

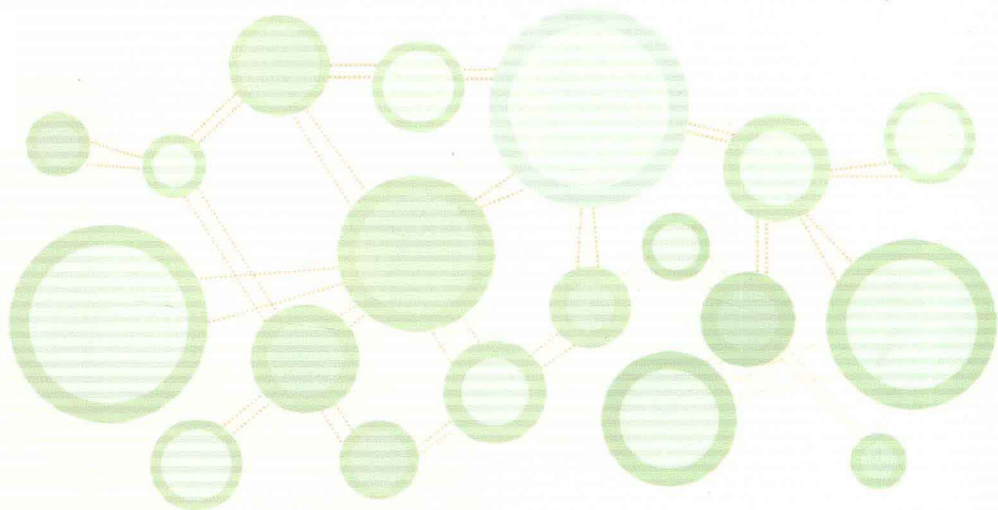
Innovative Research

中国联通研究院创新研究系列丛书



软件定义网络 技术及应用

刘诚明 陈赤航 张云勇 王淑玲 房秉毅 等 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

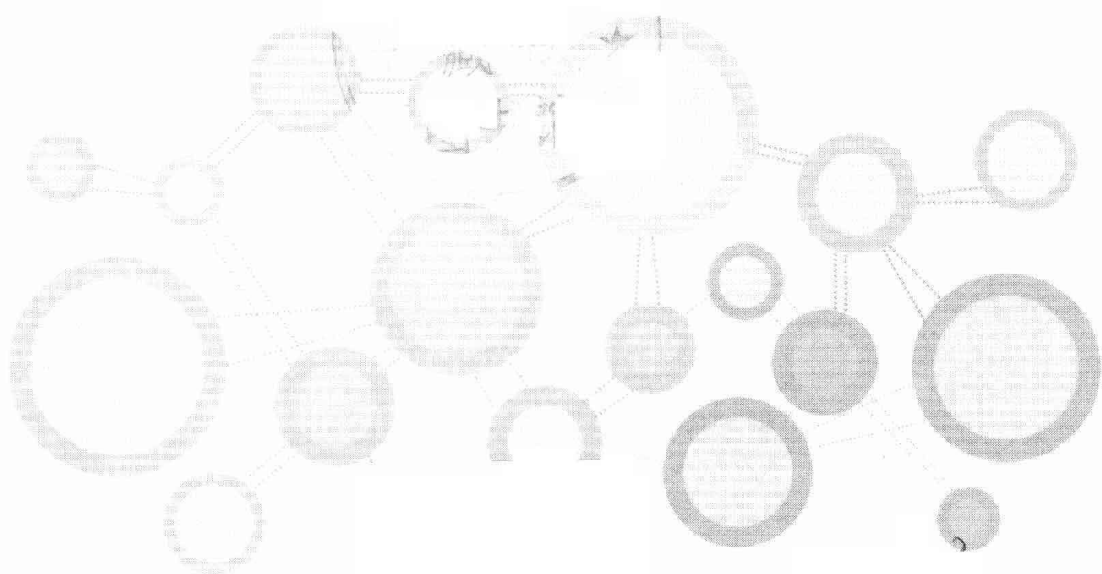
Innovative Research

中国联通研究院创新研究系列丛书



软件定义网络 技术与应用

刘诚明 陈赤航 张云勇 王淑玲 房秉毅 等 编著



人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

软件定义网络技术与应用 / 刘诚明等编著. -- 北京
: 人民邮电出版社, 2013. 10
(中国联通研究院创新研究系列丛书)
ISBN 978-7-115-33083-3

