

[TD-SCDMA 技术丛书]

TD射频领域的第一本著作
从3GPP规范谈起
描述了射频前端的指标分解过程
提出了射频链路的解决方案
介绍了射频器件的技术应用
阐述了射频实现的关键技术
为你扫除TD射频电路设计上的障碍

TD-SCDMA

射频电路设计

王忠勇 编著

TD-SCDMA 技术丛书

TD-SCDMA 射频电路设计

王忠勇 编著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

TD-SCDMA射频电路设计 / 王忠勇编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 5
(TD-SCDMA技术丛书)
ISBN 978-7-115-19745-0

I. T… II. 王… III. 射频电路—电路设计 IV. TN710.02

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第014678号

内 容 提 要

本书详细介绍了第三代移动通信标准之一 TD-SCDMA 系统基站射频架构及硬件电路设计。书中从 3GPP 规范对基站射频前端的指标要求出发, 通过分析并结合实际系统和硬件的可实现性, 明确系统射频架构的实施方法, 描述了射频前端的指标分解过程。本书详细阐述了射频系统超外差结构原理, 并对中频频率的选取、数字时钟的选取、下行链路的功率以及上行链路的增益等进行了分析。书中结合实际的应用经验, 介绍了射频有源、无源器件的应用考虑, 并通过实例阐述了功放设计流程以及量产考虑。此外, 还介绍了 TD-SCDMA 系统射频前端的部分关键技术 (已经公开的专利技术)。

该书可供从事移动通信产品开发的技术人员、网络设计师、系统运营管理人员阅读, 也可以作为大专院校师生的参考读物。

TD-SCDMA 技术丛书

TD-SCDMA 射频电路设计

-
- ◆ 编 著 王忠勇
责任编辑 梁 凝
执行编辑 李 强
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 10.25
字数: 246 千字
印数: 1—4 000 册

2009 年 5 月第 1 版

2009 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19745-0/TN

定价: 38.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

TD-SCDMA 是由中国提出的第三代移动通信（3G）国际标准，于 2000 年被国际电信联盟（ITU）正式采纳，成为全球认可的第三代移动通信国际标准之一。这是我国首次提出完整的通信系统标准并被国际认可，是中国在信息通信标准领域的一个突破。它标志着我国第一次以自主标准主导信息通信产业发展，是我国高技术领域落实国家自主创新战略的成功实践，也是我国在无线通信方面实现突破和跨越的一次难得的历史机遇。

TD-SCDMA 系统标准的提出，填补了中国百年电信史的空白，对改变我国移动通信产业落后状况，提高移动通信产业的创新能力和增强核心竞争力，增强自主创新意识和信心具有十分重要的意义，标志着中国的信息通信技术水平发展到以自主创新带动产业发展的崭新阶段，对于中国信息通信行业的可持续发展具有十分重要的意义。

为了加快 TD-SCDMA 的产业化进程，早日形成完整的产业链和多厂家供货环境，2002 年 10 月 30 日，TD-SCDMA 产业联盟在北京成立。TD-SCDMA 产业联盟的成员企业由最初的 7 家，发展到目前具有成员企业 48 家，覆盖了 TD-SCDMA 产业链从系统、芯片、终端到测试仪表的各个环节。

TD-SCDMA 产业联盟的宗旨是：整合及协调产业资源，提升联盟内移动通信企业的研究开发、生产制造水平，促进 TD-SCDMA 通信产业的快速、健康发展，实现 TD-SCDMA 在中国及全球通信市场的推广和应用。

TD-SCDMA 产业联盟成立以后，有效地解决了产业发展中所面临的知识产权、共有技术和测试平台的建设等问题，大大降低了企业进入的门槛，带动了更多的企业进入 TD-SCDMA 产业发展领域。产业联盟还促进了系统与芯片、芯片与终端、终端与系统间的密切合作，大大加快了 TD-SCDMA 产业化的整体进程。

2002 年，原信息产业部给 TD-SCDMA 系统划拨了 155MHz 非对称频率，向产业界发出了政府支持的明确信号；2004 年，原信息产业部、国家发改委、科技部等三部委设立 TD-SCDMA 产业化专项，投资 7.08 亿元支持 TD-SCDMA 的产业化；从 2004 年到 2005 年，原信息产业部开展了“TD-SCDMA 研究开发和产业化项目”技术试验；2006 年，启动了北京、上海、青岛、保定、厦门等城市的 TD-SCDMA 规模网络技术应用试验，这些测试和试验为 TD-SCDMA 走向商用打下了良好的基础；从 2007 年开始，各相关部门共同组织移动运营商和产业链上下游企业在北京、上海、青岛、保定、厦门、深圳、广州、秦皇岛、天津、沈阳、10 个城市进行更大范围和规模的网络技术应用试验，到 2008 年已经可以为北京奥运会提供基于 TD-SCDMA 标准的 3G 服务。

