理工程师精心准备的。第 9 和第 10 章会像对工程师一样,对网络操作者和管理员有很大的吸引力。

如果在本科教学中使用这本书,指导老师可能需要集中讲解第 1~5 章,或第 1~4 章,外加第 8 章。在本科生课程的第二学期或是研究生课程中可以按水平讲述其他章节。同样,第 1、2、3、5、7、8 和第 9 章里有用的材料可以很容易加到标准的大学本科有关通信和网络原理的课程里去。在研究生水平上使用该书的话,我曾经成功地在一个标准的半学期内讲完了从第 1 章到第 8 章的内容。在第 9 章和第 10 章中,我收入了那些在实际网络实施和世界标准中重要的但很少编写到的信息。

如果没有几位前弗吉尼亚学院研究生的帮助和创造性,这本书是不可能写成的。我很高兴得到 Rias Muhamed, Varun Kapoor, Kevin Saldanha 和 Anil Doradla 的帮助和鼓励。他们是我在教授蜂窝无线电和个人移动通信课程时在课堂上认识的。Kevin Saldanha 还为这本书提供了照排版本(这可不是件小任务!)。在编辑和修改这本书中的一些章节时,这些学生的帮助是不可估量的,他们是在整个过程中不断给我鼓励的源泉。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, JoeLiberti, Dwayne Hawbaker, Marty Feuer - stein, Yingie Li, Ken Blackard, Victor Fung, Weifang Huang, Prabhakar Koushik, Orlando Landron, Francis Dominique 和 Greg Bump. Zhi gang Rong, Jeff Laster, Micael Bueher, Kerth Brafford, 和 Sandip Sandhu。

本书从几位业界评论家及其提供的实际材料中受益匪浅。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重要原始材料,以及他们提供的如何才能以最好的方式展现给学生和实际工程师面前的方法。Lucent Technologies 的 Marty Feuerstein 和 Cellular One 的 Mike Lord 提供了广泛的、全面的评论,这极大地提高了原稿的水平。Grayson Electronics 的技术职员也在本书的编写过程中提供了不少有实用价值的建议。

许多学术界的和无线通信领域的教师提供了非常有益的的建议。包括北加州州立大学的 J. Keith 教授和密苏里州罗兰大学(Missouri - Rolla)的 William H. Tranter 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。我很感激以上所有人的不可估量的贡献。同时,我还想感谢世界各地曾提供了很有价值的反馈和发现许多拼写错误的许多教师、学生和实际工程师。很希望在此版中这些拼写错误全部得到纠正。

我很高兴地感谢国家科学基金、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和友人的帮助,他们自从 1990 年开始就一直支持我们的研究和教育活动。是普杜大学(Purdue University)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

关通信的知识和如何完成一个研究项目。我很幸运能成为普杜大学里在毕业时获得工程和教育双学位的毕业生中的一员。

最后,很高兴提到我的家人和学生,他们能容忍我对这个项目的专注。还有电气和电子工程师协会(IEEE)的 Barbara Coburn 和 Jill Cals,他们协助我编写了电气和电子工程师协会(IEEE)的相同内容的自学教程。还有 Prentice Hall 的 Karen Gettman 和 Camille Trentacoste,他们负责了这项工作,并帮助我把这本书带到您的面前。

Theodors S. Roppaport

目 录

第 1 章 无线通信系统概述	(1)
1.1 移动无线通信发展	(1)
1.2 美国移动无线电话	(2)
1.3 全球移动无线系统	(4)
1.4 移动无线系统范例	(6)
1.4.1 寻呼系统	(8)
1.4.2 无绳电话系统	(9)
1.4.3 蜂窝移动电话系统	(9)
1.4.4 常用的几种移动电话系统的比较.....	(11)
1.5 蜂窝无线电和个人通信的发展趋势.....	(14)
问题与练习	(15)
第 2 章 关于蜂窝的概念:系统设计基础	(17)
2.1 概述.....	(17)
2.2 频率复用.....	(17)
2.3 信道分配策略.....	(20)
2.4 切换策略.....	(21)
2.4.1 优先切换.....	(23)
2.4.2 实际切换中需要注意的事项.....	(23)
2.5 干扰和系统容量.....	(25)
2.5.1 同频干扰和系统容量.....	(25)
2.5.2 邻频干扰.....	(28)
2.5.3 功率控制减小干扰.....	(29)
2.6 中继和服务等级.....	(30)
2.7 提高蜂窝系统容量.....	(39)
2.7.1 小区分裂.....	(39)
2.7.2 划分扇区.....	(41)
2.7.3 一种新的微小区概念.....	(44)
2.8 小结.....	(46)
问题与练习	(46)
第 3 章 移动无线电传播:大尺度路径损耗	(50)
3.1 概述.....	(50)
3.2 自由空间传播模型.....	(50)
3.3 电场与功率.....	(54)
3.4 三种基本传播机制.....	(56)
3.5 反射.....	(56)
3.5.1 电介质的反射.....	(57)

