

IT 先锋 系列丛书

3G 移动网

—W-CDMA 和 cdma2000

W-CDMA AND cdma2000 FOR 3G MOBILE NETWORKS

M.R.Karim Mohsen Sarraf 著
粟欣译

**Mc
Graw
Hill** Education

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

IT 先锋系列丛书

3G 移动网 — W-CDMA 和 cdma2000

M. R. Karim Mohsen Sarraf 著

栗 欣 译

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

3G 移动网: W-CDMA 和 cdma 2000/ (美) 卡林 (Karim,M.R.), (美) 萨拉夫 (Sarraf,M.) 著; 粟欣译. —北京: 人民邮电出版社, 2003.9

(IT 先锋系列丛书)

ISBN 7-115-11441-2

I. 3... II. ①卡...②萨...③粟... III. 码分多址—移动通信—通信技术
IV.TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 053269 号

IT 先锋系列丛书

3G 移动网——W-CDMA 和 cdma 2000

◆ 著 M.R.Karim Mohsen Sarraf

译 粟 欣

责任编辑 徐享华

◆ 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

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 15

字数: 318 千字

2003 年 9 月第 1 版

印数: 1-4 000 册

2003 年 9 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记 图字: 01-2003-4797 号

ISBN 7-115-11441-2/TN · 2107

定价: 26.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

版 权 声 明

M.R.KARIM MOHSEN SARRAF

W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks

ISBN:

Copyright © 2002 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education(Asia)Co. and Posts and Telecommunications Press.

本书中文简体字翻译版由人民邮电出版社和美国麦格劳—希尔教育（亚洲）出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2003-4797 号

内 容 提 要

本书全面、系统化地介绍了第三代（3G）移动通信系统，阐述了 3G 系统设计中最重要的一些问题，所讨论的问题涉及无线信道面临的挑战、新老技术的演化、码分多址技术基础、系统规划、系统体系结构及其演进等方面。本书的内容详尽，理论深度适中。

本书适合从事 3G 系统开发的工程师以及在校相关专业的师生，也可供与 3G 系统产品相关的业务经理、市场人员、销售人员以及想了解 3G 系统的人员阅读。

致 谢

作者要感谢 Reed Fisher，他阅读了几乎所有手稿并提出了有价值的修改意见。特别感谢 Ken Smolik，他愉快地评阅了大多数资料并提出了极大地提高本书质量的建议。另外，还要感谢评阅了一些章节的 Nikil Jayant, Victor Lawrence 和一位不知其名的评阅人，他们也给出了自己的意见。非常感谢 Marjorie Spencer 邀请我们写作本书，她一直关心着整个撰写过程。最后，作者要向家人们表达最诚挚的感激之情，没有他们不断的支持和鼓励，作者是不可能承担这项工作并按时完成的。

M.R.Karim
Mohsen.Sarraf
2002 年 3 月

序

不同时代和不同国度的人们都在不断寻求信息。他们很清楚的是：信息是世界上最具有价值和效能的商品之一。那些拥有它的人会变得更有实力，比其他人更快获得它的人会获得非常领先的社会地位。为此，人们总是在寻找尽可能快地产生、存储、访问和传递信息的方法。这种对获取和传递信息的方法的寻求，使得人们在许多方面作出创新——创造新的用语、新的记录信息的方法、新的解释信息的方法和新的传输信息的方法。近观历史，在过去的几千年中，人们创造的方法有烟雾信号的使用、语言的产生和演化、邮政系统、信使服务、电报、无线广播、固定电话、移动电话和电子邮件等等。在寻求信息过程中，最受重视的方面是传递信息的数量、类型、速率、安全和存储的难易。

正如其他许多科学技术的发展一样，通信的发展也有周期性。开始时某项技术的发展过程较缓慢，直到达到临界点，接着开始飞跃发展，像这样周而复始地进行下去。最后，这些飞跃发展将把技术带到这样的转折点上：所承担的业务（农业、医学、工程、科学或任何其他业务）将变得廉价和可靠，足以成为经济可行的大众产品，促使人们生活质量产生一次巨大的变化。我们生活在这历史的转折点上，能够观察到发生在眼前的有关信息传递的许多技术进步。以前从一地到另一地，我们还不能用轻巧小型得能随便放入衣袋中的便携式小设备，迅速、安全和实时地传递大多数类型的信息（文本、图像和声音）。20年前，这些还是科幻作家和电影制片人的杰作，但前期科学技术的飞跃却将这些成就迅速从想像变成了现实。为了实现通信技术产品的廉价和普及，从事通信技术研究的人员制定了第三代移动通信标准，即通常所说的 3G。

