

► 21世纪通信网络技术丛书



移动通信前沿技术系列

B3G/4G

移动通信系统中的 无线资源管理

张天魁 冯春燕 曾志民 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

21 世纪通信网络技术丛书
——移动通信前沿技术系列

B3G/4G 移动通信系统中的 无线资源管理

张天魁 冯春燕 曾志民 黄蓉 赵嵩 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

随着移动多媒体业务的广泛应用与各种通信新技术的发展,在 3G 移动通信系统获得部署应用之后,研究机构、标准组织、设备商和运营商,都将目光投向了 B3G/4G 系统的研究开发与标准化工作。本书紧密结合 B3G/4G 系统和刚刚兴起的 4G 系统候选技术,系统地介绍了 B3G/4G 系统以及无线资源管理相关概念;B3G/4G 系统关键技术,以及在 LTE 和 LTE-A 中的标准化情况;从事无线资源管理研究所需的基础知识,既包括无线通信基础知识,也包括数学理论基础知识;功率分配与功率控制研究;分组调度与信道分配研究;小区间干扰管理技术研究;用户接入与控制技术研究;移动性管理技术研究;蜂窝中继系统无线资源管理研究;B3G/4G 系统性能评估与仿真方法。

本书可作为通信专业高年级本科生和研究生的教材,也可供从事无线资源管理的研究人员、工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

B3G/4G 移动通信系统中的无线资源管理/张天魁等编著. —北京:电子工业出版社,2011.1

(21 世纪通信网络技术丛书·移动通信前沿技术系列)

ISBN 978-7-121-12278-1

I. ①B… II. ①张… III. ①码分多址—移动通信—通信系统—系统管理 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 222559 号

策划编辑:田宏峰

责任编辑:竇 昊

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

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:787×1 092 1/16 印张:17 字数:428 千字

印 次:2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,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 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

出版说明

通信网络技术是当今发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一。通信技术发展到今天，已经不再是传统意义上充满神秘色彩的深奥技术了，它已经与日常的应用密不可分。可以说，网络的出现，使通信技术得以有了广阔的用武之地。正是由于有了固定电话网、移动通信网和 Internet，使通信技术的应用在这些平台上有了用武之地，渗透到我们日常生活的方方面面。

为了促进和推动我国通信产业的发展，电子工业出版社通信分社特策划了一套《21 世纪通信网络技术丛书》。这套丛书根据不同的层面，又细分为三个系列：《移动通信前沿技术系列》、《3GPP LTE 无线通信新技术系列》和《网络通信与工程应用系列》。

《移动通信前沿技术系列》是从移动通信技术（3G 技术）的应用现状与发展情况出发，全面介绍当今移动通信领域涉及的关键技术与热点技术，例如，软件无线电；移动 IP 技术；移动数据通信；WCDMA；TD-SCDMA；cdma2000；移动通信系统网络规划与优化；智能天线技术；认知无线电技术；WiMAX、WiFi、ZigBee 宽带无线接入技术；UWB 技术；UMTS 技术；Ad Hoc 技术等。

《3GPP LTE 无线通信新技术系列》是以 3GPP 中 LTE 标准的关键技术在无线、宽带、高速、资源中的有效管理和利用，以及在 B3G/4G 无线通信领域中的应用为主。LTE 作为 3G 技术的一个重要的长期演进计划，代表了国际无线通信领域的最新发展需求和解决方案，例如，基于 OFDM 的上、下行（HSxPA）的多址接入技术、随机接入技术、多天线 MIMO 技术、多链路自适应技术、多播技术、功率控制技术、宽带无线网络的安全性、可移动性、可管理性、高效信源与信道编码和调制 MQAM 技术等。

《网络通信与工程应用系列》是以技术为先导，以构建网络的体系结构、标准、协议为目标所开展的对现代无线、移动、宽带通信网络的规划与优化，以及结合工程应用的方向所提出来的。例如，无线网状网、WLAN、无线传感器网络、3G/B3G/4G 通信网工程设计与优化、卫星移动通信网、三网融合技术、网络安全新技术与新策略、RFID 应用网络、下一代基于 SIP 的统一通信、光网络与光通信等。

本套丛书依托各高等院校在通信领域从事科研、教学、工程、管理的具有丰富的理论与实践经验的专家、教授；各研究院所的研究员；国内有一定规模和研发实力的科技公司的研发人员，以及国外知名研究实验室的专家、学者等组成编写和翻译队伍，力求实现内容的先进性、实用性和系统性；力求内容组织循序渐进、深入浅出、理论阐述概念清晰、层次分明；力求很强的可读性和可操作性。

本套丛书的主要读者对象是广大从事通信网络技术工作的各科研院所和公司的广大工程技术人员；各高等院校的专业教师和研究生；刚走上工作岗位的大学毕业生；以及与此相关的其他学科的技术人员。

本套丛书从 2008 年上半年开始将陆续推出，希望广大读者能关注它，多对本套丛书提出宝贵意见与建议，欢迎通过电子邮箱 wchn@phei.com.cn 进行探讨、交流和指正，以便今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术类图书。

