

现代网络技术

SDN、NFV、QoE、物联网和云计算

[美] 威廉·斯托林斯 (William Stallings) 等著

胡超 邢长友 陈鸣 译

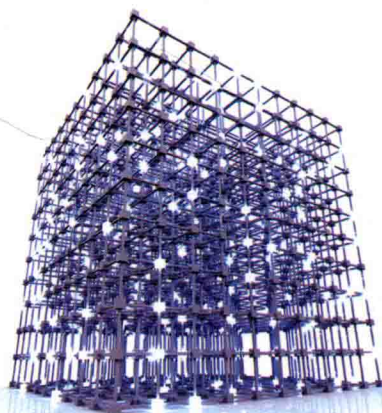
Foundations of Modern Networking

SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud

William Stallings

Foundations of Modern Networking

SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud



计 算 机 科 学 丛 书

现代网络技术

SDN、NFV、QoE、物联网和云计算

[美] 威廉·斯托林斯 (William Stallings) 等著

胡超 邢长友 陈鸣 译

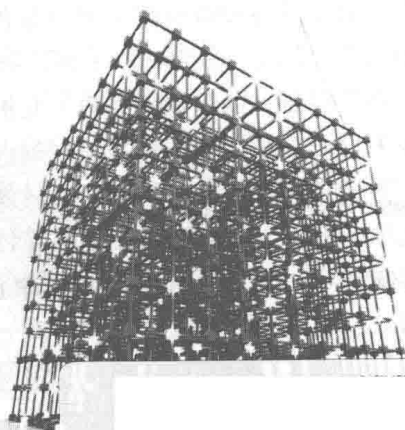
Foundations of Modern Networking

SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud

William Stallings

Foundations of Modern Networking

SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

现代网络技术: SDN、NFV、QoE、物联网和云计算 / (美) 威廉·斯托林斯 (William Stallings) 等著; 胡超, 邢长友, 陈鸣译. —北京: 机械工业出版社, 2018.1
(计算机科学丛书)

书名原文: Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud

ISBN 978-7-111-58664-7

I. 现… II. ①威… ②胡… ③邢… ④陈… III. 计算机网络—研究 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 304059 号

本书版权登记号: 图字 01-2016-2187

Authorized translation from the English language edition, entitled Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, 9780134175393 by William Stallings, published by Pearson Education, Inc., Copyright © 2016.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press Copyright © 2018.

本书中文简体字版由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 独家出版发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

本书封底贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

本书是一本讨论现代网络技术的著作, 包括六部分。第一部分 (第 1 ~ 2 章) 提供了现代网络的概述和本书其余部分的背景; 第二部分 (第 3 ~ 6 章) 专注于 SDN 概念、技术和应用的全面且透彻的呈现; 第三部分 (第 7 ~ 9 章) 专注于网络功能虚拟化的概念、技术和应用的宽泛且透彻的呈现, 以及对网络虚拟化的讨论; 第四部分 (第 10 ~ 12 章) 介绍与 SDN 和 NFV 同等重要的服务质量 (QoS) 及体验质量 (QoE) 的演化; 第五部分 (第 13 ~ 15 章) 探讨云计算和物联网这两种占重要地位的现代网络体系结构; 第六部分 (第 16 ~ 17 章) 对安全性进行分析并讨论职业相关的问题。

本书适合作为高校计算机网络课程的教材和参考书, 也可供相关技术人员阅读参考。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 关 敏

责任校对: 殷 虹

印 刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版 次: 2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 185mm × 260mm 1/16

印 张: 24

书 号: ISBN 978-7-111-58664-7

定 价: 99.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

文艺复兴以来，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的优势，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson, McGraw-Hill, Elsevier, MIT, John Wiley & Sons, Cengage等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出Andrew S. Tanenbaum, Bjarne Stroustrup, Brian W. Kernighan, Dennis Ritchie, Jim Gray, Alfred V. Aho, John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, Abraham Silberschatz, William Stallings, Donald E. Knuth, John L. Hennessy, Larry L. Peterson等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力相助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专门为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近两百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方式如下：

