

移动通信前沿技术丛书

3G

长期演进技术 与系统设计

郑 侃 赵 慧 王文博 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TN929.533/50

2007

移动通信前沿技术丛书

3G 长期演进技术与系统设计

郑 侃 赵 慧 王文博 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

为了在移动通信系统保持领先的地位,2004 年底 3GPP 组织启动了关于 3G 长期演进系统(LTE 项目)的研究和标准化工作,并计划在 2007 年底发布第一个版本的系统规范。目前,该项目的标准化工作已经取得了阶段性的成果。本书就是在这样的前提下,系统介绍 3G 长期演进系统的系统设计和关键技术,内容包括 3G 长期演进系统的发展历史、基本的系统参数、空中接口上无线接入技术、基带信号处理、多天线技术,自适应技术以及无线资源管理策略等。

本书内容新颖,结构清晰,可供广大从事移动通信工作的工程技术人员参考,并可供从事相关课题研究的师生参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

3G 长期演进技术与系统设计 / 郑侃,赵慧,王文博编著. —北京:电子工业出版社,2007.9

(移动通信前沿技术丛书)

ISBN 978-7-121-04093-1

I. 3… II. ①郑…②赵…③王… III. 码分多址—移动通信—通信系统 IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 129613 号

责任编辑:张来盛 吴健秋

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.25 字数: 525 千字

印 次: 2007 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元

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

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

服务热线:(010)88258888。

前 言

伴随着移动通信网络在过去 20 年中的广泛普及, 全球语音通信业务获得了巨大的成功, 同时通信习惯也由以往的点到点演进到人与人, 个人移动通信日益受到人们的青睐。3G 技术的出现给移动通信带来了巨大的影响, 它使上网冲浪、联网游戏、远程办公等活动摆脱了场地和环境的束缚, 实现了真正的无处不在。但人们的需求并未就此停滞, 大量的市场调研和专家研究表明, 现有技术所能提供的传输速率远远不能满足未来人们的需求, 为了把握新一轮的技术浪潮, 保持在移动通信领域的领导地位, 2004 年底 3GPP 启动了关于 3G 长期演进系统 (即 3G LTE) 的研究与标准化工作。该项目计划在 2007 年 6 月完成系统设计与相应的标准化工作, 其中按照 3GPP 通用的工作流程, 项目分为两个阶段: 到 2006 年 6 月为止的 “Study Item”, 即可行性研究阶段; 随后到 2007 年 6 月项目结束之前的 “Work Item”, 即具体标准撰写阶段。3G LTE 的总体目标包括: 降低时延, 提高用户数据传输速率, 增大系统容量和覆盖范围, 降低运营成本等。为了实现上述目标, 需要改进和增强现有 3G 系统的空中接口技术和网络结构。作者密切关注无线通信领域前沿技术的发展, 本书正是在对于 3G 长期演进型系统的研究及标准化工作长期跟踪的基础上编撰完成的。

本书第 1 章介绍了 3G 长期演进型系统的提出和发展。在第 2 章, 给出了 3G 长期演进系统的需求与技术框架。第 3 章在详细阐述 OFDM 基本原理的基础上, 着重介绍了 SC-FDMA 和 OFDMA 这两种多址技术, 并结合 3G LTE 系统的技术规范说明了其在系统中的应用。第 4 章介绍了 3G 长期演进系统中的先进信道编码技术, 即 LDPC 码和卷积 Turbo 码 (CTC), 及其基本原理和具体的编译码方案。第 5 章主要介绍了 3G 长期演进系统中的多天线方案, 包括空间复用方案和发射分集方案, 并讨论了其基本结构、编码方式、接收算法等。第 6 章在讲述了自适应调制编码和混合自动重传两种基本自适应技术后, 讨论了多天线系统中的自适应技术及其应用, 如天线选择和预编码技术。第 7 章分析了 3G 长期演进系统中的新型无线资源管理架构, 并详细介绍了系统中小区间和小区内的资源分配策略。第 8 章重点介绍了基于 WCDMA 的 MBMS 以及在 3G 长期演进系统中的增强型 MBMS 业务。第 9 章对 3G 长期演进系统中的下行控制信令和上行控制信令分别做了简要介绍, 并详细讨论了控制信令的内容、资源映射、编码形式和复用方式等问题。第 10 章给出了在 3G 长期演进系统多天线仿真研究中使用的多天线系统信道建模, 以及拓展型 SCME (SCM Extension) 信道模型。

