

的关键技
术环节，对 LTE-Advanced 的整
体概貌进行了技术介绍和标准讨论

“十二五”

国家重点图书出版规划项目

LTE/LTE-Advanced Wireless Broadband Technology **4G 丛书**

LTE/LTE-Advanced 无线宽带技术

□ 杨峰义 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/LTE-Advanced Wireless Broadband Technology 4G 丛书

LTE/LTE-Advanced 无线宽带技术

□ 杨峰义 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

LTE/LTE-Advanced无线宽带技术 / 杨峰义编著. --
北京 : 人民邮电出版社, 2012. 7
(4G丛书)
ISBN 978-7-115-28180-7

I. ①L… II. ①杨… III. ①无线电通信—宽带通信
系统 IV. ①TN915.142

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第086994号

内 容 提 要

本书主要讨论 LTE/LTE-Advanced FDD 的主要技术与标准, 具体内容包括 LTE 概述、3GPP 空间信道模型、物理层处理、多天线技术、物理层基本过程、小区间干扰控制、自组织网络、中继与异构网络、射频工作场景、LTE-Advanced 的系统性能、LTE 无线网络规划、LTE 与 CDMA 互操作等。

本书可供从事 LTE 技术研究、设备开发、规划优化、网络建设、运营维护等方面的技术或管理人员使用, 也可作为高等院校通信工程专业高年级学生和研究生的参考读物。

4G 丛书

LTE/LTE-Advanced 无线宽带技术

-
- ◆ 编 著 杨峰义
责任编辑 李 强
 - ◆ 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: 23.5
字数: 590 千字 2012 年 7 月第 1 版
印数: 1-3 500 册 2012 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-28180-7

定价: 69.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

近几年来，随着智能终端、数据卡和平板类终端的快速普及，移动互联网业务的迅猛发展，数据业务的流量呈现了高速增长的态势。不同咨询机构和研究机构的研究与预测结果表明，未来几年，移动数据业务将以每年一番的速度持续高速增长，网络连接速率将增加 10 倍以上。从全球移动数据业务的发展来看，用户接入移动媒体类业务正在逐步成为数据业务接入的主流（接入移动媒体指的是用户接入网站浏览、接入应用、下载内容等行为），同时使用移动媒体也逐渐成为用户的日常行为而不再是偶尔为之。

根据典型的统计结果，我们知道，在 2010 年，全球移动数据流量年增长 2.6 倍，达到全球互联网 2000 年时流量的 3 倍；移动网络连接速率翻番，平均连接速率从 2009 年的 101kbit/s 上升到 215kbit/s，智能手机的平均连接速率从 2009 年的 625kbit/s 上升到 1 040kbit/s；智能手机的平均流量从 2009 年的 35MB/月上升到了 79MB/月，传统手机的数据流量也从 2009 年的 1.5MB/月上升到 3.3MB/月；全球平均的智能手机占比 13%，但数据流量占比超过 78%，智能手机的流量是传统手机的 24 倍；业务量较大的 1% 的移动用户产生了超过总流量 20% 的数据流量，10% 的用户产生了 60% 的流量。

从全球移动通信运营的发展来看，领先的运营商基本都已跨越语音业务为主的时代，而逐步进入移动数据运营的时代。移动通信的未来在于移动数据，虽然数据业务流量的快速增长并没有带来运营商收入的同步增长，但流量的增加就说明用户需求的旺盛，也是移动通信未来发展的希望和动力所在。

应对移动数据业务的持续高速增长，需要多种手段的协同。这其中最主要的手段有：通过低成本的建网手段，实现网络技术升级，提高频谱利用率，增加系统可服务用户的数量和每个用户可获得的业务速率；通过 Wi-Fi/femto 等技术手段，分流和卸载移动网络流量，降低移动网络自身的业务流量，提高客户感受；通过流量均衡的技术手段，转移峰值时段的业务流量，从而降低忙时、忙区网络的流量压力，提高网络整体利用率，同时保证用户需要的业务速率和体验。无论如何做，目的都是适应数据业务的快速发展，保证良好的客户体验，同时尽可能降低运营商的网络建设、运营、维护的成本，这样才能保证移动通信行业的持续健康发展。

作为移动数据业务，尤其是移动互联网业务发展基础的通信网络技术，也在不断的演进中适应和引导着移动数据业务的发展，尤其是在 3G 后期的演进中，主要的标准和技术就主要集中于分组数据域和网络结构的演进。这其中的典型代表，如 3GPP2 的 cdma20001x EVDO 和 3GPP 的 HSPA/HSPA+、EPS。尤其是 EPS，在 LTE 技术逐渐成为全球移动通信的实质性统一的空中接

口标准的同时，演进的分组交换核心网（EPC）也成了不同移动通信标准的统一核心网络。

LTE 从 2004 年的技术研究开始，到目前已经经历了 3 个标准版本（Rel-8、Rel-9、Rel-10），同时还在持续不断的演进中。Rel-8、Rel-9 版本可以认为是 LTE 的基础版本，目前全球主要的商用与试验网络均是基于这两个版本；作为 ITU-R IMT-Advanced 候选技术的 Rel-10 及其后续版本，称作 LTE-Advanced（LTE-A），是 4G 的初始版本。