电子工业出版社
通信出版分社

前 言

随着移动多媒体业务的广泛应用与各种通信新技术的发展,在 3G 移动通信系统获得部署应用之后,研究机构、标准组织、设备商和运营商,都将目光投向了 B3G 系统的研究开发与标准化工作。

以 3GPP 的 LTE、3GPP2 的 AIE 和 WiMAX 为代表的 B3G 系统,与其说是 3G 技术的“演进”(evolution),不如说是“革命”(revolution)。这些 B3G 系统采用了大量无线通信新技术,如 OFDM 技术、MIMO 技术等,因此,这些系统实际上是“准 4G”系统。

在 ITU 将 4G 移动通信系统正式命名为 IMT-Advanced 之后,各个标准组织均在已有 B3G 系统的基础上,通过进一步研究,以满足 IMT-Advanced 定义的性能指标,如 3GPP 的 LTE-A 和 IEEE 的 802.16m,都是为了符合 IMT-A 性能要求而提出的具备 4G 系统特征的系统。

任何一种新技术,都是经过高校、研究机构做出大量理论与验证之后才得以实际应用的,B3G/4G 系统中采用的一系列新技术也是如此。例如,在 OFDM 在实际系统中应用前,针对 OFDM 技术存在的高峰均比、频率偏移敏感、时间同步等问题展开了大量的研究;同样,对 MIMO、HARQ 等技术在实际系统中应用面临的问题也经过了大量的理论研究。目前,针对 4G 中可能采用的关键技术,如中继技术、协作技术等,都是当前理论研究的热点之一。

对于任何一种无线通信系统而言,无线资源管理都是系统正常工作、性能得以满足的重要技术之一。而且,随着无线通信系统的不断演进,无线资源管理越来越重要。在当前时域、频域和空域资源都已经得到充分开发利用且越来越稀缺的情况,无线资源管理技术对于提高无线资源利用率、满足多种业务服务质量要求至关重要。目前,无论是从学术研究角度还是从标准化研究角度,都应针对在 B3G/4G 系统中无线资源管理需要解决的问题展开广泛且深入的研究。

由于在 B3G/4G 系统中,引入了大量的无线通信新技术,因此,B3G/4G 系统具备了许多之前无线通信系统所没有的特性,相应地,对 B3G/4G 系统的无线资源管理也提出了新的挑战。在开展 B3G/4G 系统的无线资源管理研究过程中,我们发现,没有可用的参考书可以用于相关研究的指导。一方面,B3G/4G 系统近年来发展很快,新技术从理论研究到实际应用的时间越来越短,很多参考书更新不及时;另一方面,B3G/4G 系统的无线资源管理研究是目前的研究热点,越来越多的研究工作者准备或者正在从事相关研究工作,需要有一本合适的参考书,介绍涉及 B3G/4G 系统的知识,总结前人的相关研究,对可能的研究方向给予指导。

编著者所在的研究室,很早就已针对 B3G/4G 系统的无线资源管理展开了研究,并且在与相关研究机构、设备商进行项目合作的过程中,对相关标准组织的工作进行了跟踪与总结,也积累了大量的实际系统需要考虑的无线资源管理问题与解决方案,这些都为本书的编写工作奠定了基础。

本书最大的特点是:紧密结合 B3G/4G 系统(以 LTE 和 LTE-A 为代表),既有相关理论

研究工作的总结,也有相关标准化工作的总结,使得理论研究与实际应用得以结合;同时,对刚刚兴起的 4G 系统候选技术(如中继技术、CoMP 技术)也进行了详细的总结与分析。本书的另一个特点就是总结了无线资源管理技术研究可能用到的相关数学知识,这避免了读者为一个理论问题而需要查找大量数学资料,而且,给出了相关数学知识在无线资源管理研究时的具体应用过程,这对于不是数学专业的读者来说,更容易理解数学知识在通信技术中的应用。

全书共分为 10 章,主要内容包括: B3G/4G 系统以及无线资源管理相关概念; B3G/4G 系统关键技术,以及在 LTE 和 LTE-A 中的标准化情况; 无线资源管理研究所需要的基础知识,既包括无线通信基础知识,也包括数学理论的基础知识; 功率分配与功率控制; 分组调度与信道分配; 小区间干扰管理技术; 用户接入与控制技术; 移动性管理技术; 中继蜂窝系统无线资源管理; B3G/4G 系统性能评估与仿真方法。

本书的目标是为从事无线资源管理的研究人员提供最新的研究进展总结、相关研究方法介绍,从而推动我国 B3G/4G 系统的研究发展与标准化进程。本书既可以作为无线资源管理技术理论研究的参考书,也可以作为无线资源管理实现的技术手册。读者对象主要为国内在校的高年级本科生、研究生、高校教师,以及相关的研究人员、工程技术人员。

