

LTE 技术丛书

LTE 空中接口技术与性能

本书从网络架构、协议栈、空中接口技术和网络性能等方面介绍了LTE的有关原理及其关键技术，尤其对LTE的物理层技术及主要物理层和空中接口流程进行了详细说明。

■ 张新程 田韬 周晓津 文志成 编著

 **人民邮电出版社**
POSTS & TELECOM PRESS

LTE 技术丛书

LTE 空中接口技术与性能

■ 张新程 田韬 周晓津 文志成 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

LTE空中接口技术与性能 / 张新程等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009.9
(LTE技术丛书)
ISBN 978-7-115-21034-0

I. L… II. 张… III. 码分多址—移动通信—通信技术
IV. TN929.533

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第095057号

内 容 提 要

本书从网络架构、协议栈、空中接口技术和网络性能等方面介绍了 LTE 的有关原理及其关键技术, 尤其对 LTE 的物理层技术及主要物理层和空中接口流程进行了详细说明。在技术特点上, 本书对 LTE 物理层的关键技术进行了深入探讨, 并详细阐述了对提高 LTE 峰值速率起关键作用的 MIMO 技术原理和详细的工作流程。在空中接口方面, 本书对 LTE 与 3G 系统的一些关键流程进行了比较和分析。本书对 LTE 的网络性能和效率分析也有独到之处。

本书面向的读者为运营商、无线网络和终端设备制造商、通信业务提供商以及有关高校通信专业的师生等。此外, 本书也可供通信技术领域的其他有关人员阅读参考。

LTE 技术丛书

LTE 空中接口技术与性能

-
- ◆ 编 著 张新程 田 韬 周晓津 文志成
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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20.5
字数: 504 千字
印数: 1—4 000 册
 - 2009 年 9 月第 1 版
2009 年 9 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-21034-0/TN

定价: 56.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

[illegible]

由于作者水平有限，加上时间仓促，书中难免存在不当之处。殷切希望业内专家和广大读者批评指正。为了便于本书再版能及时纠正书中的差错，读者可将在阅读中发现的问题发至 tian.tim@gmail.com，在此深表感谢。

目 录

第 1 章 LTE 系统概述	1
1.1 LTE 技术特点	5
1.2 LTE 网络架构	6
1.2.1 网元设置	6
1.2.2 网络内部接口及网元功能	9
1.3 LTE 网络协议栈	11
1.4 LTE 组网的技术应用	15
1.4.1 终端移动性	15
1.4.2 RRM	16
1.4.3 无线自组织网络	16
1.4.4 家庭型基站	17
1.4.5 增强型 MBMS (eMBMS)	19
1.4.6 中继(Relay) 技术	22
1.5 FDD LTE 与 TDD LTE	26
1.6 LTE 终端类别	28
1.7 LTE 频段划分	30
第 2 章 LTE 物理层技术	32
2.1 概述	32
2.1.1 eNode B 发送与接收技术	32
2.1.2 UE 发送与接收技术	35
2.1.3 物理层主要性能指标	42
2.2 帧结构与资源块	48
2.2.1 FDD 帧结构	48
2.2.2 TDD 帧结构	54
2.2.3 资源块及其映射	60
2.3 下行链路	66
2.3.1 概述	66
2.3.2 下行信道的一般结构	68
2.3.3 物理下行共享信道	70
2.3.4 物理广播信道	70
2.3.5 物理控制格式指示信道 (PCFICH)	74
2.3.6 物理下行控制信道	75
2.3.7 物理 HARQ 指示信道	89
2.3.8 参考信号	92
2.3.9 同步信号	98
2.4 上行链路	101
2.4.1 上行物理信道概述	102
2.4.2 时隙结构和物理资源	103
2.4.3 物理上行共享信道	106
2.4.4 参考信号	107
2.4.5 物理上行控制信道	114
2.4.6 物理层随机接入信道	123
2.5 调制和上变频	132
2.6 定时	133
2.7 物理层过程	133
2.7.1 随机接入	133
2.7.2 功率控制	136
2.7.3 小区搜索过程	143
2.7.4 UE 上报 CQI、PMI 和 RI 的 过程	145
2.7.5 HARQ 相关进程	151
2.7.6 频率复用与干扰协调	156
2.7.7 信道定时控制	163
2.7.8 RRC 连接状态下的 DRX	167
2.8 LTE 地址标识	169
第 3 章 LTE 的 MIMO 技术	172
3.1 MIMO 技术简介	177
3.1.1 天线的种类与应用	178
3.1.2 SDMA	179
3.1.3 码字与层映射	180
3.1.4 预编码	184
3.1.5 下行 MIMO	193
3.1.6 SU-MIMO 与 MU-MIMO	194
3.2 上行 MU-MIMO 的调度与解码过程	196
3.2.1 上行 MU-MIMO 的调度	196
3.2.2 上行 MU-MIMO 的解码	198

