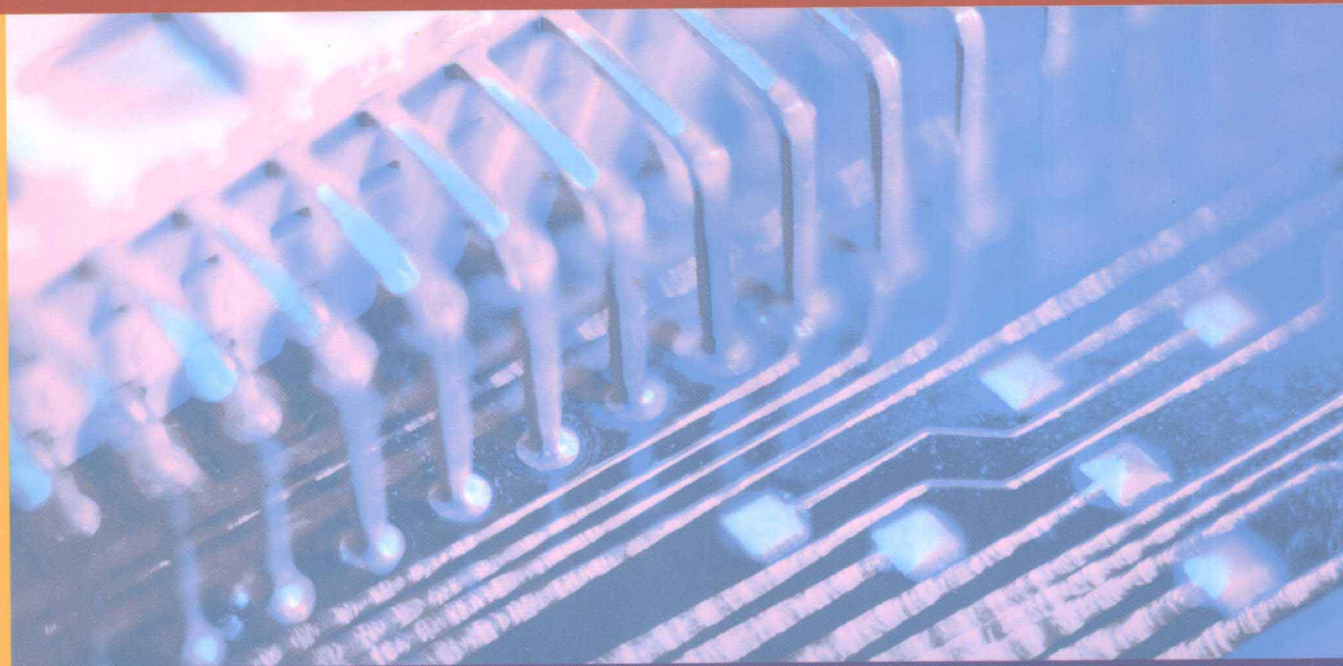


高等院校信息与通信工程系列教材

移动通信原理与技术



王华奎 李艳萍 张立毅 王鸿斌 李鸿燕 编著

清华大学出版社

高等院校信息与通信工程系列教材

移动通信原理与技术

王华奎 李艳萍 张立毅 王鸿斌 李鸿燕 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书较系统、详细地介绍了移动通信的原理和实际的移动通信系统。全书共 16 章,分为基础篇和技术篇。基础篇(第 1~7 章)为移动通信的理论基础,包括移动通信的电波传播、语音编码、信道编码、调制技术、扩频通信、组网技术以及分集与均衡技术;技术篇(第 8~16 章)介绍第二代和第三代移动通信系统的实现与应用,包括 GSM/GPRS 系统、IS-95 CDMA 系统、卫星移动通信以及 WCDMA 系统、cdma2000 系统、TD-SCDMA 系统,并对第三代和第四代移动通信的一些热点技术(软件无线电、智能天线、多用户检测、OFDM、MIMO 以及 MIMO-OFDM 技术等)做了介绍。

本书力求兼顾移动通信的基础理论和应用系统,内容由浅入深,可作为信息与通信及相关专业大学本科高年级学生或研究生的教材,也可作为从事移动通信领域的研究、开发和维护的专业技术人员的主要技术参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

移动通信原理与技术/王华奎等编著. —北京:清华大学出版社,2009.1
(高等院校信息与通信工程系列教材)
ISBN 978-7-302-18586-4

I. 移… II. 王… III. 移动通信—高等学校—教材 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 145004 号

责任编辑:王一玲 陈志辉

责任校对:白 蕾

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:43.5 字 数:1020 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版 印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:59.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:022095-01

