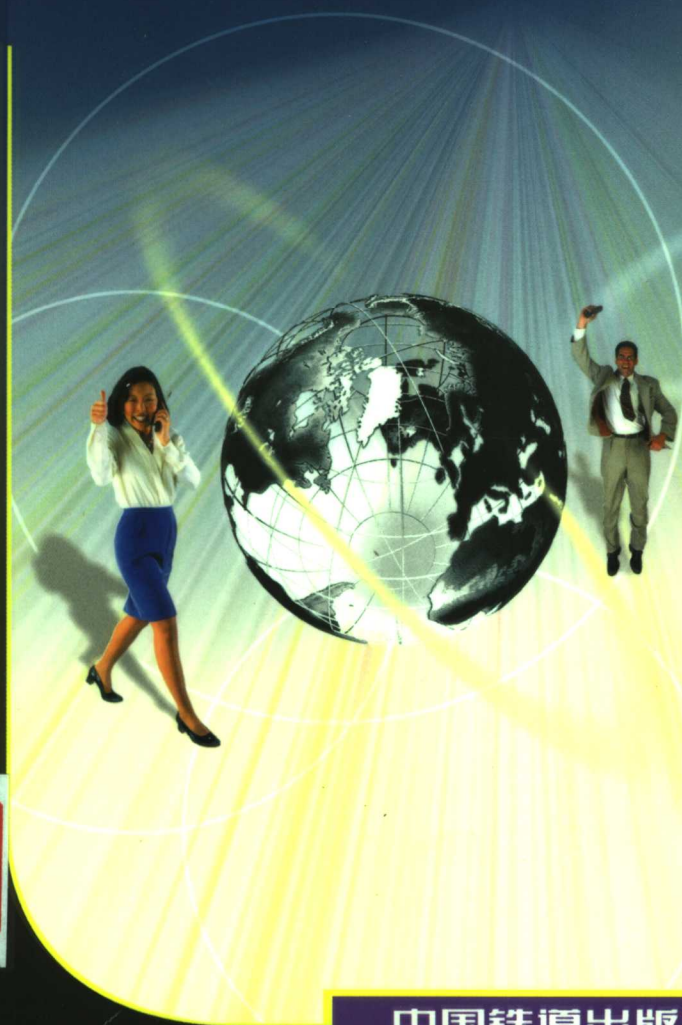


第三代及未来移动通信系统的 多天线收发技术

Ari Hottinen / Olav Tirkkonen / Risto Wichman 著

苏东林 等译



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

-7

第三代及未来移动通信系统 的多天线收发技术



Ari Hottinen | Olav Tirkkonen | Risto Wichman 著

苏东林 翟高 等译

TX 929.5

H965

中国铁道出版社

2004 • 北京

Qat 21/03

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-4705 号

版 权 声 明

本书中文简体字版经英国 John Wiley & Sons, Ltd. 授权由中国铁道出版社出版 (2003)。任何单位或个人未经出版者书面允许不得以任何手段复制或抄袭本书内容。

Ari Hottinen, Olav Tirkkonen, Risto Wichman: Multi-antenna Transceiver Techniques for 3G and Beyond (ISBN: 0-470-84542-2). All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form, except under the terms of the Copyright Designs and Patents Act 1998 or under the terms of a licence issued by the Copyright Licensing Agency, without the permission in writing of the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use by the purchaser of the publication. All rights reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Ltd.

