



中国科学院电子信息与通信系列规划教材

# 现代无线与移动通信技术

李仲令 李少谦 编著  
唐友喜 武刚

编著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

中国科学院电子信息与通信系列规划教材

# 现代无线与移动通信技术

李仲令 李少谦 唐友喜 武刚 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书共 11 章,全面介绍数字移动通信的基本理论、关键技术和未来的发展前景。第 1 章介绍移动通信的概念和发展概况;第 2 章介绍移动通信信道的特性;第 3 章和第 4 章分别介绍数字调制、解调技术和扩频技术;第 5 章和第 6 章分别介绍抗衰落技术和差错控制编码技术;第 7 章介绍信源编码技术;第 8 章和第 9 章分别介绍 OFDM 原理和多用户检测技术;第 10 章介绍多天线传输技术:智能天线与 MIMO;第 11 章是现代无线与移动通信系统,介绍蜂窝移动通信系统的历史、现状、发展前景和各种宽带无线接入。

全书内容丰富,叙述深入浅出,适合于渴望了解现代移动通信技术的本科生、研究生及从事移动通信系统研究与开发的科研人员和工程技术人员阅读,也可作为高等院校相关专业的教学用书或参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代无线与移动通信技术/李仲令等编著. —北京:科学出版社,2006  
(中国科学院电子信息与通信系列规划教材)

ISBN 7-03-017260-4

I. 现… II. 李… III. I ①无线电通信-通信系统-研究生-教材②移动通信-通信系统-研究生-教材 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 050577 号

责任编辑:刘俊来 资丽芳 潘继敏 / 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006 年 9 月 第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006 年 9 月 第一次印刷 印张:35 1/2

印数:1—3 000 字数:675 000

定价:46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

# 《中国科学院电子信息与通信系列规划教材》 编委会

顾问：保 铮 中国科学院院士 西安电子科技大学  
刘永坦 两院院士 哈尔滨工业大学  
陈俊亮 两院院士 北京邮电大学

主任：谈振辉 教授 北京交通大学

副主任：任晓敏 教授 北京邮电大学  
梁昌洪 教授 西安电子科技大学  
冯正和 教授 清华大学  
张文军 教授 上海交通大学  
林 鹏 编审 科学出版社

委员：(按姓氏汉语拼音排序)

段哲民 教授 西北工业大学  
顾学迈 教授 哈尔滨工业大学  
洪 伟 教授 东南大学  
焦李成 教授 西安电子科技大学  
李少谦 教授 电子科技大学  
毛军发 教授 上海交通大学  
沈连丰 教授 东南大学  
唐朝京 教授 国防科技大学  
王成华 教授 南京航空航天大学  
王文博 教授 北京邮电大学  
徐安士 教授 北京大学  
姚 彦 教授 清华大学  
严国萍 教授 华中科技大学  
杨建宇 教授 电子科技大学  
张宏科 教授 北京交通大学  
张晓林 教授 北京航空航天大学

秘书：段博原 编辑 科学出版社

## 丛 书 序

信息技术的高速发展及其广泛应用,使信息技术成为当今国际竞争中最重要  
的战略技术。信息技术对经济建设、社会变革、国家安全乃至整个国家的发展起到  
关键性的作用,它是经济发展的“倍增器”和社会进步的“催化剂”,是体现综合国力  
的重要标志。在人类历史上,没有一种技术像信息技术这样引起社会如此广泛、深  
刻的变革。在 20 世纪末和 21 世纪前半叶,信息技术乃是社会发展最重要的技术  
驱动力,可以说,21 世纪人类已经步入了信息时代。信息产业在世界范围内正在  
由先导产业逐步变为主导产业。从微观上看,表现为单位产品的价格构成中,能源  
和材料的消耗减少而信息技术和信息服务的比重上升;从宏观上看,表现为国民生  
产总值(GDP)中信息产业所占的比重增加。一个国家信息产业的发展水平将是  
衡量该国社会经济总体发展和现代化程度的重要标志之一。