高等院校信息与通信工程系列教材编委会

主 编：陈俊亮

副 主 编：李乐民 张乃通 邬江兴

编 委 （排名不分先后）：

王 京 韦 岗 朱近康 朱世华

邬江兴 李乐民 李建东 张乃通

张中兆 张思东 严国萍 刘兴钊

陈俊亮 郑宝玉 范平志 孟洛明

袁东风 程时昕 雷维礼 谢希仁

责任编辑：陈国新

出版说明

信息与通信工程学科是信息科学与技术的重要组成部分。改革开放以来,我国在发展通信系统与信息系统方面取得了长足的进步,形成了巨大的产业与市场,如我国的电话网络规模已位居世界首位,同时该领域的一些分支学科出现了为国际认可的技术创新,并得到了迅猛的发展。为满足国家对高层次人才的迫切需求,当前国内大量高等学校设有信息与通信工程学科的院系或专业,培养大量的本科生与研究生。为适应学科知识不断更新的发展态势,他们迫切需要内容新颖又符合教改要求的教材和教学参考书。此外,大量的科研人员与工程技术人员也迫切需要学习、了解、掌握信息与通信工程学科领域的基础理论与较为系统的前沿专业知识。为了满足这些读者对高质量图书的渴求,清华大学出版社组织国内信息与通信工程国家级重点学科的教学与科研骨干以及本领域的一些知名学者、学术带头人编写了这套高等院校信息与通信工程系列教材。

该套教材以本科电子信息工程、通信工程专业的专业必修课程教材为主,同时包含一些反映学科发展前沿的本科选修课程教材和研究生教学用书。为了保证教材的出版质量,清华大学出版社不仅约请国内一流专家参与了丛书的选题规划,而且每本书在出版前都组织全国重点高校的骨干教师对作者的编写大纲和书稿进行了认真审核。

祝愿《高等院校信息与通信工程系列教材》为我国培养与造就信息与通信工程领域的高素质科技人才,推动信息科学的发展与进步做出贡献。

北京邮电大学

陈俊亮

2004年9月

前 言

移动通信是目前通信技术中发展最快的领域之一,对人类的生活和社会的发展产生了重大影响。尤其是近 20 年来,移动通信在微电子技术基础上与计算机技术密切结合,正在产生革命性飞跃,各种新技术,如 CDMA、MIMO 及 OFDM 等层出不穷。我国移动电话用户数每年几乎比前一年翻一番,我国移动通信网迅速发展成全球第一大网,运营取得了举世瞩目的成就。随着全球 3G 发展加速和我国 TD-SCDMA 技术日趋成熟,我国 3G 网络建设必将快速展开。因此,业界人士很有必要熟悉并掌握移动通信技术,尤其是第三代移动通信技术。

面对这种形势,许多院校为了培养移动通信领域的科技人才,先后为本科生和研究生开设了“移动通信”课程,迫切需要一本适应学科发展和教学改革要求的高水平的移动通信教材,本书试图朝着这一目标作出努力与尝试。

本书按基础篇和技术篇组织内容编写。基础篇着力解决各种移动通信系统的共性基础问题,内容讲得较深较透,利于读者打好理论基础;技术篇着重阐述当前和即将实施的移动通信系统的个性问题,内容组织得广泛一些,使读者对现代移动通信领域中的关键技术、发展概貌及趋势有一个基本了解。这种组织结构使读者易于了解移动通信中庞大知识体系的脉络结构及内在联系,也方便组织教学,很好地处理了厚基础和宽口径的关系,顺应当前教学改革发展的潮流。

基础篇介绍移动通信发展过程中比较成熟的技术,侧重于介绍移动信道的基本特征、移动通信的信源编码(语音编码)、信道编码、调制与解调技术、扩频与解扩技术、均衡技术与分集合并技术以及移动通信组网技术等。这部分内容在论述上着重阐明移动通信的基本原理和基本概念,尽量避免抽象的理论表述和复杂的公式推导,力求做到深入浅出,通俗易懂,重点突出,便于自学。

