



Cloud Data Center Networking and SDN
Technical Design and Implementation

云数据中心网络 与SDN

技术架构与实现

张晨 编著

16位业界大咖联袂审校并推荐，提纲挈领式地梳理了行业发展的来龙去脉，深入地剖析了相关技术与产品的实现精髓

云数据中心网络技术全面覆盖，包括传统技术方案演进、商用与开源SDDCN方案、相关领域的学术研究，以及容器与融合等新型业务等



机械工业出版社
China Machine Press

云计算与虚拟化技术丛书

Cloud Data Center Networking and SDN
Technical Design and Implementation

常州大学图书馆
藏书章

云数据中心网络 与SDN

技术架构与实现

张晨 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

云数据中心网络与 SDN：技术架构与实现 / 张晨编著. —北京：机械工业出版社，2018.2
(2018.5 重印)

(云计算与虚拟化技术丛书)

ISBN 978-7-111-59121-4

I. 云… II. 张… III. ①计算机网络 - 数据处理 ②计算机网络 - 网络结构 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 023513 号

云数据中心网络与 SDN：技术架构与实现

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：高婧雅

责任校对：李秋荣

印 刷：北京诚信伟业印刷有限公司

版 次：2018 年 5 月第 1 版第 2 次印刷

开 本：186mm×240mm 1/16

印 张：34.5

书 号：ISBN 978-7-111-59121-4

定 价：119.00 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) 88379426 88361066

投稿热线：(010) 88379604

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱：hzit@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

华章IT
HZBOOKS | Information Technology



About the Reviewer 技术审校

龚永生 社区绰号“大师兄”，浙江九州云 CTO，OpenStack Neutron 发起人之一，OpenStack NFV 编排器项目 Tacker PTL 及 ONOS、OpenDaylight、CORD 项目参与者和培训讲师。

张卫峰 盛科网络 SDN 白牌交换机 CTO，在数通领域从业 16 年，熟悉交换芯片到路由交换协议，参与了盛科网络每个 SDN 商业案例的落地，也是《深度解析 SDN》一书作者。

杨文嘉 美国 Arista 网络公司高级服务工程师，擅长大规模 IP/MPLS 电信运营商级别网络的规划设计、实施与排错，在为 AT&T、中国电信、BMW 公司、花旗集团、Freddie Mac 等公司设计和实施运营商网络，数据中心网络和企业网络方面积累了超过 17 年的丰富经验。

本书赞誉 *Praise*

随着“互联网+”的蓬勃发展以及云计算、大数据、人工智能等新兴技术的深入应用，云数据中心的价值日益突显，已成为整个社会的重要基础设施之一。本书针对云数据中心的场景，深入回顾了数据中心网络技术和软件定义网络技术的前世今生，在介绍和剖析关键技术的同时，重点分享了VMware、Cisco等公司的很多案例以及技术创新背后的故事。我相信，本书将会帮助读者更加深入地理解数据中心网络和SDN技术的本质，也将对未来数据中心网络的发展思考有所启发。

——黄韬，北京邮电大学教授，江苏省未来网络创新研究院副院长

当前，SDN技术发展得如火如荼，云数据中心正是SDN的主战场之一。作者以其丰富的行业经验和扎实的工作基础，向读者系统地展示了SDN及其附属技术在云数据中心的应用情况。作者还以其独特的视角进一步对众多技术的产生和演进历程做了分析和介绍。相信作者多年积累的深厚网络功底以及他对SDN和云数据中心方向的跟进与研究一定能给读者带来全新的视野。

——毕军，清华大学网络研究院网络体系结构研究室主任，长江学者特聘教授

SDN自诞生之日就饱受争议，从其架构的集中式、分布式之争，到何为SDN、广义狭义之争，SDN似乎一直在人们多样的眼光中生存和发展。有幸能够读到本书，从本书作者对SDN及云数据中心网络技术全面深刻的理解、对产业发展的独到见解，乃至对网络架构与产业的前景展望，都足以看出作者深厚的技术功底。未来网络的发展是由IT和CT深度融合所推动的，作者长期以来在运营商、设备商以及开源领域的积累，也使得本书在每一个知识点上都能够恰到好处地切中要害。看得出来，本书是作者倾其全力、认真雕琢的好书。全书读

