

科技经典

3G/B3G

核心技术丛书

01010101100

1010101100

智能天线 技术与应用

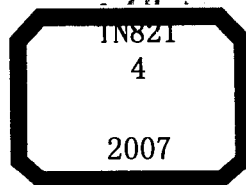
刘 鸣 袁超伟 贾 宁 黄 韬 编著

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

3G/B3G核心技术丛书



3G/B3G 核心技术丛书



智能天线技术与应用

刘 鸣 袁超伟 贾 宁 黄 韬 编著

机 械 工 业 出 版 社

本书系统地阐述了智能天线的基本原理、关键技术等相关内容,比较充分地反映了智能天线及其应用的研究现状和发展趋势。

本书共9章,力求基本理论紧密结合实际系统,将理论与实际应用相结合是本书的特色。本书内容深入浅出,重点突出,图文并茂,通俗易懂,既有系统完整的理论描述,又密切联系移动通信和无线局域网系统。

本书适用于从事无线通信研究与开发的电信工程师、工程管理人员、网络运营人员和规划设计人员。同时对在这个领域进行教学、研究、开发的教师、学生也是一本很好的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能天线技术与应用/刘鸣等编著. —北京:机械工业出版社, 2007.1
(3G/B3G 核心技术丛书)

ISBN 7-111-20145-0

I. 智... II. 刘... III. 人工智能—天线 IV. TN821

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第124852号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:朱林 版式设计:霍永明

责任校对:陈延翔 封面设计:马精明 责任印制:杨 曦

赤峰彩益印刷有限公司印刷

2007年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20.25印张·499千字

0001—4000册

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379768

封面无防伪标均为盗版

3G/B3G 核心技术丛书

编 委 会

主任委员：袁超伟 姜宇柏

委 员(排名不分先后)：

程宝平	曾春亮	黄 韬	梁守青
贾 宁	赵 鑫	俞一鸣	汪裕民
杨睿哲	李美玲	张 宁	齐伟民
孙昌璐	刘 鸣	王旭莹	蒋建新

丛 书 序

目前, 3G 已成为中国传统电信运营企业转型的关键之一, 同时成为中国电信设备制造企业国际化发展的重要机遇。

然而, 随着宽带数据和多媒体业务的迅猛发展, 第三代移动通信原定目标规定的 2Mbit/s 的传输速率已经远远不能满足需求, 3G 技术正在朝着 B3G、4G 技术方向发展。由于我国至今没有正式颁发 3G 业务牌照, 一方面使得国内很多著名的 3G 设备制造企业不得不将更多的精力放在国际市场的开拓上; 另一方面使得我国可以充分发挥后发优势, 在 3G 网络的建设过程中可以引入各项成熟的新技术, 即在我国 3G 网络中直接应用部分 B3G 乃至 4G 的核心技术, 提高我国 3G 网络的业务能力。

因此, 我们策划了这套“3G/B3G 核心技术丛书”, 对 HSDPA/HSUPA 技术、IMS 技术、OFDM 技术、MIMO 技术、智能天线技术、软件无线电技术和 WiMAX 技术等主流的新技术进行阐述, 内容涉及 3G/B3G 网络的无线接入、核心网、智能天线、频分复用、系统设计等多个方面。

希望通过阅读本套丛书, 读者能够比较全面地了解 3G/B3G 系统的各项核心技术, 更希望本套丛书能对我国 3G/B3G 系统的网络建设和产业发展作出一定的贡献。

由于通信技术发展十分迅速, 加上编写时间相对紧张, 书中难免存在不足, 恳请广大读者和专家批评指正, 联系信箱 buptzjh@163.com。

3G/B3G 核心技术丛书编委会

2006 年 8 月

前 言

智能天线采用空分复用技术,利用信号在传播方向上的差异,将同频率、同时隙的信号从空域区分开来。它可以成倍地扩展通信容量,并和其他复用技术相结合,最大限度地利用有限的频谱资源。智能天线技术还可以有效地克服移动通信中由于复杂的地形、建筑物结构等对电波传播的影响,以及时延扩展、瑞利衰落、多径、共信道干扰等产生的不利影响。

本书的目的是引导读者了解当今无线通信的关键技术之一——智能天线技术。本书按照先易后难、先简单后复杂的思路对智能天线的工作原理、系统设计与实现等工作中涉及到的重要技术概念做了详尽的介绍。本书是我们教学和科研成果的总结,适用于无线通信网络运营人员、规划人员、工程管理人员、研究开发人员、大学教师、研究生及高年级本科生。

本书共9章。第1章简要介绍了移动通信系统和智能天线,目的是使读者对移动通信和智能天线有一个大致的了解,为后面具体内容的学习做准备。第2章重点介绍了一些与智能天线算法相关的概念以及阵列信号的数学模型,为后面章节中各种算法的分析与研究奠定理论基础。第3章介绍智能天线的空时信道模型,是智能天线技术的基础。第4章详细介绍了与空间谱估计相关的概念、原理与方法,尤其深入地介绍了各类典型算法。第5章详细介绍了空间自适应滤波技术的基本原理及各类算法,是智能天线领域的核心技术,对智能天线的性能和结构有至关重要的影响。第6章介绍了基于软件无线电的智能天线技术,使智能天线技术走向实用化成为可能。第7章和第8章描述的是智能天线在移动通信和无线局域网中的应用。第9章介绍了智能天线的硬件实现,它是智能天线各种算法能够实时处理的关键,直接关系到智能天线的性能。