自 LTE 第一个版本问世以来，业界专家已经有很多关于 LTE 技术、标准等方面的专著或文章进行相关的技术研究、标准讨论、性能分析和测试验证结果的介绍。本书在这些专著与文章的基础上，选取了 LTE-A 的关键技术环节，对 LTE-A 进行了技术介绍和标准讨论。由于 LTE-A 与 LTE 密不可分的关系，为了使读者形成 LTE-A 的整体概念而不仅仅只是停留在几个技术片断上，本书也对相关的标准和技术基础进行了适度的描述。

另外需要说明的是，在 LTE/LTE-A 的技术标准中包括 FDD 和 TDD 两种双工模式，限于篇幅，本书的主要内容仅涉及 FDD 模式（除第 10 章外），对 TDD 相关技术内容感兴趣的读者可以阅读其他的相关专著和 3GPP 标准。

本书共分 12 章。第 1 章是 LTE 概述，内容包括网络结构、无线接入网络结构、物理信道模型、OFDM/DFTS-OFDM 基本原理等。第 2 章是 3GPP 空间信道模型 SCM 和 SCM-E 的相关内容。第 3 章是关于物理层处理的相关内容，主要包括上下行链路传输信道处理、上下行链路参考信号、上下行链路层 1/层 2 控制信令等内容。第 4 章主要讨论 LTE 中的多天技术，主要包括分集、波束赋形、空间复用的技术和性能，LTE 上行/下行链路的多天线具体实现过程、LTE 链路性能、天线配置、预编码码本选择、CQI 估计与快速链路自适应等内容。第 5 章是物理层的基本过程，主要包括小区搜索与随机接入、上行链路功率控制、调度、HARQ 等内容。第 6 章是小区间干扰控制的基本原则与技术手段的讨论。第 7 章是自组织网络的介绍，内容包括 SON 的结构与关键特性、不同算法间的相互影响等。第 8 章是关于中继与异构网络的相关内容，主要讨论与标准制定密切关联部分的技术细节，其他与实现相关的内容没有涉及。第 9 章是关于射频工作场景的内容，主要讨论了通用的假设条件、仿真方法和相关结果示例。第 10 章主要讨论了 LTE-A 的系统性能，通过对系统级仿真方法和假定的描述，给出了针对 3GPP 和 ITU-R 要求的大量的仿真结果以供读者参考。第 11 章主要讨论 LTE 无线网络规划基础，主要内容涉及网络估算过程、覆盖规划、容量规划与参数规划中的部分内容。第 12 章主要讨论了在 LTE/CDMA 网络共存情况下采用 LTE/CDMA 双模手机时的互操作问题，相关内容有双模终端类型的介绍、基于多模系统选择的终端开机网络发现与选择、双模终端的接入和注册、LTE/CDMA 互操作主要流程等关键环节的解决方案和信令流程。

LTE/LTE-A 的技术和标准涉及信息与通信领域的众多环节，需要具有各方面深厚的基础知识才能对完整的技术和标准有深刻的分析和理解，这显然非作者一人之力可以完成。限于篇幅和作者能力，本书只是撷取其中的一些片断进行描述和讨论，而且很大程度上只能算是作者与读者分享的工作与学习心得。更多的内容，本书的每一章都列出了相关的参考文献，感兴趣的读者可以进一步阅读这些参考文献，以弥补本书的不足。

在本书的完成过程中，得到了中国电信技术创新中心的朱雪田、鲁娜、谢伟良等同事的大力帮助，也得到了中兴通信股份有限公司的无私支持，作者在此一并致谢。

由于时间有限，下笔匆促，书中错误与疏漏在所难免，恳请读者提出批评指正。

作者

目 录

第 1 章 LTE 概述	1
1.1 网络整体架构	2
1.2 E-UTRAN 架构	6
1.2.1 支持家庭基站	8
1.2.2 支持中继节点	10
1.2.3 物理帧与信道	10
1.3 物理信道模型	13
1.3.1 上行链路共享信道	13
1.3.2 下行链路共享信道	14
1.3.3 广播信道	15
1.3.4 寻呼信道	15
1.3.5 物理层提供的测量 信息	16
1.4 OFDM	16
1.4.1 OFDM 原理	16
1.4.2 OFDM 的实现	18
1.4.3 循环前缀的插入	19
1.4.4 OFDM 基本参数的 选取	21
1.4.5 OFDM 用于用户复用和 多址接入	22
1.4.6 瞬时功率波动	23
1.5 DFTS-OFDM	24
1.5.1 DFTS-OFDM 原理	24
1.5.2 DFTS-OFDM 接收机	25
1.5.3 频域均衡器	26
1.5.4 DFTS-OFDM 的 用户复用	27
1.5.5 分布式 DFTS-OFDM	28
1.6 LTE 物理传输资源	29
1.6.1 时频结构	29
1.6.2 载波聚合	31
1.6.3 LTE 载波的频域位置	32
1.7 总结	33
参考文献	33
第 2 章 空间信道模型	35
2.1 多径衰落	35
2.1.1 瑞利衰落	36
2.1.2 多普勒频谱	37
2.1.3 莱斯衰落	38
2.2 SCM 信道	38
2.3 路径损耗模型	39
2.3.1 宏小区路径损耗	40
2.3.2 微小区路径损耗	40
2.4 SCM 用户参数	41
2.5 SCM 信道系数	48
2.6 SCM 扩展	50
2.7 总结	51
参考文献	51
第 3 章 物理层处理	52
3.1 下行链路传输信道处理	52
3.1.1 处理步骤	52
3.1.2 集中和分布式资源 映射	56
3.2 BCH 信道处理	58
3.3 下行链路参考信号	61