下来，酣畅淋漓，受益匪浅，又似乎有着说不完的共同语言，每每看到思维火花的碰撞，总希望能与作者当面切磋。希望本书能成为 SDN 领域的经典之作，带给业界同仁更多的思考与感悟。

——孙琼，中国电信北京研究院 SDN 技术研发中心主任

数据中心是 SDN 最典型的应用场景，正是在数据中心的成功落地将 SDN 推向了更广阔的应用领域。本书介绍了数据中心的网络技术发展历程，并重点分析了 SDDCN 相关的技术、产品、解决方案与开源项目。全书内容系统、丰富，从过去到现在，从组网设计到技术细节，从研究到开发，具有重要的学习与参考价值。能够如此有点有面地展现云数据中心网络这一特定场景的全貌，对于 SDN 这样一个新的技术来讲，是相当不容易的。另外，本书的内容来源于作者的亲身点滴积累，加之文笔流畅，让读者能够自然、清晰地了解技术的来龙去脉和实质内容，而且在行文的过程中还穿插了大量的观点，新颖并且很有启发。从方方面面来看，这都是一本诚意之作，绝对不容错过。

——黄璐，中国移动研究院网络所承载网技术经理

伴随着近年来互联网的高速发展，云数据中心也进入发展高峰，SDN 技术恰恰迎合了云数据中心的发展需求。本书从多个角度对云数据中心网络、SDN、SDDCN 的技术原理与解决方案进行深入的介绍和分析，内容全面，无论是刚接触数据中心网络的技术爱好者，还是数据中心研发人员、网络架构师、系统运维人员以及产品经理，都能在阅读的过程中获益。

——徐雷，中国联通研究院云计算研究中心主任

云数据中心需要与之相适应的“云计算网络”，网络虚拟化正成为变革传统网络的高地，网络的价值正不可阻挡地向软件转移。本书全面回顾了数据中心网络技术的演进，以通俗的语言讲清楚了“SDN 是什么、不是什么”以及“SDN 能做什么”，客观地介绍了主流商用 SDN 方案和多个开源平台，对于 SDN 初学者和专业人士来说都是一本佳作。

——叶逾健，VMware 大中华区网络和安全产品销售总监

与张晨相识在 SDN 用户组，并参加了他的《SDN 控制器架构分析》在线分享。为这个年轻作者具备的技术洞察力赞叹不已。随着 SDN 的引入，给传统数据中心网络 Underlay/Overlay 体系架构带来了深刻的影响。网络行业螺旋上升式发展，层出不穷的各种 SDN 控制器方案所解决的问题无外乎如何用软件来定义系统的管理 / 控制 / 转发平面逻辑。戏法人人会

变，各有巧妙不同。对于广大读者来讲，如何在纷纭杂沓的各种技术中快速去芜存菁，找到适合的 SDN 技术来解决现实的网络问题呢？本书从数据中心 CLOS 架构开始讲起，逐步深入浅出、抽丝剥茧地介绍各种最新前沿技术，涵盖了 Underlay 的各种技术，也谈到 Overlay 的各种开源项目 ODL/ONOS 和商用 SDN 控制器，比如 VMware NSX、Cisco APIC、Juniper Contrail 等。难能可贵的是，本书对各种容器、超融合新技术也进行了详细的介绍。本书对网络工作者深入理解数据中心最新网络架构和 SDN 的种种解决方案大有裨益。作为网络行业 18 年从业者，强烈推荐本书。

——马绍文，Juniper 亚太区产品总监

最近有幸拜读张晨的这本书。文笔流畅，覆盖面广泛，从 2003 年的 ForCES 讲到近期的 OpenFlow、ODL、ONOS、Neutron 等。看了前面两章后就一口气读了下来。作者对 SDN 的来龙去脉做了很全面的阐释，同时覆盖了各大厂商和开源组织的解决方案，确实是一本深入了解 SDN 的必读之作。很难得的是作者不光只讲网络，而是从相关业务和应用方面等切入，例如虚拟化、容器、RoCE 等，把 SDN 的发展趋势讲得很通俗易懂。除了广度以外，作者对技术的深度也很有要求，例如白盒方案里面涉及芯片的 SDK 和 API 开发，SONiC 基于 SAI 的设计实现等。总而言之，我觉得无论是传统网工，还是 SDN 程序员，或者是管理层，都可从此书中获得启发和灵感。

