



3G E3G (LTE AIE) B3G
IMT-2000 IMT-Advanced
WCDMA TD-SCDMA cdma2000
MQAM HSxPA OFDM MIMO

第三代移动通信网络系统 技术、应用及演进

■ 廖晓滨 赵熙 编著

Technology, Application and Evolution of
3G Mobile Communication Network Systems



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

第三代移动通信网络系统 技术、应用及演进

Technology , Application and Evolution

of

3G Mobile Communication Network Systems

廖晓滨 赵 熙 编著

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

第三代移动通信网络系统技术、应用及演进 / 廖晓滨, 赵熙编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.4

ISBN 978-7-115-17654-7

I. 第… II. ①廖…②赵… 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 (2008) 第 020458 号

内 容 提 要

本书涵盖了现代移动通信, 主要是第三代移动通信 (3G、E3G 和 B3G, 简称 3G) 主流技术的基本理论、系统原理和网络应用的内容。本书共 8 章, 分为基础技术和专用技术两部分。基础技术部分主要介绍 3G 技术必不可少的理论和系统原理, 包括: 第 1 章移动通信概述, 第 2 章扩频通信系统技术基础, 第 3 章 CDMA 移动通信网络技术基础。专用技术部分主要介绍 3G 三大主流无线接入技术——WCDMA、cdma2000、TD-SCDMA 网络系统所使用的各种主要技术和组网技术, 包括: 第 4 章 WCDMA 移动通信网络系统, 第 5 章 cdma2000 移动通信网络系统, 第 6 章 TD-SCDMA 移动通信网络系统; 最后两章主要介绍 E3G 和 B3G 阶段使用和可能使用的新技术, 包括: 第 7 章高速分组接入技术, 第 8 章移动通信新技术 OFDM 和 MIMO。

本书重视理论和实际应用的结合, 适合作为电信运营商和整个通信产业链在职技术人员与技术管理人员作为学习 3G 技术的培训教材使用, 也可作为高等院校信息与通信工程专业及相关专业师生的专业教材或教学参考书, 同时还可供移动通信工作者在工作中简便速查使用。

第三代移动通信网络系统技术、应用及演进

◆ 编 著 廖晓滨 赵 熙

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>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 27

字数: 669 千字

2008 年 4 月第 1 版

印数: 1—4 000 册

2008 年 4 月北京第 1 次印刷



ISBN 978-7-115-17654-7/TN

定价: 68.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

序

现代移动通信的 3G 时代终于来临了。

回顾过去,我国移动通信的发展经历了 20 多年的风风雨雨。20 世纪 80 年代末,我国开始引进第一代模拟移动通信系统,但规模非常小,当时就有我国用不用移动通信的争论。90 年代中,我国开始使用第二代移动通信,但此时的争论仅限于从欧洲还是美国引进的问题。近几年围绕 3G 话题,学术界、新闻界、工程界、经济界的人士提出了各种各样的观点,甚至有些观点是相互对立的。

历史证明,科学技术总是一步步向前发展的,人们不可能随便“超越”其中某个阶段。移动通信一代代进步,3G 作为其中的一代,是世界通信技术发展的必然,是 10 余年全人类技术进步的结晶。3G 必将快步走进我国的移动通信市场,并在未来 10 年内扮演主角。这不仅不会使中国经济“崩溃”,反而会成为推动国民经济发展的一支主要力量。据有关专家分析,今后 10 年,3G 每年的市场规模达数千亿元,将使我国 GDP 增长 3 至 5 个百分点。3G 在我国的重要性,还在于其中有了我国自己发明的技术,有国人以自己发明的技术为基础所提出,并被国际电联所接受的国际标准——TD-SCDMA。TD-SCDMA 以其突出的技术优势雄踞国际 3G 的 3 大主流技术之中,这些技术优势以及所带来的经济优势,将在 3G 网络的建设和运营中逐渐体现出来。

从国际电联征求 3G 技术标准的建议至今,已经 10 多年了。在这 10 多年的时间里,数以万计的科学家和工程师完成了标准制定和完善、产品开发、现场试验等大量的工作,证明 3G 产品已经可以大规模商用,但还需要数以万计的工程师和技术人员在应用上继续进行创造性的工作。此时,对这些技术人员的培训就成了当务之急。此外,高等院校能否培养出有创造性和解决实际问题能力的人才,也是教育界迫切需要解决的问题。

目前,介绍 3G 的书籍比比皆是,但从基本原理起,进行比较系统、全面的介绍,以培训在职技术人员和高等院校新型人才为主要目的的书籍则很难看到,这对 3G 建设和应用是一个亟需解决的问题。由于 3G 技术所涉及的技术领域非常宽,要写这样一本以培训为主要目的的书籍就非常困难。这,可以说是本书的意义所在。本书作者在通信行业具有多年院校教学、研究所科研、移动运营商高层技术和运营管理、全面咨询服务的实践经验,所以有能力开创一条基础技术和专门技术相结合、理论和实际应用相结合编著培训书籍的新思路。我赞成本书所提出的通信人不要浮躁、扎扎实实打好基础的观点。就本书内容选择和前期的教学实践效果来看,确实体现了本书全面、系统、经典、先进和实用的特点,达到了高质、高效的培训目的,有利于运营商和相关的技术人员在较短的时间内加强基础,培养自学能力,了解 3G 网络系统的新技术,有利于高等院校培养出新型和创造性人才。

