



国外高校经典教材译丛



Springer

# 移动通信原理

## Principles of Mobile Communication

(原书第3版)

[美] Gordon L. Stüber 编著  
裴昌幸 王宏刚 吴广恩 译



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



国外高校经典教材译丛

# 移动通信原理

(原书第3版)

Gordon L. Stüber 编著

裴昌幸 王宏刚 吴广恩 译



机械工业出版社

本书共分13章,主要包括:概述、电波传播模型、同道干扰、数字调制和功率谱、平坦衰落信道中的数字信号、天线分集、均衡和干扰抵消、差错控制编码、扩频技术、多载波技术、频率规划技术、CDMA蜂窝系统、无线信道资源管理。本书最后附有概率论和随机过程的重要内容。

本书不仅可作为通信与信息系统、信号与信息处理等相关专业的研究生教材,而且可作为通信工程、电子信息工程、信息安全等专业的本科生教材。另外,本书对于有丰富工作经验的工程师和广大教师也不失为一本有价值的参考书。

Translation from English language edition:

Principles of Mobile Communication

by Gordon L. Stüber

Copyright© 2012 Springer New York

Springer New York is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

北京市版权局著作权合同登记图字:01-2012-7576号

## 图书在版编目(CIP)数据

移动通信原理:第3版/(美)斯图伯尔著;裴昌幸等译. —北京:机械工业出版社,2014.3

(国外高校经典教材译丛)

书名原文:Principles of mobile communication

ISBN 978-7-111-45732-9

I. ①移… II. ①斯… ②裴… III. ①移动通信-通信理论-高等学校-教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第023955号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:李馨馨 张利萍 责任校对:张艳霞

责任印制:李洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2014年6月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·33印张·821千字

0001—2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-45732-9

定价:89.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

## 译者序

《移动通信原理(第3版)》(《Principles of Mobile Communication(Third Edition)》)是美国乔治亚理工学院(Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia USA)著名移动通信专家 Gordon L. Stüber 教授的又一部力作,该书由国际著名出版社 Springer 出版。

本书是在第2版的基础上写成的,它将使读者对移动通信系统有一个更深刻的、全新的理解。数十年来,本书一直是作者在乔治亚理工学院教授“移动通信系统”课程的教材,是作者多年教学经验的积累和结晶。与同类教材相比,本书不仅强调数学建模和分析,而且提供了足够丰富的背景资料。本书不仅可作为通信与信息系统、信号与信息处理等相关专业的研究生教材,而且可作为通信工程、电子信息工程、信息安全等专业的大学本科生高年级教材。另外,本书对于有丰富工作经验的工程师和广大教师也不失为一本有价值的参考书。

本书共分13章:第1章概述,第2章电波传播模型,第3章共道干扰,第4章数字调制和功率谱,第5章平坦衰落信道中的数字信号,第6章天线分集,第7章均衡和干扰抵消,第8章差错控制编码,第9章扩频技术,第10章多载波技术,第11章频率规划技术,第12章 CDMA 蜂窝系统,第13章无线信道资源管理。本书最后附有概率论和随机过程的相关内容。

本书由裴昌幸教授、王宏刚讲师/博士和吴广恩讲师/博士翻译。另外,参加本书校对、整理工作的还有西安电子科技大学通信工程学院的教师和研究生,对于他们的辛勤劳动、认真工作和无私奉献在此表示衷心的感谢。

由于译者水平有限,加上时间仓促,在翻译过程中难免出现错误和不准确之处,还请读者和专家不吝赐教。

译者

2014年3月于西安

# 前 言

《移动通信原理(第3版)》是基于第2版写成的。与上一版本类似,本书主要提供了关于无线通信物理层严密的数学论述。本书的宗旨是完整、详细地阐述基本原理,给初学者提供对基本原理的了解,同时也满足研究生在这一领域进行深层次研究的需求。本书旨在强调适用于大部分无线标准的无线通信原理。本书不仅可以作为研究生的教材和参考书,而且可以为有经验的工程技术人员提供参考。

