



信息通信领域产学研合作特色期刊

第三届国家期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊

ISSN 1009-6868

CN 34-1228/TN

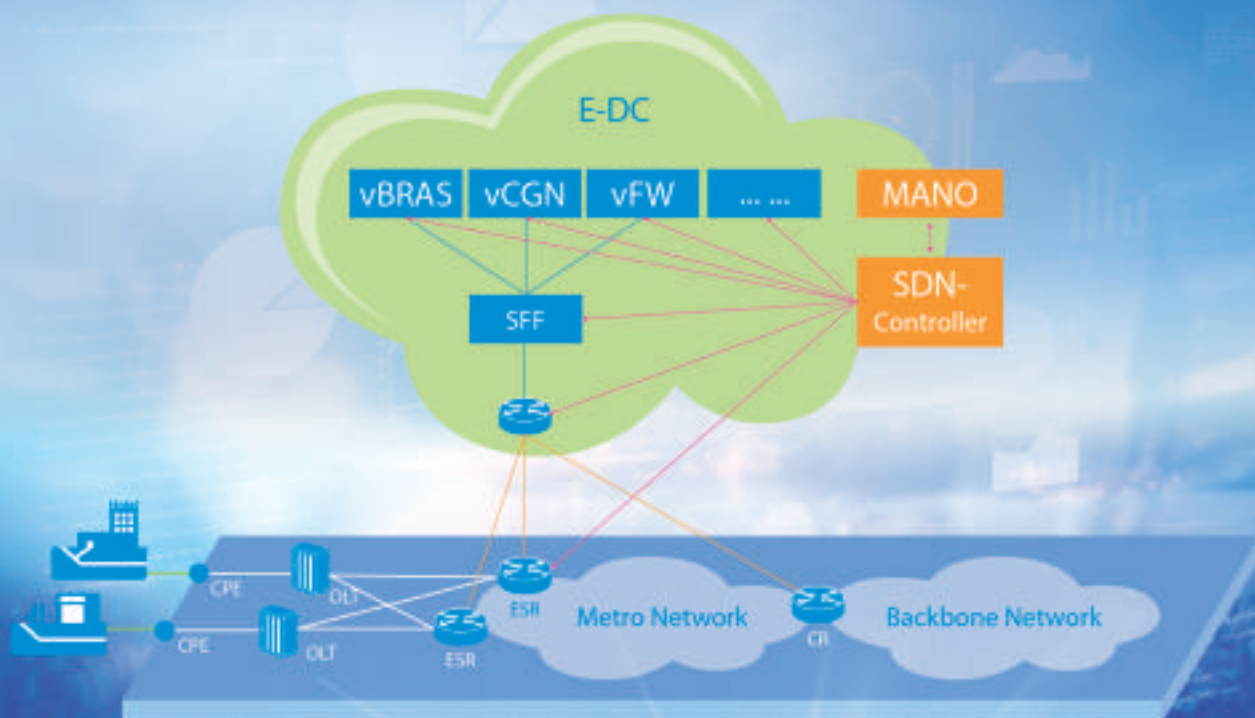
中兴通讯技术

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

tech.zte.com.cn

2016年12月 • 第6期

专题：SDN/NFV 的实践与规模应用



《中兴通讯技术》第7届编辑委员会委员名单

顾问 侯为贵（中兴通讯股份有限公司创始人） 钟义信（北京邮电大学教授） 陈锡生（南京邮电大学教授）

主任 陆建华（中国科学院院士，清华大学教授）

副主任 赵先明（中兴通讯股份有限公司董事长兼总裁） 糜正琨（南京邮电大学教授）

副主任 马建国（天津大学电子信息工程学院院长） 陈前斌（重庆邮电大学副校长）

编委（按姓氏拼音排序）

曹淑敏 中国信息通信研究院院长	孙枕戈 中兴通讯股份有限公司副总裁
陈建平 上海交通大学教授	孙知信 南京邮电大学物联网学院院长
陈杰 中兴通讯股份有限公司高级副总裁	谈振辉 北京交通大学教授
陈前斌 重庆邮电大学副校长	唐雄燕 中国联通网络技术研究院首席专家
葛建华 西安电子科技大学通信工程学院副院长	田文果 中兴新能源汽车有限责任公司董事长
管海兵 上海交通大学电子信息与电气工程学院副院长	童晓渝 中电科软件信息服务有限公司副总经理
洪波 中兴发展股份有限公司总裁	王京 清华大学教授
洪伟 东南大学信息科学与工程学院院长	王文东 北京邮电大学软件学院副院长
纪越峰 北京邮电大学信息光子学与光通信研究院 执行院长	王翔 中兴通讯股份有限公司副总裁
江华 中兴通讯股份有限公司副总裁	卫国 中国科学技术大学教授
蒋林涛 中国信息通信研究院科技委主任	吴春明 浙江大学教授
李尔平 浙江大学信息学部副主任	邬贺铨 中国工程院院士
李红滨 北京大学教授	徐安士 北京大学教授
李建东 西安电子科技大学副校长	续合元 中国信息通信研究院技术与标准研究所总工
李军 清华大学教授	徐慧俊 中兴通讯股份有限公司执行副总裁
李乐民 中国工程院院士，电子科技大学教授	薛一波 清华大学教授
李融林 华南理工大学教授	杨义先 北京邮电大学教授
李少谦 电子科技大学通信与信息工程学院院长	杨震 南京邮电大学校长
李涛 南京邮电大学计算机学院院长	尤肖虎 东南大学教授
李星 清华大学教授	张宏科 北京交通大学教授
刘建伟 北京航空航天大学教授	张平 北京邮电大学网络技术研究院执行院长
陆建华 中国科学院院士，清华大学教授	张云勇 中国联通研究院副院长
马建国 天津大学电子信息工程学院院长	赵慧玲 中国电信股份有限公司北京研究院总工程师
孟洛明 北京邮电大学教授	赵先明 中兴通讯股份有限公司董事长兼总裁
糜正琨 南京邮电大学教授	郑纬民 清华大学教授
庞胜清 中兴通讯股份有限公司高级副总裁	钟章队 北京交通大学教授
史立荣 中兴通讯股份有限公司董事	周亮 南京邮电大学通信与信息工程学院副院长
	朱近康 中国科学技术大学教授



信息通信领域产学研合作特色期刊
第三届国家期刊奖百种重点期刊
中国科技核心期刊
工信部优秀科技期刊
中国五大文献数据库收录期刊
ISSN 1009-6868
CN 34-1228/TN
1995年创刊

办刊宗旨

以人为本,荟萃通信技术领域精英;
迎接挑战,把握世界通信技术动态;
立即行动,求解通信发展疑难课题;
励精图治,促进民族信息产业崛起。

目次

中兴通讯技术 总第131期 第22卷 第6期(卷终) 2016年12月

专题:SDN/NFV 的实践与规模应用

- 02 SDN/NFV 与网络技术的发展方向 蒋林涛
- 07 SDN/NFV 组网技术标准 聂秀英
- 12 SDN/NFV 关键技术问题分析和标准化进展 马军锋
- 17 SDN 的网络模型及北向接口 李晨,陈俏钢,李凤凯,吴波
- 22 业务功能链技术及其应用探析 李晨,解冲锋
- 26 SDN/NFV 关键技术的分析和实现: MICT-OS™ 张轶卿
- 31 SDN 规模部署关键问题分析 李晨,程伟强,王金柱
- 36 城域网虚拟化方案及思路探讨 杨锋,解冲锋,史凡
- 40 中国联通 SDN 的思考和应用实例 程莹
- 44 中兴通讯对 SDN/NFV 的思考与应用实践 范成法,袁道洲,古渊

专家论坛

- 48 SDN 发展趋势 刘韵洁,黄韬,张娇
- 52 对发展下一代网络的思考 段晓东

企业视界

- 56 面向未来网络运营的敏捷运维架构 徐代刚,孟照星,刘学生

综合信息

《中兴通讯技术》第22卷总目次(I)

期刊基本参数:CN 34-1228/TN*1995*b*16*64*zh*P*¥ 20.00*15000*13*2016-12

Contents

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol. 22 No. 6 Dec. 2016

Special Topic: Practice and Large-Scale Applications of SDN/NFV

- 02 Development Directions of SDN/NFV and Network Technologies JIANG Lintao
- 07 Technical Standards of SDN/NFV Networking NIE Xiuying
- 12 Key Technical Problems and Standardization Progress of SDN/NFV MA Junfeng
- 17 Network Model and Northbound
Interface of SDN LI Chen, CHEN Qiaogang, LI Fengkai, WU Bo
- 22 Technologies and Applications of Service Function Chain LI Chen, XIE Chongfeng
- 26 Analysis and Implementation of Key Technologies
for SDN/NFV: MICT-OS™ ZHANG Yiqing
- 31 Key Issues in Large-Scale Deployment of SDN LI Chen, CHENG Weiqiang, WANG Jinzhu
- 36 Schemes on Metropolitan Area
Network Virtualization YANG Feng, XIE Chongfeng, SHI Fan
- 40 SDN and Its Applications of China Unicom CHENG Ying
- 44 Thoughts and Practices on SDN/NFV by ZTE FAN Chengfa, YUAN Daozhou, GU Yuan

Expert Forum

- 48 Development Trends of SDN LIU Yunjie, HUANG Tao, ZHANG Jiao
- 52 Development of the Next Generation Network DUAN Xiaodong

Enterprise View

- 56 Agile Operation Architecture
for the Future Network XU Daigang, MENG Zhaoxing, LIU Xuesheng

敬告读者

本刊享有所发表文章的版权,包括英文版、电子版、网络版和优先数字出版版权,所支付的稿酬已经包含上述各版本的费用。

未经本刊许可,不得以任何形式全文转载本刊内容;如部分引用本刊内容,须注明该内容出自本刊。

2016年第1—6期专题

1 网络空间安全

杨义先 北京邮电大学 教授
杨庚 南京邮电大学 教授

2 大数据分析处理与应用

郑纬民 清华大学 教授

3 5G技术与业务创新

王京 清华大学 教授
向际鹰 中兴通讯股份有限公司 首席科学家

4 天地一体化信息网络

张乃通 中国工程院 院士
顾学迈 哈尔滨工业大学 教授

5 工业互联网与智慧工厂技术

邬贺铨 中国工程院 院士
王耀南 湖南大学 教授

6 SDN/NFV的实践与规模应用

蒋林涛 中国信息通信研究院 教授级高工
聂秀英 中国信息通信研究院 教授级高工
古渊 中兴通讯股份有限公司 工程师

专题栏目策划人



蒋林涛

蒋林涛, 中国信息通信研究院科技委主任, 中国通信标准化协会 IP 与多媒体标准技术工作委员会主席; 长期从事通信网络技术及业务, 互联网技术及业务, 信源编码技术和多媒体业务等方面的研究、开发和标准化工作; 1992 年获国务院颁发的政府特殊津贴, 1996 年获“中华人民共和国突出贡献的中青年科学技术专家”称号。



聂秀英

聂秀英, 中国信息通信研究院教授级高级工程师, CCSA TC1 SWG3 副组长; 长期从事数据通信、多媒体通信、IP 领域的软科学研究和标准制订工作; 获国家科技进步二等奖一项、省部级科技进步奖多项; 向国际电信联盟 ITU-T 提交文稿 20 多篇。



古渊

古渊, 中兴通讯承载网标准总工、标准战略委员会成员, SDN 产业联盟技术专家委员会成员、技术规范合作组副组长; 长期从事承载网领域研发、标准战略规划及实施推进等工作; 曾获中国通信学会科学技术一等奖、教育部科学技术二等奖。

专家论坛栏目策划人



唐雄燕

唐雄燕, 中国联通网络技术研究院首席专家, 教授级高级工程师, 北京邮电大学兼职教授、博士生导师, 中国通信标准化协会泛在网络技术工作委员会副主席; 长期在电信运营企业从事宽带通信和信息应用方面的工作; 承担过国家“863”及国家“八五”攻关等多项科研任务; 已出版专著 5 部, 发表技术论文 100 余篇。

专题: SDN/NFV 的实践与规模应用

导读

SDN/NFV 技术已经得到电信界的广泛响应, 开始了实践与规模应用。

本期专题由 10 篇文章组成, 在这些文章中我们从多个视角出发讨论了 SDN/NFV 技术。专题中的 3 篇文章是综合性的: 我们在《SDN/NFV 与网络技术的发展方向》中, 研究了网络的分代和第 4 代网络的组网技术和网络技术; 在《SDN/NFV 组网技术标准》中, 介绍了未来数据网络特别工作组 (CCSA TC1 SWG3) 在 SDN/NFV 组网应用场景、组网体系架构以及基于 SDN/NFV 的各种业务组网体系架构等方面的技术标准; 在《SDN/NFV 关键技术问题分析和标准化进展》中, 结合当前产业发展聚焦的热点问题, 着重分析 SDN/NFV 技术发展的关键技术问题, 并梳理 SDN/NFV 技术领域的标准化和开源项目进展。

还有 3 篇文章是 SDN/NFV 关键技术问题的分析和研究: 我们在《SDN 的网络模型及北向接口》中, 介绍了网络模型的分类以及与北向接口的对应关系; 在《业务功能链技术及其应用探析》中, 分析了业务功能链的体系架构和基本工作流程等; 在《SDN/NFV 关键技术的分析和实现: MICT-OS》中, 提出了基于软件定义网络思路的运营商智能网络操作系统——中兴通讯 ElasticNet MICT-OS™。

另外 4 篇文章是关于 SDN/NFV 的实践与规模应用: 我们在《SDN 规模部署关键问题分析》中, 分析了中国移动在 SDN 的相关实践中发现并解决的部分关键问题; 在《城域网虚拟化方案及思路探讨》中, 研究了城域网网元的演化方案和有效引入虚拟化的现网部署; 在《中国联通 SDN 的思考和应用实例》中, 介绍了电信级 SDN 网络的主要设计目标和目标部署架构, 以及后续发展的若干思路等; 在《中兴通讯在 SDN/NFV 的应用实践》中, 探讨了大网的 SDN 化、VDC 和 CO 重构建设和新业务的实现, 并给出了 SDN/NFV 技术在广西科技大学云化数据中心实践的详细案例分析。

在本期专家论坛的 2 篇文章中, 我们对下一代网络发展进程中遇到的关键问题进行了分析探讨, 指出 5G 网络发展与下一代网络相结合具有重要的意义; 同时, 指出作为下一代网络技术的基础, 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, SDN 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。

这些论文凝聚了各位作者的研究成果和工作经验, 希望能给读者带来有益的收获与参考。在此, 对各位作者的积极支持和辛勤工作表示衷心的感谢!

蒋林涛 唐雄燕

2016 年 11 月 3 日

SDN/NFV 与网络技术的发展方向

Development Directions of SDN/NFV and Network Technologies

蒋林涛/JIANG Lintao

(中国信息通信研究院, 北京 100191)
(China Academy of Information and
Communication Technology, Beijing
100191, China)

从美国 2002 年提出研究下一代网起, 至今已有 14 年的时间。总的来说, 在下一代网的研究方面, 没有取得多少实质性的进展, 务虚的多, 务实的少。下一代网的研究没有目标, 没有指标, 人们自由自在地想, 海阔天空地做, 对目前没有什么指导意义。

另一方面, 由软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)构成的新组网技术由于其实用性, 发展迅速, 正在进入商用阶段。但我们必须认清: 新组网技术在已有网络和新设计的网络中都可以使用, 组网技术仅改变网络的构建方法和组织形态, 不能改变网络的性能。

1 网络的分代

在网络的研究上, 移动通信技术的研究给出了很好的范例。移动通信网的研究从一开始就采用分代研究, 平均以 10 年 1 代的速度迅速推进, 至今已经到了第 5 代(5G), 每代任务具体, 目标明确, 进展顺利。

网络技术的研究, 可以说是反面例子。网络技术研究的基础理论没

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0002-005

摘要: 认为软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)是组网技术, 它可用于已有的网络, 也可用于新设计的网络。指出第 4 代网络是网络的发展方向, 信息通信技术(ICT)技术的融合使其在组网技术上发生了重大的变化。通过研究网络的分代和第 4 代网络的组网和网络技术, 认为工业互联网、融合 ICT 信息基础设施和第 5 代移动通信使网络进入 4.0 时代。

关键词: SDN; NFV; 下一代网; 未来网络

Abstract: Software defined network (SDN)/network function virtualization (NFV) is the networking technology, which can be used both for the existing network and the new network. The fourth generation network is the development direction of the network, and the integration of information communication technology (ICT) brings significant changes in its networking technology. In this paper, the network generations, technologies of networking and network in the fourth generation network are discussed. We propose that industrial Internet, integration of ICT information infrastructure and the fifth generation mobile communications make the network move into the 4.0 era.

Keywords: SDN; NFV; next generation network; future network

有共识, 实际是在盲人摸象, 各说各的, 各干各的。借鉴移动通信技术的研究方法, 我们采用分代研究的策略, 从网络基础理论出发对网络分代, 开展任务具体、目标明确的研究。

至今为止, 网络技术分为 3 代^[1]。

(1) 第 1 代网络技术是模拟通信技术。模拟通信的早期是端到端的金属实线连接, 用于电话和电报。随着用户的增加, 所有用户之间都用实线连接是极不经济的, 网络也将极为复杂, 交换技术的引入, 有效解决了这个问题。随着通信网越来越大, 通信距离越来越长, 完全采用实线连接, 代价太高, 于是引进了频分复用技术(FDM), FDM 是采用载波调制技术, 通过不同载波携带各自的有效信息来实现复用, 在一条实线上, 携带

数路、数十路、甚至数千路模拟信息, 从而有效地提供传输效率, 这就是第 1 代网络技术。第 1 代网络的基础是 FDM + 交换(通过人工或自动交换设备)。

(2) 第 2 代网络是基于时分复用(TDM)技术的数字通信技术。模拟通信技术由于其中继噪声倍增, 且单位赫兹的传输效率低下, 在第 2 代就采用了数字通信技术。第 2 代网络采用的 TDM 技术, 通过用不同的时隙承载不同的用户通信信息, 来实现用户间通信的复用。TDM 技术在程控电话交换系统和同步传送网(SDH)中, 得到了极为成功的应用, 迄今为止 SDH 仍然是广泛使用, 提供点到点的同步数据专线。作为 TDM 技术的用户接入技术, 综合业务数字

网(ISDN)和数字数据网(DDN)也曾广泛使用,其中DDN至今还在应用。基于TDM的数字通信技术设计严谨,体系完整,完成了作为一代通信技术的使命,目前正在逐步过渡,预期还有相当一段过渡期。

(3)第3代网络是基于统计复用的分组数据通信技术。TDM技术只能用于面向连接的场合,一旦连接建立,在通信的两侧用户之间就建立起一条交换性虚电路,在连接存在期间,通信资源是独占的。TDM技术对通信资源的利用率是不高的,基于统计复用的分组数据通信技术是为提高通信网资源的利用率提出的。在分组通信数据网中,通信信息将被打成一个一个的数据包(分组),数据包(分组)是分组通信数据网中传送的基本单元,通过数据包的传送实现通信。数据包(分组)在通信信道上传送就占有通信网资源,数据包(分组)不在通信信道上传送就不占用通信网资源。只要网络的通信资源从统计意义上能满足通信业务的资源要求,就能保证业务的服务质量,基于统计复用的分组数据通信技术可以提高网络通信资源的利用率。

2 第3代网络与IPv4

发展第3代网络技术的一个推手是电信业务的发展,我们期望通过使用统计复用的分组数据通信技术,大幅度提高网络通信资源的利用率。典型的电信第3代网络技术有:X.25、帧中继(F.R)和异步传输模式(ATM)。发展第3代网络技术的另一个推手是计算机网络,其动力是为了解决异机种计算机之间互联。异机种计算机间互联的要求是能够实现联网计算机间随时随地的进程通信,为此要求计算机的端到端是处于长连接状态。异机种计算机之间互联的这一要求,开拓了分组数据通信网不面向连接的工作模式的应用。传输控制协议(TCP)/IP提供了进程通信能力,提供了从未有过的网络连接

能力,并且连接数没有限制。TCP/IP是网络技术的重大突破和创新,原有的通信技术完全无法和它抗衡。由此,IP网络技术不仅完全统治了网络层,而且分组传送网也都采用的是IP Base的技术。只有移动通信网从技术本质上没有IP化^[2]。

到目前为止,网络技术发展了3代,主流的应用都已经采用第3代网络技术,主要是IP网络(IPv4)。随着业务的发展,第3代网络技术已经不能满足发展的需要,网络将进入4.0时代。

