

高新技术专著系列

Joint Coding And Modulation  
Diversity Technology :  
Theory And Application

# 联合编码调制技术 理论及应用

吴湛击 著

• 创新性强，覆盖面广

• 集结国家重大专项、国家自然科学基金、

教育部重点研究项目研究成果



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

高新技术专著系列

TN761  
09

014036226

Joint Coding And Modulation  
Diversity Technology:  
Theory And Application

# 联合编码调制技术 理论及应用

吴湛击 著



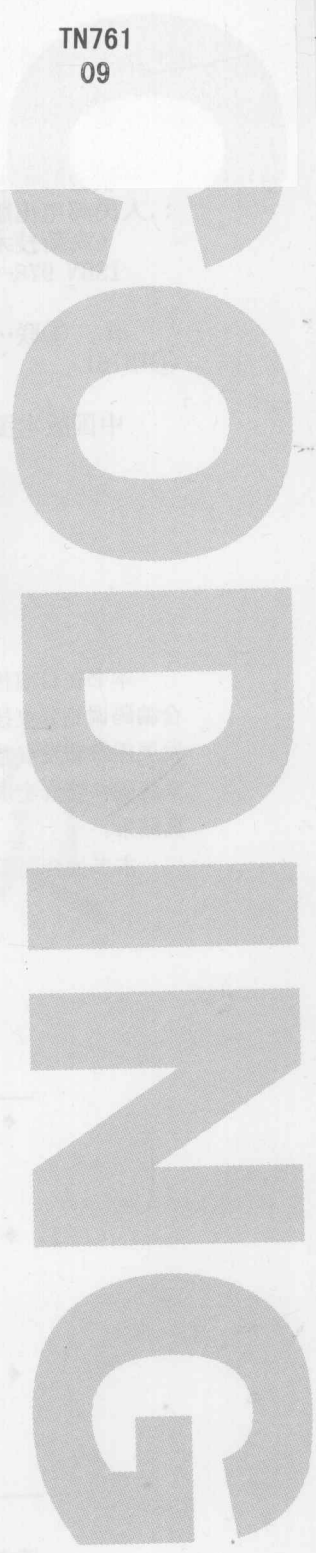
TN 761  
09

人民邮电出版社



北航

C1723374



## 图书在版编目(CIP)数据

联合编码调制技术理论及应用 / 吴湛击著. — 北京:  
人民邮电出版社, 2014. 1  
(高新技术专著系列)  
ISBN 978-7-115-31520-5

I. ①联… II. ①吴… III. ①编码—调制技术 IV.  
①TN761

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第066650号

## 内 容 提 要

本书在目前传统传输技术的基础上, 针对未来移动通信的发展趋势和发展需求, 提出了联合编码调制分集技术。全书共分7章, 主要内容包括: 移动通信的发展背景及未来移动通信的发展需求和发展趋势、下一代移动通信关键技术、联合编码调制分集技术、联合编码调制分集系统硬件仿真实现、仿真结果及分析、联合编码差分调制理论技术实现、联合编码差分调制仿真结果。

本书适合高等院校通信相关专业本科生、研究生和移动通信研究开发人员阅读参考。

- 
- ◆ 著 吴湛击  
责任编辑 杨 凌  
责任印制 彭志环 焦志炜
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京铭成印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 700×1000 1/16  
印张: 16.75  
字数: 316千字 2014年1月第1版  
印数: 1-2500册 2014年1月北京第1次印刷
- 

定价: 78.00元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316  
反盗版热线: (010)81055315

## 前 言

人们对移动通信日益增长的需求和不懈的探索推动了移动通信技术的飞速发展。在移动通信飞速发展的一百多年时间里，移动通信越来越广泛地渗透进每个人的日常生活中。随着蜂窝移动通信、因特网和多媒体业务的发展，世界范围内无线通信的容量需求在迅速增长。此外，无线资源，尤其是频谱资源变得越来越紧张，频谱资源的严重不足已经日益成为遏制无线通信事业发展的瓶颈。另一方面，为能够满足通信容量日益增长的需要，通信频谱的利用率需要得到显著提高。低碳减排，有利于缓解我国经济发展的资源约束矛盾、调整优化经济结构和转变经济发展方式。作为全球最大的发展中国家，我国已把降低碳排放作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。而通信产业作为国民经济发展的基础性、先导性和战略性产业，承担着调整经济结构、转变发展方式、建设低碳社会的重要责任，因此，通信业的节能减排具有重要的现实意义，绿色通信也再次被聚焦。