本书结构如下:

第1章对无线通信进行了全面介绍,内容包括各种无线标准的描述,蜂窝频率复用的基本概念和陆地移动无线电传播环境,链路预算以及蜂窝无线系统的覆盖和容量问题。

第2章全面介绍了无线传输模型,充分了解无线物理信道有助于无线系统的开发和部署。本章首先综述了无线蜂窝系统中传统的固定到移动信道用到的窄带衰落包络,移动网络中的移动到移动信道和同时用于高容量传输和接收的多天线(MIMO)信道技术。在窄带信道之后,本章还研究了宽带信道统计。无线系统开发和测试一定会用到无线信道仿真,本章详细地介绍了信道仿真技术。最后讨论了阴影和陆地移动无线环境的路径损耗模型。

第3章详细介绍了蜂窝频谱复用系统中主要影响频谱效率的共道干扰,以及在这类系统中接收机常见的多重共道干扰和整个干扰功率的概率分布。同时,还介绍了多种无线环境下共道干扰引起的链路性能损耗。

第4章是移动通信系统中使用的各种调制方案及其频谱特性。本章首先介绍了已调带通信号的数学模型,它适用于 Nyquist 脉冲整形;接着介绍了无线系统中的各种调制方案,包括单载波和多载波调制、线性和非线性调制技术,然后是调制信号的功率谱分布。虽然本质更偏重于数学,能量谱对于特定的不同信道传输模型也是一个重要的课题。

第5章讨论了窄带平坦衰落信道数字信号接收机的差错概率性能。对不同接收机的性能进行了分析,包括相干检测器,差分相干检测器和非相干检测器。

第6章分析了减少包络衰落的多天线分集技术。包括具有加性高斯白噪声衰落信道相干、差分相干、非相干接收检测器的各种分集技术的组合。还研究了当主要影响是共道干扰而不是噪声时的最佳组合方案。本章最后研究了传统波束成形和发射分集中多天线在发射器中的使用。

第7章讨论了符号间干扰(ISI)信道上数字信号的处理问题。ISI是典型的宽带陆地移动无线信道特征,本章首先描述了ISI的信道特性,然后分析了基于符号间均衡和序列估值的合并ISI技术,最后讨论了最大似然序列估计的差错概率。这一章还包括了ISI信道上减少共道干扰的共道解调。

第8章研究了无线系统的差错控制编码技术。首先讨论了基本分组码,包括空时分组码,以及卷积码、解卷积码的Viterbi和BCJR算法,然后是网格编码调制。本章详细讨论了AWGN信道关于卷积码和网格编码设计以及性能分析,还分析了平坦衰落信道和衰减ISI信道。最后讨论了空时网格编码以及Turbo码。

第9章讨论了扩展频谱技术,首先分析了直接序列扩频和跳频扩频技术,然后详细研究了扩频序列,包括直接序列扩频语音干扰的影响,宽带信道 RAKE 接收机的性能。最后讨论了 CDMA 多用户检测。

第10章介绍了多载波技术。首先分析了频率选择性信道的 OFDM 性能和残余符号间干扰 (ISI) 的影响以及残余符号间干扰 (ISI) 消除的问题。然后介绍了单载波频域均衡 (SC - FDE) 技术、前向和反向链路上的正交频分多址 (OFDMA) 技术,最后是关于单载波频分多址 (SC - FDMA) 的讨论。

第11章研究了蜂窝系统中的频率规划技术。首先介绍了小区扇区化、小区分裂和复用分割。接着讨论了 OFDMA 中的无线规划,基于集群规划的分层覆盖结构。最后介绍了宏分集 TDMA 蜂窝结构。

第12章介绍了 CDMA 系统中的码分多址技术以及容量和功率控制,并且对 CDMA 蜂窝系统的宏分集层次结构以及性能进行了讨论。

第13章介绍了无线资源管理。首先介绍了基本的软切换和硬切换。接着介绍了关于链路质量评估的主要问题,包括信号强度平均、速率估计和速率自适应硬切换算法。本章还详细分析了硬切换和软切换技术。最后以接收到的载波与干扰加噪声比 (CINR) 估计结束。