本书由北京邮电大学的张天魁、冯春燕、曾志民主持编写,全书由张天魁负责统稿,参与本书编写工作的还有赵嵩、黄蓉、段梅梅。王康、程婕、邱禹、曹禄、申晓晨、张从青、苏赓、王菲、邢金强、李伟等在本书的编写过程中,做了大量的文献搜集、资料整理与仿真验证工作,以及部分编写工作。本书的很多研究成果来源于研究室毕业设计同学的毕业论文,他们是: 2007 届硕士毕业生娄文科、赵亚丽、王丽、王东洋, 2008 届硕士毕业生郑洁莹、李智伟、白玉、张颖莹、胡绍芹, 2009 届硕士毕业生孙超, 2010 届硕士毕业生林琳、程远杰、杨辉、侯志宏等。在本书的编写过程中,得到了刘银龙、李博、吕相友、王圣森、杨旭、夏璐等同学的帮助与支持。在此,对他们一并表示感谢。此外,需要特别感谢邢金强同学,为本书各章进行文字整理与校对工作,付出了大量的时间与心血。

由于移动通信技术发展日新月异,而且在本书的成稿之日, 3GPP 关于 LTE 标准化活动依然在紧张的进行之中,而且即将进入 3GPP LTE-A 阶段,许多技术问题尚未最终定论,同时,关于结合中继、协作、分布式天线等新技术的蜂窝通信系统的无线资源管理技术研究也不断丰富和完善,加之作者水平有限,书中难免会存在错误,敬请同行及读者批评指正。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 移动通信系统发展简介	1
1.2 B3G/4G 系统及其标准化	3
1.2.1 3GPP LTE/LTE-A 系统	4
1.2.2 IEEE 802.16m 系统	5
1.2.3 B3G/4G 系统关键技术简介	6
1.3 无线资源管理目标与定义	9
1.4 无线资源管理发展概述	13
1.4.1 2G 系统无线资源管理	13
1.4.2 3G 系统无线资源管理	13
1.4.3 B3G/4G 系统无线资源管理	14
1.4.4 无线资源管理技术在 3G 与 4G 中的区别	15
1.5 无线资源管理架构	16
1.6 本章小结	17
参考文献	17
第 2 章 B3G/4G 系统关键技术	19
2.1 前言	19
2.2 正交频分复用技术	20
2.2.1 OFDM 的基本原理	20
2.2.2 OFDM 的 IFFT/FFT 实现	21
2.2.3 保护间隔	22
2.2.4 循环前缀	22
2.2.5 加窗技术	23
2.2.6 正交频分多址	24
2.3 多天线技术	25
2.3.1 多天线技术的发展	25
2.3.2 多天线结构与信道容量	26
2.3.3 空时编码技术	30
2.3.4 预编码技术	36
2.3.5 多用户 MIMO	40
2.3.6 MIMO 在 LTE 中的应用	41
2.4 蜂窝中继技术	47

2.4.1	中继信道模型	48
2.4.2	中继的类型	49
2.4.3	中继的应用场景	50
2.4.4	中继在蜂窝网络里的配置方式	51
2.4.5	中继系统帧结构	52
2.4.6	LTE-A 系统中继技术研究	53
2.5	CoMP 技术	54
2.5.1	CoMP 技术的基本概念	54
2.5.2	LTE-A 系统 CoMP 技术研究	58
2.6	本章小结	63
	参考文献	64
第 3 章	无线资源管理研究基础	67
3.1	无线资源管理研究背景知识	67
3.1.1	高斯信道容量	67
3.1.2	无线信道的衰落	67
3.1.3	自适应调制编码	72
3.1.4	信道质量估计	73
3.1.5	多媒体业务与 QoS 要求	75
3.2	无线资源管理研究数学工具	76
3.2.1	数学优化算法	76
3.2.2	智能优化算法	81
3.2.3	动态规划	88
3.2.4	多属性决策理论	90
3.2.5	博弈论	96
3.3	本章小结	100
	参考文献	100
第 4 章	B3G/4G 系统功率分配与控制	103
4.1	功率分配与控制技术概述	103
4.1.1	功率分配/控制技术的概念	103
4.1.2	功率分配/控制技术演进	103
4.2	功率分配算法研究	105
4.2.1	注水功率分配算法	105
4.2.2	单小区功率分配算法	105
4.2.3	多小区功率分配算法	108
4.3	功率控制机制研究	113
4.3.1	功率控制目标与分类	113
4.3.2	LTE 系统功率控制	114

