

SDN 发展趋势

Development Trends of SDN

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0048-004

摘要: 软件定义网络(SDN)受到全球范围的广泛关注与重视,正在给当前网络领域带来一场巨大的变革。SDN能够极大地提升现有网络的可控可管性和灵活性,有效降低网络服务提供者的投资成本(CAPEX)和运营成本(OPEX)。SDN正朝着更加开放、更加智能、更大规模的方向演进,将更好地支撑未来网络的发展。此外,随着SDN技术和应用的快速发展,对相关人才的需求也将成为一个必须解决的重要问题。

关键词: SDN; 开放; 智能; 未来网络

Abstract: Software defined network (SDN) is now widely concerned and valued. It can significantly improve controllability and flexibility of the existing network, and effectively reduce the capital expenditures(CAPEX) and operating expense(OPEX) for network service providers. SDN evolution, is moving towards to a more open, more intelligent, more large-scale direction, and will better support the development of future network. Moreover, with rapid development of SDN, the demand for corresponding talents will become one of the important problems to be solved.

Key words: SDN; open; intelligent; future network

刘韵洁/LIU Yunjie
黄韬/HUANG Tao
张娇/ZHANG Jiao

(北京邮电大学,北京 100876)
(Beijing University of Posts and
Telecommunications, Beijing 100876, China)

- 不管SDN最终发展怎样,当前趋势表明其将在运营商网络转型等方面发挥重要作用
- SDN对网络设备的集中式管控能力有助于应对产业互联网对网络带宽和时延严苛的需求
- SDX时代的到来将给中国打造自主、可控、安全的新型网络提供一个重要的历史机遇

1 传统网络向SDN演进

从20世纪分组网络诞生到现在,经过40多年的高速发展,互联网已经从一个提供简单文本传输的科研型网络演变成为一个涵盖语音、视频、数据处理等多种业务的商业网络。互联网提供的电子商务、电子支付、高清视频等业务也已经成为我们日常生活、商业运行和社会发展中不可或缺的组成部分。随着互联网应用的不断丰富与发展,互联网面临的挑战也在逐渐升级。

一方面,当前以互联网协议(IP)为细腰的互联网体系架构越来越难

以满足业务发展的需求。首先,微信、优酷等新业务不断涌现,由于传统网络架构不灵活,这些业务的服务质量难以保证,无法为用户提供差异化服务能力,同时,运营商仅提供服务通道,没有回报,长此以往,产业价值链难以为继。其次,全球移动数据流量飙升,互联网总流量也逐年递增,现有网络无法避免对网络流量中重复内容的传输,难以适应海量流量的增长。最后,互联网+、中国制造2025、工业4.0等需要互联网与实体经济进行融合,而当前互联网并不能满足实体经济所需要的低延时、安全性以及服务分级等需求。

另一方面,现有网络也难以支持变革式的创新。首先,在当前僵化的互联网架构下,新的网络功能只能采

用“打补丁”的方式进行部署,随着越来越多新的协议需求被提出,网络节点变得非常臃肿,设备难以扩展。其次,现有网络的基础设施被多个管理者拥有和管控,基础网络很难开放来承担创新型协议部署的风险。因此,新的协议和架构难以在实际网络中部署验证。

总体来说,我们既需要设计新型网络体系架构来满足当前不断丰富的业务需求,同时也需要网络具有对新协议、新技术快速部署的能力,满足未来不可知的业务需求。经过多年来学术界和工业界的积极探索,软件定义网络(SDN)技术应运而生。

SDN的思想来源于美国斯坦福大学Clean Slate研究组提出的一种新型网络创新架构Ethane项目,该项目

收稿时间: 2016-09-15
网络出版时间: 2016-11-01

提出了一个新型的企业网络架构,简化了管理模型。随后,OpenFlow 协议又被提出来进一步简化 Ethane 项目中的交换机设计^[1]。随着 OpenFlow 技术的推广,SDN 的概念逐渐浮现,并引起了全球学术界和产业界的高度关注。SDN 将控制功能从交换机中剥离出来,形成了一个统一的、集中式的控制平面,而交换机只具有简单的转发功能,从而形成了转发平面。通过控制平面对数据平面的集中化控制,SDN 为网络提供了开放的编程接口,并实现了灵活的可编程能力。正是这种集中式控制和数据控制分离(解耦)的特点使 SDN 具有了强大的可编程能力,这种强大的可编程性使网络能够真正地被软件所定义,达到按需定制服务,简化网络运维,灵活管理调度的目标。

