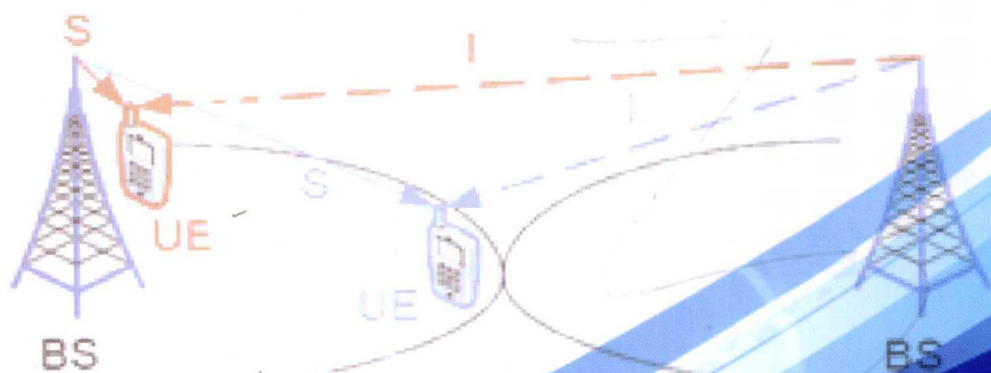


LTE

关键技术与无线性能

◎ 陈书贞 张旋 王玉镇 文志成 编著



LTE 关键技术与无线性能

陈书贞 张 旋 王玉镇 文志成 编著

机械工业出版社

前 言

随着科技发展以及交流性和移动性的增强,移动通信的演进步伐也越来越快。WCDMA 以及时分同步码分多址接入 (TD-SCDMA) 刚刚进入商用和良性发展期, LTE 就迅速地进入了运营商的眼线。目前,世界范围内 LTE 已经开始商用,国内也即将展开大规模的试商用测试。任何一项新技术的应用,都会带给我们更多的思考和困惑,从关键技术的应用和理解、无线性能的测试和优化,到商用模式的建立,无不是摆在技术人员和运营人员面前的一道道难题和考验。由此,本书立足于 LTE 原理和技术特点,对 LTE 关键技术进行了深入分析,并进一步分析和研究了性能相关的内容,包括 VoIP 容量、吞吐量、时延和覆盖等。

本书第 1 章概述部分对比分析了 LTE 与 HSPA HSPA+ (高速分组接入) 的性能差异,以及 LTE FDD 与 LTE TDD 的不同特点,为读者初步提供 LTE 性能相关的基本知识。第 2~7 章分别就 LTE 的一些关键技术进行了理论分析和实例说明,如调度算法、功率控制、上行跳频、小区间干扰协调、VoIP 以及多输入多输出 (MIMO) 等。第 2 章为调度部分,涉及上下行链路调度算法以及调度优先级等知识;第 3 章为功率控制部分,包括 LTE 上行链路各种类型信道的功率控制以及下行链路信道的功率分配原理;第 4 章为上行跳频相关的内容,包括物理上行链路共享信道 (PUSCH) 跳频的两种类型的实现方式以及例证,以及物理上行链路控制信道 (PUCCH) 跳频方面的简单论述。第 5 章为小区间干扰协调部分,本章从 LTE 系统中的上下行干扰抑制技术出发,对 LTE 中常见的频率复用方式,如 FFR、SFR 和 PFR 进行了分析和说明,并介绍了 LTE 中上下行干扰协调技术。第 6 章为 VoIP 部分,内容包括 LTE 中 VoIP 的基本特性、VoIP 的语音质量表征指标、VoIP 调度策略以及传输时间间隔 (TTI) 绑定技术等。第 7 章为 MIMO,针对规范中规定的 8 种 MIMO 应用模式进行了分析,包括各种模式的特点、各种应用模式之间的关系,以及不同模式的应用场景和基本性能。