图书在版编目 (CIP) 数据

第三代及未来移动通信系统的多天线收发技术 / (芬) 霍廷南 (Hottinen, A.) 著; 苏东林译. —北京: 中国铁道出版社, 2004. 2

(移动通信高新技术系列丛书)

ISBN 7-113-05373-4

I. 第… II. ①霍…②苏… III. 移动通信-通信技术 IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 013518 号

书 名: 第三代及未来移动通信系统的多天线收发技术

作 者: Ari Hottinen, Olav Tirkkonen, Risto Wichman

译 者: 苏东林 翟禹等

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 严晓舟 郭毅鹏

责任编辑: 苏 茜 刘 颖 严 力

封面设计: 薛 为

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×960 1/16 印张: 22.75 字数: 504 千

版 本: 2004 年 4 第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000 册

书 号: ISBN 7-113-05373-4/TP·1141

定 价: 48.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社计算机图书批销部调换。

移动通信高新技术系列 丛书审校委员会

主审:

- 宋俊德** (北京邮电大学教授、博士生导师, 北京邮电大学学位委员会主席、原研究生院院长)
- 朱近康** (中国科学技术大学教授、博士生导师)
- 龚克** (清华大学教授、博士生导师, 清华大学副校长)

委员: (排名不分先后)

- 王文博** (北京邮电大学教授、博士生导师, 北京邮电大学电信工程学院院长)
- 王京** (清华大学教授、博士生导师, 清华大学信息科学技术学院副院长)
- 张平** (北京邮电大学教授、博士生导师, 北京邮电大学无线通信新技术实验室主任)
- 李承恕** (北京交通大学教授、博士生导师, 北京邮电大学现代通信研究所名誉所长)
- 李少谦** (成都电子科技大学教授、博士生导师, 成都电子科技大学通信与信息工程学院副院长)
- 刘元安** (北京邮电大学教授, 博士生导师, 北京邮电大学科技处处长)
- 杨大成** (北京邮电大学教授、博士生导师, 无线通信中心主任)
- 范平志** (西南交通大学教授、博士生导师, 西南交通大学计算机与通信工程学院院长)
- 周祖成** (清华大学教授, 博士生导师)
- 李正茂** (博士, 中国联合通信有限公司副总裁)
- 苏东林** (北京航空航天大学教授、博士生导师, 北京航空航天大学电子信息工程学院副院长)
- 彭木根** (北京邮电大学移动通信专业博士)
- 宋美娜** (北京邮电大学博士)

丛书序

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快节奏的生活和工作。人们期望能随时随地、及时可靠、不受时空限制地进行各种信息交流，以提高工作效率和生活质量。

移动通信可以说从无线电发明之日就产生了，但移动通信的真正发展是在蜂窝移动通信正式商用化的 20 世纪 70 年代以后的事情。目前，移动通信是当今发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一，据专家估计到 2006 年全球移动用户数有望突破 20 亿。随着通信技术不断的发展，移动通信正朝着为用户提供话音、数据、多媒体业务为一体的第三代（3G）移动通信演进。向人们勾画了一幅实现人类在任何时间、任何地方、进行任何种类的通信（语音、数据、图像）的多彩画卷。

第三代移动通信技术以 WCDMA 为代表，它将可为用户提供高速数据传输、因特网访问、移动视频业务和多媒体服务，同时支持全球漫游特性。目前 3G 无线系统遇到的各种困难已经基本解决并且已经可以投入生产和运营，但与此同时，无线电委员会已经开始讨论 4G 即下一代移动通信系统的设计。4G 的设计很有可能不仅仅以当前有线无线通信系统的综合为重点，同时也要强调业务和用户的需求。基于这些因素的考虑，也就出现了技术和商业两方面的挑战，当然也有许多技术的解决方法可以帮助 4G 移动网络成为现实。

3G 和 4G 移动通信业务发展的 IP 化、分组化、多媒体化、个性化、生成简单化，在未来的业务生成中，将会形成新的业务链；从而形成运营业、制造业、信息服务业、消费者组成的新的产业链和价值链，带动运营业、制造业和信息服务业整体产业链的发展。为了促进和推动我国移动通信产业的发展，并不断满足社会各界和广大通信技术人员系统学习和掌握移动通信前沿技术的需要，紧跟国际移动通信技术和网络技术发展的步伐，积极迎接 WTO 入关带来的各种竞争和挑战，以信息化带动工业化，提高我国通信业整体水平和竞争力，中国铁道出版社特别邀请国际和国内从事移动通信技术研究、教学、工程、策划和管理等工作的权威人士推荐和编著了这套《移动通信高新技术系列丛书》，以飨读者。