在此,我希望本书在使用过程中不断丰富、完善,为更多的读者接受和认同。

李鹏
2008年2月于北京

前言

到 2007 年 6 月底,我国的有效移动电话用户总数达到约 4.84 亿户,移动电话普及率约为每百人 37 部,其中采用 GSM 家族技术的用户约为 4.4494 亿户,采用 CDMA 技术的用户约为 3906 万户,移动电话交换机总容量超过 7.3202 亿户,其中 CDMA 交换机总容量超过 7000 万户,两大移动运营商——中国移动和中国联通的用户数比例约为 68.5%:31.5%,这些令全世界都感到震撼的数字充分说明了中国是移动通信大国。

早在 2002 年底,我国的移动用户总数就已超过 2 亿户,成为世界上移动电话用户最多的国家,当时移动电话普及率达到每百人 16 部左右,但是每用户平均收入(Average Revenue Per User, ARPU)仅接近全球平均水平的 50%,而且下降幅度超过全球平均水平,近几年来,ARPU 仍然以较高的幅度继续下降。中国移动通信的民族工业还在发展的路上,中国是世界移动通信大国,但还不是移动通信强国。

目前,中国移动用户数还在以每月 400 万到 500 万的速度增加,按照国际发展规律,移动电话普及率达每百人 40 部左右,就进入缓慢发展的饱和期,中国移动用户快速发展期还有不多的空间。由于语音业务大众化和数据业务的种类与消费不足,移动通信业务的 ARPU 仍在继续下降。如何充分利用资源和降低成本,使用先进的网络和技术手段,通过提供更新、更多、更好的业务来启动和引导新的市场消费,使中国成为移动通信强国是当前的主要任务。开发和使用新技术来提高数据传输速率、提高频谱利用率、提高网络容量、提高抗干扰能力、提高用户服务质量及降低网络系统建设成本和运营成本,这是中国通信人在新世纪面对的新挑战,世界各国通信人也都面临着和中国类似的挑战。

经过十几年的努力,第三代移动通信(The Third Generation Mobile Communication, 3G)作为现代移动通信主要的应用技术,已在许多国家和地区得到应用,进入到网络系统规模建设的初期;增强型 3G(Enhanced 3G, E3G)技术开始进入商业应用阶段,后 3G(Beyond 3G, B3G, 即 IMT-Advanced)技术开始进入提案和制订标准及用户体验阶段。

经过多年“我国是否该上 3G”的激烈争论后,中国人提出的 TD-SCDMA 技术标准,已成为 3G 的国际标准之一。目前在中国已有 10 个城市建立了 TD-SCDMA 商用试验网,并将在 2008 年北京奥运会展示 3G 业务风采。

在中国的电信改革过程中,不论机构如何重组、牌照如何发放、市场竞争格局和形式如何变化,通信人使中国成为世界电信强国的奋斗目标不变;中国现存的 GSM 和 CDMA 两大系统的交换总容量超过 7 亿用户的事实不变;中国移动通信要和世界先进的技术、业务水平接轨不变;要成功地把 2008 年北京奥运会办成“数字奥运”的任务不变;中国的 GSM 和 CDMA 两大网络系统向 3G 演进和平滑过渡已经板上定钉、迫在眉睫。同时,一直争论不休的“我国该上几种 3G 制式”的话题也将得到最后的答案。笔者认为,综合考虑政治、经济和技术平衡发展,3G 的 3 种主流制式(TD-SCDMA、WCDMA、cdma2000)的网络系统同时并存应该是现阶段合理的选择,而各种无线宽带接入技术和网络系统的融合是不容置疑的发展趋势。

在 3G 网络的规模建设期即将到来之际,在 ITU 要求 2008 年世界各国对 B3G 标准进行

提案之际,为适应通信技术换代革命的需要,为成功地实现第二代移动通信(The Second Generation Mobile Communication, 2G)网络系统向3G网络系统的平稳演进,为提高企业的竞争力,无论从技术应用还是知识更新的角度出发,广大读者都迫切地需要了解3G、E3G和B3G(统称为3G)采用和可能采用的新技术,移动通信产业链迫切需要进行大量有关3G技术的培训,同时也迫切需要一本适用于移动通信行业运营服务商、工程技术人员和管理人员使用的3G技术培训教程。

在实际工作中,移动通信工作者更需要摆脱在茫茫书海中寻找所需信息的辛劳,希望一书在握就能了解3G主流技术的一般原理、查询网络系统数据指标和专业英语词汇。理解他们的需求,编写一本简便、实用的3G图书是一个新的任务。

