

打开 LTE 规划的大门
设计, 规划, 一切尽在掌握

“十二五”

国家重点图书出版规划项目

LTE WIRELESS NETWORK PLANNING & DESIGN 4G 丛书

LTE 无线网络规划与设计

□ 本书编委会 编著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

“十二五”
国家重点图书出版规划项目

LTE WIRELESS NETWORK PLANNING & DESIGN 4G 丛书

LTE

无线网络规划与设计

□ 本书编委会 编著

人民邮电出版社
北京

编 委 会

主 编：肖开宏

副 主 编：皮和平 张良德

编 委：李景发 曾发龙 刘 泉 熊 飞 钟 鸣

彭 亮 罗 帆 李 维 朱 恩 肖向东 罗 锴

校 审：朱晓辉 张 亮

前 言

通信网络的发展不断更新换代，通信网络规划与设计在通信网建设中发挥着至关重要的作用，直接影响网络建设的质量与效益。为了适应行业发展和客户需求，夯实专业基本功，开展新技术、新业务研究，紧密结合工程设计咨询经验，出版 LTE 新技术的规划与设计书籍已凸显其重要性。

本书是湖北邮电规划设计有限公司通信网络规划设计丛书之一。长期演进（Long Term Evolution, LTE）是近年来 3GPP 启动的最大新技术研发项目，它改进并增强了 3G 的空中接入技术，采用 OFDM 和 MIMO 作为其无线网络演进的核心技术，提供百兆级比特率的上下行移动宽带接入，具有资源配置灵活、频谱效率高、高带宽、低时延的突出优势，满足了新业务的增长需求，被视为 3G 向 4G 演进的主流标准，获得了业界的普遍认同和广泛支持。

本书对 LTE 移动通信网络的规划与设计进行了全面的阐述。第 1 章对 LTE 的技术特点、物理层、系统架构、网络接口及功能进行了简要的概述。第 2 章阐述了移动通信业务分析与预测及建模的方法。第 3 章描述了无线通信环境，使用的链路传播模型及 LTE 上下行链路预算。第 4 章讨论了容量的干扰因素与 LTE 的容量特性。第 5 章详细探讨了 LTE 无线网络规划设计的流程与方法，涵盖网络覆盖、容量、选址、干扰、共建共享、节能减排等。第 6 章介绍了 LTE 室内分布的规划与设计。

现代通信网络、技术和业务发展日新月异，同时因我们水平有限，对现代通信网新技术规划与设计工作的认识存在局限性，因此难免有疏漏和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编委会

目 录

第 1 章 LTE 移动通信网络概述 1	
1.1 LTE 发展概述..... 1	
1.1.1 LTE 概念的提出及其部署 场景..... 1	
1.1.2 LTE 设计目标..... 2	
1.1.3 LTE 目前进展..... 2	
1.1.4 技术演进..... 4	
1.2 LTE 关键技术及特点..... 6	
1.2.1 OFDM..... 6	
1.2.2 MIMO..... 7	
1.2.3 技术特点..... 7	
1.2.4 LTE 频段..... 7	
1.2.5 LTE-TDD 与 LTE-FDD 的 技术比较..... 8	
1.3 LTE 物理层..... 10	
1.3.1 帧结构和物理信道..... 10	
1.3.2 物理层过程..... 14	
1.4 LTE 的系统架构..... 19	
1.4.1 LTE 的总体结构..... 19	
1.4.2 网络实体与功能..... 19	
1.4.3 无线接口协议栈..... 20	
1.4.4 LTE 的网络接口及功能..... 21	
第 2 章 业务预测与模型 24	
2.1 移动通信网业务预测..... 24	
2.1.1 概述..... 24	
2.1.2 业务的分类..... 25	
2.1.3 预测的依据及原则..... 26	
2.1.4 业务预测中考虑的主要 因素..... 27	
2.2 移动通信业务预测方法..... 29	
2.2.1 用户数预测方法..... 29	
2.2.2 业务量预测方法..... 31	
2.2.3 数据用户业务量预测..... 33	
2.2.4 增值业务量的预测..... 34	
2.3 业务分布预测和业务密度图 生成方法..... 35	
2.3.1 地区分类法..... 35	
2.3.2 线性预测法..... 36	
2.3.3 线性校正法..... 37	
2.3.4 瑞利分布综合预测法..... 37	
2.3.5 市话密度类比法..... 38	
2.3.6 综合计算法..... 38	
2.4 业务模型..... 40	
2.4.1 VoIP 业务模型..... 41	
2.4.2 尽力而为 (背景) FTP 业务模型..... 43	
2.4.3 网页浏览 HTTP 业务 模型..... 43	
2.4.4 视频流业务模型..... 44	
2.4.5 交互游戏业务模型..... 45	
第 3 章 覆盖分析 46	
3.1 无线通信区域分类..... 46	

