

新一代信息通信技术书系·无线通信专辑

# 移动通信中的 先进信号处理技术

李立华 王 勇 张 平 编著

YIDONG TONGXINZHONG DE

XIANJIN XINHAO

CHULI JISHU



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

新一代信息通信技术书系·无线通信专辑

# 移动通信中的 先进信号处理技术

---

李立华 王 勇 张 平 编著

北京邮电大学出版社  
·北京·

## 内 容 简 介

在第三代移动通信系统(3G)商用之初,为满足未来更高速率、更大容量和更好服务质量的需求,新一代移动通信技术的研究已如火如荼。本书对适用于3G、Beyond 3G以及未来移动通信系统的先进信号处理技术展开详细的论述,包括:单载波与多载波系统分析、高效信道编码与调制技术、多天线技术、链路自适应技术、多用户处理技术、超宽带技术等。此外,本书还分析了移动通信先进信号处理技术的各种软硬件实现方法,给出了采用最新FPGA、DSP等可编程器件实现先进信号处理算法的实例以及原型系统的快速开发方法。本书技术新颖全面,论述浅显易懂,实例丰富实用,是先进移动通信技术研究和新型系统开发的重要参考。

本书面向移动通信、信号处理技术研究和该领域从事FPGA或DSP系统实现设计的广大科研和工程设计人员,可作为相关专业研究生和高年级本科生的参考教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

移动通信中的先进信号处理技术/李立华,王勇,张平编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005

ISBN 7-5635-1060-5

I. 移... II. ①李...②王...③张... III. 移动通信—信号处理 IV. TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第025650号

---

书 名:移动通信中的先进信号处理技术

编 著:李立华 王 勇 张 平

责任编辑:李欣一

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路10号(100876)

电话传真:010-62282185(发行部) 010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京源海印刷有限责任公司

开 本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张:15

字 数:322千字

印 数:1—5 000册

版 次:2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷

---

ISBN 7-5635-1060-5/TN·374

定 价:26.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

# 新一代信息通信技术书系

## 编委会

名誉主编：周炯槃

执行主编：乐光新

编委(专辑主编/副主编)：

吴伟陵 张 平 刘元安 李道本

杨义先 顾畹仪 纪越峰 张 杰

程时端 王文东 朱其亮 舒华英

(排名不分先后)



21 世纪是经济全球化、全球信息化的崭新世纪。

信息化要靠信息系统的支持,通信则是信息系统的核心和桥梁。离开了通信来谈信息化是不可能的。今天,人们越来越倾向于以更为广义的信息通信的丰富内涵来替代相对狭义的通信的概念。

信息通信发展的目标是要实现无论何人在何时何地都能与另一用户(包括网站)进行用各种媒体表达的高质量的信息传输,实现各种信息服务。信息通信是一个巨系统,凡是人类活动之所及都能找到它的踪迹。信息通信同时又是一个整体,任何一种通信方式和通信技术都不可能孤立地存在、单独地发挥作用,各种通信方式和技术只有互相协同、配合和支撑才能构成一个完整的通信过程。当代信息通信系统还有一个特点是与计算机相互交融、相伴相随、密不可分。自 20 世纪以来,计算机与集成电子技术得到了飞速发展,与此相应,信息通信技术也呈现日新月异的发展态势。摩尔定律在信息通信领域同样显示出它的规律。

信息通信既是一个巨大的概念,又是一个巨大的系统,同时还是发展迅速、变幻莫测的领域。我们不敢奢望用一两本书的有限容量来展示它的全貌和魅力。显然,在世纪之初全面地回顾、盘点信息通信技术在近年的发展和现状,展望和评述它的趋势和变化,无疑是有意义的和必要的。基于此,北京邮电大学出版社聘请业界的著名专家、学者组成阵容强大的编委会,全面、深入、系统地分析并探讨当今信息通信最新技术的发展和未来发展的走向,条分缕析,精挑细选,决定策划出版一套反映信息通信技术最新发展及其热点的图书,并向信息通信领域的知名专家组稿。在经过周密而细致地论证、研讨,并得到方方面面的热情支持和鼎力相助之后,初步形成了现在由 4~5 个专辑组成的“新一代信息通信技术书系”。

