

构建OpenFlow网络应用的绝佳指南，使用OpenFlow平台和开发工具的第一手经验
既深入浅出讲解OpenFlow的基本构件，又详细介绍网络应用实现的技术细节，是实际
动手构建SDN的必备参考

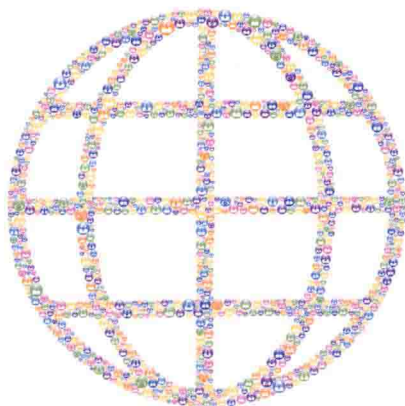
Software Defined Networking with OpenFlow

软件定义网络

基于OpenFlow的SDN技术揭秘

Siamak Azodolmolky 著

徐磊 译



机械工业出版社
China Machine Press

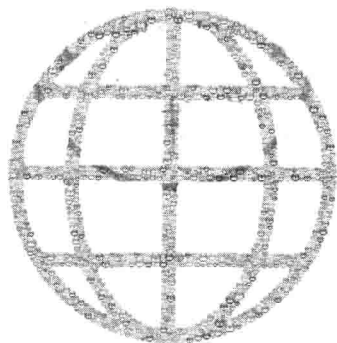
Software Defined Networking with OpenFlow

软件定义网络

基于OpenFlow的SDN技术揭秘

Siamak Azodolmolky 著

徐磊 译



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

软件定义网络: 基于 OpenFlow 的 SDN 技术揭秘 / 阿泽多摩利克 (Azodolmolky, S.) 著; 徐磊译. —北京: 机械工业出版社, 2014.6

(华章程序员书库)

书名原文: Software Defined Networking with OpenFlow

ISBN 978-7-111-46808-0

I. 软… II. ①阿… ②徐… III. 计算机网络—网络结构 IV. TP393.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 106814 号

本书版权登记号: 图字: 01-2014-2033

Software Defined Networking with OpenFlow (ISBN: 978-1-84969-872-6).

Copyright © 2013 Packt Publishing. First published in the English language under the title “Software Defined Networking with OpenFlow”.

All rights reserved.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2014 by China Machine Press.

本书中文简体字版由 Packt Publishing 授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

软件定义网络: 基于 OpenFlow 的 SDN 技术揭秘

Siamak Azodolmolky 著

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: 陈佳媛

印 刷: 三河市宏图印务有限公司

版 次: 2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 147mm × 210mm 1/32

印 张: 5.5

书 号: ISBN 978-7-111-46808-0

定 价: 39.00 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

译者序

自 Internet 商业化以来，互联网上的数据流量在规模和种类上呈爆炸式增长，为了应对多用户和多业务（包括关键业务）流量对网络功能和性能的挑战，人们在承担数据交换和转发任务的网络设备上叠加了越来越多的技术元素：虚拟局域网（VLAN）、虚拟专网（VPN）、区分服务（DiffServ）、多协议标记交换（MPLS）、流量工程（TE）、网络地址转换（NAT）、防火墙策略等。网络单元特别是骨干交换机和路由器的软硬件结构日益复杂化，增加了网络管理和资源调度的难度，建立在这些网元节点上的 VPN、QoS、流量工程等全局策略的部署变得更加艰巨，不仅要受制于设备厂商提供的解决方案，还要使用设备级的管理工具逐节点地进行配置。传统网络这种控制平面上的复杂性以及它与物理设备的绑定除了带来实施和运维方面的开销，还限制了网络体制的灵活性和可扩展性。

另一方面，随着云计算业务和新型数据中心的兴起，数据中心内部、数据中心之间以及数据中心与外部网络之间的数据流量也呈现出新的特征：基于虚拟机节点的横向流量的大幅度增加、并行计算产生的高速的海量数据交换、虚拟机迁移所要求的寻址和名空间的一致性、多租户网络所要求的逻辑隔离和资源配置、上层应用对网络资源

按需分配和动态化调度的要求，都使得传统的网络架构面临极大的挑战。新的应用场景呼唤一种动态的、细粒度的、可编程的、自动化的网络资源管理能力和相应全局视图，由此催生了创新网络架构的问世。