编写和实现 3G 方案的科研人员将为公众提供巨大的社会和经济效益，学习 3G 方案所依靠的技术和方法的基础是他们完成这项重要任务中的第一步，而本书正好可帮助人们达到此目的。本书的技术理论深度刚好适合正在从事系统开发的在校研究生和工程师，也适合想在本课题中拓展视野的其他人，它描述了整个 3G 系统设计中最重要的一些问题。本书对业务经理、产品经理、销售和市场人员、律师和其他需要获得这方面一般性知识的人都是适合的。同时，本书也适合更高层次的读者，他们可以利用本书明确该领域中的重要问题，并通过查阅本书引用的参考文献进一步研究这些问题。本书所讨论的一些问题涉及到无线信道面临的挑战、较老技术向现有新技术的演化、码分多址（CDMA）技术基础、系统规划和系统体系结构及其演进。本书内容可读性强，能为读者提供关于 3G 无线技术课题方面学习和参考的丰富资源。

我希望每位读者都能够像我一样喜爱本书并能从中获益。

Victor B. Lawrence
朗讯科技贝尔实验室
高级通信技术副总裁

前 言

作者在朗讯科技公司致力于第三代(3G)移动通信系统的研究时,就发现有关该课题的书籍并不多。1999年,ITU-R定义了4种3G系统并发布了一套标准。大多数情况下,科研人员唯一的信息来源就是这些标准。它们虽然很详尽,但不提供详细解释的文档。本书的目的就是填补这方面的空白,提供对3G系统的全面描述。上述标准规定了基于宽带CDMA(W-CDMA)和宽带TDMA的空中接口。但是,既然W-CDMA是优先选择的接口,那么作者就决定阐述W-CDMA,同时也较为详细地阐述cdma2000和UMTS FDD,并给出3G采用的各项技术和帮助读者理解这些技术的必要的技术背景。在某些情况下,正是这些技术背景推动了3G系统的发展。本书对以上课题的叙述既不过于详细也不过于简单,作者期望本书拥有多层次读者——系统工程师、工程经理、研究设计人员、对该领域陌生却又想了解的人,相信他们都将发现本书是很有用的。

本书第1章以回溯方式叙述了移动电话系统从模拟系统(高级移动电话业务,AMPS)到第二代(2G)系统以及正在走向3G系统的演化过程。本章所包含的内容概述了3G系统的性能、特征和需求。

了解无线移动信道的传播特性对于理解和设计蜂窝系统是至关重要的,因此第2章给出了关于这个专题的概述。

第3章描述了宽带CDMA的基本原理,研究了提供3G系统物理层功能性的各种课题。

cdmaOne和cdma2000是第4章讨论的主题。因为cdma2000是从cdmaOne演化而来的,利用与cdmaOne一样的核心网标准(即IS-41),两系统可以共存,所以本章首先概述cdmaOne,接着再描述cdma2000。

第5章致力于GSM和通用分组无线业务(GPRS)。阐述这两种系统的原因在于:GSM和UMTS共享一样的核心网,都利用7号信令系统的移动应用部分(MAP)协议。同样,UMTS中的分组数据业务以及相关网络实体和协议,都与GPRS的协调一致。因此,尽管UMTS陆地无线接入网(UTRAN)与GSM存在着无线空中接口标准上的重大差别,但在本章里描述GSM和GPRS对读者是有帮助的。

第6章描述UMTS。本章通过一些实例,讨论各层的协议、同步机制、功率控制和切换过程。

既然分组数据是3G系统的重要方面,那么现有核心网围绕电路交换结构建立,就要与路由器和网关协同工作,提供分组模式数据业务。事实上,由于在下一代系统中有大量的数据传递需求,故核心网正在进化为全IP的体系结构。第7章描述了移动通信网的演化。

