



国际信息工程先进技术译丛



CRC Press
Taylor & Francis Group

下一代融合网络 理论与实践

**Building Next-Generation Converged
Networks: Theory and Practice**

Al-Sakib Khan Pathan

[孟] Muhammad Mostafa Monowar 编著
Zubair Md.Fadlullah

王秋爽 刘英华 王玲芳 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

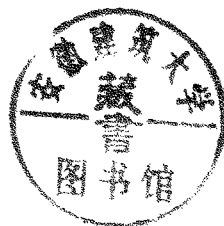
下一代融合网络 理论与实践

Al-Sakib Khan Pathan

[孟] Muhammad Mostafa Monowar 编著

Zubair Md. Fadlullah

王秋爽 刘英华 王玲芳 等译



机械工业出版社

Building Next-Generation Converged Networks/edited by Al-Sakib Khan Pathan, Ahammad Mostafa Monowar, Zubair Md. Fadlullah/ISBN: 978-1-4665-0761-6.

Copyright © 2013 by Taylor & Francis Group, LLC.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC. All rights reserved.

本书中文简体翻译版授权由机械工业出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis Sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。
北京市版权局著作权合同登记图字:01-2013-5750 号。

图书在版编目(CIP)数据

下一代融合网络理论与实践/(孟)萨基卜·卡恩·帕坦等著;王秋爽等译. —北京:机械工业出版社,2014.12

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文:Building Next-Generation Converged Networks: Theory and Practice

ISBN 978-7-111-48359-5

I. ①下… II. ①萨…②王… III. ①移动通信-通信网
IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第246811号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:吕 潇

版式设计:霍永明 责任校对:张玉琴

封面设计:马精明 责任印制:乔 宇

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2015年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·32.25印张·700千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-48359-5

定价:149.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010)88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010)68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

(010)88379203

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

本书内容涵盖互联网架构和协议、嵌入式系统和传感器网络、web 服务、云技术和下一代无线联网，分为 5 部分：多媒体流化、网络中的安保和安全、网络管理和流量工程、信息基础设施和云计算、无线联网。第 1 部分讨论有关未来网络中多媒体流化的研究工作，包括针对一般读者的一些基本信息以及针对有关领域中专家的深入全面的信息；第 2 部分讨论联网中的安保问题和安全问题，也考虑了在任何未来网络中有关的基本互联网和网络空间安全；第 3 部分涉及网络管理和流量工程问题，这部分会要求有一些专业或背景知识，其中包括一些基于数学建模方面的工作；第 4 部分将云计算的概念与通用的信息基础设施集成在一起，为读者提供信息基础设施相关领域内有关过去的成就、当前状况和未来预期的一些知识；第 5 部分讨论无线联网各方面。

本书适合在有线或无线联网领域内耕耘的研究生、研究人员、学术/业界的实践人员，也适合希望提高对下一代网络相关专题理解的所有读者。

译者序

关于下一代网络是什么，业界吵得沸反盈天，到如今也没有定论。其中比较有代表性的有 ITU 的 NGN 概念，有 IETF 的 NGI 概念，以及各个国家针对未来 5~10 年的发展需求提出的下一代互联网概念。围绕下一代互联网，美国在 FIA (Future Internet Architecture) 计划中支持 NDN (Named Data Networking)、MobilityFirst、NEBULA、XIA (eXpressive Internet Architecture)，分别的侧重点是内容、移动性、数据中心网络和安全。欧盟部署了 Euro-NGI 项目、AMBIENT 项目和 FIRE 项目。日本 AKIRI (曙光) 计划的 NWGN，重点是节能、构建全光网络，同时探索新的网络体系，提出 5 种针对不同场景的亚体系。我国在网络体系的探索中，部署了“基于 IP 的可演进网络体系结构”、“一体化网络与普适服务体系”、“可测可控可管的 IP 网络”、“面向服务的未来互联网体系结构”、“可重构信息通信基础网络体系”等国家级项目，另外国内学者也提出了“基于交互的网络服务体系结构”、“基于 4D 网络控制架构的可信可控网络”等。中国科学院战略先导专项“面向感知中国的新一代信息技术”也部署了未来网络体系的相关探索研究。

