

工业和信息化部电信研究院
与多家著名通信设备商的
专家联袂编著

工业和信息化部电信研究院
曹淑敏院长作序推荐

“十二五”

国家重点图书出版规划项目

3GPP System Architecture Evolution: Principle and System Design (Second Edition)

4G 丛书

3GPP 系统架构演进(SAE) 原理与设计(第2版)

□ 姜怡华 许慕鸿 习建德 朱西鹏 朱丽 沈宇希 编著

“十二五”
国家重点图书出版规划项目

3GPP System Architecture Evolution: Principle and System Design (Second Edition) 4G 丛书

3GPP 系统架构演进 (SAE) 原理与设计 (第2版)

□ 姜怡华 许慕鸿 习建德 朱西鹏 朱丽 沈宇希 编著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

3GPP系统架构演进 (SAE) 原理与设计 / 姜怡华等编
著. — 2版. — 北京: 人民邮电出版社, 2013. 1
(4G丛书)
ISBN 978-7-115-30002-7

I. ①3… II. ①姜… III. ①码分多址移动通信—通
信技术 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第266932号

内 容 提 要

本书系统地介绍了 3GPP 系统架构演进 (SAE) 的原理和设计。全书共分为 18 章, 主要内容包括 SAE 项目背景以及核心网的演进路线, SAE 系统的需求, SAE 系统架构, SAE 系统中的基本概念和特性, 移动通信系统中重要的移动性管理、位置管理功能、会话管理功能, 移动通信系统中的 QoS 机制和 PCC 架构, SAE 系统的安全机制, SAE 系统与其他系统间进行互操作时涉及的问题, SAE 架构的引入对 IMS 系统的影响, SAE 系统中的一个主要协议——GTP, SAE 系统中的各种语音解决方案, 机器类型的通信技术, WLAN 对移动网络中的数据业务进行分流的技术, 家庭基站技术以及家庭基站在移动网络中所起到的分流作用, SAE 系统中的应急通信技术, 以及中继技术等。

本书围绕 SAE 体系架构和系统设计必需的基本要素, 用通信行业技术人员熟悉的语言和思维方式有选择地介绍相关技术和接口协议, 力图使读者对 SAE 系统有一个较为全面和清晰的理解。本书能够帮助我国的 LTE 研发和工程技术人员加深对 SAE 的理解, 并为我国企业和高校研究人员研究设计新一代宽带无线移动系统提供参考。

4G 丛书

3GPP 系统架构演进 (SAE) 原理与设计 (第 2 版)

◆ 编 著 姜怡华 许慕鸿 习建德

朱西鹏 朱 丽 沈宇希

责任编辑 刘 洋

◆ 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>

北京艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 32.25

字数: 708 千字

印数: 3 501—6 500 册

2013 年 1 月第 2 版

2013 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-30002-7

定价: 89.00 元

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

反盗版热线: (010)67171154

序 言

经过几十年的发展,移动通信技术已经进入第三代数字移动通信技术的应用时期。随着 HSPA、LTE、LTE-Advanced 等第三代无线接入技术的持续演进,核心网络的技术与架构也在进一步演进与发展,无线网络传输速率和带宽有了大幅度提高。与此同时,核心网络也应在架构的简化方面有所作为,使得未来的核心网具有更高效的传输与控制能力。

在 3G 技术开始广泛运用的今天,全球越来越多的 2G/3G 网络运营商宣布了基于 LTE/SAE 网络的发展战略,3GPP 的核心网络演进标准中的 SAE 成为未来网络平滑演进的目标,SAE 系统也是目前为止唯一能够支持多种移动接入技术的网络。

经过 4 年多的技术预研和标准化工作,核心网络演进的 SAE 系列标准已基本完成。演进后的核心网架构基于扁平化的全 IP 技术,采用了信令平面与用户平面分离的分组网络控制架构,在演进的同时仍然支持与原有 2G/3G 网络的移动性管理和业务的互操作性,并且实现了对 CDMA、WiMAX 等其他网络接入方式的全面支持。演进的 SAE 网络一方面配合高速、高效的 LTE 无线接入网络共同发展,确保了 3GPP 标准在移动通信领域中长期的竞争优势;另一方面也为各种无线接入技术的共同接入和互操作提供了完整的支持。

从 1998 年起,我国通信企业和科研院所就开始从事 3GPP 标准化工作,经过十多年的努力,我国通信业在 3GPP 标准化工作中已经积累了越来越多的技术基础和标准化经验,并在如今的 LTE/SAE 技术和标准化发展上取得了巨大的成果。我国通信运营商基于自己的移动通信网络运营经验,向 3GPP 提交了许多有效运营网络和优化网络性能的需求和技术方案,而我国的通信设备企业也充分运用在国际和国内的生产、科研以及与运营商合作建网的经验,向 3GPP 提交了大量的技术文稿。这些都为我国通信企业的自主技术发展和国际化的运营目标打下了良好的基础。

LTE/SAE 网络技术将在未来较长一段时间内作为移动网络演进和发展的主流技术被广泛应用,同样也会被国内运营商和通信设备企业采纳并使用。此外,LTE/SAE 技术目前也是国内通信行业标准研究的重要课题之一。在此背景下,从事通信技术的业内人员希望出版一本全面而详尽地介绍 LTE/SAE 技术的书籍,帮助他们加深对技术方案的理解、认识相关技术点之间的联系,从总体上对于演进后的核心网特性有所了解,对于研究和跟进国际标准化进展起到参考作用。