由于覆盖面宽、内容庞大,该书系按技术基础和应用相近的原则划分为不

同的专辑,基本涵盖了当今信息通信技术发展的大部分前沿领域。每一专辑只介绍信息通信领域中的一种技术门类,包括原理综述,技术进展的评介和作者自己的工作成果。由于该书系的作者都是信息通信领域的知名学者和领军人物,他们撰写的内容无疑具有权威性和前瞻性,相信会得到广大读者的欢迎,并产生积极意义和影响。

在写作方式和篇幅上,书系不追求系统、严格和完善的理论分析,不追求大而无当的鸿篇巨制,而坚持立足于对相关技术的原理阐述、应用开发、趋势评介和引导等原则,尽可能做到深入浅出、规模适当,因此特别适合大多数信息通信和相关领域工程师及高等院校的教师学生以及从业人员阅读和参考。

本书系从一开始就得到许多领导和专家学者的热情支持和帮助,在此一并表示深切的感谢!

信息通信技术的发展变化极快,本书系虽尽可能顾及方方面面,但仍有一些内容没能被纳入,我们会不断地充实,在今后的一段时间内努力完善这一书系。另外,书系中的每一本书也会受种种条件的限制,在内容和行文中可能存在欠缺,对技术发展的评价也会因人而异,我们也并不追求一致。本书系虽经编委会、所有作者和编辑出版者的努力,但疏漏和错误在所难免,我们恳请读者的批评和建议,希望能把这一有意义的工作做得更好!

乐克新

于 2005 年新春

# 序

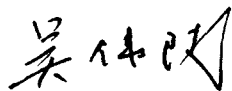
信息通信日新月异,无线技术前景无限。

为了尽快适应飞速发展的无线通信的需求,北京邮电大学出版社在 2004 年特别组织有关专家撰写了“新一代信息通信技术书系·无线通信专辑”,在这一专辑中为广大专业读者提供了近 10 本图书。在内容上,这些书大致可以分为两大类型:物理层技术与网络层技术。其中:

在物理层技术中,本专辑汇集了“移动通信中多媒体业务基础”、“无线通信中的先进 DSP 技术”等内容,同时还涉及以空域为主体的比较前沿的新技术“智能天线技术”、“无线通信中的多天线技术”。

在网络层技术中,则除了包含“移动通信中的资源管理”、“宽带移动互联网”等内容外,本专辑还包含更为前沿的新技术“无线网络中的信息安全”、“无线重构技术”和“异构网的业务综合”等。

以上内容将分别成书,陆续出版提供给广大的读者,同时,也殷切希望广大读者对本专辑的编写提出宝贵的意见,并提出新的需求,以便我们能进一步充实和改进,为读者提供更好的服务。



2005 年 3 月于北京邮电大学信息学院

随着第三代移动通信系统(3G)向商用化的迈进,更多研究人员已经把目光转向了对 3G 系统增强技术以及超三代(Beyond 3G)或被称之为第四代(4G)移动通信系统的研究,以满足未来更高速率、更大容量和更好服务质量的需求。这已成为当前国际性研究热点,新一代移动通信系统的标准化工作也已提上日程。在这一背景下,如何更高效地利用有限的频率和功率满足人们日益增长的无线传输需求成为研究移动通信信号处理技术的首要目标。本书以 3G 演进和新一代移动通信系统的开发为背景,详细介绍具有美好应用前景的移动通信先进信号处理技术,以及多种软硬件开发和实现方法,使读者能够从系统概念、技术算法、实现方法等多个层面加以深入的认识。

本书第 1 章主要介绍移动通信系统和信号处理技术的发展,介绍当前国内外 3G 演进、Beyond 3G/4G 发展的情况及新一代移动通信系统的特点,突出移动通信信号处理技术的发展趋势。第 2 章对无线信道进行全面描述,并分析单载波与多载波系统各自的传输特点,是新一代移动通信系统设计的重要参考。第 3~6 章分别介绍了 3G 演进以及未来移动通信中可能采用的关键信号处理技术,都是当前国内外移动通信信号处理的热点技术,包括高效信道编译码技术,例如 Turbo、Turbo 乘积码(TPC)、低密度奇偶校验码(LDPC),以及如何与高阶调制技术相结合提高信息传输速率;具有较高频谱利用率的多天线技术,例如空间复用、空间分集;链路自适应技术,例如自适应编码调制(AMC)、自动请求重传(ARQ)、信道预测;多用户检测和发送技术,例如多用户检测(MUD)、联合检测(JD)、联合发送(JT)。第 7 章对适宜短距离低功率无线通信的超宽带(UWB)无线传输技术进行介绍,并对其中的关键技术进行分析。第 8 章介绍移动通信先进信号处理技术的各种软硬件实现方法以及软件无线电的应用,给出采用最新 FPGA、DSP 等可编程器件实现先进信号处理算法的实例和原型系统的快速开发方法及实例。