目前,信息科学已成为世界各国最优先发展的科学之一。党的十六大提出了  
“加速发展信息产业,大力推进信息化,以信息化带动工业化”的发展战略,以及“优  
先发展信息产业,在经济和社会领域广泛应用信息技术”的基本国策,使我国信息  
产业得到了前所未有的重视,信息产业呈现出飞速发展的势头。信息产业的发展  
离不开信息化人才,信息化人才建设将是信息产业可持续发展的关键。然而,有关  
调查表明,我国国家信息化指数为 38.46,而信息化人才资源指数仅为 13.43。据  
权威机构预测,从 2005 年到 2009 年,中国信息行业将以 18.5%的年复合增长率  
高速增长,中国信息市场将迎来又一个“黄金年代”。在信息化发展势头的带动下,  
我国信息化人才缺乏已经成为制约产业发展的重要因素。

为了适应新世纪信息学科尤其是电子信息与通信学科的长足发展,在规模上、  
素质上更好地满足我国信息产业和信息科学技术的发展需要,更好地实现电子信  
息与通信学科专业人才的培养目标,推进国内信息产业的发展,中国科学院教材建  
设专家委员会和科学出版社组织电子信息与通信领域的院士、专家、教学指导委  
员会成员、国家级教学名师及电子信息与通信学科院校的相关领导等组成编委会,共  
同组织编写这套《中国科学院电子信息与通信系列规划教材》。

本套教材主要面向全国范围内综合性院校电子信息工程、通信工程、信息工程  
等相关专业的本科生。本套教材的编委会成员具有国内电子信息与通信方面的较  
高学术水平,他们负责对本套教材的编写大纲及内容进行审定,可使本套教材的质  
量得以保证。

本套教材主要有以下几方面的特点:

1. 适应多层次的需要。依据最新专业规范,系列教材主要根据教育部最新公

布的电子信息与通信学科相关专业的“学科专业规范”和“基础课程教学基本要求”进行教材内容的安排与设置。同时,根据各类型高校学生的实际需要,编写不同层次的教材。

2. 结构体系完备。本套教材覆盖本科、研究生教学层次,各门课程的知识之间相互衔接,以便完整掌握学科基本概念、基本理论,了解学科整体发展趋势。

3. 作者水平较高。我们将邀请设有电子、通信国家重点学科的院校,以及国家级、省级教学名师或国家级、省级精品课程负责人编写教材。

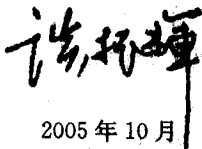
4. 借鉴国外优秀教材。编委会为每门课程推荐一本国外相关的经典原版教材,作为教师编写的参考书。

5. 理论与实际相结合,加强实践教学。教材编写注重案例和实践环节,着力于学生实际动手能力的培养。

6. 教材形式多样。本套教材除主教材外,还配套有辅导书、教师参考书、多媒体课件、习题库及网络课程等。

根据电子信息与通信学科专业发展的战略要求,我们将对本套系列教材不断更新,以保持教材的先进性和适用性。热忱欢迎全国同行以及关注电子信息与通信领域教育及教材建设的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议。

北京交通大学校长



2005年10月

## 序 言

无线通信技术是通信领域发展最快的技术之一。陆地蜂窝移动通信、卫星通信以及无线因特网使通信的面貌发生巨大的变化。采用数字技术的现代无线通信已经渗入国民经济的各个领域和人们的日常生活。

