

移动宽带
技术丛书

真才基 主编

TD-LTE

网络规划原理与应用

TD-LTE Network Planning Principle and Application

何剑 杨哲 等 编著

大唐无线移动创新中心
最新力作



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

移动宽带
技术丛书

TD-LTE

网络规划原理与应用

TD-LTE Network Planning Principle and Application

真才基 主编

何剑 杨哲 等 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

TD-LTE网络规划原理与应用 / 真才基主编 ; 何剑等
编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2013. 5
(移动宽带技术丛书)
ISBN 978-7-115-30410-0

I. ①T… II. ①真… ②何… III. ①码分多址移动通信—网络规划 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第029375号

内 容 提 要

本书是一本专门介绍 TD-LTE 系统组网规划技术的图书, 以实际组网应用为目的, 从组网研究的分析建模方法入手, 逐步探讨 TD-LTE 组网关键技术的影响, 最终将目标定格为讨论实际可行的网络规划方法和策略。

本书可供从事移动通信技术研究与产品开发的人员、网络规划设计工程师、网络优化工程师、运营商网络设计规划人员, 以及高等院校通信专业的师生学习参考。

移动宽带技术丛书

TD-LTE 网络规划原理与应用

-
- ◆ 主 编 真才基
编 著 何 剑 杨 哲 等
责任编辑 杨 凌
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22.5
字数: 546 千字 2013 年 5 月第 1 版
印数: 1—3 500 册 2013 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-30410-0

定价: 68.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

目 录

第 1 章 TD-LTE 系统概述	1	2.3.3 与 TD-SCDMA 的差异	42
1.1 TD-LTE 标准	1	2.4 功率控制	43
1.1.1 3GPP 概况	1	2.5 信道调度技术	44
1.1.2 TD-LTE 的标准化过程	6	2.5.1 下行	45
1.2 TD-LTE 网络架构	9	2.5.2 上行	46
1.3 TD-LTE 空口协议与信道设计	11	2.5.3 与 TD-SCDMA 的差异	47
1.4 TD-LTE 与其他系统的对比	14	2.6 小区间干扰减轻技术	48
1.4.1 TD-SCDMA	14	2.7 小区搜索	51
1.4.2 LTE FDD	15	2.8 随机接入	53
1.5 TD-LTE 的发展演进	19	第 3 章 TD-LTE 网络规划基本	
1.5.1 载波聚合技术	19	原理	57
1.5.2 中继 (Relay) 技术	20	3.1 无线网络基本特征	57
1.5.3 多天线 (MIMO) 增强	21	3.1.1 覆盖特征	57
1.5.4 小结	23	3.1.2 容量特征	73
1.6 参考文献	23	3.1.3 覆盖和容量的评价指标	85
第 2 章 TD-LTE 关键技术的		3.1.4 覆盖和容量提升方法	87
演进	25	3.2 无线网络设计的基本原理	88
2.1 多址技术	25	3.2.1 无线网络的生命周期	88
2.1.1 下行方向	25	3.2.2 无线网络规划流程	91
2.1.2 上行方向	28	3.2.3 规划输入参数需求	95
2.1.3 与 TD-SCDMA 的差异	29	3.2.4 规划输出结果需求	100
2.2 多天线技术	30	3.3 参考文献	102
2.2.1 下行	30	第 4 章 无线系统建模	103
2.2.2 上行	37	4.1 业务特性建模	106
2.2.3 与 TD-SCDMA 的差异	37	4.1.1 业务 QoS 要求	112
2.3 链路自适应技术	38	4.1.2 业务的空口支持速率	
2.3.1 AMC	38	要求	116
2.3.2 HARQ	39	4.2 组网场景建模	117

4.2.1	拓扑结构模型	117	6.4.2	矢量信道模型	170
4.2.2	业务特征模型	122	6.5	射线跟踪模型	178
4.2.3	移动性模型	123	6.5.1	射线跟踪模型原理	178
4.2.4	无线传播环境模型	124	6.5.2	射线跟踪在网络规划中的 应用	179
4.2.5	主要组网场景划分	126	6.6	参考文献	180
4.3	网元功能建模	126	第 7 章 系统仿真方法		181
4.3.1	物理层建模	126	7.1	静态系统仿真建模	181
4.3.2	媒体接入层建模方法	129	7.1.1	应用需求	181
4.3.3	无线资源控制层建模 方法	130	7.1.2	流程设计	182
4.3.4	应用层建模方法	132	7.1.3	接口形式及提取方法	186
第 5 章 天线建模		134	7.1.4	接口应用及评估方法	187
5.1	天线基础	134	7.2	动态系统仿真建模	188
5.1.1	天线增益	134	7.2.1	应用需求	188
5.1.2	方向图	135	7.2.2	流程设计	189
5.1.3	极化方向	136	7.2.3	接口形式及提取方法	192
5.1.4	天线参数	138	7.2.4	接口应用及评估方法	195
5.1.5	多天线技术	140	7.3	半静态系统建模	195
5.2	天线形态	141	7.3.1	应用需求	195
5.2.1	基站天线形态	141	7.3.2	流程设计	196
5.2.2	终端天线形态	143	7.3.3	接口形式及提取方法	196
5.3	天线建模	145	7.3.4	接口应用及评估方法	197
5.3.1	单天线建模	145	第 8 章 TD-LTE 无线参数规划		199
5.3.2	天线阵列建模	148	8.1	帧结构配置规划	199
5.4	参考文献	152	8.1.1	帧结构配置的规划	199
第 6 章 无线信道建模		153	8.1.2	特殊子帧配置的规划	200
6.1	无线信道传播原理	153	8.1.3	举例	200
6.2	无线信道衰落特点及分类	154	8.2	TD-LTE 网络频率规划	203
6.2.1	大尺度衰落	155	8.3	TA List 规划	204
6.2.2	小尺度衰落	155	8.3.1	TA 相关概念	204
6.2.3	移动多径信道参数	155	8.3.2	TA List/TA 规划方法	205
6.3	大尺度衰落信道建模	158	8.4	PCI 规划	206
6.3.1	COST231 路损模型	158	8.4.1	物理信道对 PCI 的 约束	206
6.3.2	IMT-2000 路损模型	162	8.4.2	PCI 规划原则	211
6.3.3	IMT-Advanced 路损 模型	164	8.5	信道参数规划	211
6.3.4	SPM 校正路损模型	168	8.5.1	PHICH	211
6.4	小尺度衰落信道建模	168	8.5.2	PCFICH	216
6.4.1	标量信道建模	169	8.5.3	PRACH	217