本书面向移动通信、信号处理技术研究和该领域从事 FPGA/DSP 系统实现设计的广大科研和工程设计人员,可作为相关专业研究生和高年级本科生的参考教材。

本书产生于作者多年项目开发经验和知识的积累,更是凝聚了北京邮电大学无线新技术研究室多位老师和前后数届研究生们的集体智慧。全书内容由李立华博士组织编写并负责审校,王勇博士主要负责第 8 章内容的编写,张平教授对本书的组织提出了宝贵的建议,并对全书内容进行了审校。其中,崔琪楣、郭志恒、杨小辉、李霜、徐璠、方舒、朱晓萱等博士研究生为本书的编写贡献了他们宝贵的知识和精力。此外,在本书的编写过程中,刘宝玲副教授和陶小峰副教授也提出了许多建设性的意见。作者在此向直接和间接为本书的编写贡献力量的老师和同学致以真挚的谢意!

由于时间和水平所限,也因为本书内容多是当前移动通信研究中的热点技术,许多问题还在逐步研究之中,书中难免存在不当之处,恳请读者进行批评和指正,也欢迎读者与作者进行交流和讨论。

**作 者**

**2004 年 11 月于北京邮电大学**

# 目 录

## 第1章 引 言

|                           |   |
|---------------------------|---|
| 1.1 移动通信系统概述 .....        | 1 |
| 1.2 未来移动通信发展趋势 .....      | 2 |
| 1.2.1 新一代移动通信系统 .....     | 2 |
| 1.2.2 先进信号处理技术 .....      | 4 |
| 1.3 数字信号处理硬件实现技术的发展 ..... | 5 |
| 1.4 本书的结构与特色 .....        | 6 |
| 本章参考文献 .....              | 7 |

## 第2章 移动信道与多载波系统

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 2.1 概述 .....                     | 9  |
| 2.2 移动信道 .....                   | 10 |
| 2.2.1 大尺度衰落 .....                | 10 |
| 2.2.2 小尺度衰落 .....                | 11 |
| 2.2.3 广义平稳非相关散射(WSSUS)信道模型 ..... | 14 |
| 2.2.4 信号包络统计分布模型 .....           | 16 |
| 2.2.5 信号功率谱模型 .....              | 17 |
| 2.3 单载波与多载波系统分析 .....            | 19 |
| 2.3.1 单载波与 DS-CDMA .....         | 19 |
| 2.3.2 多载波与 OFDM .....            | 21 |
| 2.3.3 OFDM 与 CDMA 的结合 .....      | 26 |
| 2.4 小结 .....                     | 31 |
| 本章参考文献 .....                     | 31 |

## 第3章 高效信道编码与调制技术

|              |    |
|--------------|----|
| 3.1 概述 ..... | 33 |
|--------------|----|

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 3.2 移动通信系统中的信道编码技术 .....       | 34 |
| 3.2.1 数字通信系统中的差错控制 .....       | 34 |
| 3.2.2 信道编码技术在移动通信中的应用 .....    | 35 |
| 3.2.3 移动通信系统中的调制技术 .....       | 36 |
| 3.3 Turbo 码的原理及相关技术 .....      | 37 |
| 3.3.1 Turbo 编码的基本概念 .....      | 37 |
| 3.3.2 交织技术 .....               | 38 |
| 3.3.3 Turbo 码的译码 .....         | 41 |
| 3.3.4 Turbo 码的优势与应用 .....      | 43 |
| 3.4 TPC 码 .....                | 44 |
| 3.4.1 TPC 码的编码原理 .....         | 44 |
| 3.4.2 TPC 码的译码 .....           | 46 |
| 3.5 LDPC 码 .....               | 48 |
| 3.5.1 LDPC 码的定义 .....          | 48 |
| 3.5.2 LDPC 码的 Tanner 图表示 ..... | 49 |
| 3.5.3 LDPC 码的编码算法 .....        | 50 |
| 3.5.4 LDPC 码的译码 .....          | 53 |
| 3.5.5 LDPC 码的性能和优缺点 .....      | 54 |
| 3.6 编码与高阶调制相结合 .....           | 55 |
| 3.6.1 正交幅度调制及解调 .....          | 55 |
| 3.6.2 高频谱效率的联合编码调制方案 .....     | 58 |
| 3.7 小结 .....                   | 59 |
| 本章参考文献 .....                   | 59 |