本书内容广泛, 讲解深入浅出, 可作为通信与信息类专业高年级本科生及相关专业研究生的教学用书或参考书, 也可供从事无线通信领域研发工作的工程技术人员参考。

在本书的编写过程中, 北京邮电大学电信工程学院无线通信中心的汪剑峰、龙航、范斌、汪玲、严宏中、徐慧、王方刚、陈峰、董宇、杨超、方箭、刘洋和吴欣丽做了大量的工作, 在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限, 时间仓促, 且 3G 长期演进系统的相关技术和标准还在不断的变化和完善中, 因而书中难免有不当及不足之处, 恳请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 3G 长期演进系统的产生和发展	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 3GPP LTE 工作进展及 UMTS 向未来演进	(1)
1.2.1 移动通信系统发展简史	(2)
1.2.2 3G 标准版本的演进	(3)
1.2.3 3GPP LTE 的发展	(5)
1.3 3GPP2 AIE 工作进展及 CDMA2000 向未来演进	(15)
1.3.1 概述	(15)
1.3.2 3GPP2 简介	(15)
1.3.3 3GPP2 AIE 的发展	(16)
1.4 本章小结	(20)
参考文献	(20)
第 2 章 3G 长期演进系统的需求与技术框架	(21)
2.1 引言	(21)
2.2 3G 长期演进系统的基本需求	(21)
2.2.1 目标	(21)
2.2.2 与容量相关的需求	(22)
2.2.3 系统性能需求	(23)
2.2.4 应用需求	(26)
2.2.5 E-UTRAN 结构和演进的需求	(28)
2.2.6 无线资源管理需求	(28)
2.2.7 复杂度需求	(28)
2.2.8 一般需求	(29)
2.2.9 工作历史和工作计划	(29)
2.3 3G 长期演进系统的技术框架	(31)
2.3.1 引言	(31)
2.3.2 链路级概述	(31)
2.3.3 基于 SC-FDMA/OFDMA 的系统空中接口关键特征	(36)
2.3.4 MC-WCDMA 系统空中接口的关键特征	(52)
2.3.5 MC-TD-SCDMA (TDD) 基本传输方式	(58)
参考文献	(60)

第3章 多址接入技术	(62)
3.1 引言	(62)
3.2 OFDM 技术及相关多址方式	(62)
3.2.1 OFDM 技术基础	(62)
3.2.2 OFDM/OQAM 技术	(72)
3.2.3 IFDMA	(75)
3.2.4 DFT-SOFDMA	(79)
3.3 3G LTE 系统的多址接入方式	(81)
3.3.1 下行多址接入方式	(81)
3.3.2 上行多址接入方式	(86)
3.3.3 其他多址接入方式	(92)
3.4 本章小结	(98)
参考文献	(98)
第4章 信道编码技术	(101)
4.1 引言	(101)
4.2 信道编码技术简介	(102)
4.2.1 Turbo 码与卷积 Turbo 码	(102)
4.2.2 LDPC 码	(102)
4.3 LDPC 码基本原理与编译码方案	(103)
4.3.1 LDPC 码的基本概念和表示	(103)
4.3.2 LDPC 码校验矩阵的构造	(104)
4.3.3 LDPC 码的译码算法	(106)
4.3.4 准循环 LDPC 码的应用	(113)
4.4 CTC 码编译码方案	(118)
4.4.1 CTC 编码器	(118)
4.4.2 CTC 译码器	(123)
4.5 本章小结	(137)
参考文献	(137)
第5章 MIMO 方案	(140)
5.1 引言	(140)
5.2 基于空间复用的 MIMO 方案	(140)
5.2.1 MIMO-OFDM 空间复用方案	(140)
5.2.2 上行虚拟 MIMO 方案	(143)
5.3 基于开环发射分集的 MIMO 方案	(144)
5.3.1 基于块码的方案	(145)
5.3.2 循环移位分集/循环延迟分集	(148)
5.3.3 时间切换发送分集/频率切换发送分集	(149)

5.3.4	组合型方案	(150)
5.3.5	各种开环发射分集方案的比较	(152)
5.4	复用与分集折中的 MIMO 方案	(153)
5.4.1	D-STTD 系统	(153)
5.4.2	FD-SS 空时编码	(155)
5.5	导频设计及信道估计技术	(157)
5.5.1	OFDM 系统中的信道估计算法	(157)
5.5.2	导频设计	(158)
5.6	本章小结	(162)
	参考文献	(162)
第 6 章	自适应 MIMO 技术	(165)
6.1	引言	(165)
6.2	自适应调制和编码技术	(166)
6.2.1	链路自适应数据流处理结构研究	(166)
6.2.2	DM-SS 方案与 CMC 方案的性能分析	(169)
6.3	HARQ 技术	(180)
6.3.1	HARQ 的基本概念	(180)
6.3.2	HARQ 技术在 MIMO 系统中的应用	(185)
6.4	MIMO 天线选择技术	(193)
6.4.1	天线选择的基本结构和分类	(193)
6.4.2	天线选择准则	(194)
6.4.3	天线选择系统的导频放置	(195)
6.4.4	天线选择技术的扩展	(196)
6.5	单用户预编码技术	(197)
6.5.1	基于非酉阵完全反馈的预编码技术	(198)
6.5.2	基于酉阵完全反馈的预编码技术	(206)
6.5.3	基于酉阵量化反馈的预编码技术	(207)
6.6	多用户预编码技术	(217)
6.6.1	基于码书的多用户预编码	(218)
6.6.2	基于非码书的多用户预编码	(220)
6.6.3	基于 DPC 理论的多用户预编码	(220)
6.7	本章小结	(223)
	参考文献	(224)
第 7 章	无线资源管理技术	(229)
7.1	引言	(229)
7.2	无线资源管理架构	(229)
7.2.1	概述	(229)

