

# 无线网络

## 架构与演进趋势

W UXIAN WANGLUO JIAGOU YU  
YANJIN QUSHI

吕召彪 孙雷 王健全 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 无线网络架构与演进趋势

吕召彪 孙 雷 王健全 等编著



机械工业出版社

本书以无线网络架构及演进为主线,着重介绍包括第三代移动通信系统、宽带无线接入系统、LTE 系统等应用广泛且具有较大潜力的无线通信网络的体系架构、关键技术及应用情况等;在此基础上,针对未来网络演进的趋势,展现了多网络融合的架构、基带池组化无线网络架构及面向未来移动互联网业务的新型通信网络架构。

本书适合通信、计算机以及电子工程专业的高年级本科生和研究生作为无线通信系统架构相关专业课程的教材,同时也适合相关领域的从业人员作为技术参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

无线网络架构与演进趋势/吕召彪,孙雷,王健全等编著. —北京:机械工业出版社,2012.10

ISBN 978-7-111-39746-5

I. ①无… II. ①吕…②孙…③王… III. ①无线网—研究  
IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第217013号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:闫洪庆

版式设计:姜婷 责任校对:潘蕊

封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012年11月第1版第1次印刷

148mm×210mm·8印张·236千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-39746-5

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

纵观国内移动通信 30 年的发展，其经历了从第一代模拟移动通信到第二代（2G）和第三代（3G）数字移动通信系统的变革，并逐渐向全 IP 化的第四代移动通信系统演进。无线网络技术的增强，带来的是更大的系统带宽、更高的数据传输速率和更加丰富的业务应用。

深析移动通信系统演进过程中呈现的各种关键技术，虽然其涉及的层面不同且解决思路各异，但其本质目标和发展核心仍然是“提升频谱效率”。近年来，随着社会经济发展指标不断提高、用户体验需求不断提升、业务内容及模式不断丰富，无线通信网络呈现出多元化的演进趋势。然而，通信网络技术发展日新月异，尤其在无线通信领域，各种无线通信技术蓬勃发展，无线通信的飞速发展导致人们难以从整体上对主流无线通信的背景、架构及其关键技术体系有系统的把握，因此，本书的目的是以无线网络架构及其演进为主线，以当前主流的无线通信系统为重点，对各系统的架构、技术体系、特征、应用部署及演进情况进行综合性和概括性的阐述。

本书不仅是对已有无线通信系统的概括和总结，还根据作者在平时工作中的经验和研究，对未来无线通信网络演进方向进行探讨，包括多无线接入网络融合及协同的架构、关键技术体系，基带池组化无线接入网络架构及应用分析，面向未来移动互联网业务的新型通信网络架构 I-Net 等。本书对于未来网络演进方面的探讨，旨在为未来无线网络及其先进关键技术的应用和部署开





阔思路、扩展视野，起到抛砖引玉的作用。

I-Net 是本书作者研究团队在深入分析蜂窝移动通信网络现有架构在新形势下逐步显现的不足的基础上提出的新型网络架构。当前，移动互联网业务的迅猛发展对移动通信系统造成了极大的冲击：一方面，各种业务应用层出不穷，网络演进难以适应业务更新速度；另一方面，数据流量的剧增，网络面临着不断扩容和升级的压力。中国联通研究院网络技术研究中心一直致力于网络架构及其演进方面的研究，紧紧把握移动互联网及网络技术的发展趋势，创新性地提出一种可控可管的基站直通新型通信网络架构，即 I-Net。2012 年 3 月召开的“新型通信网络架构‘I-Net’研讨会”上，I-Net 被众多知名学者认为是我国在通信网络架构及演进方面的积极探索和有益尝试，是该领域的重大自主创新课题。

本书的主要特点是：每一通信系统、关键技术体系及其演进情况的介绍独立成章，各章内容既相互联系也相互独立，适合工程技术人员根据实际需求进行查阅；此外，本书介绍各种无线通信系统时，强调的是基本概念及整体网络架构，力求清晰明了，在介绍未来网络演进方向时，主要强调探索研究，力求新颖。

本书由中国联通研究院吕召彪博士、王健全博士、孙雷等编著，参加编写的人员还有王波、胡云、刘琪、马彰超、肖征荣。其中，王健全博士负责书稿选题及脉络梳理，并负责全书统稿。孙雷负责第 1 章、第 4 章及第 9 章的编写，王波负责第 2 章的编写，胡云负责第 3 章的编写，刘琪负责第 5 章的编写，马彰超负责第 6 章的编写，吕召彪负责第 7 章的编写，肖征荣负责第 8 章的编写。在本书编写过程中，得到了中国联通研究院网络技术研究中心无线研究室盛煜、杨军、赵婷婷、王友祥、范斌、张猛、李新中、胡泽妍、乌云霄、宋蒙、许璐、仪鲁男、路玮、王蕴实、



赵元、侯竞雄等同仁的大力支持和帮助，他们对本书的编写提出了很多建议和意见，并参与了部分内容的编写；另外，机械工业出版社也给予了大力支持，在此一并表示诚挚的感谢。同时，本书在编写过程中，参考了许多通信业内作者和单位的论文、书籍和技术资料，在此对所有相关作者表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不足或欠妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

# 目 录

## 前言

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....                 | 1  |
| 1.1 无线通信网络发展概述 .....                  | 1  |
| 1.1.1 蜂窝移动通信系统发展历程 .....              | 2  |
| 1.1.2 宽带无线接入系统发展历程 .....              | 3  |
| 1.2 无线通信网络演进的驱动力 .....                | 6  |
| 1.3 本书内容安排 .....                      | 8  |
| 参考文献 .....                            | 9  |
| <b>第 2 章 第三代移动通信网络及其演进</b> .....      | 11 |
| 2.1 3G 系统演进背景 .....                   | 11 |
| 2.2 WCDMA 系统及演进 .....                 | 13 |
| 2.2.1 WCDMA 系统架构 .....                | 14 |
| 2.2.2 WCDMA 空中接口信道 .....              | 17 |
| 2.2.3 HSPA 系统概念及演进 .....              | 24 |
| 2.2.4 HSPA 对无线网络架构的影响 .....           | 26 |
| 2.3 TD-SCDMA 系统 .....                 | 26 |
| 2.3.1 TD-SCDMA 网络架构 .....             | 29 |
| 2.3.2 TD-SCDMA 空中接口 .....             | 29 |
| 2.4 cdma2000 系统及演进 .....              | 35 |
| 2.4.1 cdma2000 网络架构 .....             | 37 |
| 2.4.2 cdma2000 Ev-DO 及 Ev-DV 演进 ..... | 41 |
| 2.5 3G 在中国 .....                      | 45 |
| 2.5.1 3G 在中国的发展 .....                 | 45 |
| 2.5.2 中国联通 WCDMA 网络现状 .....           | 46 |
| 2.5.3 中国联通 3G 网络演进规划 .....            | 47 |

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 2.6 本章小结 .....                    | 48        |
| 参考文献 .....                        | 49        |
| <b>第3章 宽带无线接入网络及其演进 .....</b>     | <b>51</b> |
| 3.1 宽带无线接入网络发展需求 .....            | 51        |
| 3.2 IEEE 对宽带无线接入网络的标准化发展 .....    | 53        |
| 3.2.1 IEEE 标准组织及其工作 .....         | 53        |
| 3.2.2 IEEE 802 系列标准 .....         | 53        |
| 3.3 IEEE 802.11 系列网络 .....        | 55        |
| 3.3.1 IEEE 802.11 系列网络演进过程 .....  | 55        |
| 3.3.2 IEEE 802.11 系列网络系统架构 .....  | 58        |
| 3.3.3 IEEE 802.11 MAC 层协议简介 ..... | 60        |
| 3.4 IEEE 802.16 系列网络 .....        | 64        |
| 3.4.1 IEEE 802.16 系列网络演进过程 .....  | 67        |
| 3.4.2 IEEE 802.16 系列网络系统架构 .....  | 68        |
| 3.5 运营商 WLAN 网络 .....             | 73        |
| 3.5.1 国内运营商 WLAN 网络 .....         | 74        |
| 3.5.2 中国联通的 WLAN 测试情况 .....       | 75        |
| 3.6 本章小结 .....                    | 77        |
| 参考文献 .....                        | 77        |
| <b>第4章 3GPP 长期演进系统 .....</b>      | <b>79</b> |
| 4.1 LTE 演进历程 .....                | 79        |
| 4.1.1 LTE 标准化历程 .....             | 80        |
| 4.1.2 LTE 系统需求 .....              | 82        |
| 4.2 LTE 系统架构 .....                | 88        |
| 4.2.1 LTE 系统整体网络架构 .....          | 89        |
| 4.2.2 无线接入网架构 .....               | 89        |
| 4.2.3 核心网架构 .....                 | 93        |
| 4.2.4 LTE 系统接口 .....              | 96        |
| 4.2.5 3G 与 LTE 的系统架构差异分析 .....    | 98        |



|            |                                   |            |
|------------|-----------------------------------|------------|
| 4.3        | LTE 系统架构的未来演进——LTE-Advanced ..... | 100        |
| 4.3.1      | LTE-Advanced 系统指标及关键技术 .....      | 100        |
| 4.3.2      | LTE-Advanced 系统中的异构网络 .....       | 107        |
| 4.3.3      | LTE-Advanced 系统中的多点协作传输架构 .....   | 113        |
| 4.4        | LTE 国际商用/试验情况简述 .....             | 115        |
| 4.5        | 本章小结 .....                        | 116        |
|            | 参考文献 .....                        | 117        |
| <b>第5章</b> | <b>基带池组化 RAN 架构</b> .....         | <b>119</b> |
| 5.1        | 引言 .....                          | 119        |
| 5.2        | 基带池组化 RAN 架构技术介绍 .....            | 120        |
| 5.2.1      | 传统无线网络的存在问题 .....                 | 120        |
| 5.2.2      | 基带池组化 RAN 架构技术框架 .....            | 122        |
| 5.2.3      | 基带池组化 RAN 架构优势 .....              | 123        |
| 5.2.4      | 基带池组化 RAN 架构关键技术 .....            | 124        |
| 5.2.5      | 小结 .....                          | 127        |
| 5.3        | 基带池组化 RAN 架构可行性分析 .....           | 128        |
| 5.3.1      | 基带池组化 RAN 架构的成本可行性分析 .....        | 128        |
| 5.3.2      | 基带池组化 RAN 架构的技术可行性分析 .....        | 135        |
| 5.3.3      | 小结 .....                          | 143        |
| 5.4        | 未来 RAN 架构分析 .....                 | 144        |
| 5.4.1      | 未来 RAN 架构发展趋势分析 .....             | 145        |
| 5.4.2      | 未来 RAN 架构性能分析 .....               | 145        |
| 5.4.3      | 未来 RAN 架构成本分析 .....               | 148        |
| 5.4.4      | 小结 .....                          | 150        |
| 5.5        | 本章小结 .....                        | 151        |
|            | 参考文献 .....                        | 151        |
| <b>第6章</b> | <b>无线异构网络融合架构</b> .....           | <b>153</b> |
| 6.1        | 无线异构网络概述 .....                    | 153        |
| 6.1.1      | 无线异构网络概念及其演进趋势 .....              | 154        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 6.1.2 无线异构网络融合的研究现状 .....         | 155        |
| 6.2 无线异构网络融合的网络架构与关键技术 .....      | 158        |
| 6.2.1 异构网络融合的网络架构 .....           | 158        |
| 6.2.2 无线异构网络融合的关键技术 .....         | 168        |
| 6.3 中国联通对异构网络融合的思考 .....          | 189        |
| 6.3.1 2G/3G 与 LTE 网络的融合 .....     | 189        |
| 6.3.2 WLAN 与蜂窝网络的融合 .....         | 193        |
| 6.4 本章小结 .....                    | 197        |
| 参考文献 .....                        | 197        |
| <b>第 7 章 新型通信网络架构 I-Net .....</b> | <b>200</b> |
| 7.1 引言 .....                      | 200        |
| 7.1.1 背景 .....                    | 200        |
| 7.1.2 I-Net 愿景 .....              | 201        |
| 7.2 移动通信网络架构的发展现状与挑战 .....        | 202        |
| 7.2.1 移动业务促发网络演进 .....            | 202        |
| 7.2.2 移动网络架构的发展现状与演进趋势 .....      | 206        |
| 7.3 I-Net 架构 .....                | 210        |
| 7.3.1 I-Net 架构功能 .....            | 210        |
| 7.3.2 I-Net 架构意义 .....            | 213        |
| 7.4 I-Net 关键技术框架 .....            | 214        |
| 7.4.1 业务本地化决策 .....               | 214        |
| 7.4.2 支持业务本地化的资源控制 .....          | 216        |
| 7.4.3 本地化网络管理 .....               | 218        |
| 7.4.4 移动性管理 .....                 | 220        |
| 7.4.5 多基站协作资源管理 .....             | 222        |
| 7.5 本章小结 .....                    | 223        |
| 参考文献 .....                        | 224        |
| <b>第 8 章 无线通信网络中的频率规划 .....</b>   | <b>225</b> |
| 8.1 2G 频率现状 .....                 | 225        |



|              |                    |            |
|--------------|--------------------|------------|
| 8.2          | 3G 频率              | 228        |
| 8.3          | LTE 频率             | 229        |
| 8.3.1        | 450 ~ 470 MHz      | 229        |
| 8.3.2        | 698 ~ 806MHz       | 233        |
| 8.3.3        | 2300 ~ 2400MHz     | 236        |
| 8.3.4        | 2500 ~ 2690MHz     | 237        |
| 8.3.5        | 3400 ~ 3600MHz     | 239        |
|              | 参考文献               | 241        |
| <b>第 9 章</b> | <b>未来无线通信网络的发展</b> | <b>243</b> |
| 9.1          | 本书内容回顾             | 243        |
| 9.2          | 无线网络架构发展趋势分析       | 243        |





## 绪 论

### 1.1 无线通信网络发展概述

无线通信是利用电磁波信号在自由空间中的传播特性进行信息传输和交换的一种通信方式。由于无线通信突破了固定有线通信对收发端地理位置的束缚，大大拓展了人们通信和活动的范围。随着无线通信技术的发展，人类提出了通信的最高目标，也即个人通信的目标：利用各种可能的网络技术实现用任何终端（Whichever）、在任何时间（Whenever）、任何地点（Wherever）与任何人（Whoever）进行任何种类（Whatever）的信息交互。无线通信是实现个人通信最高目标的必由之路，正因为如此，从 1896 年马可尼发出第一封无线电报开始，无数杰出的科学家和工程师投入了无线通信的研究，为无线通信技术所取得的巨大成就奠定了坚实的基础。

根据所采取的通信设备、通信内容及通信方式的不同，无线通信网络又能够细分为多种无线通信系统，包括蜂窝移动通信系统、集群调度移动通信系统、卫星移动通信系统、无线电寻呼系统、宽带无线接入系统等。而当前在人们日常生活中应用最为广泛的的就是蜂窝移动通信系统和无线宽带接入系统，这两个系统能够为用户提供内容丰富的业务，而且这两个系统的发展改变了人们日常的通信方式，并逐步将人与人之间的通信扩展到泛在环境下人与物、物与物之间的通信，真正将信息通信技术（Information and Communication Technology, ICT）的触角延伸到人们周围，更好地为人类的生产和生活服务。因此，本节将着重介绍蜂窝移动通信系统和无线宽带接



入系统的发展历程。

### 1.1.1 蜂窝移动通信系统发展历程

今天人们使用最为频繁的手机通信，就属于蜂窝式公用移动通信系统，该系统也是全球使用者最多的无线通信系统。从蜂窝移动通信系统开始商用到现在，只不过短短 30 多年的时间，其技术发展突飞猛进，已经使得蜂窝移动通信方式融入了人们的生活。

第一代（1G）蜂窝移动通信系统采用频分多址的通信方式，并且是模拟通信系统，直接将语音信号调制到相应的频点后发送。这种通信系统典型的有美国的先进移动电话系统（Advanced Mobile Phone System, AMPS）及欧洲的全入网通信系统（Total Access Communication System, TACS）。这两个系统均是模拟通信系统，提供了全双工的通信方式。它在地域上将覆盖范围划分成多个小单元，每个单元使用频带的一部分。通过这样的频率复用方法，能够在一定程度上提高频率资源的使用效率。第一代蜂窝移动通信系统最大的贡献就是摆脱了电话线的束缚，使得用户第一次能够在移动状态下无线接收和拨打电话。然而，由于模拟系统自身的缺陷，使得模拟移动通信系统难以满足用户的通信需求，如业务单一，只能提供通话质量较差的语音业务；模拟移动通信网络覆盖范围下，存在覆盖与容量局限问题；终端体积大，样式少，成本高；保密性差等。因此，在众多移动通信研究专家和工程师的推动下，在 20 世纪 90 年代初期开发出了数字蜂窝移动通信系统，即第二代（2G）移动通信系统。

由于第二代移动通信系统基于数字通信，克服了模拟系统存在的诸多缺陷，能够为用户提供优质的语音通信服务，因此其一经推出就得到了迅猛发展，迅速取代了模拟移动通信系统，在短短十几年时间里成为了全球范围的、最大的移动通信网络，并能够为用户提供无缝的国际漫游。从目前的使用情况看，全球主要的第二代移动通信系统主要以 GSM（全球移动通信系统）和 IS95 系统为主。其中 GSM 采用时分多址（Time Division Multiple Access, TDMA）的接入方式，而 IS95 系统采用码分多址（Code Division Multiple Access, CDMA）的接入方式。与第一代模拟蜂窝移动通信相比，第二代移



移动通信系统采用了数字化，具有保密性强、频谱利用率高、能提供丰富的业务、标准化程度高等特点。

虽然 2G 系统能够提供良好的语音通信服务，但是人们已经不再满足于单一的业务内容，而且运营商也在不断寻找扩大其盈利范围的增值服务。尤其是随着互联网的发展，人们对在移动通信系统中使用数据业务的需求与日俱增。为了不对现有系统进行大的改动，研究人员在 2G 系统架构的基础上适当增加了一些网络和一些适合数据业务的协议，使得 2G 系统也能提供一定速率的数据业务，即 2.5G 系统。可以说，2.5G 系统只是一个过渡系统，由于其系统架构和传输技术上的先天不足，使得其不能改变传输速率过低的局面，因此 3G 系统应运而生。

3G 是指将无线通信与国际互联网等多媒体通信相结合的新一代移动通信系统。2000 年 5 月，国际电信联盟（ITU）确定 WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 作为 3G 系统的全球三大标准。此后，在 2007 年 10 月，无线宽带技术 WiMAX 也成为了正式 3G 标准，标志着宽带接入技术向移动通信系统的逐渐渗透。与前面两代移动通信系统的设计不同，3G 系统设计之初，考虑的就是为用户提供内容丰富的数据业务。3G 系统能够处理图像、音乐、视频流等多种媒体形式，提供包括网页浏览、电话会议、电子商务等多种信息服务。

在技术发展、业务需求和外部竞争的驱动下，3G 系统开始了向带宽更大、速率更高、技术更先进、业务内容更丰富的 LTE（长期演进）系统的逐步演进。LTE 系统以 OFDM（正交频分复用）和 MIMO（多人多出）技术为基础，是一种满足更低传输时延、更大数据传输速率、增强型系统容量和覆盖、具有扁平化架构的移动通信标准。

在 ITU 提出了作为 4G 标志的 IMT-Advanced 系统需求和指标后，世界各国的标准化组织、运营商及通信设备厂商又开始了新的针对 LTE 系统的演进计划，提出了更为先进的 LTE-Advanced 系统。

### 1.1.2 宽带无线接入系统发展历程

移动通信的迅猛发展，大大超出了系统设计者们的预期。随着业务类型的不断丰富，用户数目也在不断增长，使得移动通信成为



了通信领域发展最为迅速的市场。在此背景下，非传统的设备商如 Intel 等 IT 设备厂商也将目光投向了移动通信市场，利用其在固定宽带接入技术方面的优势，将宽带技术无线化，提出了与移动通信系统相抗衡的无线宽带技术系统，其中以 IEEE（美国电气与电子工程师学会）提出的 IEEE 802.11 系列标准和 IEEE 802.16 系列标准最为典型。

随着无线通信技术的广泛应用，传统局域网络已经越来越不能满足人们的需求，于是无线局域网（Wireless Local Area Network, WLAN）应运而生，且发展迅速。无线局域网（WLAN）技术可以非常便捷地以无线方式连接网络设备，人们可随时、随地、随意地访问网络资源。在推动网络技术发展的同时，无线局域网也在改变着人们的生活方式。无线局域网是无线通信技术与网络技术相结合的产物。从专业角度讲，无线局域网就是通过无线信道来实现网络设备之间的通信，并实现通信的移动化、个性化和宽带化。通俗地讲，无线局域网就是在不采用网线的情况下，提供以太网互联功能。

### 1. 无线局域网的发展

1997 年，美国电气与电子工程师学会（IEEE）发布了无线局域网领域第一个在国际上被认可的协议——IEEE 802.11 协议。此后，于 1999 年 9 月提出了 IEEE 802.11b 协议作为补充。在接下来的时间里，IEEE 又陆续发布了 IEEE 802.11a、IEEE 802.11g 和 IEEE 802.11n。

IEEE 802.11b 也被称为 Wi-Fi 技术，采用补码键控（CCK）调制方式，使用 2.4GHz 频带，其对无线局域网通信的最大贡献是可以支持 5.5Mbit/s 和 11Mbit/s 两种速率。多速率机制的媒体接入控制（MAC）可确保当工作站之间距离过长或干扰太大、信噪比低于某个门限值时，传输速率能够从 11Mbit/s 自动降到 5.5Mbit/s，或根据直序扩频（DSSS）技术调整到 2Mbit/s 和 1Mbit/s。在不违反 FCC（美国联邦通信委员会）规定的前提下，采用跳频技术无法支持更高的速率，因此需要选择 DSSS 作为该标准的惟一物理层技术。

IEEE 802.11a 采用正交频分复用（OFDM）技术调制数据，使用 5GHz 的频带。OFDM 技术将无线信道分成以低数据速率并行传输



的分频率，然后再将这些频率一起放回接收端，可提供 25Mbit/s 的无线 ATM（异步传输模式）接口和 10Mbit/s 的以太网无线帧结构接口，以及 TDD（时分双工）/TDMA（时分多址）的空中接口。在很大程度上可提高传输速度，改进信号质量，克服干扰。物理层速率可达 54Mbit/s，传输层可达 25Mbit/s，能满足室内及室外的应用。

2001 年 11 月，在 IEEE 802.11 会议上形成了 IEEE 802.11g 标准草案，目的是在 2.4GHz 频段实现 802.11a 的速率要求。该标准将于 2003 年初获得批准。IEEE 802.11g 采用 PBCC（分组二进制卷积编码）或 CCK/OFDM 调制方式，使用 2.4GHz 频段，对现有的 IEEE 802.11b 系统向下兼容。它既能适应传统的 802.11b 标准（在 2.4GHz 频率下提供的数据传输率为 11Mbit/s），也符合 IEEE 802.11a 标准（在 5GHz 频率下提供的数据传输率为 56Mbit/s），从而解决了对已有的 IEEE 802.11b 设备的兼容。用户还可以配置与 IEEE 802.11a、IEEE 802.11b 以及 IEEE 802.11g 均相互兼容的多方式无线局域网，有利于促进无线网络市场的发展。

IEEE 802.11n 的标准到 2009 年才被 IEEE 正式批准发布，其标准化进程已经落后于产品的开发。在传输速率方面，IEEE 802.11n 可以将 WLAN 的传输速率由目前 IEEE 802.11a 及 IEEE 802.11g 提供的 54Mbit/s，提高到 300Mbit/s 甚至高达 600Mbit/s。得益于将 MIMO（多入多出）与 OFDM（正交频分复用）技术相结合而应用的 MIMO-OFDM 技术，提高了无线传输质量，也使传输速率得到极大提升。在覆盖范围方面，IEEE 802.11n 采用智能天线技术，通过多组独立天线组成的天线阵列，可以动态调整波束，保证让 WLAN 用户接收到稳定的信号，并可以减少其他信号的干扰。因此其覆盖范围可以扩大到好几平方千米，使 WLAN 移动性极大提高。在兼容性方面，IEEE 802.11n 采用了一种软件无线电技术，它是一个完全可编程的硬件平台，使得不同系统的基站和终端都可以通过这一平台的不同软件实现互通和兼容，这使得 WLAN 的兼容性得到极大改善。这意味着 WLAN 将不但能实现 IEEE 802.11n 向前后兼容，而且可以实现 WLAN 与无线广域网络的结合，比如 3G。

虽然 IEEE 已经发布了多个 WLAN 的标准，并且 WLAN 在市场



上也得到了广泛的应用，而且近期越来越多地被运营商采纳作为移动通信系统的数据分流系统和补充系统。然而，由于 WLAN 设计之初的理念，导致其依然面临带宽不足、漫游不方便、网管不强大、系统不安全和没有“杀手级”的应用等方面的难题和挑战。

## 2. WiMAX 发展

WiMAX 全称为全球微波互联接入 (World Interoperability for Microwave Access)，它是一项无线城域网技术，是针对微波和毫米波段提出的一种新的空中接口标准，其所基于的协议是 IEEE 提出的 IEEE 802.16 系列标准。

WiMAX 在设计之初，其目标就是将宽带接入技术引入移动通信，从而与传统的以 CDMA 技术为主的 3G 移动通信系统相抗衡，因此，它具有经济便捷、运行简单、容量高、覆盖面广、能提供高速宽带业务等突出优点，而且支持终端的移动性。

IEEE 802.16 标准于 2002 年 4 月 3 日正式颁布。该标准包括一个灵活的 MAC 层。而物理层则定义在 10~66GHz 频率之间工作，这一频谱被默认为本地多点分布服务 (LMDS) 的频谱。根据是否支持移动特性，IEEE 802.16 标准可以分为固定宽带无线接入空中接口标准和移动宽带无线接入空中接口标准。修改后的 IEEE 802.16a 标准主要用于 2~11GHz 的公开波段，其中 IEEE 802.16a、IEEE 802.16d 属于固定宽带无线接入空中接口标准，而 IEEE 802.16e 则属于移动宽带无线接入空中接口标准。IEEE 802.16d 是 2~66GHz 的固定宽带无线接入系统标准，已于 2004 年 6 月在 IEEE 802 委员会获得通过。IEEE 802.16e 是 2~6GHz、支持移动宽带无线接入空中接口标准，该标准已于 2005 年 12 月正式在 IEEE 上通过。

IEEE 802.16e 是为支持移动性而设计的，目前定位的目标速率为车速，即可以支持 120km/h 的移动速率。IEEE 802.16e 系统可用于便携、低速移动，此外，支持固定场景的应用。同时一些与管理平面相关的标准也即将完成制定工作。

## 1.2 无线通信网络演进的驱动力

无线通信系统的演进，并非是仅仅依靠技术的发展，用户的业





务需求在网络演进过程中也扮演了重要的角色。而业务需求和技术发展这两者间又是相互促进、相辅相成的关系。业务需求促进了新技术的研究，而先进技术的发展又会带来业务模式和业务内容的革新。因此，正是在技术发展和业务需求的双重推动下，促使无线通信系统由模拟走向数字、由电路域交换走向分组域交换、由单一业务内容走向多样化业务内容、由网络孤岛式发展走向多网络协作融合。

业务需求推动无线通信网络的演进。在无线通信网络发展之初，其承载的业务主要是语音业务和无线电报业务。然而，当简单的无线通信满足了人们能够在移动状态下接听和拨打电话的需求后，人们期望着无线通信网络能够提供更多的业务，以满足大家生活、生产和娱乐的需求。特别地，有线宽带互联网已经走进每个家庭，并为用户提供了基于因特网的丰富的业务内容和体验方式，这些多元化、人性化、个性化的互联网业务已经融入了用户的生活、娱乐和工作，但有线宽带接入的方式在时间、空间和便捷性方面大大限制了用户的业务体验；因此，用户期望着能够通过无线接入随时随地享受到丰富的互联网业务。在此背景下，移动业务娱乐化和宽带化的需求愈发明显，例如，手机电视、手机游戏、视频短片下载等业务越来越受到公众欢迎，用户使用率明显提高。据预测，以多媒体业务为主的移动宽带业务将是全球及中国未来几年发展最快的业务。因此，当用户的业务需求不断扩展和延伸时，无线通信系统的功能及架构也会根据业务需求的上升而向更加先进的系统架构和功能演进。

技术发展推动无线通信网络的演进。无线技术研究的速度远远超过了网络演进的速度，通过无线技术的研究，能够克服现有网络面临的困境和难题，从而满足当前用户的业务需求；另一方面，先进无线技术的突破和提出，能够极大地提升现有网络的性能，如频谱利用率、干扰及覆盖等方面的性能，从而为网络的演进辨明了发展方向，例如 MIMO 技术的提出，将无线资源的概念在空间上进行了扩展，从而极大地提升了网络的容量，而为了能够实现 MIMO 技术，则需要网络从协议栈设计到硬件设备等各方面的支持，实现网





络结构的优化调整和演进。

总而言之，网络的演进是在技术、业务、市场等众多因素的推动下发生的前进过程。特别是各种无线接入技术蓬勃发展的今天，无线通信系统将不再以单一的无线接入技术的演进为标志，而是一个能够包容多无线接入系统共存，并包容不同网络采取不同演进路线的高度异构性网络。

### 1.3 本书内容安排

本书共分9章，重点介绍无线通信网络架构，其中，第1章介绍了移动通信系统及宽带无线接入系统的发展历程，并简要阐述了业务需求对于网络演进的驱动。第2章着重介绍了第三代移动通信系统，包括WCDMA系统及HSPA系统、TD-SCDMA及cdma2000网络架构及其后续演进系统，并结合最新的数据，简要介绍了3G在中国的发展状况。第3章重点介绍宽带无线接入网络及其演进，包括IEEE 802.11系列网络及IEEE 802.16系列网络协议结构及网络演进。第4章介绍了3GPP（第三代合作伙伴计划）长期演进（LTE）系统及面向4G需求的LTE-Advanced系统，着重介绍了LTE系统架构及LTE-Advanced系统中新提出的演进网络结构，并介绍了LTE的全球商用和大规模试验情况。第5章和第6章介绍的内容均是在无线网络演进过程中由于技术演进及业务需求的双重驱动下出现的新型无线网络架构。其中，第5章介绍了基带池组化RAN（无线接入网络）架构，所提出的网络结构改变了传统基站的形态，形成了将多个基站的基带处理单元（BBU）集中部署形成基带池（Baseband Pool），并通过光纤实现远端射频单元（RRU）拉远覆盖的新型网络部署方式。第6章介绍了在多无线接入技术共同驱动下而提出的无线异构融合网络架构，该章介绍了面向未来多网络融合中可能出现的融合网络架构，并就其中的关键技术进行了简要的阐述。第7章介绍了作者所在科研团队面向移动互联网业务需求而提出的一种新型通信网络架构。无线频率是无线通信系统存在的基石，历来也是各个国家、不同运营商之间的必争之地，因此，没有无线频谱规划，就没有无线网络的发展，基于此考虑，第8章介绍了无线频谱规划



的内容, 包括 ITU、3GPP 等标准化组织对于无线频谱的最新规划和动态。最后, 第 9 章对全书进行了总结。

## 参考文献

- [1] T Zaharidis. Trends in the path to 4G [J]. Communications Engineer, 2003; 12-15.
- [2] ITU-R M. 2038. “Technology Trends”, 2004. <http://www.itu.int>.
- [3] E Hossain. Heterogeneous Wireless Access Network. Springer, 2008.
- [4] ITU-R M. 1645. Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000, 2003.
- [5] S Frattasi et al. Defining 4G technology from the users perspective [J]. IEEE Network, 2006, 20 (1): 35-41.
- [6] Saifur R, Manisa P, Alternate technologies for telecommunications and Internet access in remote locations, In Proc. 3rd Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, Greece, Nov. 2002, pp. 1352-1358.
- [7] H Shinde, M Borse. High-rate wireless personal area networks [J]. In Proc. Of 2005 IEEE International Conf. on Personal Wireless Communications, 2005; 19-23.
- [8] B P Crow, et al. IEEE 802.11 wireless local area networks [J]. IEEE Communications Magazine, 1997, 35 (9): 116-126.
- [9] R Chakravorty, et al. Performance optimizations for wireless wide area networks; Comparative study and experimental evaluation, Mobicom'04, Sept. 26-Oct. 1, 2004.
- [10] I F Akyildiz, S Mohanty, J Xie. A Ubiquitous Mobile Communication Architecture for Next-generation Heterogeneous Wireless Systems [J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43 (6): 29-36.
- [11] 沈嘉, 等. 3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [12] 沈嘉. IMT-Advanced 无线空中接口关键技术 [J]. 电信科学, 2007 (9).
- [13] IEEE Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 8; IEEE 802.11 Wireless Network Management, 2011.
- [14] IEEE Draft Standard for Local and metropolitan area networks; Air Interface



for Broadband Wireless Access Systems (Revision of IEEE std 802.16e, std 802.16f and std 802.16g), 2009.

[15] P Demestichas, et al.. Evolution in wireless systems management concepts: from composite radio to reconfigurability [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42 (5): 90-98.

[16] Z Hu, L Sun, H Tian. A framework of access network architecture for 4G systems based on cognitive radio, In Proc. Of the 5th International Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009: 1-4.

[17] Wireless world research forum. <http://www.wireless-worldresearch.org>

[18] “XG-Next Generation Communications” Preston Marshall, WWRF 10 Opening Plenary, New York City, 27th Oct. 2004.

[19] NGMN, “Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO-A White Paper”, [www.ngmn.org](http://www.ngmn.org).

[20] 曹淑敏. 走向宽带泛在的无线移动通信 [J]. 世界电信, 2009, 22 (12): 43-45.

[21] 张平. 移动泛在融合的通信业务发展趋势 [J]. 电信工程技术与标准化, 2008, 21 (1): 1-5.

[22] 李军. 异构无线网络融合理论与技术实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.

[23] 赵利, 符杰林, 宁向延, 等. 现代通信网络及其关键技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.



# 第三代移动通信网络及其演进

在标准化之初，第三代移动通信系统被业内寄予厚望，均认为第三代移动通信系统能够结束 2G 中多种标准共存的现状，并真正为用户提供具有宽带特征的高速数据业务。然而，事实并非如此，第三代移动通信系统最终出现了多种标准，并在全球范围内形成了不同的商用网络。此外，随着技术的进一步增强，基于 3G 技术的网络也在向着更大带宽、更高数据速率、更丰富业务应用的方向演进。

本章主要介绍了第三代移动通信系统中 WCDMA、TD-SCDMA 及 cdma2000 系统及其演进系统，并结合最新的数据简要阐述了 3G 系统在中国的发展现状。

## 2.1 3G 系统演进背景

第三代移动通信系统（IMT-2000），在第二代移动通信技术基础上进一步演进的以宽带 CDMA 技术为主，并能同时提供语音和数据业务的移动通信系统，亦即未来移动通信系统，是一代有能力彻底解决第一、二代移动通信系统主要弊端的先进的移动通信系统。第三代移动通信系统的一个突出特色就是，要在未来移动通信系统中实现个人终端用户能够在全球范围内的任何时间、任何地点，与任何人，用任意方式、高质量地完成任何信息之间的移动通信与传输。可见，第三代移动通信十分重视个人在通信系统中的自主因素，突出了个人在通信系统中的主要地位，所以又叫做未来个人通信系统。

众所周知，在第二代移动通信系统中，通信标准的无序性所产生的百花齐放局面，虽然极大地促进了移动通信前期局部性的高速



发展，但也较强地制约了移动通信后期全球性的进一步开拓，即包括不同频带利用在内的多种通信标准并存局面，使得“全球通”漫游业务很难真正实现，同时现有带宽也无法满足信息内容和数据类型日益增长的需要。第二代移动通信所投入的巨额软硬件资源和已经占有的庞大市场份额决定了第三代移动通信只能与第二代移动通信在系统方面兼容地平滑过渡，同时也就使得第三代移动通信标准的制定显得复杂多变，难以确定<sup>[1]</sup>。

伴随芬兰赫尔辛基国际电信联盟（ITU）大会落下帷幕，在由中国所制订的 TD-SCDMA、美国所制订的 cdma2000 和欧洲所制订的 WCDMA 所组成的最后三个提案中，几经周折后，最终将确定一个提案或几个提案兼容来作为第三代移动通信的正式国际标准（IMT-2000）。其中，中国的 TD-SCDMA 方案完全满足国际电信联盟对第三代移动通信的基本要求，在所有提交的标准提案中，是惟一采用智能天线技术，也是频谱利用率最高的提案，可以缩短运营商从第二代移动通信过渡到第三代系统的时间，在技术上具有明显的优势。更重要的是，中国的标准一旦被采用，将会改变我国以往在移动通信技术方面受制于人的被动局面；在经济方面可减少、甚至取消昂贵的国外专利提成费，为我国带来巨大的经济利益；在市场方面则会彻底改变过去只有运营市场没有产品市场的畸形布局，从而使我国获得与国际同步发展移动通信的平等地位。

显然，第三代移动通信系统将会以宽带 CDMA 系统为主，所谓 CDMA，即码分多址技术。移动通信的特点要求采用多址技术，多址技术实际上就是指基站周围的移动台以何种方式抢占信道进入基站和从基站接收信号的技术，移动台只有占领了某一信道，才有可能完成移动通信。目前已经实用的多址技术有应用于第一代和第二代移动通信中的频分多址（FDMA）、时分多址（TDMA）和窄带码分多址（CDMA）三种。FDMA 是不同的移动台占用不同的频率。TDMA 是不同的移动台占用同一频率，但占用的时间不同。CDMA 是不同的移动台占用同一频率，但各带有不同的随机码序，以示区分进行扩频，因此同一频率所能服务的移动台数量是由随机码的数量来决定的。宽带 CDMA 不仅具有 CDMA 所拥有的一切优点，而且运行



带宽要宽得多, 抗干扰能力也很强, 传递信号功能更趋完善, 能实现无线系统大容量和高密度地覆盖漫游, 也更容易管理系统。第三代移动通信所采用的宽带 CDMA 技术完全能够满足现代用户的多种需要, 满足大容量的多媒体信息传送, 具有更大的灵活性<sup>[2,3]</sup>。

## 2.2 WCDMA 系统及演进

WCDMA (Wideband Code-Division Multiple-Access, 宽带码分多址) 是第三代主流移动通信系统的一种, 主要由欧洲标准化组织 ETSI (欧洲电信标准化协会) 于 1999 年制定完成。因其具有复杂性和灵活多变性, WCDMA 技术在实现时具有一定的技术挑战。WCDMA 系统的复杂性主要体现在: 每一个单独算法的复杂性、整个系统的复杂性及接收机的计算复杂性。相对于 2G 系统的仿真, WCDMA 的链路级仿真具有 10 倍多的计算量。在 WCDMA 系统中, 不同的用户可以同时以不同的速率或时变的速率在空中传送。WCDMA 系统不仅需要支持 2G 系统的服务, 还需要支持更多新的应用和业务。WCDMA 系统的主要参数见表 2-1<sup>[4,5]</sup>。

表 2-1 WCDMA 系统的主要参数

| 参 数         | 值                                  |
|-------------|------------------------------------|
| 多址接入方式      | DS-CDMA                            |
| 双工方式        | FDD/TDD                            |
| 基站同步        | 异步方式                               |
| 编码方式        | 卷积码 $r=1/3, 1/2$ , $K=9$ 和 Turbo 码 |
| 码片速率        | 3.84Mchip/s                        |
| 帧长          | 10ms                               |
| 载波带宽        | 5MHz                               |
| 数据调制        | QPSK                               |
| 功率控制速率      | 1500bit/s                          |
| 多速率         | 可变的扩频因子和多码                         |
| 检测          | 使用导频符号或公用导频进行相干检测                  |
| 多用户检测, 智能天线 | 标准支持, 应用时可选                        |
| 切换          | 软切换, 更软切换, 频率间支持硬切换                |
| 业务复用        | 具有不同服务质量要求的业务复用到同一个连接中             |



WCDMA 的主要特点有：①宽带直接序列扩频码分多址（DS-SS-CDMA）系统，强调宽带技术，最小带宽为 5MHz；②基站间不需要同步和 GPS（全球定位系统）；③正反向信道相干解调；④可变的用户速率；⑤频分双工（FDD）和时分双工（TDD）；⑥支持异步基站；⑦上下行链路采用基于导频符号或公用导频的相干检测；⑧允许不同 QoS（服务质量）要求的业务进行复用。

### 2.2.1 WCDMA 系统架构

WCDMA 系统采用的结构与第二代移动通信系统是一样的，从功能上看，主要包括 UMTS 的陆地无线接入网络（UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN）、核心网络（Core Network, CN）和用户设备（User Equipment, UE）三部分<sup>[6]</sup>。

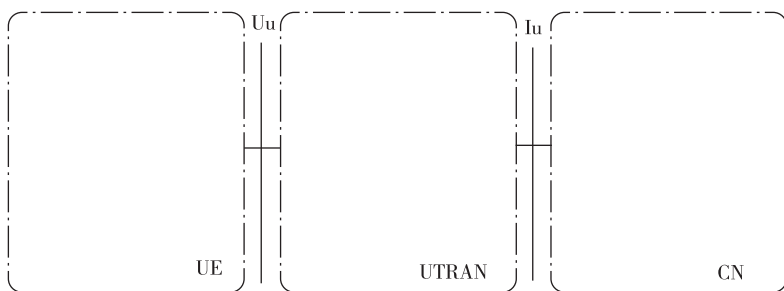


图 2-1 WCDMA 网络基本结构

UMTS 可以分成若干个子网，子网之间可以独立工作，也可以协作工作，因而子网又叫做 UMTS 公共陆地移动网（PLMN）。图 2-2 所示为 PLMN 的体系结构图<sup>[7]</sup>。

#### 1. Node B

Node B（B 节点）的主要功能是进行空中接口 L1 层处理（信道编码和交织、速率匹配、扩频等），也执行一些基本的无线资源管理操作，如内环功率控制，逻辑上相当于 GSM 中的基站。

#### 2. 无线网络控制器（RNC）

RNC 逻辑上相当于 GSM 的 BSC（基站控制器），负责控制 UTRAN 无线资源，并且负责终止定义移动设备和 UTRAN 之间的消息和进程的无线资源控制协议（RRC）。



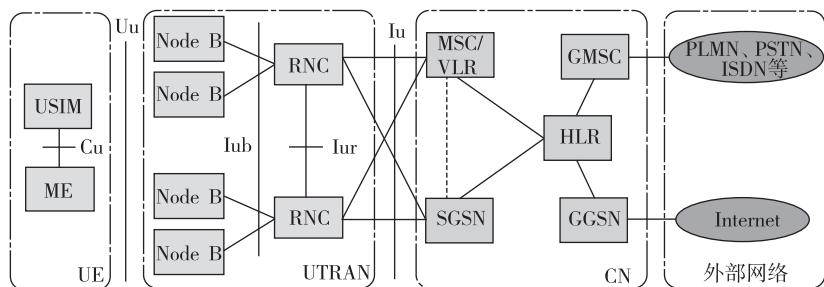


图 2-2 PLMN 体系结构图

控制 B 节点（例如终止通向 B 节点方向的 Iub 接口）的 RNC 称为 C-RNC，负责其所属小区的负载和拥塞控制，还要为这些小区中要建立的新的无线连接进行接纳控制和码字分配。

如果用户设备连接到多个 RNS，将涉及 RNC 的另外两个独立的逻辑功能 S-RNC 和 D-RNC。

S-RNC 负责终止传送用户数据和终止相应的传向或来自 CN 的 RANAP（无线接入网络应用部分）信令的 Iu 连接，S-RNC 也负责终止 UE 和 UTRAN 间的无线资源控制信令，负责对来自/流向无线接口的数据进行 L2 层处理。S-RNC 执行基本无线资源管理操作，例如将无线接入承载参数转化为空中接口传输信道参数、切换判决以及外环功率控制。

D-RNC 控制用户终端使用的小区，如果需要，D-RNC 进行宏分集合并和分裂。除非用户设备在使用一条公共或共享信道，D-RNC 不进行用户平面数据的 L2 层处理，而在 Iub 和 Iur 接口间透明地为数据选择路由。

一个实际的 RNC 通常包含所有的 C-RNC、S-RNC 和 D-RNC 的逻辑功能。

### 3. UTRAN

UTRAN 包含 RNC 和 Node B。Node B 通过 Iub 接口连接到 RNC，一个 RNC 和与之相连的一个或多个 Node B 组成一个无线网络子系统（Radio Network Subsystem，RNS），UTRAN 包含一个或多个 RNS。RNC 之间通过 Iur 接口连接，可以支持软切换。



UMTS 地面接口协议结构的设计是根据相同的通用协议模型 (见图 2-3) 进行的, 协议结构各层及各平面逻辑上彼此独立, 将来根据需要, 协议结构的一部分可以进行修改, 而其余部分保持不变。

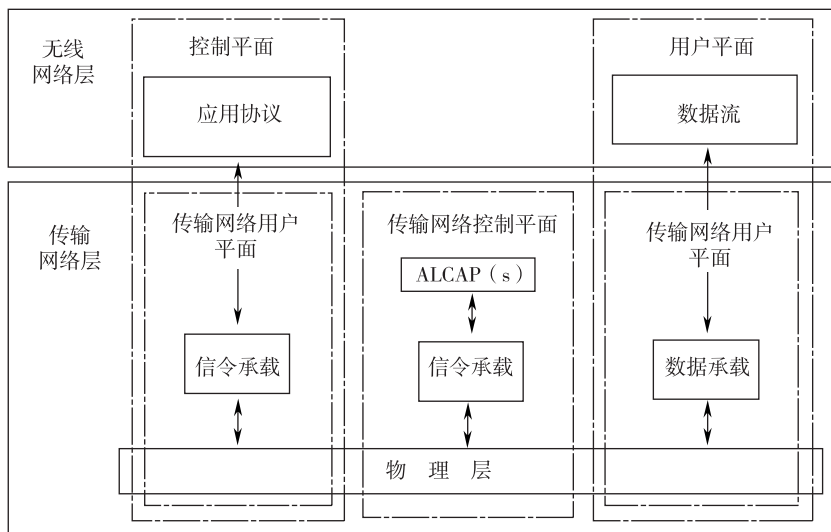


图 2-3 UMTS 地面接口通用协议模型

在水平层面上, 协议结构包含无线网络层和传输网络层, 所有 UTRAN 的相关内容仅在无线网络层是可见的, 传输网络层使用标准传输技术。

在垂直平面上, 协议结构包含控制平面、用户平面和传输网络控制平面。控制平面用于所有的 UMTS 特定控制命令, 包含应用协议和用于传输应用协议消息的信令承载。用户收发的所有信息都经过用户平面传输, 包括数据流和数据流的数据承载, 每个数据流的特征都由一个或多个接口特定的帧协议来描述。传输网络控制平面用于为传输层内的所有控制信令服务, 包括用于为用户平面建立传输承载 (数据承载) 的 ALCAP (接入链路控制应用协议), 也包括 ALCAP 需要的信令承载。传输网络控制平面位于控制平面和用户平面之间, 它的引入使无线控制平面的应用协议与在用户平面中为数据承载而采用的技术之间完全独立成为可能。



图 2-4 所示为 Iu (cs) 总体协议结构<sup>[9]</sup>, Iu (cs) 控制平面协议栈包含位于宽带 7 号信令协议 (BB No. 7) 上层的 RANAP, 协议可用层是信令连接控制部分 (SCCP)、消息传送部分 (MTP3-b) 和网对网接口信令 ATM 适配层 (SAAL-NNI)。SAAL-NNI 进一步划分成业务特定对等功能 (SSCF)、业务特定面向连接协议 (SSCOP) 和 ATM AAL5。

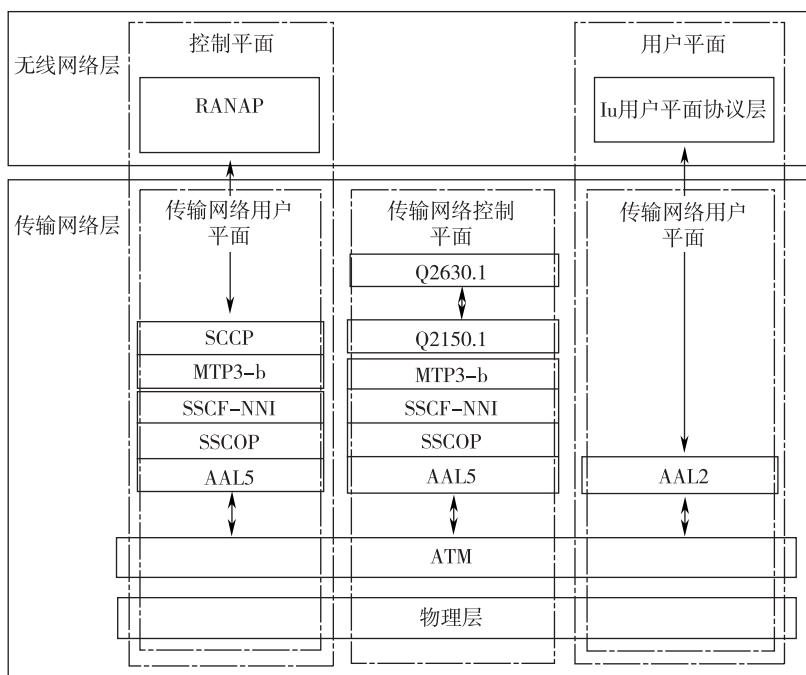


图 2-4 Iu (cs) 协议结构

Iu (cs) 协议结构的传输网络控制平面协议栈包含于 BB No. 7 上层用于建立 AAL2 连接 (Q. 2630.1 和 Q. 2150.1) 的信令协议。相应的 BB No. 7 信令系统如前所述, 只是没有 SCCP 层。Iu (cs) 协议结构的用户平面用户数据直接由 ATM AAL2 承载。

### 2.2.2 WCDMA 空中接口信道

图 2-5 所示为 UTRAN 无线接口与物理层有关的协议结构。从协



议结构上看，WCDMA 无线接口由层 1、层 2、层 3 组成，分别称作物理层（Physical Layer）、媒体接入控制（Medium Access Control）层、无线资源控制（Radio Resource Control）层。从协议层次的角度看，WCDMA 无线接口上存在 3 种信道：物理信道、传输信道、逻辑信道<sup>[10]</sup>。

图 2-5 中不同层/子层间的圆圈部分为业务接入点（SAP）。

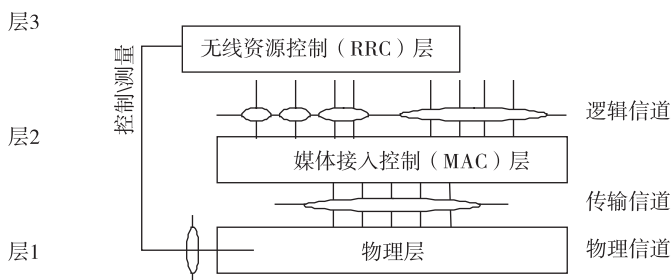


图 2-5 WCDMA 无线接口的物理结构

物理层提供了高层所需的数据传输业务。对这些业务的存取是通过使用经由 MAC 层的传输信道来进行的。

物理层通过传输信道向 MAC 层提供业务，而传输数据本身的属性决定了什么种类的传输信道和如何传输；MAC 层通过逻辑信道向 RRC 层提供业务，而发送数据本身的属性决定了逻辑信道的种类。在 MAC 层中，逻辑信道被映射为传输信道。MAC 层负责根据逻辑信道的瞬间源速率为每个传输信道选择适当的传输格式（TF）。传输格式的选择和每个连接的传输格式组合集（由接纳控制定义）紧密相关。

RRC 层也通过业务接入点（SAP）向高层（非接入层）提供业务。业务接入点在 UE 侧和 UTRAN 侧分别由高层协议和 Iu 接口的 RANAP 使用。所有的高层信令（包括移动性管理、呼叫控制、会话管理）都首先被压缩成 RRC 消息，然后在无线接口发送。

RRC 层通过其与低层协议间的控制接口来配置低层的协议实体，包含物理信道、传输信道和逻辑信道等参数。RRC 层还将使用控制接口进行实时命令控制，例如 RRC 层命令低层进行特定类型的测



量，低层使用相同接口报告测量接口和错误信息。

**逻辑信道：**直接承载用户业务；根据承载的是控制平面业务还是用户平面业务分为两大类，即控制信道和业务信道。

**传输信道：**无线接口层 2 和物理层的接口，是物理层对 MAC 层提供的服务；根据传输的是针对一个用户的专用信息还是针对所有用户的公共信息而分为专用信道和公共信道两大类。

**物理信道：**各种信息在无线接口传输时的最终体现形式；每一种使用特定的载波频率、码（扩频码和扰码）以及载波相对相位（I 或 Q）的信道都可以理解为一类特定的信道。

在发射端，来自 MAC 层和高层的数据流在无线接口进行发射，要经过复用和信道编码、传输信道到物理信道的映射以及物理信道的扩频和调制，形成无线接口的数据流在无线接口进行传输。在接收端，则是一个逆向过程。

### 1. 逻辑信道<sup>[11]</sup>

逻辑信道类型如图 2-6 所示。

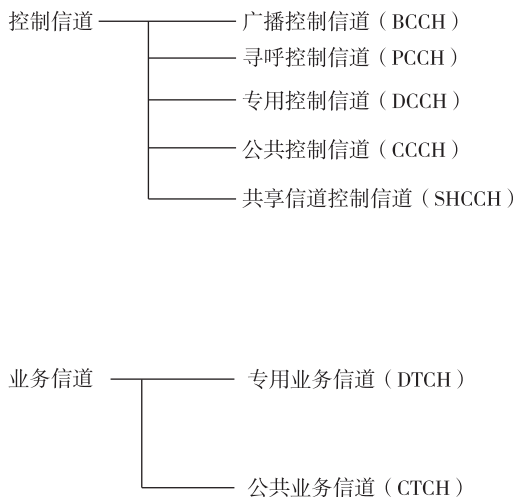


图 2-6 逻辑信道类型

#### (1) 控制信道

以下控制信道只用于控制平面信息的传送：



1) 广播控制信道 (BCCH): 广播系统消息的下行链路信道。

2) 寻呼控制信道 (PCCH): 传送寻呼消息的下行链路信道。

3) 公共控制信道 (CCCH): 在网络和 UE 之间发送控制信息的双向信道, 该信道映射到 RACH (随机接入信道) /FACH (前向接入信道) 传输信道。由于该信道中要求长的 UTRAN UE 标识 (U-RNTI (UTRAN 无线网络临时标识), 包括 SRNC), 因此保证了上行链路消息能够正确传送到正确的 SRNC (服务无线网络控制器) 中。

4) 专用控制信道 (DCCH): 在网络和 UE 之间发送控制信息的双向信道, 该信道在 RRC 建立的时候由网络分配给 UE 的点对点专用信道。

## (2) 业务信道

以下业务信道只用于用户平面信息的传送:

1) 专用业务信道 (DTCH): 传输用户信息的专用于一个 UE 的点对点双向信道。

2) 公共业务信道 (CTCH): 向全部或者一组特定 UE 传输专用用户信息的一点对多点的下行链路。

## 2. 传输信道<sup>[1]</sup>

传输信道是指由物理层提供给高层的服务。传输信道定义了在空中接口上数据传输的方式和特性。传输信道分为两类: 专用信道和公共信道。它们的主要区别在于公共信道是由小区内的所有用户或一组用户共同分配使用的资源; 而专用信道资源, 由特定频率上特定的编码确定, 只能是单个用户专用的。

### (1) 专用传输信道

仅存在一种专用传输信道, 即专用信道 (DCH)。专用信道 (DCH) 是一个上行或下行传输信道。DCH 在整个小区或小区内的某一部分使用波束赋形的天线进行发射。

### (2) 公共传输信道

共有 6 类公共传输信道: BCH、FACH、PCH、RACH、CPCH 和 DSCH。

1) 广播信道 (BCH): 是一个下行传输信道, 用于广播系统或小区特定的信息。BCH 总是在整个小区内发射, 并且有一个单独的



传输格式。

2) 前向接入信道 (FACH): 是一个下行传输信道。FACH 在整个小区或小区内某一部分使用波束赋形的天线进行发射。

3) 寻呼信道 (PCH): 是一个下行传输信道。PCH 总是在整个小区内进行发送。PCH 的发射与物理层产生的寻呼指示的发射是相随的, 以支持有效的睡眠模式程序。

4) 随机接入信道 (RACH): 是一个上行传输信道。RACH 总是在整个小区内进行接收。RACH 的特性是带有碰撞冒险, 使用开环功率控制。

5) 公共分组信道 (CPCH): 是一个上行传输信道。CPCH 与一个下行链路的专用信道相随, 该专用信道用于提供上行链路 CPCH 的功率控制和 CPCH 控制命令 (如紧急停止)。CPCH 的特性是带有初始的碰撞冒险和使用内环功率控制。

6) 下行共享信道 (DSCH): 是一个被一些 UE 共享的下行传输信道。DSCH 与一个或几个下行链路的专用信道相随。DSCH 使用波束赋形天线在整个小区内发射, 或在一部分小区内发射。

传输信道是为逻辑信道服务的, 从图 2-7 中, 可以知道逻辑信道和传输信道之间的映射关系。

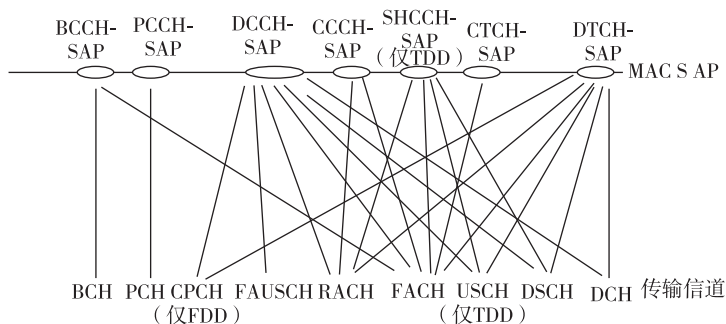


图 2-7 逻辑信道与传输信道的映射

### 3. 物理信道<sup>[11]</sup>

物理信道是由一个特定的载频、扰码、信道化码 (可选的)、开始和结束的时间段 (有一段持续时间) 以及上行链路中相对的相位





(0 或  $\pi/2$ ) 定义的。持续时间由开始和结束时刻定义，用码片的整数倍来测量。

无线帧：无线帧是一个包括 15 个时隙的处理单元。一个无线帧的长度是 38400 码片。

时隙：时隙是由包含一定比特的字段组成的一个单元。时隙的长度是 2560 码片。

一个物理信道默认的持续时间是从它的开始时刻到结束时刻这一段连续的时间。不连续的物理信道将会明确说明。

传输信道被描述（比物理层更抽象的高层）为可以映射到物理信道上。在物理层看来，映射是从一个编码组合传输信道（CCTrCH）到物理信道的数据部分。除了数据部分，还有信道控制部分和物理信令。

物理信令和物理信道一样，是有着相同的基于空中特性的实体，但是没有传输信道或指示符映射到物理信令。物理信令可以与物理信道一起支持物理信道的功能。

### (1) 上行物理信道结构

上行物理信道分为专用上行物理信道和公共上行物理信道。

专用上行物理信道分为上行专用物理数据信道（上行 DPDCH）和上行专用物理控制信道（上行 DPCCH）。

公共上行物理信道分为物理随机接入信道（PRACH）和物理公共分组信道（PCPCH）。

1) DPDCH/DPCCH：数据部分（DPDCH）用于传输专用传输信道（DCH）。控制信息（DPCCH）包括支持信道估计以进行相干检测的已知导频比特（Pilot）、发射功率控制指令（TPC）、反馈信息（FBI）以及一个可选的传输格式组合指示（TFCI）。每个无线链路中只有一个 DPCCH。

2) PRACH：物理随机接入信道用来传输 RACH。随机接入信道的传输是基于带有快速捕获指示的时隙 ALOHA 方式。UE 可以在一个预先定义的时间偏置开始传输，表示为接入时隙。每两帧有 15 个接入时隙，间隔为 5120 码片。

3) PCPCH：物理公共分组信道（PCPCH）用于传输 CPCH。

### (2) 下行物理信道结构



1) DPCH: 只有一种类型的下行专用物理信道, 即下行专用物理信道 (下行 DPCH)。在一个下行 DPCH 内, 专用数据在层 2 以及更高层产生, 即专用传输信道 (DCH), 是与层 1 产生的控制信息 (包括已知的导频比特、TPC 指令和一个可选的 TFCI) 以时间复用的方式进行传输发射的。因此下行 DPCH 可看作一个下行 DPDCH 和下行 DPCCH 的时间复用。

2) CPCH 的 DL-DPCCH: CPCH 的 DL-DPCCH 由已知的导频比特、TFCI、TPC 命令和 CPCH 控制命令 (CCC) 组成。CPCH 控制命令用于支持 CPCH 信令。有两种类型的 CPCH 控制命令: 层 1 控制命令, 例如消息开始指示; 高层控制命令, 例如紧急停止命令。

3) CPICH: 为固定速率 (30kbit/s, SF = 256) 的下行物理信道, 用于传输预定义的比特/符号序列。

4) P-CCPCH: 基本 CCPCH 为一个固定速率 (30kbit/s, SF = 256) 的下行物理信道, 用于传输 BCH。

5) S-CCPCH: 辅助 CCPCH, 用于传输 FACH 和 PCH。有两种类型的辅助 CCPCH, 包括 TFCI 的和不包括 TFCI 的。是否传输 TFCI 是由 UTRAN 来确定的, 因此对所有的 UE 来说, 支持 TFCI 的使用是必须的。

6) SCH: 同步信道 (SCH) 是一个用于小区搜索的下行链路信号。SCH 包括两个子信道, 即基本和辅助 SCH。

7) PDSCH: 用于传输下行共享信道 (DSCH)。

8) PICH: 是一个固定速率 (SF = 256) 的物理信道用于传输寻呼指示 (PI)。PICH 总是与一个 S-CCPCH 随路, S-CCPCH 为一个 PCH 传输信道的映射。

9) AICH: 是一个用于传输捕获指示 (AI) 的物理信道。捕获指示 AI 对应于 PRACH 上的特征码。

10) AP-AICH: 是一个固定速率 (SF = 256) 的用来传输 CPCH 的 AP 捕获指示 (API) 的物理信道。AP 捕获指示 (API) 对应于 UE 发射的 AP 特征码。

11) CD/CA-ICH: 是一个固定速率 (SF = 256) 的物理信道。当 CA 不活跃时, 用来传输 CD 指示 (CDI), 或当 CA 活跃时, 用来



同时传输 CD 指示/CA 指示 (CDI/CAI)。

12) CSICH: CPCH 状态指示信道是一个用于传输 CPCH 状态信息的固定速率 (SF = 256) 的物理信道。

在 UTRAN 中, 高层生成的数据由映射到物理层中不同物理信道的传输信道在空中传送, 这就要求物理层具有支持可变速率的传输信道来提供宽带业务, 并且还能够几种业务复用到同一个连接上。

一个物理控制信道和一个或多个物理数据信道形成一个编码组合传输信道 (CCTrCH), 在一个给定的连接中可以有多个 CCTrCH, 但只能有一个物理控制信道。

传输信道到物理信道的映射关系如图 2-8 所示。

### 2.2.3 HSPA 系统概念及演进

在 R99 和 R4 中, WCDMA 系统能够提供的最高上下行速率分别为 64kbit/s 和 384kbit/s, 为了能够与 CDMA 1XEV-DO 相抗衡, WCDMA 在 R5 规范中引入了 HSDPA (高速下行分组接入), 在 R6 规范中引入了 HSUPA (高速上行分组接入), HSDPA 和 HSUPA 合称为 HSPA (高速分组接入)。为了保持 HSPA 的持续演进, 在 HSPA 中引入了 LTE 的一些特性, 比如 64QAM、层 2 增强、MIMO 等, 速率得到极大的提升, 最高可提供 168Mbit/s, 现在标准化已经进行到了 R11<sup>[12,13]</sup>。中国联通在 2011 年 5 月将网络升级到 HSPA + 64QAM (R7 版本), 下行峰值速率为 21Mbit/s。HSPA + 中的新技术特征如图 2-9 所示。

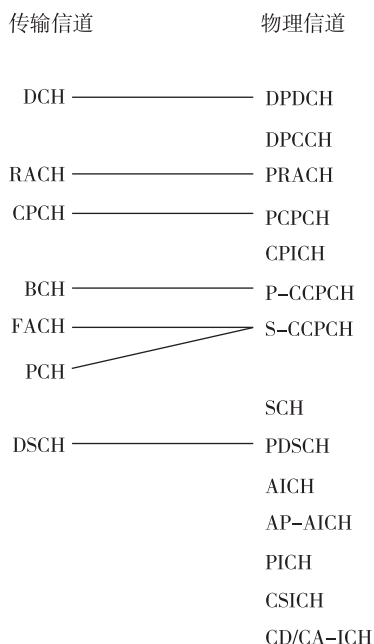


图 2-8 传输信道到物理信道的映射关系

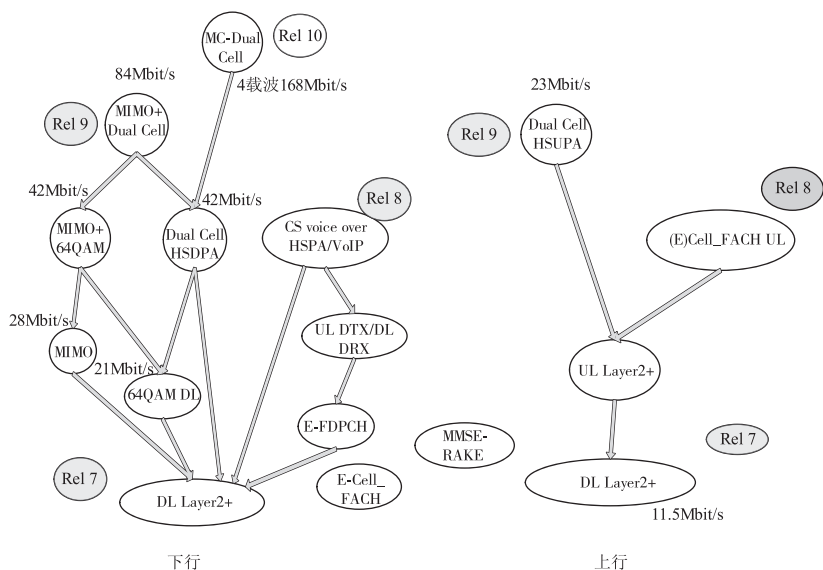


图 2-9 HSPA + 标准特性依存关系

1) Release 7 版本：下行 64QAM、上行 16QAM、下行 MIMO、CPC、下行层 2 增强、下行增强 CELL\_FACH、下行增强 F-DPCH、扁平化架构。这些关键技术的引入，有望将网络单载波下行峰值速率提高到 21Mbit/s/28Mbit/s，上行峰值速率提升到 11.5Mbit/s。

2) Release 8 版本：下行 64QAM + MIMO、Dual-Cell HSDPA CS over HSPA、上行层 2 增强、上行增强 CELL\_FACH。这些关键技术的引入，有望将网络单载波下行峰值速率提高到 42Mbit/s，上行峰值速率提升到 11.5Mbit/s。

3) Release 9 版本：Dual-Cell HSUPA、Dual-Band HSDPA、DC-HSDPA + MIMO、2 ms TTI 上行范围改进、TxAA 回退模式。这些关键技术的引入，有望将网络单载波下行峰值速率提高到 84Mbit/s，上行峰值速率提升到 23Mbit/s。

4) Release 10 版本：MC-HSDPA、MIMO 增强。这些关键技术的引入，有望将网络下行峰值速率提高到 168Mbit/s。



#### 2.2.4 HSPA 对无线网络架构的影响

按照 2006 年 3 月 3GPP RAN#31 次会议的提案, HSPA 的演进主要有 3 种方案: HSPA 路由器方式、HSPA + SAE 方式和节点优化 HSPA 方式。HSPA 路由器方式是将 Node B、RNC、SGSN、GGSN 合一, 引进了 mobile IP, 增加了业务的时延; HSPA + SAE 方式是保留 Iub 接口, 将原有的 Iu 接口改为 S1, 即希望能与 LTE 共享核心网。最终的评估结果是后面方案的难度很大, 如果要采用 S1, 无线侧基本不能保证 HSPA 向后的平滑演进<sup>[14]</sup>。