华章网站：www.hzbook.com

电子邮件：hzjsj@hzbook.com

联系电话：(010) 88379604

联系地址：北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码：100037



华章科技图书出版中心

William Stallings 博士是一位受世人尊重的计算机领域专家和作者，他的著作对我国计算机教育界产生了广泛影响。他在向全世界的学生、教师和学者推广计算机安全、计算机网络和计算机体系结构领域的全方位技术的最新发展方面，做出了独特的贡献。他著述颇丰，包括 70 本书和几十篇 ACM 及 IEEE 期刊论文，十多次获得来自权威机构颁发的年度最优计算机科学教科书奖。他的多本中文译著在国内广为流行，推动了我国计算机科学与技术领域的发展。

每当国际计算机界孕育着技术突破或有大量技术概念需要澄清时，Stallings 博士都会适时地推出他的相关著作和论文，深入浅出地阐明这些新技术的基本概念、工作原理、它们之间的联系以及最新发展。现在，历史又一次重演了。尽管因特网已经成为人类生活、生产等领域不可或缺的基础设施，不断增长的应用需求和人类创新愿望仍不断推动着各种网络新技术扩展着计算机网络的疆域，各种网络新技术应运而生。例如：

- 为了解决 IP 网络体系结构僵化的难题，出现了**软件定义网络 (SDN)**，它是一种将控制平面与数据平面分离，从而能够灵活控制网络流量的网络虚拟化技术。
- 通过将网络功能软件化，**网络功能虚拟化 (NFV)** 使网络功能摆脱了专用硬件的束缚，能够给通信运营商带来诸多好处。
- **质量体验 (QoE)** 是指用户感受到的完成整个过程的难易程度，是用户对设备、网络 and 系统以及应用的质量和性能的主观感受。
- **物联网 (IoT)** 则指将各种信息传感设备与互联网结合起来而形成的网络，它使得所有物品都与网络连接在一起，方便识别与管理。
- **云计算 (Cloud Computing)** 是指将硬件、软件、网络等系列资源统一起来，实现数据的计算、存储、处理和共享的一种计算机虚拟化技术。
- 在网络边缘的计算层进行处理有时也称为**雾计算 (Fog Computing)**，雾计算和雾服务是 IoT 的一种典型特征。

一方面，这些网络新技术极大地丰富了网络领域的知识，为人类提供了更多创新手段。另一方面，这些新技术使得原本就很复杂的网络领域更为错综复杂，从而使新手难以把握网络技术的全局。本书的目标就是对这些网络新技术的概念、原理和技术进行全面梳理及细致讲解，阐述这些技术之间的相关性、应用及发展。无论你已经是一种网络新技术方面的技术专家，还是某种网络新技术的初学者，阅读本书，你都能够更加深入地理解这些网络新技术的内涵，为你的工程设计和理论创新增加新的知识与动力。

感谢中国人民解放军陆军工程大学指挥控制工程学院和南京航空航天大学计算机科学与技术学院有关领导和同事对本书翻译给予的支持。感谢机械工业出版社为我国读者引进这本优秀的网络著作，感谢编辑们辛勤和出色的工作。也感谢译者的家人对译者的支持。本书第一部分、文前和文后部分由南京航空航天大学特聘教授陈鸣博士翻译，第二、第三和第四部分由中国人民解放军陆军工程大学讲师胡超博士翻译，第五、第六部分由中国人民解放军陆军工程大学副教授邢长友博士翻译。