8.5.4	PUCCH	222	10.1.4	业务负荷	282
8.5.5	SRS	231	10.2	控制信道链路预算	284
8.6	下行功率规划	235	10.2.1	流程	284
8.6.1	概述	235	10.2.2	下行控制域负荷折算	285
8.6.2	CRS 信号功率分配		10.2.3	上行控制信道负荷	
	方法	237		折算	289
8.6.3	PSS、SSS 信号功率分配		第 11 章	系统间共存干扰	
	方法	240		分析	291
8.6.4	PBCH 信道功率分配		11.1	系统间共存干扰原理	291
	方法	240	11.1.1	干扰的产生	291
8.6.5	PCFICH 信道功率分配		11.1.2	干扰的分类	293
	方法	240	11.2	系统间共存干扰场景	297
8.6.6	PHICH 信道功率分配		11.2.1	拓扑类型	297
	方法	241	11.2.2	干扰类型	298
8.6.7	PDCCH 信道功率分配		11.3	系统间共存指标	302
	方法	241	11.4	系统间共存干扰分析与	
第 9 章	TD-LTE 无线网络容量	243		计算	302
9.1	峰值速率	243	11.4.1	计算原理	302
9.1.1	理论峰值速率计算		11.4.2	确定性计算方法	304
	方法	243	11.4.3	蒙特卡罗仿真方法	307
9.1.2	瞬时峰值速率计算		11.5	系统间共存实例	308
	方法	250	11.5.1	确定性计算实例	308
9.2	频谱效率	251	11.5.2	蒙特卡罗仿真实例	310
9.2.1	频谱效率的定义	251	第 12 章	无线网络规划实例	314
9.2.2	吞吐量的评估	252	12.1	网络需求分析	314
9.3	接入用户容量	253	12.1.1	规划区域和目标	314
9.3.1	高层协议开销	254	12.1.2	业务和话务模型	
9.3.2	物理层协议开销	263		选择	316
9.3.3	单业务用户容量	268	12.1.3	天线模型选择	317
9.3.4	混合业务用户容量	270	12.2	网络预规划	319
9.4	寻呼用户容量	271	12.2.1	覆盖估算实例	320
9.4.1	寻呼过程	271	12.2.2	容量估算实例	323
9.4.2	寻呼容量	275	12.2.3	网络规模估算实例	325
第 10 章	TD-LTE 无线网络		12.3	小区规划	325
	覆盖	278	12.3.1	站址规划和自动 RF	
10.1	业务信道链路预算	278		规划	325
10.1.1	流程	278	12.3.2	无线勘察与站址更新	328
10.1.2	下行资源组合配置	281	12.3.3	无线信道参数规划	330
10.1.3	上行资源组合配置	282	12.3.4	PCI 规划	330

12.3.5 邻区规划	331
12.4 网络仿真分析	331
12.4.1 地理化形式仿真分析	333
12.4.2 系统级仿真结果分析	334
12.5 小结	335

第 13 章 附录：动态云平台 (DCP)	337
13.1 云平台架构	337
13.2 功能说明	338
缩略语	341

第 1 章

TD-LTE 系统概述

1.1 TD-LTE 标准

1.1.1 3GPP 概况

3GPP 成立于 1998 年年底，全称是 The 3rd Generation Partnership Project，即第三代合作伙伴计划。3GPP 由世界各地的标准化组织构成，目前 3GPP 的成员有无线工业与商业协会（ARIB，Association of Radio Industries and Business）、中国通信标准化协会（CCSA，China Communications Standards Association）、欧洲电信标准协会（ETSI，European Telecommunications Standards Institute）、电信工业解决方案联盟（ATIS，Alliance for Telecommunication Industry Solution）、电信技术协会（TTA，Telecommunications Technology Association）和电信技术委员会（TTC，Telecommunications Technology Committee），其中 CCSA 来自中国、ETSI 来自欧洲、ATIS 来自美国、TTA 来自韩国、ARIB 和 TTC 来自日本。

3GPP 成立的初衷是输出针对第三代移动通信系统的技术规范和技术报告，主要面向基于全球移动通信系统（GSM，Global System for Mobile communications）核心网络而演进来的第三代移动通信系统，即宽带码分多址（WCDMA，Wideband Code Division Multiple Access）或全球移动电信系统（UMTS，Universal Mobile Telecommunications System），包括频分双工（FDD，Frequency Division Duplex）模式和时分双工（TDD，Time Division Duplex）模式。后来，3GPP 又承担了 GSM 系统技术规范和技术报告的维护和开发工作，包括通用分组无线业务（GPRS，General Packet Radio Service）、GSM 演进的增强型数据速率（EDGE，Enhanced Data rates for GSM Evolution）等。