——池惠澄，Arista Networks 大中华区工程师经理

本书作者凭借阅读各个厂家的技术白皮书，钻研开源代码和其他官方介绍总结出各类技术和产品的精髓。书中所涉及的数据中心网络相关技术不光在广度上涵盖了行业中几乎所有厂商，更在技术深度上进行了充分挖掘整理。本书最难能可贵的地方在于，作者跳出了技术本身，站在一个更高的高度上对整个行业的来龙去脉进行了准确且深入的梳理，本书无疑会成为数据中心从业人员必读的佳作。

——蒋刊哲，BigSwitch 大中华区总经理

市面上 SDN 之类书籍已经不少，但专注于数据中心场景的这还是第一本。本书兼顾广度和深度，并对大量相关商用开源实战性技术体系做了系统的归纳、分析与点评，是 SDN 数据中心用例的精品指南，也是相关从业者不可或缺的案头常备参考书。

——张宇峰，互联港湾 CTO

本书介绍了数据中心网络技术的演进，对 SDN 在云数据中心网络中如何应用进行了完整、详细的阐述。内容上不仅包括各类网络技术分析，还具有很强的实践性，对数据中心网络基础架构目前所采用的主流产品、技术方向进行了深入研究总结。本书所涉及的网络、SDN 技术涵盖了在实践中广泛应用的商用产品、开源项目，对于从事数据中心网络相关开发、运维、架构师或相关工作人员都是有益的参考资料。

——张天鹏，云杉网络 CTO

本书可谓业界目前最系统、全面的阐述云数据中心网络的中文书籍，从工业界到学术界，从开源软件到厂商方案都有涉及。前面从网络的演进展示了业界对云数据中心网络设计从模糊到成熟的过程，后面对厂商当前的主推方案与流行的开源控制器、IaaS、容器等进行深入解读，一次性把所有“云数据中心”的话题整合到了一本书里，可供初学者按图索骥，可供产品经理“知己知彼”，可供架构师“兼权尚计”，是一本不可多得的“云网综述”。

——王为，ZStack 网络研发总监

SDN 作为当今 IT 领域炙手可热的行业趋势之一，有很多种不同的解读，名字里虽然没有“云”，却比云计算更加“云里雾里”。我非常高兴，因为我终于看到了本书即将面世。本书作者是 SDN 圈子里资深的网络专家，多年笔耕不辍，分享了大量的技术文章。这次他将自己学习与工作中的积淀，切入 SDN 这个具体的行业应用场景，并系统化地总结成书，我相信本书定能帮助相关从业者提纲挈领般理解 SDN，并能以不变应万变对浩瀚 SDN 知识海洋中的每一个碎片化知识清晰地定位。

——张华，Canonical 全栈软件工程师，OpenStack 早期代码贡献者

前言 Preface

为什么要写这本书

这本书的写作前前后后花了两年多的时间，我曾无数次地想过会有那么一个周末的下午，洋洋洒洒地写着前言，每念及于此，总有一种激扬文字、挥斥方遒的感觉。到了这一天，酝酿多时后坐在桌前，先是写了一些行业点评，虽然气势磅礴但不够接地气，反反复复地修改却始终没能令自己满意。最后想着，反正写前言就是在和读者聊天，也没有必要给书里的内容扣个大大的帽子，倒不如来说说情怀、谈谈理想，就当是给自己这几年的青春做一个注脚吧。

最开始其实并没有写书的打算，做研究的动力一方面是来源于对网络技术的兴趣与热爱，另一方面，坦白讲，那个时候在数据中心网络这块想到了一些新的点子，希望能够借着 SDN 的东风把想法做成实打实的产品。于是，最初是带着做调研的想法，开始对云数据中心 SDN 的技术与产品进行梳理。没有想到的是，这调研一做竟是两年多的时间，这两年里既看到了很多原来自己并不了解的技术，数次感叹于知识海洋的广袤无垠，也目睹了自己的一些想法被别人进行了变现，无奈地明白做产品需要分秒必争。