## 第 4 章 多天线技术

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 4.1 概述 .....                    | 61 |
| 4.2 空时码 .....                   | 61 |
| 4.2.1 空时格码 .....                | 62 |
| 4.2.2 空时分组码 .....               | 64 |
| 4.2.3 空时编码的设计 .....             | 69 |
| 4.2.4 分层空时码 .....               | 72 |
| 4.3 基于特征空间的 MIMO 技术 .....       | 75 |
| 4.4 空间相关性对多天线技术的影响 .....        | 77 |
| 4.4.1 空时分组码 STBC 及空间相关性影响 ..... | 77 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 4.4.2 分层空时码 V-BLAST 及空间相关性影响 .....  | 78 |
| 4.4.3 基于特征空间的 MIMO 技术及空间相关性影响 ..... | 79 |
| 4.5 小结 .....                        | 80 |
| 本章参考文献 .....                        | 81 |

## 第 5 章 多用户处理技术

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 5.1 概述 .....                             | 82  |
| 5.2 多址技术及其发展 .....                       | 83  |
| 5.3 多用户检测 .....                          | 85  |
| 5.3.1 最佳多用户检测 .....                      | 86  |
| 5.3.2 线性多用户检测 .....                      | 86  |
| 5.3.3 干扰删除技术 .....                       | 92  |
| 5.4 联合检测 .....                           | 94  |
| 5.4.1 联合检测基本原理 .....                     | 95  |
| 5.4.2 多天线联合检测 .....                      | 96  |
| 5.4.3 联合检测结合智能天线 .....                   | 98  |
| 5.4.4 联合检测在第三代移动通信系统 TD-SCDMA 中的应用 ..... | 100 |
| 5.5 联合发送 .....                           | 102 |
| 5.5.1 联合发送基本原理 .....                     | 102 |
| 5.5.2 多天线联合发送 .....                      | 104 |
| 5.6 小结 .....                             | 106 |
| 本章参考文献 .....                             | 107 |

## 第 6 章 链路自适应技术

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 6.1 概述 .....                | 110 |
| 6.2 自适应调制 .....             | 111 |
| 6.2.1 基于门限判别的自适应调制 .....    | 111 |
| 6.2.2 多载波多天线自适应调制 .....     | 112 |
| 6.3 自适应功率和比特分配 .....        | 116 |
| 6.3.1 自适应功率和比特分配原则 .....    | 117 |
| 6.3.2 单用户子载波自适应分配算法分析 ..... | 117 |
| 6.3.3 多用户子载波自适应分配算法分析 ..... | 117 |
| 6.4 自动请求重发 (ARQ) .....      | 118 |
| 6.4.1 ARQ 技术 .....          | 118 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 6.4.2 HARQ 技术 .....      | 120 |
| 6.5 信道预测 .....           | 122 |
| 6.5.1 信道模型 .....         | 122 |
| 6.5.2 线性预测技术 .....       | 123 |
| 6.5.3 数据位置信道预测 .....     | 124 |
| 6.6 链路自适应控制与双工方式 .....   | 125 |
| 6.7 链路自适应有效性分析 .....     | 126 |
| 6.7.1 帧结构与信道时变性的影响 ..... | 127 |
| 6.7.2 额外信令开销的影响 .....    | 128 |
| 6.8 小结 .....             | 130 |
| 本章参考文献 .....             | 131 |