3.3.1	小区特定参考信号	61	4.3.1	基本原理	127
3.3.2	解调参考信号	64	4.3.2	MIMO 容量	128
3.3.3	CSI 参考信号	67	4.3.3	基于预编码的空间 复用	131
3.4	下行链路层 1/层 2 控制信令	70	4.3.4	非线性接收机处理	133
3.4.1	PCFICH	71	4.4	LTE 下行链路多天线传输	134
3.4.2	PHICH	73	4.4.1	发射分集	135
3.4.3	PDCCH	74	4.4.2	基于码本的预编码	136
3.4.4	下行链路调度指配	80	4.4.3	基于非码本的预编码	139
3.4.5	上行链路调度许可	85	4.4.4	下行链路多用户 MIMO	140
3.4.6	载波聚合与交叉载波 调度	88	4.5	LTE 上行链路多天线传输	142
3.4.7	功率控制命令	89	4.5.1	PUSCH 信道基于预 编码的多天线传输	142
3.5	上行链路传输信道处理	89	4.5.2	上行链路 MU-MIMO	146
3.5.1	处理步骤	89	4.5.3	PUCCH 发射分集	146
3.5.2	映射到物理资源	91	4.6	LTE 链路性能	147
3.5.3	PUSCH 频率跳变	91	4.6.1	LTE 性能分析	147
3.6	上行链路参考信号	94	4.6.2	峰值频谱效率	147
3.6.1	上行链路解调参考 信号	94	4.6.3	LTE 链路级性能示例	148
3.6.2	上行链路探测参考 信号	98	4.7	基站天线配置	150
3.7	上行链路层 1/层 2 控制信令	100	4.8	预编码码本的选择	152
3.7.1	在 PUCCH 上传输的 上行链路 L1/L2 控制 信令	101	4.9	CQI 估计与链路自适应	155
3.7.2	在 PUSCH 上传输的 上行链路层 1/层 2 控 制信令	110	4.9.1	快速链路自适应的 一般机制	156
3.8	上行链路定时调整	112	4.9.2	指数有效 SNR 映射	156
3.9	总结	113	4.9.3	CQI 索引	159
参考文献		114	4.9.4	MCS 的确定	161
第 4 章 多天线技术		115	4.10	总结	163
4.1	分集	116	参考文献		163
4.1.1	接收空间分集	117	第 5 章 物理层过程		167
4.1.2	发射空间分集	120	5.1	小区搜索	167
4.2	波束赋形	123	5.1.1	小区搜索概述	167
4.2.1	接收波束赋形	123	5.1.2	PSS 结构	168
4.2.2	发射波束赋形	125	5.1.3	SSS 结构	169
4.3	空间复用	127	5.2	随机接入	169
			5.2.1	第 1 步: 随机接入 前置发送	171
			5.2.2	PRACH 时频资源	171

5.2.3	前置结构和序列选择	172	第 7 章 自组织网络	214	
5.2.4	PRACH 功率设置	173	7.1	SON 的需求及标准化	214
5.2.5	前置序列的产生	173	7.2	SON 架构	215
5.2.6	前置的检测	174	7.3	SON 的关键特性	217
5.2.7	第 2 步: 随机接入响应	174	7.3.1	基站自配置	217
5.2.8	第 3 步: 终端识别	175	7.3.2	自动邻区关系	218
5.2.9	第 4 步: 竞争决策	175	7.3.3	跟踪区规划	219
5.3	上行链路功率控制	176	7.3.4	PCI 规划	220
5.3.1	基本原则	176	7.3.5	移动性负载平衡	221
5.3.2	PUCCH 功率控制	177	7.3.6	移动稳健性/切换优化	222
5.3.3	PUSCH 功率控制	178	7.3.7	RACH 优化	225
5.3.4	SRS 功率控制	179	7.3.8	小区间干扰协调	225
5.3.5	功率净空	179	7.3.9	节能	226
5.4	调度	180	7.3.10	小区中断检测和补偿	227
5.4.1	下行链路调度	181	7.3.11	覆盖和容量优化	230
5.4.2	上行链路调度	183	7.3.12	最小化路测	231
5.4.3	半持续调度	185	7.3.13	分层网络和中继环境的 SON	232
5.4.4	信道状态报告	186	7.4	SON 算法间的相互影响	233
5.4.5	不连续接收和元载波去活	190	7.5	总结	234
5.5	HARQ	191		参考文献	234
5.5.1	具有软合并功能的 HARQ	192	第 8 章 中继与异构网络	236	
5.5.2	下行链路 HARQ	195	8.1	中继	236
5.5.3	上行链路 HARQ	196	8.1.1	总体架构	237
5.5.4	HARQ 定时	198	8.1.2	带内中继的回程设计	238
5.6	总结	199	8.2	异构网络	245
	参考文献	199	8.2.1	异构网络的干扰处理	246
第 6 章 小区间干扰控制		200	8.2.2	家庭基站情况下的干扰协调	249
6.1	小区间干扰	200	8.3	总结	250
6.2	小区间干扰抑制	202		参考文献	250
6.3	小区边缘性能	205	第 9 章 射频工作场景	251	
6.4	小区中心性能	208	9.1	通用假设条件	252
6.5	分数频率复用	209	9.1.1	仿真频率	252
6.6	基站间干扰协调	211	9.1.2	天线模型	253
6.7	总结	212	9.1.3	小区设计	253
	参考文献	213	9.1.4	传播条件和信道模型	254
			9.2	方法描述	255