与上面的观点有点不同的是，本书认为下一代网络将是融合的网络，从实践的角度讲解如何建设这样的网络及其相关应用。从网络是实践的科学看，这是务实的方法，也是对普通用户而言可直接见到效果的方法。

本书内容涵盖互联网架构和协议、嵌入式系统和传感器网络、web 服务、云技术和下一代无线联网，分为 5 部分：多媒体流化、网络中的安保和安全、网络管理和流量工程、信息基础设施和云计算、无线联网。第 1 部分讨论有关未来网络中多媒体流化的研究工作，包括针对一般读者的一些基本信息以及针对有关领域中专家的深入全面的信息；第 2 部分讨论联网中的安保问题和安全问题，也考虑了在任何未来网络中有关的基本互联网和网络空间安全；第 3 部分涉及网络管理和流量工程问题，这部分会要求有一些专业或背景知识，其中包括一些基于数学建模方面的工作；第 4 部分将云计算的概念与通用的信息基础设施集成在一起，为读者提供信息基础设施相关领域内有关过去的成就、当前状况和未来预期的一些知识；第 5 部分讨论无线联网各方面。

本书由王玲芳负责第 1~9 章翻译、全书统稿和校对工作，刘英华负责第 10~15 章的翻译工作，王秋爽负责第 16~22 章的翻译工作。本书在翻译过程中，李虹、潘东升、李冬梅、吴秋义、王弟英、吴璟、游庆珍、李传经、王领弟、王建平、李睿、吴昊、王灵芹、张永、李志刚、左会高、申永林、潘贤才、刘敏、李钰琳、王青改、李倩、陈军、许侠林、王改玲、张增军、李岩、冯佰永、李靓亮等同志参加了部分的翻译工作。

不过，需要指出的是，本书的内容仅代表作者个人的观点和见解，并不代表译者及其所在单位的观点。另外，由于翻译时间比较仓促，疏漏错误之处在所难免，敬请读者原谅和指正。

译者

2015 年初于北京

原 书 前 言

过去十年内,我们见证了电信业的快速增长。各种电信网络中崭新的现实和愿景带来了下一代网络(Next Generation Network, NGN)的概念。为支持各种业务、降低拥有移动和蜂窝手机及智能手机的成本、通用移动性的日益增加的需求、数字流量的爆炸以及融合网络技术的出现等运营商间的竞争,为 NGN 的思想增加了更多的动态因素。事实上,方便网络融合以及各种类型业务的融合,是 NGN 的一项重大目标。

虽然在定义 NGN 的边界和标准方面,存在相当大量正在进行的研究工作,但还没有最后确定一个合适的边界。NGN 是用来标记电信和接入网络中的各项架构性演进步骤。这个术语也用来描述转换到使用宽带的较高的网络速度、从公众交换电话网(Public Switched Telephone Network, PSTN)迁移到基于互联网协议(Internet Protocol, IP)的网络以及在单一网络上各项业务的极大集成,且经常代表一个愿景和一个市场概念。NGN 也被定义为“宽带可管理的 IP 网络”。当 NGN 围绕 IP 进行建设时,有时要使用 IP 地址。从一个比较技术性的观点看,NGN 由国际电信联盟(ITU)定义为“基于报文的网络,能够提供包括电信业务在内的各项业务,且能够利用多项宽带、支持 QoS 的传输技术,其中业务相关的功能独立于低层(underlying)传输有关的技术”。NGN 向用户提供访问不同服务提供商的能力,并支持“通用化的移动性,这将向用户提供一致的和泛在的服务”(ITU-T 建议 Y. 2001, 2004 年 12 月批准)。

本书的目标及结构

本书的主要目标是将对下一代网络和技术有所贡献的各项工作进行汇编整合在一起。我们理解是,随着不同技术的融合,会将 NGN 的定义带向不同的方向,未来仍然是模糊的。但是,考虑到这个技术主题带来的“动态引力效应”,我们将本书分为 5 个主要部分。第 1 部分讨论有关未来网络中多媒体流化的研究工作。包括针对一般读者的一些基本信息以及针对有关领域中专家的深入全面的信息。现在随着我们迈向 4G 和 5G 乃至持续演进的“G”网络,多媒体流化在网络环境中将扮演一个非常突出的角色。用户不仅需要高速的多媒体流量,而且需要高分辨率和高清晰度。因此,第 1 部分解决与这些问题相关的核心方面。在第 2 部分,我们安排了几章来讨论联网中的安保问题和安全问题。同样,也考虑了在任何未来网络中有关的基本互联网和网络空间安全。在第 3 部分,涉及网络管理和流量工程问题。这部分会要求有一些专业或背景知识,其中包括一些基于数学建模方面的工作。