本书第 8 章为 LTE 无线性能分析,其中包括容量、吞吐量、时延和覆盖等内容。容量以 VoIP 业务为主,吞吐量分析则包含 TDD 和 FDD 模式,从上下行链路上各种信道类型的开销分析入手,深入研究了物理层上下行理论传输速率计算的两种方法,即采用开销与带宽资源相结合的方式进行计算或者采用调制和编码方式 (MCS) 和传输块大小 (TBS) 相结合的方式进行计算。覆盖部分主要描述了 LTE 上下行链路预算的相关知识。时延分析则包括用户面和控制面两部分,采用不同状态下 Ping 的测试结果进行对比和分析。

LTE-A 是对 LTE 的功能和性能的增强,自组织网络 (SON) 则是未来优化的

主要手段。本书最后两章分别对 SON 和 LTE - A 进行了介绍。

本书由燕山大学电子与通信工程系陈书贞、中国移动通信集团公司网络部张旋、诺基亚西门子通信网络科技服务有限公司王玉镇和摩托罗拉公司方案解决部文志成共同编写。华为公司赵然，爱立信中国有限公司刘向东，诺基亚西门子通信网络科技服务有限公司袁平、赵冰、郝卫东对稿件进行了审阅，并提出不少宝贵意见，本书编写过程中还得到了诺基亚西门子通信网络科技服务有限公司安晓东以及湖南华诺科技有限公司王亚强等人的帮助，中国移动设计院刘长勇以及燕山大学张红卫、王良化、张钧芹、韩冬梅等同学也协助进行了部分绘图和材料整理工作，特此对他们的付出和努力表示感谢。

机械工业出版社的编辑对书稿的出版付出了辛苦的策划和编辑工作，特此对他们的工作表示感谢。

由于 LTE 技术目前处于试验和验证阶段，且各厂商实施方法各有不同，因此部分原理和结论仍有待实践验证。对于书中论述不完善或者错误的地方，恳请各位读者予以指正，并提出宝贵意见，以便后续有机会予以修改和更正，联系信箱为 buptzjh@163.com。

编 者

读者需求调查表

亲爱的读者朋友：

您好！为了提升我们图书出版工作的有效性，为您提供更好的图书产品和服务，我们进行此次关于读者需求的调研活动，恳请您在百忙之中予以协助，留下您宝贵的意见与建议！

个人信息

姓名：		出生年月：		学历：	
联系电话：		手机：		E-mail：	
工作单位：				职务：	
通讯地址：				邮编：	

1. 您感兴趣的科技类图书有哪些？

- ☐ 自动化技术 ☐ 电工技术 ☐ 电力技术 ☐ 电子技术 ☐ 仪器仪表 ☐ 建筑电气
☐ 其他（ ） 以上个大类中您最关心的细分技术（如 PLC）是：（ ）

2. 您关注的图书类型有

- ☐ 技术手册 ☐ 产品手册 ☐ 基础入门 ☐ 产品应用 ☐ 产品设计 ☐ 维修维护
☐ 技能培训 ☐ 技能技巧 ☐ 识图读图 ☐ 技术原理 ☐ 实操 ☐ 应用软件
☐ 其他（ ）