由中国大唐电信集团代表中国向国际电信联盟（ITU，International Telecommunication Union）提交的时分同步码分多址（TD-SCDMA，Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access）技术提案于 2000 年 5 月被 ITU 批准为第三代移动通信国际标准，并于 2001 年 3 月被 3GPP 接纳。TD-SCDMA 作为一种低码片速率的 TDD 模式，即低码片速率 TDD（LCR TDD，Low Chip Rate TDD），在 3GPP 中进行技术规范和技术报告的开发和维护，而 WCDMA 系统中的 TDD 模式则被称为高码片速率 TDD（HCR TDD，High Chip Rate TDD）。

2004 年年底，3GPP 分别启动了长期演进（LTE，Long-Term Evolution）和系统结构演进（SAE，System Architecture Evolution）的标准化研究工作。需要注意的是，LTE 和 SAE 最初

都是 3GPP 的项目名称，LTE 对应的是 3GPP UMTS 系统无线接入网络的长期演进项目，其目的是研究新的无线接入系统，即演进的全球陆地无线接入网络（E-UTRAN，Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network）；SAE 对应的是 3GPP 核心网络的长期演进，其目的是定义一个新的全因特网协议（IP，Internet Protocol）分组核心网，即演进的分组核心网（EPC，Evolved Packet Core）。E-UTRAN 和 EPC 一般又合称为演进的分组系统（EPS，Evolved Packet System）。

1.1.1.1 3GPP 背景信息

3GPP 的组织架构如图 1-1 所示，它由 1 个项目协调组（PCG，Project Co-ordination Group）、4 个技术规范组（TSG，Technical Specification Group），以及多个工作组（WG，Working Group）构成。

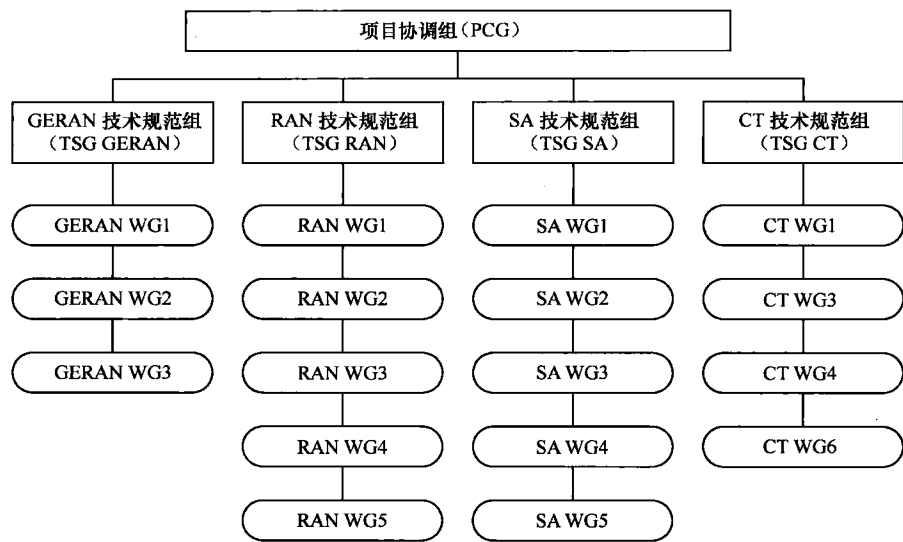


图 1-1 3GPP 组织架构

其中，GSM EDGE 无线接入网络（GERAN，GSM EDGE Radio Access Network）技术规范组主要负责 GSM、EDGE 无线接入网络的标准化工作，具体包括以下几个。

- （1）GERAN WG1：负责 GERAN 的射频规范、负责 GERAN 内部接口规范、负责 GERAN 的无线性能和射频系统规范、负责 GERAN 基站的一致性测试规范、负责 GERAN 节点中与 GERAN 相关的操作维护规范。
- （2）GERAN WG2：负责 GERAN 物理层之上协议，具体包括数据链路层、无线链路控制（RLC，Radio Link Control）层、媒质接入控制（MAC，Medium Access Control）层协议以及这些层与物理层之间的接口。
- （3）GERAN WG3：负责 GERAN 终端的一致性测试规范。

无线接入网络（RAN，Radio Access Network）技术规范组主要负责定义全球陆地无线接入（UTRA，Universal Terrestrial Radio Access）和演进的全球陆地无线接入（E-UTRA，Evolved Universal Terrestrial Radio Access）网络的功能、特性以及接口，包括 FDD 和 TDD 两种模式。WCDMA、TD-SCDMA 以及 LTE 的标准化工作基本上都是在 RAN 技术规范组完成的。具体

的，RAN 技术规范组的各个小组分别负责：

(1) RAN WG1：负责 UE 与 UTRAN、E-UTRAN 以及后续演进系统之间无线接口的物理层规范，同时 RAN WG1 还处理用户设备（UE，User Equipment）能力相关的物理层以及用于 UE 测试的物理层参数。

(2) RAN WG2：负责无线接口结构与协议，包括 MAC、RLC 以及分组数据汇聚协议（PDCP，Packet Data Convergence Protocol），无线资源控制协议的标准化，无线资源管理策略以及物理层向高层提供的服务。

(3) RAN WG3：负责全球陆地无线接入网络（UTRAN，Universal Terrestrial Radio Access Network）和 E-UTRAN 的整体结构，以及无线网络控制器（RNC，Radio Network Controller）与核心网之间的接口 Iu、RNC 之间的通信接口 Iur、节点 B 与 RNC 之间的接口 Iub、E-UTRAN 节点 B 与 EPC 之间的接口 S1 和 E-UTRAN 节点 B 之间的接口 X2 接口协议的标准化。