9.2.1 共存仿真方法	255	10.5 总结	312
9.2.2 仿真业务的 SIR 目标	259	参考文献	312
9.2.3 仿真描述	261	第 11 章 LTE 无线网络规划	
9.3 系统场景	262	基础	314
9.4 结果示例	263	11.1 LTE 网络估算过程	315
9.4.1 下行链路 5MHz E-UTRA		11.1.1 LTE 估算的输入	316
干扰 UTRA 时的		11.1.2 LTE 估算的输出	316
ACIR	263	11.1.3 LTE 估算过程	317
9.4.2 上行链路 5MHz E-UTRA		11.2 覆盖规划和无线链路预算	318
干扰 UTRA 时的		11.2.1 无线链路预算	318
ACIR	263	11.2.2 Required SINR	321
9.4.3 上行链路 10MHz		11.2.3 干扰	325
E-UTRA 干扰 10MHz		11.2.4 基于覆盖的站点数	325
E-UTRA 时的 ACIR	265	11.3 容量规划	326
9.5 LTE-Advanced 共存	265	11.3.1 LTE 容量规划	326
9.5.1 共存仿真的方法和		11.3.2 平均小区吞吐率	
假定	265	计算	326
9.5.2 ACIR 模型	266	11.3.3 业务估计和超订	
9.5.3 上行链路功率控制	269	系数	327
9.5.4 结果示例	270	11.3.4 基于容量的站点数	328
9.6 总结	272	11.4 LTE 基础参数规划 ^[6]	328
参考文献	272	11.4.1 PCI 规划	328
第 10 章 系统性能	273	11.4.2 UL 参考信号序列	
10.1 系统仿真场景	274	规划	330
10.1.1 系统仿真假定	274	11.4.3 PRACH 参数规划	332
10.1.2 IMT-Advanced 信道		11.5 总结	333
模型	277	参考文献	334
10.1.3 业务模型	287	第 12 章 LTE 与 CDMA 互	
10.1.4 系统性能度量	290	操作	335
10.1.5 极化天线模型	291	12.1 LTE/CDMA 多模终端	337
10.1.6 先进接收机模型	291	12.2 基于多模系统选择的终端	
10.1.7 有效的 IoT	292	开机网络发现与选择	339
10.2 系统级仿真器的校准	293	12.3 双模终端的接入和注册	341
10.3 IMT-Advanced 评估假定	295	12.3.1 LTE/eHRPD/1X 单发单	
10.4 仿真结果	297	收多模终端在不同网络	
10.4.1 3GPP 目标的小区和小		覆盖中的附着过程	341
区边缘用户频谱效率	298	12.3.2 LTE/eHRPD+1X 双发双	
10.4.2 ITU-R 目标的小区和小		收多模终端在不同网络	
区边缘用户频谱效率	301	覆盖中的附着过程	341

12.3.3	LTE+eHRPD/1X 双发双 收多模终端在不同网络 覆盖中的附着过程.....	342	12.4.3	LTE/eHRPD 之间的切换 流程	357
12.4	LTE/CDMA 互操作主要 流程.....	342	12.4.4	CDMA/LTE 小区重选 过程	363
12.4.1	注册流程	342	12.5	互操作方案对 CDMA/LTE 系统的影响	365
12.4.2	1xCSFB/e1xCSFB 主要 流程	351	12.6	总结.....	366
				参考文献.....	366

第 1 章

LTE 概述

为了应对快速增长的无线数据的需要和其他无线技术的竞争，保持其市场和技术的领先优势，国际标准化组织 3GPP 于 2004 年启动了无线接口的长期演进（LTE，Long Term Evolution）研究，由此开始了 LTE 技术研究、标准制定与商业运营的进程。

2009 年 3 月，LTE 的第一个正式标准版本完成，列入 3GPP 标准序列中的 Rel-8。在 Rel-8 中，LTE 引入了全新的无线接入技术，支持灵活带宽和扁平的网络架构。Rel-8 中关于 LTE 的主要特性可以总结如下。

① 定义了新的物理层规范，下行使用 OFDMA（Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access）多址技术，上行使用 SC-FDMA（Single Carrier-Frequency Division Multiple Access）多址技术。

② 支持载波带宽 1.4~20MHz 的灵活配置，带宽可选择：1.4MHz、3 MHz、5 MHz、10 MHz、15 MHz、20MHz。

③ 频谱效率：下行链路是 3GPP 高速分组接入（HSDPA，High Speed Downlink Packet Access）的 2~4 倍，上行链路是 3GPP HSUPA（High Speed Uplink Packet Access）的 2~3 倍。

④ 简化的体系结构：无线接入网络仅由基站 eNB（evolved Node-B）组成，降低数据和信令的传输延迟。

⑤ 支持 FDD 和 TDD 方式以及半双工 FDD 方式的无线接入技术。

⑥ 引入多输入多输出（MIMO，Multiple-Input Multiple-Output）技术，工作模式支持开环和闭环技术，空间复用、多用户多输入多输出（MU-MIMO，Multi-User Multiple-Input Multiple-Output）和波束赋形（BF，Beamforming）等多种方式。