3. 您最喜欢的图书叙述形式

- ☐ 问答型 ☐ 论述型 ☐ 实例型 ☐ 图文对照 ☐ 图表 ☐ 其他（ ）

4. 您最喜欢的图书开本

- ☐ 口袋本 ☐ 32 开 ☐ B5 ☐ 16 开 ☐ 图册 ☐ 其他（ ）

5. 图书信息获得渠道：

- ☐ 图书征订单 ☐ 图书目录 ☐ 书店查询 ☐ 书店广告 ☐ 网络书店 ☐ 专业网站
☐ 专业杂志 ☐ 专业报纸 ☐ 专业会议 ☐ 朋友介绍 ☐ 其他（ ）

6. 购书途径

- ☐ 书店 ☐ 网站 ☐ 出版社 ☐ 单位集中采购 ☐ 其他（ ）

7. 您认为图书的合理价位是（元/册）：

- 手册（ ） 图册（ ） 技术应用（ ） 技能培训（ ）
基础入门（ ） 其他（ ）

8. 每年购书费用

- ☐ 100 元以下 ☐ 101 ~ 200 元 ☐ 201 ~ 300 元 ☐ 300 元以上

9. 您是否有本专业的写作计划？

- ☐ 否 ☐ 是（具体情况： ）

非常感谢您对我们的支持，如果您还有什么问题欢迎和我们联系沟通！

地址：北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社电工电子分社 邮编：100037

联系人：张俊红 联系电话：13520543780 传真：010 - 68326336

电子邮箱：buptzh@163.com（可来信索取本表电子版）

编著图书推荐表

姓名		出生年月		职称/职务		专业	
单位				E - mail			
通讯地址						邮政编码	
联系电话			研究方向及教学科目				
个人简历（毕业院校、专业、从事过的以及正在从事的项目、发表过的论文）							
您近期的写作计划有：							
您推荐的国外原版图书有：							
您认为目前市场上最缺乏的图书及类型有：							

地址：北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社 电工电子分社
邮编：100037 网址：www.cmpbook.com
联系人：张俊红 电话：13520543780/010 - 68326336（传真）
E - mail：buptzjh@163.com（可来信索取本表电子版）

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 LTE 基本性能要求	1
1.2 LTE 与 HSPA 和 HSPA + 性能比较	2
1.2.1 数据峰值传输速率	2
1.2.2 时延	4
1.2.3 频谱效率	5
1.3 LTE FDD 与 LTE TDD 特性对比分析	6
1.3.1 TDD 与 FDD 物理层特性差异	7
1.3.2 LTE FDD 与 LTE TDD 特性对比分析	12
第 2 章 调度	14
2.1 概述	14
2.2 MAC 层调度功能	16
2.3 上下行逻辑信道调度机制	17
2.4 下行链路传输信道调度机制	17
2.5 下行链路物理资源调度机制	18
2.6 上行链路物理资源调度	19
2.6.1 上行链路调度概述	19
2.6.2 上行链路调度过程	20
2.6.3 上行链路调度信令流程	21
2.7 调度优先级	22
2.7.1 下行链路调度优先级	22
2.7.2 上行链路调度优先级	23
2.7.3 上下行链路调度优先级组合	23
第 3 章 功率控制与链路自适应	24
3.1 上行功率控制分类	24
3.2 PUSCH 功率控制算法	25
3.2.1 上行闭环功率控制	26
3.2.2 上行开环功率控制	32
3.3 PUCCH 的功率控制	33
3.4 SRS 信道的功率控制	37
3.5 PRACH 的功率控制	38

3.6 下行功率分配	41
3.6.1 PDCCH 的功率分配	41
3.6.2 PDSCH 的功率分配	41
第4章 上行跳频	46
4.1 上下行 RB 资源映射	46
4.1.1 下行 VRB 到 PRB 的映射	47
4.1.2 上行 VRB 到 PRB 的映射	47
4.2 PUSCH 跳频	48
4.2.1 跳频标识以及跳频资源分配	48
4.2.2 PUSCH 跳频类型 1 资源分配方式	51
4.2.3 PUSCH 跳频类型 2 资源分配方式	52
4.2.4 PUSCH 跳频类型 1 和 2 比较	53
4.2.5 PUSCH 跳频类型 1 举例 (10MHz)	54
4.2.6 PUSCH 跳频类型 2 举例 (10MHz)	55
4.3 PUCCH 跳频	56
第5章 ICIC	58
5.1 LTE 系统中的上下行干扰抑制技术	58
5.1.1 下行干扰抑制技术	58
5.1.1.1 小区间干扰随机化	58
5.1.1.2 小区间干扰消除	59
5.1.1.3 小区间干扰协调/避免	59
5.1.2 上行干扰抑制技术	59
5.2 小区间干扰协调分类	60
5.3 LTE 频率复用方式	61
5.3.1 分数频率复用	61
5.3.2 软频率复用	62
5.3.3 部分频率复用	63
5.4 上下行干扰协调技术的实现	64
5.4.1 上行干扰协调	64
5.4.2 下行干扰协调	64
第6章 LTE 中的 VoIP	66
6.1 基本概念	66
6.1.1 概述	66
6.1.2 VoIP 结构	66
6.1.3 VoIP AMR 参数	68
6.2 VoIP 无线特性	69
6.2.1 VoIP 基本特性	69
6.2.2 不同网络中 VoIP 特性比较	70