3.5.2	Brewster 角	(61)
3.5.3	理想导体的反射	(61)
3.6	地面反射(双线)模型	(62)
3.7	绕射	(66)
3.7.1	费涅尔区几何特征	(66)
3.7.2	刃形绕射模型	(68)
3.7.3	多重刃形绕射	(73)
3.8	散射	(73)
3.8.1	雷达有效截面模型	(74)
3.9	利用路径损耗模型进行实际链路预算设计	(74)
3.9.1	对数距离路径损耗模型	(75)
3.9.2	对数正态阴影	(76)
3.9.3	确定覆盖面积百分率	(78)
3.10	室外传播模型	(80)
3.10.1	Longley-Rice 模型	(81)
3.10.2	Durkin 模型:一个实例研究	(81)
3.10.3	Okumura 模型	(84)
3.10.4	Hata 模型	(87)
3.10.5	Hata 模型的 PCS 扩展	(88)
3.10.6	Walfish 和 Bertoni 模型	(88)
3.10.7	宽带 PCS 微蜂窝模型	(88)
3.11	室内传播模型	(90)
3.11.1	分隔损耗(同楼层)	(90)
3.11.2	楼层间分隔损耗	(92)
3.11.3	对数距离路径损耗模型	(93)
3.11.4	Ericsson 多重断点模型	(94)
3.11.5	衰减因子模型	(94)
3.12	建筑物信号穿透	(97)
3.13	射线跟踪和特定站址建模	(97)
	问题与练习	(98)
第 4 章	移动无线电传播:小尺度衰落和多径效应	(103)
4.1	小尺度多径传播	(103)
4.1.1	影响小尺度衰落的因素	(103)
4.1.2	多普勒频移	(104)
4.2	一个多径信道的冲激响应模型	(105)
4.2.1	带宽与接收功率之间的关系	(108)
4.3	小尺度多径测量	(113)
4.3.1	直接射频脉冲系统	(113)
4.3.2	扩频滑动相关器信道检测	(114)

4.3.3	频域信道探测	(116)
4.4	移动多径信道的参数	(117)
4.4.1	时间色散参数	(117)
4.4.2	相干带宽	(120)
4.4.3	多普勒扩展和相干时间	(121)
4.5	小尺度衰落类型	(123)
4.5.1	多径时延扩展产生的衰落效应	(123)
4.5.2	多普勒扩展引起的衰落效应	(125)
4.6	Rayleigh 和 Ricean 分布	(126)
4.6.1	Rayleigh 衰落分布	(126)
4.6.2	Ricean 衰落分布	(128)
4.7	多径衰落信道的统计模型	(130)
4.7.1	平坦衰落的 Clarke 模型	(130)
4.7.2	Clarke 和 Gans 衰落模型的仿真	(134)
4.7.3	电平交叉和衰落统计	(136)
4.7.4	双线 Rayleigh 衰落模型	(139)
4.7.5	Saleh 和 Valenzuela 室内统计模型	(139)
4.7.6	SIRCIM 和 SMRCIM 室内和室外统计模型	(140)
	问题与练习	(142)
第 5 章	移动无线电系统中的调制技术	(146)
5.1	调频与调幅	(146)
5.2	调幅	(147)
5.2.1	单边带调幅	(149)
5.2.2	导频单音 SSB	(150)
5.2.3	调幅信号的解调	(151)
5.3	角度调制	(153)
5.3.1	调频信号的频谱和带宽	(154)
5.3.2	调频调制方式	(155)
5.3.3	调频检波技术	(156)
5.3.4	一个调频信号带宽和信噪比(SNR)的折衷	(161)
5.4	数字调制概述	(163)
5.4.1	影响选择数字调制方式的因素	(163)
5.4.2	数字信号的带宽和功率谱密度	(165)
5.4.3	线型码	(166)
5.5	脉冲成形技术	(167)
5.5.1	消除符号间干扰的奈奎斯特(Nyquist)准则	(168)
5.5.2	升余弦滚降滤波器	(170)
5.5.3	高斯脉冲成形滤波器	(172)
5.6	调制信号的几何表示	(173)