4.4 本章小结.....	116
参考文献.....	116
第 5 章 B3G/4G 系统分组调度与信道分配.....	119
5.1 分组调度与信道分配技术概述.....	119
5.1.1 分组调度与信道分配的概念.....	119
5.1.2 B3G/4G 系统分组调度特点.....	120
5.2 经典无线分组调度算法.....	121
5.2.1 Max C/I 调度算法.....	121
5.2.2 RR 调度算法.....	122
5.2.3 PF 调度算法.....	122
5.3 OFDMA 系统分组调度与信道分配研究.....	124
5.3.1 保证公平性的分组调度算法.....	124
5.3.2 保证业务 QoS 的分组调度算法.....	129
5.3.3 OFDMA 多小区信道分配算法.....	133
5.4 基于效用理论的信道分配算法.....	134
5.4.1 效用相关概念与理论.....	134
5.4.2 基于效用比例公平的调度算法.....	136
5.4.3 基于效用 NBS 公平的调度算法.....	140
5.4.4 基于效用表达式的保证 QoS 调度算法.....	142
5.5 LTE 系统分组调度研究.....	143
5.5.1 LTE 调度功能实现.....	143
5.5.2 LTE 的 VoIP 调度.....	145
5.5.3 持续调度.....	145
5.5.4 半持续调度.....	146
5.5.5 半动态调度.....	146
5.6 本章小结.....	147
参考文献.....	147
第 6 章 B3G/4G 系统小区间干扰管理.....	151
6.1 干扰管理技术概述.....	151
6.1.1 干扰管理目标与分类.....	151
6.1.2 小区间干扰随机化.....	151
6.1.3 小区间干扰消除.....	152
6.1.4 小区间干扰协调.....	152
6.2 LTE 系统频域干扰协调.....	152
6.2.1 静态干扰协调.....	153
6.2.2 半静态干扰协调.....	156
6.2.3 动态干扰协调.....	162

6.2.4	LTE-Advanced 中的干扰管理需求	164
6.3	IEEE 802.16m 频域干扰协调	165
6.3.1	自适应频率复用	165
6.3.2	灵活的资源分配	171
6.4	干扰协调中相关的功率控制	171
6.4.1	部分功率控制算法	172
6.4.2	部分功率控制对干扰抑制的作用	173
6.5	本章小结	174
	参考文献	174
第 7 章	B3G/4G 系统用户接入控制技术	178
7.1	接入控制技术概述	178
7.1.1	接入控制技术的概念	178
7.1.2	接入控制技术的演进	178
7.1.3	接入控制技术的分类	179
7.2	无线接入控制算法	179
7.2.1	传统网络接入控制算法	180
7.2.2	保证用户 QoS 的接入控制算法	182
7.3	LTE 系统的随机接入技术	184
7.3.1	LTE 随机接入与 3G 随机接入的区别	185
7.3.2	随机接入的目标与流程	186
7.3.3	随机接入的信道结构	189
7.4	本章小结	191
	参考文献	191
第 8 章	B3G/4G 系统移动性管理技术	194
8.1	移动性管理技术概述	194
8.1.1	移动性管理的目标	194
8.1.2	移动性管理的关键技术	195
8.1.3	LTE 系统移动性管理的难点	197
8.2	切换技术的基本概念	197
8.2.1	切换分类	197
8.2.2	切换控制方式	199
8.2.3	切换控制流程	200
8.2.4	切换特征和性能要求	201
8.3	B3G/4G 系统切换技术研究	203
8.3.1	水平切换判决算法	203
8.3.2	垂直切换判决算法	206
8.4	LTE 系统移动性管理	208

8.4.1 E-UTRAN 内部的移动性管理	208
8.4.2 在 RAT 之间的移动性管理	210
8.5 本章小结	211
参考文献	211
第 9 章 中继蜂窝网络无线资源管理	214
9.1 中继蜂窝网络 RRM 概述	214
9.2 中继蜂窝网络的功率分配	214
9.3 中继蜂窝网络的信道调度	215
9.4 中继选择算法	216
9.4.1 经典中继选择算法	216
9.4.2 协作中继选择算法	217
9.5 中继蜂窝网络的频率规划	225
9.5.1 两跳链路频分	226
9.5.2 两跳链路时分	232
9.6 本章小结	235
参考文献	235
第 10 章 B3G/4G 系统性能评估与仿真方法	239
10.1 通信系统仿真概述	239
10.1.1 系统级仿真方法分类	239
10.1.2 通信系统仿真评估指标	240
10.1.3 通信系统仿真工具	241
10.2 链路级仿真	242
10.2.1 链路级仿真平台结构	242
10.2.2 链路级仿真模块设计	243
10.3 系统级仿真	248
10.3.1 系统级仿真平台结构	248
10.3.2 系统级仿真模块设计	249
10.4 LTE/LTE-A 信道模型	254
10.4.1 SCM 信道模型	254
10.4.2 IMT-Advanced 信道模型	255
10.5 系统级与链路级接口	256
10.6 本章小结	256
参考文献	257

第1章 概述

1.1 移动通信系统发展简介

移动通信系统的发展演进经历了三代，从第一代模拟移动通信系统（First Generation, 1G），到第二数字移动通信系统（Second Generation, 2G），再到第三代多媒体移动通信系统（Third Generation, 3G），目前正在向后三代或第四代宽带移动通信系统（B3G/4G）发展，其发展如图 1-1 所示。