3.3 MIMO 性能	199	5.1.1 系统峰值速率分析	265
3.4 波束赋形技术	200	5.1.2 系统频谱效率分析	267
3.4.1 基于波束赋形的非码本反馈方式	201	5.2 影响接收灵敏度的因素	268
3.4.2 基于波束赋形的码本反馈方式	202	5.2.1 子载波频率偏差对接收灵敏度的影响	268
3.4.3 BF 和 MIMO 的结合	203	5.2.2 振荡器相位噪声对接收灵敏度的影响	270
第 4 章 空中接口和 RRC 技术	206	5.2.3 符号/抽样定时误差对接收灵敏度的影响	270
4.1 概述	206	5.3 开销分析	271
4.2 PDCP 子层	208	5.3.1 FDD 开销分析	271
4.2.1 PDCP PDU	208	5.3.2 TDD 开销分析	278
4.2.2 头压缩	209	5.4 时延分析	278
4.2.3 数据传输流程	210	5.4.1 用户面时延	278
4.3 RLC 子层	212	5.4.2 控制面时延	280
4.3.1 透明模式	213	5.4.3 实际网络主要时延分析	282
4.3.2 非确认模式	213	5.5 SC-FDMA 性能	286
4.3.3 确认模式	217	5.6 LTE 覆盖性能	289
4.4 MAC 子层	225	5.6.1 下行信道覆盖	289
4.4.1 MAC 结构和功能	225	5.6.2 上行链路覆盖	290
4.4.2 MAC PDU	227	5.6.3 DL PDCCH 覆盖性能	291
4.4.3 MAC 涉及的过程	229	5.6.4 UL PUCCH 覆盖性能	292
4.4.4 无线资源调度	237	5.6.5 DL RS 覆盖性能	294
4.5 RRC 技术	240	5.7 MCS 的选择	295
4.5.1 RRC 功能	240	5.8 VoIP 性能	297
4.5.2 RRC 状态	243	5.9 固定带宽探测参考信号的链路性能分析	300
4.5.3 信令无线承载	244	5.10 上行 ACK/NACK 性能分析	303
4.5.4 系统信息广播	245	5.11 MIMO 信道反馈性能分析	305
4.5.5 RRC 连接控制	248	5.12 不同频率分集方式对吞吐量的影响	309
4.5.6 E-UTRAN 内移动性管理	256	缩略语	312
4.6 LTE 的 QoS 机制	260	参考文献	316
4.6.1 简介	260		
4.6.2 EPS 承载业务架构	260		
4.6.3 QoS 参数	262		
第 5 章 LTE 网络性能	265		
5.1 3GPP 评估的 LTE 网络性能	265		

第 1 章

LTE 系统概述

我国移动通信的发展经历了从模拟到数字的过程，包括 TACS、GSM、CDMA 等 2G 移动通信系统以及 WCDMA 和 TD-SCDMA 等 3G 移动通信系统。3G 及其以后的移动通信系统追求的主要目标是高速率数据、广覆盖和大容量。图 1-1 表明移动通信从 3G 到 4G 无线技术的演进趋势，随着 4G 技术的出现，其峰值传输速率要求越来越高，譬如 4G 中低速移动性时峰值传输速率能够超过 100Mbit/s 甚至更高。

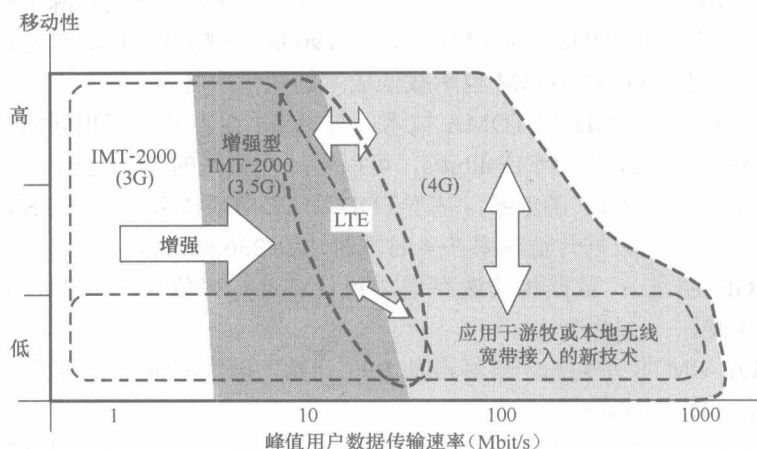


图 1-1 移动通信技术的演进

3G 移动通信系统最高的数据传输速率只有 2Mbit/s，在数据需求高速增长的今天显然是不具有吸引力的。为提高 3G 的竞争力，3GPP、3GPP2 等标准化组织先后提出了 HSDPA、HSUPA、EVDO 等旨在提高数据传输速率的后续标准，近来又提出了 LTE（Long Term Evolution）作为未来的移动通信标准。LTE 能够更好地利用频谱，以更低的成本提供良好的覆盖和信道容量。重要的是，LTE 的下行链路采用 OFDM 技术，速率可以达到 50~100Mbit/s，上行速率也可达到 30~50Mbit/s。另外，降低系统延迟以适应多种业务也是 LTE 系统的主要设计目标。

LTE 接入网不但能够有效支持新的物理层传输技术，还会带来网络建设和运维过程中的低时延、低复杂度、低成本。原有 3G 网络结构显然已无法满足要求，需要调整与演进。3GPP 确定的 LTE 接入网采用扁平化的全 IP 架构，主要由基站（eNode B 或 eNode B）和接入网关（aGW）构成，数据核心网络演进标准称为 SAE（系统体系结构演进，System Architecture

Evolution), IP 宽带网络结构成为 LTE-SAE 体系结构及设计思想的基石。

图 1-2 中清晰地列出了目前业界部署的各种无线移动通信技术标准演进路线, 随后的内容会详细介绍 3GPP、3GPP2 两大标准化组织的标准演进过程。整体来看, OFDM/MIMO 和扁平化 IP 网络框架是移动通信技术的发展趋势。无线移动通信技术演进基本上能够汇集到 LTE、UMB¹ 及 WiMAX 16m 等为代表的未来技术标准上, 而这 3 种标准都基于 OFDM+MIMO 技术, 以提供更高的数据传输速率和频谱效率。