5.7	线性调制技术	(175)
5.7.1	二进制相移键控(BPSK)	(176)
5.7.2	差分相移键控(DPSK)	(179)
5.7.3	四相相移键控(QPSK)	(180)
5.7.4	QPSK 发送和检测技术	(181)
5.7.5	交错 QPSK	(182)
5.7.6	$\pi/4$ QPSK	(184)
5.7.7	$\pi/4$ QPSK 发送技术	(184)
5.7.8	$\pi/4$ QPSK 检测技术	(186)
5.8	恒包络调制	(189)
5.8.1	二进制频移键控(BFSK)	(189)
5.8.2	最小频移键控(MSK)	(191)
5.8.3	高斯最小频移键控(GMSK)	(193)
5.9	线性和恒包络组合调制技术	(197)
5.9.1	多进制相移键控(MPSK)	(198)
5.9.2	多进制正交幅度调制(QAM)	(200)
5.9.3	多进制频移键控(MFSK)	(202)
5.10	扩频调制技术	(203)
5.10.1	伪随机(PN)序列	(204)
5.10.2	直接序列扩频(DS-SS)	(204)
5.10.3	跳频扩频(FH-SS)	(206)
5.10.4	直接序列扩频的性能	(207)
5.10.5	跳频扩频的性能	(209)
5.11	衰落和多径信道中的调制性能	(210)
5.11.1	在慢速、平坦衰落信道中数字调制的性能	(211)
5.11.2	频率选择性移动信道中的数字调制	(214)
5.11.3	衰落和干扰中 $\pi/4$ DQPSK 的性能	(215)
	问题与练习	(219)
第 6 章	均衡、分集和信道编码	(222)
6.1	概述	(222)
6.2	均衡原理	(223)
6.3	一种常用自适应均衡器	(224)
6.4	一种通信接收机的均衡器	(228)
6.5	均衡技术分类	(228)
6.6	线性均衡器	(230)
6.7	非线性均衡器	(232)
6.7.1	判决反馈均衡(DFE)	(232)
6.7.2	最大似然序列估值(MLSE)均衡器	(233)
6.8	自适应均衡算法	(234)

6.8.1	迫零算法	(236)
6.8.2	最小均方算法	(236)
6.8.3	递归最小二乘算法	(238)
6.8.4	算法小结	(239)
6.9	部分间隔均衡器	(240)
6.10	分集技术	(240)
6.10.1	选择分集的引入	(241)
6.10.2	最大比率合并的引入	(243)
6.10.3	实用空间分集的考虑	(244)
6.10.4	极化分集	(246)
6.10.5	频率分集	(248)
6.10.6	时间分集	(248)
6.11	RAKE 接收机	(249)
6.12	交织	(250)
6.13	信道编码原理	(251)
6.14	分组码	(252)
6.14.1	分组码举例	(254)
6.14.2	Reed-Solomon 码的实例研究	(255)
6.15	卷积码	(261)
6.15.1	卷积码的解码	(262)
6.16	编码增益	(263)
6.17	网格编码调制	(264)
	问题与练习	(264)
第 7 章	语音编码	(267)
7.1	概述	(267)
7.2	语音信号的特征	(267)
7.3	量化技术	(269)
7.3.1	均匀量化	(269)
7.3.2	非均匀量化	(270)
7.3.3	自适应量化	(271)
7.3.4	矢量量化	(271)
7.4	自适应差分脉冲编码调制	(272)
7.5	频域语音编码	(274)
7.5.1	子带编码	(274)
7.5.2	自适应变换编码	(276)
7.6	声码器	(277)
7.6.1	信道声码器	(277)
7.6.2	共振峰声码器	(278)
7.6.3	倒频谱声码器	(278)