附录主要介绍了概率和随机过程。这部分知识对整本书的学习都非常有用,因此必须很好地理解该部分内容。

本书使用说明如下:

自1993年以来,本书作为我执教的乔治亚理工学院理科无线通信研究生课程教材。通常我会把研究生水平的数字通信作为本书的前期教材,然而对于大致了解本书每一章背景知识的读者,也可以不用先学那本书。课程虽包括每一章的介绍材料,但需要时特别的材料可以跳过。在我自己的课堂上,我会提前衡量一下学生的数学水平,从而决定是否做相应的调整。

本书内容远大于一个学期的教学内容。然而,我相信教师可以根据教学情况选择适合的部分。我有一个学期的教学计划安排,内容包括:讲解第1章、第2章(可跳过高深的部分)和第3章的前两节,第4章略去调制波形,必须讲解基本的信号空间表示有关内容。然而,这样作的话,大部分学生将不便理解连续相位调制或数字调制波形的功率谱。同样,第5章必须讲解基本信号检测,这些内容对第6章多天线技术的深入理解是相当重要的。最后讲解第6章。对于一个学期的教学,本书提供的内容可以根据时间和兴趣有多种选择。比如,可以选讲第9章与第11章的扩频和 CDMA,或者第10章的 OFDM/OFDMA 等。

我感谢所有对这本书以及之前版本的出版提供帮助的人们。特别感谢维多利亚大学的评阅人 Vijay Bhargava 和 Lucent 技术专家 Sanjiv Nanda,他们对本书第1版做了很大的贡献。我还要特别感谢伊利诺斯大学的 Upamanyu Madhow 和南加州大学的 Keith Chugg,他们对这本书进一步的改进和提高做了很大的贡献。还要特别感谢我过去和现在的博士生们,他们也对这本书作出了很大的贡献。在此,还要感谢 Wern - HoSheen、Khalid Hamied、Mark Austin、Jeff (Lihbor) Yiin、Ming - Ju Ho、Li - Chun (Robert) Wang、Krishna Narayanan、Dukhyun Kim、Jinsoup Joung、John (Yongchae) Kim 和 AlendaZajie。

# 目 录

译者序

前言

第1章 概述	1
1.1 无线系统及其标准	1
1.1.1 第一代蜂窝系统	1
1.1.2 第二代蜂窝系统	2
1.1.3 第三代蜂窝系统	6
1.1.4 第四代蜂窝系统	8
1.1.5 无绳电话系统	8
1.1.6 无线局域网和个域网(PAN)	9
1.2 频率复用和蜂窝的概念	10
1.3 移动无线电波的传播环境	12
1.4 共道干扰和噪声	13
1.5 接收灵敏度和链路预算	14
1.5.1 干扰加载	15
1.5.2 阴影和切换增益	16
1.6 覆盖	18
1.7 频谱效率和容量	19
1.7.1 带宽效率	20
1.7.2 空间效率	20
1.7.3 中继效率	21
1.7.4 容量	22
习题	23
第2章 电波传播模型	26
2.1 固定到移动信道	27
2.1.1 包络相关性	29
2.1.2 多普勒频谱	31
2.1.3 接收包络和相位的分布	34
2.1.4 包络相关性和频谱	37
2.1.5 电平通过率和衰落持续期	40
2.1.6 空时相关	43
2.2 移动到移动信道	47
2.3 多人多出(MIMO)信道	49
2.3.1 MIMO信道分析模型	50