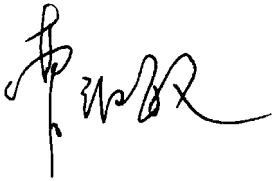
本书的作者均深入地参与了 3GPP SAE 标准的研究与制定过程,参加了历次 SAE 标准化会议,代表国内和国际移动网络设备企业和研究机构提交了大量技术提案,并经历了各种技

术选择的重要决策过程。他们在本书中贡献了自己对 SAE 标准和技术的深入理解，不仅仅是表述已经确定的现有技术，而是将技术方案的原理和选择作为本书的重点，在此基础上融合了对原有 2G/3G 网络技术的理解与运营部署经验，比较两种系统的相似与不同之处。本书中援引的素材均来自 3GPP 发布的标准文本、技术报告、会议提案以及其他产业界获得认可的技术论坛发布的正式文件。

本书的主要特点在于，不仅介绍了 SAE 的标准化结果，还从运营商的需求、技术方案的原理和选择以及产业现实状况出发，分析了各种技术的优势和劣势，并且诠释了技术选择的过程和原因，从总体上讲述了系统架构确定的过程，同时详尽介绍了各关键技术点。对于深入研究技术和设备开发的人员，本书提供了详细而精确的技术实现概念和参考规范。书中深入浅出的讲解方式，使得研究者和开发者既可以获得深入的技术指导，也能够更好地理解技术发展与选择的原因，以及各关键技术点间的相互关联性。而对于需要全面了解 SAE 技术发展的人员，本书也提供了众多翔实的参考信息，使得阅读本书不仅能够系统地学习现有的技术研究成果，更能够进一步跟踪未来网络架构和技术演进方向。

本书的内容不仅包括已经完成并稳定的 3GPP R8 版本所涉及的技术，同时兼顾了后续发展的 3GPP R9 版本、R10 版本特性以及刚刚完成的 R11 版本的新增特性。在 3GPP 的标准化过程中，LTE/SAE 标准的阶段目标已经完成，LTE/SAE 的标准研究也已趋于稳定，但业界对 LTE/SAE 技术的增强和完善还在研究过程中。我希望本书的出版能够为我国通信产业界提供一个良好的共同学习和研究的平台，使得 LTE/SAE 技术的研究在国内能够获得更多的认知和认可，也希望我国的通信产业界在网络进一步演进的研究和国际标准化过程中做出更加重大的贡献。

工业和信息化部电信研究院院长



前言

随着移动通信系统的发展, 3GPP 一直致力于进一步开发速率更高、处理效率更高的系统。在 WCDMA/TD-SCDMA 技术之后, 3GPP 除了提出支持高速数据业务的 HSPA/HSPA+ 技术, 更于 2004 年先后制定了 LTE (长期演进) 和 SAE (系统架构演进) 计划, 以实现移动通信系统向 4G 技术迈进的平稳过渡。其中, LTE 项目研究面向无线网络的演进方案, 而 SAE 是针对 LTE 开展的一项平行研究项目, 该项目的宗旨是根据核心网络的技术发展趋势和演进需求, 对核心网络的架构和性能进行优化, 构架一个基于 IP 技术的、扁平化的网络体系结构, 简化网络操作, 确保平稳、有效地部署网络。

3GPP 在 SAE 的开发过程中明确了三大工作目标: 一是提升用户的感知体验, 降低时延, 增加用户数据速率; 二是实现一个基于 IP 的网络基础架构, 提高系统容量和覆盖率, 降低运营成本; 三是集成其他非 3GPP 的接入技术, 实现多接入技术的支持和更加灵活的移动性管理, 从而在未来 10 年或者更长一段时间确保 3GPP 系统的竞争力。

经过 4 年艰苦的标准化工作, SAE 标准于 2008 年基本稳定下来。这个版本的 LTE/SAE 标准得到了各大运营商和设备商的一致认可, NGMN 联盟通过对 LTE/SAE、WiMAX、UMB 进行技术评估, 认为 LTE/SAE 是第一个广泛满足 NGMN 白皮书的技术。由此, NGMN 联盟批准 LTE/SAE 作为它的第一个适用技术。

目前, SAE 标准的研究成果已逐步应用到通信产业的研究和开发以及运营商的网络实验中, 相信不久的将来就会得到大规模商用。因此, 不管是通信设备制造业的研发人员, 还是运营企业的技术人员, 都需要对 SAE 标准进行深入的理解。面对这种需求, 深入浅出地介绍 SAE 相关技术, 全面剖析 SAE 系统的架构和功能特性, 详细介绍有关的接口协议和消息流程, 正是作者编写本书的出发点。

本书在编写过程中, 不仅从 3GPP 接入和非 3GPP 接入技术两个方面详细介绍了 SAE 系统架构和功能特性, 还对 3GPP 的关键技术选择过程进行了分析, 介绍了 3GPP 是如何对各种方案进行比较、取舍和修改的, 从而确定 SAE 架构。这些内容不仅能帮助读者更好地理解 SAE 系统结构和功能特性, 还能够使读者从中看到移动通信系统中的重要技术决策, 不仅仅基于性能优化的目的, 还要兼顾系统复杂度、运营商的实际需求及设备的兼容性等诸多因素。