HSPA 的引入没有改变原有 WCDMA R99 网络结构, 只是进行了软件升级。

HSPA + 与 HSPA 网络结构具有如下异同: ①可共享核心网络, Iu 接口没有改变; ②HSPA + Node B 具有 RNC 的功能, 消除了 Iub, 增加了 Iur 处理量; ③降低了用户平面时延, HSPA + 用户平面协议终止于 Node B +, 而后者终止于 RNC; ④降低了控制平面 (RRC Setup) 时延, HSPA + 控制平面协议终止于 Node B +, 而后者终止于 RNC; ⑤由于移动而导致的信令处理量加大; ⑥HSPA + 网络兼容 HSPA 下的 UE, 但是对于基于 CS 的语音需要转移到原有的 SRNC 下进行处理; ⑦由于引入频繁的 SRNC 重定位, 移动性变弱。总之, HSPA 可以实现向 HSPA + 的部分平滑演进, 至少核心网络不需要更改。

LTE 的网络架构对比 HSPA + 可发现, 两者之间没有任何共同点: 后者是 S1 接口, 前者是 Iur/Iu 的方式; eNode B 是全新的以 OFDM/OFDMA 为核心的技术, HSPA + 以 CDMA 为基础。因此, 不可能实现 HSPA + 到 LTE 的平滑升级, 两者之间是彻底的更新换代关系。

### 2.3 TD-SCDMA 系统

TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access, 时分同步码分多址) 是 ITU 批准的 3 个主要 3G 标准之一, 相比较于另外两个主要标准 (WCDMA 和 cdma2000), 它的起步比较晚。1998 年原邮电部电信科学研究院向 ITU 提出 TD-SCDMA 标准,



经过多年的发展，已经完全融入到 3GPP 家族中，被国际上广泛接受和认可。

TD-SCDMA 是 FDMA、TDMA 和 CDMA3 种多址方式的灵活组合，采用时分双工（TDD）方式和智能天线，具有系统容量大、频谱效率高等特点。TD-SCDMA 的主要参数见表 2-2。TD-SCDMA 是我国第一个拥有自主知识产权的通信标准，在我国通信发展史上具有里程碑的意义，极大地提高了我国在移动通信领域的水平。

表 2-2 TD-SCDMA 的主要参数<sup>[15,16]</sup>

| 参 数        | 值                   |
|------------|---------------------|
| 占用带宽       | 1.6MHz              |
| 码片速率       | 1.28Mchip/s         |
| 多址方式       | FDMA + TDMA + CDMA  |
| 双工方式       | TDD                 |
| 无线帧长       | 短帧长 10ms（子帧 5ms）    |
| 交织         | 10ms/20ms/40ms/80ms |
| DS 与 MC 方式 | 单载波，窄带 DS           |
| 扩频调制       | QPSK                |
| 信道编码       | 卷积编码 + Turbo 码      |
| 上行同步       | 1/2 码片              |
| 语音频谱利用率    | 25 Erl/MHz          |
| 数据频谱利用率    | 1.232 (Mbit/s) /MHz |

为了达到第三代移动通信系统的目标和要求，TD-SCDMA 系统采用了以下技术：同步 CDMA、智能天线、软件无线电、多用户检测（包括联合检测和干扰抵消）、Turbo 编译码等技术。

### 1. 同步 CDMA 技术

所谓同步 CDMA 是指来自每个用户终端的上行信号在到达基站系统天线口或解调器时是完全同步的。这样使用正交扩频码的各个码道在解扩时就可以完全正交，相互间不致产生多址干扰，大大提高了 CDMA 系统的实际容量。为实现同步 CDMA，必须解决同步的检测、建立和保持等主要问题，这也是本系统的关键技术之一。由



于个人移动通信系统的特点是终端位置的随机性，终端在通信进行过程中，由于用户位置的变化，电波在基站和终端之间的传播时间也在不断变化，这就要求终端不断地调整其信号发射的时间点，来保证各个终端的信号到达基站的时间是同步的。特别是，在城市复杂环境情况下，由于多径传播的影响，同步的保持是提高系统性能的关键技术。

### 2. 智能天线

智能天线技术是雷达系统自适应天线阵在通信系统中的新应用。智能天线系统由一个多天线阵、相干接收机和高级数字信号处理算法组成。与仅有一个固定波束的传统天线比较，智能天线能有效地形成多束缚型，每一个波束指向一个特定的用户且能自适应地跟踪任何移动用户。如此特点使得在接收侧实现了空间选择性分集，提高了接收灵敏度，减少了不同位置的同道用户的同道干扰，抵消了多径衰落并增加了上行容量。在发送侧，智能的空间选择波束成形传送降低了输出功率要求，减少了同道干扰并提高了下行容量，从而提高了系统容量。

使用智能天线，能够以较低的代价换得天线覆盖范围、系统容量、业务质量、抗阻塞和抗掉话性能的提高，同时可以消除干扰、降低系统成本。

### 3. 软件无线电

软件无线电的原理是将宽带高速 A-D、D-A 转换器尽可能地靠近天线处，从而以软件方式来代替硬件，实施信号处理。3G 是一个多无线接入技术共存的系统，不可能有统一的网络技术标准和空中接口标准，而需要的是制定统一的网络接口标准和互通方案。软件无线电技术是利用统一的硬件平台，使用不同的软件，来适应不同的工作模式。

### 4. 联合检测

在 TD-SCDMA 系统中，基站和用户都是采用多用户联合检测技术来消除小区内多址干扰 (MAI) 和符号间干扰 (ISI) 的。多用户检测包括联合检测 (joint detection) 和干扰抵消 (IC)：联合检测 (joint detection) 其基本思想是利用所有用户的相关先验信息，将所



有用用户的信号分离出来；干扰抵消（IC）其基本思想是判决反馈，即从总信号中解调和判决出部分用户数据，并重构出这些数据的对应信号，再从总信号中减去重构信号，从而抵消这些干扰信号的影响，这个过程经过多次反复，直到满足要求为止。

### 5. Turbo 编译码

Turbo 码在低信噪比条件下传输，表现出接近 Shannon 的极限性能，即在保证一定的误码率和工作频率带宽的情况下，可以在较低的信噪比条件下传输信号，保证系统容量。Turbo 码采用软输出迭代译码算法，充分利用译码输出的软信息，同时通过改变码的重量分布和控制距离，提高了 Turbo 码的抗突发错误能力和整体纠错能力。

#### 2.3.1 TD-SCDMA 网络架构

TD-SCDMA 已经融合到 3GPP R4 版本中，具有与 WCDMA 一样的网络架构和高层信令协议，相应的接口也一样。核心网都是基于 GSM-MAP，通过网络扩展方式提供基于 ANSI-41 核心网的运行能力，并且支持向全 IP 方向演进。TD-SCDMA 的网络架构可以参考前面 WCDMA 的网络架构。TD-SCDMA 与 WCDMA 的主要区别在空中接口的物理层上。

#### 2.3.2 TD-SCDMA 空中接口

在 TD-SCDMA 系统中，移动终端和接入网之间的接口  $Uu$  称为空中接口，主要由物理层（L1）、数据链路层（L2）和网络层（L3）组成。空中接口协议组成具体如图 2-10 所示。

TD-SCDMA 系统存在 3 种信道：逻辑信道、传输信道和物理信道。逻辑信道是 MAC 子层向无线链路控制子层提供的服务，它描述的是承载什么类型的信息；传输信道定义了信息如何在空中接口上传输；物理层定义了物理信道，物理层向数据链路层的最低子层媒体接入控制（MAC）提供不同的传输信道<sup>[20-22]</sup>。

##### 1. 逻辑信道

逻辑信道是媒体接入层向高层提供的服务。根据信息传输类型不同，逻辑信道可以分为两类：一类为控制信道，主要用来承载传输控制平面的信息；另一类为业务信道，主要用来承载传输用户平面的信息。



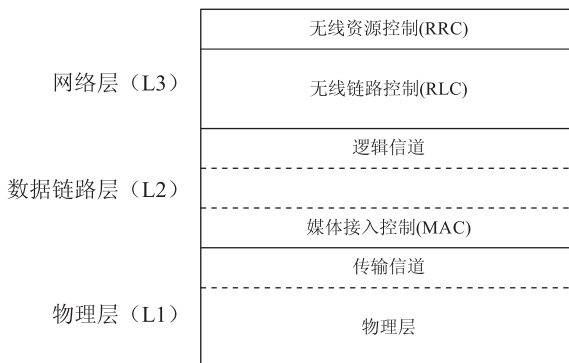


图 2-10 空中接口协议组成

控制信道主要包括 BCCH、PCCH、DCCH、CCCH 和 SHCCH 五类：

1) BCCH (广播控制信道)：BCCH 是下行逻辑信道，用于承载广播信息。

2) PCCH (寻呼控制信道)：PCCH 是下行逻辑信道，用于承载寻呼信息。

3) DCCH (专用控制信道)：DCCH 是点到点双向逻辑信道，由 RRC 连接建立过程建立，UE 和网络通过该信道传输专用控制信息。

4) CCCH (公共控制信道)：CCCH 是双向逻辑信道，网络 and UE 在没有建立 RRC 连接时，通过该信道接入新小区。

5) SHCCH (共享信道控制信道)：SHCCH 是双向逻辑信道，TDD 双工方式专用，网络 and UE 传输上下行共享信息。

业务信道主要包括 DTCH 和 CTCH 两类：

1) DTCH (专用业务信道)：DTCH 是点到点的双向业务信道，主要承载用户平面的信息。

2) CTCH (公共业务信道)：CTCH 是点到多点的单向业务信道，为所有用户或一组特定用户传输专用用户信息。

## 2. 传输信道

传输信道是物理层提供给高层的服务，它是根据在空中接口如何传输及传输什么特性的数据来定义的，传输信道一般分为两类：



一类为公共信道，在这类信道中，当消息是发给某一特定的 UE 时，需要有内识别信息；另一类为专用信道，在这类信道中，UE 是通过物理信道来识别的。

公共传输信道主要包括 BCH、FACH、PCH、RACH、USCH、DSCH 和 HS-DSCH 六类信道。

1) BCH (广播信道): BCCH 是下行传输信道，用于广播系统和小区特定信息。

2) FACH (前向接入信道): FACH 是下行传输信道，当网络知道用户位置时传输控制信息，也可以传输短的用户包。

3) PCH (寻呼信道): PCH 是下行传输信道，在网络不知道用户位置信息时，传输控制信息。

4) RACH (随机接入信道): RACH 是上行传输信道，用来承载 UE 的控制信息，也可以传输短的用户包。

5) USCH (上行共享信道): USCH 是上行传输信道，多个用户用来传送专用控制或业务数据。

6) DSCH (下行共享信道): DSCH 是下行传输信道，多个用户用来传送专用控制或业务数据。

7) HS-DSCH (高速下行共享信道): HS-DSCH 是多个用户共用的下行传输信道，伴随一个下行 DPCH 和一个或多个 HS-SCCH，HS-DSCH 在整个小区或采用定向天线在小区一部分传送。

专用信道上的信息一般是发给所有用户或一组用户的，当一个用户专用时，需要用 UE ID 进行识别。专用信道只有一种 DCH 信道，UE 和网络可以在上行、下行传送控制或用户信息。

### 3. 物理信道<sup>[17,19]</sup>

TD-SCDMA 的物理信道采用 4 层结构：系统帧、无线帧、子帧和时隙/码。依据资源分配方案的不同，子帧和时隙/码的配置可以不同，系统使用时隙和扩频码分别在时域和码域上区分用户。TD-SCDMA 的物理信道格式和子帧结构分别如图 2-11 和图 2-12 所示。

在 TDD 模式下的物理信道是一个突发序列，它主要在分配好的无线帧中的特定时隙中传送。这种分配方案可以是连续的，比如在每个帧中的时隙中都传送；或者是不连续的，比如只是在所有帧的



一部分帧中时隙传送。一个突发序列主要由 3 部分组成：数据部分、训练序列部分和一个保护时隙，但是对于独立 midamble 信道只有 midamble 部分。一个突发序列的持续时间是一个时隙。一个发射机可以同时发送多个突发序列。在这种情况下，数据部分必须使用不同的 OVSF（正交可变扩频因子）信道化码，但可以使用相同的扰码。midamble 部分必须使用同一个基本 midamble 码，但是可以使用不同的 midamble 码。在一个多频率的小区中，在不同载频中的 midamble 部分也应该使用同一个基本 midamble 码，但是可以使用不同的 midamble 码。在 MBSFN（组播广播单频网）操作中，一个训练序列或前导序列并不一定是小区特定的。数据部分主要由信道编码和扰码共同扩频。信道编码是 OVSF 码，它的扩频因子有 1、2、4、8 和 16。一个物理信道的数据速率主要由所采用的 OVSF 码的扩频因子决定。

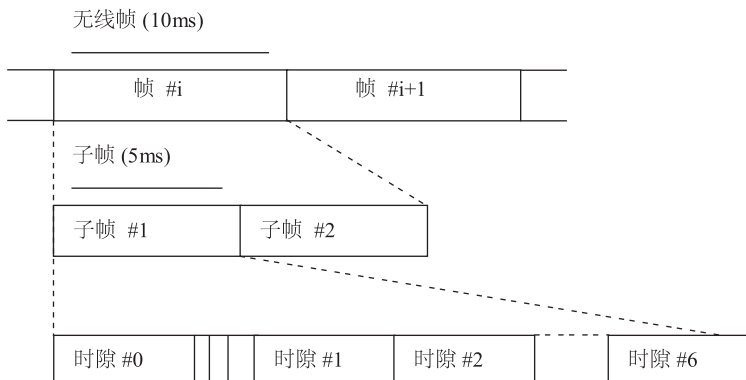


图 2-11 TD-SCDMA 物理信道格式

所以频率、时隙、信道化编码、突发类型和无线帧分配共同定义了一个物理信道。而扰码和基本的训练序列或前导码主要用来广播，并且在一个小区内是固定的。当一个物理信道建立以后，它的初始结构就已经确定了。一个物理信道的持续时间可以是无限长，也可以是分配定义的持续时间。

一个 TD-SCDMA 的系统帧长为 720ms，由 72 个无线 TDMA 帧组



成，而每个 TDMA 帧又可以分成两个 5ms TDMA 子帧，这两个子帧的结构是完全相同的。这是考虑到了智能天线技术的运用，智能天线每隔 5ms 进行一次波束的赋形。子帧中含有 7 个常规时隙 (TS0 ~ TS6)，每个时隙长度为 864 码片，占  $675\mu\text{s}$ 。子帧中含有 3 个特殊时隙：DwPTS，下行导频时隙，长度为 96 码片，占  $75\mu\text{s}$ ；GP，保护间隔，长度为 96 码片，占  $75\mu\text{s}$ ；UpPTS，上行导频时隙，长度为 160 码片，占  $125\mu\text{s}$ 。子帧总长度为 6400 码片，占 5ms，得到码片速率为 1.28Mchip/s。

如图 2-12 所示，每一个 5ms 的子帧由 7 个常规时隙组成。在这 7 个常规时隙中，TS0 总是分配给下行链路，而 TS1 总是分配给上行链路。上行链路的时隙和下行链路的时隙之间由一个切换点分开，在 TD-SCDMA 系统中的每个 5ms 的子帧中，有两个交换点 (UL 到 DL 和 DL 到 UL)。TD-SCDMA 所提出的帧结构考虑了对一些新技术的支持，如智能天线 (波束赋形) 技术和上行同步技术。

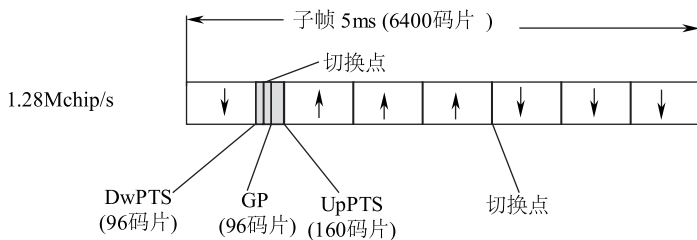


图 2-12 TD-SCDMA 子帧结构

应用上述帧结构，通过对上行、下行时隙数的相应设置，TD-SCDMA 可以对称或不对称分配上下行链路。图 2-13 分别给出了对称分配和不对称分配上下行链路的例子。

物理信道主要分为两类：一类为公共物理信道；另一类为专用物理信道。公共物理信道主要包括主公共控制物理信道 (P-CCPCH)、辅助公共控制物理信道 (S-CCPCH)、寻呼信道 (PICH)、物理随机接入信道 (PRACH)、物理共享信道 (PDSCH/PUSCH)、物理同步信道 (DwPCH/UpPCH)、快速物理随机接入信道 (FPACH)、高速物理下行共享信道 (HS-PDSCH)、HS-SCH 的共享

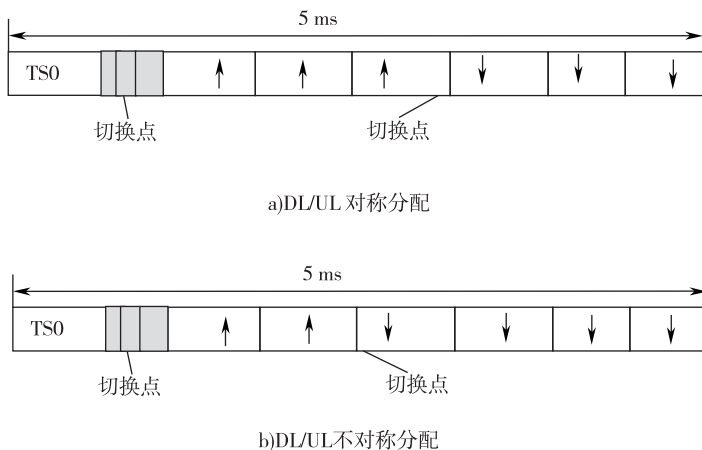


图 2-13 TD-SCDMA 帧结构示意图

控制信道（HS-SCCH）、HS-DSCH 的共享信道（HS-SICH）；专用物理信道只包含一种：专用物理信道（DPCH）。

逻辑信道映射到传输信道，传输信道映射到物理信道的具体过程如图 2-14 所示<sup>[18]</sup>。

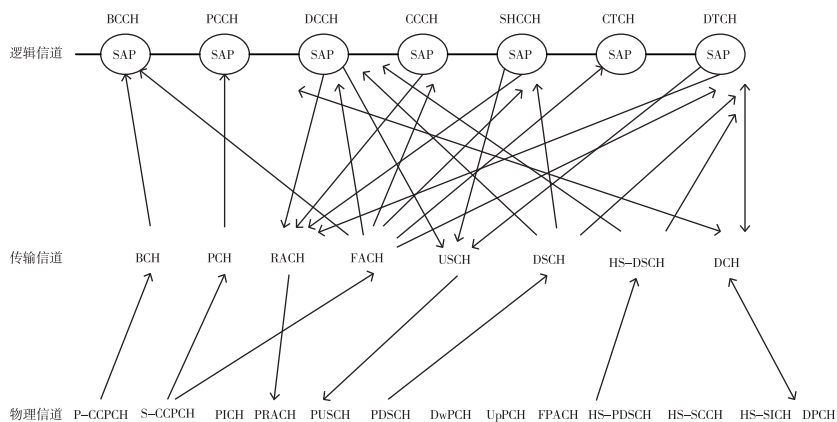


图 2-14 逻辑信道、传输信道、物理信道映射关系图



## 2.4 cdma2000 系统及演进

cdma2000 是美国电信工业协会 (TIA) 制定的第三代移动通信系统, 是由第二代移动通信系统 cdmaOne (IS-95) 演进而来。目前 cdma2000 标准由国际标准化组织 3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2) 负责制定和演进。因 cdma2000 完全后向兼容 IS-95 系统, 原来在 2G 使用 IS-95 系统的运营商都将网络升级到了 cdma2000 系统。cdma2000 1x 的演进是 cdma 1xEV。1xEV 主要分两步演进: 1xEV-DO (1x Evolution Data Only) 和 1xEV-DV (1x Evolution Data and Voice)。这两步 cdma 1xEV 都采用标准的 1.25MHz 载频。其中, cdma2000 1x EV-DO 和 cdma2000 3x 是 ITU 批准的第三代移动通信标准。3x 意味着使用 3 个 1.25MHz 载频。cdma2000 的主要参数见表 2-3<sup>[23,24]</sup>。

表 2-3 cdma2000 系统主要参数

| 参 数    | 值                                    |
|--------|--------------------------------------|
| 频段     | 任意存在的频段                              |
| 最小频率要求 | 1x: 1 × 1.25MHz, 3x: 3 × 1.25MHz     |
| 码片速率   | 1x: 1.2288Mchip/s, 3x: 3.6864Mchip/s |
| 帧长     | 5ms、10ms 或者 20ms                     |
| 功率控制速率 | 800Hz                                |
| 扩频因子   | 4 ~ 256                              |
| 数据调制   | 下行: QPSK, 上行: BPSK                   |
| 多速率    | 可变扩频增益和多码                            |
| 定时     | 通过 GPS 同步                            |
| 切换     | 扇区间、小区间软切换,<br>频段间硬切换                |
| 发射分集   | 正交发射分集,<br>空时扩展发射分集                  |

cdma2000 的研究主要集中在 cdma2000 1x 上。cdma2000 1x 采用扩频速率为 SR1, 即指前向信道和反向信道均用码片速率



1. 2288Mchip/s 的单载波直接序列扩频方式。因此它可以方便地与 IS-95 (A/B) 后向兼容, 实现平滑过渡。运营商可在某些需求高速数据业务而导致容量不够的蜂窝 (cdma One) 上, 用相同载波部署 cdma2000 1x 系统, 从而减少了用户和运营商的投资。

cdma2000 1x 相比与 IS-95 系统采用了大量先进技术: Turbo 码技术、前向链路快速功率控制技术、前向快速寻呼信道技术、连续的反向空中接口波形、增强的媒体接入控制功能等。

### 1. Turbo 码

为了适应高速数据业务的需要, cdma2000 1x 中采用 Turbo 编码技术 (编码速率可以是  $1/2$ 、 $1/3$  或  $1/4$ )。cdma2000 1x 提供在前向和后向同步信道中使用 Turbo 或卷积编码的选择, 两个编码方案对基站和移动台而言是可选择的, 各自的容量均在呼叫建立之前通过信令信息进行传达。除了峰值的提高和速率粒度的改进之外, 在 cdma2000 1x 中对流量信道编码的主要改进就是支持速率为  $1/2$ 、 $1/3$  或  $1/4$  的 Turbo 编码。Turbo 码基于  $1/8$  状态平行结构, 仅仅应用于补充信道和多于 360B 的帧, Turbo 编码为数据传输提供行之有效的解决方案, 并且更好地提升了链路性能和系统容量。总而言之, Turbo 编码较之卷积编码在功率节省方面有很大的进步, 这种增益是数据速率的函数, 通常数据速率越高, Turbo 编码所产生的效果越好。

### 2. 前向链路快速功率控制

CDMA 系统的实际应用表明, 系统的容量并不仅仅取决于反向容量, 往往还受限于前向链路的容量, 尤其是当 cdma2000 1x 系统引入了数据业务后, 高速数据业务引起前向发射功率幅度波动加剧, 增加了前向功率控制的复杂性, 这就对前向链路的功率控制提出了更高的要求。前向链路功率控制 (FLPC) 的目的就是合理分配前向业务信道功率, 在保证通信质量的前提下, 使其对相邻基站/扇区产生的干扰最小, 也就是使前向信道的发射功率在满足移动台解调最小需求信噪比的情况下尽可能小。通过调整, 既能维持基站与位于小区边缘大移动台之间的通信, 又能在有较好的通信传输环境时最大限度地降低前向发射功率, 减少对相邻小区的干扰, 增加前向链路的相对容量。



### 3. 前向快速寻呼信道技术

因基站使用快速寻呼信道向移动台发出指令，决定移动台是处于监听寻呼信道还是处于低功耗状态的睡眠状态，这样移动台便不必长时间连续监听前向寻呼信道，可减少移动台激活时间和节省移动台功耗。通过前向快速寻呼信道，基站向移动台发出最近几分钟内的系统参数消息，使移动台根据此新消息作相应设置处理。

### 4. 连续的反向空中接口波形

在反向链路中，数据采用连续导频，使信道上数据波形连续，此措施可减少外界电磁干扰，改善搜索性能，支持前向功率快速控制以及反向功率控制连续监控。

### 5. 增强的媒体接入控制功能

媒体接入控制（MAC）子层控制多种业务接入物理层，保证多媒体的实现。它实现语音、分组数据和电路数据业务、同时处理、提供发送、复用和 QoS 控制、提供接入程序。与 IS-95 相比，可以满足更大带宽和更多业务的要求。

#### 2.4.1 cdma2000 网络架构

cdma2000 1x 的网络参考模型具体如图 2-15 所示。根据各网络实体的不同，cdma2000 1x 网络可以分为核心网电路域、核心网分组域、无线部分、短消息部分、智能网部分和 WAP 业务部分<sup>[25-27]</sup>。

下面主要介绍一下各个节点：

- 1) BTS：基站发送、接收系统。
- 2) BSC：基站控制器。
- 3) PCF：分组控制功能。PCF 主要负责与分组数据业务相关的无线资源管理与分配。这个功能是 cdma2000 1x 为了数据业务而新增加的一个功能，是无线分组域的重要组成部分。
- 4) MSC/SSP：移动交换中心/业务交换节点。
- 5) VLR：访问位置寄存器。
- 6) HLR/AC：归属位置寄存器/鉴权中心。
- 7) IWF：主要实现互通功能。
- 8) PDSN/FA：分组数据服务节点/外地代理。
- 9) HA：本地代理。



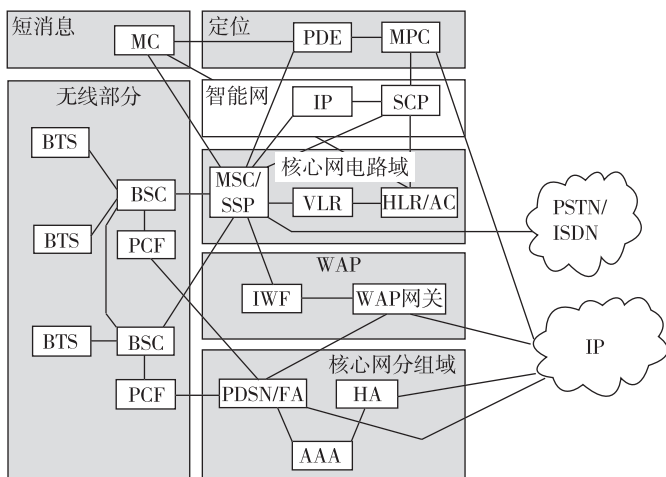


图 2-15 cdma2000 网络参考模型

- 10) AAA: 认证、授权、计费中心。
- 11) PDE: 定位实体。
- 12) MPC: 移位定位中心。
- 13) SCP: 业务控制点。

cdma2000 的无线接入部分主要由 BTS、BSC 及 PCF 组成，它们之间的接口如图 2-16 所示。

由图 2-16 可见，与 IS-95 相比，核心网中的 PCF 和 PDSN 是两个新增模块，通过支持移动 IP 协议的 A10、A11 接口互连，可以支持分组数据业务传输。而以 MSC/VLR 为核心的网络部分，支持语音和增强的电路交换型数据业务，与 IS-95 一样，MSC/VLR 与 HLR/AC 之间的接口基于 ANSI-41 协议。

图中各个主要接口为

- 1) Abis 接口：用于 BTS 和 BSC 之间连接。
- 2) A1 接口：用于传输 MSC 与 BSC 之间的信令信息。
- 3) A2 接口：用于传输 MSC 与 BSC 之间的语音信息。
- 4) A3 接口：用于传输 BSC 与 SDU（业务数据单元）之间的用户话务（包括语音和数据）和信令。

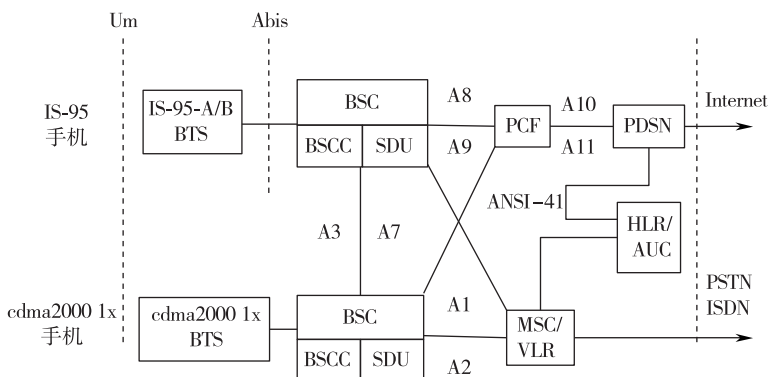


图 2-16 cdma2000 1x 系统的网络结构

5) A7 接口：用于传输 BSC 之间的信令，支持 BSC 之间的软切换。

以上节点和接口与 IS-95 系统需求相同。

cdma2000 1x 新增接口如下：

- 1) A8 接口：传输 BS 和 PCF 之间的用户业务。
- 2) A9 接口：传输 BS 和 PCF 之间的信令信息。
- 3) A10 接口：传输 PCF 和 PDSN 之间的用户业务。
- 4) A11 接口：传输 PCF 和 PDSN 之间的信令信息。

A10/A11 接口是无线接入网和分组核心网之间的开放接口。

新增节点 PCF（分组控制功能）是新增功能实体，用于转发无线子系统和 PDSN 分组控制单元之间的消息。PDSN 节点为 cdma2000 1x 接入 Internet 的接口模块。

cdma2000 的空中接口采用分层结构，不同层次执行不同的功能，并形成不同的技术标准，如图 2-17 所示。cdma2000 空中接口主要包括物理层（L1）、链路层（L2）和高层（L3）。物理层主要是通过各种物理信道完成高层信息与空中无线信号之间的相互转换，并完成各种物理信道的处理，包括数据编解码、调制解调等。链路层可以分为两个子层：链路接入控制（LAC）子层，主要提供保证信令可靠传输的机制等；媒体接入控制（MAC）子层，完成各逻辑信道上多种业务的

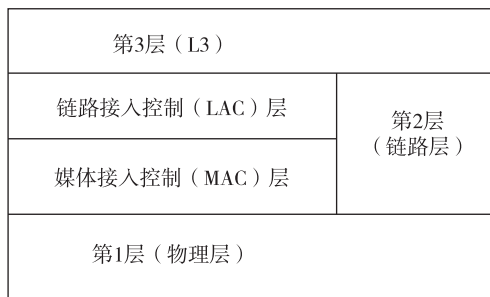


图 2-17 cdma2000 空中接口分层示意图

复用和 QoS 等功能。L3 层，产生层 3 协议数据单元 (PDU)，并将这些 PDU 传送给低层，并在低层进行低层 PDU 的封装；在接收端，低层 PDU 被分解，分解出的 SDU 被从低层送往高层处理。

### 1. 前向信道

cdma2000 1x 的前向链路物理信道由适当的 Walsh 函数或准正交函数 (QOF) 进行扩频。Walsh 函数用于 RC1 或 RC2；Walsh 函数或 QOF 用于 RC3 ~ RC9。cdma2000 采用了变长的 Walsh 码，对于 SR1，最长可为 128；对于 SR3，最长可为 256。cdma2000 前向链路信道划分如图 2-18 所示。

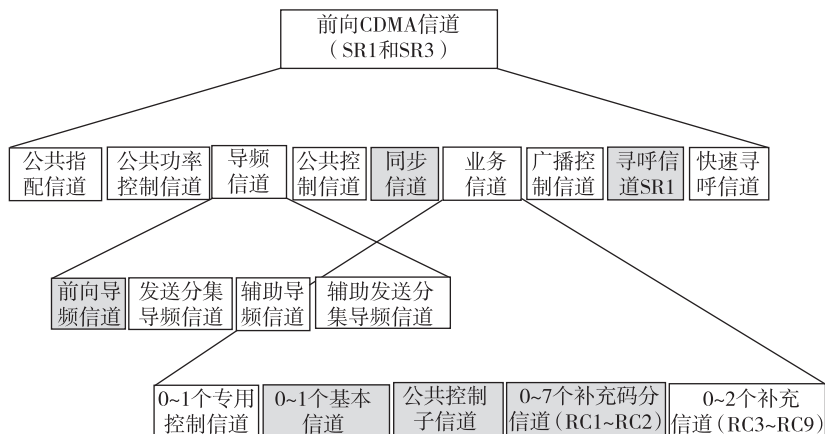


图 2-18 cdma2000 前向链路信道划分



## 2. 后向信道

后向链路中采用的无线配置为 RC1 ~ RC6，不同用户采用的 PN 码长是不同的，一个用户的不同信道则是用 Walsh 码区分的。cdma2000 后向链路信道划分如图 2-19 所示。

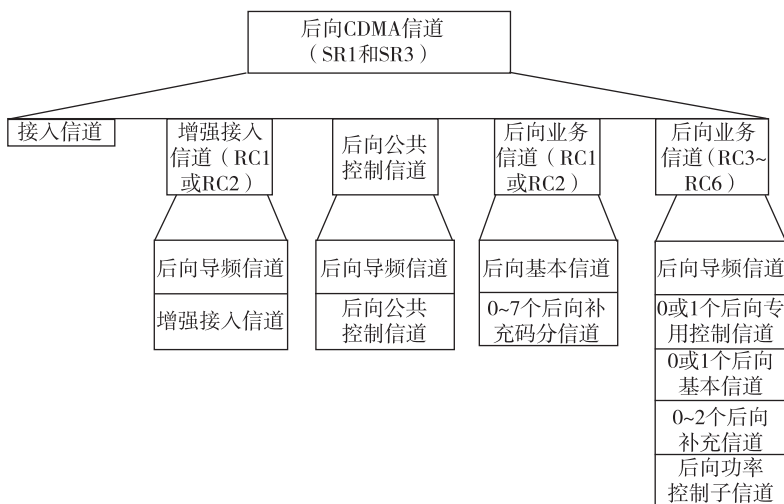


图 2-19 cdma2000 后向链路信道划分

### 2.4.2 cdma2000 Ev-DO 及 Ev-DV 演进

一种叫做 HDR (High Date Rate, 高速数据传输技术) 的新技术的出现, 让世人对 cdma2000 技术的理解又有了新的内涵。HDR 的提出是为了进一步满足用户对无线数据通信的渴望, 它通过更高效的、更能符合分组数据传输特点的调制方式使系统对数据传输速率的支持达到了前所未有的 2.4Mbit/s。如此优异的性能使 CDG (CDMA Development Group, CDMA 开发组) 于 2000 年 6 月决定向 3GPP2 提出建议把它作为 cdma2000 1x 演进的另一条路径, 并正式命名为 1xEV (1x Evolution)。1xEV 的演进又被划分为两个发展阶段, 第一阶段叫做 1xEV-DO<sup>[28]</sup>。

1xEV-DO 意指 Date Only, 它使运营商利用一个与 IS-95 或 cdma2000 相同频宽的 CDMA 载频就可实现高达 2.4Mbit/s 的前向数据传输速率, 目前已被国际电信联盟 (ITU) 接纳为国际 3G 标准, 并



已具备商用化条件。第二阶段叫做 1xEV-DV。1xEV-DV 意为 Date and Voice。顾名思义它可以在一个 CDMA 载频上同时支持语音和数据，目前有多种候选方案，如以朗讯、高通等公司为主提出的 L3NQS 和摩托罗拉、诺基亚等提出的 1xTREME。1xEV-DV 可提供 6Mbit/s 甚至更高的数据吞吐量。cdma2000 1x 演进过程如图 2-20 所示。

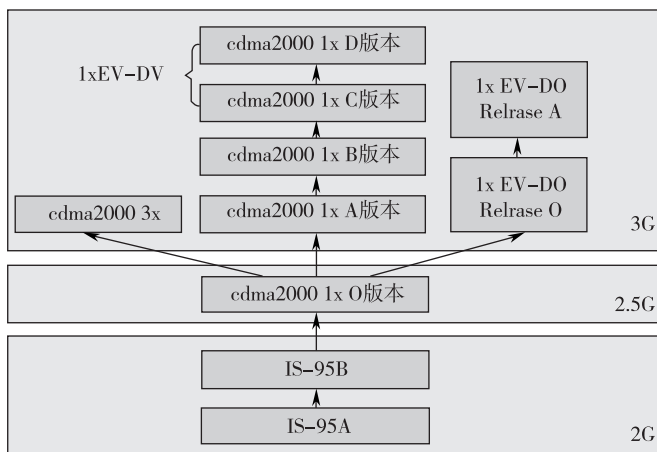


图 2-20 cdma2000 1x 演进过程

由于 cdma2000 1x/EV-DO 技术仅支持数据业务，所以从网络结构上看，其网络结构比较简单。系统仅由 AT、AN、PCF、PDSN、AAA 等设备构成，也就是说，cdma2000 1x/EV-DO 采用基于 IP 网的结构，不需要 ANSI-41 的核心网结构。cdma2000 1x/EX-DO 的网络结构如图 2-21 所示。

图 2-21 中 AT 是接入终端，其功能是类似于传统网络中的移动台。对于数据业务来说，终端的形式可能是多种多样的（如 PDA 等），并且数据处理部分和数据收发部分可能分开。与接入终端相对应，传统意义上的基站被称为接入网络（AN）。在图中，当接入终端发生切换时，源接入网络和目标接入网络分别被叫做 SRC\_AN 和 TAG\_AN。PCF 和 PDSN 的功能与 cdma2000 1x 系统相同。AAA 负责对用户进行认证，AN AAA 完成 AN 级的认证功能。接口主要包括空

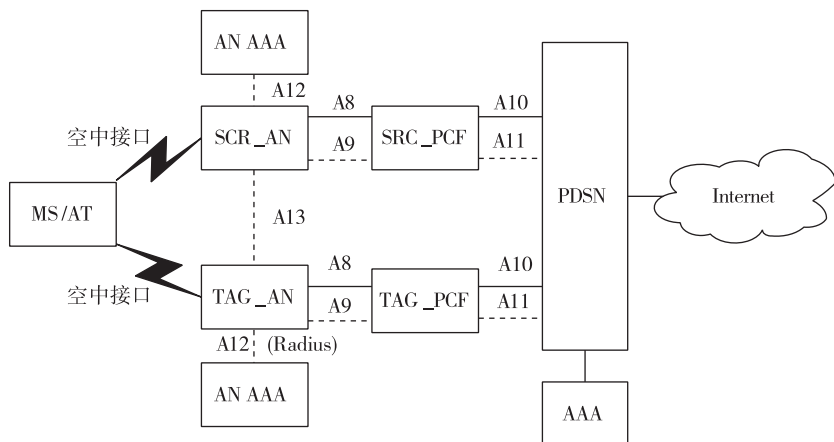


图 2-21 cdma2000 1x/EV-DO 的网络结构

中接口、A8/A9 接口、A12/A13 接口。A8/A9 接口、A10/A11 接口的功能与 cdma2000 1x 相同，A12、A13 接口是新增的。其中 A12 接口链接源、目标 AN 与 AN AAA，只传送信令。该接口主要完成 AN 级的认证功能，同时 AN AAA 向 AN 返回 AT 在 A8/A9 接口、A10/A11 接口需要使用的 MN ID (IMSI)。A13 接口也是信令接口，主要用于不同 AN 间切换时，交换 AT 的相关信息。

cdma2000 1x/EV-DO 的新增实体及其特点如下：

#### (1) 接入网络 (AN)

用于提供分组交换数据网络 (以因特网为代表) 和接入末端间的数据连续传输的网络设备，一个接入网络相当于 cdma2000 系统中的一个基站。

#### (2) 接入终端 (AT)

向用户提供数据传输的设备，接入终端可以连接到像笔记本电脑之类的计算机或者像个人数字化助手之类的独立的数据设备，一个接入终端相当于 cdma2000 系统中的一个移动台。

#### (3) 接入网鉴权系统 (AN AAA)

在接入网中对终端进行鉴别和实现授权功能的系统实体。

#### (4) 接续 (Connection)



接续是空中链路中的一个特殊情况，每个接入终端将会被分配一条前向传输信道，一条后向传输信道和联合媒体接入控制（MAC）信道。在一个高速分组数据业务中，接入终端和接入网络可以多次打开和关闭接续。

#### (5) 混合 MS/AT

一个具备操作 cdma2000 和高速分组数据接入网的设备。

#### (6) 业务流（Service Stream）

接入终端和 PDSN 之间产生数据交换时所应用的高速分组数据流。

#### (7) 高速分组数据业务（HRPD Session）

HRPD（高速分组数据）业务，涉及接入终端和接入网之间的某种共享状态。这种共享状态包括经磋商达成的协议及其结构，并用于接入终端和接入网之间的通信。不同于打开一个业务，假如未能打开业务，接入终端和接入网将无法通信。另外值得注意的是，这种情况下，即使 HRPD 会话已经创建，A10/A11 链路也可能无法建立。

#### (8) PCF

PCF（点协调功能）增益对 EV-DO 的增益理论上包括 SC/MM 功能和 HRPD 的特殊操作能力。原始的 HRPD 功能和程序也可以通过从这些额外功能中取得有效数据进行优化和增加。

#### (9) 分组数据业务

分组数据业务是一个移动用户使用分组数据业务的事件。当用户调用分组数据业务时，分组数据业务便由此开始了，并结束于用户或网络关闭分组数据业务时。在特殊的分组数据业务中，用户可以改变其地理位置，但其 IP 地址则是维持不变的。

#### (10) SC/MM 功能

SC/MM（业务控制和移动管理）理论上定位于 PCF 并包括以下功能：

1) HRPD 业务相关信息的存储：这个功能用于在 ATS 处于静止状态下保持 HRPD 业务相关信息（例如，保持灵活定时器、MNID 和 UATI 间的映射等）。



2) UATI 业务: 这个功能会分配一个 UATI (Unicast AT identifier, 单播 AT 标识) 给一个 AT。

3) 终端鉴别: 这一功能执行终端鉴别程序。这一功能负责在 AT 接入 HRPD 会话时判断是否对其进行鉴别。SC/MM 执行 PPP 程序进行终端鉴定。

4) 移动管理: 这一功能管理 AT 的位置。AT 的位置信息通过基于距离的注册取得。这一功能执行一个基于信息的页面程序。

#### (11) 终端鉴别

一个用于 AN AAA 对接入终端进行鉴别的程序。

由于 cdma2000 1x/EV-DV 系统将语音和数据业务合并在一个载波中实现, 与传统的方式相同, 所以, 其网络结构仍然是传统的网络结构。也就是说, 在基站上分为两个支路, 语音业务通过 A1/A2 接口交给 MSC (移动交换中心) 处理, 而数据业务通过 A10/A11 接口交给 PDSN 处理。显然, A1/A2 接口和 A10/A11 接口都需要针对 cdma2000 1x/EV-DV 系统做改进。

## 2.5 3G 在中国

2009 年, 三大运营商中国联通、中国移动、中国电信相继商用 3G 移动通信网络。经过两年多的发展, 3G 网络已具规模, 越来越多的用户使用 3G 业务。

### 2.5.1 3G 在中国的发展

截至 2011 年 6 月, 我国 3G 用户达 8411 万, 中国移动 3G 用户数达 3502.7 万, 中国电信达 2154 万, 中国联通达 2394.5 万。中国移动、中国电信和中国联通的市场份额分别为 41%、26% 和 33%<sup>[29]</sup>。

三大运营商 3G 网络对比如图 2-22 所示。

截至工业和信息化部 2011 年 5 月的数据来看, 在 3G 网络建设方面, 中国联通的 WCDMA 网络不仅拥有最快的下载速率, 而且部署的 3G 基站数也领先其他两家运营商。但是中国联通距离中国移动 2G 时代全国 50 万基站的数量, 仍然存在一定差距。加速覆盖, 尤其是城市地区的覆盖, 仍然是一项重要工作。





| 制式     |    | 中国联通   | 中国电信                                  | 中国移动  |
|--------|----|--|---------------------------------------|---|
| 速度     | 上行 | 5.76Mbit/s   | 1.8Mbit/s                             | 384k bit/s  |
|        | 下行 | 21Mbit/s   | 3.1Mbit/s                             | 2.8Mbit/s   |
| 技术演进   |    | WCDMA→HSPA→<br>HSPA+   | CDMA2000→EV-DO<br>Rev.0 → EV-DO Rev.A | TD-SCDMA→TD-<br>HSPA→TD-HSPA+                           |
| 基站数    |    | 27.4万  | 22.6万                                 | 21.4万   |
| 覆盖     |    | 341个城市和1917个县城   | 全国全部城市和县城以及<br>2.9万个乡镇                | 全国4个直辖市、283个<br>地级市、370个县级市<br>及1607个县的热点区<br>域以及部分发达乡镇 |
| 2015预测 |    | 制式 HSPA+/LTE<br>覆盖 HSPA+实现了全覆盖，可<br>以有选择升级部分城市至<br>LTE，来获取更大的容量<br>和树立高端市场形象 | EV-DO/LTE<br>开始部署LTE网络，无法<br>实现全覆盖    | TDS-CDMA/TD-LTE<br>开始部署LTE网络，无法<br>实现全覆盖                |

图 2-22 中国三大运营商 3G 网络比较

中国电信和中国移动一直没有放松在网络建设方面追赶中国联通的脚步，一直在积极推进 LTE 网络。为了应对中国移动和中国电信的压力，中国联通仍需要加速 HSPA + 网络的建设。假设 2014 年之前，中国联通在全国范围内实现 HSPA + 的全覆盖。那时如果中国移动和中国电信会在 2014 年附近开始建设 LTE 网络，其 LTE 网络的覆盖将远远落后于中国联通 HSPA + 的覆盖，无法提供与之匹配的用户体验。中国联通的竞争优势将长期保持。反之，如果中国联通到 2014 年时 HSPA + 网络无法达到全覆盖，将在和中国电信、中国移动竞争 LTE 的起跑线上，处于不利的竞争地位。

### 2.5.2 中国联通 WCDMA 网络现状

中国联通自 2009 年 5 月正式启动 3G 网络商用以来，已经经历了 WCDMA、HSDPA、HSUPA 及 HSPA + (64QAM) 网络升级，通过组织开展天馈优化、3G 室分优化、HSPA + 升级、深度覆盖、高速互联网专线接入等优化工作，使网络质量得到进一步改善。目前，中国联通可以提供下行 21Mbit/s 和上行 5.76Mbit/s 的峰值速率，3G 网络接通率完成值为 98.16%，3G 网络掉话率完成值为 0.29%，2G 网络掉话率完成值为 0.31%。

中国联通 WCDMA/HSPA 网络的优势十分明显：网络速度快；3G 业务广泛；终端种类最多；国内覆盖范围最广；开通国家最多，



全球无缝漫游；全球市场份额最高。

### 2.5.3 中国联通 3G 网络演进规划

2011年5月，中国联通的无线移动网络已经升级到 HSPA + R7 版本，可以提供下行峰值速率 21Mbit/s。中国联通的 3G 网络如何演进，首先对 HSPA + 的 R8、R9 和 R10 的关键技术进行分析，见表 2-4。

表 2-4 HSPA + 关键技术分析

| 关键技术            | 优势  | 实现成本  | 标准支持 |
|-----------------|---|---|------|
| DL-64QAM        | 提升下行峰值吞吐率 50%<br>对干扰和失真敏感   | RNC 和 Node B 软件升级<br>需要终端支持（部分终端已可）   | R7   |
| MIMO            | 提升峰值吞吐率 1 倍<br>微小区环境下增益更佳<br>性能依赖于 CQI 和 PCI 反馈，对信道条件要求较高<br>适用于频谱资源紧缺的场景 | 系统侧需要软件升级，<br>BBU 基带板扩容<br>系统侧需增加硬件配置，<br>即 RRH 或 RRU，成本增长较大<br>部分终端类型可支持，但普及率不明朗（普及率过低会对网络容量造成副作用） | R7   |
| UL 16QAM        | 提升上行峰值吞吐率 1 倍<br>对干扰和失真敏感   | Node B 软件升级、基带处理板增加<br>需要终端支持（部分终端已可支持，但不理想）  | R7   |
| CPC<br>(永远在线技术) | 提升非连续业务容量<br>低速率场景下增益较大<br>减小延时、改善用户体验<br>实现终端节能                          | 需网络软件升级<br>对 CN 无要求<br>需新型终端支持  | R7   |
| CPCCH<br>新时隙格式  | 与 DTX/DRX 相匹配   | 通过 SRNC 配置  | R7   |



(续)

| 关键技术                  | 优势   | 实现成本  | 标准支持   |
|-----------------------|--|---|--------|
| 增强 CELL_FACH          | 用于通信数据量小、突发性强、状态转换频繁的情景<br>减小延时、改善用户体验<br>提升系统容量 | 主设备软件升级<br>对 CN 无要求<br>需要终端支持   | R7/ R8 |
| RLC 层 2 增强技术          | 可灵活匹配无线质量变化<br>支持空口传输速率的提高                       | 应空口速率的提升引入<br>对 CN 无影响<br>需要终端支持  | R7/ R8 |
| CSoHSPA               | 提升语音业务容量<br>优化用户体验<br>需要伴随 CPC 才有增益              | 需网络软件升级<br>对 CN 无要求<br>需新型终端支持  | R8     |
| 下行<br>64QAM + MIMO    | 峰值速率大幅度提高<br>频谱效率大幅度提高                           | 终端同时支持两种技术，<br>对电池能力要求高<br>软件升级实现 64QAM，再<br>添加 RRU，成本高                   | R8     |
| Dual-Cell/Band        | 提升峰值吞吐率 1 倍<br>提升小区吞吐量<br>用户数目小时增益更佳             | RNC 和 Node B 软件升级，<br>BBU 基带板扩容<br>CN 设备不受影响<br>需要终端支持，也兼容<br>SC-HSDPA 终端 | R8/ R9 |
| 下行<br>DC-HSDPA + MIMO | 峰值速率大幅度提高<br>频谱效率大幅度提高                           | 软件升级实现 DC-HSDPA，<br>再添加 RRU，成本高   | R9     |

从表 2-4 中可以看出，中国联通 3G 网络演进路线主要有两条：  
①64QAM→DC→4C；②64QAM→DC→DC + MIMO→MC。具体选择  
根据对现有网络的影响和升级成本决定。

## 2.6 本章小结

本章主要介绍了第三代移动通信系统的网络架构，分别对 WCD-



MA、TD-SCDMA 和 cdma2000 系统进行了分析。重点分析了 HSPA + 网络的演进路线, 并介绍了中国联通的 3G 网络现状, 对中国联通未来 3G 网络演进进行了探讨。

## 参考文献

- [1] 常永宏, 等. 第三代移动通信系统与技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.
- [2] 胡捍英, 等. 第三代移动通信系统 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [3] 邹国扬. CDMA 数字蜂窝网 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [4] 曹达仲, 侯春萍, 等. 移动通信原理、系统及技术 [M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社.
- [5] UMTS World, <http://www.umtsworld.com/default.htm>.
- [6] Harri Holma, Antti Toskala. WCDMA 技术与系统设计 [M]. 付景兴, 马敏, 等译. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 3GPP TS 25. 401 “UTRAN Overall Description” .
- [8] 3GPP TS 22. 105 “Technical Specification Group Services and System Aspects Service aspects; Services and Service Capabilities” .
- [9] 3GPP TS 25. 410 “UTRAN Iu Interface: General Aspects and Principles” .
- [10] 3GPP TS 25. 301 “Technical Specification Group Radio Access Network; Radio Interface Protocol Architecture” .
- [11] 3GPP TS 25. 211 “Technical Specification Group Radio Access Network; Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)” .
- [12] 3GPP TS25. 308 “High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) Overall description Stage 2”
- [13] 3GPP TS25. 871 “Uplink Multiple Input Multiple Output (MIMO) for High Speed Packet Access (HSPA)” .
- [14] 苏信丰. UMTS 空中接口与无线工程概论 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [15] 段玉宏, 夏因忠, 胡剑, 等. TD-SCDMA 无线系统原理 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [16] 李军. TD-SCDMA 系统中 Iub 接口配置的计算方法 [J]. 现代电信科



技, 2009 (6): 55-59.

[17] 3GPP TS 25.224 “Physical layer procedures (TDD)” .

[18] 3GPP TS 25.221 “Physical Channels and mapping of transport channels onto physical channel (TDD)” .

[19] 3GPPTS 25.225 “Physical layer; Measurements (TDD)” .

[20] YD/T 1371.1-2006 2GHz TD-SCDMA 数字蜂窝移动通信网 Uu 接口物理层技术要求 第一部分: 总则.

[21] YD/T 1373-2006 2GHz TD-SCDMA 数字蜂窝移动通信网 Uu 接口 RRC 层技术要求.

[22] YD/T 1367-2006 2GHz TD-SCDMA 数字蜂窝移动通信网 终端设备技术要求.

[23] Vijay K. Garg. 第三代移动通信系统原理与工程设计——IS-95 CDMA 和 cdma2000 [M]. 于鹏, 白春霞, 刘睿, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2002.

[24] 杜鹃, 等. CDMA2000—1x 无线网络技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.

[25] YD/T 1580-2007 2GHz cdma2000 数字蜂窝移动通信网技术要求: 空中接口 物理层.

[26] YD/T 1568-2007 2GHz cdma2000 数字蜂窝移动通信网设备技术要求: 交换子系统.

[27] YD/T 1583-2007 2GHz cdma2000 数字蜂窝移动通信网技术要求: 空中接口 层三信令.

[28] 江鹏, 卢爱华. cdma 1x 以后演进策略以及 cdma2000 网络演进策略 [J]. 电信工程技术与标准化, 2005 (10) .

[29] 工业和信息化部电信研究院通信信息研究所. 《2010 电信决策咨询》市场预测系列报告——中国移动运营市场预测分册. 2010.



# 宽带无线接入网络及其演进

随着互联网的迅速普及和多媒体技术的飞速发展，用户对带宽的要求越来越高。宽带无线接入系统以其投资少见效快的优势，正在逐步受到电信行业的青睐。

### 3.1 宽带无线接入网络发展需求

宽带无线接入（Broadband Wireless Access, BWA）技术是指从交换节点到用户终端采用无线方式进行宽带接入的技术，它是无线技术和宽带技术相结合的产物。就覆盖范围来看，目前的无线接入系统可以划分为从无线个域网（WPAN）<sup>[1]</sup>、无线局域网（WLAN）<sup>[2]</sup>、无线城域网（WMAN）<sup>[3]</sup>和无线广域网（WWAN），如图 3-1 所示。与传统的有线接入相比，宽带无线接入具有以下主要特点：

1) 覆盖范围灵活：单基站（或接入点）的覆盖范围通常从几十米到几千米数量级不等，可以使 BWA 技术灵活地应用于从局域网到城域网的整个区域。

2) 工作频带宽，系统容量大。由于 BWA 技术普遍使用 2GHz 以上的频段，其可用信道带宽比较宽，导致实际承载业务带宽大，能够满足高吞吐量数据宽带数据业务的需求。

3) 启动资金小。不需要进行大量的基础设施建设，初期投资少，仅在增加用户时才需要增加资金投入。因此，即使在用户数较少的运营初期，运营商也能维系发展，因而在最大程度上降低了投资建网的风险。

4) 提供服务快。无线接入系统安装，调试容易。较之有线宽带

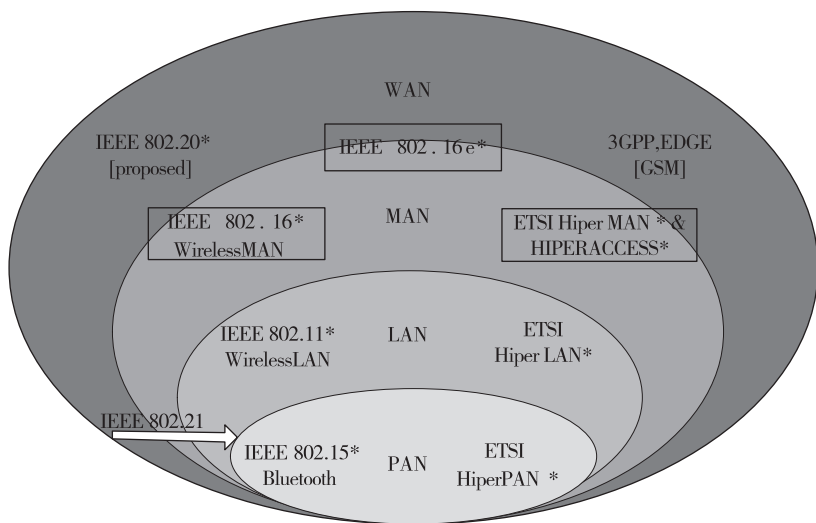


图 3-1 无线接入系统分类

接入系统，其建设周期大大缩短，并可迅速为用户提供服务。

5) 具有良好的可扩容性。宽带无线接入可根据用户需求进行系统设计或动态分配系统资源，而不会造成资金或设备的浪费，且在发展方面极具灵活性。

6) 能提供优质、低廉的，诸如语音、数据、视频等综合业务。

目前用于宽带无线网络接入的主要技术有第三代移动通信技术(3G)、无线局域网(WiFi技术)、无线城域网(WiMAX技术)。

### 1. 第三代移动通信技术

第三代移动通信技术(WCDMA<sup>[19]</sup>、cdma2000<sup>[20]</sup>、TD-SCDMA<sup>[21]</sup>) 在提供语音通信的基础上，增加了对宽带数据业务的支持。改变了传统移动通信系统主要用于承载语音业务的方式，满足用户对于大量数据传输的要求。

### 2. WiFi 技术

WiFi 是基于 IP 的无线网络技术，能够提供较高带宽的无线数据传输。其单个 AP(接入点)覆盖范围较小，主要用于对于热点区域



的数据传输，其在大范围的城域覆盖中存在如下难以逾越的限制。

1) WiFi 的干扰：WiFi 采用开放频谱资源，其必然收到来自同样工作在开放频率下的其他设备的干扰（如蓝牙、微波炉等）以及 WiFi 设备自身的干扰。

2) WiFi 的覆盖范围：WiFi 受传输距离限制，单个 WiFi 接入点的覆盖范围较小，难以覆盖整个城市。

3) WiFi 对移动性的支持：WiFi 由于单个接入点的覆盖范围有限，因此难以支持高速移动下的应用，因此在城铁、公共交通系统将会形成网络盲区，无法实现真正的无线城市。

### 3. WiMAX 技术

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, 全球微波互联接入)<sup>[4]</sup>是一项新的宽带无线接入技术，能提供面向互联网的高速连接，数据传输距离最远可达 50km，能够为企业或家庭提供最后一公里无线接入。

## 3.2 IEEE 对宽带无线接入网络的标准化发展

### 3.2.1 IEEE 标准组织及其工作

美国电气和电子工程师学会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 于 1963 年 1 月 1 日由美国电气工程师学会 (AIEE) 和美国无线电工程师学会 (IRE) 合并而成，是美国规模最大的专业学会，总部在美国纽约市。IEEE 是一个非营利性科技学会，致力于对电子电气工程通信、计算机工程、计算机科学理论和原理研究。IEEE 在 175 个国家中拥有 300 多个地方分会，1985 年在北京也设立了分部。

IEEE 是美国信息产业大多数标准的制定者，它在 FCC (美国联邦通信委员会) 制定的法律范围内制定标准。它不但制定了几乎所有电子和电气的标准，还制定了几乎涵盖任何技术领域的标准，包括汽车、海运、超导体等。当然几乎所有的无线局域网标准也是由 IEEE 制定的。

### 3.2.2 IEEE 802 系列标准

IEEE 802 委员会成立于 1980 年 2 月，它的任务是制定局域网的





国际标准，IEEE 802 委员会目前有 12 个分委员会。IEEE 802 家族是由一系列局域网（Local Area Network, LAN）技术规范所组成的，IEEE 802.11 是其中的成员之一。从图 3-2 可以看出 IEEE 802 家族成员间的关系以及它们在 OSI 模型中的角色位置。

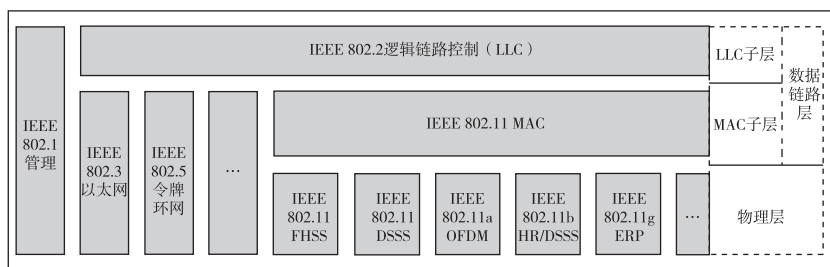


图 3-2 IEEE 802 家族及其 OSI 模型的关系

IEEE 802 规范的重心放在 OSI 模型的最下面的两层，因为它们同时涵盖了物理层与数据链路层组建。只要是 IEEE 802 网络，就必然会同时具备 MAC 与 PHY 两种组件。MAC 是一组用以决定如何访问媒介与传送数据的规则，至于传送与接收的细节则交由 PHY 负责。

IEEE 802 系列中的个别规范是由点号后的一位数定义的。例如，IEEE 802.3 是载波监听多路访问/冲突检测规范，与以太网有关，IEEE 802.5 则是令牌环网规范。此外 IEEE 802 协议堆栈还包括其他成员。IEEE 802.2 所规范的链路层称为逻辑链路控制层，可供所有底层局域网技术使用。IEEE 802 网络的管理功能规范于 IEEE 802.1。而 IEEE 802.1 的范围覆盖桥接（IEEE 802.1D）以及虚拟局域网（IEEE 802.1Q）。IEEE 802 系列标准具体内容如下：

IEEE 802.1 局域网体系结构，网络管理和性能测量等；

IEEE 802.2 逻辑链路控制协议；

IEEE 802.3 总线网媒体接入控制协议 CSMA/CD 及物理层技术规范；

IEEE 802.4 令牌总线网媒体接入控制协议及其物理层技术规范；

IEEE 802.11 无线局域网的媒体接入控制协议及其物理层技术



规范;

IEEE 802.12 100Mbit/s 高速以太网按需优先的媒体接入控制协议 100VG-ANYLAN;

IEEE 802.14 基于有线电视的 TV 宽带通信网络;

IEEE 802.15 无线个域网;

IEEE 802.16 宽带无线城域网;

IEEE 802.17 弹性的分组环可靠个人介入技术;

IEEE 802.18 无线电调整技术咨询组;

IEEE 802.19 共存技术咨询组;

IEEE 802.20 移动宽带无线访问;

IEEE 802.21 符合 IEEE 802 标准的网络与非 IEEE 802 网络之间的互通;

IEEE 802.22 无线地域性区域网络工作组 (WRANS)。

### 3.3 IEEE 802.11 系列网络

#### 3.3.1 IEEE 802.11 系列网络演进过程

1987 年, 由 IEEE 802.4 小组开始在 IEEE 802 委员会中进行对无线局域网的研究, 最初致力于开发一个使用基于 ISM 频段的等同于令牌总线 MAC 协议的无线局域网, 在进行了一段时间的合作后, 研究人员发现令牌总线不适合于控制无线电介质, 无线频谱不能得到充分利用。于是 1990 年, IEEE 802 决定新成立一个叫做 IEEE 802.11<sup>[5]</sup>工作组, 专门从事无线网络的研究, 开发一个 MAC 层协议和物理层介质标准。经过十几年的发展, IEEE 802.11 逐渐形成了一个家族<sup>[5-16]</sup>, 其中既有正式的标准, 又有对标准的修正案。IEEE 802.11 标准依靠修正案进行更新。

1991 年 5 月, IEEE 802.11 工作组成立。1997 年 6 月 26 日, IEEE 802.11 标准制定完成, 1997 年 11 月 26 日正式发布。IEEE 802.11 标准是第一代无线局域网标准之一, 对无线网络技术的发展和应用起到了重要的推动作用, 促进了不同厂商的无线网络产品的互联互通。

1999 年 9 月, 工作组又对 IEEE 802.11 标准作了修正和扩展,



除原 IEEE 802.11 的内容之外，增加了基于简单网络管理协议的管理信息库，并且还增加高速网络内容。在 IEEE 802.11 标准制定后，为了不断完善无线局域网技术，IEEE 又制定了大量的协议标准，用 IEEE 802.11 和相应的字母来表示，已经从 IEEE 802.11a<sup>[6]</sup> 发展到了 IEEE 802.11n<sup>[11]</sup>。

已经发布的标准和修正案的发展轨迹和层次模型如图 3-3 所示。其中，IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11b<sup>[7]</sup> 是两种互不兼容的高速物理层扩展。从修正关系看，IEEE 802.11h 和 IEEE 802.11j 主要是在 IEEE 802.11a 的基础上进行修改，使之适应各国和地区的需要；IEEE 802.11g<sup>[9]</sup> 主要是在 IEEE 802.11b 的基础上进行修改，IEEE 802.11n 主要是在 IEEE 802.11g 的基础上进行修改，以满足更高速率的需要。

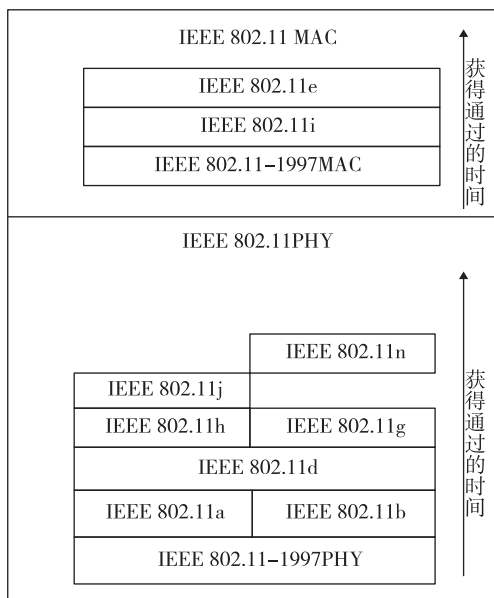


图 3-3 IEEE 802.11 标准和修正案的发展轨迹

1) IEEE 802.11b (IEEE Std 802.11b, 1999): 1999 年 9 月通过的 IEEE 802.11b 标准是 IEEE 802.11 的有效扩展。它提供了在 ISM



(Industrial, Scientific and Medical, 工业、科学和医学) 频段上 5.5Mbit/s 和 11Mbit/s 的数据速率, 采用补码键控 (Complementary Code Keying, CCK) 的调制模式。

2) IEEE 802.11a (IEEE Std 802.11a, 1999): IEEE 802.11a 工作于 5.8GHz 频段, 采用正交频分复用技术 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), 最高可支持 54Mbit/s 的传输速率。由于与 IEEE 802.11b 工作频段不同, 所以 IEEE 802.11a 不能兼容原有的 IEEE 802.11b 的产品。

3) IEEE 802.11g (IEEE Std 802.11g, 2003): IEEE 802.11g 将 IEEE 802.11b 的数据速率扩展到 54Mbit/s。同 IEEE 802.11b, IEEE 802.11g 工作在 2.4GHz 频段, 使用 OFDM 调制技术。它能向下兼容 IEEE 802.11b, 这样, 原有 WLAN 系统的设备可以平滑地向高速无线局域网过渡, 延长了 IEEE 802.11b 产品的使用寿命。

4) IEEE 802.11n (IEEE Std 802.11n, 2009): IEEE 802.11n 是一项新的高速无线局域网标准, 其能将 WLAN 的传输速率从 IEEE 802.11a/g 的 54Mbit/s 增加至 300Mbit/s, 理论最高速率可达 600Mbit/s。它采用多输入多输出 (Multiple-Input Multi-Output, MIMO) 与 OFDM 相结合的方式, 使传输速率成倍提高。IEEE 802.11n 全面改进了 IEEE 802.11 标准, 不仅涉及物理层标准, 同时采用新的高性能无线传输技术提升 MAC 层性能, 提高网络的吞吐量。

