

现代 **移动** 通信技术丛书

TD-SCDMA

第三代移动通信系统、信令及实现

李小文 李贵勇 陈贤亮 彭大芹 段红光 黄俊伟 等 编著

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

现代移动通信技术丛书

TD-SCDMA 第三代移动通信 系统、信令及实现

李小文 李贵勇 陈贤亮 等 编著
彭大芹 段红光 黄俊伟

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

TD-SCDMA 第三代移动通信系统、信令及实现 / 李小文等编著.

—北京: 人民邮电出版社, 2003.1

(现代移动通信技术丛书)

ISBN 7-115-10848-X

I. T... II. 李... III. 码分多址—移动通信—通信系统 IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 101737 号

现代移动通信技术丛书

TD-SCDMA 第三代移动通信系统、信令及实现

◆ 编 著 李小文 李贵勇 陈贤亮
彭大芹 段红光 黄俊伟 等
责任编辑 杨 凌

◆ 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>
读者热线 010-67129258
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京密云春雷印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 28.5

字数: 690 千字

2003 年 1 月第 1 版

印数: 1-4 000 册

2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-10848-X/TN · 1981

定价: 48.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

内 容 提 要

本书全面介绍了第三代移动通信系统的体系结构，重点是我国具有自主知识产权的第三代移动通信系统 TD-SCDMA 技术。与其他介绍第三代移动通信的专著不同的是，本书把介绍的重点放在第三代移动通信技术所涉及的信令体系和实现方法方面。或者说，本书是从系统的角度来描述第三代移动通信系统，而对其涉及到的诸多算法并不作深入的介绍。全书按其自然结构分为上篇和下篇：上篇主要介绍了 3GPP 定义的第三代移动通信系统的网络结构及接口规范。下篇（从第 6 章开始）详细介绍了用户终端设备协议栈的开发流程以及开发过程中使用的工具。希望读者通过对协议栈开发流程的阅读，进一步加深对无线空中接口信令规范的理解。

本书与第三代移动通信的发展紧密结合，从协议栈开发的角度来阐述 3GPP 规范，因而更容易为读者所接受。本书可供从事移动通信系统研究和开发的工程技术人员和科研人员阅读，也可高等院校通信专业的高年级本科生和研究生提供教学参考和毕业论文参考。

序

20 多年前，在第一代移动通信出现的初期，就有人提出“21 世纪是无线通信的世纪”的预言；10 余年前，在第二代移动通信标准制定过程中，国外杂志就预见到无线通信将如火山爆发式地高速发展。今天，在新千年之初，上述两个预言都实现了：移动通信已经成为通信领域的最大和最有发展前途的部分；第三代移动通信（正式名称为 IMT-2000）标准的制定工作已基本明确。一个以移动通信为主要发展方向的时代已经展现在我们面前。

1998 年初，在 ITU 向全世界征集第三代移动通信 RTT 建议时，国外对中国可能提出标准建议一事的消息的第一个反映是“一个谣言”，认为是不可思议的事。在信息产业部和以中国移动为首的运营商的支持下，我们提出了 TD-SCDMA 无线传输技术建议，并在 20 世纪末，成为国际第三代移动通信三大主流标准之一，这是我国百年通信史的首创，是我国通信技术进入国际竞争的开端，也是我们民族的自豪。

2001 年起，TD-SCDMA 被 3GPP 正式接受，成为 Release 4 的组成部分，大唐移动和西门子公司又联合提出基于 GSM 网络的 TD-SCDMA 系统技术（简称为 TSM 系统），并对全系统技术和设备进行了开发。今年，此系统将进入现场试验，预计 2004 年开始大规模投入商用。

在此时期，很多从事移动通信研究、开发和教育的朋友们都多次向我问及何时可能有一本介绍 TD-SCDMA 技术的书。我们也认识到编写和出版此类书籍的必要性。目前，书店内介绍第三代移动通信的书籍已经很多了，但其中凡涉及到系统与信令的内容，大多数都是对国外标准或书籍的编辑，甚至仅仅是简单的翻译。因为作者本人对其内容都不太了解，故很难看到作者的心得和观点。我们也正在准备撰写几部有关 TD-SCDMA 的著作，但由于时间关系，还要一段时间才可能完成，特此，对关心 TD-SCDMA 技术的诸位表示歉意。