另外, SAE 标准是在现有的 GPRS 网络的基础上发展而来的, 与 GPRS 技术有相似之处, 但也增加了许多新的技术和特性, 特别是增加了与非 3GPP 接入系统相关的操作, 这是原来的 GPRS 系统所不支持的特性。即使同样是 3GPP 接入, SAE 系统与 GPRS 系统相比, 在网

络架构、接口、协议、消息流程等方面也有许多的改进和优化。在技术层面, 将 SAE 技术与 GPRS 技术进行比较, 通过两种系统的对比分析, 能够让读者在原有知识的基础上, 更容易理解和认识 SAE 系统的特性。

本书在第 1 版的基础上, 对原书的部分章节和内容进行了相应的调整, 特别是对 SAE 架构演进过程中的新的关键技术和热门技术进行了扩充和增强, 涉及的技术包括 LTE 话音解决方案 (包括 CSFB、Dual Radio 和 VoLTE)、机器类型通信、WLAN 分流技术、家庭基站技术、中继技术、应急通信技术等。相信这些新增的内容能够使读者对移动核心网的发展趋势有所了解 and 把握。

本书各章编写分工如下: 第 1、2、17 章由许慕鸿编写; 第 3 章由许慕鸿、习建德编写; 第 4、16 章由许慕鸿、姜怡华、习建德编写; 第 5、18 章由姜怡华编写; 第 6、8 章由习建德编写; 第 7、10 章由姜怡华、习建德编写; 第 9、14 章由朱西鹏编写; 第 11、15 章由朱丽编写; 第 12 章由沈宇希编写; 第 13 章由朱西鹏、朱丽和许慕鸿编写。本书由沈宇希、许慕鸿和姜怡华审阅并统稿。感谢熊春山博士为本书提供的宝贵意见, 感谢赵训威博士和谈雨萌小姐对本书编写工作的大力支持, 感谢徐晖女士和张修勇先生审阅了部分书稿, 最后感谢人民邮电出版社的刘洋先生, 正是由于他的大力支持、帮助和鼓励, 本书的修订工作才得以顺利进行。

本书是基于作者的主观视角和有限学识对标准化讨论过程和结果的理解, 观点难免有欠周全之处。另外, SAE 标准本身也在不断完善和演进, 书中难免存在不当之处, 敬请读者批评指正。读者朋友可通过本书编辑的电子邮箱 (liuyang@ptpress.com.cn) 与我们联系。

作 者
2012 年 12 月

目 录

第 1 章 SAE 项目背景及概述	1
1.1 SAE 项目背景	1
1.2 3GPP 核心网演进路线	2
1.3 国内 SAE 技术的研究	8
1.4 3GPP LTE/SAE 协议结构	9
1.5 小结	11
参考文献	11
第 2 章 SAE 系统需求	12
2.1 概述	12
2.2 基本能力要求	13
2.3 多重接入和无缝移动性	15
2.4 性能需求	19
2.5 安全和私密性	19
2.6 计费需求	20
2.7 小结	20
参考文献	21
第 3 章 SAE 网络架构与特性	22
3.1 SAE 体系架构演进过程	22
3.1.1 架构需求	22
3.1.2 3GPP 接入的架构演进过程	24
3.1.3 Non-3GPP 接入的架构演进过程	33
3.2 基于 GTP 的体系架构	36
3.2.1 体系架构	36
3.2.2 网元功能	38
3.2.3 接口协议	45
3.3 基于 PMIP 的体系架构	51
3.3.1 体系架构	51
3.3.2 网元功能	55
3.3.3 接口协议	56
3.4 SAE 网络与 GPRS 网络的比较	62
3.5 小结	64
参考文献	64
第 4 章 SAE 基本概念与特性	66
4.1 移动性和连接管理模型	66
4.1.1 概述	66
4.1.2 移动性状态模型	67
4.1.3 EPS 连接模型	68
4.2 跟踪区	69
4.3 永远在线和默认承载	71
4.4 IP 特性的使用	73
4.4.1 IP 地址分配	73
4.4.2 IP 移动性管理的基本特征	79
4.5 MME 池区域与 S-GW 服务区域	83
4.6 节点选择	85
4.6.1 P-GW 选择	85
4.6.2 S-GW 选择	88
4.6.3 ePDG 的选择机制	88
4.6.4 DSMIPv6 家乡链路检测功能	89
4.7 多 PDN 功能	89
4.8 负载均衡	91

