

SDN核心技术剖析和 实战指南

Deciphering SDN: Core Techniques and Practical Guide

雷葆华 王峰 王茜 王和宇 等编著



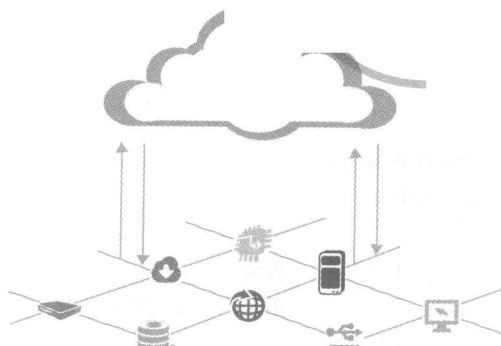
SDN核心技术剖析和 实战指南

Deciphering SDN: Core Techniques and Practical Guide

执行主编：赵慧玲

策划指导：冯 明 陈运清 谭国权 刘健民

编 著：雷葆华 王 峰 王 茜 王和宇
解云鹏 刘 圆 史 凡



内 容 简 介

SDN (Software Defined Networking, 软件定义网络) 是当前网络领域的热点, 被业界普遍认为是未来网络发展的方向, 孕育着巨大的市场机会。

本书首先对 SDN 的概念和背景进行了系统的论述, 比较和分析了 SDN 领域的主流观点; 进而全面深入地梳理了 SDN 的核心技术体系, 针对 SDN 网络架构中各个层次的关键技术进行了重点讲解。同时, 本书提供了基于开源技术的 SDN 实践指南, 帮助读者进一步加深对 SDN 的原理与实现的理解。最后, 本书充分地分析了 SDN 的应用场景, 并从产业生态系统的角度对 SDN 的发展格局和未来走势进行了分析和展望。

本书对从事 SDN 技术产品研发的专业人士、网络运营服务从业人员, 以及相关专业的高校学生和对 SDN 感兴趣的各位读者, 都会提供有益的帮助。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

SDN 核心技术剖析和实战指南 / 雷葆华等编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.9
(转型时代丛书)

ISBN 978-7-121-21339-7

I. ①S… II. ①雷… III. ①计算机网络—网络结构—指南 IV. ①TP393.02-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 202651 号

策划编辑: 刘 皎

责任编辑: 徐津平

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 720×1000 1/16 印张: 16.5 字数: 264 千字

印 次: 2013 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

转型时代丛书

● 指导委员会

主任委员：吴基传

副主任委员：杨杰

委 员：陈俊亮 李未 韦乐平

邬贺铨 张继平（按拼音顺序排序）

● 编委会

主 任：李志刚

副主任：侯春雨 赵慧玲

委 员：毕奇 朱健 野永东 谢朝阳

陈自清 杨峰义 王晓平 张成良

转型时代丛书

丛书编委会

刘基兵 袁英博士

陈刚 袁英博士

李永平 宋平 袁英博士 袁英

袁英

转型时代丛书

袁英

袁英 袁英

袁英 袁英

袁英 袁英

袁英 袁英

总序

“变化，无论是突如其来的，还是循序渐进的，有时都会淘汰你认为理所当然的一切”。

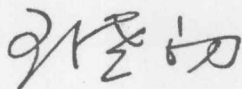
——《转型》

二十一世纪以来，信息化更加快速而深刻地改变着这个世界，大到全球经济社会的发展格局，小到每个人的日常工作生活。许多国家把数字化、信息化、智能化作为国家战略的关键主题，把信息基础设施建设作为后金融危机时代振兴经济的重要手段。同样，我国“十二五”规划也把全面提高信息化水平，特别是加快建设下一代国家信息基础设施、推动信息化和工业化深度融合、推进经济社会各领域信息化作为重要工作列入其中。

信息通信产业中新技术、新业务的不断快速发展不仅催生着新的经济增长点，造就了谷歌、Twitter、腾讯等一个又一个明星企业，引领整个行业及社会经济的发展方向，更重要的是它对人们生产、生活产生了深刻而久远的影响。我们的生产资料不仅仅是机器，还有电脑、手机、互联网；我们通过点击“百度”打开未知世界，通过“淘宝”购买商品，利用手机登录“Facebook”去了解彼此、评论时政，所有这一切都表明信息通信产业正在更广、更深地影响着我们每一个人，互联网 / 移动互联网已成为像水、电一样的生产、生活“必需品”。