软件定义网络（SDN）及其使能技术 OpenFlow 是目前业界关注的热点之一，其精髓不仅仅在于将控制平面与数据转发平面分离，还在于开放的南向接口和北向接口，更在于构建在网络抽象层上的集中控制能力和网络虚拟层上的资源配置能力；其强大功能还得益于虚拟化技术：计算虚拟化、存储虚拟化从源头和实现机制上推动了网络虚拟化的发展，三者紧密结合，相得益彰。

SDN 和 OpenFlow 的理念和相关实践就是在上述背景下得到了迅速的发展和繁荣。从 2008 年美国斯坦福大学 Nick McKeown 教授的 clean slate 项目研究团队首次提出 OpenFlow 的概念，到 2012 年 ONF 发布 SDN 白皮书（Software Defined Networking：The New Norm for Networks），短短几年，SDN 及 OpenFlow 技术已经得到长足发展，并完成了从实验平台向业务网络部署的重大跨越。2012 年 4 月的开放网络峰会上，谷歌宣布已在其承载全球 12 个数据中心之间流量的内部骨干网 G-scale 上全面采用了 OpenFlow/SDN 解决方案，通过定制的 OpenFlow 交换机、多控制器和集中的流量工程模型，使骨干网链路的带宽利用率从 30% 提升到 95%。2012 年 7 月，SDN 和 OpenFlow 技术的先驱 Nicira 公司以 12.6 亿被 VMware 收购。2013 年 4 月的开放网络峰会上，eBay 介绍了其采用 Nicira 网络虚拟化产品的云数据中心解决方案，微软也报告了 Windows Azure 的基于 SDN 架构的虚拟化网络。人们终于看到学术界和业界在重塑互联网（Reinvent the Internet）方面的努力已经开花结果。SDN 和 OpenFlow 引领着新一代网络架构的创新发展方向已是不争的事实。

与此同时，越来越多的网络从业者、研究人员、网络开发人员和

学生开始关注 SDN 和 OpenFlow 技术，并开始自己的实践之旅。因此，Siamak Azodolmolky 所撰写的《Software Defined Networking with OpenFlow》一书于 2013 年 10 月出版正好满足了读者的迫切需求。

就像作者所说的那样，这本书的定位是 SDN 与 OpenFlow 指南，因此，书中没有技术决策层面的宏大叙事，它更像是为即将开始 SDN 与 OpenFlow 之旅的实践者提供的一幅路线图，引导读者从 OpenFlow 入门知识开始，由浅入深地了解 SDN 生态体系中的 OpenFlow 交换机、OpenFlow 控制器，学习使用虚拟化的 Mininet 网络仿真工具，搭建和测试 OpenFlow 实验网；掌握如何通过 OpenFlow 控制器的北向 API 进行网络应用的开发；通过 FlowVisor 操练网络虚拟化实战；透视云计算的 OpenStack 架构，探索 OpenStack Neutron 的云组网功能。

开源项目对 SDN/OpenFlow 发展的贡献是不言而喻的，除了重点介绍 NOX、Floodlight、OpenDaylight、FlowVisor 等主流 SDN/OpenFlow 开源软件及其使用，这本书还在最后一章为读者整理了一份重要的开源项目资源清单，包括 OpenFlow 软交换机、控制器、虚拟化工具、业务流程工具以及模拟和测试工具。因此，本书很适合作为 SDN 与 OpenFlow 实战的入门指南，衷心希望这本译作能够有助于读者的 SDN/OpenFlow 实践之旅。

译文中的错误和不当之处，敬请读者指正。

徐磊

2014 年 4 月

前 言

将网络管理功能从网络设备中分离出来是软件定义网络（Software Defined Networking, SDN）的基本特征。SDN 是计算机网络模式的一个新的转变，它意味着将网络的控制功能（即控制平面）与数据转发功能（即数据平面）相分离，而且所分离出来的控制部分是可编程的。这种控制逻辑的迁移使得下层网络互连基础设施能够从应用层面上抽象出来，之前的控制逻辑是紧密集成到网络设备（如以太网交换机）中的，现在则转变为可访问的逻辑意义上的集中式控制器。这一分离为构建一个更灵活的、可编程的、与厂商无关的、高性价比的、创新的网络架构铺平了道路。