成立于 2002 年 2 月的大唐移动通信设备有限公司对 TD-SCDMA 的发展做出了不可磨灭的贡献。可以说，大唐移动是中国 TD-SCDMA 产业的国家队。在经过近十年大唐人的发奋工作和积极推动下，TD-SCDMA 终于进入了第二阶段的商用建网阶段，预计到 2009 年第二季度，中国移动可完成全国 28 个省会城市的建网工作。

TD-SCDMA 的迅猛发展和中国巨大的消费团体使得全球各大主要通信设备商以及半导

体芯片厂家都相继在中国设立研发中心或者生产、加工工厂，爱立信、诺基亚、西门子等也加入到 TD-SCDMA 设备开发的行列。可以说，TD-SCDMA 在中国的巨大成功已经影响和牵动了全球 IT 产业的格局。

从 2003 年，被誉为“中国 3G 之父”的李世鹤教授的《TD-SCDMA 第三代移动通信系统标准》出版以来，TD-SCDMA 方面的书籍一直就是大家交流和学习的有效工具。随着产业的发展和成熟，大家对 TD-SCDMA 的理解和认识也在不断地深入，利用好图书这个工具，促进大家交流和分享 TD-SCDMA 的技术经验，才能使这个产业的发展更加广阔。

但是，目前大多关于 TD-SCDMA 方面的书籍，多数是有关标准和协议方面的介绍和描述，在射频技术方面，还缺乏一本能够指导如何进行硬件开发设计的书籍。基于这个需求，为了使广大同仁能够对 TD-SCDMA 在射频方面的应用有一个深入的了解，本书结合作者多年来在项目中的实际经验，详细阐述了 TD-SCDMA 射频方面的技术，目的是能够使大家了解从需求导入到指标分解，再到详细设计以及规模量产整个流程的设计思路。

本书内容共分为 7 章：第 1 章概述部分主要介绍了移动通信的发展概况，3G 的三大主流技术标准 WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 的介绍，TD-SCDMA 系统的关键技术和后续演进等；第 2 章从 3GPP 规范对基站射频收发信机指标的要求开始谈起，详细阐述了各指标的具体含义和对硬件设计的需求导入分解；基于第 2 章指标的要求，第 3 章开始详细阐述链路硬件解决方案，包括射频前端的架构设计、模拟中频频率的选取原则、数字时钟的设计原则、下行链路的功率分析以及上行链路的增益分析等；第 4 章主要介绍了绝大部分与射频应用相关的有源和无源器件的原理和应用，尤其是一些针对 TDD 模式的特殊应用需要考虑和注意的环节，对于制约基站成本和生产通过率的功放，本章更是以大量篇幅阐述其原理、设计流程以及规模量产需要注意的问题；第 5 章主要介绍了大规模量产的需求，从设计前期就需要导入研发的需求指标；第 6 章主要介绍了射频仪表在 TD-SCDMA 方面的应用和相关用例；第 7 章主要阐述了 TD-SCDMA 在射频应用方面的一些关键技术，其中包括一些作者曾经直接主导和参与的专利技术（已经公开），另外对未来射频方面的技术发展方向也做了相关描述；附录部分主要是介绍了一些必备的天线知识和物理参数常识，以便读者查询。

本书在撰写过程中，得到了很多新老同事和通信界朋友的支持和帮助，借此表示感激！由于精力有限，部分问题的阐述未必全面和深入，恳请大家指正！

王忠勇

2008 年 11 月于北京

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 移动通信发展概况	1
1.1.1 移动通信的发展历程	1
1.1.2 移动通信系统的构成	1
1.1.3 移动通信系统的频段划分	2
1.2 第三代移动通信主流技术标准介绍	3
1.2.1 WCDMA 系统	3
1.2.2 cdma2000 系统	4
1.2.3 TD-SCDMA 系统	7
1.3 TD-SCDMA 关键技术及系统问题	8
1.3.1 时分同步	8
1.3.2 智能天线	8
1.3.3 联合检测	10
1.3.4 同步 CDMA	11
1.3.5 软件无线电	12
1.3.6 接力切换	12
1.3.7 功率控制	13
1.3.8 动态信道分配	14
1.3.9 N 频点	15
1.3.10 Shifting	17
1.4 技术演进	17
1.4.1 3G 与其他技术标准	17
1.4.2 LTE	20
第 2 章 3GPP 规范指标导入	24
2.1 发射机特性	24
2.1.1 基站输出功率	24
2.1.2 频率稳定度	24
2.1.3 输出功率动态范围	24
2.1.4 发射机开启/关闭功率	25
2.1.5 射频辐射	25
2.1.6 发送调制	29
2.2 接收机特性	32
2.2.1 参考灵敏度电平	32
2.2.2 动态范围	33
2.2.3 相邻信道选择性	33