2 SDN 技术发展趋势

SDN 作为一种新的网络技术与架构,其核心价值已经得到了业界的广泛认可。越来越多的研究者正在关注 SDN 技术的未来发展与应用落地,数据平面、控制平面以及业务编排平面等相关技术热点正在得到业界持续关注。

(1) 更加开放灵活的数据平面

经过多年的发展,OpenFlow 目前已成为 SDN 的主流南向接口协议之一,迄今已经更新到 OpenFlow v1.5^[2],而且协议仍在不断地演进当中。然而,对于 OpenFlow 协议中规定的多级流表,许多硬件厂商受到自己设备原始设计的限制,很难提供足够的支持,目前普遍支持的只有能力受限的两级流表。

OpenFlow 协议在实际应用过程中依然受到了基于流水架构的转发芯片的制约,没有完全开放网络的可编程能力。目前主流的 SDN 转发设备处于被动演进的模式,协议版本间互相隔离,导致数据层面交换机和控制层面控制器对于新的版本要做重新定制和改动,可扩展性和灵活性

大打折扣。为此,近几年业界提出了一些新的标准和技术体系,例如斯坦福主导的可编程协议无关包处理器(P4)^[3]协议等。它们突破了传统数据平面处理架构的约束,使开发人员能够灵活地定义各种协议报文的格式,并能够在控制平面通过编程完全控制数据平面设备处理数据包。

在可预见的将来,网络数据平面上很可能诞生一种被市场广泛认可的高级编程语言,通过编译技术适配不同的数据平面硬件。这种高级编程语言将极大地降低网络设备开发门槛,繁荣网络应用开发市场。

(2) 更高性能的开源网络硬件

软件开源化使软件产业得到了快速发展,硬件的开源化也成为了网络硬件发展的新趋势之一,谷歌、Facebook、英特尔等公司纷纷加入硬件开源的阵营。自 2004 年到 2012 年,谷歌数据中心通过定制开源硬件以及可扩展性极强的网络架构对其交换和处理能力进行横向叠加,在性能、功耗、成本上取得了最佳折衷。Facebook 于 2011 年发起了开源计算项目(OCP)^[4]来重新设计数据中心开源交换机。英特尔公司推出基于软件的高速数据平面 DPDK^[5],可在通用处理器上达到 100 Gbit/s 吞吐率,逐渐接近传统专用硬件设备的转发速率。思科公司 2016 年开源了高性能数据平面产品 fd.io^[6],提出了数据平面通用加速架构,得到了工业界的广泛关注。

伴随着数据平面硬件的开源浪潮,网络硬件设备的设计、生产和维护成本将大幅下降,高速网络硬件的技术壁垒逐渐被打破,网络基础设施的利润空间将向上游的控制软件和网络应用转移。未来专用硬件的应用场景将逐步减少,而基于通用硬件和开源硬件的性能优化将成为一个重要方向。

(3) 更加智能的网络操作系统

网络操作系统增加了精细化管控能力、弹性管控方式和统一的资源

调度机制,成为了一种能够实现网络资源高效管控,按需提供网络服务能力的网络开放核心平台。从全球范围看,网络操作系统成为了未来重要的发展趋势,逐渐形成了两大阵营。2013 年 4 月,思科联合 IBM 等多家通信和 IT 巨头,启动 OpenDaylight^[7]开源项目,旨在打造开源网络操作系统,屏蔽网络各种硬件设备和南向协议的差异,使 SDN 开发人员在编写网络应用程序时能够更专注于网络业务本身。在 OpenDaylight 项目启动不久,ON.Lab 于 2014 年 12 月推出了开源 SDN 操作系统——开放网络操作系统(ONOS)^[8]。ONOS 聚焦于如何用控制器来高效的控制运营商级的网络,打造一款高可用、可扩展、高性能、完全开源的控制器,其设计理念是能在任何硬件(包括白牌机)上灵活地创建服务并且大规模地部署,满足运营商级网络部署的需要,它受到了 AT&T 等的大力支持,并已完成了平台开发,价值应用发布和概念性部署。