5) IEEE 802.11c: IEEE 802.11c 关注的是桥操作, 连接两个具有类似或相同 MAC 协议的局域网设备。IEEE 802.11c 工作组于 2003 年完成了这一标准的制定, 且该标准被归入有关局域网桥的 IEEE 802.11d 标准中。

6) IEEE 802.11d: IEEE 802.11d 作为管理范畴 (Regulatory Domain) 更新被提及, 它主要处理的是有关管理规范在不同国家差异的问题。

7) IEEE 802.11e<sup>[8]</sup>: IEEE 802.11e 对 WLAN 的 MAC 层做了修正以改进服务质量并解决一些安全问题。当在没有其他数据传输的空周期内, 采用时间调度和轮询的通信方式。此外, 它提供了对轮询效能的改进并增强了信道的健壮性。这些增强能为类似 IP 电话、



视频流这些应用业务提供所要求的通信质量，提供了 QoS（服务质量）保证。

8) IEEE 802. 11f: IEEE 802. 11f 定义了多个厂商 AP（接入点）之间的互操作能力问题，支持 IEEE 802. 11 的接入点互操作协议（IAPP）。

9) IEEE 802. 11h: IEEE 802. 11h 处理频谱和功率管理问题，其目标是让 IEEE 802. 11a 产品与欧洲制定的管理规范要求能够兼容。

10) IEEE 802. 11i: IEEE 802. 11i 定义了 MAC 层的安全和认证机制。

11) IEEE 802. 11k<sup>[10]</sup>: IEEE 802. 11k 定义了无线资源测量，增强了其功能，为较高层提供了无线和网络测量的机制。

12) IEEE 802. 11s<sup>[16]</sup>: IEEE 802. 11s 是无线网状网<sup>[18]</sup>的标准，定义了如何在 WLAN 系统上实现网状的组网结构。

### 3.3.2 IEEE 802. 11 系列网络系统架构

WiFi 网络组成（见图 3-4）中包含如下几个部分：站点（STA）、无线介质（Wireless Medium, WM），接入点（Access Point, AP）和分布式系统（Distribution System, DS）。

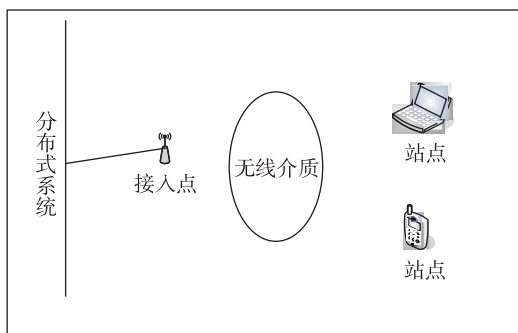


图 3-4 WiFi 的组成结构

站点（STA）：与有线网络相对应，站点在 WiFi 中通常作客户端，它是具有无线网络接口的计算机设备，通常被称为网络适配器或者网络接口卡。STA 是可以移动的，也可以是固定的。每个站点



都支持鉴权、取消鉴权、加密和数据传输等功能，是 WiFi 的基本组成单元。

**无线介质 (WM)：**无线介质是 WiFi 中站与站之间、站与接入点之间通信的传输介质，此处指的是空气，它是无线电波和红外线传播的良好介质。WiFi 中的无线介质由无线局域网物理层标准定义。

**接入点 (AP)：**AP 类似蜂窝结构中的基站，是无线局域网中的重要组成单元。它是特殊的站点。其基本功能有：①作为 AP，完成其他非 AP 的站点对分布式系统的接入访问和同一 BSS (基站子系统) 中的不同站点间的通信连接；②作为无线网络和分布式系统的桥接点完成无线网络与分布式系统间的桥接功能；③作为 BSS 的控制中心完成对其他非 AP 的站点的控制和管理。

**分布式系统 (DS)：**物理层覆盖范围的限制决定了所能支持的 STA 与 STA 之间的直接通信距离。对有些网络，该距离足够；对另一些网络，则可能需要增加其物理层的覆盖范围。为了解决覆盖范围的问题，BSS 可以不以单个形式出现，而是由多个 BSS 构成一个扩展的网络。连接多个 BSS 的这个网络构件被称为分布式系统 (DS)。分布式系统介质可以有有线介质，也可以是无线介质。这样在组织 WiFi 时就有了足够的灵活性。在多数情况下，有线 DS 系统与骨干网都采用有线局域网，而无线 DS 可通过 AP 间的无线通信取代有线电缆来实现不同 BSS 的连接。

在 IEEE 802.11 中，组成 WLAN 的基本单位称为基本服务集 (Basic Service Set, BSS)，由一系列互相通信的节点组成，这些节点所能覆盖到的通信区域称为基本服务区 (Basic Service Area, BSA)。BSA 中网络的拓扑有两种类型：自组织网络 (Ad Hoc Network) 与架构式网络 (Infrastructure Network)。

自组织网络由少数节点构成，没有网络中心，所有节点处于对等的地位。网络中的节点具有相同的 IP 子网地址、工作信道以及扩展服务集标识 (Extensive Service Set Identifier, ESSID) 和访问密码等信息，并在 WLAN 的覆盖范围之内进行点对点的单播通信或者点对多点的广播通信。自组织网络<sup>[17]</sup>的拓扑结构如图 3-5 所示。

架构式 WLAN 具有一个称为接入点 (AP) 的接入设备，用于协

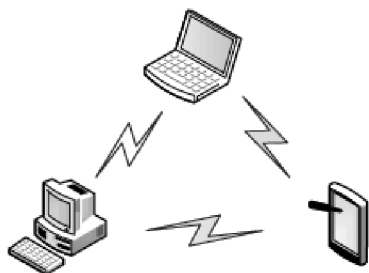


图 3-5 IEEE 802.11 自组织网络拓扑

调网络中节点的所有通信，网络中所有节点的数据传输都必须经过接入点的中转，节点之间不能进行点对点的直接通信。同时，接入点通常可以连接到有线网，从而为节点提供互联网的接入服务。架构式 WLAN 的拓扑结构如图 3-6 所示。

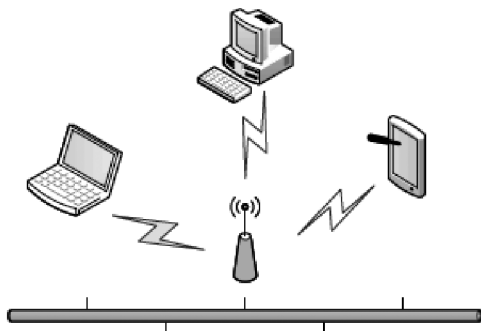


图 3-6 IEEE 802.11 架构式网络拓扑

单个接入点的覆盖范围有限，为了获得更大的网络覆盖，可以通过有线网络将多个接入点进行连接，构建扩展服务集（Extensive Service Set, ESS）。扩展服务集的网络拓扑如图 3-7 所示。

### 3.3.3 IEEE 802.11 MAC 层协议简介

在无线局域网中，对于共享的无线信道，当信道的使用产生竞争时，如何采用有效的协调机制或服务准则来分配信道的使用权，这就是无线局域网的 MAC 层协议所要解决的问题。无线信道与有线

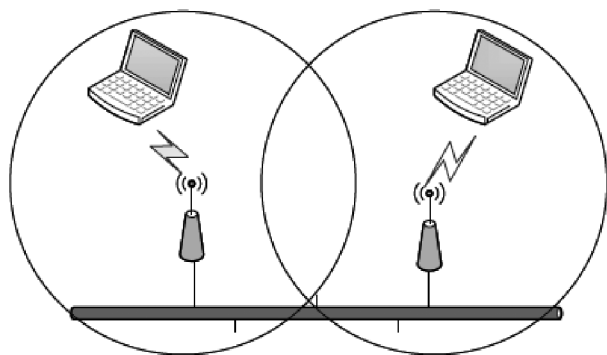


图 3-7 IEEE 802.11 扩展服务集网络拓扑

信道不同，无线信道是一个开放的、共享的广播信道，多个节点可以同时访问信道，无线局域网的 MAC 层协议就是定义一定的顺序和有效的方式分配节点访问无线信道的规则。

IEEE 802.11 系列的 MAC 层协议支持架构式网络和自组织网络两种类型的无线局域网，它有两种接入方式，即分布协调功能（Distributed Coordination Function, DCF）和点协调功能（Point Coordination Function, PCF）。DCF 是 IEEE 802.11 系列最基本的 MAC 层方法，其核心是 CSMA/CA 机制。它包括载波侦听（Carrier Sense, CS）机制、帧间间隔（Inter Frame Space, IFS）和随机退避（Random back-off）机制。在每个节点使用 CSMA 机制的分布式接入算法，让各个节点通过争用信道来获取发送权。DCF 在所有节点上都进行实现，可以用于架构式和自组织网络结构中，提供竞争服务。PCF 是可选的媒体接入方法，用于架构式网络结构中。PCF 使用集中控制的接入算法（一般在接入点实现集中控制），用类似于轮询的方法将发送数据权轮流交给各个节点，从而避免了帧冲突的产生。对于时间敏感的业务，如分组语音，就应该使用提供无竞争服务的 PCF。由于 PCF 机制十分复杂，同时并没有性能方面的优势，因此很少被使用。

为了尽量避免帧冲突，IEEE 802.11 系列的 MAC 层协议规定，所有节点在完成发送后，必须在等待一段很短的时间（等待的同时





继续侦听) 才能发送下一帧。这段时间统称为帧间间隔 (IFS)。IFS 的长短取决于该节点打算发送的帧的类型。高优先级帧需要等待的时间较短, 因此可先获得发送权, 而低优先级帧就必须等待较长的时间。若低优先级的节点还没来得及发送而其他节点的高优先级帧已发送到媒体, 则媒体变为繁忙状态, 因而低优先级帧就只能再推迟发送了。这样就减少了发生碰撞的机会。常用的几种 IFS 如下:

1) SIFS (Short IFS): SIFS 是最短的 IFS。当节点获得信道的控制权, 为了帧交换序列继续保持信道控制, 这时就使用 SIFS, 提供了最高优先级。

2) PIFS (PCF IFS): 仅仅当节点在 PCF 模式下, 为了在非竞争周期开始时获得信道的访问控制优先权而使用的。一旦在这个时间内侦听到信道空闲, 就可以进行中心控制方式的无竞争的通信。

3) DIFS (DCF IFS): 节点在 DCF 方式下传输数据帧和管理帧所使用的时间间隔。如果载波侦听机制确定在正确接收到帧之后的 DIFS 时间间隔中, 信道是空闲的, 而且退避时间已经过期, 节点将进行发送。

4) EIFS (Extended IFS): DCF 方式下用于接收数据错误情况下的等待时间, 为接收节点发送确认 (ACK) 帧提供足够的时间。

以上这些帧间间隔的长度实际上就决定了它们的优先级, 即 EIFS 的优先级 < DIFS 的优先级 < PIFS 的优先级 < SIFS 的优先级。当很多节点都在侦听信道时, 使用 SIFS 可具有最高的优先级, 因为它的时间间隔最短。

IEEE 802.11 DCF 有两种工作方式, 一种是基本工作模式, 即 CSMA/CA 方式; 另一种是 RTS/CTS 模式。

基本的 CSMA/CA 方式的工作过程 (见图 3-8) 如下: 当一个发送节点侦听到网络的空闲时间达到 DIFS 时间后, 就认为信道是空闲的, 因此开始向目的节点发送数据帧。目的节点如果正确接收到此数据帧, 就等待 SIFS 时间后, 向发送节点发送一个确认 (ACK) 帧表示确认。发送节点收到 ACK 帧之后, 整个发送数据帧的过程结束。如果发送节点在发送数据帧之后没有正确接收到目的节点发送的 ACK 帧, 那么发送节点认为此次数据帧的发送失败, 将使用随机



退避算法等待一段时间之后再重新发送数据帧。

RTS/CTS 模式的工作过程（见图 3-9）如下：当一个发送节点侦听到网络空闲时间达到 DIFS 时间之后，首先发送给目的节点一个请求发送（Request To Send, RTS）帧，表示要向目的节点发送数据帧。目的节点在正确接收到 RTS 帧之后，向发送节点回复一个清除发送（Clear To Send, CTS）帧，表示已经准备就绪。发送节点在正确接收到 CTS 帧之后，认为此次发帧没有与其他节点发生冲突，在等待 SIFS 时间之后按照基本的 CSMA/CA 方式发送数据帧。如果发送节点在发送 RTS 帧之后没有正确接收到 CTS 帧，那么发送节点会认为 RTS 帧发送失败，将使用随机退避算法等待一段时间之后再重新发送 RTS 帧。

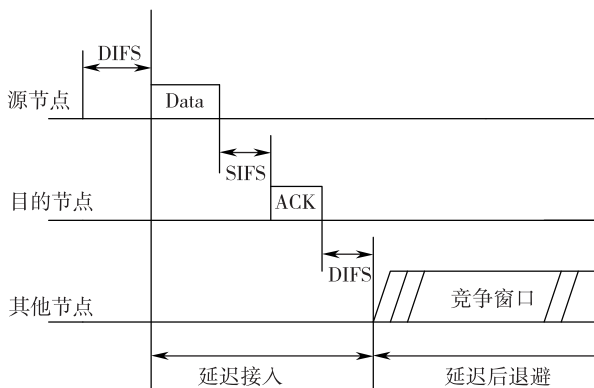


图 3-8 基本的 CSMA/CA 工作方式

RTS/CTS 模式的优点在于：如果两个或者两个以上的节点同时发送帧，那么就可以通过 RTS 帧发现冲突，接下来停止发送数据帧，这样就可以避免使用基本的 CSMA/CA 方式时，只有当数据帧全部发完之后才能感知发送帧是否发生了冲突，因此在发送较长数据帧时采用 RTS/CTS 模式可以提高信道的利用率。同时，RTS/CTS 模式可以解决隐藏终端的问题。但是额外的 RTS 帧和 CTS 帧会增加冗余，降低效率，尤其是对于短数据帧，该机制并不合理。

随机退避算法是当发送节点准备发送帧时发现信道繁忙或者发送



帧失败时，随机等待一段时间之后再开始下次发送帧，目的是为了进一步避免进一步的冲突。在 RTS/CTS 模式下随机退避算法的不同仅仅在于发送节点在发送数据帧之前，需要先发送控制帧（RTS 和 CTS）。

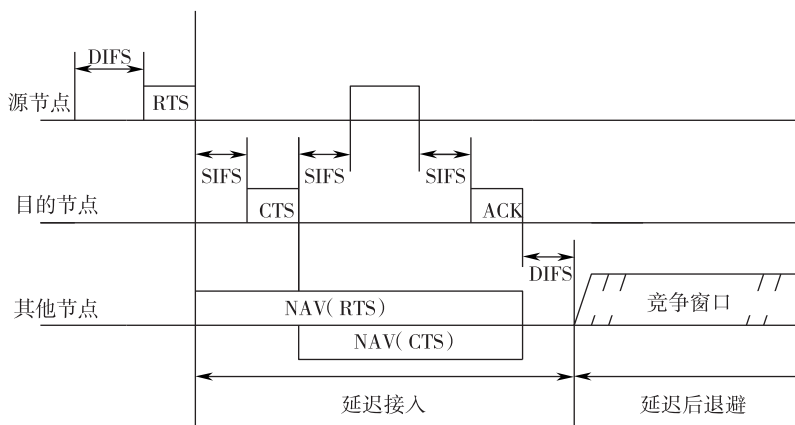


图 3-9 RTS/CTS 工作方式

### 3.4 IEEE 802.16 系列网络

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, 全球微波互联接入) 产业联盟，主要成员包括设备制造商、器件供应商和运营商等，主要任务是对产品进行兼容性和互操作性认证。它积极推广的是 IEEE 802.16 系列标准及其相关的规范。

WiMAX 论坛成立于 2001 年 4 月，最初该组织旨在对基于 IEEE 802.16 标准和 ETSI HiperMAN 标准的宽带无线接入产品进行一致性和互操作性认证，通过 WiMAX 认证的产品会拥有“WiMAX CERTIFIED”标识。随着 IEEE 802.16 技术和规范的进展，该组织的目标也逐步进行扩展，不仅要建立一套基于 IEEE 802.16e 标准和 ETSI HiperMAN 标准的认证体系，同时还致力于可运营的宽带无线接入系统的研究、需求的分析、应用模式的探索以及市场的拓展等一系列大力促进宽带无线接入市场发展的工作。通常认为，IEEE 802.16 工作组是 WiMAX 空中接口规范的制定者，而 WiMAX 论坛是技术和产



业链的推动者。目前，WiMAX 几乎成了 IEEE 802.16 技术的代名词，其空中接口规范涵盖了 IEEE 802.16d/e 标准。

随着 20 世纪 90 年代宽带无线接入技术的飞速发展，城市内中小企业、商业区的无线接入需求不断上升。然而在城域网宽带无线接入技术方面，一直缺乏一个统一的全球性无线宽带接入标准。这方面的空白制约了固定宽带接入产业的发展。IEEE 国际标准化组织一直在关注着固定宽带无线接入技术的发展和應用，并且积极推动着全球宽带无线接入的标准化进程。1999 年国际标准化组织成立了 IEEE 802.16 工作组来专门研究宽带固定无线接入技术规范。

IEEE 802.16 工作组主要开发应用于城域网的无线系统空中接口的物理层和媒体接入控制层规范。如果说 IEEE 802.11 标准解决了局域网的数据传输服务需求，那么 IEEE 802.16 标准的目标则是为城域范围内的宽带无线接入提供具有 QoS 保障的多点链接。IEEE 802.16 工作在 2 ~ 66GHz 的频带，根据频带高低的不同，可以分为视距和非视距两种无线应用系统。其中使用 2 ~ 11GHz 频带的称为非视距 (NLOS) 系统，而使用 10 ~ 66GHz 频带的称为视距 (LOS) 系统。IEEE 802.16 物理层采用了自适应调制编码、自适应天线系统、空时编码、信道质量测量等关键技术，基于 IEEE 802.16 标准的无线系统在相同的载波带宽下可以提供更高的传输速率。在媒体接入控制层协议上，IEEE 802.16 提供基于连接的终端数据传输业务和 QoS 保证，支持动态的带宽分配机制和多种上层网络协议，MAC 层的私有子层具有加密功能，可以有效地保护用户的私有信息。

IEEE 802.16 标准系列到目前为止主要包括 IEEE 802.16、IEEE 802.16a、IEEE 802.16c、IEEE 802.16—2004、IEEE 802.16e—2005、IEEE 802.16f 和 IEEE 802.16g 共 7 个标准。

IEEE 802.16 标准颁布于 2001 年 12 月，对工作于 10 ~ 66GHz 频段的固定宽带无线接入系统的空中接口物理层和 MAC 层进行了规范。其物理层使用 Wireless MAN\_SC，采用单载波调制。由于工作频段较高，IEEE 802.16 标准仅能应用于视距 (LOS) 范围。

IEEE 802.16a 标准颁布于 2003 年 1 月，是对之前发布的 IEEE 802.16 标准的扩展。该标准支持的频段为 2 ~ 11GHz，包含许可和免



许可的频段，适用于非视距（NLOS）范围。此外，IEEE 802.16a 增加了 QoS 保障机制，可以支持语音、视频等实时性业务。

IEEE 802.16c 是 2002 年正式发布的一个基于 IEEE 802.16 标准的增补文件，定义了工作于 10 ~ 66GHz、基于 IEEE 802.16 标准的无线系统之间的兼容性规范。

IEEE 802.16—2004 标准颁布于 2004 年，它对 IEEE 802.16—2001 和 IEEE 802.16a 进行了整合和修订，是最具实用性的一个标准版本。

IEEE 802.16 协议描述的是基站和终端站之间的空中接口，包括 MAC 层和物理层两大部分，其协议栈参考模型如图 3-10 所示。

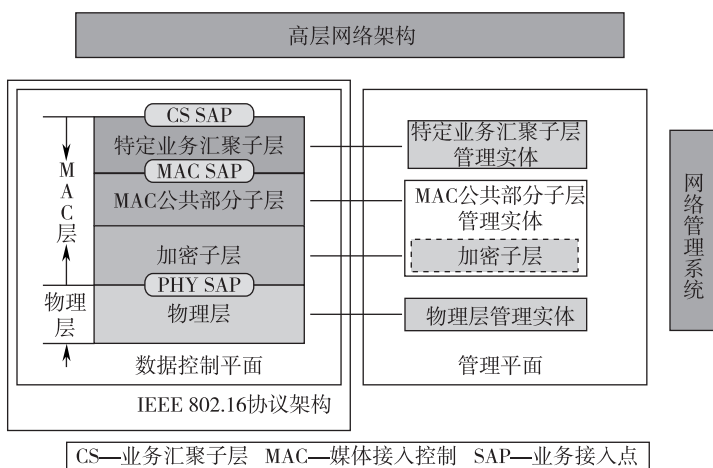


图 3-10 协议栈参考类型

IEEE 802.16 协议栈由数据控制平面和管理平面两部分组成。数据控制平面包括物理层和媒体接入控制（MAC）层两个部分。媒体接入控制（MAC）层又分成 3 个子层：特定业务汇聚子层、MAC 公共部分子层和加密子层。3 个子层之间的信息流交互通过相应的业务接入点（SAP）原语完成。数据控制平面中的 3 个子层分别对应管理平面中的 3 个管理实体。

特定业务汇聚子层的作用是从其业务接入点（CS SAP）接收外部网络的数据，将外部网络数据映射到不同的 MAC 业务数据单元



(SDU)，然后进行数据分类，与相应的业务流标识（SFID）和连接符标识（CID）进行关联。此外，特定业务汇聚子层还可能提供包括净荷头抑制（PHS）在内的其他功能。

公共部分子层是媒体接入控制（MAC）层最核心的部分。它将特定业务汇聚子层传入的业务数据单元（SDU）进行打包和分段，将数据重新整理成特定大小的适合传输的 SDU，最后加上 MAC 头形成协议数据单元（PDU）传送给下层。公共部分子层实现了大部分媒体接入控制（MAC）层的功能，包括新节点的初始化和网络接入，带宽分配，连接和业务流的管理，QoS 支持等。

加密子层位于 MAC 层的最下方，它采用数据封装协议对分组数据进行加密，同时通过密钥管理协议提供用户站和基站之间密钥分配机制。物理层分为汇聚子层（TCL）和物理媒介依赖子层（PMD），采用 OFDM 技术和 OFDMA 技术，实现数据流的并行传输。另外，物理层定义了两种双工方式：时分双工（TDD）和频分双工（FDD），以适应不同国家或地区电信体制的要求。

#### 3.4.1 IEEE 802.16 系列网络演进过程

20 世纪 90 年代，宽带无线接入技术开始快速发展，但是相关市场一直没有繁荣扩大，一个很重要的原因就是没有统一的全球性标准。1999 年，IEEE 成立了 IEEE 802.16 工作组来专门研究宽带固定无线接入技术规范，目标就是建立一个全球统一的宽带无线接入标准。IEEE 802.16 又称为 IEEE Wireless MAN 空中接口标准，是适用于 2~66GHz 的空中接口规范。由于它所规定的无线接入系统覆盖范围可达 50km，因此 IEEE 802.16 系统主要应用于城域网，被视为可与 DSL 竞争的“最后一公里”宽带接入解决方案。

IEEE 802.16 系列标准到目前为止包括 IEEE 802.16、IEEE 802.16a、IEEE 802.16c、IEEE 802.16d、IEEE 802.16e、IEEE 802.16f 和 IEEE 802.16g 七个标准，各标准相对应的技术领域如下：

IEEE 802.16：10~66GHz 固定宽带无线接入系统空中接口。

IEEE 802.16a：2~11GHz 固定宽带接入系统空中接口。

IEEE 802.16c：10~66GHz 固定宽带接入系统的兼容性。

IEEE 802.16d：2~66GHz 固定宽带接入系统空中接口。



IEEE 802.16e: 2~6GHz 固定和移动宽带无线接入系统空中接口管理信息库。

IEEE 802.16f: 固定宽带无线接入系统空中接口管理信息库要求。

IEEE 802.16g: 固定和移动宽带无线接入系统空中接口管理平面流程和服务要求。

### 3.4.2 IEEE 802.16 系列网络系统架构

IEEE 802.16 标准定义了点对多点 (PMP) 模式、网状 (Mesh) 模式、热点回传模式、终端接入模式、驻地网接入模式和无线桥接模式六种共享无线媒体接入的网络组织模式。

#### 1. PMP 模式

PMP 模式的网络由一个中心基站 (BS) 和多个用户站 (SS) 构成, 如图 3-11 所示。PMP 模式的中心基站类似于移动蜂窝网的基站, 是整个网络的中心, 负责调度和转发用户站 (SS) 之间的数据, 用户站 (SS) 之间不能直接通信。

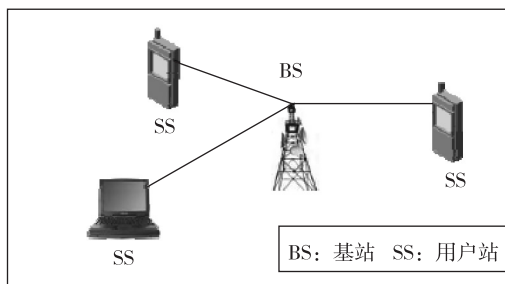


图 3-11 PMP 模式

在 PMP 模式中, 用户站 (SS) 共享上行信道, 按照基站 (BS) 的规定在相应的时隙中向 BS 发送数据。在下行链路中, BS 广播在上行链路中接收到的数据。在收听范围的 SS 节点核对数据单元中的连接标识符, 只处理发送给自己的数据, 将其他数据全部丢弃。

#### 2. Mesh 模式

传统的无线 WiMAX 网络通常采用 PMP 方式, 网络系统只能在



BS 与 SS 之间进行数据的通信。PMP 模式的网络覆盖率极小，在单跳环境下不能充分进行空间复用，极大地浪费了网络带宽。为了在提高网络吞吐量和网络资源有效利用率的基础上最大限度地扩大无线网络的覆盖范围，IEEE 802.16 工作组将无线 Mesh 网络拓扑结构写入协议中。无线 Mesh 结构如图 3-12 所示。

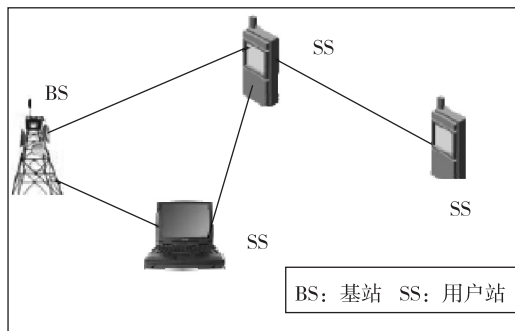


图 3-12 无线 Mesh 结构

WiMAX Mesh 模式和 PMP 模式的最大区别在于：PMP 模式是一个单跳网络，网络通信只存在 BS 节点和 SS 节点之间，SS 节点之间不能直接通信；而 Mesh 网络是一个多跳无线网络，SS 之间可以建立多条通信链路，SS 与 BS 之间不须直接通信，可通过其他 SS 节点的转发进行间接通信。多跳传输极大地克服了 PMP 模式覆盖范围小的特点，且 SS 节点之间的通信为提高空间复用率和网络吞吐率提供了可能。

在 WiMAX Mesh 网络中，BS 节点是一个类似网关的与网外服务直接连接的节点。SS 节点则是一个类似于无线路由器的用户站节点。Mesh 模式中的上行链路和下行链路根据通信发起方是 SS 节点还是 BS 节点来定义。根据 WiMAX Mesh 网络传输协议的不同，还可以细分为两种 Mesh 网络模式：①有中心站的集中式网络；②对等的分布式网络。

在有中心站的集中式网络中，BS 节点作为中心节点，需要搜集网络中的拓扑结构、信道资源、带宽请求等信息，并决定分配给每





个 SS 节点的资源总数。BS 节点和 SS 节点在网络调度中的关系并不对等，是一种裁决者和请求者之间的关系。在集中式的网络中，上行链路和下行链路可以采用不同的调度算法，具体算法由 BS 节点决定。

在对等的分布式网络中，BS 节点除了作为与外网直接连接的网关和新节点加入网络时的注册目标之外，在调度过程中与 SS 节点扮演的角色完全一致，不能获得网络的全部信息。网络中的所有节点（包括 BS）在进行数据传输时都要与自己的两跳邻居进行协调，并将自己的时间表广播给所有的一跳邻居节点。每个节点在传输控制信息和网络数据时都要保证传输时无冲突。上行链路和下行链路的调度方式没有区别。

### 3. 热点回传模式

热点回传（Backhaul）模式（见图 3-13）采用 WiMAX 无线接入网络把远端 WiFi 热点（Hotspot）业务回送到核心网，WiMAX 基站（BS）的作用仍为业务接入点（SAP），而 WiMAX 用户站（SS）是热点侧的无线接入设备，提供标准接口与热点相连，作为 WLAN 接入点（AP）的热点设备再通过 IEEE 802.11a/b/g 无线链路与无线终端连接。

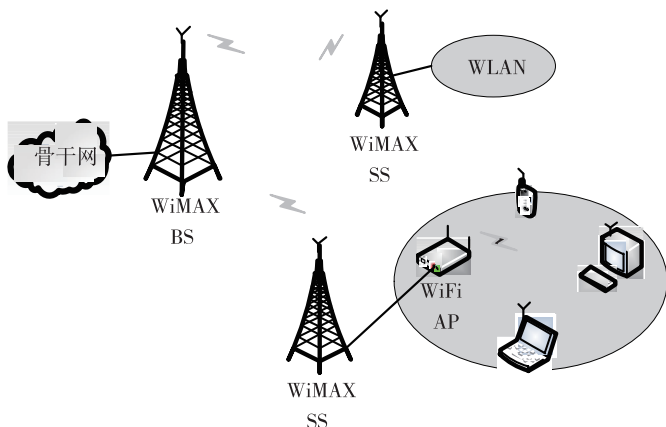


图 3-13 热点回传模式



WiMAX 接入网络可根据实际情况灵活采用 PMP 或 Mesh 模式。对于移动运营商也可以采用该应用模式，把各小区移动基站业务回传到移动交换中心。

WiMAX 热点回传模式的主要特点在于作为业务回传应用，采用无线传输方式，与传统有线回传模式相比，其特点显而易见，可作为传统回传模式的补充或替代方案。

#### 4. 终端接入模式

如图 3-14 所示，在终端接入模式下，用户终端设备（Terminal Equipment, TE）直接通过作为 SAP 的 WiMAX 基站（BS）接入核心网。而用户终端设备（TE）若要直接接入 WiMAX 网络，则必须配置符合 WiMAX 标准的用户单元（Subscriber Unit, SU），用户单元（SU）一般是 WiMAX 无线网卡或无线模块形式。

由于 WiMAX 接入速率很高，而且支持城域内终端设备的移动性（对于即将颁布的 IEEE 802.16e），因此特别适合于接入速率要求高并且有移动性要求的终端应用。

该模式的特点在于允许用户终端直接高速接入网络，并支持便携式终端在城域范围内的移动和漫游。从技术和业务的角度看，只要再增加支持 VoIP 语音业务功能，就可成为名副其实的下一代移动通信网络。

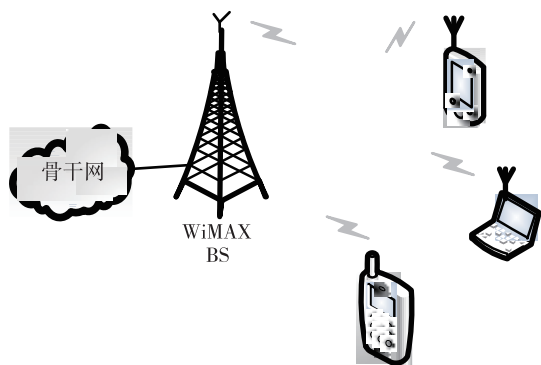


图 3-14 用户终端接入模式



### 5. 驻地网接入模式

如图 3-15 所示，驻地网接入模式主要针对集团用户，其目标是把诸如企业、校园和 SOHO（Small Office Home Office，家居办公）等用户驻地网通过 WiMAX 接入城域网。与其他应用模式相同，基站（BS）还是作为 SAP 与核心网相连提供无线接入服务。在用户侧，用户无线接入设备 SS，其一侧通过无线接口上连基站（BS），另一侧通过标准接口（例如以太网接口、E1 等）与用户驻地网（CPN）设备相连。一般用户站（SS）采用定向天线，以及各种自适应技术，灵活调整工作方式，保证用户的正常接入。

用户侧驻地网（CPN）设备可以是用户路由器、交换机、集线器等网络设备，甚至可以是另一种无线接入点（例如 WiFi 热点），用于组成用户专用局域网，其典型实例是目前广泛存在的校园网、企业网、政府网或 SOHO 等形式。

驻地网接入模式特别适合于线缆接入不方便，对接入带宽要求不高的驻地网接入应用。与线缆接入方式相比，部署快捷是该模式的竞争优势。

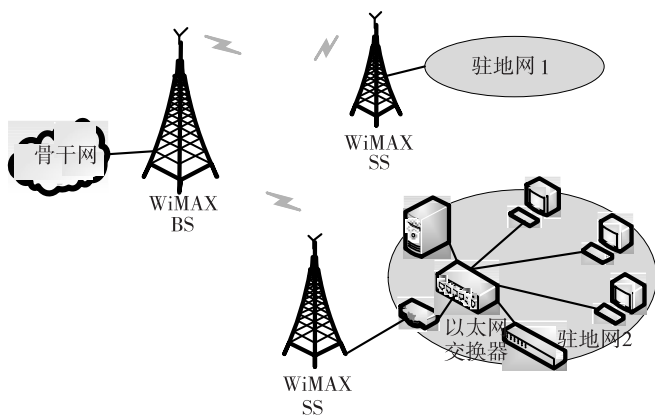


图 3-15 驻地网接入模式

### 6. 无线桥接模式

如图 3-16 所示，无线桥接模式是一种点到点无线连接方式，与



远程网桥的作用相似，其目的是把地理位置分离的两个子网络通过 WiMAX 无线链路连接在一起。由于无线桥接采用点对点方式，两端 WiMAX 无线网桥设备天线的方向可以彼此对准固定，因此传输性能相对稳定，部署也相对简单。

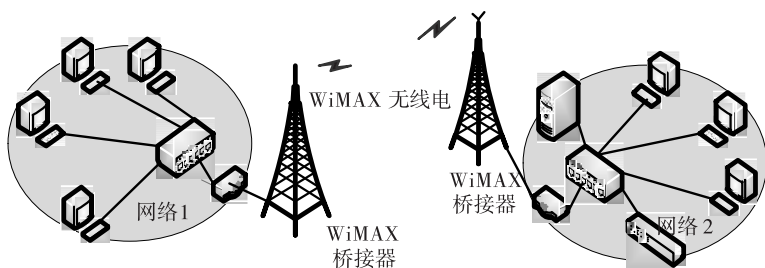


图 3-16 WiMAX 无线桥接模式

显然，采用 WiMAX 无线桥接方式，可以避免困难的专线铺设或缴纳昂贵的线缆租金，并能迅速开通使用，连接距离远，连接带宽完全能满足一般应用需要。在用户专网建设方面，比有线桥接方式更具竞争力。

### 3.5 运营商 WLAN 网络

近年来，移动通信和互联网用户的数量一直呈现指数型增长的发展态势，两种通信方式很大程度上培养了用户的消费习惯，并进一步产生消费依赖，为移动互联网的发展提供了庞大的用户基础和经济基础。另外，随着 2009 年 3G 在中国的商用，3G 用户增长迅速，移动用户渴望随时随地的无线宽带接入。WLAN 作为一种低廉的无线宽带接入技术，近年被广泛应用于移动运营商系统中，应用于机场、酒店、娱乐和休闲公共场所、会议展厅等人群密集流动性高的热点区域。随着城市居民经济水平的提供，IT 消费占



居民支出的比例也在逐渐上升，WLAN 业务还可面向家庭的宽带用户。

WLAN 在国内的主流应用有如下几种：

1) 作为 2G/3G 的补充，融合无线局域网技术，提供慢速和游牧移动状态下的移动宽带接入，与 2G/3G 互为补充：2G/3G 提供快速移动、广覆盖状态下中低速率接入，而 WLAN 定位热点区域相对静止和慢速移动状态下大宽带无线数据接入。

2) 跨越线缆鸿沟，在布线困难的区域下，提供基本的家庭宽带接入。

WLAN 作为一种有效、经济和普及的移动宽带技术，将对有线宽带和无线宽带融合发展起到非常重要的促进和补充作用，其既有与固定宽带相媲美的带宽和成本优势，又有无线技术的移动方便性，是融合固定宽带和无线移动的重要桥梁技术。

### 3.5.1 国内运营商 WLAN 网络

移动互联网时代的到来，国内三大运营商均加大了对 WLAN 的投资部署。中国移动推出了“百万热点计划”，将 WLAN 打造成第四张移动网，积极推动 WLAN 与移动网的融合试点。中国电信推出“无线中国”工程，预计 2012 年底建成百万热点。同样地，中国联通亦于 2011 年、2012 年加紧了对 WLAN 热点的部署。

运营 WLAN 系统目前大都采用的是集中控制型 AP 系统，即 AC + 瘦 AP 组网模式，将管理、策略、移动性、转发等功能集中到 AC（无线控制器）上，瘦 AP 仅负责射频覆盖和 IEEE 802.11 帧交换功能，AC 实现对瘦 AP 的集中控制管理。集中控制型架构包括业务数据集中转发和本地转发两种方式。集中转发指业务数据由 AC 集中转发，瘦 AP 与 AC 之间采用隧道技术传送业务数据和管理控制数据；本地转发指业务数据由瘦 AP 转发，只有管理控制数据流集中到 AC。而在对集中控制型 AP 系统进行组网时，依据 AC 部署位置的差异，主要有以下几种方式：

(1) AC 部署于城域网上，实现全网集中控制

该模式是在全网部署几台大容量 AC 分区覆盖，用于集中管理全网广域分散性 AP。主要适合对地理位置上较为分散，单个热点 AP



数量较少的区域进行集中管理。在该模式下，瘦 AP 对 AC 的自动识别采用基于三层协议的发现方式。

#### (2) AC 旁挂 BRAS 的部署方式

该部署方式适用于有线、无线业务共用 BRAS（宽带远程接入服务器）和城域网接入设备，AC 的部署与 BRAS 相对应。在该模式下，瘦 AP 对 AC 的自动识别可采用基于二层协议或三层协议的发现方式。组网模式具体是 AC 直接下挂汇聚交换机或 OLT（光线路终端）设备，实现与汇聚交换机或 OLT 下接 AP 间的二层通信；同时 AC 也与城域网一至两台 BRAS 直连，实现 WLAN 业务流量上行至该 BRAS 进行认证计费。

#### (3) AC 串接 BRAS 和汇聚交换机之间的部署方式

此方式针对有线、无线共用城域网汇聚、接入设备，而 BRAS 分开部署的情况。无线流量通过 AC 转发，有线流量直接到有线 BRAS 处理，在汇聚交换机上实现业务分流。

### 3.5.2 中国联通的 WLAN 测试情况

#### 1. 测试项目

中国联通于 2010 年 3 月进行了 IEEE 802.11n 产品的测试，本次测试重点对 IEEE 802.11n WLAN AP 和 WLAN AC 进行了设备功能、性能和网管等综合测试。

#### 2. 测试环境

正式测试之前，对测试现场所用的仪表、电源、接地和缆线接头等均经过严格的检查、校准和测量，所有测试均在常温常湿下进行。

#### 3. 参测厂商和设备

本次测试共有 13 个厂商参加测试，每个厂商提供一款 AC，两款 AP（分别为功率 100mW 的室内放装型 AP 和功率 500mW 的室内分布型 AP）。

#### 4. 测试结果

##### (1) 功能项

功能测试项中，AP100mW 共有测试项 40 项，AP500mW 共有测试项 39 项，涉及 WLAN 空中接口、QoS、安全、以太网远端供电、



上行链路完整性、设备断电重启后自动恢复服务能力支持多空间流、支持 A-MPDU、支持 20/40MHz 频宽、支持 Short GI、HT-Greenfield 模式测试 HT-Mixed 模式测试、支持 POE 供电等方面。各个厂商的设备在功能方面的通过率都较高，比较好的符合测试规范涉及的各项测试项。

IEEE 802.11n 实现的功能与 IEEE 802.11g 相比，主要增加了支持多条空间流（MIMO）、支持 A-MPDU、支持 20/40MHz 频宽（信道捆绑）、支持 Short GI、HT-Greenfield/HT-Mixed 模式等功能。本次对 13 家主流厂商的 IEEE 802.11n 设备进行了测试，除 Trapeze 不支持 2.4GHz 频段上的 40MHz 频宽外，其余厂商均支持所有 IEEE 802.11n 功能。Trapeze 不支持的原因是认为在 2.4GHz 频段上实现 40MHz 频宽不具备可行性。只有 MIMO 尚存局限，目前主流厂商只能实现到两条空间流。

针对 IEEE 802.11n 的兼容性问题，我们测试了 IEEE 802.11n 和 IEEE 802.11a/b/g 共有的 12 项功能，所有参加测试的厂商，通过率达到 100%。各厂商的 IEEE 802.11n 产品很好的集成和实现了 IEEE 802.11b/g 的功能，技术成熟、功能完善。

## (2) 性能项

性能测试中，包括的测试内容有吞吐量测试、室内覆盖测试和容量测试，其中 AP100mW 共有测试项 26 项，AP500mW 共有测试项 18 项。性能项包括空中接口功率测试、吞吐量测试、覆盖测试和容量测试。

空中接口功率：AP100mW 在 2.4G/20MHz，输出功率为 18dB，AP100mW 在 5.8G/20MHz 不同信道下单流的平均功率 15dB。

吞吐量：在 2.4G/20MHz， $2 \times 2$  天线双空间流，无加密条件下，单个 IEEE 802.11n 用户下行吞吐量平均值可达 97.7Mbit/s；在 2.4G/40MHz， $2 \times 2$  天线双空间流，无加密条件下，单个 IEEE 802.11n 用户下行吞吐量平均值 194.7 Mbit/s。

容量测试结果见表 3-1。



表 3-1 不同速率和字节下的容量

| 用户速率      | 5.8G/40Mbit/s |           | 5.8G/20Mbit/s |           |
|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
|           | 256B          | 1518B     | 256B          | 1518B     |
| 512kbit/s | 68Mbit/s      | 116Mbit/s | 53Mbit/s      | 101Mbit/s |
| 1Mbit/s   | 44Mbit/s      | 86Mbit/s  | 31Mbit/s      | 63Mbit/s  |
| 2Mbit/s   | 24Mbit/s      | 51Mbit/s  | 18Mbit/s      | 34Mbit/s  |

### 3.6 本章小结

本章主要介绍了宽带无线接入网络发展情况，并对以 IEEE 802.11、IEEE 802.16 为代表的无线局域网、无线城域网的系统架构以及通信协议进行了重点分析。最后结合中国联通 WLAN 网络情况，对未来 WLAN 在运营商的发展进行了探讨。

### 参考文献

- [1] 徐小涛. 无线个域网 (WPAN) 技术及其应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [2] 威廉斯托林斯. 无线通信与网络 [M]. 何军, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] 朱琦, 刘广增. IEEE Standard 802.16. 中兴通信技术, 2005, 11 (2).
- [4] IEEE Std 802.16TM. Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. 2004.
- [5] IEEE Std 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. 2007.
- [6] IEEE Std 802.11a. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-speed Physical Layer in the 5GHz band. 1999.
- [7] IEEE Std 802.11b. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz band. 1999.
- [8] IEEE Std 802.11e. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Enhancement of Quality of Service (QoS). 2005.
- [9] IEEE Std 802.11g. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and





Physical Layer (PHY) Specifications; Further Higher Data Rate Extension in the 2.4GHz band. 2003.

[10] IEEE Std 802.11k. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Radio Resource Measurement of Wireless LANs. 2008.

[11] IEEE Std 802.11n. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Enhancements for Higher Throughput. 2009.

[12] IEEE Std 802.11p. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Wireless Access in Vehicular Environments. 2010.

[13] IEEE Std 802.11r. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Fast Basic Service Set (BSS) . 2008.

[14] IEEE Std 802.11w. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Protected Management Frames. 2009.

[15] IEEE Std 802.11y. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; 3650-3700MHz Operation in USA. 2009.

[16] IEEE 802.11s Draft 7.00. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; ESS mesh networking. 2010.

[17] 陈林星, 等. 移动 Ad Hoc 网络——自组织分组无线网络技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

[18] 张彦, 等. 无线网状网: 架构、协议与标准 [M]. 郭达, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2008.

[19] 张平, 等. WCDMA 移动通信系统 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.

[20] 胡捍英, 等. 第三代移动通信系统 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.

[21] 段玉宏, 夏因忠, 胡剑, 等. TD-SCDMA 无线系统原理 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.



# 3GPP长期演进系统

3GPP 长期演进 (Long Term Evolution, LTE) 系统, 是 3GPP 面向未来移动通信系统需求而针对 UMTS 系统提出的演进网络。与 UMTS 系统相比, LTE 系统在网络结构、关键技术及系统性能等方面均发生了巨大的变化, 真正将用户带入了移动宽带通信新生活。

本章从 LTE 的产生背景入手, 首先介绍 LTE 系统的技术要求指标及其标准化历程, 接下来着重阐述了 LTE 系统的网络结构及其网元功能, 并分析了 UMTS 与 LTE 在网络架构上的差异; 此外, 结合国际电信联盟 (International Telecommunication Union, ITU) 针对 4G 系统的标准化工作, 本章进一步介绍 LTE-Advanced 系统的性能及其关键技术, 并着重阐述 LTE-Advanced 在网络结构方面的演进; 最后, 针对当前 LTE 系统在全球的部署和试验情况进行了简单介绍。

## 4.1 LTE 演进历程

从网络架构、业务支撑能力及数据传输速率方面分析, 第三代移动通信系统并不能称为真正的宽带移动通信网络。因此, 虽然 3GPP 已经完成了对 3G 标准的制定, 但一直致力于对更先进移动通信技术的研究, 旨在为用户提供更可靠通信方式、更快数据传输速率及更丰富业务内容的先进移动通信系统, 而这一演进需求也得到了来自运营商、设备制造商的广泛支持。此外, 随着终端制造技术的不断提升, 越来越多的智能终端投入市场应用, 让人们体验到了内容多样化的移动互联网业务, 这进一步提升了人们对移动通信网络业务提供能力的期望。在技术发展及业务需求的推动下, 促进了



3GPP 提出了针对 UMTS 的演进路线，即 UTRAN 的长期演进 (LTE)，LTE 系统被广泛认为是具有宽带数据特征的移动通信系统，该系统具有更大带宽的支持能力、更小的网络传输时延、更有效的频谱利用率、能提供内容丰富的分组域数据业务等系统特征。

本节首先简要介绍了 LTE 的标准化历程及 3GPP 自 R8 后在不同版本中关键技术标准化情况；之后，着重介绍了 LTE 系统在峰值速率、频谱效率、覆盖、移动性等各方面的需求指标，以更好理解 LTE 系统关键技术设计的背景。

#### 4.1.1 LTE 标准化历程

个人移动通信市场的飞速增长，引发了大量宽带接入设备商及非传统移动运营商向移动通信领域的扩张和渗透。尤其是以 WiFi 和 WiMAX 为代表的无线接入方案，对传统移动通信系统提出了前所未有的挑战。因为 WCDMA/HSPA 空中接口和网络结构过于复杂，虽然在支持移动性和 QoS 保障方面较之 WiFi 和 WiMAX 存在较大优势，但在带宽支持能力、传输时延、设备成本及无线频谱利用率等方面明显落后。用户的需求和市场的挑战共同推动了 3GPP 在 4G 出现前制定针对 3G 系统的演进计划，提出新的空中接口和无线接入网络标准，提升 3G 系统的带宽支持能力，与可以支持 20MHz 带宽的 WiMAX 技术相抗衡。

2004 年 11 月，3GPP 在加拿大多伦多召开了“UTRAN 演进会议”以征集 R6 版本之后的演进意见，并在随后的全会上通过了“UTRA 和 UTRAN”研究项目的立项，这是 LTE 概念的首次提出。在随后的 2004 年 12 月在希腊雅典召开的 RAN#26 次全会上正式通过了 UTRA 长期演进 (LTE) 的研究阶段 (Study Item, SI)，正式决定针对 LTE 的需求、空中架构、多址方式和网络结构等进行研究。随后，针对 LTE 的正式讨论从 2005 年 4 月开始，首先由 RAN1 发起。最终，LTE 的研究阶段 (SI) 于 2006 年 9 月完成，而工作阶段 (Work Item, WI) 于 2008 年年底完成。

从 2000 年 3 月 UMTS 标准的第一个正式版本 R99 发布以来，3GPP 基于该技术标准提出了后续的多个演进版本。由于 R99 在空中接口方面引入了全新的 UTRAN 技术，但在核心网方面继承了 2G 的



核心网结构，为了推动整体网络结构的演进，R4 版本和 R5 版本应运而生。R4 版本引入了软交换的概念，实现了控制和承载的分离。R5 版本提出了 IP 多媒体子系统（IP Multimedia Sub-system, IMS）的概念，实现了全网的 IP 化，并且对下行链路进行了增强，引入高速下行分组接入技术（High Speed Downlink Packet Access, HSDPA）。R6 版本于 2004 年 12 月确定，在该版本中对上行链路进行了增强，引入了高速上行分组接入技术（High Speed Uplink Packet Access, HSUPA）。R7 版本继续完成了诸如 MIMO 技术等 R6 版本尚未完成的工作，实现了对 HSPA 技术的演进增强；此外，R7 版本还开展了对 LTE 可行性研究和 HSPA 演进的工作范围研究。图 4-1 所示为 LTE 和 HSPA 不同版本的演进示意图。

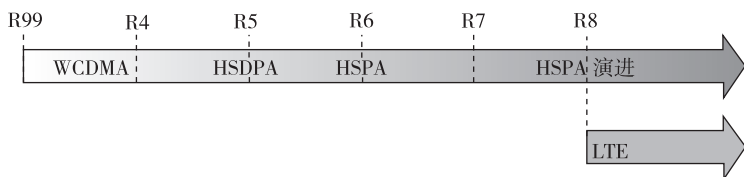


图 4-1 LTE 和 HSPA 演进示意图

2005 年开始的 R8 版本的讨论和起草工作，主要开展了两个极为重要的演进项目：LTE 和 SAE，其中 LTE 是针对无线接入网络的演进，而 SAE 是针对整个网络架构，尤其是核心网的演进；此外，R8 版本还对现有 HSPA 系统进行了一系列增强和完善工作。

历时两年半以后，R8 版本于 2008 年 12 月发布，该版本是第一个 LTE 的正式标准规范。虽然由于时间的压力，R8 版本未来得及对部分 LTE 系统的特性进行标准化，该部分工作留到了 R9 版本继续完成。

R9 版本于 2009 年 12 月正式发布，该版本继续对 R8 版本中尚未完成的诸如增强 MBMS（多媒体广播多播业务）的讨论和标准化。此外，为应对 ITU 提出的 IMT-Advanced 系统的需求目标，R9 版本也花费了大量的精力对 LTE-Advanced 进行了研究讨论。

为达到 IMT-Advanced 系统所提出的大带宽、频谱效率等方面的



需求指标，R10 版本对 LTE-Advance 项目进行了研究，并引入了载波聚合、增强 MIMO、中继技术等对 LTE 系统进行增强，使得所提出的 LTE-Advanced 系统指标优于 ITU 所提出的 IMT-Advanced 系统的需求指标。2011 年 3 月，R10 版本正式发布，该版本是对 LTE 系统的演进和增强，是第一个 LTE-Advanced 系统正式标准规范。

在 R10 版本发布的同时，3GPP 也启动了对 R11 版本的标准化工作，对 LTE-Advanced 中的部分关键技术进行演进和增强，在本书截稿时，R11 版本的标准工作仍在进行中。

图 4-2 所示为从 R8 版本到 R11 版本的发布时间及每个阶段标准化的内容情况。

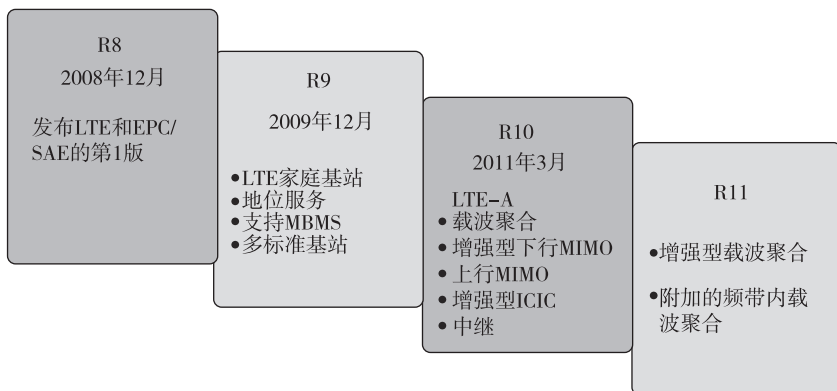


图 4-2 标准化历程

#### 4.1.2 LTE 系统需求

针对 LTE 系统，3GPP 的初衷是确保其无线技术在未来十年或更长时间内的竞争力。因此，LTE 系统的设计总体目标包括：

- 1) 降低运营商部署成本。
- 2) 扩展业务提供能力。
- 3) 增强空中接口传输能力、简化网络结构。
- 4) 增强频谱使用灵活性。

基于上述总体设计目标，在 2006 年完成 LTE 的研究阶段工作后，形成了 LTE 需求报告 TR25.913，对 LTE 在峰值速率、传输时



延、频谱效率、移动性等方面的需求指标进行了说明。下面将结合 TR25. 913 中的内容对 LTE 系统各方面的需求指标进行阐述。

### 1. 系统容量需求

对于容量相关的需求指标，主要从峰值速率及系统时延两个方面进行分析。

#### (1) 峰值速率

LTE 系统最高可支持 20MHz 的带宽：

1) 下行支持最高 100Mbit/s、上行支持 50Mbit/s 的数据传输速率。

2) 频谱利用率分别是上行 5 (bit/s) /Hz，下行 2.5 (bit/s) /Hz。

#### (2) 系统时延

系统时延分为控制面和用户面时延，并提出了不同的需求指标：

1) 控制面时延：从驻留态转移到激活态的时延不高于 100ms；从睡眠态转移到激活态的时延不高于 50ms。

2) 控制面容量：当系统带宽为 5MHz 时，每个小区至少需要支持 200 个“激活”用户；当系统配置更高带宽时，每个小区至少需要支持 400 个“激活”用户。系统应该能够支持更多数量的处于休眠态 (Dormant) 和驻留态 (Camped) 的用户。

3) 用户面时延：用户面时延是单程传输时延，分为上行时延和下行时延，以下行时延为例，是指一个数据包由 RAN 的边界节点的 IP 层传输到 UE 的 IP 层所用的时间，而边界节点是指 RAN 与核心网的接口。LTE 系统要求用户面时延不能高于 5ms。

### 2. 系统性能需求

在系统性能需求指标方面，LTE 系统主要从用户吞吐量、频谱效率、移动性、覆盖、增强型 MBMS 和网络同步等多个方面进行分析和阐述。

#### (1) 用户吞吐量

1) 上行用户吞吐量：在 CDF 曲线 5% 处的每兆赫兹用户吞吐量应该为 R6 HSUPA 的 2~3 倍；每兆赫兹平均用户吞吐量为 R6 HSUPA 的 2~3 倍；所提到的 R6 HSUPA 的参考性能是指在 UE 端使用单



天线发射，而在 Node B 使用 2 根接收天线。

2) 下行用户吞吐量：在 CDF 曲线 5% 处的每兆赫兹用户吞吐量应该为 R6 HSDPA 的 2~3 倍；每兆赫兹平均用户吞吐量为 R6 HSDPA 的 2~3 倍；所提到的 R6 的参考性能是指 Node B 侧采用单天线发射，而 UE 侧采用第 1 型 (Type 1) 天线进行接收，而 E-UTRA 性能是在 Node B 处使用 2 根发射天线，而在 UE 处使用 2 根接收天线。

### (2) 频谱效率

1) 上行频谱效率：在一个有效负载的网络中，频谱效率 (单位为  $(\text{bit/s})/\text{Hz}$ ) 应该是 R6 HSUPA 的 2~3 倍。所提到的 R6 HSUPA 的参考性能是指在 UE 端使用单天线发射，而在 Node B 使用 2 根接收天线。

2) 下行频谱效率：在一个有效负载的网络中，频谱效率 (单位为  $(\text{bit/s})/\text{Hz}$ ) 应该是 R6 HSDPA 的 3~4 倍。所提到的 R6 的参考性能是指 Node B 侧采用单天线发射，而 UE 侧采用第 1 型 (Type 1) 天线进行接收，而 E-UTRA 性能是在 Node B 处使用 2 根发射天线，而在 UE 处使用 2 根接收天线。

### (3) 移动性

1) LTE 应该能够优化低速移动，即 0~15km/h 时的系统性能；实现高移动速率，即 15~120km/h 时较高的系统性能；在 120~350km/h (在某些频段上甚至高达 500km/h) 时维持蜂窝系统的移动性。

2) 在 R6 版本 CS 域所支持的语音和其他实时业务，在 E-UTRAN 中通过 PS 域提供，并且在不同移动速度场景下都能够不低于 R6 CS 域的服务质量。

### (4) 覆盖

E-UTRA 应该能够在继续使用现有 UTRAN 站点和载频的基础上，灵活地支持不同的覆盖场景，实现上述所提到的各种性能指标。当 C/N 受限的场景中 (如建筑物室内深处)，不应该期望 LTE 相比 R6 HSPA 能有较大幅度的性能提升。

在不同的覆盖情况下，E-TRAN 应该能够支持如下的部署和性能要求：



1) 最大覆盖半径为 5km: 应满足所提出的用户吞吐量、频谱效率和移动性需求指标。

2) 最大半径为 30km: 用户吞吐量性能略有下降; 频谱效率性能可以有明显下降; 移动性能指标仍需满足。

3) LTE 系统应该支持最大 100km 的覆盖半径。

#### (5) 增强型 MBMS

为降低终端复杂度, 增强型 MBMS 应采用与单播业务相同的调制编码和多址方式, 可向用户同时提供 MBMS 业务和专用语音业务; 增强 MBMS 可用于成对和非成对频谱。具体需求内容可参考 TR25.913。

#### (6) 网络同步

前述 LTE 系统性能需求在网络部署中的实现不应依靠基站间的时间同步。然而, 如果基站间同步能够带来明显的增益, 则应考虑给予基站时间同步的系统性能优化。

### 3. 部署需求

对于 LTE 的部署需求, 主要从部署场景、频谱灵活性、频谱部署、与其他 3GPP 系统的共存和互操作等方面进行指标分析。

#### (1) 部署场景

在实际应用中, LTE 存在多种部署场景, 从系统层面对这些部署场景进行总结归纳后, E-UTRAN 应支持如下的两种部署场景:

1) 独立部署场景 (Standalone): 在该场景中, 运营商可以在完全没有无线网络的区域部署 E-UTRAN, 也可以在已经部署了 UTRAN/GERAN, 但不需要进行系统间互操作的区域部署 E-UTRAN (如独立的无线宽带应用)。

2) 与现有 UTRAN 或 GERAN 的混合部署: 在该场景中, 运营商已经在同一区域部署了 UTRAN 或 GERAN, 在这些区域新部署的 E-UTRAN 需要与现有系统有不同程度的互操作。

#### (2) 频谱灵活性

1) E-UTRA 应能支持不同的带宽配置, 包括 1.4MHz、3.0MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz; 此外, LTE 还支持在成对和非成对频段部署。

2) E-UTRA 应灵活支持广播传输中的两种模式: Downlink-only





和 Downlink and Uplink，以优化利用可用频谱。

3) E-UTRA 应根据特定需求或运营商策略灵活调整用于广播传输的无线资源分配（如紧急情况、国内外特殊事件等）。

4) 当在对称频谱和非对称频谱上进行操作时，应尽量避免不必要的技术差异。此外，应最小化为满足此需求而增加的复杂度。

### (3) 频谱部署

E-UTRA 应能满足下述场景：

1) 在相同地理区域和 GERAN/3G 系统共站址共存、临频共存。

2) 多个运营商在相同地理区域临频、共站址共存。

3) 在国界两侧重合或相邻频段内共存。

4) E-UTRA 应能够独立运营。

5) 可在所有可用的频段内进行部署。

### (4) 与其他 3GPP 系统的共存和互操作

1) 支持 UTRAN/GERAN 和 E-UTRAN 的终端应支持对 UTRAN 和 GERAN 系统的测量，并能实现 E-UTRAN 与 UTRAN/GERAN 系统之间的切换，而所带来的终端复杂度和网络性能影响应控制在可接受范围内。

2) E-UTRAN 应能有效支持跨不同无线接入技术的测量。

3) 对于实时业务，E-UTRAN 与 UTRAN 之间的切换中断时间应小于 300ms。

4) 对于非实时业务，E-UTRAN 与 UTRAN 之间的切换中断时间应小于 500ms。

5) 对于实时业务，E-UTRAN 与 GERAN 之间的切换中断时间应小于 300ms。

6) 对于非实时业务，E-UTRAN 与 GERAN 之间的切换中断时间应小于 500ms。

7) 处于非激活状态的支持 E-UTRAN 和 UTRAN/GERAN 的终端，只需监听 GERAN、UTRAN 或 E-UTRAN 中一个系统的寻呼消息。

8) 同一业务在 E-UTRA 广播流与 UTRAN 单播流之间切换时的中断时间应满足系统要求。



9) 同一业务在 E-UTRA 广播流与 GERAN 单播流之间切换时的中断时间应满足系统要求。

10) 同一业务在 E-UTRAN 广播流与 UTRAN 广播流之间切换时的中断时间应满足系统需求。

#### 4. 对 E-UTRAN 网络构架及其演进的需求

1) 应采用统一的 E-UTRAN 构架。

2) 虽然系统需要支持实时和会话类业务，但 E-UTRAN 网络架构必须是基于分组域的。

3) E-UTRAN 架构在不增加额外回程成本的情况下，应尽量避免“单点失败”（Single Points of Failure）。

4) E-UTRAN 架构应尽可能简化、减少系统接口数目。

5) 在可获得系统性能增益的情况下，应考虑无线网络层（Radio Network Layer, RNL）与传输网络层（Transport Network Layer, TNL）之间的交互性。

6) E-UTRAN 架构应能支持端到端的 QoS。TNL 应该能够根据 RNL 的请求提供合适的 QoS 保障。

7) 应该能够为已有的不同类型的业务流（“控制面”数据、“用户面”数据和 O&M（运行维护）数据）提供不同的 QoS 机制，以保证带宽利用率。

8) E-UTRAN 的设计应尽可能减小抖动，以更好支持 TCP/IP 类的数据传输。

#### 5. 无线资源管理需求

1) 提供端到端的 QoS 保障。

2) 应能够在空中接口提供保障机制，保证对上层数据的有效、可靠传输。

3) 应支持不同系统间（E-UTRAN 与 GERAN 或 UTRAN 之间）的负载均衡和管理措施。

#### 6. 复杂度需求

(1) 对系统整体复杂度的需求

1) 最小化功能可选项。

2) 避免多余的必选项特性。



3) 减少测试的数量, 例如, 减少协议状态数目、最小化过程数、合适的参数范围和粒度。

(2) 对终端复杂度的需求

E-UTRAN 系统终端应在提供高性能 E-UTRAN 业务的同时, 尽可能减小终端的尺寸、重量, 并尽可能延长电池寿命。

### 7. 成本相关需求

1) 应对回程通信的协议进行优化。

2) E-UTRAN 系统架构应能够重用现有网络的站址, 以减小未来网络部署的成本。

3) 应开放所有标准化的接口, 以实现多厂商设备间的互操作性。

4) 终端的复杂度和耗电量应尽可能最小化。

5) 系统的操作维护和配置操作应尽可能简便、高效。

### 8. 业务相关需求

E-UTRAN 应能够有效支持多种业务, 包括网页浏览、FTP、视频流业务或 VoIP 及其他基于分组域的先进业务 (如实时视频和 Push-to-x); 支持 VoIP 业务, 在无线空中接口效率、回程传输效率和时延等方面的性能不低于 UMTS CS 域的语音业务。

## 4.2 LTE 系统架构

在 R8 版本中, 除了启动 LTE 项目对空中接口无线接入技术进行研究外, 3GPP 还启动了系统架构演进 (System Architecture Evolution, SAE) 项目, 对包括无线接入网及核心网的系统整体架构进行研究和推进, 从而满足 LTE 系统性能需求。SAE 提出了扁平化的无线接入网架构及全新的核心网架构, 新的核心网架构称为演进型分组核心 (Evolved Packet Core, EPC), 而 LTE 的无线接入网及 EPC 合称为演进型分组系统 (Evolved Packet System, EPS)。

本节介绍了 LTE 系统的整体网络结构, 包括无线接入网部分及核心网部分, 并对其中的关键功能实体及接口进行详细阐述; 此后, 对 3G 系统及 LTE 系统的网络架构差异进行分析, 以更深入地理解 LTE 系统架构演进及设计的背景和目标。



### 4.2.1 LTE 系统整体网络架构

图 4-3 所示为 LTE 系统的整体网络架构及相关功能实体和接口。从图中可以看出，整体网络架构分为无线接入网和核心网两部分。无线接入网实现了用户终端的数据从空中接口到网络边缘节点的传输，而核心网则完成了用户数据在全网的寻址、交换和路由，从而实现跨无线接入网、跨地域及跨国界的全球通信。下面将分别对接入网和核心网部分的网元及其接口进行阐述。

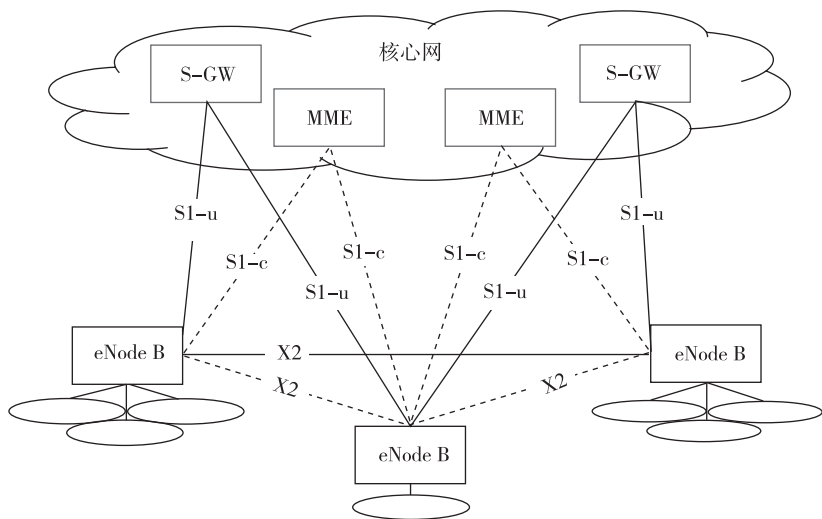


图 4-3 LTE 系统架构

### 4.2.2 无线接入网架构

无线接入网侧实现了扁平化的网络架构，由原来的“Node B + RNC”的分层结构变成了单层结构，在无线接入网络部分只包含一个关键网元，即 eNode B，其主要功能是将用户终端通过无线信道连接到网络，提供用户通信中空中接口通道的建立、资源分配、通道拆除及资源释放等过程的控制与管理。