6.3 VoIP 语音质量评估标准	70
6.3.1 VoIP 语音质量影响因素	70
6.3.2 VoIP 语音质量评估标准	72
6.4 VoIP 调度策略	73
6.4.1 动态调度	74
6.4.2 持续性调度	74
6.4.3 半持续性调度	74
6.5 TTI 绑定	75
6.5.1 TTI 绑定技术	75
6.5.2 TDD 模式下的 TTI 绑定	77
6.5.3 FDD 模式下的 TTI 绑定	78
6.6 VoIP 时延分析	80
第7章 MIMO	82
7.1 多天线技术及其分类	82
7.1.1 SISO	82
7.1.2 MISO	82
7.1.3 SIMO	83
7.1.4 MIMO	83
7.2 MIMO 的不同种类	84
7.2.1 空间复用	84
7.2.2 空间分集	84
7.2.3 波束赋形	85
7.2.4 开环和闭环 MIMO	86
7.3 LTE 上行 MIMO 应用模式	87
7.3.1 上行分集接收	87
7.3.2 上行多用户虚拟 MIMO	88
7.4 LTE 系统中的下行 MIMO 应用模式	89
7.4.1 MIMO 中的基本概念	89
7.4.2 LTE 下行 MIMO 的不同模式及分类	92
7.4.2.1 LTE 下行 MIMO 模式	92
7.4.2.2 根据实现方式进行分类	92
7.4.2.3 根据信息反馈机制进行分类	92
7.4.3 LTE 下行 MIMO 不同模式的特性	94
7.4.3.1 模式 1: 单天线端口 0	94
7.4.3.2 模式 2: 开环发射分集	94
7.4.3.3 模式 3: 开环空间复用	95
7.4.3.4 模式 4: 闭环空间复用	97
7.4.3.5 模式 5: 多用户 MIMO	97
7.4.3.6 模式 6: 闭环发射分集 (闭环秩为 1 的预编码)	98

7.4.3.7 模式 7: 单流波束赋形 (端口 5)	98
7.4.3.8 模式 8: 双流波束赋形天线技术	98
7.4.4 LTE 下行 MIMO 模式对比分析	99
7.5 LTE 中不同信道所采用的 MIMO 方案	100
7.6 不同 MIMO 模式的适用场景	101
7.7 MIMO 性能分析	103
7.7.1 秩对容量和覆盖的影响	103
7.7.2 天线数对性能的影响	103
7.7.3 天线配置的影响	104
7.7.4 上行 MIMO 性能	104
7.7.5 发射分集与 SISO 和 SIMO 比较	105
7.7.6 下行 SU-MIMO 性能	106
7.7.7 SU-MIMO 与 MU-MIMO 性能比较	106
第 8 章 LTE 无线网络性能	108
8.1 LTE 信道与业务容量分析	108
8.1.1 PDCCH 容量	108
8.1.2 PUCCH 容量	110
8.1.2.1 不同格式下的 PUCCH 容量	111
8.1.2.2 LTE FDD 系统 PUCCH 的 RB 需求	112
8.1.3 VoIP 业务容量	113
8.1.3.1 采用控制信道计算上行 VoIP 业务容量	114
8.1.3.2 采用资源块计算上行 VoIP 业务容量	114
8.2 LTE 性能分析	115
8.2.1 LTE 性能衡量标准	115
8.2.2 LTE 性能影响因素	116
8.2.3 LTE 系统控制信道及其特性	117
8.2.3.1 LTE 下行帧结构	117
8.2.3.2 LTE 上行帧结构	117
8.2.3.3 同步信号	120
8.2.3.4 参考信号	120
8.2.3.5 物理广播信道	123
8.2.3.6 物理控制格式指示信道 (PCFICH)	123
8.2.3.7 PDCCH	124
8.2.4 FDD 开销分析	125
8.2.4.1 保护带宽开销	125
8.2.4.2 CP 开销	126
8.2.4.3 下行链路开销分析	126
8.2.4.4 上行链路开销分析	129
8.2.5 TDD 开销分析	131