2.2.4 阻塞特性	34
2.2.5 互调特性	35
2.2.6 接收机杂散辐射	35
第3章 射频解决方案	36
3.1 系统上、下行链路平衡分析	36
3.2 系统架构设计	38
3.2.1 系统原理框图	38
3.2.2 数字中频技术	39
3.3 模拟中频分析	43
3.3.1 本振频率范围的确定	43
3.3.2 本振相位噪声	44
3.3.3 互调分析	46
3.4 下行链路设计	47
3.4.1 下行链路输出功率和增益的确定	47
3.4.2 下行链路关键器件	48
3.5 上行链路设计	48
3.5.1 上行链路增益的确定	49
3.5.2 上行链路噪声系数的确定和分解	49
3.5.3 上行链路线性指标的确定	50
3.5.4 上行链路带外抑制分析	50
3.5.5 上行链路关键器件	51
第4章 射频器件技术应用	53
4.1 有源器件应用	53
4.1.1 小信号放大器	53
4.1.2 混频器	53
4.1.3 开关	54
4.1.4 检波器	55
4.1.5 LDO	57
4.1.6 数控衰减器	57
4.1.7 IQ 调制器	59
4.1.8 低噪放	60
4.1.9 数字电位器	63
4.1.10 运算放大器	64
4.1.11 MOSFET	65
4.2 无源器件应用	66
4.2.1 滤波器	66
4.2.2 环形器	67
4.2.3 耦合器	68
4.2.4 电桥	69

4.2.5 功分器	69
4.2.6 限幅器	70
4.2.7 移相器	71
4.2.8 BALUN	71
4.2.9 射频跳线	72
4.2.10 电容	72
4.2.11 连接器	74
4.3 晶振与锁相环技术	75
4.3.1 石英晶体振荡器	75
4.3.2 锁相环技术	78
4.4 功放技术应用	81
4.4.1 主流功放及厂家	81
4.4.2 功放线性化技术	82
4.4.3 记忆效应	85
4.4.4 功放的仿真	86
4.4.5 功放设计方法	88
4.4.6 功放调试步骤	93
4.4.7 热阻设计	93
4.4.8 保护电路	94
4.4.9 温补设计	94
4.4.10 屏蔽腔设计	99
4.4.11 功放模块化设计理念	99
第 5 章 生产工艺及规模量产	101
5.1 PCB 设计与应用	101
5.1.1 高频板材的应用及主流厂家	101
5.1.2 50Ω微带线设计	101
5.1.3 TD-SCDMA 功放铜基板设计方案	102
5.1.4 射频 PCB 应用细节	103
5.1.5 PCB 通流量问题	103
5.2 规模量产	104
5.2.1 转产流程	104
5.2.2 量产对设计的需求导入	104
5.2.3 老化方案	105
5.2.4 贴装工艺检测方法	106
5.2.5 可靠性要求	107
5.2.6 质量要求	107
第 6 章 射频测试和仪表应用	109
6.1 主要仪表及厂家	109
6.2 电缆、连接器(校准件)等的正确使用方法	109

6.3	TD-SCDMA 测试平台的同步触发问题	109
6.4	混频器变频损耗的测量方法	110
6.5	噪声系数测量	110
6.6	功放测试平台	112
6.7	RBW、VBW 的解释	114
第 7 章	射频关键技术及发展方向	116
7.1	TD-SCDMA 收发共用方案	116
7.2	TD-SCDMA 切换问题	118
7.3	四分之一波长传输线	118
7.4	ALC 闭环过功率保护电路	119
7.5	降低峰均比的方法	120
7.6	TD-SCDMA 校准及检波链路方案设计	121
7.7	中继设备引入分析	124
7.8	TD-SCDMA 同步问题	125
7.9	模拟预失真	127
7.10	TD-SCDMA 与 TD-LTE 系统间隔离度	129
7.11	系统节能措施	130
7.12	零中频技术	131
7.12.1	零中频收信机	131
7.12.2	零中频发信机	134
7.12.3	零中频架构的优缺点	135
7.13	DPD 技术	136
附录		139
附录 A	天线知识	139
A1	天线的方向图	139
A2	天线的增益	139
A3	天线的极化方式	141
A4	天线的分类	141
A5	电调天线	142
A6	双极化天线	143
A7	智能天线	144
附录 B	常用物理量和单位	147
英文缩略语		150
参考文献		155

第 1 章 概 述

1.1 移动通信发展概况

1.1.1 移动通信的发展历程

移动通信系统发展到目前,经历了以模拟技术和频分多址技术为基础的第一代模拟移动通信系统(1G),以频分双工、时分多址和码分多址技术为基础的第二代数字移动通信系统(2G),以码分多址技术提供宽带多媒体业务为主要特征的第三代移动通信系统(3G)。目前,世界各国又已经开始了新一代移动通信技术——超 3G (Beyond 3G) 或 4G 系统的研究和开发。