第8章主要涉及无线网中的呼叫控制和移动管理。为了帮助读者更好地理解这个专题,

本章也包括对于各种接口点处的协议栈的简要描述。

第 9 章研究与 3G 有关的服务质量 (QoS) 的概念。为读者提供对于该主题的基本理解, 并讨论在网络中实现灵活的资源管理机制的必要性, 该机制将为移动台提供跨越全 IP 网的端对端 QoS。

第 10 章给出网络规划和设计论题, 如频谱需求、链路预算、频率规划和蜂窝增长等。

在第 11 章中, 从考虑问题的角度出发, 在即将到来的超 3G 基础上, 讨论了第四代 (4G) 系统背后的推动力量, 并提及一些在 4G 发展中会起重要作用的技术。

M.R.Karim
Mohsen.Sarraf

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 早期系统	1
1.2 蜂窝系统	2
1.3 TDMA 系统	6
1.3.1 IS-54 和 IS-136	6
1.3.2 GSM	7
1.4 cdmaOne (基于 IS-95-A 和 IS-95-B)	8
1.5 个人通信系统	9
1.6 第三代 (3G) 移动通信技术	10
1.6.1 对 3G 的要求	11
1.6.2 3G 系统的演化	12
1.7 小结	14
参考文献	15
第 2 章 无线移动信道的传播特性	17
2.1 大尺度变化	17
2.1.1 自由空间中的信号变化	17
2.1.2 市区中由地形和地物干扰引起的信号变化	18
2.1.3 郊区和乡下的信号改变	21
2.1.4 信号电平局部平均值的变化	22
2.1.5 传播模型	24
2.2 信号的短时变化	25
2.2.1 短时变化的影响	29
2.3 相干带宽和功率时延谱	29
2.4 无线移动信道的仿真模型	31
2.5 小结	33
参考文献	33
第 3 章 宽带 CDMA (W-CDMA) 原理	36

3.1	多址方案	36
3.1.1	FDMA	36
3.1.2	TDMA	37
3.1.3	扩频多址	38
3.2	CDMA 技术	39
3.2.1	直接扩频 CDMA 原理	39
3.2.2	CDMA 系统的容量	42
3.3	3G 无线发射机功能	44
3.4	语音编码	45
3.5	信道编码	47
3.5.1	卷积编码器	47
3.5.2	解卷积码	50
3.5.3	收缩码	50
3.5.4	UMTS 的信道编码器	51
3.6	交织器	52
3.7	调制	53
3.7.1	相位调制信号的解调	54
3.8	扩频	55
3.8.1	Walsh 码	55
3.8.2	扰码	56
3.9	接收机	60
3.9.1	接收机结构	60
3.9.2	硬和软判决	61
3.9.3	Viterbi 解码	63
3.10	CDMA 中的多径分集	63
3.10.1	Rake 接收机	64
3.10.2	多用户检测	66
3.11	智能天线	67
3.12	小结	71
	参考文献	71
第 4 章	cdmaOne 和 cdma2000	74
4.1	cdmaOne	74
4.1.1	频谱分配	74
4.1.2	物理信道	75

4.1.3 反向信道传输功能	75
4.1.4 前向信道功能	77
4.1.5 功率控制	79
4.1.6 IS-95 切换技术	81
4.2 cdma2000	83
4.2.1 系统特征	83
4.2.2 协议栈	85
4.2.3 物理信道	87
4.2.4 前向信道传输功能	88
4.2.5 反向信道传输功能	90
4.3 小结	91
参考文献	92
第 5 章 GSM 系统和通用分组无线业务 (GPRS)	93
5.1 GSM 系统的特性	93
5.2 系统结构	95
5.2.1 语音编码器	98
5.2.2 信道编码器	99
5.2.3 交织	100
5.2.4 调制方式——GMSK	100
5.3 逻辑信道	103
5.4 GSM 帧和时隙结构	104
5.5 GSM 中的数据业务	105
5.5.1 GPRS 的一般功能和特点	106
5.5.2 GPRS 网络结构	106
5.5.3 GPRS 协议栈	108
5.5.4 数据包结构	110
5.5.5 逻辑信道	110
5.5.6 分组传输协议	111
5.6 小结	114
参考文献	114
第 6 章 通用移动通信系统 (UMTS)	116
6.1 系统特征	116
6.2 无线网络结构	118

