

“十二五”国家重点图书
Springer 精选翻译图书

深入理解LTE及其性能

Understanding LTE and Its Performance

[法] Tara Ali-Yahiya 著

吴少川 梅林 叶亮 崔扬 译

哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五”国

Springer 精选翻译图书

深入理解LTE及其性能

Understanding LTE and Its Performance

[法] Tara Ali Yahya 著

吴少川 梅林



哈尔滨工业大学出版社

内容简介

作为 4G 的国际标准, LTE 是通信工程专业的重要专业课内容。本书内容全面, 涵盖了宽带无线移动通信技术的介绍、LTE 网络架构和协议、LTE 无线接入层设计、LTE 物理层设计、QoS、网络互通融合设计、移动性、Femtocell、下行无线资源分配策略、机会调度性能研究、跨层多业务调度、部分频率复用、移动 WiMAX 和 LTE 互通性能研究、LTE 与无线传感器/执行器和 RFID 技术的集成等各个方面。

本书通俗易懂, 不但介绍了 LTE 的基本原理, 还体现了作者在相关领域的最新研究成果, 非常适合作为通信工程专业高年级本科生和研究生阅读, 并适合作为相关课程的教材或参考资料。

黑版贸审字 08 - 2016 - 115

Translation from English language edition:

Understanding LTE and its Performance

by Tara Ali-Yahiya

Copyright © 2011 Springer Science + Business Media, LLC

All Rights Reserved

图书在版编目 (CIP) 数据

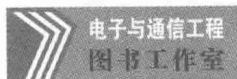
深入理解 LTE 及其性能/吴少川等译. —哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2017. 4

ISBN 978 - 7 - 5603 - 6071 - 3

I. ①深… II. ①吴… III. ①无线电通信 - 移动网

IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 131165 号



责任编辑 李长波

封面设计 高永利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 660mm × 980mm 1/16 印张 19 字数 315 千字

版 次 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5603 - 6071 - 3

定 价 40.00 元

(如因印装质量问题影响阅读, 我社负责调换)

译者序

作为 4G 的国际标准, LTE 是通信工程专业的重要专业课内容。纵观国际上介绍 LTE 的书籍, 能够深入浅出地将 LTE 的基本原理、特性和性能进行完整介绍的经典书籍并不多。译者在查阅了相关英文原版书籍后, 选择了将法国学者 Tara Ali - Yahya 的这本《深入理解 LTE 及其性能》的专业书籍引入中国。该书内容全面, 涵盖了宽带无线移动通信技术的介绍、LTE 网络架构和协议、LTE 无线接入层设计、LTE 物理层设计、QoS、网络互通融合设计、移动性、Femtocell、下行无线资源分配策略、机会调度性能研究、跨层多业务调度、部分频率复用、移动 WiMAX 和 LTE 互通性能研究、LTE 与无线传感器/执行器和 RFID 技术的集成等各个方面。该书通俗易懂, 不但介绍了 LTE 的基本原理, 还体现了作者在相关领域的最新研究成果, 非常适合通信工程专业高年级本科生和研究生阅读, 并适合作为相关课程的教材或参考资料。

本书的翻译工作由哈尔滨工业大学电子与信息工程学院的吴少川、梅林、叶亮, 以及科学与工业技术研究院的崔扬共同完成。其中吴少川翻译了本书的第 1~4 章, 梅林翻译了第 5~8 章, 崔扬翻译了第 9~10 章, 叶亮翻译了第 11~14 章。所有参与者共同负责全书的统稿、修改与校对工作, 并对原书中存在的疏漏进行修订。本书的出版尤其要感谢赵震、孙仁强、袁钟达和于婷这四位同学, 他们在专业术语翻译、公式符号的计算机录入以及校对等方面花费了大量的时间和精力。没有他们的辛勤工作和严谨态度, 就不能保证本书在这么短的时间内与广大读者见面。

本书的翻译是在国家自然科学基金(No. 61671173、No. 61201146)和国家重点研究基础发展计划(973 计划, 2013CB329003)支持下完成的, 特此感谢; 还要感谢哈尔滨工业大学提供的各种设施, 保证了本书翻译所需的各种资源。

由于译者水平有限, 翻译过程中的疏漏和不当之处还请读者不吝指正, 以便在下一版中进行改进。

吴少川

2016 年 4 月 23 日

序

作为电信变革的成功案例,20 世纪 90 年代初期推出的 GSM 技术极大地促进了移动通信事业的发展。今天,人们已经无法想象没有移动电话的生活,而全世界 GSM 用户数量也已经接近 50 亿。