I. ①软… II. ①刘… III. ①计算机网络—研究
IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第215211号

内 容 提 要

本书从当前的网络发展现状分析网络的特征、存在的问题以及未来的发展趋势。在此基础上,引出软件定义网络的概念和体系架构,并分析了软件定义网络能够解决的问题以及相关的关键技术。随后对SDN的标准现状、技术发展现状、产业应用现状等进行系统梳理。最后,分享了基于云管理平台OpenStack的SDN原型系统方案。本书适合IT技术人员、系统架构师、数据中心网络相关技术人员阅读。

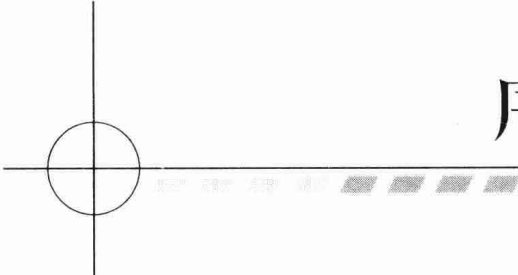
-
- ◆ 编 著 刘诚明 陈赤航 张云勇 王淑玲 房秉毅 等
责任编辑 邢建春
责任印制 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 10.5 2013年10月第1版
字数: 210千字 2013年10月北京第1次印刷
-

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号



序

技术的发展和时代的进步使得互联网已经成为了很多国家的重要基础设施。但是，随着云计算时代、物联网等的到来，以 IP 为核心发展起来的网络体系架构暴露了越来越多的问题，如网络扩展性不足、网络安全性不足、网络管理复杂、网络设备耗电居高不下等。

为解决网络发展过程中暴露的各种问题，各国在网络信息技术方面给予了极大关注和强有力的支持。早在 21 世纪初，以美国为首的发达国家就启动了新一代互联网基础研究项目，比较有代表性的有美国的 GENI、FIND，欧盟的 FIRE 等项目。在中国，未来网络技术的研究也成为重点研究项目之一。2012 年，国家发改委和国家科技部分别启动了“十二五”国家重大科学工程——未来网络试验设施项目和国家 973 项目——面向服务的未来互联网体系结构与机制研究，以加快我国未来网络领域的发展，使我国网络技术在动态测量、融合互通、资源管控和绿色节能等方面达到国际先进水平。

2008 年提出的软件定义网络（SDN，software defined network）是对现有网络的一种颠覆性创新，给网络管控、网络服务等提供了较大的灵活性和敏捷性，为未来网络的发展提供了一个重要的方向。因此，在未来网络的发展过程中，我们要高度重视 SDN 技术的发展。目前，全球 SDN 芯片、设备、应用等价值链已经



开始形成，在国际资本市场上，SDN 已经开始升温，思科、VMware、Oracle、博科等都收购了多家 SDN 技术公司。我们应当加强在 SDN 领域的研究，掌握未来网络技术的话语权。

在此背景下，基于多年网络运营经验，中国联通研究院适时地撰写了《软件定义网络技术与应用》一书，是对软件定义网络的内涵、相关技术、产业发展的一次深入分析和高度概括，为国内的相关从业人员提供了一份宝贵的参考资料。

中国工程院院士，中国联通科技委主任
中国（南京）未来网络产业创新中心主任



序 言

20 世纪发展起来的互联网为人类搭建了一个全新的信息通信、资源共享平台，深刻地影响着人们的工作、生活和学习等各个方面。随着云计算技术、物联网技术等的兴起，互联网创新应用的不断涌现，以 IP 协议为核心的计算机网络在可扩展性、灵活性、安全性等多个方面都面临着较大的挑战。