在第 4 部分,我们将云计算的概念与通用的信息基础设施集成在一起。可以预见,在 NGN 中,信息流和信息交换模式将与当前采用的有所不同。因此,这部分将为读者提供信息基础设施相关领域内有关过去的成就、当前状况和未来预期的一些知识。最

后,第5部分包含讨论无线联网各方面的几章。随着许多网络现在都有了无线版本而不是固定的、有导线方式的连接,无线联网将是 NGN 不可分割的组成部分。所以,这部分将为读者提供无线联网技术的一些特点,而不会深入讨论太多内容,但却使这些内容与 NGN 技术相关。

从本书中可预料得到什么

本书主要是为研究生知识水平的研究人员、学生、正规的业界研究人员、大学科研机构 and 一般的网络专业读者撰写的。存在“容易理解的”章节以及要求一些先期学习的知识或专业知识的章节,本书是这两者的组合体。所以,本书可作为硕士或博士层次学生的一本不错的参考书,这些学生会得到有关 NGN 发展各种问题的基本知识和深入全面的知识。

从本书中不可期望得到什么

本书不是以教材的风格撰写的。所以,所给出的信息经常都基于最近的和最新的研究发现。它可用作研究生层次的课堂教学,但随着研究领域的发展,今天最新的东西,在明天可能就不是最新了。所以,在本书中给出的基本标准化的信息可以放心使用,但研究发现或结果就有一些不确定性因素牵涉其中。

MATLAB®是 MathWorks 公司的注册商标。要了解产品信息,请联系

The MathWorks, Inc.

3 Apple Hill Drive

Natick, MA 01760-2098 USA

电话: 508 647 7000

传真: 508-647-7001

电子邮件: info@mathworks.com

网站: www.mathworks.com

目 录

译者序

原书前言

第1部分 多媒体流化

第1章 视频点播系统中基于请求的组播	3
1.1 引言	3
1.2 批次处理解决方案	5
1.2.1 固定批次处理	6
1.2.2 自适应批次处理	9
1.3 打补丁解决方案	12
1.3.1 连续打补丁	12
1.3.2 分段补丁法	19
1.4 自适应捎带解决方案	22
1.5 流合并解决方案	24
1.6 混合解决方案	26
1.7 总结和未来研究方向	27
参考文献	29
第2章 P2P 视频流化	33
2.1 引言	33
2.2 视频流化的架构	35
2.2.1 媒体压缩	35
2.2.2 应用层 QoS 控制	36
2.2.3 媒体分发服务	36
2.2.4 流化服务器	37
2.2.5 在接收方侧的媒体同步	37
2.2.6 流化媒体的各协议	37
2.3 现有的流化网络	37
2.3.1 基于万维网的分发	38
2.3.2 点播多媒体流化	39
2.3.3 实况视频流化	43

2.4 传输流化技术的失败	45
2.5 P2P 网络	46
2.5.1 P2P 流化中的挑战	48
2.5.2 重叠网构造的方法	49
2.5.3 基于多棵树的实况流化系统	55
2.5.4 流行的基于网状网的实况流化系统	59
2.6 有关视频点播流化的 P2P	65
2.6.1 基于树的 VoD 系统	66
2.6.2 基于网状网的 VoD 系统	68
2.7 移动 VoD	71
2.8 移动实况流化	74
2.9 P2P 流化和云	76
2.10 P2P 视频流化中的安全	77
2.10.1 常见攻击和解决方案	78
2.11 小结	82
参考文献	83
 第3章 蜂窝网络上的 P2P 流化：问题、挑战和机遇	89
3.1 引言	89
3.2 设计高效重叠网络	90
3.2.1 临近感知拓扑构造	90
3.2.2 层次化的重叠网构造	92
3.2.3 基于 DHT 的邻居感知重叠网	92
3.2.4 一个应用驱动的高效重叠网系统例子	93
3.3 蜂窝网络之上的协作流化	94
3.3.1 协作的流化系统	94
3.3.2 P2P 概念影响运营商的多媒体系统	97
3.4 对等端选择策略	97
3.4.1 有关的对等端选择模块	98
3.4.2 对等关系建立过程的 ISP 协作和相关风险	99
3.4.3 对等端选择模块的设计准则	100
3.5 关于实现蜂窝 P2P 流化系统的其他问题	101
3.5.1 用于蜂窝对等端的 P2PSIP	101
3.5.2 由 NAT 和防火墙施加的障碍	101
3.5.3 版权和法律问题	102
3.5.4 WiFi 热点的机会性使用	103
3.5.5 可伸缩视频编码	103
3.5.6 解码器兼容性和屏幕分辨率异构性	103