随着这一技术的巨大成功及其与 IP 技术的融合,新涌现的标准将分组交换技术融入 GSM 系统中,从而使任何移动设备都能够接入 Internet。从 GPRS 到 3G 和 3G+,可以看到移动通信系统的演进趋势是在任何时候任何地点都可以为用户提供接入 Internet 的能力。此外,3G+ 也是一个典型的成功案例,它使人们使用新的设备来改变生活方式,诸如永久连接的智能电话。由于 3G+ 的成功,许多新的应用不断涌现以提供新的服务。

然而,3G+ 这类技术显然是带宽有限的,因而不能处理新的多媒体应用。出于对新技术的迫切需要,电信领域正在推出 LTE 和 LTE-Advanced 标准,从而为新的应用提供更大的带宽。这些新技术所承诺的比特率将接近光纤本地环路所能提供的比特率。

本书从各个视角为读者完整呈现 LTE 标准,从而使各电信公司的雇员、在校本科生和研究生能够理解这一复杂的技术。本书涵盖了从物理层、MAC 层到与 IP 技术融合等 LTE 标准的各个方面。此外对于无线布设的新概念——Femtocell 原理,本书也进行了阐述。

本书的作者 Tara Ali-Yahiya 是巴黎南大学的博士和副教授。作为 LTE 和 LTE - Advanced 领域的研究专家,她已经完成了在宽带移动技术方面的博士研究,并且在一些高质量的期刊和会议上发表了关于 LTE 的许多论文。希望读者能够享受阅读本书的过程,并能够享受学习 LTE 技术所带来的所有附加价值。

Khaldoun Al Agha

巴黎南大学全职教授

绿色通信首席工程师

2011 年 1 月于巴黎

前 言

本书尝试对长期演进(Long-Term Evolution, LTE)网络进行一个全面的综述。其写作目的是吸引广大读者,并对 3GPP LTE 或无线宽带网络感兴趣的任何人有所帮助。本书致力于全面覆盖当前与 LTE 有关的宽带移动和无线网络中最先进的理论和技术,从最基本的原理开始讲解,并逐步过渡到更前沿的主题。书中所提供的各种方案均基于已经通过的 3GPP LTE 标准。

本书由 3 部分共 14 章组成。第 1 部分包括对宽带无线和 LTE 的介绍;为了便于理解 LTE 建立的原则,第 2 部分介绍了 LTE 最重要的特性;最后,第 3 部分介绍了从低层到高层的 LTE 网络不同层面的性能。

第 1 部分的第 1 章全面而概要地综述 3GPP 组织、3GPP2 组织和 IEEE 组织所提标准中的各种宽带移动无线技术以及这些标准提出的简要历史过程,从而使读者全面理解宽带移动无线演进的技术路线。此外,第 1 章也描述了 LTE 技术及其相关特性,并简述了 LTE 与 LTE-Advanced 之间的差异,从而使读者理解第四代无线通信网络的发展历程。本书在这一章还特别详细地介绍了 LTE 3GPP 的基本规范 LTE 版本 8。第 2、3 和 4 章介绍了 LTE 网络不同层面中由高层到低层的主要功能实体。高层是通过 LTE 体系结构的参考模型及组成这一体系结构的功能实体来表示的。第 3 章详细介绍了链路层的角色以及它与高层、低层和链路层子层间的相互作用,并且还介绍了链路层在调度、功耗和加密等方面的职责。最后,在第 4 章描述了物理层及其强大的特性:OFDMA、MIMO、不同的调制和编码方式等。

第 2 部分介绍了 LTE 的主要特征,并将这些特征分为 4 个部分:服务质量、移动性、飞蜂窝(Femtocell)和互通性。第 5 章描述了服务质量的机制、数据业务流、计费规则和承载原则。第 6 章描述了移动特性,包括基本的移动体

系结构、切换和位置管理。第7章描述了LTE融合到第4代移动无线网络时的互通性问题。这一章描述了采用不同技术的体系结构之间各种类型的互通性,并且说明了LTE是一种非孤立的、可以与任意基于IP的技术相集成的技术。第8章通过介绍Femtocell的原理、体系结构和益处,描述了LTE的这一关键特性。

第3部分给出了在不同层次概念中的一些性能研究。第9章和第10章介绍了采用OFDM调制的LTE系统是如何进行资源分配的。随后,针对LTE网络提出了两种算法并进行了仿真。第11章描述了一个跨MAC层和物理层的资源分配方法,该方法可以保证高层及低层具有可保证的服务质量。第12章描述了LTE多小区系统中的小区干扰,并提出了一种克服干扰和保证不同数据业务流良好服务质量的方法。第13章以LTE和移动WiMAX技术的互通性为例,研究了一个互通体系结构的性能,并通过仿真编程的方式,提出和研究了一种新的体系结构及切换决策功能。最后,第14章着重介绍了将LTE Femtocell和RFID及无线传感器网络集成在一起的原有方法和新方法,从而提高移动性管理并增强切换时的网络体验。