3 网络4.0与IPv6

第3代网络技术的主体是IP技术(IPv4),IPv4的“无心插柳”造就了互联网,使网络技术发生翻天覆地的变化。但是,IPv4毕竟不是为互联网设计的,随着互联网的发展,会暴露出一些问题。首先是地址问题,IPv4只有32 bit的地址空间(约43亿个地址),根本无法满足发展的需要。早在20世纪90年代初,国际互联网工程任务组(IETF)就看到了这个问题,并开始下一代互联网(IPng)的制订工作,IPv6的工作就此展开。RFC1550给出IPv6的具体的目标,IPv6需要解决扩展性问题、安全性问题、移动性和服务质量问题等。

IPv6实质性地开启了网络4.0时代,但是IPv6没有实现它预期的目标,除了解决地址的扩展性问题外,与IPv4相比没有实质性的改变。在IPv6发展初期,为了用户能去使用IPv6,工作的着力点一直在解决IPv4和IPv6的互通问题上,期望用户使用IPv6和IPv4感觉相同,即用户是“无感知”的。但仅凭地址空间增加,其他性能没有相应增强,很难有强劲的商业驱动力,IPv6的发展遇到瓶颈。要发展IPv6必须增强其商业驱动力,要让用户明显感到IPv6比IPv4好得多,IPv6能做IPv4做不到的事,即用户必须“有感”,感觉越强则发展的动力越强,只有这样才会有IPv6真正的

顺利发展^[3]。发展IPv6的工作重点应该是实质性地提升IPv6的性能,而不是停留在现阶段技术水平上。

工业互联网、融合ICT信息基础设施和第5代移动通信是网络技术面临的三大应用场景,是第4代网络技术必须支持的场景,目前的IP网显然没有这样的能力。工业互联网要求网络能够支持:智能化制造、网络化协同、个性化定制和产业化服务;融合ICT信息基础设施要求网络有能力将云计算和大数据等IT基础设施提供给广泛用户,从而要求云内网、云间网和云到用户网是一体化网络;第5代移动通信要求网络技术上有重大突破,到第4代为止的移动通信网从技术本质上没有IP化,数据分组技术还仅局限于网关之内的所谓“骨干网”区域,网关到用户间的通信从技术本质来说,还是基于TDM技术的“隧道”。网络的这种架构,难以满足第5代移动通信问题已经确定场景对网络性能和能力的要求。

目前IP已经被“神化”,无人敢碰,无人敢改,明知IP网存在问题,但大家不是直面去解决问题,而是用“打补丁”的办法“绕过”问题,结果是网络越来越复杂,效率越来越低。IP被神化是一个非常奇怪的问题,IP是网络间互连的协议的英语(Internet Protocol)缩写,是为计算机网络相互连接进行通信而设计的协议,从定义来看,没有任何可以神化的成分;从技术本质来看,IP网是分组数据网的一种,采用不面向连接的工作模式,也没有任何可以神化的成分。至于说TCP/IP,则是提供了空前开放的网络环境,为业务开发者提供极佳的开发网络平台(这是主流看法)。其实,自分组数据网的诞生,就创造了分组数据的业务网和承载网分离的模式,为业务开发者提供了提供极佳的业务开发的网络平台,并非始自IP。TCP提供进程通信能力是一个极为重要的创新,但是TCP对分组数据网的唯一要求是:必须工作在

不面向连接的工作模式下,TCP/IP也好,TCP/XX也好,将具有同样的能力。因此,作为第4代网络不应该仅是“为计算机网络相互连接进行通信而设计的协议”,应该是能够满足信息技术发展的分组数据网。

4 第4代网络技术

与前3代网络技术不同,第4代网络技术因为ICT技术融合的发展,在组网技术上发生了重大的变化。这样一来,在第4代网络技术的研究中,就需要考虑两个体系架构:网络体系架构和组网体系架构。目前,在这方面的概念是模糊的,人们往往将网络架构和组网架构混为一谈。从技术本质上来说,组网体系架构决定网络的构建和组织形态,网络体系架构决定网络的性能,它们使用的技术也是不同的。目前,业界过分夸大组网技术的作用,而忽略了网络体系架构的技术本质和作用。

4.1 组网技术

在第3代通信技术之前,组网方式都是采用实体设备组网,即网络中的所有网元都是实体网络设备。随着ICT技术的融合,网络的组网方式也发生了变化,除了有实体组网方式外,还产生了虚拟组网方式。

(1) 虚拟网络技术

在第3代网络技术之前,所有网络使用的网元都是实体网元,在网络的拓扑图上看到的网元设备,在现实的网络中就存在一个路由器,它的硬件和软件是存在于同一个设备中的。同样在第3代网络技术之前,使用的所有网络也都是实体网络,即你在网络的拓扑图上看到一个网络,在现实中就存在这样一个网络,网络中的所有网元都是实体设备,网络中网元间的连接,都是实体线或由传送网提供的虚拟专线。

在第4代网络技术中,在组网技术上引入了虚拟组网技术。虚拟网络技术包括:虚拟网元技术和虚拟网

络技术。虚拟网元在设备的性能上,与同等的实体网元没有差别,其差别在于构成网元设备的硬件和软件是分离的,虚拟网元中的硬件资源来自“云化”数据中心的IT资源池中的一个虚拟机(VM)或者一个虚拟容器,将相关软件加载到VM或一个虚拟容器中就构成虚拟网元;虚拟网络在网络的性能上,与同等的实体网络也没有差别,其差别是构成虚拟网络的网元是虚拟网元,将虚拟网元连接成虚拟网络的是一个叫业务功能链的技术,虚拟网络中的网元和网元间连接都只是逻辑意义上的存在。

(2) NFV

NFV是电信界近年来少有的杰作,它从电信网发展的现实需要出发,结合计算机技术中已经相当成熟的虚拟机技术提出的,它的出现立刻就得到电信界的广泛响应,并很快付诸实践。

NFV通过将实体网元设备的功能抽象和软硬件解耦,使网络设备功能不再依赖于专用硬件,网元设备所需要的IT资源可以充分灵活共享,实现新业务的快速开发和部署,实现根据实际业务需求进行自动部署、弹性伸缩、故障隔离和自愈等。网络功能虚拟化后,可以采用标准的x86服务器、存储和交换设备构成云化数据中心,取自云化数据中心的IT资源构成的虚拟机来取代网元设备中的硬件。其好处是:硬件为规范化和标准化的基于x86的IT资源设备,可以实现IT资源的充分灵活共享;开放的应用程序编程接口(API),也能提供更多、更灵活的组网能力^[4]。

在VM上安装相应的网元设备的软件,就构成虚拟网元设备,只要VM分配到的IT资源与实体机硬件能力相同,虚拟网元设备与实体网元的性能就是相同的。按设定的网络拓扑结构,通过虚拟专线(或网络隧道构成的专线)将虚拟网元设备连接起来,就可以构成虚拟网络,将虚拟网元连接成虚拟网络的技术称为业务

功能链技术。在NFV中,业务功能链是一个很重要的功能,它通过网络的管理平面来配置,通过入口加标记来实现。NFV的作用是实现虚拟网元和虚拟组网,网络的构建和组织形态发生了变化,但不改变网络的性能。

(3) SDN

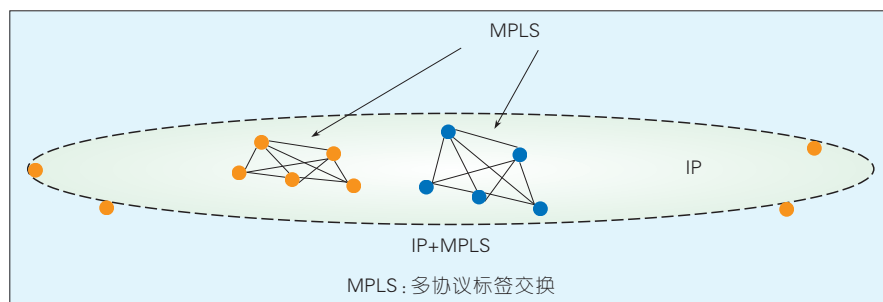
SDN是美国斯坦福大学于2007年提出的概念,初始的设计是以OpenFlow协议为基础,通过动态流表技术来建设网络的创新平台。产业的现状和产业的既得利益,使得目前的SDN偏离原始设计理念。SDN是英文的缩写,不同的利益集团根据各自不同的利益出发,给出了多种不同的解释,归结起来SDN有3种说法:第1种说法为software defined networking,这是目前SDN技术发展的主流,networking的中文意义是组网,因此SDN应为软件定义组网技术。其技术本质有两点:其一是原来节点间经控制面实现的动态路由,节点各自生成路由转发表的分散式动态路由技术,改成由控制器集中计算路由,通过管理面给转发设备下发路由转发表的集中式路由体系,这就是常说的控制与转发分离技术,这里所谓的控制仅针对路由体系而言,与网络所需的其他控制功能无关;其二是网管智能化,利用控制器的集中管理和控制优势,增强网络的管理和控制能力,实现通信资源的快速部署,或基于实际业务需求进行自动部署、弹性伸缩等。第2种说法为software driven network,该说法是由思科公司提出的,目的是建立业务网和承载网之间的联系,实现业务层对网络的配置等方面的驱动。这件事情有着很重要的意义,但实现起来难度很大,原因是被控网络往往是不可驱动的,要实现软件驱动网络,需要重新设计被控网络。第3种说法为software defined networks,是当年斯坦福一开始提出来的原始理念,它可以用来设计和建设网络的创新平台。上述3种说法,形成SDN的发展的3个阶

05 中兴通讯技术

疑,以至最后认为采用不面向连接的分组数据网无法解决服务质量问题,要解决服务质量问题必须另找出路。

在第3代网络和第4代网之间还有一个3.5代网络,原因是它只是一个过渡层,网络技术不够构成一代,这个过渡层能解决一些问题,也带来更大的问题。第3.5代网络是IP+多协议标签交换(MPLS),这是很奇怪的半代,也是很无奈的半代。众所周知,IP网是一个工作在不面向连接工作方式下的分组数据网,正因为不面向连接的网络特性和进程通信是适配的,IP网才得以在互联网中大展身手。但IP网的服务质量始终是个问题,无法得到解决。Inter-Serv、Diff-Serv 均未能解决问题,于是专家们又回过头用“面向连接”工作方式的MPLS做以尝试。虽然我们经常说IP+MPLS,其实两者之间是没有太大的关系,从逻辑上看两者是完全独立的。在IP网上的若干节点,拥有IP网的全部能力,又具有MPLS的全部能力,将这两项功能(IP、MPLS)放在一个物理设备中,它的IP网部分和IP网连接构成一个IP网的整体,它的MPLS部分则可以提供PE点到PE点的专线。当然,这将会很大程度上提升节点设备的复杂度,但更本质的是MPLS是面向连接的,它存在面向连接工作方式所固有的 N 平方问题,因此只能用于解决网络局部的问题,不能解决全局问题。特别是将这两种本质上相抵触的技术用在一处,产生了一种很奇怪的网络体系。在3.5代网络中还使用了(叠加了)不少其他技术,但都不构成主流。在3.5代网络中,主要引入的是MPLS,因为在局部能解决一些问题,因此20年来,整个通信网主要就是依靠IP+MPLS结构在支撑。图2是目前网络的典型架构。

该网络总体上是一个IP网,具有“尽力而为”的传输能力,无虚拟网能力、服务质量保证,不安全,不可信等。在MPLS覆盖区,因为是采用面



▲ 图2 IP网的现状

向连接的工作方式,性能有实质性的改进。因为 N 平方问题(连接数的数量),图2的MPLS区域只能是以孤立的方式存在,不能连成一个完整的网络。第3.5代网络总体上是IP网上打了各种各样的补丁所构成,最大的补丁是MPLS。

那么,第4代网络技术是什么技术呢?鉴于未来网络中的业务一定是变速率的业务,要与变速率业务相适配,第4代网仍将会是采用基于统计复用的分组数据技术。网络技术与业务特性相适配两者才能得到同步发展,未来网络中的业务的主体一定是面向进程通信的业务,因此,第4代网络将必定要采用与进程通信特性相适配的、不面向连接的工作方式。由于没有看到新的网络技术,也没有看到新网络技术近期出现的可能性。尽管在全球范围内,业界在进行大量的网络技术的理论研究,但经综合分析和研究,新网络技术出现的概率非常低。从务实和实际需要出发,与第3代相同,第4代网仍将会是采用基于统计复用的分组数据技术和不面向连接的工作方式。目前的IP网是符合这个条件的,那么能不能从IP网再走下去,来实现第4代网络?20多年来,业界一直不断在进行探索和尝试,如采用Inter-Serv和Diff-Serv,结果很不理想;而改用面向连接的MPLS虽然局部有改善,但结果也很不理想。简单的从IP网作改造已不可能突破,第4代网必须引入新的设计理念和新的体系架构才有可能有新的突破和发展。第4代网

络技术的目标是:解决安全可信、可控可控、服务质量、移动性、虚拟网和可扩展性等问题,实质性地提升网络的性能。

5 结束语

工业互联网要求网络能够支持:智能化制造、网络化协同、个性化定制和产业化服务;融合ICT信息基础设施要求网络有能力将云计算和大数据等IT基础设施提供给广泛用户,从而要求云内网、云间网和云到用户网是一体化网络;第5代移动通信在网络技术上有突破性要求,全网需要实现“IP化(数据分组化)”。工业互联网、融合ICT信息基础设施和第5代移动通信使网络进入4.0时代。

参考文献

- [1] 蒋林涛. 互联网引入带来的机遇与挑战[J]. 电信科学, 2008, 24(1): 1-6
- [2] 蒋林涛. 移动互联网中的若干问题研究[J]. 中兴通讯技术, 2013, 19(6): 1-4. DOI:10.3939/j.issn.1009-6868.2013.06.001
- [3] 蒋林涛. 下一代网络技术研究[J]. 电信网技术, 2015(10): 19-23
- [4] ETSI NFV ISG. Network Functions Virtualisation-White Paper#3[R]. (2014-10-20). Dusseldorf, Germany: SDN & OpenFlow World Congress, 2014

作者简介



蒋林涛, 中国信息通信研究院科技委主任, 中国通信标准化协会IP与多媒体标准化技术工作委员会主席; 长期从事通信网络技术及业务, 互联网技术及业务, 信源编码技术和多媒体业务等方面的研究、开发和标准化工作; 1992年获国务院颁发的政府特殊津贴, 1996年获“中华人民共和国有突出贡献的中青年科学技术专家”称号。

SDN/NFV 组网技术标准

Technical Standards of SDN/NFV Networking

聂秀英/NIE Xiuying

(中国信息通信研究院, 北京 100191)
(China Academy of Information and
Communication Technology, Beijing
100191, China)

虚拟化云计算、移动和大数据等新技术和新应用的发展,对通信网络提出了组网灵活性和便利性的要求,软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)的提出和发展使得灵活组网成为可能,迎合了云计算应用等对灵活组网的实际需要。自其出现以来便受到通信网络运营者、通信网络设备制造商以及互联网应用提供者的广泛关注,相应的研发成果得到了多方的应用。

多个国家、区域的标准化组织、论坛和协会,包括开放网络基金会(ONF)、因特网工程任务组(IETF)、国际电信联盟(ITU)、欧洲电信标准协会(ETSI)NFV组、美国电信解决方案联盟(ATIS)NFV论坛(NFV-F)等都在开展SDN/NFV技术相关标准的制订等工作,其标准化的内容各有侧重。

经中国通信标准化协会(CCSA)批准,2013年1月在CCSA TC1中成立了未来数据网络特别工作组(SWG3),致力于未来数据网络相关标准化工作。截至2016年8月,SWG3已经召开了18次会议,完成了8项通信行业标准报批稿,其中有2

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0007-005

摘要: 软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术为降低网络构件成本,实现灵活组网提出了便利的方案,是信息通信技术(ICT)产业发展不可缺少的重要支撑。通过对中国通信标准化协会(CCSA)未来数据网络特别工作组(TC1 SWG3)在SDN/NFV组网应用场景、组网体系架构以及基于SDN/NFV的各种业务组网体系架构等方面的技术标准的介绍,认为SDN/NFV将成为未来网络的候选技术之一,TC1 SWG3在后续的工作中将研究采用SDN/NFV技术的未来数据网络相关标准,服务行业应用。

关键词: SDN/NFV; 组网; 标准; 未来数据网络(FDN)

Abstract: Soft defined network (SDN)/network functions virtualization (NFV) technology provides a convenient solution for the cost reducing of network construction and the flexibility of the networking, and it has become the important support for the development of information communication technology (ICT) industry. In this paper, the related work on the technical standards of SDN/NFV networking application scenarios, networking architecture and various applications functional architecture based on SDN/NFV of China Communications Standards Association (CCSA) future data network special working group (TC1 SWG3) are introduced. It has been realized that the SDN/NFV will be one of the candidate technologies for future network. And future data network related standards based on SDN/NFV will be developed in the follow-up work of TC1 SWG3, so as to serve the industry applications.

Key words: SDN/NFV; networking; standard; future data network (FDN)

项已由工业和信息化部正式发布,其他多项通信行业标准正在研究和制订之中。

SDN/NFV技术本身并没有改变数据通信网络的体系架构、通信协议、提供的业务等,但SDN/NFV技术的采用将为网络建设者和网络的使用者提供组网的便利性、经济性以及灵活性。SWG3初期的工作主要围绕SDN/NFV技术在近期数据网络组网的体系架构、应用场景以及各应用场景的技术要求等方面。

文章中,我们将针对SWG3目前取得的研究成果,从SDN/NFV组网应

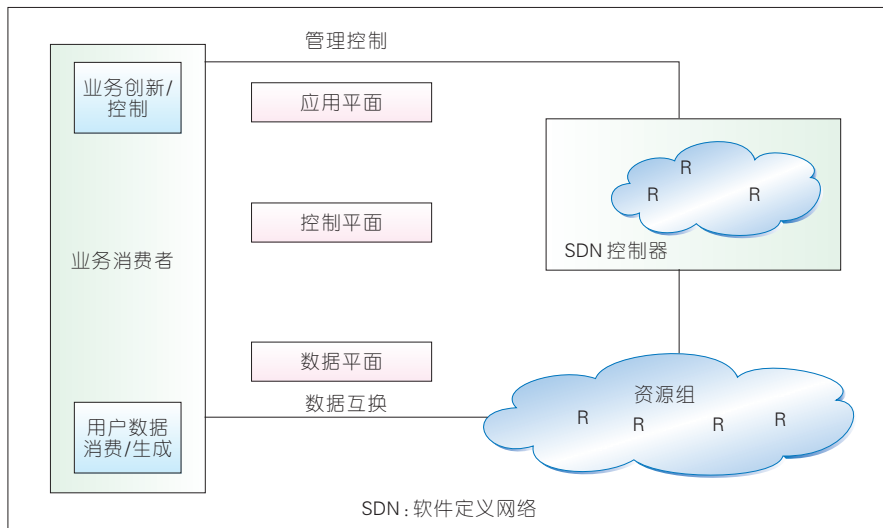
用场景、组网体系架构以及典型的组网应用场景的技术要求等方面进行介绍。

1 SDN/NFV 技术特征

1.1 SDN 基本模型

图1给出了SDN的基本模型。从图1可以看出,SDN基本特征为应用平面、控制平面和数据平面相分离以及接口的开放性,业务消费者一方面可以通过开放的应用-控制接口将管理控制信息发送给控制平面,另一方面可以与数据平面互换数据。

收稿时间: 2016-09-15
网络出版时间: 2016-10-25



▲图1 SDN的基本模型

SDN 体系架构扩展了 SDN 的基本模型,允许所拥有的资源以最优的方式动态地在多个客户端间共享,网络资源和业务资源可管理。

1.2 NFV 基本概念

图2为 ETSI GS NFV 002 V1.2.1 网络功能虚拟化体系架构框架给出的高层 NFV 框架。

如图2所示,NFV中包含有3个主要的工作域:虚拟化的网络功能,是指能够在NFV基础设施(NFVI)上运行的网络功能的软件实现;NFVI,包括物理资源的多样性以及这些物理资源虚拟化的方式,NFVI支持VNF的执行;NFV的管理和编排,涵盖支持基础设施虚拟化的物理和软件资源的编排、生命周期的管理,以及各VNF的生命周期管理。

1.3 SDN 与 NFV 之间的关系

SDN 技术主要的思想是控制平面和数据平面相分离,并利用软件来控制数据在数据平面的数据转发等。NFV 致力于创建和管理虚拟化的网络功能(VNFs),SDN 能够将 VNFs 组织起来,形成 NFV 网络的网络服务(NF)。VNF 和 NS 做为动态地构建和优化客户端业务中可使用的资源,将是SDN控制和管理的资源。