3.1.1	按无线传播环境分类	46	5.2.3	LTE 上行覆盖规划关键技术	87
3.1.2	按业务分布分类	46	5.2.4	LTE 下行覆盖规划关键技术	89
3.2	链路传播模型	47	5.3	LTE 无线网络的容量规划与设计	91
3.3	传播模型校正	50	5.3.1	影响 TD-LTE 容量性能的主要因素	91
3.4	LTE 链路预算	55	5.3.2	TD-LTE 容量评估指标	91
3.4.1	LTE 链路预算参数	55	5.3.3	TD-LTE 容量分析结果	92
3.4.2	小区边缘速率	56	5.4	LTE 基站站址的选择	94
3.4.3	干扰余量	57	5.4.1	LTE 站址的选择原则	94
3.4.4	波束赋形	57	5.4.2	站距对系统性能的影响	95
3.4.5	系统可靠性	58	5.4.3	天线的选择	95
3.4.6	链路预算中需特别考虑的方面	59	5.5	网络规划中干扰的考虑	99
3.4.7	链路预算工具内的变量小结	62	5.5.1	LTE 系统的干扰分类	99
3.5	网络仿真	64	5.5.2	系统间干扰的主要类型	100
第 4 章	容量分析	68	5.5.3	系统间干扰的规避措施	101
4.1	TD-LTE 系统的容量特性	68	5.5.4	LTE 系统的干扰分析	101
4.1.1	用户吞吐量及小区吞吐量	69	5.6	节能减排措施	102
4.1.2	最大同时在线并发用户数	70	5.6.1	移动通信网络能耗构成	103
4.1.3	VoIP 容量	70	5.6.2	基站节能的基本原则	104
4.2	容量的主要影响因素	71	5.6.3	分布式基站	104
4.2.1	概述	71	5.6.4	智能载频关断	105
4.2.2	天线技术	71	5.6.5	机房环境节能	105
4.2.3	干扰消除技术	72	5.6.6	智能通风	106
4.2.4	其他技术	74	5.6.7	智能换热	108
第 5 章	LTE 无线网络的规划与设计	75	5.6.8	热管空调	109
5.1	无线网络规划流程	75	5.6.9	蓄电池恒温柜与机房升温技术	111
5.1.1	LTE 网络规划流程	75	5.6.10	开关电源节能技术	112
5.1.2	LTE 网络规划特点	76	5.6.11	太阳能光伏发电技术	113
5.1.3	LTE 网络规划步骤	76	5.6.12	风光互补供电技术	115
5.2	LTE 无线网络的覆盖设计	83	第 6 章	LTE 室内分布系统的规划与设计	118
5.2.1	LTE 网络覆盖规划与设计流程	83	6.1	室内分布系统简介	118
5.2.2	LTE 无线网络覆盖策略	87			

6.1.1 室内分布系统的概念和重要性.....118	6.6 LTE 室内分布系统的设计 127
6.1.2 为什么要建设室内分布系统.....118	6.6.1 LTE 分布系统中的关键问题 127
6.2 实现室内分布系统的技术方案119	6.6.2 LTE 室内分布系统的设计目标 129
6.3 室内分布系统的组成..... 121	6.6.3 LTE 室内分布系统的设计原则 129
6.4 信号源的提取方式..... 121	6.6.4 LTE 室内分布系统设计流程 130
6.5 信号分布的基本方式..... 123	6.6.5 分布系统设计中要考虑的问题 133
6.5.1 无源分布方式..... 123	6.6.6 LTE 室内分布案例分析 135
6.5.2 有源分布方式..... 124	参考文献 138
6.5.3 光纤分布方式..... 125	
6.5.4 泄漏电缆分布方式..... 126	
6.5.5 混合分布方式..... 126	

第 1 章

LTE 移动通信网络概述

1.1 LTE 发展概述

1.1.1 LTE 概念的提出及其部署场景

在 2004 年 12 月的 TSG RAN#26 会议上，3GPP 通过了“演进的 UTRA 和 UTRAN”的研究项目立项工作，从而正式提出了 LTE 的概念并启动了 LTE 在 3GPP 中的相关研究工作，当时成立 LTE 研究项目的主要原因是：3GPP 无线接口技术可以通过使用诸如 HSDPA 和 HSUPA 这样的增强技术而在未来的几年内具有较强的竞争能力，但是为了确保在更长的时间内保持这种竞争能力，即下一个 10 年或者更长的时间内，需要考虑 3GPP 无线接口技术的长期演进。

长期演进的主要目标包括降低时延、提高用户数据速率、改善系统容量以及覆盖，并且降低运营商的成本。为了达到这个目标，需要同时考虑无线接口以及无线网络架构的演进。

考虑到需支持更高的数据传输速率以及未来额外的频谱分配，3GPP LTE 将支持更宽传输带宽（大于 5MHz）。同时，支持 5MHz 以及小于 5MHz 的传输带宽的情况也需要研究，从而支持系统部署的灵活性。