本书创新性强，覆盖面广。在目前传统传输技术的基础上，针对未来移动通信的发展趋势和发展需求，提出了联合编码调制分集技术。经过研究分析和大量仿真测试，该技术相比目前传统传输方案可以取得显著的性能优势。一方面，联合编码调制分集可以更好地提高目前无线传输的可靠性，明显提升通信质量和覆盖范围。另一方面，在相同的服务质量需求下，联合编码调制分集相比目前传统的传输方案可以使用更小的发送功耗。因此，联合编码调制分集技术具有良好的创新性和实用性，十分适合下一代无线绿色通信高频谱效率、高可靠性和低能耗的需求。本书还紧跟目前无线通信协议的发展，包括 3GPP LTE 和无线局域网 IEEE 802.11 系列协议，并将联合编码调制分集技术成功运用到目前协议标准中，显著提升了目前协议传输方案的性能。本书的研究成果对于提升我国在未来无线通信标准核心知识产权的比例，确保我国无线通信领域的持续优势具有积极作用。

此外，为了提高系统的可靠性，接收机在进行相位恢复时必须设法克服相位模糊问题，为此常采用差分调制来实现。然而，差分调制会导致信号误码率加倍，产生额外的信噪比代价。如何设计一个系统，在避免相位模糊的同时，还能补偿差分调制所导致的信噪比代价，也是本书的研究重点之一。本书分析了迭代差分解调解码方案，即将 LDPC 编码和差分调制作为整体进行优化，该方案既可以克服相位模糊又能补偿差分代价，大大增强了系统的可靠性。同时，本书提出了适

合该方案的 LDPC 码的度优化算法和满足任意度分布的校验矩阵的构造方法。

本书由浅入深,对目前移动通信关键技术,如编码技术、调制技术、MIMO、OFDM 等基础知识都进行了介绍,可以作为高等院校通信专业的本科生、研究生教材或参考书目,也可以作为移动通信研发人员的参考书目。

本书的研究工作得到了国家重大专项(2009ZX03003-011-03)、国家自然科学基金(60702050 和 61171101)、教育部重点研究项目(109013)和华为公司的大力资助,我们对有关单位深表谢意。本书得到了吴伟陵教授和王文博教授的很多指导和帮助,同时孙韶辉、孟德香、梁双春、刘光毅、罗振东、彭涛、黄善国、李云洲、吴斌、费泽松、程龙龙、周一青、肖治宇、常德远、郑辰和孙博等诸位博士也给予了很多宝贵建议,也一并致以由衷的谢意。我指导的研究生高翔、程娇、崔颖、刘威、吴迎宾、化龙飞和刘君鹏等同学也做了大量的工作和贡献,也向他们表达谢意。

由于著者学识有限,书中错误在所难免,希望读者不吝赐教。

编者

2013 年 10 月

# 目 录

## 第1章 概述及背景

1.1 移动通信发展概述	2
1.2 未来移动通信发展方向	5
1.3 本书结构	8
1.4 小结	9

## 第2章 下一代移动通信关键技术

2.1 OFDM 技术	11
2.2 MIMO 技术	12
2.3 智能天线技术	12
2.4 信道编码	13
2.4.1 卷积码	13
2.4.2 Turbo 码	20
2.4.3 LDPC 码	29
2.5 调制及解调原理	36
2.5.1 调制	37
2.5.2 解调	40
2.6 网格编码调制 (TCM)	43
2.6.1 4 状态 8PSK TCM 码结构	43
2.6.2 一般的 TCM	45
2.7 旋转调制技术	46
2.8 分层空时编码	47
2.9 小结	50