4.8.1 概述	91	5.4.5 寻呼重传	122
4.8.2 MME 的负载均衡	92	5.4.6 下行数据的寻呼触发及 限制	123
4.8.3 S-GW 的负载均衡	93	5.4.7 用户平面快速建立	123
4.9 SAE 中的 UE 能力处理	93	5.5 S1 连接释放	124
4.10 SAE 中的标识及其使用	95	5.6 GUTI 重分配	125
4.11 UE 在 ECM-IDLE 状态下的 可及性管理	101	5.7 网络注销	125
4.12 UE 的短消息可及性管理	102	5.7.1 注销过程的触发和类型	126
4.13 Non-3GPP 的网络发现及 选择	103	5.7.2 不同注销过程的特点	126
4.14 小结	104	5.7.3 注销过程中 MME 与 HSS 的交互	129
参考文献	105	5.8 HSS 用户文件管理	129
第 5 章 基于 GTP 的移动性与 位置管理	106	5.9 多 PDN 连接	130
5.1 概述	106	5.9.1 默认 PDN 连接	130
5.2 网络附着	107	5.9.2 多 PDN 连接的建立	130
5.2.1 网络附着过程	107	5.9.3 多 PDN 连接的释放	132
5.2.2 默认承载的建立	108	5.10 信令缩减	132
5.2.3 附着请求中的 APN	109	5.10.1 信令缩减的需求	132
5.2.4 初始附着与切换附着	109	5.10.2 方案选择	133
5.2.5 静态 IP 地址与动态 IP 地址	110	5.10.3 ISR 的原理	135
5.2.6 NAS 安全性	111	5.10.4 TIN 的使用	136
5.3 跟踪区更新	111	5.10.5 SGSN/MME 结合节点	137
5.3.1 跟踪区更新过程的 触发	111	5.10.6 M-TMSI 与 P-TMSI 的映射	139
5.3.2 跟踪区更新过程	112	5.10.7 GUTI 与 RAI/P-TMSI 的映射	140
5.3.3 负载均衡	113	5.10.8 周期性 TAU 与隐式 注销	140
5.3.4 EPS 承载上下文的同步	116	5.10.9 ISR 的激活	141
5.3.5 不同场景的跟踪区更新 过程	116	5.10.10 ISR 激活时的下行 数据传输	143
5.4 业务请求	117	5.10.11 ISR 的去激活	143
5.4.1 业务请求过程的触发与 执行	117	5.10.12 ISR 激活时的承载 删除	144
5.4.2 业务请求与 RRC 连接 建立	118	5.10.13 ISR 激活时的网络 注销	144
5.4.3 空闲状态下的用户平面 终结点	119	5.10.14 承载状态的同步	146
5.4.4 承载的恢复	122	5.11 E-UTRAN 内部切换	147
		5.11.1 E-UTRAN 内部切换的	

类型.....	147	7.1.2 伴随 QoS 更新的承载 修改过程.....	182
5.11.2 X2 接口的必要性.....	148	7.1.3 P-GW 发起的不伴随 QoS 更新的承载修改过程.....	183
5.11.3 S1 切换的执行条件.....	150	7.1.4 承载删除的过程.....	183
5.11.4 MME/S-GW 重定位的 必要性.....	150	7.1.5 UE 请求的承载资源修改 过程.....	185
5.11.5 路径转换.....	151	7.1.6 承载建立时 QoS 的 发起.....	186
5.11.6 CN 间切换 (数据 前转).....	153	7.1.7 专用承载的保留.....	187
5.11.7 未被接纳的承载的 释放.....	154	7.1.8 承载标识的分配.....	187
5.12 小结.....	154	7.1.9 承载修改过程的触发.....	188
参考文献.....	154	7.1.10 QoS 的改变对承载修改 过程的影响.....	188
第 6 章 基于 MIP 的移动性与 位置管理.....	157	7.1.11 LBI 的使用.....	189
6.1 基于 PMIPv6 协议的 3GPP 接入系统移动性管理.....	157	7.1.12 PTI 的使用.....	189
6.1.1 S5/S8 接口 PMIP 下的 E-UTRAN 初始附着.....	157	7.2 基于非 GTP 的承载管理.....	190
6.1.2 位置更新.....	159	7.2.1 概述.....	190
6.1.3 网络去附着.....	159	7.2.2 承载的建立.....	191
6.1.4 多 PDN 连接.....	159	7.2.3 承载的修改.....	192
6.2 可信任 Non-3GPP 接入系统 移动性管理.....	162	7.2.4 承载的删除.....	193
6.2.1 网络附着.....	162	7.3 小结.....	194
6.2.2 网络去附着.....	170	参考文献.....	194
6.2.3 多 PDN 连接建立.....	174	第 8 章 QoS 与 PCC.....	195
6.3 非信任 Non-3GPP 接入系统 移动性管理.....	175	8.1 SAE 的 QoS 架构.....	195
6.3.1 概述.....	175	8.1.1 概述.....	195
6.3.2 网络附着.....	175	8.1.2 EPS 承载 QoS 架构.....	195
6.3.3 网络去附着.....	177	8.1.3 EPS 与 3GPP UTRAN/ GERAN 之间 QoS 映射 准则.....	204
6.3.4 多 PDN 连接建立.....	179	8.2 SAE 中 PCC 架构.....	205
6.4 Non-3GPP 接入系统的位置 管理.....	179	8.2.1 概述.....	205
6.5 小结.....	180	8.2.2 PCC 的演进历史.....	206
参考文献.....	180	8.2.3 EPS PCC 架构选择.....	208
第 7 章 会话管理.....	181	8.2.4 EPS PCC 架构中多 PCRF 路由机制.....	213
7.1 基于 GTP 的承载管理.....	181	8.3 SAE 中的 PCC/QoS 机制.....	215
7.1.1 专用承载激活过程.....	181	8.4 策略增强演进方向.....	221
		8.5 小结.....	221