建国以来,我国高等院校教育一直在努力走理论和实际应用相结合的路,可是学校的书仍然是越编越厚,理论越来越深,教学与实际需求和应用脱节也越来越严重。往往通信专业的毕业生数年后才悟出来学的知识在网络系统中哪里有应用,抱怨还有许多真正有用、工程需要的东西学校根本就没有讲,这种令人遗憾的局面不应该重演。提倡创造、理论和实际应用结合应该是教育的最高境界。作者有心编写一本书,为高等院校高年级学生创造一点联系实际的学习条件。

3G网络的规划、建设、运营、维护和管理的需求以及以上提到的各种需求与挑战,对移动运营商和工程技术人员的培训提出了新技术先进性、基础技术扎实性、网络技术全面性和工程应用实用性的综合要求。为此,作者根据近40年在通信行业的学习、教学、科研、运营服务、工程建设、运维、技术管理和全方位咨询服务的经验,参考了3GPP和3GPP2的有关标准、20多本有关3G的书籍,并在因特网上查阅了大量资料,前后花了近一年的时间编写了这本《第三代移动通信网络系统技术、应用及演进》。

以往3G在职的系列培训中往往存在下列问题。

(1) 通信专业毕业的人员离校多年,忘掉了某些通信的基础知识;非通信专业毕业人员,缺乏通信的基础知识。面对在庞大、全新的网络系统中应用的具体技术,由于涉及通信的基础课、专业基础课、专业课的知识和最新发展的技术,他们在培训中一时找不到适合的教科书和有关资料。

(2) 市面上很难找到适用于运营商和工程技术人员的3G培训教材。院校和科研单位的教材可能过于全面化、理论化或局部深度化,设备供应商的培训教材可能过于实用化、局部化、简单化,而在短期培训中使用和消化多本教材极为困难。

(3) 由于缺乏基础技术、新技术和应用三者结合的教材,加上不同目的、不同级别的各类短期培训缺乏基础性、连贯性、统一性和系统性,给组织培训的单位造成高费用、高费时、低效率的结果。往往经过多次培训,被培训者仍缺乏对3G网络系统全貌和基本技术的理解,既影响实际应用,又缺乏自我提高的能力。

本书以3G的三大主流技术——WCDMA、cdma2000和TD-SCDMA网络系统所使用的各项主要技术为内容选择线索,以系统概貌—系统单元技术—系统技术—组网技术—网络应用—新技术发展为内容安排顺序,以基本理论够用、加强应用为核心,从小到大、从简到繁、从易到难、从理论到实际,循序渐进地展开内容。本书内容重视基本理论,重视基本原理,重视理论和实际应用的接轨,重视新技术发展。

本书分为3G必需的基础技术和不同网络系统的专用技术两部分,章节采用模块化设计,各章节内容有相对的独立性,可以根据不同培训目的、对象和时间安排进行取舍,不同的培训课程可分别在30~114学时内完成,专题培训和讲座可在数学学时内完成。

为了教学形象化,本书含有 300 多幅图形和表格。为了查阅方便,本书附有缩略语表、常用数学公式和参考文献。为了复习和巩固,每章附有习题和思考题,还附有教学大纲和细致内容安排的学时分配表。

本书力图做到全面、系统、经典、先进、实用,以达到高质、高效和低耗时、低成本的培训效果。使用本书作为教材进行培训时的目标是:使读者对 3G 技术有基本的了解和理解,培养自学能力,明确学习目标,为进一步深入学习和应用 3G 技术打下基础。

通信行业发展日新月异、气象万千,一直在面对着激烈的通信技术革命挑战 and 市场竞争。然而,万丈高楼平地起,任何新技术,不管是改进性的,还是革命取代性的,一定要依靠或参照原有的理论和技术基础。例如,1928 年由 Nyquist 提出的抽样定理和描述了有限带宽、无噪声信道的最大数据传输速率与信道带宽的关系的奈奎斯特准则,1948 年由 Shanon 提出的描述了有限带宽、有随机热噪声信道的最大传输速率与信道带宽、信噪比之间的关系的香农公式,这些基本理论一直沿用到今天;B3G 将采用的 OFDM 并行调制体制也是在原来串行调制体制的基础上发展起来的。历史证明,凡是新技术在商业上得到了规模应用,一定是在原有的基础上,政治、经济和技术平衡发展的结果。网络更新换代正是如此,比如,2G 的 GSM 向 3G 的 WCDMA 发展过程,就是充分平衡各方面的利益,在技术、网络和业务上是逐步演进和平滑过渡的。总之,技术发展可以是革命性的,而网络发展总是演进性的。