除了网络的抽象化，SDN 架构也将提供一组应用编程接口（Application Programming Interface, API），使得常用网络服务的实现更为简便，这些服务涉及路由、多播、安全、访问控制、带宽管理、流量工程、QoS、能效管理以及各种策略管理等。因此，企业、网络运维人员和运营商将在可编程能力、自动化和网络管理方面获得前所未有的全新体验，使他们得以构建灵活的、高度可扩展的网络，以适应不断变化的业务需求。

OpenFlow 是第一个专为 SDN 设计的标准接口，它提供了能

够跨多种网络设备的高性能的、精细的流量控制。本书将介绍有关 OpenFlow 的基础知识，它是 SDN 概念的早期实现方案之一。首先从 OpenFlow 交换机和控制器讲起，然后介绍基于 OpenFlow 的网络应用（Net App）开发、网络虚拟化、云计算中的 OpenFlow，以及与 OpenFlow 有关的一些活跃的开源项目的概览。如果你还觉得不过瘾，本书还会告诉你怎样利用 OpenFlow 构建 SDN。

本书内容

第 1 章 OpenFlow 概述。介绍 OpenFlow 及其在 SDN 生态系统中的作用，以及 OpenFlow 在计算机网络中的工作原理。该章介绍实际动手搭建实验环境之前的预备知识，内容包括：流的概念、流的转发、OpenFlow 的功能、OpenFlow 表的功能以及 OpenFlow 的特点和局限性。

第 2 章 OpenFlow 交换机的实现。内容包括：现有的 OpenFlow 交换机实现方案，包括硬件和软件的实现。

第 3 章 OpenFlow 控制器。该章介绍作为 OpenFlow 交换机控制实体的 OpenFlow 控制器的作用，以及为 OpenFlow 网络应用（Net App）开发所提供的 API（即所谓的北向接口[⊖]）。

第 4 章 环境的搭建。介绍 OpenFlow 交换机和控制器的各个选项，也介绍网络应用的开发环境。该章重点介绍虚拟机（VM）的安装和一些工具（如 Mininet 和 Wireshark），这部分知识将在第 5 章介绍网络应用开发时用到。

第 5 章 网络应用开发。通过网络应用样例（如学习型交换机和防火墙）的开发来展示 OpenFlow 如何为网络应用的开发提供通用的

⊖ 北向接口（northbound interface）指控制层与上面应用层之间的接口；而南向接口则指控制层与下面转发层的接口，与“上北下南”的提法吻合。——译者注

基础。

第 6 章 网络分片的获取。介绍如何利用 OpenFlow 和 FlowVisor 对网络进行切分。该章将具体规划一个网络，使读者能够了解如何利用 FlowVisor 来配置和使用网络分片。

第 7 章 云计算中的 OpenFlow。重点是 OpenFlow 在云计算中的作用，并将特别介绍 OpenStack 的 Neutron 的安装和配置，Neutron 是一个 OpenStack 的孵化项目，它为接口设备（如 vNIC 或称虚拟网络接口卡）之间提供网络连接层面的云服务（Network connectivity as a Service, NaaS），这种服务通过 OpenStack 的其他服务进行管理。

第 8 章 开源资源。为网络工程师和网络管理人员介绍一些重要的开源项目资源，并给出资源的链接，这些资源可以用于他们的实际工作环境。这些项目包括 OpenFlow 软交换机、控制器、虚拟化工具、业务流程工具以及模拟和测试工具。

阅读本书前的准备

读者应具备一定的网络经验和知识，掌握 TCP/IP、以太网及广泛的网络概念，熟悉网络日常运维工作，具有高级语言或者脚本语言（如 C/C++、Java 或者 Python）的编程经验。如果具备一定的虚拟机和其他虚拟网络环境的经验也会有所帮助。同时，读者还需要有一台计算机，内存不小于 1GB（最好大于 2GB），有不少于 10GB 的可用硬盘空间。此外，采用速度较快的处理器将加快引导时间，采用较大的显示器有助于管理多终端窗口。当然，还需要有因特网连接，以便于下载各种实用工具和 VM 映像。

读者对象

尽管本书内容涵盖了 OpenFlow 的基本构件，以及利用 OpenFlow 实现 SDN 方面的内容，但是我们并没有把本书定位为一本

参考书，而是把它作为 OpenFlow 和 SDN 的指南。网络工程师、网络管理人员、系统软件开发人员、网络应用开发人员，以及任何希望更多了解 OpenFlow 的人士，都可以阅读本书。