第三代移动通信系统是指以 IMT-2000 为基础的移动通信系统。3G 保留了 2G 所拥有的优点,可提供的业务种类包括语音、数据、图像、高质量的视频宽带等多媒体业务,传输速率最高可达 2Mbit/s,能够实现全球漫游。

经过多年的融合与发展,国际电信联盟(ITU)最终通过了三个 3G 的无线空中接口规范,它们是欧洲的 WCDMA、美国的 cdma2000 和中国的 TD-SCDMA。

虽然第三代移动通信系统的目标之一是形成统一的标准,但结果还是形成了多种制式并存的局面。同时,随着人们需求的日益提升,对通信的要求也越来越高,3G 技术面临着多种技术竞争的压力,因此在目前 3G 开始商用化的时刻,人们已经开始了对于下一代移动通信技术的研究。

ITU 对后 3G/4G 的描述是:到 2010 年实现一种基于新的无线接入技术的系统,该系统在高速移动情况下,峰值速率高达 100Mbit/s,在低速运动情况下可达 1Gbit/s。这样的数据速率将为连接到同一无线资源的所有用户共享,且上行链路的数据速率能够不同于下行链路的数据速率。

1.1.2 移动通信系统的构成

图 1.1 所示为小区制移动通信系统的网络结构,它基本上可以分为两部分:交换子系统(MSC)和基站子系统(包括基站控制器 BSC、基站 BTS 和用户终端 MS)。移动网与市话网(PSTN)通过中继线相连。

移动通信网络的实现形式是,各无线小区(Cell)相互邻接形成无缝覆盖而成网络。每个小区有一个收发信基站(BTS),其中至少有一套收发信机,收发信机工作在一组无线电频率上。终端(MS)也有一套收发信机与 BTS 相对应,并通过空中接口 Um 接入 BTS。若干个

BTS 由一个基站控制器（BSC）控制，BSC 具有切换、功率控制等功能。一个移动业务交换中心（MSC）为多个基站控制器服务，它控制来自或去往公用交换电话网（PSTN）的呼叫。

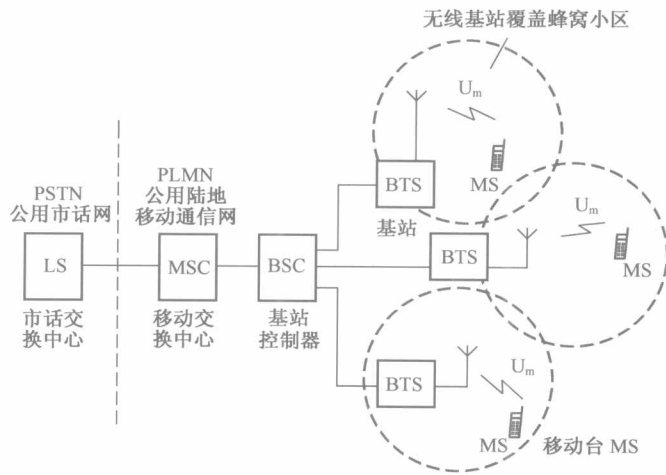


图 1.1 小区制移动通信系统网络结构示意图

1.1.3 移动通信系统的频段划分

无线电频谱可以分为如下 12 个频段，见表 1.1。

表 1.1 无线电频段和波段命名

段 号	频 带 名 称	频 率 范 围	波 段 名 称	波 长 范 围
1	极低频 (ELF)	3~30Hz	极长波	$100 \times 10^3 \sim 10 \times 10^3 \text{km}$
2	超低频 (SLF)	30~300Hz	超长波	$10 \times 10^3 \sim 1 \times 10^3 \text{km}$
3	特低频 (ULF)	300~3 000Hz	特长波	1 000~100km
4	甚低频 (VLF)	3~30kHz	甚长波	100~10km
5	低频 (LF)	30~300kHz	长波	10~1km
6	中频 (MF)	300~3 000kHz	中波	1 000~100m
7	高频 (HF)	3~30MHz	短波	100~10m
8	甚高频 (VHF)	30~300MHz	米波	10~1m
9	特高频 (UHF)	300~3 000MHz	分米波 (微波)	100~10cm
10	超高频 (SHF)	3~30GHz	厘米波 (微波)	10~1cm
11	极高频 (EHF)	30~300GHz	毫米波 (微波)	10~1mm
12	至高频	300~3 000GHz	丝米波 (微波)	1~0.1mm