伴随无线通信,特别是移动通信的迅速发展,新技术层出不穷。正是不断出现的新技术、新工艺构成了现代移动通信迅速发展的技术基础,使移动通信生机勃勃,充满活力。

没有一本书能包括移动通信的所有方面。本书的目的是向读者介绍以陆地蜂窝通信为代表的、现代移动通信的关键技术及其最新发展。

本书第1章为绪论,介绍蜂窝移动通信的基本概念、发展概况和前景。第2章讨论移动通信信道的特性,介绍移动信道衰落的原因、衰落分类、在时域和频域的表现、对数字传输的影响以及改善衰落信道中信号传输性能的方法。第3章是数字调制和解调技术,介绍数字信号的最佳检测、I/Q信号的波形和相位设计、线性调制、恒包络调制、自适应调制、多载波调制和移动信道对数字调制性能的影响。第4章是扩频技术,介绍伪随机序列的特性、直接序列扩频(DS)、DS-CDMA、多载波 DS-CDMA、跳频、跳时及扩频通信系统的同步和跟踪。第5章是抗衰落技术,主要讨论均衡技术和分集技术。第6章是差错控制编码技术,介绍最大似然译码准则、维特比译码算法、分组码、卷积码、交织编码、级联码和乘积码、TCM、Turbo码以及LDPC码。第7章是信源编码技术,讨论信源及其特性、语音编码的基本概念、波形编码、频域编码、参数编码、混合编码和低速率语音编码。第8章是OFDM原理,讨论OFDM的基本概念,快速傅里叶变换(FFT)、OFDM的传输时延和频谱使用率。第9章是多用户检测,介绍CDMA系统模型、多用户检测的概念、最优多用户检测、线性多用户检测、非线性多用户检测、多速率和多径衰落条件下的多用户检测,最后简单介绍了空时多用户检测。第10章是多天线传输技术,介绍多天线信道模型、波束赋形和自适应阵列处理的算法。第11章是现代无线与移动通信系统,介绍蜂窝移动通信的历史、现状和未来的发展前景,讨论了各种宽带无线接入的特性以及宽带无线接入与宽带移动通信的比较。

本书的编写得到了国家自然科学基金重大项目(60496312)、面上项目(60272008、60272009)和国家863计划项目(2001AA123013、2003AA12331006)的支持。

参加本书编写工作的有李仲令(第1~7章)、李少谦(第11章)、唐友喜(第8章)和武刚(第9~10章)。本书在编写过程中,得到了电子科技大学通信抗干扰技

术国家级重点实验室的支持和帮助,罗涛等同学参加了书稿的整理,在此表示感谢。

鉴于作者水平有限,书中难免有缺点和错误之处,敬请读者和同行专家批评指正。

编者  
2006年3月



# 目 录

## 序言

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 无线移动通信系统 .....	2
1.3 蜂窝移动通信系统 .....	3
1.4 移动无线系统的发展 .....	9
参考文献 .....	15
<b>第2章 移动通信信道</b> .....	16
2.1 引言.....	16
2.2 移动环境中的电波传播.....	18
2.3 自由空间传播.....	20
2.4 电波的反射、绕射和散射 .....	22
2.4.1 反射 .....	22
2.4.2 绕射 .....	24
2.4.3 散射 .....	27
2.5 多径传播.....	27
2.6 多径信道的冲击响应.....	36
2.7 移动信道的特性参数.....	39
2.8 衰落信道分类.....	46
2.9 阴影效应.....	49
2.10 路径损耗预测模型 .....	50
2.11 移动信道的仿真 .....	57
2.12 改善衰落信道传输性能的方法 .....	60
参考文献 .....	64
<b>第3章 数字调制和解调技术</b> .....	66
3.1 数字调制概述.....	66
3.1.1 数字调制的特点 .....	66
3.1.2 调制信号的数学表示 .....	66
3.1.3 数字调制的基本形式 .....	68
3.1.4 数字信号的最佳接收 .....	69
3.1.5 非相干接收 .....	72