约定

在本书中，当某段代码需要引起读者注意时，我们会用粗体字表示相应的项和代码行：

```
attrs = {}  
attrs[core.IN_PORT] = inport  
attrs[core.DL_DST] = packet.dst
```

在本书中，还存在如下两种体例：



警告或者重要提示放在这样的图标后。



窍门和技巧放在这样的图标后。

勘误表

尽管我们努力确保图书内容的准确性，但是仍难免会有疏忽错误之处，若读者发现书中文字或者代码有误，欢迎不吝赐教，我们将不胜感激，因为这将有助于减少其他读者由于错误造成的困惑，同时帮助我们改进图书后续版本。若发现任何错误，请向我们报告，可以访问网站 <http://www.packtpub.com/submit-errata>，选中该书名称，单击链接 [errata submission form](#)，然后输入详细错误信息。错误一经核实，你的意见将会被采纳，所提交的勘误信息将上传到我们的网站，或者添加到该书的勘误表中。通过访问链接 <http://www.packtpub.com/support>，就可以查看到该书已有的勘误信息。

目 录

译者序

前 言

第 1 章 OpenFlow 概述 / 1

1.1 理解软件定义网络——OpenFlow 特色 / 2

1.2 有关 SDN/OpenFlow 的工作 / 4

1.3 SDN 的基本构件 / 5

1.4 OpenFlow 消息 / 13

1.4.1 控制器到交换机的消息 / 14

1.4.2 对称消息 / 18

1.4.3 异步消息 / 18

1.5 北向接口 / 20

1.6 本章总结 / 21

第 2 章 OpenFlow 交换机的实现 / 23

2.1 OpenFlow 参考交换机 / 24

2.1.1 异步消息 / 28

- 2.1.2 对称消息 / 29
- 2.2 硬件实现 / 29
- 2.3 基于软件的交换机 / 30
- 2.4 用 Mininet 搭建 OpenFlow 实验环境 / 32
 - 2.4.1 Mininet 入门 / 33
 - 2.4.2 Mininet 实验 / 36
- 2.5 本章总结 / 41

第 3 章 OpenFlow 控制器 / 43

- 3.1 SDN 控制器 / 44
- 3.2 已有的实施方案 / 47
 - 3.2.1 NOX 和 POX / 47
 - 3.2.2 运行一个 POX 应用 / 49
 - 3.2.3 NodeFlow / 57
 - 3.2.4 Floodlight / 60
- 3.3 OpenDaylight / 62
- 3.4 本章总结 / 64

第 4 章 环境的搭建 / 65

- 4.1 理解 OpenFlow 实验 / 66
 - 4.1.1 外部控制器 / 70
 - 4.1.2 完成 OpenFlow 实验 / 71
- 4.2 OpenDaylight / 76
 - 4.2.1 ODL 控制器 / 77
 - 4.2.2 基于 ODL 的 SDN 实验 / 80
- 4.3 本章总结 / 85

第 5 章 网络应用开发 / 87

- 5.1 网络应用 1——学习型以太网交换机 / 88
- 5.2 网络应用 2——简单的防火墙 / 97
- 5.3 网络应用 3——OpenDaylight 的简单转发 / 101
- 5.4 本章总结 / 103

第 6 章 网络分片的获取 / 105

- 6.1 网络虚拟化 / 106
- 6.2 FlowVisor / 107
 - 6.2.1 FlowVisor API / 109
 - 6.2.2 FLOW_MATCH 结构 / 111
 - 6.2.3 分片操作结构 / 113
- 6.3 FlowVisor 切分 / 113
- 6.4 本章总结 / 120

第 7 章 云计算中的 OpenFlow / 121

- 7.1 OpenStack 和 Neutron / 122
- 7.2 OpenStack 的组网架构 / 126
- 7.3 Neutron 插件 / 130
- 7.4 本章总结 / 134

第 8 章 开源资源 / 137

- 8.1 交换机 / 138
 - 8.1.1 Open vSwitch / 138
 - 8.1.2 Pantou / 141
 - 8.1.3 Indigo / 142
 - 8.1.4 LINC / 143
 - 8.1.5 XORPlus / 143