## 第 7 章 超宽带无线通信技术

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 7.1 超宽带无线通信的发展历史与标准化 .....                  | 133 |
| 7.2 超宽带技术的定义及特点 .....                       | 134 |
| 7.2.1 超宽带技术的定义 .....                        | 134 |
| 7.2.2 超宽带技术的主要特点 .....                      | 136 |
| 7.3 超宽带无线传输关键技术的研究 .....                    | 136 |
| 7.3.1 超宽带脉冲信号的波形设计与产生 .....                 | 136 |
| 7.3.2 超宽带小型化天线设计与收发前端的联合优化设计理论研究 .....      | 138 |
| 7.3.3 超宽带信号传播特性与信道模型 .....                  | 140 |
| 7.3.4 高性能接收系统的理论与技术 .....                   | 143 |
| 7.4 IEEE 802.15.3a 两大物理层方案 .....            | 147 |
| 7.4.1 Multi-band DS-CDMA PSK MBOK UWB ..... | 147 |
| 7.4.2 Multi-band OFDM UWB .....             | 151 |
| 7.5 超宽带无线通信技术的应用 .....                      | 155 |
| 7.5.1 勘测成像领域 .....                          | 155 |
| 7.5.2 通信领域 .....                            | 157 |
| 7.5.3 汽车电子领域 .....                          | 158 |
| 7.6 产业化新动向以及未来展望 .....                      | 158 |
| 7.6.1 DS-CDMA 阵营 .....                      | 158 |
| 7.6.2 MBOA 阵营 .....                         | 159 |
| 7.6.3 UWB 中国发展状况 .....                      | 160 |
| 7.7 小结 .....                                | 161 |

|        |     |
|--------|-----|
| 本章参考文献 | 161 |
|--------|-----|

## 第 8 章 移动通信信号处理的硬件实现技术

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 8.1 概述                              | 164 |
| 8.1.1 移动通信系统中的数字信号处理                | 164 |
| 8.1.2 数字信号处理器                       | 166 |
| 8.1.3 浮点/定点处理器和算法的定点化               | 171 |
| 8.1.4 数字信号处理系统开发流程                  | 173 |
| 8.2 通用数字信号处理器                       | 175 |
| 8.2.1 TI 公司 TMS320C6416T 定点 DSP     | 175 |
| 8.2.2 ADI 公司 TS201 浮点 DSP           | 177 |
| 8.3 阵列信号处理器                         | 180 |
| 8.3.1 picoChip                      | 181 |
| 8.3.2 可重配置阵列                        | 183 |
| 8.3.3 FastMATH                      | 185 |
| 8.3.4 现场可编程对象阵列                     | 187 |
| 8.3.5 光处理器 Enlight256               | 190 |
| 8.4 FPGA                            | 192 |
| 8.4.1 Stratix II/GX 系列 FPGA         | 193 |
| 8.4.2 Virtex 4 系列 FPGA              | 196 |
| 8.5 移动通信信号处理系统的硬件实现                 | 198 |
| 8.5.1 专用处理器、DSP、阵列处理器及 FPGA 的选择     | 198 |
| 8.5.2 数字信号处理器件的互连技术                 | 200 |
| 8.5.3 并行数字信号处理系统的体系结构               | 202 |
| 8.6 移动通信信号处理系统实例                    | 204 |
| 8.6.1 6 个 TS201 的 B2-AMC            | 204 |
| 8.6.2 Berkeley BEE 系统               | 205 |
| 8.6.3 采用多种数字信号处理器件 WCDMA 信道板        | 206 |
| 8.6.4 BUPT C6416 CPCI 系统            | 207 |
| 8.6.5 picoChip 开发系统                 | 208 |
| 8.6.6 基于 picoChip 的 HSDPA 微微蜂窝      | 209 |
| 8.6.7 Freescale 的 WCDMA/TD-SCDMA 方案 | 209 |
| 8.6.8 Vanu 公司的纯软件基站                 | 210 |
| 8.7 小结                              | 211 |
| 本章参考文献                              | 212 |

|     |     |
|-----|-----|
| 缩略语 | 213 |
|-----|-----|

## 1.1 移动通信系统概述

现代移动通信技术的蓬勃发展始于 20 世纪 80 年代中期,从当时第一代模拟移动通信系统(1G)商用开始至今,短短的几十年间经历了 20 世纪 90 年代初第二代数字移动通信系统(2G)从萌芽到完善的整个发展过程,直至今天人们对第三代移动通信系统(3G)的商用开发,足以证明移动通信的发展速度之快。到 2000 年底,全球移动用户已达 7.34 亿,目前仍以高于 50% 的速度在快速增长,至 2005 年全球移动用户可能高达 15 亿,手机普及率将达到 28%。中国市场方面,2003 年 10 月底,中国移动电话用户数量达到 2.569 亿户,首次超过固定电话用户数量,未来三到五年我国移动通信用户数量的平均增速约为 15%,预计 2005 年达 3.39 亿,2007 年达 4.05 亿。可见,移动通信的发展速度势不可挡,发展潜力巨大,它已经越来越广泛地渗透进人们的日常生活,成为我国乃至世界上各国主要的高新技术支柱产业之一。