未来的网络操作系统将面向更广阔的各专业网络,具有不同的形态和控制机制,网络操作系统将逐步通过层级化等方式形成统一的控制体系,各层次的网络操作系统间通过高效的层间接口进行交互。此外,未来的网络操作系统将会更加智能,将逐步融合大数据分析、神经网络、机器学习等技术,逐步增加网络自学习、自恢复、自愈合的能力,人工智能与操作系统的深度融合正在加速前行。

(4) 网络设备的功能虚拟化

由于现有业务与设备耦合过于紧密,每增加一个新的业务就需要增加相应的网元,所以在 SDN 中引入基于网络功能虚拟化(NFV)^[9]的虚拟化网元成为了网络的重要发展趋势。通过 NFV 技术,网络中的网元将会被虚拟化,从而做到集中、云化的部署和管理。

目前,Linux 基金会已经发起成立了 OPNFV^[10]项目,旨在加快 NFV 相关的新产品和服务的产业化。现在

已经有一些基于 NFV 技术的应用案例得到业界的普遍认可,也有了市场驱动力,主要包括虚拟无线接入网、移动核心网和网络边缘虚拟化等。诸如阿尔卡特朗讯于 2014 年发布了虚拟化的移动网络功能应用产品组合,同时与英特尔及西班牙电信开展合作推出了 CloudBand NFV 平台。NTT 公司于 2014 年发布了基于 NFV 的云服务产品,该产品能够提供防火墙、应用加速等多项功能。

NFV 作为新兴技术,目前还存在诸多挑战和较大的提升空间,例如高效的虚拟化网络功能资源分配、快速部署和迁移等问题。此外,基于软件的系统可靠性也正在成为 NFV 面临的重要挑战之一,不同于传统硬件设备的可靠性解决思路,NFV 需要引入一些计算机软件可靠性设计的方法来提升整体系统的稳定性等。

(5) 高度自动化的业务编排

随着数据平面的开放和底层设备的虚拟化,数据平面和底层资源都向上开放了可操作的接口,给网络带来了灵活的业务编排能力。业务编排主要目的是根据业务的需求,持续编排部署网络中的资源,使其以最优化的方式运行。其中,网络资源可以理解为网络中的各类软硬件资源,如链路资源、存储资源、虚拟网络功能资源等,持续可以理解为随着网络环境和业务需求的变化,业务编排需要根据底层的反馈信息,不断地优化网络资源的部署。

业务编排技术带来的业务灵活性和自动化管理能力,能大幅减少运营商的运营成本(OPEX),一直是运营商所关注的焦点。AT&T 在 2016 年 3 月宣布了其 SDN/NFV 统一编排平台 ECOMP^[11],并在同年 7 月宣布与 Linux 基金会合作,将其全部代码开源并托管在 Linux 基金会下,旨在推动 SDN/NFV 技术的发展。在 AT&T 宣布其 ECOMP 的同一时间段,中国移动携手 Linux 基金会等举办了 Open-O^[12]的新闻发布会,发起了全球首个统一的

SDN 和 NFV 开源协同器的项目倡议,并计划在 2016 年底针对虚拟用户终端设备(vCPE)场景推出第一个代码版本。

网络业务编排系统灵活和高度自动化的特点在技术实现上也带来了许多的难题,例如网络服务的自动化设计和软硬件资源如何去分配部署,底层环境中实时数据的收集和分析,根据反馈的数据对逻辑和物理资源生命周期的自动化管理以及端到端一体化业务编排等众多方面需要去不断完善。

3 SDN 产业发展趋势

学术界、产业界和标准化组织全面推进 SDN,深刻改变了现有的网络生态圈,从传统网络架构到 SDN 的转型成为了新的市场增长点。以谷歌、腾讯、百度等为代表的互联网公司 and 以 AT&T、英国电信、德国电信、中国移动、中国电信、中国联通为代表的网络运营商加速向基于 SDN/NFV 的网络架构转型。

(1) 数据中心场景下的创新应用

随着互联网的高速发展,互联网内容提供商提供的应用也越来越丰富,支撑这些业务的数据中心规模急速增长。当前,谷歌、微软等互联网公司的数据中心都达到了上万台物理服务器的量级。在此形势下,传统数据中心网络架构已经难以支撑企业、市场发展的需求。因此,在数据中心内部使用 SDN 实现高扩展性,提高网络资源利用率,支持虚拟化、多业务、多租户成为了新的发展趋势。