如果没有曾志民教授、温向明教授的关怀和帮助,这本书是不可能完成的,在此特向他们表示衷心的感谢!参与本书的编写、整理工作的人员还有姜宇柏、俞一鸣、石新、吴红海、刘海洋、雷萍、马力佳、岳凌鹏、蒋建新、张海涛、张蓬、张元雯、丁义、李天松、张海瑛、王永玉、贾晓芸、程铁铮和杨睿哲,在此向他们表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2006年8月于北京邮电大学
通信网络综合技术研究所

目 录

丛书序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 移动通信概述	2
1.1.1 移动通信简介	2
1.1.2 标准化组织	3
1.1.3 移动通信的发展历程	4
1.1.4 移动通信的网络结构	8
1.1.4.1 现状	8
1.1.4.2 3G 网络结构	10
1.1.4.3 B3G/4G 网络结构	15
1.2 智能天线概述	16
1.2.1 智能天线的基本概念	16
1.2.1.1 智能天线简介	16
1.2.1.2 智能天线分类	17
1.2.1.3 智能天线的研究背景及发展 状况	19
1.2.2 智能天线的基本结构和工作 原理	20
1.2.2.1 智能天线的基本结构	20
1.2.2.2 智能天线的工作原理	21
1.2.3 智能天线的关键技术	22
1.2.3.1 智能化接收技术	22
1.2.3.2 智能化发射技术	22
1.2.3.3 动态信道分配技术	23
1.2.4 智能天线的基本用途	23
1.2.5 智能天线与 3G 系统	24
1.2.5.1 智能天线在 3G 系统中的实现 原理	24
1.2.5.2 智能天线技术对 3G 系统性能 的改善	26
1.2.6 目前主要研究的内容	28
1.2.7 智能天线技术展望	30
本章小结	30
第 2 章 智能天线技术基础	31
2.1 阵列天线的数学模型	31
2.1.1 通常情况下的数学模型	31

2.1.2 相干信号源的数学模型	34
2.1.3 宽带信号源的数学模型	34
2.1.4 分布式目标的数学模型	35
2.2 阵列模型的统计特性	38
2.3 空时等效性	40
2.4 天线系统中的一些基本概念	43
2.4.1 方向图	44
2.4.2 波束宽度	48
2.4.3 分辨力	49
本章小结	50
第 3 章 智能天线的空时信道模型	51
3.1 空时无线信道的基本特征	51
3.1.1 无线信道概述	51
3.1.2 无线多径信道模型	52
3.1.3 空时信道模型的建立	54
3.2 智能天线的空时信道模型	55
3.2.1 Lee 氏模型及其 Stapleton 推广	55
3.2.2 离散均匀分布模型	56
3.2.3 高斯广义稳态非相关散射模型 及其扩充	56
3.2.4 均匀扇区分布模型	58
3.2.5 双向信道模型	58
3.2.6 时变矢量信道模型	58
3.2.7 光线追踪模型	60
3.2.8 推广的抽头延迟线模型	60
3.2.9 改进的 Saleh-Valenzuela 模型	60
3.2.10 椭圆形子域模型——Lu、Lo、 Litva 模型	60
3.2.11 基于测量的信道模型	61
3.2.12 TU 模型和 BU 模型	61
3.2.13 几何单反射统计信道模型	62
3.2.14 基于分层几何单反射原理的连续 时变矢量信道模型	64
3.2.15 空时信道模型小结	65
3.3 几何单反射椭圆模型	66
本章小结	70
第 4 章 波达方向估计算法	71

4.1 波达方向估计的基本原理	71	5.2.3 线性约束最小方差准则	137
4.2 信号源数估计	72	5.2.4 最大似然准则	137
4.2.1 信息论方法	73	5.2.5 最小二乘准则	138
4.2.2 平滑序列法	73	5.3 最小方均算法及其修正算法	139
4.2.3 盖氏圆方法	75	5.3.1 最陡下降算法	139
4.3 线性预测类算法	76	5.3.2 最小方均算法	140
4.3.1 线性预测的基本原理	77	5.3.3 修正的最小方均算法	141
4.3.2 DOA 估计中的线性预测算法	78	5.4 递推最小二乘算法	142
4.4 多重信号分类算法	83	5.5 QR 分解最小二乘算法	143
4.4.1 经典 MUSIC 算法	83	5.5.1 基本的最小二乘法	144
4.4.2 MUSIC 算法的推广形式	85	5.5.2 数据域求解最佳权	145
4.4.3 基于解相干的 MUSIC 算法	85	5.5.3 Givens 旋转	146
4.4.4 求根 MUSIC 算法	93	5.5.4 递推式 QR 分解最小二乘算法	146
4.5 最大似然及子空间拟合算法	94	5.5.5 直接提取剩余输出的 QRD-LS 算法	149
4.5.1 最大似然算法	95	5.6 采样矩阵求逆算法和 QR 分解 SMI 算法	150
4.5.2 子空间拟合算法	96	5.6.1 采样矩阵求逆算法	150
4.5.3 参数模型拟合算法的实现	98	5.6.2 QR 分解 SMI 算法	150
4.6 旋转不变子空间算法	104	5.7 鲁棒自适应算法	153
4.6.1 旋转不变子空间算法原理	104	5.7.1 导数约束法	153
4.6.2 旋转不变子空间算法的常用 方法	106	5.7.2 特征空间法	155
4.7 子空间迭代算法	109	5.8 惟相位波束形成算法	157
4.7.1 子空间计算的最优化理论	110	5.8.1 权矢量幅度约束法	157
4.7.2 几种典型的子空间迭代算法	111	5.8.2 期望方向增益最大约束算法	159
4.8 循环平稳信号的空间谱估计	116	5.8.3 小相位扰动约束算法	161
4.8.1 基于循环平稳的数学模型	116	5.9 盲自适应算法	162
4.8.2 空间谱估计中的循环平稳 算法	121	5.9.1 恒模算法	162
4.8.3 空间谱估计中的共轭循环平稳 算法	125	5.9.2 最小二乘恒模算法	163
本章小结	128	本章小结	164
第 5 章 空间自适应滤波算法	129	第 6 章 基于软件无线电的智能天线 技术	165
5.1 空间自适应滤波的基本原理	129	6.1 软件无线电	165
5.1.1 智能天线数字波束形成	129	6.1.1 软件无线电技术产生的背景	165
5.1.2 数字波束形成概述	129	6.1.2 软件无线电的基本原理	165
5.1.3 线阵波束形成	130	6.1.3 软件无线电的体系结构	167
5.1.4 多波束	131	6.1.4 软件无线电的关键技术	168
5.1.5 发射波束形成	131	6.1.5 软件无线电的发展状况和优点	170
5.1.6 自由度、全自适应阵和部分 自适应阵	132	6.2 基于软件无线电结构的智能天线的 组成	171
5.2 最佳滤波准则	134	6.2.1 智能天线与软件无线电的结合	171
5.2.1 最小方均误差准则	134	6.2.2 单信道智能天线的组成	172
5.2.2 最大信噪比准则	135	6.2.3 多信道智能天线的组成	173