2.3.2	克罗内克(kronecker)模型	50
2.3.3	Weichselberger 模型	51
2.4	多径衰落信道的统计特性	52
2.4.1	统计信道的相关函数	53
2.4.2	信道的分类	53
2.4.3	功率延迟分布和相干带宽	54
2.5	多径衰落信道的仿真	56
2.5.1	高斯白噪声滤波模型	56
2.5.2	正弦函数累加法	60
2.5.3	多径非相关衰落包络	63
2.5.4	宽带仿真模型	65
2.5.5	移动到移动仿真模型	68
2.5.6	符号间隔模型	71
2.6	阴影	73
2.6.1	阴影仿真	75
2.6.2	复合阴影衰落的分布	76
2.7	路径损耗模型	77
2.7.1	自由空间路径损耗	77
2.7.2	平坦地面路径损耗	77
2.7.3	实验路径损耗模型	79
附录 1	COST207 信道模型	86
附录 2	COST259 信道模型	87
附录 3	式(2-297)的推导	88
附录 4	式(2-314)的推导	88
	习题	89
<b>第 3 章</b>	<b>共道干扰</b>	<b>98</b>
3.1	多个对数正态干扰	99
3.1.1	Fenton - Wilkinson 方法	99
3.1.2	Schwartz 和 Yeh 方法	101
3.1.3	Farley 方法	102
3.1.4	数值比较	103
3.2	对数正态/多个对数正态干扰	104
3.3	莱斯/多重瑞利干扰	105
3.4	对数正态 Nakagami/多重对数正态 Nakagami 干扰	106
3.4.1	相同统计特性的干扰	107
3.4.2	不同统计特性的共道干扰	109
	习题	110
<b>第 4 章</b>	<b>数字调制及其功率谱</b>	<b>112</b>
4.1	带通调制信号的表示	112



4.1.1	向量空间表示	113
4.1.2	格莱姆-施密特正交化流程	114
4.1.3	信号能量和相关性	116
4.2	奈奎斯特脉冲成形	117
4.3	正交幅度调制(QAM)	121
4.3.1	QAM 信号星座图	121
4.3.2	PAM 信号星座图	122
4.4	相移键控调制(PSK)	122
4.4.1	交错四相相移键控(OQPSK)	123
4.4.2	$\pi/4$ -差分四相相移键控( $\pi/4$ -DQPSK)	124
4.5	正交调制及其变形	125
4.5.1	正交FSK调制	125
4.5.2	二进制正交码	126
4.5.3	双正交信号	126
4.5.4	正交多脉冲调制	127
4.6	正交频分复用(OFDM)	127
4.6.1	自适应比特分配和离散多音调制	128
4.6.2	多分辨率调制	129
4.6.3	基于DFT的OFDM基带调制	129
4.7	连续相位调制(CPM)	131
4.7.1	全响应CPM	132
4.7.2	最小频移键控	133
4.8	部分响应CPM	134
4.8.1	相位状态	135
4.8.2	高斯最小频移键控(GMSK)	137
4.8.3	线性化高斯最小频移键控(GMSK)	138
4.8.4	平滑调频(TFM)	140
4.9	功率谱	142
4.9.1	复包络的功率谱密度	143
4.9.2	QAM的功率谱密度	147
4.9.3	PSK的功率谱密度	148
4.9.4	OQPSK的功率谱密度	148
4.9.5	$\pi/4$ -DQPSK的功率谱密度	148
4.9.6	OFDM的功率谱密度	149
4.9.7	全响应CPM的功率谱密度	152
4.9.8	GMSK与TFM的功率谱密度	157
	习题	158
<b>第5章</b>	<b>平坦衰落信道中的数字信号</b>	<b>164</b>
5.1	接收信号的向量空间表示	164

