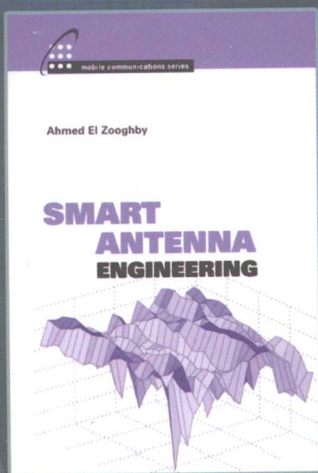


国外电子与通信教材系列



# 智能天线工程

Smart Antenna Engineering



[美] Ahmed El Zooghby 著  
何业军 黄磊 李霞 译  
陈俊亮 主审



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

# 智能天线工程

Smart Antenna Engineering

[美] Ahmed El Zooghby 著

何业军 黄 磊 李 霞 译

陈俊亮 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是一本关于智能天线工程的经典著作,详细地介绍了智能天线的基本概念、基本原理与技术。全书共10章。第1~3章讲述无线通信系统的发展简史、多址技术及空间信道建模,第4~5章阐述智能天线的两种主要类型:固定多波束智能天线系统和自适应天线阵系统。第6~9章讲述智能天线系统概况、智能天线算法、基站及移动台中的智能天线。第10章简要介绍多输入多输出(MIMO)系统。本书内容新颖,讲述深入浅出,实验数据可靠。

本书既可作为高等院校电子信息工程、通信工程等专业本科生和通信与信息系统、信号与信息处理、电磁场与微技术、空间信息科学与技术专业研究生教材,也可作为无线通信工程师设计智能天线的重要参考用书。智能天线作为3G提出的一项关键技术,目前我国已将其应用于TD-SCDMA系统中,因此本书还是TD-SCDMA技术人员的参考用书。

Smart Antenna Engineering, Ahmed El Zooghby

Copyright © 2005 ARTECH HOUSE, INC.

685 Canton Street, Norwood, MA 02062

本书中文翻译版专有出版权由 Artech House Inc. 授予电子工业出版社,未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字:01-2007-1373

### 图书在版编目(CIP)数据

智能天线工程/(美)佐格比(Zooghby, A. E.)著;何业军,黄磊,李霞译.-北京:电子工业出版社,2008.8  
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Smart Antenna Engineering

ISBN 978-7-121-06585-9

I. 智… II. ①佐… ②何… ③黄… ④李… III. 人工智能-天线-教材 IV. TN82

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第060176号

策划编辑:谭海平

责任编辑:凌毅

印刷:北京市天竺颖华印刷厂

装订:三河市金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开本:787×980 1/16 印张:16.25 字数:375千字

印次:2008年8月第1次印刷

定价:36.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

## 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

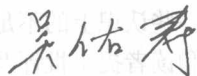
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授  
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

## 出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为作好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社



## 教材出版委员会

- |     |                              |  |
|-----|------------------------------|--|
| 主任  | 吴佑寿                          | 中国工程院院士、清华大学教授   |
| 副主任 | 林金桐                          | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师  |
|     | 杨千里                          | 总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长<br>中国通信学会常务理事、博士生导师                                     |
| 委员  | 林孝康                          | 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员<br>清华大学深圳研究生院副院长 |
|     | 徐安士                          | 北京大学教授、博士生导师、电子学系主任  |
|     | 樊昌信                          | 西安电子科技大学教授、博士生导师<br>中国通信学会理事、IEEE 会士   |
|     | 程时昕                          | 东南大学教授、博士生导师   |
|     | 郁道银                          | 天津大学副校长、教授、博士生导师<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员                                  |
|     | 阮秋琦                          | 北京交通大学教授、博士生导师<br>计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长<br>国务院学位委员会学科评议组成员                    |
|     | 张晓林                          | 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长<br>教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员<br>中国电子学会常务理事  |
|     | 郑宝玉                          | 南京邮电大学副校长、教授、博士生导师<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员                             |
|     | 朱世华                          | 西安交通大学副校长、教授、博士生导师<br>教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员                             |
|     | 彭启琮                          | 电子科技大学教授、博士生导师   |
|     | 毛军发                          | 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长<br>教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员                         |
|     | 赵尔沅                          | 北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任  |
|     | 钟允若                          | 原邮电科学研究院副院长、总工程师   |
|     | 刘彩                           | 中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高级工程师<br>信息产业部通信科技委副主任                                       |
|     | 杜振民                          | 电子工业出版社原副社长  |
|     | 王志功                          | 东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长<br>教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员                     |
| 张中兆 | 哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长 |  |
| 范平志 | 西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长   |  |