该丛书主要介绍目前移动通信领域的关键技术和热点技术，如通用无线分组业务（GPRS）、第 3 代移动通信技术、未来移动通信技术发展、移动通信业务、全 IP 网络技术、移动通信网络规划和优化、天线技术和无线定位技术等内容。其特点是技术先进，内容权威，知识翔实，讲解清晰，深入浅出。本套丛书大部分直接来源于国外的经典著作，已被国际权威人士和广大读者认可。本套丛书旨在帮助读者迅速掌握最先进和最全面的移动通信技术，在实际的工作和科研中学以致用，不断创新，把书本中的知识和解决问题的方法应用到实际

工作或移动通信系统的开发中；产学研相结合、尽早推出更先进更可靠的中国自己的移动通信系统产品；推动运营企业与制造企业加强合作，相互支持，以达到共同发展，提高运营和制造业的整体水平竞争力的目的。使我国移动通信朝着稳妥、有序、健康的方向发展。

这套丛书的主要读者对象是从事移动通信系统深入研究与开发的电信工程师、工程管理人员，同时对在这个领域进行教学、研究、开发的教师、学生有很好的参考价值，可以作为高等学校相关专业本科生、研究生的教学参考书。

相信这套丛书的出版会为我国移动通信事业的发展贡献微薄之力，谢谢参与这套丛书审稿、翻译、编著和审定的各位专家，谢谢为这套丛书得以出版而付出大量心血的所有工作人员，在此我们表示衷心的感谢和诚挚的敬意。

宋俊德
于北京邮电大学
2004年1月

译者序

1987 年,我国开通了第一台移动电话。今天,我们已经跨越了第一代模拟移动通信,达到数字移动通信高峰,目前正向着可提供高速数据传输的第三代移动通信发展。不久将享受 3G 服务、集电话、笔记本、多媒体为一体的方向发展。

多天线收发技术是 3G 及未来移动通信系统中的关键技术,多天线传输技术为 3G 系统提供了发射分集,使下行链路容量大大提高。尽管这几年有了很大的突破,然而发射分集并不是一个全新的概念。简单的空间分集技术在 2G 系统中就有应用,如 GSM 中使用的多接收天线的接收分集就是一种成熟的空间分集技术,在 2G 基站中经常使用它来提高上行链路范围。然而,由于实施代价和空间的限制,接收分集方法并不像移动电话那样可行。有鉴于此,3G 宽带 CDMA(码分多址)的第一版的标准在基站中运用了发射分集方案以提高下行链路的可靠性。这些方案是专为两个联合信道的天线设计的。这些发射分集的方法减轻了只为了增加分集而在移动电话上运用多天线的需要。它们在许多方面比熟知的下行波束形成概念更简单,波束形成是针对不同的用户而形成方向波束图的。能够用这样简单的方法来提高下行链路的容量是令人高兴的,因为许多将来可能出现的服务,如无线网络浏览,对于下行链路而言可能是很密集的。

本书涉及到了多天线技术对于 3G 和将来移动通信系统设计的影响。运用于 WCDMA 下行链路是我们的主要动机,但是采用的方法并不局限于下行方向或是 WCDMA 系统的革新。大部分研究的方法对于通用的 3G 和 4G 系统都是适用的,例如多收发就可运用于无线 LAN(局域网)。采用的方法将会是基带信号处理方法之一。

本书主要分为三部分。第一部分介绍了 3G 移动通信中的传输技术及一些基本概念,第二部分介绍了多天线收发技术在开环传输系统中的应用,第三部分介绍了多天线收发技术在闭环传输系统中的应用。本书的一个特点是对多入多出技术和多入单出技术以通用编排的方式进行解释。尤其强调理论理解和工程应用二者的结合。