限于时间与水平，本书翻译可能存在不妥之处，请识者指正。

陈鸣

2017 年 10 月于南京

这里有本书，检察官。我将它送给你，你无法怀疑该书包括了全部事实。

——福尔摩斯经典故事《狮鬃毛》，Arthur Conan Doyle 爵士

背景

众多因素汇聚起来，催生了计算机和通信网络方面的最新革命。

- **需求：**将注意力聚焦在设计、评价、管理和维护复杂的网络基础设施上，企业的这种需求汹涌而来。这些趋势包括以下几个方面。
 - **大数据：**大型和小型企业越来越依赖于对海量数据的处理和分析。为了在可接受的时间周期内处理大量的数据，大数据可能需要分布式文件系统、分布式数据库、云计算平台、互联网存储和其他可扩展的存储技术。
 - **云计算：**在许多机构中存在一种日益显著的趋势，即将可观比例甚至所有信息技术（IT）活动迁移到称为企业云计算的互联网连接的基础设施上。在 IT 数据处理方面的这种剧烈变化伴随着网络需求的剧烈变化。
 - **物联网（IoT）：**IoT 涉及大量使用标准通信体系结构为终端用户提供服务的对象。数十亿这样的设备将与产业、商业和政府网络连接，提供物理世界和计算、数字内容、分析、应用及服务之间的交互。IoT 为用户、生产商和服务提供商在各种各样的领域提供了前所未有的机会。受益于 IoT 数据收集、分析和自动化能力的领域包括卫生健康、卫生保健、家庭监控和自动化、节能和智能电网、农业、运输业、环境监测、仓储和产品管理、安全、监视、教育以及许多其他方面。
 - **移动设备：**移动设备现在已经成为每个企业 IT 基础设施不可或缺的组成部分，包括雇主供给和自带设备（BYOD）。众多的移动设备对网络规划和管理产生了独特的新需求。
- **能力：**两种相互影响的趋势已经对智能、有效的网络设计和管理产生了新而紧迫的需求。
 - **千兆比特数据速率网络：**以太网产品已经达到了 100Gbps 并计划进一步提升速率。差不多 7Gbps 速率的 Wi-Fi 产品已可供使用。4G 和 5G 网络为蜂窝网络引入了千兆比特速率。
 - **高速、高能力服务器：**为了满足企业不断增长的多媒体和数据处理需求，大量的刀片服务器和其他高性能服务器得以发展，并对有效地设计和管理网络提出了需求。
- **复杂性：**网络设计者和管理者在复杂、动态环境中工作，在这种环境中各种不同的需求，特别是大多数服务质量（QoS）和体验质量（QoE）需要灵活的、可管理的网络硬件和服务。
- **安全性：**随着对网络资源的依赖日益增加，对于网络提供各种安全性服务的要求日益加强。

随着对这些因素做出响应的新型网络技术的发展, 系统工程师、系统分析师、IT 管理员、网络设计师和产品营销人员有必要牢固地掌握现代网络技术。这些专业人员需要理解前面所列因素的含义以及网络设计人员如何做出响应。主宰现实的是: (1) 迅速研发和部署的两种互补技术, 即软件定义网络 (SDN) 和网络功能虚拟化 (NFV); (2) 需要满足 QoS 和 QoE 需求。

本书为读者提供了对 SDN 和 NFV 的透彻解释, 以及它们的实际部署和在当今企业中的使用。此外, 本书清楚地解释了 QoS/QoE 以及所有的相关问题, 例如云网络和 IoT。这是一本技术书籍, 目的是提供给某些有技术背景的读者, 但是除了系统工程师、网络维护人员以及网络和协议设计者外, 本书对于 IT 管理者和产品销售人员来说也是自成一体的重要资源。

本书的组织

本书由以下六部分组成。

- **现代网络。**提供了现代网络的概述和本书其余部分的背景。第 1 章概述了网络生态系统的构成元素, 包括网络技术、网络体系结构、服务和应用。第 2 章对当前网络环境的演化需求进行了审视, 并提供了对现代网络关键技术的预览。
- **软件定义网络。**专注于 SDN 概念、技术和应用的全面且透彻的呈现。第 3 章通过展示什么是 SDN 方法以及需要它的原因而开始讨论, 并提供了 SDN 体系结构的概述。该章还关注了发布 SDN 规范数和标准的组织。第 4 章详细观察了 SDN 数据平面, 包括关键组件、它们如何交互和管理。该章的许多内容专注于 OpenFlow, 这是一种非常重要的数据平面技术, 也是与控制平面的接口。该章解释了需要 OpenFlow 的原因, 进而提供了详细的技术解释。第 5 章专注于 SDN 控制平面, 其中包括对 OpenDaylight 的讨论, 而 OpenDaylight 是控制平面的重要的开源实现。第 6 章涉及 SDN 应用平面, 除了考察通用的 SDN 应用平面体系结构外, 还讨论了 6 个能被 SDN 支持的主要应用领域, 并且提供了一些 SDN 应用的例子。
- **虚拟化。**专注于网络功能虚拟化的概念、技术和应用的宽泛且透彻的呈现以及网络虚拟化的讨论。第 7 章引入虚拟机的概念, 然后关注虚拟机技术的使用以开发基于 NFV 的网络环境。第 8 章提供了 NFV 功能的详细讨论。第 9 章关注虚拟网络的传统概念, 然后审视对网络虚拟化更为现代的方法, 最后引入软件定义基础设施的概念。
- **用户需求的定义与支撑技术。**与 SDN 和 NFV 的出现同样重要的是服务质量和体验质量的演化, 它决定了客户需求以及网络设计如何响应这些需求。第 10 章提供了 QoS 概念和标准的概述。近来 QoS 已经扩展为 QoE 的概念, QoE 与交互式视频和多媒体网络流量尤其相关。第 11 章提供了 QoE 的概述并讨论了一些实现 QoE 机制的实用技术。第 12 章进一步展望了 QoS 和 QoE 对网络设计的影响。
- **现代网络体系结构: 云和雾。**云计算和物联网 (IoT 有时被称为雾计算) 是两种占支配地位的现代网络体系结构。前面各部分讨论的技术和应用都提供了云计算和 IoT 的基本原理。第 13 章对云计算进行了概述。该章从基本概念的定义开始, 进而包括了云服务、部署模型和体系结构, 然后讨论云计算和 SDN 以及 NFV 之间的关系。第 14 章介绍 IoT 并对 IoT 使能设备的关键组件进行详细介绍。第 15 章介绍几种 IoT 体系结构模型, 然后描述了 3 种 IoT 实现的实例。
- **相关主题。**讨论两个附加主题, 这些主题尽管重要但并不方便放入其他部分中。第