ITU 以及各国家无线电主管部门为移动业务划分和分配了多个频段。考虑到无线电波传播的特点，移动业务使用的频段主要都在 3GHz 以下。

确定移动通信工作频段可以从电波传播特性、环境噪声及干扰的影响、服务区范围、地形和障碍物影响以及建筑物的渗透性能、设备小型化、与已经开发的频段的干扰协调和兼容

性、用户需求以及应用的特点等方面来考虑。

依据国际电联有关第三代公众移动通信系统（IMT-2000）频率划分和技术标准，按照我国无线电频率划分规定，结合我国无线电频谱使用的实际情况，我国第三代公众移动通信系统频率规划如下。

（1）主要工作频段

频分双工（FDD）方式：1 920~1 980 MHz / 2 110~2 170 MHz；

时分双工（TDD）方式：1 880~1 920MHz、2 010~2 025 MHz。

（2）补充工作频段

频分双工（FDD）方式：1 755~1 785 MHz / 1 850~1 880 MHz；

时分双工（TDD）方式：2 300~2 400MHz，与无线电定位业务共用，均为主要业务，共用标准另行制定。

（3）卫星移动通信系统工作频段

1 980~2 010 MHz / 2 170~2 200 MHz。

1.2 第三代移动通信主流技术标准介绍

1.2.1 WCDMA 系统

WCDMA（宽带码分多址）是由 3GPP 具体制定的，基于 GSM MAP 核心网，以 UMTS 陆地无线接入网（UTRAN）为无线接口的第三代移动通信系统标准之一。目前 WCDMA 有 R99、R4、R5、R6 等版本。WCDMA 是一个 ITU 标准，它是从码分多址（CDMA）演变来的，在官方被认为是 IMT-2000 的直接扩展。与现在市场上通常提供的技术相比，它能够移动和手提无线设备提供更高的数据速率。WCDMA 采用直接序列扩频码分多址（DS-SS）、频分双工（FDD）方式，码片速率为 3.84Mchip/s，载波带宽为 5MHz。基于 R99/R4 版本，该系统可在 5MHz 的带宽内，提供最高 384kbit/s 的用户数据传输速率。WCDMA 能够支持移动/手提设备之间的语音、图像、数据以及视频通信，速率可达 2Mbit/s（对于局域网而言）或者 384kbit/s（对于宽带网而言）。输入信号先被数字化，然后在一个较宽的频谱范围内以编码的扩频模式进行传输。窄带 CDMA 使用的是 200kHz 宽度的载频，而 WCDMA 使用的则是一个 5MHz 宽度的载频。

WCDMA 关键技术如下。

（1）Rake 接收技术

在移动通信系统中，周围环境的多样性引起了无线电波出现反射、绕射，致使电平值衰减，这称之为多径效应。在 WCDMA 系统中，每一个码片的多径能量在可分辨的时刻被接收机所接收，Rake 接收机能将这些多径能量进行相位的偏转，将接收到的信号的相位变回为原来的相位，然后进行简单的相加并进行最大比例合并。在 Rake 接收机的典型应用中，分为码片级和符号级的处理过程，码片级的处理（相关器、码发生器、匹配滤波器）由 ASIC 完成，符号级的处理（信道预测器、相位旋转器、合并器）由 DSP 完成。Rake 接收技术有效利用了信道相干时间形成的时间分集效应，可有效地克服多径干扰，提高接收性能。

(2) 分集接收

在无线通信中,由于传播环境的不确定性,接收端会接收到来自不同路径的信号。将这些信号适当处理,合并其有用成分而成为接收信号,称为分集接收。采用分集接收技术可大大减少衰落的影响。分集接收可以利用不同路径、不同频率和不同极化方式来完成,这就是我们所指的“空间分集、频率分集和极化分集”。分集信号的合并有3种方法:最佳选取、等增益相加和最大比合并。

(3) 功率控制

WCDMA 系统是一个自干扰系统,尤其是上行信号,如果没有功率控制或功率控制不理想,一个功率过强的 UE 可能阻塞整个小区,引起 CDMA 系统中所称的“远近效应”。在 WCDMA 系统中,主要有3种功控方式:开环功控、快速闭环功控和外环功控。

开环功控是通过测量下行信号的路径损耗来粗略估计上行信号的路径损耗的,通常用于连接的开始阶段,给终端提供粗略的初始功率设定。

快速闭环功控是 WCDMA 系统上、下行链路都支持的控制方式。以上行信号为例,在上行链路的功率控制中,基站将估计的信干比(SIR)的值与目标 SIR 进行比较,若测得的 SIR 高于目标 SIR 值,基站就命令终端降低功率;反之,则命令终端加大功率。基站测试→发出命令→终端调整功率这一步骤的频率可达 1500Hz,其速度快于快衰落的变化,所以快速闭环功控能尽可能地克服快衰落的影响,同时也避免了 CDMA 系统上行的远近效应。

外环功控通过为快速功控设定目标值来保持所需电平的通信质量。即通过测得的误块率(BLER)与目标 BLER 值进行比较来调整 SIR 目标值,同时通过上述测得的 SIR 与 SIR 目标值进行比较来调整其发信功率。外环功控的典型频率值为 10~100Hz。