本书编著者从 1998 年来就是大唐移动的亲密合作伙伴——重庆邮电学院的代表直接参加了 TD-SCDMA 标准的制定，然后又参与了 TSM 标准的制定和完善工作，编著者之一还担任了中国无线通信标准化组织（CWTS）TSM 特别工作组组长。在技术和产品开发过程中，他们还是开发 TSM 用户终端高层信令软件的主要负责人，在过去 4、5 年中，对 TD-SCDMA 和 TSM 系统均有比较深刻的认识和了解。故本书虽然在内容安排和叙述方面还有这样那样的不足，但毕竟是作者自己的心血和认识，并集中了集体共同的智慧。本书是系统介绍 TD-SCDMA 技术和系统的第 1 本著作，她的内容和意义是目前书店内大多数介绍第三代移动通信的书籍所不能比拟的。我们非常高兴地看到本书的出版，也希望本书能对 TD-SCDMA 这一事业起到推动作用。

李世鹤

2002 年 9 月

前 言

随着社会信息化进程的加快,个人移动通信日益受到人们的青睐。在我国乃至全世界,移动用户的增长速度都远远超过固定电话用户的增长速度。我国目前已经拥有了全球最大的移动通信网和最大的移动用户数,移动用户的数量已经超过了1亿,而且这个数字还在快速地增长。随着移动用户数的增长和人们对移动通信业务多元化的要求,现有的第二代移动通信系统无论是在频谱资源还是在所能提供的业务方面,都已经不能满足移动通信业务发展的需求。

ITU早在1985年就开始了对未来公共陆地移动通信系统(后更名为IMT-2000)的技术研究,并成立了专门负责标准化研究的任务组TG8/1。在1998年初,ITU开始向所属成员征集符合IMT-2000要求的无线传输技术(RTT)提案。到规定的截止日期,ITU共收到10个用于地面移动通信的RTT提案。1999年11月5日在芬兰赫尔辛基召开的ITU TG8/1第18次会议上,最终确定了3类(TDMA、CDMA-FDD、CDMA-TDD)共5种技术(两种TDMA、两种CDMA-FDD、1种CDMA-TDD)作为第三代移动通信的基础。其中的两种TDMA技术并未达到IMT-2000的最低要求,因而不可能成为真正意义上的国际标准。在公认的3G主流技术CDMA中,包含了两个FDD(WCDMA和CDMA 2000)技术和一个TDD技术,其中的TDD技术又包含了两个选项,它们是欧洲ETSI提出的UTRA-TDD和中国CWTS提出的TD-SCDMA,ITU希望两个TDD方案将来能够融合为一个统一的TDD标准。不过,作为UTRA-TDD标准最主要制订者之一的德国西门子公司已经放弃了对UTRA-TDD标准的开发,转而开发TD-SCDMA标准,因而在TDD技术中事实上仅剩下了TD-SCDMA标准。

通信标准的制定对通信集团乃至国家的利益影响巨大。欧、美两大阵营为了自身的利益,在标准问题上互不相让,严重对峙,但另一方面又联合打压其他国家提出的标准。中国CWTS提出的TD-SCDMA标准之所以能在逆境中胜出,成为全球第三代移动通信的3大主流标准之一,其一方面除了中国政府的强力支持外,另一方面也与其自身显著的技术优势有关。

在未来的无线通信业务中,上、下行不对称的互联网型业务将会逐步取代对称的话音业务而成为第三代移动通信的主要业务类型。按UMTS的分析,2005年后,上、下行业务之比将为1:5,而到了2010年,这种不对称性将达到1:10。工作在TDD模式下的TD-SCDMA系统在处理这种不对称业务方面有着天然的优势。通过调整上、下行时隙的转换点,TD-SCDMA技术可以方便地均衡上、下行业务。能够使用FDD所不能使用的非对称频带是TDD技术的另一大优势。除了TDD系统的自然优势之外,TD-SCDMA还使用了许多移动通信领域的新技术,如智能天线、联合检测、软件无线电、上行同步等,它们中的大多数都是其他3G系统想采用而又难于采用的技术。