16 章提供了随着现代网络的演化而出现的安全性问题的分析。在不同的段落中分别涉及 SDN、NFV、云和 IoT 的安全性。第 17 章讨论职业相关的问题，包括各种网络相关工作的转换角色、新的技能要求以及读者如何能够继续接受教育以在现代网络环境下为自己的职业生涯做好准备。

支持网站

我在 WilliamStallings.com/Network 维护着一个配套网站，其中包括每章的相关链接列表以及本书的勘误表。

我也在 ComputerScienceStudent.com 维护着计算机科学学生资源站点，该站点的目的是为计算机科学专业的学生和业内人士提供文档、信息和链接。链接和文档组织为以下几类。

- **数学 (Math)**: 包括基本的数学知识回顾、排队分析入门、数制入门以及关于许多数学站点的链接。
- **如何做 (How-to)**: 针对解答课后作业、撰写技术报告和准备技术报告的建议及指导。
- **研究资源 (Research resources)**: 关于重要的论文、技术报告和参考文献的链接。
- **其他有用资源 (Other useful)**: 其他有用的多种文档和链接。
- **计算机科学职业 (Computer science careers)**: 对有望以计算机科学为职业的人有用的链接和文档。
- **写作帮助 (Writing help)**: 帮助成为更清楚、更有效的写作者。
- **不同类型的主题和幽默 (Miscellaneous topics and humor)**: 学习和工作之余，轻松一刻。

致 谢

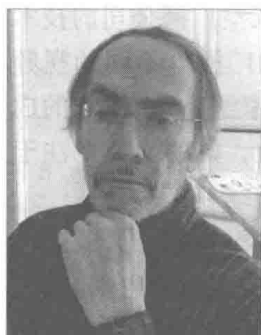
Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud

本书得益于许多人的评论，这些人奉献了他们的时间和专业知识。特别感谢 Wendell Odom (Certskills 有限责任公司) 和 Tim Szigeti (思科系统公司)，他俩为细致地审查整本书稿奉献了大量的时间。

同样对为本书一章或多章提供详细技术审查的许多人表示感谢：Christian Adell (Corporació Catalana de Mitjans Audiovisuals), Eduard Dulharu (AT&T Germany), Cemal Duman (Ericsson), David L. Foote (NFV Forum (ATIS)), Harold Fritts, Scott Hogg (Global Technology Resources), Justin Kang (Accenture), Sergey Katsev (Fortinet), Raymond Kelly (Telecoms Now Ltd), Faisal Khan (Mobily Saudi Arabia), Epameinondas Kontothanasis (Unifys), Sashi Kumar (Intel), Hongwei Li (Hewlett-Packard), Cynthia Lopes (Maya Technologies), Simone Mangiante (EMC), Roberto Fuentes Martinez (Tecnomcom), Mali Naghavi (Ericsson), Fatih Eyup Nar (Ericsson USA), Jimmy Ng (Huawei Technologies), Mark Noble (Salix Technology Services), Luke Reid (Sytel Reply UK), David Schuckman (State Farm Insurance), Vivek Srivastava (Zscaler), Istvan Teglas (Cisco Systems), and Paul Zanna (Northbound Networks)。