7.2.2	无线资源管理方式	(231)
7.2.3	通用无线资源管理 (CRRM)	(235)
7.3	小区间无线资源管理	(238)
7.3.1	小区间干扰控制	(238)
7.3.2	小区间负载均衡	(246)
7.4	动态资源分配	(250)
7.4.1	3G LTE 系统对于动态资源分配的需求	(250)
7.4.2	单载波系统中的动态资源分配	(250)
7.4.3	多载波系统中的动态资源分配	(252)
7.4.4	3G LTE 系统中的动态资源分配	(253)
7.4.5	SDMA 传输方式下的空间资源分配	(257)
7.5	切换策略	(260)
7.5.1	基本概念	(260)
7.5.2	3G LTE 系统中的切换策略	(261)
7.6	本章小结	(269)
	参考文献	(269)
第 8 章	3G 长期演进系统的 MBMS 业务	(272)
8.1	引言	(272)
8.2	基于 WCDMA 的 MBMS 业务	(272)
8.2.1	MBMS 网络架构	(273)
8.2.2	MBMS 业务规范	(276)
8.2.3	MAC 层结构	(279)
8.2.4	MBMS 信道结构	(282)
8.3	基于 3G LTE 系统的 MBMS 业务	(283)
8.3.1	E-MBMS 体系结构	(283)
8.3.2	信道结构	(284)
8.3.3	传输模式	(284)
8.3.4	E-MBMS 资源分配机制	(285)
8.4	本章小结	(287)
	参考文献	(288)
第 9 章	3G 长期演进系统的控制信令	(289)
9.1	引言	(289)
9.2	下行控制信令	(289)
9.2.1	下行控制信令分类	(289)
9.2.2	下行控制信令编码	(291)
9.2.3	资源分配	(294)
9.2.4	控制信道的复用方案	(301)

9.3 上行控制信令	(302)
9.3.1 CQI	(303)
9.3.2 ACK/NAK	(303)
9.3.3 异步随机接入	(304)
9.3.4 同步随机接入(资源请求)	(306)
9.4 控制信令研究热点及当前进展	(308)
参考文献	(309)
第 10 章 多天线信道建模	(310)
10.1 引言	(310)
10.2 链路级 MIMO 信道建模	(310)
10.2.1 空间相关信道的仿真实现	(310)
10.2.2 空间相关系数的定性描述	(312)
10.3 系统级信道建模	(315)
10.3.1 概述	(315)
10.3.2 信道的空间特征	(315)
10.3.3 信道系数的产生	(318)
10.3.4 SCM 扩展——SCME	(324)
参考文献	(327)

第1章 3G 长期演进系统的产生和发展

1.1 引言

近些年来, 移动用户对高速率数据业务的要求, 促使了移动通信系统的发展。同时新型无线宽带接入系统, 例如 WiMAX 的出现, 给 3G 系统的设备商和运营商造成了很大的压力。于是, 3GPP 首先做出积极的反应, 于 2004 年底启动了长期演进 (LTE, Long Term Evolution) 项目, 以确保 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) 技术的“长期竞争力”。3GPP2 随后跟进, 于 2005 年初启动了空中接口演进 (AIE, Air Interface Evolution) 项目。演进型 3G 技术是 3GPP LTE 和 3GPP2 AIE 项目的统称, 这项技术名为“演进”, 实则是一场技术“革命”。该标准以正交频分复用 (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 为基础, 引入了若干新技术, 使得 3G 演进系统能够提供数倍于 3G 系统的峰值速率。研究这些技术不仅可以了解今后几年宽带无线移动通信技术的发展趋势, 而且对未来 4G 技术的研究和标准化也有重要的参考意义。

本章首先回顾 3GPP 中的标准化进程, 包括移动通信系统的发展历程以及 3GPP 标准的演进过程和特点; 接着着重介绍 3G LTE 系统标准的进展情况, 并就其中的关键技术以及网络结构等方面进行介绍; 最后给出 AIE 目前的工作进展情况。

1.2 3GPP LTE 工作进展及 UMTS 向未来演进

1998 年 12 月, “第三代移动通信合作计划协定书” (The 3rd Generation Partnership Project Agreement) 的签署, 标志着第三代移动通信合作计划 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) 的正式成立。该组织合作方包括: 无线电工协会 (ARIB, Association of Radio Industries and Businesses), 中国通信标准化协会 (CCSA, China Communications Standards Association), 欧洲电信标准化协会 (ETSI, European Telecommunications Standards Institute), 电信业解决方案联合会 (ATIS, Alliance for Telecommunication Industry Solutions), 电信技术协会 (TTA, Telecommunications Technology Association), 以及电信技术委员会 (TTC, Telecommunication Technology Committee)。