6.2.4 多相滤波信道化智能天线的组成	173	7.2.2.5 智能天线技术对 TD-SCDMA 无线资源管理算法的影响	208
6.2.5 使用智能天线的软件无线电基站	174	7.2.3 WCDMA 和 CDMA2000 中的智能天线技术	212
6.3 软件无线电结构在智能天线中的应用	176	7.2.3.1 WCDMA 简介	212
6.3.1 利用智能天线进行系统信道分配	176	7.2.3.2 CDMA2000 简介	215
6.3.2 CDMA 系统中利用智能天线的功率控制和波束形成	178	7.2.3.3 智能天线应用于 FDD 系统	217
6.4 发展前景	179	7.3 智能天线与 B3G/4G 移动通信	218
本章小结	180	7.3.1 B3G/4G 的概念和特点	218
第 7 章 智能天线与蜂窝移动通信	181	7.3.2 B3G/4G 的业务预测	222
7.1 蜂窝移动通信	181	7.3.2.1 用户对 B3G/4G 业务的要求	222
7.1.1 链状网	182	7.3.2.2 从应用环境看 B3G/4G 业务	223
7.1.2 蜂窝网	182	7.3.2.3 从应用领域看 B3G/4G 业务	223
7.1.2.1 小区的形成	182	7.3.2.4 从通信主体看 B3G/4G 业务	224
7.1.2.2 区群的组成	183	7.3.3 B3G/4G 的关键技术	225
7.1.2.3 同频小区的距离	183	7.3.4 智能天线技术与未来移动通信	226
7.1.2.4 中心激励与顶点激励	184	7.4 空时处理技术与蜂窝移动通信	228
7.1.2.5 小区分裂	184	7.4.1 空时处理技术概述	228
7.1.3 蜂窝移动通信系统	185	7.4.2 空时处理技术的研究方向	229
7.1.3.1 系统结构	185	7.4.3 空时处理技术在蜂窝移动通信中的应用	229
7.1.3.2 蜂窝移动通信系统的功能	185	7.4.3.1 空时处理技术在 CDMA2000 系统中的应用	230
7.1.3.3 蜂窝网的主要特征	186	7.4.3.2 空时处理技术在 WCDMA 系统中的应用	232
7.1.3.4 从模拟蜂窝网到数字蜂窝网	186	7.4.3.3 空时处理技术在 TD-SCDMA 系统中的应用	235
7.1.4 CDMA 蜂窝移动通信	187	7.4.3.4 空时处理技术在 HSDPA 中的应用	236
7.2 智能天线在 3G 中的应用	189	本章小结	239
7.2.1 3G 概述	189	第 8 章 智能天线与无线局域网	240
7.2.1.1 3G 标准的发展	189	8.1 无线局域网及 MAC 协议	240
7.2.1.2 3G 系统的组成	189	8.1.1 无线局域网简介	240
7.2.1.3 3G 无线传输技术	190	8.1.1.1 无线局域网的概念	240
7.2.1.4 3G 的主要目标	191	8.1.1.2 无线局域网的标准	241
7.2.1.5 与 3G 相关的关键技术	192	8.1.1.3 无线局域网的组网方式	241
7.2.2 TD-SCDMA 中的智能天线技术	195	8.1.1.4 无线局域网的结构	242
7.2.2.1 TD-SCDMA 标准发展简述	195		
7.2.2.2 TD-SCDMA 简介	195		
7.2.2.3 TD-SCDMA 的关键技术	198		
7.2.2.4 TD-SCDMA 系统中智能天线技术的实现及优越性	201		