1.2.2 cdma2000 系统

cdma2000 即为 cdma2000 1×EV,是一种 3G 移动通信标准。它分为两个阶段:cdma2000 1×EV-DO (Data Only),采用话音分离的信道传输数据,和 cdma2000 1×EV-DV (Data and Voice),即数据信道与话音信道合一。cdma2000 也称为 cdma Multi-Carrier,由美国高通北美公司为主导提出,摩托罗拉、Lucent 和后来加入的韩国三星都有参与,韩国现在成为该标准的主导者。这套系统是从窄频 cdma One 数字标准衍生出来的,可以从原有的 cdma One 结构直接升级到 3G,建设成本低廉。但目前使用 CDMA 的地区只有日、韩和北美,所以 cdma2000 的支持者不如 WCDMA 多。不过 cdma2000 的研发技术却是目前各标准中进度最快的,许多 3G 手机已经率先面世。

cdma2000 是一个 3G 移动通信标准,是国际电信联盟(ITU)的 IMT-2000 标准认可的无线电接口,也是 2G CDMA 标准(IS-95,标志 cdma1X)的延伸,其根本的信令标准是 IS-2000。虽然同为 FDD 制式,但 cdma2000 与 WCDMA 并不兼容。

cdma2000 的关键技术如下。

(1) 信道估计与多径分集接收技术

与其他通信信道相比,移动通信信道是最为复杂的一种。多径衰落和复杂恶劣的电波环境是移动通信信道的特征,这些都是由运动中进行无线通信这一方式本身所决定的。在典型的都市环境中,一辆快速行驶的车辆上的终端所接收到的无线电信号在一秒钟之内的显著衰

落可达数十次,衰落深度可达 20~30dB。这种衰落现象将严重降低接收信号的质量,影响通信的可靠性。为了有效地克服衰落带来的不利影响,必须采用各种抗衰落技术,包括:分集接收技术、均衡技术和纠错编码技术等。

分集接收技术是指接收机能够同时接收到多个输入信号,这些输入信号荷载相同的信息但遭受的衰落互不相关。接收机分别解调这些信号,并且按照一定的规则将它们进行合并,从而大大减小对信道衰落的影响。

在 cdma2000 系统中,所传输的信号是宽带信号,其带宽远大于移动信道的相干带宽,因而可以采用具有良好自相关特性的扩频信号,在时间上分辨出较细微的多径分量。对分辨出的多径信号分别进行加权调整,使合成之后的信号得以增强,从而可在较大程度上降低多径衰落信道所造成的负面影响。相应地把最佳接收机称为 Rake 接收机,它是 cdma2000 系统中实现多径分集接收的核心部件。

为了实现相干形式的 Rake 接收,在 cdma2000 系统的上行链路和下行链路中均采用了连续的公共导频信道进行信道估计(在 IS-95 系统中,上行链路中没有导频信道,这使得基站接收机中的同步和信道估计变得困难,通常采用差分相干或非相干接收方案),使得接收机能够在确知已发数据的条件下,估计出衰落信道中时变参数的幅度和相位信息,从而实现相干方式的最大比合并,以获得合并增益。

(2) 高效的信道编译码技术

在 cdma2000 系统中,由于传输信道的容量远大于单个用户的信息量,所以特别适于采用高冗余度的前向纠错编码技术。其上行链路和下行链路中均采用了比 IS-95 系统中码率更低的卷积编码,同时采用交织技术将突发错误分散成随机错误,两者配合使用,从而可更加有效地对抗移动信道中的多径衰落。

为了适应高速数据业务的要求,在 cdma2000 系统中还采用了 Turbo 编码技术。

目前 Turbo 码用于 cdma2000 系统的主要困难体现在以下几个方面:

- ① 由于交织长度的限制,无法用于速率较低、时延要求较高的数据(包括语音)传输;
- ② 基于软输出 MAP 的译码算法所需的计算量和存储量较大,而基于软输出 Viterbi 的译码算法所需的迭代次数往往难以保证;
- ③ Turbo 码在衰落信道下的性能还有待于进一步研究。

(3) 功率控制技术

在 cdma2000 系统中,一方面,许多终端公用相同的频段发射和接收信号,近地强信号抑制远地弱信号的可能性很大,称为“远近效应”;另一方面,各用户的扩频码之间存在着非理想的相关特性,通信容量主要受限于同频干扰。在不影响通信的情况下,尽量减少发射信号的功率,通信系统的总容量才能相应地达到最大,CDMA 系统的主要优点才能得以实现。因此,功率控制是 cdma2000 系统中最为重要的关键技术之一。