## 第3章

## 联合编码调制分集技术

3.1	联合编码调制分集技术背景	52
3.2	联合编码调制分集基本原理概述	53
3.3	联合编码调制分集在单入单出 (SISO) 系统中的应用	62
3.3.1	独立平坦瑞利信道下 JCMD-SISO 系统	62
3.3.2	频率选择性衰落信道下 JCMD-SISO-OFDM 系统	65
3.4	联合编码调制分集在多人多出 (MIMO) 系统中的应用	69
3.4.1	独立平坦瑞利信道下 JCMD-MIMO 系统	69
3.4.2	频率选择性衰落信道下 JCMD-MIMO-OFDM 系统	73
3.4.3	预编码技术	77
3.4.4	接收算法及解调算法	80
3.5	联合编码调制分集在 BICM-ID 系统中的应用	83
3.5.1	迭代解调解码技术	84
3.5.2	独立平坦瑞利信道下的 JCMD-ID 系统	86
3.5.3	JCMD-ID 旋转角度的设计	87
3.5.4	频率选择性衰落信道下的 JCMD-OFDM-ID 系统	89
3.6	EXIT 图分析	90
3.6.1	原理	90
3.6.2	相关仿真	91
3.7	联合编码调制分集在 MIMO-SC-FDMA 系统中的应用	94
3.7.1	JCMD-MIMO-SC-FDMA 系统框图	94
3.7.2	接收算法及解调算法	96
3.8	信道估计技术	97
3.8.1	OFDM 系统中信道估计原理	98
3.8.2	传统信道估计	101
3.8.3	适用于有虚拟子载波系统的实用 LMMSE 算法	109
3.8.4	适用于 JCMD 系统中的 $Q$ 路交织算法	114
3.8.5	信道估计算法	115
3.9	非线性评估	120
3.9.1	评估背景	120
3.9.2	评估原理	121
3.9.3	评估参数	122

3.9.4 评估结果	122
3.9.5 评估结论	124
3.10 复杂度分析	124
3.10.1 BICM 系统各模块复杂度	124
3.10.2 JCMD 系统各模块复杂度	124
3.10.3 复杂度统计与对比	125
3.11 小结	126

## 第4章

### 联合编码调制分集系统硬件仿真实现

4.1 DSP 简介	128
4.2 picoChip 简介	128
4.2.1 picoArray 的体系结构	129
4.2.2 picoArray 的总线复用	130
4.2.3 picoArray 的端口和外围设备	130
4.2.4 picoChip AE 结构和类型	132
4.2.5 picoArray 开发流程	134
4.3 硬件平台介绍	135
4.4 系统参数及帧结构设计	137
4.4.1 帧结构设计	137
4.4.2 系统参数	139
4.5 SISO 系统实现	140
4.6 2×2 MIMO 系统实现	141
4.7 核心模块的硬件设计与实现	142
4.7.1 解预编码的实现	142
4.7.2 码本选择的实现	143
4.7.3 信道估计的实现	143
4.7.4 同步的实现	148
4.8 小结	158

## 第5章

### 仿真结果及分析

5.1 仿真背景与介绍	160
-------------	-----



5.2	联合编码调制分集在 SISO 系统仿真结果	160
5.2.1	平坦瑞利信道下 BICM-SISO 与 JCMD-SISO 性能对比	160
5.2.2	频率选择性衰落信道下 BICM-SISO-OFDM 与 JCMD-SISO-OFDM 系统性能对比	164
5.2.3	平坦瑞利信道下 BICM-ID 与 JCMD-ID 性能对比	169
5.2.4	频率选择性衰落信道下 BICM-OFDM-ID 与 JCMD-OFDM-ID 性能对比	171
5.3	联合编码调制分集在 MIMO 系统仿真结果	173
5.3.1	平坦瑞利信道下 BICM-MIMO 与 JCMD-MIMO 性能对比	173
5.3.2	频率选择性衰落信道下 BICM-MIMO-OFDM 与 JCMD-MIMO-OFDM 系统性能对比	177
5.4	信道估计技术性能对比	180
5.5	联合编码调制分集在无线局域网 (IEEE 802.11) 系统中的仿真	182
5.5.1	无线局域网发展情况及仿真背景	182
5.5.2	联合编码调制分集在 IEEE 802.11ac 系统中的仿真	183
5.5.3	联合编码调制分集在 IEEE 802.11ad 系统中的仿真	189
5.6	联合编码调制分集在中继回程 (Relay Backhaul) 信道下的研究	192
5.6.1	仿真参数设置	192
5.6.2	最优旋转角度	193
5.6.3	仿真曲线	193
5.6.4	仿真总结	195
5.7	联合编码调制分集在删余信道下的研究	195
5.7.1	删余信道下 SISO-OFDM 系统性能与分析	196
5.7.2	删余信道下 MIMO-OFDM 系统性能与分析	196
5.8	硬件平台仿真结果	197
5.8.1	硬件平台 SISO 系统仿真分析	197
5.8.2	硬件平台 MIMO 系统仿真分析	202
5.9	结论	205
5.9.1	JCMD 在 SISO-OFDM 系统中的优势	205
5.9.2	JMCD 在 MIMO-OFDM 系统中的优势	206
5.9.3	JCMD-ID 相对 BICM-ID 的优势	206
5.9.4	JCMD-MIMO-OFDM 硬件原型系统测试	207
5.10	小结	207

