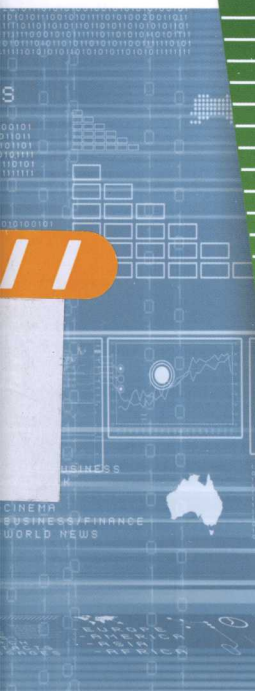


解



SDN

樊勇兵 陈楠 黄志兰 陈天 编著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

解惑 SDN

樊勇兵 陈楠 黄志兰 陈天 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

解惑SDN / 樊勇兵等编著. -- 北京: 人民邮电出版社, 2015. 11
ISBN 978-7-115-40653-8

I. ①解… II. ①樊… III. ①计算机网络—网络结构
IV. ①TP393.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第240615号

内 容 提 要

本书是一本系统介绍SDN的技术普及读物,可帮助读者迅速了解SDN的概况。

全书共分三篇,19个章节。产业篇包括SDN的起源、实质及特征,核心技术及存在问题,SDN产业及主流开源组织等;技术篇包括SDN的整体技术流派与架构,应用与编排,北向接口,控制器,南向接口,Overlay隧道协议,设备及中间件,NFV,运维管理,OpenFlow,ForCES,SDN在数据中心、WAN流量工程、IPv4/v6协议转换等应用场景中的实际应用;实践篇包括OpenStack的部署与应用,OpenDaylight的部署与应用,VMware NSX、ALU Nuage、Juniper Contrail等主流数据中心SDN产品的部署与应用。

本书适合从事SDN技术研发的专业人士、管理者、投资者、网络运营管理人员,且对相关专业高校学生和对SDN技术感兴趣的读者也具有一定参考价值。

-
- ◆ 编 著 樊勇兵 陈 楠 黄志兰 陈 天
责任编辑 李 静 乔永真
责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 27.5 2015年11月第1版
字数: 450千字 2015年11月北京第1次印刷
-

定价: 89.00元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

编 委 会

主编：黄勇军

编委：冯 明 刘健民

序

SDN/NFV 是重新定义未来 5 ~ 10 年先进电信网络的热点技术，2015 年已被专业媒体称为全球 SDN 广域网和 NFV 商业部署元年。电信和 IT 从业者都希望借助先进的 IT 技术成果主导实现从物理到虚拟、从复杂到抽象、从封闭到开放、从静态手动到动态可编程网络的变革，进而推动云网融合与跨界融合，实现电信业从传统的物理连通性服务向以云为中心的服务转型。

实现软件定义的网络是迈向软件定义信息基础设施的必然要求，也是电信业自身践行“互联网+”的重要举措，它既可以发挥互联网在信息基础设施资源的要素配置优化和集成作用，又可以有助于将电信业的服务能力无缝集成到用户的供应链中，通过实现在线化、数据化和自动化，全面提升电信业自身和用户的运作效率。

引入 SDN/NFV，知易行难，不可能一蹴而就，需要卓越的领导力和系统顶层设计能力。实施的方案既要符合企业的战略、商业目标和资源能力，又需要企业的文化和组织架构转型作为前提保障。国际上有实力的电信运营商已经开始探索从主要依赖大型电信设备供应商的科技进步转向提升自身的创意和资源整合能力，从少数大型电信供应商创新模式逐步过渡到集成众多创新软件公司的万众创新模式。中国有着全球规模最大的多厂商电信网络，成功实现软件定义网络也面临着更大的管理和技术挑战。

由于涉及 SDN/NFV 技术的学术机构、标准组织、产业组织和企业众多，产业的技术创新活跃，要量身定做解决方案就需要不断地学习吸收和有效地应用相关的技术成果。为了帮助广大读者了解软件定义网络的相关概念、技术和应用方式，本书年轻的作者们根据自身学习工作中的心得编著了这本《解惑 SDN》。作为《解惑云计算》《解惑大数据》