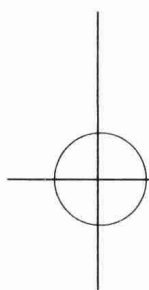
2012 年 4 月 17 日至 18 日，开放网络峰会在圣何塞举行。在这次大会上，谷歌的高级副总裁 Urs Holzle 分享了他们在数据中心网络中遭遇的管理复杂、成本居高不下、网络测试难以展开等问题，同时展示了在他们数据中心之间的 G-Scale 网络中大规模采用 OpenFlow/SDN 技术的网络建设方案。谷歌在软件定义网络上的这次实践在业内引起了极大关注，给未来网络的发展提供了一个思路。

软件定义网络解除了数据转发面与网络控制之间的紧耦合关系，并通过标准化的北向接口为开发者提供了良好的网络编程接口，从而使得网络获得了前所未有的灵活度和敏捷度，而这正是云计算技术一直在寻求的。因此，伴随着云计算业务的逐渐落地，软件定义网络成为当下网络的研究热点之一。

本书从当前的网络发展现状说起，在分析了网络的特征、存在的问题以及未来发展趋势的基础上，对软件定义网络的概念和体系架构、关键技术、标准现状、产业现状等进行了论述，是对软件定义网络的一次深度总结和分析。在人类社会



经历的各种技术变革中，从来没有像互联网一样发展如此迅速的。互联网的迅速发展带来巨大挑战的同时也会带来难得的机遇。网络已经不再是简单的基础设施资源，它应该具备更强的灵活性、敏捷性。这就需要我们能够开放地、积极地去迎接创新，拥抱未来。



Preface

前言

从 20 世纪 70 年代初开始，计算机网络成为对人类社会影响最深远的科技成就之一。随着网络技术的迅速发展和网络规模的不断扩大，计算机网络已广泛应用于政府、军事、教育、科研、商业等各式各样的领域，并进入了千千万万个普通家庭。计算机网络成为了人们获取知识和交流信息的一种十分重要、快捷的手段，以及实现信息资源共享的平台，深刻地影响着科学研究、社会管理和经济运行模式以及人们的工作、学习和生活方式。

但是，网络一开始的设计理念并未考虑到网络的惊人发展速度、庞大的规模带来各种复杂性。随着互联网规模的不断庞大、业务类型的不断扩展，从 TCP/IP 架构体系中发展而来的网络结构也暴露出越来越多亟待解决的问题。例如：日益突出的网络信息窃取问题，恶意攻击、密码泄露、病毒、木马等每年都会造成上亿美元的损失；网络地址消耗殆尽；臃肿不堪的网络路由无法满足云业务对网络的快速响应需求等，尽管如此，针对网络中存在的问题，网络工程师们做了大量的改进和创新，提出了一系列方案来解决网络中遇到的问题，如 IPSec、MPLS、IPv6、VLAN 等。这些修修补补、添砖加瓦式的机制几乎奇迹般地让网络在各种不同的应用中工作到今天。但是，许多研究者相信，这种方式不能从根本上解决网络问题，重新定义网络架构也许是“根本”的方案。软件定义网络的兴起为未来网络的发展提供了方向。



SDN 是一种新兴的控制与转发分离并可编程的网络架构,其核心思想是将传统网络设备紧耦合的网络架构解耦成应用、控制、转发三层分离的架构,并通过标准化实现网络的集中管控和网络应用的可编程。在这一架构下,开放和标准化是核心关键点,表现为:1)标准化的数据转发面与控制面的接口,又称为南向接口,屏蔽了网络基础设施资源在类型、支持协议等方面的异构性,使得转发面的网络资源设施资源能够无障碍地接收控制面的指令,承载网络中的数据转发业务;2)标准化控制层和应用层的接口,又称为北向接口,为上层应用提供统一的管理视图和编程接口,使得用户可以通过软件从逻辑上来定义网络控制和网络服务。

软件定义网络作为一种创新型的网络架构,在其提出的最初并未引起多大关注。2012 年,谷歌在开放网络峰会(ONS, open network submit)上宣讲了其在数据中心的互联网络中 SDN 的实施方案,标志着 SDN 从学术界走向了工业界,并推动了 SDN 的研究热潮。尤其是随着云计算的发展,网络呈现了新的特征,给网络提出了新的需求。业内人士也不禁思考,SDN 是否是解决当前网络问题的一种思路? SDN 是否能为云计算网络提供更方便的解决方案?