5.2	加性高斯白噪声下确知信号的检测 .....	166
5.3	差错概率 .....	169
5.3.1	成对差错概率 .....	170
5.3.2	差错概率上限 .....	170
5.3.3	差错概率下限 .....	171
5.3.4	比特与符号差错概率 .....	172
5.3.5	旋转与转换 .....	173
5.4	PSK 的差错概率 .....	174
5.4.1	BPSK 的差错概率 .....	174
5.4.2	QPSK 和 OQPSK 的差错概率 .....	174
5.4.3	$M$ -PSK 的差错概率 .....	175
5.4.4	存在瑞利衰落的差错概率 .....	176
5.4.5	差分 PSK .....	177
5.5	PAM 和 QAM 的差错概率 .....	177
5.5.1	$M$ -PAM 的差错概率 .....	177
5.5.2	$M$ -QAM 的差错概率 .....	179
5.6	正交信号的差错概率 .....	180
5.6.1	正交信号 .....	180
5.6.2	双正交信号 .....	181
5.7	OFDM 的差错概率 .....	181
5.8	MSK 的差错概率 .....	185
5.9	差分检测 .....	185
5.9.1	二进制 DPSK .....	185
5.9.2	$\pi/4$ -DQPSK 的差分检测 .....	187
5.10	非相干检测 .....	188
5.11	CPM 信号检测 .....	191
5.11.1	相干 CPM 解调器 .....	192
5.11.2	非相干 CPM 解调器 .....	192
	习题 .....	193
<b>第 6 章</b>	<b>天线分集技术</b> .....	<b>197</b>
6.1	分集合并 .....	198
6.2	选择式合并 .....	198
6.3	最大比合并(MRC) .....	200
6.4	等增益合并(EGC) .....	202
6.5	切换式合并 .....	204
6.6	使用等增益合并的差分检测 .....	206
6.7	非相干平方律合并 .....	207
6.8	最优合并 .....	209
6.8.1	最优合并的性能 .....	211

6.8.2	仅目标信号衰落	212
6.8.3	目标信号和干扰信号均衰落	213
6.9	经典的波束成形	216
6.10	发射分集	218
6.10.1	Alamouti 发射分集方案	218
6.10.2	$2 \times L$ 分集	219
6.10.3	实施话题	220
	习题	221
<b>第7章</b>	<b>均衡和干扰抵消</b>	<b>224</b>
7.1	ISI 信道模型	224
7.2	具有 AWGN 的 ISI 信道最大似然接收机	225
7.2.1	离散时间白噪声信道模型	226
7.2.2	具有分集的慢衰落 ISI 信道	230
7.2.3	$T/2$ 间隔的接收机	231
7.3	符号与符号均衡器	232
7.3.1	线性均衡器	232
7.3.2	判决反馈均衡器 (DFE)	240
7.4	序列估计	242
7.4.1	最大似然序列估计 (MLSE)	242
7.4.2	延迟判决反馈序列估计	246
7.4.3	简化状态序列估计	248
7.5	ISI 信道上的 MLSE 差错概率	248
7.5.1	静态 ISI 信道	250
7.5.2	衰落 ISI 信道	251
7.6	$T/2$ 间隔 MLSE 接收机的差错概率	254
7.6.1	$T$ 间隔 MLSE 接收机	254
7.6.2	$T/2$ 间隔 MLSE 接收机	255
7.6.3	定时相位灵敏度	255
7.6.4	实际的 $T/2$ 间隔 MLSE 接收机	257
7.7	共信道解调	258
7.7.1	系统和信道模型	258
7.7.2	联合最大似然序列估计	259
7.7.3	离散时间 MIMO 信道模型	260
7.7.4	维特比算法	262
7.7.5	成对差错概率	263
7.7.6	$T/2$ 间隔的 MIMO J-MLSE 接收机	263
7.7.7	干扰抑制合并 MLSE 接收机	268
7.7.8	实例	270
附录 1	式(7-202)的推导	271