技术篇主要介绍现代移动通信领域中涵盖的各种技术,既包括已经成熟的移动通信技术,也包括最新研究出来,甚至是正在探讨中的各种新技术。主要内容包括: GSM/GPRS 数字蜂窝移动通信系统、IS-95 CDMA 数字蜂窝移动通信系统、卫星移动通信以及第三代移动通信中的三大主流 WCDMA、cdma2000、TD-SCDMA 系统所使用的各项主要技术;在内容组织上以系统概貌——系统单元技术——系统技术——组网技术——网络应用为教学步骤;在内容介绍中从小到大、从简到繁、从易到难、从理论到实际,循序渐进地展开。同时考虑到下一代移动通信技术的发展,本书介绍 3G 和 4G 中的一些热点研究技术,包括软件无线电、智能天线技术、多用户检测技术、多载波传输技术、MIMO 技术以及 MIMO-OFDM 技术等,以使广大读者能够了解移动通信技术发展的最新趋势。

本书适合作为高等院校通信工程、电子信息工程等专业的本科高年级及研究生的教材或教学参考书；对移动通信行业运营服务商、工程技术人员和管理人员来说也是一本移动通信培训教程或很有价值的参考书。相信它的出版将使广大读者对移动通信技术的发展历程、现状及趋势有一个全面的了解，从而能更深刻地领会移动通信技术的相关原理、业务应用、发展趋势和演进策略。

本书的第0章和第1章由王鸿斌副教授编写；第2章由李鸿燕博士编写；第3章由李何讲师编写；第4章由张立毅教授编写；第5、6、7章和第10章由李艳萍教授编写；第8、9、11~16章由王华奎教授编写，并负责全书统稿。

本书的编著应用了通信行业数以万计工作者长期辛勤劳动的成果，使用了公开发表的行业标准、出版著作和网上资料的有关内容和数据，在此对他们表示崇高的敬意和由衷的感谢。

在本书编写过程中，得到博士生武娟萍、赵菊敏、郝润芳、李建平、李化、张玮、张朝霞、赵清华，硕士生常广志、史永超、张颖慧、曹彧、阎永梅、朱丽莉、王晓婕、程华、邢钟化、冯彦等人的帮助，在此一并致谢。

尽管编著者数易其稿，力求文字简洁、清楚、生动，但是由于水平有限，加之移动通信技术的发展日新月异，书中难免出现疏漏和错误，恳请读者谅解和指正。

编著者

2008年8月

目 录

第 0 章 绪论	1
0.1 移动通信概述	1
0.1.1 移动通信概念	1
0.1.2 移动通信特点	3
0.1.3 移动通信的发展历程	4
0.1.4 我国移动通信的发展历程	6
0.2 移动通信的工作方式	7
0.3 移动通信系统的频段使用	9
0.4 典型移动通信系统	10
0.4.1 蜂窝移动电话系统	10
0.4.2 无线寻呼系统	12
0.4.3 无绳电话系统	13
0.4.4 集群移动通信系统	17
0.4.5 卫星移动通信系统	19
0.5 移动通信的发展趋势	22
思考题与习题	23

基 础 篇

第 1 章 移动通信的电波传播	27
1.1 移动通信传播环境	27
1.1.1 无线电波传播主要方式	28
1.1.2 陆地移动无线电波传播	29
1.2 自由空间的电波传播	30
1.3 地面电波传播机制	31
1.3.1 反射与多径信号	31
1.3.2 绕射	33
1.3.3 散射	34
1.4 移动无线信道及其特性参数	34
1.4.1 多普勒频移	34
1.4.2 阴影效应	35

1.4.3 多径效应	36
1.5 多径衰落对数字通信的影响	42
1.5.1 多径时延扩展	42
1.5.2 相关带宽	44
1.6 陆地移动信道的场强估算	47
1.6.1 地形地物的分类	47
1.6.2 奥村(Okumura)模型	48
1.6.3 市区传播损耗中值	49
1.6.4 郊区和开阔区的传播损耗中值	51
1.6.5 不规则地形上的传播损耗中值	52
1.6.6 任意地形的信号中值预测	55
1.6.7 其他因素的影响	57
1.7 移动信道的传播模型	59
1.7.1 室外传播模型	59
1.7.2 室内传播模型	63
思考题与习题	64
第2章 语音编码	66
2.1 概述	66
2.1.1 发音的生理机构与过程	66
2.1.2 语音信号的模型	67
2.1.3 语音信号的线性预测分析	68
2.2 语音压缩编码	70
2.2.1 语音压缩编码的基本原理	70
2.2.2 语音编码技术的分类	71
2.2.3 线性预测声码器	73
2.2.4 码书激励线性预测(CELP)编码原理	75
2.2.5 语音激活检测(VAD)技术	76
2.3 移动通信中的语音编码	79
2.3.1 规则脉冲激励长时预测编码(RPE-LTP)	79
2.3.2 矢量和激励线性预测编码(VSELP)	83
2.3.3 Q公司码激励线性预测编码(QCELP)	85
2.3.4 增强型可变速率语音编解码(EVRC)	88
2.3.5 自适应多速率编码(AMR)	91
思考题与习题	95
第3章 信道编码	97
3.1 信道编码的基本概念	97