## 第 6 章

### 联合编码差分调制理论技术实现

6.1	系统模型	209
-----	------	-----

6.2 联合编码差分调制理论中用的信道编解码及信道	210
6.2.1 卷积码	210
6.2.2 Turbo 码	211
6.2.3 LDPC 码	211
6.2.4 AWGN 信道	213
6.3 差分调制原理	214
6.3.1 DQPSK	214
6.3.2 D16QAM	217
6.4 差分调制外信息迭代过程	220
6.4.1 卷积码	220
6.4.2 LDPC 码	221
6.5 EXIT 图分析	223
6.5.1 EXIT 图基本原理	223
6.5.2 DQPSK 系统下 EXIT 图分析	226
6.5.3 D16QAM 系统下 EXIT 图分析	229
6.6 基于 EXIT 图的 LDPC 码度优化	231
6.7 小结	234

## 第 7 章

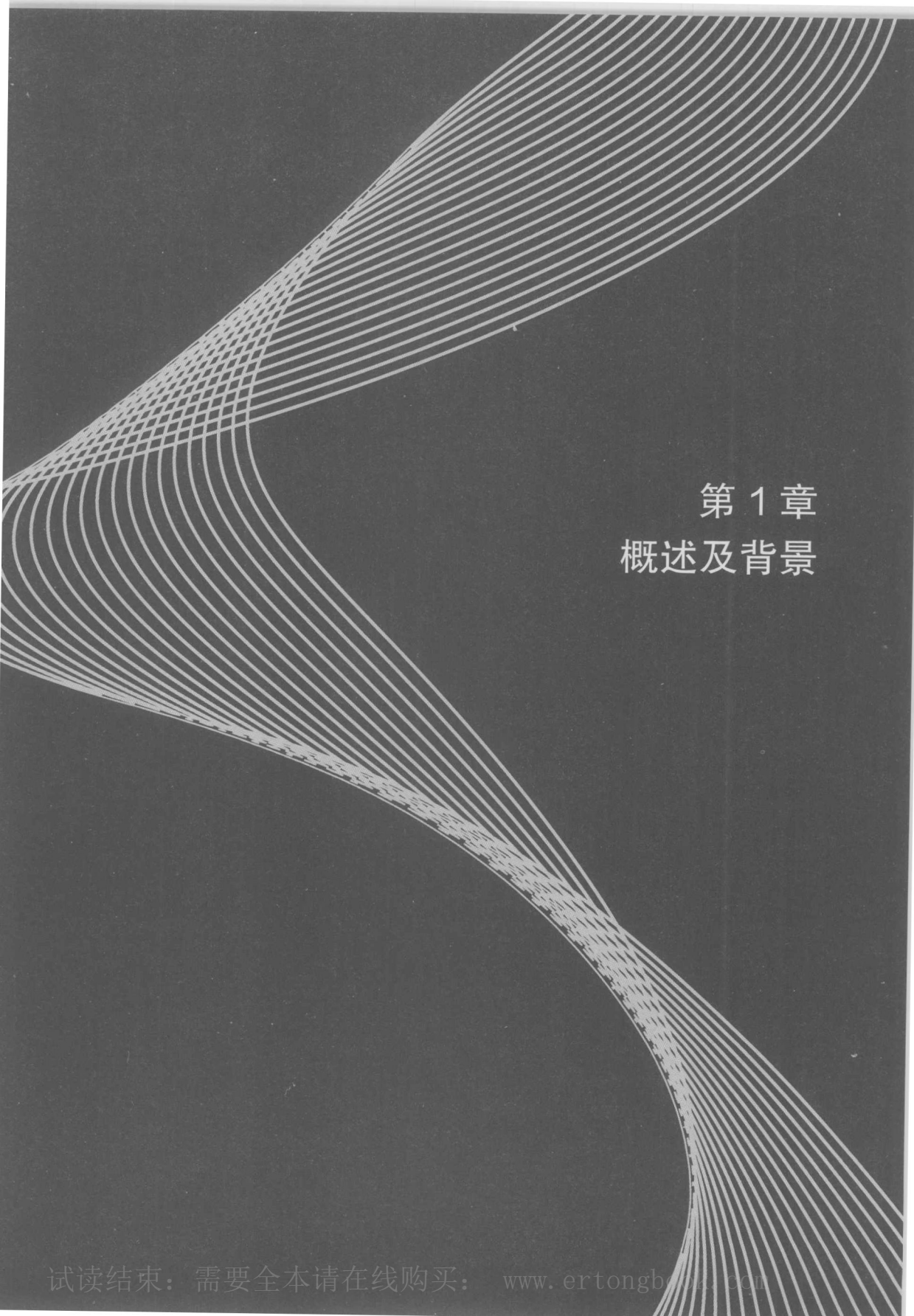
### 联合编码差分调制仿真结果

7.1 DQPSK 系统下仿真结果	236
7.1.1 卷积码	236
7.1.2 LDPC 码	237
7.2 D16QAM 系统下仿真结果	239
7.2.1 Turbo 码	239
7.2.2 LDPC 码	241
7.3 结论	243
7.4 小结	243

## 附录 A J 函数及其逆函数的计算

### 缩略语

### 参考文献



第 1 章  
概述及背景

## 1.1

# 移动通信发展概述

自从 1897 年马可尼首次证明了无线通信的可行性,人们对移动通信的日益增长的需求和不懈的探索推动了移动通信技术的飞速发展。在移动通信飞速发展的一百多年时间里,移动通信越来越广泛地渗透进每个人的日常生活中。我国从 20 世纪 80 年代中期第一代模拟移动通信系统(简称 1G,同样,本文中第二代、第三代依次简称 2G、3G)商用开始,短短的十几年间经历了 20 世纪 90 年代初第二代数字移动通信系统从萌芽到完善的整个发展过程,直至今日对第三代乃至超三代(Beyond 3G)移动通信系统如火如荼的研究和开发,足以表明移动通信的发展速度势不可挡。