3.6 小结	103
参考文献	104
第4章 未来互联网中的对等视频点播	108
4.1 背景	108
4.2 互联网流量突发的最近趋势	112
4.3 未来互联网倡议：一个目标，不同愿景	113
4.4 现有的 P2P VoD 方案：它们适合未来互联网倡议吗	115
4.5 对等端辅助 VoD 系统概述	115
4.6 如何改进基于 P2P 的 VoD 方案：适合未来互联网需要的一项案例研究	118
4.7 小结	120
参考文献	121
第5章 IPTV 联网概述	122
5.1 引言	122
5.2 蓬勃发展的 IPTV	123
5.3 IPTV 架构	124
5.3.1 媒体编码和压缩	124
5.3.2 IPTV 中采用的协议	126
5.4 标准化的场景	128
5.5 有线和无线 IPTV 网络	130
5.5.1 有线 IPTV 网络	130
5.5.2 无线 IPTV 网络	131
5.5.3 家庭内联网	132
5.6 测量 IPTV 的性能	134
5.6.1 网络性能度量指标	134
5.6.2 QoE 度量	136
5.6.3 IGMP 和 IPTV 服务特定的度量指标	137
5.6.4 IPTV 服务的质量裕度	139
5.6.5 直接、主动和被动测量	141
5.7 网络的性能评估	142
5.8 小结	148
参考文献	149

第2部分 网络中的安保和安全

第6章 SQL 注入综览：当前网络和未来网络中的弱点、攻击和应对措施	155
6.1 引言	155

6.2 下一代网络和安全	156
6.2.1 安全担忧	156
6.2.2 近些年的 SQLIA	156
6.3 SQL 注入和新的互联网技术	157
6.3.1 泛在计算	158
6.3.2 云计算	158
6.3.3 物联网	159
6.3.4 新互联网技术的共同点	159
6.4 SQL 注入：背景知识	160
6.4.1 SQL	160
6.4.2 SQLIV 和 SQLIA	160
6.4.3 SQL 注入是一项威胁	160
6.4.4 web 编程语言中的弱点类型	160
6.4.5 SQLIA 的类型：过去和现在	162
6.5 最常见 SQLIA 的深入研究	162
6.5.1 重言式	162
6.5.2 推断	163
6.6 所使用的 web 应用安全培训指南	164
6.7 检测 SQL 注入	168
6.7.1 SAFILI	168
6.7.2 Thomas 等的方案	168
6.7.3 Ruse 等的方法	169
6.7.4 Haixia 和 Zhihong 的数据库安全测试方案	169
6.7.5 Roichman 和 Gudes 的精细粒度访问控制方案	169
6.7.6 Shin 等的方法	169
6.7.7 SQL-IDS 方法	170
6.8 SQL 注入应对措施：检测和防御技术	170
6.8.1 AMNESIA	171
6.8.2 SQLrand 方案	171
6.8.3 SQL DOM 方案	172
6.8.4 使用存储过程的 SQLIA 防护	172
6.8.5 剖析树验证方法	172
6.8.6 动态候选评估方法	172
6.8.7 Ali 等的方案	172
6.8.8 SQLCHECKER 方法	173
6.8.9 DIWeDa 方法	173
6.8.10 人工方法	173
6.8.11 自动化的方法	173
6.9 比较性分析	173