(4) RAN WG4：RAN WG4 工作涉及 UTRAN/E-UTRAN 的射频方面。RAN4 进行不同射频系统情况的仿真，获得传输和接收参数、信道解调的最小需求。一旦确定下来这些需求，工作组将定义用于基站验证的测试流程。同时，RAN4 也制定其他无线单元的需求，例如中继。

(5) RAN WG5：RAN WG5 工作涉及 UE 无线接口的一致性测试规范。这些测试规范基于其他工作组定义的需求，比如 RAN WG4 定义的无线测试例、RAN WG2 和核心网络以及终端（CT，Core Network & Terminals）WG1 定义的信令和协议测试例。RAN WG5 又被划分为 2 个子组，即射频子组和信令子组。

业务和系统（SA，Service & Systems Aspects）技术规范组负责基于 3GPP 规范的系统整体结构和业务能力，具体包括以下几个。

(1) SA WG1：SA WG1 工作涉及 3G 系统的业务和特性。工作组制定全系统的高层次需求，并在阶段 1 的描述中以规范和报告的形式提供。包括：定义业务和特性需求，业务框架，业务的标准化（阶段 1），业务能力的标准化（阶段 1），识别技术和运营问题以面对市场、计费等需求。

(2) SA WG2：SA WG2 负责开发 3GPP 网络的阶段 2 工作。基于 SA1 确定的业务需求，SA2 鉴别网络的主要功能和实体，以及这些实体如何连接在一起，信息如何交换。SA2 的输出用于阶段 3，负责定义精确消息格式的工作组的输入。注意，无线接入网的阶段 2 由 RAN 技术规范组负责。SA WG2 具有全系统视角，用来决定一项新功能如何与现有网络实体整合在一起。

(3) SA WG3：SA WG3 负责 3GPP 系统的网络安全标准化工作，进行系统潜在安全威胁的分析，主要考虑基于 IP 业务和系统所带来的新威胁，同时进行 3GPP 全系统的安全需求设置。SA WG3 的目的在于提供至少与第二代数字系统（比如 GSM）相同等级的安全性和机密性，并且需要进一步完善使其在任何情况下都要具有可行性。SA WG3 还负责对正在开发的新业务进行安全分析。

(4) SA WG4：SA WG4 处理语音、音频、视频以及多媒体的编码规范，包括电路交换和分组交换环境。SA WG4 还负责质量评估、端到端性能以及现存移动和固定网络之间的互操作（从编码角度）。

(5) SA WG5：SA WG5 对 3G 系统的管理框架以及需求进行规定，发布电信管理网络

(TMN, Telecom Management Network) 的结构描述, 并协调其他规范组进行 3G 系统电信管理相关的标准化工作。

CT 技术规范组负责对终端接口、能力和 3GPP 系统的核心网部分进行规范, 具体包括:

(1) CT WG1: CT WG1 负责制定终端设备核心网层 3 部分的无线协议, 以及 Iu 参考点的核心网侧的规范。

(2) CT WG3: CT WG3 负责定义电路和分组数据业务的无线承载能力, 定义 UMTS 公共陆地移动网络 (PLMN, Public Land Mobile Network) 与外部网络中终端设备之间必要的互操作功能, 并负责 UMTS 核心网中的端到端服务质量 (QoS, Quality of Service)。

(3) CT WG4: CT WG4 重点在于对如下内容进行标准化: 辅助业务、基本呼叫过程、核心网中的移动性管理、独立承载结构、网络实体之间的普通分组无线业务、自由操作的代码转换、移动网定制应用增强逻辑、普通用户配置文件、无线局域网 (WLAN, Wireless Local Area Network) 与 UMTS 之间的互操作、以及 IP 多媒体子系统。CT WG4 同样负责一些 IP 相关协议的管理。

CT WG6: CT WG6 负责 3GPP 智能卡应用及其与移动终端接口之间测试规范的部署与维护, 包括 2G 系统使用的 GSM 用户标识模块 (SIM, GSM Subscriber Identity Module) 卡, 3GPP 系统使用的全球用户标识模块 (USIM, Universal Subscriber Identity Module) 卡, 以及即时消息业务标识模块 (ISIM, IM Services Identity Module) 卡。

其中, CT WG2、CT WG5 工作组曾经存在, 但是目前已经关闭或者迁移到其他组织。

3GPP 使用统一的标准版本序列, 在 3GPP R99 版本之前, 根据年份来命名标准的版本, 但是在 R99 之后, 就不再按照年份来命名版本了, 而是使用新的数字编号方式来命名, 从 R4 编号, 依次顺序递增到目前的 R10 版本。3GPP 的每个版本都对应着一定的特征, 可以通过 http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/ 下载查找每个版本所包含的内容。

按照 3GPP 的工作流程, 标准制定一般分为 2 个阶段: 研究阶段和工作阶段。研究阶段对应于 3GPP 的研究项目 (SI, Study Item), 研究阶段主要进行可行性研究、输出技术报告 (TR, Technical Report), 对应的文档以 TR 标识。工作阶段对应于 3GPP 的工作项目 (WI, Work Item), 工作阶段即实质上的标准制定阶段, 输出技术规范 (TS, Technical Specification), 对应的文档以 TS 标识。

3GPP 的输出文档除了用 TS 和 TR 标识之外, 还有两个数字规范编号, 以 aa.bb 或 aa.bbb 的形式进行维护, 比如 09.02 或 29.002, 其中前两位数字 aa 表示标准系列。3GPP 标准系列与不同 3GPP 系统和规范主题之间的对应关系见表 1-1。