在 NFV 体系架构中可以在多个功能块和多个接口处应用 SDN 技术来实现。SDN 和 NFV 既独立又共存。

2 SDN/NFV 组网应用场景

据 SDN/NFV 的技术特点和各种业务和应用对网络组网的新需求,文献[1]给出了可应用 SDN/NFV 进行组网的6类16个应用场景。分别是:

(1) 数据中心应用场景

该类应用场景包括数据中心流量工程、数据中心内网络策略同步迁移,以及数据中心内基于以太网光纤通道(FCoE)的存储网络。

(2) 城域网应用场景

该类应用场景包括城域网业务边缘、城域网 IP 无线接入网(RAN)、城域接入网,以及家庭网络。

(3) 核心网应用场景

该类应用场景包括演进分组核心网(EPC)单功能网元分离和融合网络控制。

(4) 企业网应用场景

该类应用场景包括企业内部组网和大型企业网。

(5) 骨干网应用场景

该类应用场景包括多协议标签交换(MPLS)虚拟专用网(VPN)、MPLS 流量工程(TE)路径计算,以及端到端的协同。

(6) IPv6 过渡应用场景

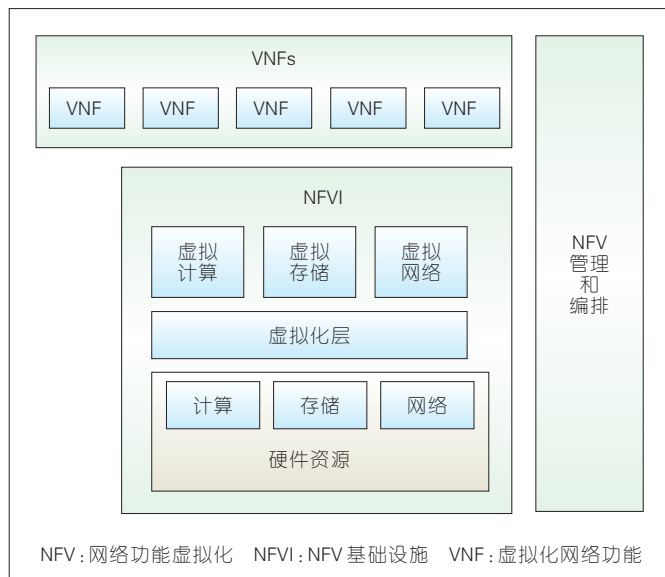
该应用场景包括过渡技术的切换与共存,以及转发面地址池的共享使用与管理。

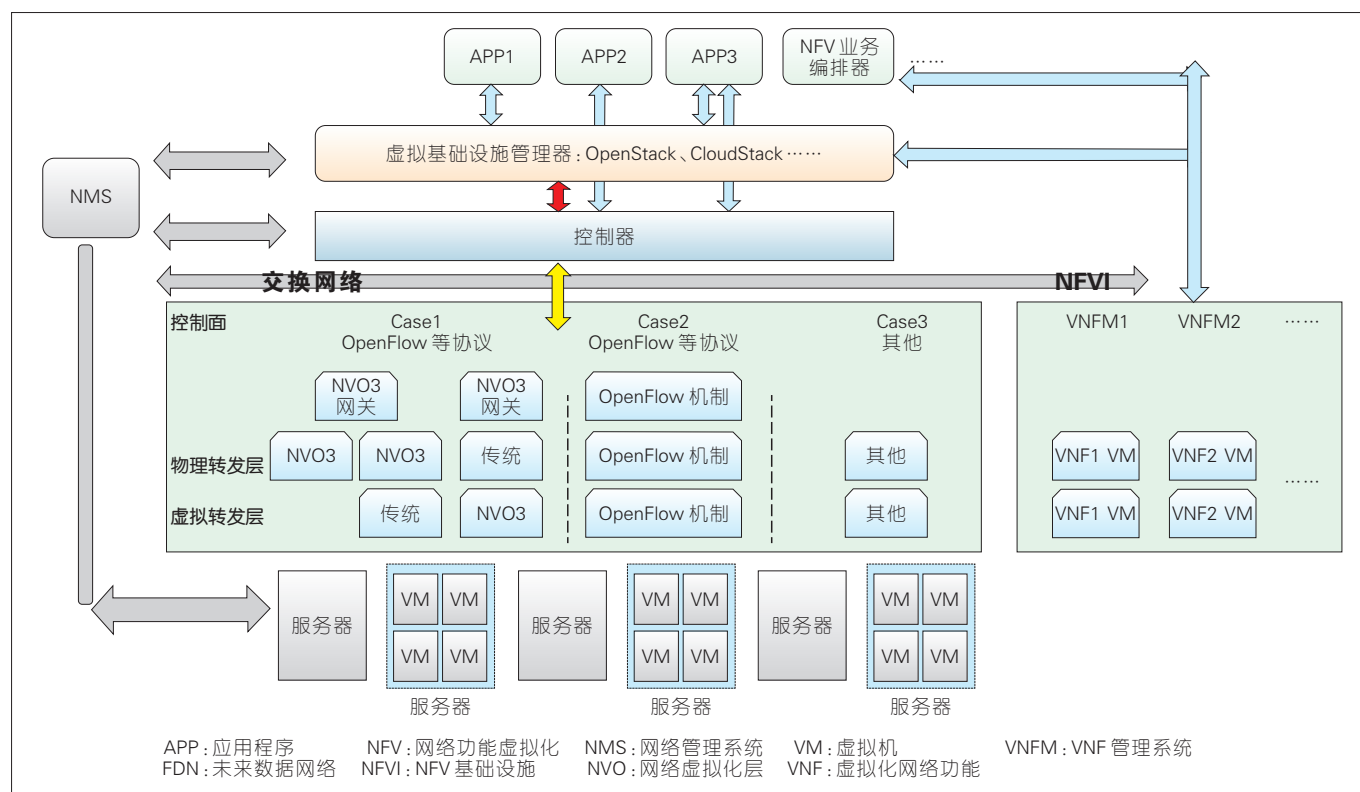
3 典型的 SDN/NFV 组网应用功能架构

3.1 数据中心内部网络功能架构

文献[2]规定了利用 SDN/NFV 技术的数据中心网络功能架构、网络初始化、网络转发面功能、网络控制面功能及网络管理功能等方面的技术要求。该标准适用于数据中心内部

图2
高层 NFV 框架





▲ 图3 FDN数据中心架构

网络的4个应用场景:多租户虚拟网络应用场景、数据中心内二层网络应用场景、租户业务链应用场景、支持网络演进及逐步部署应用场景。

图3给出了基于未来数据网络（FDN）的数据中心网络功能架构。

FDN的数据中心架构分为4层。

(1)应用层(APP):应用层包括应用软件(含网管系统、NFV编排器)。

应用软件通过软件算法感知、优化、调度网络资源,实现如租户逻辑网络隔离与管理,提高网络使用率和网络质量等功能。应用层与协同层、控制层之间采用标准的接口格式,如RESTful 应用程序编程接口(API)、java、python、json、Protobuf,以及NETCONF等。

网管系统实现对转发设备和FDN控制器中的各类管理对象的管理、虚拟化网络资源的分配、FDN控制器策略等配置和管理等功能。网管系统可以逻辑独立于转发层、控制

层和应用层,在某些应用场景中也可以作为应用层中比较特殊的一种应用存在。

NFV编排器对VNF统一编排和管理,NFV业务编排器可以根据应用需求定义不同的业务链,并保证创建单个VNF和业务链的机制一致。

(2)虚拟基础设施管理器(VIM):在FDN数据中心协同层主要包括OpenStack、CloudStack等虚拟基础设施管理器。它还用于联动计算、存储网络资源,与各控制器采用标准接口,屏蔽控制器差异。虚拟基础设施管理器还负责VNF虚拟机(VM)的资源管理。

(3)控制器:为逻辑集中的控制实体(物理上可集中式资源实现或者分布式资源实现),将应用层业务请求转化为转发层的流表并配置到转发层网元中,接收转发层的状态、统计和告警等信息。综合各类信息完成路径计算、基于流的流量统计、策略制订和配置等功能。

控制器与转发设备之间运行OpenFlow/NETCONF等协议。

(4)转发层:由具有分组转发功能的物理设备(物理网元)或虚拟交换设备,以及NFV管理和VNF转发设备共同组成。根据FDN控制器通过控制-转发接口配置的转发表完成数据转发。转发设备内包含管理代理、控制代理和转发引擎等基本单元。

转发层按照控制平面、转发平面工作机制又分为下列3类场景。

(1)场景1,采用OpenFlow等控制协议作为集中控制平面协议。在转发平面上根据网络虚拟化层3(NVO3)支持的层次,又分为物理交换机作为NVO3接入点并采用NVO3封装、虚拟交换机采用传统报文封装、物理交换机采用传统报文封装、虚拟交换机作为NVO3接入点并采用NVO3封装两种。NVO3网关用于与非NVO3网络或外界网络互通。网关具有硬件和软件两种形态。

(2)场景2,采用OpenFlow等控制

协议作为集中控制平面协议。转发平面采用 OpenFlow 转发机制。OpenFlow 网关用于与非 OpenFlow 网络或外界网络互通。网关具有硬件和软件两种形态。

(3) 场景 3, 采用其他的控制平面协议和报文封装。

NFV 管理模块为 VNF 管理系统 (VNFM), 对协同层采用 OpenStack 等开源接口, 对 VNF 采用内部接口。

3.2 IP RAN 网络

基于 SDN 的 IP RAN 网络主要需要解决以下 7 个问题: 简化运维复杂度; 提升网络智能化水平; 降低业务开通难度; 适应新业务的快速发展, 快速提供新业务; 开放网络能力给用户; 降低设备复杂度; 降低异厂家 IP RAN 设备互通难度。

文献[3]中给出了如图 4 所示的基于 SDN 的 IP RAN 网络组网参考架构, 该架构包含应用层、控制层和转发层。

(1) 转发层: 根据 SDN 控制器下发的控制信息完成数据转发。应具有基本的路由功能, 以保证转发节点与控制器和网管之间控制通道和管理通道的自动建立。转发节点接受控制器的控制及向控制器报自身的资源和状态。转发节点同时仍需要提供传统的网管北向接口, 但北向接口不再包括网络业务和协议的功能, 只提供转发节点设备本身的管理接

口, 如电源、电压、单板等管理功能。考虑到现网已大规模部署, 为了兼容现有网络硬件条件, 初期转发层网络设备的互联互通及数据流转发需兼容 IP/MPLS 协议集 (MPLS-TP 为其子集)。到了后期, 待 OpenFlow 流表芯片发展得较为成熟, 逐步向 OpenFlow 流表转发演进。

(2) 控制层: 逻辑上集中的控制实体, 通过南向接口向转发层网络设备下发控制信息, 通过北向接口向上层应用开放底层网络资源和能力。该层的 SDN 控制器是一个软件系统, 可以内置在网络设备中, 也可以部署在一个独立的服务器中。控制器是整个网络的控制面, 对整个网络进行集中控制。控制器控制的网络范围根据实际情况, 可由网络管理员进行定义。南向接口主要做业务级的控制平面定义, 完成网络拓扑的发现、业务配置下发、业务伪线 (PW)/标签交换路径 (LSP) 的计算及表项的下发。北向接口包括网管北向接口, 通过向网管提供网络的业务部署、监控、故障处理、故障定位等功能, 可以提供对网络拓扑和虚拟网络的操作, 应用层北向接口, 通过向第三方应用开放编程接口, 提供 API 编程接口。用于第三方应用利用控制器获取网络资源 (如网络拓扑), 提供针对网络的诊断、故障定界定位、性能监控等应用, 以及未来创新的应用。

设备侧具有控制层的控制代理,

除此之外, 也可保留一部分控制功能。按照所保留的控制功能强弱, 分为如下 3 种实现方式。

- 强控制能力: 设备上保留基本内部网关协议 (IGP)、边界网关协议 (BGP)、标签分发协议 (LDP)、双向转发检测协议 (BFD) 等动态路由协议, SDN 控制器功能相对简单, 只做基本配置下发。

- 弱控制能力: 设备上保留静态转发表, 并具备故障检测等机制, 故障后设备侧可以自行切换, 其余配置主要在控制器完成。

- 无控制能力: 设备上保留静态转发表, 所有表项都由控制器来配置和下发, 即网络的所有功能均由控制器下发实现。

(3) 应用层: 基于控制层数据进行应用管理。

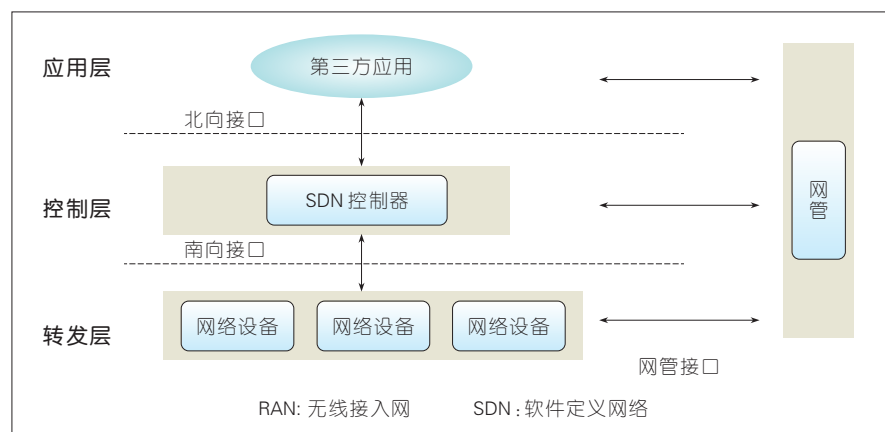
(4) 网管: 完成转发面网络设备、SDN 控制器各类对象的管理及控制器或第三方应用策略的配置。转发面网络设备在网管上可作为独立网元管理, 但是由于业务已经由控制器进行集中控制, 因此网元管理面只提供网元设备管理功能。

3.3 宽带网络接入服务器

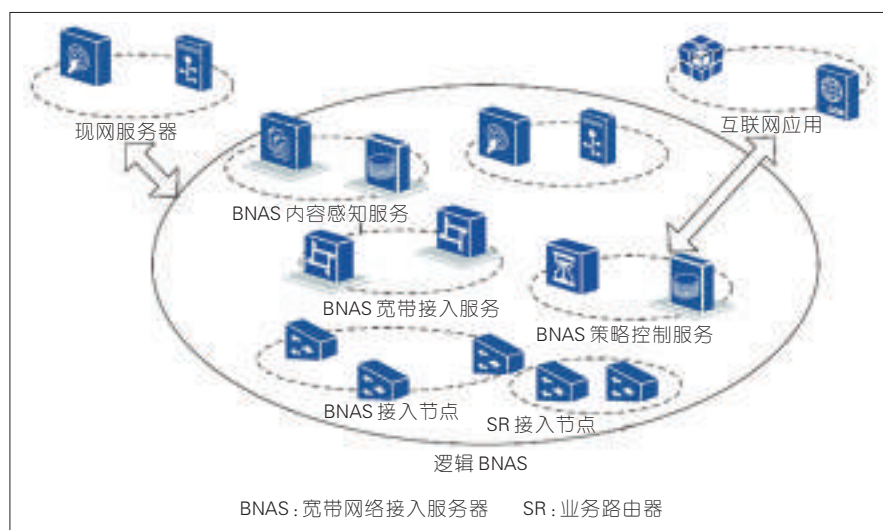
基于 FDN 的宽带网络中, 宽带网络接入服务器 (BNAS) 分为两种功能实体, BNAS 接入节点位于承载网络接入边缘, 不同的 BNAS 服务为多个 BNAS 接入节点提供共享的增值服务。BNAS 接入节点仅提供路由和 VPN 等基础二三层网络互联互通的功能, 而其他功能, 例如传统 BNAS 的宽带接入功能, 虚拟化为宽带接入服务部署在 FDN 控制器中。

文献[4]给出如图 5 所示的 FDN 网络中的逻辑 BNAS。

BNAS 接入节点和传统 BNAS 处于同一网络层次, 负责接入宽带用户, 可提供路由、VPN 等 TCP/IP 二三层基础网络互联业务, BNAS 接入节点负责接入并转发宽带接入用户流量, 把符合条件的宽带用户协议和流



▲ 图 4 基于 SDN 的 IP RAN 网络组网参考架构



▲图5 FDN网络中的逻辑BNAS

量送到不同的BNAS服务；业务路由器(SR)接入节点同样作为网络接入层面最为传统的路由设备，同样提供路由、VPN等TCP/IP二三层基础网络互联业务。BNAS服务是物理独立的设备或是虚拟在服务器上的逻辑服务实体，根据提供给宽带用户的不同服务类型分为BNAS宽带接入服务、BNAS内容感知服务等多种服务；传统BNAS的PPPoE、动态主机配置协议(DHCP)、Radius Client、第2层通道通信协议(L2TP)等宽带接入功能由单个或者多个BNAS宽带接入服务提供宽带接入服务；BNAS宽带接入服务接受BNAS接入节点转发的用户宽带协议并进行状态处理，处理完毕后把处理结果下发到BNAS接入节点，再由BNAS接入节点依据下发的内容完成宽带用户的流量转发功能；BNAS内容感知服务提供一个或多个涉及TCP/IP 4-7应用层内容感知服务，例如深度包检测(DPI)、视频Cache等；BNAS认证、计费、授权(AAA)服务，为宽带用户提供AAA

相关功能，在FDN宽带网络中，AAA和BNAS宽带接入服务交互，认证后用户授权策略通过BNAS宽带接入服务下发到BNAS接入节点；BNAS策略控制服务为宽带用户定义网络流量的转发策略。BNAS策略控制服务支持接受其他BNAS服务定义的宽带用户流量策略，支持对BNAS接入节点和其他BNAS服务下发策略。BNAS策略控制服务提供互联网应用接口，用于与互联网应用对接，互联网应用可以通过该接口对BNAS接入节点的特定流量进行转发和策略的控制，实际上为BNAS接入节点提供互联网应用控制服务；互联网应用接口接受互联网应用的调度指令，并翻译为BNAS接入节点可以识别的指令，通过和BNAS接入节点之间接口下发到BNAS接入节点，并由BNAS接入节点执行。

4 结束语

SDN/NFV技术因其可为各种业务提供组网的灵活性和便利性而得

到业界的广泛关注。CCSA TC1 SWG3结合SDN/NFV技术的特点和各种业务对网络组网的特定需求的实际情况适时研究，并制订了现阶段未来数据网络组网的系列通信行业标准，目前相关的工作还在该特别工作组中有序地进行。截至目前，采用SDN/NFV技术的应用基本上是改变了网络的组网方式，并未改变数据网络自身的体系架构和通信协议。随着各种通信业务的发展，当前网络所存在的诸如网络资源不可管，网络安全无法保障等问题越发凸显，迫切需要能够承载移动业务以及工业互联网等多种业务的未来数据网络技术和标准。SDN/NFV作为未来网络的候选技术已经成为业界共识，TC1 SWG3在后续的工作中将研究采用SDN/NFV技术的未来数据网络相关标准，服务行业应用。

参考文献

- [1] 王茜,解云鹏,陈运清,等.未来数据网络(FDN)应用场景及需求(报批稿): 2013-0980T-YD[S/OL].[2016-09-15].<http://www.ccsa.org.cn>
- [2] 李晨,黄璐,段晓东,等.基于FDN的数据中心网络技术要求(报批稿): 2015-0731T-YD[S/OL].[2016-09-15].<http://www.ccsa.org.cn>
- [3] 杨广铭,孙嘉琪,尹远阳,等.基于SDN的IP RAN网络技术要求: YD/T 3020-2016[S/OL].[2016-09-20].<http://www.ptsn.net.cn/>
- [4] 陈华南,袁博,张征,等.基于FDN的宽带网络接入服务器技术要求: YD/T 3053-2016[S/OL].[2016-04-05].<http://www.ptsn.net.cn/>

作者简介



聂秀英,中国信息通信研究院教授级高级工程师,CCSA TC1 SWG3副组长;长期从事数据通信、多媒体通信、IP领域的软科学研究和标准制订工作;获国家科技进步二等奖1项、省部级科技进步奖多项;向国际电信联盟ITU-T提交文稿20多篇。

SDN/NFV 关键技术问题分析和 标准化进展

Key Technical Problems and Standardization Progress of SDN/NFV

马军锋/MA Junfeng

(中国信息通信研究院, 北京 100191)
(China Academy of Information and
Communication Technology, Beijing
100191, China)

当前,传统网络的演进发展正面临越来越多的挑战,既要面对OTT竞争,承受降低目前投资成本(CAPEX)/运营成本(OPEX)的压力,提升网络差异化服务的能力,又要满足消费者体验需求的互联网化,与其他行业跨界融合及构建全连接网络的诉求,网络架构重构已成为网络可持续发展的必然要求。中国三大运营商相继发布网络转型战略(电信CTNET 2025、移动NovoNet 2020愿景、联通CUBE-NET 2.0),期望通过使用软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)、云计算、网络虚拟化等新技术来构建一张“资源可全局调度,能力可全面开放,容量可弹性伸缩,架构可灵活调整”的新一代网络,更好地适应从“消费型互联网”向“产业互联网”的网络转型,支撑国家“互联网+”发展战略。而在这场技术变革中,SDN/NFV是被业界普遍看好的促进现网升级演进,未来网络技术创新的重要技术,其所倡导的控制转发分离、网络能力接口的开放、软硬件解

收稿时间: 2016-09-23
网络出版时间: 2016-10-28

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0012-005

摘要: 着重分析SDN/NFV技术在商用部署中面临的关键技术问题,包括开放接口标准化和互操作,通用硬件和控制器的性能,与现网系统的协同、安全以及集成部署等问题,并梳理国际标准化组织和开源项目在SDN/NFV技术领域的进展情况。认为SDN/NFV的部署应是一个渐进式的过程,传统网络与SDN/NFV网络将会长期共存。业界需要尽快统一架构、接口和协议标准,推动不同厂商功能组件的系统集成,从而最终实现网络即服务。

关键词: SDN/NFV; 控制器; 虚拟化

Abstract: In this paper, the current hot issues of soft defined network(SDN)/network function virtualization (NFV) industrial development are analyzed, including standardization and interoperability of open interface, performance of general-purpose hardware and SDN controller, cooperation with existing operation system, security and integration deployment. And the progress status of standardizations and open source projects in the SDN/NFV field are also concluded. It is believed that the deployment of SDN/NFV should be a gradual process, and the traditional network and SDN/NFV network will coexist for a long time. The architecture, interface and protocol standards should be unified as soon as possible, so as to promote the integration of different functional components of different manufacturers. In this way, network as a service (NaaS) can be realized.