在 3GPP 技术报告 TR 25.913 中给出了如下可预见的 LTE 部署场景。

(1) 独立部署场景。在这种场景下，运营商在前期没有网络部署的区域进行 E-UTRAN 的部署，或者在已经存在 UTRAN/GERAN 覆盖的区域进行 E-UTRAN 的部署，但是由于某种原因没有允许与 UTRAN/GERAN 等进行互操作（比如，孤立的无线宽带应用）。

(2) 在现存 UTRAN/GERAN 区域混合部署的场景。在这种场景下，运营商在该地理区域中已经有 UTRAN/GERAN 的网络部署，并且全部或者部分覆盖该区域，而且 GERAN 和 UTRAN 网络已经具有相当的成熟度。

实际的部署方式和相应需求（包括互通和互操作需求）取决于该区域的实际业务需求和竞争环境。

为了提供更多的部署可能性，E-UTRAN 还将具有以下特性。

- (1) 支持网络共享。
- (2) 支持高速移动和漫游的终端。
- (3) 支持不同小区大小及无线环境。

LTE 无线网络规划与设计

- (4) 支持与已有系统的互操作。
- (5) 最大限度地提高效率。
- (6) 保持系统的简单化。
- (7) 支持低用户面时延。

另外, E-UTRAN 支持 IP 传输以及所有数据链路层选项。E-UTRAN 使用单独的 RNL 和 TNL QoS, 这将允许 LTE 重用现有的传输网络。

1.1.2 LTE 设计目标

E-UTRA 和 E-UTRAN 的设计目标主要是发展 3GPP 无线接入技术, 特点是高数据速率、低延时和分组优化。所以 LTE 系统设计的研究方向包括以下几个方面。

- (1) 物理层的相关研究(上行和下行), 比如新的物理层传输方案, 先进的天线技术支持灵活的带宽等。
- (2) 无线接口高层协议的相关研究, 比如信令的优化等。
- (3) RAN 架构的相关研究, 比如确定最优的 RAN 网络结构以及 RAN 网络节点的功能划分, 不排除重新考虑 RAN 和 CN 之间的功能划分。
- (4) RF 的相关研究。

LTE 的具体设计指标包括以下内容。

- (1) 显著增加峰值速率, 达到上行 50Mbit/s、下行 100Mbit/s。
- (2) 增加小区边缘比特速率, 但是保持现有的站址规划不变。
- (3) 显著增加频谱效率, 达到 3GPP R6 的 2~4 倍。
- (4) 无线接入网络用户面环回延时低于 10ms (从 UE 到 eNode B 再到 UE)。
- (5) 显著减小控制面延时。
- (6) 可扩展的带宽, 支持 1.4、3、5、10、15、20MHz 等系统带宽。
- (7) 支持和现有 3GPP 系统及非 3GPP 系统的互操作。
- (8) 支持进一步增强的 MBMS。
- (9) 降低建网成本和维护成本, 包括提供低成本的无线回传 (backhaul)。
- (10) 支持从 R6 UTRAN 无线接口和架构的低成本演进。
- (11) 合理的系统和终端复杂性、成本和功耗。
- (12) 支持进一步增强的 IMS 和核心网。
- (13) 追求后向兼容性, 但需要认真考虑与性能/容量增强方面的折中。
- (14) 有效支持不同类型的业务, 特别是 PS 域 (比如 VoIP 和 Presence) 的业务。
- (15) 系统需要针对低速移动场景进行优化, 但也需要支持高速移动。
- (16) 应支持对称或非对称频段操作。
- (17) 应具备在运营商之间实现简单的邻频和交叉频段共存的可能性。

1.1.3 LTE 目前进展

1. 标准化进展

LTE 的时间进度如图 1-1 所示。对 LTE 系统的需求研究自 2004 年年底就已经通过研讨会的方式开始了。这可以看做是 LTE 项目的起点。对 LTE 技术的讨论由 RAN1 于 2005 年 4

月正式发起。

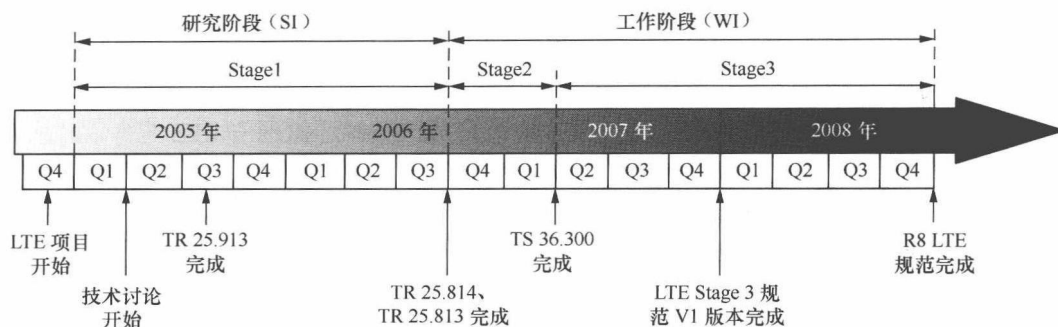


图 1-1 LTE 标准化工作时间表

LTE 标准化工作分为两个阶段。研究阶段（SI）于 2006 年 9 月正式完成。工作阶段（WI）计划于 2007 年 6 月完成，但由于 WI 的工作量非常大，完成时间延迟了一年半，最终于 2008 年年底才完成。