3GPP 最初的工作范围是产生一些合作方支持的基于全球移动通信系统 (GSM, Global System for Mobile communication) 的核心网络和无线接入技术演进的第三代移动通信系统 (The 3rd Generation Mobile System) 方面的相关技术规范 (TS, Technical Specification) 和技术报告 (TR, Technical Report)。其中, 无线接入技术是指包括频分双工 (FDD, Frequency Division Duplex) 和时分双工 (TDD, Time Division Duplex) 两种工作方式在内的通用陆地无线接入技术 (UTRA, Universal Terrestrial Radio Access)。3GPP 的后期工作范围还包括修

订并加入对 GSM 系统的 TS 和 TR 的维护和开发, 以及多种演进的无线接入技术, 例如通用无线分组业务 (GPRS, General Packet Radio Service) 和增强数据速率的 GSM 演进 EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)。

3GPP 分为项目合作和技术规范两大职能部门。项目合作部 (PCG, Project Coordination Group) 是 3GPP 的最高管理机构, 负责全面协调工作; 技术规范部 (TSG, Technical Specification Groups) 负责技术规范制定工作, 受 PCG 的管理。3GPP 中包含 5 个 TSG: 业务和系统部 (SA, Services and System Aspects) 负责整个宽带码分多址接入 (WCDMA, Wideband Code Division Multiple Access) 体系结构和业务方面的工作, 内容包括安全性、编解码器和电信管理; 核心网络部 (CN, Core Network) 负责 GSM 和 WCDMA 系统核心网络部分的规范工作; 无线接入网络部 (RAN, Radio Access Network) 负责 WCDMA 的无线接入部分, 包括无线接入部分的体系结构和协议; GSM EDGE 无线接入网络部 (GERAN, GSM EDGE Radio Access Network) 和终端部 (T, Terminals)。

1.2.1 移动通信系统发展简史

移动通信是指通信的双方, 至少有一方在移动中进行信息交流的通信方式, 它是当今世界上最先进的通信方式之一。蜂窝式移动通信, 就正式商业运营而言, 至今也不过只有 20 多年的历史, 就其发展历程看, 大约每 10 年就更新一代, 目前正处于第二代移动通信和第三代移动通信的交接期。移动通信从第一代模拟移动通信系统开始发展至今, 主要历程如下:

- 第一代移动通信系统 (1G), 接入技术采用频分多址 (FDMA, Frequency Division Multiple Access), 并以模拟语音技术为核心, 其典型系统为美国的 AMPS (Advanced Mobile Phone Service)、北欧的 NMT (Nordic Mobile Telephone) 和英国的 TACS (Total Access Communication System);
- 第二代移动通信系统 (2G), 接入技术主要分为时分多址 (TDMA, Time Division Multiple Access) 和码分多址 (CDMA, Code Division Multiple Access) 两种, 并以数字语音传输技术为核心, 其典型系统为 GSM 和 IS-95;
- 基于 2G 与 3G 之间的过渡系统 (2.5G), 增强数据业务支持, 相对 2G 在数据的传输速率和频谱效率上有所提高, 典型系统包括 GPRS 和 EDGE;
- 第三代移动通信系统 (3G), 主流技术为 CDMA 技术, 通过增强的空中接口, 提供更高速率和宽带数据的传输, 典型系统包括 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA;
- 增强型 3G 系统 (E3G, Evolved 3G) 在原 3G 系统中增强空中接口功能, 并部分调整原 3G 系统的核心网结构, 支持更高速率和更高可靠性的数据传输, 强调提供无处不在 (连续覆盖)、高移动性、全业务 (语音和数据) 以及更高数据速率的移动通信, 具体包括高速下行链路分组接入 (HSDPA, High Speed Downlink Package Access) 和高速上行链路分组接入 (HSUPA, High Speed Uplink Package Access), CDMA2000 1xEV 以及 TD-SCDMA 的增强型技术等;
- 向 B3G 演进的系统, 以蜂窝移动通信技术为主, 多种无线技术集成应用, 提供全业务、高数据速率、覆盖连续等系统需求, 其中使用的相关技术包括: IPv6 (Internet

Protocol Version 6)、多天线技术 (MIMO, Multiple-Input Multiple-Output)、正交频分复用 (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplex) 以及智能天线技术等。

3GPP 的早期目标主要是实现 2G 到 3G 的平滑过渡, 由于目前 3G 技术已趋于成熟, 于是近期启动了最大的新技术研发项目——LTE 项目。它以 OFDM/FDMA 为核心, 和 3GPP2 AIE、WiMAX 以及最新出现的 IEEE 802.20 等有相似之处, 具有某些“4G”特征, 故也被看做是“准 4G”系统。

1.2.2 3G 标准版本的演进

3GPP 组织通过制定相关标准来实现网络的平滑过渡, 保证未来系统的后向兼容性, 并同时支持“轻松”建网及系统间的漫游和兼容。为了在满足新的市场需求下向开发商提供稳定的实施平台, 3GPP 的 3G 标准使用并行版本体制, 通过不断增添新特性来增强系统性能, 所有版本如下^[1, 2]。