现代意义移动通信的发展可追溯到 20 世纪 20 年代初期。1928 年,美国 Purdue 大学发明了工作于 2MHz 的超外差无线接收机,并在底特律警察局中使用了车载无线电通信,这是世界上第一部可以工作的移动通信系统。20 世纪 30 年代初,第一部调幅制式的双向移动通信系统在美国新泽西警察局投入使用。20 世纪 30 年代末,第一部调频制式的移动通信系统诞生,且表明调频制式的移动通信系统比调幅制式的移动通信系统更加有效。第二次世界大战期间,军事上的需求促使技术快速进步,因而推动了移动通信的飞速发展,战后,军事移动通信技术逐渐应用到了民用领域。至 20 世纪 50 年代,美国和欧洲部分国家相继成功研制了公用移动电话系统,在技术上实现了移动电话系统与公众电话网络的互通。从 20 世纪 60 年代中期至 20 世纪 70 年代中期<sup>[1]</sup>,美国推出改进型移动电话系统,使用了 150MHz 和 450MHz 频段,从而可以自动接入公用电话网。直到 20 世纪 70 年代中后期,美国贝尔实验室提出了在移动通信发展史上具有里程碑意义的小区制和蜂窝组网的理论,才有效地解决了移动通信中由于用户数量的激增所带来的大量问题,比如:有限的频谱供给,低下的信息传输效率等。至此,开启了蜂窝移动通信发展的新时代,从此移动通信系统在全世界开始得到了广泛的应用。

迄今为止,蜂窝移动通信的发展已经经历了几次大的变革,从最初的模拟移动通信系统到第二代的数字移动通信系统,再到 3G,到如今发展使用中的 LTE 和未来的 4G,移动通信的每一次变革都为用户带来了更加先进的技术和更加优越的性能。

### (1) 第一代蜂窝移动通信系统——模拟移动通信系统

第一代移动通信系统(1G)是指最初的模拟、仅限语音的蜂窝电话标准,制定于20世纪80年代。第一代移动通信系统主要采用模拟技术和频分多址(Frequency Division Multiple Access, FDMA)技术。此系统是使用单个大功率的发射机和高塔,覆盖地区超过50km,仅能以半双工模式提供话音服务,使用120kHz带宽。这样,后来发展了蜂窝无线电话的原理和技术。利用在地域上将覆盖范围划分成小单元,每个单元复用频带的一部分以提高频带的利用率,从系统构造和技术原理可知,受到传输带宽的限制,第一代系统不能进行长途漫游,只能是一种区域性的移动通信系统。具有代表性的第一代移动通信系统有美国的AMPS系统、英国的ETACS系统、法国的450系统、北欧的NMT-450系统以及我国主要采用的TAOS系统等<sup>[2]</sup>。第一代移动通信有很多不足之处,比如容量有限、制式太多、互不兼容、保密性差、通话质量不高、不能提供数据业务、不能提供自动漫游等。