从 2010 年开始,谷歌在部署 B4^[13]时选择了 SDN 技术架构以及 OpenFlow 南向协议交换机,并同时支持基础路由协议和动态流量工程功能。2014 年 4 月,谷歌宣布推出基于 SDN 和 NFV 技术的 Andromeda 虚拟化平台,用于提供、配置和管理虚拟网络以及网络中数据包处理的业务流程点。2014 年 6 月,Facebook 公布了新的开源网络交换技术,包括典型的

交换机 Wedge 及基于 Linux 的网络操作系统 FBOSS。

在中国,腾讯公司针对运营中遇到的问题,在其广域网中部署了基于 SDN 的广域网流量调度方案。该解决方案中,分布式的控制层上移成为了集中式的控制系统。集中控制系统基于全局路由算法、全局路径统一计算、资源合理调度,并实现链路自动调整,节省了带宽租用费用。此外,百度、阿里巴巴等也都在其数据中心中创新性地使用了 SDN 技术。

(2) 针对运营商网络场景的创新应用

随着 SDN 在数据中心的成功应用,越来越多的电信运营商开始全力拥抱 SDN/NFV,新一代的基于软件化的运营商网络也成了新的趋势。SDN 已经在移动核心网、移动回传网、数据中心中进行了小规模部署和验证,众多运营商也陆续发布了一系列的愿景和计划。

其中,美国运营商 AT&T 提出的 Domain2.0^[14]计划迈出了运营商网络软件化转型的第一步。该计划预计 2016 年将进入加速推动软件化的高速通道,到 2020 年网络 75% 的功能完全由软件构成。到目前为止,AT&T 已经发布了一个基于 SDN 的产品服务,这个服务使用户可以自己来添加或改变网络服务类型。

中国运营商也在软件化网络和数据中心云化方面进行了积极的努力与探索。例如,中国联通在 2015 年 9 月发布了新一代网络架构 CUBE-Net 2.0 白皮书^[15],将基于 SDN、云和超宽带技术实现网络重构,从 3 个维度来诠释构建以数据中心为核心的网络。中国移动则在 2015 年正式推出下一代革新网络 NovoNet,旨在通过融合新的技术手段,构建可全局按需调度资源,网络能力完全开放的新一代网络。

(3) 实现产业界大规模商用部署

随着 SDN 技术的不断成熟和小规模成功部署,SDN 实现大规模商用

部署已经成为了未来网络的发展趋势。调研公司 IHS 最新的调查报告显示,预计从 2016 年开始,SDN 的部署将呈现飙升的趋势。SDN 在云服务提供商和通信服务提供商的数据中心中的部署比例将从 2015 年的 20% 提高到 60%,同时,SDN 的企业采用率预计将从 6% 提升至 23%。预计 2019 年,应用于数据中心和企业局域网 SDN 领域的以太网交换机和控制器收入将达到 122 亿美元,其中交换机占 82 亿美元,SDN 控制器占 40 亿美元。此外,根据 Technavio 公司的市场调研分析预测,到 2020 年全球软件定义一切(SDX)市场年复合增长率将超过 32%,向虚拟化的转化是市场增长的主要驱动力。近来,越来越多的企业采用 SDX,它可以提供精简的业务模型,从而达到以最少成本实现自动化控制的目的。

4 SDN 发展的思考

SDN 作为一种新的网络技术与架构,其核心价值已经得到了学术界和工业界的广泛认可。但是它在实际应用中仍然面临诸多挑战,对于其未来的发展也还存在不同的观点,有的人认为 SDN 只能停留在少数大型企业的专有骨干或数据中心网络中,或是成为运营商网络的一个附属功能,当然也有人认为 SDN 技术必将掀起一场网络技术的革命。但不管 SDN 最终怎样,当前的发展趋势表明 SDN 将在运营商网络转型,产业互联网应用等方面发挥重要作用。

(1) 在电信运营商网络转型方面:随着 SDN 技术的不断成熟和小规模试验验证,未来网络将尝试开始在运营商网络(对移动核心网、移动回传网、超大规模数据中心、骨干网等场景)中展开大规模商用部署,运营商网络将融合 SDN/NFV 等新的技术手段,通过网络编排与管理对具体场景需求进行网络功能剪裁和按需组网部署,满足不同场景对带宽、时延、服务质量等差异化要求,从而