的姊妹篇，本书反映了作者们对电信业深化转型的技术探索，读者同样可以把本书作为了解软件定义网络相关知识的“小百科全书”来参考。

中国电信集团公司副总经理

2015 年 10 月 30 日

前 言

软件定义网络（Software Defined Network，SDN）无疑是近年来网络界最炙手可热的话题。虽然 SDN 从概念的提出至今已超过 5 年，但是业界对于“SDN 是什么”之争从未停歇，SDN “横看成岭侧成峰，远近高低各不同”，各种观点和流派竟放异彩。

然而，随着产业的深入发展，SDN 将重构未来网络已成为业界共识：SDN 将深刻改变现有网元形态、网络架构，开放用户对网络的控制能力，实现业务与网络的解耦，使得网络变为可池化的资源并能作为服务提供出去。产业链上下游均重金投入参与其中，不同 SDN 解决方案的区别在于它们实现上述共识的路径、方法或利益出发点不同。

本书的编写者来自中国电信广州研究院云计算研究所，是活跃于云计算及 SDN/NFV 等领域的一线技术研发人员。为了帮助读者澄清形形色色的观点和概念，对相关技术有一个系统、深入的理解，并对 SDN 产业形势做出自己的判断，特编撰此书。本书内容贴近实际，翔实全面，力求让初涉 SDN 领域的技术人员以及广大普通读者对 SDN 能有一个完整、深入的认识。与同类书籍相比，本书有如下几个特点。

1. 全书结构严谨，内容上有一定的广度、深度，涵盖了 SDN 的方方面面，十分便于读者按本书之“图”索隐藏之“骥”。

2. 本书不仅有深入浅出的技术介绍，也有鲜明的观点呈现。比如，SDN 核心技术体系及存在问题、控制器哲学、OpenFlow/Overlay SDN 的成熟度与存在的问题等。观点也许是见仁见智的，作者只是希望主观的观点建立在客观的分析基础之上，在当前过热的 SDN 市场中为所有需要的人提供公开的观点碰撞，最终的选择理应由读者自己决定。

3. 本书将技术理论介绍与动手实践相结合，第三篇实践部分结合本书编写组在实际工作中的一些经验，向读者提供了自己动手搭建 SDN 环境及应用主流数据中心 SDN 商用产品的操作手册。

本书由樊勇兵进行统筹，主要编著人员有：樊勇兵、陈楠、黄志兰、陈天、何晓武、刘艺。

SDN 还在不断发展中，由于时间仓促，作者经验有限，书中难免有疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

本书写作组

2015 年 10 月 26 日

致 谢

在这里，首先要感谢中国电信广州研究院院长蔡康先生、中国电信集团公司技术部冯明高级业务督导、中国电信广州研究院副院长黄勇军先生、中国电信广州研究院云计算研究所副所长金华敏先生，是他们支持了本书的编撰。

在本书的出版过程中，我们得到了人民邮电出版社王建军编审、李静编辑的大力支持和帮助，在此向他们表示衷心感谢！

同时，也要感谢业界的专家、学者及技术人员。在与他们的交流、探讨过程中我们的团队丰富了领域知识，加深了对 SDN/NFV 的理解。

还要感谢我们的家人对我们工作的理解与支持！

最后，感谢亲爱的读者您在茫茫书海中选择了本书。希望您能够从中受益。

目录

第一篇 产业篇

第1章 SDN概述	3
1.1 SDN 起源、实质及特征	4
1.1.1 SDN 的起源	4
1.1.2 SDN 的实质	5
1.1.3 SDN 的概念	7
1.1.4 SDN 的特征	9
1.2 SDN 核心技术及存在问题	12
1.2.1 SDN 核心技术	12
1.2.2 SDN 技术现状	15
1.2.3 SDN 技术应用	17
1.2.4 SDN 技术问题	18
1.3 SDN 行业发展情况	19
1.3.1 产业链情况	20
1.3.2 商业进展	20
1.3.3 标准进展	21
1.3.4 开源进展	22
第2章 SDN产业	24
2.1 概述	24
2.2 网络运营商	25
2.2.1 德国电信	25
2.2.2 NTT	26
2.2.3 Verizon	27