表 1-1 3GPP 标准系列与 3GPP 系统和规范主题之间的对应关系

规范主题	3G 以及后 3G 系统 GSM(R99 及 R99 之 后的版本)	GSM (R4 及 R4 之后 的版本)	GSM(R4 之前的版本)
需求	21 系列	41 系列	01 系列
业务 (阶段 1)	22 系列	42 系列	02 系列
技术实现 (阶段 2)	23 系列	43 系列	03 系列

续表

规范主题	3G 以及后 3G 系统 GSM(R99 及 R99 之 后的版本)	GSM(R4 及 R4 之后 的版本)	GSM(R4 之前的版本)
信令协议 (阶段 3) /用户设备到网络	24 系列	44 系列	04 系列
无线	25 系列	45 系列	05 系列
多媒体编码	26 系列	46 系列	06 系列
数据	27 系列	—	07 系列
信令协议 (阶段 3) /基站系统与核心网之间	28 系列	48 系列	08 系列
信令协议 (阶段 3) /固定网络之间	29 系列	49 系列	09 系列
程序管理	30 系列	50 系列	10 系列
SIM/USIM、IC 卡、测试等	31 系列	51 系列	11 系列
操作维护管理与执行, 计费	32 系列	52 系列	12 系列
接入需求与测试规范	—	13 系列	13 系列
安全	33 系列	—	—
UE 及 (U) SIM 测试规范	34 系列	—	11 系列
安全算法	35 系列	55 系列	—
LTE 及 LTE-Advanced 无线技术	36 系列	—	—
多无线接入技术	37 系列	—	—

3GPP 输出的标准文档都有一个版本号, 使用 x.y.z 3 位来表示, 根据这些版本号可以知道该文档当前的状态。x 代表文档的稳定性, y 代表文档的主要修改, z 代表文档编辑性的修改。对于 x, 如果是 1, 表示该文档还处于早期的起草阶段, 还不能用于设备开发。如果 x 是 2, 则说明该文档已经被批准通过了。如果 x 大于 2, 则说明该文档通过了并且处于修改控制阶段, 此时 x 的具体取值与该协议的标准版本号对应, 具体的: 3 表示 R99, 4 表示 R4, 5 表示 R5, 以此类推。

通过 3GPP 网站可以查找到所有 3GPP 发布的协议规范, 具体链接为: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/>。

1.1.1.2 3GPP 标准演进路线

3GPP 标准遵循着如图 1-2 所示的标准演进路线。可以看出, WCDMA 和 TD-SCDMA 在 LTE 阶段进行了融合, 使得 LTE 既保留了两种双工系统的优势, 又最大限度地保持了两标准上的一致性, 从而更有利于产业化的推进。其中, WCDMA 中的 FDD 模式, 演进到 LTE 中的 FDD 模式, 一般也称为 LTE FDD; TD-SCDMA 演进到 LTE 中的 TDD 模式, 一般称为 TD-SCDMA 长期演进 (TD-LTE, TD-SCDMA Long-Term Evolution)。

3GPP 使用同一个标准版本序列, 把这上述多个标准体系融合在一起。其中, WCDMA 系统从 R99 版本发布到现在, 已经经历了 8 个版本; TD-SCDMA 系统的第一个版本是 R4 版本, 目前已经经历了 7 个版本; 而 LTE 系统的第一个版本是 R8, 到目前为止也已经经历了 3

个版本。

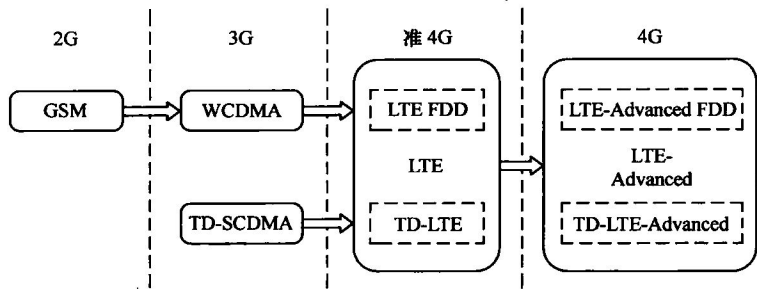


图 1-2 3GPP 标准体系演进路线

需要特别说明的是，LTE 作为 WCDMA 和 TD-SCDMA 的后续演进系统，虽然在版本上延续了 WCDMA 和 TD-SCDMA 的标准版本序列，但是它与 WCDMA 和 TD-SCDMA 的兼容性已经很小，可以作为一个独立的系统去运营。同时，在 R8 之后，WCDMA、TD-SCDMA 和 LTE 是作为 3 个系统分别进行特性的添加和版本的升级。