### (2) 第二代蜂窝移动通信系统——数字移动通信系统

为了解决第一代移动通信系统中存在的一系列缺陷,第二代移动通信系统(2G)开始使用数字调制技术来解决模拟系统所带来的问题,引入数字无线电技术组成的数字蜂窝移动通信系统,提供更高的网络容量,改善了话音质量和保密性,并为用户提供无缝的国际漫游。

1992年欧洲开始铺设全球第一个数字蜂窝移动通信网络——GSM(Global System Mobile),由于其优良的性能,使得GSM在全球都得到了广泛的应用。随后,美国的DAMPS和日本的JDC等也相继投入使用,1993年美国推出了基于码分多址技术(Code Division Multiple Access, CDMA)的IS-95系统。这也是如今3G系统中的cdma2000的前身。

GSM技术用的是窄带TDMA,允许在一个射频(即“蜂窝”)同时进行8组通话。它是根据欧洲标准确定的频率范围在900~1800MHz之间的数字移动电话系统,频率为1800MHz的系统也被美国采纳。GSM是1991年开始投入使用的。到1997年年底,已经在100多个国家运营,成为欧洲和亚洲实际上的标准。GSM数字网也具有较强的保密性和抗干扰性,音质清晰,通话稳定,并具备容量大、频率资源利用率高、接口开放、功能强大等优点。不过它能提供的数据传输率仅为9.6kbit/s,和五六年前用固定电话拨号上网的速度相当,而当时的Internet几乎只提供纯文本的信息。

针对GSM通信出现的缺陷,人们在2000年又推出了一种新的通信技术GPRS,该技术是在GSM的基础上的一种过渡技术。GPRS的推出标志着人们在GSM的发展基础上迈出了意义最重大的一步,GPRS在移动用户和数据网络之间提供一种连接,给移动用户提供高速无线IP和X.25分组数据接入服务。在这之

后,各大通信运营商又推出了 EDGE 技术,这种通信技术是一种介于 2G 和 3G 之间的过渡技术,因此也有人称它为“2.5G”技术,它有效提高了 GPRS 信道编码效率的高速移动数据标准,它允许高达 384kbit/s 的数据传输速率。

基于 CDMA 的 IS-95 载波频宽为 1.25MHz,每个载频含有 64 个信道,可工作在 800MHz 或 1 900MHz 的频率上,使用 800MHz 的 CDMA 系统称为蜂窝系统;使用 1 900MHz 的 CDMA 系统称为 PCS 系统。IS-95 系统中采用了扩频、Rake 接收及功率控制等关键技术,具有良好的抗干扰特性,极大地提高了系统容量。由于 CDMA 系统在提高系统容量和抗干扰及无线衰落等方面优势较为明显,这也使得 CDMA 技术成为第三代通信系统中的核心技术。但 IS-95 起步较晚,且在高层信令和 network 层考虑不足,其市场份额远低于已经较为成熟的 GSM 网络。

总之,第二代蜂窝移动通信系统主要采用 TDMA 技术或 CDMA 技术,二者都具有频谱利用率高、保密性好和话音质量好等特点,既可以支持话音业务,也可以支持低速数据业务。不过,随着数据业务需求的不断增长,2G 系统在频谱利用率、系统容量的局限性也日益明显。

### (3) 第三代蜂窝移动通信系统

第三代移动通信系统 IMT-2000,是国际电信联盟 (ITU) 在 1985 年提出的,当时称为 FPLMTS。1996 年正式更名为 IMT-2000。其主要技术标准有 3 种:欧洲的 WCDMA 系统、美国的 cdma2000 系统和中国的 TD-SCDMA 系统。

从 1996 年开始,3G 系统逐渐成为移动通信领域的研究热点,各国对 3G 系统逐渐进入实质性的研究阶段。1997 年 4 月,ITU 向全世界发出了 IMT-2000 无线传输技术 (RTT) 建议的征求函,并公布了 IMT-2000 RTT 的制定步骤和时间表。为了在未来的全球标准中占据一席之地,各国、各地区组织、各大公司等纷纷提出了自己的建议。截止到 1998 年 6 月,ITU 收到的 IMT-2000 地面无线传输技术建议有 10 种之多,其中包括我国电信科学技术研究院 (CATT) 提出的 TD-SCDMA 技术。