参考文献	222	WiMAX 系统之间的 优化切换	261
第 9 章 SAE 系统安全	223	10.2.4 Non-3GPP IP 接入系统之 间的切换特性	262
9.1 用户的身份认证及 AKA	223	10.3 GTP 网络与 PMIP 网络之间 漫游的解决方案	267
9.2 密钥及生成	225	10.3.1 直接对等解决方案	267
9.3 信令和用户数据的加密	227	10.3.2 代理交互解决方案	268
9.4 信令的完整性保护	228	10.4 小结	269
9.5 移动性管理过程中的安全	228	参考文献	269
9.6 小结	231	第 11 章 SAE 对 IMS 的影响	271
参考文献	231	11.1 概述	271
第 10 章 EPC 与其他系统的 互操作	232	11.2 IMS 的本地路由疏导	272
10.1 3GPP 系统间改变	232	11.2.1 本地路由疏导的场景	273
10.1.1 3GPP 系统间互操作 架构	232	11.2.2 本地路由疏导的方案 选择	275
10.1.2 传统 UMTS CN 与 EPC 的连接方法选择	234	11.3 IMS 的媒体面路由优化	275
10.1.3 GGSN 与 EPC 的共存	236	11.4 IMS 本地路由疏导和媒体面 路由优化的比较	281
10.1.4 E-UTRAN 与 GERAN/ UTRAN 系统间 RAU/ TAU	237	11.5 小结	282
10.1.5 空闲状态 UTRAN/GERAN 与 E-UTRAN 系统间 改变	237	参考文献	282
10.1.6 连接状态 E-UTRAN 与 GERAN/UTRAN 系统间 改变	239	第 12 章 SAE 中的 GTP	283
10.1.7 EPS 承载与 PDP 上下文 的映射	240	12.1 概述	283
10.1.8 数据前转	242	12.2 GTP 消息定义	283
10.1.9 MME 与 UMTS HSS 间 接口	244	12.2.1 GTP 消息粒度	283
10.2 基于 PMIP 的系统间切换	245	12.2.2 GTP 消息定义规则	285
10.2.1 3GPP 接入与 Non-3GPP IP 接入系统之间的普通 切换	245	12.2.3 GTP 消息头的增强	286
10.2.2 E-UTRAN 接入系统与 cdma2000 之间的优化 切换	255	12.2.4 GTP 的信元定义	287
10.2.3 3GPP 接入系统与移动		12.2.5 消息的附带发送 (Piggyback)	290

12.4.4 路径失败.....	298	15.3.3 IP 流移动性 (IFOM)	351
12.5 GTP-U.....	298	15.3.4 非无缝接入.....	352
12.5.1 用户平面特性概述.....	299	15.3.5 基于 S2a 接口的可信 WLAN 接入方式 (SaMOG)	352
12.5.2 数据转发结束标识.....	299	15.3.6 ANDSF 增强	353
12.5.3 序列号.....	300	15.3.7 基于应用的 ANDSF 策略——DIDA.....	359
12.5.4 错误指示消息.....	300	15.3.8 用于 IP 接口选择的运营 商策略 (OPPIIS)	361
12.6 GTP 端口及兼容性.....	300	15.3.9 ANDSF 与其他选网方式 的区别	362
12.7 小结.....	301	15.3.10 基于位置的 WLAN 网关 选择 (LOBSTER)	363
参考文献.....	301	15.4 可信 WLAN 接入主要功能及 流程	364
第 13 章 LTE 语音解决方案	302	15.4.1 可信 WLAN 接入的 场景	364
13.1 概述.....	302	15.4.2 对终端无影响的解决 方案的假设.....	364
13.2 Voice over 2G/3G.....	302	15.4.3 对终端无影响方案架构.....	365
13.2.1 CSFB.....	302	15.4.4 IP 地址分配	367
13.2.2 多模双通.....	314	15.4.5 附着过程.....	367
13.2.3 其他方案.....	315	15.4.6 终端/TWAN 发起的去 附着和 PDN 连接释放 过程	369
13.3 Voice over LTE.....	316	15.4.7 HSS/AAA 发起的 去附着过程.....	370
13.3.1 CS over PS	316	15.4.8 P-GW 发起的资源分配 去激活过程.....	371
13.3.2 IMS Voice over LTE	321	15.4.9 专用承载激活过程	372
13.4 小结.....	335	15.4.10 P-GW 发起的承载 修改过程.....	373
参考文献.....	336	15.4.11 HSS 发起的承载修改 过程	374
第 14 章 机器类型通信	338	15.5 小结.....	375
14.1 概述.....	338	参考文献.....	375
14.2 过载控制.....	339	第 16 章 家庭基站技术	376
14.3 EAB.....	340		
14.4 MTC 网络架构.....	341		
14.5 MTC 用户标识.....	342		
14.6 MTC 终端设备触发.....	342		
14.7 PS Only	343		
14.8 小结.....	345		
参考文献.....	345		
第 15 章 WLAN 分流技术	346		
15.1 概述.....	346		
15.2 WLAN 分流场景及需求.....	347		
15.3 WLAN 分流关键技术.....	349		
15.3.1 多接入 PDN 连接和 IP 流的移动性 (MAPIM)	349		
15.3.2 多接入 PDN 连接 (MAPCON)	350		