## 译者序

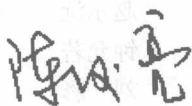
目前,无线通信技术发展如火如荼、方兴未艾,已跃居为 21 世纪通信领域最重要的技术之一,智能天线则是无线通信技术中一个重要的研究热点。智能天线工程属于跨学科的领域,涉及天线阵、信号处理、数字通信、射频工程、电波传播等方面的知识和技能。我国的 TD-SCDMA 3G 系统中已经采用智能天线技术。为了帮助大家掌握智能天线原理与设计技术,我们翻译了此本学术专著。

本书结合了美国高通公司(Qualcomm)在无线通信领域中智能天线的研究成果,在理论上、实践上都有较大创新。本书应用面较宽,其翻译出版必将有助于推动我国天线工程事业的发展。本书的主要读者是智能天线研发工程师、设计人员、工程和产品管理者,对学习大学本科或研究生阶段的智能天线应用领域的课程也具有重要参考价值。

本书的翻译工作由深圳大学信息工程学院的何业军、黄磊、李霞 3 位老师共同完成。何业军翻译前言、致谢及第 3、4、7、8、9、10 章,并负责全书的统稿、修改与校对工作。李霞翻译第 1、2 章;黄磊翻译第 5、6 章。全书由北京邮电大学教授陈俊亮院士主审。此外,译者还修正了原书中的某些疏漏。

本书能够顺利出版得益于深圳大学学术著作出版基金资助。译者何业军还要感谢中国博士后科学研究基金(No. 20070420912)、香港研究资助局基金(CUHK. 4190/03E)、深圳大学青年科学基金(No. 200749)的资助。本书在出版过程中,得到电子工业出版社刘皎、凌毅的大力协助,在此一并表示感谢。

虽然我们在翻译过程中尽了最大努力,但是由于译者水平有限,疏漏和不当之处在所难免,恳请读者不吝指正。我们的联系邮箱为 [yjhe@szu.edu.cn](mailto:yjhe@szu.edu.cn)。



中国科学院院士  
中国工程院院士  
北京邮电大学教授

## 前 言

为了应对日益增长的通信需求,追求更高的峰值数据速率、更广的覆盖范围、更大的系统容量及一些振奋人心的新应用,如无线多媒体和随时随地可接入的移动因特网,移动和无线通信系统正日趋变得复杂。尽管新的空中接口标准和接入技术,如码分多址(CDMA2000)、宽带码分多址(WCDMA, wideband code division multiple access)及它们的演进,包括演进数据最优化(EV-DO, evolution data optimized)和高速下行链路分组接入(HSDPA, high-speed downlink packet access),声称其数据速率可高达每秒几兆比特,可以满足以上需求,但这只是在理想信道条件下才可获得——在现实的系统配置中很少出现。智能天线在克服这些系统缺陷时具有很大潜力,它利用空域来减少干扰效应,扩大无线网络的覆盖范围,增加系统容量,提高数据吞吐量。

过去几年,无线通信中的智能天线应用这一领域,已受到工业界和学术界广泛关注。它是一个跨学科的课题,涉及天线阵、信号处理、数字通信、无线电频率(射频)工程及电波传播等方面的知识和技术。目前,有关该领域的文献很多,但多数是发表在技术期刊、杂志和会议论文集集中的研究论文,工程师们要想在短期内掌握智能天线设计技术并付诸实现还很困难。为此,本书试图填补这一空白,从智能天线在现代通信系统中的应用等相关问题入手,深入浅出地阐述智能天线原理。本书介绍无线和移动通信系统中智能天线应用的原理和技术,并以浅显的方式讲述有关先进天线系统设计方面的问题。本书适合电子工程专业的研究生、通信工程师、工程和产品经理、无线系统设计者阅读,旨在向他们提供有用和必要的参考,本书内容涵盖了无线通信系统中智能天线的成功应用所必需的话题。