8.1.2 无线局域网的 MAC 协议功能	245	9.1.1.3 DSP 芯片的发展	270
8.1.2.1 分布式协调功能	245	9.1.1.4 DSP 芯片在移动通信中的 应用	271
8.1.2.2 点协调功能	248	9.1.2 DSP 系统的开发流程	273
8.2 智能天线对无线局域网接入协议的 影响	250	9.2 智能天线射频前端接收系统设计	274
8.2.1 聋节点问题	250	9.2.1 射频前端在智能天线中的作用和 构成	275
8.2.2 隐藏终端问题	251	9.2.2 接收机的拓扑结构比较	276
8.2.3 “远近”效应问题	251	9.2.2.1 超外差接收机	276
8.2.4 节点移动的影响	251	9.2.2.2 零中频接收机	277
8.3 智能天线在无线局域网中的应用	252	9.2.2.3 低中频接收机	278
8.3.1 D-MAC 协议	252	9.2.3 射频前端接收系统设计	279
8.3.1.1 定向 RTS 机制	252	9.2.3.1 射频前端电路	279
8.3.1.2 定向 RTS 和全向 RTS 结合的 机制	254	9.2.3.2 中频调制电路	280
8.3.2 ORTS-OCTS 协议	254	9.2.3.3 数/模、模/数转换电路	280
8.3.3 SWAMP	255	9.2.3.4 参考频率合成电路	280
8.3.3.1 OC-mode	256	9.3 自适应波束形成算法实例及 DSP 实现	281
8.3.3.2 EC-mode	257	9.3.1 CDMA 系统波束形成技术 实例	281
8.3.3.3 两种模式的切换	257	9.3.1.1 CDMA 信号模型	283
8.3.4 Tone DMAC 协议	257	9.3.1.2 基于扩频码滤波方法的波束 形成器	284
8.3.5 ABF-CSMA/CA 协议	259	9.3.1.3 一种次优的自适应盲波束形成 算法	287
8.3.6 SADCf 协议	260	9.3.2 自适应波束形成算法的 DSP 实现	289
8.3.7 ASAMA 协议	262	9.3.2.1 硬件环境	289
8.3.8 各种协议的特点分析	263	9.3.2.2 实时 DSP 系统硬件的 设计	290
8.4 空时处理技术在无线局域网中的 应用	264	9.3.2.3 DSP 软件的算法实现	294
8.4.1 IEEE 802.11n 中 MIMO-OFDM 的实现	264	本章小结	296
8.4.2 实现 MIMO-OFDM IEEE 802.11n 的关键技术	265	附录	297
本章小结	266	附录 A 常用数学符号说明	297
第 9 章 智能天线的硬件实现	267	附录 B 缩略语	297
9.1 DSP 芯片概述和系统的开发流程	267	参考文献	307
9.1.1 DSP 芯片概述	267		
9.1.1.1 DSP 芯片简介	267		
9.1.1.2 DSP 芯片与其他处理器的 区别	270		

第 1 章 概 述

当今的社会已经进入了一个信息化的社会，没有信息的传递和交流，人们就无法适应现代化快节奏的生活和工作。人们期望随时随地、及时可靠不受时空限制地进行信息交流，提高工作效率和经济效益。

移动通信综合利用了有线、无线的传输方式，为人们提供了一种快速便捷的通信手段。由于电子技术，尤其是半导体、集成电路和计算机技术的发展，以及市场的推动，使轻便可靠、性能优越的移动通信设备的实用成为可能。

20 世纪 70 年代中期，蜂窝移动通信技术的诞生，正符合人们对方便快捷通信手段的需求，因此蜂窝移动通信系统就以十分迅猛的速度发展起来，并已经历了以调频模拟电话信号传输和频分多址（Frequency Division Multiple Access, FDMA）为主要标志的第一代；以窄带数字信号传输和时分多址（Time Division Multiple Access, TDMA）以及码分多址（Code Division Multiple Access, CDMA）为主要标志的第二代；以宽带数字信号传输为主要特征的第三代移动通信系统（WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA）也正逐步投入正式商用。

近年来，移动通信市场的高速膨胀，有力地推动了移动通信事业的发展，同时也使通信技术面临着很大的挑战。1985 年，国际电信联盟（ITU）提出第三代移动通信（3G）系统的概念。随着移动用户数目的急剧增加及第三代移动通信系统中宽带业务的引入，人们对移动通信容量的需求与日俱增，频率资源匮乏的问题不仅依然存在，而且更加突出。尽管可以对蜂窝小区进行裂化或将小区分成若干个扇区来进一步增加系统容量，但是随着小区裂化的进行或小区扇区数量的增加，移动台的越区切换会变得越来越频繁，而完成越区切换会消耗较多的信道资源，因此对小区进行裂化或在小区中增加扇区数量都是有一定限制的。

在巨大的市场潜力的推动下，有关 3G 的关键技术和标准化工作备受关注，并取得了可喜的进展。为满足日益增长的通信业务的要求，现在全球正在研制第三代移动通信系统，其主要特点包括采用宽带 CDMA 方式，基站采用天线阵列实现灵活的波束扫描，通信容量比采用传统的全向天线/扇区化天线有很大提高，并且具有多媒体业务能力。

对于蜂窝移动通信，由于无线信号的传播路径是复杂的多径传播，引起传播信号的时间扩展、多普勒扩展和角度扩展，从而使得基站接收信号时产生频率选择性衰落和时间选择性衰落，导致符号间干扰（Inter-Symbol Interference, ISI）；同时为了节省频率资源，无线蜂窝网采用频率再用技术，这也会使得基站接收希望用户的同时，产生同信道干扰（Co-Channel Interference, CCI），特别是 CDMA 系统，对所有的 CDMA 用户可能占有同一时间和同一频率，惟一区别是每个用户拥有自己独特的相互不完全正交的扩频码，接收端只需借助各自的扩频码进行解扩，由于大量的多址干扰（Multiple Access Interference, MAI）的存在而使得 CDMA 移动通信系统的接收能力受到干扰的限制。为了抑制 CCI 和消除 ISI，改善系统的性能，各国学者做了大量的工作，研究了很多有效的方法。最初，人们采用分集处理技术，如空间分集，每个天线接收的信号是相互独立的，其波束图互不重叠，在峰值时刻对多个峰值进行采样，并以适当的方式进行合并；后来，采用自适应阵列处理技术和时域自适应