3GPP 标准的不同版本在 RAN 侧的主要特征如图 1-3 所示。

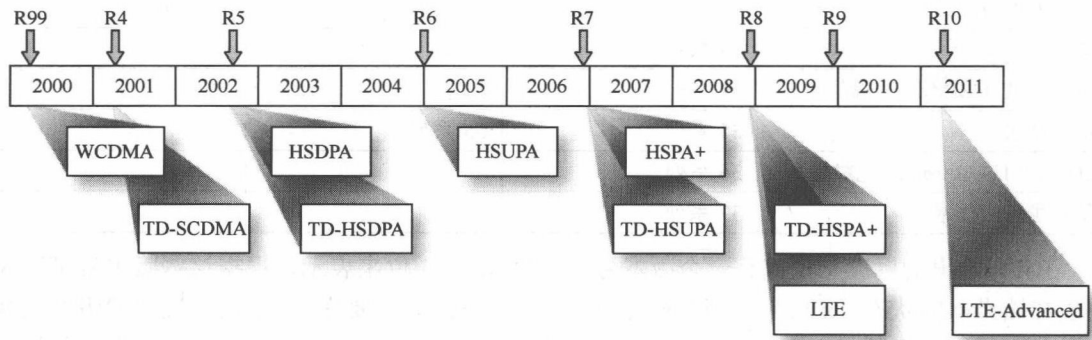


图 1-3 3GPP 标准版本演进路线

1.1.2 TD-LTE 的标准化过程

为了应对来自世界范围微波接入互操作（WiMAX，Worldwide Interoperability for Microwave Access）的市场压力，以及为 ITU 4G 标准技术征集做准备，2004 年年底 3GPP 启动了 LTE 研究项目。LTE 即 Long-Term Evolution，其意在表示 LTE 是 3G 标准的一个长期演进而非简单的技术增强，其目的是为了保证 3GPP 标准在更长时间内的竞争力。LTE 的主要目标是完成 3GPP 空口技术向支持高速数据速率、低时延以及针对分组业务优化的空口技术的演进，这使得 LTE 支持了更大的传输带宽、采用了正交频分复用（OFDM，Orthogonal Frequency-Division Multiplexing）和多输入多输出（MIMO，Multiple-Input Multiple-Output）等技术。

LTE 的标准化进程大致可以划分为 4 个阶段。

(1) 第 1 阶段：需求讨论阶段

2005 年 6 月，3GPP 完成了 LTE 的需求讨论阶段，形成了 LTE 需求报告 TR 25.913V7.0.0[1]。

(2) 第 2 阶段：研究阶段

2005 年 6 月至 2006 年 6 月是 LTE 的研究阶段，这个阶段完成了 LTE 的可行性研究报告

TR 25.912V7.0.0[2]、物理层部分的研究报告 TR 25.814V7.0.0[3]，以及无线接口部分的研究报告 TR 25.813V7.0.0[4]。

（3）第3阶段：标准化阶段

2007年3月，3GPP完成了LTE标准化阶段2的工作，形成了LTE系统的整体描述报告 TS 36.300V8.0.0[5]。2008年年底，完成了LTE R8版本的大部分标准化工作，其中LTE物理层标准部分冻结，其余部分于2009年3月冻结，并正式发布。

（4）第4阶段：LTE优化和LTE增强阶段

LTE标准化的第4阶段，存在两个并行的分支，分别进行LTE的优化工作和LTE标准的进一步增强工作。其中LTE优化工作，从2009年开始，即LTE R9的工作，为期1年，主要为了解决LTE R8的一些遗留问题以及进行局部的优化工作。LTE的增强，即LTE-Advanced，于2008年3月启动，其主要目标是满足ITU针对IMT-Advanced的需求，支持更大的带宽和更高的频谱效率，对室内以及热点地区进行优化，进一步改善小区边缘用户的吞吐量。LTE-Advanced已经完成了研究阶段的工作，具体标准化工作在2011年第一季度完成。

TD-LTE标准的提出，主要是为了解决TD-SCDMA的后续演进问题，提升TDD标准的竞争力。

在2004年3GPP LTE标准项目启动之后，以大唐电信集团为主的中国公司就开始考虑如何提出基于TDD技术的长期演进标准，并于6月的3GPP LTE专题会议上提出了物理层分别基于多载波TD-SCDMA和TDD OFDM的两套空中接口解决方案。

这两个方案都是基于TD-SCDMA的演进来设计的，前者更多地考虑与TD-SCDMA的兼容性和共存；后者则更多的是全新的物理层设计，并在一定程度上考虑了与TD-SCDMA系统的共存，同时最大程度上对TDD系统的性能进行优化。经过与会代表数轮的相互澄清和激烈辩论，大唐电信集团提出的两套解决方案和其他4个解决方案被接受，并一起作为LTE的候选方案写入到LTE研究阶段初期的技术报告TR 25.814V0.1.1[6]中。

中国提出的这两个解决方案分别基于码分多址（CDMA，Code Division Multiple Access）和正交频分多址（OFDMA，Orthogonal Frequency-Division Multiple Access）两种不同的多址技术。随着LTE的多址技术的最终确定，在2006年11月的韩国会议上，基于TD-SCDMA帧结构的TDD OFDM的解决方案作为LTE的TDD方式被3GPP正式接受。需要说明的是，作为LTE研究阶段的输出，还有另外一种基于TDD技术的解决方案被接受。两者的主要差别是其帧结构的不同，分别称为TDD类型1和TDD类型2，如图1-4所示。

其中，对于TDD类型1，其帧结构与FDD基本相同，通过对下行子帧进行截短来创造保护时隙进行下行到上行的切换；对于TDD类型2，其帧结构与TD-SCDMA基本相同，保留了下行导频时隙（DwPTS，Downlink Pilot Time Slot）、上行导频时隙（UpPTS，Uplink Pilot Time Slot）以及保护时隙（GP，Guard Period）这些特殊时隙，GP用于下行到上行的切换，每个时隙的后面预留了一段时隙间隔，用于灵活地分配上行到下行的切换点。

可以看出，在LTE研究阶段存在一种基于FDD帧结构，以及两种基于TDD帧结构的解决方案。由于通信领域的国际大公司支持FDD为主，对TDD标准相对不够重视；而关注TDD的公司，又因为存在两种不同实现方式，导致研究力量过于分散，因而很难保证TDD标准化的进程与FDD标准化的进程一致。另外，移动运营商也希望FDD与TDD在标准上能够兼容，尽量保证两者的一致性。在RAN第37次会议上，中国移动、沃达丰等运营商牵