本书内容丰富、结构清晰,适用于从事第 3 代移动通信系统设计的研发人员、系统设计人员阅读,也可作为高等院校通信专业师生的教材和参考书。

参加本书翻译工作的还有许烈、王琼、李佳佳、刘慈香、邱宗炎、王洁、王婧、燕瑾、张海峰、张晓雷、王冰切、周焱、刘焱。最后由周乐柱教授和吕善伟教授对全书做了统稿和审校,并对全书的翻译提出了具体修改建议。

由于时间及我们的水平有限,译文中难免有不统一、不确切的地方,欢迎读者批评指正,以便再版时更正,谢谢。

译者

2003 年 8 月于北京

前言

本书的目的是展示关于多入多出 (MIMO) 无线信道调制设计的最新研究领域的核心思想。我们的讨论旨在描述不同的数学和工程方法的关键原理, 它们会以现在或将来的标准的形式出现。我们选择从信号处理的角度去探索和研究多天线收发机技术, 避免研究移动或固定无线通信单元的实际天线单元的物理方面。这种方法在提出和详述无线系统新的编码和调制概念时经常使用。

这里描述的许多概念旨在提高数据速率、信号质量、容量和系统灵活性。为达到这个目标, 我们采用矩阵调制符号集, 它定义在两个正交域上, 通常指空间和时间上。空间域是通过多收发天线实现的, 涉及到多天线收发机结构。这种多天线技术通常被认为是大大提高无线数据发射系统频带利用率的最有希望的方法。在 MIMO 系统中, 复合天线在发射机和接收机中均有运用。在理想情况下, 可以允许信号在发射机和接收机之间的若干并行信道上通行。假定这些信道间有充足的差异性, 那它们就可以通过信号处理的方式分离开。在多入单出 (MISO) 系统中, 接收机只有一个天线, 发射分集采用复合发射天线。

本书描述了 3G 及未来系统的复合天线收发机技术的关键方面。MIMO 和 MISO 技术以通用编排的方式进行解释。尤其强调理论理解和工程应用二者的结合。

特别需要指出的是本书论述了发射端具有以及不具有边带信息的线性处理发射分集方法, 包括对于当前 WCDMA 和 cdma2000 标准的发射分集概念的描述, 以及最有前景的、对将来的高速率系统至关重要的 MIMO 概念。而且, 当不包含边带信息发射信号 (开环概念) 时, 还会提供高吞吐量、低复杂性的矩阵调制方案的例子。对于 MIMO 和 MISO 系统, 将进一步研究线性矩阵调制理论并构建最优非正交高吞吐量方案。

从接收机到发射机的反馈可以进一步提高系统性能。我们将会讨论当前 3GPP 指标对应的闭环模式, 以及扩展到两个以上的发射天线。此外, 不但反馈信息的最优量化方法, 而且 MIMO 信道的反馈信号发送都会有针对性地进行描述。最后, 构建了混合方案, 在此种方案下, 由于反馈而产生的系统开销可通过结合开环发射和闭环信号传送而减少。

我们要向在准备此项工作中帮助过我们的同事们表达谢意。感谢 Jyri Hamalainen 博士、Rinat Kashaev 博士、Jussi Vesma 博士和 Mikko Kokkonen 先生在本书的主题问题上的成功合作。也要感谢诺基亚研究中心同事们的共同讨论。Nikolai Nedefov 和 Kari Kalliojarvi 博士提供了大量建设性的意见也使我们提高了文章的可读性。感谢诺基亚基金给予的经济支持。文献中的很大部分成果是在诺基亚研究中心和诺基亚移动电话的 Jorma LilleBERg 博士的支持下研究出来的。最后, 我们要感谢我们各自的家庭成员的无限耐心。