⑦ 支持各种干扰协调机制。

⑧ 支持与其他系统（如 GSM/EDGE/UMTS/CDMA2000/等）的互操作，支持在不同无线接入技术之间的语音连续性。

与此同时，Rel-8 也引入了以 IP 为基础的全新核心网络架构，称作演进的分组核心网（EPC），EPC 和新的空中接口 LTE 一起称作演进的分组系统（EPS，Evolved Packet System）。需要说明的是，LTE 实际上只是 3GPP 的研究计划的名称，正式标准中，LTE 无线接入技术称作演进的通用地面无线接入（E-UTRA，Evolved-Universal Terrestrial Radio Access），LTE 无线接入网络称作演进的通用地面无线接入网络（E-UTRAN，Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network）。

2010 年 3 月，Rel-9 标准完成。Rel-9 在很多方面对 Rel-8 做了性能增强，主要体现如下。

① 业务方面，对电路交换语音回落（CSFB，Circuit Switched FallBack）的增强；支持

紧急业务、位置业务、紧急警告广播等业务。

② 在网络方面，支持家庭基站。

③ 在自组织网络方面，增加了在切换、负载均衡、随机接入信道（RACH, Random Access Channel）优化、节能等方面的要求。

④ 在 MIMO 方面，新增对双流波束赋形的支持。

⑤ 广播多播性能的增强。

2011 年 3 月，Rel-10 标准完成。Rel-10 与 ITU-R 第 4 代移动通信 IMT-Advanced 对应，在 3GPP 中称作 LTE-Advanced。LTE-Advanced 不是全新的技术，而是 LTE 演进中的一个阶段，因此我们可以说 LTE 是 4G（IMT-Advanced）的起始点。Rel-10 在 Rel-8、Rel-9 标准的基础上，进一步增强了系统性能，主要包括以下几方面。

① 通过载波聚合（CA, Carrier Aggregation）支持更宽的带宽，从而取得更高的数据速率。

② MIMO 模式的增强：上行链路增加了对各种 MIMO 模式的支持；下行链路增加了新的传输模式，支持 8 流的 MIMO 且能够在单用和多用户 MIMO 间动态切换。

③ 引入中继节点（RN, Relay Node）以支持覆盖范围的扩大。

④ 与 Wi-Fi 互通。

⑤ 支持机器对机器的通信。

⑥ 增强的干扰协调技术等。

由于 Rel-10 版本后向兼容 Rel-8 和 Rel-9，因此在本书后续与标准有关的讨论中，我们都以 Rel-10 作为基本参考，不再区分明确的版本。

本章将讨论 LTE 的网络架构、多址技术等方面的内容，而作为 LTE 核心的 MIMO 技术将在第 4 章进行讨论。由于之前已经有很多的书籍和资料介绍了 LTE 相关的标准和技术，因此我们的讨论就不再从基本的概念出发，而是重点介绍与本书内容关联密切的部分。对相关背景性内容，感兴趣的读者可以参阅本章的参考文献[1]、文献[2]、文献[3]。

1.1 网络整体架构

3GPP 在进行无线接入技术演进研究的同时，也开展了网络整体架构的演进研究。最终确定下来的网络架构如图 1.1 所示^[4]。下面我们将简单描述网络的主要功能实体和相关接口。

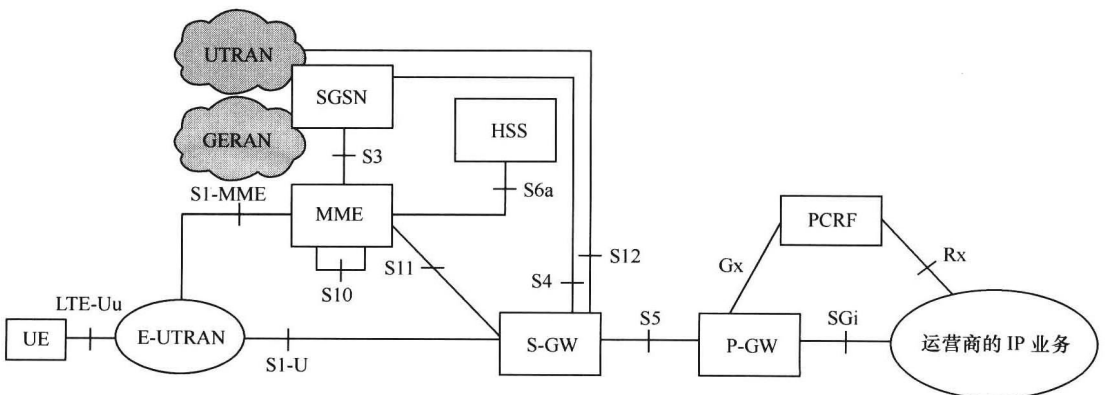


图 1.1 3GPP 接入非漫游架构

从图 1.1 中我们可以看到，整体网络架构由 7 个主要功能实体组成。

(1) 无线接入网络，包括了 3GPP 的所有无线接入网，UTRAN（通用地面无线接入网络）、GERAN（GSM/EGDE 无线接入网络）、E-UTRAN。UTRAN、GERAN 的功能我们不作讨论。E-UTRAN 的主要功能，我们将在本章的下一节进行详细介绍，这里不再讨论。

(2) MME（Mobility Management Entity）为移动性管理实体，主要提供如下功能：

非接入层信令及其安全；

跟踪区列表的管理；

P-GW 和 S-GW 的选择；

发生跨 MME 切换时的 MME 选择；

发生跨无线接入技术间切换时的 SGSN 选择；

鉴权；

承载管理，包括专用承载的建立；

3GPP 不同接入网络的核心网络节点之间的移动性管理；

漫游控制；

信令面的合法监听；

告警信息传送功能（包括选择合适的基站 eNode B（evolved Node B））。

(3) SGSN（Serving GPRS Support Node）是 2G/3G 核心网络分组域的重要网元，除了传统功能以外，SGSN 的功能还包括：

用户在 2G/3G 和 E-UTRAN 接入网间移动时 EPC 节点间信令的交互；

分组数据网网关（P-GW，PDN Gateway，也可写作 PDN GW）和服务网关（S-GW，Serving Gateway）的选择，其选择方式跟 MME 的选择方式相同；