3.1.1	概述	97
3.1.2	信道编码的基本原理	99
3.1.3	信道编码系统的性能指标	99
3.1.4	几种常用的检错码	100
3.2	线性分组码	101
3.2.1	线性分组码的概念	101
3.2.2	线性分组码的生成	103
3.2.3	循环码	106
3.2.4	循环码的编码	107
3.2.5	BCH 码	112
3.3	卷积码	113
3.3.1	卷积码编码	114
3.3.2	卷积码解码	117
3.4	交织编码	118
3.4.1	交织编码的概念	118
3.4.2	交织码的生成	119
3.5	Turbo 码	120
3.5.1	Turbo 码编码原理	120
3.5.2	Turbo 码解码原理	121
	思考题与习题	122
第 4 章	调制技术	124
4.1	概述	124
4.1.1	移动通信系统对数字调制技术的要求	124
4.1.2	数字调制技术的分类	124
4.2	数字相位调制	125
4.2.1	二进制相移键控(BPSK)调制	125
4.2.2	4 相相移键控(QPSK)和交错 4 相相移键控(OQPSK)调制	129
4.2.3	$\pi/4$ -QPSK 调制	138
4.3	最小频移键控(MSK)和高斯最小频移键控(GMSK)调制	143
4.3.1	最小频移键控(MSK)	143
4.3.2	高斯最小频移键控(GMSK)	150
4.4	正交振幅调制(QAM)	155
4.4.1	QAM 信号的基本原理	155
4.4.2	MQAM 信号的产生和解调	158
4.4.3	MQAM 信号的性能	160
4.5	网格编码调制(TCM)	161
4.5.1	TCM 的基本概念	161

4.5.2 TCM 信号的产生	162
思考题与习题	165
第 5 章 扩频通信	167
5.1 扩频通信原理	167
5.1.1 扩频通信的基本概念	167
5.1.2 扩频通信理论基础	169
5.1.3 扩频通信的主要性能指标	170
5.1.4 扩频通信的主要特性	171
5.2 直接序列扩频系统	173
5.2.1 直扩系统的组成与原理	173
5.2.2 直扩系统的同步	176
5.3 跳频系统	181
5.3.1 跳频系统概述	181
5.3.2 跳频系统的同步	186
5.4 跳时系统	189
5.5 混合式扩频系统	190
5.5.1 各种扩频方式的比较	190
5.5.2 几种混合方式	191
5.5.3 混合式扩展频谱系统的应用	193
5.6 伪随机(PN)序列	195
5.6.1 伪随机序列的特性	196
5.6.2 m 序列	198
5.6.3 Gold 序列	203
5.6.4 M 序列	204
5.7 沃尔什(Walsh)码	205
5.7.1 哈达马矩阵	205
5.7.2 沃尔什码的产生	206
思考题与习题	208
第 6 章 分集与均衡技术	210
6.1 分集技术的基本原理	210
6.1.1 基本概念与分类	210
6.1.2 常用的分集与合并技术	211
6.2 分集系统的性能	216
6.3 Rake 接收机	218
6.3.1 Rake 接收的基本原理	218
6.3.2 IS-95 中的 Rake 接收机	224

6.4 均衡技术	227
6.4.1 均衡原理	227
6.4.2 时域均衡器分类	230
6.4.3 线性均衡器	231
6.4.4 非线性均衡器	233
6.4.5 均衡器常用算法	235
6.4.6 盲均衡技术	238
思考题与习题	240
第7章 移动通信组网技术	241
7.1 移动通信网的基本概念	241
7.1.1 移动通信网的组成	241
7.1.2 移动通信系统的组网方式	242
7.2 频率的有效利用与多信道共用	251
7.2.1 频率的有效利用	251
7.2.2 多信道共用	252
7.3 多址接入技术	257
7.3.1 多址接入技术的基本概念	257
7.3.2 频分多址	258
7.3.3 时分多址	260
7.3.4 码分多址	263
7.3.5 空分多址	265
7.4 移动通信网的信令与接口	267
7.4.1 接入信令	267
7.4.2 网络信令	269
7.4.3 公共陆地移动通信网的接口	272
7.5 移动通信网的连接	274
7.5.1 公用陆地移动通信网间的互联	274
7.5.2 公用陆地移动通信网与 PSTN 间的互联	275
7.5.3 移动通信网与 ISDN 的结合	277
思考题与习题	277