Tara Ali-Yahiya
法国,巴黎

目 录

第一篇 深入理解 LTE

第 1 章 移动宽带无线网络介绍	3
1.1 移动网络发展历程	3
1.2 LTE 和其他宽带无线技术	8
1.3 LTE 概述	10
1.4 概要与结论	15
本章参考文献	16
第 2 章 网络体系结构与协议	18
2.1 体系结构模型与概念	18
2.2 体系结构参考模型	18
2.3 控制与用户平面	27
2.4 多媒体广播与组播服务 (MBMS)	32
2.5 流控制传输协议	35
2.6 网络发现和选择	37
2.7 无线资源管理	37
2.8 认证与授权	39
2.9 概要与结论	42
本章参考文献	42
第 3 章 LTE 无线层设计	44
3.1 L2 设计	44
3.2 MAC 子层	46
3.3 PDCP 子层	54
3.4 RLC 子层	56
3.5 概要与结论	58
本章参考文献	58
第 4 章 LTE 物理层	59
4.1 LTE 物理层基本概念	59

4.2 MIMO 与 LTE	74
4.3 MIMO 与 MRC	76
4.4 概要与结论	78
本章参考文献	79

第二篇 LTE 关键特性

第 5 章 QoS	83
5.1 QoS 机制	84
5.2 承载级 QoS 控制	85
5.3 服务数据流级的 QoS 控制	91
5.4 多媒体会话管理	93
5.5 概要与结论	97
本章参考文献	98
第 6 章 面向 LTE 融合的交互设计	99
6.1 交互架构的一般设计原理	100
6.2 交互架构的设计方案	100
6.3 LTE 与 IEEE 的交互	102
6.4 LTE 与 3GPP2 的交互	109
6.5 IEEE 802.21	110
6.6 概要与结论	113
本章参考文献	113
第 7 章 移动性	115
7.1 移动性管理	115
7.2 移动 IP	118
7.3 IPv4 与 IPv6 的区别	122
7.4 代理移动 IP	123
7.5 RAT 间切换: E-UTRAN 到 UTRAN Iu 模式	133
7.6 概要与结论	136
本章参考文献	137
第 8 章 LTE 与 Femtocell	138
8.1 Femtocell 兴起的背后	139
8.2 Femtocell 技术	140
8.3 Femtocell 的收益	141
8.4 LTE Femtocell 设计问题	142

8.5	LTE Femtocell 的部署场景	144
8.6	Femtocell 接入控制策略	146
8.7	LTE Femtocell 挑战与技术问题	147
8.8	概要与结论	154
	本章参考文献	154
第三篇 LTE 性能		
第9章	LTE 网络下行无线资源分配策略	159
9.1	OFDMA 系统资源分配技术概述	160
9.2	系统模型	161
9.3	OFDMA 关键原则——分析和性能特点	162
9.4	提出的无线资源分配策略	166
9.5	性能评估	172
9.6	概要与结论	177
	本章参考文献	177
第10章	LTE 网络机会调度性能分析	179
10.1	简介	179
10.2	下行系统模型	180
10.3	机会分组调度算法	181
10.4	仿真环境	182
10.5	业务模型	183
10.6	仿真结果	184
10.7	概要与结论	193
	本章参考文献	193
第11章	LTE 网络的跨层多业务调度	195
11.1	基于信道的调度解决方案	195
11.2	基于分类的信道感知排队(CACBQ)——提出的解决方案	198
11.3	CACBQ 性能评估	203
11.4	概要与结论	212
	本章参考文献	213
第12章	LTE 网络的部分频率复用	214
12.1	简介	214
12.2	基于LTE网络架构的设计方案	215
12.3	分层资源分配方法(HRAA)	218

12.4	数值结果	221
12.5	概要与结论	226
	本章参考文献	226
第 13 章	移动 WiMAX 和 LTE 交互的性能研究	228
13.1	引言	228
13.2	切换概述	229
13.3	移动 WiMAX 和 LTE 交互的体系结构	230
13.4	基于内曼 - 皮尔逊引理的切换决策	232
13.5	基于 FMIPv6 的切换执行	236
13.6	性能评估	237
13.7	仿真结果	238
13.8	概要与结论	242
	本章参考文献	242
第 14 章	LTE 飞蜂窝与无线传感器/执行器网络和 RFID 技术的集成	244
14.1	引言	244
14.2	动机和提案概述	249
14.3	方案 A: RFID 辅助的网络移动检测	250
14.4	方案 B: 部署 RFID 和 WSN 从而提升链路层和网络层切换性能	253
14.5	理论分析	257
14.6	性能分析	260
14.7	概要与结论	263
	本章参考文献	264
附录	LTE 运营商	266
	名词索引	268
	缩略语	279