环顾全球，整个信息通信产业正在朝着宽带化、移动化、智能化发展，特别是 3G 的普及和 LTE 的逐步成熟使得移动互联网一跃成为整个行业中最前沿、最具革命性的领域。智能管道、物联网、下一代互联网、云计算等一个个新的理念、新的信息服务模式正在席卷全球成为新热点。而这一切变化，都将对从事信息服务的企业，包括电信运营商，带来前所未有的机遇和挑战。适者生存法则同样适用于多变的企业生态系统。无论是百年老店，还是创业新秀，只有顺应信息化时代发展潮流，重新审视并及时调整企业的商业模式，抓住信息化带来的重大机遇，才能在变化中顺势前进。

鉴于此，这套“转型时代丛书”既有对智能宽带网络、移动互联网、云计算等新技术、新网络的研究和实践总结，也有对商业模式、营销变革等现代管理中关键问题的长期探索。相信此系列书籍能帮助您了解趋势，廓清谜团，抓住机会，与信息化时代共同成长。



2012年1月

序

近几年，移动互联网、电子商务、大数据等服务的兴起，对人们的日常生活产生了深刻的影响，为用户带来了极大的便利，但同时对 IT 基础设施的建设提出了更高的要求，希望它能做到按需供给、随需而变、灵活健壮。

为了满足这些需求，业界提出了软件定义数据中心、软件定义基础设施的概念和方法，将基础设施的资源通过虚拟化方式进行抽象，包括服务器、存储、网络等，并将资源变成一种 IT 服务，通过自动化的流程与软件方式提供给客户。SDN (Software Defined Networking, 软件定义网络) 技术的出现适应了网络 IT 化，设备软件化和硬件标准化的趋势。SDN 的设计理念是将网络的控制平面与数据转发平面进行分离，逻辑上集中的控制层面能够支持网络资源的灵活调度，灵活的开放接口能够支持网络能力的按需调用，并实现可编程化控制。通过这种方式，推动网络能力被便捷地调用，支持网络业务的创新。

SDN 是目前业界关注的热点，许多技术还在发展和探讨之中。本书是国内第一本系统介绍 SDN 技术的书籍，作为国内最早接触和研究 SDN 技术的研发团队之一，中国电信北京研究院的专家们编写了这本《SDN 核心技术剖析和实战指南》，希望和业界的朋友分享 SDN 技术知识和观点，促进和推动国内相关技术和产品的繁荣发展。

中国电信集团公司副总经理

前言

SDN (Software Defined Networking, 软件定义网络) 是当前网络领域的热点, 被业界普遍视作未来网络的演进方向。同时, 它还有另外一个绰号——Still Don't kNow! 那么, SDN 究竟是什么? 它是一项技术? 它是一种网络? 它是一类服务? 随着 SDN 日益受到关注, 各方参与者都从各自的角度进行了回答, 这些答案丰富了 SDN 的内涵和外延, 同时也为 SDN 蒙上了神秘的面纱。

很久以来, 网络领域一直存在着一个讨论, 即底层网络资源如何能更好地为上层业务及应用服务, 做到资源的灵活调度与按需交付。为此, 业界曾从通信技术的角度进行了很多尝试, 但效果并不明显。而云计算、大数据等业务的兴起, 对网络的改造需求越来越迫切, 于是, 业界开始从 IT 的视角看待网络, SDN 就是一个具有代表性的突破。SDN 倡导的标准化控制协议、软件化网络接口为资源的统一管理、业务的推陈出新提供了很好地支持, 能够为用户提供更好的网络体验, 提升了网络的价值。

SDN 秉承着软件化、IT 化、开放化的理念, 正在改变着人们对传统网络的看法。我们有理由相信它将在未来的网络中拥有越来越重要的地位。同时, SDN 是一把“双刃剑”, 如何趋利避害, 也是每位参与者必须审慎考虑的问题。

本书的主要内容是我们在多年研究的基础上对 SDN 进行的总结和梳理, 其中既包括了对 SDN 关键技术体系的详细解读, 又包括了基于开源软件的典型 SDN 环境搭建, 还包括了丰富的业界进展介绍和 SDN 发展趋势分析。