确立写书的想法是在 2016 年，实际上当时 SDN 圈子的风潮已经开始从云数据中心转向了企业级广域网，各路厂商、创业公司和媒体都已经开始围着 SDWAN 的概念在转了。和业界的一些同行聊过之后，其中有一部分人认为云数据中心的网络已经没什么值得研究的了。听多了类似的说法，给我个人的感觉是：SDN 的出现既让网络这个圈子变得时髦，又让圈子里的人变得浮躁。于是，我决定把调研的内容写成一本书，希望能够使读者了解到，数据中心 SDN 在技术上还远远没有达到标准化，在产品上还有较大的提升空间，很多同行仍然在全力地投身于相关技术的演进和产品的迭代中。跟随先进的理念固然重要，但是踏踏实实地做

事才是行业能够得以长久发展的关键。

本书还有另外一个出发点，是由于传统网络与 SDN 的纠葛长久以来都没能真正化解开来，很多人还是抱着非此即彼的错误观点。因此本书在介绍各个 SDN 技术和产品的时候，都会力争把控制和转发的逻辑说清楚，能分析到数据包处理流程这个层面的，都会加以详细分析。这么做的目的，是希望读者能够明白 SDN 虽然改变了网络的交付模式，但是 API 远远不是 SDN 的全部，网络架构本身的设计仍然是不可动摇的技术基础。另外，在一些情况下，SDN 并不是解决问题的最好方式，因此本书还介绍了一些非 SDN 的数据中心网络技术，希望能够帮助读者拓宽技术视野，打开新的研究思路。

成书的过程中，最大的感悟是新技术发展得太快，很多章节的内容都不得不多次进行更新与修订。ICT 的融合为传统的通信行业带来了前所未有的机遇，同时也要求我们能够调整好学习的心态。回顾这两年多的时间，几乎每日每夜都把自己泡在了各种各样的资料中，读了厂商不计其数的产品手册和技术文档，一行一行地去啃开源平台的代码，其中不乏很多有价值的内容，但由于成书时间与篇幅上的限制未能在书中进行介绍，多少还是有些遗憾吧。

同时，伴随着知识的逐步丰富，我也更加真切地体会到了个人的渺小。学习永无止境，不忘初心，方得始终，在探索技术的路上愿与诸君共勉。

本书特色

本书涉及云数据中心网络很多块的内容，主要包括传统技术、商用 SDN 方案、开源 SDN 方案以及相关的学术论文，覆盖了目前绝大部分的主流技术以及一些其他较为新颖的技术，是目前市面上少数能够切入 SDN 某一个具体行业应用场景，并对相关技术和产品进行系统性介绍的书籍之一。

实际上，把本书中每一块的内容拿出来都能单独写一本书。不过，为了让读者能够通过一本书，迅速并全面地掌握这些块内容，因此在写作的过程中就不得不去抠每一句话，甚至每一个字和词，力争简短、清晰、准确地呈现出核心的技术内容。如果相关行业的技术宽度为 100，每种技术的深度为 100，本书希望能够同时在宽度和深度上达到 80+ 的水平，做到“样样通”而“样样不松”。

同时，为了能够捋顺这些五花八门的技术间的关系，行文过程中还对部分技术的产生背景与演进历程进行了介绍，希望读者在读过本书后，做到既能“知其然”，又能“知其所以然”。

读者对象

- ❑ CTO、CIO
- ❑ 数据中心架构师
- ❑ SDN 架构师
- ❑ SDN 产品经理
- ❑ SDN 研发人员
- ❑ 高校与科研院所网络研究人员
- ❑ 其他对网络技术感兴趣的人员

如何阅读本书

阅读本书前，需要读者对传统网络技术和 SDN 基础知识有一定的了解。

第 1 章会对云数据中心网络演进的技术主线进行介绍，主要包括从 3-Tier 架构向 Leaf-Spine 架构的演进、从 xSTP 向大二层的演进、从传统网络向 SDN 的演进，以及传统网络的最新进展等内容。第 1 章可以看作本书的背景知识，用于引出后面章节对于数据中心 SDN 的介绍，讲述的过程中会以技术特征为分类依据，介绍厂商相关的私有技术与产品，以及 IEEE、IETF 相关的技术标准。第 1 章中所介绍的一些技术目前已经退出了历史舞台，为了保证讲述的完整性仍然保留了相关的介绍，读者可以有选择地进行阅读。