均衡技术，而现在人们主要研究时域和空域相结合的空时二维处理技术。

智能天线采用空分多址（Space Division Multiple Access, SDMA）技术，利用信号在传播方向上的差别，将同频率、同时隙的信号从空域区分开来。它可以成倍地扩展通信容量，并和其他复用技术相结合，最大限度地利用有限的频谱资源。智能天线技术还可以有效地克服移动通信中由于复杂的地形、建筑物结构等对电波传播的影响，以及时延扩散、瑞利衰落、多径、共信道干扰等产生的不利影响。

本章将简要介绍移动通信系统和智能天线技术，作为全书知识展开的铺垫。

1.1 移动通信概述

1.1.1 移动通信简介

随着社会的发展，人们对通信的需求日益迫切，对通信的要求也越来越高。理想的目标是能在任何时候、在任何地方、通过任何方式、与任何人交流任何的信息。显然，没有移动通信，这个目标是无法实现的。

顾名思义，移动通信是指通信双方至少有一方在移动中（或者临时停留在某一非预定的位置上）进行信息传输和交换，这包括移动体（车辆、船舶、飞机或行人）和移动体之间的通信，移动体和固定点（固定无线电台或有线用户）之间的通信。

移动通信，按使用环境分类有陆地移动通信、海上移动通信、航空移动通信及特殊使用环境（地上隧道、矿井、水上潜艇、太空船等）通信；按服务对象分类有公用移动通信（面向社会各阶层人士），专用移动通信（为了保证某些特殊部门的通信所建立的通信系统）；按多址方式分类，有频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）、码分多址（CDMA）和空分多址（SDMA）等；按覆盖范围分类，有广域网和局域网；按业务类型分类，有电话网、数据网和综合业务网；按工作方式分类，有单工、半双工和双工；按信号形式分类，有模拟移动通信和数字移动通信；按移动通信的设备分类，有公用网，包括蜂窝状移动电话、公用无绳电话、无线寻呼、移动卫星通信、移动数据通信，专用网包括专用调度电话（单信道、多信道的自动拨号移动电话系统）、集群调度电话（将各部门所需的调度业务进行统一的规划建设，集中管理）。

移动通信不同于固定通信，具有如下主要特点：

1. 移动通信必须利用无线电波进行信息传输

移动通信的传播媒质允许通信中的用户可以在一定范围内自由活动，其位置不受束缚，不过无线电波的传播特性一般都比较差。首先，移动通信的运行环境十分复杂，电波不仅会随着传播距离的增加而发生弥散损耗，并且会受到地形、地物的遮蔽而发生“阴影效应”，而且信号经过多点反射，会从多条路径到达接收地点，这种多径信号的幅度、相位和到达时间都不一样，它们相互叠加会产生电平衰落和时延扩展；其次，移动通信常常在快速移动中进行，这不仅会引起多普勒频移，产生随机调频，而且会使得电波传播特性发生快速的随机起伏，严重影响通信质量。

因此，必须根据移动通信信道的特征，对移动通信系统进行合理的设计。

2. 移动通信是在复杂的干扰环境中运行的

在移动通信系统中，除去一些常见的外部干扰，如天电干扰、工业干扰和信道噪声干扰外，系统本身和不同系统之间，还会产生这样或那样的干扰。因为在移动通信系统中，常常有多个移动台在同一区域内通信，基站还会有多部收发信机在同一地点工作，这些无线电台之间会互相干扰。随着移动通信网所采用的制式不同，所产生的干扰也会有所不同（有的干扰在某一制式中容易产生，而在其他制式中不会发生）。综上所述，这些干扰有邻信道干扰、互调干扰、多址干扰、码间干扰等等。

因此，在移动通信系统中，如何抑制和减少这些有害干扰的影响是至关重要的。

3. 移动通信可以利用的频谱资源非常有限，而移动通信业务量的需求却与日俱增

如何提高移动通信系统的通信容量，始终是移动通信发展中的焦点。为了解决这一矛盾，一方面要开辟和启用新的频段；另一方面要研究各种新技术和新措施，以压缩信号所占的频带宽度和提高频谱利用率。可以说，移动通信无论是从模拟向数字过渡，还是再向新一代发展，都离不开这些新技术和新措施的支撑。此外，有限频谱的合理分配和严格管理是有效利用频谱资源的前提，这是各国频谱管理机构和组织的重要职责。

4. 移动通信系统的网络结构多种多样，网络管理和控制必须有效

根据通信地区的不同需要，移动通信网络可以组成带状（如铁路公路沿线）、面状（如覆盖某一城市或地区）或立体状（如地面通信设施与中、低轨道卫星通信网络的综合系统）等。可以单网运行，也可以多网并行并实现互连互通。为此，移动通信网络必须具备很强的管理和控制功能，诸如用户的登记和定位、通信（呼叫）链路的建立和拆除、信道的分配和管理、通信的计费与鉴权、安全与保密管理以及用户过境切换和漫游的控制等。

5. 移动通信设备（主要指移动台）必须适合在移动环境中使用

移动通信对终端的主要要求是体积小、重量轻、耗电低、操作简单和携带方便。车载台和机载台除要求操作简单和维修方便外，还应保证在振动、冲击、高低温变化等恶劣环境中正常工作。

1.1.2 标准化组织

在制定移动通信技术规范的过程中，起到重要作用的标准化组织主要包括：

1. ITU (International Telecommunication Union, 国际电信联盟)

ITU 总部位于瑞士日内瓦，是一个联合国系统内的国际性组织，是各国政府和民间机构协调全球电信网络和服务的机构。ITU-T 是 ITU 的三个部门之一，负责制定涵盖电信领域各个方面的质量标准。

2. ETSI (European Telecommunication Standard Institute, 欧洲电信标准化委员会)

这个组织主要负责 GSM 规范的开发，由于 GSM 在技术上和商业上的成功，这个组织也在第三代移动通信系统规范的开发中发挥重要作用。ETSI 主要开发全欧洲和全世界的电信标准。