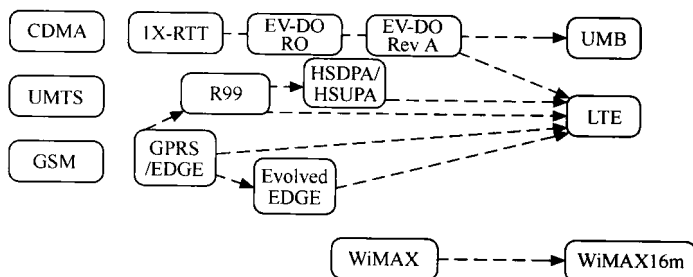


图 1-2 各种移动通信技术均向着 OFDM/MIMO+扁平化 IP 网络的方向演进

1. 3GPP

2G (GSM): 即 3GPP 的 R98, 基于 FDD 和 TDMA 技术。它最初源于欧洲, 在全世界范围内广泛应用, 采用 900MHz、1800MHz 以及 1900MHz 频段。目前有超过 212 个国家和地区的 30 亿人口在使用 GSM, GSM 也承载低成本的短信服务。

2.5G (GPRS): 基于 FDD 和 TDMA 技术, 与 GSM 兼容并使用相同的工作频段。它可提供中速数据传输, 从 54kbit/s 到 114kbit/s, 可以支持互联网的 WAP 接入业务。

2.75G (EDGE): 即 3GPP 的 R99, 基于 FDD 和 TDMA 技术。它与 GSM 兼容并使用相同的工作频段, 可提供的数据传输速率在 4 时隙时达到 236.8kbit/s。

2.75G (EDGE 演进): 数据传输速率增加到 1Mbit/s 峰值速率和相应系统时延下降到 100ms, 采用双载波。

3G (UMTS): UMTS 系列的全部标准从 R99 开始, 已经演进发展到了 R7。物理层技术基于 WCDMA 和 TD-SCDMA。

3.5G (HSDPA): HSDPA 技术在 3GPP R5 标准中引入, 与 3G 使用相同的频段。与 3G 相比, HSDPA 在物理层引入了一些新技术: 如下行高速共享信道 (HS-DSCH)、自适应调制技术等。目前在全世界的 76 个国家部署了 174 个 HSDPA 的商用网络, 使用 HSDPA 手机的下行数据速率达到 14.4Mbit/s。

HSPA+ 技术在 3GPP R7 标准中引入, 在移动网络中引入了简单 IP 的核心架构并大大提高了无线数据传输速率, 引入了新的天线技术: 波束成形和 MIMO。通过 MIMO 和高阶调制技术, HSPA+ 可支持下行最高 42Mbit/s 和上行最高 22Mbit/s 的数据传输速率。

LTE: 3GPP 长期演进计划, 旨在通过以 OFDM 为基础的下一代空中接口技术, 提高下行链路数据传输速率到 100Mbit/s, 上行链路数据传输速率到 50Mbit/s。

2. 3GPP2

2.5/3G (cdma2000): cdma2000 是 3G 主流技术标准 UMTS 的竞争者, 可用的工作频段

¹ 2008 年 11 月美国高通公司正式宣布放弃 UMB, 该技术目前基本不存在应用前景。

有 450MHz、700MHz、800MHz、900MHz、1700MHz、1800MHz、1900MHz 和 2100MHz。

3.5G (EV-DO): 采用 CDMA 与 TDMA 的复用技术, 使单个用户的吞吐量和系统总的吞吐量最大化, 有以下几个版本。

Rev.0: 支持下行 2.4Mbit/s 的数据传输速率和上行 153kbit/s 的数据传输速率。

Rev.A: 支持 QoS (提高系统时延性能) 相比 Rev.0 可提供更高的前向与反向的数据传输速率, Rev.A 支持下行 3.1Mbit/s 的数据传输速率和上行 1.8Mbit/s 的数据传输速率。

Rev.B: 在 Rev.A 的基础上, 通过捆绑多个载波来达到更高的传输速率和更低的时延。

UMB: 3GPP2 面向移动宽带解决方案的演进目标, 命名为超移动宽带 (UMB), 在网络架构方面类似于 LTE。

物理层技术演进可参见图 1-3。

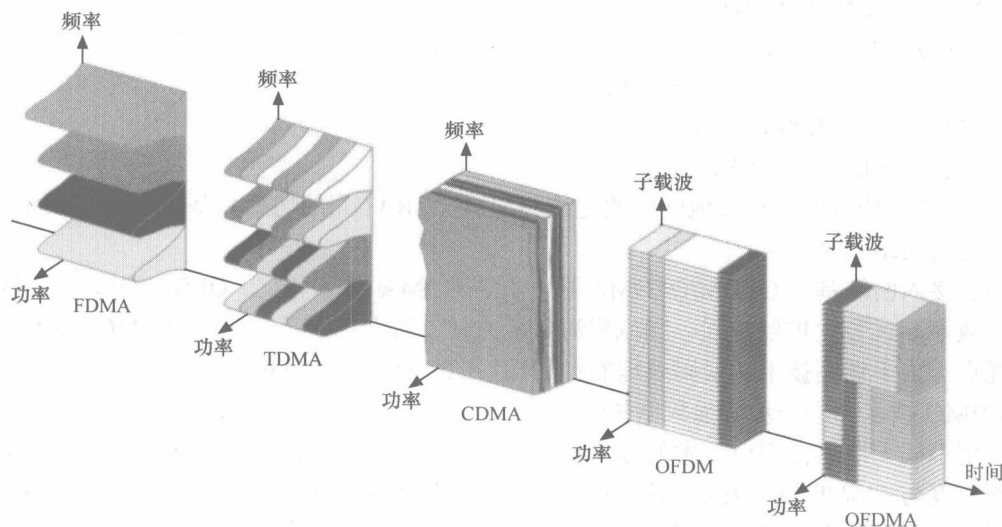


图 1-3 物理层技术演进 (不同的阴影部分代表不同的用户)