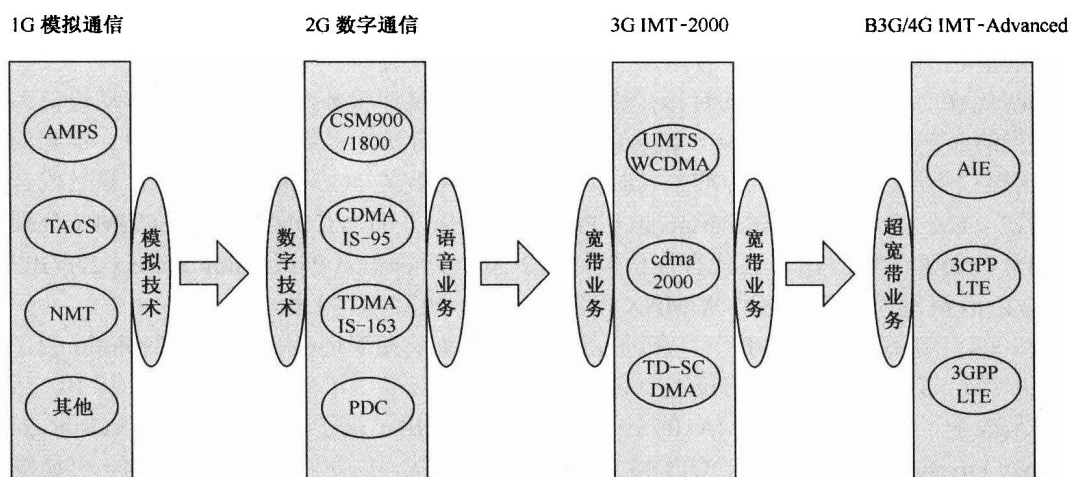


图 1-1 移动通信系统的演进过程图

第一代移动通信系统以模拟式蜂窝网为主要特征，于 20 世纪 70 年代末 80 年代初开始商用。其典型系统有北美的高级移动电话系统（Advanced Mobile Phone System, AMPS）、欧洲的全接入通信系统（Total Access Communication System, TACS）和日本的高容量移动电话系统（High Capacity Mobile Telephone System, HCMTS）等。第一代移动通信系统主要采用模拟技术和频分多址（Frequency Division Multiple Access, FDMA）技术，由于受到传输带宽的限制，它不能进行移动通信的长途漫游，只能是一种区域性的移动通信系统。我国主要采用的是 TACS。第一代移动通信系统有很多不足之处，如容量有限、制式太多、互不兼容、保密性差、通话质量不高、不能提供数据业务、不能提供自动漫游等。

第二代移动通信系统主要采用数字的时分多址（Time Division Multiple Access, TDMA）技术和码分多址（Code Division Multiple Access, CDMA）技术，它的主要业务是语音，主要特性是提供数字化的语音业务及低速数据业务。它克服了模拟移动通信系统的弱点，语音质量、保密性得到很大提高。正如第一代没有全球范围内的标准一样，第二代移动通信在发展过程中也没有形成统一的国际标准。现在使用的系统有 4 种：D-AMPS、GSM、CDMA 和

PDC。PDC 只用于日本，它基本上是为了与日本的第一代模拟系统向后兼容而修订的 D-AMPS。由于第二代采用不同的制式，移动通信标准不统一，用户只能在同一制式覆盖的范围内漫游，无法全球漫游。

第三代移动通信系统于 1985 年由国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）提出。第三代移动通信技术标准化工作的主要目标是制定一个通用的网络架构，能够支持现有和将来的服务。2000 年 5 月，ITU 全会通过了 5 个正式的第三代移动通信系统（IMT-2000）无线接口标准：IMT-DS（即 WCDMA/ UTRA-FDD）、IMT-MC（即 cdma2000）、IMT-TD（包括 UTRA-TDD 作为高码片速率选项和 TD-SCDMA 作为低码片速率选项）、1MT-SC（UWC-136）、IMT-FT（即 E-EDCT），其中 IMT-SC 和 IMT-FT 将只作为区域性标准，用于 IS-136 和 DECT 系统的升级。WiMAX 的 802.16e 在 2007 年 10 月被 ITU 接纳为 3G 标准之一。因此到目前为止，3G 技术标准主要包括欧洲提出的 WCDMA、中国提出的 TD-SCDMA、美国提出的 cdma2000 和 WiMAX 的 802.16e 这 4 大标准。第三代移动通信系统具有 5 MHz 以上的传输带宽，传输速度最低为 384 kbps，最高可达 2 Mbps，支持语音和数据业务。第三代移动通信系统的主要特点是能实现高速数据传输和宽带多媒体服务，但第三代移动通信系统仍是基于地面、标准不一的区域性通信系统。

第四代移动通信系统提出的目标是提供宽带移动多媒体服务，满足第三代移动通信系统尚未达到的在覆盖、质量、造价上支持的高速数据和高分辨率多媒体服务的需要。不同的标准化组织在不断发展完善 3G 标准的同时，也积极开展 B3G/4G 的标准化工作。第三代合作伙伴计划（The 3rd-Generation Partnership Project, 3GPP）的 WCDMA、TD-SCDMA 分别发展为 LTE FDD 和 TD-LTE，第三代合作伙伴计划 2（3rd Generation Partnership Project 2, 3GPP2）的 cdma2000 演进为 AIE，移动 WiMAX 也发展成为一项准 4G 技术。