第一篇 深入理解 LTE

第1章 移动宽带无线网络介绍

第1章 移动宽带无线网络介绍

移动通信的发展,历来被视为一个连续几代发展的过程。第一代是模拟移动通信,紧跟着的是第二代数字移动通信,然后是第三代,在支持语音通信的同时,全面支持多媒体数据的传输。同时,这些与当前无线技术演进相关的行为也增加了人们对未来无线接入技术,即第四代无线接入技术的研究兴趣。这种未来无线接入技术被期待能够更进一步地提高无线系统的性能和服务,从而为广域和本地覆盖分别提供高达 100 Mbps 和 1 Gbps 的数据速率。

在本章中,将简要回顾移动宽带无线技术,从而为理解长期演进(Long-Term Evolution, LTE)提供必要的背景知识。另外,将回顾移动宽带无线技术的发展历史,列举其应用,并将它们与新兴的 LTE 技术对比,从而看到 LTE 技术不仅对市场推动有影响,对研究领域也有影响。

1.1 移动网络发展历程

国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)推出的 IMT-2000 倡议覆盖基于高速宽带和基于互联网协议(Internet Protocol, IP)的移动系统,该系统同时要具有网络到网络的互联互通、特征/服务透明、全球漫游和与位置无关的无缝业务覆盖。为了应对通信系统发送数据持续增长的需求,以及提供“随时随地”服务的问题,IMT-2000 通过提升通信速率并使无线通信更容易接入的方式,致力于为世界范围的巨大市场带来高质量的移动多媒体通信。它有两个从 ITU-IMT-2000 中诞生的合作组织:第三代合作伙伴计划(www.3gpp.org)和第三代合作伙伴计划 2(www.3gpp2.org)。3GPP(Third-Generation Partnership Project)和 3GPP2(Third-Generation Partnership Project2)开发了它们自己版本的 2G、3G,以及 Beyond 3G 移动通信系统。这就是为什么在本章中,我们会总结所有由这两个组织开发的移动通信技术,从而理解 LTE 系统的演进过程。

1.1.1 第一代移动系统 1G

第一代(1G)蜂窝网络基于模拟通信,并且只能提供语音服务和有限的容量。1G 技术远比不上今天的技术。在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初,涌现出了各种 1G 蜂窝移动通信系统。其中 20 世纪 70 年代末在美国出现的高级移动电话系统(Advanced Mobile Phone System, AMPS)^[1]是第一个这样的系统。其他的 1G 系统包括北欧移动电话系统(Nordic Mobile Telephone System, NMT)和全接入通信系统(Total Access Communications Systems, TACS)^[1]。虽然这些系统提供了相当好的语音质量,但是它们的频谱效率很有限。因此 1G 系统要向 2G 系统演变,从而克服这种技术缺陷。

1.1.2 第二代移动系统 2G

第二代(2G)数字通信系统与模拟通信系统相比有更高的容量和更好的语音质量。两个广泛部署的第二代(2G)蜂窝系统是全球移动通信(Global System for Mobile Communication, GSM)系统和码分多址接入(Code Division Multiple Access, CDMA)系统,其中 CDMA 系统最初被称为美国临时标准 95 或 IS-95,现在被称为 cdmaOne^[2]。GSM 系统和 CDMA 系统分别形成了自己独立的 3G 伙伴计划(3GPP 和 3GPP2),从而使他们能够基于 CDMA 技术开发 IMT-2000 的一致标准^[3]。

与 1G 不同,GSM 采用数字蜂窝技术、时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)传输方法和慢速跳频语音通信。在美国,2G 蜂窝标准化过程中使用了含有相移键控调制和编码的直接序列 CDMA 系统。

有几种主要在空中接口方面进行功能增强的 GSM 演进系统,它们是:

(1)利用高速电路交换数据(High-Speed Circuit-Switched Data, HSCSD)中对每个 TDMA 帧的若干时隙进行聚合而获得更高数据率的电路交换服务。

(2)对非实时分组数据业务提供有效支持的通用分组无线业务(General Packet Radio Services, GPRS)。当一个用户聚合所有时隙时,GPRS 峰值数据速率可以达到 140 kbps。

(3)在现有 200 kHz 的载波带宽内通过使用高阶调制和编码从而将数据率提高到 384 kbps 的增强数据率全球演进(Enhanced Data Rates for Global Evolution, EDGE)。