习题	272
<b>第8章 差错控制编码</b>	<b>276</b>
8.1 分组码	278
8.1.1 二进制分组码	278
8.1.2 空时分组码	281
8.2 卷积码	286
8.2.1 编码器	286
8.2.2 状态图、网格图和重量分布	287
8.2.3 递归系统卷积码(RSC)	289
8.2.4 维特比算法	291
8.2.5 BCJR 算法	292
8.3 网格编码调制	296
8.3.1 编码器	296
8.3.2 分割映射	297
8.4 AWGN 信道上的编码性能	298
8.4.1 卷积码的联合界	299
8.4.2 卷积码的联合 Chernoff 界	301
8.5 交织	302
8.5.1 分组交织	302
8.5.2 卷积交织	303
8.6 交织型平坦衰落信道上的编码性能	304
8.6.1 带有符号交织的 TCM	304
8.6.2 比特交织编码调制	307
8.7 空时编码性能	307
8.7.1 空时网格码	309
8.7.2 STTC 网格图和维特比算法	310
8.8 Turbo 码	311
8.8.1 PCCC 编码器	311
8.8.2 PCCC 译码器	312
8.8.3 SCCC 编码器和译码器	314
8.8.4 重量分布	314
习题	317
<b>第9章 扩频技术</b>	<b>320</b>
9.1 扩频基本原理	320
9.1.1 直接序列(DS)扩频	320
9.1.2 跳频(FH)扩谱	323
9.2 扩频序列	324
9.2.1 扩频波形	325
9.2.2 $m$ 序列	326

9.2.3	Gold 序列	328
9.2.4	Kasami 序列	329
9.2.5	Barker 序列	330
9.2.6	Walsh - Hadmard 序列	330
9.2.7	可变长正交码	331
9.2.8	补码键控(CCK)	331
9.3	直扩信号的功率谱密度	332
9.4	单频干扰下 DS/QPSK 的性能	334
9.4.1	短码	337
9.4.2	短码设计	341
9.4.3	长码	342
9.5	频率选择性衰落信道上的直接序列(DS)扩频	343
9.5.1	RAKE 接收机	344
9.5.2	RAKE 接收机处理 DS/BPSK 信号的差错概率	346
9.6	CDMA 多用户检测	349
9.6.1	最佳 CDMA 多用户检测	349
9.6.2	解相关检测器	351
9.6.3	最小均方误差检测器	351
	习题	352
<b>第 10 章</b>	<b>多载波技术</b>	<b>357</b>
10.1	正交频分复用	358
10.1.1	OFDM 在 ISI 信道中的性能	359
10.1.2	残留 ISI 消除(RISIC)	363
10.1.3	RISIC 算法的性能	364
10.2	单载波频域均衡	367
10.3	正交频分多址(OFDMA)	371
10.3.1	OFDMA 前向链路	371
10.3.2	OFDMA 反向链路	375
10.3.3	峰均功率比	375
10.4	单载波频分多址	375
10.4.1	交织 FDMA(I - FDMA)	376
10.4.2	集中式 FDMA(L - FDMA)	377
10.4.3	循环保护间隔和 SC - FDE	378
10.4.4	峰均比	378
	习题	380
<b>第 11 章</b>	<b>频率规划技术</b>	<b>381</b>
11.1	小区扇形化	381
11.2	传统小区分裂	383
11.2.1	复用分割	384

11.2.2 在小区分裂中使用复用分割 .....	385
11.3 OFDMA 无线规划 .....	385
11.4 区群规划的分层架构 .....	386
11.4.1 系统架构 .....	387
11.4.2 覆盖的微小区规划算法 .....	388
11.4.3 区群规划架构的性能分析 .....	391
11.5 宏分集架构 .....	400
11.5.1 共道干扰中断 .....	401
11.5.2 阴影相关性 .....	402
11.5.3 数值计算实例 .....	403
习题 .....	405
<b>第 12 章 CDMA 蜂窝系统</b> .....	<b>408</b>
12.1 CDMA 功率控制 .....	408
12.2 CDMA 蜂窝系统的容量 .....	409
12.2.1 反向链路容量 .....	410
12.2.2 前向链路容量 .....	415
12.2.3 非理想的功率控制 .....	416
12.3 CDMA 蜂窝系统的宏分集分层架构 .....	417
12.3.1 系统模型 .....	418
12.3.2 反向链路分析 .....	418
12.3.3 前向链路分析 .....	423
附录 1 式(12-75)的推导 .....	430
附录 2 式(12-76)的推导 .....	431
习题 .....	432
<b>第 13 章 无线信道资源管理</b> .....	<b>434</b>
13.1 基于信号强度的硬切换算法 .....	437
13.2 基于导频干扰比的软切换算法 .....	438
13.3 平均信号强度 .....	439
13.3.1 选择合适的窗口长度 .....	439
13.3.2 选择合适的平均采样数 .....	441
13.4 速度估计 .....	442
13.4.1 电平通过率估计器 .....	443
13.4.2 协方差近似法 .....	445
13.4.3 速度估计器的灵敏度 .....	447
13.5 速度自适应硬切换算法 .....	451
13.5.1 $N_A$ 的影响 .....	451
13.5.2 $\alpha$ 和 $W_f$ 的拐角效应与灵敏度 .....	452
13.5.3 速度自适应切换的性能 .....	453
13.6 硬切换分析 .....	453