头，通过文稿 RP-070751[7]，建议对 LTE 的帧结构进行优化，主要目标是将两种 TDD 帧结构优化为一种。会议之后，在大唐电信、中国移动、工业和信息化部电信研究院以及关注 TDD 标准的其他公司的一起努力下，终于确定了基于 TDD 类型 2 帧结构进行优化的基调，其目的是提高 TDD 性能，并增加与 FDD 系统的一致性，以利于双模系统的实现。经过国内公司的不懈努力，最终在 RAN1 第 51 次会议上，通过文稿 R1-075020[8]，如图 1-5 所示的 TDD 帧结构获得通过。可以看出，作为 TDD 类型 2 帧结构最主要特征的特殊时隙得到了保留。

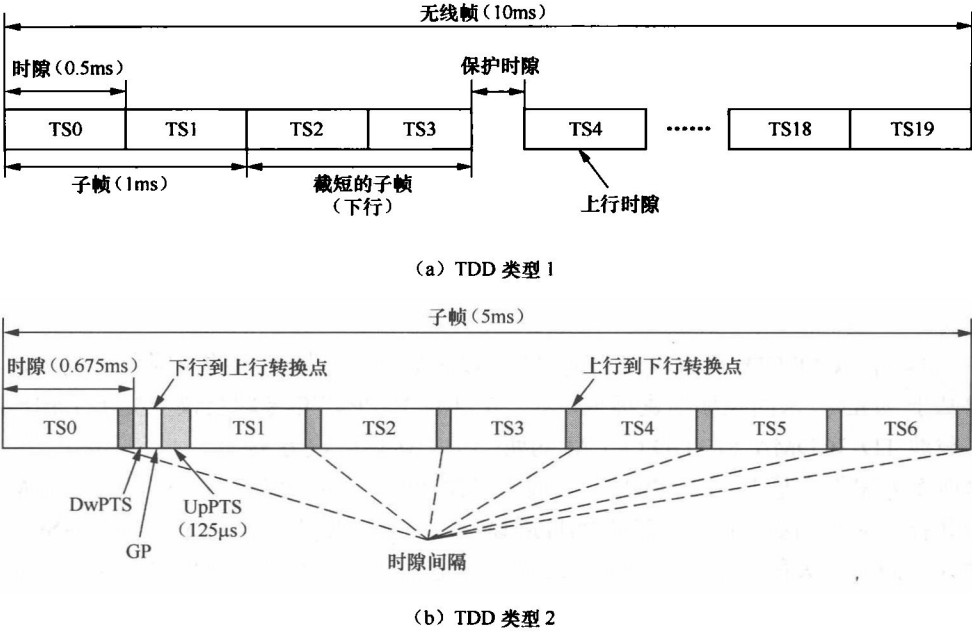


图 1-4 LTE 标准化初期 TDD 类型 1 与 TDD 类型 2 帧结构示意图

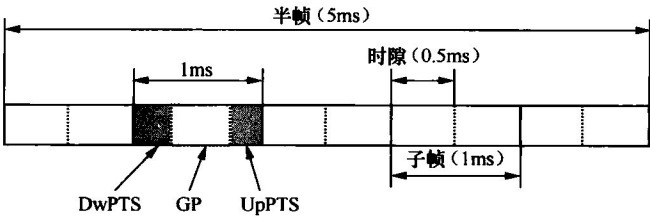


图 1-5 LTE 标准化初期 TDD 类型 1 与 TDD 类型 2 融合之后的 TDD 帧结构

在 TDD 帧结构融合之后，各设备商与运营商关注 TDD 标准的热情空前高涨，TDD 系统研究进展迅速，在 3GPP 中先后针对 TDD 特性进行了优化，比如上下行比例配置的设计、特殊子帧配置的设计、短物理随机接入信道（PRACH，Physical Random Access CHannel）的设计、上行探测参考信号的设计、TD-LTE 控制机制以及混合自动重传请求（HARQ，Hybrid Automatic Repeat reQuest）时序关系等优化设计，确保了 TD-LTE 在 LTE R8 工作阶段与 LTE FDD 的标准化进度相同。帧结构的优化，也使得利用 TDD 系统互易性的波束赋形技术被提到了会议议程上，经过持续地努力，用于波束赋形的专用导频设计、相关传输模式、反馈模式等一一在标准中完成，确定了波束赋形作为主要 MIMO 技术方案的地位。由此可见，早在

LTE R8 的标准化阶段, 帧结构的优化不仅统一了 TDD 模式, 也争取了更多的运营商、设备商的关注, TD-LTE 和 LTE FDD 两种标准二分天下的趋势, 已初现端倪。

在 LTE 优化和 LTE 增强阶段, TD-LTE 标准引入其一个重要的特性, 即双流波束赋形。在 3GPP 的双流波束赋形标准项目立项之前, 中国移动和大唐电信在国内的国际移动通信增强 (IMT-Advanced, International Mobile Telecommunication Advanced) 技术组和标准子组上分别提交了双流波束赋形的整体解决方案, 获得支持和通过, 并从 2008 年 6 月开始在 3GPP LTE R9 及 LTE R10 (LTE-Advanced) 范围内共同推动该技术。双流波束技术主要应用于信号散射体比较充分的条件下, 该技术结合了智能天线赋形技术和 MIMO 的空间复用技术, 利用了 TDD 信道的对称性, 能够同时传输多个数据流实现空分复用, 保持在传统单流下实现广覆盖, 提高小区容量和减少干扰。双流波束赋形技术包括单用户双流波束赋形和多用户双流波束赋形, 对于单用户波束赋形来说, 其最多可以支持两个波束; 而对于多用户波束赋形来说, 其最多可以支持到 4 个波束, 如图 1-6 所示。