3GPP 在 2004 年底制定了无线长期演化计划即无线长期演进标准 LTE (Long Term Evolution) 和系统架构演进标准 SAE (System Architecture Evolution)。在 LTE 系统设计之初, 其目标和需求就非常明确: 降低时延、提高用户传输数据速率、提高系统容量和覆盖范围、降低运营成本等。LTE 系统设计目标是峰值数据速率 (Peak Data Rate), 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) 的系统吞吐能力。SAE 演进目标也包括降低时延, 提高容量和吞吐量的性能、简化核心网、优化基于 IP 业务和服务、支持非 3GPP 接入技术的和简化切换流程。

LTE 设计目标需求具体列举如下所述。

- (1) 支持 1.25~20MHz 带宽。
- (2) 峰值数据率: 上行 50Mbit/s, 下行 100Mbit/s, 频谱效率达到 3GPP R6 的 2~4 倍。
- (3) 提高小区边缘的比特率。
- (4) 用户面延迟 (单向) 小于 5ms, 控制面延迟小于 100ms。
- (5) 支持与现有 3GPP 和非 3GPP 系统的互操作。
- (6) 支持增强型的广播多播业务 (例如 1~3Mbit/s)。
- (7) 降低建网成本, 实现从 R6 的低成本演进。

- (8) 实现合理的终端复杂度、成本和耗电。
- (9) 支持增强的 IMS (IP 多媒体子系统) 和核心网。
- (10) 追求后向兼容, 但应该仔细考虑性能改进和向后兼容之间的平衡。
- (11) 取消 CS (电路交换) 域, CS 域业务在 PS (分组交换) 域实现, 如采用 VoIP。
- (12) 对低速移动优化系统, 同时支持高速移动。
- (13) 以尽可能相似的技术同时支持成对 (paired) 和非成对 (unpaired) 频段。
- (14) 尽可能支持简单的邻频共存。
- (15) 为不同类型服务提供 QoS 支持 (例如基于 IP 的语音业务)。
- (16) 灵活使用已有或新增频段。
- (17) 允许给 UE 分配非连续的频谱。
- (18) 网络结构和移动性。

① 须考虑 UTRAN 演进以及 UTRA 的演进要考虑简化当前的网络架构;

② 提供开放的接口, 支持多厂商设备部署;

③ 提高网络强壮性, 不存在单点故障;

④ 支持 multi-RAT 操作;

⑤ 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; 保持一定的网络安全水平。

LTE 接入网络基于 OFDM/OFDMA 技术, 与 CDMA 技术相比, OFDM/OFDMA 技术具有频谱效率高、带宽扩展性强、频域资源分配方便、抗多径衰落、易与 MIMO 技术联合运用的优点。由于调制技术和误码处理的灵活性, LTE 可以在较宽的 SNR 范围内有效地工作, 采用 MIMO 技术可进一步增强数据传输能力。

采用不同无线通信空口技术的理论频谱密度如图 1-4 所示, 图中曲线表示每种技术的理论频谱密度与 SNR 的相对关系。理论频谱密度与频谱效率是不同的, 频谱效率在多小区环境中将受到干扰等因素的影响。例如, 高阶调制技术可提高频谱密度, 但是由于每信息比特的高能量需求反而降低了频谱效率。

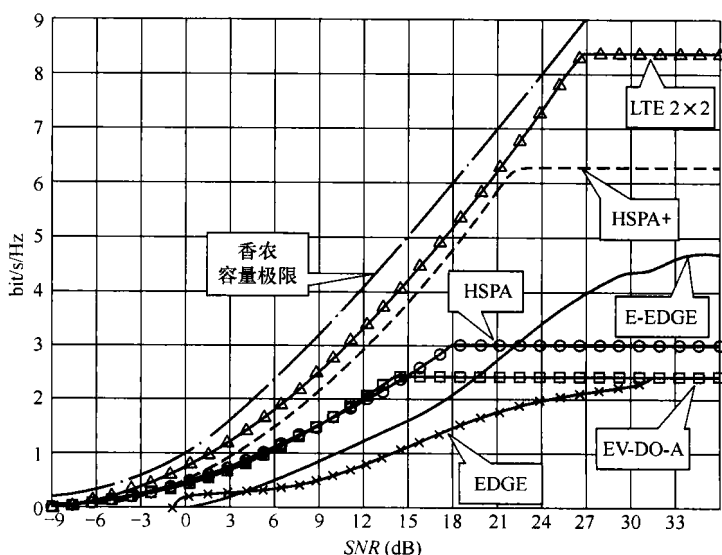


图 1-4 3G/4G 无线通信技术理论频谱密度与信道信噪比 SNR 关系曲线

标准 EDGE 技术采用 8PSK 调制技术, 在 33dB 的 SNR 时可以达到 2.2bit/s/Hz 的频谱密度。E-EDGE+技术由于采用高阶调制技术 (32QAM) 和的较高的符号速率 (比 EDGE 技术高 20%), 可获得高的吞吐量。

基于 CDMA 的 HSPA 和 EVDO 系统采用了相似的技术, 如 rake 接收机、可抵消干扰的先进的接收机如 G-RAKE 以及为 HSPA 提出的 MIMO 等均可增强网络性能。由于在 $N=1$ 的频率复用模式下, 同频小区边缘由于很多的不明干扰源将会引起导频检测的可靠性降低, 导致这些技术在较低的 SNR 的条件下对网络性能的改善不太明显。

LTE (MIMO 2×2) 曲线是基于理想信道估计的 TU3 衰落环境下的仿真, 在较高的 SNR 条件下, 可达到 8.2bit/s/Hz 的频谱密度 (MIMO 是基于空间复用 (高 SNR) 与 STTD (低 SNR) 技术的)。