1. Release 99 版本

最早出现的各种第三代无线通信规范被汇编成最初的 99 版本, 于 2000 年 3 月完成, 后续版本将不再以年份命名。

99 版本的主要内容包括新型的空中接口标准, 即 WCDMA 无线接入技术; 适于分组数据传输的协议和机制, 可支持的数据速率包括 144 kb/s, 384 kb/s 及 2 Mb/s; 其核心网仍是基于修改的 GSM 电路交换的核心网。

99 版本对 GSM 中的业务有了进一步的增强, 除了支持基本的电信业务和承载业务外, 还支持基于定位的业务 (LCS, Location Service)、号码携带业务 (MNP, Mobile Number Portability)、64 kb/s 电路数据承载、电路域多媒体业务以及开放业务结构等。

2. Release 4

R4 规范在 2001 年 3 月“冻结”, 自此以后对 R4 只允许进行必要的修正而推出修订版, 不再添加新特性, 所有 R4 规范均拥有一个“4.x.y”形式的版本号。

R4 无线网络技术规范并没有改变原网络结构, 而仅仅增加了一些接口协议的增强功能和特性, 主要包括低码片速率 TDD 支持、Node B (基站) 同步、对 Iub 和 Iur 上的 ATM AAL2 (ATM Adaptation Layer 2) 连接的 QoS (Quality of service) 优化、Iu 上无线接入承载 (RAB, Radio Access Bearer) 的 QoS 协商、Iur 和 Iub 的无线资源管理优化、WCDMA 1800/1900 以及软切换中下行链路共享信道 (DSCH, Downlink Shared Channel) 功率控制的改进等。

R4 核心网的主要特性包括电路域的呼叫与承载分离, 通过将移动交换中心 (MSC, Mobile Switching Center) 分为 MSC 服务器 (MSC Server) 和媒体网关 (MGW, Media Gateway), 使呼叫控制和承载完全分开; 支持七号信令在两个核心网络功能实体间基于不同网络的方式传输, 如基于消息传送部分 (MTP, Message Transfer Part)、网际协议 (IP, Internet Protocol) 和异步传输模式 (ATM, Asynchronous Transfer Mode) 网传输。

R4 在业务上对 99 版本做了进一步的增强, 包括支持电路域的多媒体消息业务、增强紧急呼叫业务、移动站应用执行环境 (MexE, Mobile Station Application Execution Environment)、

支持 3 类实时传真业务以及由运营商决定的阻断，即允许运营商在分组数据协议建立阶段阻断用户接入。

3. Release 5

R5 版本已在 2002 年 3 月完成，形成全套规范之后即在 2002 年 6 月完全冻结，未能及时添加到 R5 中的新特性将包含在后续版本中，所有 R5 规范均拥有一个“5.x.y”形式的版本号。

R5 完成了对 IP 多媒体子系统（IMS，IP Multimedia Subsystem）的定义，包括路由选取和多媒体会话的主要部分。R5 版本的确定为转向全 IP 网络的运营商提供了开始建设的依据。

R5 在无线接入网方面的主要特性包括通用陆地无线接入网（UTRAN, Universal Terrestrial Radio Access Network）中的基于 IP 的传输、高速下行链路分组接入（HSDPA）、RAB 增强功能、对 Iub/Iur 的无线资源管理优化、UE 定位增强功能、相同域内不同无线接入节点与多个核心网节点的连接以及其他原有 R4 的功能。

R5 在核心网方面的主要特性包括支持 MTP3 用户适配层（M3UA, MTP3-User Adaptation Layer）上的七号信令传输、IMS 业务实现、紧急呼叫增强功能、网络安全性增强以及支持 UTRAN 至 GERAN 的 Iu 和 Iur-g 的接口以实现 WCDMA 与 EDGE 的互通。

R5 在业务应用上，主要在以下几方面进行了加强：支持基于 IP 的多媒体业务、全球文本电话（GTT, Global Text Telephony）以及 Push 业务等。由于 IMS 是 R5 的一个主要特性，3GPP 技术标准组对其进行了多次讨论与研究，其目的在于完成现有电路域未能为运营商提供的多媒体业务，而不是代替现已成熟的电路域业务，从而更好地兼容 99 版本来完成系统的平滑演进。

4. Release 6

3GPP R6 版本于 2004 年 12 月份确定，这一阶段网络架构方面已没有太大的变更，主要是增加了一些新的功能特性以及对已有功能特性的增强。这些新增加的或者增强的功能包括：