与 3G 系统中的 Node B 相比，LTE 系统对 eNode B 的功能进行了增强。在 LTE 中，eNode B 提供的功能主要包括：

- 1) 无线资源管理：无线承载控制，无线接入控制，连接移动性



控制，为用户终端 UE 在上、下行链路动态分配资源（调度）。

2) IP 头压缩和用户数据流加密。

3) 当 UE 提供的消息无法决定该 UE 的数据与哪个 MME（移动性管理实体）连接时，在 UE 附着阶段为其选择一个 MME。

4) 将用户面数据导向服务网关（Serving Gateway）。

5) 调度和传送寻呼消息（由 MME 发起）。

6) 调度和传送广播消息（由 MME 或 O&M 发起）。

7) 用于移动性和调度的测量和测量报告配置。

8) 调度和传送公共预警信息，例如地震和海啸预警系统信息（由 MME 发起）。

此外，由图 4-3 中可以看出，eNode B 之间通过 X2 接口进行连接，能够传递基站间负载信息和干扰信息，用于支持 eNode B 之间的信息共享和多小区联合资源决策，并支持 eNode B 间基于 X2 接口的无损切换。对于 X2 接口将在后续的系统接口部分进行介绍。

从通信网络端到端的过程分析，eNode B 的功能是作为空中接口数据的桥梁，将发自用户终端的数据接收并处理后发送给核心网进行管理控制和传输，因此，eNode B 与核心网网关和控制实体间存在交互的接口，即 S1-c 和 S1-u 接口。其中，S1-c 接口是 eNode B 与 MME 之间的接口，主要用于传输控制面的信令；S1-u 接口是 eNode B 与 S-GW 之间的接口，主要用于传输用户面的数据。一个 eNode B 可以与多个 MME/S-GW 相连。对于 S1 接口的介绍，也将在后续部分的系统接口中展开。

在移动通信系统中，数据传输是建立在各种通信协议基础之上的。在无线接入网中，为了将用户数据发送到网络侧，需要控制面协议和用户面协议的支持。

图 4-4 所示为 LTE 系统用户面的无线协议架构。从图中可以看出，在无线接入

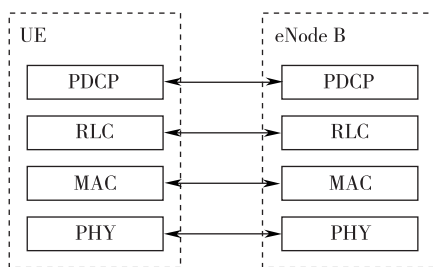


图 4-4 LTE 系统用户面的无线协议架构



网中，用户面数据的终节点在 eNode B，其协议栈包括：物理（Physical, PHY）层、媒体接入控制（Media Access Control, MAC）层、无线链路控制（Radio Link Control, RLC）层及分组数据汇聚协议（Packet Data Convergence Protocol, PDCP）层。

对于用户面协议栈中每一层的功能，介绍如下：

### 1. 物理（PHY）层

物理层主要负责的功能包括：编码/解码、调制/解调、多天线处理等典型的物理层功能；物理层通过传输信道向 MAC 层提供数据服务。

### 2. 媒体接入控制（MAC）层

MAC 层位于物理层之上，其主要功能包括：对逻辑信道的映射和复用，HARQ 重传，上下行数据调度、随机接入、上下行时间对齐等。每个 UE 只能有一个 MAC 实体，而通过 MAC 层的数据调度，将保证每个无线承载获得事先协商好的 QoS。MAC 层通过逻辑信道与 RLC 层进行连接，而通过传输信道与物理层进行连接。

### 3. 无线链路控制（RLC）层

RLC 层位于 MAC 层之上，其主要功能包括分割与重组上层数据包，从而使数据包的大小得以构建无线帧格式，目的是适应无线接口的实际传输。同时，RLC 层还通过重排序来恢复由于底层 HARQ 导致的乱序接收。每个无线承载有一个 RLC 实体。RLC 层通过逻辑信道与 MAC 层进行连接，并以无线承载（Radio Bearer）的形式为 PDCP 层提供服务。

### 4. 分组数据汇聚协议（PDCP）层

PDCP 层主要处理用户平面上的分组数据包（IP 包）和控制平面上的无线资源管理（RRC）消息，其主要功能包括报头压缩、安全性功能（完整性保护和加密）以及切换时重排序的重传的支持。其中，报头压缩是为了减少空中接口传输的数据量，提供有效数据的传输效率。每个无线承载有一 PDCP 实体。

如图 4-5 所示，控制面数据的终节点在 MME，主要涉及对非接入层（Non Access Stratum, NAS）信息的解析和处理，用户面的协议除了 PHY 层、MAC 层、RLC 层及 PDCP 层以外，增加了无线资源控



制 (Radio Resource Control, RRC) 层, 用于控制建立 UE 与 eNode B 之间的无线承载、移动性及安全。

MME 处理的 NAS 功能包括: EPS 承载的管理、鉴权、安全及终端处于空闲状态下的处理步骤, 如寻呼等。RRC 层部署于 eNode B 中, 用于处理与无线接入网相关的过程, RRC 层的主要功能包括:

1) 广播用于 UE 与网络侧进行通信的必要系统消息: 广播 NAS 相关和 AS 相关的系统消息。

2) 寻呼: 当有连接请求到来时, 用于发送来自 MME 的寻呼消息。

3) 连接管理: 建立、维护和释放 UE 与 E-UTRAN 之间的 RRC 层连接, 包括分配 UE 与 E-UTRAN 之间的临时标识、为不同的 RRC 层连接配置信令无线承载 (Signaling Radio Bearer, SRB); 建立、配置、维护和释放点到点的无线承载 (Radio Bearer, RB)。

4) 安全性功能: 包括密钥管理的安全性功能。

5) 移动性管理功能: UE 的测量报告配置及小区间 (inter-cell)、无线接入技术间 (inter-RAT) 的移动性报告; 切换; UE 的小区选择和重选; 切换时的上下文传输。

6) QoS 管理功能。

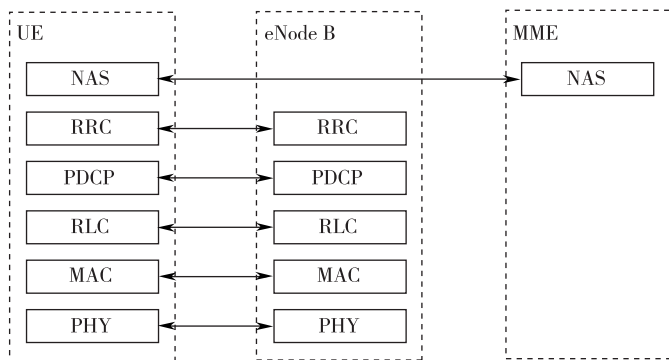


图 4-5 LTE 系统控制面的无线协议架构

当用户与无线接入网络间建立 RRC 层连接后, 终端并非一直处



于业务发送的状态，若此时终端仍然占用资源，将会导致较低的无线资源利用率。另一方面，终端是功率受限的收发设备，若其一直保持与网络的连接，将会消耗更多的功率，不利于延长手机电池的使用时长。因此，LTE 中对终端状态进行了划分，终端可以处于两种状态：RRC-CONNECTED 和 RRC-IDLE。

当终端刚开机的时候，要执行网络附着过程，一方面是对用户进行鉴权认证，另一方面是将用户和终端的信息注册到网络，使得网络侧获知一些终端的基本信息。此后，若用户终端没有数据发送，就会保持在 RRC-IDLE 的状态，在此状态下，无线接入网侧没有终端的 RRC 上下文，而终端由于没有数据传输，将进入休眠期，以减少电池能量的消耗，只会按照非连续接收（DRX）的配置而监听寻呼消息。当终端有数据业务发送或接收到来自网络的寻呼消息后，将会激活其状态转移，由“RRC-IDLE”状态转移到“RRC-CONNECTED”状态，此过程需要用户终端通过随机接入信道发送链路建立请求，在终端和无线接入网侧建立 RRC 层连接。当终端进入“RRC-CONNECTED”状态后，其可以与网络间进行数据交互。当数据传输结束，用户终端释放了 RRC 层连接时，其状态又会从“RRC-IDLE”状态跃迁到“RRC-CONNECTED”状态。RRC 层状态间的转移如图 4-6 所示。



图 4-6 RRC 层状态转移示意图

### 4.2.3 核心网架构

在 LTE 系统中，不仅对无线接入网架构进行了调整和优化，也提出了新的核心网架构，即 EPC，进一步将控制与承载分离。如图 4-7 所示，该图示出了无线接入网与核心网的功能区分示意。





eNode B为网络侧收发用户数据的节点设备，属于无线接入网。MME和S-GW均是核心网的边缘网关，分别完成对接入网的控制数据及用户数据的处理；此外，P-GW作为核心网的数据网关，能够实现用户数据在全网的路由，从而完成全程全网的用户间通信，因此，MME、S-GW和P-GW均属于核心网。

从影响数据传输的控制面和用户面进行分析，涉及的核心网的网元主要有：移动性管理实体（Mobility Management Entity, MME）、业务网关（Serving GateWay, S-GW）和PDN网关（PDN GateWay, P-GW）。此外，为了对用户信息进行管理、业务流量进行计费，EPC还包括其他逻辑节点，如用户归属服务器（Home Subscriber Server, HSS）、策略控制和计费规则功能（Policy Control and charging Rules Function, PCRF）。

下面主要针对MME、S-GW、P-GW进行介绍。

### 1. 移动性管理实体（MME）

MME是核心网的控制节点，主要负责处理UE与核心网之间的信令。在UE与核心网交互使用的协议属于非接入层协议（NAS Protocol）。MME的功能主要包括：

1) 与承载管理相关的功能：包括建立、维持和释放承载。该过程由NAS协议中的会话管理层来执行。承载包括无线承载（Radio Bearer, RB）和无线接入承载（Radio Access Bearer, RAB）。RB是指终端与eNode B之间的连接方式，而RAB是指终端与核心网设备S-GW之间的连接方式。当MME收到终端的请求后，将会控制eNode B为UE分配相应资源，建立无线承载，并控制S-GW与eNode B间建立S1-u承载。

2) 与连接相关的功能：包括建立用户终端与网络间的安全性的连接。该过程由NAS协议中的连接或移动性管理实体执行。MME将对跟踪区列表进行管理。当用户终端发起请求后MME将根据用户请求中的信息，为其选择S-GW和P-GW。MME还负责终端的移动性管理，包括LTE网络内部的用户切换及LTE与2G/3G系统之间切换时的SGSN选择。

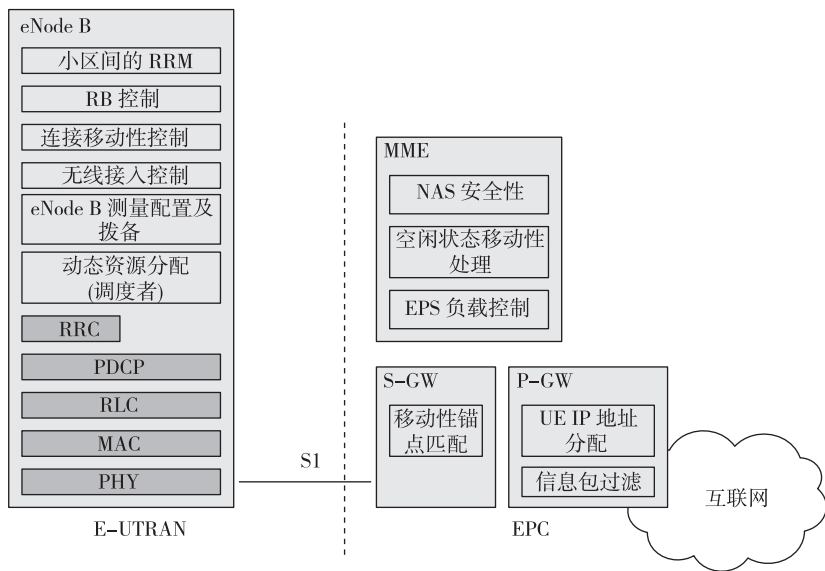


图 4-7 无线接入网与核心网的协议架构

## 2. 业务网关 (S-GW)

用户的所用 IP 包均通过 S-GW 传送到核心网。当用户在不同 eNode B 之间进行移动时，S-GW 执行数据承载的本地移动性锚点功能。为避免用户终端每次激活时传输终端的承载信息，S-GW 将在用户终端处于空闲状态时保留其承载信息，并临时对下行数据进行缓存，以等待 MME 下行对 UE 进行寻呼以对承载进行重建。在访问网络中，S-GW 还执行诸如计费信息收集等额外功能，并将所收集到的信息发送给计费系统。此外，S-GW 还执行合法监听功能。当与诸如 GPRS 和 UMTS 等其他 3GPP 系统发生互操作时，S-GW 作为 LTE 系统的移动性锚点。

## 3. PDN 网关 (P-GW)

P-GW 是核心网的数据网关，是移动通信系统与外部其他通信系统通信的出口。对于移动通信系统内部来说，P-GW 主要负责为用户分配 IP 地址，并为不同业务提供 QoS 保证。P-GW 具有包过滤功能，通过为不同的业务建立业务流模板 (Traffic Flow Template, TFT)，从



而把用户的下行数据 IP 包分配给不同的 QoS 承载。当与诸如 cdma2000 和 WiMAX 等其他非 3GPP 系统发生互操作时, P-GW 作为 LTE 系统的移动性锚点。

#### 4.2.4 LTE 系统接口

由图 4-4 可以看出, LTE 系统由多个功能实体组成, 这些功能实体分别执行了接入网和核心网的功能。然而, 只有将这些功能实体进行连接, 才能形成一个有机的、功能先进的 LTE 系统, 而将这些功能实体连接起来的就是各种接口。本节将着重介绍 LTE 系统网络架构中的两个重要接口: X2 接口和 S1 接口。其中 X2 接口是无线接入层的 eNode B 间连接和通信的接口, 而 S1 接口是 eNode B 与核心网通信和连接的接口。

##### 1. X2 接口

X2 接口是 eNode B 之间互连的接口, 其可以在一个 eNode B 与其他若干相邻的 eNode B 间建立。当用户在不同 eNode B 之间发生移动时, 可以使用基于 X2 接口的切换, 通过 X2 接口传输负载和切换消息。此外, 由于 LTE 系统引入了系统间的干扰消除策略, 因此在 X2 接口上还能传输负载和干扰相关的信息。

在协议栈方面, X2 接口也分为用户面协议和控制面协议。图 4-8a 所示为 X2 接口用户面协议, 图 4-8b 所示为 X2 接口控制面协议。

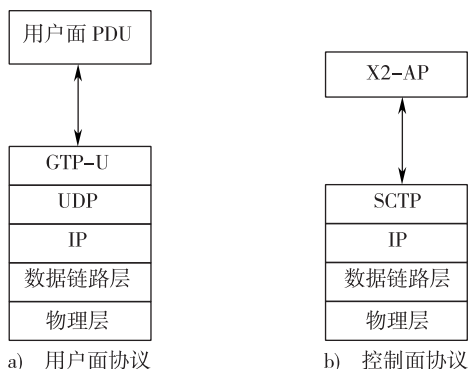


图 4-8 X2 接口协议栈



从图中可以看出，X2-U 接口采用了 UDP（用户数据报协议），表明该接口提供的是不具有保障的用户面 PDU 的传输。在 UDP 之上是 GTP（GPRS 隧道协议），根据源端和目的端 IP 地址，从而建立 GTP 隧道，实现数据的传输。

针对 X2 接口的控制面协议栈，其传输网络层是建立在流控制传输协议（Stream Control Transmission Protocol, SCTP）之上。对于 X2-C 的公共过程，一个 X2-C 接口只需要使用一对流标识来与一个独立的 SCTP 相关联。而对于 X2-C 的专用过程，则需要使用多对流标识。X2-AP 协议主要支持的功能包括：

1) 当 UE 处于 ECM-CONNECTED 模式下的 LTE 接入系统内的移动性：从源 eNode B 到目的 eNode B 的上下文信息传输；控制源端和目的端 eNode B 间的用户面隧道建立；切换、取消。

2) 负载管理。

3) 一般的 X2 接口管理和差错处置功能：错误显示；X2 接口设置；X2 接口的重配置；更新 X2 配置数据。

## 2. S1 接口

S1 接口用于将用户终端连接到 EPC，同样地，S1 接口也分为用户面和控制面。图 4-9a 所示为 S1 接口的用户面协议栈，图 4-9b 所示为 S1 接口的控制面协议栈。

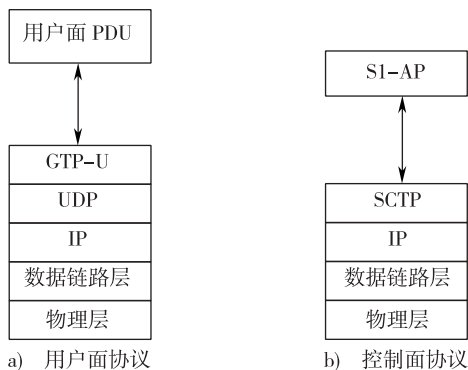


图 4-9 S1 接口协议栈



S1 用户面接口 (S1-U) 由于在传输层采用了 UDP, 因此, 只能为 eNode B 与 S-GW 之间的用户数据传输提供非可靠的传输保证。在 UDP 之上采用的是 GTP, 能够根据 eNode B 与 S-GW 的地址建立两者间的数据隧道, 从而实现 eNode B 与 S-GW 之间的用户数据传输。

S1 控制面接口 (S1-MME) 用于实现 eNode B 与核心网控制网元 MME 之间的连接。该接口在传输层采用了 SCTP, 能够为信令消息提供可靠的传输保证。

#### 4.2.5 3G 与 LTE 的系统架构差异分析

LTE 系统虽然名义上是 3G 系统的长期演进, 但仔细分析两个系统的网络架构和空中接口协议, 不难发现: 对于 3G 系统而言, LTE 系统更像是一种“革命”, 而不是平滑的演进。

在网络架构方面, LTE 无线接入网架构设计着重考虑了降低控制面与用户面时延、减少系统接口、降低成本等系统需求, 因此采用了更加扁平化的架构。而在核心网设计方面, 则考虑全 IP 分组优化、控制与承载分离等需求, 采用了仅支持分组交换域的核心网架构。

与 3G 系统相比, LTE 在无线接入网和核心网部分均存在较大的差异:

1) 在无线接入网部分, 最大的差别就是取消了无线网络控制器 (Radio Network Controller, RNC), 将接入网层面原有的“Node B + RNC”的双层结构演变为 LTE 系统中只有 eNode B 的单层架构。一方面, 将 RNC 的无线资源管理、接入控制、承载控制、接入移动性管理和小区间资源管理等功能下移至 eNode B 中, 这有利于不同协议层之间的交互和协作, 以减小数据处理的时延。此外, 数据分配和资源分配等功能更加接近用户, 利于更快速和准确地掌握终端状况和无线信道信息, 从而及时调整资源分配和调度策略, 有效提升系统自适应能力及资源利用率; 另一方面, RNC 的取消带来的是接入网中集中控制节点的消失, LTE 系统中 eNode B 之间是相互独立的, 呈现分布式趋势, 避免了系统中“单点失败”。

2) 在核心网方面, 将控制与承载进行了分离。在 3G 系统中,



用户数据需要经过 SGSN 和 GGSN 进行传输，同时，SGSN 还需要处理与用户终端间的非接入层控制管理功能，不仅加大了 SGSN 的负担，同时也增加了数据的处理时延。在 LTE 系统中，将控制与承载进行了分离，对于非接入层的控制管理功能由 MME 负责，而用户面数据由 S-GW 进行处理后直接发送到 PDN 网关，即 P-GW。

由上述分析可以看到，LTE 系统与 3G 系统在网络架构方面发生了极大的变化，LTE 系统架构呈现扁平化趋势，将资源控制和管理功能进一步推向了网络边缘。在网络架构发生变化的基础上，3G 系统与 LTE 系统的空中接口协议栈也并非完全一致。

首先，在信道映射方面。3G 系统对于不同的业务和控制信道映射，采用多种专用信道和公共信道，并随着新功能的增加不断引入新的信道，导致传输信道和逻辑信道的映射关系变得非常复杂。而在 LTE 系统中，取消了专用信道，只存在共享信道，将信道映射方式大大简化。

其次，在终端的 RRC 状态划分方面。3G 系统定义了 4 种用户终端的 RRC 状态，分别是 URA-PCH、CELL-PCH、CELL-DCH 及 CELL-FACH，其中前两种是用户终端处于空闲时的状态，而后两种是用户终端处于连接时的状态。而在 LTE 系统中，UE 的状态只有两种，即 RRC-IDLE 和 RRC-CONNECTED。状态的简化，带来的是状态间转移情况的减少，不仅可以减少各个 RRC 状态中移动性管理设计的工作量，而且可以减少状态间转移的触发和处理场景，大大降低了系统复杂度。

在关键技术方面，3G 系统与 LTE 系统也存在极大的差别。首先是多址方式的变化，为了支持更高的系统带宽，LTE 系统放弃了 3G 的 CDMA 方式，而采用了 OFDMA 方式，并引入了多载波技术；其次，在 LTE 系统中引入了多天线技术，充分利用无线信道中的空间资源，提升系统容量。此外，在网络设备能力方面，LTE 系统引入了自适应网络（Self-Organized Network, SON）功能，进一步增强了系统的智能性。



### 4.3 LTE 系统架构的未来演进——LTE-Advanced

随着数据通信与多媒体业务需求的发展，对无线通信系统的速率要求也越来越高。研究数据显示，移动互联网业务数据量按照年均 131% 的速度持续增长。LTE 系统的带宽支持能力及其性能指标已不足以满足未来 5 ~ 10 年内移动互联网飞速发展的需求，支持更大系统带宽、更高峰值速率、更高系统容量、更小用户面和控制面时延需求的 LTE-Advanced (LTE-A) 技术应运而生。

LTE 系统虽然已具有了移动宽带通信系统的特征，然而，与 ITU 在 2008 年 7 月确定的被称为 4G 的 IMT-Advanced 系统最小需求相比，LTE 系统在最大带宽和上行峰值速率两方面还略有差距，其他指标均满足此最小需求。因此，LTE 也被称为“3.9G”。在此背景下，3GPP 针对 ITU 提出的 IMT-Advanced 系统最小技术需求指标，开始了对 LTE 系统的演进工作，称为 LTE-Advanced 系统，简称为 LTE-A 系统，并提出了高于 IMT-Advanced 系统最小需求的技术指标，具有明显的优势。

2010 年 10 月 20 日，国际电信联盟无线通信部门 (ITU-R) 第 5 研究组国际移动通信工作组 (WP5D) 第 9 次会议在重庆确定 LTE-Advanced 和 IEEE 802.16m 为新一代移动通信 (4G) 国际标准。作为 4G 的国际标准，LTE-Advanced 在基本技术上继承了 LTE 系统的特征，但为了满足 ITU 提出的 IMT-Advanced 系统的需求，又在 LTE 系统的基础上进行了演进，引入了新的关键技术，其中也包括网络架构方面的演进，包括低功率节点的引入和 CoMP (多点协作) 技术的引入等，在宏蜂窝架构的基础上，丰富了 LTE-Advanced 系统的网络结构。

#### 4.3.1 LTE-Advanced 系统指标及关键技术

如前所述，LTE-Advanced 是 3GPP 为满足 ITU IMT-Advanced 需求指标而在 LTE 系统基础上提出的关键技术标准体系。LTE-Advanced 是 3GPP R9 技术，是在 2008 年 3 月举行的 RAN 第 39 次全会上提出并批准成立的研究项目，其目标是完成 ITU 对 4G 系统技术征集的候选技术。LTE-Advanced 必须满足或超过 IMT-Advanced 的需



求，同时针对 FDD-LTE 和 TDD-LTE 两种制式，保证良好的对 LTE 系统的后向兼容性，实现从 LTE 到 LTE-Advanced 的平滑演进。

因此，在阐述 LTE-Advanced 系统设计指标之前，先将 ITU 对 IMT-Advanced 系统的需求指标进行分析，从而对比 LTE-Advanced 系统的技术优势，也能更好地理解 LTE-Advanced 关键技术的提出背景及设计目标。

IMT-Advanced 是超过 IMT-2000 能力的下一代移动通信系统，能够提供内容丰富的电信业务，包括传统语音业务及应用前景广阔的分组域数据业务。该系统支持从低到高的移动性需求、高带宽及高数据传输速率要求，能够满足多种应用场景下用户的业务需求。

ITU 在综合考虑和平衡了用户需求、制造商、运营商、业务和内容提供商等相关产业链的基础上，提出了 IMT-Advanced 的关键特性需求：

#### (1) 带宽

支持多种频段；支持对称和非对称的频谱分配；支持多种带宽配置，包括 1.25MHz、1.4MHz、2.5MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz、20MHz、40MHz，并最高支持 100MHz 带宽。

#### (2) 频谱效率

作为不可再生资源，频率是无线通信系统最为宝贵的通信介质，而频谱效率则是衡量系统有效性的关键指标。分组域数据业务的频谱效率表示为每小区每单位带宽的最大数据传输速率（(bit/s)/Hz），具体要求见表 4-1。语音业务（VoIP）的频谱效率定义为每 MHz 带宽上每扇区内同时工作的信道数目，具体要求见表 4-2。此外，IMT-Advanced 系统为保证小区边缘用户的传输性能，还对小区边缘用户的频谱效率进行了规定，见表 4-3。

表 4-1 数据业务的小区频谱效率

(单位：(bit/s)/Hz)

| 环境   | 下行链路 | 上行链路 |
|------|------|------|
| 室内   | 3    | 2.25 |
| 微蜂窝  | 2.6  | 1.80 |
| 城区   | 2.2  | 1.4  |
| 高速移动 | 1.1  | 0.7  |





表 4-2 语音业务的频谱效率

(单位: 信道数/MHz)

| 环境   | 频谱效率 |
|------|------|
| 室内   | 50   |
| 微蜂窝  | 40   |
| 城区   | 40   |
| 高速移动 | 30   |

表 4-3 小区边缘的用户频谱效率

(单位: (bit/s) /Hz)

| 环境   | 下行链路  | 上行链路  |
|------|-------|-------|
| 室内   | 0.1   | 0.07  |
| 微蜂窝  | 0.075 | 0.05  |
| 城区   | 0.06  | 0.03  |
| 高速移动 | 0.04  | 0.015 |

### (3) 峰值数据速率

根据规定的下行峰值频谱效率为  $15 \text{ (bit/s) /Hz}$ 、上行峰值频谱效率为  $6.75 \text{ (bit/s) /Hz}$  的要求, 可以得到: 当系统带宽为  $40\text{MHz}$  时, 下行峰值速率为  $600\text{Mbit/s}$ , 上行峰值速率为  $270\text{Mbit/s}$ ; 当系统带宽为  $100\text{MHz}$  时, 下行峰值速率为  $1.5\text{Gbit/s}$ , 上行峰值速率为  $675\text{Mbit/s}$ 。

### (4) 系统时延

控制面时延小于  $100\text{ms}$ , 而用户面时延小于  $10\text{ms}$ 。此外, 在移动性场景中, 同频切换的时延小于  $27.5\text{ms}$ , 异频切换的时延小于  $40\text{ms}$ 。

### (5) 移动性支持

室内和步行:  $0 \sim 10\text{km/h}$ ; 微蜂窝:  $10 \sim 30\text{km/h}$ ; 城区车载速度:  $30 \sim 120\text{km/h}$ ; 高速移动:  $120 \sim 350\text{km/h}$ 。



在ITU提出的4G系统最小需求的基础上,3GPP提出的LTE-Advanced系统能够实现的技术指标如下:

(1) 带宽

支持100MHz的带宽,并支持多种带宽配置。

(2) 频谱效率

在不同天线配置情况下,小区平均频谱效率为

上行:  $1 \times 2/2 \times 4$  的情况下,分别为  $1.2/2.0$  (bit/s) /Hz。

下行:  $2 \times 2/4 \times 2/4 \times 4$  的情况下,分别为  $2.4/2.6/3.7$  (bit/s) /Hz。

在不同天线配置情况下,小区边缘频谱效率为

上行:  $1 \times 2/2 \times 4$  的情况下,分别为  $0.04/0.07$  (bit/s) /Hz。

下行:  $2 \times 2/4 \times 2/4 \times 4$  的情况下,分别为  $0.07/0.09/0.12$  (bit/s) /Hz。

(3) 峰值速率

上行的峰值频谱效率为  $15$  (bit/s) /Hz,下行的峰值频谱效率为  $30$  (bit/s) /Hz,一般情况下,LTE-Advanced支持的峰值速率为下行1Gbit/s,上行500Mbit/s。

(4) 系统时延

与LTE系统相同。控制面时延:从空闲状态转移到激活状态的时延小于100ms,从睡眠状态转移到激活状态的时延小于50ms。用户面时延小于5ms。

(5) 移动性支持

与LTE系统相同,为  $0 \sim 15$ km/h 的低速移动提供性能优化,  $15 \sim 120$ km/h 的高速移动下实现高性能,在  $120 \sim 350$ km/h (部分频段甚至支持500km/h) 的超高速移动下保持蜂窝网络的移动性。

根据上述分析,可以看到,LTE系统在频谱利用率和峰值速率方面不能满足ITU系统的指标要求,见表4-4,因此LTE-Advanced系统在此方面进行了性能增强。



表 4-4 LTE 系统参数配置

| 性能指标   | 指标分类    | LTE (3.9G)           | LTE-A (4G)        | IMT-A (4G)        |
|--|---------|----------------------|-------------------|-------------------|
| 峰值频谱效率/<br>[ (bit/s) /Hz]                                  | 下行      | 16.3<br>(4×4MIMO)    | 30<br>(达到8×8MIMO) | 15<br>(4×4MIMO)   |
|  | 上行      | 4.32<br>(64QAM SISO) | 15<br>(达到4×4MIMO) | 6.75<br>(2×4MIMO) |
| 基站下行频谱效率<br>(3km/h500mISD) /<br>[ (bit/s) Hz]              | 2×2MIMO | 1.69                 | 2.4               |                   |
|  | 4×2MIMO | 1.87                 | 2.6               | 2.6               |
|  | 4×4MIMO | 2.67                 | 3.7               |                   |
| 小区边缘用户下行<br>频谱效率(5% 10个<br>用户 500MISD) /<br>[ (bit/s) /Hz] | 2×2MIMO | 0.05                 | 0.07              |                   |
|  | 4×2MIMO | 0.06                 | 0.09              | 0.075             |
|  | 4×4MIMO | 0.08                 | 0.12              |                   |

而 LTE、IMT-Advanced 及 LTE-Advanced 三个系统的关系如图 4-10 所示。

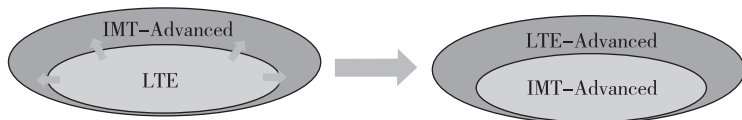


图 4-10 LTE、IMT-Advanced 与 LTE-Advanced 关系图

LTE-Advanced 系统采用了载波聚合技术在更大带宽支持方面进行了增强,并采用了增强 MIMO、CoMP、Relay 及家庭基站等技术对小区平均频谱效率和边缘用户频谱效率进行了增强。

### (1) 载波聚合

LTE-Advanced 支持连续载波聚合以及频带内和频带间的非连续载波聚合,最大能聚合带宽可达 100MHz。为了保证 LTE 的终端能够接入 LTE-Advanced 系统,每个用于载波聚合的载波应能够配置成与 LTE 后向兼容的载波;然而,也不排除专门用于 LTE-Advanced 系统使用的载波。在 LTE-Advanced 的研究阶段,载波聚合的相关研究重点包括连续载波聚合的频谱利用率提升,上下行非对称载波聚合场



景的控制信道设计等。

连续和非连续载波聚合的示意如图 4-11 所示。

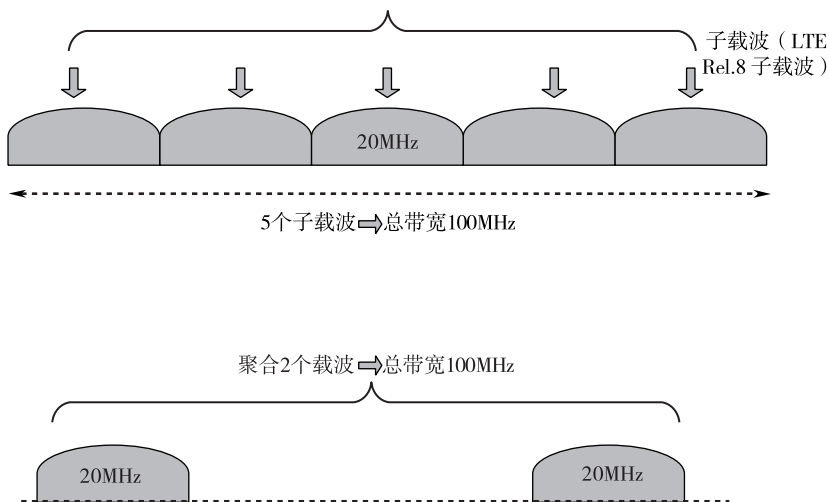


图 4-11 连续和非连续载波聚合示意图

## (2) 增强 MIMO

在 LTE 系统中就采用了多天线技术，用于扩展空间的传输维度而成倍地提高信道容量。在 LTE-Advanced 系统中，为满足峰值传输速率的要求，对上下行的多天线技术进行了增强。然而，受限于发射天线高度对信道的影响，LTE-Advanced 系统对上行和下行的多天线增强重点有所区别。在 LTE 系统的多种下行多天线模式基础上，LTE-Advanced 要求支持的下行最高多天线配置规格为  $8 \times 8$ ，同时多用户空分复用的增强被认为是标准化的重点。LTE-Advanced 相对于 LTE 系统的上行增强主要集中在如何利用终端的多个功率放大器，利用上行发射分集来增强覆盖，上行空间复用来提高上行峰值速率等。

## (3) 多点协作 (CoMP)

在 3GPP 最近针对 ITU 的初步评估中，多点协作技术是唯一能在基站四天线配置条件下满足所有场景的需求指标的技术，并同时明显改进上行和下行的系统性能。多点协作分为多点协调调度和多点联合处理两大类，分别适用于不同的应用场景，互相之间不能完全取代。多点协调



调度的研究主要是集中在与多天线波束赋形相结合的解决方案上。

#### (4) 无线中继技术

LTE 系统容量要求很高，这样的容量需要较高的频段。为了满足下一代移动通信系统的高速率传输的要求，LTE-Advanced 技术引入了无线中继技术。用户终端可以通过中间接入点中继接入网络来获得带宽服务。减小无线链路的空间损耗，增大信噪比，进而提高边缘用户信道容量。

根据处理方式的不同，中继技术又分为放大转发（AF）和解码转发（DF）。两种方式的示意图如图 4-12 所示。

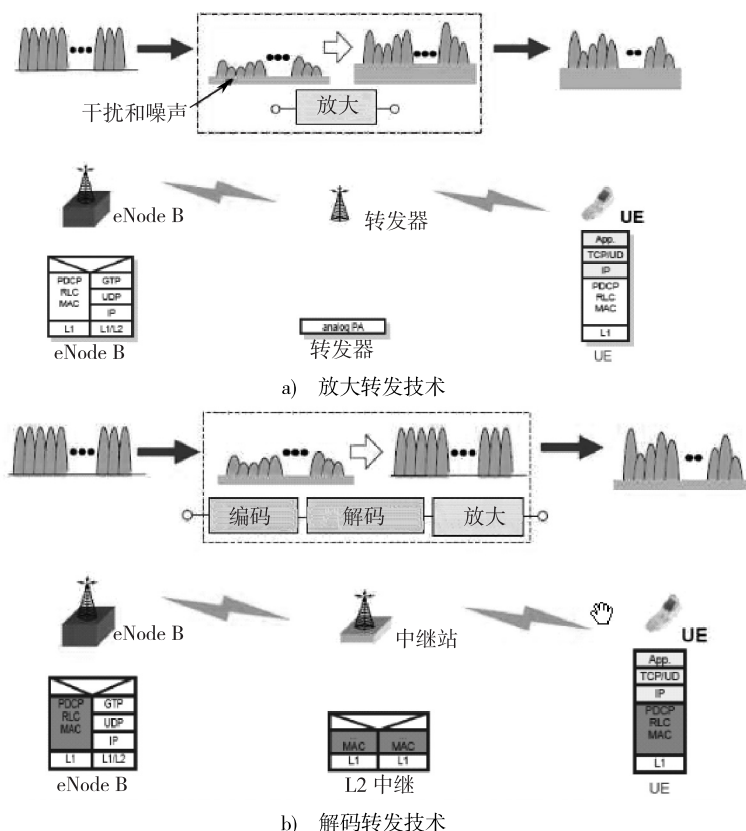


图 4-12 中继技术示意图



### (5) 家庭基站

家庭基站，也称为 Femtocell，是一种基于移动通信技术的低功率接入点，以固定宽带网络为回程，为家庭或办公环境下的用户提供语音业务及宽带数据业务。家庭基站技术的引入，能够补充宏蜂窝覆盖的盲区，从而提升用户的业务体验及系统容量。

2009 年 3GPP 在 R8 版本中对 Femto 的部分关键技术及接口进行了标准化，并在 R9 和 R10 版本中对网管接口、接入关键技术及网元进行了定义和完善。Femto 标准历程如图 4-13 所示。



图 4-13 Femto 标准历程

由上述关键技术概要分析可以看出，为了满足 ITU 提出的峰值速率、系统容量及频谱效率指标，3GPP 在 LTE 系统基本框架的基础上引入了增强型技术，将 LTE 系统平滑演进至 LTE-Advanced 系统。

然而，这些增强型技术的引入，改变了传统宏蜂窝的架构，使得 LTE-Advanced 的网络结构更加丰富化。因此，作为 LTE-Advanced 系统架构演进的一部分，本节的后续部分将针对 LTE-Advanced 中的异构网络（HetNet）部署及 CoMP 架构进行详细阐述。

#### 4.3.2 LTE-Advanced 系统中的异构网络

一直以来，传统蜂窝移动通信系统均采用宏基站的部署及规划，而且对于室外部署的重视程度远远超过对热点区域和室内部署的重视。然而，随着无线业务的迅猛发展，业务流量呈现区域化和不平衡的特征，如果只靠宏蜂窝的规划和优化方法，出于成本和效率考虑，难以有效应对无线业务呈现的新趋势。因此，在 LTE-Advanced



系统中，引入了低功率节点，在传统宏蜂窝结构的基础上，出现小范围热点覆盖和室内覆盖，即异构网络（HetNet），使得 LTE-Advanced 系统呈现出多层次立体网络架构的格局。

传统蜂窝属于无线广域网系统（包括 LTE），其设计基于宏蜂窝部署及规划。为此，传统的性能需求与评估方法是基于三个扇区高功率的蜂窝。实际上，运营商可以依靠其他的方法来改进网络覆盖和容量，例如中继器和热点覆盖。随着数据业务需求的增长，通过部署额外的宏基站进行传统的蜂窝小区分裂对于支撑数据业务容量将更加困难。因此，参考文献 [2] 提出引入非传统节点将成为网络部署的趋势。这些非传统节点包括低功耗微微蜂窝或者热点地区蜂窝、家庭基站和中继节点。单制式异构网络是指包含有上述一种或者多种基站（包括传统宏蜂窝）的异构网络部署场景。

随着宏小区、家庭基站、中继节点等类型基站的不断涌现，异构网络引进一些相对于传统的小区基站发射功率更小的发射节点，按照小区覆盖范围的大小，可以将小区分成宏小区（Macrocell）、微微蜂窝小区（Picocell）、毫微微蜂窝小区（Femtocell），以及用于信号中继的中继节点（Relay Node）。宏小区基站相当于传统的小区基站，微微蜂窝小区主要面向办公室和企业用户，也能用于室外对宏蜂窝边缘进行补盲，毫微微蜂窝小区主要面向家庭用户。异构网络依据不同应用、业务和覆盖范围的需求部署，能够有效支持宽带媒体用户对高数据速率的要求，并缩短了用户和基站之间的距离，还可以更加方便地利用 LTE-Advanced 系统潜在的高频段频谱，因此，异构网络部署将成为下一代无线通信网络的发展趋势之一，也是面向未来无线通信网络应对业务需求快速增长的有效解决方案。

这些非传统基站的引入，使得传统单层宏蜂窝架构中出现了同一覆盖区域中存在部署在宏基站覆盖区域内，形成同覆盖的不同节点类型的异构系统。采用多种基站类型部署的异构网络可以为室内和热点场景覆盖提供很好的保障。然而，低功率节点的引入，在传统单层的宏蜂窝架构中出现了“热点覆盖”或“重叠覆盖”的分层



结构，使得 LTE-Advanced 系统呈现出异构的网络结构特征。本节的重点就是介绍 LTE-Advanced 系统中的异构化网络结构，并对其中的不同低功率节点的功能进行阐述和区分。

多种低功率基站是网络部署中用于解决高功率宏基站的覆盖范围或者吞吐率的有效途径，提供业务分部布局不均匀，不同业务质量需求的解决方案。图 4-14 所示为 LTE-Advanced 系统中，宏蜂窝基站与多种低功率节点共同部署的网络结构图。由图中可以看出，这些低功率节点在 LTE-Advanced 系统中的功能、接口及用途不尽相同。针对宏基站覆盖的不同区域业务特点，结合宏基站和本地基站 (Local eNode B) 的优点，提出了三种不同的网络部署解决方案：Macrocell + Picocell，Macrocell + Femtocell 以及 Macrocell + Relay Nodes。

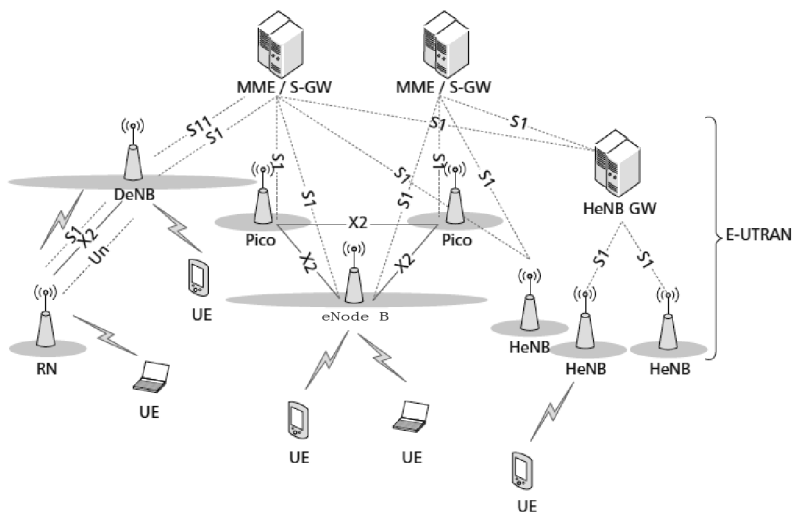


图 4-14 LTE-Advanced 系统中宏基站与低功率节点共同部署的网络结构图

### 1. Macrocell + Picocell

Picocell 中的基站与宏蜂窝小区中的 eNode B 功能相同，只不过采用比宏蜂窝基站小很多的低功率进行发射，从而只具有小范围的覆盖。从功能上分析，Pico 基站既能够部署在室外作为宏基站边缘





覆盖的增强，也能够部署在室内作为宏基站覆盖盲区的补充。从接口方面分析，Pico 基站仍然通过 S1 接口与 MME/S-GW 进行通信，并通过 X2 接口实现不同 Pico 基站间的信息交互和通信，因此不同 Pico 间能够基于 X2 接口传递干扰信息，从而实现多个 Pico 间及宏站与 Pico 间的干扰抑制。从发射功率方面分析，部署于室外的 Pico 基站的发射功率为 250mW 到接近 2W；而部署于室内的 Pico 基站的发射功率为不高于 100mW。一般情况下，宏蜂窝基站的发射功率为 5 ~ 40W。

Macrocell 和微微蜂窝小区 Picocell 的部署目标是在一定的地理范围内覆盖用户不均匀分布的区域，如热点区域、高速公路收费站、体育场馆、机场、火车站和室内竞技场等。Picocell 用来覆盖高移动用户密度的小区，对宏蜂窝小区提供的不充足的无线资源进行补偿。Picocell 的部署可以通过异构网络的小区分裂形成，并且不同节点都有各自的无线覆盖范围。

由于运营商主导 Macrocell 和 Picocell 的共同部署，所以需要适当设置用户设备的网络配置以允许用户的接入。运营商可以为 Macrocell + Picocell 部署场景进行系统优化和射频 (RF) 规划。

在 Macrocell 中部署 Picocell 必然导致两者的覆盖区域重叠。这样，Macrocell 和 Picocell 间产生共信道干扰，基于 RF 信号强度和信号质量的算法、流程和若干参量都需要重新设计，以满足该部署场景的应用需求。用户的初始接纳和切换流程都需要进行加强完善，以优化接入可用性、接入延迟、服务持续性和网络负载均衡等方面的性能。而进一步研究则要求资源分配和干扰管理算法来降低和消除小区间产生的共信道干扰。

## 2. Macrocell + Femtocell

如图 4-15 所示，该图是 NTT DoCoMo 得到的一份调查数据。从图中可以看出，接近 70% 的语音业务和 90% 的数据业务主要发生在室内环境中，室内移动通信业务的使用量随着技术演进、业务发展和用户习惯的改变而在逐步增加。然而由于墙壁等引起的损耗，宏蜂窝在室内的覆盖效果较差。因此，运营商需要能提供高数据速率和 QoS 的室内覆盖；另一方面，由于室内覆盖所处的环境多为家庭、



办公室等私密性较强的场所，因此与室外站点的规划建设、运营维护等不同，室内覆盖存在进场困难、优化和维护困难等方面的困境。

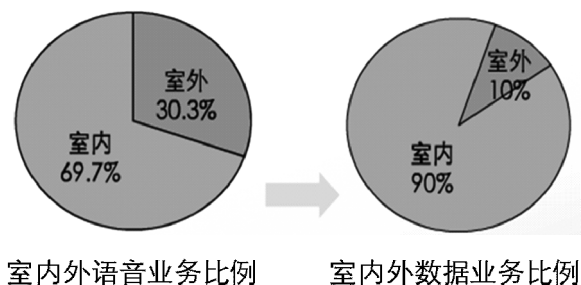


图 4-15 室内外业务比例

为解决上述问题，Femtocell 技术应运而生，在 LTE-Advanced 系统中叫做 Home eNode B，简称 HeNB，即家庭基站。HeNB 是一种小型低功率基站，主要用于家庭和办公室等场所，具有很多优点，例如低成本、低功率、接入简单、即插即用、提高网络覆盖效果等，更为重要的是，Femto 基站具有自配置和自优化的功能，一般情况下，HeNB 的发射功率不高于 100mW，并采用全向天线。

HeNB 已成为解决 B3G 网络室内深层覆盖问题的一种有效的手段，同时也是对现有网络部署的有效补充。对于空中接口来说，家庭基站的提供者提供对已有蜂窝标准（GSM、UMTS、WiMAX、LTE 等）的无线覆盖，而信令回传（backhaul）连接则利用宽带接入，比如光纤或数字用户环路（Digital Subscriber Line, DSL）。

相对而言，家庭基站是一种几乎不需要运营商进行优化和管理的私人装置。然而，在单制式异构网络中，HeNB 节点的可用频谱资源也在运营商的管理范围内。在宏蜂窝小区和家庭基站共同部署场景中面临接纳控制、切换、资源调度和干扰管理等问题，并且家庭基站和宏蜂窝小区之间几乎不存在相应的资源协调机制导致上述问题会变得更加严重。

家庭基站为终端用户私有，在异构网络部署中不确定性很高，拥有一些独有的特性，总结如下：

(1) 基站位置的不确定性



面向家庭/企业用户的家庭基站具有可移动性，其位置可视为随机分布的。

### (2) 基站配置的多样性

家庭/企业用户根据实际网络的运行情况动态调整家庭基站配置参数，家庭基站的配置异构性更加突出，那么异构网络配置的不确定度将会大幅度提高，给异构网络优化带来更严峻的挑战。

### (3) 家庭基站的接入控制

在特定情况下，用户可根据实际应用需求调整家庭基站的接入控制和鉴权认证机制。在单制式异构网络中家庭基站与宏基站在配置上存在重叠，原有的基于 RF 信号强度和信号质量的用户接入与切换机制需要加强，以提高算法机制对异构网络环境的适应能力，从而有利于异构网络资源的动态协调。

1) 初始接入：如果宏蜂窝小区的用户设备（User Equipment, UE）与家庭基站距离很近，但是没有授权接入 Femtocell 节点，UE 会依靠小区搜索过程，在随机接入信道进行一次初始接入的尝试。而该接入尝试会由于鉴权无效而失败。

2) 切换：当宏蜂窝小区的 UE 距离家庭基站很近时，即使不在封闭式用户群（Closed Subscriber Group, CSG）鉴权列表中，UE 也会试图接入家庭基站，因此其服务可能会因为接入尝试的失败而受到影响。

3) 网络负载均衡：由于引入了更多的家庭式基站，Femtocell 和 Macrocell 之间需要从多角度考虑负载均衡问题，具体包括以下几个方面：

① 负载均衡的触发因素，例如网络负载大小、用户掉话率等。

② 负载均衡的实现方法，例如切换 bias 值的最优化方法。

③ 参数最优化有可能导致新的干扰问题，因此需要考虑相应的干扰管理策略。

④ 与开放式用户群（Open Subscriber Group, OSG）小区策略不同，CSG 小区策略仅仅为非 CSG 用户提供有限的服务，这是否会导致新的干扰也是一个待研究的问题。

当前，Femto 基站已经出现商用产品，支持家庭和企业级用户的



使用。由于 Femto 基站的发射功率较低，并且支持用户数少，因此在形态上其体积远远小于传统宏基站，图 4-16 所示为是目前市场上商用的家庭 Femto 基站图片。

对于 Femto 基站，其与 Pico 基站最大的区别是：Femto 基站由于其用户私密性较高，因此没有基站间互通和连接的 X2 接口，也没有与宏基站通信的基站接口，因此，其具有很强的独立性。而 Pico 基站与宏基站在功能上没有实质区别，只是发射功率减小。



图 4-16 商用的家庭 Femto 基站

### 3. Macrocell + Relay Nodes (RN)

中继节点，用来传递基站和终端之间的业务/信令传输，目的是为了增强高数据速率的覆盖、临时性网络部署、小区边界吞吐量提升、覆盖扩展和增强、支持群移动等，同时也能提供较低的网络部署成本。

类型 1 中继节点被定义为具有小区 ID 的频带内节点。与 Macro cell + Pico cell/Macro cell + Femto cell 相比，除了无线信令回传机制之外，类型 1 中继节点的配置都类似。而中继节点的无线信令回传机制额外设置了 TDM Tx/Rx 限制。类型 1 中继节点的另外一个特性是可配置为移动节点，可部署于火车、飞机、汽车和轮船，为其周边的高密度移动用户提供良好的服务质量。在高速环境和偏远地区等没有有线接入的情况下，E-UTRA 也能够为 LTE-Advanced 用户提供接入服务。由于中继节点相对于移动终端来说，基本没有相对运动，因此移动的类型 1 中继节点将给予 LTE-Advanced 终端更好的用户体验。

然而类型 2 并没有其独立的小区 ID，只能够在宏基站的覆盖范围内提高其边缘小区的吞吐率。

#### 4.3.3 LTE-Advanced 系统中的多点协作传输架构

由于 ITU 针对 IMT-Advanced 系统的频谱效率，尤其是小区边缘用户的频谱效率提出了较高的要求，超出了 LTE 系统的设计指标。因此，为了提高小区边缘用户的性能，提升小区边缘频谱效率，



LTE-Advanced 引入了多点协作传输技术，即 CoMP 技术。从本质上分析，CoMP 技术将小区间的干扰信息变为有用信号，将传统的单节点传输结构拓展为多节点协作传输，由于能够在多个节点间共享信道状态和数据信息，并基于这些信息抑制小区间干扰，实现由多个节点共同为用户提供服务，从而优化系统整体性能。

CoMP 分为下行的多点传输和上行的多点接收。对于上行 CoMP，一个用户终端发送的数据信号被多个接收节点所接收，而多个接收节点能够协作对信号进行处理，从而获得上行的分集增益。对于终端来说，其并不关注上行信号是如何被基站接收和处理的，因此，目前 3GPP 针对 CoMP 技术讨论较热的是下行 CoMP 技术。

如上所述，CoMP 技术通过基站间共享必要的信息，可以有效地消除干扰。根据基站间是否共享用户的数据信息，可以将 CoMP 分为两类：联合传输/处理和协作调度/波束赋形。

联合传输/处理：多个基站形成协作簇，并将用户数据在多个基站间进行联合处理，共同为用户提供数据传输服务，消除基站间的干扰。协作簇内的基站不仅需要共享信道信息，还需要共享用户的数据信息。整个协作簇可以同时服务一个用户，也能同时为多个用户提供服务。联合传输/处理的示意如图 4-17 所示。

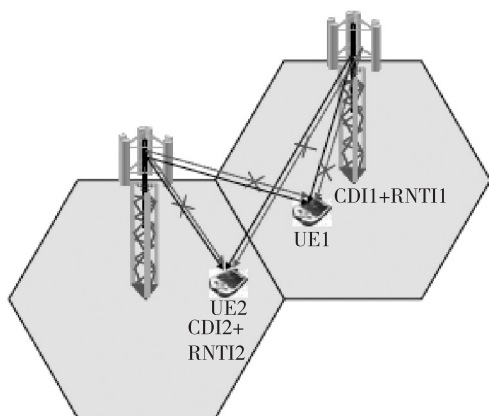


图 4-17 联合传输示意图



协作调度/波束赋形，多个基站间形成协作簇，协作簇间通过相互协商，对系统资源进行合理分配，利用 LTE-Advanced 系统物理特性，可以将资源在时间、频率和空间三个维度进行正交处理，尽可能避免小区边缘用户在资源使用上的冲突。在该方式下，协作簇内的各基站只需要共享信道信息，而不需要将用户的数据信息在所有基站进行共享。在资源协商和分配完成后，区内的各基站各自服务所分配的用户，即一个 UE 只由一个基站服务。对于协作调度/波束赋形，其示意如图 4-18 所示。

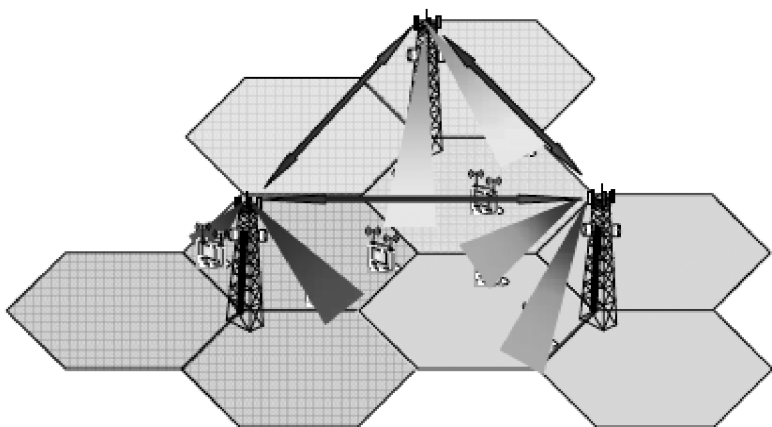


图 4-18 协作调度意图

#### 4.4 LTE 国际商用/试验情况简述

当前，LTE 系统已经不再是停留在纸上的愿景，在世界上部分国家已经实现了商用化，并且全球的多个运营商都已经在进行大规模的组网测试，LTE 系统商用化步伐远远超出了业界的预期，LTE 进入人们生活的步伐已经越来越近。

随着芯片技术的不断成熟，LTE 系统的终端和设备已经不再是限制其发展的短板，大量产业链厂商，包括芯片、终端、设备等厂商的共同推动，大大促进了 LTE 系统在全球的商用化进程。而 LTE 系统的发展速度，已经大大超过现有通信系统在商用初期的发展速



度，据 GSMA 资料显示 HSDPA、HSUPA、HSPA + 及 LTE 系统在第一个商用网络出现后，分别间隔 6 个月和 12 个月后商用/试商用网络数量的对比情况。从图中可以看出，当第一个商用化 LTE 系统出现后，其经过 6 个月和 12 个月后的增长速度是最快的。LTE 系统的迅速发展，大大超出了人们的预期。

据 2011 年 10 月发布的 GSA（全球移动供应商协会）报告统计，当前有来自 87 个国家的 248 家运营商已经投入 LTE 的组网测试或商用进程，大大推动了 LTE 系统的成熟。其中，有来自 64 个国家的 185 个 LTE 系统投入试商用，超过 21 个国家的 63 个 LTE 系统正在进行试商用前的大规模测试，而已经有 21 个国家建设了 35 个商用网络，投入实际运行。

在国内，TD-LTE 系统的发展得到了大力推动。截至本书成稿时，在全国 6 个城市开展的 TD-LTE 的大规模外场测试第一阶段已经结束或正在进行，这些建设了 TD-LTE 测试网的城市包括上海、杭州、南京、广州、深圳、厦门。

从 2010 年 8 月至 2011 年 5 月，TD-LTE 工作组已基本完成了华为、大唐、中兴、上海贝尔、诺基亚西门子、爱立信、摩托罗拉、普天、新邮通、烽火共十家系统企业的 2.6GHz 单系统测试；海思和创毅视讯两家芯片厂商则完成了自身测试及与十家系统的互操作测试，高通完成了自身测试及与两家系统的互操作测试；中兴微电子、Altair、Sequans、意法爱立信、重邮信科、联芯和展讯等其他芯片厂商正在加紧研发完善和调试测试。

在深圳第 26 届世界大学生夏季运动会期间，深圳全市 220 个 TD-LTE 站点已完成建设和测试，并全面覆盖大运会开闭幕场馆、大运中心、媒体运行中心、大运村、CBD 中央商务区、市民中心、高新科技园等主要区域。TD-LTE 被广泛用在视频播放、视频监控、娱乐、办公、媒体等多个方面。这是 TD-LTE 技术首次大规模“亮相”世界级国际赛事。

## 4.5 本章小结

本章从 LTE 的标准化历程开始阐述，对 UMTS 向 LTE 的演进背





景和 LTE 系统需求进行了介绍；其次，针对 LTE 系统网络结构，从无线接入网和核心网两方面进行了分析和阐述，包括关键功能实体及接口介绍，并对 3G 系统与 LTE 系统的架构差异性进行了分析归纳；再次，针对 LTE 系统的后续演进，介绍了 LTE-Advanced 系统的指标及关键技术，并对其中网络架构的演进进行了分析；最后，介绍了 LTE 在国内外的商用和试验情况。

## 参考文献

- [1] 沈嘉, 等. 3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [2] Stefania Sesia, 等. LTE——UMTS 长期演进理论与实践 [M]. 马霓, 郭刚, 张晓博, 张学军, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [3] 3GPP Technical Specification 36.300, 'Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2 (Release 8)', www.3gpp.org.
- [4] 沈嘉. 3GPP LTE 核心技术及标准化进展 [J]. 移动通信, 2006 (4).
- [5] 3GPP TR25.913 v7.3.0. Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN).
- [6] ITU-R, International mobile telecommunications-2000 (IMT-2000), Recommendation ITU-R M.687-2, February 1997.
- [7] ITU-R, Detailed specifications of the radio interfaces of international mobile telecommunications-2000 (IMT-2000), Recommendation ITU-R M.1457-9, May 2010.
- [8] M Olsson, S Sultana, S Rommer, L Frid, C Mulligan. SAE and the Evolved Packet Core-Driving the Mobile Broadband Revolution. Academic Press, 2009.
- [9] ITU-R, Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface (s), Report ITU-R M.2134, 2008.
- [10] 3GPP, 3rd generation partnership project; Technical specification group radio access network; Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced) (Release 9), 3GPP TR 36.913.
- [11] 3GPP, 3rd generation partnership project; Technical specification group radio access network; Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN); User equipment (UE) con-





formance specification; Radio Transmission and Reception (Part 1, 2 and 3), 3GPP TS 36.521.

[12] H Hu, et al. . Radio Resource Management for Cooperative Wireless Communication Systems with Organized Beam-Hopping Techniques [J]. IEEE Wireless Commun. , 2008, 15 (2): 100-09.

[13] NGMN TE WP1. Radio Performance Evaluation Phase 2 Report, 2008, 2.

[14] GSM Association (2008) GSM/3G Statistics, end of second quarter of 2008, [www.gsa.com/news/statistics.php4](http://www.gsa.com/news/statistics.php4).

[15] K Doppler, C Wijting, K Valkealahti. On the Benefits of Relays in a Metropolitan Area Network. IEEE VTC-Spring, Singapore, 2008, 5.

[16] K Doppler, et al. . Multiband Scheduler for Future Communication Systems. Int'l. J. Commun. , Net. , and Sys. Sci. , 2008.

[17] H Holma, A Toskala. WCDMA for UMTS — HSPA Evolution and LTE, 4th ed. , Wiley, 2007.

[18] 3GPP Technical Specification 36.323, Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification (Release 8), [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org).

[19] 3GPP Technical Specification 36.322, Radio Link Control (RLC) Protocol Specification (Release 8), [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org).

[20] 3GPP Technical Specification 36.321, Medium Access Control (MAC) Protocol Specification (Release 8), [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org).

[21] ITU-R, Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-Advanced, Report ITU-R M.2135-1, December 2009.

[22] Mohr, W. (2008) Vision for 2020, Wireless Personal Communications, 44 (1): 27-49.