最后，我要感谢培生公司负责本书出版的许多人，其中包括培生公司的职员，特别是高级策划编辑 Chris Cleveland，主管编辑 Brett Bartow 和他的助手 Vanessa Evans，以及项目编辑 Mandie Frank。同样感谢培生公司的市场和销售职员，没有他们的努力，这本书将不会呈现在你的面前。

对于所有这些帮助，我的所有赞美之词都不为过。然而，我骄傲地说，我自己挑选了每章开篇的引语（并没有借助于他人的帮助）。



William Stallings 博士在理解计算机安全、计算机网络和计算机体系结构领域的全方位技术发展方面做出了独特的贡献。他写作了 18 本教科书，算上各种修订的版本，在这些主题的多个方面共写了 70 本书。他的作品出现在各种 ACM 和 IEEE 出版物上，包括《Proceedings of the IEEE》和《ACM Computing Reviews》。他曾 13 次荣获教科书和学术作者协会（Text and Academic Authors Association）颁发的年度最优计算机科学教科书奖。

在 30 多年间，他成为该领域的技术贡献者、技术管理者和几个高科技公司的总经理。他在各种计算机和操作系统上设计并实现了基于 TCP/IP 和基于 OSI 的协议栈，既包括微机也包括大型计算机。当前，他是一名独立的咨询顾问，他的客户包括计算机、网络制造商、客户、软件开发公司和技术最先进的政府研究机构。

他在 ComputerScienceStudent.com/ 创建并维护着计算机科学学生资源网站。该网站为计算机科学的学生（和教授）提供有关各种主题的普遍感兴趣的文档和链接。他是《Cryptologia》杂志的编委，该杂志是致力于密码学研究的学术性期刊。

Stallings 博士拥有麻省理工学院计算机科学博士学位和诺特丹（Notre Dame）大学电子工程硕士学位。

贡献作者简介

Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud



Florence Agboma 当前是位于伦敦的英国天空广播公司的技术分析师。她的工作包括对诸如线上 OTT、VoD 和广播等不同的视频平台的流式视频进行质量改进。她是视频质量专家组 (VQEG) 的成员。Agboma 博士拥有英国 Essex 大学的博士学位，她的研究专注于移动内容传递系统的体验质量。

Agboma 博士在期刊、书籍和国际会议论文集中发表了多篇文章。她的兴趣包括视频质量评价、心理物理学方法、收费电视分析、体验质量管理以及诸如高动态范围和极高密度的新兴广播电视技术。



Sofiene Jelassi 于 2003 年 6 月和 2005 年 12 月分别获得了突尼斯莫纳斯提尔大学的科学学士和科学硕士学位。他于 2010 年 2 月获得了法国皮埃尔和玛丽居里 (Pierre and Marie Curie) 大学计算机科学博士学位。他的博士论文题为《移动自组织网络上分组化语音会话的自适应质量控制》。2010 年 6 月到 2013 年 12 月，他在法国国家信息与自动化研究所 (Inria) 的 DIONYSOS 研究组担任研发工程师。2014 年 1 月到 12 月，他在巴西里约热内卢的 GTA/UFRJ 从事博士后研究工作。2015 年 1 月，他成为突尼斯莫纳斯提尔大学的副教授。

他的研究包括：有线和无线软件定义网络 (SDN)，服务器和网络虚拟化，网络监视，面向内容的移动网络和服务管理，移动虚拟网络运营商 (MVNO)，定制的语音和视频系统，用户体验 (QoE) 的质量测量和建模，实验室和在场可用性测试，众包，用户概况，内容感知，服务游戏化，以及社会驱动的紧急情况服务。Jelassi 博士已经在国际期刊和会议上发表了 20 多篇论文。

出版者的话	
译者序	
前言	
致谢	
作者简介	
贡献作者简介	

第一部分 现代网络

第 1 章 现代网络的组成	2
1.1 网络生态系统	2
1.2 网络体系结构的例子	4
1.2.1 全球性网络的体系结构	4
1.2.2 典型的网络层次结构	6
1.3 以太网	7
1.3.1 以太网应用	7
1.3.2 标准	9
1.3.3 以太网数据速率	10
1.4 Wi-Fi	13
1.4.1 Wi-Fi 应用	13
1.4.2 标准	14
1.4.3 Wi-Fi 数据速率	14
1.5 4G/5G 蜂窝网	15
1.5.1 第一代	15
1.5.2 第二代	15
1.5.3 第三代	16
1.5.4 第四代	16
1.5.5 第五代	16
1.6 云计算	17
1.6.1 云计算的概念	17
1.6.2 云计算的好处	18
1.6.3 云网络	18
1.6.4 云存储	18