8.2.5.1 TDD 帧结构	131
8.2.5.2 TDD 开销分析	133
8.2.6 LTE 物理层理论峰值传输速率	134
8.2.6.1 采用带宽资源进行计算	134
8.2.6.2 采用 MCS 和 TBS 计算吞吐量	140
8.3 LTE 业务信道覆盖分析	150
8.3.1 链路预算概述	151
8.3.2 接收灵敏度	153
8.3.3 上行链路预算	156
8.3.4 下行链路预算	158
8.4 FDD 系统时延	160
8.4.1 LTE 控制面时延	161
8.4.2 LTE 用户面时延	162
8.4.3 Ping 时延分析	163
8.4.3.1 同步状态下下行发起的 Ping	164
8.4.3.2 睡眠状态下下行发起的 Ping	164
8.4.3.3 同步状态下上行发起的 Ping	165
8.4.3.4 睡眠状态下上行发起的 Ping	165
第9章 SON	167
9.1 SON 概述	167
9.2 SON 的主要功能	167
9.2.1 自动规划	168
9.2.2 自动配置	168
9.2.3 自动优化	169
9.2.4 自愈	169
9.3 SON 体系架构	170
9.3.1 集中式 SON 架构	170
9.3.2 分布式 SON 架构	170
9.3.3 局部式 SON 架构	170
9.3.4 混合式 SON 架构	171
9.3.5 多厂商环境下 SON 架构的选择	171
9.4 SON 的具体应用举例	172
9.4.1 eNodeB 初始配置自动化	172
9.4.2 自动邻区关联	173
9.4.2.1 LTE 内部/频率内部的 ANR	173
9.4.2.2 RAT 间/异频 ANR	173
9.4.2.3 LTE 内部/同频自动邻区关联功能	174
9.4.2.4 邻区列表优化	176
9.4.3 物理小区号自动配置	177

第 10 章	LTE - A	179
10.1	LTE - A 性能要求	179
10.2	LTE - A 关键技术	179
10.2.1	载波和频谱聚合	180
10.2.2	多点协作传输技术	181
10.2.3	中继	183
10.2.4	MIMO 增强技术	186
附录	传输块大小	192
缩略语		202
参考文献		208

第 1 章 概 述

3GPP（第三代协作项目）LTE 项目的目标是为了提高系统容量和覆盖、降低时延、提供更高的峰值数据传输速率、降低成本，以满足和支持未来的业务性能需求。LTE 通过采用可扩展带宽和 OFDM（A）等接入方式，实现了频谱效率的高效性以及数据传输速率的快速性。LTE 项目实际上不是一个标准，但它推动了 3G 标准的全面演进。

LTE 物理层采用了 Turbo 编/解码以及更高阶的调制方式（最高为 64QAM），因而能够获取更高的数据传输速率。LTE 支持频分双工（FDD）和时分双工（TDD）模式，下行采用正交频分复用多路接入（OFDMA），上行采用单载波频分复用多路接入（SC-FDMA），能够以较低的成本实现数据传输速率更高、延迟更低、容量和覆盖更优的目标。

LTE 物理层支持混合自动重传请求（HARQ）、链路适配、上行功率控制和多输入多输出（MIMO）等关键技术，通过跳频、小区间干扰协调和服务质量（QoS）控制等手段实现系统容量和质量之间的均衡。

部署 LTE 系统架构演进（SAE）的主要原因为：

- 1) 移动宽带市场需求的增长，高价值客户对移动性和宽带 Internet 接入的要求更高。
- 2) 关键和主要市场上的高速分组接入（HSPA）话务拥塞迫在眉睫，LTE 系统可以缓解这种趋势，为客户提供与有线宽带相似的体验。
- 3) 在高度竞争性市场上保持领导地位，提供有竞争性的移动宽带 Internet 业务。
- 4) 统一采用 LTE 技术提供数据业务的高速连接，而不再需要采用多种 3G 技术。

1.1 LTE 基本性能要求

在 LTE 系统设计之初，其目标 and 需求就非常明确，即降低时延、提高用户数据传输速率、提高系统容量和覆盖范围等。LTE 系统设计的目标是在 20MHz 系统带宽配置下，达到下行 100Mbit/s（2 天线接收），上行 50Mbit/s（1 天线发送）的系统峰值数据传输速率。具体目标如下：