2.3	互联网公司	28
2.3.1	Google	28
2.3.2	Facebook	28
2.3.3	腾讯	29
2.3.4	阿里	30
2.4	设备商	30
2.4.1	Cisco	30
2.4.2	Juniper	33
2.4.3	Brocade	34
2.4.4	Alcatel-Lucent	35
2.4.5	华为	36
2.4.6	HP	38
2.4.7	H3C	39
2.4.8	IBM	40
2.4.9	NEC	43
2.5	芯片商	44
2.5.1	Intel	44
2.5.2	Broadcom	45
2.6	软件商	45
2.6.1	VMware	45
2.6.2	Microsoft	47
2.6.3	Oracle	49
2.7	集成商	50
2.8	测试	50
2.8.1	Spirent	50
2.8.2	IXIA	52
2.9	初创公司	52
2.9.1	Arista	52
2.9.2	盛科	53
2.9.3	Big Switch	54
2.9.4	Pica8	55

2.10 学术界	56
2.10.1 Stanford	56
2.10.2 SIGCOMM HotSDN Workshop	57
2.10.3 FINE	58
第3章 开源	59
3.1 SDN 开源组织	60
3.1.1 OpenDaylight	60
3.1.2 ON.LAB	64
3.2 开源 SDN 应用及工具	65
3.2.1 开源 SDN 应用	65
3.2.2 开源 SDN 工具	71
3.3 开源云管理平台	74
3.3.1 OpenStack	74
3.3.2 CloudStack	76
3.4 开源 SDN 控制器	78
3.4.1 NOX/POX	79
3.4.2 Floodlight	80
3.4.3 Ryu	81
3.4.4 OpenDaylight	82
3.4.5 ONOS	85
3.4.6 Trema	87
3.4.7 Beacon	88
3.4.8 Maestro	88
3.5 开源网元硬件及中间件	89
3.5.1 开源硬件	89
3.5.2 开源操作系统及中间件	91
3.6 OpenFlow 交换机	95
3.6.1 OpenFlow Software Switch	95
3.6.2 Open vSwitch	96
3.6.3 Indigo	97
3.6.4 Pantou	98

3.6.5	Lantern	98
3.7	NFV 开源项目	99
	OPNFV	99
3.8	Overlay 开源项目	100
3.8.1	OpenContrail	101
3.8.2	MidoNet	103
3.8.3	OpenDOVE	105
第4章	标准	108
4.1	ONF	108
4.2	IETF	112
4.2.1	TRILL	113
4.2.2	NETCONF 和 NETMOD	114
4.2.3	XMPP	116
4.2.4	FORCES	117
4.2.5	I2RS	118
4.2.6	L2VPN	119
4.2.7	L3VPN	120
4.2.8	NVO3	122
4.2.9	PCE	122
4.2.10	SFC	123
4.2.11	ALTO	125
4.3	ETSI	126
4.4	OCP	127
4.5	ITU-T	129
4.6	CCSA	131

第二篇 技术篇

第5章	应用及编排	135
5.1	SDN 应用现状及发展	135
5.2	网络虚拟化应用	136
5.3	SDN 网络编排技术	138

第 6 章 北向接口	143
6.1 RESTful API	143
6.1.1 技术背景	143
6.1.2 技术原理	144
6.1.3 技术应用	150
6.2 OSGi	152
6.2.1 技术背景	152
6.2.2 技术原理	153
6.2.3 技术应用	156
第 7 章 控制器	158
7.1 一般控制器架构	158
7.2 控制器扩展性问题	161
7.3 控制功能卸载	162
7.4 分布式控制器	163
7.4.1 分布式控制器组网	164
7.4.2 分布式控制器指派方式	165
7.4.3 分布式控制器同步及协同技术	165
7.4.4 控制器东西向接口	167
7.4.5 控制器地理位置优化	167
第 8 章 南向接口	169
8.1 I2RS	169
8.1.1 技术背景	169
8.1.2 技术原理	170
8.1.3 技术应用	172
8.2 XMPP	175
8.2.1 技术背景	175
8.2.2 技术原理	176
8.2.3 技术应用	179
8.3 PCE	180
8.3.1 技术背景	180
8.3.2 技术原理	180