本书上篇的第1章以第三代(3G)无线通信的发展为线索,介绍了国际电联(ITU)通过的几个3G标准以及各自的特点。通过对3GPP规范体系结构的介绍,可以使读者能够从浩如烟海的3GPP规范中查找自己感兴趣的内容。这一章的最后简要介绍了TD-SCDMA系统在3G实现中采用的一些先进技术。第2章介绍了3GPP定义的网络结构、接口以及接口

信令过程，这一章的最后通过对呼叫建立流程的分析详细阐述了网络各实体的过程及对等层信令。第三章详细介绍了 TD-SCDMA 系统的物理层结构及过程。虽然第 3 章的内容主要围绕 TD-SCDMA 系统的物理层，但其多数内容同样适用于 3GPP 家族的其他两个成员(WCDMA 和 UTRA TDD)。第 4 章主要介绍了空中接口的无线链路控制层(层 2)，该层的内容对 3GPP 家族成员基本上是相同的。第 5 章介绍了空中接口的层 3 规范。整个层 3 规范按其作用被分为接入子层和非接入子层，非接入子层(MM 和 CM)信令对 3GPP 家族的所有成员都是相同的，而接入子层(主要指 RRC)信令对不同的模式设置了不同的选项。本书下篇的第 6 章详细描述了用户终端设备(UE)在各种工作模式下的任务以及这些任务与 Uu 接口信令的关系。第 7 章从线路呼叫域的结构图开始，详细介绍了协议栈各层的状态划分、状态跃迁以及层间的通信原语。第 8 章首先介绍了规范描述语言 SDL 及其使用，然后给出了一个用 SDL 描述的 RLC 子层实例。第 9 章介绍了怎么对开发出来的协议进行仿真及调测。最后介绍了协议在目标板上的运行以及所用到的工具。本书还包含了 3 个附录，前两个较为详细地介绍了协议开发过程中用到的工具软件：Telelogic Tau 公司推出的 SDL 和 TTCN。最后一个附录简单介绍了 TI 公司为第三代移动通信终端开发的专用芯片 OMAP1510。

除本书作者外，何先军、王小华两位研究生参与了非接入层部分的编写工作，在此表示感谢。

由于时间仓促，加之第三代移动通信的相关技术及标准还在不断地变化和完善中，因而书中难免有不妥甚至是错误之处，恳请广大读者提出批评指正。

编 者

2002 年 9 月于重庆邮电学院

目 录

上 篇

第 1 章 概述	3
1.1 第三代移动通信的发展概况	3
1.1.1 第三代移动通信系统 (3G) 的发展历史	3
1.1.2 第三代移动通信系统概述	4
1.1.3 国际电联关于 3G 的频谱划分计划	5
1.1.4 3G 系统的无线接口标准	6
1.2 IMT-2000 介绍	6
1.2.1 TD-SCDMA (IMT-2000 CDMA TDD)	7
1.2.2 WCDMA (IMT-2000 CDMA DS)	9
1.2.3 CDMA 2000 (IMT-2000 CDMA MC)	10
1.3 3GPP 规范	11
1.3.1 IMT-2000 无线接入网与核心网的标准化情况	11
1.3.2 IMT-2000 标准化组织结构	11
1.3.3 3GPP2 的标准化情况	13
1.3.4 3GPP 的标准化进展	14
1.3.5 3GPP 文档协议总体介绍	14
1.4 第三代移动通信系统采用的关键技术	18
1.4.1 多用户检测 (Multi-user Detection)	18
1.4.2 Turbo 编/译码 (Turbo Encode/Decode)	24
1.4.3 软件无线电 (Software Defined Radio)	26
1.4.4 智能天线 (Smart Antenna)	28
第 2 章 网络结构及接口	32
2.1 网络结构	32
2.1.1 UMTS 的通用协议结构	32
2.1.2 UTRAN	33
2.2 Iu 接口	38
2.2.1 概述	38
2.2.2 Iu 接口协议的功能	41
2.2.3 Iu 无线网络层控制平面协议	44
2.2.4 Iu 无线网络层用户平面协议	47