表 1-1 3G/4G 无线通信技术峰值速率和平均频谱效率

	HSPA R6 (HSPA)	HSPA R7 (HSPA+, 2×2 MIMO)	FDD LTE (5MHz) (SISO 和 2×2 MIMO)	FDD LTE (20MHz) (SISO 和 2×2 MIMO)
技术	WCDMA	WCDMA	OFDMA (DL)	OFDMA (DL)
	(DL & UL)	(DL & UL)	SC-FDMA (UL)	SC-FDMA (UL)
工作带宽 (MHz)	5	5	5	20
峰值数据速率 (Mbit/s)	14.4 (DL)	28 (DL)	DL: 22.16 (1 tx)	DL: 86.4 (1 tx)
	5.76 (UL)	5.76 (UL)	DL: 41.94 (2×2)	DL: 172.8 (2×2)
			UL: 22.16 (1 tx)	UL: 86.4 (1 tx)
平均吞吐量 (Mps)	3.5 (DL)	5.5 (DL)	7.25 (1 tx)	29 (1 tx)
	1.5 (UL)	1.5 (UL)	8.25 (2×2)	33 (2×2)
			3.75 (UL, 1 tx)	15 (UL, 1 tx)
平均频谱效率 (bit/s/Hz)	0.7 (DL)	1.1 (DL)	1.45 (DL, 1 tx)	1.45 (DL, 1 tx)
	0.3 (UL)	0.3 (UL, 1 tx)	1.65 (DL, 2×2)	1.65 (DL, 2×2)
			0.75 (UL, 1 tx)	0.75 (UL, 1 tx)

1.1 LTE 技术特点

(1) LTE 主要技术特点

空中接口物理层技术是无线通信系统的基础与标志, LTE 系统物理层下行传输方案采用先进成熟的 OFDMA 技术; 上行传输方案采用峰均比较低的单载波方案 SC-FDMA。OFDM 技术是 LTE 系统的技术基础与主要特点, OFDM 系统参数设定对整个系统的性能会产生决定性的影响。另外 MIMO 作为 LTE 提高系统输率的最主要手段, 目前已确定 MIMO 天线个数的基本配置是下行 2×2 、 4×4 ; 上行 1×2 。上行虚拟 MIMO 技术也被 LTE 采纳作为提高小区边缘数据速率和系统性能的主要手段。

(2) LTE 与 3G 技术的区别

LTE 系统相对于 2G/3G 的无线系统, 其主要差异如下:

- ① 上下行链路分别选择 OFDMA 和 SC-FDMA 无线接入方式;
- ② 支持时域和频域的调度;
- ③ 提供点到点和点到多点传输的简单信道结构;

- ④ 简单的 RRC 状态模式（空闲模式和连接模式）；
 - ⑤ 减少了传输信道的数量（无需专用信道）；
 - ⑥ MAC 功能简化（MAC 实体数量、DRX 和 DTX 的通用解决方案），由 RLC 子层和 MAC 子层提供的调度、ARQ 和 HARQ；
 - ⑦ UE 和 aGW 之间采用 PDCP 子层提供包头压缩和加密功能；
 - ⑧ 无压缩模式，通过调度发送/接收的时间间隔进行测量；
 - ⑨ 简化的 e-UTRAN 结构（只有一类节点：eNode B）；
 - ⑩ 支持在 SDU 水平的下行数据前传的硬切换；
 - ⑪ 分布式的网络架构，例如 RRC 与 ARQ 功能均在 eNode B 实现；
 - ⑫ NAS 信令终止于 UE 和 aGW，提供空闲模式的移动性处理；
 - ⑬ 与 NAS 相关的 UE 识别与 2G 和 3G 系统相似（如：IMSI/IMEI，TMSI for MME）；
- SAE 系统相对于 2G/3G PS 系统，其主要差异如下。

① 信令面和用户面分离。在 SAE 架构中，将信令面和用户面进行了分离，由 MME 负责信令面的处理，这种架构适合于更加灵活地根据用户数和业务量（数据流量）的发展情况，选择扩展信令面设备还是扩展用户面设备，从而可以提高网络资源的利用率，降低设备建设成本；而用户面设备可以通过适当的合并和归一化，可减少网络层次，提升网络性能，通过将用户面设备下移网络边缘，可节省回程传输资源，降低运维成本。

② 支持多种无线接入技术。SAE 系统除了支持 3GPP 定义的无线接入技术外，还可以支持非 3GPP 定义的无线接入技术，如 WiMAX、HRPD 等，为多种不同制式的技术互通创造了有利条件，从而实现最终的网络融合。

③ 优化的移动性管理功能。针对 IDLE 状态下的移动性管理，SAE 中提出了专门的优化机制，减少用户在 IDLE 状态下产生的移动性管理消息数量（主要是位置更新消息），从而减小空口以及 MME 到 HSS 之间的信令负荷。

④ 优化的 QoS 机制。相对 2G/3G PS 系统，SAE 简化了 QoS 参数定义，减少了网元之间 QoS 参数传递的数量，同时，对 QoS 协商机制也进行了优化，不允许进行多次 QoS 的协商，从而可提高信令交互的效率。另外 SAE 中还提出了 AMBR (Aggregate Maximum Bit Rate) 的概念，这样可以控制针对一个用户的所有非保证带宽类业务的最大带宽，而不是像以前只是控制单个业务的最大带宽。

⑤ 引入缺省承载概念，更好地支持永远在线。

⑥ 优化的 MBMS 机制。

1.2 LTE 网络架构

1.2.1 网元设置

LTE 网络技术的一个关键设计目标是网络完全基于分组交换的，传统语音通信只是网络给终端用户提供的服务之一。从核心网的观点来看，LTE 摒弃了在 2G 和 3G 网络中存在的双核心网结构，即语音核心网（MSC/VLR）和分组核心网（SGSN/GGSN）。在 LTE 网络中，分组核心网成为管理 UE 移动性和处理信令的唯一的核心网，各种业务可以通过 IP 多媒体系