Cdma2000 系统中采用的功率控制技术可分为 3 种类型:开环功率控制、闭环功率控制和外环功率控制。

开环功率控制的基本原理是根据用户接收功率与发射功率之积为常数的原则,先行测量接收功率的大小,并由此确定发射功率的大小。开环功率控制用于确定用户的初始发射功率,或用户接收功率发生突变时的发射功率调节。开环功率控制未考虑到上、下行链路电波功率的不对称性,因而其精确性难以得到保证。

闭环功率控制可以较好地解决上述问题，通过对接收功率的测量值与信干比门限值的比较，确定功率控制比特信息，然后通过信道把功率控制比特信息传送到发射端，并据此调节发射功率的大小。

外环功率控制通过对接收误帧率的计算，调整闭环功率控制所需的信干比门限，通常需要采用变步长方法，以加快信干比门限的调整速度。

在 cdma2000 系统中，上行链路采用开环、闭环和外环功率控制相结合的技术，主要解决“远近效应”问题，保证所有信号到达基站时都具有相同的平均功率；下行链路则采用闭环和外环功率控制相结合的技术，主要解决同频干扰问题，可以使处于严重干扰区域的终端保持较好的通信质量，并减小对其他终端的干扰。

(4) 同步技术

同步技术历来是数字通信系统中的关键技术。同步电路如果失效，将严重影响系统的误码性能，甚至导致整个系统瘫痪。

Cdma2000 系统采用与 IS-95 系统相类似的初始同步技术，即通过对导频信道的捕获建立 PN 码的同步和符号同步，通过对同步信道的接收建立帧同步和扰码同步。

PN 码的同步过程分为两个阶段：PN 码的捕获（粗同步）和 PN 码的跟踪（细同步）。PN 码的捕获是使本地产生的 PN 码与接收到的 PN 码之间的定时误差小于一个码片间隔，可以采用基于滑动相关的串行捕获方案或者基于时延估计问题的并行捕获方案。PN 码的跟踪将进一步缩小定时误差，使之小于几分之一码片间隔。典型的 PN 码跟踪环路有两类：一类是基于迟开门定时误差检测器的延迟锁定环，另一类是 τ -抖动环。在通信开始之后，应该对这一定时误差进行进一步调整并使之趋近于零。另外，由于基站和终端之间的相对运动以及时钟频率的不稳定，对 PN 码定时的校正工作必须不断进行。

(5) 下行发射分集技术

如果可能的话，通信系统应该综合利用各种分集接收方法（包括时间分集、频率分集和空间分集等）来抵抗衰落对信号的影响，以保证高质量的通信性能。但是，实际情况并非总是如此。例如：在慢衰落信道中，时间分集技术在对时延敏感的应用场合就不再适用；当时延扩展很小时，频率分集技术也将不再适用。目前，基站可以采用双天线或多天线实现空间分集接收，但这对于终端是难以实现的。由于终端的尺寸所限，多天线之间的电磁兼容和多路射频转换等问题将难以解决。基于以上原因，cdma2000 系统采用了下行发射分集技术，以改善在室内单径瑞利衰落环境和慢速移动环境下系统的性能。

在 cdma2000 下行链路中，有两条信道专门用于下行发射分集，即发射分集导频信道和辅助发射分集导频信道。Cdma2000 系统中具体采用的发射分集技术有两种：正交发射分集（OTD, Orthogonal Transmit Diversity）方式和空时扩展分集（STS, Space Time Spread）方式。在 OTD 方式下，两根天线上发送的信号采用相互正交的 Walsh 码加以隔离；在 STD 方式下，两根天线上发送的信号采用不同的空时编码方案，以实现信号的隔离。

(6) 宏分集与软切换技术

在越区软切换的过程中，终端同时接收来自两个或多个基站发射的相同信息，对其进行分集合并和判决，从而改善终端处于越区切换时的接收信号质量，并保持越区切换时的数据不丢失。相对于多径分集方式，这种分集称为宏分集。

在 cdma2000 系统中，不同基站采用相同的 PN 码，差别仅在相位上，因此终端的搜索单

元可以采用滑动相关的方法检测相邻基站的导频信道的接收强度。在宏分集情况下,搜索单元可以将接收机的两个分支分别分配到两个基站各自的最强径上,从而有效地保证了接收质量。

1.2.3 TD-SCDMA 系统

TD-SCDMA 标准是我国独立向国际电联提出的拥有自主知识产权的第三代移动通信标准之一,是我国百年通信史以来的重大突破,标志着在移动通信技术方面已经步入了世界先进行列。

由于 TD-SCDMA 采取了时分双工、智能天线、联合检测、上行同步、动态信道分配等技术,相对于 WCDMA 和 cdma2000 技术,TD-SCDMA 技术具有容量大、频谱利用率高、设备成本低、组网灵活等优势。TD-SCDMA 的多址结构如图 1.2 所示。