本书以此为背景,从以 IP 为核心的网络说起,结合云计算网络的新特征和新需求,引出软件定义网络的概念和体系架构,并分析了软件定义网络相关的关键技术、标准现状、技术发展现状、产业应用现状等。最后,从实际出发,介绍了基于 OpenStack 的 SDN 原型系统方案。

本书结构如下:第 1 章和第 2 章分析了以 IP 为核心的网络的特征、存在的问题,并结合云计算的发展现状,总结了云计算网络中的最新技术,分析了云计算时代网络的新需求和发展趋势。第 3 章介绍了软件定义网络的概念,并与相关技术进行对比分析。第 4 章结合 SDN 的体系架构,对涉及的相关关键技术进行了分析。第 5~7 章对 SDN 的标准现状、开源项目、产业的发展情况、产业内的应用情

况进行了概述。最后，第8章分享了基于 OpenStack 搭建 SDN 原型系统的方案。

本书适合 IT 技术人员、系统架构师、数据中心网络相关技术人员阅读。

本书具有如下三大特色。

1) 通俗性

本书介绍了软件定义网络的基本知识，涵盖了从相关的技术到实际案例部署相关的知识，读者只需具备基础的网络知识即可。每章的标题就是对该章内容的高度概括，在接下来的内容中对其进行的解释已尽可能做到了准确、翔实。

2) 完整性

本书从网络架构、具体技术细节到具体应用场景、网络部署实现方案等方面都进行了周详的论述。

3) 实用性

本书紧密结合实际，从需求、转型到技术支持、部署应用等各方面进行分析和论述。

本书由刘诚明等负责策划和通稿。第1~3章由刘诚明、王淑玲、张云勇、徐雷编写，第4章、第6章由陈赤航、雷磊、房秉毅编写，第5章、第8章由程莹、李素粉编写，第7章由王智明、王淑玲编写。

参加研究和写作的成员还有：孙兆新、匡斌、陈清金、郭玉华、熊微、邓浩、杨绍光、魏进武、张尼、李卫、周巍、郭志斌、冯伟斌、毋涛、汪芳、张园、陈晓明、贾智宇、李伟杰、刘露、张立、马书慧、李璐颖。

本书能够出版，需要感谢中国联通集团技术部张忠平总经理、裴晓燕经理、贾川、周晓霞，中国联通集团集团客户事业部杜之亭经理，杭州华三通信技术公司高级技术经理雷剑，北京邮电大学黄韬教授，四川大学彭舰教授的帮助。

本书凝聚了作者长期的网络运营实践经验以及研究思考的成果。作者广泛收

集了国内外相关材料，参考了一些最新论著，在本书编写过程中也引用了部分材料，在此表示感谢。人民邮电出版社的邢建春编辑为此书倾注了大量的心血，在此致以诚挚的谢意。

本书内容是作者的大胆探索和思考，仅代表个人观点，与任何机构的立场无关。我们希望通过大家的共同努力，理清现阶段软件定义网络的发展，为网络创新发展贡献一份力量。由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误、不当之处，恳请广大专家、学者不吝批评指正。