表 1-1 IMT-2000 地面无线传输技术提案<sup>[1]</sup>

技术名称	组织	双工方式
J: WCDMA	日本 ARIB	FDD, TDD
UTRA-UMTS	欧洲 ETSI	FDD, TDD
WCDMA	美国 TIA	FDD
WCDMA/NA	美国 TIPI	FDD
Global CDMA II	韩国 TTA	FDD
TD-SCDMA	中国 CWTS	TDD
cdma2000	美国 TIA	FDD, TDD
Global CDMA I	韩国 TTA	FDD
UWC-136	美国 TIA	FDD
DECT	欧洲 ETSI	TDD

与1G和2G系统相比,3G系统的主要特点可以概括如下。

① 全球普及和全球无缝漫游的能力:3G系统提供全球覆盖,全球统一分配频段,全球统一标准。

② 支持话音、数据、图像及多媒体等业务,根据需要提供带宽,要求无线接口能满足以下要求:快速移动环境中最高速率可达144kbit/s;室外到室内或步行环境中最高速率可达384kbit/s;室内环境中最高速率可达2Mbit/s。

③ 具有良好的设计一致性、前后向兼容性及与固网的兼容性:不同厂家产品的设计具有良好的一致性和设备互通性;方便从现有蜂窝系统进行平滑演进及其进一步发展;可以综合现有的公众电话交换网、综合业务数字网、无绳电话系统、地面移动通信系统、卫星通信系统等,以提供无缝覆盖。

④ 提供充足的带宽、较高的频谱效率及良好的业务服务质量(Quality of Service, QoS)。

⑤ 提供良好的系统安全机制:移动通信业务已经渗透到社会生活的方方面面,移动通信系统的安全性除了牵涉到用户的个人隐私外,还可能与国家的政治、经济、金融等领域的安全性密切相关,3G系统应该适应这些安全性的要求。

随着数据业务的增长,尤其是新型多媒体业务的不断涌现,用户对数据带宽及服务体验的要求也不断提高。针对目标业务,在保证业务质量的前提下,如何尽量改善频谱效率、提高系统容量,是3G系统设计的关键。

回望移动通信发展历史,自蜂窝移动通信以来,无论是第一代还是第二代,都主要是针对话音通信设计的,话音通信仍是当前和未来一段时间内移动通信市场的基石和主阵地。数字话音移动通信仍是移动通信的主流市场,但根据移动通信业务的发展情形来看,在移动通信中,数据通信量必将在某一天超过话音通信,因而通过革新技术来提高频谱效率,提高通信速率已成为移动通信发展的当务之急。

## 1.2

### 未来移动通信发展方向

从移动通信的发展历史来看,移动通信的发展不是孤立的,而是建立在与其相关的技术发展和人们需求的基础上的。第一代移动通信是在超大规模模拟集成电路的基础及人们对移动通话的需求上发展起来的。第二代移动通信建立在超大规模数字集成电路技术、微计算机技术以及人们对通话质量的需求基础上。第三代移动通信建立在互联网技术、数据信息处理技术以及人们对移动数据业务的需

求基础上。第四代移动通信将是建立在下一代互联网技术、多媒体技术以及人们对多媒体需求的基础上,不断适应用户与新业务的需求,不断提高无线通信频谱效率和网络功能。未来的通信会使我们可以更加自由自在地沟通信息,改变我们现在的生活方式和工作方式。下一代通信具有以下特征。

### (1) 通信速度更快

由于人们研究 4G 通信的最初目的就是提高蜂窝电话和其他移动装置无线访问 Internet 的速率,因此 4G 通信给人印象最深刻的特征莫过于它具有更快的无线通信速率。将移动通信系统数据传输速率做比较,第一代模拟式仅提供话音服务;第二代数字式移动通信系统传输速率也只有 9.6kbit/s,最高可达 32kbit/s,如 PHS;而第三代移动通信系统的数据传输速率可达到 2Mbit/s;专家预估,第四代移动通信系统可以达到 10~20Mbit/s,甚至最高可以达到 100Mbit/s。

### (2) 网络频谱更宽

要想使 4G 通信达到 100Mbit/s 的传输,通信运营商必须在 3G 通信网络的基础上进行大幅度的改造和研究,以便使 4G 网络在通信带宽上比 3G 网络的蜂窝系统的带宽高出许多。据研究 4G 通信的 AT&T 的执行官们说,估计每个 4G 信道将占有 100MHz 的频谱,相当于 WCDMA 3G 网络的 20 倍<sup>[4]</sup>。