3. ARIB (Alliance of Radio Industries and Business, 无线行业企业协会)

这个组织在澳大利亚地区占主导地位，并且在第三代移动通信系统规范的发展中发挥了重要作用。ARIB 主要是一个无线技术标准的开发组织。

4. ANSI (American National Standards Institute, 美国国家标准学会)

当前 ANSI 提供了一个超过 270 个由 ANSI 授权的标准开发者的论坛, 它们代表了大约 200 个截然不同的公共部门和个人团体。这个组织负责美国网络标准的开发。

5. 3GPP (Third Generation Partnership Project, 第三代伙伴组织计划)

创建这个组织是用于保证第三代网络规范设计和过程的全面控制, 3GPP 工作的成果是制定一个完整的 3G 网络规范, 这个规范将保证 3G 网络的全球化本质。

1.1.3 移动通信的发展历程

早在 19 世纪末, 随着 1895 年无线电的发明, 在 1897 年, 马可尼在陆地和一只拖船之间, 用无线电进行了消息传输, 这是移动通信的开端。在 1912 年的一次海难中, 莫尔斯电报的使用让 695 人获救。

在 20 世纪 80 年代以前, 移动通信系统主要是指公用汽车电话系统, 整个移动通信的发展, 大致经历了以下 5 个发展阶段。

(1) 第一阶段是从 20 世纪 20 年代至 40 年代, 为早期发展阶段 其代表是 1921 年美国底特律和密执安警察厅开始使用车载无线电系统, 该系统工作频率为 2MHz, 在 1940 年期间, 美国又分配了 30 ~ 40MHz 之间的频段, 由调幅方式改成调频方式, 增加了信道, 美国联邦通信委员会 (FCC) 又分配了 300 ~ 500MHz 之间的 40MHz 带宽, 供陆地上使用。

(2) 第二阶段是从 20 世纪 40 年代中期到 60 年代中期 1946 年美国的圣路易斯城建立了世界上第一个公用汽车电话系统。以后, 加拿大、荷兰、德国等国家陆续开设了公用汽车电话业务。此时的通话主要是通过话务员来完成的。在这一阶段中, 网络大都属于二级结构, 使用 150MHz 和 450MHz 频段, 东欧一些国家还使用 330MHz, 信道间隔为 50 ~ 100kHz。采用大区制, 可用的频道很少; 设备使用电子管, 较笨重, 有些系统还是人工转接。由于使用不方便、不保密、无线频谱的使用率很低, 所以发展缓慢。例如, 法国巴黎地区的公用汽车电话网开始建议时就是采用这种网络结构, 但商业上收效甚少。15 年后用户总数也只有 500 个左右。

(3) 第三阶段是从 20 世纪 60 年代中期至 70 年代中期 这时出现并推广自动交换式的三级结构, 使用的频段仍如前一样, 但由于频率合成器的出现, 信道间隔缩小到 20 ~ 30kHz, 频道数目增加, 并采用频道的自动选取和控制技术, 众多用户可以共用无线频道, 使频谱利用率有较大的提高, 用户使用方便, 也增加了一些保密性, 于是这种网络结构就在世界各地迅速普及。美国的改进型移动电话系统 (IMTS), 德国 B 系统等就是在这一时期建成的。但由于这种系统的频谱利用率仍不够高, 无法容纳日益增多的用户。美国自 20 世纪 70 年代中期以来, 就是因为这个原因使得许多用户的装机申请得不到满足。德国也是因为这个原因不得不临时在用户稠密地区增加 37 对无线频道来应急。日本也曾研究过这种系统, 由于容量太小, 商业上收效低, 不适合大城市使用, 就没有能够商用。

(4) 第四阶段是从 20 世纪 70 年代中期到 80 年代末 主要是解决用户增加而频道有限的问题。如何进一步提高频谱的利用率, 故提出了小区制大容量系统, 即同一频率被相距足够远的几个基站使用, 增加系统容量。这种系统是美国贝尔实验室最早提出来的。已实用的系统有美国的先进移动电话系统 (AMPS)。1983 年, 首次在芝加哥投入商用。同年 12 月, 在华盛顿也开始启用。之后, 服务区域在美国逐渐扩大。到 1985 年 3 月已扩展到 47 个地

区,约10万个移动用户。其他工业化国家也相继开发出蜂窝式共用移动通信网。日本于1979年推出800MHz汽车电话系统(HAMTS),每个网络最大可容纳10万个用户。德国于1984年完成C网,频段为450MHz,采用三级组网结构,在用户较少的初期,采用中区制,可容纳6万个用户。用户增多后再逐步改为小区制,用户容量可增加到10万个以上。英国在1985年开发出全向通信系统(TACS),首先在伦敦投入使用,以后覆盖全国,频段为900MHz。加拿大推出450MHz移动电话系统(MTS)。瑞典等北欧四国于1980年开发出北欧NMT-450移动通信网,并投入使用,频段为450MHz。

20世纪80年代,世界各国的公用汽车电话业务每年以8%~15%速度增长,是各种通信手段中增长最快的。据1984年的统计表明,世界上蜂窝移动通信系统用户数已达到40万个。其中北美、日本、北欧四国、英、法、德国、前苏联、意大利等国,甚至科威特、阿联酋等发展中的国家都已兴建蜂窝移动通信系统。1990年5月全世界的蜂窝移动电话用户数已经超过820万,遍布世界各地80多个国家和地区。