人们对移动通信的各种需求和要求与日剧增,是推动移动通信飞速发展的主要原因之一,而技术的发展则从本质上构成了移动通信发展的基石。

第一代移动通信系统以解决用户动态匹配为核心,适当考虑了信道动态特性,实现了频分多址(FDMA)动态寻址功能;以蜂窝结构网为核心,利用频率规划实现用户大范围覆盖和用户大数量增长。

第二代移动通信系统采用数字化传输技术,较全面地考虑了用户和信道两个动态特性及其匹配措施。2G 中采用时分多址(TDMA)和码分多址(CDMA)技术实现动态寻址功能;以蜂窝网为核心,利用频率规划(在 GSM 中)和导频相位规划(在 IS-95 中)实现用户的大范围覆盖和用户大数量增长;采用性能优良的数字式调制(GMSK、QPSK)和性能优良的纠错编码(如卷积码、级联码)抗白噪声干扰;采用功率控制技术抗慢衰落和远近效应,这一点在 IS-95 的 CDMA 体制中最为突出;采用自适应均衡技术(在 GSM 中)和 RAKE 接收机(在 IS-95 中)抗频率选择性衰落和多址干扰;采用信道交织编码技术,比如帧间交织(在 GSM 中)和块交织(在 IS-95 中)抗时间选择性衰落;基站采用空间或极化分集技术抗空间选择性衰落。

第三代移动通信系统全面考虑并完善对用户、信道两个动态特性的匹配,适当考虑业务的动态性能。3G 中在无线传输方面采用了比 2G 更为有效的技术,为了克服 CDMA 中的多址干扰,采用多用户检测、智能天线、多天线分集等技术改善性能;为了实现与业务动态特性的匹配,3G 中采用了可实现不同速率业务间正交性能的 OVSF 码;针对数据业务要求误码率低且实时性要求不高的特点,对数据业务采用性能更优良的 Turbo 编码。第三代移动通信系统能够很好地支持大量的不同业务,并可以方便地引入新业务。各种不同的业务分别具有不同的业务特性,占用不同的带宽,从话音到视频所需的带宽差别很大。另外,对于不同的通信业务其性能要求也是不同的,如话音、视频需要具有较好的实时性和连续性,而电子邮件、网上下载等对时延并不是很敏感,但要求具有较高的数据可靠性。由此可见,对不同业务的实时性和服务质量的要求差别很大。同时,大量数据业务(如浏览网页、下载音乐)还需要上、下行不对称的传输。

## 1.2 未来移动通信发展趋势

### 1.2.1 新一代移动通信系统

第三代移动通信系统从 2001 年开始进入其商用阶段。纵观移动通信近 20 年的发展历程不难总结出以下规律:一个技术标准产生之后(甚至在它商用之前),其技术的缺陷或局限就已经暴露出来,而当该技术应用在市场上走向顶峰时,它刺激出来的市场需求正在超越其业务供给能力,新一代技术就会应运而生。第一代、第二代如此,第三代也印证了这一规律。一方面虽然 3G 较之 2G 可以提供更大容量、更高速率、更佳通信质量和更高频谱效率,但是随着对 3G 技术及应用研究的不断深化,3G 标准本身及其在支持高速数据、多媒体业务和资源综合优化利用等方面的局限性也逐渐显露出来。例如缺乏全球统一标准;话音交换架构仍承袭了 2G 的电路交换,而不是纯 IP 方式;流媒体(视频)的应用不尽如人意;数据传输率与人们的期望和要求相去甚远。因此,人们开始投入大量精力研究一些更加先进的技术,如多天线技术(MIMO)、空时码(STC)、链路自适应技术,以及一些新的系统结构和无线资源管理策略等。另一方面,进入 21 世纪后,人们更加迫切期望新一代移动通信系统能够支持高速数据和各种多媒体业务,具有足够的系统容量、高保密性和高服务质量,能够真正意义上实现人与人之间可以在任何时间和地点进行任何方式的通信。在技术和市场的双轮驱动下,新一代移动通信系统的研究以及标准化已被提上日程。