统 (IMS) 提供给终端用户。

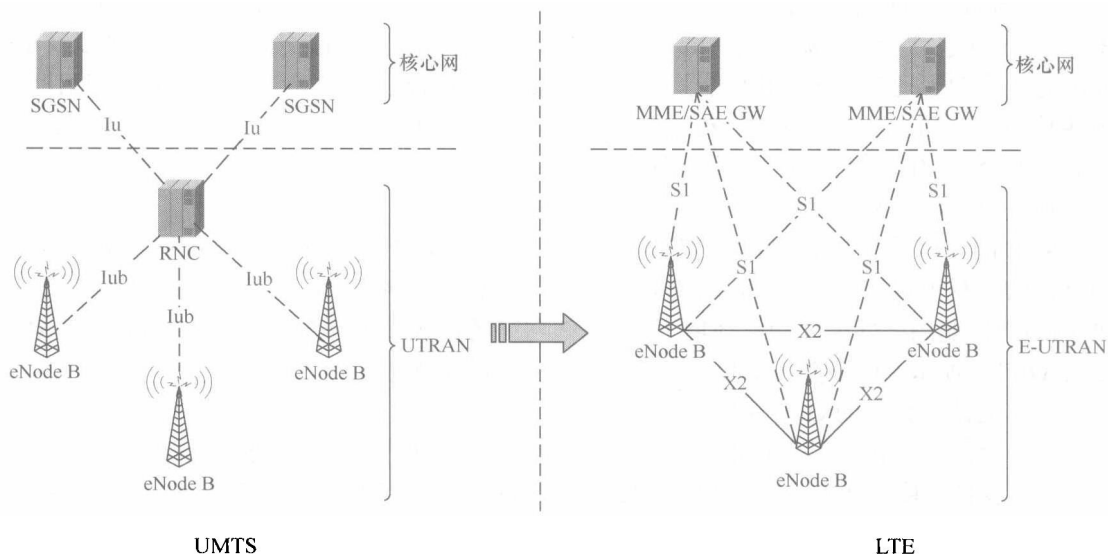


图 1-5 GSM/UMTS 网络架构向 LTE 网络架构的演进

LTE 网络节点主要包括增强型 Node B 和接入网关 (MME/SAE GW)，增强型 Node B 简称为 eNode B。与 3G 和 2G 的无线网络相比，LTE 网元省略 RNC 节点，接入网络架构只是由若干个 eNode B 组成，不用对接入节点进行汇集，网元数目减少，网络更加扁平化，部署简单容易维护。取消 RNC 的集中控制，有利于避免单点故障提高网络稳定性。LTE 网络中 eNode B 直接连接 MME 和服务 SAE GW，有助于降低整体系统时延改善用户体验，从而可以开展更多业务。

eNode B 提供 LTE 的用户平面 (RLC/MAC/PHY) 和 RRC 控制平面 RRC 协议。原来 RNC 功能被分散到了 eNode B 和接入网关 (AGW) 中。AGW 包含了原来 SGSN 功能，因此还是归属为 SAE 的边界节点，只不过与 LTE 相关的部分用户面和控制面的功能在 LTE 中定义。

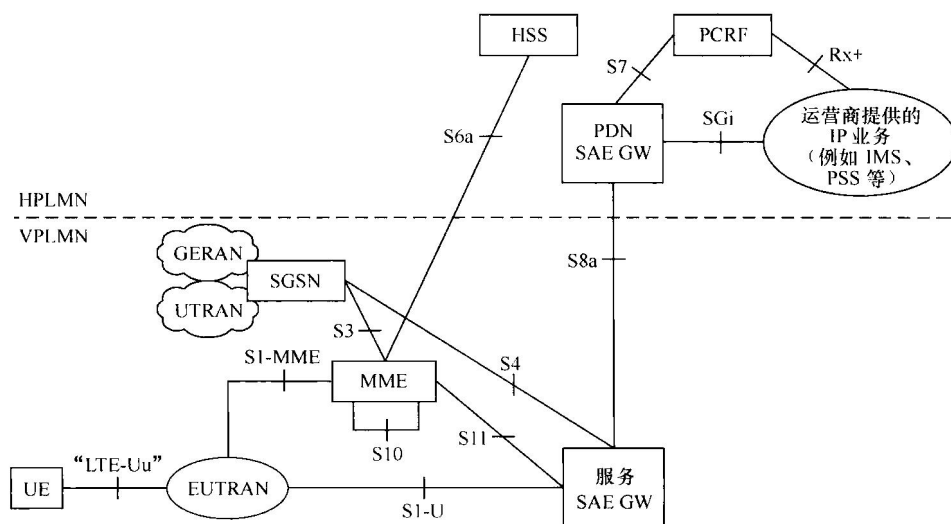


图 1-6 LTE 网络架构示意图

LTE 中的 eNode B 除了具有原来 Node B 的功能之外,还承担了原来 RNC 的大部分功能。LTE 的 eNode B 的功能包括:物理层功能(包括 HARQ)、MAC 层功能(包括 ARQ 功能)、RRC 功能(包括无线资源控制功能)、调度、无线接入许可控制、接入移动性管理以及小区间的无线资源管理功能等。其功能具体包括:无线资源管理(无线承载控制、无线接纳控制、连接移动性控制、上下行链路的动态资源分配等功能),IP 头压缩和用户数据流的封装,UE 附着时选择 MME,路由用户面数据到 SAE 网关,寻呼消息的调度和传输,广播信息的调度和传输,用于移动和调度的测量和测量报告的配置。

SAE 的目标是“制定一个具有高数据率、低延迟、数据分组化、支持多种无线接入技术为特征的具有可移植性的 3GPP 系统框架结构”。3GPP 的 SAE 项目是基于未来移动通信的全 IP 网络而发起的,即未来网络环境下,3GPP 网络的接入技术不仅有 UTRAN 或 GERAN,还有 WiFi、WiMAX 等接入技术。SAE 网络的主要特征如下所述。