本书第 1 章介绍了 SDN 技术的概述, 阐释了主流的 SDN 架构定义并分析

了它们的异同,进而论述了 SDN 的提出背景和当前主要的实现方案类型,并基于 SDN 层次化架构建立了关键技术体系,使读者能够了解到 SDN 的概貌,为后续深入阅读奠定了基础。

本书第 2 章至第 4 章分别从交换机和控制器南向接口、控制器及其北向接口、应用编排和资源管理等三个层面全面地剖析了支撑 SDN 架构的关键技术。除了对相关技术的工作原理进行深入解读外,还介绍和分析了相应领域的主流开源技术。

本书第 5 章介绍了 SDN 的实践案例,包括模拟网络环境搭建、虚拟网络设备部署、典型数据流分析等环节中的详细步骤,并重点介绍了基于 Floodlight 控制器开发 SDN 应用的工作流程和注意事项,将有助于读者通过动手实践加深对 SDN 的理解。

本书第 6 章和第 7 章分别介绍了 SDN 的应用场景和现状展望,全面地阐释了在各种应用场景中引入 SDN 的策略和方法,介绍了 SDN 产业现状及其标准化进展,并深入分析和阐述了 SDN 面临的机遇和挑战,帮助读者辨析 SDN 的未来方向和发展前景。

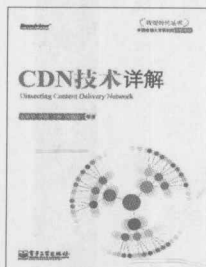
在 SDN 技术研究和本书书稿的编写过程中,我们得到了中国电信集团公司和中国电信北京研究院领导的大力支持。SDN 兴起伊始,研究院领导就鼓励我们积极参与 SDN 业界的各项活动,并创造各种环境支持我们对相关技术进行研究,为我们深入了解产业进展、快速掌握核心技术提供了很多便利。

我们希望本书中展现的成果能为读者呈现出 SDN 的全貌,帮助大家拨开 SDN 的迷雾、领悟 SDN 的真谛,并最终推动 SDN 的应用与推广。

SDN 方兴未艾,当前仍处于快速发展之中,因此书中内容难免存在纰漏之处,还请各位专家和读者不吝赐教。

转型时代丛书

中国电信北京研究院 专家奉献



雷葆华 孙颖
王峰 陈晓益 等著
ISBN 978-7-121-16528-3
定价: 69.00元



广小明 胡杰 陈龙
郭京 等编著
ISBN 978-7-121-18528-1
定价: 59.00元



雷葆华 饶少阳
张洁 王峰 等著
ISBN 978-7-121-16907-6
定价: 59.00元



孙震强 朱彩勤
毛聪杰 陈运清 等编著
ISBN 978-7-121-20738-9
定价: 69.00元



赵忠东 杨庆丰
曾勇 林侠 等编著
ISBN 978-7-121-16201-5
定价: 45.00元



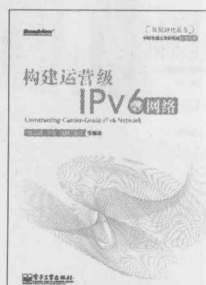
郭舰 徐辉 苏欣 李倩 著
ISBN 978-7-121-18774-2
定价: 69.00元



李志刚 主编
ISBN 978-7-121-18560-1
定价: 78.00元



陈运清 吴伟
阎璐 聂世忠 等编著
ISBN 978-7-121-20589-7
定价: 69.00元



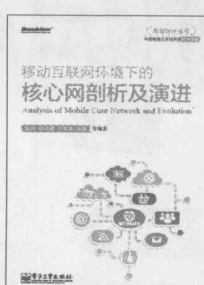
陈运清 王茜 胡捷
孙琼 等编著
ISBN 978-7-121-15117-0
定价: 59.00元



陈运清 张文强
徐向辉 马亦然 等编著
ISBN 978-7-121-20375-6
定价: 59.00元



杨恒 魏丫丫
李彬 郭丹 等著
ISBN 978-7-121-18724-7
定价: 56.00元



张园 陈运清 毛聪杰
聂衡 等编著
ISBN 978-7-121-21357-1
定价: 75.00元

博文视点诚邀精锐作者加盟

十载耕耘奠定专业地位

以书为证彰显卓越品质

《C++Primer (中文版) (第5版)》、《代码大全》、《Windows内核原理与实现》
《程序员的自我修养》、《加密与解密》、《编程之美》、《VC++深入详解》、
《SEO实战密码》、《PPT演义》……