SI 又称为第一阶段（Stage1），这个阶段主要是以研究的形式确定 LTE 的基本框架和主要技术选择，对 LTE 标准化的可行性作出判断。经过 1 年 10 个月的研究，SI 阶段明确了 LTE 需求、应用场景、RAN 和 CN 的功能划分，在 RAN 网络架构、空中协议结构、多址技术、MIMO 技术、信道结构、信令结构、移动性方面达成了共识，形成了需求报告（TR 25.913）、RAN1 研究报告（TR25.814）、RAN2 研究报告（TR25.813）等一系列研究报告。2006 年 6 月经过多厂家评估，对它作出了肯定的结论，从而在 2006 年 9 月通过了对 LTE 的立项，WI 正式开始。

WI 阶段又可以分为两个阶段，即第二阶段（Stage2）和第三阶段（Stage3）。Stage2 通过对 Stage1 中初步讨论的系统基本框架进行确认，同时进一步丰富 Stage2 的技术细节，在 2007 年 3 月形成了 LTE Stage2 规范（TR 36.300）。根据 Stage2 的初步系统设计，得到了对 LTE 更加准确的评估结果，进一步验证了 LTE 系统的性能。

2007 年年底形成了第一个正式的技术规范版本 V1。但该版本仍有一些不确定的内容。在 2008 年继续对规范进行了修改完善，由于工作量较大，R8 LTE 规范最终在 2008 年 12 月完成。

2. 商用化进展

截至 2011 年 6 月，全球共有 60 个国家和地区的 154 个 LTE 网络部署实施，其中包括 20 个已投入商业使用的网络。另有 20 多个国家 54 家运营商正在进行 LTE 技术试验或测试。可以看出，共有 80 多个国家和地区的 208 家运营商目前在向 LTE 投资。以上统计包含 LTE FDD 和 LTE TDD 系统。

60 个已经正式承诺部署 LTE 网络的国家和地区包括澳大利亚、巴西、中国、法国、德国、中国香港、印度、日本、英国、俄罗斯等。已经推出 LTE 网络的 14 个国家和地区是：奥地利、丹麦、爱沙尼亚、芬兰、德国、中国香港、日本、立陶宛、挪威、菲律宾、波兰、瑞典、美国和乌兹别克斯坦。

TeliaSonera: 2009 年 12 月，在挪威的奥斯陆和瑞典的斯德哥尔摩同时部署了全球第一个 LTE 商用网络。

LTE 无线网络规划与设计

Verizon: 2010 年 12 月, 在美国 30 个大城市推出 LTE 网络。据悉, 2011 年第 1 季度其 LTE 用户新增了 50 万。同时, Verizon 已于 2011 年推出了首个 LTE 智能手机 HTC Thunderbolt。

NTT Docomo: 2010 年 12 月, 在日本推出首个命名为 Xi 的 LTE 服务。预计到 2013 年, 投入 36 亿美元建 15 000 个 LTE 基站, 覆盖 40% 的人口。

Vodafone: 2010 年 9 月, Vodafone 德国在滨海度假地利根达姆推出 LTE 业务, 而德国成为第 5 个开通 LTE 商用网络的国家。

CSL: 2010 年 11 月中国香港移动通信有限公司推出 LTE 商用网络, 最初仅面对企业用户。2011 年 5 月, 该公司宣布已面向现有用户开放其 LTE 商用网络, 但暂时不向新用户开放。

AT&T: 2011 年 9 月, 在亚特兰大、芝加哥、达拉斯、休斯顿和旧金山 5 个城市启动 LTE 商用业务。

可以看到, LTE 的全球化发展已是大势所趋。而另一方面, TD-LTE 产业实力不断增强, 全球范围内的关注度也在不断提升。之前, 中国移动通过很多重大的产业峰会及国际展会, 向业界全面展示了 TD-LTE 的产业成熟度及市场潜力。LTE FDD/TDD 的协同发展已在全球形成规模。

目前, 中国移动已经在上海、杭州、南京、广州、深圳、厦门、北京 7 个城市建设 TD-LTE 技术试验网络, 预计建成基站 1 000 个, 并计划于 2011 年下半年推出 TD-LTE 上网卡供用户体验。

同时可以看到, TD-LTE 国际化已经出现了重要机遇, 中国移动已与 9 家国外运营商签署 TD-LTE 合作协议, 推动全球建成或即将建成 26 个 TD-LTE 试验网。预计 2011 年将有超过 10 个国家和地区开始 TD-LTE 的商用部署。根据高通的近期报告, 日本和印度有望率先开建 TD-LTE 商用网络。日本和印度是世界上两个重要的电信市场, 一旦开建 TD-LTE 商用网络, 其示范效应不可估量。