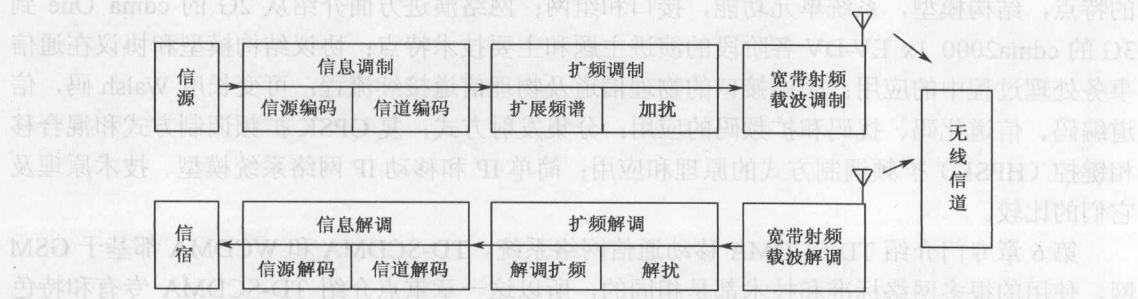
从技术角度上看,作为通信人,要以不变应万变,牢牢掌握通信的基础理论和技术,以这个不变去应对通信技术快速发展的万变,去迎接 3G、E3G 和 B3G 的未来。3G 的生存期大约为 10~15 年,在此阶段,所使用的基本技术基础并没有大的变化。作为通信人,要静下心来,花一些必要的时间,把技术基础扎扎实实地打好,为这 10~15 年的工作服务。

要想真正地理解 3G 蜂窝移动通信网络系统技术,首先要掌握好数字通信的基本理论和技术;其次要掌握好扩频通信的基本理论和技术;再次要掌握好 CDMA 蜂窝移动通信组网的基本理论和关键技术;最后,才是学习 3G 蜂窝移动通信网络系统的专用新技术和组网技术,研究网络系统的演进、应用及发展趋势。

本书共分 8 章,内容安排如下。

第 1 章移动通信概述,主要介绍移动通信的概念,发展历史,市场发展和预测,3G 技术标准与标准化组织,移动通信频率资源划分,移动通信的发展趋势和 3G 的新发展。

第 2 章介绍扩频通信系统技术基础。扩频通信技术实际上是 CDMA 系统的重要基本理论和技术基础。因为 3G 的 CDMA 网络系统实际上是一个直接序列扩频的码分多址的通信网络系统,而扩频通信系统又是在传统数字通信系统的基础上增加了扩频与解扩而来的。所以,第 2 章中在介绍扩频通信系统技术的同时,还对数字通信系统技术内容进行了复习,下图是一个典型的应用在 3G 的扩频通信系统示意图,由 5 大系统单元组成。



各系统单元的基本理论和技术及应用将在第2章中按序介绍。

(1) 信源和信宿：信源是原始信息的发出地，信宿是原始信息的到达地。

(2) 无线信道：主要介绍移动通信的工作环境和信道特点。

(3) 信息调制和解调：包括信源编解码和信道编解码。

① 信源编码和解码简要介绍脉冲编码调制(PCM)技术、数字移动通信语音编码技术、语音评价等级和数字基带信号常用码型。

② 信道编码(差错控制)和解码主要介绍信道编码的目的、在3G中主要使用的卷积码、Turbo码和交织技术。

(4) 扩频调制和扩频解调(扩频和解扩)：主要介绍扩频通信系统；码函数和CDMA地址码及扩频码的概念；3G主要使用的信道化码和扰码系列，包括沃尔什(Walsh)函数序列码，m序列伪噪声(PN)序列码，戈尔德(Gold)序列码，正交可变扩频因子(OVSF)序列码；并给出了信道化码和扰码在3G中应用的例子；扩频通信理论基础，包括重要的香农(Shannon)公式和信息传输差错概率公式；扩频通信的主要技术指标；重点介绍了直接序列扩频码分多址(DS-SS)通信系统。

(5) 射频载波调制和解调(调制/解调)：主要介绍在移动通信中使用的数字调制技术，包括二相移相键控(BPSK)，差分二相移相键控(DBPSK)，正交(四相)移相键控(QPSK)，交错四相移相键控(OQPSK)， $\pi/4$ 差分四相移相键控($\pi/4$ -DQPSK)，八相移相键控(8PSK)，多进制正交振幅调制(MQAM)；数字调制技术的几个重要关系，包括波特率和比特率的关系，信道带宽和信道容量的关系，奈奎斯特准则和香农公式对极限信道容量的描述和区别，在理想低通、带通和实际信道情况下频谱利用率的计算关系；以及数字调制技术在移动通信中应用的举例。

第3章是CDMA移动通信网络技术基础，主要介绍以码分多址为重点的多址接入技术，功率控制技术，多用户信号检测技术，分集接收技术，智能天线技术，软件无线电技术，蜂窝组网技术，包括蜂窝小区和频率复用、小区分裂、扇区划分技术、越区切换技术，以及CDMA蜂窝系统容量计算和比较。

第4章内容为WCDMA移动通信网络系统，主要介绍全网络系统UMTS和子网络系统，包括核心网(CN)和通用陆地无线接入网(UTRAN)的系统特点、结构、单元功能和组网，组网包括从2G的GSM到3G全IP的各阶段网络演进的详细图解和R99、R4及R5全IP方案网络结构及接口的说明；协议结构模型和协议应用；无线信道分层和空中接口物理信道及物理信道接入流程；网络协议集应用和通信事务处理流程举例。