1) 支持 1.4MHz、3MHz、5MHz、10MHz、15MHz 和 20MHz 带宽，灵活使用已有或新增频段；并以尽可能相似的技术支持“成对”频段和非“成对”频段，便于系统灵活部署。

2) 峰值传输速率：20MHz 带宽条件下，上行 50Mbit/s（2 × 1 天线），下行

100Mbit/s (2×2 天线)。

3) 在有负荷的网络中, 下行频谱效率 ((bit/s)/Hz) 达到 3GPP R6 HSDPA (高速下行链路分组接入) 的 2~4 倍, 上行频谱效率达到 3GPP R6 HSUPA (高速上行链路分组接入) 的 2~3 倍。

4) 在单用户、单业务流以及小 IP 包条件下, 用户面延迟 (单向) 小于 5ms。

5) 控制面延迟: 从空闲状态到激活状态的转换时间小于 100ms, 从休眠状态到激活状态的转换时间小于 50ms。

6) 支持与现有 3GPP 和非 3GPP 系统的互操作。

7) 支持增强型的广播和多播业务 (如 1~3Mbit/s)。

8) 降低建网成本, 实现从 R6 的低成本演进。

9) 具备合理的终端复杂度、成本和耗电。

10) 支持增强的 IMS (IP 多媒体子系统) 和核心网。

11) 后向兼容, 且考虑到了性能改进和后向兼容之间的平衡性。

12) 取消电路交换 (Circuit Switch) 域, 所有业务都在分组交换 (Packet Switch) 域实现, 如采用 VoIP。

13) 支持低速移动和高速移动。低速 (0~15km/h) 下的性能较好, 高速 (15~120km/h) 下的性能最优, 较高速 (350~500km/h) 下的用户能够保持连接性。

14) 支持简单的邻频共存。

15) 为不同类型服务提供 QoS 机制, 保证实时业务 (如 VoIP) 的服务质量。

16) 允许给用户端设备 (UE) 分配非连续的频谱。

17) 网络结构和移动性:

- 考虑简化当前的网络架构;
- 提供开放接口, 支持多厂商设备部署;
- 提高网络强壮性, 消除单点故障;
- 支持多无线接入技术 (Multi-RAT) 系统操作;
- 支持对传统网络和其他网络的无缝移动, 包括 RAT 间的切换和基于 RAT 选择的服务。

因此, 与其他无线技术相比, LTE 具有更高的传输性能, 且同时适合高速和低速移动应用场景。

1.2 LTE 与 HSPA 和 HSPA+ 性能比较

1.2.1 数据峰值传输速率

GPRS/HSPA/LTE 的峰值传输速率见表 1-1。采用 2×2 MIMO 配置和 16 状态正

文调幅 16QAM 方式时，HSPA + 峰值传输速率为 28Mbit/s，采用 2 × 2 MIMO 配置和 64 状态正交调幅 64QAM 方式时，峰值传输速率为 42Mbit/s。

表 1-1 GPRS/HSPA/LTE 峰值传输速率对比

技术种类	下行理论峰值传输速率	上行理论峰值传输速率
GPRS（CSI ~2，MS 最大 8 时隙）	107.2kbit/s	107.2kbit/s
GPRS（CSI ~4，MS 最大 8 时隙）	171.2kbit/s	171.2kbit/s
EDGE（MCS1 ~9，MS 最大 8 时隙）	473.6kbit/s	473.6kbit/s
E - EDGE（MS 最大 8 时隙）	1305.6kbit/s	652.8kbit/s
UMTS WCDMA R99	2.048Mbit/s	768kbit/s
HSDPA	14.4Mbit/s	5.76Mbit/s
HSPA +（2 × 2 MIMO，16QAM）	28Mbit/s	11.5Mbit/s
LTE（20MHz）	100Mbit/s（2 × 2 天线）	50Mbit/s（2 × 1 天线）
CDMA2000 1X RTT	307kbit/s	307kbit/s
CDMA2000 EV - DO 版本 0	2.4Mbit/s	307kbit/s
CDMA2000 EV - DO 版本 A	3.1Mbit/s	1.8Mbit/s
CDMA2000 EV - DO 版本 B（15 个无线信道）	73.5Mbit/s	27Mbit/s
CDMA2000 EV - DO 版本 C	100Mbit/s	50Mbit/s
IEEE802.16e WiMax（10MHz TDD DL/UL = 3，1x2 SIMO）	23Mbit/s	4Mbit/s
IEEE802.16e WiMax（10MHz TDD DL/UL = 3，2x2 MIMO）	46Mbit/s	4Mbit/s