13.7	CDMA 软切换分析	458
13.7.1	系统模型和分析	458
13.7.2	数值结果	464
13.8	基于 CINR 的链路质量测量	471
13.8.1	信号质量估计的离散时间模型	471
13.8.2	基于训练序列的 $C/(I+N)$ 估计	473
附录 1	式(13-43)和式(13-58)的推导	476
	习题	477
附录	概率和随机过程	478
A.1	条件概率与贝叶斯定理	478
A.1.1	全概率	479
A.1.2	贝叶斯定理	479
A.2	期望、矩和矩生成函数	479
A.3	一些有用的概率分布	481
A.3.1	离散分布	481
A.3.2	连续分布	482
A.4	cdfc 的上限	487
A.4.1	切比雪夫(Chebyshev)上限	487
A.4.2	丘诺夫(Chernoff)上限	487
A.5	随机过程	489
A.5.1	矩和相关函数	490
A.5.2	互相关和互协方差	493
A.5.3	复随机过程	494
A.5.4	功率谱密度	495
A.5.5	随机过程的线性系统的过滤	496
A.5.6	循环平稳随机过程	497
A.5.7	离散随机过程	498
参考文献		500

# 第1章 概述

自从20世纪80年代初第一代蜂窝移动电话系统投入使用以来,无线通信系统及其业务经历了飞速的发展。第一代蜂窝和无绳电话系统基于模拟调频技术,用于承载窄带电路交换语音业务。第一代移动服务运营商经过了指数式的增长,80年代后期最大的市场上容量已经达到了限值。在市场的强烈需求下,第二代数字蜂窝系统(2G)在90年代初引入,直到今天还在世界范围内广泛应用。第二代蜂窝系统基于TDMA或CDMA技术,最初设计用来携带电路交换的语音和数据。在90年代,在电路交换之外,2G还演进了基于报文交换的数据业务。这些具有增强数据传输功能的2G蜂窝系统后来被称为2.5G系统。第三代蜂窝系统(3G)在2000年后被引进,不仅可以同时支持语音和数据,而且数据传输速率更高。提高的数据速率,辅以地理位置信息,依赖地域限制的服务得到了发展。现在,基于VoIP和超宽带连接(千兆峰速度)的4G蜂窝系统已经开始发展。大部分都是基于多载波调制/多路复用技术,如正交频分多址(OFDMA),或先进的单载波调制/多路复用技术,如单载波频分多址(SC-FDMA)。

无线通信系统和服务已经广泛应用于全世界,其中用得最广的还是全球移动通信系统(GSM)。到2010年,GSM在全球60亿人口中已拥有40亿的用户。同样,通常被称为WiFi的应用IEEE 802.11a/b/g的无线局域网也在世界范围内广泛使用。今天我们拿的手持设备或者通过无线服务提供商(CSP),或者通过WiFi接入互联网享受服务提供商(ISP)提供的VoIP服务。大部分无线服务提供商已经基于两个标准中的一个部署了3G网络。一个是3GPP系列的GSM/GPRS/EDGE/WCDMA/HSPA,这部分全球大概占有80%的市场;另一个是3GPP2系列的IS-95A/cdma20001x/cdma2000EV-DO,占有全球剩余的20%的市场。为了满足全球漫游的语音服务,有些手持设备同时内嵌GSM和IS-95A的收发器。2010年3G中WCDMA/HSPA和IS-95B/EVDO各占一半,大概5亿用户。3G的HSPA+标准的单载波技术在5MHz带宽下行速度峰值达到21Mbit/s。目前,4G移动系统已经开始商用,LTE和LTE-A都在开发中。与3G基于CDMA技术不同,4G是基于OFDMA和SC-FDMA技术。LTE-A在5MHz带宽下行速度峰值达到了22Mbit/s。由于在下行速度峰值方面LTE-A与HSPA+相比优势并不明显,所以看来3G网络还要运行一段时间。