“圣经”级图书光耀夺目,被无数读者朋友奉为案头手册传世经典。

潘爱民、毛德操、张亚勤、张宏江、咎辉Zac、李刚、曹江华……

“明星”级作者济济一堂,他们的名字熠熠生辉,与IT业的蓬勃发展紧密相连。

十年的开拓、探索和励精图治,成就博古通今、文圆质方、视角独特、点石成金之
计算机图书的风向标杆:博文视点。

“凤翱翔于千仞兮,非梧不栖”,博文视点欢迎更多才华横溢、锐意创新的作者
朋友加盟,与大师并列于IT专业出版之巅。

英雄帖

江湖风云起,代有才人出。

IT界群雄并起,逐鹿中原。

博文视点诚邀天下技术英豪加入,

指点江山,激扬文字

传播信息技术,分享IT心得

· 专业的作者服务 ·

博文视点自成立以来一直专注于IT专业技术图书的出版,拥有丰富的与技术图书作者合作的经验,并参照IT技术图书的特点,打造了一支高效运转、富有服务意识的编辑出版团队。我们始终坚持:

善待作者——我们会把出版流程整理得清晰简明,为作者提供优厚的稿酬服务,解除作者的顾虑,安心写作,展现出最好的作品。

尊重作者——我们尊重每一位作者的技术能力和生活习惯,并会参照作者实际的工作、生活节奏,量身制定写作计划,确保合作顺利进行。

提升作者——我们打造精品图书,更要打造知名作者。博文视点致力于通过图书提升作者的个人品牌和技术影响力,为作者的事业开拓带来更多的机会。



联系我们

博文视点官网: <http://www.broadview.com.cn>

CSDN官方博客: <http://blog.csdn.net/broadview2006/>

投稿邮箱: 010-51260888 88254368

投稿邮箱: jsj@phei.com.cn



新浪微博
weibo.com

@博文视点Broadview



微信公众账号

博文视点Broadview



北航

C1679025

目录

第 1 章	SDN 技术概述	1
1.1	SDN 定义	2
1.1.1	ONF SDN 架构定义	3
1.1.2	ETSI NFV 架构定义	4
1.1.3	OpenDaylight 开源项目	5
1.1.4	SDN 架构的特征分析	7
1.2	SDN 发展背景	8
1.3	SDN 实现方案	10
1.3.1	基于专用接口的方案	11
1.3.2	基于叠加网络的方案	12
1.3.3	基于开放协议的方案	14
1.3.4	SDN 实现方案分析	14
1.4	SDN 核心技术	14
1.4.1	交换机及南向接口技术	15
1.4.2	控制器及北向接口技术	17
1.4.3	应用编排和资源管理技术	18
1.5	本章小结	18
第 2 章	SDN 交换机及南向接口技术	20
2.1	交换机核心技术	21
2.1.1	交换机工作原理	23

2.1.2	交换机实现技术	24
2.2	OpenFlow 交换机规范	29
2.2.1	OpenFlow v1.0 概述	29
2.2.2	OpenFlow 标准演进	40
2.2.3	OpenFlow 问题分析	56
2.3	OF-CONFIG 配置管理协议	57
2.3.1	OF-CONFIG v1.0 概述	59
2.3.2	OF-CONFIG 协议演进	62
2.4	OVS 交换机实现分析	63
2.4.1	OVS 交换机工作原理	63
2.4.2	OVS 交换机核心实现	65
2.5	本章小结	68

第 3 章 SDN 控制器及北向接口技术 69

3.1	控制器核心技术	70
3.1.1	南向网络控制技术	70
3.1.2	北向业务支撑技术	76
3.1.3	东西向控制器扩展技术	78
3.2	控制器设计要素	81
3.3	开源控制器实现	89
3.3.1	NOX/POX	90
3.3.2	Ryu	91
3.3.3	Floodlight	93
3.3.4	控制器实现分析	96
3.4	本章小结	101