16.1 家庭基站基本功能.....	376	18.3.2 RN 的服务节点选择.....	449
16.1.1 家庭基站的背景和应用.....	376	18.3.3 RN 的注销.....	449
16.1.2 家庭基站的业务需求.....	377	18.3.4 RN 的 QoS 模型.....	449
16.1.3 家庭基站的基本架构.....	378	18.4 移动中继概述.....	451
16.2 家庭基站分流技术.....	387	18.4.1 需求场景.....	451
16.2.1 LIPA/SIPTO 场景及需求.....	387	18.4.2 现有方案介绍.....	451
16.2.2 解决方案.....	389	18.4.3 候选方案.....	452
16.2.3 关键技术.....	412	18.5 小结.....	454
16.2.4 技术研究现状.....	417	参考文献.....	455
16.3 小结.....	418	附录 信令流程举例	456
参考文献.....	418	附录 1 E-UTRAN 附着——基于 GTP.....	456
第 17 章 应急通信技术	421	附录 2 E-UTRAN 附着——基于 PMIP.....	463
17.1 概述.....	421	附录 3 伴随 S-GW 改变的 TA 更新过程.....	465
17.2 紧急呼叫系统架构.....	421	附录 4 基于 PMIP 的 TA 更新过程.....	469
17.2.1 IMS 系统架构要求.....	421	附录 5 网络发起的业务请求过程.....	470
17.2.2 EPS 功能要求.....	423	附录 6 基于 S1 接口的 E-UTRAN 内切换.....	472
17.3 紧急呼叫业务实现.....	425	附录 7 基于 S1 接口的 E-UTRAN 内切换拒绝.....	476
17.3.1 EPC 承载层实现.....	425	附录 8 E-UTRAN 到 UTRAN Iu 模式的 RAT 间切换.....	477
17.3.2 IMS 业务层实现.....	430	附录 9 GERAN A/Gb 模式到 E-UTRAN 的 RAT 间切换.....	482
17.4 优先服务技术.....	433	附录 10 I-RAT 切换取消.....	486
17.5 小结.....	436	附录 11 S2a 接口基于 PMIPv6 协议的初始附着流程.....	487
参考文献.....	437	附录 12 3GPP E-UTRAN 到 cdma2000 HRPD 接入网络激活模式下的优化切换.....	489
第 18 章 中继技术	438	附录 12.1 预注册阶段.....	490
18.1 中继架构的需求和特点.....	438	附录 12.2 实际切换阶段.....	491
18.1.1 背景.....	438	小结.....	494
18.1.2 应用场景.....	439	参考文献.....	494
18.1.3 架构设计需求.....	440	缩略语	495
18.1.4 RN 架构所支持的 UE 移动性.....	440		
18.2 E-UTRAN 中的中继架构选择.....	441		
18.2.1 概述.....	441		
18.2.2 候选架构.....	442		
18.2.3 方案选择.....	444		
18.2.4 固定 Relay 的架构.....	445		
18.3 中继的网络特性.....	447		
18.3.1 RN 的附着.....	447		

第 1 章

SAE 项目背景及概述

1.1 SAE 项目背景

随着新技术的不断涌现，3GPP（Third Generation Partnership Project，第 3 代合作伙伴计划）发现有必要通过从无线接口到核心网络的持续演进和增强，以在未来 10 年内保持自己在移动通信领域的技术领先优势，为运营商和用户不断增加的需求提供满意的支持。因此，为了占有宽带无线接入市场，并保持 3GPP 标准相对其他无线通信标准的优势，3GPP 在 2004 年年底经过认真的讨论，决定在 3G 频段采用原计划用于 B3G 或 4G 的 OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing，正交频分复用）技术，并为此制定了长期演进（Long Term Evolution，LTE）计划。除了对无线接入网演进的研究外，3GPP 也开始进行系统架构方面的演进工作，并将其定义为系统架构演进（System Architecture Evolution，SAE）项目。由于 LTE/SAE 技术的“革命性”转变，其系统已经具备了 4G 通信技术的特征，因此一般也被称为“准 4G”技术。

2004 年 12 月，3GPP 在希腊雅典会议上启动了面向全 IP 的分组域核心网的演进项目 SAE，其核心网也被称为演进的分组核心网（Evolved Packet Core，EPC）。SAE 项目的目标是“制定一个以高数据率、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”。SAE 项目是基于未来移动通信的全 IP 网络而发起的，即在未来网络环境下，3GPP 核心网络支持的接入技术不仅有 UTRAN（Universal Terrestrial Radio Access Network，全球陆地无线接入网）、GERAN（GSM EDGE Radio Access Network，GSM EDGE 无线接入网络）和 E-UTRAN（Evolved UTRAN，演进的 UTRAN），还有 Wi-Fi（Wireless Fidelity，无线保真）、WiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access，全球微波接入互操作性）等接入技术。

SAE 的工作目标与 LTE 一致：一是提高性能，减少时延，提供更高的用户数据速率，提高系统容量和覆盖率，减少运营成本；二是可以实现一个基于 IP 网络的现有或者新的接入技术的具备移动性的灵活配置和实施；三是优化 IP 传输网络。但是 SAE 和 LTE 的研究范围是有所不同的，SAE 更多的是从系统整体角度考虑未来移动通信的发展趋势和特征，从网络架构方面确定将来移动通信的发展方向。在无线网络接口技术呈现出多样化、同质化特征条件下，满足未来发展趋势的网络架构将使运营商在未来更有竞争力。

针对 SAE 项目，3GPP 制定了详细的计划表，开始了长达 4 年的 SAE 标准研究和制定工作。

按照 3GPP 的工作流程, 标准制定分成两个阶段: SI (Study Item, 研究项目) 阶段和 WI (Work Item, 工作项目) 阶段。前者是可行性研究阶段, 对应的文稿称为 TR (Technical Report, 技术报告), 对 SAE 中可能涉及的新的关键技术和各种解决方案都会进行研究和评估, 这项工作主要在 3GPP 的 SA2 组进行; 后者是标准制定阶段, 对应的文稿称为 TS (Technical Specification, 技术规范), 根据 SI 阶段讨论出的结论, 依次在 SA1 确定 SAE 的业务需求, 在 SA2 制定 SAE 的总体技术要求, 包括基本架构、基本功能和主要消息流程等, SA3 组制定 SAE 系统安全性要求, SA5 组制定 SAE 系统的网管和计费功能要求, 最后在 CT 组制定相应的接口和协议要求。