第 2 章将以杂谈的形式对 SDN 的本质进行论述，包括转发与控制分离、网络可编程以及集中式控制，并对 SDN 在 IT 层面的设计思路进行了总结。通过第 2 章的内容，希望可以帮助读者重新认识 SDN，并捋顺 SDN 与传统网络间的关系。第 2 章的内容相比于其他章节的内容较为独立，读者可以灵活地调整本章的阅读顺序。

从第 3 章开始，正式开始介绍本书的核心内容——云数据中心 SDN (Software Defined Data Center Networking, 以下简称 SDDCN)。第 3 章首先对 SDDCN 落地需求、实现架构以及关键技术进行介绍，希望能够为后续章节的内容起到提纲挈领的作用。第 3 章的表述相对抽象，有网络架构设计经验或者实际工程经验的读者可以仔细阅读与体会，如果读者之前并没有接触过相关工作，阅读第 3 章时可以先简单地看一遍，完成后续章节内容的阅读后，回过头来再去体会第 3 章中的内容，会获得更好的效果。

第 4 章将对十余个商用 SDDCN 解决方案进行深入的介绍，收录了主流厂商和一些具有技术代表性的创业公司的 SDDCN 产品，希望通过本章的内容，帮助读者了解这些方案内部的设计机制与技术细节，而不是仅仅看到一个“网络黑箱”，否则 SDN 不过是另外一个黑箱。

第5章对 OpenStack Neutron 进行了详细的介绍，主要内容包括 Neutron 的组网原理、软件设计架构、虚拟机的接入、OVS Plugin/Agent 的设计与实现，以及其他主要的扩展 Plugin/Agent。第6章对 OpenDaylight 的架构设计、OpenFlow 的典型实现，以及 OpenDaylight 中的 SDDCN 的相关实现进行了详细的介绍。第7章对 ONOS 的架构设计、OpenFlow 的典型实现，以及 ONOS 中的 SDDCN 的相关实现进行了详细的介绍。

第5、6、7章的内容将涉及各个开源平台的核心代码，力争同时呈现出代码中上层的业务逻辑以及底层的控制与转发逻辑，希望帮助读者在使用这些开源方案时，能够具备二次开发的能力。需要说明的是，代码所用版本以章前引言中所提及的版本为准，代码的呈现方式将以“==”形式的分割线注明代码所在文件，通过“//”形式的注释符对关键代码的逻辑进行解析。受限于篇幅，这三章跳过了非核心代码，同时省略了非关键参数与 Java 中的花括号。

第8章对学术界在云数据中心网络的典型研究工作介绍，包括拓扑、路由、虚拟化、服务链、服务质量、传输层优化、测量与分析、安全、高可用、大数据优化这十个方向。这一章在内容上会力争把每个研究工作的技术要点都讲清楚，而不是仅仅用一两句话来概括思路。这些研究工作既包括 SDN 的设计，又包括很多非 SDN 的设计，希望能够帮助读者拓展技术视野，启发新的设计灵感。

第9章和第10章是本书的番外部分。第9章对容器网络进行了概要性的介绍，容器是与虚拟机相对应的负载形态，因此独立成章，其中涉及的网络技术都在其他章节中介绍过，用在容器网络里只是接入了不同形态的负载，而技术的本质并没有发生变化，因此第9章中不会再去详细讨论这些已经介绍过的技术。第10章以 Fiber Channel 和 InfiniBand 为代表，对数据中心内部的存储网络和高性能计算网络的技术体系进行了概要性的介绍，这两者是与以太网和 TCP/IP 相对应的异构网络技术，因此独立成章，另外第10章中还简单地介绍了将以太网与 Fiber Channel 和 InfiniBand 进行融合的思路。

最后要说明的是，本书所介绍的内容均为云数据中心内部的网络技术，限于成书时间和篇幅上的限制，对于云数据中心外部的网络技术，如企业网络入云、Internet 流量入云、云数据中心 ISP 上行出口优化、云数据中心间流量优化，均未能进行介绍。另外 NFV 相关的内容，包括 vSwitch、vRouter、BPF、VPP 等 datapath 技术，以及 DPDK、SR-IOV 等 IO 加速技术，本书也未做专题性介绍。