第 4 章 SDN 应用编排和资源管理技术 102

4.1	SDN 应用类型和实现技术	103
-----	---------------------	-----

4.1.1	资源管理平台	105
4.1.2	软件定义的应用交付	108
4.2	OpenStack 平台的 Quantum 组件分析	111
4.2.1	OpenStack Quantum 实现原理	115
4.2.2	OpenStack Quantum 的基本功能	119
4.3	本章小结	125
第 5 章	SDN 网络系统实战	127
5.1	SDN 实验概述	128
5.2	利用 Mininet 搭建模拟网络环境	129
5.2.1	Mininet 模拟组网	129
5.2.2	Open vSwitch 的安装和配置	134
5.2.3	OpenFlow 数据流分析	140
5.3	基于 Floodlight 开发 SDN 应用	165
5.3.1	创建程序	165
5.3.2	增加服务	171
5.3.3	增加 REST API	177
5.4	Floodlight REST API 开发	183
5.4.1	编写说明	183
5.4.2	代码示例	183
5.4.3	常用 REST API	185
5.5	本章小结	189
第 6 章	SDN 应用实践和探索	190
6.1	网络总体概述	191
6.2	SDN 在数据中心的应用	193
6.2.1	云数据中心的多租户网络解决方案	195
6.2.2	Windows Azure 虚拟化网络	197

6.3	SDN 在骨干网中的应用	199
6.4	SDN 在城域网边缘的应用	201
6.5	SDN 在接入网的应用	203
6.6	SDN 在 IP RAN 中的应用	206
6.7	SDN 在固移融合场景中的应用	208
6.8	SDN 在企业网络中的应用	209
6.8.1	企业内部组网应用场景	210
6.8.2	大型企业网应用场景	212
6.9	本章小结	214
第 7 章	SDN 产业现状及展望	215
7.1	SDN 产业现状	217
7.1.1	芯片提供商	218
7.1.2	设备和解决方案提供商——传统设备厂商	219
7.1.3	设备和解决方案提供商——创新公司	224
7.1.4	互联网企业和运营商	227
7.1.5	开源项目	229
7.2	SDN 标准化进展	229
7.2.1	ONF	230
7.2.2	ETSI NFV	233
7.2.3	IETF	235
7.2.4	ITU-T	237
7.2.5	CCSA	240
7.3	SDN 的市场化展望	240
7.4	SDN 发展展望	241
	参考文献	245

第 1 章 SDN 技术概述

▮ 1.1 SDN 定义

▮ 1.2 SDN 发展背景

▮ 1.3 SDN 实现方案

▮ 1.4 SDN 核心技术

▮ 1.5 本章小结

SDN 的确切定义是什么？业界众说纷纭，莫衷一是，不同的标准化组织从各自的角度出发给出了相应的参考架构。其中，控制与转发的分离、逻辑上集中的控制、灵活的编程接口开放是大家对 SDN 的普遍共识。SDN 能够在今天引起爆发式的关注，绝非一日之功，在之前众多相关研发工作的基础上，创新业务的需求和 IT 技术的完善促成了 SDN 的瓜熟蒂落。随着 SDN 的应用与推广，多样化的实现方案丰富了 SDN 的内涵，而不同层面上的核心技术则支撑起了整个 SDN 架构。

1.1 SDN 定义

SDN (Software Defined Networking, 软件定义网络) 是一种新兴的基于软件的网络架构及技术，其最大的特点在于具有松耦合的控制平面与数据平面、支持集中化的网络状态控制、实现底层网络设施对上层应用的透明。正如 SDN 的名字所言，它具有灵活的软件编程能力，使得网络的自动化管理和控制能力获得了空前的提升，能够有效地解决当前网络系统所面临的资源规模扩展受限、组网灵活性差、难以快速满足业务需求等问题。

SDN 概念被提出的确切时间和最初起源很难考证清楚，这主要是因为业界一直以来就有很多的研发工作在向着 SDN 的方向努力。但是，在当前来临的这一波 SDN 浪潮中，ONF (Open Networking Foundation, 开放网络基金会) 标准化组织无疑是潮流的引领者，其提出并倡导的基于 OpenFlow 的网络架构首次向业界全面系统地阐释了 SDN 的重要特性，从而成为当前 SDN 发展的重要基础。而随着 SDN 日益获得关注成为网络领域的焦点，其内涵和外延也在不断丰富中，不同的参与者从各自的角度出发提出了很多存在差异的对于 SDN 的理解，因此当前存在着多种多样的 SDN 定义。其中，最具有代表性的除了 ONF 从用户角度出发定义的 SDN 架构外，还有 ETSI (European Telecommunications