- 引入 HSUPA，HSDPA 属于 R5 中的内容，主要用于对下行分组域的数据速率进行增强，而 R6 致力于 HSUPA 标准的制定，用于对上行分组域的数据速率进行增强；
- 增强多媒体广播和组播业务（MBMS, Multimedia Broadcast/Multicast Service）支持，网络需要增加广播和组播中心功能实体，同时对用户终端、接入网以及核心网均有新的需求，因此需要对空中信道、接入网和核心网接口信令进行修改；
- 支持不同工作频率的 UMTS 系统，包括 UMTS 850、UMTS 800 及 UMTS 1.7/2.1 GHz，同时增强对不同频率和不同系统间的测量；
- 支持基于分组交换（PS, Packet Switching）和 IMS 的紧急呼叫业务，改变仅电路域支持紧急呼叫业务的现状，提出 IMS 紧急呼叫业务，这对 PS 域具有一定的影响；
- 增强定位业务性能，支持 IMS 公共标识、应用伽利略卫星系统于定位业务的研究、UE 定位增强等；
- 增强无线接入网，考虑从 UTRAN 到 GERAN（GSM/EDGE 无线接入网）网络辅助

小区的改变对网络的影响、天线倾角的远端控制、增强 RAB 支持以及 Iub/Iur 接口无线资源管理的优化；

- 增加 IMS 第二阶段，在 R5 中给出的 IMS 第一阶段基础上提供新的特性支持；
- 基于不同网络 IP 连接的 IMS 互通，即 3GPP IMS 用户与 3GPP2 IMS、固网 IMS 等之间的互通；
- 支持 Push 业务，网络主动向用户 Push 内容，并根据网络和用户的能力推出多种实现方案；
- 增强安全性能，提供基于 IP 传输的网络域安全，应用 IPSec (Internet Protocol Security) 等安全技术；
- 实现无线局域网 (WLAN, Wireless Local Area Networks) 和 UMTS 的互通，用户经过 WLAN 接入时可与 UMTS 用户一样使用移动网业务，并存在多个互通层面，包括统一鉴权、计费、利用移动网提供的 PS 和 IMS 业务，同时保证在不同接入方式切换时业务不中断；
- 优先业务实现，指导电路域优先业务的实现，分组域和 IMS 优先业务将来考虑；
- 无线接入网络的共享机制，多个移动运营商可以共享接入网络，但可拥有各自独立的核心网或业务网；
- 增强 QoS 支持，提供端到端的 QoS 动态策略控制的增强功能；
- 计费管理支持 WLAN 计费、基于 IP 流的承载计费和在线计费系统；
- 无线一键通 (Poc, Push to talk over cellular)，为一键通 (PTT, Push-to-Talk) 业务提供承载能力，其应用层规范由对象管理体系 (OMA, Object Management Architecture) 制定。

5. Release 7

R7 版本主要是继续 R6 未完成的标准和业务内容，如多种 MIMO 实现技术等，支持通过电路 (CS, Circuit Switching) 域承载 IMS 语音、通过 PS 域提供紧急服务、提供基于 WLAN 的 IMS 语音与 GSM 网络电路域的互通、提供 x 数字用户线路 (xDSL, x Digital Subscriber Line) 和电缆调制解调器 (Cable Modem) 等固定接入方式，同时引入 OFDM 技术，完善 HSDPA 和 HSUPA 技术标准等。

目前 R7 标准正在制定中，随着用户对多业务需求的不断提高，WCDMA 标准在不同的版本中引入很多新业务，使业务向多样化、个性化方向发展，代表性的有虚拟归属环境概念、引入基于 IP 的多媒体业务及其他形式多样的补充业务等。

WCDMA 系统的整体演进方向为：无线接口向高速传输分组数据发展；小区结构向多层次、多制式重复覆盖方向发展；用户终端向支持多制式、多频段方向发展；网络结构向全 IP 化发展；业务向多样化、多媒体化和个性化方向发展。

1.2.3 3GPP LTE 的发展

按照 3GPP 传统工作流程，整个 3G LTE 标准化项目分为两个阶段：2004 年 12 月到 2006 年 9 月的 Study Item (简称 SI) 阶段，进行技术可行性研究，并提交各种技术研究报告；在

完成技术可行性研究的基础上，2006 年 9 月到 2007 年 9 月是 Work Item（简称 WI）阶段，进行系统技术标准的具体制定和编写，并提交具体的技术规范。完成标准制定工作后，预计在 2009 年到 2010 年会有成熟的商用产品推向市场。

LTE 项目的工作主要由 TSG RAN 工作组发起，其下的 4 个工作组分别负责关于 LTE 的具体研究工作。RAN1、RAN2 和 RAN3 3 个工作组分别负责 LTE 项目的无线接口物理层、协议和无线接入网的网络架构及接口 3 个方面的可行性研究，RAN4 工作组负责无线射频以及接入网性能评估的研究。RAN1、RAN2、RAN3 3 个工作组的研究报告，将提交给 TSG RAN 作为 LTE 研究的阶段成果，它们决定了 3GPP 内 LTE 标准化工作中的空中物理层、协议和无线网络架构的基础和方向。图 1-1 给出了 LTE 的工作时间表，其中#25 表示第 25 次会议。