编者

2004 年 2 月

目 录

Part 1 引言

第 1 章 背景	1
1.1 调制系统设计	4
1.2 3G 系统中技术的多样性	7
1.2.1 WCDMA 99 版与 WCDMA 第 4 版	7
1.2.2 WCDMA: 最新版本	11
1.2.3 cdma 2000	12
1.3 GSM/EDGE	12
1.4 3G 和更高技术要求的多天线模型	13
1.4.1 动机	13
1.4.2 新近的多天线传输方法示例	14
1.5 总结	15
第 2 章 多样增益、信噪比增益和增益率	17
2.1 信道模型	18
2.1.1 多径信道	21
2.1.2 空间信道	22
2.1.3 MIMO 系统信道模型	23
2.1.4 极化多样性	26
2.2 传输多样性的性能局限	26
2.3 理论上的 MIMO 信道容量	30
2.3.1 在发送器端中无 CSI	31
2.3.2 在发送端的 CSI	33
2.4 相关信道的 MIMO 信道容量	36
2.5 闭环传输系统的工作参数	41
2.6 总结	43



Part 2 开环方法 (Open-loop Methods)

第 3 章 开环的概念：背景知识	45
3.1 延时分集 (Delay Diversity)	46
3.2 相位调制隐性分集	47
3.3 码分与时分的发射分集	50
3.4 分集变换	51
3.5 空-时编码	55
3.5.1 空-时网格编码	55
3.5.2 空-时编码设计准则	57
3.5.3 空-时网格编码与空-时分组码	58
3.6 空-时分组码	60
3.6.1 双发射机天线：STTD	60
3.6.2 多重发射机天线	61
3.6.3 空-时分组码术语	64
3.7 非线性调制矩阵	65
3.8 总结	66
第 4 章 矩阵调制：低信噪比的情况	67
4.1 线性矩阵调制	69
4.1.1 基础矩阵	69
4.1.2 分集性和自干扰	70
4.2 举例	73
4.3 低 SNR 时的启发式设计准则	78
4.3.1 Frobenius 正交性	79
4.3.2 最小自干扰	80
4.3.3 符号同质	80
4.3.4 最大符号分集	81
4.3.5 最大化互信息	81
4.4 匹配滤波器与最大似然度量	82
4.4.1 等效传输矩阵	82
4.4.2 最大似然检测度量	84
4.4.3 设计准则与最大似然度量	85

4.5	互信息	86
4.5.1	信息与干扰	86
4.5.2	扩大信息量	88
4.6	围绕对角优势扩充	93
4.6.1	信息测量中的对角优势	94
4.6.2	性能测量中的对角优势	95
4.7	测试性能	96
4.8	总结	98
第 5 章 增大符号率：准正交层		101
5.1	正交设计	102
5.1.1	线性空-时码的性能最佳化	102
5.1.2	么正性和线性的推理	103
5.1.3	正交设计构成	104
5.1.4	正交设计及消息	106
5.2	复杂性问题：选择符号率和目标 T_x 差异	107
5.2.1	达到容量	107
5.2.2	线性探测	108
5.2.3	选择符号率	110
5.2.4	选择目标 T_x 差异度	111
5.3	多调制设计	112
5.4	准正交层的矩阵调制	113
5.4.1	矩阵调制的克里夫德基础	114
5.4.2	调制矩阵的闲置方向	115
5.4.3	$N_t=2, N_r=2$ 时的分层设计	116
5.4.4	最小自干扰 3+1 分层的 4×4 设计	118
5.4.5	最小自干扰 2+2 分层的 4×4 设计	122
5.4.6	对 $N_t > 4, N_r = 1$ 的准直角方案	124
5.5	总结	125
第 6 章 接收器算法		127
6.1	信道估计流量	128
6.2	最大似然检测	129
6.3	半正交加速最大似然检测	131