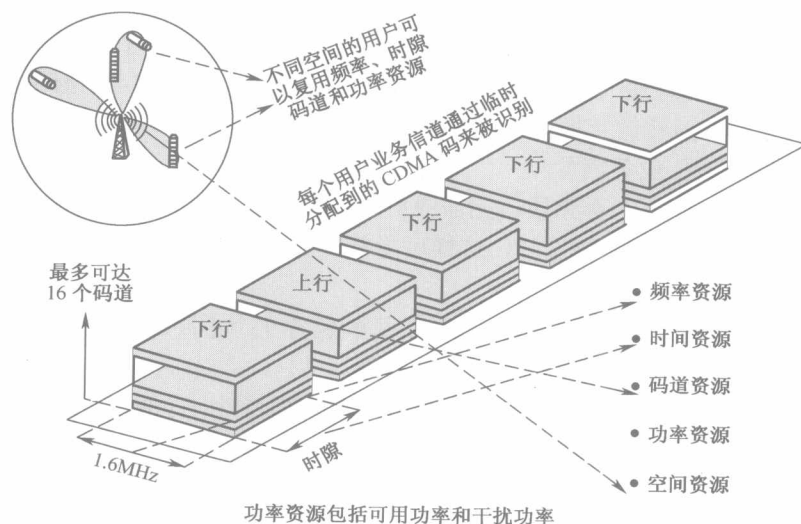


图 1.2 TD-SCDMA 多址结构

TD-SCDMA 的主要技术指标如下。

- ① 工作频段
 - 2 010~2 025MHz
 - 1 880~1 920MHz
 - 2 300~2 400MHz;
- ② 码片速率
 - 1.28Mchip/s;
- ③ 载波带宽
 - 1.6MHz;
- ④ 基本帧长
 - 5ms;
- ⑤ 多址方式
 - FDMA+CDMA+TDMA;
- ⑥ 话音业务
 - 8/12.2 kbit/s;
- ⑦ 数据业务
 - 室内固定环境可达 2Mbit/s;
 - 慢速移动环境可达 384kbit/s;
 - 高速移动环境下可达到 144 kbit/s;

- | | |
|--------|----------------|
| ⑧ 扩频系数 | 1~16 可变; |
| ⑨ 功率控制 | 闭环功率控制和开环功率控制; |
| ⑩ 调制方式 | QPSK; |
| ⑪ 切换方式 | 接力切换。 |

1.3 TD-SCDMA 关键技术及系统问题

1.3.1 时分同步

在 TDD 模式下, TD-SCDMA 采用在周期性重复的时间帧里传输基本 TDMA 突发脉冲的工作模式(与 GSM 相同), 通过周期性转换传输方向, 在同一载波上交替进行上、下行链路传输。

该方案的优点如下。

① 根据不同业务, 上、下行链路间转换点的位置可任意调整。在传输对称业务(如话音、交互式实时数据业务等)时, 可选用对称的转换点位置; 在传输非对称业务(如互联网方式业务)时, 可在非对称的转换点位置范围内选择。对于上述两种业务, TDD 模式都可提供最佳频谱利用率和最佳业务容量。

② TD-SCDMA 采用不对称频段, 无需成对频段, 系统采用 1.28Mchip/s 的低码片速率, 扩频因子有 1、2、4、8、16 五种选择, 这样可降低多用户检测器的复杂度, 灵活满足 3G 要求的不同数据传输速率。

③ 单个载频带宽为 1.6MHz, 帧长为 5ms, 每帧包含 7 个不同码型的突发脉冲同时传输, 由于它占用带宽窄, 所以在频谱安排上有很大的灵活性。

④ TDD 上、下行工作于同一频率, 对称的电波传播特性使之便于利用智能天线等新技术, 可达到提高性能、降低成本的目的。

⑤ TDD 系统设备成本低, 无收发隔离的要求, 可使用单片 IC 实现 RF 收发信机, 其成本比 FDD 系统低 20%~50%。

TDD 系统的主要缺陷在于终端的移动速度和覆盖距离, 具体如下。

① 采用多时隙不连续传输方式, 抗快衰落和多普勒效应能力比连续传输的 FDD 方式差, 因此 ITU 要求 TDD 系统用户终端移动速度为 120km/h, FDD 系统为 500km/h。

② TDD 系统平均功率与峰值功率之比随时隙数增加而增加, 考虑到耗电和成本因素, 用户终端的发射功率不可能很大, 故通信距离(小区半径)较小, 一般不超过 10km, 而 FDD 系统的小区半径可达几十千米。

③ 由于处于射频前端的收发链路工作于切换状态, 在开关状态下, 对半导体器件有一定的冲击, 一定程度上会影响器件的寿命。因此, 工作于 TDD 模式的射频器件的可靠性较 FDD 要差一些。

1.3.2 智能天线

TD-SCDMA 系统利用 TDD 使上、下射频信道完全对称, 以便于基站使用智能天线。智