- (1) 支持端到端的 QoS 保证。
- (2) 全面分组化。提供真正意义上的纯分组接入,将不再提供电路域业务。
- (3) 支持多接入技术。支持和现有 3GPP 系统的互通,同时支持非 3GPP 网络(如 WLAN、WiMAX)的接入,支持用户在 3GPP 网络和非 3GPP 网络之间的漫游和切换。
- (4) 增加对实时业务的支持。简化网络架构,简化用户业务连接建立信令流程,降低业务连接的时延,连接建立的时间要求小于 200ms。
- (5) 网络层次扁平化。用户面节点尽量压缩,接入网取消 RNC,核心网用户面节点在非漫游时合并为一个。

3GPP 核心网络架构的演进如图 1-7 所示。

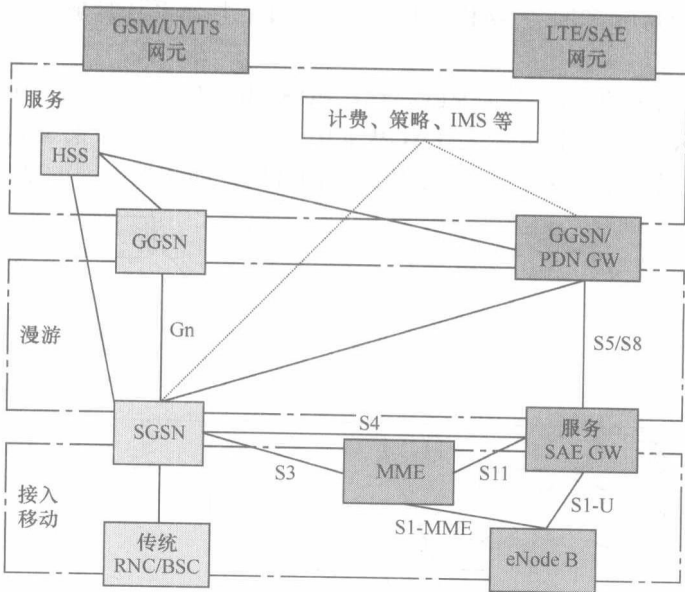


图 1-7 3GPP 核心网络架构

LTE 核心网主要由下述功能单元组成。

- (1) MME: 负责处理与 UE 相关的信令消息。MME 有两个关键的功能,首先是 UE 的

位置管理和移动性管理，其次是完成 UE 与任何 IP 节点之间的信息承载的建立。MME 的功能包括：寻呼消息发送，安全控制，Idle 态的移动性管理，SAE 承载管理以及 NAS 信令的加密及完整性保护等。

(2) 服务 SAE GW (S-GW)：是一个终止于 E-UTRAN 接口的网关，是一个用户面功能实体，负责为 UE 提供承载通道来完成分组数据的路由和转发。作为 3GPP 系统内的一个数据锚点，当 UE 在 eNode B 之间切换，或 2G/3G 和 SAE 之间切换时，S-GW 都不会发生改变，这种锚点功能可屏蔽切换对 PDN GW 的影响；另外，S-GW 还需要完成 UE 在空闲模式下的下行数据包的缓存。在任意时刻，一个 UE 只会有一个 S-GW 为其服务。

(3) PDN GW (P-GW)：是连接外部数据网的网关，UE 可以通过连接到不同的 PDN GW 访问不同的外部数据网。PDN GW 主要包括执行从 PCRF 获取得 PCC (Policy & Charging Control) 策略、基于用户的数据包的过滤、计费以及为 UE 分配 IP 地址等功能。

LTE 核心网涉及的其他功能单元如下。

(1) HSS：是用于存储用户签约信息的数据库，归属网络中可以包含一个或多个 HSS。HSS 负责保存用户相关的信息。

(2) PCRF：策略计费控制单元。

1.2.2 网络内部接口及网元功能

本小节详细介绍 LTE 系统的接口参考点及其协议。

S1-MME：eNode B 与 MME 之间的控制面接口，提供 S1-AP 信令的可靠传输，基于 IP 和 SCTP 协议。

S1-U：E-UTRAN 和 Serving GW 间每个承载的用户平面隧道参考点，基于 UDP/IP 和 GTP-U 协议。

S3：在 UE 活动状态和空闲状态下，为支持不同的 3G 接入网络之间的移动性以及用户和承载信息交换而定义的接口点，基于 SGSN 之间的 Gn 接口定义。

S4：提供 GPRS 网和 S-GW 之间的相关控制和移动性管理。S4 基于 SGSN 和 GGSN 之间的 Gn 接口，另外，如果没有建立直接隧道，该接口提供用户平面的隧道功能。

S5：提供 S-GW 和 PDN GW 之间用户平面隧道数据传输和隧道管理，用于支持 UE 的移动性而进行的 S-GW 重定位过程以及连接 PDN 网络所需要的与非共同设置的 PDN GW 之间的连接功能。S5 基于 GTP 协议或者基于 PMIPv6 协议。

S6a：为鉴别确认用户接入增强系统，在 MME 和 HSS 之间传输签约和鉴权数据。

S7：基于 Gx 接口的演进，为 PCRF 和 P-GW 中的 PCEF (Policy and Charging Enforcement Function) 提供 QoS 准则和计费标准的传输。

S8a：定义于不同 PLMN 间，VPLMN 中 S-GW 和 HPLMN 中 PDN GW 之间为用户提供控制平面和用户平面功能的接口，该接口基于 SGSN 和 GGSN 间的 Gp 接口。S8a 接口相当于 S5 接口的跨 PLMN 版本。

S10：MME 间的参考点，为 MME 重定位和 MME 之间信息的传输。

S11：MME 和 S-GW 之间的参考点。

S12：当直接传输隧道建立后，S12 成为 UTRAN 和 S-GW 间用户平面隧道的接口点，是基于 GTP-U 协议的 SGSN 和 UTRAN 或 SGSN 和 GGSN 之间的 Iu-u/Gn-u 参考节点。