Keywords: SDN/NFV; controller; virtualization

耦以及网络功能的虚拟化,将会促进产业重心由硬向软快速调整,推动网络架构向软件化、集约化、智能化和开放化的目标网络架构演进。但是,现阶段SDN/NFV的技术远未成熟,现网演进策略尚不清晰,一些关键技术问题还有待产业界协作解决。

1 SDN/NFV 关键技术问题

技术可以创新,但网络发展必须是演进的,新技术的应用必须要充分考虑现网的平滑演进,这是网络发展的一般规律。当前,运营商存量网络

规模大且设备极度复杂,部署SDN/NFV技术将是一项浩大的系统工程,多数运营商对如何实现现网到SDN/NFV的平滑演进,如何解决多厂商的兼容性、互联互通和集成部署等问题尚存疑虑,很难真正推动商用化规模部署。正如SDN/NFV产业联盟理事长韦乐平先生的判断:“SDN/NFV整体处在现场试验、试商用和早期商用阶段,即整体刚从过度期望进入幻灭到成熟期,估计1~4年陆续进入发展期,4~8年陆续进入稳定发展期”。因此,在一些关键技术问题上,

如果产业界没有达成共识并形成统一标准,SDN/NFV 很难实现商用化规模部署。

(1) 开放接口的标准化和互操作问题

SDN/NFV 打破了原有封闭的网络架构,实现控制转发分离,软硬件解耦,以及向上层业务开放网络能力。为此,在 SDN 架构下,引入了新的接口,这些接口的标准化对实现开放网络架构至关重要,也是实现多厂商方案高效集成,摆脱厂商锁定的先决条件。

南向接口(SBI)是控制器与转发设备之间下发流表的通信接口,目前呈现多样化发展态势(业界定义了超过 15 种的通信协议),这增加了厂商解决方案和运维部署的复杂度,也给不同厂商解决方案的互通带来更大的挑战。SBI 最终能否统一成少数几种协议(如 OpenFlow 或 NETCONF/YANG),应是业界需要亟待解决的问题。

北向接口(NBI)是直接为业务应用服务的,其设计与业务应用的需求密切相关,具有多样化的特征。目前市场上已经出现了 20 余种不同的控制器,尽管每种控制器都宣称遵循 RESTful 的接口标准,但是对外提供的接口都不完全相同,充分说明 NBI 标准尚未统一。

东西向接口主要解决控制平面的扩展性问题,实现“组大网”。同时还要考虑与非 SDN 网络控制平面的互通。目前,关于 SDN 东西向接口的研究刚刚起步,业界还存在着比较大的争议。

上述问题带来一个直接的影响,就是跨厂商的控制器与转发设备,以及与上层业务之间不能实现完全解耦,需要逐一适配,增加了互操作的成本。

(2) 性能问题

性能是运营商网络的关键指标之一。数据面的转发性能(如吞吐量、时延)直接影响到用户业务体验;

控制面性能决定网络规模大小,以及业务承载容量。在 SDN/NFV 架构下,实现了控制与转发分离,通用硬件对专有硬件的替代,性能问题成为关注的焦点。在数据平面,芯片是主要瓶颈,三态内容寻址存储器(TCAM)表项的容量直接影响到 OpenFlow 流表的数量,同时 OpenFlow 协议定义的灵活的报文格式及操作指令,也使得专用集成电路(ASIC)芯片全面支持 OpenFlow 协议越来越困难。而对于通用 x86 实现的转发面,其吞吐量更是无法达到线速转发的相关要求(根据测试的数据,128 字节,10 G 物理接口吞吐量<1 G;1 518 字节,吞吐量<9 G)。这就需要考虑在数据处理的灵活性和吞吐量之间寻找平衡。在控制平面,SDN 集中控制架构,对于控制器的性能提出了更高要求,Packet-in 消息的处理能力、管理交换机的最大数量、流建立速率、集群能力等都是些关键指标。从前期测试数据来看,目前中国主流厂商在这些指标上还存在明显的差异,很难满足大规模组网的需求。

另外,在引入 NFV 后,一方面硬件通用化、网元功能的软件化导致网络输入/输出(I/O)能力难以匹配电信网络的需求,计算能力难以满足特殊功能(如加解密、编解码、深度报文解析等)需求;另一方面,引入 NFV 后给中间件带来一定性能损耗。如何降低软件的开销并通过引入软硬件加速技术满足电信网络高速转发、密集计算的性能需求成为 NFV 需要解决的挑战之一。目前业界也提出了一些性能加速解决方案,如单根 I/O 虚拟化(SR-IOV)、数据平面开发工具集(DPDK)、超线程技术和硬件加速机制等。

(3) 可靠性和扩展性问题

现有网络从抗毁性的需求出发设计了分布式的控制机制,网络中的每个网元都独立地学习路由,生成转发表项,并在此基础上引入故障快速检测、快速重路由、保护倒换等机制,

实现链路/节点的故障保护,提升网络可靠性。而且采用分布式的分层架构,从本质上来说分散了每个网元设备的路由运算压力,能够有效支撑网络的大规模扩展(截至 2016 年 6 月底,骨干网的 IPv4 路由条目>620 000 条)。而 SDN 架构采用集中的控制机制,由控制器集中完成路由计算并下发流表到转发设备,因此它成为整个网络的中枢大脑,一旦故障就会全网瘫痪,因此控制器的可靠性对于网络而言至关重要。如何避免控制器单点故障,当链路或节点故障时,网络故障如何快速上报,并快速完成流表的更新,这些问题对于控制器的实现都具有挑战。而且对于大规模的网络部署,我们还需要考虑控制器的分层部署,以及多个控制器之间的相互协作。

在设备层面,传统的电信网络设备采用软硬一体的封闭架构,使用专有硬件,能够满足线速转发的要求,而且无论是硬件还是软件的故障都能够快速检测并启动保护机制,达到 99.999% 的高可靠性要求。而引入 NFV 之后,采用通用硬件设备目前很难达到 5 个 9 的可靠性要求(一般通用商用化设备可靠性只能达到 99.9%),而且原有软硬一体化设备分成了 3 层,并引入管理和编排(MANO)深度介入网元的自动伸缩等流程,因此,硬件资源层、虚拟资源层、虚拟网络功能(VNF)和 MANO 每层如何增强,3 层如何协同,VNF 与 MANO 如何配合等都会影响到整个系统的可靠性,这需要建立一套完整的可靠性体系并对 3 层如何协同提出明确的要求。但是,硬件资源的池化,将有助于在设备层面根据业务的需求灵活实现扩缩容,这是传统电信网络设备无法实现的。

(4) 与现有运维系统的协同问题

在 SDN/NFV 架构下,引入新的网元管理实体,对现有网络体系架构下的系统和设备运维都会产生影响,特别是传统网络与 SDN/NFV 网络共存

阶段,如何处理与传统网络中运营支撑系统(OSS)/基本服务集运营支持系统(BSS)等管理、运维系统的关系,原有 OSS/BSS 及网管系统如何与 MANO 协作配合,物理网络功能(PNF)和 VNF 如何协同管理,控制器与原有非 SDN 设备如何对接等,上述问题的解决将会是一个长期复杂的过程,需要在 SDN/NFV 实际应用部署中不断探索和完善。SDN/NFV 产业联盟理事长韦乐平给出了一个观点,他认为网管系统的演进方向应当是“纵向分割,横向协同”,新系统基于开源码和开放应用程序编程接口(API),负责虚拟资源的动态管理,而原有网管系统负责物理网元的管理,通过顶层的业务生命周期管理编排提供横跨虚拟资源和物理资源的端到端业务;而新老系统通过信息模型的转换实现横向互通,很理想,但不现实。

(5) 安全问题

相比传统电信设备,软硬件分离的特点以及网络的开放性给网络带来了新的潜在安全问题:一是引入新的高危区域——虚拟化管理层;二是弹性、虚拟网络使安全边界模糊,安全策略难于随网络调整而实时、动态迁移;三是用户失去对资源的完全控制以及多租户共享计算资源,带来的数据泄漏与攻击风险。在 NFV 环境中,可能存在安全风险的关键组件包括 VNF 组件实例,绑定到 VNF 组件实例的本地网络资源,远程设备上对本地 VNF 组件实例的参考,VNF 组件实例占用的本地、远程以及交换存储等。在发生安全事故的情况下,如何保证这些关键组件所涉及的硬件、内存不被非法访问,如何保证 VNF 上应用的现有授权不被改变,本地和远程资源彻底清除崩溃的 VNF 资源及授权不被滥用,是 NFV 安全面临的关键技术挑战。

此外,控制器开源和开放的特性,使其自身也具有潜在的安全风险,需要建立一套隔离、防护备份机

制来确保其安全稳定地运行,这既包含控制器自身的安全问题,也包含控制器和应用层之间以及控制器和转发设备之间的安全问题。

(6) 集成部署问题

运营商引入 SDN/NFV 技术,其中的一个初衷是期望通过推动硬件和软件的分离,软件功能的分层解耦,进一步细化和拉长产业链环节,从而摆脱厂商锁定。引入 NFV 后,原先由单一厂商提供整套软硬件一体的系统,将分解成来自不同厂商的不同组件,复杂度会大大提升。从架构上看将会是一个巨大的信息通信技术(ICT)系统集成工程,包括 NFV 基础设施(NFVI)的集成、VNF 的集成和业务网络的集成,涉及的系统、厂商、地域和接口都非常多。现阶段,NFV 相关接口的标准化进度不一,部分接口将直接采用开源软件,部分 API 难以完全标准化。此外,开源软件和厂商定制化软件解决方案所采用的私有协议和接口,都将成为 NFV 系统集成和工程联调面临的巨大挑战。

2 SDN/NFV 标准化新进展

上述问题需要业界尽快达成共识并形成统一标准,包括架构、接口和协议,这样才能推动 SDN/NFV 商用化落地。但是,与传统计算机通信(CT)的标准化制定方式不同,在 SDN/NFV 领域,标准化工作更加重视从标准文档到开源代码的实现,其标准化工作分为两部分:一部分由标准组织,如开放网络基金会(ONF)、国际互联网工程任务组(IETF)、欧洲电信标准化协会(ETSI)、城域以太网论坛(MEF)等制订技术标准,定义技术架构、接口协议、信息模型等;另一部分由开源社区,如开放网络操作系统(ONOS)、OpenDaylight、网络功能虚拟化开放平台(OPNFV)等推动代码实现和系统集成,形成事实上的标准,从而加快从标准文档到解决方案的落地。

(1) ONF

ONF 是推动 SDN 技术标准的重要国际标准组织之一,其标准化工作涵盖 SDN 技术的各个方面,主要包括 SDN 架构、南/北向接口、信息模型、转发模型、向 SDN 网络迁移的案例及工具等,并且高度重视开源工作,成立了 19 个开源项目支持各领域的技术研究和标准化。

当前,作为 SDN 技术架构的最早提出者,ONF 在南向 OpenFlow 协议和 NBI 标准化方面具有一定的影响力。OpenFlow 协议目前已经推出多个版本,1.5.1 是其最新版本。但是,OpenFlow 1.x 协议有个特点就是需要根据不同的数据平面技术做大量的协议扩展工作,为此,ONF 提出了 OpenFlow 2.0 的概念——协议无关的转发,不但流量转发路径可编程,而且针对特定数据平面技术的处理流程也可编程,这样就将对不同数据平面技术的支持从协议层面转移到了应用层面,从而避免了每支持一种数据技术就要扩展协议的问题。目前,ONF 已发布技术白皮书,并成立 OF-PIF 项目推动标准化。同时,斯坦福大学也发起成立了一个相关的开源项目 P4,开展相关的技术研究。

在 NBI 方面,ONF 成立多个工作组,包括通用信息模型(CIM)、NBI、光传送工作组(OTWG)等,同时成立了 BOULDER 和 ENGLEWOOD 两个开源项目。CIM 工作组继承了国际电信联盟电信标准化组织(ITU-T)、电信管理论坛(TMF)等标准组织对于电信网络的建模方法,致力于定义一个对于各种网络技术公共的信息模型。通用信息模型包含与具体网络技术无关的核心信息模型(例如拓扑、转发等对象),与特定网络技术相关的信息模型(比如光传送网(OTN)、IP 等)以及应用相关模型(比如 NBI 工作组当前定义的一些接口)等。2015 年 11 月,CIM 工作组发布了 CIM1.1 版本。OTWG 采纳 CIM 的模型,对 OTN 等传送技术建模。2016 年 6 月,OTWG 发布 TR527 版本 1.0,描述

了控制器间接口功能需求以及控制器和协同器/应用层间功能需求,其中包括拓扑服务、连接服务、路径计算服务、虚拟网络服务、通告服务等。NBI工作组则从两个视角定义NBI,一个是自底向上的功能型NBI,重点在网络资源抽象及控制能力的开放,包括网络拓扑、第2层虚拟专用网(L2VPN)、第3层虚拟专用网(L3VPN)、隧道等接口;另一个是自顶向下基于意图的接口,关注应用或者服务的需求,同具体的网络技术无关。目前,开源BOULDER项目提供基于意图的NBI软件。

(2) IETF

IETF作为互联网领域的重要标准组织之一,也同步开展SDN/NFV相关标准化工作,涉及2个研究组和9个工作组,其中SDN RG主要针对SDN模型进行定义和分类、网络描述语言(和相关的工具)、抽象和接口、网络或节点功能的正确操作验证等;NFV RG主要关注固定和移动网络基础设施的虚拟化、基于虚拟化网络功能的新网络架构、家庭和企业网络环境的虚拟化、虚拟化和非虚拟化基础设施与服务的并存等问题研究。9个工作组涉及Internet、路由、传输、安全4个领域,研究内容涵盖移动网络、数据中心内部网络虚拟化,用于网络安全控制和监测控制功能的新信息模型、软件接口和数据模型等。其中路由系统接口(I2RS)工作组的核心思想是在目前传统网络设备的路由及转发系统基础上开放新的接口来与外部控制层通信,外部控制层通过设备反馈的事件、拓扑变化、流量统计等信息来动态地下发路由状态、策略等到各个设备上去。选择使用IETF现有的管理协议NETCONF和YANG来实现路由系统的开放。目前I2RS工作组已经完成了大部分路由信息库(RIB)和拓扑的数据模型工作,正在开展NETCONF的协议改进讨论。SPRING单播源路由工作组,在网络中实现分段路由能力,主要针

对两种数据平面技术(MPLS和IPv6)进行源路由标准开发。目前该工作组已经形成了技术方案,规程已经比较完善,在进一步确定技术细节后即可发布。而针对多播流量,支持源路由在技术上更加复杂,主要是路径的标识数量大带来的挑战,IETF的BIER工作组采用BitString的形式来解决这个问题。目前BIER的工作组技术方案基本确定,标准还在开发过程中。IETF内NFV方面主要工作是由业务功能链(SFC)工作组从事。NFV将网络业务分解成基于通用软件的功能模块,而为了实现一个完整业务套餐,需要实现功能组装,并在业务层面将用户流量按照一定的形式在不同的功能模块之间进行路由。

(3) ETSI

2001年11月,由运营商主导在ETSI成立NFV ISG工作组,成为推动NFV基础架构标准的主要国际标准组织之一,主要制订支持NFV硬件和软件的基础设施要求和架构规范,以及虚拟网络功能的指南。目前已发布架构、需求、应用案例等多个技术文稿及一系列PoC文档。目前,NFV ISG已完成第1阶段的工作(2014年下半年,发布了NFV用户案例、需求、架构和术语等V2版本,以及标准化Gap分析等新版标准文档),并进入第2阶段。第2阶段的工作重点是:发展可互操作的NFV生态系统,进一步澄清第1阶段定义参考点和需求,扩大行业的参与,澄清NFV与SDN以及相关标准组织、产业、开源社区的关系。为了适应2阶段工作,NFV ISG也进行了相应的组织架构调整,在技术指导委员会(TSC)下,设立了5个工作组,包括IFA组研究的MANO功能及接口、加速技术;REL组研究的可靠性模型、故障检测及可靠性框架;TST组研究的测试方法及开源组件等;EVE组研究的NFV网络演进及生态体系建设;SEC组研究的与安全相关的内容。第2阶段中参与最广泛,并且进展最快的是IFA工

作组,IFA共计完成15个项目的立项,分别关注加速资源的抽象和接口的标准化,研究架构演进(将NFVO分解为业务编排和资源编排,将VNFM分为通用VNFM和专用VNFM、VNFD重构等),研究NFV接口、模板相关的信息模型,标准化Or-Vi/Vi-Vnfm/Or-Vnfm/Ve-Vnfm/Os-Ma-nfvo等参考点包含的接口、需求和信息元定义等。

(4) MEF

2014年9月,MEF发布了“第三张网”的愿景,提出了生命周期服务编排(LSO)的理念,指出未来网络应该包含服务编排功能、API、协议无关的网络即服务(NaaS)信息模式以及在物理和虚拟服务端点之间的服务定义等。LSO是一个平台,其能够处理从客户订单到服务交付的控制,从数据采集到性能等级的保障,从故障修复到提供业务报告,以及为客户提供各种分析报告等一系列服务。LSO的六大功能包括实施、控制、性能、保障、使用和分析,从而敏捷地部署动态服务,提高新型企业网络服务的交付速度,让客户自己就能简单地通过一个Web门户来配置和管理这些产品及服务。以MEF的LSO理念,SDN控制器通过对北向API的抽象,引入了虚拟网络,屏蔽了应用匹配不同网络技术的复杂度,从而在端到端的虚拟网络抽象层上实现端到端业务,将相关的网络实施交给控制器去做。目前,MEF开放式生命周期服务编排(OpenLSO)和开放连接服务(OpenCS)计划,为实际引进编排和连接服务层的基于开源的解决方案提供了演进路径。

(5) OpenDaylight 和 ONOS

SDN是对网络架构的一次重构,从分布式网络架构转向集中式控制网络架构,引入SDN控制器来实现对网络的控制,为各种网络应用提供抽象统一的网络资源访问服务。作为网络的中枢大脑,业界都力争掌握控制器的主导权,积极围绕控制器构建