## 1.1 无线系统及其标准

尽管这本教材的主旨是为了学习无线通信的基本原理,但了解一些无线系统和标准的历史与演进也是十分有用的。所以接下来,我们简短地描述一下已经发展或正在发展应用于无线通信系统、无绳电话系统、无线局域网或无线个人区域网的主要标准。

### 1.1.1 第一代蜂窝系统

在20世纪70年代初期,出现了以合理的成本在800/900MHz频带上配置移动通信系统所需的无线电技术。1976年,国际无线电大会批准了在800/900MHz频段对蜂窝电话的频率



分配方案,使得蜂窝系统进入商用阶段。在 20 世纪 80 年代早期,许多国家使用了基于频分复用和模拟调频技术的第一代蜂窝系统。在频分复用方式中,每个载波占用一个信道。当移动台接入系统时,事实上分配了两个载波(信道),一个是前向链路(基站到移动台),一个是反向链路(移动台到基站)。前向和反向载波频率的分离对于双工通信的实现是必需的,一个复杂排列的滤波器组隔离了前向和反向信道,阻止了无线接收机的自身拥塞。

1979 年,第一代模拟蜂窝系统,即日本电话电报(NTT)系统开始运作。1981 年,爱立信无线电系统公司部署了北欧移动电话(NMT)900 系统。1983 年,AT&T 在芝加哥进行了高级移动电话服务(AMPS)系统试验。另一些第一代模拟系统包括欧洲的 TACS、ETACS、NMT450、C-450、RTMS 和 Radiocom 2000,日本的 JTACS/NTACS 在 20 世纪 80 年代初期也开始应用。NTT、NMT 和 AMPS 的基本参数见表 1-1。所有的 1G 系统现在都已经被淘汰了。

表 1-1 第一代蜂窝系统标准

特 性	NTT	NMT	AMPS
频段 RL/FL <sup>①</sup> /MHz	925-940/870-885 915-918.5/860-863.5 922-925/867-870	890-915/917-950	824-849/869-894
载波间隔/kHz	25/6.25 6.25 6.25	12.5 <sup>②</sup>	30
信道数	600/2400 560 280	1999	832
调制	模拟调频	模拟调频	模拟调频

注:1. RL = 反向连接,FL = 前向连接;

2. 使用交叠信道的频率交织,其中信道间隔为标准信道宽度的一半。

### 1.1.2 第二代蜂窝系统

第二代数字蜂窝系统是 20 世纪 80 年代与 90 年代初发展的,在 90 年代得到了广泛应用,包括欧洲的 GSM/DCS1800/PCS1900 标准,日本的 PDC 标准以及美国的 IS-54/136 和 IS-95 标准。这些标准的空中接口参数归纳在表 1-2 和表 1-3 中,每一个表后都附有简单的说明。

表 1-2 第二代蜂窝系统(2G)标准(GSM 和 IS-54/136)

特 性	GSM/DCS1800/PCS1900	IS-54/136
频段 RL/FL <sup>①</sup> /MHz	GSM:890-915/ 935-960 DCS1800:1710-1785/ 1805-1880 PCS1900:1930-1990/ 1850-1910	824-849 869-894 1930-1990/ 1850-1910
多址接入方式	F/TDMA	F/TDMA
载波间隔/kHz	200	30
调制	GMSK	$\pi/4$ -DQPSK
波特率/(kbit/s)	270.833	48.6
帧长/ms	4.615	40
Slots/帧	8/16	3/6