6.10 小结	174
参考文献	175
第7章 无线网络安全综述	178
7.1 引言	178
7.2 蜂窝电话网络	179
7.2.1 蜂窝网络中的安全问题	182
7.3 微波接入的全球互操作性	185
7.4 无线局域网	185
7.4.1 AP 模式中的 WLAN	185
7.4.2 自组织模式中的 WLAN	187
7.4.3 WLAN 中的安全攻击	187
7.4.4 WLAN 802.11 中的安全	188
7.4.5 最佳实践	191
7.4.6 针对网络访问而携带认证的协议	192
7.5 无线个域网	192
7.5.1 IEEE 802.15.4; PAN	192
7.5.2 蓝牙网络安全	192
7.5.3 IEEE 802.15.4; ZigBee 安全	193
7.5.4 UWB 安全	193
7.6 移动设备安全的最佳实践	193
7.6.1 设备选择	193
7.6.2 支持加密	194
7.6.3 针对认证进行无线网络的配置	194
7.6.4 激活和利用远程清除能力	194
7.6.5 限制第三方应用	194
7.6.6 实施防火墙策略	194
7.6.7 实施入侵防御软件	194
7.6.8 蓝牙策略	194
7.7 小结	195
参考文献	195
第8章 移动自组织网络中的安全和访问控制	197
8.1 引言	197
8.1.1 MANET 概述	198
8.1.2 MANET 的基本路由协议	199
8.1.3 MANET 中的安全需要	200
8.2 MANET 中的安全漏洞	200
8.2.1 路由协议中的潜在威胁和漏洞	201

8.2.2 在不同层对 MANET 的攻击	204
8.3 安全应对措施	205
8.3.1 MANET 的不同安全协议	206
8.3.2 针对特定攻击的防御	207
8.4 MANET 中的访问控制	209
8.4.1 MANET 中的访问控制挑战	209
8.4.2 针对 MANET 提出的访问控制框架	211
8.5 小结	213
8.6 开放挑战和未来趋势	213
参考文献	214
第 9 章 针对海港应用, 融合网络之安保和资源管理的框架设计	216
9.1 引言	216
9.2 在海港环境中 CN 框架的设计	218
9.2.1 框架的设计: 参考分层架构	219
9.3 安保代理和 NM 的开发	221
9.3.1 部署于海港中 CN 安保管理的预测模型	222
9.3.2 针对海港 CN 中的带宽分配策略, 采用 DM 法	224
9.4 性能评估	226
9.4.1 异常检测	228
9.4.2 DM 的角色	229
9.5 结论和未来工作	230
致谢	230
参考文献	231

第 3 部分 网络管理和流量工程

第 10 章 尺度不变量网络流量的小波 q-Fisher 信息	235
10.1 引言	235
10.2 尺度过程的小波分析	236
10.2.1 尺度过程	236
10.2.2 尺度信号的小波分析	238
10.3 $1/f^\alpha$ 信号的小波 q-Fisher 信息	239
10.3.1 时域 Fisher 信息度量	239
10.3.2 小波 q-Fisher 信息	240
10.3.3 小波 FIM 的应用	242
10.4 使用小波 q-Fisher 信息的水平偏移检测	243
10.4.1 水平偏移检测问题	243

10.4.2 使用小波 q -Fisher 信息的水平偏移检测	244
10.5 结果和讨论	244
10.5.1 应用到可变比特率视频踪迹	246
10.6 小结	247
参考文献	247
第 11 章 针对异常检测, 采用熵空间表征断续流层次的流量行为	250
11.1 引言	250
11.2 背景	250
11.2.1 入侵检测系统	250
11.2.2 熵	252
11.2.3 模式识别	255
11.2.4 主成分分析	256
11.3 熵空间方法	257
11.3.1 过量点方法	261
11.4 基于 MES 的 A-NIDS 架构	265
11.4.1 测试结果	267
11.4.2 过量点结果	267
11.5 试验平台、数据集和工具	270
11.6 小结	270
11.7 未来研究	270
致谢	271
参考文献	271
第 12 章 网络管理系统: 进展、趋势和系统未来	273
12.1 引言	273
12.1.1 概述	273
12.1.2 NMS 协议	273
12.2 网络管理系统的架构	276
12.2.1 软件探测/RMON	277
12.2.2 收集器	277
12.2.3 硬件加速	278
12.3 NMS 功能和参考模型	279
12.3.1 FCAPS 参考模型	279
12.3.2 OAM&P 模型	280
12.3.3 性能度量指标	280
12.3.4 网络管理工具	281
12.4 NGN 管理	281