3.2	线性调制	75
3.2.1	线性调制的特点	75
3.2.2	二相相移键控(BPSK)	76
3.2.3	差分相移键控	79
3.2.4	QPSK 和 OQPSK	82
3.2.5	$\frac{\pi}{4}$ QPSK	89
3.3	恒包络调制	95
3.3.1	二元频移键控	95
3.3.2	最小频移键控	100
3.3.3	GMSK	106
3.3.4	其他恒包络调制	114
3.4	正交调幅(QAM)	120
3.5	可变速率调制	127
3.5.1	可变速率调制原理	127
3.5.2	VR-QAM 性能分析	130
3.6	多载波调制	130
3.6.1	多载波调制原理	130
3.6.2	多载波系统的 FFT 实现	132
3.6.3	OFDM	134
3.7	移动信道对数字调制性能的影响	144
	参考文献	150
<b>第 4 章</b>	<b>扩频技术</b>	<b>152</b>
4.1	概述	152
4.2	伪随机序列及其相关特性	154
4.2.1	m 序列	159
4.2.2	Gold 序列	164
4.2.3	M 序列	167
4.3	直接序列扩频	169
4.4	直接序列扩频码分多址(DS-CDMA)	176
4.5	多载波 DS-CDMA	179
4.6	跳频	194
4.7	跳时	202
4.7.1	跳时多址方案	202
4.7.2	TH-PPM 超宽带码分多址通信	204
4.8	扩频通信系统的同步和跟踪	213

4.8.1	初始同步 .....	214
4.8.2	跟踪 .....	221
	参考文献 .....	226
<b>第5章</b>	<b>抗衰落技术</b> .....	<b>228</b>
5.1	均衡技术 .....	228
5.1.1	均衡原理 .....	228
5.1.2	线性均衡器 .....	236
5.1.3	非线性均衡 .....	247
5.1.4	小数间隔均衡器 .....	256
5.1.5	自适应均衡算法 .....	260
5.1.6	格型滤波器 .....	271
5.1.7	盲均衡 .....	274
5.2	分集技术 .....	290
5.2.1	获得分集信号的方法 .....	291
5.2.2	分集合并技术 .....	293
5.2.3	使用分集的数字通信系统的误码性能 .....	301
5.2.4	频率选择性慢衰落信道上的数字传输 .....	304
	参考文献 .....	311
<b>第6章</b>	<b>差错控制编码</b> .....	<b>312</b>
6.1	最大似然译码 .....	313
6.2	分组码 .....	315
6.3	分组码举例 .....	320
6.4	循环码 .....	322
6.4.1	循环码的特性 .....	322
6.4.2	循环码的生成矩阵和校验矩阵 .....	323
6.4.3	循环码的编码和译码 .....	324
6.5	BCH 码 .....	327
6.6	RS 码 .....	332
6.7	卷积码 .....	333
6.7.1	卷积码的基本概念与数学描述 .....	333
6.7.2	卷积码的状态图和构造特性 .....	338
6.7.3	维特比译码算法 .....	343
6.8	交织编码 .....	348
6.9	级联码和乘积码 .....	350
6.10	调制和编码的结合(TCM) .....	354
6.11	Turbo 码 .....	361

6.12 低密度校验码	364
参考文献	369
<b>第7章 信源编码</b>	<b>370</b>
7.1 信源及其特性	370
7.2 语音编码的基本概念	377
7.2.1 率失真函数	377
7.2.2 语音编码分类	378
7.2.3 语音质量评价	379
7.3 波形编码	380
7.3.1 时间量化和抽样定理	381
7.3.2 幅度量化	382
7.3.3 PCM 编码	387
7.3.4 差分编码调制(DPCM)	388
7.3.5 增量调制	392
7.4 语音信号的频域编码	394
7.4.1 子带编码	394
7.4.2 自适应变换编码(ATC)	397
7.5 参数编码	398
7.5.1 声码器	398
7.5.2 线性预测声码器	400
7.5.3 混合编码	403
7.6 低速率语音编码	419
参考文献	421
<b>第8章 OFDM 原理</b>	<b>423</b>
8.1 OFDM 的发展史	423
8.2 OFDM 的引入	425
8.2.1 基于连续时间方式的 OFDM	425
8.2.2 基于离散时间方式的 OFDM	431
8.2.3 调制与 OFDM	434
8.2.4 离散傅里叶变换与 OFDM	435
8.3 快速傅里叶变换	437
8.3.1 DFT 运算的特征	437
8.3.2 时域抽取法基 2 FFT	438
8.3.3 频域抽取法基 2 FFT	442
8.3.4 IDFT 的高效算法	444
8.3.5 基本 FFT 与直接计算 DFT 的运算复杂度对比	445