为切换到 E-UTRAN 接入网进行 MME 的选择。

(4) S-GW 是终止于 E-UTRAN 接口的网关。S-GW 提供如下功能：

eNode B 间切换时，作为本地移动性的锚点；

eNode B 间切换或无线接入技术间切换时，在路径转换后立即向源 eNode B、源 SGSN 或源 RNC 发送一个或多个“结束标记”来协助完成 eNode B 的重排序功能；

3GPP 内不同接入技术之间的移动性锚点；

合法侦听；

数据包的路由和前转；

在上行和下行链路中，进行数据包传送级标记；

根据每个用户设备（UE，User Equipment）、PDN 和业务质量指示进行上行和下行链路的计费。

(5) P-GW 是分组数据网（PDN）终结于 SGi 接口的网关，P-GW 提供如下功能：

基于用户的包过滤；

合法侦听；

UE 的 IP 地址分配；

在上行和下行链路中，进行数据包传送级标记；

进行上、下行业务级别的计费；

进行上、下行业务级别的门限控制；

进行上、下行业务级别的速率调整等。

(6) HSS (Home Subscriber Server) 是归属用户服务器, 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 负责保存以下跟用户相关的信息。

用户标识、编号和路由信息。

用户安全信息: 用于鉴权、完整性保护和加密的安全信息。

用户位置信息: HSS 支持用户注册, 并存储系统间的位置信息。

用户档案信息。

(7) PCRF (Policy Charging and Rules Function) 是策略和计费控制单元, PCRF 终结于 Rx 接口和 Gx 接口。PCRF 的功能包括策略控制决策和基于流的计费控制。

PCRF 为策略与计费实施功能 (PCEF, Policy and Charging Enforcement Function) 和应用功能 (AF, Application Function) 提供策略与计费控制 (PCC, Policy and Charging Control) 规则, 这些规则分别是关于业务数据流检测、门控、QoS、基于流的计费、用量监测控制等过程的。

PCRF 通过 Gx 会话功能实现对 PCEF 的动态控制, 传递 PCC 决策信令; 通过 Rx 会话功能实现与 AF 之间应用级会话信息的交互, 完成门控与业务流控功能。PCRF 的完整功能和与周边实体的接口关系详见参考文献[5]。

图 1.1 中也同时示出了相关实体间的参考点, 也可以称作接口。这些参考点主要有以下几类。

S1-MME: E-UTRAN 和 MME 间控制平面的参考点。

S1-U: E-UTRAN 和 S-GW 间用户平面的参考点, 也可以用做 eNode B 间切换的通路。

S3: SGSN 和 MME 之间的参考点, 用于不同的 3GPP 接入时, 交换空闲和激活状态的用户信息和承载信息。

S4: SGSN 与 S-GW 之间的参考点, 可以只有信令面接口, 也可以包括用户面接口。

S5: S-GW 和 P-GW 之间的参考点, 提供 S-GW 和 P-GW 间的用户面隧道和隧道管理功能。该参考点应用于 S-GW 和 P-GW 分设时, S-GW 建立到 P-GW 的连接过程以及在用户移动性管理中的 S-GW 重定位过程。实际设备实现时, S-GW 可以和 P-GW 合设, 此时 S5 即成为内部接口。

S6a: MME 和 HSS 之间的参考点, 用于传输与用户相关的数据和鉴权信息。

S10: MME 之间的控制面参考点, 用于传递 MME 重定位和 MME 之间的信息。

S11: MME 和 S-GW 之间的参考点, 用于传输承载控制与会话控制等信息。

S12: UTRAN 和 S-GW 之间用户平面的参考点。

SGi: P-GW 和分组数据网 (PDN) 之间的参考点。分组数据网可以是外部的公网或私网, 也可以是运营商的内部数据网。

Gx: PCRF 和 P-GW 中的 PCEF 间的参考点, 提供 QoS 策略和计费准则的传递。

Rx: AF 和 PCRF 间的参考点, 用于 AF 传递应用层会话信息给 PCRF, 例如, 传递计费与策略控制中业务数据流的区分信息, 传递 QoS 控制所需的带宽参数等。

图 1.1 中的相关网元在支持家庭基站 (HeNB, Home eNode B) 和中继节点 (RN, Relay Node) 时的能力增强将在本章的第 2 节结合 E-UTRAN 的结构来介绍。

EPC 在支持 3GPP 接入的同时, 也具备对非 3GPP 接入的支持能力^[6]。图 1.2 示出了在非

漫游情况下，同时支持 3GPP 接入和非 3GPP 接入时的网络架构。与图 1.1 比较，图 1.2 中多出了受信和非受信非 3GPP 接入网络、演进的分组数据网关（ePDG，evolved Packet Data Gateway）实体，以及与这些新增实体关联的新参考点。