开放的产业生态。目前,主流的控制平台主要包括 OpenDaylight 和 ONOS。前者由思科发起并主导,主要定位于数据中心的应用场景,最新版本是铍(Beryllium,第4个版本)版本;后者由斯坦福大学发起,主要定位于运营商广域网场景,最新版本是 Goldeneye 版本(第7个版本)。经过近几年的发展,两大系统平台都已构建自身的产业生态,而且在架构和功能实现上有越来越多的相似点,都包含一系列动态可拔插的网络功能组件,SDI 以插件的方式支持多种协议,通过业务抽象层对控制器平台代码提供统一的接口,屏蔽底层设备协议的差别,使网络服务与底层设备协议完全解耦;通过 RESTful 接口,提供网络模型、网元、拓扑等多种 API 供应用层调用。另外,OpenDaylight 的应用场景也不再局限于数据中心,通过增强其分布式集群的能力,来适应运营商广域网组网的需求。

当前,基于两个主流控制器平台的商用部署都有一些成功案例。

(6) OPNFV

OPNFV 是 NFV 开放平台项目,旨在提供运营商级的综合开源平台以加速新产品和服务的引入,实现由 ETSI 规定的 NFV 架构与接口,提供运营商级的高可靠、高性能、高可用的开源 NFV 平台。OPNFV 的定位是集成上游开源社区的成果(如 OpenStack、OpenDaylight、ONOS、开放虚拟交换机(OVS)、分布式的对象存储和文件系统(CEPH)等),并且推动上游社区加速接纳 NFV 相关需求。OPNFV 将项目分为4类:需求类、集成与测试类、合作开放类、文档类。其中需求类项目的主要目标是发现 NFV 需求和上游社区版本间的差距,

然后将需求提交到上游社区,并且推动上游社区接纳,代码相关的工作在上游社区完成。2016年3月,OPNFV 发布第2个版本 Brahmaputra,提供包括 OpenDaylight、ONOS 和 Open Contrail 等多个 SDN 控制器的集成,超过30个项目贡献了规范和社区资源。

(7) 协同器开源项目

SDN 协同器是运营商网络和业务相结合的核心组件,是运营商网络业务创新的使能平台,提供跨域、跨层、跨厂家的网络资源抽象和业务编排;向下对接控制器,向上对接 IT 系统。运营商迫切希望基于 SDN/NFV 加速业务创新,实现敏捷运营,因此纷纷建设 ICT 业务使能平台——端到端的业务协同器,通过集中的网络能力抽象,跨域资源统一编排,加速网络业务创新,进而依托网络业务的优势向上延伸整合平台即服务(PaaS)和软件即服务(SaaS)成为 ICT 的掌控者。目前包括中国移动 Open-O 和西班牙电信 Open-MANO 等多个开源项目,都是由运营商主导,希望构建自主可控的协同器平台,以避免被厂商锁定。

3 结束语

使用 SDN/NFV、网络虚拟化等新技术重构传统网络架构是网络演进发展的必然趋势。但是,由于现网大量设备和系统的存在,不可能以“一刀切”的方式彻底革命,因此 SDN/NFV 的部署应是一个渐进式的过程,传统网络与 SDN/NFV 网络将会长期共存,这要求业界尽快统一架构、接口和协议标准,推动不同厂商功能组件的系统集成,实现真正意义上的控制转发分离,软硬分离,业务功能模块的任意组合,从而最终实现网络即

服务。当然,芯片、网络操作系统、协同器等关键技术和系统的突破也是必须的。

参考文献

- [1] Linux Foundation. Platform Overview[EB/OL]. [2016-09-10]. <https://www.opendaylight.org/platform-overview/>
- [2] Open Networking Lab. Introducing ONOS—A SDN Network Operating System for Service Providers [EB/OL]. [2016-09-12]. <http://onosproject.org/wp-content/uploads/2014/11/Whitepaper-ONOS-final.pdf>
- [3] The P4 Language Consortium. The P4 Language Specification [S/OL]. [2016-09-15]. http://p4.org/wp-content/uploads/2016/03/p4_v1.1.pdf
- [4] MEF. Vision and Strategy Based on Network as a Service Principles [EB/OL]. (2014-09-30) [2016-09-12]. http://www.mef.net/Assets/Documents/MEF_Third_Network_Vision_FINAL.pdf
- [5] Linux Foundation. OPNFV Plugfest Report[R/OL]. [2016-09-15]. https://www.opnfv.org/sites/opnfv/files/collateral/files/inaugural_opnfv_plugfest_report_0.pdf
- [6] Open Source SDN. Our Projects [EB/OL]. (2015-09-13) [2016-09-16]. <http://opensource.sdn.org/our-projects/>
- [7] IEEE Software Defined Networks. OpenSource MANO [EB/OL]. (2016-07-17) [2016-09-20]. <http://sdn.ieee.org/newsletter/july-2016/opensource-mano>
- [8] 杨洋,张国颖. SDN北向接口标准化简介[EB/OL]. (2016-07-01) [2016-09-20]. <http://www.sdnlab.com/17275.html>
- [9] Network Functions Virtualization (NFV). Management and Orchestration, Functional Requirements Specification[S]: ETSI GS NFV-IFA 010

作者简介



马军锋,中国信息通信研究院技术与标准研究所主任工程师,SDN/NFV 产业联盟副秘书长及 SDN 测试工作组组长;主要研究方向包括 IP 网络架构及路由技术、下一代互联网、SDN/NFV、未来网络等;主持或参与多项发改委 CNGI 专项、工信部“新一代宽带无线通信网”专项和科技部“863”专项等项目;先后完成多项国家/行业标准的制订工作,发表学术论文 10 余篇。

SDN 的网络模型及北向接口

Network Model and Northbound Interface of SDN

李晨/LI Chen¹
陈俏钢/CHEN Qiaogang²
李凤凯/LI Fengkai³
吴波/WU Bo²

(1. 中国移动通信有限公司研究院, 北京 100058;

2. 中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京 210012;

3. 华为技术有限公司, 广东 深圳 518129)

(1. China Mobile Research Institute, Beijing 100058, China;

2. ZTE Corporation, Nanjing 210012, China;

3. Huawei Technologies Co., Ltd., Shenzhen 518129, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0017-005

摘要: 网络模型及北向接口(NBI)是软件定义网络(SDN)中的关键问题。根据业界标准发展情况,提出了网络模型分为网络业务模型、网管模型、功能模型和网络设备模型,并指出了不同的模型对应了不同的需求。认为运营商、大型厂商等应定义统一的SDN模型和接口,能够推动产业链的成熟和统一。

关键词: 网络模型; 业务模型; 网管模型; 功能模型

Abstract: Network model and northbound interface (NBI) are the key issues in soft defined network (SDN). In this paper, network model is divided into service model, management model, function model and device model. And different needs corresponding to different models are also pointed out. Operators, large manufacturers and so on should define a unified SDN model and interface, so as to promote the maturity and unity of the industrial chain.

Keywords: network model; service model; network management model; functional model

1 网络模型定义和特征

1.1 多层次、多视角的网络需求

不同角色的网络用户,对网络的需求是不同的。比如对于一个公有云租户,或者一个运营商网络业务的设计者来说,更加关注的是网络业务相关的指标(模型和接口),如何帮助他们快速定义自己的云网络或者短时间内推出一个新业务,而不关注网络实现的细节。对于网络架构设计者和运维人员来说,如何快速定位故障,如何设计出更加稳定、灵活和可扩展的网络,进而具体选择哪种网络技术实现是更重要的问题。

因此,同一张网络对应不同的需求,在模型和接口上也需要有层次的划分,如图1所示。

1.2 网络的多层模型

网络模型是多层次的,可以分为

网络业务模型、网管模型、功能模型和设备模型,如图2所示。

网络业务模型是网络业务、应用驱动,面向用户需求,与实现技术无关,与物理网络无关的抽象模型。网络业务模型主要包括逻辑网络之间相互交互、网络策略、业务服务等级(SLA)、业务调度策略等。

网管模型在软件定义网络(SDN)中,是专注于网络的运维(OAM),运维需求驱动,面向具体运维技术相关的抽象模型,如网管模型能够看到具体的交换机、路由器设备,以及端口信息。

网络功能模型是具体网络技术的功能模型抽象,如为了实现租户隔离,将采用第3层虚拟专用网络(L3 VPN)或第2层虚拟专用网络(L2 VPN)等具体技术。

网络设备模型指对各个厂家单台网络设备的抽象,如该设备路由表

项采用何种隧道以及封装、解封装描述,服务质量(QoS)队列描述,访问控制策略,以及转发协议采用OpenFlow、边界网关协议(BGP)等。

网络多层模型之间有着映射关系,业务模型中的具体指标会映射为网络功能模型中的具体技术,部分业务还需要读取网管模型中的监测控制及告警指标,触发调度策略生效。

1.3 网络模型和SDN北向接口

北向接口(NBI)是网络业务模型、网络功能模型和网管模型的一种使用方式。

在SDN网络中,控制器以上部分的接口称为NBI,通常以RESTful应用程序编程接口(API)方式与控制器交互。目前SDN的NBI主要分为基于意图的NBI和功能型NBI两大类。

结合SDN网络的层次架构,网络模型有相对应的抽象。基于意图的

收稿时间: 2016-09-08
网络出版时间: 2016-11-02

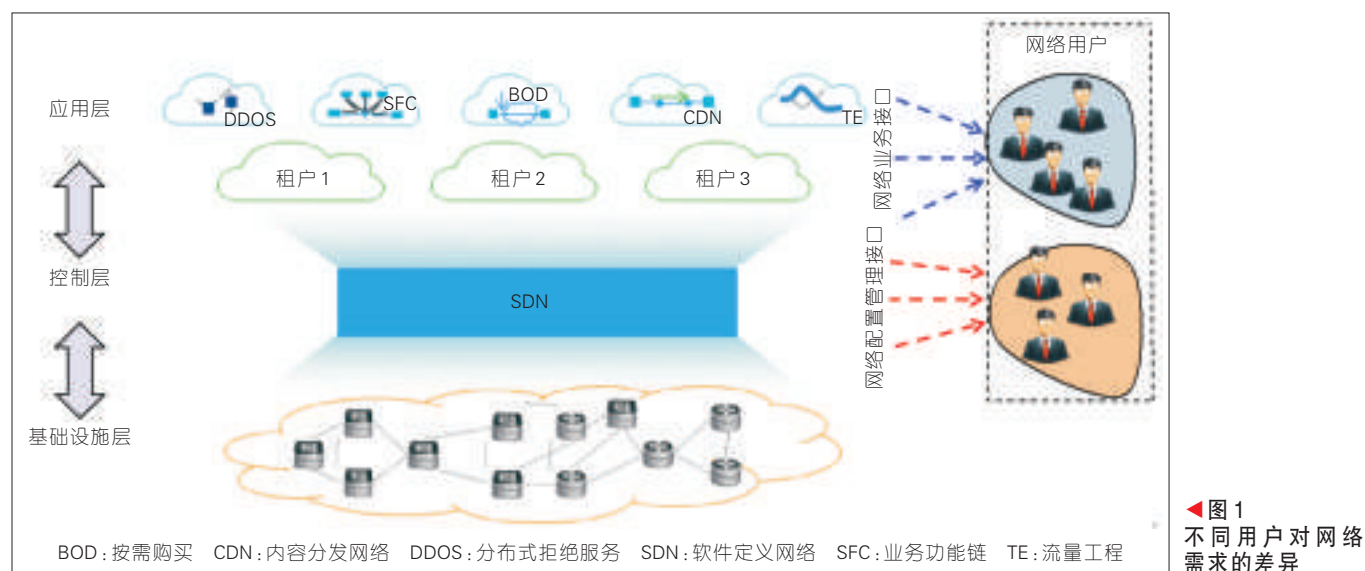


图1
不同用户对网络需求的差异

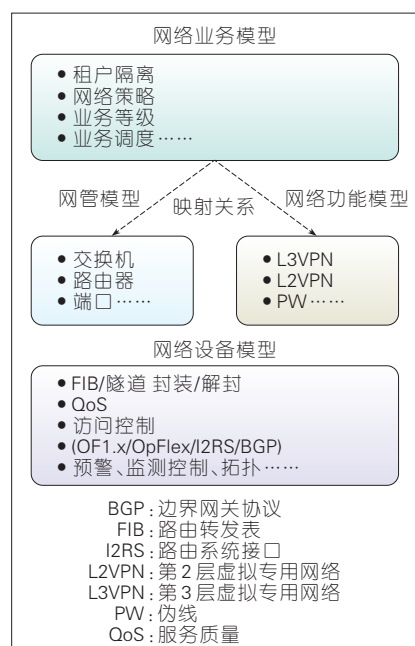


图2 网络多层模型

NBI对应了网络业务模型,它主要用于描述SDN网络使用者的需求,与技术无关,目前主要包括连接服务、资源需求、访问控制、流处理、策略逻辑等几部分内容,并且仍在完善中。功能型NBI对应了网络功能模型和网管模型,面向具体的网络功能,与网络技术方案相关的NBI接口。这部分NBI在每个场景和案例中都会有区别,所以应结合场景逐一分析,目前也在完善中,如图3所示^[1]。

结合SDN的3层架构,可以对基于意图的NBI、功能型NBI与网络模型、SDN应用程序(APP)、SDN控制器以及网管的关系总结如下,具体如图4所示。

(1)基于意图的NBI是网络业务模型所需要的输入消息。业务模型可以在SDN APP内部实现(图4中绿色区域),也可以在控制器上实现(图4中黄色区域)。对应地,业务模型向功能模型的映射也分为在APP完成或控制器完成两种方式,基于意图的NBI也会终结在APP或控制器上^[2]。

(2)功能型NBI是网管模型+网络功能模型所需要的输入消息。网络功能模型主要在控制器上实现,网管模型主要在运营支撑系统(OSS)网管上实现。其中控制器和OSS网

管从目前的实现看,有完全独立、互相重叠、完全包含3种方式。从近期看,控制器侧重于业务下发和流量统计,网管侧重于告警、性能监测控制和日志统计,将会继续并存。

1.4 网络模型和NBI的描述形式

网络模型主要用数据模型和协议的组合来描述,和网络模型描述有关的协议和数据模型主要包括4种。

- NETCONF协议:网络设备配置协议(RFC6241),包括消息层、操作层、内容层等。

- YANG数据模型:数据模型,为NETCONF提供通用数据格式,可以用统一建模语言(UML)、压缩树的方式展现。

- RESTful协议:基于HTTP协议,

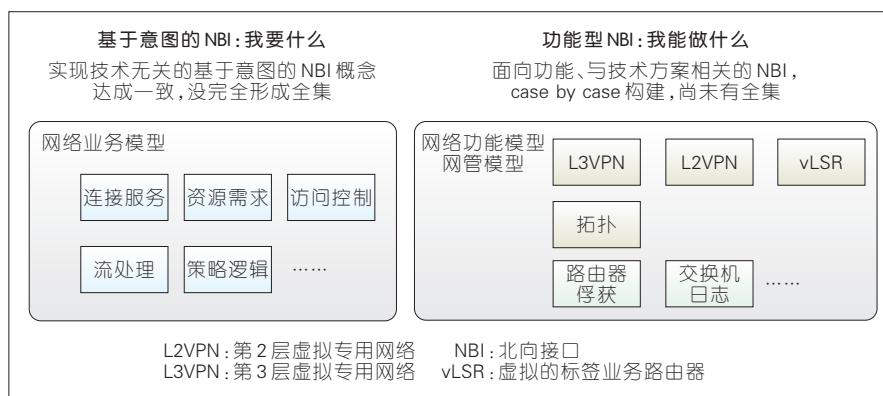
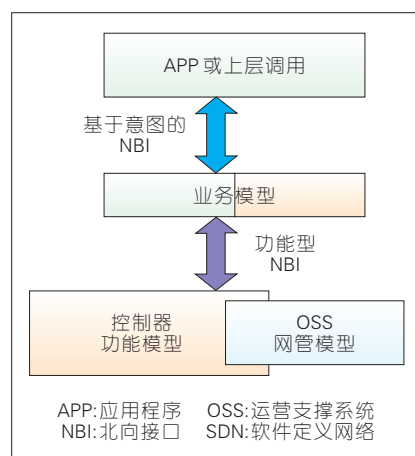


图3 基于意图的NBI和功能型NBI对比



▲图4 SDN架构下的网络模型和NBI

包括 post、put、delete、get 等消息。

• RESTCONF 协议:用 RESTful 方式访问 YANG 数据。

网络模型描述形式目前主要采用 YANG 数据模型或一系列 API 消息来描述。NBI 所采用的协议主要为 RESTCONF 或 RESTful API。

2 业务/网管/功能模型

2.1 网络业务模型

网络业务模型可以用对象、操作、结果(OOR)来描述,如图5中所示,这种描述的方式也充分体现了业务描述与网络细节无关的思想。图5中业务模型表述的意思是:用户在某一个上下文环境中有基于意图的表述。

首先对于对象来说,包括节点、连接和流信息,这些对象将作为网络模型所描述的主体。

其次操作分为条件、动作和限制。在满足带宽、时延等网络条件下,在匹配哪些节点之间不可互通等限制下,执行标记优先级,实现转发的操作。

最后对于结果,包括期待结果和避免结果两类,如预期保证带宽利用率大于80%,或避免端到端时延大于100ms等。

关于网络业务模型,我们可采用3个例子加以描述。

例1:银行多站点间基于意图的

需求

(1)各分支站点可以访问位于总部站点的网络服务器,不可以访问位于总部站点的户数据库。

(a)目标:各分支、总部站点网络服务器,总部站点用户数据库等;

(b)操作:可以访问,或者不可以访问。

(2)各站点间的带宽利用率保持大于80%。

(a)目标:各站点间的带宽资源;

(b)结果:期待大于80%。

例2:企业站点间视频会议服务、数据传输基于意图的需求

(1)站点间视频会议优先保证语音流畅,数据备份优先级低传输。

(a)目标:站点间的视频数据流、数据备份数据流;

(b)操作:设定优先级。

(2)数据备份的数据内容进行日志记录和安全识别。

(a)目标:数据备份数据流;

(b)操作:logging和流清处理。

例3:云计算中心网络应用场景中的几个需求描述

(1)需要构建2层、3层网络。

(a) CREATE Node l2_network Type l2-group Contain h1,h2;

(b) CREATE Node l3_network Type l3-group Contain n1,n2。

(2)链接虚拟机。

CREATE Connection c1 Type p2p Endnodes n1, n2 Property bandwidth: 1024。

(3)定义业务数据流。

(a) CREATE Flow f1 Match src-ip: 10.0.1.0/24, dst- ip: 10.0.2.0/24, dst-port: 80;

(b) CREATE Flow f2 Match src-ip: 10.0.5.0/24, dst- ip: 10.0.6.0/24, dst-port: 80。

(4)部署访问控制列表(ACL)访问控制策略。

(a) CREATE Operation o1 Priority 1 Target f1 Action drop;

(b) CREATE Operation o1 Priority 1 Target f1 Action allow。

(5)部署QoS策略。

(a) CREATE Operation o3 Priority 1 Target c1 Action qos- bandwidth: 4096。

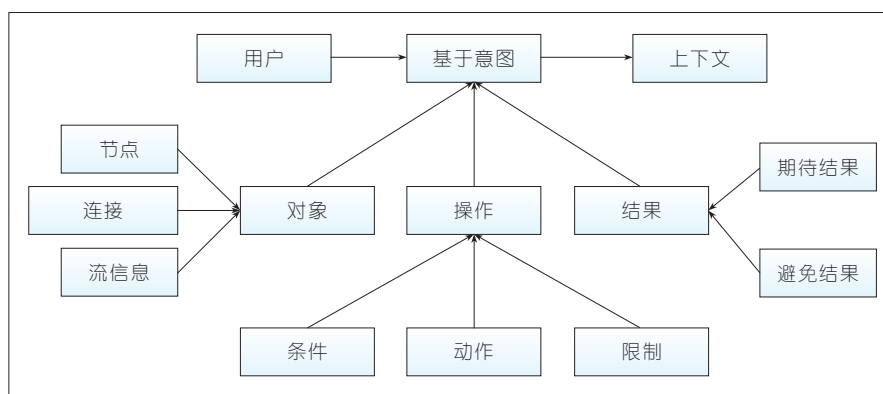
2.2 网管通用模型描述

根据电信国际电信联盟电信管理网(ITU-T TMN)的定义,网管模型定义了标准q接口,对现有网络中业务,如VPN、多协议标签交换传送应用(MPLS-TP)、网络拓扑、资源(单板、网元)等进行管理,并分为故障管理、配置管理、计费管理、性能管理和安全管理5类功能,如图6所示。