1.1.4 技术演进

3G 移动系统已经从 HSPA 演进到 LTE, 但技术演进并不会止步于 LTE, 随着技术发展水平的提高, 目标要求总在不断的变化, 推动性能和各方面能力进一步增强的驱动力依然存在。无线演进的下一个阶段通常被称为 4G。但由于向 4G 的演进并不是阶段性的, 更多的是一个持续的过程, 而且是一系列相似或相关联的系统的并行演进过程, 因而目前还不能将某个特定的技术或某个演进阶段认定为 4G。但明确的一点是, 所有关于 4G 的研究和标准化工作现在正在围绕为 ITU-R 提供 IMT-Advanced 备选方案而展开。

1. IMT-Advanced

在 ITU 内部, 由 WP8F 工作组负责 IMT-2000 及 IMT-Advanced 系统的演进工作。在 IMT-2000 标准 M.1457 完成后, 2000 年 3 月, ITU-R WP8F 工作组在日内瓦正式成立, 并开始考虑 IMT-2000 的未来发展和后续演进问题, 随后开始了相关的工作。这些工作分为两部分: 对 IMT-2000 的未来发展(Future Development of IMT-2000)及 IMT-2000 后续系统(System Beyond IMT-2000)的研究。2005 年 10 月在赫尔辛基举行的第 17 次会议正式将 System Beyond IMT-2000 命名为 IMT-Advanced。

IMT-Advanced 定义如下: IMT-Advanced 系统为具有超过 IMT-2000 能力的新的移动系统。

该系统能够提供广泛的电信业务，由移动和固定网络支持的、日益增加的、基于包传输的、先进的移动业务。

IMT-Advanced 系统支持从低速到高速移动性的应用和很宽范围的数据速率，满足不同用户环境下用户和业务的需求。IMT-Advanced 系统提供显著提升高质量多媒体应用的 QoS 能力。

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

ITU-R WP5D 工作组（2007 年无线电大会研究组机构调整后 WP8F 更名为 WP5D）在 2008 年 3 月发出通函，向各成员征集 4G 候选技术提案，标志着 4G 标准化工作的正式启动。同年 7 月结束的 ITU-R WP5D 的迪拜会议上，ITU 确定了 4G 的最小需求，包括小区频谱效率、峰值频谱效率、频谱带宽等 8 个关键技术指标。目前 ITU-R 正在进行 4G 候选技术方案的征集、评估、遴选和确定工作。

3GPP 以独立成员的身份向 ITU 提交面向 4G 技术的 LTE-Advanced (LTE-A) 技术方案。从 2008 年 3 月开始，3GPP 就展开了面向 4G 的研究工作并制定了详尽的时间表，并与 ITU 的时间流程紧密契合。

2. LTE-A

LTE-A 是 LTE-Advanced 的简称，是 LTE 技术的后续演进。

在 2008 年 6 月，3GPP 完成了 LTE-A 的技术需求报告，提出了 LTE-A 的最小需求：下行峰值速率 1Gbit/s，上行峰值速率 500Mbit/s，上下行峰值频谱利用率分别达到 15bit/(s·Hz) 和 30bit/(s·Hz)。

为了满足 IMT-Advanced 的需求指标，3GPP 针对 LTE-Advanced (LTE-A) 提出了几个关键技术，包括载波聚合 (Carrier Aggregation)、协作多点发送和接收 (Cooperative Multipoint Processing)、中继传输 (Relaying)、多天线的增强 (MIMO Extension) 等。

(1) 载波聚合。LTE-A 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。为了在 LTE-A 商用初期能有效利用载波，即保证 LTE 终端能够接入 LTE-A 系统，每个载波应能够配置成与 LTE 后向兼容，然而也不排除设计仅被 LTE-A 系统使用的载波。

目前 3GPP 根据运营商的需求识别出了 12 种载波聚合的应用场景，其中 4 种作为近期重点，分别涉及 FDD 和 TDD 的连续和非连续载波聚合场景。在 LTE-A 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的提升，上下行非对称的载波聚合场景的控制信道的设计等。

(2) 多点协作。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和多天线的波束赋形相结合的解决方案上。

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 4 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，因此多点协作的

标准化进度成为 3GPP 提交的 4G 候选方案和面向 ITU 评估的重中之重。

(3) 中继传输。未来移动通信系统在传统蜂窝网的基础上需要对城市热点地区进行容量优化，并且对盲区、地铁及农村进行覆盖。

目前 3GPP 中继传输的标准化工作集中在低功率、可以部署在电线杆或者外墙上的带内回程的接力传输上，其体积小、重量轻，易于选址。一般来说，带内回程的接力传输相比传统的微波回程的接力传输，性能要低，但带内回程不需要 LTE 频谱之外的回程频段而进一步节省费用，因此两者各自有其市场需求和应用场景。