SAE 的 SI 阶段的研究从 2004 年 12 月开始启动, 原计划于 2006 年 12 月结束, 但由于 SAE 中涉及的关键技术和解决方案比较多, 实际的 SI 阶段的工作一直到 2008 年 9 月才完全结束。

2006 年 12 月, SA 全会批准了 SAE 工作项目的立项, 开始了 SA1 工作组进行的 SAE 需求研究工作, 并在 2007 年 12 月完成了 SAE 在 R8 阶段的需求的制定。与 SA1 工作同步开始的 SA2 组的框架研究, 原计划于 2008 年 6 月完成 R8 阶段的规范制定, 因为议题和分歧都比较多, 所以推迟了半年才最终完成。CT 组的工作则是在 2008 年 1 月启动的, 涉及的工作组包括 CT1 (负责接入网和核心网间的接口协议)、CT3 (负责与其他网络的互联互通接口协议) 和 CT4 (负责核心网内部的接口协议)。CT 组 R8 阶段的标准最终在 2009 年 3 月冻结。

R8 阶段的标准冻结以后, 就不再对该版本的标准做功能性改变, 但是可以继续输入一些小的修改性文稿; 其他未完成的功能, 被移到 R9 版本中, 保证 R8 版本的相对稳定性, 设备厂家也可以基于这个稳定的版本进行设备开发。

在此需要提出的是, LTE 是 3GPP 的项目名称, 该项目主要是研究 3GPP 的 UMTS 系统的无线接入网络的长期演进, 新的无线接入系统称为演进的 UTRAN (E-UTRAN); 与 LTE 相同, SAE 也是一个项目名称, 研究的是 3GPP 核心网络的长期演进, 这个项目的目的是定义一个新的全 IP 分组核心网, 称为演进的分组核心网 (EPC); EPC 和 E-UTRAN 合称为 EPS。但是在实际使用时, 并没有严格的区分, LTE/SAE 有时也用来描述系统架构, 因此在阅读本书时, 建议读者不要拘泥于名词术语, 可以把这两个概念等同起来理解。

1.2 3GPP 核心网演进路线

3GPP 的核心网标准发展经历了 2G、2.5G、3G 等多个阶段, 其中 3G 阶段的工作是从第一个版本 R99 开始的, 陆续开展并完成了 R4、R5、R6、R7、R8、R9 和 R10 的版本制定工作。

2G 阶段指的是 GSM 网络阶段, 这个阶段的系统结构简单, 仅提供电路域业务。到了 2.5G 阶段, 由于 IP 技术的发展, 引入了 GPRS (General Packet Radio Service, 通用分组无线业务) 分组域结构, 可以为用户提供分组数据业务。3G 阶段则使用新的无线接入技术, 空中接口从 2G、2.5G 使用的时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA) 技术转而使用码分多址 (Code Division Multiple Access, CDMA) 技术。在 3G 的 R99 版本中, 核心网因新的无线接入系统的加入和接入网架构的改变, 与无线接入系统间增加了新的接口以支持无线侧 3G 技术的引入, 但是其网络的主体结构相对于 2G/2.5G 系统并没有改变; 3G 的 R4 阶段在核心网

结构中采用了软交换技术,将承载和控制分离,网络结构发生了重大改变;R5 阶段开始提出全 IP 网络的概念,并在以 GPRS 分组域为承载的基础上,引入了 IMS (IP Multimedia Subsystem, IP 多媒体子系统)域来提供业务,实施业务层和网络层的分离;R6 阶段在网络架构方面主要是提出了 MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service, 多媒体广播多播业务)结构,可以给用户提供多播广播业务;R7 阶段提出了 PCC (Policy and Charging Control, 策略和计费控制)架构,使得对用户的 QoS (Quality of Service, 服务质量)控制和计费更加灵活和集中,在该阶段提出的 DT (Direct Tunnel, 直接隧道)概念,对分组域用户面的传送机制进行了优化,用户面的传送时延减小,这个概念在 SAE 网络架构中也会继续沿用;R8 阶段提出了 SAE, 分组域的架构发生重大改变,这将是本书讨论的重点;R9 之后,网络架构没有变化,主要是对 R8 阶段定义的系统结构和功能的增强与优化。

下面对各阶段的主要功能加以描述。

1. GSM (2G)

GSM (Global System for Mobile Communication, 全球移动通信系统)俗称“全球通”,它是依照欧洲电信标准化协会 (ETSI) 制定的 GSM 规范研制而成的,是第二代移动通信技术 (2G),其开发目的是让全球各地可以共同使用一个移动电话网络标准,让用户使用一部手机就能行遍全球。

GSM 系统是在 1991 年开始商用的,主要采用时分多址接入/频分多址接入 (TDMA/FDMA (Frequency Division Multiple Access, 频分多址)) 技术和高斯最小频移键控 (Gaussian Minimum Shift Keying, GMSK) 无线调制模式, GSM 能提供语音业务、短消息业务和低速率的电路交换数据业务。