注：GPRS—通用分组无线业务 EDGE—增强型 GSM 数据业务 GSM—全球移动通信系统 E - EDGE—增强型 EQGE UMTS—通用移动通信系统 WCDMA—宽带码分多址复用 R99—版本 99 HSDPA—高速下行链路分组接入技术 HSPA +—高速分组接入演进 CDMA—码分多址复用 EV - DO—数据业务增强 WiMax—全球微波接入互操作性

系统峰值吞吐量取决于可用带宽以及 MIMO 模式，请参看图 1-1。

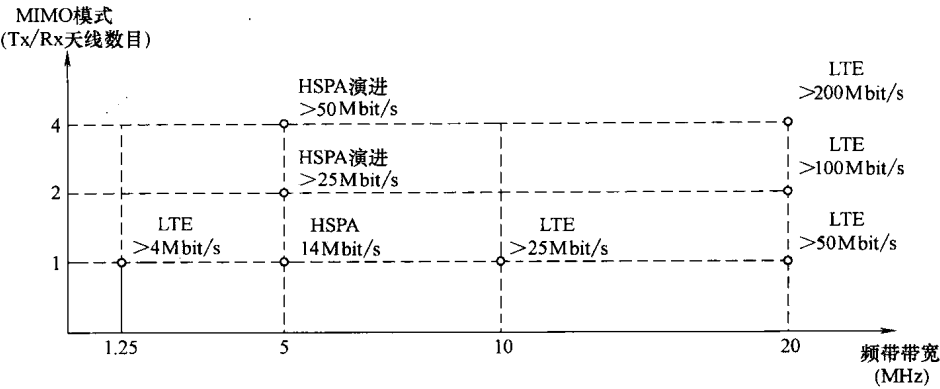


图 1-1 不同频带宽度和 MIMO 模式配置下的系统速率对比

LTE 比 HSPA 和 HSPA + 吞吐量高，主要原因为：

(1) 接收机性能

LTE 接收机结构比 HSPA 更简单。LTE 使用自然均衡器 (Natural Equalizer)，如果时延的均方根扩展小于 CP (循环前缀) 长度，就不会产生 ISI (符号间干扰)。而 HSPA + 使用 1 类 Rake 接收机时，多径环境下性能会下降；使用 3 类 Rake 接收机虽然可以降低 ISI，但是并不能完全消除 ISI。因此，多径环境下的 LTE 的性能优于 HSPA。

(2) 工作带宽

LTE 系统支持 20MHz 的可扩展带宽，而 HSPA 仅支持 5MHz 的带宽。

(3) MIMO 和波束赋形技术

LTE 系统下行支持类似单用户 MIMO (SU-MIMO)、多用户 MIMO (MU-MIMO) 和基于 RS (参考信号) 的波束赋形技术的多天线阵列技术，支持 8 种不同的 MIMO 和波束赋形模式。LTE 中，下行 SU-MIMO 支持最多 4 个流，上行 SU-MIMO 支持单个流，下行还支持 MU-MIMO，上行还支持 SDMA (每个用户单个流)；LTE-A 中，每个用户下行支持最多 8 个流，SU-MIMO 模式下，上行支持最多 4 个流，MU-MIMO 模式下，上下行都支持多达 8 个流。使用多个天线可以增加扇区和边缘吞吐量。而目前所定义的 HSPA 系统只支持发射分集和 2×2 MIMO，因此比 LTE 闭环空中复用的效率更低。