从 2004 年年底至今，3GPP 一直在进行称为 3G 系统长期演进（Long Term Evolution, LTE）的研究项目。与原来 3G 系统的技术更新不同，LTE 引入了“革命性”的技术，其中，标志性的就是改变了 3G 时期 CDMA 的空中接口技术，采用了基于正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）的新的多址方式，同时在包括网络架构、交换模式等系统设计的各个方面都进行了大量的、大幅度的优化。LTE 也将作为向 4G 发展的工作基础，通过技术增强来满足 ITU 对 4G 的要求，并最终作为 3GPP 向 ITU 提交的 4G 候选提案。

2005 年 3 月，3GPP2 启动了针对 cdma 2000 演进技术的研究与标准化工作，其空中接口技术的演进称为 AIE（Air Interface Evolution）。为了满足不同市场的需求，降低开发的复杂度，3GPP2 将 AIE 的工作分为两个阶段。第一阶段是针对 cdma 2000 1x EV-DO Rev. B 的标准制定工作，该版本于 2006 年 3 月正式发布，标准中引入多载波以及其他关键技术，提高前反向峰值速率。AIE 的第二阶段是针对超移动宽带（UMB）的标准制定工作，其目标是进一步提高系统传输频谱效率，同时满足运营商对于网络演进、网络部署、业务融合过渡和性能方面的相关需求。

2006 年 12 月，IEEE 启动了称为 802.16m 的工作。根据它的系统需求文件^[1]，802.16m 将基于 WiMAX（802.16e）进行增强，以适应下一代移动通信网络的需求。其中，明确提出系统将以满足 ITU 对于 4G 的需求为目标，相关成果将根据 ITU 的工作流程，作为 4G 的候选技术向 ITU 进行提交。

E3G 是 Evolved 3G 的缩写，是对现有 3G 技术的增强和演进，是在原有的 3G 框架内进行的，因而 LTE、UMB 都属于 E3G 的范畴。其中，LTE 是针对 WCDMA 和 TD-SCDMA 的

演进项目，UMB 是针对 cdma 2000 系列的演进项目。

B3G 是 Beyond 3G 的缩写。2005 年 10 月，B3G（或者称为 4G）被正式命名为 IMT-Advanced。相对于 3G，B3G 系统具有更高的数据传输速率，可以更好地满足用户日益增长的多媒体和高速数据业务需求。那些面向 IMT-Advanced 的标准化项目——LTE-A（LTE-Advanced，也称 LTE+）、UMB+、802.16m，都属于 B3G 的范畴。

E3G 与 B3G 的关系可简要地通过图 1-2 来说明。3GPP、3GPP2 演进型 3G 的目标与 B3G 的远景接近，采用相同的核心技术。同时，E3G 阶段有利于将来向 B3G 的演进工作，为众多研究 B3G 的组织和项目提供了将现在的研究成果输出成为标准的舞台。因此包括 FuTURE 和 WINNER 在内的 B3G 研究项目都在积极参与 E3G 的工作，使得 E3G 朝着有利于向 B3G 演进的方向发展。

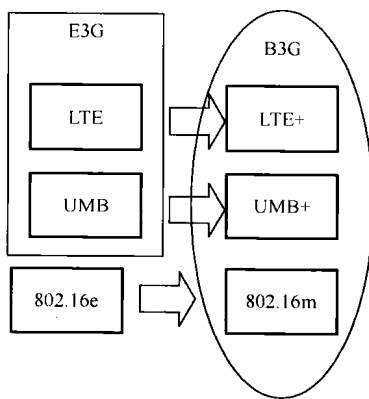


图 1-2 E3G 与 B3G 关系示意图

1.2 B3G/4G 系统及其标准化

随着移动通信市场需求和技术的发展，将 B3G 由研究领域推向产业化的工作已经开始，2005 年 10 月 ITU-R 在赫尔辛基举行的第 17 次会议上，正式将 System Beyond IMT-2000 命名为 IMT-Advanced。ITU-R 正在进行称为 IMT-Advanced 的整体工作计划，这将是 IMT-2000 之后将新的技术和系统性创新向全球移动通信产业推进，成为全世界认可和采用的国际标准的一次重要机遇。

IMT-Advanced 的定义如下^[2]：IMT-Advanced 系统为具有超过 IMT-2000 能力的移动系统，该系统能够提供广泛的电信业务：由移动和固定网络支持的日益增加的基于包传输的先进的移动业务。

IMT-Advanced 系统支持从低到高的移动性的应用和很宽范围的数据速率，满足多种用户环境下用户和业务的需求。IMT-Advanced 系统还具有在广泛服务和平台下提供 QoS 显著提升的高质量多媒体应用的能力。

IMT-Advanced 的关键特性包括：在保持成本效率的条件下，在支持灵活广泛的服务和应用的基础上，达到世界范围内的高度通用性；支持 IMT 业务和固定网络业务的能力；高质量的移动服务；用户终端适合全球使用；友好的应用、服务和设备；世界范围内的漫游能力；增强的峰值速率以支持新的业务和应用，例如多媒体（需要在高移动性下支持 100 Mbps，低移动性下支持 1 Gbps）。