6.3	无线接口协议栈——概述	119
6.4	物理层	121
6.4.1	物理层功能概述	122
6.4.2	传输信道	124
6.4.3	物理信道	126
6.4.4	分组模式数据	131
6.4.5	从传输信道到物理信道的映射	132
6.4.6	物理层处理过程	132
6.4.7	扩频和调制	137
6.4.8	物理层测量	141
6.5	MAC 层协议	143
6.5.1	概述	143
6.5.2	MAC 过程	144
6.5.3	MAC 层数据格式	145
6.6	无线链路控制协议	146
6.6.1	RLC 功能	146
6.6.2	RLC 协议描述	147
6.7	分组数据会聚协议 (PDCP)	150
6.7.1	概述	150
6.7.2	报头压缩	151
6.8	广播/组播 (BMC) 协议	151
6.9	无线资源控制协议	152
6.9.1	RRC 功能	152
6.9.2	RRC 连接的管理	153
6.9.3	切换	153
6.10	小结	156
	参考文献	157
第 7 章	移动通信网络的演进	160
7.1	3G 需求回顾	160
7.2	网络的演进	161
7.2.1	第一代网络	161
7.2.2	第二代网络	163
7.2.3	2G+ 网络	164
7.2.4	3G 网络	166

7.2.5 全 IP 网络	166
7.3 小结	167
参考文献	168
第 8 章 呼叫控制和移动性管理	169
8.1 接入和核心网的协议栈	169
8.1.1 GSM	169
8.1.2 UMTS	171
8.2 呼叫控制	177
8.3 小结	180
参考文献	180
第 9 章 3G 系统的服务质量 (QoS)	182
9.1 引言	182
9.2 概念综述	183
9.3 业务分类	184
9.4 UMTS 业务属性	186
9.5 QoS 请求——RSVP 协议	189
9.6 许可控制	193
9.6.1 接入控制策略	193
9.6.2 资源分配	194
9.6.3 管制	195
9.7 提供所请求的 QoS	196
9.8 区分服务 (DiffServ)	198
9.9 移动系统中的 RSVP	200
9.10 小结	202
参考文献	203
第 10 章 网络规划和设计	204
10.1 网络设计	205
10.1.1 频谱需求	205
10.1.2 链路预算计算	207
10.2 频率规划	211
10.2.1 模拟和 TDMA 系统	211
10.2.2 CDMA 系统	213

10.3 蜂窝系统增长	213
10.3.1 小区分裂	214
10.3.2 重叠设计	214
10.4 小结	215
参考文献	217
第 11 章 超 3G	218
11.1 4G 背后的推动力	218
11.2 4G 的应用和特征	220
11.2.1 技术	221
11.2.2 其他考虑	222
参考文献	222
关于作者	223

第1章 导 论

1.1 早期系统

历史上记载的最早用于移动中的交通工具（如船舶、火车和汽车）上的无线业务的实例，是1919年的一套试验系统。该系统在往返于波士顿和巴尔的摩的沿海汽船上提供双向无线通信[2][3]。随后过了大约12年，无线通信技术有了相当大的发展，能提供有效的远海移动无线业务。对陆地上的用户来说，虽然实验室开展研究试验工作相当早，但是最早的移动电话业务却出现在1933年。该系统使用一个35MHz的频段，只有警察和消防队能使用。系统中只有10条信道，相互间隔40kHz。系统是人工操作的，由话务员完成信道分配和拨号。由于移动台不能同时接收和发送信息，用户不得不“按键后再说”。系统不提供漫游功能，也就是说，用户只能在其归属注册区内接收服务，如果移动台漫游到另外的服务区，那么就不能提供服务。

后来在1946年，FCC为了改善移动电话业务，在150MHz频段上开放了一些频谱。就在这次频谱分配后的那年，密苏里州的圣路易斯就开通了第一种商用业务。到同年末，美国25个其他城市都开始提供这种业务。这些早期系统都是人工操作的，由话务员处理所有呼叫。鉴于对移动业务的巨大需求，FCC于1956年在150MHz附近多分配了6条信道，在450MHz附近分配了12条新的信道，这是首次将460MHz系统用于商业业务[1]。