2.2.5 服务区广播协议	52
2.3 Iur 接口	54
2.3.1 概述	54
2.3.2 Iur 接口的协议结构	55
2.3.3 Iur 无线网络层控制平面协议	56
2.3.4 Iur 公共传输信道数据流用户平面协议	59
2.4 Iub 接口	61
2.4.1 概述	61
2.4.2 Iub 中 Node B 的逻辑模型	63
2.4.3 Iub 接口的协议结构	65
2.4.4 Iub 接口无线网络层控制平面协议	66
2.4.5 Iub 公共传输信道数据流用户平面协议	70
2.4.6 Iur/Iub DCH 数据流用户平面协议	71
2.5 Uu 接口	74
2.5.1 协议栈的层次结构	74
2.5.2 UE 在空闲模式下的任务	74
2.5.3 UE 在连接模式下的任务	81
2.6 呼叫建立过程中的网络信令流	81
2.6.1 寻呼过程	81
2.6.2 RRC 连接的建立过程	83
2.6.3 DCCH 的直接传输过程	87
第3章 物理层规范	89
3.1 物理层向上层提供的服务	89
3.1.1 控制信道	90
3.1.2 传输信道	91
3.1.3 物理层测量	94
3.2 物理信道	97
3.2.1 帧结构	98
3.2.2 时隙结构	99
3.2.3 物理信道的分类	103
3.3 信道的编码与复用	107
3.3.1 CRC 校验	109
3.3.2 传输块的级连和分段	109
3.3.3 信道编码	110
3.3.4 无线帧长度均衡	115
3.3.5 第一次交织	115
3.3.6 无线帧分割	116
3.3.7 速率匹配	117

3.3.8	传输信道的复用	123
3.3.9	物理信道分割	124
3.3.10	第二次交织	124
3.3.11	子帧分割	125
3.3.12	物理信道映射	125
3.3.13	信道编码和复用举例	127
3.4	物理层控制信息的编码	131
3.4.1	传输格式组合指示 (TFCI)	131
3.4.2	前向物理接入信道 (FPACH)	134
3.4.3	寻呼指示信道 (PICH)	134
3.5	扩频、扰码和调制	135
3.5.1	比特到信号星座图的映射	135
3.5.2	扩频	136
3.5.3	扰码	137
3.5.4	SYNC-DL、SYNC-UL 和 Midamble 码	139
3.5.5	脉冲成形滤波器	139
3.6	物理层过程	140
3.6.1	小区选择	140
3.6.2	UE 的功率控制过程	142
3.6.3	上行同步建立—随机接入过程	143
3.7	信道配置举例	146
3.7.1	传输信道信息	148
3.7.2	物理信道信息单元	150
第 4 章	链路层规范 (RLC/MAC)	153
4.1	介质接入控制 (MAC) 子层	153
4.1.1	MAC 子层提供的服务和 MAC 子层的功能	153
4.1.2	MAC 子层的逻辑结构	154
4.1.3	逻辑信道和传输信道之间的映射	155
4.1.4	MAC 实体	157
4.1.5	层间通信	163
4.1.6	对等层通信	165
4.1.7	基本过程	165
4.2	无线链路控制 (RLC) 子层	168
4.2.1	RLC 子层的总体模型	169
4.2.2	RLC 子层支持的功能	169
4.2.3	RLC 子层提供给高层的服务	170
4.2.4	RLC 子层与高层 (RRC、PDCP、BMC) 的层间通信原语	171
4.2.5	透明模式 (TM) 实体	172