本书第1章介绍无线通信系统的发展简史,其发展动力是为了获得日益增长的覆盖和容量需求。第2章讨论同频干扰、多址干扰及其他损伤的影响,它们影响第2.5代和第3代(3G)无线系统中各种现有的或将有的多址技术,以便说明它们是如何阻止这些系统在覆盖范围和系统容量方面达到其全部潜力的。移动无线电传播信道模型是必不可少的工具,可以让系统设计者评价不同方法的优点,用以增强系统性能。在没有考虑空域模型下研究智能天线的覆盖是不完整的。第3章概括传统模型的缺点,并介绍工业标准中所采用的空间定向信道模型。在智能天线中通过将窄带波束指向一群用户或单个用户,同时将零陷信号指向干扰用户,给移动通信系统中干扰的减小提供了一种有效的方法。智能天线的两种主要类型是固定多波束智能天线系统和自适应天线阵(AA, adaptive array)系统,第4章和第5章详细阐述上述两种类型及其优、缺点。首先,概述天线阵的基本原理,然后介绍这些



概念是如何与 Butler 矩阵和自适应波束形成结合的,还将论述分集技术及适用无线移动通信系统的上行链路和下行链路的其他方法。智能天线研制者所面临的一项艰巨任务,就是选择最适合现阶段应用的接收机结构和自适应算法。目前,已经提出大量的方法和技术解决方案。第 6 章给出智能天线算法的完整分类,分析其主要实现问题和折中及不同技术的比较。第 7 章是关于系统性能提高的部分,介绍无线基站中使用智能天线的效果,以及在移动通信网络的覆盖和容量方面潜在的提高。第 8 章阐述智能天线的系统概况及跟各种网络控制算法如接纳控制、功率控制和无线资源管理的相互作用。第 9 章讨论天线阵在手机中的应用。最后一章简要概述多输入多输出(MIMO)系统。该系统在接收端和发送端合并天线阵,以产生并行空间信道,大大增加频谱效率和系统容量。

虽然本书的主要读者是工程师、设计师及工程和产品经理,但也可作为研究生学习移动通信系统中智能天线的教材。

## 致 谢

首先,我要感谢上帝赋予我知识和力量,令我完成这个项目。我还要感谢我的家人和朋友在我写这本书时给予的自始至终的支持。此外,我要感谢爱立信公司研究小组的 Bo Hagerman, Soren Andersson 和爱立信无线通信公司的 Patrick Lundqvist,我曾就无线通信中的自适应天线问题,与他们做了无数次讨论并得到了许多宝贵意见。特别要感谢新墨西哥大学电气和计算机工程系系主任 Christos Christodoulou 教授,他的鼓励和启发,使我得以完成这项工作。感谢来自埃及亚历山大大大学的 Said El Khamy 博士和 Hassan El Kamshoushi 博士,他们指导我在自适应天线方面的早期研究工作。另外,我想感谢高通(Qualcomm)公司允许我在这本书里使用一些插图,感谢 Artech House 出版公司的成员对我的指导和帮助,感谢该项目的评阅人。

欢迎大家对本书提出批评和建议,并发到我邮箱 a.elzooghby@att.net,我争取在未来版本中尽可能加以补充、完善。

# 目 录

第 1 章 导言 .....	1
1.1 无线移动通信系统 .....	1
1.2 全球移动通信市场增长 .....	3
1.3 满足数据要求的方案 .....	4
1.4 峰值数据速率和吞吐量技术 .....	5
1.5 为什么要采用智能天线 .....	6
1.6 智能天线的优点 .....	6
1.7 智能天线的分类 .....	7
1.8 切换波束天线和固定波束天线 .....	8
1.9 自适应天线阵 .....	8
参考文献 .....	9
第 2 章 2G 和 3G 系统中的多址技术 .....	10
2.1 引言 .....	10
2.2 多址无线通信 .....	10
2.3 CDMA 的基本原理 .....	17
2.4 第三代系统 .....	28
2.5 基本 CDMA 过程 .....	37
2.6 CDMA 嵌入小区容量 .....	41
2.7 覆盖与容量折中 .....	42
2.8 小结 .....	43
参考文献 .....	44
精选文献 .....	45
第 3 章 空间信道建模 .....	48
3.1 引言 .....	48
3.2 无线环境和蜂窝类型 .....	49
3.3 多径信道 .....	50