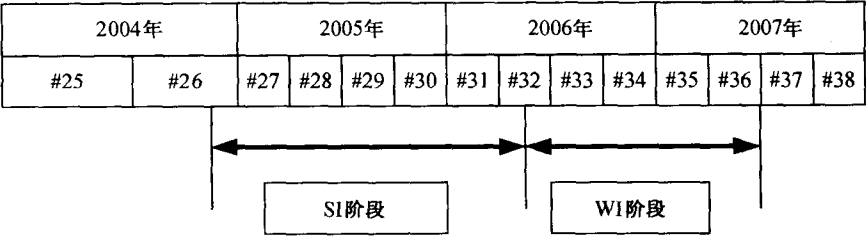


图 1-1 3G LTE 的工作时间表

3G LTE 重点考虑的方面包括降低传输时延、提高用户数据速率、增大系统容量和覆盖范围以及降低运营成本等。其需求指标主要包括：灵活支持 1.25 MHz~20 MHz 可变带宽；峰值数据率达到上行 50 Mb/s，下行 100 Mb/s，频谱效率达到 3GPP R6 的 2~4 倍；提高小区边缘用户的数据传输速率；用户面延迟（单向）小于 5 ms，控制面延迟小于 100 ms；支持与现有 3GPP 和非 3GPP 系统的互操作；支持增强型的多媒体广播和组播业务（MBMS）；降低建网成本，实现从 R6 的低成本演进；实现合理的终端复杂度、成本和耗电；支持增强的 IMS 和核心网；追求后向兼容，同时考虑性能改进和后向兼容之间的平衡；取消 CS（电路交换）域，CS 域业务在 PS 域实现，如采用 VoIP；优化低速移动用户性能，同时支持高速移动；以尽可能相似的技术支持成对和非成对频段；尽可能支持简单的临频共存。

3G LTE 的研究工作主要集中在物理层、空中接口协议和网络架构几个方面，其中网络架构方面的工作和 3GPP 系统架构演进（SAE）项目密切相关。在这里首先简单介绍 3G LTE 物理层方面的研究进展，并给出空中接口和网络架构方面的基本知识，后面的章节会对其中的关键技术进行详细说明。

1. LTE 物理层

(1) 双工方式和帧结构

目前 LTE 物理层技术的研究是基于 FDD 和 TDD 两种双工方式而展开的。

在 TDD 模式下，每个子帧可以选择作为上行或下行子帧，上下行子帧间空出若干个 OFDM 符号作为空闲（Idle）符号，以留出必要的保护间隔。为适应不同的业务特性和时延需求，子帧的结构可能不断变化。

由于 TR 25.913 对系统的临频同址共存提出了需求, 使 TDD EUTRA (Evolved-UTRA) 系统面临与 TDD UTRA 系统之间的干扰问题。为了解决这个问题, 目前 TR 25.814 考虑了两种 TDD EUTRA 帧结构: 固定 (Fixed) 帧结构和通用 (Generic) 帧结构。

a. 固定帧结构

为了能够与低码片速率 (LCR, Low Chip Rate) TDD UTRA 和高码片速率 (HCR, High Chip Rate) TDD UTRA 系统共存, 分别给出 TDD EUTRA 帧结构。

对于与 LCR TDD UTRA 共存的情况, 一个 10 ms 无线帧分为 2 个 5 ms 的无线子帧, 每个无线子帧分为 7 个数据时隙 (TS0~TS6) 和 3 个特殊时隙。每个数据时隙 (对应于 FDD 模式下的一个子帧) 长度为 0.675 ms, 3 个特殊时隙插在 TS0 和 TS1 之间, 持续时间为 0.275 ms, 分别为下行导频时隙 (DwPTS, Downlink Pilot Time Slot)、保护时隙 (GP, Guard Period) 和上行导频时隙 (UpPTS, Uplink Pilot Time Slot), 每个时隙包含一个小的空闲周期, 可用作上下行切换的保护周期。

对于与 HCR TDD UTRA 共存的情况, 使用一个持续时间为 $0.01/(15n)$ s 的 EUTRA 子帧, 其中 $n = \{1, 2, 3, \dots\}$, 当 $n=1$ 时子帧长度约等于 0.667 ms。每一个在 10 ms 无线帧内的 EUTRA 子帧将被设定为上行或者下行。

固定帧结构的最大特点是采用了和 FDD LTE 不同的子帧 (时隙) 长度, 由此导致了 LTE 的 FDD 和 TDD 模式在系统参数设计上有所不同。

b. 通用帧结构

这种方法可在尽量保持和 FDD LTE 设计参数一致的基础上满足和 TDD UTRA 系统的临频同址共存问题。这种设计的最大特点是采用了和 FDD LTE 相同的子帧长度 0.5 ms, 但由于 0.5 ms 与 LCR TDD UTRA (0.675 ms) 和 HCR TDD UTRA (0.667 ms) 的子帧长度都不相同, 要避免和 TDD UTRA 系统之间的干扰相对比较困难。通常整数个 0.5 ms 子帧的长度和与整数个 0.675 ms (或 0.667 ms) 子帧的长度和都不相等, 因此为了使 TDD EUTRA 系统和 TDD UTRA 系统的上下行切换点相互对齐, 就需要留出额外的空闲 (Idle) 间隙, 这样会损失一些频谱效率。同时, 由于 TDD UTRA 系统的上下行切换点的位置可能变化, 相对应的 TDD EUTRA 帧结构也需要随之变化。也就是说, 对不同的上下行比例, 通用帧结构中的每个子帧的起止位置都可能不同, 这也增加了系统的复杂度。