1.7 物联网	19
1.7.1 物联网中的物	19
1.7.2 演化	19
1.7.3 物联网的层次	19
1.8 网络汇聚	20
1.9 统一通信	21
1.10 重要术语	24
1.11 参考文献	24

第 2 章 需求和技术	25
2.1 网络和因特网流量的类型	25
2.1.1 弹性流量	25
2.1.2 非弹性流量	26
2.1.3 实时流量特性	28
2.2 需求：大数据、云计算和移动流量	30
2.2.1 大数据	30
2.2.2 云计算	32
2.2.3 移动流量	34
2.3 需求：QoS 和 QoE	35
2.3.1 服务质量	35
2.3.2 体验质量	36
2.4 路由选择	36
2.4.1 特点	37
2.4.2 分组转发	37
2.4.3 路由选择协议	38
2.4.4 路由器的组成	40
2.5 拥塞控制	40
2.5.1 拥塞的影响	41
2.5.2 拥塞控制技术	43
2.6 SDN 和 NFV	45
2.6.1 软件定义网络	45
2.6.2 网络功能虚拟化	46

2.7 现代网络要素	47
2.8 重要术语	48
2.9 参考文献	48

第二部分 软件定义网络

第3章 SDN: 背景与动机

3.1 不断演化的网络需求	50
3.1.1 需求在不断增长	50
3.1.2 供给在不断增长	50
3.1.3 流量模式更为复杂	51
3.1.4 传统的网络体系结构已经 不再适用	51
3.2 SDN 方法	53
3.2.1 需求	53
3.2.2 SDN 体系结构	53
3.2.3 软件定义网络的特征	56
3.3 SDN 和 NFV 相关标准	56
3.3.1 标准制定机构	57
3.3.2 产业协会	58
3.3.3 开放发展组织	59
3.4 重要术语	59
3.5 参考文献	60

第4章 SDN 数据平面和

OpenFlow

4.1 SDN 数据平面	61
4.1.1 数据平面功能	61
4.1.2 数据平面协议	63
4.2 OpenFlow 逻辑网络设备	63
4.2.1 流表结构	65
4.2.2 流表流水线	68
4.2.3 多级流表的使用	71
4.2.4 组表	71
4.3 OpenFlow 协议	73
4.4 重要术语	74

第5章 SDN 控制平面

5.1 SDN 控制平面体系结构	76
------------------------	----

5.1.1 控制平面功能	76
5.1.2 南向接口	77
5.1.3 北向接口	78
5.1.4 路由选择	79
5.2 ITU-T 模型	80
5.3 OpenDaylight	81
5.3.1 OpenDaylight 的体系结构	81
5.3.2 OpenDaylight 的氦版本	82
5.4 REST	85
5.4.1 REST 约束	85
5.4.2 REST API 例子	87
5.5 控制器间的合作和协调	88
5.5.1 集中式与分布式控制器	88
5.5.2 高可用性的集群	89
5.5.3 联邦的 SDN 网络	90
5.5.4 边界网关协议	90
5.5.5 域间的路由选择和 QoS	91
5.5.6 为 QoS 管理使用 BGP	92
5.5.7 IETF SDNi	93
5.5.8 OpenDaylight SDNi	94
5.6 重要术语	95
5.7 参考文献	96

第6章 SDN 应用平面

6.1 SDN 应用平面体系结构	97
6.1.1 北向接口	98
6.1.2 网络服务抽象层	98
6.1.3 网络应用	98
6.1.4 用户接口	98
6.2 网络服务抽象层	99
6.2.1 SDN 中的抽象	99
6.2.2 Frenetic	100
6.3 流量工程	102
6.4 测量和监视	104
6.5 安全	105
6.6 数据中心网络	109
6.6.1 基于 SDN 的大数据	109
6.6.2 基于 SDN 的云网络	110
6.7 移动和无线	112