作者

2013 年 8 月于北京

本书编写组

主编：刘诚明 陈赤航 张云勇 王淑玲 房秉毅

编著：徐 雷 雷 磊 程 莹 李素粉 王智明

孙兆新 匡 斌 陈清金 郭玉华 熊 微

邓 浩 杨绍光 魏进武 张 尼 李 卫

周 巍 郭志斌 冯伟斌 毋 涛 汪 芳

张 园 陈晓明 贾智宇 李伟杰 刘 露

张 立 马书慧 李璐颖

目 录

Contents

第 1 章 网络发展现状及趋势	1
1.1 计算机网络发展现状	1
1.1.1 小核心和大边缘的网络结构	3
1.1.2 混合式的网络管理	4
1.1.3 多样化的互联网业务需求	6
1.1.4 网络向多维度扩展	7
1.2 计算机网络发展的问题	8
1.2.1 业务需求多样化导致网络管理复杂度急剧提升	8
1.2.2 网络动态行为导致网络可控性越来越差	9
1.2.3 信息不透明导致资源大量浪费	10
1.2.4 安全保障困难	11
1.2.5 网络成本居高不下	12
1.2.6 绿色与节能	13
1.2.7 云计算催生新的网络需求	15
本章小结	16



参考文献.....16

第2章 云计算网络.....18

2.1 概述.....18

2.2 云计算数据中心新特性分析.....21

2.2.1 数据中心内部.....21

2.2.2 数据中心之间.....23

2.3 云计算数据中心的网络需求.....23

2.3.1 数据中心内部.....24

2.3.2 数据中心之间.....27

2.3.3 用户与数据中心之间.....27

2.4 云计算网络关键技术.....28

2.4.1 虚拟机接入技术.....28

2.4.2 同站点内的二层互访技术.....36

2.4.3 跨站点的二层互访技术.....39

2.4.4 以太网光纤通道 FCoE.....43

本章小结.....46

参考文献.....46

第3章 软件定义网络.....48

3.1 软件定义网络的起源和发展.....49

3.1.1 SDN 的起源.....49

3.1.2 SDN 在工业界的一次实践.....50

3.1.3 SDN 的收购热潮.....51

3.2 SDN 的内涵	52
3.2.1 SDN 的定义	52
3.2.2 SDN 与其他技术的关系	56
3.3 SDN 网络架构的优势	59
3.3.1 面向应用和业务的网络能力	60
3.3.2 加快网络功能上线	60
3.3.3 提供良好的网络创新环境	61
3.3.4 方便和灵活的网络管理能力	61
本章小结	63
参考文献	63
第 4 章 软件定义网络中的关键技术	65
4.1 OpenFlow 发展历史	66
4.2 数据层面关键技术	69
4.2.1 流表设计	70
4.2.2 流表匹配	73
4.2.3 流表失配	75
4.2.4 流表查询优化	76
4.2.5 与传统网络的兼容性	77
4.3 控制层面关键技术	78
4.3.1 分布式控制架构	79
4.3.2 主动/被动模式	80
4.3.3 安全性技术	80



4.3.4 可靠性技术	80
4.4 控制器南向接口关键技术	81
4.5 应用面关键技术	82
4.6 控制器北向接口关键技术	82
4.7 OpenFlow 与非 OpenFlow	84
本章小结	84
参考文献	85
 第 5 章 SDN 标准现状和开源项目	86
5.1 ONF (open network foundation)	86
5.1.1 SDN 白皮书	87
5.1.2 OpenFlow 标准	88
5.1.3 OF-Config	89
5.1.4 ONF 其他工作	90
5.2 IETF	91
5.3 ITU	93
5.4 ETSI	94
5.5 CCSA	94
5.6 相关开源项目	95
5.6.1 OpenDaylight	95
5.6.2 POF	95
5.6.3 OCP	96
本章小结	96

参考文献	97
第6章 软件定义网络产业现状	98
6.1 产业界	101
6.1.1 芯片厂商	102
6.1.2 网络设备提供商	104
6.2 学术界	117
本章小结	118
参考文献	118
第7章 应用案例	120
7.1 互联网公司	120
7.1.1 Google	120
7.1.2 Facebook	124
7.1.3 Rackspace	125
7.2 运营商	126
7.2.1 Colt-telecom	127
7.2.2 NTT	128
7.2.3 Verizon	129
本章小结	131
参考文献	131
第8章 云网融合及原型验证	133
8.1 云网融合	133