网管模型主要由类和对象视图构成,要管理的物理或者逻辑模块抽象成对象类,网管实现成对象实例。

2.3 网络功能模型

网络功能模型是具体问题具体分析,目前没有统一定义。以L3



▲图5 网络业务模型

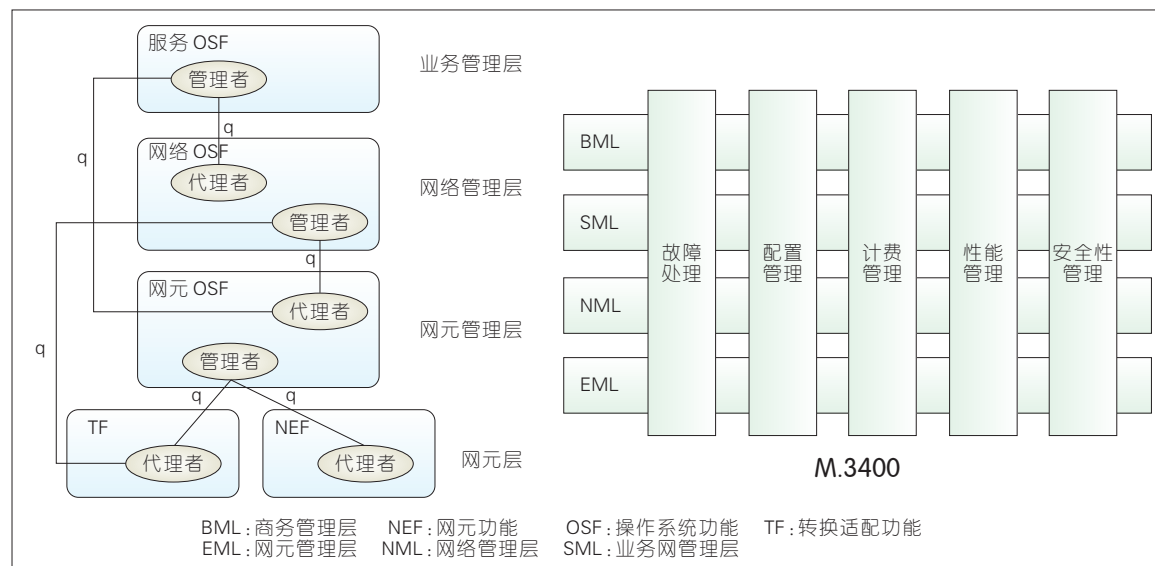


图6 网管模型

VPN 为例,功能模型包括:

- 基本信息,如名称、类型、接口
- 接口信息,如接口状态、IP 地址、多媒体接入控制(MAC)地址、接口 role、链路类型、虚拟局域网(VLAN)、proto 等。

2.4 网络业务模型和网管模型的关系

网络业务模型的操作专注业务需求,网络功能模型专注于具体技术的配置、开通,网管模型的操作专注运维。

随着网络演进,业务灵活性的增加以及SDN的逐步部署,网管模型中和业务控制管理关系密切的模型,如业务配置、业务性能、业务故障以及部分网络配置等管理,会由SDN控制器支持的NBI实现。如在业务功能丰富的数据中心网络中,SDN网管将逐渐侧重于运维,更多利于业务控制和对时间敏感的传统网管功能模型会通过SDN功能型NBI来实现。而广域网(WAN)承载了各种复杂业务,仍有大量的传统设备。

3 数据中心场景下的网络模型

数据中心场景是目前模型和NBI相对完善的领域。在该场景下,云租户或业务系统利用网络模型订购虚

拟私有云服务,包括路由器、子网、安全组策略、弹性公网IP等基础资源,以及防火墙(FW)、负载均衡(LB)、VPN等增值网络服务资源。数据中心网络模型如图7所示。

数据中心场景下基于意图的API实例为:

(1)创建路由器API。

Post /v2.0/routers/{routerID}。

(2)创建子网API。

(a) Post /v2.0/networks;

(b) Post /v2.0/subnets, 包括了地址段、掩码、网关、动态主机配置协议(DHCP)使能等参数。

(3)路由器绑定子网。

Put /v2.0/routers/{routerID}/add_router_interface。

数据中心网络功能模型基于

OpenStack Neutron,采用SDN plugin方式实现,如图8所示。

功能型API实例为:

(1)租户内2层网络隔离,使用vNet(不同VXLAN或VLAN ID)。

(2)租户间3层网络隔离,除非明确配置,数据中心内不允许跨租户的流量访问(即租户间互访流量建议通过广域互通)。

(a)采用软件方案时,使用虚拟路由器实现在路由层面的租户隔离,每个租户使用单独的虚拟路由器;

(b)采用硬件方案时,使用VPN路由和转发(VRF)实现在路由层面的租户隔离。

(3)安全组隔离:通过虚拟交换机(vSW)上流表实现。

(4)FW/LB功能。

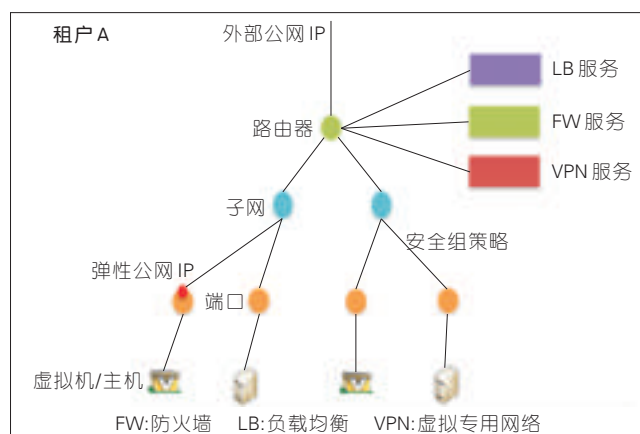
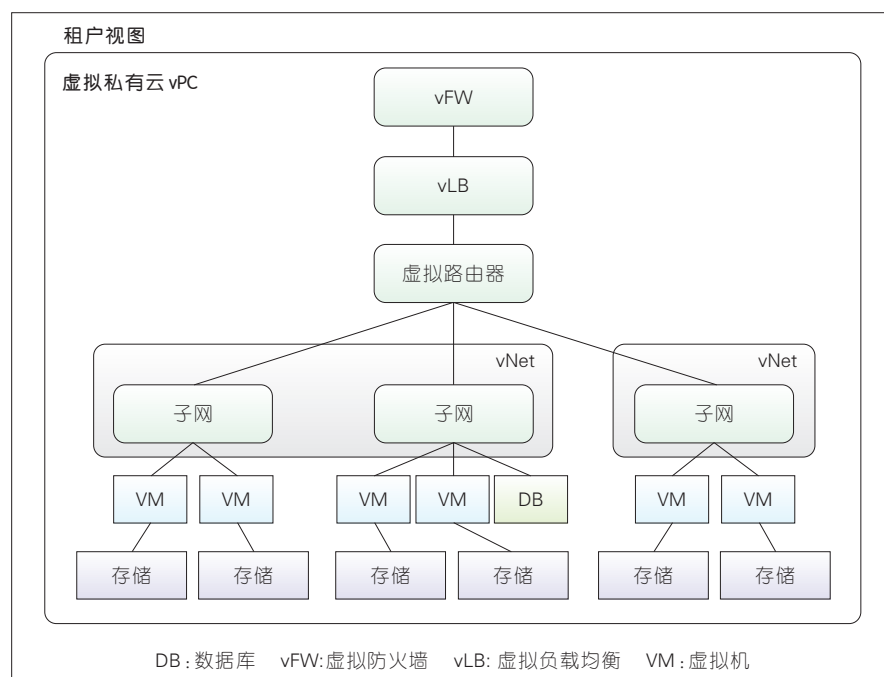


图7 数据中心网络模型



▲图8 网络功能模型

(a) 采用软件方案时,使用虚拟防火墙(vFW)或虚拟负载均衡(vLB)虚拟机实现;

(b) 采用硬件方案时,使用硬件设备虚拟出多实例实现。

4 业界标准化和开源社区进展

目前关注网络模型及NBI的标准化组织主要包括开放网络基金会(ONF)、国际互联网工程任务组(IETF)和城域以太网论坛(MEF)。ONF作为SDN领域领先的标准组织,从2013年起就开始成立北向工作组,并通过几次重组,现在在信息模型工程(IMP)工作组制定功能型NBI。同时,ONF在OSSDN中成立了BOULDER项目,专注于模型和基于意图的NBI设计,目前主要在讨论基于角色的业务模型。

IETF前期定义了大量的网络设备模型,和网络业务模型、功能模型无关。目前IETF正在L3SM工作组制订网络业务模型相关的内容,并在网络移动(NEMO)工作组商讨基于意图的模型立项的可行性。

MEF正在开展业务需求分析,主要针对2层以太网业务的YANG模型定义,尚未开展具体业务信息模型的标准化。

除了标准化组织,各个开源社区也在积极实现和推动NBI,争取形成事实标准,加速产业成熟。其中,OpenDaylight正在网络意图组成(NIC)、NEMO等项目中快速推进基于意图的NBI;OpenStack的Congress项目以及ONOS都从自己的角度定义了北向接口。

5 展望

SDN正如其定义软件定义网络,其核心价值在于软件。一方面在基础设施层面,需要软件化的控制器将网络的控制权集中,实现全局的调度,优化并提升网络利用率。更重要的是基于这个基础设施层,利用网络的开放能力,定义各种各样的网络APP,挖掘网络价值,能够更加紧密地贴合业务的需求。从这个角度讲,网络更紧密耦合于业务。

要做到这一点,标准的网络模型和北向接口将成为重中之重。从业

界格局看,标准化组织和开源组织在并行定义自己的模型和接口,但是各自又存在着不足。比如标准化组织流程长,定义出来的东西可能无法赶上越来越快的现网部署节奏;而开源组织短平快的方式缺少全局考虑,在新版本中经常发生变化的情况屡见不鲜。因此在这个时间点上,运营商、大型厂商等应联合标准化和开源力量定义统一的模型和接口,推动产业链的成熟和统一。

参考文献

- [1] ONF. Intent Definition and Principles [R]. ONF, 2016
- [2] ONF. NBI-North Bound Interface Framework: ONF2014.071.22 [R]. ONF, 2014

作者简介



李晨,中国移动通信有限公司研究院网络技术研究所SDN项目经理;主要从事IP网络、数据中心组网以及SDN和NFV方面的研究;负责中国标准化协会研究课题2项;牵头制订中国通信行业标准11篇,已发表论文10篇。



陈俏钢,中兴通讯股份有限公司有线研究院网管平台系统部工程师;主要从事网管接口和信息模型的研究;负责ITU-T标准等多篇国际标准的编辑工作,并参与了多项中国通信行业标准的撰写。



李凤凯,华为技术有限公司IP技术研究部高级研究工程师;主要从事IP网络技术、SDN、NFV下一代网络关键技术研究,以及相关标准的制订和推动;持有多项国家和海外授权专利,完成ITU-T SG 11、ONF、CCSA等多项标准撰写和推动。



吴波,中兴通讯股份有限公司有线研究院预研标准部标准工程师;主要从事数据通信以及SDN和NFV方面的研究,负责宽带接入网、数据中心网络相关标准和技术的跟踪、研究以及标准制订;已主持并参与MPLS组播等中国通信行业标准7项,已发表论文2篇。

业务功能链技术及其应用探析

Technologies and Applications of Service Function Chain

李晨/LI Chen

解冲锋/XIE Chongfeng

(中国电信股份有限公司北京研究院,
北京 100035)
(China Telecom Beijing Research
Institute, Beijing 100035, China)

在运营商现有的网络中,端到端业务数据报文的传递一般要依照一定的顺序,经过多个不同的业务功能节点,才能保证网络能够根据用户的业务需求,提供快速、安全、可靠、稳定的服务。传统网络中的业务功能节点(如防火墙、负载均衡等)与网络拓扑和硬件资源紧密耦合,各个业务节点均为专用的设备形态,且部署复杂,当新业务开通,流程发生变更或者扩容时,需要更改网络拓扑。对网络设备而言,也需要一定的改造和升级,并且周边的支撑系统也会存在升级改造的工作量,增加了新业务开通的复杂程度。另外,频繁升级也增加了网络设备的故障概率,使网络无法满足业务灵活加载和快速部署的现网使用需求。

随着虚拟化技术的逐渐成熟和应用,网络呈现出网络功能动态加载,资源按需调配,业务灵活开通等特点,传统网络部署无法满足类似需求。软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术使网络数据转发与控制分离,网络功能与硬件设备解耦。在SDN/NFV虚拟化网络中,业务

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868 (2016) 06-0022-004

摘要: 业务功能链(SFC)是网络功能虚拟化(NFV)虚拟网络中对数据报文按需进行业务处理的重要手段。通过对SFC体系架构、基本流程、应用场景等的分析和介绍,认为随着技术标准和产业支持方面的不断发展和完善,SFC必将成为虚拟化网络实现业务自动编排和快速部署的重要手段。

关键词: SFC; 虚拟化; 软件定义网络(SDN)/NFV

Abstract: Service function chain (SFC) is an important method to deal with data in network function virtualization (NFV) networks. In this paper, the architecture, basic process and application scenarios of SFC are analyzed and introduced. With the continuous development and improvement of the technical standards and industry supporting, SFC will become an important method to realize the automatic scheduling and rapid deployment of virtual network.

Keywords: SFC; virtualization; soft defined network (SDN)/NFV

链技术非常适合实现业务流量按照指定的顺序经过不同的网络功能节点,完成网络的某种业务流程。当业务调整时,只需要更改业务链的顺序而无需更改网元配置就可以实现网络业务的灵活开通和加载。

1 业务链技术体系架构及流程

业务功能链(SFC)是一个有序的业务功能的集合,其基于分类和策略对网络上的IP数据包、链路帧或者数据流进行一系列的业务处理。SFC可独立于具体网络应用场景,可以应用于固定、移动网络及数据中心等场景。术语“业务链”经常作为“业务功能链”的简称,但两者具有相同的含义^[1]。

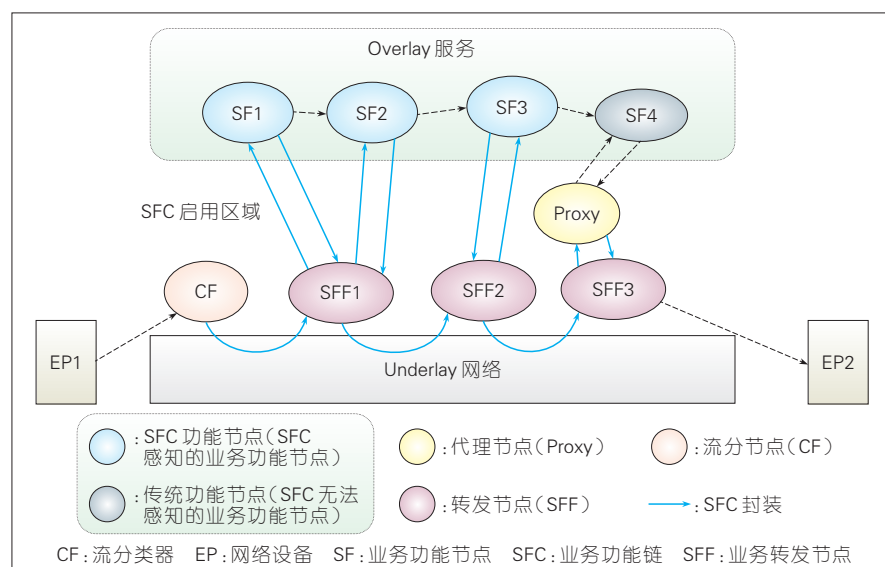
SFC的体系架构如图1所示,SFC的整体包括:流分类器(CF)、SFC感知的业务功能节点、传统业务功能节

点、业务转发节点(SFF)、代理节点Proxy。体系中每一种业务单元作为业务流程中的环节之一,分别具有不同的功能和作用,不同业务单元的串接完成业务链的整体功能实现。各个业务单元的定义和主要功能概括如下^[2]:

(1)CF。CF对于网络流量按照分类规则进行分类,网络流量如果符合分类标准则会被导流进入业务处理路径,去往相应的业务功能节点;流分类决策后,报文会被加上正确的SFC封装,同时合适的业务处理路径也会被选中或创建出来。

(2)业务功能(SF)节点。SF节点是按照特定功能要求对于数据报文进行处理的功能单元,业务功能节点从一个或多个业务转发节点接收报文。该报文一般是SFC封装的报文,在经过处理后向一个或多个业务转发节点发送报文。

收稿时间:2016-09-25
网络出版时间:2016-11-02



▲ 图1 SFC链的体系架构

(3)SFF。SFF负责根据SFC封装信息,把从网络中收到的报文或数据帧送到业务功能节点;业务功能节点处理完报文仍会把报文送回同一个业务转发节点,业务转发节点负责把报文重新送回传统网络。有些业务功能节点,譬如防火墙,可能会在处理中销毁报文,此时不需要将其再送回业务转发节点。业务转发节点和业务功能节点一起构成了SFC的数据平面。

(4)SFC代理。为使SFC架构能够支持不具备SFC功能的传统功能节点,就需要使用SFC代理。SFC代理位于业务转发节点和对应的传统功能节点(一个或多个)之间。SFC代理代表业务功能节点从业务转发节点接收报文;SFC代理将SFC报文解封装后,使用一个本地连接链路把报文发送给不具备SFC功能的传统功能节点;SFC代理从传统功能节点收到报文后,将报文重新进行SFC加封装后送入业务转发节点,继续进行业务功能链处理。从业务转发节点的角度来看,SFC代理属于具备SFC功能的业务功能节点^[3]。

业务链系统的基本工作流程如图2所示,基于控制下发用户参数转发流程包括以下一些步骤:

(1)在用户数据触发之前,SFC应用会通过北向接口发送新业务的业务链属性、配置、策略等信息给SFC控制平面的控制器。

(2)SFC控制器根据相关业务链拓扑生成相应的业务功能路径;控制器同时产生相应的用户元数据;控制器将上述信息以及转发下发参数发送给业务分类器、业务转发节点、业务功能实体等组件。

(3)用户数据报文进入业务分类器,分类器将根据步骤2提供的策略对流进行分类,并匹配相应的业务功能路径(报文的业务处理顺序)。

(4)业务分类器插入业务功能链报文头,头部信息包括业务功能路径等信息,并把元数据封装在报文内及用户配置的业务处理策略,发送到业务转发节点1。

(5)业务转发节点1解析相应SFC头部,根据业务转发路径,将报文发送到业务功能1。

(6)业务功能节点1对SFC封装中的内层报文进行处理后把报文发回业务转发节点1。

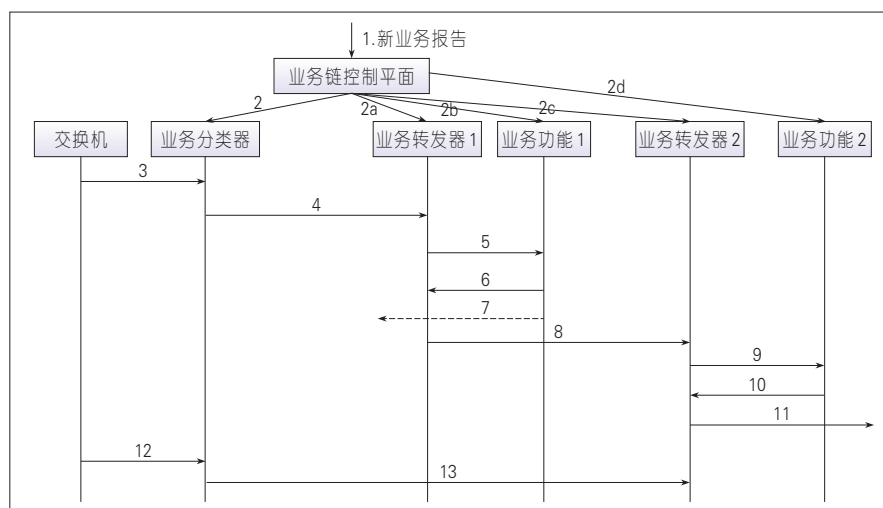
(7)业务功能节点1根据报发生成会话,根据配置要求会话下发,进行功能卸载;再将会话和卸载标记,经由控制器,下发到业务转发节点或交换机。

(8)业务转发节点1收到SFC封装报文后,根据SFC封装信息把报文送给业务转发节点2。

(9)业务转发节点2收到业务转发节点1的报文,根据SFC封装信息找到下一跳业务功能节点为业务功能节点2并且相应业务转发节点为转发节点2,则把报文送给业务功能节点2。