第5章内容是cdma2000移动通信网络系统，主要介绍全网络系统和子网络系统，包括无线接入网(RAN)、交换子系统(SS)、核心网电路域(CN-CS)和分组域(CN-PS)网络的特点，结构模型，系统单元功能，接口和组网；网络演进方面介绍从2G的cdma One到3G的cdma2000 1x EV-DV各阶段的演进主题和主要技术特点；协议结构模型和协议在通信事务处理过程中的应用；空中接口的物理信道及物理信道接续流程；可变长度Walsh码，信道编码、信道化码、扰码和扩频码的应用；分集发射方式；复QPSK扩频调制方式和混合移相键控(HPSK)扩频调制方式的原理和应用；简单IP和移动IP网络系统模型、技术原理及它们的比较。

第6章专门介绍TD-SSCDMA移动通信网络系统。TD-SSCDMA和WCDMA都基于GSM网，使用的很多网络标准和技术都是相同的，所以这一章重点介绍TD-SSCDMA专有和特色

的先进技术。主要包括 TD-SCDMA 网络系统的特点和优势；具有特色的无线帧结构设计和 TDD 方式原理；传输信道和物理信道；物理层处理通信事务的关键过程，包括发射分集、功率控制、小区搜索、随机接入；核心技术的上行同步和智能天线；特色技术接力切换；TD-SCDMA 组网的意义、能力、优势，独立组网和混合组网方案，灵活组网方式等。

第 7 章的高速分组接入技术主要介绍 E3G 的主要支持技术——高速分组接入 (HSxPA)。这一章内容主要包括：高速下行分组接入 (HSDPA) 和高速上行分组接入 (HSUPA) 技术的发展概述；TD-SCDMA 的演进和未来；W-HSDPA/TD-HSDPA 和 W-HSUPA/TD-HSUPA 的关键技术和物理信道，关键技术主要有 MQAM 调制、AMC、HARQ、快速分组调度、短帧 TTI、多载波 TD-SCDMA 等；W-HSDPA 和 TD-HSDPA 的比较。

第 8 章内容为移动通信新技术 OFDM 和 MIMO，主要介绍将在 B3G 中使用的主要竞争技术——正交频分复用 (OFDM) 和多输入多输出 (MIMO)。重点介绍并行多载波 OFDM 多进制数字调制体制的特点和指标，以及与串行单载波多进制数字调制体制的比较；OFDM 系统原理和用 DFT/IDFT 的实现；OFDM 的关键技术；OFDM 系统参数设计。重点介绍 MIMO 的核心技术——空时编码(分层空时码、空时格状码和空时分组码)原理。简单介绍了 OFDM-MIMO 技术原理。实例介绍我国提出的时分—码分复用—正交频分复用 (TD-CDM-OFDM) 系统方案。

由于 3G 的三大主流技术有很多共性，有各自的专用技术，在本书章节的编写过程中，既要避免内容遗漏又要避免内容重复。为了增加书的生动性，还要考虑在适当时机将基础内容 and 应用内容相结合，所以本书一些基础技术的应用内容放在基础章节作为举例讲解，比如 WCDMA 的码应用就放在第 2 章作了介绍；同时，为了更贴近网络系统应用，一些基础技术的扩展应用放在专用技术章节讲解，比如，复 QPSK 扩频调制方式和混合移相键控 (HPSK) 扩频调制方式的内容，就只放在第 5 章的 cdma2000 系统扩频调制方式中进行了讲解，而 WCDMA 和 TD-SCDMA 系统也使用这些技术，就不再重复讲解了；还有，可变长度的 Walsh 序列码虽属于信道编码基础技术的 Walsh 序列码的延续部分，但它主要应用在 cdma2000 系统中，为了节约基础技术讲解时间，所以放在第 5 章讲解。WCDMA 和 TD-SCDMA 使用的 HSxPA 技术有许多共性和一些不同，为了节省篇幅，方便共享和比较，将 WCDMA 和 TD-SCDMA 的 HSxPA 内容都编入第 7 章，它们对应的内容分别是本书第 4 章和第 6 章的延续。总的来说，3G 三大主流技术需要的基础技术和专用技术基本在本书中都有不同程度的介绍。

本书适合电信运营商和整个通信产业链在职技术人员与技术管理人员作为 3G 培训教材使用，为了提高 3G 培训的效率，达到预想的培训目的和效果，这里郑重推荐，本书课程应作为 3G 在职培训序列课程的第一门课程。

本书适合高等院校信息与通信工程专业及相关专业师生阅读，也可作为教材或参考书使用。

本书适合移动通信行业人员作为自学教材，并在实际工作中进行简便查询使用。

作为一本全面系统介绍 3G 的书，书中的部分内容可能超过培训要求的范围和程度，这些内容可以灵活地作为学习参考资料和深入自学使用。如果读者更希望偏重学习一些基础和原理性的内容，可以参阅作者 2006 年编写的《第三代移动通信网络系统技术与应用基础教程》一书。

本书的编写应用了通信行业数以万计工作者长期辛勤劳动的成果，参考了大量公开发表的行业标准、图书和网上资料。

赵熙高级工程师在本书的编写过程中做了大量的工作和突出的贡献。

首先感谢我国最早从事 3G 研究的大唐移动通信设备有限公司首席科学家、北京邮电大学和电子科技大学教授、博士生导师李世鹤博士为本书作序并审校了第 6 章。

衷心感谢电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室主任、国家“863”通信主题专家组成员、博士生导师李少谦教授和博士生导师唐友喜教授对本书第 1 章、第 4 章、第 5 章内容进行审校。