1.2.1 3GPP LTE/LTE-A 系统

为了应对宽带接入技术的挑战，同时为了满足新型业务需求，3GPP 在 2004 年年底启动了 LTE 技术的标准化工作。希望达到以下几个主要目标^[3]：

- 保持 3GPP 在移动通信领域的技术及标准优势；
- 填补 3G 系统和 4G 系统之间存在的巨大技术差距；
- 希望使用已分配给 3G 系统的频谱，保持无线频谱资源的优势；
- 解决 3G 系统存在的专利过分集中的问题。

2004 年 12 月在希腊雅典的会议上，3GPP 确定了一个 LTE 项目的总体目标。这个总体目标是高速率、低延迟和数据包优化的无线接入技术。

为了实现上述总体目标，LTE 首先从定义需求开始，主要需求指标包括：

- 峰值数据率：上行 50 Mbps，下行 100 Mbps；
- 提高小区边缘的比特率；
- 频谱效率达到 3GPP R6 的 2~4 倍；
- 支持 1.25~20 MHz 带宽；
- 用户面延迟（单向）小于 5 ms，控制面延迟小于 100 ms；
- 支持与现有 3GPP 和非 3GPP 系统的互操作；
- 支持增强型的广播多播业务；
- 降低建网成本，实现从 R6 的低成本演进；
- 实现合理的终端复杂度、成本和电耗；
- 支持增强的 IMS（IP Multimedia Sub-system，IP 多媒体子系统）和核心网；
- 支持向后兼容，谨慎把握性能改进和向后兼容之间的平衡；
- 取消 CS（电路交换）域，CS 域业务在 PS（包交换）域实现，如采用 VoIP；
- 优化低速移动的系统，同时支持高速移动；
- 以尽可能相似的技术同时支持成对（paired）和非成对（unpaired）频段；
- 尽可能支持简单的临频同址共存和跨境并存。

LTE 系统相对于 3G 系统，在多址技术方面进行了革命性的改进，它使用正交频分多址技术，同时在其他一些技术领域也进行了改进，如多天线技术、自适应技术等，另外还引入了一些革新性的技术用于优化系统的整体性能，如小区干扰抑制技术等。

2008 年 3 月，3GPP 组织启动了 LTE-A 标准工作，协议版本为 R10。LTE-A 标准对 LTE 进行技术性能的全面增强，类似于 HSPA 对 WCDMA 的技术增强。

LTE-A 在标准化过程中强调后向兼容性特性，在网络结构方面，LTE-A 与 LTE 完全兼容，保证了网络结构的平滑演进；在终端技术方面，LTE-A 系统的引入不会对 LTE 终端造成影响，满足后向兼容，有效降低终端开发的难度。

LTE-A 的技术指标全面满足并高于 IMT-Advanced 需求^[4]，包括：

- 支持下行峰值速率 1 Gbps，上行峰值速率 500 Mbps；
- 网络部署、终端开发可以平滑演进，降低系统与终端的开发成本；
- 高功率效率，有效降低系统和终端功耗；
- 更高频谱效率，通过载波聚合，有效利用分散的频谱。

1.2.2 IEEE 802.16m 系统

IEEE 802.16m 的标准在 IEEE 802.16 WG 下设的 TGm 任务组中开展。802.16m 的目标是满足 IMT-Advanced 需求,并最终向 ITU 提交技术提案。IEEE 802.16m 系统要求高峰值速率、低延迟、低系统开销,同时能够提供安全保障和 QoS 保障^[5]。

① 峰值数据速率: IEEE 802.16m 将支持标准化峰值速率。

② 延迟: 同 Wireless MAN -OFDMA 参考系统相比,系统的所有方面,包括空间链路、状态转移延迟、接入延迟和切换,延迟将得到进一步降低。下面的延迟要求系统在无负载情况下得到满足。

- 数据延迟: 上下行链路的最大数据延迟均为 10 ms。
- 状态转移延迟: 状态转移延迟的性能需求定义为从 IDLE 模式到 ACTIVE 模式的转移。IDLE 状态到 ACTIVE 状态转移延迟定义为设备从空闲状态到开始交换数据的状态,最大延迟为 100 ms。
- 切换中断时间: 切换中断时间表示在切换过程中 MS 不能从任何 BS 中接收到业务的持续时间。当切换类型为 Intra-frequency 时,最大中断时间为 30 ms,当切换类型为 Inter-frequency 时,最大切换时间为 100 ms。

③ QoS: IEEE 802.16m 将支持在可能情况下,保留在和其他 RATs 切换时的 QoS。

④ RRM (无线资源管理): IEEE 802.16m 将使用先进的 RRM,来有效地使用无线资源。可以通过适当的测距/报告、干扰管理和灵活的资源管理方法达到。

- 报告: IEEE 802.16m 将能够通过不同时间表收集可靠的数据,来使用先进的 RRM,包括系统(例如电话掉线数据、BS 加载条件、信道占有率)、用户(例如终端能力、移动数据和电池寿命)、流量、分组等。
- 干扰管理: IEEE 802.16m 将支持干扰消除方法,IEEE 802.16m 将支持灵活的频率复用方法。