在现阶段, GSM 包括两个并行的系统: GSM900 和 DCS1800, 这两个系统功能相同,主要是频率不同。GSM900 工作在 900MHz, DCS1800 工作在 1800MHz。我国最早使用的是 GSM900, 随着通信网络规模和用户数量的迅速发展,原有的 GSM900 网络频率变得日益紧张,为更好地满足用户增长的需求,后期引入了 DCS1800。

目前的 GSM 系统已经非常成熟,几乎所有的运营商都选择了 GSM 系统,因此用户在国内、国际的漫游可以说都是畅通无阻的。GSM 系统的通话质量非常稳定,手机终端类型越来越丰富,业务种类也越来越多,彩铃、炫铃都是 GSM 系统中发展出的新型业务,有多种业务模式可供用户根据自己不同的需求来选择。

2. GPRS (2.5G)

随着 IP 技术的发展,移动用户对数据业务的需求也越来越强烈,但是 2G GSM 系统仅提供电路域业务,不能提供数据业务,同时,传统的话音服务和其带来的利润增长已经出现了停滞不前的现象,在这种情况下,3GPP 引入了 GPRS 技术,使移动通信与数据网络合二为一,将 IP 业务引入更为广阔的移动市场,同时也使移动网络能够提供更多的增值业务。GPRS 是 2G 系统向 3G 系统发展过程中至关重要和必不可少的一步,所以才称之为 2.5G 技术。

GPRS 是在现有的 GSM 网络基础上叠加的一套分组交换系统,也采用 GMSK 调制,同时 GPRS 通过采用快速编码方案来提高用户的数据传输速率,并且几个终端可以共享一组无线信道,所以 GPRS 系统很适合分组数据传输。

国内于 2000 年开始部署 GPRS 业务,但是由于终端的功能、网络速率、业务类型和计费等因素的限制,阻碍了 GPRS 业务的发展。随着 EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution, 增强型数据速率 GSM 演进) 技术的使用,用户的速率大大提高,其他的约束因素也逐渐得到解决,因此,直到最近两年,国内运营商的 GPRS 数据业务才真正开始大幅度提高。目前, GPRS 业务包括手机上网、E-mail、彩信、飞信,还可以进行股票查询、在线游戏、聊天等,也可以下载各种应用,如各种游戏、漫画、股票等。数据业务的收入在运营商的收入中已经占据很大比例,而且相比话音业务,已经成为提高收益的主要增长因素。

GPRS 系统对于用户漫游的场景,有不同的解决方案,这在一定程度上使得网络部署提高了灵活性,但同时也导致用户在进行国际漫游的时候,运营商之间不易达成漫游协议。所以,虽然所有的 GSM 运营商都部署了 GPRS 系统,但是与 GSM 话音业务相比,国际漫游还不够普及,这一方面有漫游费用高的原因,另一方面,也有运营商间的漫游网络结构不一致的原因。但是,相信未来随着漫游费用的调整,可以支持国际漫游的运营商网络会越来越多,用户在国际漫游时,使用的数据业务也会越来越多。

3. R99 (3G)

由于 GSM 系统中空中接口速率上的限制,人们开始把目光转向第三代移动通信系统,也就是人们常说的 3G。引入 3G 系统,是为了提高移动通信的频谱利用率,提供更高的数据业务传输速率,满足移动多媒体业务的要求。作为 3G 主导技术的 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access, 宽带码分多址),不仅可以支持很高的用户数据速率,还可以提供很好的话音质量。

3GPP 最初的 3G 版本是 R99,是在 2000 年 3 月完成的。从网络结构的角度来看,3GPP R99 最主要的工作是引入了 WCDMA 的无线接入网络——UTRAN,通过 Iu 接口与核心网络相连。但是在核心网部分,3GPP R99 与 2G GSM/GPRS 的网络架构完全相同,当然,这些节点在功能上是有所区别的,并且需要支持与 3G UTRAN 的 Iu 接口。

由于 GSM/GPRS 的设备通过软件升级和必要的硬件改动就可以满足 3GPP R99 功能的要求,而且 R99 核心网中的传输技术不变,还是用原来的 TDM 网络,因此,对于已经部署了 GSM/GPRS 网络的运营商来说,向 R99 网络演进是能充分利用现有资源的。但是,R99 系统有其缺陷,首先 R99 核心网发展滞后于接入网,接入网部分已经分组化的 AAL2 语音仍需经过编解码器转换为 64kbit/s PCM 编码,影响了语音质量,也降低了核心网的传输资源利用率;其次,核心网部分仍采用 TDM 技术,不利于向全 IP 网络发展。因此,最终 R99 方案只是一种过渡方案,并没有运营商采用这种结构来部署网络。

4. R4 (3G)

3GPP R99 版本之后的就是 R4 版本,这也是运营商真正开始商用的 3G 核心网版本,3GPP 的 R4 版本的标准工作于 2001 年 3 月完成。

3GPP R4 与 3GPP R99 版本相比,在 RAN 侧的网络结构没有明显变化,重要的改变是在核心网部分的电路域,引入了软交换概念,实现承载层和控制层的分离,控制层负责控制呼叫的建立、进程的管理和计费等相关功能,承载层用来传输用户的数据。

这种承载和控制分离的结构,使得网络可以采用新的 IP 传输技术,这样运营商可以统一采用 IP 承载网来承载电路域和分组域的业务,有效降低了承载网络的运行维护成本。承载和