国际电信联盟(ITU)早在 1999 年 9 月就把“IMT-2000 及其以后的系统(Beyond IMT-2000)”的研究和标准化问题列入 ITU-R 的工作计划中。2000 年 10 月 6 日,由 ITU 发起成立了 Beyond IMT-2000 工作组,旨在统一全球移动通信标准。2001 年 10 月在东京进行的 ITU-R WP8F 会议上,已收到较多有关 Beyond IMT-2000 的研究提案,并初步

明确了 Beyond IMT-2000 研究的基本框架:Beyond IMT-2000 是指广泛应用于各种电信环境的无线系统的总和,包括蜂窝、固定无线接入、游牧(Nomadic)接入系统等。Beyond IMT-2000 的能力将涵盖并远远超出 IMT-2000 系统及其进行互连的无线系统的能力,涵盖了目前的 IMT-2000、无线接入、数字广播等系统的能力,并将新增两个部分:支持约 100 Mbps 的蜂窝系统和支持高达 1 Gbps 以上速率的游牧/本地无线接入系统等。ITU 给出的有关 Beyond IMT-2000 研究时间表中,其总体目标及远景已于 2002 年 6 月完成,将于 2007 年开始进行频谱规划,2010 年左右完成全球统一的标准化工作,2012 年之后开始商用。

超三代(Beyond 3G)或被称之为第四代移动通信系统(4G)研究现已成为国际性的研究热点,日本 NTT DoCoMo、美国 QUALCOMM、德国 SIEMENS,以及韩国 SAMSUNG、ETRI 等国际知名企业和研究机构都开展了对 Beyond 3G 技术的研究。2001 年 8 月,以欧美 5 大通信设备制造商(法国阿尔卡特、瑞典爱立信、美国摩托罗拉、芬兰诺基亚、德国西门子)为中心成立了无线世界研究论坛(WWRF),该论坛作为全球范围内探讨、研究 4G 标准的一个非营利组织,正在积极地推进 4G 标准的制订以及相关技术的发展。目前欧盟已把第四代移动通信系统列入了“第六框架研究计划”,2003 年 4 月 24 日启动第一阶段的研究项目。我国对第四代移动通信的研究工作也已经正式列入国家“十五”计划 863 项目和具有较高学术水平的国家自然科学基金项目。中国科学院和上海市政府也联合成立了移动通信技术研发中心,开始部署研究 Beyond 3G/4G 移动通信技术。我国 Beyond 3G/4G 研究一开始就强调国际合作,保持与国际先进行列同步发展。

无线多媒体和无线互联网是未来移动通信系统的重要目标,其关键问题是无线移动接入的高速化和 IP 化。目前,从无线传输、系统、业务和网络角度来看对新一代移动通信系统主要存在以下几点共识:

(1) 采用新的频段,比如 2~8 GHz,乃至更高。

(2) 广泛用于各种电信环境的无线系统的总和,包括卫星、蜂窝、WLAN 等;支持各种空中接口,并且可以与 Internet 直接联系在一起组成一个统一的全球性通信网络;是一种智能的、支持多种不同类型业务以及 QoS 要求的、可进行移动管理的完全融合无线移动和无线接入的全新网络体制的系统。

(3) 融合数字通信、数字音/视频接收和 Internet 接入的崭新无线多媒体系统;支持全 IP 高速分组数据传输,传输速率应能达到 100 Mbps;开放的网络业务平台,便于新业务的开发和加入,实现跨系统全球漫游和业务可携带性。

(4) 支持高的终端移动性和高的传输质量,并能够有效地支持在用户数据速率、用户容量、服务质量和移动速度等方面大动态范围的变化。

(5) 终端信号处理应简单,支持可重载特性。

为满足上述需求,未来 Beyond 3G 移动通信系统需要在网络体系和系统架构等方面具有全新的面貌,在信号处理关键技术和理论研究方面有所突破。