⑤ 安全: 包括系统完整性的保护、用户相关数据的保密性、系统提供的安全接入。安全过程对其他系统的影响将尽量最小化,如切换过程。

⑥ 切换: IEEE 802.16m 将支持 IEEE 802.16m 系统所有类型中的切换,支持与 Wireless MAN-OFDMA 参考系统的切换,支持在 RAT 内和 RAT 外切换的业务连续性,还应该支持 IEEE 802.21 媒体独立切换功能。移动过程应该和 IEEE 802.16 网络控制和管理业务相兼容。

⑦ 增强的多播广播业务: IEEE 802.16m 将支持增强多播广播业务(E-MBS),提供增强的多播广播频谱效率;IEEE 802.16m 将通过特定的子载波支持 E-MBS 传输;还将支持广播和单播业务的转换,包括在不同频率配置的广播和单播的情况。

⑧ 定位业务: IEEE 802.16m 将提供高精度的定位服务。

⑨ 用户开销的减少: 和 Wireless MAN-OFDMA 参考系统相比,IEEE 802.16m 将提供减小开销的方法。

⑩ 系统开销: 开销包括控制信令的开销,也包括和负载数据传输相关的开销,只要没有整体性能和保证系统特性的折中情况,系统开销对于所有的应用将减少。

⑪ 增强的省电功能: IEEE 802.16m 将提供增强的省电功能来降低设备的功率损耗。

⑫ 多 RAT 操作: IEEE 802.16m 将支持网络间互操作的功能,允许到其他无线接入技术的有效切换。

1.2.3 B3G/4G 系统关键技术简介

(1) OFDM 技术

正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 的基本思想是将频带划分为多个子信道并行传输数据, 将高速数据流分成多个并行的低速数据流, 然后调制到每个信道的子载波上进行传输。由于它将非平坦衰落无线信道转化成多个正交平坦衰落的子信道, 从而可以消除信道波形间的干扰, 达到对抗多径衰落的目的。OFDM 系统采用正交方法来区分不同子载波, 子载波间的频谱可以相互重叠, 还可以在 OFDM 符号之间插入保护间隔, 保护间隔大于无线信道的最大时延扩展, 这样就可以最大限度地消除多径所带来的符号间干扰 (Inter-Symbol Interference, ISI), 而且一般都采用循环前缀作为保护间隔, 从而可以避免多径带来的信道间干扰。

对于多址技术, LTE 系统下行采用 OFDMA, 上行采用单载波 FDMA (Single Carrier FDMA, SC-FDMA)^[6]。OFDMA 技术是在 OFDM 的基础上发展起来的一种新型多址技术。由于 OFDM 调制中子载波之间的正交性及相对独立性, 每一个子载波都可以以一个特定的调制方式和发射功率为特定用户传输数据, 通过为每个用户分配这些子载波组中的一组或几组, 就可得到新的多址方式 OFDMA。

SC-FDMA 是相对于 OFDMA 提出的一种多址方案, 其特点是可以降低上行发射信号的峰均比 (Peak-to-Average Power Ratio, PAPR)。在每个传输时间间隔内, 基站会给每个用户分配一个独立的频段, 以便发送数据。这样, 就可以将不同用户的数据在时间和频率上完全分开, 保证了小区内同一时刻不同用户所使用上行载波的正交性, 避免了小区内同频干扰。离散傅里叶变换扩展 OFDM (Discrete Fourier Transform-Spread OFDM, DFT-S-OFDM) 是 SC-FDMA 的频域实现方法, 其多用户子载波的映射在频域上完成, 它将传输带宽分为正交的子载波集合, 将不同的子载波集合分配给不同的用户从而在多用户之间灵活地共享系统传输带宽, 同时由于信号在频域的正交性, 避免了系统中的用户间多址干扰。

(2) MIMO 技术

多输入多输出 (Multiple Input Multiple Output, MIMO) 技术是利用空间中增加的传输信道, 在发射端和接收端分别使用多个发射天线和接收天线, 利用收发之间空间信道的传播特性来提高数据速率、减少误比特率, 从而达到改善无线信号传送质量的目的。由于各发射天线同时发送的信号占用同一个频带, 所以能够成倍地提高系统容量和频谱利用率。

MIMO 技术主要包括发送分集技术和空间复用技术, 其中发送分集是指在不同的发送天线上发送包含相同信息的信号, 利用空间信道的弱相关性, 结合时间/频率上的选择性, 提高信号传输的可靠性。空间复用是指在不同的发送天线上发送不同的信息, 利用空间信道的弱相关性, 从而提高数据传输的峰值速率。

(3) AMC 技术

在 LTE 系统中, 接收端进行信道测量, 获得每个子载波的信道响应信息或信噪比 (Signal to Noise Ratio, SNR) 估计, 从而能够利用这些信道状态信息, 对每个子载波进行调制模式选择并对信道编码进行码率调整, 同时结合混合自动重传请求 (Hybrid Automatic Repeat-Request, HARQ) 技术, 进一步对链路吞吐量进行精细的调整, 因此与单载波相比, OFDM 系统具有更多的自由度, 能够根据信道的响应, 灵活地选择调制模式、编码效率, 并进行 HARQ