# 基带池组化RAN架构

## 5.1 引言

随着移动通信的快速发展，用户对运营商的业务提供能力及网络服务能力提出了更高的要求，在满足不断增长的用户需求的同时，移动通信行业的发展面临着效率、成本和环保的压力。建设高效、经济、可持续发展的精品移动通信网络，成为运营商提升核心竞争力的关键。而为了建设低成本的精品网络，运营商将面临几大难题：首先，大规模的基站建设需求与有限的建网投资的冲突；其次，网络建设需要大量站址及配套资源，使得建网质量及建网速度面临巨大考验。同时，为了响应国家节省资源、保护环境的号召，如何有效降低网络能耗、实现节能减排，已经成为运营商建网的重要目标。

为了解决上述问题，运营商需要寻求更加合理高效的无线网络架构，在有效降低网络建设及运营成本、能耗的同时，支持未来持续增长的无线网络容量需求，以确保网络投资及运营成本与运营商盈利之间维持合理的关系，从而保障移动通信行业的可持续发展。

本章主要讨论“基带池组化”新型无线接入网络（RAN）架构，即将多个基站的基带处理单元（BBU）集中部署形成基带池（Base-band Pool），并通过光纤实现远端射频单元（RRU）拉远覆盖的新型网络部署方式。这里对该新型架构的关键技术及其成本可行性和技术可行性进行详细讨论，并给出其与其他可能的架构演进方向之间的对比分析。后续内容安排如下：5.2节对于现有网络架构问题、基带池组化RAN架构技术框架及关键问题进行说明；5.3节对于基带



池组化 RAN 架构进行可行性分析，分别从成本可行性和技术可行性两个方面进行讨论；5.4 节对于未来可能的 RAN 架构演进方向进行说明，并对不同架构的优缺点进行详细分析。

## 5.2 基带池组化 RAN 架构技术介绍

随着无线通信的发展，用户对于数据传输的需求日益增长，传统蜂窝网络在建设、运营维护成本、能耗等方面的弊端也逐渐凸显。为适应用户需求，未来无线网络架构需要朝着低能耗、低成本、高效率的方向发展。基带池组化 RAN 架构是未来无线网络的可能发展方向之一。一方面可以有效节省站址及配套设施建设（如空调、供电等），降低建网及运营维护成本；另一方面有效应对基站利用率低下及无线蜂窝网络小区间干扰等问题。本章在对传统蜂窝网络架构弊端进行分析的基础上，探讨未来无线网络架构的发展方向，并对基带集中化 RAN 架构进行说明和分析。

### 5.2.1 传统无线网络的存在问题

随着用户无线传输需求的逐年提升，传统的无线网络架构逐渐显现出其弊端；具体地，主要表现在网络能耗及建设维护费用过高、基带资源利用率低下及小区间干扰过大等。下面对于这四个方面进行详细说明。

#### 1. 传统基站部署方式导致网络能耗过高

为了提供更好的网络覆盖和网络容量，中国联通的基站数量在逐年增加，尤其是近些年来，基站数量几乎增加了一倍。同时，中国联通的总耗电数量也增长了近一倍。高能耗意味着高运营维护成本及巨大的环境冲击，特别是在现有的社会形势下，网络运营对于环境的冲击变得愈加难以接受，节能减排已迫在眉睫。

根据图 5-1 中的数据统计可知，无线网络的主要能耗在于无线接入网的基站机房，其占用 73% 的能耗。在基站机房中，基站站点能耗有 51% 来自于主设备，而机房空调占用 46% 的能耗。

#### 2. 传统建网方式导致网络建设及维护费用过高

无线网络的整体拥有成本主要包括资本支出（CAPEX）以及运营维护支出（OPEX）。CAPEX 主要包括设备购买及建设相关的工程

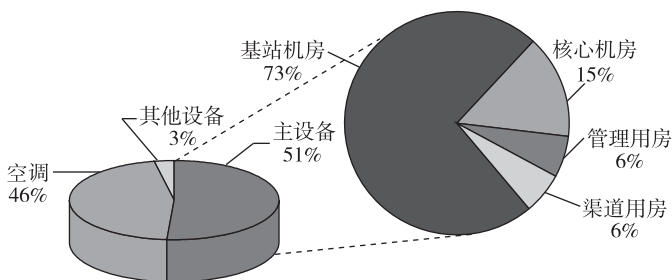


图 5-1 无线网络能耗比例示意图

费用，OPEX 主要包括站点租金、传输带宽租金、人工维护及电力消耗等。基于传统蜂窝网络架构，每个基站的建设中，主设备费用只占 33%；而配套设备、电费等所导致的资本支出达到 60%，如图 5-2 所示。这意味着在传统的蜂窝网络建设中超过一半的成本没有被用于产生直接效益的基站主设备，因此，对于运营商而言，降低接入网的建设与维护成本不仅局限于基站主设备，更多的需要关注如何有效地降低基站配套设备及站点安装、部署成本、能耗开销等。

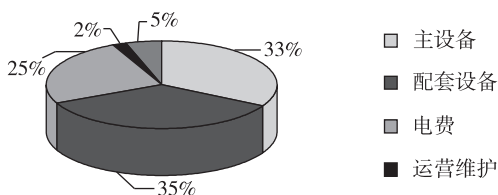


图 5-2 单个基站站点成本比例示意图

### 3. 网络潮汐效应导致基站利用率低下

无线网络的固有特性之一即为用户的移动性。由于用户的移动性导致无线网络的“潮汐效应”，如图 5-3 所示。在传统的无线接入网络中，每个基站的处理能力只能被其服务的小区内的用户使用。当小区内用户离开，基站的处理能力无法转移，只能处于浪费状态。由于运营商需要时刻保持网络的覆盖，使得这些空载或者低负载的基站必须和高负载的基站消耗一样的资源。特别地，当负载较高时，基站一般满负荷运转，其需要的处理能力远高于平均水平。因此，



基于传统的蜂窝网络架构，无线网络无法适应潮汐效应，造成网络处理资源的浪费。

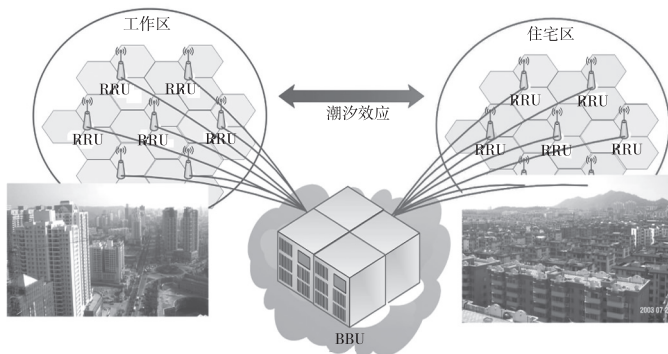


图 5-3 潮汐效应示意图

#### 4. 蜂窝网络小区间干扰导致小区边缘频谱效率低

为了充分利用有限的无线频谱资源，蜂窝网络逐渐使用较小频率复用因子；然而，小区间共道干扰的增强使得系统频谱效率降低，特别是小区边缘用户受到严重的干扰而无法满数据需求。传统的无线网络架构中，由于基站之间通信受限，只能进行小速率数据通信，且通信时延较大难以满足基站间联合无线信号处理的要求。一般地，基站间利用无线资源分配协调的方式，在较大的时间颗粒度上进行小区间的干扰协调。这种方法可以在一定程度上降低小区间干扰，提升边缘用户传输性能；但是，其一般会造小区中心用户性能的下降。如果能够联合相邻基站之间进行联合无线信号处理，将干扰信号转化为有用信号，不仅可以有效降低小区间干扰，提升边缘用户性能，也可以有效提高系统频谱效率，提升所有用户传输性能。

#### 5.2.2 基带池组化 RAN 架构技术框架

基带池组化 RAN 架构融合集中式处理、协作式无线信号处理及实时的虚拟化基础设施为一体，将成为解决现有网络诸多问题、构建高效节能未来无线网络的有效手段。如图 5-4 所示，基带集中化网络架构主要部分是由远端射频单元（RRU）和天线组成的分布式



无线网络；由高性能处理器和虚拟技术组成的集中式基带处理单元（BBU）集合及 RRU 与 BBU 池组间的高带宽、低时延光传输网络。

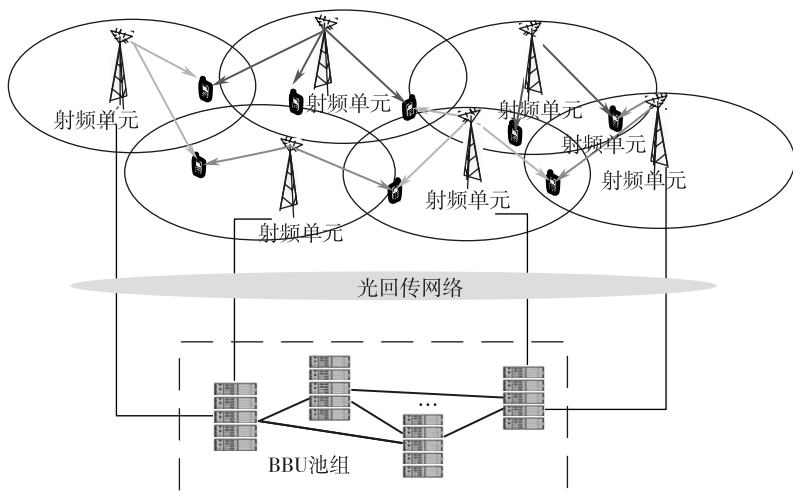


图 5-4 基带集中化 RAN 架构示意图

远端射频单元（RRU）和天线支撑无线网络覆盖。高带宽、低时延的光传输网络将所有的 BBU 单元和 RRU 单元连接。BBU 池组由高性能处理器构成，通过虚拟技术连接，集成强大的处理能力来为每个虚拟基站提供所需的数字信号处理需求。集中式的基带处理大大降低了基站站址中机房的需求，并使资源聚合和大范围协作式无线收发技术成为可能。

### 5.2.3 基带池组化 RAN 架构优势

基带池组化网络架构的主要优势如下：

1) 通过将 BBU 集中部署，节省站址及配套设（空调、供电等），降低建网成本，节省租赁开销。在基带集中化 RAN 架构中，基带处理单元的站址可以减少 1~2 个数量级。集中式的基带池和相关辅助设备可以集中放置在一些骨干中心机房内进行管理，简化运营管理。

2) 通过采用集中供电和空调，降低设备及配套能耗，节能减排。通过集中化的方式，可以极大地减小基站机房数量，减少配套



设备特别是空调能耗。

3) 通过所有虚拟 BBU 共享一个 BBU 池组实现资源共享和负载均衡,一方面,通过基带共享平衡负载,获得集群效益,减少 BBU 数量;另一方面,BBU 池组中的处理资源可以动态调度以处理不同 RRU 的基带信号,可有效对抗无线通信系统的潮汐效应,使得基带处理资源得到最优利用。

4) 通过基站内/间信号联合处理/调度降低干扰,提升边缘速率,改善用户体验。通过 RRU 之间协作式无线信号处理,可以有效降低小区间共道干扰,提升用户,特别是小区边缘用户传输速率,提高系统频谱效率。

#### 5.2.4 基带池组化 RAN 架构关键技术

基带池组化 RAN 架构主要由大规模 BBU 池组,与 BBU 池组相连的大量 RRU 设备及 BBU-RRU 间光互连网络组成。为充分利用 BBU 池资源,发挥基带集中化 RAN 架构优势,实现高宽带集中式无线信号处理、资源动态调度及多点无线信号联合收发。需要对于基带集中化 RAN 架构的相关关键技术进行讨论,其中主要包括 BBU-RRU 光互连传输技术、BBU 间高速互连技术、多小区协作技术及 BBU 虚拟化处理技术。下面分别对于各项关键技术进行深入分析。

##### 1. BBU-RRU 光互连技术

在基带集中化架构中,分布式的 RRU 单元与集中式的 BBU 池组之间必须采用通用接口协议(例如 CPRI 协议)并利用光传输技术,以满足 BBU 与 RRU 间高速率、低时延的数据传输。

首先,BBU-RRU 间光互连传输需要满足高数据速率传输的需求。在 WCDMA 系统中,考虑 5MHz 带宽、单发单收情况,BBU 和单个 RRU 间光传输接口需要支持 153Mbit/s 的数据速率传输。对于 LTE-Advanced 系统,在 20MHz 带宽、八发八收情况下,BBU 和单个 RRU 间光传输接口需要支持 9.7Gbit/s 的数据传输速率。

其次,BBU-RRU 间光互连接口需要满足低时延及低时延抖动的需求。以 CPRI 为例,将往返时延定义为 CPRI 链路上行时延和下行时延之和,若不考虑传输介质上的往返时间,则用户平面数据的绝对往返时延将不能超过最大值  $5\mu\text{s}$ 。同时,BBU-RRU 间数据传输接





口需要周期性地测试每条链路或者多跳连接的光纤长度。在实验校准方面，每条链路或者多跳连接的往返时延测量精度应满足16.276ns的需求。

最后，BBU-RRU 间光互接口需要满足高可靠性的需求。为确保任一光纤单点故障条件下整个系统仍能工作，BBU 与 RRU 之间的传输链路需要采用光纤环网保护，通过不同管道的主、备光纤，实现链路的实时备份。

## 2. BBU 集中化及高速互连技术

BBU 集中化及高速互连技术为实现大量 BBU 之间资源共享及 BBU 间动态处理资源调度提供了可能。大量的 BBU 集中构成 BBU 池组，为网络提供了巨大的运算处理能力。单纯地集中化大量 BBU，构成大规模 BBU 池组，可以发挥一定的节省机房占地、空调配套供电的优势；但是，要进一步发挥大规模 BBU 池组的超大运算处理能力，就必须构建高性能的 BBU 联合处理架构，实现 BBU 间的高速互连互通。

在传统的基站模式下，经常会造成在话务高峰时，某些 BBU 因负荷过高而限制接入，而某些 BBU 负荷却较低的情况。集中式 BBU 基带池的引入，可以均衡不同地区、不同时间的话务高峰。如均衡工作区和住宅区在上班、下班后的不同话务峰值，使话务在基带处理池内所有 BBU 中动态分配，这样就在很大程度上克服了不同时段、不同地域话务分布不均对网络的冲击。通过合理配置基带池的总容量，可以减少单个 BBU 拥塞的可能。合理的基带池配置也可以有效应对突发的业务高峰、节假日以及大型活动等集中业务情况，有效增强网络的抗冲击能力。同时，集中化的设置和管理是降低运营成本的一个方向。集中化 BBU 基带池中所有 BBU 具有完全一致的全局数据，包括位置区数据、小区数据等，使得网络更加适应集中化设置和管理的需求，数据制作和后期维护都较为简单，网管人员可以统一管理池区内的网元，以有效提高效率，降低运营维护成本。

## 3. 协作式无线信号处理技术

无线接入网的主要设计目标为提升系统频谱利用率、扩大小区覆盖范围及提高小区边缘用户吞吐量。在基于 OFDM 的蜂窝小区中，





通过正交的子载波区分不同用户，可有效消除小区内干扰，但是处于小区边缘的用户，会受到不同小区间信号的干扰，经历比较严重的共道干扰（CCI）。为对抗小区间干扰，多小区信号协作收发或采用集中的无线资源分配以协调多小区传输成为改善小区边缘用户吞吐量的有效手段之一。基带池组化的 RAN 架构将大量 BBU 集中化部署并高速互连，为小区间协作式无线信号处理技术的实现提供了系统支持。基于基带池组化 RAN 架构的协作式无线信号处理，可以充分利用 BBU 间高速互连的数据传输接口，设计高效的多小区协作机制提升系统性能。

小区间协作可以采用集中或分布的管理方式。小区间集中式协作管理，需要网络在多个小区之间配置集中的资源管理器，并从多个基站采集单个用户的信息，进行联合资源管理。小区间分布式协作管理，需要协作基站之间根据协作方式的具体要求进行通信，以协调各小区对于无线资源的使用。

#### 4. BBU 虚拟化处理技术

BBU 虚拟化处理技术的基础是高性能、低功耗的计算平台和软件无线电技术。虚拟化是指将计算资源抽象化；对用户隐藏了计算平台的物理属性，仅显示另一个抽象的计算平台，如图 5-5 所示。如果在 BBU 系统中运用这一概念，可以根据虚拟基站的网络负载，实现动态调度集中式基带池中不同的虚拟基站及不同的空中接口。这将使得运营商可以更好地支持多种标准，以应对网络中不同地区，不同业务的潮汐效应，提高设备利用率。同时，统一的硬件平台将能够为系统的管理、维护、扩容、升级带来更多的便利。

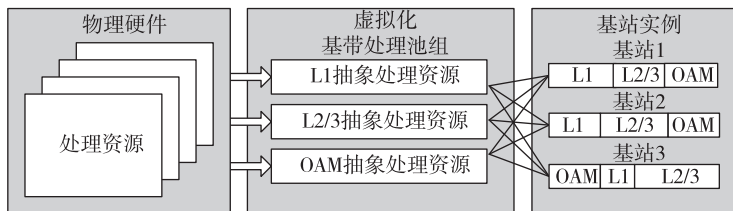


图 5-5 基站虚拟化示意



另外，BBU 虚拟化可方便提供差异化的分级数据冗余备份管理机制。对于任意一个 BBU 的故障或更新可以进行动态的数据转接和承载机制，甚至可实现各 BBU 均为相互备份，由此实现真正的自动、实时的冗余安全保障机制。

目前，业界对于基站虚拟化的概念还没有统一的定论，但是在基站基带部分引入虚拟化的思路，采用云计算架构进一步提升基站性能的同时，实现无线网络资源的共享和动态分配，降低能耗、降低成本，成为基站集中化发展的未来方向。

随着无线技术的发展，大多数的主要运营商需要在同一覆盖区域同时支持多种网络运营。运营商需要多模基站以降低建网及运营成本。如何打造一个实现大容量、高可靠、扩展灵活的基于虚拟化的中央处理平台是 BBU 虚拟化技术需要考虑的主要问题之一。

比较于传统基站模式，BBU 虚拟化最为突出的优势在于能够实现资源的共享和动态分配，而实现这些的前提就需要将大量的无线信号连接到中央处理平台集中处理，这不仅对于中央处理平台的容量具有极高要求，同时，还对如何实现这一平台的有效控制和实时管理也提出了挑战。

### 5.2.5 小结

传统的蜂窝网络架构造成网络高能耗、高网络建设及维护成本；同时，基于传统网络架构，无法有效地应对网络潮汐效应造成的系统利用率低下及小区间干扰导致的边缘用户频谱效率低下等问题。

为应对传统蜂窝网络架构存在的诸多问题，基带池组化的 RAN 架构被作为未来网络架构演进的可能方向之一而受到关注。基带池组化的 RAN 架构融合集中式处理、协作式无线信号处理及实时的虚拟化基础设施为一体。通过将 BBU 集中部署，可有效节省站址及配套设施开销（空调、供电等），降低网络建设及网络维护成本，降低设备及配套能耗。同时，通过 BBU 集中化，可以一方面通过 BBU 动态资源分配有效解决网络潮汐效应；另一方面通过基带共享平衡负载，获得集群效益，减少 BBU 数量。另外，基带集中化为基站内/间信号联合处理提供了便利，可以有效降低小区间干扰，提升边缘速率，改善用户体验。



### 5.3 基带池组化 RAN 架构可行性分析

作为未来无线网络架构的演进方向之一，基带池组化 RAN 架构引入了新的网络建设思路并涉及诸多相关关键技术。为深入分析基带池组化 RAN 架构在目前及未来的可行性，本部分分别从成本及技术两个方面进行讨论。在成本可行性分析中，对比传统无线网络建设，从 CAPEX 和 OPEX 方面进行说明。在技术可行性分析中，分别对其相关关键技术的可行方案及存在的挑战进行讨论。

#### 5.3.1 基带池组化 RAN 架构的成本可行性分析

传统无线网络解决方案如图 5-6 所示，各 BBU 放置在单独的机房中，通过 CPRI 与 RRU 连接；同时，BBU 通过 Iub 接口传输设备与核心机房中 RNC 及核心网相连。基带池组化网络部署方式如图 5-7 所示，将多个 BBU 集中放置在中心机房中，RRU 通过光纤拉远，实现大范围的覆盖。

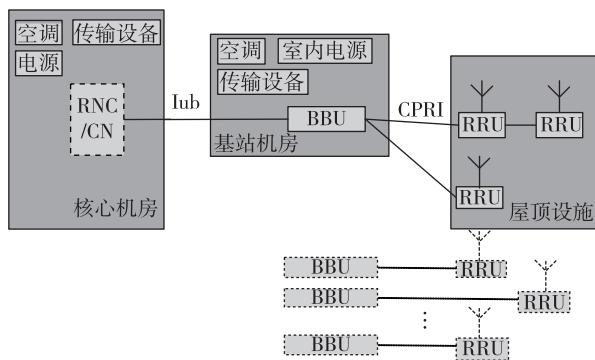


图 5-6 传统蜂窝网络架构示意图

为达到相同的覆盖性能，这里考虑两种方案需采用相同数量的 RRU 设备。假设覆盖区域内共需  $i$  个 RRU。在传统方案下平均每个 BBU 连接 3 个 RRU，网络中所需 BBU 数量为  $i/3$ ；在基带池组化方案下，BBU 池通过光纤与  $i$  个 RRU 相连接来传输 IQ 数据，BBU 池组化之后可以有效提升 BBU 硬件利用率，所需的 BBU 数量将小于  $i/3$ 。

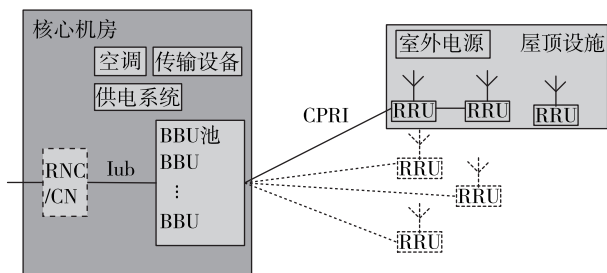


图 5-7 基带池组化蜂窝网络架构示意图

下面分别对两种方案下的 CAPEX、OPEX 进行对比分析。

### 1. CAPEX 分析

CAPEX 主要包含站址及配套设施成本、设备软硬件成本、传输成本及其他成本（包括网络规划、站点安装等）。下面分别就这四方面对比分析基带池组化 RAN 架构与传统网络架构的成本。

#### (1) 站址及配套设施成本

池组化部署方式下中心机房取代分布在各小区的基站机房，可有效节省相应的机房建设成本及各种配套设施，包括空调、供电系统等。

图 5-8 所示为不同 RRU 数量下，基带池组化方案在站址及配套设施成本方面相比传统架构方案的成本节省比例。在 BBU 池所连接的 RRU 数量较少（小于 20）时，基带池组化方案成本高于传统方案。这主要是由于在基带池组化部署方式下，建设中心机房及其配套的高容量室内供电系统所需的成本要高于普通基站机房。在集中的 BBU 数量较少时，新建中心机房成本大于分布式基站机房建设成本。

随着 BBU 池组连接 RRU 数量的增加，基站池组化 RAN 架构在站址及配套成本方面的节省比例逐渐趋近于 30%。随着基带池连接 RRU 数量的增多，中心机房及配套设施在网络总建设成本中的占比趋近于零，但 RRU 的部署成本仍随着 RRU 数量线性增加。因此，随着 RRU 数量的增加，基带池组化 RAN 架构方案相比传统网络架构部署方案在机房及配套设备成本节省的比例逐渐趋于定值：

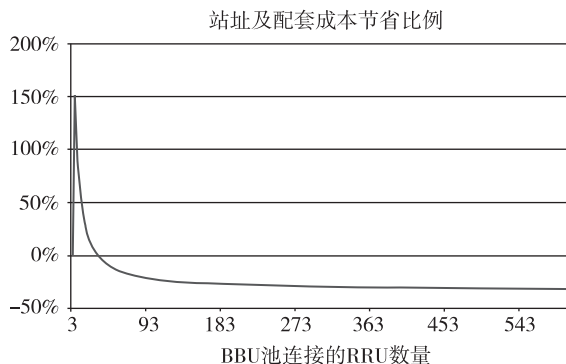


图 5-8 不同 BBU 池规模下的站址成本及配套设施节省比例

池组化 RAN 架构机房及配方设备成本节省比例

$$= \frac{\text{室外 RRU 站址及配套成本} - \text{传统网络站址及配套成本}}{\text{传统网络站址及配套成本}}$$

$$= \frac{\text{室外 RRU 供电成本} - \text{空调成本} - \text{机房建设成本} - \text{室内供电系统成本}}{\text{空调成本} + \text{机房建设成本} + \text{屋顶建设成本} + \text{室内供电系统成本}}$$

## (2) 设备软硬件成本

基带池组化部署方式下，通过将多个小区间 BBU 处理资源共享，可有效提升基站利用率，减少网络所需 BBU 硬件设备。但是，为保证网络覆盖性能，基站所需软件成本及 RRU 设备硬件成本与传统网络架构相当。

具体地，基带池组化 RAN 架构对于 BBU 硬件资源的节省主要集中在以下三个方面：

### 1) 基于基带池组化单个 BBU 设备可连接更多 RRU。

传统网络架构方式下，单个 BBU 板通常仅连接 3 个 RRU 来实现三扇区覆盖。一般地，BBU 单业务板处理能力最高可支持 6 个 RRU，其接口板则可支持最大 12 个 CPRI 接口。在基带池组化部署方式下，可以充分发挥 BBU 冗余的处理能力，配置 BBU 连接更多数量的 RRU。假设为每个 CPRI 接口配置一条备份光纤，则单个 BBU 最多可连接 6 个 RRU。因此，相比传统部署方式基带池组可最多节省



50%的BBU设备。但是，为支持6个RRU，需要对现有BBU板进行相应软件升级，需增加一定的设备成本。

### 2) BBU集中化引入的集群效应增益可有效节省BBU数量。

由于语音、数据业务的突发性，实际网络中单个小区的业务负载在动态变化。为满足网络一定的阻塞率要求，传统网络部署方式下每个BBU容量均需根据小区最大话务量需求设计；而基带池组化部署方式下，BBU资源池的容量将由其所覆盖的整个地区的话务量来决定，如图5-9所示。以语音业务为例，假设某地区话务量为10000，原有站址100个，则平均每个基站需负荷话务量为100。在满足阻塞率要求1%的条件下，每基站所需配置的信道数为  $Erl(100, 0.01) = 117$ ，整个地区则需要配置信道数为11700。在基带池组化部署方式下，基带池所需信道数为  $Erl(10000, 0.01) = 9970$ ，其可节省14.7%的BBU资源。

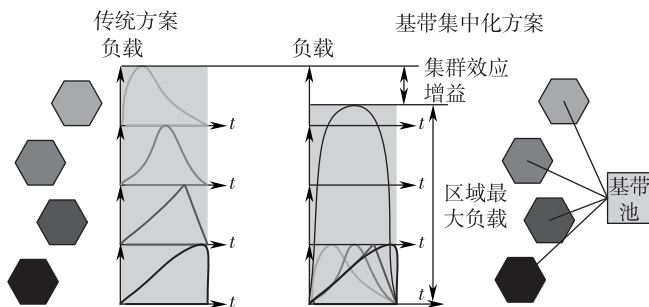


图5-9 集群效率增益示意图

### 3) 无线网络潮汐效应增益可有效节省BBU设备数量。

潮汐效应由于用户的移动性造成的。假设基带池覆盖50%区域为办公区，剩余50%区域为居住区，所有用户遵守相同的移动规律，即潮汐效应最严重情形场景。经分析可知基带池组方式相对于传统网络架构最多可节省50%的BBU资源。

图5-10所示为不同RRU数量下采用基带池组化方案基站设备成本相比传统方案的节省比例。从图中可以看到，在BBU池所连接的RRU数量较少时（小于12），基带池组化方案下的设备成本高于传统



架构方式。一方面，由于在基带池组化部署方式下，为实现 BBU 设备间处理资源共享需要安装额外的交换设备，这带来了额外的设备成本开销；另一方面，由于在 BBU 池规模较小时，可以获得的集群效应增益及潮汐效应增益较小，可节省的 BBU 硬件比例非常有限。

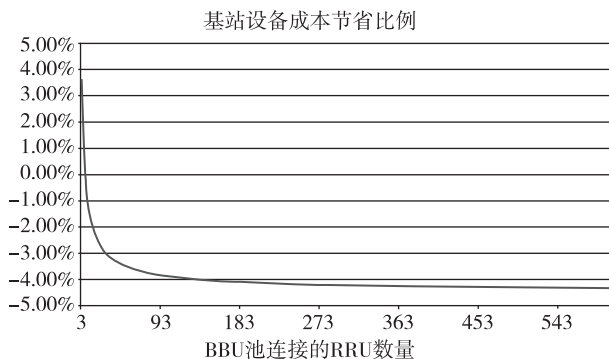


图 5-10 不同 BBU 池规模下的 BBU 设备成本节省比例

随着基带池中的 BBU 数量增加，可节省的基站设备成本比例并没有明显增加，仅可节省约 4%。这主要是由于随着基带池中集中 BBU 的数量增多，对 BBU 池组交换设备的需求逐步增加，成本也随之增加。

### (3) 传输成本

基带池组化部署方式下仅中心机房需要 Iub 传输设备，但同时中心机房需要与所有相连的 RRU 设备建立点对点光纤连接。

图 5-11 所示为不同 RRU 数量下基带池组化方案的传输成本相比传统方案的节省比例。在 BBU 池连接的 RRU 数量较少时，由于 Iub 传输设备的节省高于新铺设光缆的成本，因此基带池组化方案传输成本低于传统方案。但是，随着 RRU 数量增加，传输成本迅速增长。在基带池集中 100 个基站（假设传统方式 3 RRU/基站，即共 300 个 RRU），其传输成本相比较于传统方案增加 150% 以上。

### (4) 其他网络建设成本

其他网络建设成本主要包括网络规划优化、基站安装、培训及技术支持费用。由于基带池组化方案在 RRU 及天线部署数量及设备

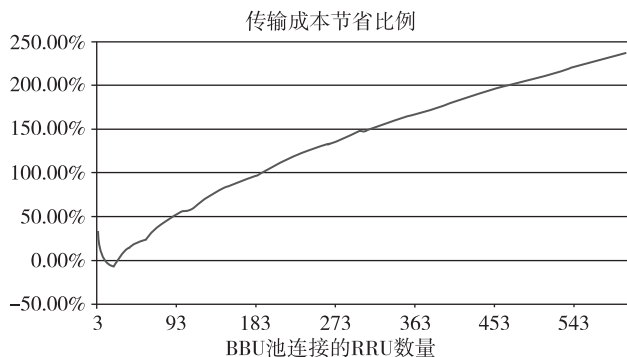


图 5-11 不同 BBU 池规模下的传输成本节省比例

安装上与传方案具有相当的需求，因此，在其他网络建设成本方面，基带池组化方案与传统方案的成本相当。

综合上述对 CAPEX 相关的四个方面因素讨论，基带池组化方案相比传统网络架构在 CAPEX 方面成本节省比例如图 5-12 所示。可以得到如下结论：将传统网络中 20 ~ 30 个基站集中部署的情况下（连接 60 ~ 90 个 RRU 设备），基带池组化方案可取得最优的 CAPEX 性能。

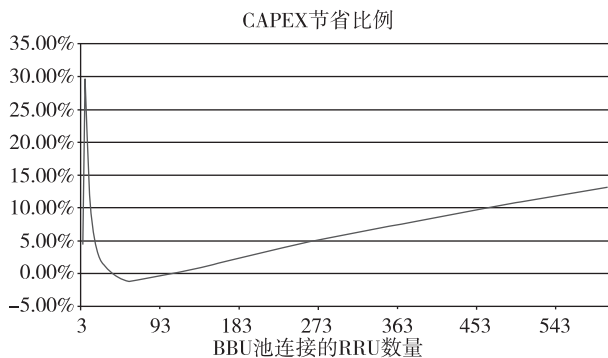


图 5-12 不同 BBU 池规模下的 CAPEX 节省比例

## 2. OPEX 分析

OPEX 主要包含站址租赁费用、电费和网络维护成本三方面，下





面分别就这三方面对基带池组化 RAN 架构与传统网络架构下的成本进行对比分析。

### (1) 站址租赁费用

基带池组化部署方式下中心机房取代分布在各小区的基站机房，可有效节省相应站址租赁费用。在不同的 RRU 数量下，基带池组化方案的站址及配套设施成本相比传统方案的节省比例如图 5-13 所示。随着集中池组中 BBU 数量增加，网络站址及配套成本节省比例趋近于 77%。随着基带池中集中 BBU 的数量增多，中心机房租赁在总租赁成本中的占比逐渐减小并近于零，但 RRU 相关的租赁成本仍无法节省。因此，随着 RRU 数量增加，基带池组化方案相比传统部署方式对机房租赁成本的节省趋于定值如下：

$$\begin{aligned} & \text{基带池组化机房租赁成本节省比例} \\ = & \frac{\text{室外 RRU 站址租赁成本} - \text{传统网络站址租赁成本}}{\text{传统网络站址租赁套成本}} \\ & - \text{机房租赁成本} \\ = & \frac{\quad}{\text{机房租赁成本} + \text{屋顶租赁成本}} \end{aligned}$$

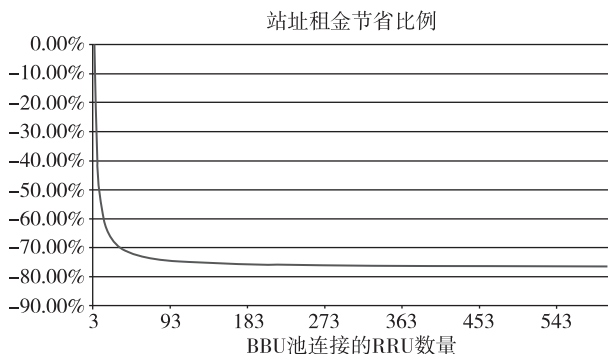


图 5-13 不同 BBU 池规模下的站点租赁成本节省比例

### (2) 电费

基带池组化部署方式下的电费主要包括空调耗电、BBU 与 RRU 耗电、传输设备耗电。中心机房取代分布在各小区的基站机房，可



以有效节省空调耗电量。在不同的 RRU 数量下，基带池组化方案下的电费相比传统方案节省比例如图 5-14 所示。随着基带集中程度增加，空调耗电量节省比例趋近于 100%，总体耗电量趋近于 60%。

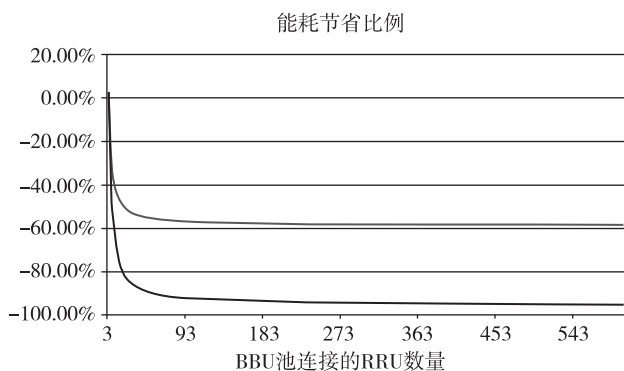


图 5-14 不同 BBU 池规模下的电费（能耗）节省比例

### (3) 网络维护成本

对于基带池组化部署方式，虽然 BBU 集中于中心机房内更有利于设备的升级维护，有效节省 BBU 维护成本；但是，将 RRU 设备放置于室外需要增加供电系统及巡检维护成本开销。总体而言，基带池组化方案的网络维护成本与传统网络相当。

综合上述对 OPEX 相关三个方面因素的讨论，基带池组化方案相比传统网络架构在 OPEX 方面的成本节省比例如图 5-15 所示。可以得到如下结论：基带池集中部署 20 个以上基站时，网络 OPEX 节省 65% ~ 70%。

### 5.3.2 基带池组化 RAN 架构的技术可行性分析

基带集中化的 RAN 架构涉及从 BBU 基带处理到 RRU 射频处理及多小区无线信号处理等多个方面的问题。下面对于其相关的 BBU-RRU 光互连传输、BBU 集中化与高速互连、多小区协作式无线处理及 BBU 虚拟化处理等四项关键技术的可行性进行分析。

#### 1. BBU-RRU 光互连传输可行性分析

##### (1) 现有可行方案

为满足 BBU-RRU 间高速率、低时延的数据传输连接，并考虑到

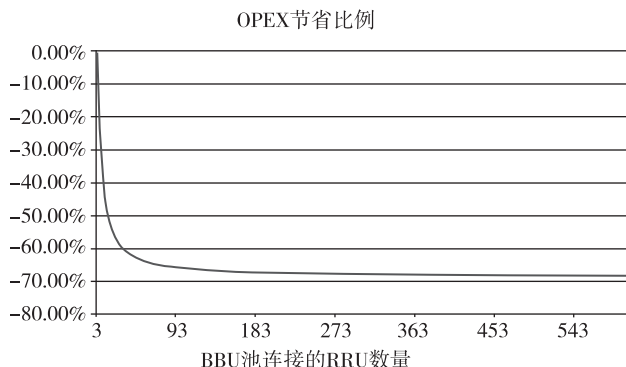


图 5-15 不同 BBU 池规模下的 OPEX 节省比例

中国联通现有光传输网络可用资源，基带池组化 RAN 架构可以在近期利用光纤直驱的方式满足小范围、短距离的 BBU-RRU 间数据传输；同时，可考虑利用微波传输的方式作为其补充传输方式。

下面分别对于现有可能的光传输技术进行分析和说明。

#### 1) 光纤直驱方案。

该方案可以充分利用中国联通现有的光纤资源，在短期内无需进行相应的配套设施建设，成本较低，但无法满足网络可持续发展的要求，需要消耗大量的光纤，同时，光纤直驱的方案缺乏相应的保护机制，不能进行有效地运营维护管理，降低了城域传送网络的电信可靠性。未来一旦光纤资源耗尽，还需要建设新的管道资源，从长远角度看，该方案不具有大规模部署的可持续发展性。

#### 2) 波分复用 (WDM) 传输方案。

该方案适用于光纤资源较为紧张的区域，尤其是接入环光纤资源紧张的情况下。在这种环境下，如果新建接入环光纤困难或者成本过高，则可以通过波分复用技术升级现有的接入环光传输网络来减少 CPRI 对于高带宽的需求。该技术可以降低对光纤资源的需求，不过将现有接入环升级成 WDM 传输网意味着需要较高的成本，从长期角度看，将 WDM 设备应用到接入环，可以放松对传统 WDM 设备硬件的指标要求（例如功率低、色散要求小、无非线性、波长数量少等），这可以极大程度上降低 WDM 设备的价格成本。



### 3) UniPON 方案

该方案适合室内部署场景，在室内场景下，由于部署天线数量较大，因此更适合通过基于稀疏波分复用（CWDM）技术的 UniPON 方案。UniPON 同时为 PON 以及 CPRI 业务提供传输支持，标准 PON 网络中的上行信道和下行信道可以在多个波长上进行传输，同时，WDM 其他空闲波长可用于 BBU 和 RRU 之间的数据传输，由于与 PON 业务进行了整合，该方案更适合楼宇室内分布式系统的射频数据回传。

### 4) 光传送网（OTN）传输方案

OTN 依靠其超大容量带宽、灵活的交叉连接配置、多业务的支持能力，成为了目前较为热门的一种业务承载方案。在 2009 年 ITU-T SG15 刚刚推出的 G. 709 第三版本中，增加了在 CPRI 业务到低阶 ODU（光通道数据单元）容器的映射规范。此外，大部分厂商也在其低容量 OTN 设备上增加了 CPRI 板卡，这就为 OTN 承载基站射频业务提供了技术支持。OTN 灵活的交叉功能恰好可以满足未来 BBU 和 RRU 之间频繁的业务调整需求。

#### (2) 存在技术挑战

基于现有中国联通光网络资源及光纤直驱技术可以在一定程度上满足小范围的 BBU-RRU 间互连的需求。但是，对于未来的 LTE 及 LTE-Advanced 系统，单个 BBU-RRU 端口间需要提供 10Gbit/s 以上的数据传输速率，这对于光传输，特别是光交换机提出了极高的要求。按照现在的光交换机制造工艺，满足大规模的 BBU-RRU 间光互连的光交换机具有极高的制造成本，且维护费用也较高。这些都造成 BBU-RRU 间大量采用光纤直驱技术的大规模光互连传输的不现实性。

同时，WDM-PON 及 UniPON 传输技术可以在现有有限光纤资源情况下提供大容量的传输能力，其为未来基带池组化 RAN 架构光传输的主要发展方向之一。但是，这些方案在技术实现及成本上仍存在诸多问题。对于 WDM-PON 技术，到目前为止仍未有支持 CPRI 的光交换机，这导致无法将 WDM-PON 技术直接应用于 BBU-RRU 间的互连传输。UniPON 技术将数据传输和光传输复用，其更适用于室内传输场景，无法满足大规模 BBU-RRU 互连的需求。



## 2. BBU 集中化与高速互连可行性分析

目前，部分厂商设备已经实现了 BBU 内载波处理资源的动态调度。但是，单个 BBU 支持的处理能力有限，一般只能支持 10 个左右宏站的载波处理。因此，其仅可在单个 BBU 的处理范围内解决网络潮汐效应，为从根本上解决更大范围网络潮汐效应仍需要实现跨 BBU 间的载波处理资源调度。

### (1) 未来可能方案

#### 1) 基于通用处理器的 BBU 解决方案。

随着标准的通用型服务器及通用处理器（GPP）的快速发展，通用处理器也逐渐可以满足面向数字信号等特殊数据类型的有效处理，从而为基于标准的通用型服务器及通用处理器开发开放的基站 BBU 平台提供了更多的选择。标准的通用服务器在信息技术领域应用广泛，具有业界统一、开放的标准体系，便于扩展和大规模采用，并有较好的后向兼容性和多厂商兼容性。通过通用服务器进行数字信号处理，实现基带的处理功能，可以有效解决 BBU 之间接口统一性的问题。

#### 2) 基于双层互连网络的 BBU 池组架构。

为实现 BBU 集中化及高速互连，可以逐步考虑将网络 BBU 资源集中，构建双层互连网络，以支持虚拟计算资源的迁移和调度。对于不同 BBU 池组之间的数据互连，一般可以考虑两种网络架构。一是构建双层网络，以保持集群的简单性；二是构建基于路由网络连接的大型集群。在 BBU 池组内部，可采用智能弹性架构（Intelligent Resilient Framework 2, IRF2）技术，构建大型的双层透明交换网络。在数据中心内部，构建端到端的 IRF2 虚拟化网络，实现内部虚拟化计算的透明交互，如图 5-16a 所示；在 BBU 池组之间构建 IRF2 核心网，核心网设备位于不同地域，但是可以虚拟化成一台逻辑设备，BBU 池组与核心网以跨地域聚合链路方式实现互连，如图 5-16b 所示。其既消除了网络环路，又保证了网络的可靠性和链路的充分利用。

### (2) 存在技术挑战

现有网络中 BBU 之间没有统一的互连互通接口。利用现有资源进行基带池组化 RAN 架构建设，仅可在简单意义上实现 BBU 的集中

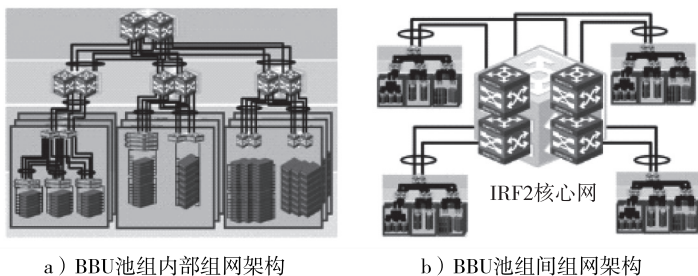


图 5-16 BBU 池组化网络架构

方式，以节省机房及相关配套设备开销；但是，无法满足 BBU 之间高速互连的需求。

同时，基带池组化带来大量的 BBU 间数据传输需求，现在业界还没有满足电信级数字处理高吞吐量、低延迟、低成本的基站 BBU 互连架构。特别地，对于未来 LTE 及 LTE-Advanced 网络，尚无成熟的技术来支撑 BBU 间数十 Gbit/s 的数据传输需求。同时，BBU 间的接口到目前为止还未有统一的行业标准，较难实现不同厂商的 BBU 间互连互通。

### 3. 多小区协作式无线处理可行性分析

为了提升用户性能，特别是小区边缘用户的性能，多小区间协作式无线处理技术已经得到了广泛的研究和讨论。多小区的协作方式主要包括资源协作和信号处理协作两个方面。

#### (1) 现有可行方案

##### 1) 多小区协作无线资源管理。

多小区协作式无线资源管理基于小区间有效信息交互，为用户选择最优的服务小区群及服务资源，以优化网络传输。小区簇内的各个基站间可以通过协作传输来提高簇内用户的业务性能。在集中式的基带处理架构下，小区簇规划由 BBU 池组进行统一控制。为了进一步降低多小区协作调度算法的复杂度，可以适当限制协作服务终端的数量。实际上，当多个 RRU 为同一用户服务时，可以根据用户通信性能来动态调整提供无线连接的 RRU 数量。也就是说，可以根据需要激活某个 RRU 或者删除某个 RRU，这种自适应的活跃 RRU



选取机制将大幅度提高用户业务性能。

## 2) 多点协作信号处理技术。

多点协作 (Coordinated Multiple Point, CoMP) 作为 LTE-Advanced 系统的一项重要传输模式, 利用多个地理位置相互独立分散的传输点通过相互协作的传输方式对某一用户或多个用户 (SU-CoMP 或 MU-CoMP) 同时进行数据传输。在基带池组化 RAN 架构下, CoMP 技术可以更好地发挥作用, 通过 RRU 的协作工作来增强系统整体性能。根据协作工作的 RRU 之间是否共享用户面数据来划分, CoMP 可分为联合处理 (Joint Processing, JP) 和协作调度/波束赋形 (Coordinated Scheduling/ Coordinated Beamforming, CS/CB)。JP 利用不同小区基站天线到用户的空间分集来提高小区边缘用户的性能, 包括联合传输 (Joint Transmission, JT) 和动态小区选择, 如图 5-17 所示。CS/CB 利用不同小区之间的信息交互, 通过对资源 (时间、频率、空间等) 的调度, 包括波束赋形向量的调节来减少小区间干扰 (Inter-Cell Interference, ICI), 从而改善小区边缘性能, 提高系统吞吐量, 如图 5-18 所示。

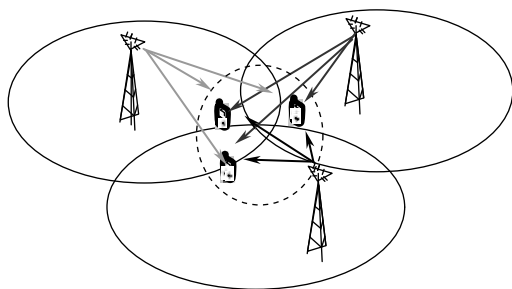


图 5-17 CoMP 在 JP 模式工作的示意图

## (2) 存在技术挑战

多小区协作式无线处理是解决小区间共道干扰的有效手段之一。现有讨论的多小区间协作式无线处理技术都基于传统的网络架构机制, 基站间通过 X2 等接口仅能支持小速率、高时延的数据传输。因此, 现有的协作式无线处理技术都无法在真正意义上充分开发基带集中化 RAN 架构带来的 BBU 间高数据速率传输带来的优势。为了充



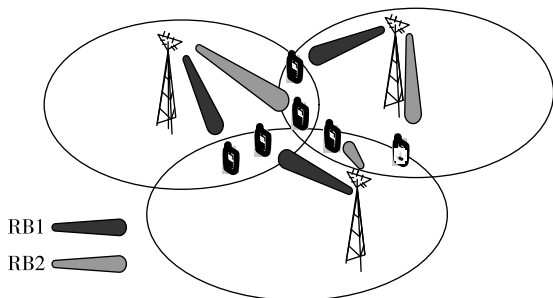


图 5-18 CoMP 在 CS/CB 模式工作的示意图

分开发基带集中化为协作式无线处理技术带来的增益，需要进一步探讨高效的联合信号处理机制。具体需要解决的技术挑战包括：

1) 高效的联合处理机制：多小区间的联合信号处理机制，以在满足后向兼容性的同时，实现多小区的用户信号的联合发送和接收，提升系统性能。

2) 多小区用户配对和联合调度算法：高效合理地选择多小区间联合传输的用户，同时兼顾用户的公平性及传输需求。

#### 4. BBU 虚拟化可行性分析

BBU 虚拟化是基带池组化 RAN 架构的未来发展的主要方向之一。到目前为止，在单 BBU 多模式支持等方面，全世界运营商中已经有了一定的应用。但是，对于 BBU 的虚拟化处理还未出现现实可行的方案。随着软件无线电技术的发展，为未来统一、开放的多模基带处理及虚拟基带处理提供了潜在的可行性方案。

##### (1) 未来可能方案

##### 1) 多模式 BBU 技术。

多模式的 BBU 支持主要存在两种类型：统一的 BBU 系统平台通过适配不同的处理板分别支持多种模式；统一的 BBU 系统平台及处理板硬件平台，并通过软件配置来支持不同模式。

对于前者，支持不同控制标准的处理板（比如 GSM，WCDMA，LTE）具有统一的接口，可以安装在统一的 BBU 系统平台中，运营商可以使用一套 BBU 系统平台支持多个移动网络。在这种情况下，





BBU 系统的一些模块，比如控制模块、定时模块及 RRU 的 I/O 模块可以在支持不同的 BBU 处理板之间共享。但是，这一结构无法在不同的处理板之间共享处理资源，并且在升级和扩容时也需要更新或者增加新的处理板硬件。

对于后者，基站的各个部分，如物理层处理、MAC 层处理及网络接口等，都可以通过软件配置或者升级以支持不同标准。这一模式实现了整个基站可在不改变硬件配置的情况下升级为不同的标准模式，但是，当前的可用方案需要将 BBU 或处理板重新启动以下载 DSP/FPGA 软件更改配置。这也限制了不同模式之间无法动态地适应业务变化的需求进行动态调整。

### 2) 基于软件无线的 BBU 技术。

随着半导体工业的不断发展，数字信号处理器（DSP）、通用处理器（GPP）近年来在架构、性能和功耗上都取得了较大进展，为基于软件无线的基站 BBU 提供了更多的选择。

在 DSP 方面，多核技术得到广泛的应用；同时，DSP 浮点运算能力也不断提高。SoC 架构 DSP 系统的出现，将传统 DSP 内核与专用通用处理加速器相结合，可有效提高基站 BBU 处理的密度并降低功耗。但是，DSP 平台的发展缺乏统一的平台和标准，这为后续 BBU 虚拟化的实现带来了巨大的挑战。

在 GPP 方面，随着标准的通用型服务器及通用处理器技术的快速发展，为基于标准的通用型服务器及通用处理器开发开放的基站 BBU 平台提供了更多的选择。标准的通用服务器在 IT 领域应用广泛，具有业界统一、开放的标准体系，便于扩展功能和大规模采用，并具有较好的后向兼容性和多厂商兼容性。通用服务器所普遍应用的通用处理器新技术主要包括：多核、支持浮点运算的单指令流多数据流（SIMD），大容量的片内缓存，低时延的片外存储。

### (2) 存在技术挑战

由于基站具有实时处理、高性能的设计需求，传统虚拟技术难以实现 BBU 虚拟化处理的需求，为了在大规模集中式基带池上实现 BBU 虚拟化，还需要解决以下技术挑战：

#### 1) 运营商运营的多个系统之间共享处理资源。现有的软件无线



电为基础的基站系统部分地解决了运营商同时运营多种标准的需求，但是在多标准直接共享处理器，实现动态的业务负载均衡方面尚无法满足运营商的需求。

2) 符合工业标准、开放统一的标准化基站 BBU 平台，以及相应的先进快速处理算法以实现实时信号处理。

3) 高效灵活的实时虚拟化管理机制，以保证对于大量 BBU 资源的动态管理，实现物理处理资源联动，并保证虚拟基站的实时性、处理延迟和抖动满足无线通信标准的要求。

### 5.3.3 小结

本章主要从成本及技术两方面对基带池组化网络架构的可行性进行分析。从成本角度而言，一方面基带池组化可以带来机房及配套设施建设运营维护成本、BBU 设备成本的节省；另一方面，基带池组化也带来 CPRI 传输资源的大量需求，导致传输建设成本迅速增长。经过模拟分析得到如下结论：

1) 在 CAPEX 方面，基带池中集中 20 ~ 30 个站址情况下，基带池组化方案可取得最好的 CAPEX 性能。

2) 在 OPEX 方面，基带池中集中 20 个站址以上时，网络 OPEX 节省 65% ~ 69%。

3) 综合 CAPEX 和 OPEX 方面结论，基带池集中站址数量推荐值为 20 ~ 30 个。

从技术角度分析，基带池组化架构目前仍然面临着相当严峻的技术挑战，具体总结见表 5-1。

表 5-1 基带池组化 RAN 架构关键技术可行性分析

| 关键技术          | 现有可行方案                                      | 未来可行方案                       | 存在技术挑战   |
|---------------|---|------------------------------|--|
| BBU-RRU 光互连技术 | (1) 光纤直驱<br>(2) UniPON (用于室内覆盖)<br>(3) 微波传输 | (1) 波分复用传输方案<br>(2) OTN 传输方案 | (1) 光纤直驱传输无法满足未来 LTE/LTE-Advanced 系统 BBU-RRU 间 10Gbit/s 以上数据传输需求<br>(2) WDM-PON 技术尚不支持 CPRI 规范，且成本较高 |



(续)

| 关键技术           | 现有可行方案                            | 未来可行方案  | 存在技术挑战  |
|----------------|-----------------------------------|---|---|
| BBU 集中化与高速互连技术 | 仅可实现 BBU 集中化放置, 无法实现 BBU 间高速互连互通  | (1) 基于通用处理器的 BBU 解决方案<br>(2) 基于双层互连网络的 BBU 池组架构 | (1) 现有网络中 BBU 之间没有统一的互连互通接口, 无法实现 BBU 之间高速互连<br>(2) 业界还没有满足电信级数字处理高吞吐量、低延迟、低成本的基站 BBU 互连架构  |
| 多小区协作式无线处理技术   | (1) 多小区协作无线资源管理<br>(2) 多点协作信号处理技术 | 高效的联合信号处理机制                                     | (1) 高效的联合处理机制: 多小区间的联合信号处理机制以实现多小区的用户信号的联合发送和接收<br>(2) 多小区用户配对和联合调度算法: 高效合理地选择多小区间联合传输的用户, 同时兼顾用户的公平性及传输需求  |
| BBU 虚拟化处理技术    | 无                                 | (1) 多模式 BBU 技术<br>(2) 基于软件无线电的 BBU 技术           | (1) 现有的软件无线电为基础的基站系统在多标准直接共享处理器, 实现动态的业务负载均衡方面无法满足需求<br>(2) 符合工业标准、开放统一的标准化基站 BBU 平台, 以及相应的先进快速处理算法以实现实时信号处理<br>(3) 高效灵活的实时虚拟化管理机制, 以保证对于大量 BBU 资源的动态管理, 实现物理处理资源联动 |

## 5.4 未来 RAN 架构分析

针对传统蜂窝网络架构存在的诸多弊端, 有必要从优化网络部



署方式乃至整个 RAN 架构角度，对包括基带池组化部署在内的各种可能架构演进选项进行分析，探索如何实现低成本、高效率、低能耗的未来无线蜂窝网络目标。本节对未来可能的三种 RAN 架构发展方向从具体实现特点及成本角度进行深入分析。

#### 5.4.1 未来 RAN 架构发展趋势分析

目前，3G 移动通信无线接入网主要由与天线相连的 RRU 设备，负责基带信号处理的 BBU 设备，以及负责网络管理的 RNC 设备三部分构成。随着技术的发展，RRU 逐步靠近天线成为无线网络架构发展的主要方向之一。这样可以减少不必要的馈线损耗，提升功放效率，并通过集成 RRU 的有源天线实现覆盖优化等先进功能。同时，无线网络的集中式管控特性使得 RNC 及核心网的重要设备必须集中部署于核心机房中；然而，作为基站重要组成部分的 BBU 设备也是影响传统蜂窝网络 CAPEX 和 OPEX 的主要因素之一，其不同的部署方案对未来无线网络的发展有深远的影响。

未来 BBU 的部署主要存在集中式和分布式两种发展趋势，如图 5-19 所示。集中式部署方式下多个小区的 BBU 集中于 RNC 侧，即基带池组化架构；分布式部署方式下各小区 BBU 靠近 RRU 部署，将 BBU 单元小型化；BBU 与 RRU 单元集成并可共享 RRU 数字域处理单元，放置于室外基站塔。

由于集中式 BBU 部署对于传输具有较高的要求，而分布式 BBU 部署无法满足 BBU 资源高效利用的需求。部分集中式部署方案，如图 5-19 所示，可以在一定程度上满足两方面的要求。该方案将 BBU 的功能分为两部分，分别是分布式部署在 RRU 侧的本地处理层和集中式部署在 RNC 侧的集中处理层。部分集中式架构模式下，BBU 可以根据网络干扰情况、传输带宽及网络负荷情况，动态选择本地独立完成本小区的无线信号处理，或将能够通过多小区联合处理能获得较大增益的用户数据上传至集中处理层进行联合处理。

#### 5.4.2 未来 RAN 架构性能分析

针对集中式和分布式 BBU 部署的特点，在图 5-20 中分别从不同的方面对两种方案进行对比说明，下面针对各个方面进行详细分析：

1) 从 BBU 硬件利用率来看，集中式部署有利于通过 BBU 间的

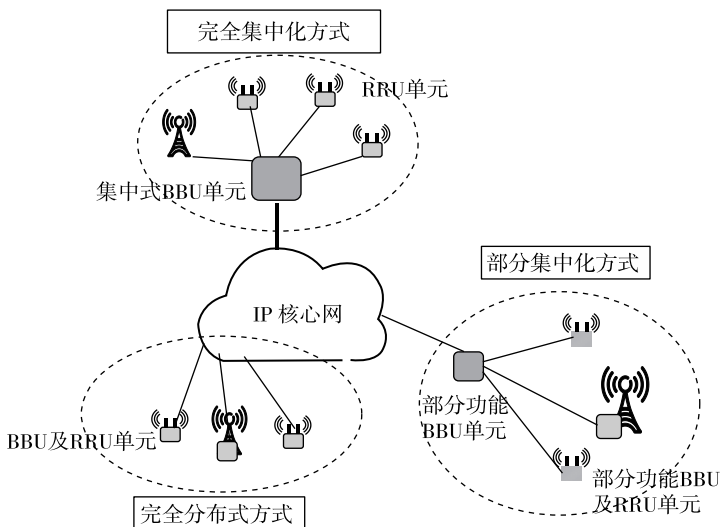


图 5-19 未来 RAN 架构演进方向

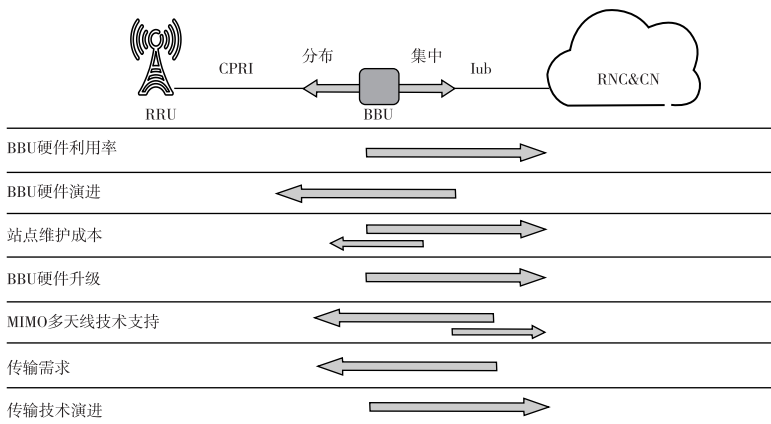


图 5-20 BBU 分布式部署和集中式部署

高速交换实现多个 BBU 处理资源的动态负荷平衡，从而有效提升 BBU 硬件的利用率。分布式部署则受限于传输能力很难实现该功能。

2) 从 BBU 硬件演进的角度来看，随着 BBU 生产工艺及芯片技



术的发展，BBU 将逐步小型化，能耗也逐步降低，甚至有可能实现单片式的 BBU。这样采用分布式部署方案，小型 BBU 同样无需机房及空调配套，甚至可以直接上塔与 RRU 共享芯片，进一步降低能耗。同时分布式方案不需要引入 CPRI 的超高带宽需求。

3) 从站点升级维护角度而言，BBU 集中部署可以减少站点维护的工作量，方便 BBU 硬件的升级维护，但同时带来 CPRI 维护管理的困难。

4) 从支持先进的多天线技术角度而言，BBU 集中部署由于引入了 CPRI 的时延，将对 MIMO 性能产生影响；而分布式部署方案下 CPRI 时延较小。同时，BBU 集中部署将有利于实现需要 BBU 间大量交互信息的先进多小区联合信号处理技术（CoMP）。

5) 从传输需求角度考虑，BBU 集中部署带来大量的 CPRI 光传输资源需求；但 BBU 分布部署保持与现网相同的传输需求。光传输技术仍然在不断发展，光纤容量朝着 100Gbit/s 速率前进，集中式部署对传输带来的需求可以促进光传输技术的发展。

部分集中式 BBU 部署方案介于集中式与分布式之间，BBU 可以根据系统的干扰情况、传输带宽及网络负荷情况，选择在本地独立完成本小区的无线信号处理或通过多小区联合处理获得较大增益的用户数据上传至集中处理层进行联合处理。这样一方面可以获取一定的多小区联合处理增益；另一方面，降低 BBU 和 RRU 间的数据传输需求。

具体地，在表 5-2 中对于三种未来 RAN 架构的性能进行分析说明。

表 5-2 未来 RAN 架构性能分析

| 未来架构方案 | 优 势   | 劣 势    |
|--------|---|--------|
| 集中式方案  | 提高硬件利用率<br>节省机房等配套设施<br>方便硬件升级<br>利于实现多 BBU 协作式无线信号传输 | 传输需求巨大 |



(续)

| 未来架构方案  | 优势  | 劣势                                 |
|---------|---|------------------------------------|
| 分布式方案   | 节省机房及配套设施<br>传输要求与传统网络一致<br>未来 BBU、RRU 共芯片实现可以进一步节省设备成本, 降低能耗 | 要求 BBU 生产工艺高<br>难以实现先进多 BBU 协作处理技术 |
| 部分集中式方案 | 可实现一定的多小区联合处理增益<br>适用于异构网络场景, 在不同层之间动态资源分配<br>对传输资源要求较低       | 对现有 BBU 功能结构影响较大                   |

### 5.4.3 未来 RAN 架构成本分析

BBU 小型化是基站站型发展的重要趋势之一。目前诸多厂商已推出无需机房的室外 BBU 解决方案, 将 BBU 及传输设备集成于小型机柜中, 如图 5-21 所示。



图 5-21 室外型 BBU 外观图

采用机柜式 BBU 的分布式部署方案无需传统分布式基站所需的机房及配套成本。在表 5-3 中给出分布式 BBU 部署与基带池组化方案的成本分析。



表 5-3 分布式部署与集中式部署成本分析对比

| 网络成本  |                     | 分布式部署<br>(机柜式 BBU)                | 集中化部署<br>(BBU 池)                      | 部分集中化部署                              |
|-------|---------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| CAPEX | 机房及配套设施             | 无需机房<br>机柜散热方式灵活<br>需室外供电系统       | 需中心机房<br>中心机房需空调、<br>室内供电系统           | 需中心机房<br>中心机房需要空调、<br>室内供电系统         |
|       | 设备软硬件               | 需要额外的一体化<br>机柜<br>无法节省 BBU 处理板    | 可利用集群效应、<br>潮汐效应节省 BBU 处理板            | 可在一定程度上<br>利用集群、潮汐效应<br>节省少量 BBU 处理板 |
|       | 传输成本                | 传输需求与传统基站相同                       | CPRI 接口传输需要<br>大量传输资源                 | 传输需求介于集中式<br>与分布式之间                  |
|       | 其他 (网络规划、<br>设备安装等) | 与传统网络类似                           | 与传统网络类似                               | 与传统网络类似                              |
| OPEX  | 机房租赁费用              | 无需租赁机房                            | 需中心机房                                 | 需中心机房                                |
|       | 功耗                  | 机柜空间小, 可大幅<br>节省空调耗电              | 大幅节省空调耗电,<br>节省部分 BBU 硬件<br>耗电        | 节省空调耗电,<br>节省部分 BBU 硬件<br>耗电         |
|       | 维护成本                | 供电系统及传输设备<br>由室内移至室外,<br>维护成本有所增加 | RRU 需要额外的供电<br>系统及巡检维护<br>CPRI 维护成本增加 | 部分 BBU 功能与<br>RRU 集成, 需要室外<br>供电和维护  |

图 5-22 所示为 300 个 RRU 场景下的基带池组化部署方式和分布式 BBU 部署方式下的 CAPEX 和 OPEX。在 CAPEX 方面, 基带池方案所需的设备成本最低, 但其传输成本则大大高于室外 BBU 方案, 总体而言基带池方案的 CAPEX 要略高于室外型 BBU 方案 (高 7%)。在 OPEX 方面, 基带池方案性能最佳, 相比室外 BBU 方案低 10% 左右。可以看到, 室外机柜式 BBU 部署方案同样可以有效节省机房、





空调能耗方面的成本，而且传输方面的需求与传统网络架构相同，无基带池组化所面临的传输问题。

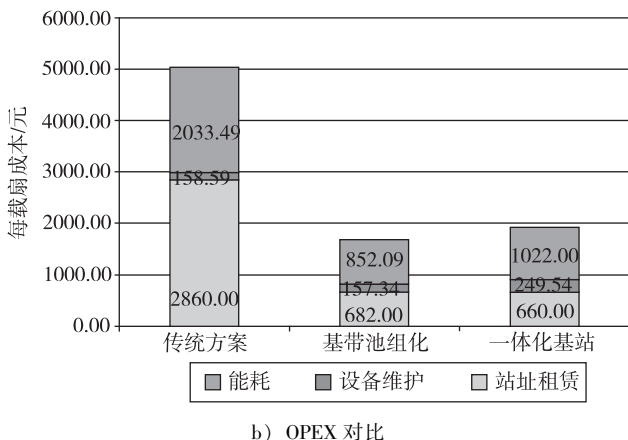
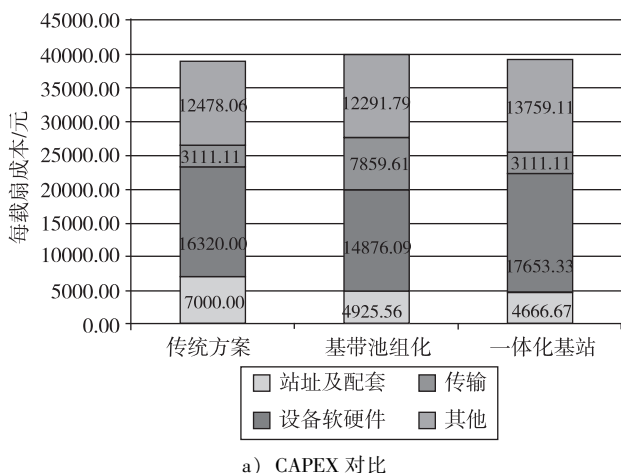


图 5-22 室外型 BBU 与基带集中化部署方式下的 CAPEX 和 OPEX 对比

#### 5.4.4 小结

未来 RAN 架构根据 BBU 的部署方式可以分为集中式和分布式两个发展方向。另外，为利用集中式 BBU 带来的集群及潮汐效应增益并降低对 BBU-RRU 间的数据传输需求，部分集中的部署方式也被视



为未来 RAN 架构发展的可能方向。

在性能方面，集中式方案可以提高硬件利用率、节省机房等配套设施；但其对传输的需求过大。分布式方案可节省机房及配套设施并对传输需求较小，但是 BBU 小型化对于设备制造工艺提出了较高要求，另外该方案下难以实现 BBU 间的动态协作处理技术。部分集中方案在一定程度上结合了分布式与集中式部署的优点，可以获得一定的联合处理增益，同时对传输的需求不高。这种方案要求 BBU 实现分层选择处理的功能，更加适用于宏蜂窝嵌套微蜂窝的异构网络模式。

初步的评估结果显示，在 CAPEX 方面，集中式方案比室外分布式方案高 7%，其中，集中式方案所需的设备成本最低，但其传输成本则大大高于分布式方案。在 OPEX 方面，集中式方案性能最佳，相比分布式方案低 10% 左右。这说明在节省机房及空调能耗方面，机柜式的分布式部署方案具有与基带池组化相当的性能，同时其不需要面临 CPRI 的传输问题。

## 5.5 本章小结

随着无线通信的发展，传统无线网络架构逐渐显现出高能耗、高建设与高维护成本及低效率等诸多弊端。在未来无线网络架构的演进中，基于对基带池组化 RAN 架构在成本及技术可行性方面的分析，可以得到如下结论：

1) 在成本方面，由于基带池组化 RAN 架构需要在 BBU 和 RRU 间进行高速率数据传输，导致传输成本过高。为保证基带池组化 RAN 架构在 CAPEX 和 OPEX 方面节省成本的优势，建议单个基带池部署规模为集中化 20 ~ 30 个站址。

2) 在技术方面，基带池组化在池组内 BBU 间互连互通方面仍存在诸多挑战；为降低传输成本，可以考虑采用波分复用技术等；同时，现有小区间协作式无线传输技术对于系统性能提升有限。

## 参考文献

- [1] CPRI Specification V4.1, Common Public Radio Interface (CPRI); Inter-



face Specification. 2009.

[2] WWRF, Reconfigurable SDR Equipment and Supporting Networks Reference Models and Architectures, WG 3-white paper.

[3] J Mitola. The Software Radio Architecture [J]. IEEE Communications Magazine, 1995, 33 (5): 26-38.

[4] Z Zhang, F Heiser, J Lerzer, H Leuschner. Advanced baseband technology in third-generation radio base station [J]. Ericsson review, 2003 (1): 32-41.

[5] Xue-Song Yang, Hao Qian, Bing-Zhong Wang, Shaoqiu Xiao. Radiation Pattern Computation of Pyramidal Conformal Antenna with Active-Element Pattern Technique. Antennas and Propagation Magazine, IEEE, 2011, 53 (2): 28-37.

[6] 3GPP R1-112646, Enhancement of the cell-edge performance in the future evolution, China Unicom.

[7] 3GPP R1-113478, CoMP deployment and the X2 interface, China Unicom.

[8] A Banerjee, Y Park, F Clarke, etc. Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access; a review [J]. Journal of Optical Networking, 2005 (4): 737-758.