(5)第五阶段是从20世纪80年代中期开始至今 这是数字移动通信系统的发展和成熟时期,数字移动通信的演进过程如图1-1所示。

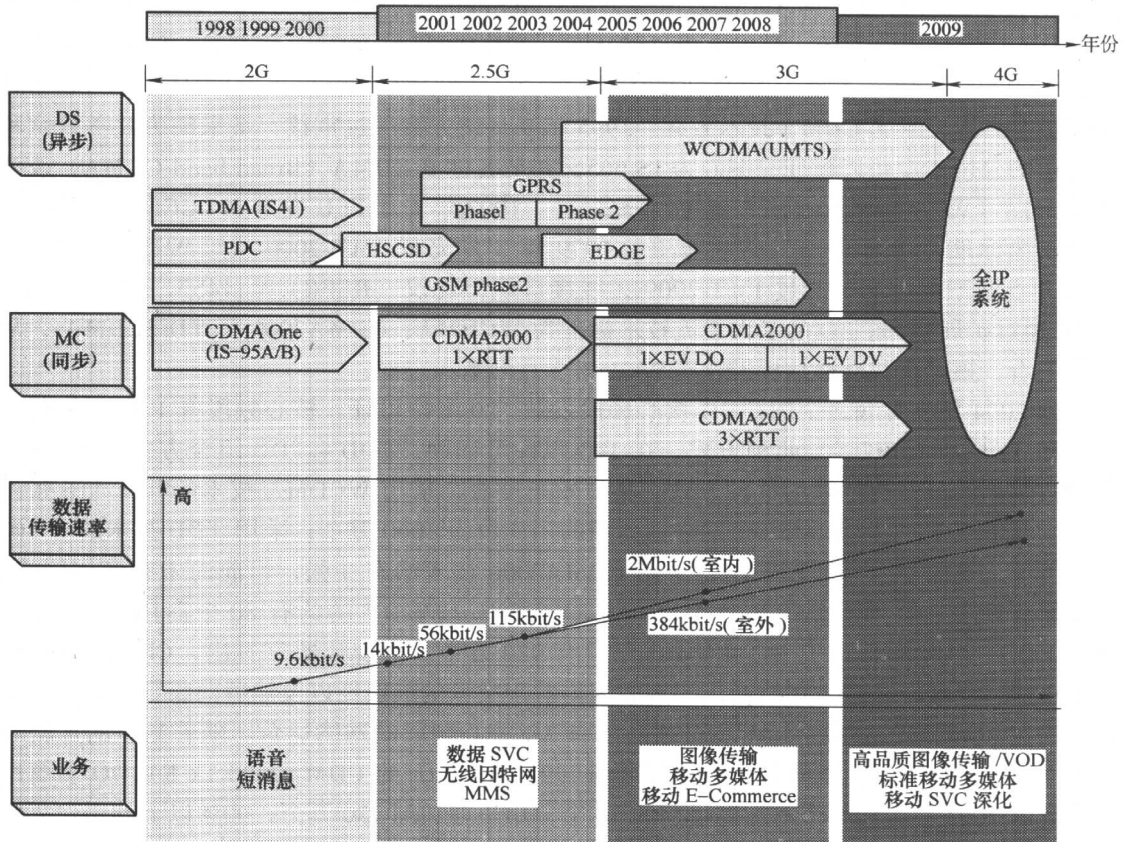


图 1-1 数字移动通信的演进过程

EDGE—GSM 演进的增强数据速率 UMTS—全球移动通信系统

模拟蜂窝网也称为第一代蜂窝网。为了克服第一代蜂窝网的局限性,以满足移动通信网

发展的需要。北美、欧洲和日本自 20 世纪 80 年代中期起相继为第二代蜂窝网制定了 3 种不同的标准,即北美的 IS-54、欧洲的 GSM 和日本的 JDC (日本数字蜂窝电话)。

美国蜂窝电话行业协会 (CTIA) 于 1988 年发布了一个称为“用户的性能需求 (UPR)”的文件。其中,对第二代蜂窝网通信系统提出的主要要求是:系统的容量是 AMPS 的 10 倍,通信质量等于或优于现有的 AMPS,易于过渡并和现有的模拟系统兼容 (双模式),先进的特征,较低的成本,蜂窝开放网络结构等。

美国的 IS-54 标准是遵循上述要求制定的,考虑到实现技术存在的困难,IS-54 需要分阶段达到 CTIA 提出的标准,即全速率传输 (每个载波含有 3 个信道) 和半速率传输 (每个载波含有 6 个信道) 两个阶段。与此同时,美国 Qualcomm 公司开发的 CDMA 数字蜂窝系统也是遵循上述要求进行的,并经过几项局部的现场测试后,表明这种蜂窝系统已经能全面地满足 CTIA 提出的标准。该系统不仅容量大,而且还具有软容量、软切换等突出优点,因而受到人们的广泛关注。1993 年 7 月,该体制被采纳为北美数字蜂窝网标准,定名为 IS-95。IS-95 的载波频带宽度为 1.25 MHz,每个载频含有 64 个信道,它能支持声码器语音和带内的数据传输,被人们称为窄带码分多址 (N-CDMA) 蜂窝通信系统。与此相对应,SCS Mobilcom 公司 (后与美国 IMM 公司合并成 Interdigital 公司) 提出了一种宽带码分多址 (B-CDMA) 蜂窝通信系统,载波带宽为 5MHz、10MHz 和 15MHz 3 种方案,信息传输速率可达 144kbit/s。这一系统于 1991 年进入实验阶段,1993 年 Interdigital 公司向 JTC (联合技术委员会) 提交了 B-CDMA 技术方案。1995 年 9 月该方案通过审核,被采纳为北美蜂窝移动通信的公用空中接口标准,编号为 IS-665,并把名称 B-CDMA (Broad band CDMA) 改为 W-CDMA (Wide-band CDMA, 宽带码分多址)。1997 年 4 月 ITU 发出 8/LCCE/47 通信函,征集候选标准,1998 年 9 月评估截止,1999 年 3 月完成 IMT-2000 关键参数 (RKEY),2000 年 5 月最终批准,通过 IMT-2000 无线接口规范建议 (RSPC) M.1457,2000 年 5 月 WRC 通过扩展频率。3G 的 3 大主流技术标准 WCDMA、CDMA2000 及 TD-SCDMA,从技术上看,第三代移动通信标准化至 2001 年 3 月已基本完善。