3.4	信道特性 .....	51
3.5	路径损耗模型 .....	51
3.6	空间信道建模 .....	52
3.7	空间信道模型在系统仿真中的应用 .....	58
3.8	角度扩展影响 .....	60
	参考文献 .....	63
	精选文献 .....	64
<b>第 4 章</b>	<b>固定波束智能天线系统 .....</b>	<b>66</b>
4.1	引言 .....	66
4.2	传统的扇区化 .....	66
4.3	传统扇区化的局限性 .....	70
4.4	天线阵基础 .....	71
4.5	波束形成 .....	85
4.6	Butler 矩阵 .....	86
4.7	波束形成器的空域滤波 .....	88
4.8	波束切换系统 .....	90
4.9	固定多波束系统 .....	92
4.10	CDMA 系统的自适应蜂窝扇区化 .....	92
	参考文献 .....	93
<b>第 5 章</b>	<b>自适应天线阵系统 .....</b>	<b>95</b>
5.1	上行链路处理 .....	95
5.2	下行链路处理 .....	106
5.3	下行链路波束形成 .....	114
5.4	小结 .....	119
	参考文献 .....	120
	精选文献 .....	122
<b>第 6 章</b>	<b>无线基站中智能天线接收机和算法 .....</b>	<b>129</b>
6.1	参考信号方法 .....	129
6.2	基于神经网络 DOA 的波束形成 .....	138
6.3	角度扩展对最优波束形成的影响 .....	141
6.4	下行链路波束形成 .....	145
6.5	向量 Rake 接收机 .....	146

6.6	信道估计 .....	147
6.7	波束形成 .....	148
6.8	小结 .....	148
	参考文献 .....	149
<b>第7章</b>	<b>3G 网络中的覆盖与容量提高 .....</b>	<b>154</b>
7.1	引言 .....	154
7.2	链路预算和覆盖 .....	154
7.3	话音业务 .....	159
7.4	数据应用 .....	164
7.5	覆盖和容量受限链路 .....	168
7.6	智能天线对上行链路覆盖和容量的影响 .....	170
7.7	小结 .....	181
	参考文献 .....	182
<b>第8章</b>	<b>智能天线系统概况 .....</b>	<b>185</b>
8.1	引言 .....	185
8.2	第三代空中接口和协议栈 .....	186
8.3	物理层 .....	186
8.4	移动呼叫状态 .....	189
8.5	支持高速数据传输的移动性过程 .....	191
8.6	重构高速数据传输的过程 .....	193
8.7	分组数据业务 .....	193
8.8	导频信道 .....	194
8.9	应用于下行链路波束形成的信道 .....	195
8.10	主要的无线网络算法概述 .....	197
8.11	先进空域技术对系统的影响 .....	199
8.12	波束调向或自适应波束形成 .....	207
8.13	小结 .....	210
	参考文献 .....	211
<b>第9章</b>	<b>移动台的智能天线 .....</b>	<b>213</b>
9.1	引言 .....	213
9.2	多天线移动台的设计 .....	215
9.3	合并技术 .....	218



9.4	自适应波束形成或最佳合并 .....	218
9.5	Rake 接收机大小 .....	223
9.6	互耦效应 .....	223
9.7	双天线性能提高 .....	225
9.8	下行链路容量增益 .....	227
9.9	小结 .....	229
	参考文献 .....	229
<b>第 10 章</b>	<b>MIMO 系统</b> .....	<b>231</b>
10.1	引言 .....	231
10.2	MIMO 系统原理 .....	232
10.3	传输策略 .....	236
10.4	MIMO 方式 .....	237
10.5	MIMO 的优势和关键性能问题 .....	238
10.6	射频传播特性 .....	238
10.7	信噪比环境 .....	239
10.8	空分复用 .....	240
10.9	小结 .....	241
	参考文献 .....	242
	<b>缩写词列表</b> .....	<b>244</b>

# 第 1 章 导 言

自适应天线在雷达、卫星通信、遥感和测向等多个领域中已经使用了数十年,例如,雷达和保密通信系统利用这些天线具有自适应工作环境的能力来抗阻塞。多年前,卫星通信系统就使用多波束和点波束天线,完成对精确地理位置的覆盖。不同的应用所要解决的问题不同,需要考虑的因素包括通信系统运行的信道、传播环境、干扰源及噪声或阻塞等。另外,使用自适应天线的最终目的,也影响了天线阵列类型、阵列大小、自适应算法的选择及与系统其他部件的结合方式。本章概述目前蜂窝移动通信系统的状况,它们的不同演进方向、移动通信系统的增长潜力,同时介绍智能天线在 3G 蜂窝通信系统中的优点和应用。