6.8 信息中心网络	112
6.8.1 CCNx	113
6.8.2 抽象层的使用	114
6.9 重要术语	116

第三部分 虚拟化

第7章 网络功能虚拟化：概念与体系结构

7.1 NFV 的背景与动机	118
7.2 虚拟机	119
7.2.1 虚拟机监视器	120
7.2.2 体系结构方法	121
7.2.3 容器虚拟化	123
7.3 NFV 概念	123
7.3.1 NFV 使用案例	126
7.3.2 NFV 的基本要素	127
7.3.3 高层 NFV 框架	127
7.4 NFV 的技术优势与必要条件	128
7.4.1 NFV 的技术优势	128
7.4.2 NFV 的必要条件	129
7.5 NFV 参考体系结构	129
7.5.1 NFV 管理与编排	130
7.5.2 参照点	130
7.5.3 具体实现	131
7.6 重要术语	132
7.7 参考文献	132

第8章 NFV 功能

8.1 NFV 基础设施	133
8.1.1 容器接口	134
8.1.2 NFVI 容器的部署	136
8.1.3 NFVI 域的逻辑结构	137
8.1.4 计算域	137
8.1.5 管理程序域	139
8.1.6 基础设施网络域	140
8.2 虚拟网络功能	142
8.2.1 VNF 接口	142

8.2.2 VNFC 间通信	143
8.2.3 VNF 扩展	144
8.3 NFV 管理与编排	145
8.3.1 虚拟基础设施管理器	145
8.3.2 虚拟网络功能管理器	146
8.3.3 NFV 编排器	146
8.3.4 仓库	147
8.3.5 单元管理	147
8.3.6 OSS/BSS	147
8.4 NFV 用例	147
8.4.1 体系结构用例	148
8.4.2 面向服务用例	149
8.5 SDN 与 NFV	150
8.6 重要术语	152
8.7 参考文献	153

第9章 网络虚拟化

9.1 虚拟局域网	154
9.1.1 虚拟局域网的使用	156
9.1.2 VLAN 的定义	157
9.1.3 VLAN 内部成员间的通信	158
9.1.4 IEEE 802.1Q VLAN 标准	158
9.1.5 嵌套的 VLAN	159
9.2 OpenFlow 对 VLAN 的支持	160
9.3 虚拟专用网	161
9.3.1 IPsec VPN	161
9.3.2 MPLS VPN	163
9.4 网络虚拟化	165
9.4.1 一个简单的例子	166
9.4.2 网络虚拟化的体系结构	167
9.4.3 网络虚拟化的优势	169
9.5 OpenDaylight 的虚拟租用网	169
9.6 软件定义的基础设施	172
9.6.1 软件定义存储	173
9.6.2 SDI 架构	174
9.7 重要术语	175
9.8 参考文献	176