技 术 篇

第8章 GSM/GPRS 数字蜂窝移动通信系统	281
8.1 GSM 系统概述	281
8.1.1 GSM 系统发展过程	281
8.1.2 GSM 体制的特点	282

8.1.3	GSM 主要技术参数	283
8.1.4	GSM 系统结构	284
8.1.5	GSM 网络结构及功能	284
8.1.6	GSM 网络主要接口	291
8.1.7	GSM 系统的帧	291
8.1.8	GSM 承担业务	295
8.1.9	GSM 区域与号码	299
8.2	GSM 的信道	303
8.2.1	物理信道与逻辑信道	303
8.2.2	信道分类与信道组合	304
8.3	GSM 的无线数字传输	308
8.3.1	语音和信道编码	308
8.3.2	调制与解调	310
8.3.3	跳频和不连续发射	311
8.4	GSM 系统的控制与管理	312
8.4.1	SIM 卡的结构与功能	312
8.4.2	鉴权与加密	314
8.4.3	呼叫接续	317
8.4.4	越区切换与漫游	325
8.4.5	计费	329
8.5	通用分组无线业务(GPRS)	329
8.5.1	概述	329
8.5.2	GPRS 的网络结构及其功能描述	330
8.5.3	GPRS 的业务	333
8.5.4	GPRS 的主要特点	335
8.5.5	GPRS 的移动性管理和会话管理	336
	思考题与习题	339
第 9 章	IS-95 CDMA 数字蜂窝移动通信系统	341
9.1	概述	341
9.1.1	CDMA 技术的标准化	341
9.1.2	IS-95 标准简介	342
9.1.3	IS-95 系统的网络结构	343
9.1.4	IS-95 CDMA 系统的协议结构	343
9.1.5	IS-95 CDMA 系统的无线信道	345
9.1.6	IS-95 CDMA 系统的语音编码	347
9.1.7	CDMA 系统的特点	348
9.2	IS-95 CDMA 前向信道	348

9.2.1	前向链路信道结构	348
9.2.2	前向链路基本处理	350
9.2.3	导频信道	355
9.2.4	同步信道	355
9.2.5	寻呼信道	359
9.2.6	前向业务信道	363
9.3	IS-95 CDMA 反向信道	369
9.3.1	反向信道结构	369
9.3.2	反向链路基本操作	370
9.3.3	反向接入信道	377
9.3.4	反向业务信道	381
9.4	IS-95 CDMA 自动功率控制	383
9.4.1	概述	383
9.4.2	反向功率控制	386
9.4.3	前向功率控制	391
9.5	IS-95 CDMA 蜂窝系统的控制功能	392
9.5.1	登记注册与漫游管理	392
9.5.2	越区切换	393
9.5.3	呼叫接续	396
	思考题与习题	398
第 10 章	卫星移动通信	400
10.1	卫星通信	400
10.1.1	概述	400
10.1.2	卫星通信的电波传播特性	403
10.1.3	通信卫星	404
10.1.4	卫星通信地球站	407
10.1.5	卫星通信的信号处理技术	409
10.2	卫星移动通信	413
10.2.1	概述	413
10.2.2	卫星移动通信原理	418
10.2.3	低轨卫星移动通信技术	419
10.3	典型的商用卫星移动通信系统简介	425
10.3.1	铱(Iridium)系统	426
10.3.2	全球星(GlobalStar)系统	428
	思考题与习题	432