7.6.4	语音激励声码器	(278)
7.7	线性预测编码	(279)
7.7.1	线性预测编码声码器	(279)
7.7.2	多脉冲激励 LPC	(280)
7.7.3	码激励 LPC	(281)
7.7.4	剩余激励 LPC	(282)
7.8	选择移动通信语音编解码器	(282)
7.9	GSM 编解码器	(285)
7.10	USDC 编解码器	(286)
7.11	语音编码器的性能评估	(287)
	问题与练习	(288)
第 8 章	无线通信多址技术	(291)
8.1	概述	(291)
8.1.1	多址技术概述	(292)
8.2	频分多址(FDMA)	(292)
8.3	时分多址(TDMA)	(295)
8.4	扩频多址(SSMA)	(298)
8.4.1	跳频多址(FHMA)	(298)
8.4.2	码分多址(CDMA)	(298)
8.4.3	混合扩频技术(HSST)	(300)
8.5	空分多址(SDMA)	(301)
8.6	分组无线电	(302)
8.6.1	分组无线电协议	(302)
8.6.2	载波检测多址(CSMA)协议	(305)
8.6.3	预留协议	(306)
8.6.4	分组无线电的截获效应	(306)
8.7	蜂窝系统的容量	(307)
8.7.1	蜂窝 CDMA 的容量	(311)
8.7.2	多小区 CDMA 的容量	(313)
8.7.3	空分多址的容量	(318)
	问题与练习	(321)
第 9 章	无线网络	(323)
9.1	概述	(323)
9.2	无线网和固定电话网的区别	(324)
9.2.1	公共交换电话网(PSTN)	(324)
9.2.2	无线网络的局限性	(326)
9.2.3	无线网络和 PSTN 的融合	(326)
9.3	无线网络的发展	(327)
9.3.1	第一代无线网络	(327)

9.3.2	第二代无线网络	(329)
9.3.3	第三代无线网络	(329)
9.4	固定网络传输层次	(330)
9.5	无线网络中的业务路由选择	(331)
9.5.1	电路交换	(331)
9.5.2	分组交换	(332)
9.5.3	X.25 协议	(332)
9.6	无线数据业务	(333)
9.6.1	蜂窝数字分组数据(CDPD)	(333)
9.6.2	高级无线数据信息系统(ARDIS)	(335)
9.6.3	RAM 移动数据(RMD)	(335)
9.7	公共信道信令(CCS)	(336)
9.7.1	CCS 中的分布式中心交换局	(336)
9.8	综合业务数字网(ISDN)	(337)
9.8.1	宽带 ISDN 和 ATM	(338)
9.9	7 号信令系统(SS7)	(339)
9.9.1	SS7 的网络服务部分(NSP)	(339)
9.9.2	SS7 的用户部分	(341)
9.9.3	SS7 中的信令流	(342)
9.9.4	SS7 的业务	(342)
9.9.5	SS7 的性能	(343)
9.10	SS7 的一个实例:全球蜂窝网络互联性	(343)
9.11	个人通信业务与个人通信网(PCS/PCN)	(345)
9.11.1	PCN 分组与电路交换	(345)
9.11.2	蜂窝分组交换体系	(346)
9.12	网络接入的协议	(349)
9.12.1	分组预留多址(PRMA)	(349)
9.13	网络数据库	(350)
9.13.1	移动性管理分布式数据库	(350)
9.14	通用移动通信系统(UMTS)	(351)
9.15	结束语	(352)
第 10 章	无线系统和标准	(353)
10.1	AMPS 和 ETACS	(353)
10.1.1	AMPS 和 ETACS 系统概述	(353)
10.1.2	AMPS 和 ETACS 中的呼叫处理	(354)
10.1.3	AMPS 和 ETACS 空中接口	(355)
10.1.4	N-AMPS	(358)
10.2	美国数字蜂窝标准(IS-54)	(358)
10.2.1	USDC 无线接口	(359)