# 无线异构网络融合架构

随着无线通信的迅速发展，已经逐渐形成多无线网络并存的异构无线格局。所谓无线异构网络通常是指具有不同网络架构、不同通信协议的无线通信网络。例如，蜂窝网与 WLAN、LTE 与 WCDMA 网络等。每种类型的网络拥有各自的通信系统，遵循自身的无线通信协议标准。通信系统的多样性是下一代无线移动通信面临的严峻挑战，其主要表现为异构网络之间的独立工作，导致通信系统在地域上的分割局面以及无线资源上的巨大浪费，同时，多系统孤立发展使得用户通信存在诸多不便<sup>[1]</sup>。

未来一代移动通信系统的目标是以用户需求为中心，要求各种网络技术适应人的活动，用户能够简单、方便地使用相应技术来达到通信需求<sup>[2]</sup>。因此，异构网络之间的密切协作与融合是未来无线移动通信发展的必然趋势<sup>[3]</sup>。

## 6.1 无线异构网络概述

在当前无线移动通信环境中，无线接入网络（Radio Access Network, RAN）的类型多种多样，包括蜂窝网、数字视频广播网（DVB）、无线局域网（WLAN）、传感网、个域网（PAN）等。而且上述各类网络本身又有很多标准，例如蜂窝网就包括 GPRS、WCDMA、LTE 等无线接入技术（Radio Access Technology, RAT）标准<sup>[1]</sup>。这些具有不同标准的无线接入网络大部分都是独立工作的，彼此之间缺乏合作，因此形成了“通信孤岛”。另一方面，无线业务呈现出内容多样化的特征，单一的网络已经无法承载所有的业务。因此，



异构网络协作是未来无线移动通信发展的必然趋势。它要求在不同的无线接入网络之间建立一个协作平台，使其能够协调工作，实现资源共享，共同为用户提供多方面、透明化的服务<sup>[4]</sup>。本节将介绍无线异构网络协作通信的发展趋势与研究现状。

### 6.1.1 无线异构网络概念及其演进趋势

异构网络之间在网络架构与通信制式方面具有较大差异，所以彼此之间的协作与融合面临着巨大挑战。

但是，产业界基于实际应用的需要，无线异构网络的概念比较宽泛，通常将宏基站（Macro BS）、微基站（Micro BS）等覆盖范围不同的网络节点所组成的网络也称为异构网络。因此，本章在产业应用的讨论中，仍然考虑该场景下的网络协作问题。

根据无线移动通信网络的发展历史与演进趋势，学术界早在2003年提出了网络演进的方向，简称为“4C”。如图6-1所示，未来异构网络的演进过程为“Coexist→Co-operation→Composite→Convergence”。也就是说，异构网络的演进可以分为以下4个阶段。

**第1阶段：网络共存（Coexist）。**随着各种新型网络的不断涌现，出现了多无线接入网络重叠覆盖的场景。在该场景下，异构网络之间可能存在互扰，如同时工作在2.4GHz的WLAN、蓝牙、UWB（超宽带）网络等。如何实现异构网络的共存，独立工作，避免或降低互扰，是该阶段需要解决的问题。

**第2阶段：网络协作（Co-operation）。**异构网络之间独立工作，可以完成各自的通信性能。但是，每种网络都存在其固有的特征，在某一方面具有较好性能的同时，在其他方面的性能却不尽如人意。异构网络之间的协作需求开始凸显。例如，WLAN具有较高的数据速率，却不适合为高速移动的用户服务；而蜂窝网具有较好的移动性，数据速率却比较低。可见，不同特性的网络之间是具有互补优势的。因此，在网络各自独立工作的同时，如何实现异构网络之间的协作，充分发挥每种网络的优势，是该阶段面临的挑战。

**第3阶段：网络复合（Composite）。**随着网络协作的深入，不同网络之间相互独立的网络架构与工作方式成为限制异构网络深度协作的瓶颈。由于每种网络通信模式与数据处理方式不同，导致网络



之间的协作不够灵活。例如，蜂窝网络中用户标识为 IMIS，数据业务信息直接穿越接入网到核心网来实现统一接入互联网；而 WLAN 中用户标识为 IP 地址，业务数据可能直接访问互联网。假设用户业务在 WCDMA 与 WLAN 之间切换，此时 WCDMA 中的 Node B 与 WLAN 中的 AP 之间是无法直接实现业务切换的。该过程必须经过 WCDMA 核心网决策、用户标识转换、业务承载的网络重定向等步骤，造成较大的切换时延。另外，网络之间动态的资源借用与共享也是网络深度协作的一个特点。因此，如何通过适度调节网络的工作机制、增加功能模块等方式，实现异构网络之间的深度协作，是该阶段需要考虑的重点。

第4阶段：网络融合（Convergence）。网络协作的深入使得网络开始趋于融合。所谓网络融合，是指异构网络之间不再存在独立工作，而是融合成为一个网络，实现统一、动态的网络管理，灵活的通信资源调配，从而为用户提供高满意度的普适服务。

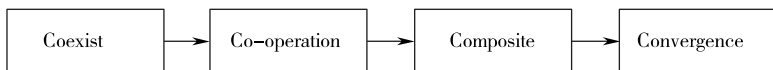


图 6-1 无线异构网络融合的演进趋势

综上，异构网络之间的融合是网络发展的未来方向。但是，基于目前网络的发展现状，正处于从 Co-operation 到 Composite 的演进阶段，并逐步向网络融合的方向推进和渗透。

### 6.1.2 无线异构网络融合的研究现状

目前，异构网络之间的互连互通与简单协作已经开始在实际应用中推广，如 WCDMA 与 GSM 之间的用户业务切换等。在网络从“协作”向“复合”的演进过程中，关于网络复合方面的研究逐步深入。

欧洲在 2001 年提出了复合可重构无线网络的概念。欧洲从 IST FP5 就开始对其进行前期研究，在 IST FP6（2002 ~ 2006）中正式展开对复合可重构网络的广泛研究工作，目前 IST FP7 也正在对其进行更加深入的探讨<sup>[3]</sup>。目前对于复合可重构无线网络已经开展的研究主要涉及网络体系结构、无线系统管理、业务提供、端-端可重构、



安全性、无线资源分配、接入控制和移动性管理等诸多方面<sup>[5]</sup>。

IST FP5 中对网络复合和终端可重构进行了初步的研究,从不同角度展开了相关的科研项目,主要有: SCOUT (Smart user-centric Ommunication environment)<sup>[6]</sup>、MOBIVAS (Downloadable Mobile Value-Added-Services through Software Radio and Switching Integrated Platforms)<sup>[7]</sup>、CREDO (Composite Radio and Enhanced service Delivery for the Olympics) 等。SCOUT 项目<sup>[6]</sup>研究重点是在基于 IP 的移动网络中,设计可重构移动设备的模型,它提出了在多种无线接入技术环境中进行终端重构智能化管理的概念。MOBIVAS 项目<sup>[7]</sup>着重于端到端重构业务方面的研究设计工作,它通过对网络体系结构和业务实现要求的分析,提出了一种包含重构控制和业务提供的管理器原型。MOBIVAS 原型的突出特点是它特别考虑了用户注册、软件下载安全性,以及多个运营商、服务提供商之间的收入分配问题。CREDO 项目定义了一种复合网络环境中流量负载分布和业务传送的管理体系结构,提出了一种网络接入协调协议,用于支持用户无线通信业务保持“始终最好的连接(Always Best Connected)”。

IST FP6 (2002 ~ 2006) 正式启动对复合可重构网络的全面研究工作,建立了复合网络的体系框架,明确了复合可重构网络的研究目标和具体科研内容。相关研究项目则包含 AN (Ambient Networks)、WINNER (Wireless world INitiative NEwRadio)<sup>[8]</sup>和 E2R (End-to-End Reconfigurability)<sup>[9]</sup>。AN 项目的研究目标是实现低成本、可扩展的无线网络复合,并且使得无线通信业务更加丰富,更易于用户选择和使用所需的通信服务。该项目中包含了复合、可重构、移动网络组件管理等方面。研究重点包括:通过联合无线资源管理(JRRM)功能来实现多个 RAT (无线接入技术) 网络之间的合作,促进复合网络中的负载均衡,多个网络之间业务平台和应用的 合作依赖于可扩展的、安全的接口。2003 年启动,由全球 41 个研究机构、公司和运营商参与的欧盟 FP6 综合项目“WINNER”<sup>[8]</sup>,是基于中继的(Relay-Based)无线移动宽带系统,意在分析和评估各种宽带移动通信技术,定义泛在无线接入系统(Ubiquitous Radio Access System)所需要的空中接口和网络技术,研究灵活有效的频谱使用和



频谱共享方法,以及无线异构网络的复合。随后,欧盟 FP6 于 2004 年 1 月 1 日启动了以“B3G 移动和无线系统及平台”为目标的综合项目“端到端可重构(End-to-End Reconfigurability, E2R)”<sup>[9]</sup>,旨在全面开发由数字系统(例如蜂窝网络、固定接入网络、WLAN 和 WiMAX 网络)构成的无线生态环境(Radio Eco-space)的多样性好处,目标是设计、发展、试验和展示可重构设备及系统支撑功能的体系结构设计,为异构系统环境中的用户、应用和服务提供商、运营商及管理者提供广泛的操作选择。在为期两年的第一期成功实施的基础上,2006 年 1 月 1 日启动了 E2R 项目的第二期(E2R II),进一步研究端到端智能可重构管理。E2R II 力图通过演示和验证,为用户提供基于复合可重构网络系统的真正无缝通信体验。它提出建立复合网络环境中具有自适应性的协议栈、提供更加灵活的业务应用、消除各种硬件/软件技术之间以及各种应用和业务之间的隔阂,并且申请了一些关于可重构无线电、可重构计算、有效资源管理,以及自学和感知机制等方面的创新成果专利<sup>[10-13]</sup>。

美国电气和电子工程师学会(IEEE)在出版期刊中以大量篇幅显示了对欧盟项目研究进展的极大关注,主要包括 2003 年 7 月和 2004 年 5 月推出的 IEEE Communication Magazine 专辑“Composite Reconfigurable Wireless Networks: The EU R&D Path Toward 4G”<sup>[1,14]</sup>,以及 2006 年 6 月的 IEEE Wireless Communications 专辑“A European Perspective on Composite Reconfigurable Radio Networks”<sup>[15]</sup>。已经发表的相关文献中介绍了欧盟对复合可重构网络的研究状况,以及科研项目的进展情况,也提供了一些关键问题的解决思路。但是,由于欧洲对于复合可重构网络的研究也正在进行中,对于很多研究内容还没有形成统一的成熟看法,对于一些关键性技术的解决方案也并未公布。

与 FP6 项目密切合作的无线世界研究论坛(Wireless World Research Forum, WWRF)<sup>[16]</sup>一直致力于协调多个国家的重要研究组织(包括日本 MITF、欧洲 UMTS 论坛、韩国 NGMC 论坛和我国 FuTURE 项目)的无线技术观念,努力形成不同国家之间对于未来无线通信发展的共识。WWRF 第六工作组(Work Group 6,名为 Reconfigu-





rability)<sup>[17]</sup>一直在研发多种无线技术的共存和合作关系。它的研究主题涉及可重构平台及其管理、灵活的频谱和无线资源管理、软件无线电和灵活的空中接口、感知无线电、感知无线网络、自动计算、业务设计等。此外，标准化组织国际电信联盟 (ITU)<sup>[18]</sup>和 3GPP 也提出了复合可重构无线环境下网络管理方面的方案。

因此，复合可重构网络的研究在世界范围内引起了广泛的关注。在美国，虽然没有明确针对复合可重构网络的科研机构，但是很多研究工作也是与复合可重构密切相关的。例如美国国防部高级研究计划局 (US-based Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 的下一代通信 (neXt Generation communications, XG) 项目<sup>[19]</sup>正在做关于动态频谱管理机制的研究，频谱的灵活利用也是复合可重构网络中一个重要的研究内容。在亚洲地区，日本和韩国也都在跟踪欧洲关于复合可重构网络研究的进展情况，并且开始从事一些相关的研究工作。目前，国内针对复合可重构网络的研究还比较少，只有少数大学和科研机构的实验室在做相关的工作，但是并没有引起广泛的重视，研究成果也比较少。

## 6.2 无线异构网络融合的网络架构与关键技术

### 6.2.1 异构网络融合的网络架构

目前，国内外都在探讨下一代网络架构，异构网络之间的协作与融合是一个重要的研究方向。本节对几种典型的网络系统架构进行简要的阐述与分析，分别代表了基于认知技术的智能网络架构、以蜂窝网络为主体的网络融合架构，以及面向互联网的网络融合架构。

#### 1. 复合可重构无线网络

复合可重构无线网络 (Composite Reconfigurable Wireless Networks) 概念<sup>[2,20,21]</sup>是由欧洲 IST 第 6 工作框架 (Framework Program 6, FP6)<sup>[22]</sup>于 2003 年提出的。“复合 (Composite)”源于复合无线电 (Composite Radio) 概念<sup>[23]</sup>，在这里是指异构网络之间的相互合作；“可重构 (Reconfigurable)”源于软件定义无线电 (Software Defined Radio, SDR) 概念<sup>[23]</sup>，在这里是指用户终端能够基于软件无线电技



术，根据外界通信环境的变化进行重新配置。复合可重构无线网络的目标是在异构网络并存的无线环境中，建立一个灵活、有标准组件、可升级演进的自适应网络管理平台，使得各类网络充分发挥各自的特点，并且能够根据用户和业务的需要相互合作，对不同网络进行动态地规划和管理，达到最优化地综合利用各种通信资源，为用户提供基于全 IP、多样化（包括多媒体业务、用户定位等）的无缝服务<sup>[4]</sup>。在此之后，IST 第 7 工作框架（FP7）在前期研究的基础上，提出了认知网络（Cognitive Networks）的概念。“认知（Cognitive）”源于认知无线电（Cognitive Radio, CR）概念，它将认知无线电技术应用于异构网络的协作通信，致力于构建一个智能化的无线通信网络<sup>[3]</sup>。

复合可重构无线网络包括网络复合和终端可重构两个部分，图 6-2 所示为复合可重构网络的基本结构示意图<sup>[24]</sup>。

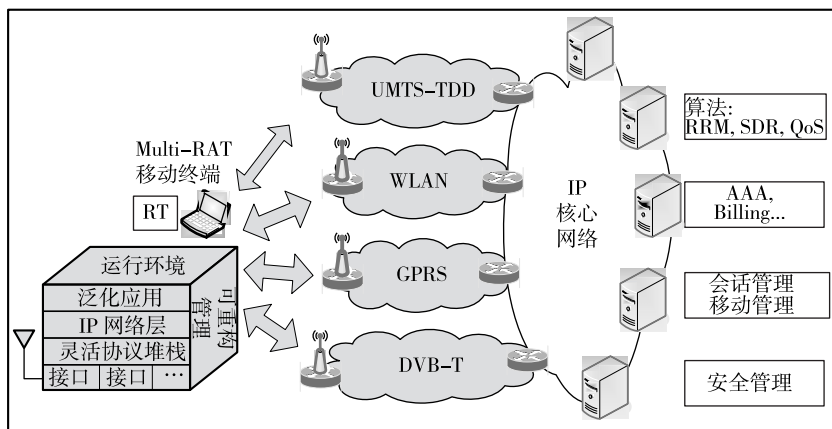


图 6-2 复合可重构网络的基本结构示意图

“终端可重构”是指用户终端能够根据周围无线环境和业务的需求，选择最佳的网络，使用 SDR 技术完成自身的重新配置，使其能够在任何时间、任何地点实现最佳的接入与通信，获得最广范围的透明化 QoS 服务<sup>[2,25]</sup>。可重构终端（Reconfigurable Terminal, RT），不是现有多种终端的集成，而是要求其拥有一个基于 SDR 技术、可以重新配置的硬件平台，能够根据需求自适应地对硬件进行编程，



实现不同的接入功能。在实现终端可重构的过程中，首先需要 RT 对周围的通信环境进行实时监测，发现周围存在的无线接入网络 (RAN)，以及每个 RAN 的基本特征参数，如 RAN 的网络类型、空中接口采用的 RAT 标准等；然后，RT 根据自身的业务需求、终端的工作能力，以及用户的特殊偏爱等因素，通过优化选择机制的计算，选择出最适合当前业务的最佳 RAN；最后，RT 根据最佳 RAN 的工作特征参数，对本身的可编程硬件实体进行重新配置，使其满足与最佳 RAN 通信的要求。这样，RT 就可以与最佳 RAN 进行无线通信，实现自身的业务需求<sup>[4]</sup>。

“网络复合”是指异构网络之间能够相互支持、彼此配合、共享资源。通过灵活的管理，实现各种接入网络之间的复合工作。这不仅可以充分发挥各种网络的特点，而且能够取长补短，弥补不同标准的网络独立工作时的缺点和不足，达到资源的最优化配置，为用户提供最佳的服务。这里“复合 (Composite)”的概念是指异构网络之间不但能够实现互连通信，而且可以密切合作，通过 IP 核心网络实现业务和资源的协调配置，如网络间分担用户流量，协调共享频谱资源等。然而，每个网络又相对独立，拥有各自的通信机制。网络复合的实现是在现有网络基础设施和空中接口基本不变的前提下，从核心网和无线接入网两个方面对各种异构网络进行管理模式上的改造，实现网络之间的密切配合。一方面，需要对每种网络中核心网的管理模式进行修改和调整，建立统一的核心网络管理平台，制定统一的业务通信管理机制和资源分配原则，使得每个网络既能独立工作，又可以按照相关原则和机制实现彼此之间的协调配合。另一方面，需要在无线接入网部分增加新的管理功能，使得每个网络能够使用原有的空中接口标准，与 RT 建立通信链接，完成与 RT 之间的业务协商，为用户提供最佳的无线通信服务。与建立一个新型的 4G 系统相比，复合网络能够充分利用现有的通信资源；与简单的网络互连合作相比，它能够更好地满足用户需求，提高通信资源的利用率。所以，网络复合既符合当前通信发展的需求，又可以做到向后兼容，是下一代无线通信系统演进的方向之一<sup>[4]</sup>。

在复合可重构无线网络中，网络复合和终端可重构是密不可分



的。网络之间的复合需要满足可重构终端的业务需求，考虑到终端的可重构能力，能够对终端用户通信进行有效的管理<sup>[4]</sup>；可重构终端必须适应复合网络环境，服从复合网络的管理和资源分配，能够接入异构网络并且实现网络间的业务切换 [即垂直切换 (Vertical Handover)]<sup>[26]</sup>。

为了实现复合可重构功能，需要在现有网络和设备的各个部分加入新的功能管理模块，与原有的操作管理系统相互配合，建立起一套新型全面的管理体系。图 6-3 以蜂窝网络、WMAN (WiMAX)、WLAN 和 WPAN 等 4 种具有不同特点的网络类型为例，给出了复合可重构网络的结构及相应功能管理模块示意图<sup>[4]</sup>。

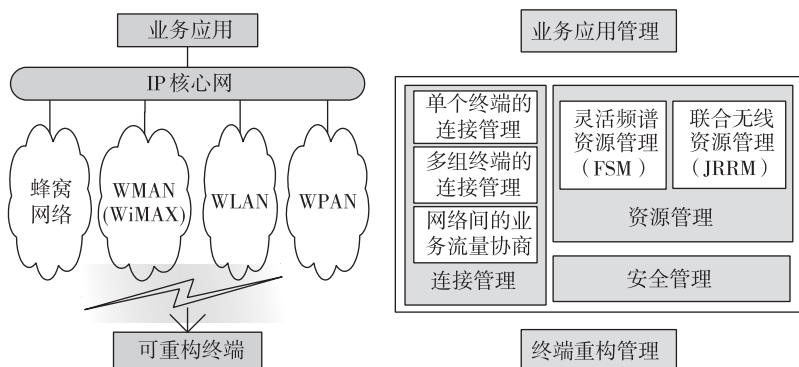


图 6-3 复合可重构网络结构及其功能管理模块

如图 6-3 所示，可重构终端需要基于 SDR 技术的终端重构管理，包括监测无线环境、与无线接入网络协商通信参数、执行重构等<sup>[24]</sup>。网络的连接管理方面负责终端接入、业务流量分配、切换等工作，包括对单个终端、多组终端的网络接入管理和网络间流量的协调；网络的资源管理方面包括灵活的频谱管理 (Flexible Spectrum Management, FSM) 和异构网络之间的联合无线资源管理 (Joint Radio Resource Management, JRRM)<sup>[27,28]</sup>。FSM 是指频谱资源分配原则不再是固定分配，取而代之的是灵活的动态频谱分配机制，实现不同网络之间的频谱共享，从而提高频谱利用率。JRRM 是指不同网络之间对通信资源进行联合管理，实现资源的优化分配，它与连接



管理关系密切，负责实现异构网络之间的通信资源协调配置。安全管理方面需要保证用户数据安全、网络通信安全等。另外，业务应用提供方也需要根据业务需求加入新的业务应用管理模块。通过对上述功能模块的研究与设计，以及各个模块之间的相互配合，可以实现复合可重构网络的目标，即为用户提供最优的无线通信服务，与此同时，能够实现系统整体资源的优化利用<sup>[4]</sup>。

## 2. 无线蜂窝网络的协作通信

无线蜂窝网络是移动通信系统的重要组成部分，下面分别从核心网与无线接入网两个方面，分析无线蜂窝网络中不同类型站点之间的协作模式。

近年来，LTE（Long Term Evolution，长期演进）也一直致力于网络协作通信的研究。在3GPP R6（Release 6）中就提出网络协作通信的相关规范，在后续的R7~R11中不断对异构网络协作展开更加深入的研究，并且制定了相关标准<sup>[29]</sup>。上述标准中不仅包括3GPP系列网络之间的协作通信，还包括3GPP网络与非3GPP网络，如cdma2000 EVDO、WLAN、WiMAX等，相互协作的通信规范<sup>[30]</sup>。3GPP系列网络中的基站类型及其覆盖如图6-4所示<sup>[31]</sup>。

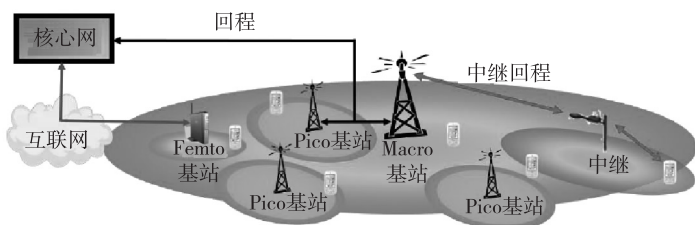


图 6-4 3GPP 系列网络的基站类型及其覆盖部署示意图

在核心网部分，传统蜂窝网络是基于电路交换，它与IP网络之间的协作通信受到一定限制。随着3GPP中核心网部分关于IP多媒体子系统（IP Multimedia Subsystem，IMS）研究的深入，进一步规范了LTE网络与传统蜂窝网络之间的协作通信模式。IMS符合未来网络全IP通信的发展趋势，采用SIP（Session Initiation Protocol，会话初始协议）进行端到端的呼叫控制。它借鉴软交换技术，通过网关



实现不同网络之间的互连<sup>[32]</sup>。IMS 的主要特点是既可以实现与 IP 网络的兼容，又能够保证数据业务的 QoS。图 6-5 所示为 IMS 网络基本架构。不同类型终端通过各自的无线接入网实现业务接入，IMS 网络解析每种网络的通信控制信息，负责对通信信令与业务数据进行格式转换，从而实现异构网络的协作通信。图 6-6 以 3GPP 系列网络为例，给出了 LTE 网络与传统蜂窝网络通过 IMS 实现协作通信的系统架构<sup>[33]</sup>。IMS 为异构网络提供了一个更为完善的协作通信平台，能够满足不同类型终端之间的通信，以及实现同一业务在不同终端之间的转换。

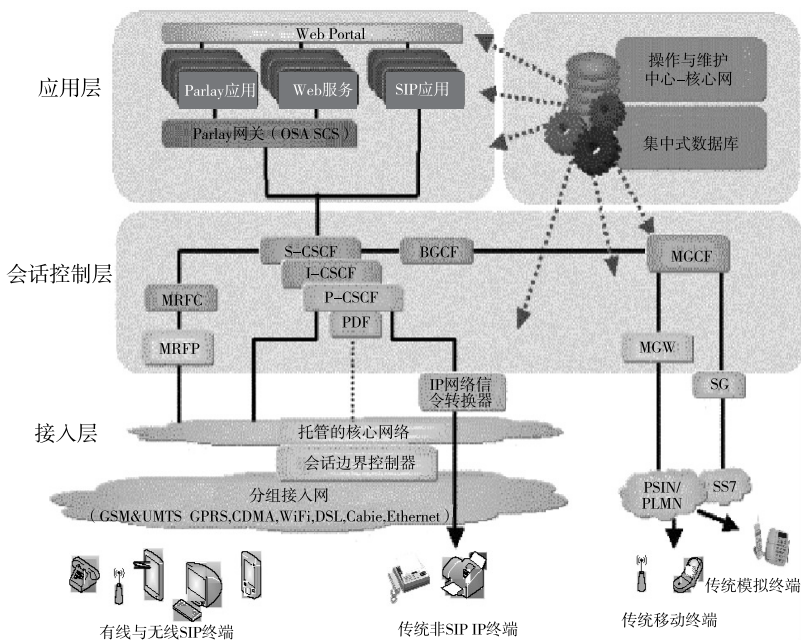


图 6-5 IMS 网络基本架构

在无线接入网部分，产业界提出了 C-RAN (Centralized, Cooperative, Cloud RAN, C-RAN) 概念<sup>[34]</sup>。它基于集中式基带处理池，通过远端无线射频单元 (Radio Remote Unite, RRU) 和天线组成的协作式无线网络，使用开放平台的实时云型基础设施，构建了一个新型



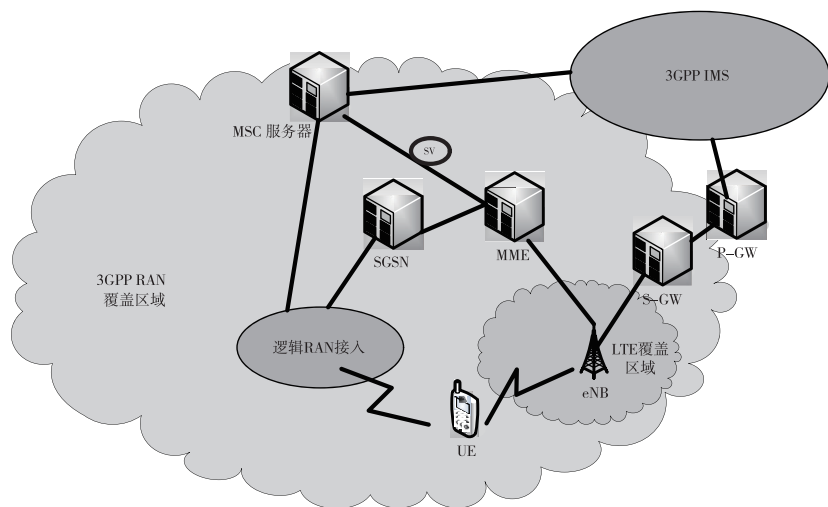


图 6-6 基于 IMS 的 3GPP 系列网络协作通信

的无线接入网络架构。如图 6-7 所示，C-RAN 架构主要包括 3 个组成部分：由远端无线射频单元和天线组成的分布式无线网络；由高带宽低延迟的光传输网络连接远端无线射频单元；由高性能通用处理器和实时虚拟技术组成的集中式基带处理池<sup>[34]</sup>。分布式的远端无

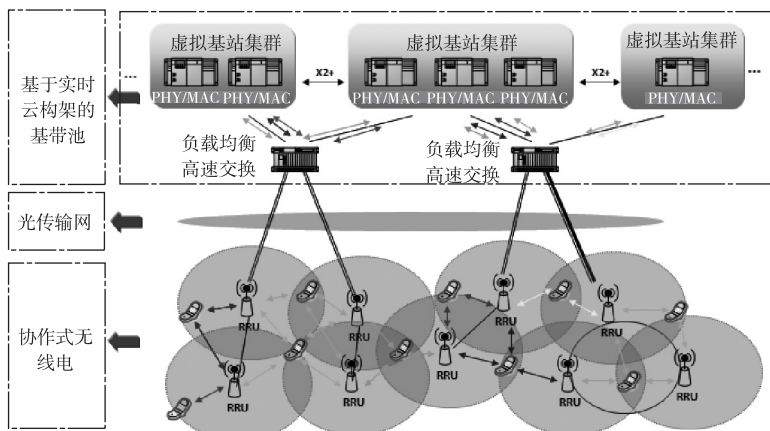


图 6-7 C-RAN 网络架构



线射频单元提供了一个大容量广覆盖的无线网络。由于这些单元灵巧轻便，便于安装维护，系统的成本开销很低，因此可以大范围高密度地使用。高带宽低延迟的光传输网络需要将所有的基带处理单元和远端射频单元之间连接起来。基带池由通用高性能处理器构成，通过实时虚拟技术连接在一起，集成异常强大的处理能力来为每个虚拟基站的工作提供支撑。集中式的基带处理大大减少了对于基站站址与机房设备的需求，并使资源聚合和大范围协作式无线收发技术成为可能<sup>[34]</sup>。中国联通针对基带集中处理问题给出了室内基带单元（Building Baseband Unit, BBU）集中化的示意图，如图 6-8 所示。当然，C-RAN 的可行性与有效性还有待于进一步研究。

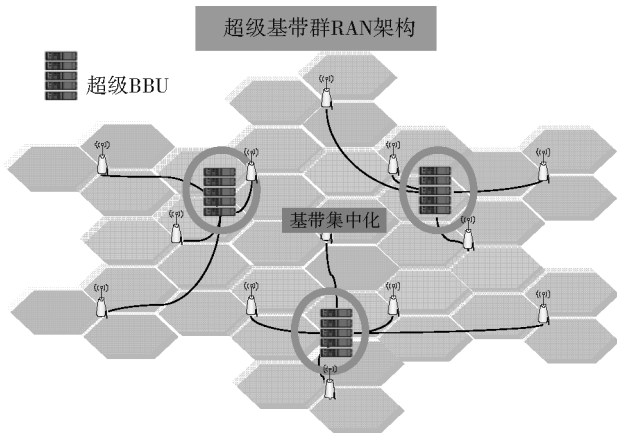


图 6-8 基带集中化 RAN 架构示意图

### 3. 基于标识映射的一体化网络

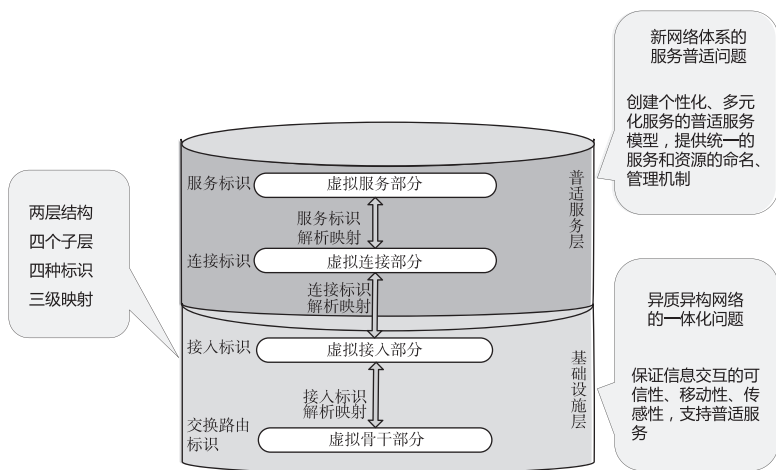
国内学术界针对网络融合领域也展开了广泛的研究，其中具有代表性的“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”，提出了一种基于标识聚合映射理论的一体化网络<sup>[35]</sup>。该网络结合考虑电信网与互联网的通信特点，建立了两层网络体系结构模型，即“网通层”和“服务层”<sup>[35]</sup>。它通过用户身份标识与位置标识相分离的标识规范，实现了核心网络与边缘无线接入网络的相对分离，为异构网络的协作通信提供了良好的平台。

在图 6-9 中，“网通层”包括虚拟接入子层和虚拟骨干子层，为





数据、语音等业务提供可信的一体化网络通信平台<sup>[36]</sup>。各种业务在网通层中以统一的“特定”分组方式进行传输。网通层采用“间接通信”模式：虚拟接入子层采用接入标识转发数据，而在虚拟骨干子层采用内部的交换路由标识替代接入标识转发，到达通信对端的广义交换路由器后，数据包的交换路由标识被置换回原来的接入标识；虚拟接入子层负责通信终端的接入，虚拟骨干子层解决位置管理和交换路由理论，用户的隐私性、网络的安全性、可控可管性和移动性在网通层得以很好地实现。



“服务层”负责各种业务的会话、控制和管理，这些业务包括由运营商或第三方增值服务商提供的各种网络业务，主要是语音、数据、流媒体等，不同的业务用同一个服务层承载。各种业务、网络资源和用户都采用惟一标识符识别，各个应用都要绑定于服务标识符，并且进行从服务标识符到连接标识符的解析、从连接标识符到交换路由标识符的解析，从而建立普适服务的标识和连接标识解析映射理论。运营商或第三方增值服务商将通过一体化网络个性化服务模型向用户提供有保障的个性化服务。服务层还包括多种服务功能组件，其中有媒体转换、媒体分发、计费 and 位置服务、虚拟



归属环境等服务组件和会话管理、资源管理、移动性管理、可信性管理、服务质量管理等管理组件。

在一体化可信网络和普适服务两层模型总体设计思想下，根据一体化网络层和普适服务层原理，遵循上述原型系统设计流程，建立的一体化可信网络和普适服务原型系统如图 6-10 所示<sup>[35]</sup>。该系统包括核心网、接入网和终端三部分。核心网由“一体化广义交换路由器”构建，是一体化网络的主体部分。一体化广义交换路由器必须支持网通层的设计原理，选路的标记使用交换路由标识 ID，根据一体化广义交换路由协议理论和算法完成选路。接入网功能由一体化接入交换路由器实现。一体化接入交换路由器引入一体化网络接入标识与交换路由标识分离聚合映射理论，除了完成网通层的基本功能外，还能完成接入标识 ID 到交换路由标识 ID 转换的特色功能。终端包括各类服务器、终端计算机、移动终端、电话终端以及用于支持普通电话接入一体化网络的标识转换器等。终端应满足“网通层”和“服务层”的设计原理和统一规范。对于通过一体化接入交

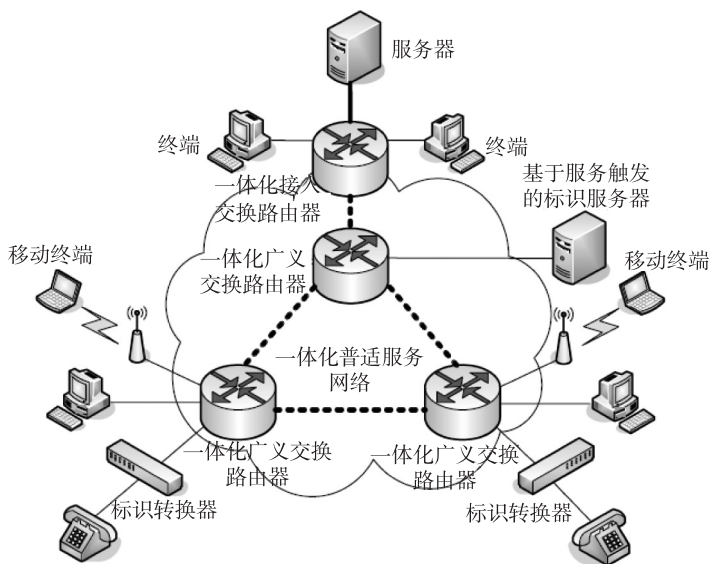


图 6-10 一体化标识网络原型系统



换路由器连到一体化网络的终端，使用接入标识 ID 选路；对于直接连到一体化网络的终端，使用交换路由标识 ID 直接参加选路；对于一些不能完全支持网通层和服务层设计的终端（如普通的电话终端），使用标识转换器为其分配接入标识 ID 或交换路由标识 ID 完成交换路由的选择。

一体化可信网络和普适服务原型系统工作原理描述如下。首先，客户终端根据目标服务标识 ID 在标识服务器中查询服务所在的位置，根据得到的回应信息准备与服务所在服务器建立连接。然后，客户终端将目标服务标识 ID 与一个或多个连接标识 ID 建立映射关系，连接标识 ID 用于建立终端与服务器间的连接。之后，连接标识 ID 再映射到一个或多个交换路由标识 ID（若终端是通过一体化接入交换路由器连到一体化网络，需使用接入标识 ID，并通过一体化接入交换路由器将其转换为交换路由标识 ID），交换路由标识 ID 用于在一体化网络中选路。最后，根据得到的合理选路，在客户终端与服务器之间传输服务数据，完成一体化普适服务网络下的一次完整网络通信。

### 6.2.2 无线异构网络融合的关键技术

在异构网络融合的无线环境下，网络与终端都需要引入新技术，从而使得多种网络协作工作，为用户提供更高 QoS 的通信服务。基于异构网络的环境特点，本节重点介绍以下关键技术：异构网络中的通信环境检测技术，无线接入控制技术，网络负载均衡技术，频谱共享技术及设备重构技术。

#### 1. 通信环境检测技术

可重构终端需要获取周围的通信环境，特别是无线射频环境，发现和监测周围存在的 RAT 网络，监测所处环境中无线通信频谱的使用情况，并且保存检测数据。这里需要的关键技术包括 RAT 网络发现和接入测试技术、射频频谱检测技术、信道估计技术、认知无线电（Cognitive Radio, CR）技术等。RAT 网络发现和接入测试技术将使得可重构终端（RT）能够检测和发现周围存在的无线接入网络；射频频谱检测技术可以帮助 RT 了解周围的频谱占用情况，使其具有在复杂频谱环境中选择最佳通信信道的能力；信道估计技术将



为 RT 提供信道的衰落和干扰特征，作为 RT 自适应地选择通信参数的依据；认知无线电（CR）技术作为一项新兴技术，可以用于 RT 对周围环境的监测，帮助其实现重构功能。

前端信息获取是进行终端重构的前提，而信息准确度直接影响重构的决策和最终的效果。因此，将移动代理应用于 RT 的环境监测系统，提出了环境监测移动代理平台（SM-MA Platform），如图 6-11 所示。RT 环境监测主要包括 5 个方面的监测内容，在 SM-MA Platform 中，分别使用 5 个移动代理（MA）来实现它们的监测功能。每个 MA 首先是具有软件代理的普通功能，也就是说既能够自动独立地完成该代理的监测任务，又能够保证对用户的透明性。另外，每个 MA 还具有移动性，能够漫游到其他节点来实现监测功能。SM-MA Platform 的优势就在于它可以借助 RT 周围的其他通信设备来实现分布式监测功能，节省环境监测对 RT 资源的占用，减少 RT 的环境监测开销。由于 RT 本身功率和硬件资源相对紧缺，所以移动代理功能将会大幅度提高 RT 的环境监测能力。

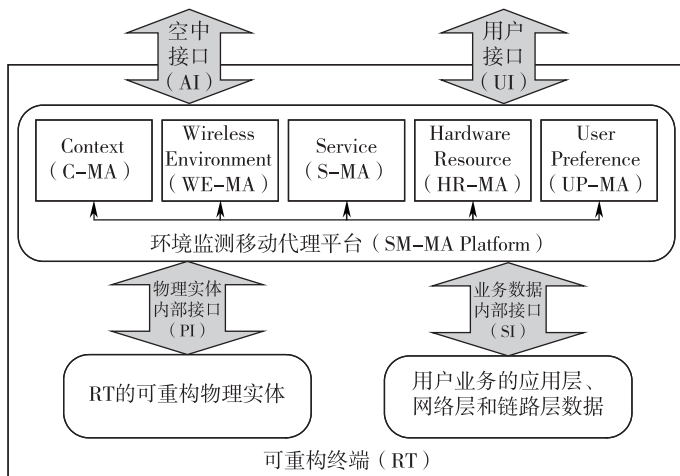


图 6-11 RT 环境监测的移动代理平台

下面分别阐述每个 MA 的具体监测功能。

C-MA (Context-MA): 负责监测 RT 所处的通信环境，用来推断



用户的业务需求。具体内容包括：时间、地点、移动速度、当前通信对象类型等。

WE-MA (Wireless Environment-MA)：负责监测 RT 周围的无线环境，特别是存在的无线接入网络，作为选择 RAN 的参考。具体内容包括：RT 周围存在的 RAN，以及每个 RAN 使用的 RAT 标准、通信频段、信道带宽、提供的通信业务（包括业务类型、业务 QoS、业务费用）等；除了 RAN 监测外，WE-MA 还需要监测当前通信信道的状况，如 SNR 等。

S-MA (Service-MA)：负责监测 RT 中无线通信业务的运行状态，判断当前的业务通信是否正常，推断是否需要改变业务通信的链接方式。具体内容包括：业务数据的误码率、误比特率、时间延迟等。

HR-MA (Hardware Resource-MA)：负责监测 RT 内部的硬件资源占用情况，判断其工作和重构能力。具体内容包括：终端类型、存储容量、处理速度、硬件资源占用情况、电池能量等。

UP-MA (User Preference-MA)：负责询问、存储和推断用户的个性化要求，作为 RT 所有重构操作的准则。具体内容包括：费用限制、业务性能要求、用户偏爱的运营商和 RAN/RAT 等。

SM-MA Platform 共有 4 个 I/O 接口，包括 2 个外部接口和 2 个内部接口。外部接口分别是通过天线与外界无线环境相连接的空中接口 (Air Interface, AI)，以及通过 RT 输入/输出设备与用户相连接的用户接口 (User Interface, UI)。内部接口分别是与 RT 可重构实体设备相连接的物理实体接口 (Physical-entity Interface, PI)，以及与各层业务数据相连接的业务数据接口 (Service-data Interface, SI)。上述 4 个 I/O 接口为 5 个移动代理提供了必要的信息获取途径，每个移动代理可以通过一个或者几个 I/O 接口，按照自身的监测策略和步骤，完成其监测任务。虽然 5 个移动代理都是相对独立工作的，但是在很多情况下，某个代理的监测功能实现需要基于其他代理的监测参数，所以移动代理彼此之间可以进行通信，交换监测信息，需要时也可以相互配合工作。

SM-MA 由 5 个移动代理组成，下面将为它们建立一个通用监测模型来实现其环境监测功能。Y-MA (表示 SM-MA Platform 中的任意



一个移动代理)的通用监测模型由两部分组成。一部分是 Y-MA 的基本监测模型,该模型给出了 Y-MA 环境监测的总体思想、主要功能模块,以及监测实现过程;另一部分是 Y-MA 的移动子代理 (Child MA, ChMA) 模型,在需要外界辅助来完成监测任务的情况下,RT 将使用该模型。ChMA 模型给出了 Y-MA 在 RT 以外的节点建立 ChMA 的整体思路和主要步骤。

Y-MA 的基本监测模型中包括 6 个模块,如图 6-11 所示。环境监测机制模块是针对本 MA 中监测内容的特点而制定的,它规定了该代理的监测内容,以及每个监测内容的具体监测方式、使用的 I/O 接口,以及所采用的监测技术等。特别需要指出的是,环境监测机制模块中将规定在监测过程中是否在 RT 以外的节点建立 ChMA,及其工作模式等,具体内容将在后面的 ChMA 模型中详细阐述。环境监测机制模块是实现移动代理监测功能的基础和设计重点,也是通用监测模型的重要组成部分。监测参数原型定义模块负责定义每个监测内容对应的参数,以及每个参数的具体格式。因为有时一种参数可能需要不同的表示方式,例如地点参数可以用经纬度准确表示,但是有时也需要将其映射为具有某种含义的表示方式,如“在家中”、“在办公室”等,所以该模块需要定义监测参数的各种表示方式(这里称为参数原型),以及同一参数的不同参数原型之间的映射处理模式。Y-MA 监测管理中心模块负责该移动代理的整体管理。它根据监测需求和触发条件(如周期性触发、事件触发等),确定是否开始对某个监测内容进行检测。如果开始执行对某个监测内容的检测操作,那么 Y-MA 监测管理中心首先从环境监测机制模块获取检测的方式和技术,并且将其输出给监测执行模块来实现该操作,得到所需的监测结果。然后,Y-MA 监测管理中心从监测参数原型定义模块中提取该监测内容对应的参数原型及其参数映射处理模式,将其输出给监测参数处理模块,使其按照监测参数的处理模式对监测结果进行计算,得到所需的参数表示形式。最后,由监测参数存储模块按照参数原型,对监测参数进行存储和更新。

移动代理的基本监测模型为 Y-MA 的监测功能实现提供了结构框架,但是每个移动代理的具体监测机制、参数原型定义和监测执



行步骤还需要根据其自身监测内容的特点而定。

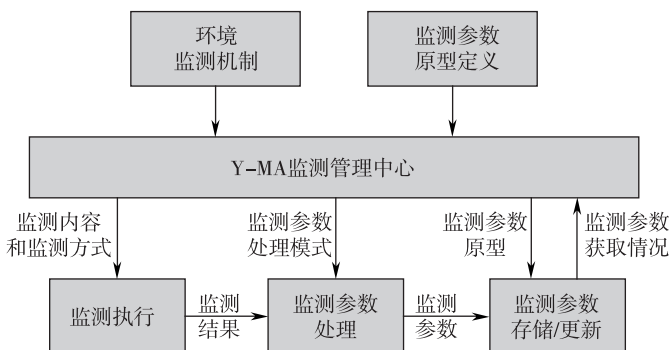


图 6-12 移动代理的基本监测模型

Y-MA 的 ChMA 模型是以 Y-MA 的基本监测模型为基础，规定了 ChMA 的建立和管理过程，如 6-13 所示。ChMA 的建立包括以下几个步骤：

第 1 步，由 RT 中的源移动代理（Y-MA）决定分配给 ChMA 的工作任务。根据监测任务的不同，ChMA 的辅助功能可以分为两种。一种是分布式监测功能，该功能是指由 Y-MA 向 ChMA 指定监测内容，然后 ChMA 根据所在节点的能力和特点，执行整个监测任务，最后将所得结果发送给 RT；另一种是分布式计算功能，该功能是指由 RT 主要负责执行环境监测任务，但是由于某些步骤中数据处理的工作量较大，所以将其交给 ChMA 来负责完成，最后 ChMA 将计算结果发送给 RT。

第 2 步，由 Y-MA 根据所分配任务的特点和 RT 所处的网络环境，决定 ChMA 的工作模型、漫游网络和节点。工作模式主要包括单 ChMA 模式和多 ChMA 模式。多 ChMA 模式又可以分为两种，一种是同时建立多个 ChMA，另一种是某个 ChMA 程序在多个节点中按顺序多跳漫游。漫游网络和节点的选择可以是随机的，也可以是基于对其他节点能力的了解，以及以往的经验等。图 6-13 所示为在 Q 个节点分别建立 ChMA 的示意图。

第 3 步，由 Y-MA 根据所分配任务和工作模式，生成任务指令，



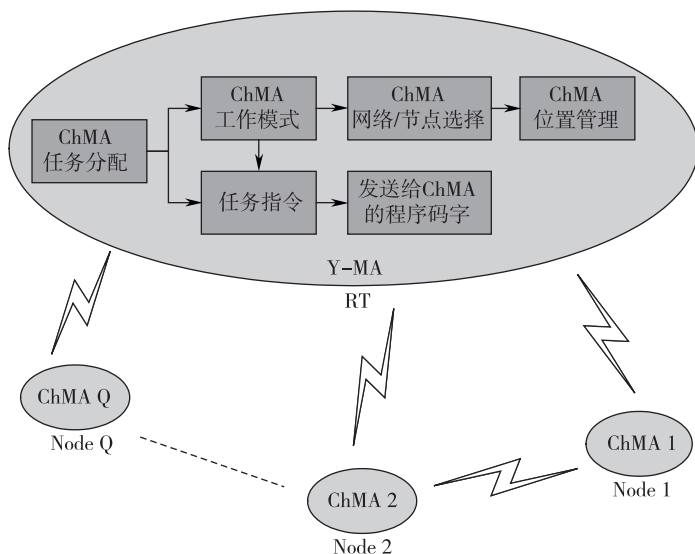


图 6-13 移动代理的 ChMA 监测模型

将程序码字发送给目标节点，建立 ChMA。在 ChMA 的建立和工作过程中，Y-MA 还需要对每个 ChMA 进行位置管理。这里使用源节点位置管理模型，即每个 ChMA 在建立和漫游过程中，都需要及时向 Y-MA 报告它的位置，以便 Y-MA 对 ChMA 进行实时的管理和操作。

## 2. 无线接入控制技术

在异构网络重叠覆盖的无线环境中，无线接入控制面临着巨大挑战。首先，信息检测复杂。在异构无线环境中，终端面临复杂的网络环境、无线环境和用户环境，如何准确、迅速地对这些环境信息的变化进行感知，将是无线接入控制面临的挑战之一；其次，接入控制决策模型多维化。在传统蜂窝移动通信系统中，终端只能接入一种网络，只是根据信号强度选择不同的小区进行接入，因此在接入控制决策上只是单一维度；在异构无线环境中，终端不仅能接入蜂窝移动通信系统，还能接入 WLAN 等非传统移动通信系统，因此在决策因素上呈现了多维度的特征，由单一属性决策问题变为了多属性决策问题，这是无线接入控制面临的挑战之二；最后，无线





接入控制的决策结果需要施效到终端，从而完成对外界环境信息变化的适配，而根据决策结果多终端进行重配置的过程将是无线接入控制面临的挑战之三。

因此，为了应对异构无线环境中无线接入控制技术面临的挑战，实现异构无线资源的优化利用，需要设计新的联合无线接入控制机制，为终端选择最佳的无线接入点，实现用户业务的最优接入。

联合无线接入控制机制，需要网络与终端配合实现。在异构网络环境中，终端需要具有多模工作能力。面对越来越多的无线网络类型，未来可重构终端（RT）使用基于软件定义无线电（SDR）技术实现多网接入，是异构网络无线接入控制的一个重要发展方向。

与现有无线接入控制技术相比，异构网络中的联合无线接入控制技术需要具备 3 个新增功能，即通信环境检测、优化选择机制和设备重构实现，如图 6-14 所示。



图 6-14 联合无线接入控制技术的新增功能

可重构终端根据无线环境检测结果和自身的重构能力，动态自适应地优化选择 RAT 网络、无线通信频段，以及天线、调制、编码等工作方式，确定最优的终端配置参数。这里需要的关键技术包括终端对 RAT 网络的优化选择技术、通信频段优化选择技术、调制编码方式的优化选择技术、FSM 技术、JRRM 技术等。上述优化选择技术都是为了实现各种网络资源的优化配置，充分利用无线通信资源为用户提供最适合的服务。每一种优化选择技术都需要包括优化选择原则、实现策略、理论算法依据、具体实施步骤、测试与验证等 5 个部分。

在复合网络环境中，RT 无线接入 RAT 网络可以分为 3 个步骤：  
①监测和发现 RAT 网络；  
②优化选择 RAT 网络，协商通信参数；  
③执行终端重构，实现 RT 与 RAT 网络之间的无线通信。首先，RT 需要监测它周围的无线接入网络，发现 RAT 网络的存在。随着移动终端位置的变化，RAT 网络的监测信息也会随之更新。然后，RT 根



据无线环境参数、终端特征参数、业务类型与性能参数、软件资源参数以及用户设定的限制要求等条件，选择适合自身的一个或者多个 RAT 网络，并且与网络方面协商通信方式和工作参数。如果 RT 内部存储资源中缺少通信必需的协议或者软件，RT 可以通过空中接口从网络下载所需软件。软件下载（Software Download，SD）和更新可以由终端主动发起，也可以由网络进行集中软件更新。最后，RT 对物理实体部分进行重构，完成对内部元件的参数配置和工作时序安排，使其能够接入所选择的 RAT 网络，实现用户的业务需求。本章将在后面对 RT 的重构实现功能进行深入探讨。

实际上，不仅在 RT 业务接入的初始阶段需要对 RAT 网络进行优化选择。在整个通信过程中，RT 都需要对业务通信质量、传输性能等各项性能参数进行监测，判断是否需要重新选择 RAT 网络。因为随着用户位置、无线通信环境、用户业务需求等条件的变化，最适合 RT 无线接入的 RAT 网络也会随之改变，所以对 RAT 网络的优化选择是一个动态自适应的过程，应该具有一定的实时性和较强的灵活性。下面给出 RT 重新选择 RAT 网络的一些触发条件。当发生下述任何一种情况时，终端将启动关于优化选择 RAT 网络的运算：①有新的业务发起；②原有业务质量下降到某一临界值以下；③通信环境发生变化（如 RT 位置从室内移到室外），可能使得业务 QoS 等需求改变；④用户输入或者改变一些相关的通信要求；⑤终端能力有所变化（如电量过低等）；⑥用户速度有较大改变；⑦无线环境监测到的 RAT 网络发生变化等。另外，RT 从一个 RAT 网络切换到另一个 RAT 网络的过程，对用户来讲应该是透明的，即在不影响用户现有通信的前提下，实现不同 RAT 网络之间的无缝平稳切换。因此，RT 的网络优化选择算法应该具有简单、快速、安全可靠等特性，这样才能够满足 RT 无线接入优化选择的功能需求。

RT 无线接入优化选择功能的实现不仅需要 RT 本身具有可重构能力和优良的优化选择算法，同时还需要网络的支持。在公共无线接入网络中需要增加一些新的连接管理模块，负责关于 RT 无线接入的参数选择和协商工作。至于如何在 RT 和网络之间进行任务分配，下面将给出相关策略。



复合可重构无线网络是未来 4G 移动通信的一个发展趋势。实际上,随着无线通信各项关键技术的不断更新,复合可重构网络的发展也将会经历不同的阶段。在每个阶段中,异构网络之间的复合程度、RT 的重构能力都会比前一个阶段有很大程度的改进和完善,但是同时也会受到当时技术能力的限制。因此,在不同的发展阶段,RT 的无线接入优化选择机制也将会有所改变。本节将着重讨论在复合可重构网络发展的初始阶段,RT 的无线接入优化选择策略。

根据复合可重构网络初始发展阶段的要求,基于目前 RT 的研究情况和无线通信的发展趋势,做出如下假设。在未来 RT 使用初期,一个运营商可以拥有一个或者多个 RAT 网络,每个终端用户可以根据自身的业务功能和通信费用需求,以及自身的喜好,在众多网络中选择某一个 RAT 网络进行注册。异构网络 and 不同运营商之间按照一定的协议建立网络复合关系,共同为用户提供无缝的 QoS 服务。RT 已经具备前面提到的可重构终端基本功能,只是计算能力和电源功率方面还有待于加强。基于上述假设,针对单个终端用户的无线业务接入问题,特别是关于 RAT 网络的选择方面,提出下述优化选择策略。

在 RT 的无线接入管理机制中,用户的注册运营商网络是主控方,拥有选择 RAT 网络的最终决策权;终端方面是建立或者改变连接的发起方,负责向网络传递用户需求,提供必要的辅助和建议功能。在选择 RAT 网络的运算中,终端和网络间也是分工合作的,终端负责与本地无线环境密切相关的处理,如无线检测、推断用户需求等,注册运营商网络负责解决涉及其他运营商以及网络之间合作的问题,如获取其他网络的最新信息、与其进行通信协商等。

### 3. 网络负载均衡技术

负载均衡的概念源于计算机网络。在由多台服务器以对称的方式组成的一个服务器集合中,每台服务器都具有等价的地位,可以单独对外提供服务而无须其他服务器的辅助。网络通过某种负载分担技术,将外部发送来的请求均匀分配到对称结构中的某一台服务器上,而接收到请求的服务器独立地回应客户的请求,这是计算机网络中负载均衡的含义。将此概念应用于移动通信系统中,则无线网络负载均衡策略是指无线接入业务量在多个独立的无线接入点之间进行均衡分配的



策略。其研究目标是实现每个无线接入点的业务量与其拥有的无线通信资源相互匹配，提高无线通信资源的整体利用率。

在移动通信网络中，用户移动规律与业务分布的时空变化特征是影响网络整体通信性能的重要因素。基于人们生活的普遍规律，经常会出现由于短时间内大量用户移动或者业务到达而导致的在某些时段内出现局部热点地区（hotspots）。该区域的无线接入业务负载过大，使得网络通信性能迅速下降。与此同时，其他周边地区的无线接入业务量却偏低，大部分通信资源处于空闲状态，出现了移动通信系统中负载失衡的现象。

某地区不同时段内业务量的空间分布情况如图 6-15 所示。可见在一天中的 3 个连续时段内，用户业务量的空间分布发生了很大的变化，出现了多个热点区域（图中的浅色区域）。这些热点区域的业务负载随时间而变化，且变化幅度较大。基于统计数据可知，与其他区域相比，它们的业务量均值基本保持在一个平均水平，但是业务量方差很大。因此，上述区域在某些时段内，由于业务负载过高而造成业务阻塞；而在其他时段内，由于业务量过低而导致通信资源的浪费。另外，多媒体业务是未来无线移动通信的主要潜在业务，它通常需要占用大量的无线信道与频谱资源，这就更加剧了热点地区无线接入业务的负担。综上，由于用户移动与业务分布在时间和区域上具有不均衡性，导致通信资源的局部紧缺，使得用户无线接

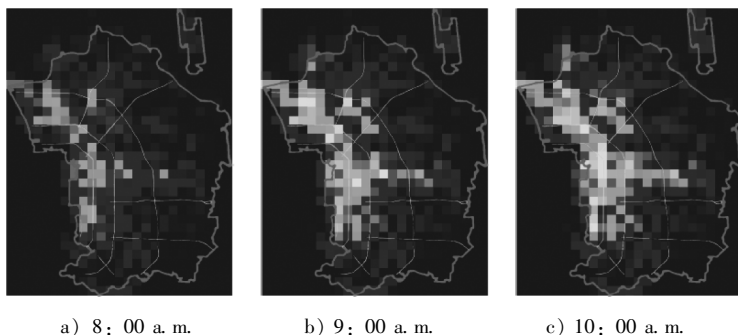


图 6-15 某地区内蜂窝网业务量分布的变化情况



入业务（尤其是多媒体业务）性能大幅度降低。然而，现有的通信资源配置与管理机制却无法有效解决上述问题，使得无线通信资源的整体利用率较低。

为解决上述问题，可以根据业务空间分布的统计数据来设计站点位置、覆盖面积，在热点区域增加配置无线通信资源或增加无线接入点，应对重负载区域的业务承载压力。爱立信公司对该问题进行研究，如图 6-16 所示。在无线接入点分布比较稀疏的情况下，小区边缘区域与室内区域的业务容量能力都会低于小区中心区域。如果由于某些原因，在网络容量较低的区域形成热点，那么用户通信性能将会明显降低。如图 6-17 所示，在容量承载能力较低的区域增设新的基站和室内无线接入点，使得网络的业务承载能力更加均衡。然而，虽然通过增加通信资源能够解决网络负载失衡问题，但是这会造成网络基础设施建设成本的提升，会加剧非热点时段内通信资源的浪费现象。

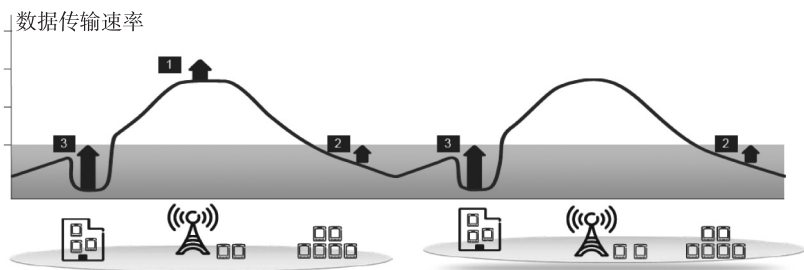


图 6-16 原网络业务承载能力的分布示意图

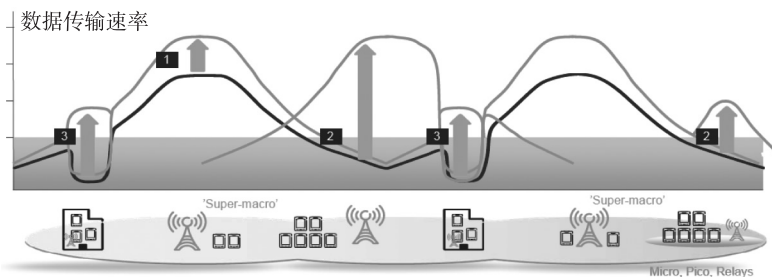


图 6-17 增设站点后网络业务承载能力的分布示意图

异构网络之间的协作将为我们解决上述问题提供更好的平台。



实际上，基于现有网络部署情况，很多地区都是多个无线接入点重叠覆盖，只是每个无线接入点的覆盖范围与无线接入技术有所差别。例如，宏蜂窝与微蜂窝的伞状覆盖、蜂窝小区与 WLAN 的重叠覆盖等。图 6-18 所示为异构网络重叠覆盖的网络场景。在这样的网络架构下，多种无线接入网络之间密切配合，特别是自适应的协作工作，能够较好地解决业务时空分布不均匀所带来的局部热点问题。因此，下面将着重探讨在异构网络中，如何通过动态的网络管理来达到无线网络的负载均衡。

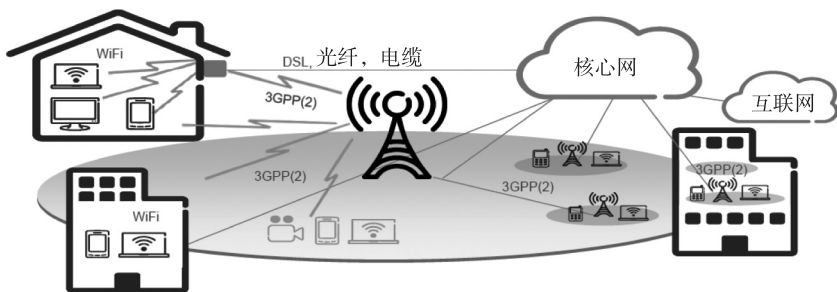


图 6-18 异构网络重叠覆盖的网络场景

无线网络负载均衡的研究目标是每个无线接入点承载的业务量与其拥有的无线通信资源相互匹配，从而使得每个无线接入点的通信资源都得到充分利用。可见，该问题的关键点在于研究业务负载与无线资源的对应关系。无线接入业务量在不同站点之间均衡分配是解决局部热点问题的有效途径。3GPP 从 Release 8 起逐步关注网络的智能化研究，它的 SON (Self Organizing Network) 工作组提出了移动负载均衡 (Mobility Balance Network, MBN) 策略，通过对不同无线接入点业务负载的监测，结合用户的位置信息，使用优化算法将用户业务量平均分配给每个无线接入点。与此同时，3GPP-LTE 中的多点协作 (Coordinated Multiple Points, CoMP) 工作组，针对异构无线接入点之间的通信协作问题展开研究。如图 6-19 所示，宏蜂窝的 eNB (enhanced Node B) 与微蜂窝的 RRU (Radio Remote Unit, 远端射频单元) 之间相互协作，为用户提供无线通信服务。其中，用户无线接入业务如何在重叠覆盖的无线接入点之间进行分配也是





CoMP 的研究重点之一。

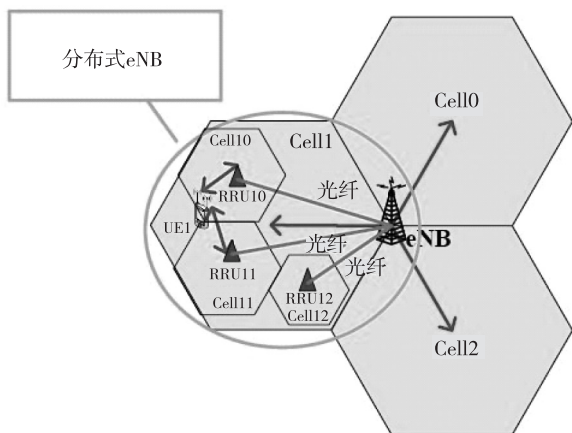


图 6-19 3GPP-LTE 中 CoMP 示意图

#### 4. 频谱共享技术

众所周知，频谱是无线通信中非常宝贵的资源，每一个无线通信系统都使用各种技术尽量提升频谱资源的利用率。但是随着新的无线通信方式和业务应用的不断涌现，带宽需求进一步提升，从而加剧了频谱资源的紧缺程度，使频率资源成为现在无线通信系统长远发展的瓶颈。

在现有的频谱管理方法中，主要有两种频谱分配方式：一种是给频谱授权网络单独分配一个频段，其他网络不能使用该频段，如 TV、蜂窝网等。该方式能够避免频谱授权网络受到外界的干扰，保证其高质量通信，但是频谱使用效率通常较低。另一种是多个非频谱授权网络共享同一个频段，如 WLAN、WiMAX 等网络共享 ISM 频段，但是由于 ISM 频段本身较小，再加上共享网络不断增加，该频段已经非常的拥挤。由美国联邦通信委员会（Federal Communications Commission, FCC）公布的数据显示：在 30MHz ~ 3GHz 的频谱范围内，几乎所有的电磁频谱都已经分配给现有的业务应用，但是大部分固定分配的频谱资源的利用率很低，即时间占空比很小。即使是在频谱使用密度极高的美国华盛顿市区，频谱的占用率仍然低于



35%。显而易见，频谱授权网络对所分配频谱的使用在时间和空间上都不是连续的。但是按照现有的频谱管理机制，即使在授权网络没有使用这些频谱的时间和地区，其他网络也不能够使用，因而造成了频段利用率的不均匀和很大程度上的频谱浪费。由此可见，频谱资源并不是真正的紧缺，而是由于目前的频谱分配管理机制造成了频谱利用率的低下。所以，我们需要从新的角度去开发频谱资源，从时间、空间、异构网络之间等各个方面协调利用频谱，进一步提高频谱资源的利用率，这也正是复合可重构无线网络所要达到的重要目标之一。

在复合可重构网络中，提高频谱资源利用率的主要策略是建立新的频谱管理机制，增强网络之间的协调合作，实现异构网络之间的频谱共享（Spectrum Sharing, SS）。异构网络 SS 的基本思想是：在频谱授权网络（记为网络  $A$ ）不使用其频段的时间和地区，非频谱授权网络（用  $E = \{E_k\}_{k=1,2,\dots,K}$  表示  $K$  个非频谱授权网络）能够使用该频段，即实现  $A$ 、 $E$  对授权频谱资源的时间/空间复用。但是，必须保证  $E$  对频谱的使用不能够影响到  $A$  的正常通信，同时尽量满足网络  $E$  的通信需求。目前，世界范围内很多国家大型研究机构都在针对上述问题进行研究，也提出了一些解决方案，包括网络间的频谱租借、频谱池（Spectrum Pool）概念、动态频谱分配（Dynamic Spectrum Allocation, DSA）机制等。

现有的频谱共享机制主要可以分为 3 类。第一类是纯粹基于网络间协商的频谱共享机制。该机制中网络  $E$  不需要获取周围频谱的使用情况，只要与同一覆盖区域内的网络协商工作频段，避免频谱冲突即可。设计频谱协商算法是该机制的重点，需要考虑到频谱使用的公平性原则。该机制虽然能够在一定程度上提高频谱利用率，但是要找到具有优良性能的频谱协商算法并不是一件简单的事情。另外，它不够灵活，提高频谱利用率的能力有限，还不足以做到充分地利用无线频谱资源。第二类是基于干扰避免的窄带通信（记为 NB-IA, an SS scheme based on Narrow Band communications with Interference Avoidance）。该机制要求网络  $E$  内的终端能够使用认知无线电（CR）技术监测网络  $A$  的通信参数，当  $E$  发现与  $A$  发生频段碰撞





时，放弃使用该频段，寻找新的空闲频段进行通信。这就要求网络  $E$  内的终端是基于 CR 技术的 RT，为了突出这一点，本章中将这类 RT 记为“CR-MT”，它们在通信过程中能够对周围频谱占用情况进行检测，并且根据检测结果调整自身的通信频段，避免对网络  $A$  的通信造成干扰。但是，使用 CR 技术实现快速的宽带频谱扫描是比较困难的，而且无规律的突发频段转换会给网络  $E$  的正常运行带来较大的挑战。第三类是基于扩频的宽带低功率通信（记为 WB, an SS scheme based on Wide Band communications without interference avoidance）。该机制不需要进行频谱监测，不过必须将网络  $E$  内 RT 的发射功率限制在网络  $A$  能够容忍的干扰范围内。扩频技术虽然能够降低 RT 的平均发射功率，但是如果  $E$  内的用户比较密集，很可能会由于叠加效应而造成对网络  $A$  的通信干扰。FCC 在 2002 年底提出了干扰温度（Interference Temperature, IT）概念来对频谱共享引起的干扰进行量化和管理，关于 IT 概念的有效性还有待于证实。总之，上述 3 类机制各有利弊，也有在上述三者之上的一些改良策略，但是都还处于初步讨论阶段，实现起来都面临着很大的困难。

在复合网络的频谱共享策略中，RT 发挥着重要作用。首先，如果由于频谱冲突或者容量受限等原因，网络  $E$  决定改变或者增加本网内无线通信的工作频段，那么  $E$  内的 RT 必须能够根据网络的要求变换自身的通信信道频率，即 RT 的射频部分需要具有对其工作频率进行重构的能力。其次，在 NB-IA 机制中，网络  $E$  在决定改变本网的通信频段之前，通常需要通过 CR 监测节点对覆盖区域内的无线频谱进行检测，获取该区域内通信频谱的占用情况，从而选择新的工作频段。在基于 WB 机制的一些改良方案中，也加入了频谱检测功能，用于提高频谱共享性能。因此，频谱检测功能在频谱共享中具有很重要的地位，而  $E$  内的 RT 就是扮演频谱检测器角色的最佳候选者。如果分布在各个地区的 RT 具有频谱检测能力，例如 CR-MT，就可以根据网络的要求对其周围的频谱占用状况进行监测，组成 CR 监测网络，那么网络  $E$  就能够比较全面地了解覆盖区域内的频谱使用情况，选择最佳的工作频段实现本网内的通信。上述两个方面是 RT 在频谱共享策略中需要具有的基本功能，许多研究机构已经对此展开了研究工作，并



且发表了一些研究成果。例如，FCC 正在考虑开放 TV 频段作为新的异构网络共享频段，并且已经公布了规范建议（Notice of Proposed Rule Making, NPRM）。美国军方也在研究战场的实时频谱管理，即所谓的自适应频谱利用（Adaptive Spectrum Exploitation, ASE）。

但是，异构网络之间的频谱共享必然会在一定程度上导致无线通信的频谱冲突，复合可重构网络希望把这种冲突发生的概率降到最低。因此，如果 RT 不仅能够组成 CR 无线频谱监测网络，为网络  $E$  提供频谱监测结果，而且自身还具有回避干扰的能力，能够动态地选择和调整自身的工作频率，那么一定可以进一步提高无线通信的业务质量和频谱利用率。基于频谱池的动态频谱共享示意图如图 6-20 所示。

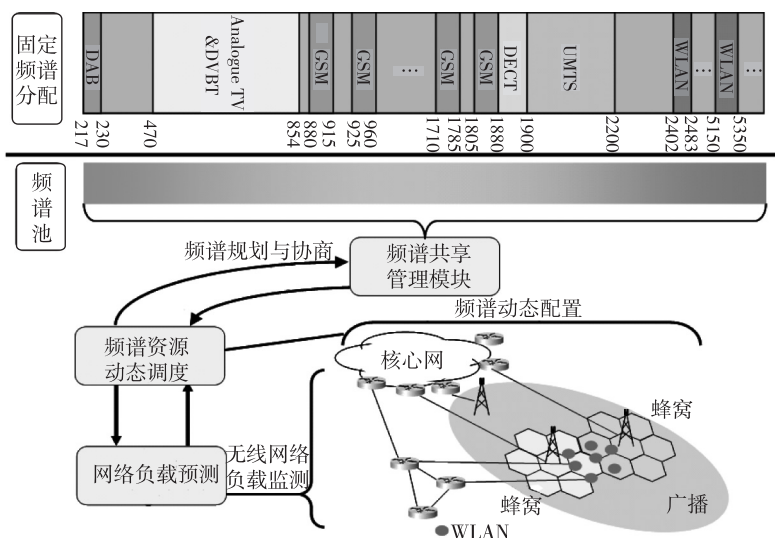


图 6-20 基于频谱池的动态频谱共享示意图

动态频谱共享能够有效解决业务量时空分布不均衡的问题，但是该方案受限于国内外的频谱政策。实际上，在当前频谱资源尚处于静态规划的阶段，异构网络之间的频谱资源借用与共享是具有很大难度的。