8.4	FFT 与 OFDM .....	446
8.5	OFDM 的传输时延 .....	446
8.6	OFDM 的频谱使用效率 .....	447
8.7	小结 .....	448
	参考文献 .....	449
<b>第 9 章</b>	<b>多用户检测</b> .....	<b>450</b>
9.1	CDMA 系统模型与多用户检测信号模型 .....	450
9.1.1	同步 CDMA 通信系统的模型 .....	451
9.1.2	传统接收机模型 .....	452
9.2	最优接收机理论与最优多用户检测器 .....	454
9.2.1	两用户同步 CDMA 情形 .....	454
9.2.2	$K$ 用户同步 CDMA 情形 ( $K > 2$ ) .....	455
9.2.3	异步 CDMA 系统的最优多用户检测器 .....	457
9.3	线性多用户检测 .....	457
9.3.1	解相关多用户检测器 .....	458
9.3.2	MMSE 多用户检测器 .....	459
9.3.3	多项式展开检测器 .....	460
9.4	非线性多用户检测器 .....	461
9.4.1	串联干扰对消器 .....	462
9.4.2	并联干扰对消器 .....	463
9.4.3	判决反馈解相关检测器 .....	464
9.4.4	基于神经网络的多用户检测技术 .....	466
9.4.5	各种多用户检测方法的实现复杂度比较 .....	466
9.5	多速率 CDMA 系统中的多用户检测 .....	467
9.6	多径衰落条件下的多用户检测 .....	469
9.7	空时多用户检测 .....	472
9.7.1	最优空时多用户检测的信号模型 .....	472
9.7.2	空时多用户检测技术的进展 .....	474
	参考文献 .....	476
<b>第 10 章</b>	<b>多天线传输技术:智能天线与 MIMO</b> .....	<b>479</b>
10.1	概述 .....	479
10.1.1	智能天线的发展历史 .....	479
10.1.2	智能天线的基本概念 .....	480
10.1.3	波束形成示例:阵元空间和波束空间 .....	484
10.2	信号模型、波束形成准则和多天线信道模型 .....	488
10.2.1	阵列天线接收信号模型 .....	488

10.2.2	自适应波束形成的基带信号模型和适用准则	491
10.2.3	多天线衰落信道模型	495
10.3	自适应阵列处理的算法	498
10.3.1	常规自适应空时算法	499
10.3.2	盲目适应波束形成算法	502
10.3.3	TD-SCDMA 系统中的智能天线	506
10.4	多天线无线通信技术的应用和发展趋势	509
	参考文献	509
<b>第 11 章</b>	<b>现代无线与移动通信系统</b>	<b>512</b>
11.1	引言	512
11.2	蜂窝移动通信系统	515
11.2.1	第一代蜂窝移动通信系统	515
11.2.2	第二代蜂窝移动通信系统	517
11.2.3	第三代蜂窝移动通信系统	525
11.2.4	第三代系统增强技术	531
11.3	宽带无线接入	533
11.3.1	无线局域网	534
11.3.2	无线城域网	536
11.3.3	无线个域网	538
11.3.4	无线广域网	542
11.3.5	无线区域网	542
11.3.6	宽带无线接入与宽带移动通信的比较	543
11.4	走向未来的移动通信	545
11.4.1	3G 的长期演进	545
11.4.2	4G 的发展	547
	参考文献	550