移动电话业务的改进系统是1964年出现的。该系统工作于150MHz频段，有11条信道，称为MJ。一开始，信道间隔是120kHz。随着“射频”（RF）电路技术的不断发展，该间隔减小到30kHz，峰值频率偏移为5kHz。为每个移动台服务的区域内都包含一台固定调谐FM发射机，它位于服务区的中心并且设置得非常高，以便几乎能为该区域内的所有移动台服务。发射机的RF功率输出为50~250W，加上天线增益后，其天线处的发射功率通常在500W范围内。在服务区内不同地点，放置许多FM接收机，接收来自移动台的信号。然后，把这些发射机和接收机连接到位于本地交换中心的控制终端上。对本地交换中心来说，由于没有完整的路由信息，故需要话务员手工完成从源到漫游中的移动台的呼叫。移动台可以搜寻所有可用信道，锁定到一条空闲信道后，再开始拨号。采用低频音调完成信令。提供服务的发射机和移动台之间的最大范围大约是40km。为了提供令人满意的系统性能，可以采用频率再用，但距离必须只是大约120km或者更远。

为了满足用户增长的需求，FCC开放了450MHz频带中的另一段频谱。相应的系统出现

在 1969 年,称为 MK 系统。它有 12 条信道,其频率间隔为 25kHz。像它的前任一样,它支持自动拨号和话务员辅助漫游。

这些早期的系统能提供 3 种移动电话业务:

(1)“完全移动电话业务”(MTS),为陆地移动用户提供由移动话务员辅助通信(必要时)的话音通信。

(2)“自动调度业务”(ADS),在一个或多个调度员与一组移动台之间使用。该业务一次只支持一个调度员和一个移动台之间的双向通话。不支持一个调度员和多个移动台之间进行会议电话。

(3)单向寻呼。

与相对大量的竞争用户相比,FCC 为这些早期系统所分配的频谱通常很窄。由于硬件技术的限制,在任何小于 120km 左右的距离内都不能采用频率再用技术。这样,随着用户数量和需求的增加,用户的呼损率经常会很高。为了解决这个严重问题,FCC 在 850MHz 范围内留出 75MHz 带宽的频谱,要求普通营运商为“高容量移动通信系统”(HCMTS)[1]提交方案。Bell 系统作为响应基于蜂窝的概念而提交了该系统的一份详细材料,Bell 实验室从 1947 年起就对这个概念进行研究工作[4]。最后,FCC 于 1974 年规定,提供高级移动电话业务的普通营运商可以使用最初的 75MHz 频谱中的 40MHz,保留剩下的 30MHz 频谱用作私人业务。1975 年,Illinois Bell 电话公司向 FCC 提出了请求,希望得到许可建立和测试蜂窝系统。1977 年,该许可得到确认。随后,将 Bell 实验室在 1972~1977 年间开发的系统安装在芝加哥,以证实系统原理和设计结果。这一阶段的试验,称作“设备测试”,只使用了 100 个移动台。接下去的试验阶段,称作“业务测试”,延续了几年并使用了大约 2000 个移动台。其他的厂商根据 Bell 实验室的规范对移动台进行了设计。

1.2 蜂窝系统

FCC 在前向链路(即从基站收发信机到移动台方向)分配了 20MHz 的带宽(870~890MHz);在反向链路分配了另一个 20MHz 的带宽(825~845MHz)²。将这些频段分成许多信道,每条信道占用 30kHz 的带宽。这些信道的运行频率如图 1-1 所示。

蜂窝系统的原理非常简单[22]。由于相邻信道的间隔为 30kHz,故在每条链路上共有 666 条信道。在这些信道中有一些是作为接入和控制信道而使用,而剩下的为语音信道,以便提供双向语音通信。由于每个用户都被指派到不同的信道并运行在不同的频率上,所以又称该系统为“频分多址”(FDMA)系统。

¹ 它们是美国 Motorola 公司和 E. F. Johnson 公司,日本的 Oki 公司。

² 由于在每个方向上使用不同频段进行传输,故认为该系统以频分复用(FDD)方式运行。