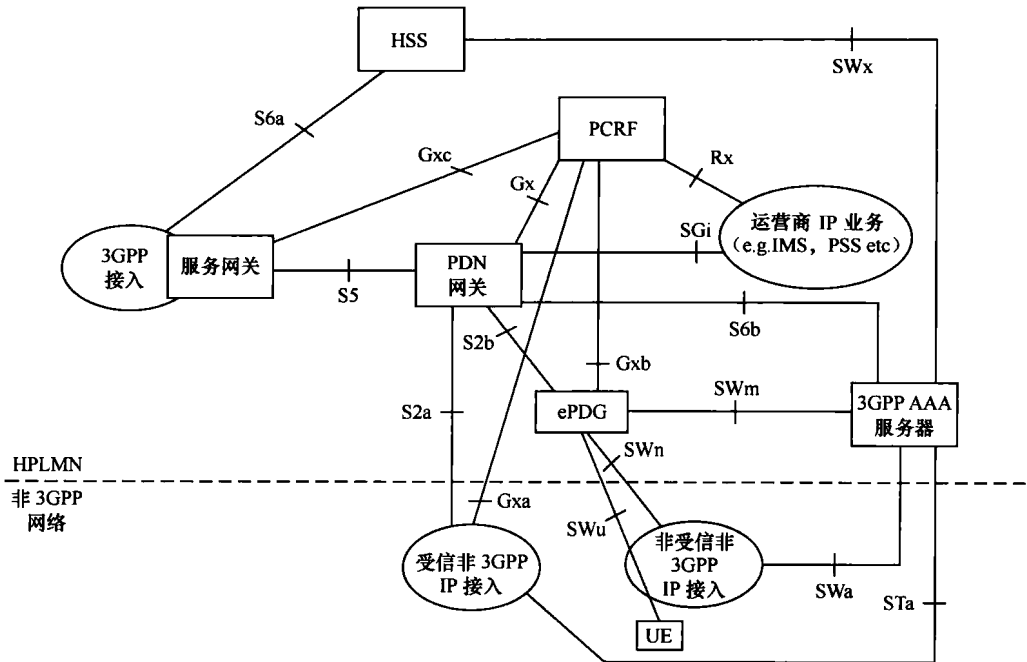


图 1.2 非 3GPP 接入非漫游情况下的网络架构

受信和非受信非 3GPP 接入网络（Trusted and Untrusted Non-3GPP Access Network）是指使用 3GPP 标准之外的 IP 接入网络，这些网络的典型代表如 CDMA 网络、WiMAX 网络、WiFi 网络等。运营商可以决定一个非 3GPP 接入网络是受信还是非受信的，例如运营商可以认为它的非 3GPP 的蜂窝无线接入网络是受信的，而 Wi-Fi 网络是非受信；在支持多个 PDN 时，在 UE 从非 3GPP 接入网络连接到 PDN 时，应该保持信任关系的一致性，避免在连接到一个 PDN 时是受信的，而连接到另外一个 PDN 时是非受信的。

EPDG 作为一个分组数据网关，主要完成如下功能：

在使用 S2b 接口时，在 PDN GW 和 UE 之间为分组分配路由，为 IPSec（Internet Protocol Security）封装和拆装；

为 SWu 上传输的下行链路分组分配到 PDN 连接的路由；

隧道的鉴权和授权；

非 3GPP 接入网络的本地移动性锚点；

上行链路传输层的分组标记；

QoS 策略的实施；

合法监听等。

其他功能实体如 S-GW、P-GW、PCRF、HSS 等都需要作相应的功能扩展，增加接口，以支持非 3GPP 接入网络接入 EPC。

为支持非 3GPP 接入网络接入 EPC，新增的主要参考点为以下几类。

S2a: 受信的非 3GPP 无线接入网络和网关间与控制 and 移动性支持相关的用户平面。

S2b: ePDG 和网关间与控制 and 移动性支持相关的用户平面。

S6b: PDN 网关与 3GPP AAA (Authentication, Authorization and Accounting) 间的参考点, 用于传输移动性相关的鉴权信息。该参考点也可以用作取回和请求存储移动性参数。在不支持动态 PCC 时, 也可以用于取回非 3GPP 接入的 UE 的静态 QoS 参数。

Gxa: 提供来自 PCRF 的 QoS 策略信息到受信的非 3GPP 接入网络的转换。

Gxb: 暂未指定。

Gxc: 提供来自 PCRF 的 QoS 策略信息到服务网关的转换。

Swa: 非受信非 3GPP 接入与 3GPP AAA 间的参考点, 以安全方式传输鉴权、授权和计费有关的信息。

STa: 受信非 3GPP 接入与 3GPP AAA 服务器间的参考点, 以安全的方式传输接入鉴权、授权、移动性参数和收费信息。

SWm: 3GPP AAA 服务器和 ePDG 间的参考点, 用于 AAA 信令的传输。

SWn: 非受信非 3GPP 接入和 ePDG 间的参考点。

SWu: UE 和 ePDG 间的参考点, 支持 IPsec 隧道相关的处理。SWu 的功能包括 UE 原发的隧道建立、在 IPsec 内传输用户数据分组, 以及在两个非受信非 3GPP 接入技术间切换时的快速隧道更新等功能。

SWx: 3GPP AAA 服务器和 HSS 之间的接口, 用于传输鉴权、注册和与 PDN 连接有关的数据。

需要说明的是, 图 1.1、图 1.2 仅仅示出了非漫游情况下的网络架构, 漫游情况下的网络架构, 由于场景多、结构复杂, 限于篇幅, 这里不再介绍。另外, 在整个网络架构中还有其他未示出的接口和功能实体 (例如漫游情况的其他接口和功能实体等), 我们也没有描述出来, 请有兴趣的读者参阅本章的参考文献[4]、文献[6]。