- 8.1.6 OF13SoftSwitch / 145
- 8.2 控制器 / 146
 - 8.2.1 Beacon / 146
 - 8.2.2 Floodlight / 146
 - 8.2.3 Maestro / 148
 - 8.2.4 Trema / 149
 - 8.2.5 FlowER / 150
 - 8.2.6 Ryu / 150
- 8.3 其他 / 151
 - 8.3.1 FlowVisor / 151
 - 8.3.2 Avior / 153
 - 8.3.3 RouteFlow / 154
 - 8.3.4 OFlops and Cbench / 155
 - 8.3.5 OSCARS / 156
 - 8.3.6 Twister / 157
 - 8.3.7 FortNOX / 157
 - 8.3.8 Nettle / 158
 - 8.3.9 Frenetic / 158
 - 8.3.10 OESS / 158
- 8.4 本章总结 / 158

第 1 章

OpenFlow 概述

- 1.1 理解软件定义网络——OpenFlow 特色
- 1.2 有关 SDN/OpenFlow 的工作
- 1.3 SDN 的基本构件
- 1.4 OpenFlow 消息
- 1.5 北向接口
- 1.6 本章总结

为了让读者更好地理解 OpenFlow 的功能及其组成部分，了解如何利用它开发基于 OpenFlow 的网络应用，有必要简单介绍一下 OpenFlow 及其工作原理。在真正搭建支持 SDN/OpenFlow 的实验和开发环境之前，本章首先介绍所需要的知识。OpenFlow 可以说是 SDN 概念的早期实现方案之一，所以，在了解 OpenFlow 之前，有必要先简单介绍一下 SDN 以及围绕 SDN 所展开的工作。

1.1 理解软件定义网络——OpenFlow 特色

软件定义网络（Software Defined Networking, SDN）通常被认为是计算机网络领域中的创新概念，其目标是极大地简化网络控制和管理，通过网络的可编程性引导创新。通常，计算机网络的构建依赖于大量的网络设备（如交换机、路由器、防火墙等），以及在设备中嵌入实现的复杂网络协议（软件）。网络工程师负责配置各种策略，以应对各种各样的网络事件和应用场景。他们需要手工地将这些高层策略转换为低层的配置命令，这些繁杂的任务通常只能通过有限的工具完成，使得网络管理控制和性能调优任务总是带有挑战性并易于出错。

另一个网络工程师和研究人员常常提到的挑战是因特网的固化机制。庞大的因特网基础设施和它对我们生活诸多方面所带来的影响，使得因特网无论是在物理基础设施方面，还是在相关的协议及性能方面，都极难发展进步。随着因特网上新兴的强大应用越来越趋于复杂化，现有的因特网机制在应对这些新的挑战时便显得力不从心。

可编程网络的概念是作为一种促进网络进化的途径而提出的，特别是 SDN，它是一种新的网络模式，把执行转发的硬件部

分（例如专用的包转发引擎）从控制决策部分（如协议和控制软件）中分离出来。这种控制逻辑的迁移，使得下层网络互连基础设施能够从应用层面上抽象出来，而以前的控制逻辑是紧密集成到网络设备（如以太网交换机）中的，现在则转变为逻辑上集中的可访问的控制器。这一分离提供了一个更灵活的、可编程的、与厂商无关的、高性价比的创新网络架构。除了网络的抽象化，SDN 架构也将提供一组应用编程接口（Application Programming Interface, API），使得常用网络服务的实现更为简便，这些服务涉及路由、多播、安全、访问控制、带宽管理、流量工程、QoS、能效管理以及各种策略管理等。从逻辑意义上看，SDN 中的网络智能被集中到了基于软件的控制器（在控制平面）中，而网络设备变成了简单的数据包转发设备（数据平面），并可以通过开放接口对它进行编程。这种开放编程接口的早期实现之一便是 OpenFlow。

将转发硬件从控制逻辑中分离出来，能够简化新型协议和应用的部署，直接进行网络的虚拟化和管理，并且能够把各种中间构件整合到软件实现的控制中。通过精简网络，简化了转发硬件和负责决策的网络控制器，而不用在错综复杂的分散的设备中去实施策略和执行协议。

负责转发功能的硬件包含以下两部分：

1. 一个包含流记录（flow entry）[⊖]的流表（flow table），流记录由用于匹配当前流的规则和所采取的具体操作构成。
2. 一个传输层协议，用于与控制器进行安全传输，以传递没有记录在当前流表中的新记录。

⊖ 一条流记录中保存了对某个特定流的定义以及对应的处理规则，像数据库表中的记录一样，流记录由多个数据项组成。——译者注