8.3.3 技术应用	186
8.4 OVSDB 管理协议	188
8.4.1 技术背景	188
8.4.2 技术原理	189
8.4.3 技术应用	191
8.5 NetCONF	195
8.5.1 技术背景	195
8.5.2 技术原理	195
8.5.3 技术应用	202
第 9 章 Overlay 隧道协议	204
9.1 VXLAN	204
9.1.1 技术背景	204
9.1.2 技术原理	205
9.1.3 技术应用	208
9.2 NVGRE	210
9.2.1 技术背景	210
9.2.2 技术原理	211
9.2.3 技术应用	214
9.3 STT	214
9.3.1 技术背景	214
9.3.2 技术原理	215
9.3.3 技术应用	216
9.4 Geneve	217
9.4.1 技术背景	217
9.4.2 技术原理	217
9.4.3 技术应用	221
第 10 章 网元硬件及中间软件	222
10.1 商品化硬件设备	222
10.1.1 OCP 交换机硬件规范	223
10.1.2 裸机交换机及白牌交换机	224
10.2 中间软件	227

10.2.1	开放网络安装环境	227
10.2.2	OCP 交换机的硬件编程接口	228
10.2.3	OCP 交换机的抽象接口规范	230
10.2.4	基于 Linux 的网络操作系统	231
第 11 章	NFV	237
11.1	NFV 概述	237
11.2	NFV 技术架构	238
11.3	NFVI	240
11.3.1	Virtio	241
11.3.2	SR-IOV	242
11.3.3	DPDK	243
11.3.4	DDIO	245
11.4	VNF	247
11.5	MANO	248
第 12 章	运维管理	252
第 13 章	OpenFlow	255
13.1	OpenFlow 架构	255
13.2	OpenFlow 交换机规范	256
13.2.1	端口	260
13.2.2	流表	261
13.2.3	组表	263
13.2.4	计量表	264
13.2.5	计数器	264
13.2.6	指令和动作	265
13.2.7	OpenFlow 通道	266
13.3	OpenFlow 接口协议	266
13.4	OF-Config	269
13.5	OpenFlow 面临的技术难点	274
13.5.1	转发面	275
13.5.2	控制面	278
13.5.3	标准	280

13.5.4 运维管理	281
13.5.5 部署	281
第14章 ForCES	282
14.1 技术背景	282
14.2 技术原理	282
第 15 章 SDN 的几个典型应用场景.....	285
15.1 数据中心	285
15.1.1 数据中心网络面临的挑战	285
15.1.2 基于 OpenFlow 协议的解决方案	286
15.1.3 基于叠加网的解决方案	287
15.2 WAN 流量工程	288
15.2.1 WAN 流量工程面临的挑战	288
15.2.2 基于 SDN 的 WAN 流量工程.....	292
15.2.3 Google B4 流量工程实践	295
15.3 IPv4/IPv6 协议转换	299
15.3.1 IPv4/IPv6 协议转换问题.....	299
15.3.2 基于 OpenFlow SDN 的 IPv4/IPv6 协议转换方案	300

第三篇 实践篇

第16章 基于开源平台的网络虚拟化应用.....	305
16.1 实验环境	306
16.2 OpenStack 控制节点的安装及配置	307
16.2.1 操作系统	307
16.2.2 MySQL 数据库服务	308
16.2.3 RabbitMQ 消息服务	309
16.2.4 Identity 认证服务	309
16.2.5 Glance 镜像服务	310
16.2.6 Nova 计算服务	311
16.2.7 Cinder 块存储服务	313
16.2.8 Neutron 网络服务	314
16.2.9 配置 ML2.....	319