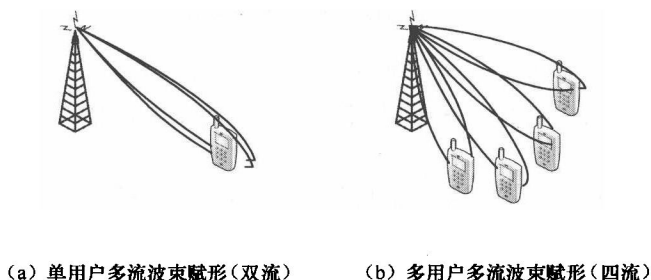


图 1-6 双流/多流波束赋形示意图

在 2009 年 3 月 RAN 第 43 次会议上, 双流波束赋形在 3GPP 正式立项完成。2010 年 3 月, 3GPP 双流波束赋形项目的标准化工作正式完成, R9 协议冻结。

1.2 TD-LTE 网络架构

在进行通信系统设计时, 通常根据网络需求将各种待实现的功能进行分类, 并定义相应的功能节点进行实现, 功能节点的有机组合就构成了网络架构。具体到蜂窝移动通信系统, 网络架构划分为无线接入网 (RAN, Radio Access Network) 与核心网 (CN, Core Network) 两部分。其中接入网主要实现无线相关的功能, 如无线资源管理、无线承载建立与释放等; 核心网主要实现业务层面相关的功能, 如 QoS 配置、计费、漫游控制等。

TD-LTE 系统的网络架构如图 1-7 所示。图中对核心网节点结构进行了适当简化, 只绘制了关键节点, 对 TD-LTE 核心网详细结构感兴趣的读者可以参考文献[10]。

与 TD-SCDMA 系统类似, TD-LTE 系统网络架构也由无线接入网与核心网两部分构成, 其中无线接入网只包含演进型节点 B (eNode B, evolved Node B) 一个网元, 其主要功能包含以下几点。

① 无线资源管理功能: 包括接纳控制、无线承载控制、功率控制、连接移动性控制以及上下行动态资源分配等。

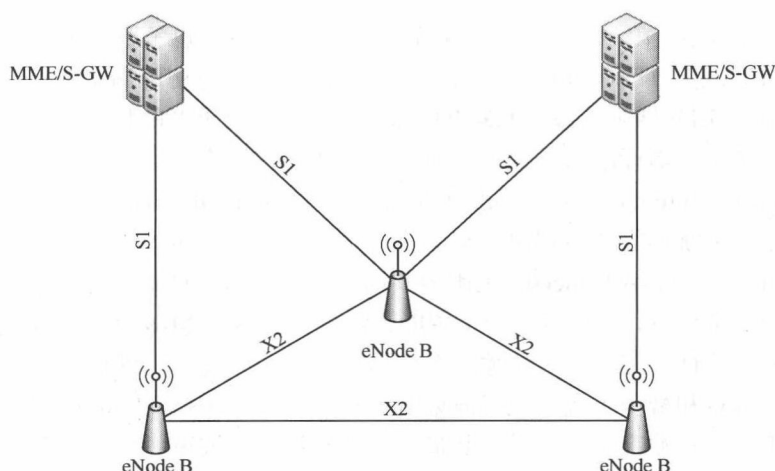


图 1-7 TD-LTE 系统网络架构

② 数据传输控制功能：包括业务数据到服务网关（S-GW，Serving GateWay）的路由功能、因特网协议（IP，Internet Protocol）分组头压缩与解压缩功能、用户数据的加密/解密功能等。

③ 公共信息控制功能：包括广播信息的组织和发送、寻呼消息的组织和发送、无线资源控制（RRC，Radio Resource Control）信令加密与完整性保护等。

④ 其他功能：包括 UE 附着时的移动管理实体（MME，Mobile Management Entity）选择、移动性相关测量配置与管理、无线资源分配相关测量配置与管理等。

除对网元节点功能进行定义之外，TD-LTE 网络架构也定义了网元间的通信接口，具体介绍如下。

① 信令管理功能：包括非接入层（NAS，Non-Access Stratum）信令的生成与传输、核心网节点间信令生成与传输等。

② 节点选择功能：包括分组数据网关（P-GW，Packet Data Network GateWay）与 S-GW 的选择、切换导致 MME 发生变化时的 MME 选择、切换至 2G/3G 网络时的 SGSN 选择等。

③ 安全控制功能：包括接入层（AS，Access Stratum）安全控制、NAS 信令的安全保证、用户鉴权等。

④ 其他功能：包括控制寻呼重传、跟踪区域（TA，Tracking Area）列表管理、漫游、承载管理等。

S-GW 主要实现核心网用户面相关的功能，主要包括以下几个功能。

① 移动性相关功能：S-GW 是终端在 eNode B 间切换时的本地移动性锚点，也是终端在不同 3GPP 接入网络间移动时的锚点。

② 数据处理功能：包括缓存空闲模式（Idle mode）下行分组、触发业务请求过程以及对分组进行路由和转发等。

③ 计费功能：包括用户或 QoS 类别标识（QCI，QoS Class Identifier）级的跨运营商计费支持以及基于 UE、分组数据网络（PDN，Packet Data Network）或 QCI 的计费支持。

除对网元节点功能进行定义之外，TD-LTE 网络架构也定义了网元间的通信接口，具体