到 2004 年 9 月底,全球在 3G 核心频段发放 120 张许可证。核心频段有 FDD (频分双工) 和 TDD (时分双工) 两种方式。在 120 张许可证中,FDD + TDD 组合方式有 100 张,大多数欧洲的运营商都采用这种方式。从技术角度看,采用 WCDMA 技术的共有 116 张许可证,其中有 19 个国家的 38 个网络已商用的用户数为 1060 万个;采用 TDD 技术的有 101 张许可证,目前尚未有商用网络;采用 CDMA2000 技术的有 3 张,目前尚未有商用网络,但在原有频段升级到 CDMA2000 1x 和 1x EV-DO/1x EV-DV 的约有 80 个商用网络,CDMA2000 1x 用户为 1.13 亿个,EV-DO 用户有 930 万个。由统计数字看出,CDMA2000 1x 发展迅速,已经在全球大规模商用。其原因得益于技术的成熟性以及能后向兼容,但目前运营商仍在 2G 网络的频段上运营,全球尚未有 3G 核心频段的网络运营。随着竞争的加剧和移动增值业务的开展,支持更高数据吞吐量 (2.4Mbit/s) 的 CDMA2000 1x EV-DO 的商用运营商由 2003 年底的 5 个增加到目前的 10 个,用户增加到 930 万个,90% 以上的用户集中在韩国。

截至 2005 年 8 月,全球有 45 个国家颁发了共计 151 张 3G 牌照,其中 9 张被政府收回,1 张又重新拍卖。从区域上看,欧洲一些国家及日本等发达国家的牌照发放早,发展中国家和地区刚开始发放牌照,有的国家还一张未发。新的 3G 牌照的发放地点将逐渐向亚洲、非

洲和欧洲的发展中国家及地区转移。从时间上看,从2000年到2001年,3G牌照的发放达到高潮,近两三年来,每年全球的牌照发放量在10个左右。各国的牌照发放逐渐由拍卖方式向招标方式转移。

在我国,到2006年4月底,移动电话用户数达到4.16644亿个,占全球移动用户总数的20%以上,而且移动通信业务收入在整个电信业务收入中所占比重已超过44.6%。我国3G系统的进展状况如下:

1. 测试状况

2001年6月至2003年8月,进行了MTNet测试;2003年10月正式启动了第三代移动通信网络技术测试;2004年9月完成了第三代移动通信技术的现网测试。在现网测试阶段,涵盖了TD-SCDMA、WCDMA和CDMA2000 3种主流技术的15个国内外主要设备厂商的25套系统,分别在北京、上海、广州组成模拟商用环境,同时搭建了WAP、MMS、定位、Java、流媒体、多媒体邮件、BREW(无线二进制运行环境)、可视电话等移动增值业务平台。在信息产业部领导下,信息产业部电信研究院、中国电信、中国移动、中国网通、中国联通、中国铁通和中国卫通参加,由技术标准研发和网络运营的专业技术人员对3G技术、设备、终端和增值业务进行了全面的验证。测试的主要内容有以下6大部分:

(1) 无线网络性能测试 测试3种3G网络在不同业务(语音、可视电话、中高低数据传输速率)的覆盖特性,不同地理环境的覆盖特性,以及不同业务的容量特性,切换、功率控制、接续质量等性能。

(2) 终端测试 测试3种3G技术各种终端的功能和性能,基本业务和增值业务的支持情况,以及耗电特性等。

(3) 互操作测试 测试每一种3G技术不同厂商的终端和系统之间(无线接口)、终端和业务平台之间、不同厂商的系统之间(如Iur接口)的互操作测试,以及不同3G和2G系统之间的切换、漫游和互通等。

(4) 业务测试 测试3种3G网络对基本语音、可视电话、分组数据业务的承载能力,以及对WAP、流媒体、MMS、Java、定位等增值业务的支持情况。

(5) 干扰测试 测试3种3G技术在共站址、邻站址、相邻频段情况下的相互干扰情况,3G与2G技术(GSM和CDMA)之间的干扰测试,以及与个人手持电话系统(PHS)之间的干扰等。

(6) 网管和计费测试 包括每个厂商设备的网管功能和网管接口及信息模型的测试、计费功能的测试等。

这次试验为我国客观地了解和认识3G的发展进程,进一步推进3G技术、设备和业务的发展做出了积极的贡献。试验过程和结果对发展3G的科学决策、标准制定、产业发展和网络运营都起到积极的作用,为3G在中国的健康发展奠定了坚实的基础。

2. TD-SCDMA产业发展状况

从2003年底TD-SCDMA产业联盟成立以来,其成员不断扩大,在信息产业部组织的3G技术测试的推动下,包括无线接入网、终端芯片、手机、核心网络、仪表等TD-SCDMA产业链的多个厂家参与的研发体系已经初步形成,TD-SCDMA的实用化进程也明显加快,TD-SCDMA系统的设备取得阶段性成绩,大唐/普天和中兴公司已提供系统设备参与第三代移动通信技术试验。终端芯片产品的开发也取得了突破性进展,并已驶入快车道。