1.2 E-UTRAN 架构

E-UTRAN 由 eNode B 组成, 提供了到 UE 的 E-UTRA 用户平面和控制平面协议的端点。

这里所说的用户平面协议包括分组数据汇聚协议 (PDCP, Packet Data Convergence Protocol)、无线链路控制 (RLC, Radio Link Control)、媒体接入控制 (MAC, Medium Access Control) 和物理层协议, 控制平面协议为 RRC (Radio Resource Control)。eNode B 之间通过 X2 接口互连。eNode B 通过 S1 接口连接到演进的分组交换核心网 (EPC), 更进一步地说, 通过 S1-MME 接口连接到移动性管理实体 (MME), 通过 S1-U 接口连接到服务网关 (S-GW)。S1 接口支持在 MME/S-GW 和 eNode B 间的多到多关系。图 1.3 示出了

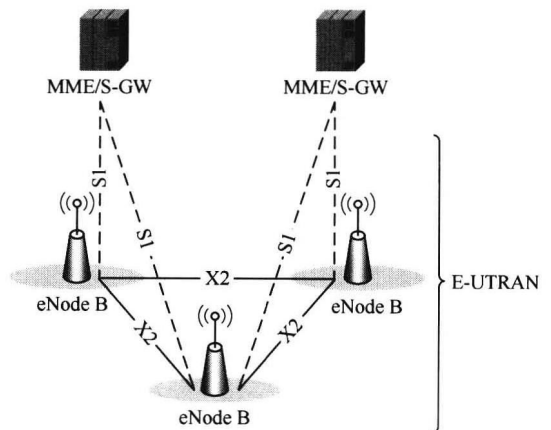


图 1.3 E-UTRAN 整体架构

E-UTRAN 的整体架构。

图 1.3 中 eNode B 的主要功能为：

无线资源管理功能，包括无线承载控制、无线准入控制、连接移动性控制、上下行链路的资源动态分配；

IP 头压缩和用户数据流的加密；

在 UE 提供的信息中没有 MME 路由信息时，为该连接选择 MME；

将用户平面的数据路由到 S-GW；

调度和传输 MME 源发的寻呼消息；

调度和传输 MME 或 OAM 源发的广播消息；

为移动性和调度进行的测量和测量报告；

调度和传输 MME 源发的公共警报系统（PWS, Public Warning System）消息，包括地震和海啸警报系统（ETWS, Earthquake and Tsunami Warning System）和商用移动告警业务（CMAS, Commercial Mobile Alert Service）；

封闭用户群（CSG, Closed Subscriber Group）的处理；

上行链路传输层面的分组标记。

支持中继功能的施主基站（DeNB, Donor eNode B）还要具备：

支持 RN 的 S1/X2 代理功能；

支持 RN 的 S11 端点和 S-GW/P-GW 功能。

图 1.3 所示的功能实体 MME/S-GW 的主要功能在前节已经介绍，这里不再赘述。

图 1.4 示出了在不同的逻辑节点间的功能总结，图中白色框代表控制平面的功能实体，深色框代表无线协议层。

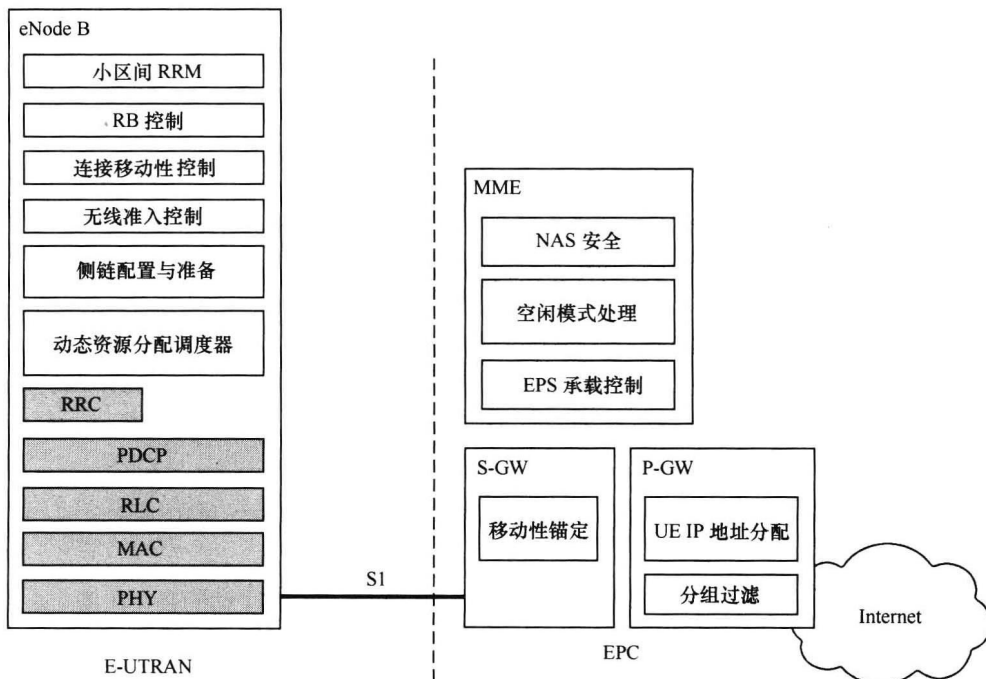


图 1.4 E-UTRAN 和 EPC 间的功能分割