## 5. 设备重构实现技术

前面给出了可重构终端（RT）的理想目标，为了实现这些目



标，需要设计可重构终端的基本功能结构模型，如图 6-21 所示。

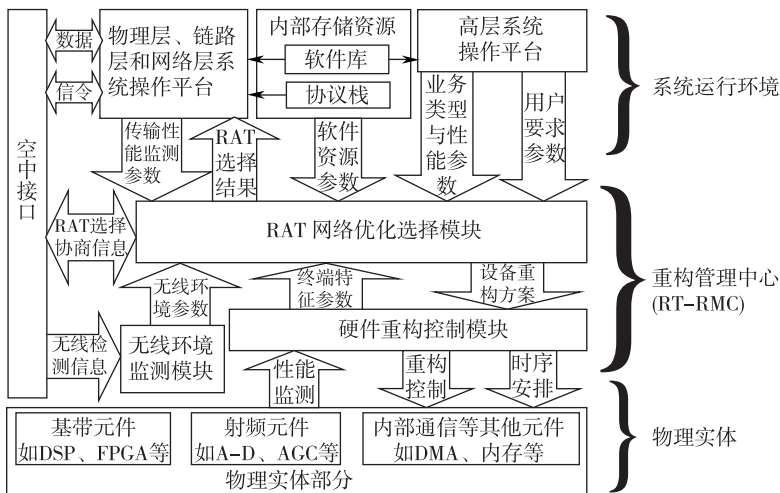


图 6-21 RT 的功能结构模型

该模型主要由物理实体、重构管理中心（RT-Reconfiguration Management Center, RT-RMC）和系统运行环境三部分组成。系统运行环境包括各层的操作平台和终端内部存储资源。终端将存储多种通信标准的协议和软件，以备随时调用。终端可以根据需求随时卸载或者安装软件，对操作平台进行多种模式的软件配置。物理实体包括各种可重构元件，如 DSP、FPGA 等。这些元件设备能够使用 SDR 技术进行重新配置，适应多种通信标准的要求，为各种无线接入模式和多样化的通信业务提供一个标准化的硬件操作平台。RT-RMC 是整个可重构终端的核心部分，包括无线环境监测模块、RAT 网络优化选择模块和硬件重构控制模块（见图 6-21 的中间部分），分别负责对周围无线环境的监测、选择 RAT 并且在不同 RAT 间进行切换、对内部元件进行重构控制等三方面工作，使得终端能够在异构网络并存的环境中顺利地通过各种无线接入技术实现网络链接，享受最佳的服务。

可重构终端按照优化选择的各项参数，对终端设备进行重新配置，实现无线接入功能，为用户提供通信服务。这里需要的关键技术包括 SDR 技术、重构硬件设计和制造技术、宽带天线和滤波技术、复合协



议栈设计、软件下载和更新技术、身份认证和安全保护技术等。SDR 技术、重构硬件设计和制造技术是实现可重构终端的基础，SDR 论坛一直致力于 SDR 技术和可编程硬件设计的研究。宽带天线和滤波技术将为 RT 与异构 RAT 网络之间实现多频段通信提供必要的射频收发功能；复合协议栈设计旨在为 RT 创建灵活的协议调用机制，以便满足不同 RAT 标准的要求；软件下载和更新技术是 RT 更新自身软件/协议库的有效方法，可以帮助 RT 实现功能升级；在复合网络环境中，用户通信的安全性和可靠性将更为重要，实现起来也会更加复杂，所以需要新的身份认证和安全技术来提高对用户的保护功能。

RT 的重构实现是基于软件定义无线电（SDR）技术。软件无线电思想是 20 世纪 90 年代以后逐渐兴起的一种全新的设计思想，其完整的概念和机构体系是由 MITRE 公司的美国科学家 Joseph Mitola 于 1992 年 5 月在 NTC（National Telesystems Conference，美国远程系统会议）上明确提出的，其核心是在通用的通信硬件平台上加载不同的通信软件，以实现不同的通信方式间的转换。“无线电”代表着任何可以在空中传输的信号；“软件定义”的概念是指无线系统中最重要的部分是用软件来实现的，即系统是用能够重新配置的软件来设计和实施的，而不是用那种固定的不能重新配置的硬件来实现。

SDR 技术的基本思想是将宽带的 A-D 转换器尽可能地靠近射频天线，即尽可能早地将接收到的模拟信号转化为数字信号，在最大程度上通过 DSP 软件来实现通信系统的各种功能。文献认为 SDR 的概念模型就好像一个洋葱一样，是分层的。洋葱的表层就是数字无线电设计的总体轮廓，接下来的每一层都是在基本设计思想和理想化的假设条件之上，增加 SDR 设计的难度和精度，最后得到一个最成熟的设计结果。

RT 重构实现过程中，首先需要将优化选择机制给出的工作方式和参数指标（如 32-QAM 调制、 $(2, 1, 2)$  卷积编码等）转化为每个设备元件的电路工作参数值，然后基于这些参数值对每个可重构元件进行重新编程，完成对 SDR 设备的重新配置。但是，无线通信系统中包括很多功能模块，每个模块都拥有多种工作方式，每种工作方式中又包含众多的工作参数，所以将优化选择机制输出的数据



信息映射为每个设备元件的电路工作参数并不是一个简单的过程。另外，对 RT 的整个硬件平台进行重新编程和配置也是一项复杂度很高的工作。本节使用分层结构对 RT 的重构实现进行建模，定义每层之间接口协议。这样可以将复杂的参数转换过程进行分解，使得 RT 能够按照一定的归类方式、有步骤地完成参数转化任务，同时也能够降低物理实体的重构复杂度，实现有效的 RT 重构。

RT 重构实现的分层模型中包括 4 层，如图 6-22 所示。下面分别阐述每层的主要功能和建模原则。

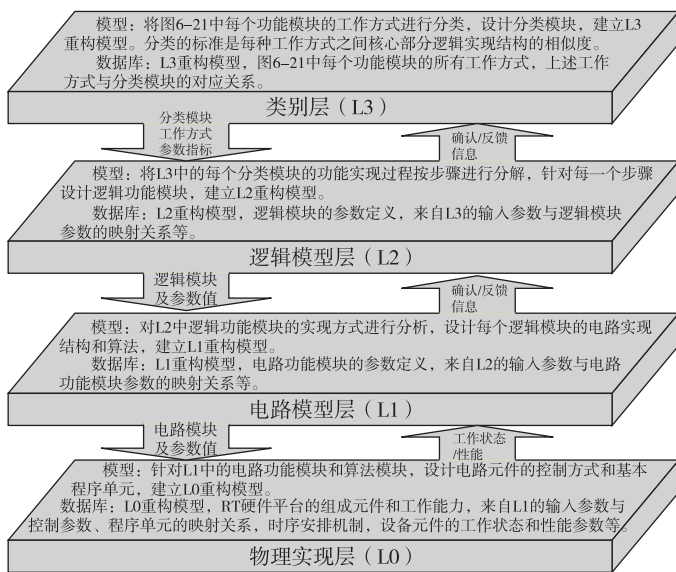


图 6-22 RT 重构实现的分层模型

### (1) 类别层 (L3)

该层以经典数字通信系统作为建模出发点。在 L3 中，针对经典数字通信系统的每个功能模块，对其工作方式进行分类，建立分类模型，即 L3 重构模型。

经典数字通信系统中每个功能模块都有很多种工作方式，如数字调制模块包括 ASK、FSK、PSK、QAM 等调制方式；扩频模块也包括 DS、FH、TH 等扩频方式。L3 就是要将每个功能模块的所有工作



方式进行分类。它的分类标准是每种工作方式之间核心部分逻辑实现结构的相似度，该标准是为了便于 L2 和 L1 的建模，以及降低物理实体的重构复杂度。按照上述原则得到的分类结果与该模块现有的传统分类方式未必相同。该层的数据库中除了 L3 重构模型给出的分类结果外，还需要包括每个功能模块的所有工作方式，以及这些工作方式与 L3 重构模型的对应关系。

在 RT 重构实现过程中，首先将每个功能模块的最佳工作方式和参数输入 L3。然后，按照 L3 重构模型的分类标准，找到该工作方式所属的类型。最后，将工作方式、工作参数和所属类别通过层间接口输出到下一层（L2）。

### （2）逻辑模型层（L2）

该层针对 L3 重构模型中的每个分类模块进行建模，设计每个分类模块的逻辑实现模型，即 L2 重构模型。

L2 中将每个分类模块的功能实现过程按步骤进行分解，针对每一个步骤建立逻辑功能模块，每个逻辑功能模块负责完成该步骤的重构任务。这些逻辑功能模块按顺序组合起来就构成了 L2 重构模型。在 L2 中，每个逻辑功能模块都能够基于输入接口接收到的数据，按照某种固定算法或者数字处理方式，独立完成该步骤的重构任务，将所得结果通过输出接口传递给下一个逻辑功能模块。逻辑功能模块的设计原则是：每个模块都可以通过某种固定的数字实现方式或者电路结构独立完成特定的重构功能，该原则也是为了便于 L1 建模，以及降低物理实体的重构复杂度。该层的数据库中除了 L2 重构模型给出的逻辑模块外，还需要包括每个逻辑模块中所有逻辑参数的定义，以及来自 L3 的输入参数与 L2 中逻辑参数的映射关系。

在 RT 重构实现过程中，L2 首先接收来自 L3 的输入参数，包括工作方式、工作参数和所属类别等。然后，根据所属类别，找到对应的 L2 重构模型。将工作方式和参数转化为 L2 重构模型中每个逻辑功能模块的逻辑参数。最后，将每个逻辑功能模块对应的逻辑参数通过层间接口输出到下一层（L1）。

### （3）电路模型层（L1）





该层针对 L2 重构模型中的每个逻辑功能模块进行建模，设计每个逻辑模块的电路结构模型，即 L1 重构模型。

前面已经提到，L2 中的每个逻辑模块都可以通过某种固定的数字处理方式或者电路结构得到实现。L1 层就是要给出这些具体的数字实现方式或者电路结构模型。有些逻辑模块对应的电路实现模型是无线通信 SDR 技术中已有的，对其接口参数重新定义之后，就可以直接作为 L1 中的重构模型。有些逻辑模块是根据 RT 重构要求新建立的，需要为其设计新的 L1 重构模型。L1 重构模型通常包括多个电路功能模块和算法模块，分别对应着固定的电路基本元件和 SDR 基本算法单元。该层的数据库中除了 L1 重构模型给出的电路功能模块和算法模块外，还需要包括相应的电路参数和算法参数的定义，以及来自 L2 的输入参数与 L1 中各项参数的映射关系。

在 RT 重构实现过程中，L1 首先接收来自 L2 的输入参数，包括逻辑功能模块名称、逻辑参数等。然后，根据逻辑功能模块名称找到对应的 L1 重构模型。将逻辑参数转化为 L1 重构模型中每个电路功能模块的电路参数，以及每个算法模块中的算法参数。最后，将电路模块名称、算法模块名称，以及相应的参数值通过层间接口输出到下一层（L0）。

#### (4) 物理实现层（L0）

该层针对 L1 中的电路功能模块和算法模块，设计每个电路元件的控制方式和 SDR 基本程序单元，建立 L0 重构模型。

L0 作为 RT 重构实现模型的最底层，直接对 RT 硬件平台进行重构控制。图 6-23 所示为 L0 重构模型的示意图。它负责接收来自 L1 的算法和电路参数，从 SDR 基本程序单元调用相关函数，将其写入相应的可编程集成电路元件，如 DSP、FPGA 等。并且安排硬件设备的工作时序，执行对物理实体的重新配置。在 RT 的重构过程中，L0 需要监督硬件设备的重构执行情况、工作状态和性能，将监测参数通过层间接口反馈给上层，以便对 RT 重构进行动态自适应的管理，保证 RT 重构策略的最优性和无线通信的稳定性。

在 RT 重构实现的分层模型中，通过对整个硬件平台重构问题的归类、步骤划分和参数转换，使得复杂的 RT 重构任务得到分解和简

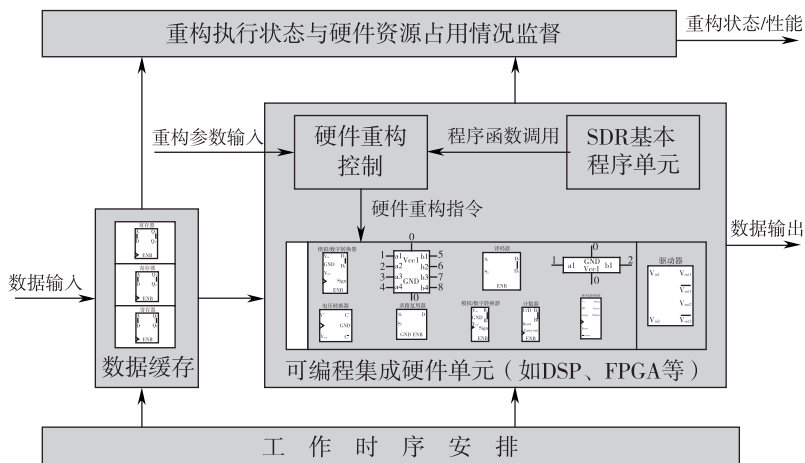


图 6-23 物理实现层的重构模型

化，能够对物理实体元件进行简单有效地重新配置，完成整个 RT 的重构任务。

### 6.3 中国联通对异构网络融合的思考

中国联通拥有成熟的 WCDMA 网络。面对无线网络向 4G 的发展演进，中国联通正在积极地将 WCDMA 升级为 HSPA+ 网络，并且开始考虑 LTE 网络的部署策略。同时，WLAN 等热点分流网络也陆续开始应用。面对多网共存的局面，中国联通开始深入思考异构网络之间融合策略。本节将分别从 3G 与 LTE 蜂窝网多制式融合，以及蜂窝网与 WLAN 融合两个方面进行详细探讨。

#### 6.3.1 2G/3G 与 LTE 网络的融合

以智能手机为代表的移动上网终端出现，激发了消费者对数据业务的需求。用户行为的改变，给网络建设与运营带来新的挑战，也是网络升级的方向。图 6-24 所示为随着终端功能的增强，移动用户业务应用的变化情况，包括不同类型终端的多种业务应用占比。智能手机的用户中，43%的消费者会每天下载一些新的应用；40%的消费者会每天多次登录社交网络应用；64%的消费者每天通过手机上网的次数





超过 20 次，消费者新的用户行为加速了网络流量的增长。

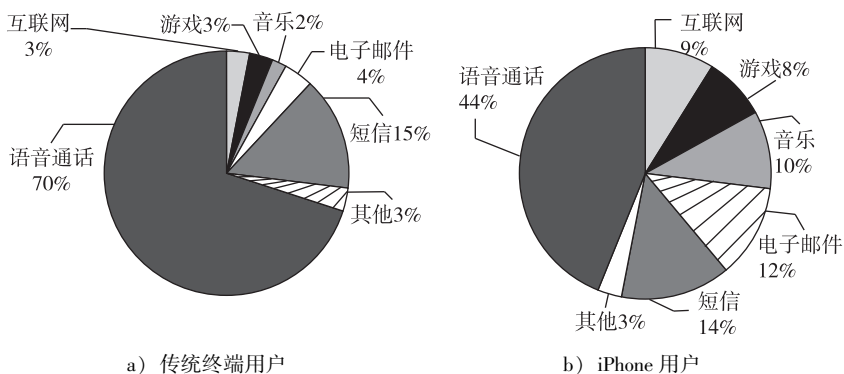


图 6-24 全球智能终端与传统终端用户的业务应用时间占比

智能手机的出现，也极大地改变了用户上网的行为。用户行为研究的报告显示，在 PC 时代，用户单次上网的时间相对比较长，频率较低。进入智能手机时代，用户上网的频率更加频繁，单次上网的时间很短。用户希望随时随地可以接入互联网。用户行为对比如图 6-25 所示。

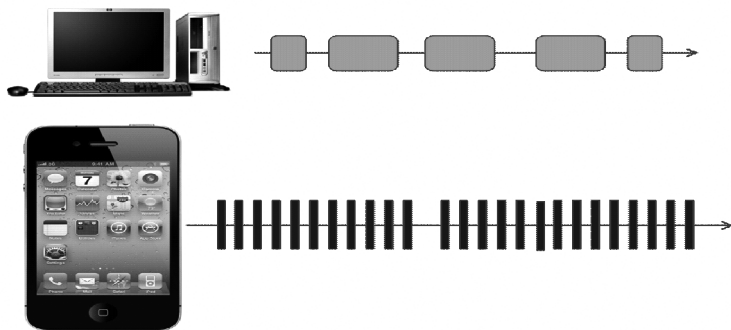


图 6-25 智能手机和 PC 用户行为对比

根据市场调查数据与预测显示，WCDMA 包括 HSPA/HSPA + 网络的用户从 2009 年以来一直占据移动市场一半以上的份额，到 2015 年其占比还将有大幅度提高，如图 6-26 所示。到 2015 年，全球的



WCDMA/HSPA/HSPA + 用户仍将占到所有 3G/4G 用户的 75% 以上。届时，LTE 用户仍然只占一小部分。

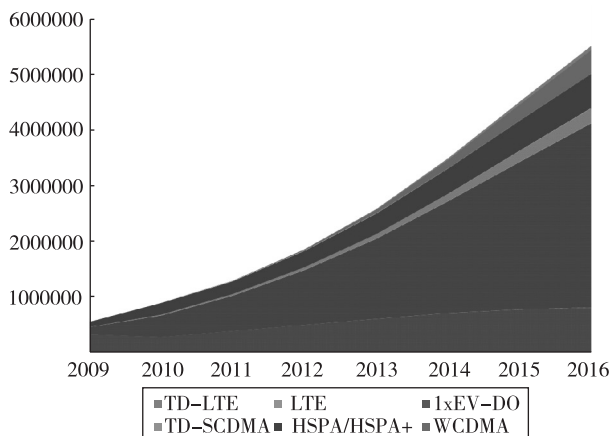


图 6-26 3G 技术及其演进的用户数分类

综上，中国联通认为 3G 广域覆盖与 LTE 热点分流相结合是未来蜂窝网络的发展方向。在上述前提下，探讨 3G 与 LTE 网络之间的融合策略。

中国联通的 WCDMA 网络正在向 HSPA + 演进，未来 HSPA + 与 LTE 网络将长期共存。由于新建的 LTE 网络是叠加网，因此许多 LTE 站点会与 2G/3G 网络共站址，如图 6-27 所示。无线接入网基带设备基于 SDR 统一平台，GSM/UMTS/LTE 采用相同架构，多模设备共柜工作，如图 6-28 所示，可实现灵活的资源配置与统一的网络运营维护。现网中的核心网设备将逐步演进到 LTE 的核心网，实现核心网侧的网络融合。

LTE 与 2G/3G 网络的互操作主要包括切换与小区重选。图 6-29 所示为几种数据业务在不同制式网络之间的互操作方案。在 LTE 部署初期，由于异构系统之间的 PS handover 技术尚不成熟，因而可以使用重定向技术来实现用户业务在异构系统之间的转换。LTE 主要承担热点数据分流任务，因而可以采用 CS fallback 技术，语音业务由 2G/3G 网络独立承载。

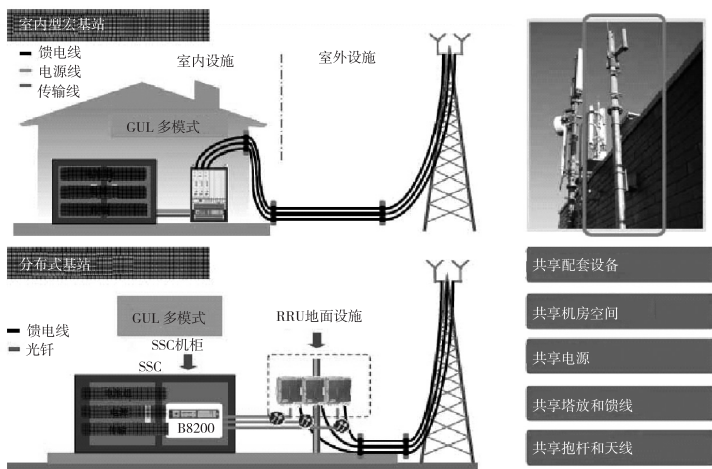


图 6-27 LTE 网络与 2G/3G 网络共站址

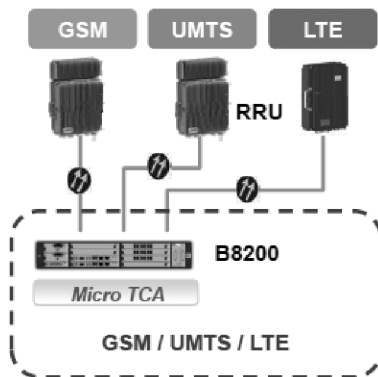


图 6-28 基于 SDR 技术的多模软基站平台

| 方案     | 重定向<br>with(or without)SIB                        | CCO with(or without) eNACC<br>(GERAN Only)         | PS handover                                    |
|--------|---|--|--|
| 数据业务中断 | > 5000 ms<br>(w/O SIB情况下, 3G多700ms,<br>2G多2000ms) | 约5000 ms<br>(w/O NACC情况下, 3G多<br>700ms, 2G多2000ms) | 200~300ms                                      |
| 对现网的影响 | “With SIB” 需要BSC/RNC &<br>SGSN升级支持RIM流程           | “With eNACC” 需要BSC &<br>SGSN升级支持RIM流程              | LTE to 3G:无<br>LTE to 2G:BSC升级支持对GSM的<br>PS HO |
| 终端复杂度  | 低   | 中  | 高  |

图 6-29 2G/3G 与 LTE 网络数据业务互操作方案



### 6.3.2 WLAN 与蜂窝网络的融合

基于 3GPP 标准的 3G 无线技术的引入使具有移动性的高速分组接入得以实现。在网络建设初期，室内站点较为缺乏，而高频段的信号穿透能力有限，室内的信号覆盖质量严重影响了 3G 网络的运营。据统计 3G 网络有 60% ~ 70% 的数据流量来自室内用户，热点地区数据流量的急剧上升和突发性也给网络负载带来巨大压力。因受频谱资源、容量和成本等因素的制约，为热点地区和室内用户提供高质量服务始终成为一大难题。

基于 IEEE 802.11 系列标准的 WLAN（无线局域网）是一种广泛应用于热点地区如家庭、办公室、咖啡屋、酒店和机场等的高速无线接入技术。快速上升的无线数据业务需求，以及大规模生产的芯片成本大大降低，使得 WiFi 已经成为笔记本电脑的标准配置并广泛普及。而随着 2009 年工业和信息化部开放 WLAN 手机入网限制（但要求终端必须支持 WAPI 功能），而市场上支持 WCDMA 的手机大都也配置了 WiFi 设备。另外，随着 3G 规模商用，用户的增加使得网络的业务承载能力受到极大的挑战。

因此，从中国政策环境的开放、用户对移动业务的需求以及 3G 网络承载能力的挑战角度，我们需要研究 WLAN 与 3G 网络的融合技术，将 WLAN 作为 3G 室内覆盖的有益补充，分流热点区域高速数据业务。

#### 1. I-WLAN 系统架构

3GPP 规范从版本 R6 开始引入 I-WLAN 标准来规范 WLAN 与 3GPP 系统之间的交互和互通，并试图将 WLAN 作为 3G 的一种补充无线接入技术。图 6-30 所示为 3GPP I-WLAN 的参考架构模型。

该系统架构包含以下网元：

- 1) 终端：居于 WLAN 接入能力的 3G 终端，支持 3GPP USIM 卡。
- 2) 3GPP AAA Proxy（代理）/Server（服务器）：3GPP AAA 代理提供 3GPP 网络代理和过滤功能，可以作为独立物理单元，可也位于 3GPP AAA 服务器或其他网元内部。3GPP AAA 服务器位于 3GPP 网络内，每个 WLAN 附着用户只有一个对应 3GPP AAA 服务器。
- 3) HLR/HSS：包含访问 3G 用户及 WLAN 互通服务所需的用户注册信息，还包括 3GPP WLAN QoS 表认证和注册信息等。

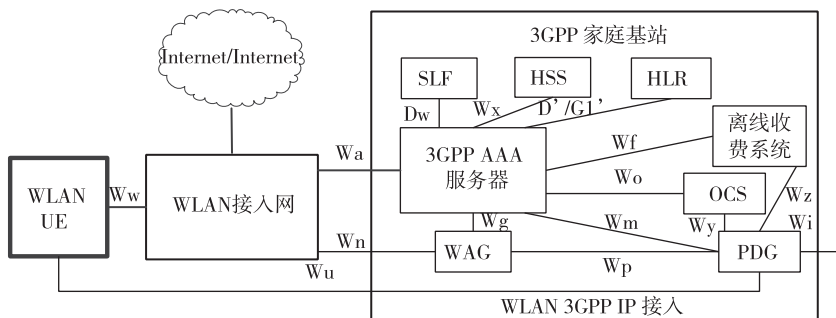


图 6-30 3GPP I-WLAN 架构模型

4) WAG (WLAN Access Gateway, WLAN 接入网关): 提供 WLAN 接入网络和 3G 网络之间的数据路由, 使得向 WLAN UE 提供 3G 分组业务服务成为可能。WLAN 接入网关位于归属 PLMN, 漫游状态位于寄属 PLMN。

5) PDG (Packet Data Gateway, 分组数据网关): WLAN 用户通过 PDG 来接入 3GPP 的分组业务。业务激活后, PDG 将分配 WLAN 终端远程 IP 地址并与本地 IP 地址绑定。PDG 还提供地址转换和映射, 在 PDN 和 WLAN-3G 连接用户间提供路由等。

如图 6-31 所示, PDG 物理上可由 TTG (Tunnel Termination Gateway, 隧道终结网关) + GGSN 来实现, 以重复利用 3G 网络已有的 GGSN 节点。其中 G<sub>n</sub>' 为 G<sub>n</sub> 接口的一个子集。

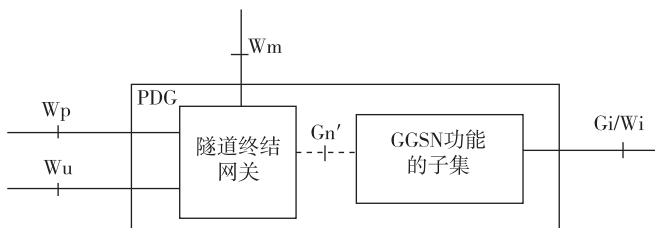


图 6-31 PDG 结构

## 2. I-WLAN 融合的 6 种场景

3GPP 采用灵活的、可扩展的途径来分布实现从简单的互连到全



面无缝的系统间互通等多种应用场景，表 6-1 所示的场景提供由松到紧的网络耦合度。

表 6-1 DLB-MSA 策略的参数及其含义

|      | 候选方案概述  | 实现方案                                     | 方案优点                                      | 方案缺点   |
|------|---|--|---|--|
| 场景 1 | 联通用户可以<br>通过中国联通提<br>供的用户名和密<br>码接入 WiFi  | BOSS 统一<br>出话单                           | 实现简单<br>现网已应用                             | 用户需手动接入认证信息，<br>不能通过 WiFi 网络接入核心<br>网 PS 业务  |
| 场景 2 | WiFi 通过 3G<br>网络进行认证和<br>计费，用户在<br>WiFi 网络不需要<br>手动输入认证信<br>息，通过手机<br>(U) SIM 卡自动<br>完成认证 | 3GPP I-<br>WLAN release<br>6/7 中定义<br>完成 | 实现相对简<br>单，需要新增<br>核心网设备，<br>用户认证过程<br>简单 | 与场景 1 相比，终端和<br>WiFi 网络均需要增加对 EAP-<br>SIM 等认证协议的支持<br>用户不能通过 WiFi 接入核<br>心网 PS 域业务 |
| 场景 3 | 本场景保证了<br>用户能够通过<br>WiFi 接入核心网<br>PS 域业务  |  | 用户无论在<br>3G 还是 WiFi<br>网络都可以使<br>用 PS 业务  | 相比前两种方案，实现复<br>杂。除对认证协议的支持外，<br>还需增加核心网网元  |
| 场景 4 | 在场景 3 的基<br>础上，提供用户<br>在不同网络间切<br>换时的业务连续<br>性，但切换过程<br>用户可能有中断<br>感知                     | 3GPP I-<br>WLAN release<br>8 及 SAE       | 基本能够保<br>证业务的连续<br>性，在切换后<br>不必重新建立<br>会话 | 在上一方案基础上，需要<br>实现 Mobile IP 功能，对终端<br>提出额外要求，且核心网需<br>增加网元                         |
| 场景 5 | 无缝切换，即<br>实现用户无感知<br>的切换  |  | PS 业务切<br>换过程对用户<br>无感知                   | 技术要求高，方案复杂，<br>成本高   |
| 场景 6 | 实现 3GPP CS<br>业务的连续性  | 可通过 IMS<br>+ (SR) VCC<br>或 UMA 方案<br>实现  | PS-CS 业<br>务之间能实现<br>用户无感知的<br>切换         | 网络改造量大，取决于<br>IMS 业务等的先期部署   |

如图 6-32 所示，根据 3G 网络各个接口，可对 3GPP I-WLAN 的耦合方案进行分类。

1) 松耦合：采用统一 BOSS 方案，对应场景为统一账户和资费



的捆绑；

2) D/Gr 接口耦合：基于 SIM 的认证方案，对应场景为统一认证；

3) Gi 接口耦合：3GPP PDG 模式，对应场景为统一认证和接入 PS 业务；

4) Gn 接口耦合：3GPP TTG 模式，对应场景为统一认证和接入 PS 业务；

5) Iu-PS 接口耦合：UMA 方案，对应场景为统一认证和接入 CS、PS 业务。

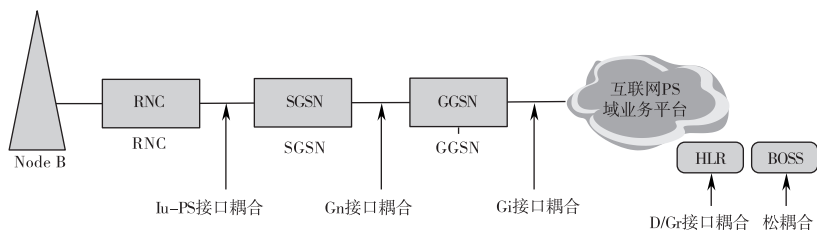


图 6-32 I-WLAN 耦合点示意图

另外，WiFi 通常采用无线传输，同时与 3G 网络采用不同的频段，对于运营商自身部署的 WLAN 网络来说，其为可信网络，亦是另外一种无线资源。我们提出将融合的耦合点进一步往前推移，推向 Node B 与 RNC 间的 Iu-b 接口。如图 6-33 所示。

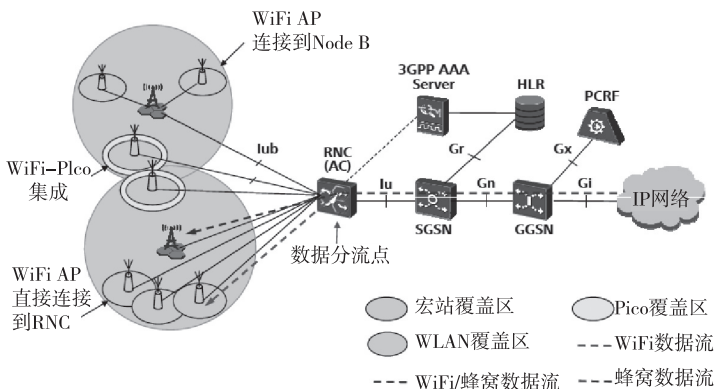


图 6-33 基于 Iu-b 接口耦合的网络融合方案



## 6.4 本章小结

本章首先介绍了无线异构网络融合的网络演进趋势与发展现状,分析了异构网络之间从共存到融合的演进历程。然后,阐述了异构网络融合的网络架构及其关键技术,包括异构网络中的无线环境监测技术、无线接入控制技术、网络负载均衡技术,以及设备重构技术。最后,给出了中国联通对于异构网络协作与融合研究的思考。

## 参考文献

- [1] Bartolome Arroyo-fernandez, Jose Fernandes, Ramjee Prasad. Composite reconfigurable wireless networks: the EU R&D path toward 4G [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42 (5): 62-63.
- [2] 刘琪, 李承恕. 多模可重构终端的无线接入管理 [J]. 电子学报, 2007, 35 (10): 1833-1837.
- [3] Peter Stuchmann, Rainer Zimmermann. Toward ubiquitous and unlimited-capacity communication network: European research in framework programme 7 [J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45 (5): 148-157.
- [4] 刘琪. 复合可重构无线网络中终端可重构的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [5] 李常茗, 李承恕, 等. 复合可重构系统概念和结构研究//无线及移动通信技术发展研讨会论文集 [C]. 2006, 11: 1-10.
- [6] IST Project SCOUT: <http://www.ist-scout.org>;
- [7] IST Project MOBIVAS: <http://mobivas.cnl.di.uoa.gr>;
- [8] R Pabst, et al. Relay-based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio [J]. IEEE Commun. Mag., 2004, 42 (9): 80-89.
- [9] EU IST Project E2R: <http://www.e2r.motlabs.com>;
- [10] Multi-mode multi-amplifier architecture, Application number: 03025797.6, Publication number: EP1492228A1, Date of publication: Dec. 29, 2004, Applicant: Northrop Grumman Corporation.
- [11] Method and registration server for over-the-air activation of an additional radio interface provide in a multi-mode radio user terminal, Application number: 03292198.3, Publication number: EP1492364A1, Date of publication: Dec. 29, 2004, Applicant: ALCATEL.





[12] Multi-mode communication terminal, Application number: 03795247.0, Publication number: EP1538813A1, Date of publication: June 8, 2005, Applicant: Matsushita Electronic Industrial Co. Ltd.

[13] Configuration method of a mobile terminal in multi-mode mobile communications systems, Application number: 03104794.7, Publication number: EP1545144A1, Date of publication: June 22, 2005, Applicant: Telefonaktiebolaget LM Ericsson (publ) .

[14] Composite Reconfigurable Wireless Networks: The EU R&D Path Toward 4G [J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41 (7): 34-74.

[15] A European Perspective on Composite Reconfigurable Radio Networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2006, 13 (3) .

[16] WWRF: <http://www.wireless-world-research.org>.

[17] WWRF Working Group 6, "Reconfigurability": <http://wg6.ww-rf.org>.

[18] ITU: <http://www.itu.int>.

[19] DARPA XG Working Group. The XG Vision. Request for Comments. Version 2.0, Prepared by BBN Technologies, Cambridge MA, USA, 2004.

[20] 李承恕. 复合可重构无线网络——欧洲走向4G的研发之路 [J]. 中兴通信技术, 2003, 9 (6): 28-31.

[21] 李承恕. 下一代无线个人通信网 [J]. 移动通信, 2004, 28 (11): 90-92.

[22] IST FP6: <http://europa.eu.int/comm/research/fp6/>.

[23] Apostolos Kountouris, Thomas Wiebke, Panagiotis Demestichas, George Dimitrakopoulos. Equipment Management Concepts in Reconfigurable Network. WWRF 10th meeting, NY, USA, October 27-28, 2003.

[24] Karim EI-Khazen, Antoine Delautre, Dominique Nussbaum, Nikos Housos, Amiram Gozes. E2R Proof of Concept Evolutionary Environment. 8th WWRF conference, Beijing, China, February 26-27.

[25] N Alonistioti, A Kaloxylas, P Demestichas, G Dimitrakopoulos, T Wiebke, F Berzosa, M Dillinger. System and Local Level Reconfigurability Management and Interactions. 8th WWRF conference, Beijing, China, February 26-27, 2002.

[26] Antoine Delautre, Didier Boure, Nancy Alonistioti, Klaus Moessner. System Research, Business Path and Technology Roadmaps of End-to-End Reconfigurability. WWRF 10th meeting, NY, USA, October 27-28, 2003.

[27] Klaus Moessner, Rahim Tafazolli. Support for Dynamic Spectrum Alloca-



tion in Reconfigurable Access Network. 8th WWRF conference, Beijing, China, February 26-27, 2002.

[28] K Moessner, D Grandblaise, F Capar, E Mohyeldin. Techno-Economic Implications of End-to-end Reconfigurable (E2R) Systems. WWRF 10th meeting, NY, USA, October 27-28, 2003.

[29] 3GPP TM: The Mobile Broadband Standard, <http://www.3gpp.org/releases>.

[30] LTE inter-technology mobility-enabling mobility between LTE and other access technologies. Part number WP-INTERTECH-MOB, USA: Motorola, 2008.

[31] LTE-Advanced: Heterogeneous Networks. White Paper, USA: Qualcomm, Feb. 2010.

[32] Farooq Khan. LTE for 4G mobile broadband-air interface technologies and performance. New York: Cambridge University Press, 2009.

[33] 毕厚杰, 李秀川. IMS 与下一代网络 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.

[34] CRAN 无线接入网绿色演进. 北京: 中国移动通信研究院, 2010.

[35] 张宏科, 苏伟. 新网络体系基础研究——一体化网络与普适服务 [J]. 电子学报, 2007, 35 (4): 593-598.

[36] 苏伟, 刘琪, 张宏科. 一体化标识网络体系及关键技术 [J]. 中兴通讯技术, 2011 (4): 1-4.



## 第7章

# 新型通信网络架构I-Net

为应对移动互联网业务迅猛发展对传统移动通信网络架构带来的诸多冲击，突破现有网络架构面临的严峻挑战，作者所在研究团队提出一种面向移动互联网业务及其未来发展趋势的新型移动通信网络架构（I-Net）。主要针对用户之间的普遍信息交互与资源共享的移动业务发展趋势，提出基于基站间数据直接传输的移动通信网络架构，以实现穿梭于核心网与接入网之间大量数据流的本地化疏导以及无线接入网侧可控可管的端到端用户间通信。

本章以移动互联网发展趋势及现网架构特征为出发点，详细阐述所提出的 I-Net 网络架构及其关键技术体系。

## 7.1 引言

### 7.1.1 背景

移动互联网给电信运营商带来新的机遇与挑战。为满足数据业务高速增长的需求，传统方式的网络扩容与升级会造成建设和运营成本大幅度上升，但却并未获得相应比例的收益增长。关注业务需求与用户体验，构建符合业务发展趋势的新型移动通信网络架构，是实现网络可持续演进与运营商利润增长的根本途径。

随着终端功能的增强，原本平行发展的电信网业务与互联网业务逐步融合。移动业务的日新月异给网络运营带来了前所未有的挑战。第一，移动业务的娱乐化使得宽带通信激增，集中式的数据转发机制导致核心网压力过大。为了提升用户体验，网络面临很大的扩容压力。第二，用户之间的普遍信息交互推动对等通信发展，基



于“社交圈”的局部资源共享成为新兴的移动通信模式。本地数据流量在总业务量中所占比例越来越多，而现网的业务提供模式导致大量的业务数据穿梭于核心网与接入网之间，造成网络资源的效率低下。第三，互联网业务主要是基于尽力而为的分布式数据分发机制，而移动网络的宗旨是提供具有 QoS 保障的可控可管通信。移动网络高度集中式、单一化的网络管控机制无法适应灵活多样的互联网业务，制约了移动通信网络的业务提供能力。

综上，移动网络的现有竖井结构与集中式数据处理模式限制了网络的发展，网络架构与业务特征之间的矛盾是现阶段电信运营商面临的首要问题。在当前的激烈竞争中，运营商必须洞察并挖掘用户行为特征，创建符合业务发展趋势的新型网络架构。这样才能够实现开源与节流相结合，在有效控制网络扩建成本的同时，获取更多的业务盈利。

### 7.1.2 I-Net 愿景

移动互联网应用的迅猛发展，对现有移动通信网络提出新的挑战，I-Net 的提出正是致力于现有网络架构的积极改进，增强移动网络的业务提供能力，提高网络已有设施的利用率，从而有望以较低的投资成本获取更高的业务收益。

I-Net 作为一种新型的移动通信网络架构，其实现了基于基站直通的数据流量本地化疏导，辅助以相应的网络管控，以求从根本上改善移动网络的整体性能。

I-Net 愿景一：丰富运营商的业务提供能力。通过网络技术演进，推动业务模式的转变，借力互联网业务的应用模式，丰富运营商业务提供能力。

I-Net 愿景二：应对移动互联网业务发展。新型架构引入互联网的平等交互、直连互通等思想，与移动通信网络自有优点结合，从而构建适应移动互联网业务发展需求的网络架构。

I-Net 愿景三：缓解核心网急剧上升的压力。通过业务本地化传输技术，将本地化的业务流量在接入网侧疏导，极大缓解核心网处理和传输压力。

总之，I-Net 从网络架构演进角度出发，力图将互联网与移动通信网络的优势进行结合，适应未来灵活多样的移动互联网业务发展



需求。在原有硬件设施的基础上改进网络工作模式，推动网络向绿色高效、智能灵活、安全可靠的方向平滑演进。

## 7.2 移动通信网络架构的发展现状与挑战

### 7.2.1 移动业务促发网络演进

无线通信的发展使得人类的生活方式发生了天翻地覆的变化，将我们带入了一个资源无处不在的信息化时代。事物之间的作用力是相互的，用户的业务需求也在很大程度上影响着移动网络的发展。当前，业务已经成为移动网络发展的主要驱动力。

随着人们对移动业务需求的多样化与个性化，支持各类业务、多种通信模式的终端设备应运而生，原本平行发展的电信网业务与互联网业务开始步入融合阶段。图 7-1 所示为随着终端功能的增强，移动用户业务应用的变化情况<sup>[1]</sup>。但是，互联网业务固有的特点给电信网运营带来了前所未有的压力，诸如宽带多媒体业务、对等式交互通信、信息安全与管控等。

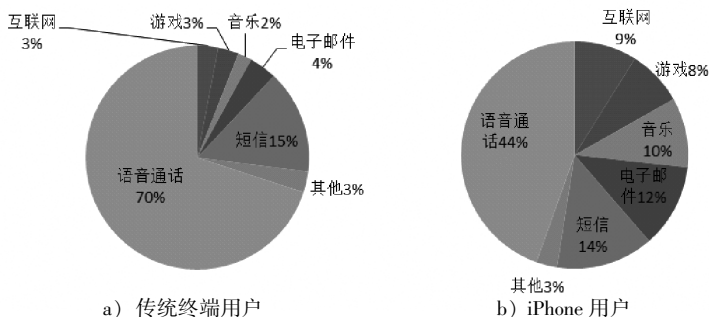


图 7-1 手机终端用户的业务应用占比

(数据来源: Morgan Stanley Research)

在当前的激烈竞争中，运营商需要深入发掘用户业务需求与体验，研究与引导移动通信业务的发展方向，构建符合业务发展趋势的网络架构与技术。这样才能够实现开源与节流的结合，在缩减网络扩建成本的同时，获取更多的业务盈利。

#### 1. 移动业务步入宽带通信

移动业务的娱乐化与宽带通信对网络传输能力提出了更高要求。



随着终端处理能力的提高与业务功能的丰富，移动业务的娱乐化趋势日益明显。例如，手机电视、手机游戏、视频短片下载等业务越来越受到公众欢迎，用户使用率明显提高。据预测，以多媒体业务为主的移动宽带业务将是全球及中国未来几年发展最快的业务。如图 7-2 所示，Cisco 预测截至 2015 年全球移动视频业务流量占总移动业务量的 66.4%<sup>[2]</sup>。据中国联通研究院预测，在 2010~2015 年期间中国移动通信市场中移动宽带业务的复合年增长率将达到 48.25%<sup>[3]</sup>，成为移动网络运营的主流业务。

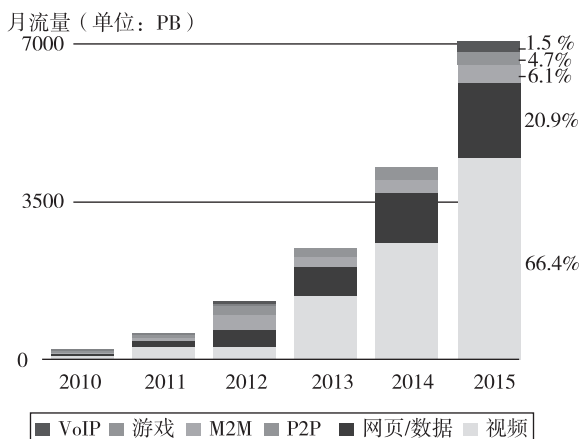


图 7-2 2010~2015 年全球移动数据流量占比

(数据来源: Cisco Research)

娱乐化多媒体业务的特点是数据量大、对通信时延要求较高，需要宽带传输技术的支撑。业务提供的关键点在于保持良好的用户体验。但是，移动通信网络的集中化控制与处理，导致业务的传输需要全程穿越核心网与接入网。大量宽带业务数据汇集到核心网络，给中心数据交换节点与网络传输造成了很大压力，难以保证业务的 QoS 需求。降低核心网负载，由边缘网络分担数据传输压力，实现本地化数据分流，将有助于提高宽带业务性能，有效控制移动通信网络整体投资成本。



## 2. 用户行为呼唤新的业务模式

移动业务的社区化与对等通信 (P2P) 呼唤着信息交互与资源共享时代的到来。如今, 人们的工作生活对网络依赖程度不断提高。例如, 企业内的人员可以基于行业应用网络平台来实现信息交互。同学、朋友之间可以通过 Facebook 等社区网站平台建立自己的好友圈, 分享生活经历、共享资源。图 7-3a 所示为全球社交网站的分布情况<sup>[1]</sup>; 图 7-3b 表明在 2007 年 11 月和 2009 年 7 月, 全球社交网站的用户月流量与用户数量已经超越 E-mail 业务<sup>[4]</sup>。此外, BitTorrent (BT)、迅雷等软件的普及, 也使得每个终端在获取资源的同时也成为数据的提供方, 从而实现海量数据更为高效的分发。一方面, 在

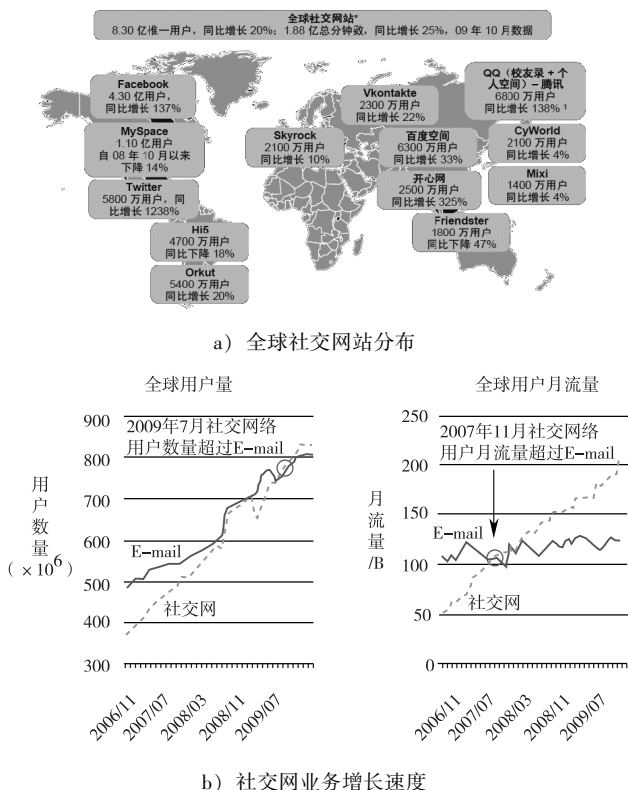


图 7-3 全球社交网站分布 (数据来源: Morgan Stanley Research)



上述应用需求的推动下，P2P 业务呈现出蓬勃发展的趋势。基于互联网网络流量的统计分析，如图 7-4 所示，P2P 业务的复合年增长率达到 31%。另一方面，随着业务的深度融合，互联网业务在移动通信网络中的部署，基于对等模式的数据业务在移动通信网络中所处的地位也在不断上升。据预测，截至 2014 年，P2P 业务量将达到移动业务总量的 8%<sup>[1]</sup>。

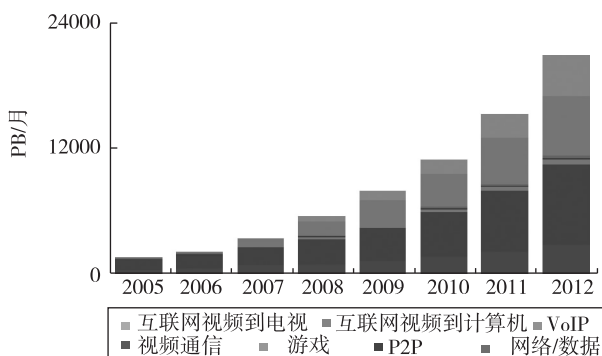


图 7-4 全球互联网流量预测

对等通信是终端之间的信息交互，它的主要特征是具有一定的地域性，在某个群体范围内具有大量的数据共享需求，基本不需要服务器的支持。业务提供的关键点在于实现更高效的信息传输。但是，基于电信网的通信机制来实现对等通信，将原本可以在无线边缘网络完成的本地数据转发向核心网回传，造成核心网压力以及大量传输承载资源的消耗。实现 P2P 流量本地化传输，避免无必要数据回传，将大幅度提高数据传输效率。

### 3. 业务融合要求可控可管通信

移动业务的泛在化需要可控可管通信作为保障，这是网络安全可靠的基础，也是运营商盈利的前提。移动业务的目标是提供无处不在的通信服务，不过便捷的网络接入也对安全通信造成了威胁。电信网业务与互联网业务的融合，使得移动网络越来越多的承载互联网数据业务。然而，互联网业务的信息传输模式主要是基于尽力而为的分布式传输，既缺少 QoS 保障又存在严重的信息安全问题。





上述业务通过电信网络向用户提供服务，必须增加可控可管机制。例如，用户信息安全、非法数据的筛除、个人网络中不同终端间直接信息交互的管控、对等业务传输流量的监测与计费等。此外，安全可靠通信需要网络管理具有更好的健壮性，避免由于中心控制节点损害而导致整个系统的瘫痪。

可控可管通信是电信网一直秉持的理念。在新业务发展日新月异的环境下，可控可管通信的关键点在于如何顺应业务发展趋势，制定合理的管控策略，降低运营维护成本。但是，高度集中式、单一化的网络管控机制已经无法适应高速发展的移动网络，管控功能向接入网适度下移将使得僵化的网络管理更加灵活有效。基于移动业务模式制定灵活的复合式网络管理策略将是未来网络演进的重要方向。

## 7.2.2 移动网络架构的发展现状与演进趋势

### 1. 现有网络架构及其局限

在业务需求迅速增长以及业务类型不断丰富的发展趋势下，基于现有网络架构的移动通信系统面临着严峻挑战。

传统网络架构遵从一种“竖井模式”，包括运行模式和部署模式两个方面。从现有网络架构的运行方式来看，无论是访问互联网的数据业务还是与其他用户的信息交互业务，均不可避免数据流全程穿越接入网和核心网、最终又回归到接入网的过程。如图 7-5a 所示，以 WCDMA 这种典型的 3G 网络结构为例，控制面数据和用户面数据均需要经过 RNC—SGSN—GGSN 的处理和转发接入业务平台或访问互联网。从现有网络架构的部署方式来看，任何一个网络都只能是针对某种业务的最优化设计，无法完美支持和无障碍容纳不断涌现的丰富业务类型。因此，每一种业务类型的增加都将是对网络功能和基础架构的粗犷累加，造成多网络并存、孤岛式发展的局面，如图 7-6 所示。

传统网络架构基于一种集中式的管理和控制机制。如图 7-5a 所示，无线网络侧，RNC 统一实现对用户的移动性管理、网络资源优化、链路维护等功能；核心网处，SGSN 集中负责分组数据包的路由转发、链路管理、鉴权加密等功能。即便是在对等数据业务蓬勃发展、流量分布本地化渐成趋势的今天，集中管控仍然是现有网络所

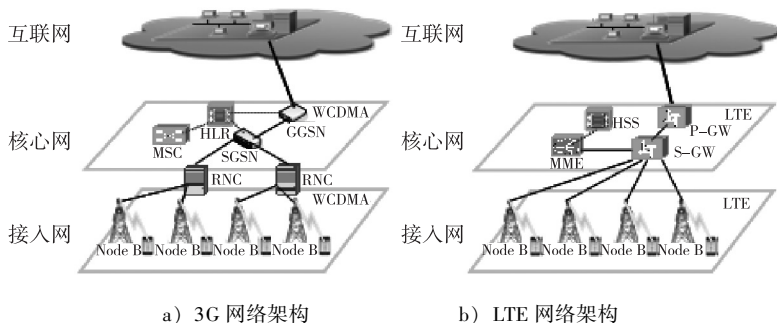


图 7-5 网络架构“扁平化”演进

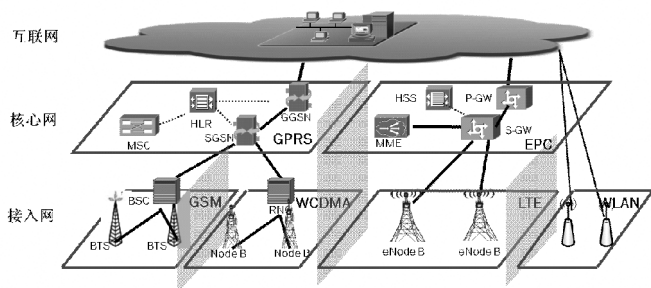


图 7-6 现有网络架构的“竖井式”部署

遵从的主要方式。

分析如上所述的“竖井式”运行和部署方式以及集中式管控机制，不难发现，在应对迅猛发展的移动互联网业务方面，现有网络架构存在诸多局限性：

1) 现有架构下运营商投资收益失衡：随着用户数目和无线业务需求的迅速增长，现有“竖井式”运行模式下核心网处海量数据汇聚，从而对核心网网元的处理能力和容量提出更高的要求，引发运营维护和升级的支出急剧提升；同时，现有“竖井式”部署模式要求通过新网络的添加和相关资源的配备支持不断出现的新业务类型，造成网络架构的日趋臃肿以及成本的迅速增长。根据咨询公司 Informa 的测算结果，从 2008 年到 2013 年，数据流量将增长 17 倍，而相应的数据



业务营收增长预计将只有 180%。图 7-7 所示为 iiMedia 对 2006 ~ 2011 年 3G 业务 ARPU（每用户平均收入）值的数据统计结果，从中也可以看出：在现有网络架构下，运营商在网络建设和技术研究方面的投资过高，导致无法将迅速增长的数据流量转化为成比例的回报。对运营商而言，如何控制网络建设和运营开支的快速增长、扭转数据业务长期“增量不增收”的尴尬局面是亟待解决的问题。

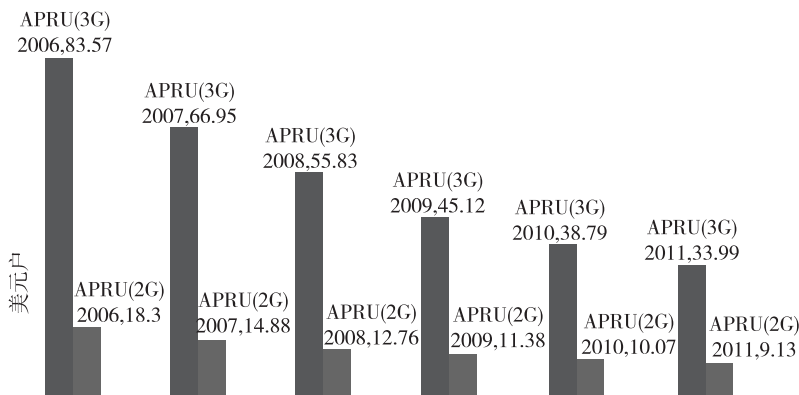


图 7-7 2006 ~ 2011 年全球 3G 业务 ARPU 值变化（数据来源：iiMedia Research）

2) 现有架构下用户体验不尽如人意：基于现有网络架构下的“竖井式”运行模式，信令和媒体信息传输必须经过“接入网—核心网—接入网”的过程，这种无增益的数据本地上传和回传造成网络时延较长。基于“竖井式”的部署模式，不可避免出现多种网络、多种制式、多种技术的拼接和切换，从而导致用户感知度增大，特别是在移动场景下将更为明显；同时，数据流在核心网处的汇聚和处理必然造成网络利用率不足，影响网络容量，最终导致用户体验欠佳。而对运营商而言，良好的用户体验无疑是保证较高的用户忠诚度、推动运营商制胜的关键所在。

3) 现有架构下可扩展性先天不足：现有网络架构下，“竖井式”的部署模式将导致网络资源的分散，以及不同网络 and 不同业务之间的相对独立和难以协作与融合，从而不利于网络功能及资源的交叉调用和有效共享。同时，在对等业务普遍存在、本地流



量占据主导的趋势下，对传输流管理和控制的重任仍需要核心网集中承担，这使得网络的正常运行过分依赖于中心控制节点，造成现有网络架构的管控效率低下、灵活性欠佳、可拓展性不足等问题。

## 2. 网络架构的演进趋势

从运营商角度来看，单纯通过网元数目的增加和设备的升级来解决业务类型不断丰富、流量迅速增长与现网能力不足之间的矛盾并非长久之计，而通过网络结构的革新降低建网成本和运营维护开销、改进网络性能、提高网络扩展性和业务提供能力，才是更为根本的手段。在此需求的推动下，众多解决方案应运而生：

1) 3GPP 的直通隧道解决方案：3GPP 演进到 LTE R7 阶段，通过采用直接隧道<sup>[5]</sup>，即旁路 SGSN、直接在 eNode B 和 GW（相当于 GGSN）之间建立通道的方法，实现了分组域网络的扁平化，如图 7-5b 所示。新的网络架构剔除了 RNC，将其部分功能下移并入基站侧，一部分功能集成到核心网。接入网和核心网的两层网络结构可以有效降低传输时延、满足实时业务的低时延要求，同时也因减少网络实体而可节省建网和运营维护成本。

2) 3GPP 的 LIPA/SIPTO 解决方案：本地 IP 接入（LIPA）技术和 IP 数据分流（SIPTO）技术<sup>[6]</sup>在网络扁平化的进程中又迈出了重要一步。基于 LIPA 技术，UE 可以通过功能增强的家庭基站 H（e）NB 访问家庭/企业内部的 IP 资源，实现 H（e）NB 内的业务分流；而 SIPTO 技术则可通过家庭基站或宏网络基站使 UE 直接访问互联网。在上述策略中，数据业务不经过核心网转发，直接访问 IP 网络。该策略可以减小数据传递时延、提升用户体验，同时也能缓解核心网压力并节约传输成本。

3) 中国移动的 C-RAN 解决方案：C-RAN<sup>[7]</sup>是一种融合集中处理技术、多制式融合技术以及实时云型基础设施为一身的无线接入网。具体地，采用分布式 RRH 和集中式 BBU 基带池实现集中处理；通过基于通用处理器的多标准软件定义无线电（SDR）实现多制式融合；通过虚拟基站与资源融合使得基带处理平台趋于云化。此方案将有效减小网络能耗、降低网络成本，同时也使网络容量的提升



和资源的有效利用成为可能。

4) 华为的 SingleRAN 解决方案: 包括统一平台基站、统一部署、统一运维三个层面。通过高配置基站使一个模块、通过一次部署就能够支持 GSM/UMTS/LTE 等多种无线制式, 实现有效的资源集中共享和统一的网络融合管理, 打造可盈利的移动宽带网络。

5) 中兴的 Uni-RAN 解决方案: 强调多制式多频段的灵活组网和基于软件升级的平滑演进。通过基于 SDR 的新一代基站实现多制式融合、满足高速网络的平滑演进需求, 通过统一管理和统一运营维护减小成本、实现有效节能。

从上述技术方案来看, 结构扁平化、资源集中化、多制式融合以及处理云化是未来网络架构演进的一致趋势。上述方案能够促进网络的统一建设和统一运营维护, 可以在一定程度上提高网络效率、减小运营商支出、改善用户体验, 但仍然无法解决或全部解决如前所述的诸多问题。因此, 在网络架构演进的大趋势下, 提出新的移动通信网络演进方案以实现运营商成本的压缩和用户体验的保证, 建立适应用户新需求的业务部署模式以及适应业务融合的有效管控机制, 仍然是学术界与产业界不断努力的方向。

## 7.3 I-Net 架构

### 7.3.1 I-Net 架构功能

为应对移动互联网迅猛发展对移动通信系统网络架构带来的诸多冲击, 突破现有网络架构面临的诸多挑战, 本章倡导一种面向交互式移动互联网业务的新型移动通信网络架构 (I-Net), 通过可控可管的基站间数据直通技术, 实现数据在无线接入网 (RAN) 侧的直接传输, 将移动通信网内部数据业务在 RAN 侧进行分流, 从而缓解核心网和传输的压力, 降低网络建设和运营成本, 提升单用户每比特数据收入。基于上述思想, 在构建 I-Net 架构时着重考虑了下述三方面的功能:

(1) 扁平化网络架构将业务数据流量本地化疏导, 缓解核心网传输压力

与传统 RAN 系统汇聚式数据处理不同, 用户间交互的数据可以



根据源端基站与目的端基站之间的连接情况进行判断是否进行本地化传输处理，即无需经核心网 GGSN/P-GW 统一分发，业务数据直接在 RAN 侧本地处理。数据可直接由归属基站传送给目标基站，并下发给目标用户。RAN 侧的流量本地化将移动业务海量的数据传输在本地进行了分流，从而缓解了核心网和传输的压力。

(2) 实现基于 RAN 侧的网络管控，保留传统运营商对网络的管理和控制能力

由于数据流量实现了本地疏导，业务数据无需经 GGSN/P-GW，原网络核心网集中统一的运营管控方式将无法适应这种新型网络传输。因此需要在 RAN 侧实现电信运营级的管控，从而保障移动通信网络的运营和管控能力。

(3) 基于基站直通架构的移动性管理，实现新型架构下的业务无缝提供

移动是用户天然的特性，在基站直通架构下，需要针对收发两端的用户移动性在相关的基站间建立直接传输通道，从而保证用户数据在 I-Net 架构下的无损切换，保证 I-Net 架构下切换场景总的用户业务数据无损传输。

I-Net 是融合了数据流量本地处理、基于本地化架构的网络管控及移动性管理的电信级运营网络架构，有望解决运营商面临的业务增长与网络资源紧缺之间的矛盾，适应具有交互式特征的移动互联网业务的发展需求。

I-Net 网络架构主要包括具有增强型功能的 i-Node 单元，以及基于 i-Node 直通的分布式无线网络。如图 7-8 所示，I-Net 实现业务部署与网络管控功能由核心网向接入网的适度下移，其主要功能目标如下：

#### (1) i-Node 单元功能增强

与现有基站相比，i-Node 不仅需要处理传统的采用“接入网 + 核心网”传输的业务，还需要对本地化业务进行剥离和处理。因此，i-Node 功能需要进行增强，重点在 i-Node 中增加本地化业务处理功能、网络管控功能及本地化的移动性管理功能。此外，为完成网络管理与业务流量计费，i-Node 还需要增加与核心网控制网元如 HSS、PCRF 等模块的信令交互接口，并能区分不同用户的业务本地流量，

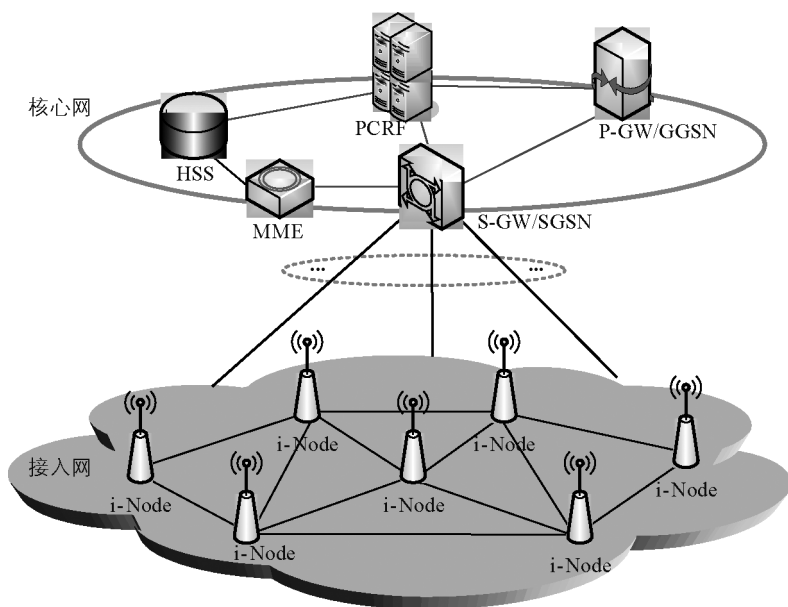


图 7-8 I-Net 的网络架构

从而灵活计费。

### (2) i-Node 直通构建流量本地化的用户交互平台

I-Net 为 i-Node 节点间的通信提供了物理传输通道与逻辑直通机制，因此 i-Node 节点之间可通过直通接口构建大规模的互连架构。用户间数据的交互可以通过源基站、目标基站之间的直通链路，建立“用户—基站—基站—用户”或“用户—基站—用户”的业务承载。这样，用户间的数据流将在 RAN 侧实现本地化信息交互。

### (3) 核心网部分功能下移

I-Net 将网络管控功能从核心网向 RAN 侧适度下移，实现分布式与集中式相结合的复合式网络管控。i-Node 节点支持用户身份认证与鉴权，并且支持基于数据包的深度检测来实现数据流量监测与业务计费；i-Node 节点作为基站间数据直接传输的锚点，支持 I-Net 架构下的本地化移动性管理。

### (4) 具有扁平化特征的移动通信网络架构

I-Net 架构将进行本地化传输的业务剥离，从而在接入网侧本地





疏导。从业务传输和处理角度分析，功能架构上的扁平化将核心网的控制与管理功能推向网络边缘，即无线接入网，缩短了业务传输的路径，并使得网络的管理和控制能够更加接近用户，能够增强系统的适变性及灵活性。

总之，基于 i-Node 节点传输与管控方面的功能增强，以及 i-Node 之间的分布式数据交互平台，可以实现业务流量的 RAN 侧本地化疏导以及 RAN 侧可控可管的端到端通信。

### 7.3.2 I-Net 架构意义

上节主要阐述了 I-Net 的技术目标及其架构功能，I-Net 架构的提出符合网络发展扁平化、网络控制智能化的趋势。尤其是随着用户数的增加、业务内容的丰富及数据传输速率的提高，网络中数据流量急剧上升，对核心网网元的处理能力提出了更高的要求，数据业务本地疏导成为网络应对飞速发展的用户业务需求的发展方向之一。

进一步对移动互联网业务的类型进行划分，可以粗略分为两大类：互联网访问业务和本地化交互业务。其中，互联网访问业务包括网页浏览、音乐下载等，而本地化交互业务包括语音通信、文件传输等。由于智能终端的出现，大大改善了用户通过手机上网的业务体验，进而带来了数据流量的急速增长，互联网访问业务和本地化交互业务都需要经过核心网进行处理和传输，如图 7-9 中的业务传输模式 1 和业务传输模式 2 所示。

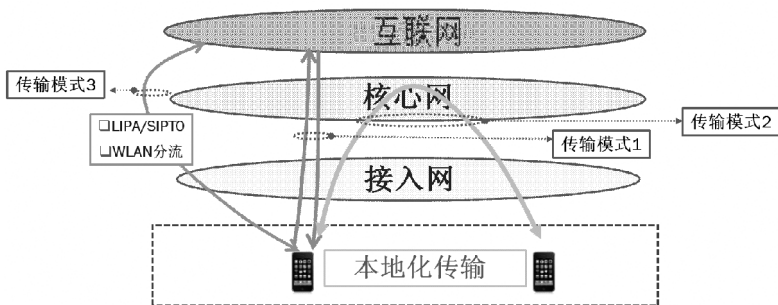


图 7-9 业务传输模式示意图





为缓解核心网面临的压力，学术界和产业界提出了分流的思想，从而形成了 LIPA/SIPTO 及 WLAN 分流等方案，使得互联网访问业务只需经过本地网关，而无需经过核心网的处理。这些方案的业务传输模式如图 7-9 中的业务传输模式 3 所示。