10.2.2	美国数字蜂窝的派生标准(IS-94 和 IS-136)	(363)
10.3	全球移动系统(GSM)	(364)
10.3.1	GSM 业务和功能	(364)
10.3.2	GSM 系统体系结构	(365)
10.3.3	GSM 无线子系统	(367)
10.3.4	GSM 信道类型	(368)
10.3.5	GSM 的一个呼叫实例	(372)
10.3.6	GSM 帧结构	(372)
10.3.7	GSM 中的信号处理	(374)
10.4	CDMA 数字蜂窝标准(IS-95)	(377)
10.4.1	频率和信道规范	(377)
10.4.2	前向 CDMA 信道	(378)
10.4.3	反向 CDMA 信道	(383)
10.4.4	附加 14.4kbps 语音编码器的IS-95[ANS95]	(387)
10.5	无绳电话中的 CT2 标准	(388)
10.5.1	CT2 业务和功能	(388)
10.5.2	CT2 标准	(388)
10.6	欧洲数字无绳电话(DECT)	(389)
10.6.1	功能和特点	(389)
10.6.2	DECT 体系	(390)
10.6.3	DECT 功能概念	(391)
10.6.4	DECT 无线链路	(392)
10.7	PACS:个人接入通信系统	(392)
10.7.1	PACS 系统体系结构	(393)
10.7.2	PACS 无线接口	(393)
10.8	太平洋数字蜂窝(PDC)	(396)
10.9	个人手提电话系统(PHS)	(396)
10.10	美国 PCS 和 ISM 频段	(396)
10.11	美国无线微波频段电视	(397)
10.12	全球标准概况	(399)
	问题与练习	(401)
附录 A	中继理论	(404)
附录 B	链路中的噪声系数计算	(411)
附录 C	扩频 CDMA 的高斯近似	(414)
附录 D	Q,erf 和 erfc 函数	(431)
附录 E	数学公式表	(435)
附录 F	缩略词	(440)
附录 G	索引	(452)
附录 H	参考书目	(469)

第 1 章 无线通信系统概述

自 1897 年马可尼(Marconi)第一次展示了无线电使在英格兰海峡里行驶的船只保持连续不断的通信能力以来,运动中的通信能力已经得到举世瞩目的发展。自那以后,全世界的人们都在热切地盼望使用新的无线通信方法和途径。特别是在过去的十年里,无线移动通信在数字和射频电路制造技术方面的进步,在新的规模集成电路和其他使便携移动设备做得更小、更便宜、更可靠的小型化技术的推动下获得了巨大的发展。数字交换技术又推动了移动通信网络的大规模发展。这一趋势在下一个十年里会以更快地步伐发展。

1.1 移动无线通信发展

世界范围内移动无线通信的发展演变的简短回顾,对理解今后几十年里我们每个人都会拥有的蜂窝无线电和个人通信服务(PCS)是很有帮助的。对刚涉足蜂窝无线电领域的初学者理解政府调控部门和服务竞争对手,在新的无线系统、服务和技术发展中发挥的巨大作用是有帮助的。虽然本书不想讨论蜂窝无线电和个人通信中有关技术政策的问题,但是由于无线频谱的使用是由政府,而不是服务提供商、设备制造商、企业家和研究者控制的,所以有关的技术政策是新技术和服务发展中的基本推动力之一。如果一个政府想使自己的国家在迅速发展的无线个人通信领域中保持竞争力的话,那么不断地采用新技术是具有重大意义的。

无线通信由于其相关技术的保障,正在经历着它有史以来发展最快的时期。以前,移动通信领域的发展是缓慢的,和技术的进步紧密相连。向所有人提供无线通信能力的方案一直没有被人们构想出来,直到六、七十年代贝尔实验室提出了蜂窝的概念[Nob62]、[Mac79]、[You79]。随着 70 年代高度可靠的、小型化的、晶体射频电路的发展,无线通信的时代才到来。最近,全球蜂窝和个人通信系统接近指数曲线的发展,直接归功于 70 年代的新技术,现在只不过是发展更为成熟而已。将来的消费者使用的移动和便携通信系统的发展,将会与消费者的需求、数字处理、接入和网络方面的技术密切相关,同时受到无线频谱分配政策的影响。

下面的市场分析数据显示了无线通信用户数量是如何增长的。图 1.1 阐明了移动通信技术和 20 世纪其他受欢迎的发明相比,是怎样渗入我们的日常生活的。图 1.1 中有一点没有说明白,就是标有“移动电话”的曲线并不包括非话的移动无线应用,例如,寻呼、业余无线电、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,在美国获得许可证的非蜂窝无线系统拥有超过 1200 万的用户,这比当时蜂窝用户数目多两倍[FCC91]。图 1.1 显示了在移动电话的最初 35 年里只获得了很少的市场份额,这是由于所涉及到的技术的挑战和高额的成本造成的。但是,在过去的十年里,使用蜂窝电话的用户像使用电视和录像机的用户一样多了。

在 1934 年,美国已有 194 个城市警察部门和 58 个州警察局为了公众安全而采用了调幅(AM)移动通信系统。据估计,30 年代中期,在机动车上已安装有 5000 个无线电接收装置。