4.2.6 非确认模式 (UM) 实体	175
4.2.7 确认模式 (AM) 实体	177
4.3 分组数据汇聚协议 (PDCP) 子层	188
4.3.1 协议结构	188
4.3.2 PDCP 子层的功能	189
4.3.3 层间通信	190
4.3.4 对等层通信	191
4.4 广播/多播控制 (BMC) 子层	192
4.4.1 BMC 子层的协议模型	192
4.4.2 BMC 子层的服务和功能	193
4.4.3 层间通信	193
4.4.4 基本过程	195
第 5 章 空中接口层 3 规范	197
5.1 无线资源控制 (RRC) 子层	197
5.1.1 RRC 子层的协议模型	197
5.1.2 RRC 子层的状态和状态转移	200
5.1.3 RRC 连接管理	203
5.1.4 无线承载控制	210
5.1.5 RRC 连接移动性管理	212
5.1.6 测量过程	215
5.1.7 RRC 连接建立过程的消息流程图	218
5.2 非接入层	224
5.2.1 移动性管理 (MM)	224
5.2.2 连接管理 (CM)	235
5.3 空中接口的层 3 消息结构	243
5.3.1 基于字节的表描述	243
5.3.2 基于比特流的表描述	244
5.3.3 ASN.1 描述	245

下 篇

第 6 章 UE 任务描述	253
6.1 TSM 标准	253
6.1.1 系统简介	253
6.1.2 TSM 规范的结构	254
6.1.3 TSM 规范与 TD-SCDMA 的差异	255
6.2 空闲模式	256
6.2.1 PLMN 的选择过程	257

6.2.2	小区选择/重选过程	258
6.2.3	位置登记过程	261
6.3	RR 连接建立	261
6.3.1	接入允许判断	262
6.3.2	上行同步的建立	262
6.3.3	随机接入	262
6.3.4	主信令链路的建立	263
6.3.5	RR 连接建立过程中的其他任务	263
6.4	专有模式	264
6.4.1	SACCH 过程	264
6.4.2	信道指派	264
6.4.3	切换	265
6.4.4	信道模式改变	265
6.4.5	加密模式设置	266
6.4.6	类标改变	266
6.4.7	类标询问	266
6.4.8	RR 连接释放	266
6.4.9	服务小区/邻近小区的测量	267
第 7 章	原语及状态描述	268
7.1	系统结构	268
7.1.1	系统模块组成	268
7.1.2	系统接口	270
7.2	物理控制层 (HL1)	271
7.2.1	原语定义	271
7.2.2	物理控制层的状态划分	272
7.3	数据链路层 (DL)	277
7.3.1	原语定义	277
7.3.2	数据链路层的状态划分	278
7.4	无线资源管理 (RRM) 子层	282
7.4.1	原语定义	282
7.4.2	RRM 子层的状态划分	283
7.5	移动性管理 (MM) 子层	292
7.5.1	原语定义	292
7.5.2	MM 子层的状态划分	293
7.5.3	MM 子层的状态跃迁及原语	294
7.6	连接管理 (CM) 子层	302
7.6.1	原语定义	302
7.6.2	CC 子层的状态划分及跃迁	303

第 8 章 规范描述语言 (SDL) 描述	315
8.1 SDL 的基本概念	315
8.1.1 SDL 结构	316
8.1.2 数据处理	321
8.2 无线链路控制层 (RLC) 的 SDL 描述	322
8.2.1 概述	322
8.2.2 功能	322
8.2.3 与 3GPP RLC 的比较	323
8.2.4 接口原语定义	324
8.2.5 UE 端 RLC 的状态	325
8.2.6 SDL 的实现	325
第 9 章 仿真及测试	363
9.1 协议一致性测试和互操作性测试	363
9.1.1 协议测试概述	363
9.1.2 协议一致性测试	363
9.1.3 互操作性测试	365
9.2 TSM 终端协议测试的模型	365
9.3 TD-SCDMA 终端协议测试参照的标准和主要的测试项目	367
9.3.1 CC 子层的测试	367
9.3.2 MM 子层的测试	367
9.3.3 RR 子层的测试	368
9.3.4 L2 层的测试	369
9.3.5 HL1 层的测试	369
9.3.6 整体测试	370
9.4 树表结合表示法——TTCN	370
9.4.1 测试目的	371
9.4.2 测试流程	371
9.4.3 TTCN 的实现	372
9.5 SDL 和 TTCN 协仿真的结果	373
9.6 在线测试	377
9.6.1 测试环境	377
9.6.2 有限状态机实现	381
9.6.3 测试过程	383
9.6.4 测试过程举例	384
附录 A SDL 使用指南	387
A.1 SDL 软件安装	387
A.2 操作介绍	388