另一方面，如何改变移动通信网络架构以适应本地化交互业务的发展需求，是另一亟需解决的问题，也正是 I-Net 架构设计的初衷和出发点。

因此，I-Net 新型移动通信网络架构基于基站间数据直接传输，将交互式业务流量进行本地化疏导，填补业务本地化传输架构的空白，在缓解核心网和传输压力的同时，将互联网思想引入移动通信网络，从而更加适应未来移动互联网业务的发展。

## 7.4 I-Net 关键技术框架

在上节中，我们提出了面向未来移动互联网业务的 I-Net 架构，并对其中的实体及功能进行了阐述。然而，I-Net 的实现需要多领域技术的共同支撑，其中的关键技术实现也面临着诸多挑战。我们结合移动业务及先进通信技术的发展趋势，对 I-Net 中的关键技术及其方案进行了有益的研究及探索，旨在为 I-Net 的实现提供可行的思路和方法，并以此为基础，带动学术界及产业界对 I-Net 的关键技术进行更加全面深入地探讨及研究。

### 7.4.1 业务本地化决策

I-Net 架构并非是要完全改变现有的业务提供模式，而是能够根据业务类型、基站互连情况等因素决定是否启动本地化业务传输策略。因此，对于 I-Net 网络架构，不仅需要支持穿越接入网和核心网的传统业务提供模式，也要支持基站间直传的本地化业务传输模式。

以源端用户与目的端用户进行文件传输为例。若源端用户位于城市 A，目的端用户位于城市 B，由于两个用户所归属的基站间的连接已经跨越了核心网，因此难以采用基站间直通的业务传输方式，而仍然采用穿越接入网与核心网的业务传输方式。如根据网络侧的地址解析，发现源端用户与目的端用户所归属的基站位于相邻区域，则可采用基站间直通的业务本地化传输模式，从而将业务数据在接



入网内“消化”以减轻核心网及传输压力。

进一步分析上述例子，是否启用业务本地化传输模式，最重要的判断因素是源端基站和目的端基站间是否存在直通链路。由于这一决策需要源端基站在业务发起之初就做出，因此，源端基站需要根据源端用户所发送的业务请求中所包含的信息对目的端地址进行解析，并根据该信息对目的端基站进行寻址，从而确定源端基站与目的端基站间是否存在数据直接传输的物理通道。因此，业务本地化传输决策机制需要深入研究下述关键技术。

### 1. 基站间直通区域规划

整个网络所有基站节点下的用户都有可能存在互相的通信，即网络中的基站两两之间都存在互连需求，而维护一个全网的两两互连架构所带来的开销是巨大的。另一方面，业务的发起/停止都是瞬时随机的，频繁的建立/拆除基站间互连接口势必给网络带来巨大的开销，也不利于网络的健壮性。

此外，基站间直通的互接口是建立在基站间具有物理传输资源的基础之上，若基站间没有物理传输资源，其互接口建立则无从谈起，因此，基站间直通的互接口在一定程度上受限于基站间底层传输网络的拓扑结构。

当前，基站间的传输网络拓扑如图 7-10 所示，多个基站间通过传输介质，如光纤，进行连接，从而形成接入环，多个接入环通过汇聚环连接起来，从而将来自不同用户的业务数据汇聚到核心环，并最终导向核心网进行处理。

因此，基站间的直通路由区需要根据底层的传输拓扑，按照接入环的基本划分，建立路由区列表，由基站进行该列表的维护和更新。当业务请求发起时，源端基站首先查询直通路由区列表，判断是否能够进行基站间的数据直接传输。

### 2. 业务本地化决策机制

基站间直通的本质目标是将本地化业务的流量在接入网侧进行传输，从而缓解核心网面临的压力。基于此目标分析，基站间直通并非是将所有业务都进行本地化传输。未来实现基站间直通的网络架构不仅需要支持传统的穿越接入网和核心网的业务传输模式，也

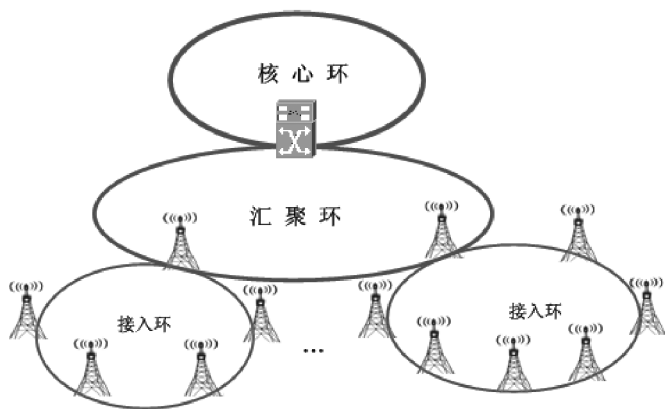


图 7-10 基站间传输网络拓扑结构示意图

要支持基站间直通的本地化业务传输模式。而业务传输模式决策的目标，则是根据源端用户和目的端用户的地址解析，决定采用何种模式进行数据的传输。

#### 7.4.2 支持业务本地化的资源控制

基站间直通的目标是实现用户业务数据在基站间的直接传输，将用户间交互的业务数据流量进行本地化疏导。当用户发起业务请求，网络侧根据对该业务请求的解析，决定是否采用本地化传输策略。而基站间直通架构的建立，只是提供了底层的传输基础。如何将用户业务数据从源端基站导向目的端基站，实现“用户—基站—用户”模式的基站间数据直接传输，需要本地化资源控制策略的保障。

##### 1. 端到端承载建立

若经过业务传输模式决策后，决定采用基站间直通的业务本地化传输策略，则需要从控制面为业务数据传输建立端到端的承载，包括用户与基站间的无线承载和基站间的承载，从而将业务数据流从源端基站导向目的端基站，实现“UE- > i-Node- > i-Node- > UE”的业务本地化传输模式。端到端承载的建立过程如图 7-11 所示。

端到端承载建立的过程，在控制面建立了从源端用户到目的端用户的连接，并根据用户特征、业务属性等参数，将所要求的 QoS

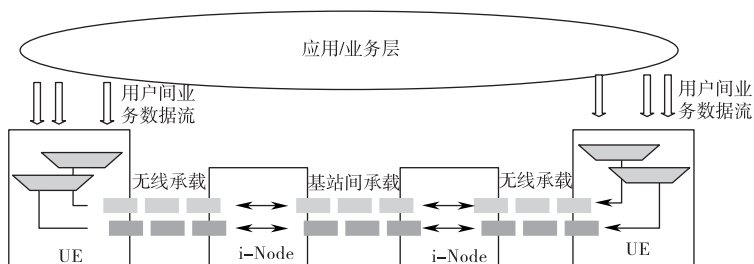


图 7-11 基站间的承载示意图

等级告知通信链路中的不同节点，从而能逐段进行 QoS 管理和控制，不仅能优化系统全局的资源利用率，而且还能为不同用户提供差异化的业务服务。

## 2. 差异化的资源分配机制

无线资源和传输资源是通信系统运行的保障，如何更加高效地利用无线资源和传输资源，一直以来都是通信领域专注于解决的难题。在传统无线通信系统中，控制和管理在核心网边缘进行，从而不能及时地根据接入网信息的变化调整资源分配策略，因此不能做到灵活、及时、高效的资源控制和管理。

在 I-Net 架构中，由于基站融合了部分核心网的处理功能，因而具有解析业务请求、检测业务内容的功能。因此，基站不仅能够掌握用户终端信息、无线信道变化信息，还能够知晓用户业务内容信息，让网络控制和管理更靠近用户，从而能够根据用户无线环境和业务环境的信息及时调整资源分配策略，实现区分业务内容及用户属性的资源分配机制。

在空中接口部分，多用户间的无线资源调度是差异化资源分配机制关注的重点。基站根据探测到的业务内容及属性进行资源调度，保证业务传输需求，并为高优先级用户提供更高服务保障。

在基站间传输部分，由于引入了业务本地化传输策略，基站不仅需要处理本小区内用户的业务数据传输，还要处理由于基站间互连带来的路由数据。因此，基站间的传输资源也需要进行差异化的分配和预留。在 I-Net 架构中，应根据用户的空中接口传输能力、用



户属性及业务特征为用户预留基站间的传输资源，并且高优先级的用户或业务能够抢占低优先级用户或业务的资源。

综上所述，I-Net 架构应充分发挥控制功能靠近用户的优势，基于用户无线环境及业务环境等信息对空中接口无线资源及基站间的传输资源进行差异化管理及控制，从而能在多用户、多业务环境中保证不同特征业务、不同属性用户的 QoS 需求。

### 3. 基站间的数据路由

两基站间的互连，可构建端到端的数据传输，然而要支持这样的数据传输，首先必须确保这两基站间的物理可达。如仍采用原移动通信系统中基站组网的方式，交换和路由设备处于核心网或核心网边缘，经过建立了传输的数据直通，但数据流仍会流向核心网，再下发。为了更好地适应基站间数据的直通，需要部署基站间的路由技术。

对基站的 IP 进行合理规划，基站传输通过 IP 网络中的 IP 路由进行寻址转发是一种解决思路。另外，由于基站间大都采用基于光网络的传输，在基于电路交换的光网络中通过 ASON（自动交换光网络）等光网络路由技术，是另外一种解决思路。

### 7.4.3 本地化网络管理

I-Net 架构中将部分核心网功能下移到无线接入网侧，以支持基站间数据的直接传输，极大地减少核心网处理和传输压力的同时，能更好适应移动互联网业务的发展需求。然而，由于基站间直接进行数据交互形成了分布式的服务系统，这在一定程度上带来了网络管理的复杂性。因此，为了支撑 I-Net 架构下基站间的数据直接传输和交互，需要在新的网络架构中引入基于基站间互连和直通的网络管控机制，包括故障管理、性能管理、安全管理、计费管理及配置管理等关键技术。

#### 1. I-Net 架构下的故障管理

基站之间的直通链路是实现业务本地化传输的基础，因此需要对直通链路进行监控，当链路出现故障时，该功能第一时间通知维护中心并迅速做出反应。

基站集合了部分核心网络的功能，也能对其自身状态进行监控。



## 2. I-Net 架构下的性能管理

I-Net 架构实现了业务本地化，基站间的流量将会急速提升，若不对 I-Net 架构下网络性能进行监控，基站间链路资源将会很快用完，影响用户的体验质量。

对于 I-Net 这一新型网络架构，一方面，在业务本地化传输、流量本地处理、新的移动性管理、新的资源调度以及分布式网络管控等特征下，如何实现相关 QoS/QoE 参数的有效度量、监测和分析，以确定不同业务、不同用户类型下网络和设备的参数优先级，进一步转换成网络和设备可以理解的 QoS 策略和相关 KPI（关键绩效指标），从而为网络/业务性能的评价以及优化提供参考，是需要深入研究的问题；另一方面，基于基站直通的扁平化网络架构，使得核心网的部分功能下移，便于网络对无线侧（包括无线环境和终端/用户特征）的感知进一步深化，从而有力推动精细化网络评价体系从以运营商、网络出发的内部封闭结构向以用户的体验感知为出发点的开放结构转变。

## 3. I-Net 架构下的安全管理

由于无线信道的开放性，信息的安全性一直是移动通信系统关注的问题。在 I-Net 架构下，构建了基站间数据直接传输的通道，实现了业务数据在接入网侧的传输；此外，由于部分核心网功能合理下移至接入网，使得基站能够获取用户域、业务域和网络域的信息，并基于这些信息实现 I-Net 架构下的管理和控制，包括与运营计费系统的互操作信令交互，与其他基站之间的用户信息和业务数据交互。因此，在 I-Net 架构中，信息安全尤为重要，需要针对新的业务本地化传输模式及其交互特征，进一步提高通信安全性。对于 I-Net 架构下的信息安全，可以概括为以下三个方面：

首先，网络接入安全。用以对抗来自无线环境的攻击，保证用户能够安全接入 I-Net 通信架构。

其次，网络域安全。由于在 I-Net 架构最突出的特征就是实现了业务本地化传输，即用户的业务数据可以在基站间进行直接传输和路由，因此，网络域安全为基站间的信令交互、基站与核心网运营维护设备间的交互提供安全保证，使得 I-Net 网络域的设备间能够安





全地交换信令数据，对抗来自有线链路的攻击。

最后，用户域安全。在 I-Net 架构下，需要对源端用户发起的业务请求进行解析，分析目的端用户的地址及其归属的基站地址，从而建立端到端的承载。因此，用户域安全策略将有效保证用户域的地址、终端等信息不被攻击者通过链路监听而探测到，避免通过获取用户源端和目的端而导致对用户终端和用户信息的攻击。

为了对业务内容进行控制和监测，在传统移动通信系统中，在核心网的 SGSN 和 GGSN 都预留了合法监听的接口。在 I-Net 架构下，为了对本地化传输的业务内容进行监测，也应在接入网侧实现业务内容的合法监听。然而，各基站均支持完备的监听功能所需代价较高，实际实现中需要权衡系统复杂度与监听效果。例如，若不要求实时监听，则可以以基站簇为单位部署监听基站，通过适当的传输路径选择策略，在合法监听功能启动时将特定用户数据路由至监听基站。

#### 4. I-Net 架构下的计费管理

在传统通信系统中，由于业务数据都需要经过核心网进行传输，因此 SGSN 和 GGSN 都具有计费功能，能够对业务流量进行统计，从而上报计费系统生成账单。在 I-Net 架构下，由于业务本地化传输，部分业务数据将不再经过核心网，而直接在接入网中的基站间进行传输，因此，需要在基站增加计费功能，基站需要区分不同用户的业务流，能够控制每个流并对每个用户进行更准确的计费。在此基础上，基站还需要能够与后台的账单系统及策略系统进行连接，完成流量的统计及上报，实现统一计费。具体计费功能可以采用“心跳”式计费方式，为节省开销也可以考虑其他离线计费方式。

此外，由于 I-Net 架构将控制功能进一步推向靠近用户的网络边缘，因此，也将考虑更加灵活的计费方式，根据用户的位置属性、业务内容等制定计费策略，这都将是 I-Net 在未来需要考虑的关键技术。

#### 7.4.4 移动性管理

移动通信系统实现了用户在移动过程中的通话和数据交互，其中移动性管理是关键技术之一，其使得移动通信系统具备了广域的



业务提供能力，从而为用户提供无缝的业务体验。

I-Net 架构具有扁平化网络的特征，即基站之间能够实现用户业务数据的直接传输，从而形成以基站为处理单元的分布式服务系统，这对移动性管理带来了新的挑战，即如何在 I-Net 架构下保证用户的无缝业务体验。

I-Net 架构下的移动性管理主要考虑如下关键技术：

### 1. 业务本地化传输模式下的切换机制

在 I-Net 架构下，若采用业务本地化传输模式，其数据传输将不再经过核心网，而在接入网中基站间进行传输，需要建立基站间的承载。在业务进行过程中，若用户移动离开当前小区，为了保障业务的连续性，需要进行小区间切换。由于此时基站间承载发生了变化，需要根据目标基站的地址构建新的端到端承载。然而，由于缺少如 MME 等核心网元的集中控制，其切换过程需要切换源基站、切换目的基站及通信对端用户归属基站的共同配合才能完成。在该过程中，需要切换源基站进行切换决策，并分别与切换目标基站和通信对端用户归属基站间进行资源协商和信令交互，从而引导切换目标基站与通信对端用户归属基站间建立新的基站间承载，因此，其切换时延是设计切换机制时考虑的重要参数和指标之一。

### 2. 业务本地化传输模式下的切换保障机制

如上所述，由于 I-Net 架构下，当用户发生移动时，多个基站间需要进行信令交互及资源协商，从而建立新的基站间承载，完成通信对端用户归属基站到切换目的基站间的数据传输隧道构建。因此，需要重点关注如何保证切换过程中不同业务的 QoS 需求。

对于时延敏感类业务，需要优化基站间信令交互流程，进一步减小基站间交互带来的切换延迟；此外，还需要关注切换过程中的资源预留机制，能够根据用户和业务的优先级，在建立承载时为切换用户预留必要的传输资源。

对于丢包敏感类业务，需要关注切换过程中的无损传输，因此，需要切换源端基站、切换目的端基站及通信对端用户归属基站之间建立数据传输确认机制，避免切换过程中发生切换源端基站缓存的数据丢失。





#### 7.4.5 多基站协作资源管理

上述部分主要描述了构建 I-Net 网络结构的关键支撑技术。在构建了能够进行业务本地化传输的 I-Net 架构之后,由于其实现了基站间的数据直接传输,因此,基于 I-Net 架构所提供的高效基站直通能力,将有望在未来无线网络中实现智能化的资源管理技术,例如多点协作 (CoMP) 技术、基带共享技术等,从而为解决现有网络所面临的一系列难题提供可能。

##### 1. 智能化信号协作

在传统蜂窝移动通信系统中,信号干扰造成了网络的空中接口容量在地理位置上分布不均匀的问题,导致小区边缘频谱利用率较低、数据传输质量难以保证。

为了应对上述问题,2G 系统一般采用较大的频率复用因子,通过频率规划避免相邻小区间的信号干扰,以保障小区边缘的信号质量,但是这种方法会使得频谱利用率大大降低。3G 和 LTE 系统采用频率复用因子为 1 的配置实现全网的同频覆盖,从而使得频谱利用率得到大大提升,但同时也导致系统严重干扰受限,小区边缘用户接收信号中的干扰功率远大于噪声功率。这造成整个网络能量的极大浪费(大部分发射功率作为干扰进行处理),也使得面临严重干扰的小区边缘用户性能与小区平均性能相差甚远。

针对上述问题,LTE 标准中提供了一定程度的小区间干扰协调功能,在 LTE-Advanced 标准引入了 CoMP 技术。但由于基站间 X2 接口(用于基站间切换)的带宽和时延均受限,造成小区间可以交换的信息量有限,从而使得 CoMP 技术的潜在性能增益不能充分体现。

基于 I-Net 的高效基站互连架构可以更好地发挥 CoMP 算法的性能优势,实现智能化的无线信号协作以有效解决信号干扰问题。然而,信号协作技术在 I-Net 架构中的应用需要深入关注下述方面:随着用户位置以及周围环境的变化,用户设备所处的信号干扰环境也在实时变化。根据用户所处的环境状况实时选择合适的协作小区集合,可以达到减少系统回传开销、保障 CoMP 性能增益的目的。基于 I-Net 架构如何实现高效的用戶信息反馈机制,以及优化的协作小



区集合选择算法，是 I-Net 架构下的 CoMP 技术需要研究的问题。

I-Net 架构的实现为基站间大量数据信息交互提供了一定的基础，但如何利用 I-Net 基站直通特性来高效地满足 CoMP 技术需求，仍是有待研究的问题。

## 2. 智能化基带共享

无线业务分布的不均衡特性导致不同时段、不同小区的业务负载参差不齐。传统基站 BBU + RRU 模式下，在话务高峰时经常会出现某些 BBU 因负荷过高而限呼，但某些 BBU 负荷很低得不到充分利用的情况。在未来数据通信占主导的网络中，业务的突发性将更为明显，不同 BBU、不同时刻的负载不均衡现象也将更为明显。现网架构下 RRU 只能与固定的 BBU 对应，运营商为保证网络随时随地都可能提供足够好的用户体验，必须在网络中不断部署更多的 BBU + RRU 设备，这将造成难以承受的 CAPEX/OPEX 投资，同时网络设备的利用率也将无法令人满意。

随着基站间直通接口容量的进一步提高，有望在基站 BBU 之间直接传递 RRU 基带信息。这将打破传统网络中一个基站 BBU 仅能处理本地 RRU 数据的局限，实现 BBU 处理能力的共享。

此方案可以理解为大量基带处理单元通过高速互连接口形成一个具备按需处理能力的“基站池”。RRU 不再连接到固定的 BBU，而是连接到池组化的 BBU 群上，实现处理能力的按需分配。

基于这种基带共享，一方面，大量 RRU 可以通过动态地启闭功放、调整激活载波数量、调整带宽大小等容量自适应技术来以最小的能耗满足用户空中接口传输的需求；另一方面，BBU 池组可以将整体处理资源以“流动”的方式分配给网络中业务繁忙的区域。一种可行的方法是通过基站直通技术，将相应 RRU 基带数据传递到网络中其他空闲 BBU 进行处理。

## 7.5 本章小结

未来移动业务正在向娱乐化、社区化、泛在化的方向发展，用户之间的普遍信息交互与资源共享给移动网络带来巨大挑战。新型业务特征与现有网络架构之间的矛盾是现阶段电信运营商面临的首



要问题。

I-Net 提出了一种面向移动互联网业务的新型移动通信网络架构。它通过可控可管的基站间数据直通技术, 实现业务数据流量的本地化疏导。I-Net 从网络架构的角度来应对未来业务发展的需求, 以有效增强移动网络的业务提供能力, 提高网络资源使用效率, 降低建网及维护成本。

### 参考文献

- [1] 移动互联网研究报告, Morgan Stanley, 2009.
- [2] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015, URL: [www.cisco.com/web/go/vni](http://www.cisco.com/web/go/vni).
- [3] 中国及全球移动通信市场预测. 中国联通研究院, 2011.
- [4] Internet Trends, Morgan Stanley, 2010.
- [5] 3GPP TR 23. 919, Direct Tunnel Deployment Guideline.
- [6] 3GPP TR 23. 829, Local IP Access and Selected IP Traffic Offload (LIPA-SIPTO) .
- [7] C-RAN: 无线接入网绿色演进白皮书. 中国移动研究院.



## 无线网络中的频率规划

无线电频谱是一种宝贵而又有限的资源。无线电事业的发展离不开频谱资源，无线电业务能否顺利发展取决于有没有可用的频段，国际上以及各个国家都设有管理机构来加强无线电频谱资源的管理，使有限的资源得到充分而有效的利用。

由于无线电频谱具有一般资源的共同特性，像土地、水、矿山、森林一样是具有国家所有性质的。从国际范围来说，它又是属于人类共有，人类共享的，因此它是一种特殊的自然资源。

电磁波的频谱包括红外线、可见光、X 射线的频谱，范围是相当宽的，但无线电通信所使用的频谱资源，最低可为 3kHz，最高达 3000GHz。由于受到技术上和无线电设备方面的限制，ITU 目前只划分到最高 1000GHz 范围内，而目前实用的较高的频段只是在 50GHz 左右。由于无线电波传播特性所决定，蜂窝移动通信业务一般使用 4GHz 以下的频谱。

不同的频段有不同的特性。频率越低，信号传播距离越远，但能携带的数据量小。频率越高，能携带的信息量越大，但传输距离较短，容易被树木和建筑物阻挡。在很高的频段，降雨也能阻挡无线电信号的传播。通信业务的使用的频率主要在 100MHz ~ 3GHz 范围内，该频段在传输距离和携带的信息量两方面可以进行较好的平衡。

### 8.1 2G 频率现状

从全球来看，欧洲、美洲、亚洲等使用的 2G 频段主要有



800MHz、900MHz、1800MHz。

我国第二代移动通信频率主要包括 798 ~ 960MHz 和 1710 ~ 2200MHz。798 ~ 960MHz 频段的频率分配和使用情况见表 8-1。

表 8-1 798 ~ 960MHz 频段的频率分配和使用情况

| 公网业务的频率使用情况   |          |          |        |
|---------------|----------|----------|--------|
| 业务种类          | 频率上限/MHz | 频率下限/MHz | 频宽/MHz |
| 接力机           | 798      | 806      | 8      |
| 集群通信系统        | 806      | 821      | 15     |
| 中国电信无线数据      | 821      | 825      | 4      |
| 中国电信 CDMA 网   | 825      | 835      | 10     |
| 特殊业务          | 835      | 840      | 5      |
| 无绳电话 CT2      | 840      | 843      | 3      |
| 接力机           | 843      | 851      | 8      |
| 集群通信系统        | 851      | 866      | 15     |
| 中国电信无线数据      | 866      | 870      | 4      |
| 中国电信 CDMA 网   | 870      | 880      | 10     |
| 特殊业务          | 880      | 885      | 5      |
| 中国移动 GSM 网    | 885      | 909      | 24     |
| 中国联通 GSM 网    | 909      | 915      | 6      |
| 无中心控制多信道无线电通信 | 915      | 917      | 2      |
| 广播立体声节目       | 917      | 925      | 8      |
| 中国移动 GSM 网    | 930      | 954      | 24     |
| 中国联通 GSM 网    | 954      | 960      | 6      |

我国最初分配给中国移动的 GSM 数字蜂窝的频率是 905 ~ 909MHz 和 950 ~ 954MHz，共  $2 \times 4$ MHz。后又在 1995 年发文，将 903 ~ 905MHz 和 948 ~ 950MHz，共  $2 \times 2$ MHz 的 TACS（全接入通信系统）频率划给 GSM 蜂窝系统使用。2001 年 6 月中国移动宣布模拟网全部退出运营，原 E-TACS 使用的频率继续由中国移动使用，原 TACS 系统使用的频率分配给中国移动的 GSM 网。因此实际使用中，中国移动的 GSM 数字蜂窝系统目前使用的频率是 885 ~ 909MHz 和



930 ~ 954MHz, 共  $2 \times 24$ MHz。在铁道沿线, 885 ~ 889MHz/930 ~ 934MHz 归铁道部的 GSM-R 系统使用, 到 2009 年底, 中国移动退出该频率。

1710 ~ 2200MHz 频段的频率分配和使用情况见表 8-2。

表 8-2 1710 ~ 2200MHz 频段的频率分配和使用情况

| 公网业务的频率使用情况      |          |          |        |
|------------------|----------|----------|--------|
| 业务种类             | 频率上限/MHz | 频率下限/MHz | 频宽/MHz |
| 中国移动 DCS1800     | 1710     | 1735     | 25     |
| 中国联通 DCS1800     | 1735     | 1755     | 20     |
| IMT2000 补充工作频段   | 1755     | 1785     | 30     |
| SCDMA            | 1800     | 1805     | 5      |
| 中国移动 DCS1800     | 1805     | 1830     | 25     |
| 中国联通 DCS1800     | 1830     | 1850     | 20     |
| IMT2000 补充工作频段   | 1850     | 1880     | 30     |
| IMT2000 的 TDD 方式 | 1880     | 1920     | 40     |
| PHS (实际占用)       | 1900     | 1915     | 15     |
| IMT2000 主要工作频段   | 1920     | 1980     | 60     |
| 移动卫星             | 1980     | 2010     | 30     |
| IMT2000 的 TDD 方式 | 2010     | 2025     | 15     |
| IMT2000 主要工作频段   | 2100     | 2170     | 60     |
| 移动卫星             | 2170     | 2200     | 30     |

中国移动现有移动网使用的频率主要分布在两个频段上: 800 ~ 900MHz 和 1700 ~ 1800MHz, 800 ~ 900MHz 频段上为  $2 \times 24$ MHz; 1700 ~ 1800MHz 频段上为  $2 \times 15$ MHz, 频段总和为  $2 \times 39$ MHz。

中国联通使用的陆地移动通信的频段的频率分配和使用具体情况见表 8-3。



表 8-3 中国联通使用的陆地移动通信频率使用情况

| GSM 使用的频率          |          |          |        |
|--------------------|----------|----------|--------|
| 业务种类               | 频率上限/MHz | 频率下限/MHz | 频宽/MHz |
| 中国联通 900MHz GSM 网  | 909      | 915      | 6      |
| 中国联通 900MHz GSM 网  | 954      | 960      | 6      |
| 中国联通 1800MHz GSM 网 | 1735     | 1755     | 20     |
| 中国联通 1800MHz GSM 网 | 1830     | 1850     | 20     |

由表 8-3 可以看出，中国联通的 GSM 系统使用的频率为 900MHz 频段的 909 ~ 915MHz/954MHz ~ 960MHz，共  $2 \times 6$ MHz；GSM1800 的  $2 \times 20$ MHz，即 1735MHz ~ 1755MHz 和 1830MHz ~ 1850MHz；中国联通所使用频率的总资源是  $2 \times 26$ MHz。

2008 年 5 月，工业和信息化部、发展和改革委员会和财政部联合发布《关于深化电信体制改革的通告》，宣布了我国的电信业重组，CDMA 网络归中国电信使用，相应的频率也划归中国电信，见表 8-4。

表 8-4 中国电信频率

| CDMA 使用的频率  |          |          |        |
|-------------|----------|----------|--------|
| 业务种类        | 频率上限/MHz | 频率下限/MHz | 频宽/MHz |
| 中国电信 CDMA 网 | 825      | 835      | 10     |
| 中国电信 CDMA 网 | 870      | 880      | 10     |

## 8.2 3G 频率

根据信部无 [2002] 479 号《关于第三代公众移动通信系统频率规划问题的通知》，我国的第三代移动通信频率划分如下：

主要工作频段：

- 1) 频分双工 (FDD) 方式：1920 ~ 1980MHz/2110 ~ 2170MHz。
- 2) 时分双工 (TDD) 方式：1880 ~ 1920MHz、2010 ~ 2025MHz。

补充工作频率：

- 1) 频分双工 (FDD) 方式：1755 ~ 1785MHz/1850 ~ 1880MHz。



2) 时分双工 (TDD) 方式: 2300 ~ 2400MHz, 与无线电定位业务共用, 均为主要业务, 共用标准另行制定。

卫星移动通信系统工作频段: 1980 ~ 2010MHz/2170 ~ 2200MHz。

另外, 已规划给公众移动通信系统的 825 ~ 835MHz/870 ~ 880MHz、885 ~ 915MHz/930 ~ 960MHz 和 1710 ~ 1755MHz/1805 ~ 1850MHz 频段, 同时规划为第三代公众移动通信系统 FDD 方式的扩展频段, 上、下行频率使用方式不变。已分配给中国移动、中国联通频段可按照批准文件继续用于 GSM 或 CDMA 公众移动通信系统, 若要改变为第三代公众移动通信系统体制, 须另行报批。

可见, 我国新分配给 3G 的 FDD 核心频率共有  $2 \times 60$ MHz, 补充频率  $2 \times 30$ MHz, 分配给 TDD 的核心频率 55MHz, 补充频率 100MHz。分配给 2G 的 FDD 频率共计  $2 \times 85$ MHz, 可以用做 3G 的扩展频段。

2009 年 1 月, 我国颁发了 3G 牌照, 国内 3 家运营商的频谱分配情况见表 8-5。

表 8-5 3G 频段划分情况

| 制 式          | 频段/MHz                  |
|--------------|-------------------------|
| cdma2000     | 1920 ~ 1935/2110 ~ 2125 |
| UMTS (WCDMA) | 1940 ~ 1955/2130 ~ 2145 |
| UMTS (WCDMA) | 1975 ~ 1980/2165 ~ 2170 |
| TD-SCDMA     | 1880 ~ 1920 (TDD)       |
| TD-SCDMA     | 2010 ~ 2025 (TDD)       |
| TD-SCDMA     | 2300 ~ 2400 (TDD)       |

### 8.3 LTE 频率

2007 年 10 月, 世界无线电大会确定了将 450 ~ 470MHz、698 ~ 806/862MHz、2300 ~ 2400MHz、3400 ~ 3600MHz 分配给未来的 IMT 业务使用。下面对这些频段逐一进行分析。

#### 8.3.1 450 ~ 470MHz

450 ~ 470MHz 被确定为 IMT 的新频段之一, 但这种确定不妨碍





已有业务使用该频段，亦未在《无线电规则》中确定优先权。此段频率得到了世界上很多国家的大力支持。

根据 ITU 无线电规则，在世界的 3 个区中 450 ~ 470MHz 频段均以主要业务划分给了移动业务和固定业务，而且 3 个区中的一些国家已经在此频段内部署了 CDMA450 系统。450 ~ 470MHz 频段由于其传播特性原因，特别适于实施移动通信系统（包括 IMT），对于一些发展中国家以及需要为人口密度低的地区提供经济解决方案的国家来说很重要，其特别适于在农村或人烟稀少地区以及在网络建设初期使用。

表 8-6 是 ITU-R 对 450 ~ 470MHz 频段的划分情况，D1 ~ D6 方案中均为 FDD 方式，且双工间隔均为 10MHz，与我国现有的双工间隔一致；D7 也为 FDD 方式，但双工间隔分别为 12.5MHz；D8 为全 TDD 方案；D9 为 FDD 和 TDD 混合方案，双工间隔为 15MHz。D7 ~ D9 的双工间隔与我国现有的双工间隔不一致。

表 8-6 450-470MHz 频段划分方案

| 频率分配 | 移动台发射频段/<br>MHz   | 中间频率间隔/<br>MHz | 基站发射频段/<br>MHz    | 双工间隔/<br>MHz |
|------|-------------------|----------------|-------------------|--------------|
| D1   | 450.000 ~ 454.800 | 5.2            | 460.000 ~ 464.800 | 10           |
| D2   | 451.325 ~ 455.725 | 5.6            | 461.325 ~ 465.725 | 10           |
| D3   | 452.000 ~ 456.475 | 5.525          | 462.000 ~ 466.475 | 10           |
| D4   | 452.500 ~ 457.475 | 5.025          | 462.500 ~ 467.475 | 10           |
| D5   | 453.000 ~ 457.475 | 5.5            | 463.000 ~ 467.500 | 10           |
| D6   | 455.250 ~ 459.975 | 5.275          | 465.250 ~ 469.975 | 10           |
| D7   | 450.000 ~ 457.500 | 5              | 462.500 ~ 470.000 | 12.5         |
| D8   | TDD               |                |                   |              |
| D9   | 450.000 ~ 455.000 | TDD            | 465.000 ~ 470.000 | 15           |
| D10  | 451.000 ~ 458.000 | 3.0            | 461.000 ~ 468.000 | 10           |



450 ~ 470MHz 频段的规划方案如图 8-1 所示。

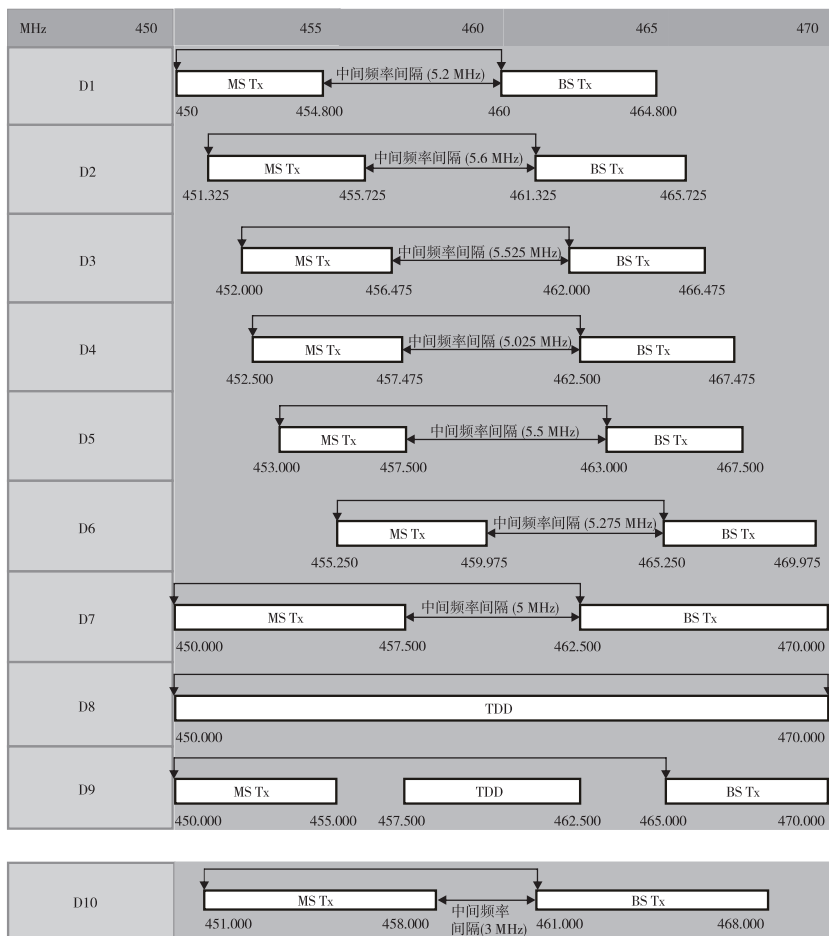


图 8-1 450 ~ 470MHz 频段规划方案图

目前我国为此频段分配了固定、移动、卫星气象等主要业务，还有航空无线电导航、无线电定位等次要业务。具体划分情况如图 8-2 所示。

其中，我国在《中华人民共和国无线电频率划分规定》（2010年版）的中国无线电频率划分脚注第 CHN28 条中指出“该频段引入



|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
| 固定<br>移动<br>[航空无线电导航]<br>[无线电定位]<br>CHN28 | 固定<br>移动<br>[航空无线电导航]<br>[无线电定位]<br>CHN28 | 固定<br>移动<br>[航空无线电导航]<br>[无线电定位]<br>CHN28 | 固定<br>移动<br>[航空无线电导航]<br>[无线电定位]<br>CHN28 | 固定<br>移动<br>卫星气象 (↑)<br>[无线电定位]<br>CHN28 |
| 450MHz                                    | 455MHz                                    | 456MHz                                    | 459MHz                                    | 460MHz 470 MHz                           |

图 8-2 我国 450 ~ 470MHz 划分

注：[ ] 表示该业务为次要业务，即“不得对其他业务造成干扰，不能要求其他业务保护”；卫星气象中 (↓) 表示空对地方向，(↑) 表示地对空方向。

的有关 IMT 应用的国际注脚，不改变移动业务在划分表中现有业务主次地位。同时，应尽快研究该频段已划分业务的应用模式、频率使用规划、业务间的兼容共存条件及协调程序。在此之前，IMT 应用不投入实际部署使用，但在 2300 ~ 2400MHz 频段，IMT 可在室内使用”。

我国目前 450 ~ 470MHz 频段频率规划是在 20 世纪 80 年代初期统筹考虑公众通信和专用通信频率需求的情况下形成的。在此频段内，既安排了农村无线接入系统，也安排了党政机关、军队、铁路、公安等部门专用通信和一些企事业单位的指挥调度系统，还有一些应急通信系统。但是 20 多年来这些系统发展比较缓慢。目前该频段的划分使用比较复杂，多种技术多种制式多个系统并存也使得该频段的频谱使用效率低下。当前具体的使用情况为

- 1) 450.5 ~ 452/460.5 ~ 462MHz：农村无线接入系统（双工）。
- 2) 454 ~ 459/464 ~ 469MHz：农村无线接入系统（双工）、专用通信和指挥调度系统（双工）。
- 3) 450 ~ 470MHz 其他频段：公众通信和专用通信系统共用（双工）。

该频段目前在国内几乎所有城区都有 25kHz 的窄带 FDD 通信系统应用。另外，近几年，在我国部分农村和地广人稀地区，如西藏地区，中国电信在此频段的农村无线接入系统开始采用 CDMA450 技



术建设网络，现在已有较大规模，并已经取得了很好的效果。农村无线接入系统为处于这些地区的人口提供了低成本、广覆盖和高效能的无线通信服务，满足了他们的通信需求。

目前，457.2 ~ 458.675MHz/467.2 ~ 468.675MHz 频率已经划分给铁路调度系统，作为重要专网使用。

由于该频段带宽窄，但是传播特性良好，适宜广覆盖、容量不大的应用层场景。当前的应用广泛涉及农村无线接入系统，党政机关、军队、公安等部门专用通信，铁路指挥调度系统，应急通信系统等，现有系统较多，此段频率无法在短期之内清理频率为 IMT 业务使用，因此在做频率规划时，需要考虑 IMT 业务的频段方案能与此段频率的铁路调度系统在较长时期内共存。由于通信技术的发展和变化，结合该段频率我国的使用现状，需要逐步对该段频率使用进行重新规划。

### 8.3.2 698 ~ 806MHz

在 WRC-2000 会议上，806 ~ 862MHz 频段已在 2 区和 3 区的国家中分配给 IMT-2000 使用，ITU-R WP8F 完成了具体频率规划，此频段成为 FDD 系统 850MHz 工作频段的上行部分（824 ~ 849MHz）。

WRC-07 会议上，790 ~ 862MHz 频段被 1 区国家划分为移动业务使用，并规划给包括 IMT-2000 在内的 IMT 系统使用。2 区的 698 ~ 806MHz、3 区的 790 ~ 806MHz 频段也规划给 IMT 系统使用，其中孟加拉国、中国、韩国、印度、日本、新西兰、巴布亚新几内亚、菲律宾和新加坡等 9 国 IMT 系统频段还向下扩展到 698 ~ 790MHz。同时规定，对该频段做此 IMT 安排不排除已划分该频段的其他业务应用使用该频段，亦不在《无线电规则》中确立优先级。

目前 2 区、3 区国家中，806 ~ 862MHz 频段已成功应用于 CDMA850、GSM850 等系统中，而 1 区国家 790 ~ 862MHz 尚未完成移动通信系统应用最终规划。在我国，825 ~ 835MHz 为 CDMA850MHz 上行工作频段。欧美已经有部署在该频段的 LTE 网络。

由于该频段在世界不同区域在业务划分、频率规划和应用时间方面不同步，待规划的移动通信频谱也不尽相同，见表 8-7。



表 8-7 全球 UHF 频段

| 区域                      | IMT 可用频率     | 备注  |
|-------------------------|--------------|---|
| 1 区 (欧洲、非洲、独联体国家、蒙古)    | 790 ~ 862MHz |   |
| 2 区 (美洲国家)              | 698 ~ 806MHz |   |
| 3 区 (亚太国家 (独联体国家、蒙古除外)) | 790 ~ 806MHz | 中国、日本、韩国、新西兰、孟加拉国、新加坡、印度、巴布亚新几内亚、菲律宾等 9 国 |

ITU 一共给出了 6 种分配方案，见表 8-8。

表 8-8 698 ~ 960MHz 频段分配方案

| 频率分配 | 对称频段分配          |                |                |              | 非对称频段<br>(如 TDD) /MHz |
|------|-----------------|----------------|----------------|--------------|-----------------------|
|      | 移动台发射<br>频段/MHz | 中间频率<br>间隔/MHz | 基站发射<br>频段/MHz | 双工间隔/<br>MHz |                       |
| A1   | 824 ~ 849       | 20             | 869 ~ 894      | 45           | 无                     |
| A2   | 880 ~ 915       | 10             | 925 ~ 960      | 45           | 无                     |
| A3   | 832 ~ 862       | 11             | 791 ~ 821      | 41           | 无                     |
| A4   | 698 ~ 716       | 12             | 728 ~ 746      | 30           | 716 ~ 728             |
|      | 776 ~ 793       | 13             | 746 ~ 763      | 30           |                       |
| A5   | 703 ~ 748       | 10             | 758 ~ 803      | 55           | 无                     |
| A6   | 无               | 无              | 无              |              | 698 ~ 806             |

目前，我国在此频段的主要业务有广播、固定、移动业务，次要业务有航空无线电导航、无线电定位业务。具体划分情况如图 8-3 所示。

我国在《中华人民共和国无线电频率划分规定》(2010 年版)的中国无线电频率划分脚注第 CHN6 条中指出，广播业务需经协调后方可使用 798 ~ 806MHz 频带。

在我国主要是模拟电视在使用，698 ~ 798MHz 为模拟电视使用，798 ~ 806MHz 为电视备用信道，在有些地方也用于中继。

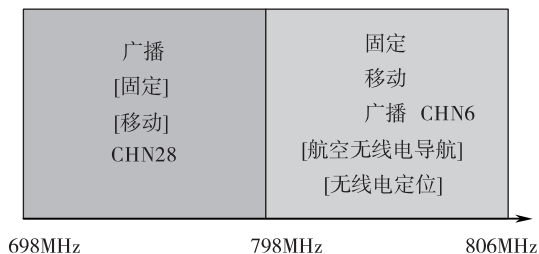


图 8-3 我国 698 ~ 806MHz 频率划分

目前，广电部门已经在全国各大城市开始部署数字电视系统（CMMB）。如北京地区已经开通了 43 频道（750 ~ 758MHz）、46 频道（774 ~ 782MHz）和 48 频道（790 ~ 798MHz）等，上海开通了 39 频道（718 ~ 726MHz）、41 频道（734 ~ 742MHz）和 49 频道（798 ~ 806MHz）。从这可以看出，我国 698 ~ 790MHz 频段目前由模拟广播电视应用使用，并规划了数字电视应用，在部分城市数字电视已经开通。

我国模拟电视总共规划了 48 个频道（其中 5 频道不能使用），其中 470 ~ 798MHz 频段共 36 个频道，当 698 ~ 806MHz 用于 IMT 后，则我国的总电视频道数将只有 35 个频道（包括 5 频道）。

从该频段的使用现状可以看出，一方面由于我国 698 ~ 790MHz 频段目前由模拟广播电视应用使用，并规划了数字电视应用，在部分城市数字电视刚刚起步。该频段我国广播业务能否退出、何时退出、退出多少等事情国内目前都没有明确，这会加大我国此频段规划的难度。另一方面与欧洲及美国相比，我国的电视频道数量明显偏低，且我国模拟电视总电视频道数量比欧洲、美国等数字电视化以后的频道数还要少。因此，我们认为可能会在很长一段时间内，广电系统会继续使用 698 ~ 798MHz 频段，IMT 系统要想应用到此频段，还需要国内运营商、厂商以及政府部门共同推动。根据《中华人民共和国无线电频率划分规定》第 5.313A 条说明在中国此频段用于 IMT 的进程不会早于 2015 年启动。虽然广电部门同意在 2015 年完成电视的模数转换之后，将退出部分频段给移动业务使用，但是



由于不同的行业利益之争，这个频段分配给移动通信使用仍存在很大的困难和不确定性。

### 8.3.3 2300 ~ 2400MHz

根据 ITU-R M. 1036 报告，2300 ~ 2400MHz 规划方案见表 8-9。

表 8-9 ITU-R 关于 2300 ~ 2400MHz 规划方案

| 频率分配 | 移动台发射频段/<br>MHz | 中间频率间隔/<br>MHz | 基站发射频段/<br>MHz | 备注  |
|------|-----------------|----------------|----------------|-----|
| E1   | 2300 ~ 2400     |                |                | TDD |

我国在 2300 ~ 2400MHz 上的频率划分情况如图 8-4 所示。

我国在 2300 ~ 2400MHz 的频率划分情况，主要有移动业务和无线电定位业务，基本上与国际上是一致的，目前该频段在我国主要应用于雷达业务。目前，政府主管部门已将 2320 ~ 2370MHz 频段分配给中国移动用于 TD-SCDMA 室内覆盖。此外，2300 ~

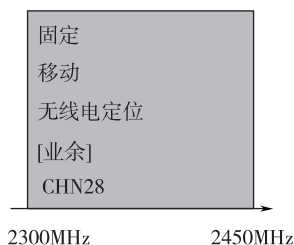


图 8-4 我国 2300-2400MHz 频段划分

2320MHz 也可能用于 TD-SCDMA 特有业务发展。经过无线电监测中心的监测，2.3GHz 频段目前的在用信号主要为少数雷达信号，在全国大多数省市未被占用。但我国有计划将 2.3GHz 频段作为雷达未来重点发展频段。TD-SCDMA/TD-LTE 室外基站部署与雷达协调面临很大困难。此外，在室内使用中，2.3GHz 高频段还需考虑与 2.4GHz WLAN 的频率的干扰问题。

由于 2300 ~ 2400MHz 频段是我国力推的全球统一 TDD 频段，在 2002 年就明确了国内的频率规划，并在 TD-SCDMA/TD-LTE 产业已先期进行了部署。2300 ~ 2400MHz 频段与目前在用的 TD-SCDMA 频段特性一致（1880 ~ 1900MHz、2010 ~ 2025MHz 以及 2320 ~ 2370MHz）。TD-LTE 设备和 TD-SCDMA 设备都能够很好地支持该频段。2300 ~ 2400MHz 频段是我国将来用于 TD-LTE 的重点频段。



### 8.3.4 2500 ~ 2690MHz

在2000年的世界无线电大会 WRC-2000 上 2500 ~ 2690MHz 频段就确定成为 IMT-2000 的扩展频段。ITU 各区域成员国家随后对该频段的使用方法进行了广泛的研究。在 WRC-07 大会上又进一步明确了将新划分和原有 IMT-2000 频段统一采用 IMT 标识, 统一用于部署 IMT-2000 和其后续演进系统, 以及 IMT-Advanced 系统使用。2500 ~ 2690MHz 频段的划分见表 8-10。

表 8-10 ITU-R 对 2500 ~ 2690MHz 频段的划分

| 频率分配 | 对称频段分配          |                |                |              | 非对称频段<br>(如 TDD) /MHz |
|------|-----------------|----------------|----------------|--------------|-----------------------|
|      | 移动台发射<br>频段/MHz | 中间频率<br>间隔/MHz | 基站发射<br>频段/MHz | 双工间隔/<br>MHz |                       |
| C1   | 2500 ~ 2570     | 50             | 2620 ~ 2690    | 120          | 2570 ~ 2620 TDD       |
| C2   | 2500 ~ 2570     | 50             | 2620 ~ 2690    | 120          | 2570 ~ 2620 FDD DL    |
| C3   | 灵活的 FDD/TDD     |                |                |              |                       |

ITU 制定的 2500 ~ 2690MHz 频段规划如图 8-5 所示。

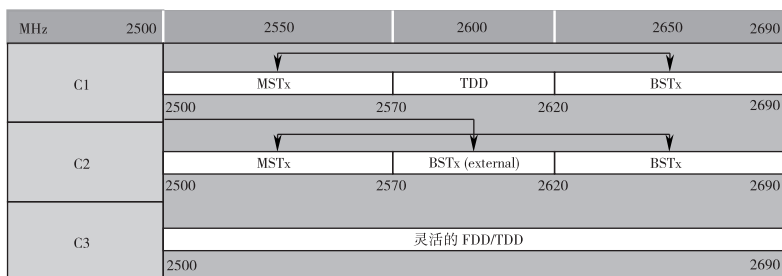


图 8-5 2500 ~ 2690MHz 频段规划

根据《无线电规则》和《中华人民共和国无线电频率划分规定》(2010年版), 2500 ~ 2690MHz 频段在世界上大部分国家均划分为固定业务、移动业务、卫星移动业务、卫星广播业务和卫星固定业务, 各区及我国的频率划分见表 8-11。





表 8-11 2500 ~ 2690MHz 频段业务情况

| I 区划分  | II 区划分  | III 区划分 | 中国划分  |
|--|---|---------|---|
| 2500 ~ 2520<br>固定<br>移动（航空移动除外）<br>卫星移动（空对地） | 2500 ~ 2520<br>固定<br>卫星固定（空对地）<br>移动（航空移动除外）<br>卫星移动（空对地） |         | 2500 ~ 2520<br>固定<br>卫星固定（空对地）<br>移动（航空移动除外）<br>卫星移动（空对地） |

我国在此频段上划分了固定、卫星固定、射电天文、无线电定位、移动（航空移动除外）和卫星广播等业务。我国具体的频率划分情况如图 8-6 所示。

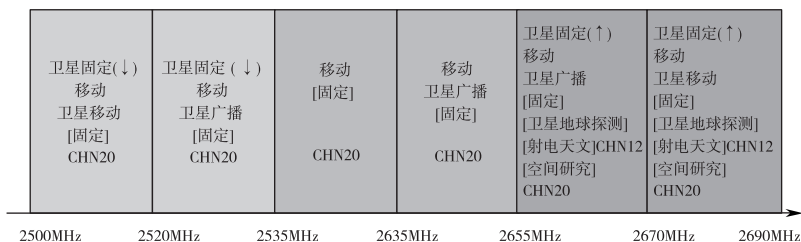


图 8-6 2500 ~ 2690MHz 频段划分图

其中，我国在《中华人民共和国无线电频率划分规定》（2010年版）的中国无线电频率划分脚注第 CHN12 条指出，2655 ~ 2690MHz 频带射电天文为主要业务，现用于北京怀柔区、江苏淮阴、贵州省黔南州、内蒙古正镶白旗。第 CHN20 条指出，自本规定颁布之日起（2010年）在该频段不得研制、生产和启用新的无线电定位业务的无线电台，现有无线电定位业务电台设备用到报废为止。在此期间，该类电台按主要业务进行干扰协调。此脚注为该频段的清理并用于移动通信提供了政策依据。

目前国际通用方案是 ITU 的 C1 方案中间 50MHz 为 TDD 使用，两边  $2 \times 70$ MHz 为 FDD 使用。我国目前已经分配了 2570 ~ 2620MHz 给 TDD 系统使用，中国移动在此频段进行了 TD-LTE 试验。我国政



府主管部门正在制定其余  $2 \times 70\text{MHz}$  的规划方案，最初有 4 种候选方案，经过征询通信产业界各方的意见，最终比较倾向国际通用的 ITU C1 方案和全 TDD 方案，如图 8-7 和图 8-8 所示。为了促进 TDD 产业和 FDD 产业的顺利发展、确保国际漫游，通信产业界大部分厂商、中国电信和中国联通都支持该频段采取与国际通用方案一致的频率规划方案。

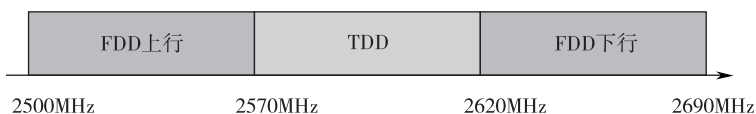


图 8-7 2.6GHz 频段国际通用划分方案



图 8-8 2.6GHz 频段全 TDD 规划方案

从我国的情况看来，政府主管部门倾向于用此频段部署 LTE，该频段用于 LTE 的可能性较大。

### 8.3.5 3400 ~ 3600MHz

ITU-R WRC-07 大会上，3400 ~ 3600MHz 频段被确定为 IMT 新规划频段之一。3400 ~ 3500MHz 频段划分给固定业务和卫星固定业务作为主要业务，同时以次要业务划分给业余和移动业务。3500 ~ 3700MHz 以主要业务划分给固定业务、卫星固定业务和移动业务（航空移动除外）。3400 ~ 3600MHz 频段规划见表 8-12。

表 8-12 3400 ~ 3600MHz 频段规划表

| 频率分配 | 对称分配            |                |                |              | 非对称分配<br>(如 TDD) /MHz |
|------|-----------------|----------------|----------------|--------------|-----------------------|
|      | 移动台发射<br>频段/MHz | 中间频率<br>间隔/MHz | 基站发射<br>频段/MHz | 双工间隔/<br>MHz |                       |
| F1   |                 |                |                |              | 3400 ~ 3600           |
| F2   | 3410 ~ 3490     | 20MHz          | 3510 ~ 3590    | 100MHz       | 无                     |



3400 ~ 3600MHz 频段的规划如图 8-9 所示。

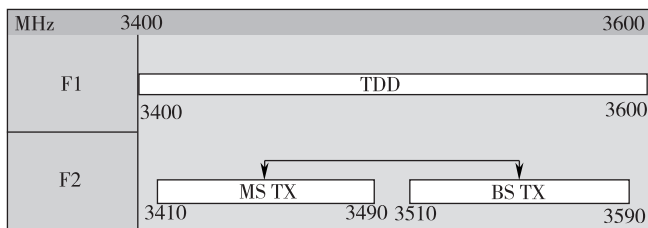


图 8-9 3400 ~ 3600MHz 频段规划

此频段业务包括无线电定位、固定和移动业务，目前主要用于卫星业务。根据《中华人民共和国无线电频率划分规定》（2010 年版），我国 3400 ~ 3600MHz 频率划分如图 8-10 所示。

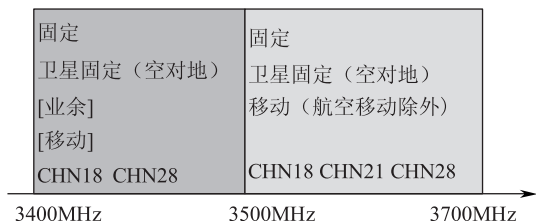


图 8-10 中国 3400 ~ 3600MHz 频谱划分

第 CHN18 条指出，现有无无线电定位业务应尽早移出 3400 ~ 3800MHz 频带，从 2005 年底起不能启用新设备，但现有设备可用至设备报废为止。

我国在 WRC-07 大会上明确表示支持 3400 ~ 3600MHz 频段作为 IMT 频段。目前这一频段在我国有卫星固定业务的主要划分，且有实际系统在轨运营。另外，根据信部无 [2000] 88 号文件要求，目前已规划 3400 ~ 3430MHz/3500 ~ 3530MHz 共  $2 \times 30$ MHz 频段用于 FDD 模式的固定无线接入 (FWA) 应用，并已通过招标评选方式将频率分配给基础电信运营商，用于部署宽带无线接入系统。但 C 频段卫星扩展频段通信系统与固定无线接入系统的频率共用需经过技术试验和电磁兼容分析的进一步验证。



鉴于我国在这一频段有卫星固定业务主要业务划分和实际系统使用,可以考虑有条件地规划该频段给 IMT 系统使用。目前我国正在研究该频段的规划方案,以及与卫星的共存,经研究,IMT 室外覆盖系统与 FSS (卫星固定业务) 系统在同一区域内较难实现频率共用。为避免 IMT 室外覆盖系统对 FSS 接收地球站造成有害干扰,两者之间需要很大的衰减隔离。IMT 室内系统与 FSS 系统在满足一定条件下可以实现共存。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国无线电频率划分规定 2010.
- [2] 信部无 [2002] 479 号“关于第三代公众移动通信系统频率规划问题的通知”.
- [3] ITU-R JTG5-6 Document 5-6/180, ITU-R JTG5-6 Chairman's Report, May, 2010.
- [4] [CG-C02] Comment to AWF UHF Correspondence Group by ETRI KT-comments.
- [5] ECC report 131, DERIVATION OF A BLOCK EDGE MASK (BEM) FOR TERMINAL STATIONS IN THE 2.6 GHz FREQUENCY BAND (2500-2690MHz), Dublin, January, 2009.
- [6] ITU-R M. 2024 : Summary of spectrum usage survey results.
- [7] ITU-R M. 2079 : Technical and operational information for identifying Spectrum for the terrestrial component of future development of IMT-2000 and IMT-Advanced.
- [8] ITU-R M. 2109 : Sharing studies between IMT Advanced systems and geostationary satellite networks in the fixed-satellite service in the 3 400-4 200 and 4 500-4 800MHz frequency bands.
- [9] the Preliminary Draft New Recommendation (PDNR) ITU-R M. [IMT. MITIGATION] : Techniques designed to increase the potential for sharing between IMT systems and FSS networks in the 3.4-3.6 GHz band.
- [10] ERO European Common Allocation, 2011.
- [11] R1-111301, Simulation results for CoMP Phase I evaluation in homogeneous network CMCC.
- [12] ITU-R DOCUMENT 8F/TEMP/559-E: Draft New Report On Sharing Stud-



ies Between IMT Advanced Systems And Geostationary Satellite Networks In The Fixed Satellite Service In The 3 400-4 200 and 4 500-4 800MHz Frequency Bands.

[13] TS 36. 104 ( V 10. 3. 0) . Evolved Universal Terrestrial Radio Access ( E-UTRA) User Equipment ( UE) radio transmission and reception ( Release 10) .

[14] 3GPP TR 36. 942 ( V 10. 2. 0) . Evolved Universal Terrestrial Radio Access ( E-UTRA) Radio Frequency ( RF) system scenarios ( Release 10) .

[15] 3GPP TR 25. 942. Radio Frequency ( RF) system scenarios.

[16] TR 36. 814 ( 9. 0. 0) . Evolved Universal Terrestrial Radio Access ( E-UTRA) Further advancements for E-UTRA physical layer aspects.

[17] GB13615-2009, 地球站电磁环境保护要求, 2009.

[18] 3GPP2 C30-20081201-023, Proposed modifications to 450MHz band class, QUALCOMM [7].

[19] TS 36. 101 ( V10. 3. 0) . Evolved Universal Terrestrial Radio Access ( E-UTRA) User Equipment ( UE) radio transmission and reception.

[20] 3GPP2 C30-20090216-xxx, Proposed modifications to 450MHz band class, QUALCOMM.

[21] ITU-R M. 1036-4, Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications ( IMT) in the bands identified for IMT in the Radio Regulations ( RR) .



# 未来无线通信网络的发展

## 9.1 本书内容回顾

本书的重点内容在于介绍无线通信网络及其演进架构，本书首先介绍了以 WCDMA、TD-SCDMA 及 cdma2000 为代表的第三代移动通信系统及其演进系统的网络架构，并介绍了 3G 在中国的发展现状；其次，介绍了以 IEEE 802.11 及 IEEE 802.16 系列网络为代表的宽带无线接入网络架构；再次，介绍了当前蜂窝移动通信系统的主流演进方向——3GPP LTE 系统，并进一步阐述了面向 4G 需求的 LTE-Advanced 系统；然后，在技术演进及业务需求的双重驱动下，提出了基带池组化新型 RAN 架构及异构网络融合架构，就其中的关键技术及面临挑战进行了阐述和分析；在介绍网络架构及其关键技术的基础上，本书还关注当前 ITU 等国际标准化组织对于无线频谱的规划内容，介绍了无线频谱在面向未来网络发展时的讨论和思考。

## 9.2 无线网络架构发展趋势分析

当前各种无线接入技术蓬勃发展，尤其是移动互联网技术的发展，使得宽带应用和移动通信相互渗透，也预示着以后无线网络的发展方向：多无线网络协作发展、网络架构趋于扁平化、网络管理和维护更加智能化、网络的业务提供能力泛在化。

针对多无线网络协作发展。在对未来先进无线通信系统的愿景描述中，无线世界研究论坛（Wireless World Research Forum, WWRF）提出了未来无线通信系统的发展趋势是宽带化、泛在化、



协作化，多种制式的网络共存、相互补充、协作工作、支持终端移动性，并逐步演化成为一个异构互连的融合网络。无线网络的异构性体现在组网方式、空中接口、网络功能、资源管理及配置方式、业务提供等方面。而 ITU-R 的建议 M. 1645 文件也阐述了未来的无线通信系统可以通过对现存系统进行功能上的融合来实现。这些现存的系统包括当前的 2.5G 系统、3G 系统、LTE 系统、游离的无线接入系统、短距离无线接入系统及其他具有高普及性和无缝接入的系统。而且这些系统能够相互共存，形成多无线接入网络共同部署的局面，如图 9-1 所示。由这些标准化组织对下一代无线移动通信系统的愿景描述和定义可以看出：未来先进的无线通信系统将不再以单一的无线接入技术的演进为标志，而是一个能够允许多无线接入系统共存，并包容不同网络采取不同演进路线的高度异构性网络。概括言之，异构性已成为当前无线接入网络的发展格局，并成为了未来先进无线通信系统的重要特征。而多无线网络间相互协作必然成为将来网络演进的趋势之一。

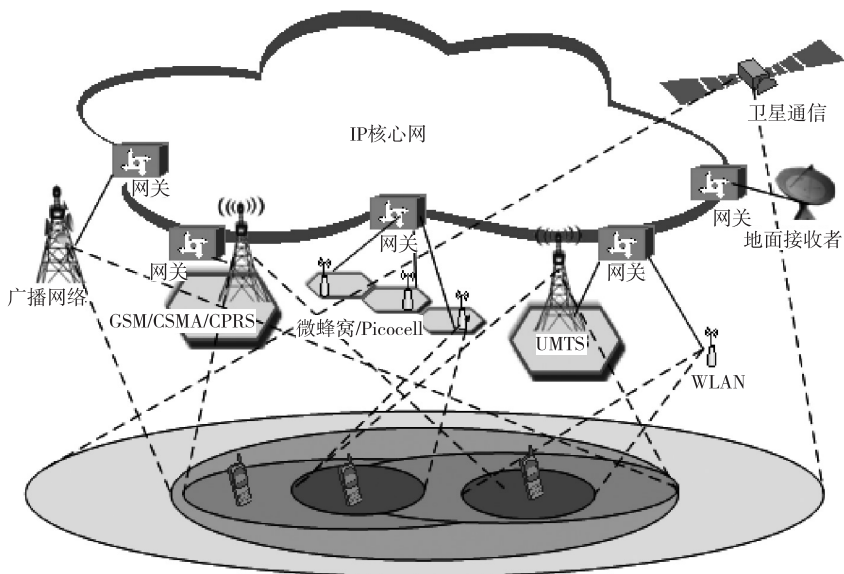


图 9-1 多无线接入网络共同部署



针对网络架构趋于扁平化。随着手机智能化、PC化，互联网业务也更多地向无线通信系统渗透，通信领域与IT进一步融合。而互联网的架构是平等的架构，并不存在过多的分层控制和集中控制，这与无线通信网络，尤其是移动通信系统的架构设计思想完全不同。为了适应互联网业务的发展，移动通信系统本身的架构需要进行调整，尽量减少网络中传输的节点，这一方面是对传输时延和维护成本的考虑，另一方面则是尽可能以开放、平台化的思维，整合移动通信系统资源，增强对网络中各分工环节的控制，从而利于运营商应对未来移动互联网业务发展的挑战。此外，通过网络架构的扁平化，能够将网络智能推向网络边缘，网络边缘设备承担越来越多的业务，实现业务部署的网络边缘化，从而推动新的业务提供和传输模式的革新。

针对网络管理智能化。由于多种无线通信技术的共存，必然会带来系统配置和系统维护的复杂度。尤其是在多网络共存、多网络融合的发展趋势之下，系统间互操作、重配置等日渐增多，智能化网络管理和维护技术的引入势在必行。如认知无线电技术、SON技术等，其引入必将增强系统对复杂环境的适应能力，能够根据外界环境的变化优化系统自身参数和结构，从而保持优良的系统性能和业务提供能力。

针对网络的业务提供能力泛在化。传统蜂窝通信网络主要解决了在任何状态下，尤其是移动状态下，人与人之间的信息交互问题。然而，随着信息化程度的进一步加深，信息通信技术向其他领域渗透的趋势更加明显，尤其是物流、交通、电力、农业等领域，信息通信技术尤其是无线通信技术的引入，极大地提升了行业效率。在这些领域中，信息通信技术的受众群体将不再以人为主体，更多的是没有生命力的物体，如家电、汽车、器械等，信息通信技术的引用主要是加强了人对物的控制和管理，并通过物与物之间的沟通促进行业的自动化和智能化。因此，对于未来的无线网络，不仅需要支持人与人之间的交流，还需要为人与物之间的互动、物与物之间的信息交互提供网络平台和业务平台，扩展传统无线通信网络的业务范围，从而具有泛在化业务的提供能力。





总而言之，不管是无线通信技术还是无线网络的发展，其最终的目的都是将科学技术转化为生产力，为人们的生活和工作服务，从而促进社会、经济的长远发展。因此，无线网络架构的研究，将更加重视“以用户的需求为中心”，从用户的业务需求促发网络结构的调整，并进一步地通过网络架构的变化诱发新技术的产生和实现。因此，网络的演进并非是封闭式的发展模式，其演进是在用户需求、业务发展、技术研究和市场需求等多种因素下驱动的结果。无论网络架构如何演进，其最终的目的还是服务用户、服务社会，而对于未来无线网络架构的评判标准，可以总结为网络架构的演进需要适应未来无线通信业务的需要，能够满足人们的通信和业务需求。

# 通信网络架构系列图书

分组城域网演进技术

物联网关键技术与应用

无线网络架构与演进趋势

演进的移动分组核心网架构和关键技术

地址：北京市百万庄大街22号

邮政编码：100037

电话服务

社服务中心：010-88361066

销售一部：010-68326294

销售二部：010-88379649

读者购书热线：010-88379203

网络服务

教材网：<http://www.cmpedu.com>

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术 / 电子技术 / 信息通信

ISBN 978-7-111-39746-5

策划编辑◎张俊红 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-39746-5



9 787111 397465 >

定价：29.00元