第四部分 用户需求的定义与支撑技术

第 10 章 服务质量 178

10.1 背景 179

10.2 QoS 体系结构的框架 179

10.2.1 数据平面 180

10.2.2 控制平面 181

10.2.3 管理平面 182

10.3 集成服务体系结构 182

10.3.1 ISA 方法 182

10.3.2 ISA 组件 183

10.3.3 ISA 服务 184

10.3.4 排队规则 185

10.4 区分服务 187

10.4.1 服务 188

10.4.2 DiffServ 字段 188

10.4.3 DiffServ 的配置和运维 189

10.4.4 逐跳行为 191

10.4.5 默认转发 PHB 192

10.5 服务等级约定 194

10.6 IP 性能测度 195

10.7 OpenFlow 对 QoS 的支持 197

10.7.1 队列结构 197

10.7.2 计量器 198

10.8 重要术语 199

10.9 参考文献 199

第 11 章 QoE：用户体验质量 200

11.1 为什么会有 QoE 200

11.2 因缺乏 QoE 考量而失败的服务 202

11.3 与 QoE 相关的标准化项目 203

11.4 体验质量的定义 203

11.4.1 质量的定义 204

11.4.2 体验的定义 204

11.4.3 质量的形成过程 204

11.4.4 体验质量的定义 205

11.5 实际中的 QoE 策略 205

11.5.1 QoE/QoS 分层模型 205

11.5.2 QoE/QoS 层次的概括与合并 207

11.6 影响 QoE 的因素 207

11.7 QoE 的测量 208

11.7.1 主观评价法 208

11.7.2 客观评价法 209

11.7.3 端用户设备分析法 210

11.7.4 QoE 测量方法小结 210

11.8 QoE 的应用 211

11.9 重要术语 212

11.10 参考文献 212

第 12 章 QoS 和 QoE 对网络设计的影响 213

12.1 QoE/QoS 映射模型分类 213

12.1.1 基于黑盒媒体的 QoS/QoE 映射模型 213

12.1.2 基于白盒参数的 QoS/QoE 映射模型 214

12.1.3 灰盒 QoS/QoE 映射模型 215

12.1.4 QoS/QoE 映射模型选择小贴士 215

12.2 面向 IP 的参数 QoS/QoE 映射模型 216

12.2.1 用于视频服务的网络层 QoE/QoS 映射模型 216

12.2.2 用于视频服务的应用层 QoE/QoS 映射模型 216

12.3 IP 网络的可操作 QoE 217

12.3.1 面向系统的可操作 QoE 方案 217

12.3.2 面向服务的可操作 QoE 方案 218

12.4 QoE 与 QoS 服务监视对比 219

12.4.1 QoS 监视方案 220

12.4.2 QoE 监视方案 221

12.5 基于 QoE 的网络和服务管理 224

12.5.1 基于 QoE 的 VoIP 呼叫管理 225

12.5.2 基于 QoE 的以主机为中心的 垂直切换	225
12.5.3 基于 QoE 的以网络为中心的 垂直切换	226
12.6 重要术语	227
12.7 参考文献	227

第五部分 现代网络体系结构：云和雾

第 13 章 云计算	230
13.1 基本概念	230
13.2 云服务	231
13.2.1 软件即服务	232
13.2.2 平台即服务	233
13.2.3 基础设施即服务	234
13.2.4 其他云服务	234
13.2.5 XaaS	236
13.3 云部署模型	237
13.3.1 公有云	237
13.3.2 私有云	237
13.3.3 社区云	238
13.3.4 混合云	238
13.4 云体系结构	238
13.4.1 NIST 云计算参考体系 结构	238
13.4.2 ITU-T 云计算参考体系 结构	241
13.5 SDN 和 NFV	243
13.5.1 服务提供商视角	243
13.5.2 私有云视角	243
13.5.3 ITU-T 云计算功能参考 体系结构	243
13.6 重要术语	244
第 14 章 物联网：基本构成	246
14.1 IoT 时代的开启	246
14.2 IoT 领域	247
14.3 具有 IoT 功能的物的组成	248
14.3.1 传感器	249

14.3.2 执行器	251
14.3.3 微控制器	251
14.3.4 收发器	255
14.3.5 RFID	255
14.4 重要术语	259
14.5 参考文献	259

第 15 章 物联网：体系结构与实现

15.1 IoT 体系结构	260
15.1.1 ITU-T IoT 参考模型	260
15.1.2 IoT 全球论坛参考模型	264
15.2 IoT 实现	269
15.2.1 IoTivity	269
15.2.2 思科 IoT 系统	277
15.2.3 ioBridge	281
15.3 重要术语	284
15.4 参考文献	284

第六部分 相关主题

第 16 章 安全	286
16.1 安全需求	286
16.2 SDN 安全	287
16.2.1 SDN 安全威胁	287
16.2.2 软件定义安全	289
16.3 NFV 安全	290
16.3.1 攻击表面	290
16.3.2 ETSI 安全视角	292
16.3.3 安全技术	293
16.4 云安全	293
16.4.1 安全问题和关注点	294
16.4.2 云安全风险和对策	295
16.4.3 云中的数据保护	296
16.4.4 云安全即服务	297
16.4.5 解决云计算的安全问题	299
16.5 IoT 安全	300
16.5.1 漏洞修复	301
16.5.2 ITU-T 定义的 IoT 安全和 隐私需求	301

16.5.3	IoT 安全框架	302	17.2.3	用于网络的 DevOps	311
16.5.4	结束语	304	17.2.4	DevOps 网络产品	313
16.6	重要术语	304	17.2.5	思科 DevNet	314
16.7	参考文献	304	17.2.6	有关 DevOps 当前状态的 小结	314
第 17 章 新的网络技术对 IT 职业 的影响		305	17.3	培训与认证	314
17.1	网络专业人员的角色变化	305	17.3.1	认证计划	314
17.1.1	不断变化的职责	306	17.3.2	IT 技能	318
17.1.2	对职位的影响	307	17.4	在线资源	319
17.1.3	必须面对的现实底线	307	17.5	参考文献	320
17.2	DevOps	307	参考文献		321
17.2.1	DevOps 基础	308	索引		325
17.2.2	DevOps 需求	311			