第三代及未来移动通信系统的多天线收发技术

6.4	线性接收机	132
6.5	迭代接收机	134
6.6	联合解码和检测	136
6.7	举例：对 ABBA 的线性检测	137
6.8	性能	138
6.9	总结	140
第 7 章 矩阵调制：高信噪比方面		141
7.1	信息和性能的对称性	144
7.1.1	正交实字符对称性	145
7.1.2	归一左右对称性	145
7.1.3	举例	147
7.2	用正交字符旋转优化性能	148
7.2.1	符号旋转保护	148
7.2.2	符号旋转的变化多样性	151
7.2.3	性能改变和多样性符号旋转的保留	152
7.3	ABBA 的外在性能复数	153
7.3.1	分级星图的旋转	154
7.3.2	矩阵旋转	159
7.3.3	性能	163
7.4	通过拓展面积来改善性能	164
7.4.1	拓展 ABBA	165
7.4.2	拓展 3+1 层	165
7.5	对比 4Tx 天线的分层设计	167
7.5.1	公制设计	168
7.5.2	性能	169
7.5.3	复杂性探测	171
7.6	加权和多调制非正交矩阵调制	172
7.6.1	加权 ABBA	172
7.6.2	多调制 ABBA	173
7.7	总结	174
第 8 章 加强的实用性开环设计		177
8.1	随机矩阵调制	179

目 录

8.1.1 非正交方案的随机化	180
8.1.2 正交空-时分组编码的随机化	183
8.2 具有被旋转星座图的空-时分组码	187
8.2.1 变形的 STBC-OTD 结构	188
8.2.2 对等效信道相关矩阵的影响	189
8.2.3 相关信道中改进的性能	191
8.2.4 合并分集传输和 STBC	193
8.3 性能评估	194
8.3.1 没有信道编码时的性能	194
8.3.2 外部编码的性能	195
8.4 总结	197
第 9 章 MIMO 系统的高数据率设计方案	199
9.1 Frobenius 正交归一化矩阵集	200
9.1.1 Clifford 基矩阵	201
9.1.2 Weyl 基矩阵	202
9.1.3 Hadamard 基矩阵	203
9.2 当 $N_T=T=2$ 时的双 MIMO 调制的最优数据率	205
9.3 数据率为 2 的四发射天线	207
9.3.1 双 STTD	208
9.3.2 双 ABBA	209
9.3.3 三符号准正交且数据率为 2 的方法	212
9.4 数据率为 3 的四传输天线	212
9.5 数据率为 4 的四传输天线	213
9.6 这些方案提供的信息	215
9.7 总结	215
 Part 3 闭环方法	
第 10 章 闭环方法——选择性多天线扩展	217
10.1 在 WCDMA 中的闭环传输多样性	218
10.1.1 计算反馈度量	219
10.1.2 量化与反馈编码	220



第三代及未来移动通信系统的多天线收发技术

10.1.3 提高可靠率.....	225
10.2 超过两个的传输天线.....	228
10.2.1 使用快速反馈信号处理的扩展.....	229
10.2.2 使用长期反馈进行线性处理.....	232
10.2.3 反馈编码与矩阵参数.....	233
10.3 性能.....	235
10.4 总结.....	239
第 11 章 关于闭环概念的分析.....	241
11.1 一般反馈信号设计方法.....	242
11.2 关于共相算法的信噪比增益的分析.....	245
11.3 排序和共相算法的 SNR 增益分析.....	249
11.3.1 减少反馈信号的量.....	254
11.3.2 双传输天线分析.....	257
11.4 多程 Rayleigh 衰减信道的 SNR 增益.....	259
11.5 反馈信号里的错误.....	263
11.6 反馈反应.....	267
11.7 比特错误率.....	272
11.8 对于顺序和共相算法的传输权重产生.....	275
11.9 相对瑞利衰减信道中的信噪比增益.....	277
11.9.1 长时期反馈的量子化.....	282
11.10 总结.....	283
第 12 章 混合闭环开环方法.....	285
12.1 开环系统和闭环系统的比较.....	286
12.2 收发机基本概念.....	290
12.2.1 相关信道、预编码和矩阵调制.....	290
12.2.2 多入单出传输的长期波束合成.....	292
12.2.3 非正交调制矩阵的长期波束合成.....	294
12.3 性能.....	294
12.4 空-时再传输.....	297
12.4.1 码元速率次数为 1 的再传输方案.....	298
12.4.2 码元速率次数为 2 的再传输方案.....	299
12.4.3 数值例子.....	301