## 1.1 无线移动通信系统

20 世纪 80 年代和 90 年代,随着第二代移动通信系统(简称 2G)的出现,蜂窝无线和个人通信系统(PCS, personal communications systems)开始兴起,其目的是满足日益增长的通信需求。早期移动通信系统以模拟技术为基础,采用频分多址(FDMA, frequency division multiple access)技术。多路接入时,多个用户共享公共的资源。在 FDMA 系统中,将可用频谱分成若干具有固定带宽的信道(北美模拟标准 AMPS 对应的信道带宽为 30 kHz),将其分配给用户可与基站进行双向通信。换句话说,所有用户共享的资源是带宽。由于可用频谱有限,单个小区所能服务的用户数或者说容量就受到限制。为了使容量最大,可在每个小区中重复使用整个有用频谱——称为复用因子为 1。然而,与所有用户通信所需的基站发射功率,加上克服多径衰落的额外余量功率,会引起相邻小区用户同频干扰,使信号质量大大下降。为了将干扰降低到可接受的水平,以维持给定的信号质量,分配到每个小区的信道数必须减少,换句话说,复用因子必须增加,这样会降低整个系统容量。

为了在系统容量和干扰之间取得折中,人们转向以数字技术为基础的研究。在时分多址(TDMA, time division multiple access)中,每个用户按一定的时隙来分配整个资源。因此,共享的资源是时间。全球移动通信系统(GSM, global system for mobiles)就是采用这种技术,它所用的信道带宽为 200 kHz。在基于 TDMA 的系统中,频率规划在平衡系统容量和信道干扰中

起了重要作用。另一种基于扩频技术的多址技术是码分多址(CDMA, code division multiple access)。正如 IS-95 标准中所定义的那样,在 CDMA 中,用户间共享的资源是码域。CDMA 系统与其他多址技术的一个主要区别是 CDMA 系统的复用因子为 1,这使得它们能够提供更高的容量,其原因可能在于 CDMA 系统独特的干扰处理方式。伪噪声(PN, pseudonoise)序列和正交码用于扩频并使基站和用户数据信道化。将信号扩展到更宽的带宽有助于降低功率电平,同时使每个信号相对其他用户看似以背景噪声出现。这种方式允许大量用户同时共享 1.25 MHz 载波信号。CDMA 系统还采用功率控制技术,将系统中的干扰维持在可接受的水平,以确保信号和无线链路质量。此外,CDMA 系统通过使用 Rake 接收机来利用多径信号,对抗信号的衰落。由于对移动通信需求的激增,及日渐转向提供基于高速数据传输速率的新业务,人们研发了 3G 技术。3G 系统的主要目的是增加话音容量,改善话音和数据的混合业务,并提供高达 2 Mbps 的峰值数据速率。目前有两种主要的基于 CDMA 的 3G 技术,即宽带 CDMA 或 WCDMA(又名 UMTS, universal mobile telecommunications system)<sup>[1]</sup> 和 CDMA2000<sup>[2]</sup>。商业配置的 WCDMA 网络达到的峰值数据速率为 384 kbps,采用高速下行链路分组接入(HSDPA, high-speed downlink packet access)时的 WCDMA,其下行链路峰值数据速率扩大到 14.4 Mbps;采用向高速上行链路分组接入(HSUPA, high-speed uplink packet access)时的 WCDMA,其上行链路峰值数据速率超过 4 Mbps,它们均采用 5 MHz 的载波。类似地,目前配置的 CDMA2000 1x 网络已在 1.25 MHz 载波上获得 153.6 kbps 的峰值数据速率。CDMA2000 1xEV-DO 标准进一步将下行链路峰值数据速率扩大到 3.1 Mbps,上行链路峰值数据速率扩大到 1.8 Mbps。1xEV-DO 和 HSDPA 两种技术都是为了显著提高峰值数据速率来满足迅速增长的高速数据应用需求。它们的基本思想一样,即引入了诸如自适应调制和编码(AMC)、短帧、多码操作、快速 L1 混合自动重发请求(HARQ, hybrid-automatic repeat request)和基站调度等新特征。事实上,这些特征替代了 CDMA 中的可变扩频因子(VSF, variable spreading factor)码及利用信道条件的自适应速率控制来实现的快速功率控制。