勘误和支持

由于笔者的水平有限，书中难免会出现一些错误或者不准确的地方，恳请读者批评指正。

读者可通过微信号 gokd35 直接联系笔者，或者通过邮箱 sddcn_qa@126.com 提出问题或者建议。愿我们在网络技术的进修之路上互勉共进。

致谢

感谢九州云的龚永生先生，盛科网络的张卫峰先生，Arista 的杨文嘉先生，为本书进行了专业的技术审校。

感谢北京邮电大学的黄韬教授、清华大学的毕军教授、电信北京研究院的孙琮女士，移动研究院的黄璐先生、联通研究院的徐雷先生、VMware 的叶逾健先生、Juniper 的马绍文先生、Arista 的池惠澄先生、BigSwitch 的蒋刊哲先生、互联港湾的张宇峰先生、云杉网络的张天鹏先生、ZStack 的王为先生、Canonical 的张华先生，为本书进行了精彩的推荐。

感谢北京邮电大学的李昕教授、F5 的范恂毅先生、VMware 的吉白先生、BigSwitch 的吴鑫先生，在本书写作过程中提供的帮助。

再一次感谢上述各位业界前辈，在繁忙的工作后利用宝贵的休息时间来审阅此书，是他们的无私支持给了我修缮此书的动力。同时，他们为业界发展所做出的贡献令人尊重和钦佩，将不断激励着我们后辈学习与前进！

感谢机械工业出版社的编辑高婧雅女士，对本书写作的悉心指导，以及对我本人的包容和理解。感谢 SDNLab 的方辉先生，在我形成写书想法时的鼓励与支持。没有他们，就不会有这本书的出版。