(4) 多天线增强。频率是日益珍贵的资源，多天线技术由于通过扩展空间的传输维度而成倍地提高信道容量，从而被多种标准广泛采纳。受限于发射天线高度对信道的影响，LTE-A 系统上行和下行多天线增强的重点有所区别。在 LTE 系统的多种下行多天线模式基础上，LTE-A 要求支持的下行最高多天线配置规格为 8×8 ，标准化的重点是多用户空分复用的增强。LTE-A 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，利用上行空间复用来提高上行峰值速率等。

1.2 LTE 关键技术及特点

1.2.1 OFDM

LTE 在选择多址技术时主要考虑了 OFDM 和 CDMA 两种技术。经过技术比较和多方面权衡，最终确定采用 OFDM 技术。

正交频分复用 (OFDM) 技术并不是一项新技术，它是由多载波调制 (MCM, Multiple Carrier Modulation) 发展而来的。由于 OFDM 的各个子载波之间相互正交，虽然采用快速傅里叶变换可以方便地实现这种调制，但在 20 世纪 70 年代，傅里叶变换设备的复杂度、发射机和接收机振荡器的稳定性以及射频放大器的线性要求等因素都成为 OFDM 技术实现的制约条件。到了 20 世纪 80 年代，随着大规模集成电路的发展，傅里叶变换设备的复杂度大大降低，使得 OFDM 得到越来越广泛的应用。

OFDM 技术的主要思想是将信道分成许多个相互正交的子信道，在每个子信道上进行窄带调制和传输，这样既减少了子信道之间的干扰，又提高了频谱效率。由于每个子信道的带宽小于无线信道的相关带宽，因此对于每个子信道而言，它们是平坦衰落信道，这样就可以大大减少符号间干扰。

每个子信道的正交调制可以通过逆快速傅里叶变换 (IFFT, Inverse Fast Fourier Transform) 和快速傅里叶变换 (FFT, Fast Fourier Transform) 的方法实现。通过大规模集成电路来实现 IFFT 和 FFT 是非常容易的，这样便可以大大降低系统的复杂度。

相比于 3G 系统采用的 CDMA 技术，OFDM 具有频谱效率高、带宽扩展性强、抗多径衰落性能高、实现 MIMO 技术简单、频域调度灵活、灵活选择调制编码方式、更适应信道的频率选择性等优势。

与单载波相比，OFDM 也存在一些缺陷，例如较高的峰均比 (PAR, Peak Average Rate)、容易受频率偏差的影响、自适应调制技术使系统复杂度有所增加等。不过随着研究的日益深入，这些问题都已得到一定程度的解决。

1.2.2 MIMO

多输入输出 (MIMO) 技术也并非新技术, IEEE 802.11n 采用了 MIMO 技术。MIMO 信号可以通过两种不同的方式来改善无线通信: 一种是分集 (Diversity) 机制; 另一种是空间复用 (Spatial Multiplexing) 机制。分集机制通过利用发射天线和接收天线之间多条通路来改善通信系统的健壮性 (Robustness), 从而改善系统的误码率 (BER, Bit Error Rate)。分集也可以通过多个发射天线来获得, 但是此时必须考虑多个发射天线之间的干扰, 这就是空时编码 (STC, Space-Time Codeing) 所要研究的内容。

另一种技术是空间复用机制, 在充分散射的 MIMO 环境中, 接收天线可以识别出同时从多个发射天线发射出的信号。对于 MIMO 系统, 其容量增益来自多个并行的空间信道, 因此可称之为空间复用。

MIMO 系统和 OFDM 系统的结合将减少空时处理的复杂度。例如, 对于一个 2×2 (两根发射天线, 两根接收天线) 的 MIMO 系统而言, 在一个 5MHz 的信道上, OFDM 的处理复杂度比传统的 CDMA 系统低 12 倍。

1.2.3 技术特点

LTE 采用的关键技术与 3G 有所不同, 系统性能有较大程度提升, LTE 与 3G 技术的对比如表 1-1 所示。

表 1-1 LTE 与 3G 技术的指标对比

技术指标	3G			LTE
	WCDMA	CDMA2000	TD-SCDMA	
业务定位	语音和各种速率数据业务	1x: 语音和各种速率数据业务 DO: 数据业务	语音和各种速率数据业务	语音和各种速率数据业务; 取消 CS 域, CS 域业务在 PS 域实现 (VoIP)
关键技术	扩频、码分多址	码分多址; EVDO 前反向 HARQ	智能天线; 接力切换; 软件无线电	OFDMA MIMO
工作频率	1 920~1 980MHz 2 110~2 170MHz 核心频段	1 920~1 980MHz 2 110~2 170MHz 核心频段	1 880~1 920MHz 2 010~2 025MHz 核心频段	现有 2G、3G 和 3G 扩展频段
信道带宽	5MHz	1.25MHz	1.6 MHz	1.4~20MHz
用户速率 (下行)	支持 64/128/384kbit/s; HSDPA: 14.4Mbit/s	1x:153.6 /307.2kbit/s EVDO Rev.A: 3.1Mbit/s	支持 64/128/384kbit/s; TD-HSDPA: 2.8Mbit/s	100Mbit/s (2×2 天线)
用户速率 (上行)	HSUPA: 5.76Mbit/s	1x:153.6 kbit/s EVDO Rev.A: 1.8Mbit/s	TD-HSUPA: 1.6Mbit/s	50Mbit/s (2×1 天线)