(10)业务功能节点1对SFC封装中的内层报文进行处理后把报文发回业务转发节点2。

(11)业务转发节点2收到从SFC代理节点发回的报文,根据SFC封装中的信息得知此报文已经完成流分



▲ 图2 业务功能链的基本工作流程

类中为报文选择的业务处理路径,则对报文进行SFC解封装,把报文信息发到传统网络。

(12/13)用户报文进入交换机时,交换机或分类器可以查找到相应的会话,打上卸载标记,报文进入业务转发节点2和业务功能2进行处理。

2 业务链技术应用场景

SFC的应用场景很多,而且结合NFV虚拟化技术以后,与底层硬件完全解耦。业界厂商和运营商可以根据自身需求开发基于SFC的系统,为SFC的现网应用提供了开阔的空间。目前对于SFC的应用主要包括:宽带城域网、数据中心网络以及3G/4G移动网络^[4]。

(1)宽带城域网。在宽带网络现网中,利用现网网元按照用户需求实现企业和家庭业务的自订购、灵活加载与叠加,简化用户侧网关功能,避免为新业务上线而频繁升级。业务链功能节点可以部署在城域网的前端云平台上,具体包括网络型的业务功能,如用户认证、防火墙、NAT44/NAT64及IPv6过渡等功能;增值型的业务功能,如带宽控制、病毒检测、父子账号及云存储等。城域网业务链技术应用系统如图3所示。

(2)数据中心网络。数据中心的业务功能节点包括:深度包检测单元(DPI)、入侵检测系统(IDS)/入侵防御系统(IPS)、边缘防火墙(EdgeFW)、邮件安全防火墙(SegFW)、应用防火墙(AppFW)等。通常运营商部署多个地理分布的数据中心,每个数据中心运行着不同的业务功能,例如,时延敏感型或者高使用率的业务功能部署在区域数据中心,而时延不敏感型或者低使用率的业务功能部署在全局的集中式数据中心。在这种场景下,运营商可以在多个数据中心灵活、经济地构建SFC。图4所示为数据中心两种业务链典型应用场景。

(3)3G/4G移动网络应用场景。

在移动网络环境下,包含有终端的源IP地址和要到达目的平台的目的IP地址的IP包,通过Gi接口(3G网络中的接口,在LTE 4G网络中为SGi接口)离开移动分组网关,在(S)Gi接口和实际的应用平台之间,上行的数据流和下行的数据流可以各自穿越顺序的业务功能集,即SFC业务链。物理的或虚拟的业务功能可以构建不同的SFC业务链,在3G网络中被称为Gi-LAN业务,在4G网络中被称为SGi-LAN业务。

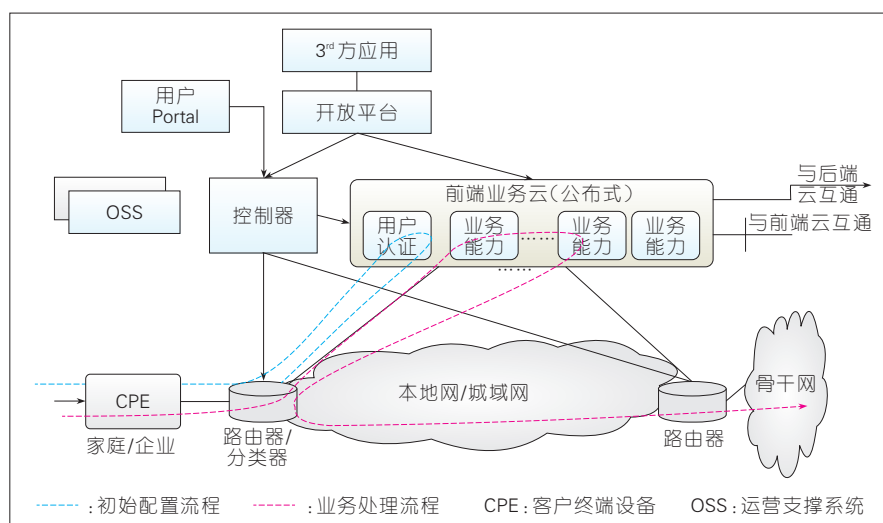
3 SFC产业支持

随着SDN/NFV技术的不断应用以及网络新业务的不断涌现,传统网络已经无法满足业务的快速开通和灵活部署的需求。业务链技术应运而生,成为产业关注焦点。目前,全

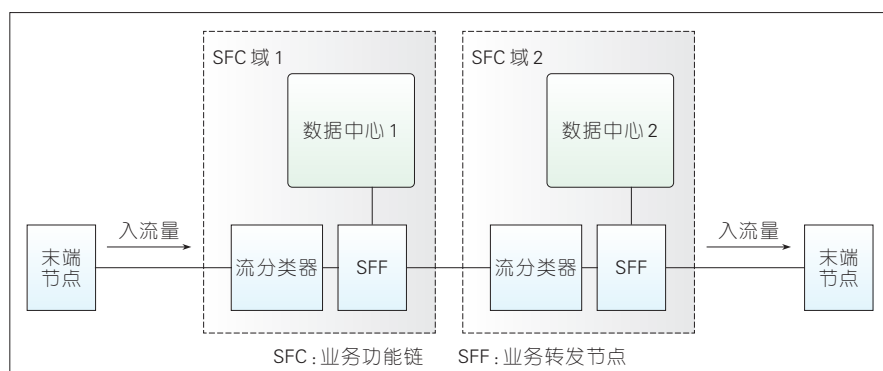
球运营商也在探索如何通过虚拟化和业务链等技术来降低运营成本和投资成本的创新之路。中兴通讯等设备制造商以及IT厂商的产品中也均有对于SFC技术的支持,比较典型的是虚拟宽带网络网关(vBNG)产品和虚拟用户终端设备(vCPE)产品。

图5所示为中兴通讯的vBNG产品基于业务链的系统部署示意图。vBNG即将在ZTE ZXR10 M6000等系列产品中实现,其将现在的物理宽带网络网关(BNG)设备的业务功能全部虚拟化,通过SFC技术将各业务功能节点进行串联和组织,并与SDN/NFV技术相结合实现城域网架构的演进。

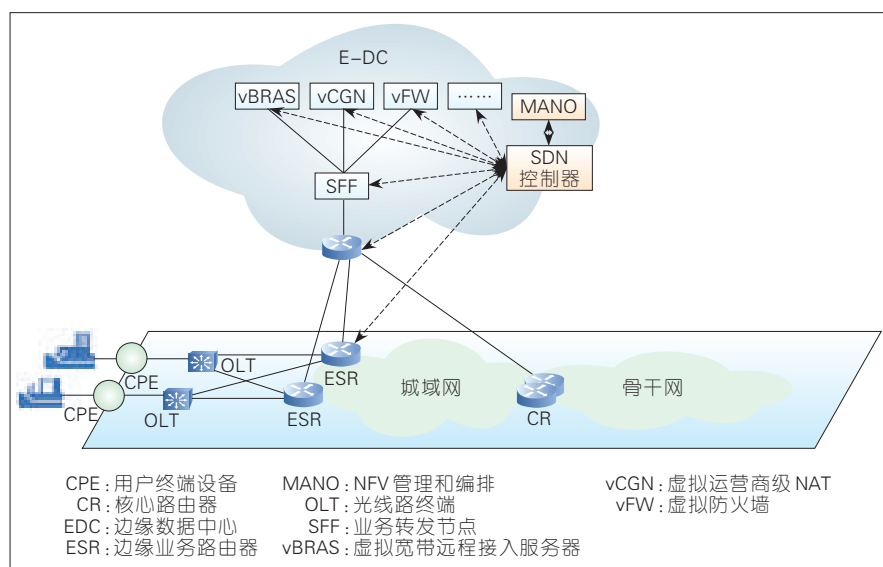
vCPE是NFV应用的焦点案例,同时也是业务链技术的典型应用,目前,各个厂商的vCPE产品中均能够



▲图3 城域网业务功能链应用系统示意



▲图4 多SFC域、多数据中心的SFC场景

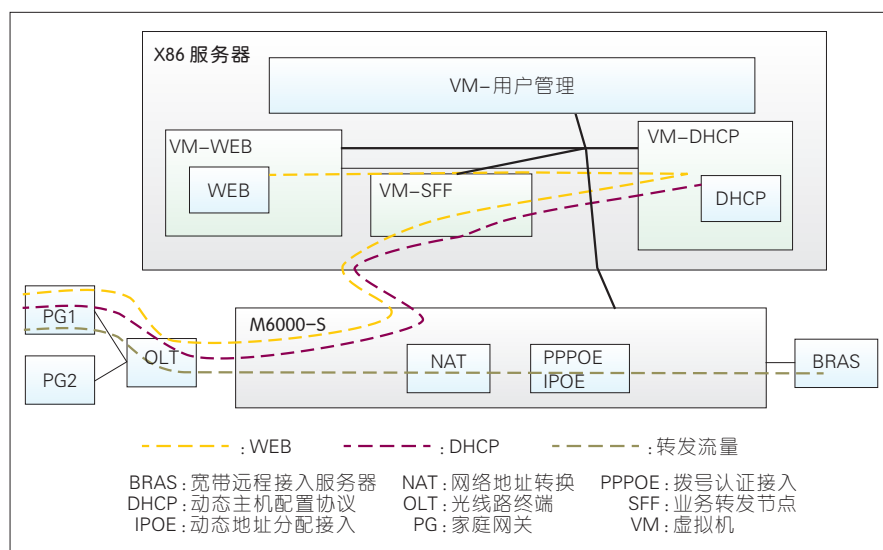


▲图5 vBNG基于业务链系统部署

支持业务链技术。图6所示为中兴通讯的vCPE产品业务链应用的系统实现示意。

CPE本身集成了数据转发、网络

户流量经过不同的SF节点进行业务处理,完成业务链功能,而且vCPE本身可能并不是一个装置,也有可能由多个不同的装置组合而成,而这些设



▲图6 vCPE业务链系统实现示意

地址转换(NAT)转换、拨号认证接入(PPPOE)/动态地址分配接入(IPOE)、WEB认证、动态主机配置协议(DHCP)服务器等业务。vCPE将这些业务拆分并独立出来,形成NAT、PPPOE/IPOE、WEB认证、DHCP服务器等多个业务功能(SF节点)。根据不同的业务链策略,使不同的用

备的形态可以是X86的服务器,也可以利用传统的电信级路由器以保护运营商的投资。

4 结束语

随着SDN/NFV技术不断成熟和在网络中的逐步应用,如何实现虚拟网络业务功能的灵活编排成为业界

关注的焦点。SFC技术可以将业务功能节点自动串联起来进行数据报文的传送。文章中,我们从SFC的体系架构和基本工作流程对业务链技术本身进行了介绍,并且对业务链的典型应用场景进行了说明,最后针对当前业务链技术的产业支持技术方案和产品进行了现状分析。随着业务链技术在技术标准和产业支持方面的不断发展和完善,其必将成为虚拟化网络实现业务自动编排和快速部署的重要手段。

参考文献

- [1] IETF. Service Function Chaining (SFC) Architecture: IETF RFC 7665[S]. 2015
- [2] IETF. Problem Statement for Service Function Chaining: IETF RFC 7498[S]. 2015
- [3] IETF. Service Function Chaining Use Cases In Data Centers [EB/OL]. [2016-09-10]. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-sfc-dc-use-cases>
- [4] IETF. Service Function Chaining Use Cases in Mobile Networks [EB/OL]. [2016-09-10]. <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-sfc-use-case-mobility>

作者简介



李晨, 中国电信股份有限公司北京研究院工程师; 主要研究方向为下一代互联网、SDN/NFV虚拟化相关技术和系统等; 参与完成国家多个重大科研项目。



解冲锋, 中国电信股份有限公司北京研究院IP与未来网研究中心主任, 教授级高级工程师; 主要研究方向为互联网架构、IPv6、下一代互联网以及SDN/NFV等; 负责多项国家级科研项目; 曾获得通信学会科技进步一等奖1项; 获得专利授权8项。

SDN/NFV 关键技术的分析和实现: MICT-OS™

Analysis and Implementation for Key Technologies of SDN/NFV: MICT-OS™

张轶卿/ZHANG Yiqing

(中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京
210012)
(ZTE Corporation, Nanjing 210012, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0026-005

摘要: 提出一种支持软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)网络的新一代统一编排、自动运维和开放运营管理系统架构——MICT-OS™。MICT-OS™通过网络抽象全方位开放运营商能力,构建创新业务生态链。MICT-OS™支持端对端的统一业务编排和资源管理,支持基于模型驱动的业务开通自动化,支持基于网络实时监测分析和策略优化的运维自动化。MICT-OS™为SDN/NFV大规模投入商用摸索出一条可行之路。

关键词: 模型驱动; 端对端业务编排; 业务自动化; 运维自动化

Abstract: MICT-OS™, a new unified orchestration, automatic operation and open management system for soft defined network (SDN)/network function virtualization (NFV) network is proposed in this paper. Operators' abilities can be fully achieved, and innovation ecological chain can be built through MICT-OS™. The E2E service orchestration and resource management, service automation based on model-driven, and operation automation based on real-time network intelligent monitoring and analysis and strategy optimization can all be supported in MICT-OS™. MICT-OS™ provides a feasible way in large-scale commercial of SDN/NFV.

Key words: model-driven; E2E service orchestration; service automation; operation automation

1 引入 SDN/NFV 的必要性

工业4.0、“互联网+”等国家战略,带动着整个传统产业大升级,与互联网结合,向智能化、规模定制方向发展。这种智能化、规模化的产业升级,要求海量的数据集中到云端,带动整个社会进入云时代。云时代需要灵活动态网络资源配置,高效资源利用率,传统电信网络需要面对更加复杂多变的差异化场景需求,需要突破传统的垂直分割的刚性网络体系和复杂繁多的封闭网元架构。

云计算、软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术应时而生,为电信网络的变革提供了技术驱动力。随着SDN/NFV的引入,电信网络设备的封闭性有望打破,网络架构将从垂直封闭架构转向水平开放架构,主要体现在网络控制与转发分离、网元软硬件的解耦和虚拟化、网络的云化和IT化等多个方面,最终实现网络重构。

目前,全球的电信运营商基本上都已经开展了SDN/NFV网络的试验

和部署。中国电信运营商的关注点主要在编排、电信云、网元虚拟化(如虚拟IP多媒体子系统(vIMS)/虚拟演进分组核心网(vEPC)/虚拟宽带网络网关(vBNG)/虚拟客户终端设备(vCPE))等方面,美国AT&T预计到2020年实现全网75%的设备SDN/NFV化。

电信运营商引入SDN/NFV,一方面希望推动网络转型从封闭走向开放,另一方面希望解决困境和挑战:

(1)传统业务受到通过互联网向用户提供各种应用服务(OTT)的冲击,收入下降,新业务上线周期长,创新业务开发和开展缓慢,严重削弱了

运营商的竞争力。

(2)网络和业务紧耦合,难以实现资源的动态复用,自动化配置程度不高,开放性不够,无法满足个性化和差异化的定制化业务需求。

(3)网络环境复杂化,网管和业务及厂家耦合性高,标准化程度低导致运维体系复杂,运维自动化程度低,运维成本高。

(4)网络扩容受制于设备商供货能力,不仅投资大,速度慢,而且引入第三方设备也面临与现有网络互通难,周期长,成本高的难题。

要解决以上这些困境和挑战,只是引入SDN/NFV技术对传统网络改

收稿时间: 2016-09-18
网络出版时间: 2016-10-31

造还不能达到目标,还必须进一步对传统的运维运营体系进行升级改造来实现资源弹性化、运维智能化和运营智能化。

2 MICT-OS™ 架构及关键技术实现

2.1 MICT-OS™ 架构的提出

为了真正实践 SDN 思想^[1],让运营商网络更加智能、开放、便捷,需要将运营商网络装上智能操作系统,类似计算机硬件装上 Windows。我们提出了基于软件定义网络思路的运营商智能网络操作系统——中兴通讯 ElasticNet MICT-OS™。MICT-OS™ 具有 4 个方面的目标:

(1)能力开放服务化。通过网络操作系统,将运营商 SDN/NFV 网络各个层次的网络程序编程接口(API)标准化,资源虚拟化,形成面向客户的能力开放服务,向客户提供全局资源视图和网络控制 API 能力,政企应用或者第三方应用能够利用 API 接口简单、灵活地实现自己需要的网络能力;另外一方面通过网络操作系统,向第三方合作伙伴提供云化在线开发环境,支持第三方厂商的在线开发、运维、运营等,真正形成创新业务生态链。

(2)网络部署自动化。传统的电信网元从规划到安装再到割接入网通常需要几个月的时间;而网元虚拟化后,基于统一的云化硬件,通过网络操作系统,新增网元就相当于软件安装,整个安装过程例如网元部署自动化、配置自动化、测试激活自动化全流程,基本无需人工介入。

(3)业务开通实时化。传统网络开通主要依靠网管和人工,因此业务开通流程自动化并没有带来业务开通的实时化;而 SDN/NFV 网络,通过网络操作系统,实现网络资源的动态实时管理,从业务订单到资源申请再到业务配置和激活,全程自动化,无需人工介入,提升了用户业务的快速

响应能力。

(4)运维自动化。传统网络的运维主要依靠故障告警、性能监测控制和客户投诉,发现问题后再通过人工进行处理;而 SDN/NFV 网络,通过网络操作系统,可以实时分析性能,多层次告警关联分析和预定义策略,实施告警自愈和主动服务等级协议(SLA)保障措施,保障用户业务不受故障的影响,大大降低人工快速响应速度需求,减少运维人力需求。

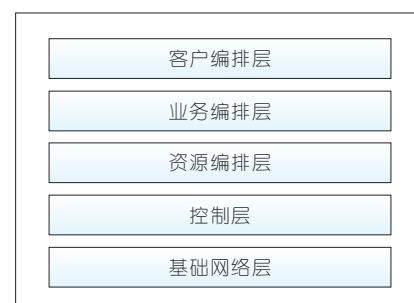
2.2 MICT-OS™ 的设计思路

在系统设计上,MICT-OS™ 利用抽象设计的理念,通过对资源平面、业务平面、客户平面的 3 层抽象实现网络管理的标准化和灵活性^[2],其中资源平面抽象包含网元功能抽象和网络连接抽象两个部分。通过网元功能抽象,屏蔽了不同设备厂商网元的具体实现,为上层的业务平面提供了统一的网元功能逻辑视图,提供从业务视图到逻辑功能资源视图的映射和统一的控制接口;通过网络连接抽象,屏蔽了不同设备厂商转发设备的具体实现,为上层的业务平面提供了统一的网络拓扑连接视图,提供了标准化的网络连接控制 API。业务平面的抽象主要是业务抽象,将业务实现流程抽象为可以模型化描述的工作流,建立从业务到资源的逻辑视图,这样未来创新业务的定义和开通实现可以基于信息模型驱动,大大缩短业务开发和开通的时间;客户平面的抽象主要是将面向最终客户的产品采用标准化信息模型描述,并且建立从产品到业务的逻辑视图,产品开通流程通过标准化的工作流来描述,最终实现基于订单驱动的业务开通全流程。

2.3 MICT-OS™ 的分层结构

根据 MICT-OS™ 的设计思路,参考软件定义网络的思想,MICT-OS™ 总体架构的分层结构如图 1 所示。

MICT-OS™ 的结构包括 5 个层次,



▲ 图 1 MICT-OS™ 的分层结构

即基础网络层、控制层、资源编排层、业务编排层、客户编排层^[3],该架构可更加灵活、方便地支持各种新型的网络体系结构以及新网络业务。在 MICT-OS™ 总体架构的最下层是基础网络层,主要包含传统网络设备、SDN 转发层设备、虚拟化硬件平台网络功能虚拟化基础设施解决方案(NFVI)、虚拟化网络功能(VNF),该层由不同的设备厂商提供,主要提供网元的功能和转发层的功能,严格意义上来讲该层不属于 MICT-OS™ 的功能范围;在基础设施层之上是控制层,主要包含传统设备的网元管理系统功能、虚拟化硬件管理功能、云平台的管理系统功能、虚拟网元的管理功能、SDN 设备的控制功能,这一层是运营商网络的控制平面,该控制平面以标准化的形式实现,屏蔽下层基础网络平面的多样性和异构性,并为上层提供统一网元功能和连接视图和统一的北向控制接口;在控制层之上是资源编排层,该层提供网络资源的统一管理监测控制和编排,并通过控制层提供的控制接口实现网络资源的生命周期管理功能,资源编排层及以下层统一被抽象为资源平面;在资源编排层之上,是业务编排层,业务编排层提供端对端网络业务的开通实现和统一编排,通过调用控制接口,请求资源编排层提供所需的虚拟网络功能和相应的网络连接资源;在业务编排层之上是客户编排层,主要负责提供最终客户的自助服务、订单服务、服务账单和计费、产品编排、能力开放等直接面向客户的服务能力,