AMC 是 HSDPA 和 1xEV-DO 的一个基本特征,它可对码率、调制方式、使用的码的数量及由移动台信道质量指示器(CQI, channel quality indicator)反馈的信道质量所确定的单位码字的发射功率进行连续优化。为了获得非常高的数据速率,在现有用于 R'99 WCDMA 和 CDMA2000 1x 信道的 QPSK 调制中加入更高阶的调制方式,如 16 QAM。调制方式和信道码率的不同结合可用于提供不同的峰值数据速率。实质上,当通信的目标满足一定的可靠性时,具有较好信道条件的用户(如更靠近基站)将会分配更高的数据速率。从产业整体上看,2005 年初,全球 3G/UMTS 系统中的 60 多个网络拥有 1600 万用户,而 CDMA2000 系统拥有约 120 个网络,用户数超过 1.8 亿。

## 1.2 全球移动通信市场增长

2004年年底,全球移动通信市场用户超过了14亿,而且预期还将在许多年内持续快速增长。图1.1表明,到2010年全球移动用户数预期可达约25亿<sup>[3]</sup>。图1.2则给出了未来几年全球CDMA用户划分,这里不包括GSM和EDGE用户。

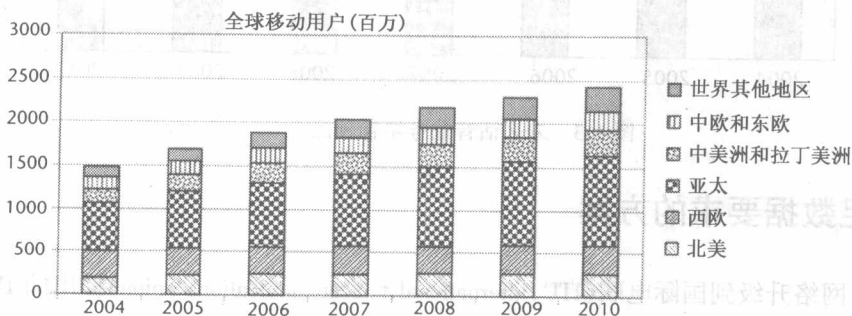


图 1.1 全球移动用户预测<sup>[3]</sup>

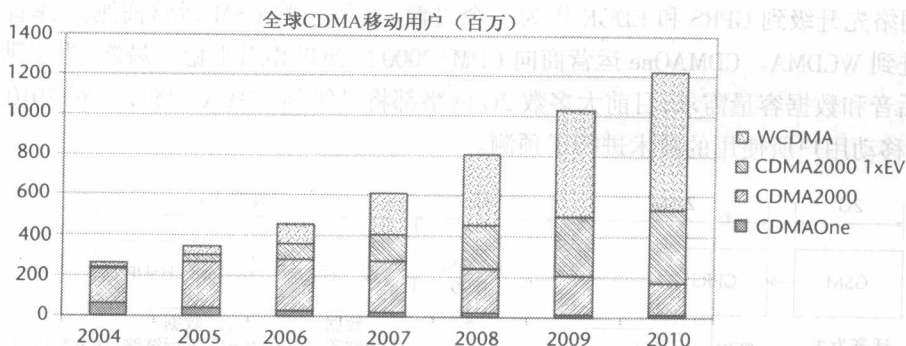


图 1.2 全球 CDMA 移动用户预测<sup>[3]</sup>

数据业务推动移动应用不断增长,这些数据业务包括短信业务(SMS, short message service)、彩信业务(MMS, multimedia messaging service)、可下载铃声、图像和游戏、新闻和信息资源、移动聊天网站及网路门户。预计未来话音业务仍将与3G提供的新业务一道,成为收入的主要来源,这些新业务包括对信息和娱乐业务的个性化接入、对因特网和企业网的移动接入、基于定位的业务以及可同时传送纯话音、照片、图形、视频、地图、文档及其他形式数据的丰富话音。图1.3显示今后几年全球移动话音业务增长趋势,预计到2010年,该业务的增长率将会是2004年的近3倍。