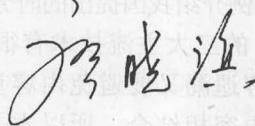
衷心感谢西安电子科技大学通信工程学院张辉教授、曹丽娜教授对本书第 2 章、第 3 章内容进行审校。

衷心感谢西安电子科技大学通信工程学院樊昌信教授、曹丽娜教授、孙献璞教授对本书第 7 章、第 8 章内容进行审校。

衷心感谢使用本书的人员，并向将为本书提出修改意见的人提前道谢。

本书将在培训教学实践中不断改进，并随着通信技术的发展，与时俱进，不断丰富内容。

欢迎各位通过电子邮箱 training@telestar.com.cn 和作者进行探讨和交流，欢迎提出学习的需求，并对这些需求提供指导。



广州特思达通信咨询服务有限公司

总裁、教授级高级工程师

2008 年 1 月于广州

目 录

第1章 移动通信概述	1
1.1 移动通信简介	1
1.2 移动通信发展简史	3
1.3 3G 移动通信的组织	6
1.3.1 3G 起源	6
1.3.2 IMT-2000 标准化组织介绍	7
1.4 3G 的技术标准	8
1.4.1 3G 的目标	8
1.4.2 3G 系统的特征	8
1.4.3 3G 的 5 种技术和 3 大主流技术标准	8
1.5 3G 的标准化进程和发展	12
1.6 移动通信的频率资源划分	12
1.6.1 IMT-2000 的频率资源划分	12
1.6.2 WCDMA 的频率资源划分	13
1.6.3 cdma2000 的频率资源划分	14
1.6.4 我国 IMT-2000 的频率资源划分	14
1.7 移动通信的市场发展和预测	16
1.8 移动通信发展趋势和 3G 的新发展	18
习题与思考题	26
第2章 扩频通信系统技术基础	27
2.1 扩频通信系统概述	27
2.2 移动通信的工作环境和信道特点	28
2.3 信源编码技术	30
2.3.1 信源编码概述	30
2.3.2 脉冲编码调制 (PCM)	31
2.3.3 数字移动通信语音编码技术	35
2.3.4 语音评价等级	37
2.3.5 数字基带信号常用码型	38
2.4 信道编码技术	40
2.4.1 信道编码概述	40
2.4.2 卷积码	40
2.4.3 Turbo 码	42
2.4.4 交织	42
2.4.5 信道编码在 3G 中的应用	43
2.5 信道化码和扰码	43

2.5.1 码函数的概念	43
2.5.2 CDMA 地址码和扩频码的设计	44
2.5.3 信道化码和扰码	45
2.5.4 沃尔什 (Walsh) 函数序列码	46
2.5.5 m 序列伪噪声 (PN) 码	48
2.5.6 戈尔德 (Gold) 序列码	50
2.5.7 正交可变扩频因子 (OVSF) 码	51
2.5.8 信道化码和扰码在 3G 中应用举例	53
2.6 扩频通信技术	57
2.6.1 扩频通信基本概念和工作原理	57
2.6.2 扩频通信理论基础	59
2.6.3 扩频通信的主要性能指标	60
2.6.4 扩频通信系统	61
2.7 数字调制技术	66
2.7.1 数字调制概述	66
2.7.2 多进制移相键控 (MPSK)	68
2.7.3 多进制正交振幅调制 (MQAM)	78
2.7.4 数字调制技术的几个重要关系	80
2.7.5 数字调制技术在移动通信中的应用	83
习题与思考题	84
第 3 章 CDMA 移动通信网络技术基础	86
3.1 多址接入技术	86
3.1.1 频分多址 (FDMA)	86
3.1.2 时分多址 (TDMA)	87
3.1.3 码分多址 (CDMA)	89
3.1.4 信号正交技术	90
3.1.5 CDMA 移动通信系统工作原理	91
3.2 功率控制技术	96
3.3 多用户信号检测技术	99
3.4 分集接收技术	100
3.5 智能天线技术	105
3.6 软件无线电 (SDR) 技术	107
3.7 蜂窝组网技术	109
3.7.1 蜂窝小区和频率复用技术	109
3.7.2 小区分裂技术	112
3.7.3 扇区划分技术	113
3.7.4 越区切换技术	114
3.8 CDMA 蜂窝系统容量比较	117
3.8.1 蜂窝系统容量	117
3.8.2 FDMA 和 TDMA 蜂窝系统容量计算	118