S13: 它保证了在 MME 和 EIR 中的 UE 认证核对过程。

SGi: PDN GW 和分组数据网络之间的参考点。分组数据网可以是外部公共或私人数据网,也可以是内部分组数据网,例如为 IMS 提供服务。这个参考节点类似于 3GPP 接入网的 Gi 节点。

Rx+: Rx 节点为 AF 和 PCRF 之间的接口。

LTE 系统涉及的 MME、S-GW 及 P-GW 的主要功能如下所述。

1. MME 功能

- (1) 在 3GPP 不同接入技术间移动时核心网节点间的信令 (终结在 S3 接口);
- (2) 空闲态终端的跟踪 (包括控制和执行寻呼重传);
- (3) NAS 信令与加密;
- (4) NAS 信令及其安全;
- (5) 跨核心网的信令 (支持 S3 接口);
- (6) 跟踪区域 (Tracking Area) 列表的管理;
- (7) P-GW 和 S-GW 的选择;
- (8) 发生跨 MME 切换时的 MME 选择;
- (9) 发生与 2G/3G 的 3GPP 接入网之间切换时的 SGSN 选择;
- (10) 支持漫游 (通过 S6a 接口链接归属网的 HSS);
- (11) 鉴权;
- (12) 承载管理,包括专用承载的建立;
- (13) 合法监听 (信令);
- (14) ETWS 功能支持。

2. S-GW 功能

S-GW 是一个终止于 LTE 接口的网关。对每一个与 EPS 相关的 UE,在一个时间点上,都有一个 S-GW 为之服务。S-GW 能提供的主要功能如下:

- (1) eNode B 间切换时,作为本地锚定点;
- (2) 3GPP 内不同接入技术之间的移动性锚点 (终结在 S4 接口,在 2G/3G 系统和 P-GW 间实现业务路由);
- (3) E-UTRAN 空闲模式下,为下行数据提供缓存,并触发网络侧服务请求流程;
- (4) 合法侦听;
- (5) 数据包的路由和前转;
- (6) IP 包标记;
- (7) 计费。

3. PDN GW 功能

P-GW 是面向 PDN 终结于 SGi 接口的网关。如果 UE 访问多个 PDN,UE 将对应一个或多个 P-GW。P-GW 能提供的主要功能如下:

- (1) 策略执行;
- (2) 基于每用户的包过滤器 (例如:通过深度包检测);
- (3) 计费支持;
- (4) 合法监听;
- (5) IP 包标记;

- (6) 终端 IP 地址分配;
- (7) 上下行速率控制;
- (8) 上下行服务等级计费;
- (9) 上下行服务水平门限控制。

1.3 LTE 网络协议栈

LTE 无线接口协议的体系结构是基于 3GPP 的 WCDMA/HSPA 的体系结构的。协议的名称相同,而且功能也相似。LTE 系统中 eNode B 支持用户面(包括 RLC/MAC/PHY)与控制面(RRC),eNode B 与 aGW 通过 S1 接口相连。

图 1-8 为 LTE 系统个节点之间协议栈的示意图,从该图可以看出 LTE 无线接口协议的体系结构。

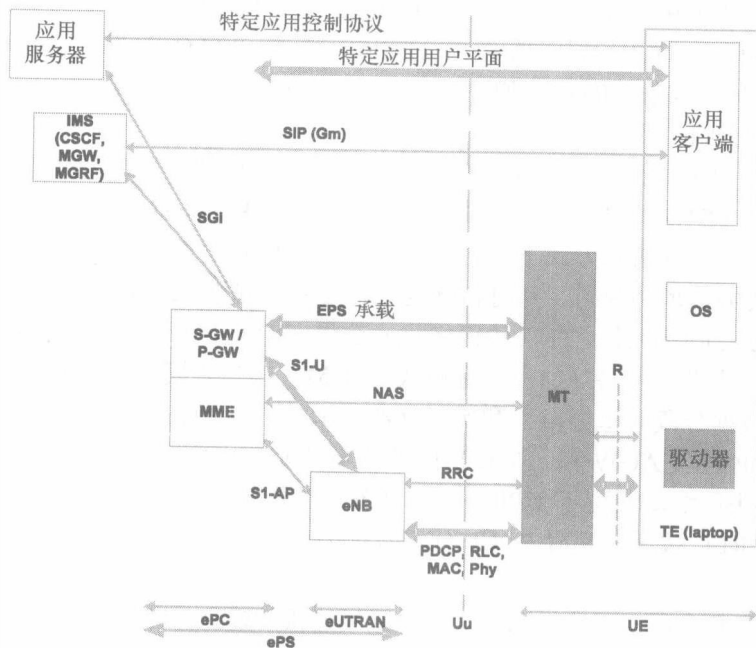


图 1-8 LTE 系统各节点之间协议栈

LTE 结构中, eNode B 是在 Node B 原有功能基础上,增加了 RNC 的物理层、MAC 层、RRC、调度、接入控制、承载控制、移动性管理和相邻小区无线资源管理等功能,提供相当于原来的 RLC/MAC/PHY 以及 RRC 层的功能。其功能具体包括: UE 附着时的 AGW 选择、调度和传输寻呼信息、调度和传输 BCCH 信息、上下行资源动态分配、RB 控制、无线资源准入控制、LTE_ACTIVE 时的移动性管理。

AGW 的功能包括:发起寻呼、LTE_IDLE 态 UE 信息管理、移动性管理、用户面加密处理、PDCP、SAE 承载控制、NAS 信令的加密和完整性保护。

LTE 协议栈结构从整体上主要进行了以下简化:

- (1) 使用共享信道用于承载用户的控制信令和业务,取代了 3G 中的专用信道,减少传