第 11 章 第三代移动通信综述	433
11.1 概述	433
11.1.1 IMT-2000 的发展历程	433
11.1.2 ITU 对 IMT-2000 系统的总体要求	433
11.1.3 IMT-2000 系统的基本特征	435
11.1.4 IMT-2000 系统的主要特点	438
11.1.5 IMT-2000 系统提供的业务	439
11.2 3G 标准化进程及其演化策略	440
11.2.1 标准化组织	440
11.2.2 标准化现状	441
11.2.3 3G 三种主流技术标准比较	446
思考题与习题	447
第 12 章 WCDMA 系统	448
12.1 概述	448
12.2 WCDMA 的网络结构	449
12.2.1 WCDMA 的基本结构	449
12.2.2 UTRAN 的接口	452
12.2.3 WCDMA 空中接口	457
12.3 信道结构	462
12.3.1 传输信道	462
12.3.2 传输信道物理信道	464
12.3.3 传输信道到物理信道的映射	470
12.4 信道编码和复用	471
12.4.1 传输信道编码/复用流程	472
12.4.2 信道编码	473
12.5 扩频与调制	475
12.5.1 上行信道的扩频与调制	475
12.5.2 下行信道的扩频与调制	479
12.6 功率控制	481
12.6.1 上行信道的功率控制	481
12.6.2 下行信道的功率控制	483
12.7 切换	484
12.7.1 WCDMA 的切换分类	485
12.7.2 WCDMA 系统的硬切换	485
12.7.3 WCDMA 系统的软切换	487
12.7.4 WCDMA 系统的软切换参数设置	489

12.8	WCDMA 的高速下行分组接入技术——HSDPA	490
12.8.1	HSDPA 基本原理	491
12.8.2	HSDPA 的关键技术	492
12.8.3	HSDPA 物理层结构	495
12.8.4	HSDPA 的协议结构	498
	思考题与习题	500
第 13 章	cdma2000 系统	501
13.1	概述	501
13.1.1	cdma2000 1x 简介	502
13.1.2	主要技术特点与承载业务	502
13.1.3	cdma2000 网络结构	504
13.1.4	cdma2000 协议结构	505
13.2	前向链路物理信道	507
13.2.1	前向链路物理信道组成	507
13.2.2	前向链路的差错控制技术	510
13.2.3	前向链路中的扩频码	514
13.2.4	前向链路发射分集	516
13.2.5	前向链路信道结构	517
13.2.6	前向链路扩频调制	527
13.3	反向链路物理信道	530
13.3.1	反向链路物理信道组成	530
13.3.2	反向链路的差错控制	532
13.3.3	反向链路中的扩频码	532
13.3.4	反向链路信道结构	533
13.3.5	反向链路信道扩频调制	537
13.4	功率控制与系统切换	538
13.4.1	功率控制技术	538
13.4.2	系统切换	540
13.5	cdma2000 1x EV-DV 技术原理	541
13.5.1	概述	541
13.5.2	cdma2000 Rev.C 主要特征	543
13.5.3	cdma2000 Rev.D 主要特征	545
	思考题与习题	549
第 14 章	TD-SCDMA 系统	551
14.1	概述	551
14.2	TD-SCDMA 系统的网络结构与接口	554

14.3	TD-SCDMA 系统空中接口信道	554
14.3.1	概述	554
14.3.2	传输信道	555
14.3.3	物理信道	556
14.3.4	传输信道对物理信道的映射关系	563
14.4	TD-SCDMA 系统编码与复用	564
14.4.1	编码与复用结构	564
14.4.2	信道编码与复用过程	564
14.4.3	不同传输信道到一个 CCTrCH 的复用及一个 CCTrCH 对物理信道的映射	566
14.4.4	物理层控制信息的编码	567
14.4.5	业务复用	568
14.5	TD-SCDMA 系统扩频与调制	570
14.5.1	概述	570
14.5.2	数据调制	571
14.5.3	扩频调制	572
14.5.4	同步码	575
14.6	TD-SCDMA 系统功率控制技术	576
14.6.1	概述	576
14.6.2	功率控制方法	577
14.7	TD-SCDMA 系统的关键技术	580
14.7.1	上行同步技术	580
14.7.2	动态信道分配技术	581
14.7.3	接力切换技术	586
	思考题与习题	590
第 15 章	第三代移动通信中的关键技术	591
15.1	软件无线电	591
15.1.1	软件无线电的发展概况	591
15.1.2	软件无线电理论基础	595
15.1.3	软件无线电的结构	600
15.1.4	软件无线电的关键技术	603
15.2	智能天线	606
15.2.1	智能天线原理	606
15.2.2	智能天线自适应波束成型算法	609
15.2.3	智能天线来波方向估计	613
15.2.4	智能天线在 TD-SCDMA 系统中的应用	619
15.3	多用户检测	620