3.8.3	CDMA 蜂窝系统容量计算	118
3.8.4	CDMA、FDMA、TDMA 蜂窝系统容量比较	120
3.8.5	CDMA 的软容量计算	121
	习题与思考题	122
第 4 章	WCDMA 移动通信网络系统	123
4.1	WCDMA 移动通信网络系统特点	123
4.2	通用移动通信系统 (UMTS)	124
4.2.1	UMTS 的结构和接口	124
4.2.2	UMTS 的功能	126
4.2.3	UMTS 的协议结构	128
4.3	通用陆地无线接入网络 (UTRAN)	132
4.3.1	UTRAN 的功能	132
4.3.2	UTRAN 的结构	132
4.4	WCDMA 核心网 (CN) 的结构	134
4.4.1	R99 网络结构及接口	135
4.4.2	R4 网络结构及接口	140
4.4.3	R5 网络结构及接口	143
4.4.4	R6 的发展情况	145
4.5	WCDMA 移动通信网络系统演进过程	145
4.5.1	GSM 基本网络系统	145
4.5.2	GSM 增值业务和智能网络系统	146
4.5.3	GSM 高速电路交换数据业务 (HSCSD) 网络系统	147
4.5.4	GSM 通用分组无线业务 (GPRS) 网络系统	148
4.5.5	GSM 演进的增强数据速率 (EDGE) 网络系统	149
4.5.6	WCDMA 的 R99 网络系统	151
4.5.7	WCDMA 的 R4 网络系统	152
4.5.8	WCDMA 的 R5 全 IP 网络系统	154
4.5.9	WCDMA 未来的全 IP 网络系统	155
4.6	WCDMA 的无线信道	156
4.6.1	WCDMA 的无线信道结构	156
4.6.2	WCDMA 的逻辑信道	156
4.6.3	WCDMA 的传输信道	157
4.6.4	WCDMA 的物理信道	158
4.6.5	WCDMA 物理信道接入的基本流程	164
4.7	UMTS 网络协议集的分层	168
4.8	WCDMA 网络事务处理基本流程	170
4.8.1	寻呼过程	171
4.8.2	无线资源控制 (RRC) 连接建立过程	174
4.8.3	通信事务处理论证过程	176
4.8.4	鉴权和安全控制过程	177

4.8.5	无线接入承载分配和通信事务处理建立过程	178
4.8.6	通信事务处理执行过程	180
4.8.7	通信事务处理清除和 RAB 释放过程	185
4.8.8	无线资源控制 (RRC) 连接释放过程	188
	习题与思考题	188
第 5 章	cdma2000 移动通信网络系统	190
5.1	cdma2000 移动通信网络系统特点	190
5.2	CDMA 网络系统演进	191
5.2.1	CDMA 网络系统演进概述	191
5.2.2	CDMA IS-95A	193
5.2.3	CDMA IS-95B	194
5.2.4	cdma2000 1x	195
5.2.5	cdma2000 1x EV-DO	196
5.2.6	cdma2000 1x EV-DV	198
5.3	cdma2000 的协议分层	200
5.4	cdma2000 物理层	202
5.4.1	cdma2000 物理层概述	202
5.4.2	cdma2000 的前向链路物理信道	203
5.4.3	cdma2000 的反向链路物理信道	209
5.4.4	cdma2000 1x 物理信道接续流程	213
5.4.5	cdma2000 的发射分集方式	216
5.4.6	cdma2000 的码应用	217
5.4.7	cdma2000 的扩频调制方式	221
5.5	cdma2000 网络系统	227
5.5.1	cdma2000 网络系统参考模型	227
5.5.2	cdma2000 网络系统的无线接入网	231
5.5.3	cdma2000 网络系统的交换子系统	232
5.5.4	cdma2000 网络系统的核心网电路域	239
5.6	cdma2000 网络系统的分组交换技术	240
5.6.1	移动 IP 概述	240
5.6.2	cdma2000 网络系统的分组域网络概述	243
5.6.3	简单 IP 技术	245
5.6.4	移动 IP 技术	247
5.6.5	移动 IP 和简单 IP 的比较	250
	习题与思考题	250
第 6 章	TD-SCDMA 移动通信网络系统	252
6.1	TD-SCDMA 移动通信网络系统特点	252
6.2	TD-SCDMA 移动通信网络系统的结构	255
6.3	TD-SCDMA 物理层	255

6.3.1 TD-SCDMA 协议结构	255
6.3.2 TD-SCDMA 传输信道	256
6.3.3 TD-SCDMA 物理层概述	257
6.3.4 TD-SCDMA 物理信道分层	257
6.3.5 TD-SCDMA 物理信道帧结构	258
6.3.6 TD-SCDMA 突发结构	260
6.3.7 TD-SCDMA 传输信道到物理信道的映射	261
6.3.8 TD-SCDMA 物理信道	262
6.3.9 TD-SCDMA 信道编码和复用	263
6.3.10 TD-SCDMA 扩频调制	266
6.4 TD-SCDMA 物理层的关键过程	267
6.4.1 小区搜索过程	267
6.4.2 上行同步过程	268
6.4.3 随机接入过程	269
6.4.4 功率控制过程	270
6.5 TD-SCDMA 网络系统的同步	272
6.6 TD-SCDMA 系统的接力切换	273
6.7 TD-SCDMA 系统的发射分集	276
6.8 TD-SCDMA 系统的智能天线	279
6.8.1 TD-SCDMA 智能天线的特点和原理	279
6.8.2 TD-SCDMA 智能天线对无线资源管理的影响	281
6.9 TD-SCDMA 系统组网	284
6.9.1 TD-SCDMA 系统组网的意义	284
6.9.2 TD-SCDMA 系统组网能力	285
6.9.3 TD-SCDMA 系统的组网优势	287
6.9.4 TD-SCDMA 系统组网	288
习题与思考题	294
第 7 章 高速分组接入技术	296
7.1 HSxPA 的演进和发展	296
7.1.1 HSDPA 的发展	296
7.1.2 HSUPA 的发展	299
7.1.3 TD-SCDMA 的 HSxPA 发展	299
7.2 WCDMA HSDPA	306
7.2.1 W-HSDPA 的关键技术	306
7.2.2 W-HSDPA 系统的信道	314
7.2.3 W-HSDPA 物理层处理流程	318
7.3 TD-SCDMA HSDPA	319
7.3.1 TD-HSDPA 的关键技术	319
7.3.2 TD-HSDPA 系统的信道	322
7.4 多载波 TD-HSDPA	325