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 引 言

人类社会是建立在信息交流的基础上的。通信是推动人类社会文明与发展的巨大动力。通信网是支撑现代经济的最重要的基础设施。

回顾人类社会发展的历史,不同的社会发展阶段有反映该阶段特征的基础设施:

农业社会:犁、牲畜。

工业社会:引擎(发动机)、燃料(煤、石油)。

现代信息社会:信息、通信网络。

现在,包括通信在内的信息技术服务业已成为发达国家最具有活力的支柱产业。统计数字表明,通信建设的发展必须和国民经济的增长同步,甚至更快地增长,才能使经济高速发展。

通信技术发展与经济的关系可以用图 1.1 说明。

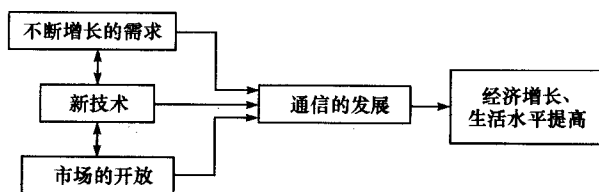


图 1.1

而经济增长与人民生活水平提高又对通信的数量、质量和通信业务的多样性提出更高的要求。我国改革开放以来通信、经济的发展与人民生活水平不断提高的现实就是通信和经济互相促进、良性发展的生动写照。

当此世纪之交,未来 10 年将是世界通信史上技术发展最活跃的时期,具有 100 年历史的通信网正经历着其历史上最深刻的变化,网络接入的无线化就是其中之一。

一百多年来,无论是核心网还是接入网,公用通信网基本上是有线的一统天下。微波接力通信和卫星通信的发展,曾使无线通信一度辉煌。光纤的出现和发展,光纤通信的广泛使用,使无线的地位再次衰退。现在在干线网中,光纤系统的成本已经比微波系统低一个量级以上,未来的信息高速公路将以宽带的光纤网为骨干。微波系统只能作为一种补充和辅助手段而存在。在接入网中,传统的一点

多址无线系统也只在偏远地区和特殊地理区域才有用武之地。

但是从 20 世纪 80 年代开始,由于蜂窝移动通信的推出和发展,无线通信的面貌和在通信中的地位发生了革命性的变化。在 20 世纪最后的 10 年中,蜂窝移动通信的发展和各种无线接入系统的增长,超过了最乐观的人们的估计。根据专家的分析、推测,全球蜂窝移动通信的用户数将在 2000 年左右超过 4 亿,在 2006 年左右将达到 13 亿,与有线用户数持平,以后将逐渐超过有线用户,无线接入在数量上将成为网络接入的主要手段<sup>[1]</sup>(图 1.2)。

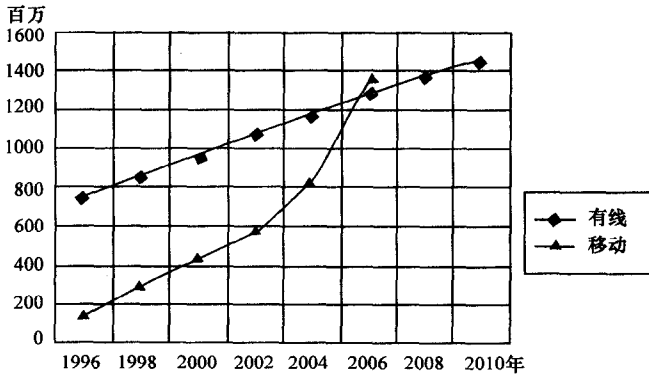


图 1.2 有线/无线用户增长比较

在固定无线接入方面,由于无线接入技术应用灵活,安装便捷,建设周期短,技术成熟,现在也已进入快速发展阶段。

无线接入将成为未来网络接入的主要方式,这种发展趋势会日益明显。无线通信技术从它的发明、逐渐发展,最终成为人们通信传输的主要手段,经历了一百多年的历史。在新的世纪中,无线通信技术将会取得更丰硕的成果。