因此, 通用帧结构比较适合那些同时部署了 FDD LTE 系统而没有部署 TDD UTRA 系统的运营商, 因为这种设计可以获得与 FDD LTE 系统的更高的共通性, 从而降低系统复杂度。但对于那些已经部署了 TDD UTRA 系统的运营商, 固定帧结构是更好的选择, 因为这种结构更容易避免 TDD UTRA 和 TDD EUTRA 系统间的干扰。

(2) 多址技术的选择

3GPP 成员在讨论多址技术方案时, 主要分成两个阵营: 多数公司认为 OFDM/FDMA 技术与 CDMA 技术相比, 可以取得更高的频谱效率; 而少数公司认为 OFDM 系统和 CDMA 系统性能相当, 出于后向兼容的考虑, 应该沿用 CDMA 技术。持前一种看法的公司支持在下行采用 OFDM 技术, 但在上行多址技术的选择上又分为两种观点: 大部分厂商因为对上行应用 OFDM 时带来的较高的峰均比 (PAPR, Peak Average Power Rate) 将影响手持终端

的功放成本和电池寿命,而主张采用具有较低 PAPR 的单载波技术;另一些公司(主要是积极参与 WiMAX 标准化的公司)建议在上行也采用 OFDM 技术,并用一些增强技术解决 PAPR 的问题。经过激烈的讨论和艰苦的融合,3GPP 最终选择了大多数公司支持的方案,即下行 OFDM,上行 SC(单载波)-FDMA。

(3) 宏分集的取舍

是否采用宏分集技术是 LTE 讨论中的又一个焦点。这个问题看似是物理层技术的取舍,实则影响到网络架构的选择,对 LTE/SAE 系统的发展方向有着深远的影响。

在下行宏分集问题上各公司的看法比较一致。由于存在难以解决的“同步问题”,各公司很早就明确,对单播(Unicast)业务不采用下行宏分集。只是在提供多小区广播业务时,可以通过采用较大的循环前缀(CP, Cyclic Prefix)来解决小区之间的同步问题,从而使下行宏分集成为可能。

与下行相比,3GPP 对上行宏分集的取舍却迟迟不决。宏分集的基础是软切换,这种 CDMA 系统的典型技术在 FDMA 系统中却可能“弊大于利”。更重要的是,软切换需要一个“中心节点”(如 UTRAN 中的 RNC)来进行控制,这和大多数公司推崇的网络“扁平化”、“分散化”网络结构背道而驰。

(4) 基本参数设计

3G LTE 在数据传输延迟方面的要求很高,单向延迟需小于 5 ms。这一指标要求 3G LTE 系统必须采用很小的传输时间间隔(TTI, Transmission Time Interval)。大多数公司对于 FDD 系统的设计,建议采用 0.5 ms 的子帧长度(1 帧包含 20 个子帧)。但这种子帧长度和 UMTS 中现有的两种 TDD 技术的时隙长度不匹配,例如 TD-SCDMA 的时隙长度为 0.675 ms。如果 3G LTE TDD 系统的子帧长度为 0.5 ms,则时隙无法对齐将导致两种系统难以实现“临频共址”共存,因此 3GPP 在这个问题上形成决议:基本的子帧长度为 0.5 ms,但在和 LCR-TDD 兼容时可以采用 0.675 ms 子帧长度。虽然为了支持实时业务,LTE 的最小 TTI 长度仅为 0.5 ms,但系统在支持其他业务时,为避免由于不必要的 IP 包分割造成的额外延迟和信令开销,可以动态调整 TTI。

(5) 调制和编码

LTE 下行主要采用 QPSK、16QAM、64QAM 三种调制方式,上行主要采用位移 BPSK(p/2-shift BPSK,用于进一步降低 DFT-SOFDM 的 PAPR)、QPSK、8PSK 和 16QAM。3GPP 针对调制技术可能带来的 PAPR 问题进行了讨论,正在考虑的其他降 PAPR 技术是频域滤波的方法,另外也已明确立方度量(Cubic Metric)是比 PAPR 更准确的衡量对功放非线性影响的指标。

在信道编码方面,LTE 主要考虑 Turbo 码,但如果能获得明显的增益,也将考虑其他编码方式,如低密度校验码(LDPC, Low Density Parity Check),另外为了实现更高的处理增益,还可以考虑重复编码。

(6) 多天线技术

a. 下行 MIMO 和发射分集