7.5 W-HSDPA 与 TD-HSDPA 的比较	327
7.6 WCDMA HSUPA	330
7.6.1 W-HSUPA 的关键技术	331
7.6.2 W-HSUPA 的信道	335
7.7 TD-SCDMA HSUPA	342
7.7.1 TD-HSUPA 的信道结构和协议模型	343
7.7.2 TD-HSUPA 的关键技术	344
习题与思考题	347
第 8 章 移动通信新技术 OFDM 和 MIMO	349
8.1 正交频分复用 (OFDM) 技术	349
8.1.1 OFDM 概述	349
8.1.2 OFDM 原理	352
8.1.3 OFDM 系统参数设计	361
8.1.4 OFDM 的关键技术	363
8.2 多输入多输出 (MIMO) 技术	367
8.2.1 MIMO 概述	367
8.2.2 MIMO 技术的基本原理	368
8.2.3 OFDM-MIMO 技术原理	371
8.2.4 MIMO 技术的应用及发展前景	372
8.3 TD-CDM-OFDM 系统	373
习题与思考题	377
附录 A 教学大纲	378
A.1 培训目的和培训对象	378
A.2 培训课程分类	378
A.3 培训内容和学时分配	381
A.4 培训要求	388
附录 B 常用数学公式	391
B.1 复数	391
B.2 三角公式	392
B.3 积分公式	393
B.4 矩阵	393
B.5 函数	395
缩略语	397
参考文献	410

第 1 章 移动通信概述

1.1 移动通信简介

移动通信是指相互通信的各方中至少有一方是处于运动状态下的通信，即可能是移动方对移动方或者是移动方对固定方的通信。

实现移动通信功能的通信系统就是移动通信系统，移动通信通常是靠无线通信来实现的。常用的移动通信系统有如下几类。

1. 公共陆地移动通信网络 (PLMN)

公共陆地移动通信网络 (Public Land Mobile Network, PLMN) 是移动通信中最大和最主要的网络系统，世界各国都建立了 PLMN，PLMN 可实现不同容量、质量、数据速率和业务等要求的语音、数据的移动通信业务，可实现跨区、跨国乃至全球的漫游业务和网络管理。

20 世纪 80 年代在美国和中国等国家和地区使用的先进移动电话系统 (Advanced Mobile Phone System, AMPS)，在欧洲和中国等国家和地区使用的全接入通信系统 (Total Access Communications System, TACS) 和扩展式全接入通信系统 (Extended TACS, ETACS) 等 FDMA 模拟蜂窝移动通信网络系统。

20 世纪 90 年代主要在欧洲各国和我国等国家和地区使用的全球移动通信系统 (Global System for Mobile Communications, GSM) 等 TDMA/FDMA 数字蜂窝移动通信网络系统。

20 世纪 90 年代主要在美国、韩国、我国等国家和地区使用的窄带 CDMA 数字蜂窝移动通信网络系统。

2. 无线市话系统 (WUTS)

无线市话系统 (Wireless Urban Telephone System, WUTS) 采用微蜂窝系统和数字无绳电话技术，通信距离一般在几百米范围内。无线市话采用廉价便携终端，它可以通过无线通信在受限的距离范围内以固定或慢移动方式接入市话网，可实现固话基本业务和 32 或 $2 \times 32\text{ kbit/s}$ 低速数据业务，但不能实现漫游。如日本邮政部为家居、办公的室内外小范围使用推出的个人便携电话系统 (Personal Handy Phone System, PHS)；中国电信公司和中国网通公司为市场竞争推出的个人接入系统 (Personal Access System, PAS)，即“小灵通”系统；欧洲推出的泛欧数字无绳电话 (Digital European Cordless Telephone, DECT) 系统。

3. 集群移动无线系统 (TMRS)

集群移动无线系统 (Trunked Mobile Radio System, TMRS)，是一种多方根据动态分配无线信道的原则来共享一组频率资源的移动通信系统，具有频率、设备、覆盖和业务共享，集中管理、保证服务、节省频率资源和减少费用分担的优点，多用于多信道多用户共享的调度系统。

例如，美国 Motorola 公司的数字集群通信系统，在中国的一些政府部门、公安部门、企