## 1.2 无线移动通信系统

无线通信技术的产生和发展与移动通信有着密切的关系。移动通信从无线电通信发明之日就产生了。1897 年,意大利科学家 M. G.马可尼完成的无线通信试验就是在固定站与一艘拖船之间进行的。

“移动”这一术语一直用于区分在使用中运动的任何无线终端。近来,“移动”一词用来描述在高速运动平台上的无线终端,如高速车辆中的蜂窝电话,而“便携”一词用来描述步行者行进中手持的无线终端,如对讲机和室内的无绳电话。但实际上人们有时并不理会这种严格的区分,一概把它们称之为“移动”终端。

移动无线通信系统可以是单工、半双工或双工的。在单工系统中,只可能有单方向的通信。例如,一般的寻呼机,只能接收寻呼台发来的信息,就是单工系统。



半双工系统虽然允许双向通信,但不能同时进行,收/发之间只有一条无线信道。在一特定时间内,用户只能发送或者接收信息。全双工系统在通信双方之间提供两条相互独立的信道(两个相互隔开的频带,或一条无线信道上两个不同的时隙,前者称为频分双工即 FDD;后者称为时分双工,即 TDD),允许双方同时进行发送和接收。

在各种无线移动通信系统中,为大家所熟知的有寻呼系统、无绳电话系统、移动卫星通信系统和蜂窝通信系统,其中蜂窝通信系统尤为重要。无线通信取得今天的重要位置,跟蜂窝通信的产生和发展有着极密切的关系。

### 1.3 蜂窝移动通信系统

蜂窝移动通信系统在无线覆盖范围内,能将用户用无线接入公用电话交换网。蜂窝移动通信系统能在有限的频带内容纳大量用户,通话质量和有线网相当。当用户在运动时,它能将用户通话从一个覆盖区切换到另一个覆盖区,用户也可以从一个蜂窝移动网漫游到另一个蜂窝移动网,仍保持通信不中断。

在蜂窝移动通信系统出现以前,无论是专用移动系统还是具有人工交换或自动接续到公用电话网(PSIN)的公用移动通信系统,主要缺点是频谱利用率低,服务容量不足<sup>[2]</sup>。

1978 年底,美国贝尔实验室研制成功先进移动电话系统(AMPS),建成蜂窝移动通信网。蜂窝移动通信系统引入频率再用(frequency reuse)技术,大大提高了频谱利用率,增加了系统的容量。移动通信开始进入蓬勃发展的阶段。

蜂窝通信的概念是贝尔实验室的研究人员在构造移动通信系统的无线电覆盖区时,试图缓解频率拥挤问题而提出的。传统的移动通信系统借鉴广播和电视,在覆盖区的中心设置较高的天线,用大的发射功率使信号能覆盖整个服务区域,这种大区制方式可以覆盖较大区域,区域半径达几十千米。但是,可用的频道数是有限的,呼叫量不大时即被阻塞。例如,20 世纪 70 年代纽约的移动电话共有三个不同的系统(MTS,IMTS MJ,IMTS MK),信道数分别为 11,11 和 12,它们共同的服务区域约 50 英里(1 英里=1.60934 千米)。在通信高峰期,用户多,阻塞率高<sup>[2]</sup>。

美国贝尔实验室开发的 AMPS 蜂窝通信系统以完全不同的方式实现区域覆盖。AMPS 系统将整个服务区分成许多较小的区域,用小功率发射机来覆盖每个小区,许多小区的集合就可以覆盖整个服务区域。

在全双工通信中,一个无线信道包含了一对信道频率作双向传输。设某个半径为  $R$  的地理区域  $C_1$  内使用信道  $F_1$ ,由于电波传播损耗,这个信道  $F_1$  在另一个相距  $D$ ,半径为  $R$  的区域可以再次使用而不会有多大同频道干扰(图 1.3)。

我们把这种空间分隔条件下的频率重复使用叫频率再用,以区别于频分多路概念下的频率复用(frequency multiplex)。