### (3) 通信更加灵活

从严格意义上说,4G 手机的功能,已不能简单划归到“电话机”的范畴,毕竟话音资料的传输只是 4G 移动电话的功能之一而已,因此,未来 4G 手机更应该算得上是一台小型电脑了,而且 4G 手机从外观和式样上将有更惊人的突破,我们可以想象的是,眼镜、手表、化妆盒、旅游鞋,以方便和个性为前提,任何一件你能看到的物品都有可能成为 4G 终端,只是目前我们还不知应该怎么称呼它。未来的 4G 通信将使我们不仅可以随时随地通信,更可以双向下载传递资料、图画、影像,当然更可以和从未谋面的陌生人网上联机对打游戏。

### (4) 智能性更高

第四代移动通信的智能性更高,不仅表现在 4G 终端设备的设计和操作具有智能化,例如对菜单和滚动操作的依赖程度将大大降低,更重要的是 4G 手机可以实现许多难以想象的功能。例如,4G 手机将能根据环境、时间以及其他设定的因素来适时地提醒手机的主人此时该做什么事,或者不该做什么事,4G 手机可以将电影院票房资料,直接下载到 PDA<sup>[5]</sup>之上,这些资料能够把目前的售票情况、座位情况显示得清清楚楚,大家可以根据这些信息在线购买自己满意的电影票;4G 手机可以被看作是一台手提电视,用来看体育比赛之类的各种现场直播。

### (5) 兼容性能更平滑

要使 4G 通信尽快地被人们接受,不但要考虑它的功能强大外,还应该考虑到现有通信的基础,以便让更多的现有通信用户在投资最少的情况下就能很轻易



地过渡到 4G 通信。因此,从这个角度来看,未来的第四代移动通信系统应当具备全球漫游,接口开放,能与多种网络互联,终端多样化,以及能从第二代平稳过渡等特点。

#### (6) 提供各种增值服务

4G 通信并不是从 3G 通信的基础上经过简单的升级而演变过来的,它们的核心建设技术根本就是不同的,3G 移动通信系统主要是以 CDMA 为核心技术,而 4G 移动通信系统技术则以正交多任务频分(OFDM)技术最受瞩目,利用这种技术人们可以实现例如无线区域环路(WLL)、数字音频广播(DAB)等方面的无线通信增值服务;不过考虑到与 3G 通信的过渡性,第四代移动通信系统不会在未来仅仅只采用 OFDM 一种技术,CDMA 技术将会在第四代移动通信系统中,与 OFDM 技术相互配合以便发挥出更大的作用,甚至未来的第四代移动通信系统也会有新的整合技术如 OFDM/CDMA 产生,前面所提到的数字音频广播,其实它真正运用的技术是 OFDM/FDMA 的整合技术,同样是利用两种技术的结合。因此未来以 OFDM 为核心技术的第四代移动通信系统,也将会结合两项技术的优点,一部分将是 CDMA 的延伸技术。

#### (7) 实现更高质量的多媒体通信

尽管第三代移动通信系统也能实现各种多媒体通信,但未来的 4G 通信能满足第三代移动通信尚不能达到的在覆盖范围、通信质量、造价上支持的高速数据和高分辨率多媒体服务的需要,第四代移动通信系统提供的无线多媒体通信服务将包括话音、数据、影像等大量信息透过宽频的信道传送出去,为此未来的第四代移动通信系统也称为多媒体移动通信。第四代移动通信不仅仅是为了满足用户数的增加,更重要的是,必须要满足多媒体的传输需求,当然还包括通信品质的要求。总的来说,首先必须可以容纳市场庞大的用户数、改善现有通信品质不良,以及达到高速数据传输的要求。

#### (8) 频率使用效率更高

相比第三代移动通信技术来说,第四代移动通信技术在开发研制过程中使用和引入许多功能强大的突破性技术,例如一些光纤通信产品公司为了进一步提高无线因特网的主干带宽宽度,引入了交换层级技术,这种技术能同时涵盖不同类型的通信接口,也就是说第四代主要是以运用路由(Routing)技术为主的网络架构。由于利用了几项不同的技术,所以无线频率的使用比第二代和第三代系统有效得多。按照最乐观的情况估计,这种有效性可以让更多的人使用与以前相同数量的无线频谱做更多的事情,而且做这些事情的时候速度相当快。研究人员说,下载速率有可能达到 5~10Mbit/s<sup>[6]</sup>。

#### (9) 通信费用更便宜

由于 4G 通信不仅解决了与 3G 通信的兼容性问题,让更多的现有通信用户能