A.3 生成运行代码	393
附录 B TTCN 使用指南	400
B.1 概述	400
B.2 几个概念	400
B.3 测试模型	401
B.4 TTCN 的 Test Suite 结构	401
B.5 TTCN Suite 的组成	402
B.6 TTCN 测试例的构造过程	405
B.7 一个假想的 X 协议和其 IUT	405
B.8 基于 X 协议 IUT 的 TTCN Test Suite 的实现	408
B.9 SDL 到 TTCN-LINK 自动转换步骤	423
B.10 TTCN 和 SDL 的协仿真	424
附录 C OMAP1510 简介	426
C.1 概述	426
C.2 硬件结构	426
C.2.1 OMAP1510 结构	426
C.2.2 OMAP1510 外围接口	427
C.3 软件结构	430
缩略语	431
参考文献	437

上 篇

第1章 概 述

1.1 第三代移动通信的发展概况

第三代移动通信系统即 IMT-2000, 按其设计思想, 是有能力解决第一、第二代移动通信系统主要弊端的先进的移动通信系统。它的一个突出特点就是使个人终端用户能够在全球范围内的任何时间、任何地点, 与任何人、用任意方式高质量地实现任何信息的移动通信与传输。可见, 第3代移动通信十分重视个人在通信系统中的自主因素, 突出了个人在通信系统中的主导地位, 所以又称为未来个人通信系统。

1.1.1 第三代移动通信系统(3G)的发展历史

1999年, 在火爆的移动通信领域, 世界目光的焦点是3G标准。在各方的努力下, 3G的无线接口技术标准逐步趋于融合。在技术融合的推动下, 同年11月初, 国际电联终于确定了一个全球统一的无线接口标准——IMT-2000。

3G标准制订的过程并不顺利, 代表不同利益的各标准化组织围绕最终以谁的技术作为全球标准展开了激烈的纷争。而纷争的焦点主要集中在以爱立信为首的欧洲 WCDMA 技术和以高通为代表的美国 CDMA 2000 技术之间。这种纷争令人们开始对能否形成全球统一的第三代移动通信标准产生了怀疑。令人兴奋的是, 在1999年, 无线接口技术的融合迈出了关键性的步伐, 一系列重要事件将第三代移动通信标准推向现实。

1999年3月的ITU-R TG8/1 巴西会议确定了第三代无线接口标准的大格局, 明确了第三代移动通信标准将由多个技术构成。已确定的几大技术板块, 为 CDMA 2000 与 WCDMA 技术的融合、中国 TD-SCDMA 技术与其他 TDD 技术的融合等提供了舞台。在 TG8/1 巴西会议结束后不久, 爱立信与高通达成了专利相互许可使用协议。这一协议不仅使长期困扰 ITU 的专利问题得到了解决, 同时也对 WCDMA 和 CDMA 2000 两种宽带 CDMA 技术的融合起到了积极的促进作用。1999年6月底的 TG8/1 北京会议之前, 国际运营者组织在东京和多伦多召开了两次会议, 在这两次会议上, WCDMA 与 CDMA 2000 标准的融合取得了重大进展。我国的 TD-SCDMA 技术与 3GPP TDD 技术的融合也取得了初步进展。

在技术融合的推动下, 1999年10月25日至11月5日在芬兰召开的 ITU-R TG8/1 最后一次会议顺利确定了 3G 无线接口标准, 虽然它由不同的技术构成, 但这是一个全球统一的标准, 基于这一标准, 用户可以实现全球漫游。

3G 无线接口标准于 2000 年 5 月举行的 ITU-R 2000 年全会 (RA-2000) 上最终得到批准通过, 被正式命名为 IMT-2000 无线接口技术规范 (M.1457)。此规范包括码分多址 (CDMA) 和时分多址 (TDMA) 两大类共 5 种技术。其中, CDMA 为目前公认的主流技术, 它包括两种频分双工 (FDD) 技术和一种时分双工 (TDD) 技术, 分别为 IMT-2000 CDMA-DS、IMT-2000 CDMA MC 和 IMT-2000 CDMA TD。具体的第三代移动通信标准发展进程请见表 1-1。