目 录

12.5 自适应空-时调制安排	302
12.6 总结	304
附录 A 均匀、恒等和不等	307
A.1 均匀和转换	308
A.2 酉恒等式和行列式不等式	309
附录 B 克里夫德代数的矩阵表示法	313
B.1 矩阵表达式的维数	314
B.2 普通矩阵的克里夫德基	318
附录 C 缩略词	323
参考文献	328

Part 1

引言

第1章

背景





第三代及未来移动通信系统的多天线收发技术

第三代无线通信系统的研究和标准化工作已经进行了近十年（在芬兰）。最初，标准化工作由国家（芬兰）标准化机构开展。从 1998 年底，一些国家机构、公司和研究单位开始积极开展 3GPP（3G 合作项目）（见网站 <http://www.3gpp.org>）。由 3GPP 开发的基于 3G（第三代）方案的第一代 WCDMA（宽带码分多址）标准有 Release'99 和 Release4[见参考文献 1, 2]两个版本。它们形成了第一代商业化 WCDMA 的基础。最新版的 Release5 是针对高速下行分组接入[见参考文献 3]而开发的。

3G 合作项目一直致力于提高 WCDMA 的性能指标，并以此进一步提高 3G 系统的性能。可以预期，将来的一些物理层标准中将包含多天线传输技术相关的增强标准。特别指出的是，以后的版本可能会支持新的发射分集概念和高速传输方案，它们都明确支持多发射天线。当前美国正在进行一个类似的项目 3GPP2，它试图研究和定义基于 3G 解决方案的 cdma2000 系统（见网站 <http://www.3gpp2.org>）。目前 cdma2000 家族系统中的许多解决方案与 WCDMA 系统的方案是类似的，而且一些解决方案是合作研究的。例如，两个系统都支持多天线传输技术。

与 2G（第二代）系统，如 GSM（Global System for Mobile Communications-全球移动通信系统）或 IS-95[见参考文献 4]相比，3G 系统提供了更高质量的服务及更高的数据速率。此外，3G 系统采用了最新的技术成果，其总容量已大大超过了 2G 系统。其中许多技术都是在 20 世纪 90 年代 2G 系统已经运作后发现的，包括 Turbo 码的发明带来的编码理论飞速发展。事实证明 Turbo 码接近了 20 世纪 40 年代香农提出的信道容量的理论极限值，并且最终发现了对 WCDMA 和 cdma2000 系统均适用的方法。另一个重要的进展就是新颖的多天线传输技术的引进。

多天线传输技术为 3G 系统提供了发射分集，使下行链路容量大大提高。尽管这几年来有了很大的突破，然而发射分集并不是一个全新的概念。简单的空间分集技术在 2G 系统中就有应用，如 GSM 或 IS-95。GSM 中使用的多接收天线接收分集就是一种成熟的空间分集技术，在 2G 基站中经常使用它来提高上行链路范围。然而，由于实施代价和空间的限制，接收分集方法并不像移动电话那样可行。鉴于此，3G 宽带 CDMA（码分多址）的第一版的标准在基站中运用了发射分集方案以提高下行链路的可靠性。这些方案是专为两个联合信道的天线设计的[见参考文献 10, 12, 13]。最近，有人提出把这些方案运用于两个以上的发射天线系统[见参考文献 14]。这些发射分集的方法减轻了只为了增加分集而在移动电话上运用多天线的需要。它们在许多方面比熟知的下行波束形成概念更简单，波束形成是针对不同的用户而形成方向波束图的。能够用这样简单的方法来提高下行链路的容量是令人高兴的，因为许多将来可能出现的服务，如无线网络浏览，对于下行链路而言可能是很密集的。

若基站处用多天线，移动台处用单天线，这样的上行链路称作 SIMO（单入多出）无线信道，下行链路称作 MISO（多入单出）信道。MIMO（多入多出）系统的发射机和接收机均用多天线。在衰减信道中，这分别会产生发射分集和接收分集。多入多出信道的魅力在于