12.4.1 挑战	281
12.4.2 NGN 网络场景	281
12.4.3 NGN 管理的特征	281
12.5 认知行为分析	283
12.5.1 弱点管理	283
12.5.2 自动化模糊测试	284
12.5.3 高级的持续威胁	284
12.6 合法截获	286
12.6.1 架构	287
12.6.2 截获模式	288
12.6.3 话音处理	288
12.7 无线传感器网络的管理	289
12.7.1 WSN 网络架构	290
12.7.2 管理需求	290
12.7.3 管理框架	290
12.8 移动代理方法	292
12.8.1 简介	292
12.8.2 架构	292
12.8.3 挑战	293
12.9 小结	294
参考文献	294
第 13 章 下一代融合网络中的 VoIP	296
13.1 引言	296
13.2 电信网络	296
13.2.1 固定电话网络	297
13.2.2 IP 网络	300
13.2.3 无线和移动网络	301
13.3 NGN: 网络融合	307
13.4 IP 上的话音 (IP 电话)	308
13.4.1 H.323 框架	308
13.4.2 SIP 框架	310
13.4.3 VoIP 系统	313
13.4.4 VoIP 中的 QoS	314
13.5 未来研究方向	316
13.6 小结	316
参考文献	317

第4部分 信息基础设施和云计算

第14章 云计算的服务质量	321
14.1 引言	321
14.2 背景	321
14.3 QoS 本体	322
14.3.1 QoS 本体基本层	323
14.3.2 QoS 本体支持层	323
14.4 云计算的 QoS 特征	324
14.4.1 性能	324
14.4.2 透明性	325
14.4.3 信息保障	327
14.4.4 安全风险	328
14.4.5 可信赖性	331
14.4.6 SaaS 准备就绪	332
14.5 云平台的 QoS 模型	334
14.5.1 SaaS 的 QoS 模型	334
14.5.2 PaaS 和 IaaS 的 QoS 模型	336
14.6 云中的选择方法	338
14.6.1 QoS 等级的形式化	338
14.6.2 成本-效益分析	339
14.6.3 成本计算	340
14.7 服务水平协议	342
14.7.1 SLA 映射	343
14.7.2 SLA 协商	343
14.8 挑战和未来研究方向	345
14.9 小结	345
参考文献	346
第15章 针对下一代网络中网络融合和云计算, 面向服务的网络虚拟化	348
15.1 引言	348
15.2 面向服务架构	350
15.3 电信中面向服务的网络虚拟化	351
15.4 未来互联网中面向服务的网络虚拟化	353
15.5 针对联网和云计算融合, 面向服务的网络虚拟化	356
15.6 基于 SOA 的联网和云计算融合的关键技术	358
15.6.1 网络服务描述	358
15.6.2 网络服务发现	359

15.6.3 网络-云融合的网络服务组合	360
15.7 融合的联网和云计算系统的建模和分析	362
15.8 小结	365
参考文献	366
第 16 章 管理信息系统的规则驱动架构	369
16.1 引言	369
16.2 背景	370
16.2.1 基于 Web 的企业管理	370
16.2.2 Web 服务分布式管理	371
16.3 新颖的管理架构	372
16.4 所建议架构的实现	375
16.4.1 安全策略语言和系统描述语言	375
16.4.2 管理模块	376
16.4.3 扩展功能	379
16.4.4 管理工作流	380
16.5 云计算中的管理	382
16.6 小结	382
参考文献	383
扩展阅读材料	384
第 17 章 在由 12 个节点组成的多核集群上 MPI-OpenMP 性能评估的实用方法	386
17.1 引言	386
17.2 基本术语和背景	387
17.2.1 MPI 和 OpenMP	387
17.2.2 采用 HPL 的性能测量	387
17.3 集群的架构	388
17.3.1 机器规格	388
17.3.2 集群配置	390
17.4 试验的研究方法和细节	390
17.4.1 单节点测试	391
17.4.2 整体集群性能	392
17.5 观察和分析	394
17.6 结语和未来研究方向	396
参考文献	397