车辆点火装置的噪音是这批早期移动用户遇到的主要问题[Nob62]。在1935年,Edwin Armstrong第一次展示了频率调制(FM)技术,于是,自从30年代后期开始,调频已经成了世界上移动通信系统中使用的主要调制技术。第二次世界大战加速了制造及小型化技术的提高,这在战后大量的单向和双向无线电以及电视系统中得到了运用。美国移动用户的数目从1940年的几千很快上升到1948年的8.6万,1958年的69.5万和1962年的140万[Nob62]。60年代移动用户中的绝大多数没有接到公用交换电话网(PSTN)上,所以不能在移动车辆上直接拨打电话号码。随着民用频带(CB)和诸如车库门遥控开关、无绳电话等无绳设备的繁荣,1995年的移动和便携无线电用户的数量达一亿左右,占美国人口总数的37%。1991年的研究预计,美国投入使用的无绳电话介于2500万到4000万之间,并且到这个世纪之交,这个数量将会翻一倍[Rap91c]。蜂窝电话用户的数目从1984年的2.5万增长到1994年的1600万。从那以后,无线服务的用户数正以每年超过50%的速度增长。到1997年底,美国将会有几乎5000万的蜂窝移动用户。在21世纪的第一个二十年里,全世界将会有和有线电话用户数一样多的无线用户!

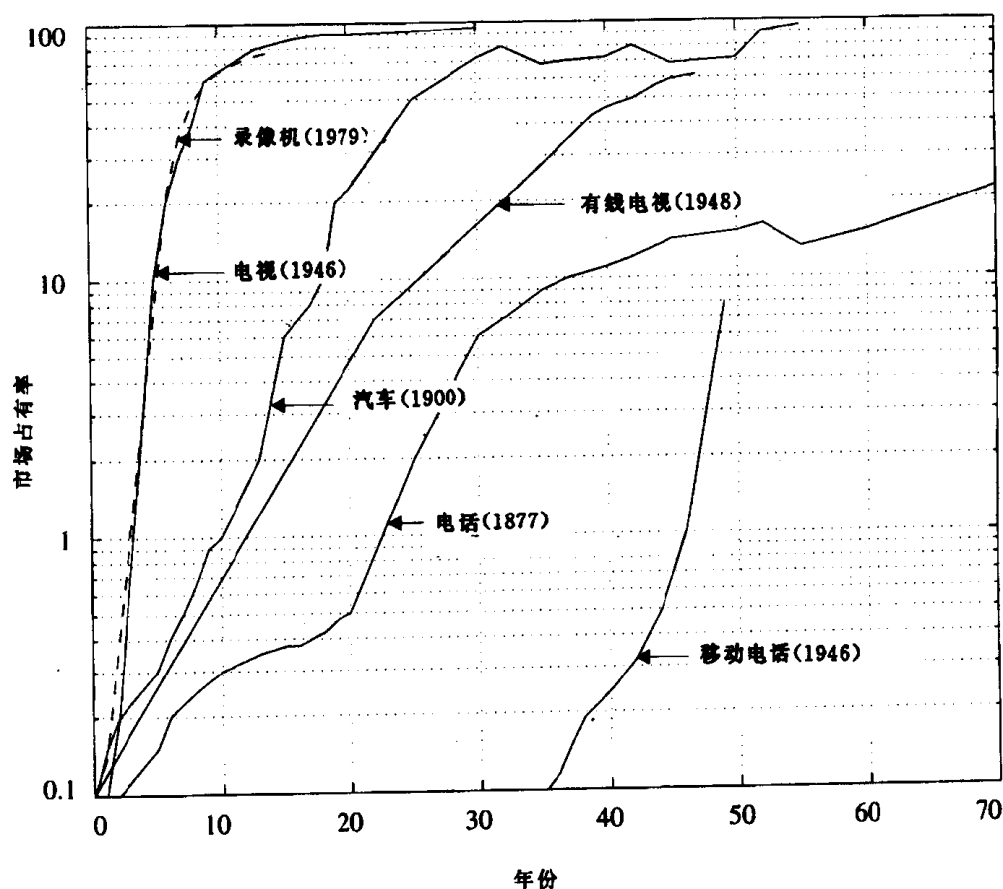


图 1.1 图例说明了与本世纪其他受欢迎的发明相比移动电话的发展

1.2 美国移动无线电话

在1946年,第一种公众移动电话服务被引进到美国的25个主要城市。每个系统使用单个大功率的发射机和高塔,覆盖地区超过50公里范围。虽然实际的电话级别的语音只占用了