最后感谢我的家人和朋友，他们在生活中的关怀和鼓励使我能够在这两年中踏踏实实地完成本书内容的编写。

声明

本书中所述一切观点仅代表作者本人，与作者所在单位以及其他机构无关。

Contents 目 录

技术审校

本书赞誉

前言

第1章 云数据中心网络演进 1

1.1 传统的 3-Tier 架构 1

1.2 设备“多虚一”——虚拟机框 2

1.2.1 Cisco VSS 2

1.2.2 Juniper VC 与 H3C IRF 4

1.3 高级 STP 欺骗——跨设备链路聚合 4

1.3.1 Cisco vPC 4

1.3.2 Juniper MC-LAG 和 Arista
M-LAG 6

1.4 变革 3-Tier——向 Leaf-Spine
演进 6

1.5 初识大二层 9

1.6 插叙——虚拟机的接入 10

1.6.1 VEB 10

1.6.2 Cisco VN-TAG 11

1.6.3 VEPA 12

1.6.4 VEB 性能优化 13

1.7 消除 STP——Underlay L2MP 14

1.7.1 TRILL 15

1.7.2 SPB 17

1.8 Cisco 私有的大二层——
FabricPath 19

1.8.1 整体设计 19

1.8.2 控制与转发过程分析 21

1.8.3 其他技术细节 25

1.9 Juniper 私有的大二层——
QFabric 25

1.9.1 整体设计 26

1.9.2 集中式的控制机制 29

1.9.3 控制与转发过程分析 30

1.10 Brocade 私有的大二层——
VCS 32

1.10.1 整体设计 33

1.10.2 控制与转发过程分析 33

1.10.3 其他技术细节 35

1.11 跨越数据中心的二层——
DCI 优化 36

1.11.1 Cisco OTV 36

1.11.2 HUAWEI EVN 与
H3C EVI 38

1.12 端到端的二层——NVo3 的崛起··· 39	2.3.5 设备 OS 和控制器可编程····· 88
1.12.1 VxLAN····· 39	2.3.6 业务可编程····· 88
1.12.2 NvGRE····· 41	2.4 集中式控制——与分布式的
1.12.3 STT····· 42	哲学之争····· 89
1.12.4 Geneve····· 43	2.4.1 在功能上找到平衡点····· 90
1.13 新时代的开启——SDN 入场··· 45	2.4.2 在扩展性和可用性上找到
1.14 Overlay 最新技术——EVPN··· 46	平衡点····· 91
1.14.1 传统网络对 SDN 的反击··· 46	2.5 回归软件本源——从 N 到 D
1.14.2 组网与数据模型····· 47	再到 S····· 94
1.14.3 控制信令的设计····· 48	2.5.1 模块管理····· 94
1.15 Underlay 最新技术——Segment	2.5.2 模块间通信····· 95
Routing····· 55	2.5.3 接口协议适配····· 96
1.15.1 SID 与 Label····· 56	2.5.4 数据库····· 97
1.15.2 控制与转发机制····· 57	2.5.5 集群与分布式····· 98
1.15.3 SDN 2.0?····· 60	2.5.6 容器与微服务····· 99
1.16 本章小结····· 62	2.6 本章小结····· 100
第2章 杂谈SDN····· 63	第3章 SDDCN概述····· 101
2.1 SDN 与传统网络——新概念下的	3.1 需求····· 101
老问题····· 63	3.1.1 自动化与集中式控制····· 101
2.2 转控分离——白盒的曙光····· 66	3.1.2 应用感知····· 103
2.2.1 芯片级开放····· 68	3.2 整体架构····· 105
2.2.2 操作系统级开放····· 71	3.2.1 实现形态····· 105
2.2.3 应用级开放····· 75	3.2.2 功能设计····· 107
2.2.4 机箱级开放····· 76	3.3 关键技术····· 107
2.2.5 白盒的“通”与“痛”····· 77	3.3.1 网络边缘····· 107
2.3 网络可编程——百家争鸣····· 78	3.3.2 网络传输····· 110
2.3.1 芯片可编程····· 78	3.3.3 服务链····· 112
2.3.2 FIB 可编程····· 80	3.3.4 可视化····· 115
2.3.3 RIB 可编程····· 83	3.3.5 安全····· 117
2.3.4 设备配置可编程····· 85	3.3.6 高可用····· 120

3.4 本章小结	122	4.5.2 管理平面设计	179
第4章 商用SDDCN解决方案	123	4.5.3 控制平面设计	179
4.1 VMware NSX	123	4.5.4 数据平面设计	180
4.1.1 从 NVP 到 NSX	124	4.6 Arista EOS 与 CloudVision	181
4.1.2 NVP 控制平面设计	125	4.6.1 整体架构	183
4.1.3 NVP 数据平面设计	125	4.6.2 管理与控制平面设计	185
4.1.4 NVP 转发过程分析	126	4.6.3 数据平面设计	187
4.1.5 NSX-V 整体架构	128	4.7 HUAWEI AC-DCN	187
4.1.6 NSX-V 管理平面设计	129	4.7.1 整体架构	187
4.1.7 NSX-V 控制平面设计	130	4.7.2 管理平面设计	189
4.1.8 NSX-V 数据平面设计	132	4.7.3 控制平面设计	189
4.1.9 NSX-V 转发过程分析	132	4.7.4 数据平面设计	193
4.1.10 NSX-MH 与 NSX-T	139	4.8 Bigswitch BCF 与 BMF	194
4.2 Cisco ACI	140	4.8.1 整体架构	195
4.2.1 整体架构	141	4.8.2 BCF 控制平面设计	196
4.2.2 管理与控制平面设计	142	4.8.3 BMF 控制平面设计	201
4.2.3 数据平面设计	145	4.8.4 数据平面设计	205
4.2.4 转发过程分析	152	4.9 Midokura Midonet	207
4.2.5 议 ACI 与 SDN	154	4.9.1 整体架构	207
4.3 Cisco VTS	155	4.9.2 控制平面设计	210
4.3.1 整体架构	156	4.9.3 数据平面设计	213
4.3.2 管理与控制平面设计	158	4.10 PLUMgrid ONS	217
4.3.3 数据平面设计	159	4.10.1 整体架构	217
4.4 Juniper Contrail	162	4.10.2 数据平面设计	219
4.4.1 整体架构	164	4.10.3 控制平面设计	221
4.4.2 管理与控制平面设计	167	4.10.4 转发过程分析	222
4.4.3 数据平面设计	173	4.11 Plexxi Switch 与 Control	225
4.4.4 转发过程分析	175	4.11.1 整体架构	225
4.5 Nuage VCS	176	4.11.2 数据平面设计	227
4.5.1 整体架构	178	4.11.3 控制平面设计	229
		4.12 Pluribus	230