1.2.4 LTE 频段

LTE 支持多种频段, 常用 LTE 频段详见表 1-2。

表 1-2

E-UTRA 支持的工作频段

序号	上行频段			下行频段			双工方式
	1	2	3	4	5	6	
1	1 920 MHz	-	1 980 MHz	2 110 MHz	-	2 170 MHz	FDD
2	1 850 MHz	-	1 910 MHz	1 930 MHz	-	1 990 MHz	FDD
3	1 710 MHz	-	1 785 MHz	1 805 MHz	-	1 880 MHz	FDD
4	1 710 MHz	-	1 755 MHz	2 110 MHz	-	2 155 MHz	FDD
5	824 MHz	-	849 MHz	869 MHz	-	894MHz	FDD
6	830 MHz	-	840 MHz	875 MHz	-	885 MHz	FDD
7	2 500 MHz	-	2 570 MHz	2 620 MHz	-	2 690 MHz	FDD
8	880 MHz	-	915 MHz	925 MHz	-	960 MHz	FDD
9	1 749.9 MHz	-	1 784.9MHz	1 844.9 MHz	-	1 879.9MHz	FDD
10	1 710 MHz	-	1 770 MHz	2 110 MHz	-	2 170 MHz	FDD
11	1 427.9 MHz	-	1 452.9MHz	1 475.9 MHz	-	1 500.9MHz	FDD
12	698 MHz	-	716 MHz	728 MHz	-	746 MHz	FDD
13	777 MHz	-	787 MHz	746 MHz	-	756 MHz	FDD
14	788 MHz	-	798 MHz	758 MHz	-	768 MHz	FDD
15	Reserved			Reserved			FDD
16	Reserved			Reserved			FDD
17	704 MHz	-	716 MHz	734 MHz	-	746 MHz	FDD
18	815 MHz	-	830 MHz	860 MHz	-	875 MHz	FDD
19	830 MHz	-	845 MHz	875 MHz	-	890 MHz	FDD
...							
33	1 900 MHz	-	1 920 MHz	1 900 MHz	-	1 920 MHz	TDD
34	2 010 MHz	-	2 025 MHz	2 010 MHz	-	2 025 MHz	TDD
35	1 850 MHz	-	1 910 MHz	1 850 MHz	-	1 910 MHz	TDD
36	1 930 MHz	-	1 990 MHz	1 930 MHz	-	1 990 MHz	TDD
37	1 910 MHz	-	1 930 MHz	1 910 MHz	-	1 930 MHz	TDD
38	2 570 MHz	-	2 620 MHz	2 570 MHz	-	2 620 MHz	TDD
39	1 880 MHz	-	1 920 MHz	1 880 MHz	-	1 920 MHz	TDD
40	2 300 MHz	-	2 400 MHz	2 300 MHz	-	2 400 MHz	TDD

1.2.5 LTE TDD 与 LTE FDD 的技术比较

LTE 系统同时定义了频分双工 (FDD, Frequency Division Duplexing) 和时分双工 (TDD, Time Division Duplexing) 两种方式, 由于无线技术的差异、使用频段的不同以及各个厂家的利益等因素, LTE FDD 支持阵营更加强大, 标准化与产业发展都领先于 LTE TDD。2007 年 11 月, 3GPP RAN1 会议通过了 27 家公司联署的 LTE TDD 融合帧结构的建议, 统一了 LTE

TDD 的两种帧结构。融合后的 LTE TDD 帧结构是以 TD-SCDMA 的帧结构为基础的,这就为 TD-SCDMA 成功演进到 LTE 乃至 4G 标准奠定了基础。

1. FDD 与 TDD 工作原理

频分双工 (FDD) 和时分双工 (TDD) 是两种不同的双工方式。FDD 是在分离的两个对称频率信道上进行接收和发送,用保护频段来分离接收和发送信道。FDD 必须采用成对的频率,依靠频率来区分上下行链路,其单方向的资源在时间上是连续的。FDD 在支持对称业务时,能充分利用上下行的频谱,但在支持非对称业务时,频谱利用率将大大降低。

TDD 用时间来分离接收和发送信道。在 TDD 方式的移动通信系统中,接收和发送使用同一频率载波的不同时隙作为信道的承载,其单方向的资源在时间上是不连续的,时间资源在两个方向上进行了分配。某个时间段由基站发送信号给移动台,另外的时间由移动台发送信号给基站,基站和移动台之间必须协同一致才能顺利工作。

LTE 系统同时定义了频分双工 (FDD) 和时分双工 (TDD) 两种双工方式,并分别设计了 FDD 和 TDD 的帧结构。

FDD 模式下,10ms 的无线帧被分为 10 个子帧,每个子帧包含两个时隙,每时隙长 0.5ms。TDD 模式下,每个 10ms 无线帧包括 2 个长度为 5ms 的半帧,每个半帧由 4 个数据子帧和 1 个特殊子帧组成。LTE-TDD 支持 5ms 和 10ms 上下行切换点。对于 5ms 上下行切换周期,子帧 2 和 7 总是用作上行。