(4) 降低干扰

LTE 系统中，下行采用最大似然检测算法 (MLD) 和串行干扰消除 (SIC) 接收机，上行采用 SIC 接收机，这些先进的接收机能够进一步降低干扰。上下行方向上，小区内干扰具有正交性，小区间干扰具有伪正交性，且 LTE 使用基于 X2 的过载控制来进行有效的部分 (Fractional) 功率控制。

HSPA + 系统中，小区内和小区间干扰在整个频带上分布，扩展使部分干扰得以降低，上行方向上，小区内干扰和小区间干扰都不存在正交性。

接收机中使用均衡器降低 ISI，使用 SIC 接收机来抑制干扰。

1) 开销：LTE 中上下行开销 (Overhead) 均低于 HSPA。

2) 调度：HSPA + 不采用频率选择性调度，只在时域使用机会性调度 (Opportunistic Scheduling)。而 LTE 得益于频率选择性调度，在时域和频域都可以进行机会性调度，容量增益为 10% ~ 15%。

(5) VoIP 容量

LTE 采用半持续性 (Semi-persistent) 调度和 TTI 绑定 (Bundling) 技术，有助于改善容量，降低控制信道开销。HSPA + 中，不再使用高速共享控制信道 (HS-SCCH)，下行 VoIP 容量改善，但上行仍然是限制因素。

1.2.2 时延

时延为数据在网络中传送所需要的环回 (Round-trip) 时间，每种数据技术

都在努力降低时延，HSDPA 的时延小于 70ms，而 HSUPA 和 LTE 的时延则更低。图 1-2 为不同技术下的时延对比结果。图中所显示的值为实际商用网络中的测试结果，这与设备厂商所提供的数据之间可能存在差异，比如有的厂商标称的 EDGE 时延为 150ms，HSDPA 时延为 70ms。

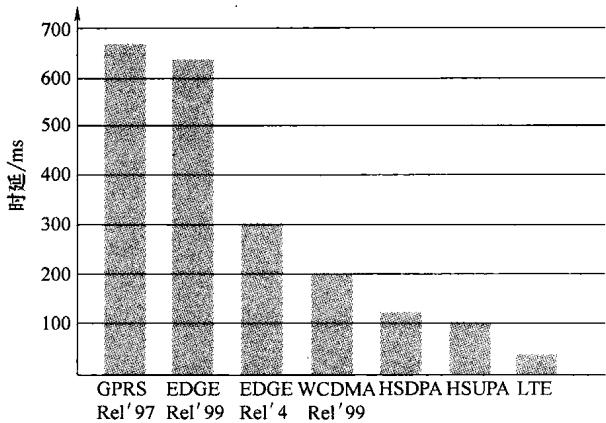


图 1-2 EDGE/HSDPA/LTE 时延对比

1.2.3 频谱效率

频谱效率是指单位频带所支持的数据传输速率或者用户数。随着无线数据市场的增长，频谱效率的重要性更为突出。在频段、频谱数量、小区位置等因素不变的情况下，频谱效率高，意味着一定负荷条件下所支持的用户数较多，或者在用户数目相同的条件下，每用户的吞吐量较高。为大量用户提供宽带业务时，最优选择应当是采用频谱效率高的系统，而不是采用增加频段或者基站数的方式。当然，频谱效率高也需要付出一定的代价，如用户设备和基站设备需要进行更多的信号处理和运算，所以设备较为复杂，因此选择什么样的频谱效率需要根据市场状况和设备成本进行分析和均衡。

无线网络的频谱效率受到很多因素的影响，如网络拓扑、传播条件、用户分布、业务特点等。因此在衡量和比较各个系统的频谱效率的时候，必须考虑到系统的仿真条件。为了便于比较不同公司的结果，3GPP 对系统的仿真条件做了约定，最常用的网络参数见表 1-2。

表 1-2 频谱效率仿真配置条件

仿真单位	载波频率/GHz	基站间距/m	系统带宽/MHz	室内用户穿透损耗/dB	移动速度/(km/h)
1	2.0	500	10	20	3
3	2.0	1732	10	20	3
室外到室内	2.0	130	10	—	3