构建可全局按需调度资源,网络能力完全开放的新一代网络。

(2) 在产业互联网应用方面:产业互联网,也就是互联网与实体经济的深度融合,将是互联网应用的下一个蓝海,具有万亿级的市场规模。SDN 对网络设备的集中式管控能力将有助于网络资源的按需分配和网络流量的精确引导,从而能够应对产业互联网(工业互联网、车联网等)对网络带宽和时延严苛的需求。

当然,随着 SDN 技术和应用的快速发展,未来还面临的一个重要问题就是人才问题,未来产业界的发展将需要一大批既精通网络技术,又具备软件开发能力的复合型人才,甚至需要既懂 SDN,又懂得人工智能、机器学习等前沿技术的人才。

5 结束语

SDN 技术最核心的使命就是加快网络创新,推动网络架构从注重标准向注重实现转型,进而打破设备的封闭性,降低网络研究开发的门槛,使得整个网络更加开放,最终繁荣整个网络应用市场。我们相信,随着 SDN 技术的不断成熟,SDX 时代的到来,未来必将会在整个产业界掀起一场革命,也必将给中国打造自主、可控、安全的新型网络提供一个重要的历史机遇。

参考文献

- [1] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNAN H, et al. OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(2): 69-74. DOI: 10.1145/1355734.1355746
- [2] Specification, OpenFlow Switch. Version 1.5.0 (Wire Protocol 0x05) [S]. OpenFlow, 2013
- [3] BOSSHART P, DALY D, GIBB G, et al. P4: Programming Protocol-independent Packet Processors[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2014, 44(3):87-95. DOI:10.1145/2656877.2656890
- [4] Open Compute Project(OCP)[EB/OL]. [2016-09-10]. http://www.opencompute.org/wiki/Main_Page
- [5] Data Plane Deployment Kit(DPDK)[EB/OL]. [2016-09-10]. <http://dpdk.org/>
- [6] The Fast Data Project [EB/OL]. [2016-09-10]. <https://fd.io>

- [7] OpenDaylight[EB/OL]. [2016-09-10]. <https://www.opendaylight.org>
- [8] BERDE P, GEROLA M, HART J, et al. ONOS: Towards an Open, Distributed SDN OS[IC// Proceedings of the Third Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking. ACM, 2014:1-6. DOI:10.1145/2620728.2620744
- [9] Network Functions Virtualization(NFV)[EB/OL]. [2016-09-10]. https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/NFV/Docs/NFV_White_Paper3.pdf
- [10] Open Platform for NFV(OPNFV)[EB/OL]. [2016-09-10]. <https://www.opnfv.org>, 2016
- [11] ECOMP (Enhanced Control, Orchestration, Management & Policy) Architecture White Paper[EB/OL]. [2016-09-10]. <http://about.att.com/content/dam/snrdocs/ecomp.pdf>
- [12] Open Orchestrator Project(Open-O)[EB/OL]. [2016-09-10]. <https://www.open-o.org>
- [13] JAIN S, KUMAR A, MANDAL S, et al. B4: Experience with a Globally-Deployed Software Defined WAN[IC// Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 Conference on SIGCOMM. ACM, 2013: 3-14. DOI:10.1145/2534169.2486019
- [14] AT&T Domain 2.0 Vision White Paper[R]. USA: AT&T, 2013
- [15] 新一代网络架构白皮书(CUBE-Net 2.0)[R]. 北京:中国联合网络通信有限公司网络技术研究院, 2015

作者简介



刘韵洁,中国工程院院士,中国联通科技委主任,北京邮电大学通信与信息工程学院院长,江苏省未来网络创新研究院院长;目前主要研究方向为未来网络、网络体系架构、网络融合与演进,国家“973”项目“面向服务的未来互联网体系结构及机制研究”首席科学家;曾获国家科技进步一等奖 1 项,部级科技进步一等奖 2 项;已获国家发明专利 10 余项。



黄韬,北京邮电大学副教授、博士生导师,江苏省未来网络创新研究院院长助理;目前主要研究方向为未来网络体系架构、软件定义网络、网络融合与演进等;2014 年入选北京市科技新星人才计划,主持或参与多项未来网络相关的国家自然科学基金、“863”、“973”等科研项目;已发表学术论文 80 余篇,获得技术发明专利 20 余项,提交国际标准提案 18 篇,出版个人专著 4 部。



张娇,清华大学博士,北京邮电大学讲师、硕士生导师;目前主要研究方向为未来网络体系架构、云数据中心网络、软件定义网络等;已在重要期刊和国际会议上发表学术论文 20 余篇。