2. TD-LTE 系统特有技术

(1) 上下行配比

LTE TDD 中支持不同的上下行时间配比,上下行时间配比不总是“1:1”,根据不同的业务类型,调整上下行时间配比,以满足上下行非对称的业务需求。

(2) 特殊时隙的应用

为了节省网络开销,TD-LTE 允许利用特殊时隙 DwPTS 和 UpPTS 传输系统控制信息,DwPTS 时隙中下行控制信道的最大长度为两个符号,且主同步信道固定位于 DwPTS 的第 3 个符号。

(3) 多子帧调度/反馈

和 FDD 不同,TDD 系统不总是存在 1:1 的上下行比例。当下行多于上行时,存在一个上行子帧反馈多个下行子帧,TD-LTE 提出的解决方案有:multi-ACK/NAK,ACK/NAK 捆绑 (bundling) 等。LTE TDD 和 LTE FDD 帧结构中,同步信号的位置/相对位置不同,利用主、辅同步信号相对位置的不同,终端可以在小区搜索的初始阶段识别系统是 TDD 还是 FDD。

3. LTE TDD 优势

(1) 频谱配置

频段资源是无线通信中最宝贵的资源,随着移动通信的发展,一些零散频谱资源由于 LTE FDD 不能使用而闲置,造成了频谱浪费。由于 LTE TDD 系统无需成对的频率,可以方便地配置在 LTE FDD 系统所不易使用的零散频段上,具有一定的频谱灵活性,能有效地提高频谱利用率。

(2) 支持非对称业务

在第三代移动通信系统以及未来的移动通信系统中,除了提供语音业务之外,数据和多媒体

LTE 无线网络规划与设计

体业务将成为主要内容，且上网、文件传输和多媒体业务通常具有上下行不对称特性。LTE TDD 系统在支持不对称业务方面具有一定的灵活性，LTE TDD 系统可以根据业务类型灵活配置 LTE TDD 帧的上下行配比。

(3) 智能天线的使用

智能天线技术是未来无线技术的发展方向，它能降低多址干扰，增加系统的吞吐量。在 LTE TDD 系统中，上下行链路使用相同频率，且间隔时间较短，小于信道相干时间，链路无线传播环境差异不大，在使用赋形算法时，上下行链路可以使用相同的权值。与之不同的是，由于 LTE FDD 系统上下行链路信号传播的无线环境受频率选择性衰落影响不同，根据上行链路计算得到的权值不能直接应用于下行链路。因而，LTE TDD 系统能有效地降低移动终端的复杂性。

(4) 与 TD-SCDMA 共存

LTE TDD 系统还有一个 LTE FDD 无法比拟的优势，就是 LTE TDD 系统能够与 TD-SCDMA 系统共存。对现有通信系统来说，目前的数据传输速率已经无法满足用户日益增长的需求，运营商必须提前规划现有通信系统向 B3G/4G 系统的平滑演进。由于 LTE TDD 帧结构是基于我国 TD-SCDMA 的帧结构，能够方便地实现 TD-LTE 系统与 TD-SCDMA 系统的共存和融合。

4. LTE TDD 的不足

由于 LTE TDD 在同一帧中传输上下行两个链路，系统设计更加复杂，对设备的要求较高，存在一些不足。

(1) 保护间隔的使用降低了频谱利用率，特别是提供广覆盖的时候，使用长 CP，对频谱资源造成了浪费。

(2) 使用 HARQ 技术时，LTE TDD 使用的控制信令比 LTE FDD 更复杂，且平均 RTT 稍长于 LTE FDD 的 8ms。

(3) 由于上下行信道占用同一频段的不同时段，为了保证上下行帧的准确接收，系统对终端和基站的同步要求很高。

为了补偿 LTE TDD 系统的不足，LTE TDD 系统采用了一些新技术，如 TDD 支持在微小区使用更短的 PRACH，以提高频谱利用率；采用 multi-ACK/NACK 的方式，反馈多个子帧，节约信令开销等。

TDD 双工方式具有频谱配置灵活，频谱利用率高，上下行信道互惠性等特点，能够满足下一代移动通信系统对带宽的要求以及频率分配零散化的趋势，在 B3G/4G 移动通信系统中具有较强的优势。LTE TDD 在频谱利用、非对称业务支持、智能天线技术支持、与 TD-SCDMA 系统共存等方面，有很大的优势，在未来的通信系统中具有很强的竞争力。随着 LTE TDD 技术研究的深入和国际市场的推广，LTE TDD 将成为未来无线通信系统中的主流技术。

1.3 LTE 物理层

1.3.1 帧结构和物理信道

1. 帧结构

LTE 支持两种类型的无线帧结构：类型 1，适用于 FDD 模式；类型 2，适用于 TDD