通过客户编排层和业务编排层的协同支撑用户从订单到实现的全自动实时的服务。

2.4 MICT-OS™ 的系统功能架构

MICT-OS™ 的系统功能架构如图 2 所示, 主要可以分为两个部分: 直接面向客户的部分以及面向网络的部分。直接面向客户部分, 主要以向客户提供服务能力为主, 对应图 2 中客户编排层的功能实体, 例如客户自助服务 Portal, 主要负责提供客户自助订购服务、自助式业务管理和维护等功能, API 网关主要向第三方合作者或者企业提供运营商可开放能力, 传统业务支撑系统 (BSS) 增强功能: 产品目录, 订单编排等, 这部分功能主要是为了实现从运营商定义产品到用户定义产品的转变, 通过订单编排客户可以根据实际需要由运营商能够提供的业务或者能力中任意组合, 定义个人产品包, 系统自动生成产品包模型和产品到业务的模型驱动流程进入产品目录, 无需改动任

何程序。面向网络的部分, 主要负责面向客户的服务在运营商网络中的具体实现, 对应图 2 中业务编排层、资源编排层、控制层、基础网络层中的功能实体, 包括端对端的业务编排, 网络和业务统一规划和设计, 网络资源和拓扑的统一管理功能, 网络和业务基于策略的自动化保障功能, 用户角色的统一授权功能等等。

2.5 端对端业务编排和协同编排器

MICT-OS™ 中包含两层编排体系: 一层是全局业务编排系统 (GSO), 负责端对端的业务编排, 它为 SDN/NFV 网络体系结构和新的网络业务提供了从设计、开发、运行、测试的完整的闭环流程; 另外一层是协同编排器, 主要包含 NFV 网络编排系统 (NFVO)、企业应用管理系统 (EAM)、SDN 编排系统 (SDNO)。

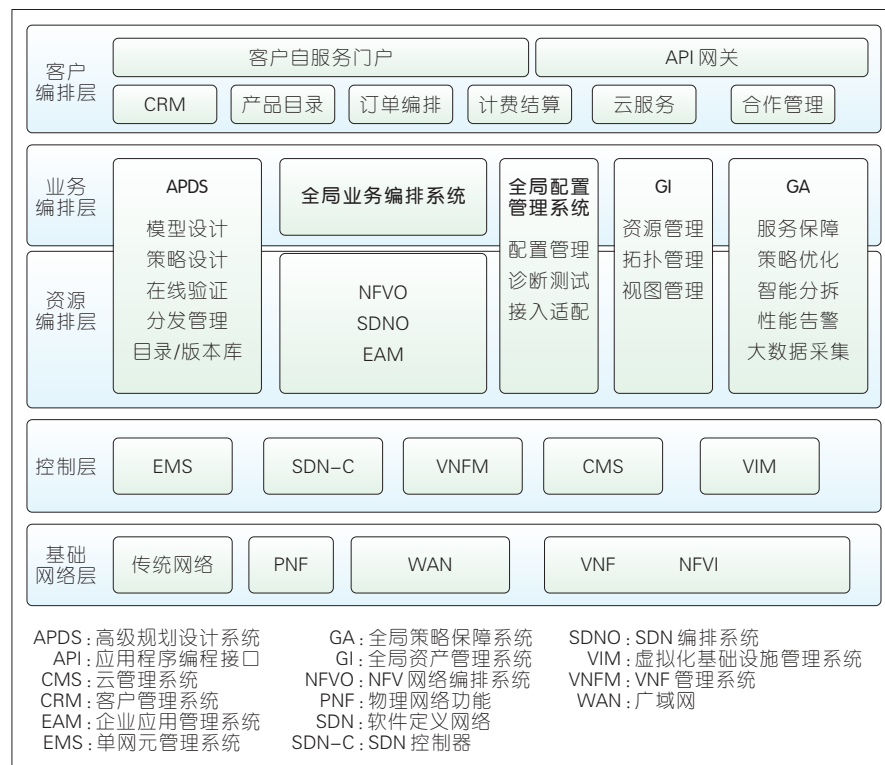
GSO 编排器负责端对端业务开通、业务测试、业务激活等功能, 主要处理来自客户编排层分解的用户订单业务请求, 一方面触发从面向客户

的业务到面向资源的、业务的转化工作流程, 解析订单业务对应的资源模型, 如果涉及到传统网络资源, 则向传统网络的资源管理系统申请相关的资源; 如果涉及 SDN/NFV 资源, 则向协同编排器发起相关请求, 由协同编排器负责对应资源的分配、创建和变更。另外一方面还需要进一步完成业务的配置、测试和激活等事宜。

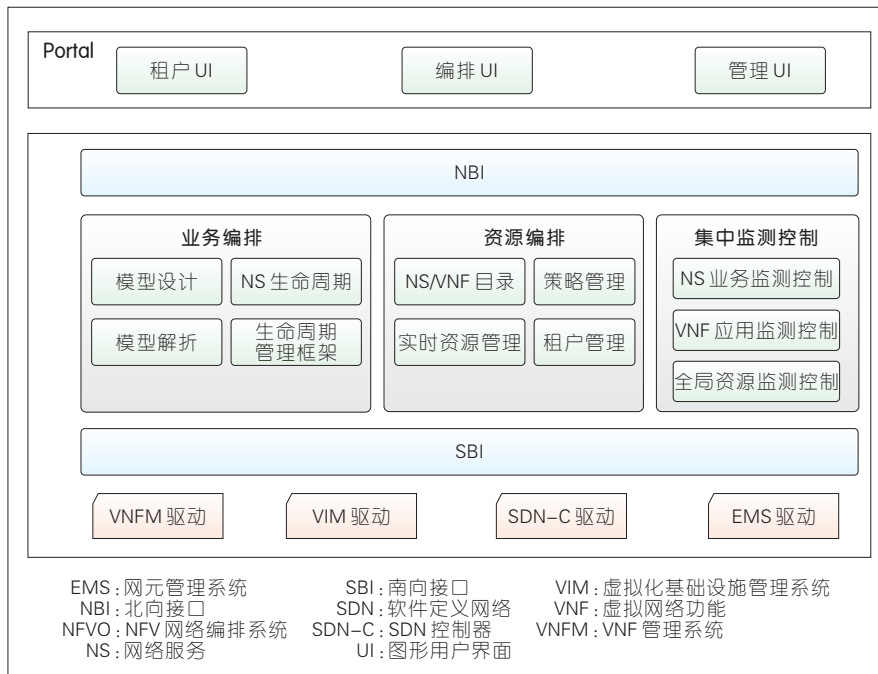
NFVO 编排器主要提供欧洲电信标准化协会 (ETSI) NFV 规范中 NFV 管理和编排 (MANO) 领域中要求的功能^[4], 实现虚拟网络服务 (NS) 和网络切片的自动化编排与全生命周期管理。它主要是根据 NS 设计以及客户端相关的参数配置, 实施 NS 的部署、弹性、修改、升级、查询、启动、停止、终止等动作。NFVO 的功能架构如图 3 所示, 主要包含图形用户界面 (GUI) 管理门户、南向接口适配、北向接口及驱动插件、工作流框架、生命周期管理框架、资源管理框架等, 这些模块以微服务的方式集成, 其中模型设计主要包含 NS 模型、切片模型设计等。由于未来网络中设计人员和日常维护人员通常应该是分开的, 在下一代运营运维系统的设计中, 我们通过高级规划和设计系统 (APDS) 将散落在各个系统中的设计相关的功能以微服务门户方式集成, 实现统一的权限管理。

SDN 编排器主要提供统一的网络连接编排、业务模型管理、网络模型管理、资源管理、性能监测控制、安全控制, 以及统一的、端到端的、业务路径的拓扑呈现等功能, 具体如图 4 所示。

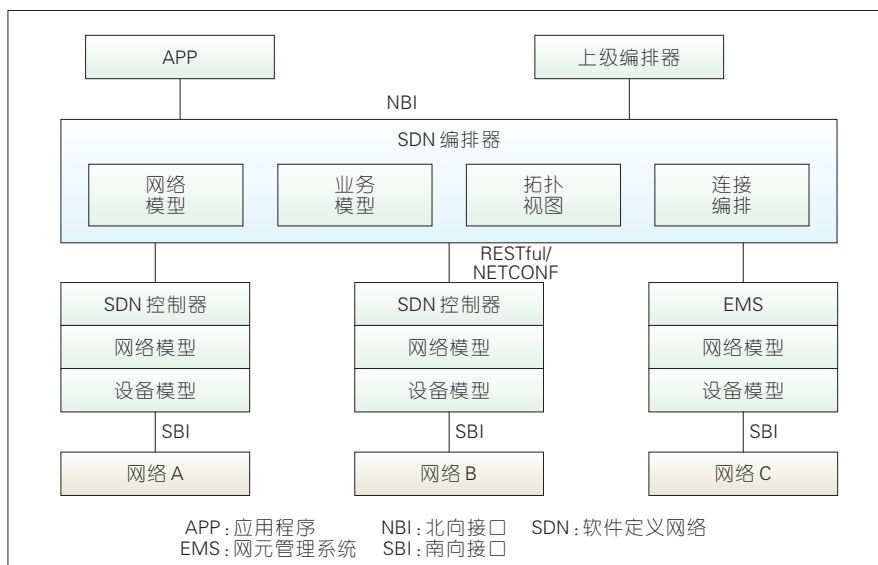
SDN 网络中通常存在多个 SDN 控制器。要建立跨域端对端的连接, 一种方案就是 SDN 控制器之间实现东西向的接口, 但是这种方案复杂性高, 耦合性强, 难以构建大规模网络; 另外一种方案就是 SDN 控制器提供标准的北向接口, 提供基础的逻辑连接功能和拓扑视图功能, 由 SDN 编排器根据业务需求和网络拓扑构



▲ 图 2 MICT-OS™ 系统功能架构



▲ 图3 NFVO的主要功能架构



▲ 图4 SDN编排器在网络中的应用

建端对端的连接,这种方案并不要求整网全部都是SDN,传统的网络也可以通过网元管理系统(EMS)抽象,提供类似SDN控制器的功能,只不过SDN控制器管理的网络动态调优能力更强,接入更加灵活。

SDN编排器提供标准的北向接口,与上层应用和编排器协同,实现集中式的连接控制和拓扑管理,负责

将面向客户和业务的连接需求转化为面向网络的连接需求,下发到具体的SDN控制器和EMS进行控制,实现完整意义的网络虚拟化,使网络更具有“弹性”,降低了网络的开通、运维等成本。

2.6 统一的策略保障框架

未来网络中在基础设施云化、软

硬件解耦的场景下,多厂商集成是个大概率事件,而且虚拟网元以VNF软件版本提供的可能性也大为增加,因此类似传统网络中每个网元都自带网管的话,在管理上就非常不方便,因此未来网元网管弱化,与网元版本集成,主要完成网管代理,实现事件上报,配置下发等简化网管功能是个趋势。

MICT-OS™中包含全局策略保障系统(GA),主要提供全网业务质量保障框架,其中包含跨域跨厂商的大数据采集和分析、统一告警和性能分析、服务保障和基于策略的网络优化等功能,统一集中跨厂商管理是主要的特点,除此之外还包含全局资产管理(GI)和全局配置管理。

GA提供MICT-OS™中几个比较重要的能力。首先是统一的大数据采集、存储、计算分析能力。通过事件上报、探针采集、文件采集等多种数据采集手段获取从基础网络层到业务编排层的信息,对整个网络状态、服务质量、客户体验、客户行为、故障告警等进行分析和预测,并且通过API开放支持系统中其他应用的事件订阅和测量任务请求,帮助其他应用实现实时的关键绩效指标(KPI)阈值监测控制,在此基础上,还提供了统一的系统、状态、告警、性能监测控制视图以及根告警和服务影响分析。其次是提供了统一的基于策略的网络和业务保障闭环框架。未来的网络资源管理和业务开通流程是全自动化的,每时每刻都有可能新的虚拟机或容量被创建或释放并且接入网络,导致网络的拓扑也在不断发生变化,因此完全依靠人工去排查告警,去做网络优化和业务质量保障就变得更加的困难。一个基于策略的网络自动化运维体系就变得非常重要。这里提到的策略是多方面和多层次的,策略的本质是可监测控制事件和对应的动作,表达方式是模板,例如NS和VNF弹性伸缩策略、流量路径优化策略、资源分配策略、网

络部署策略、安全管理策略、告警自愈策略等;策略保障的执行也是有层次的,例如NFVO负责执行NS的弹性伸缩策略,VNFM负责执行VNF的弹性伸缩策略,而GA模块中关注的是端对端网络和业务的保障策略,根据策略实时监控控制端对端网络的指标和用户的体验指标或者事件,当事件触发或者相关指标达到门阀时执行相关动作,实现网络和业务的优化保障。

GI主要提供全局的资产管理和拓扑管理。与传统网络资源和拓扑管理主要依靠人工录入和静态管理不同的是,SDN/NFV网络的资源和拓扑是动态的,因此全局资源和拓扑管理一方面要具备实时性,另外一方面还有具备自动发现和维护机制。SDN/NFV网络中不同层次的管理网元都具备资源管理的功能,例如VIM能够管理NFVI资源,提供虚拟机资源的申请、释放、扩缩容等;VNFM能够管理VNF资源,提供虚拟网元的创建、释放、扩缩容等,这些管理网元负责对应资源的生命周期管理,但是资源视图只是局部的,而GI需要把局部性的资源和拓扑信息通过技术手段聚合起来,建立整网资源的实时存量管理和关联关系视图,并且提供API供各个模块实时查询,为网络的全局质量保障框架和业务开通提供有力的支持,但是GI不负责资源的生命周期管理。

全局配置管理主要负责端对端网络配置管理、测试激活管理、接入适配管理等功能,负责对接传统网络和SDN/NFV网络的EMS网管。由于传统网络的网管的北向接口标准化程度不高,因此需要提供一个接入适配功能,屏蔽厂商差异性,向系统中其他模块提供标准化的API接口。这样可以使得新旧网络呈现出相同的管理逻辑视图,而网元接入管理还提供配置管理功能,支持通过配置模板实现新增网元的自动化配置,以及网络和资源的测试诊断等一系列的

功能。

2.7 全局业务和规划框架

高级规划设计系统(APDS)主要负责下一代运维系统中的规划设计功能,包含模型设计、策略设计、在线验证、分发管理、统一的目录和版本数据库等。通过统一的集成门户,一方面把网络运维中规划设计和日常运维在界面和入口上进行分离;另一方面将设计环境和生产环境隔离,设计权限和运维权限分离,进一步提升网络的安全性和管理的专业性。

模型设计主要负责提供统一的可视化模型设计集成环境,支撑产品、业务、资源、工作流等模型设计和管理功能,这里的资源主要是指面向网络的资源如虚拟化NS、VNF等,对应输出的是网络服务描述符(NSD)、虚拟网络功能描述符(VNFD)、虚拟网络功能转发表(VNFFG)、虚拟网络链接描述符(VLD)等云应用拓扑和编排规范(TOSCA)格式模板。

策略设计主要负责提供统一的策略规则的可视化设计和管理。策略管理主要包含策略分类、策略效果验证、策略冲突检测、策略分发等功能,策略效果验证功能主要是通过API调用获取指定策略规则,下发前后的相关KPI指标进行对比分析,并且根据分析结果,进一步对策略进行设计优化。

在线验证主要负责设计环境的输出结果到生成环境正式使用前的验证工作。在线验证需要搭建模拟生产环境,将需要验证的设计结果投放到模拟生产环境中进行全方位的测试验证,例如在模拟生产环境通过NFVO调用需验证的VNFD模板实例化生成新的VNF,并且启动相关的自动化验证流程,输出相关的测试报告,如果测试结果通过,则可以登记和上传到生成环境的相应目录,成为正式的模板。

分发管理主要负责将设计环境中经验证后模板和版本分发到相应

的网元和目录,支持接口适配、格式转换、版本控制等功能。

目录/版本数据库主要负责统一的模板目录和各种资源库的数据存储,提供API供上层应用调用,模板目录包含产品目录、业务目录、资源目录等,资源库包含策略库、工作流库、版本image等。

3 结束语

目前SDN/NFV的商用还处于发展的初期阶段,为真正实践软件定义网络的思想,让网络更加开放、敏捷、高效、实时,我们提出了基于软件定义网络思想的下一代运营运维架构——中兴ElasticNet MICT-OS™。MICT-OS™借鉴了IT企业成功的运维理念和经验,基于SDN/NFV以及大数据分析等技术,实现基础设施云化,软硬件解耦,全网资源统一分配,构建统一业务与资源编排管理系统,实现基于策略驱动和模型驱动的运维自动化流程和即插即用的网元集中化运维管理,推动业务一体化开发与统一发布,实现网络能力服务化,业务创新生态化,为SDN/NFV大规模投入商用摸索出一条可行的运维之路。

参考文献

- [1] Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Form for networks [R]. ONF, 2012
- [2] MEF Forum. Lifecycle Service Orchestration (LSO): Reference Architecture and Framework [R]. MEF Forum, 2016
- [3] TM Forum. Transformation to an Agile and Virtualized World [EB/OL]. (2016-04-21) [2016-09-01]. <https://www.tmforum.org/zoom/zoom-poster/>
- [4] ETSI. Network Functions Virtualization (NFV): Management and Orchestration[S]. GS NFV-MAN 001 V1.1.1. ETSI, 2014

作者简介



张铁卿,中兴通讯技术规划部方案规划总监;长期从事通信行业新技术发展和趋势研究、公司技术发展战略规划、新技术解决方案规划,研究方向包括SDN/NFV、运营运维等。

SDN 规模部署关键问题分析

Key Issues in Large-Scale Deployment of SDN

李晨/LI Chen

程伟强/CHENG Weiqiang

王金柱/WANG Jinzhu

(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100058)

(China Mobile Research Institute, Beijing 100058, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0031-005

摘要: SDN 是中国移动未来网络项目 NovoNet 的核心技术之一。指出中国移动的 SDN 实践, 重点包括数据中心、软件定义的分组传送网(SPTN)、广域网、集客网、移动核心网五大应用场景。通过对 SDN 发展的关键技术问题的介绍和分析, 认为 SDN 把软件和网络结合在一起, 给网络带来灵活性和开放性, 同时也对网络固有的稳定性有所冲击。对于 SDN 引入来说, 应该全局考虑业务系统对稳定性和灵活性的需求和平衡。

关键词: SDN; NovoNet; 数据中心; SPTN

Abstract: Soft defined network (SDN) is one of the core technologies in the NovoNet project of China Mobile. The major scenarios of SDN practice of China Mobile are including data center, defined packet transport network (SPTN), wide area network (WAN), NovoVPN and mobile core network. It is considered that combing the software with network, SDN brings flexibility and openness to the network, while has an impact on the inherent stability of the network. For SDN using, a overall consideration of the demand and balance in business systems for stability and flexibility should be taken into.

Keywords: SDN; NovoNet; data center; SPTN

1 未来网络发展目标

通信网络经历了 1.0 模拟通信、2.0 数字通信、3.0 IP 化通信, 正式进入通信 4.0 时代。通信 4.0 需要信息技术(IT)和计算机技术(CT)融合。其核心特征包括敏捷化、开放化、软件化、虚拟化。为实现快速响应市场发展, 满足客户对通信网络深层次需求的目标, 亟须开展网络转型工作。中国移动于 2015 年初提出了发展下一代创新网络 NovoNet 的理念, 深度融合 IT 新技术, 构建“资源可全局调度, 能力可全面开放, 容量可弹性伸缩, 架构可灵活调整”的新一代运营商网络。

1.1 新型数据中心和新型网络

通信 4.0 时代的网络在物理设计上应具备两大基础特征:

(1) 网络功能软件化形成电信云, 构成新型数据中心。

(2) 软件定义网络(SDN), 实现灵活调度, 构成新型网络。

传统电信网络采用专用设备, 这些设备的电源、功耗、尺寸要求各不相同, 导致大量专用电信机房出现。未来的新型数据中心目标是统一规划, 采用通用服务器, 形成统一的资源池, 电信设备将采用网络功能虚拟化(NFV)技术实现软硬件分离, 电信网元功能以软件形式承载在统一资源池上形成电信云, 实现网络快速部署, 网元快速升级以及容量的弹性调度。新型数据中心的核心理念是 NFV 和 SDN。

传统 IP 网络自组织转发方式无法准确调度路由和开放路由; 轻载建设的传统模式在大带宽时代无法长久持续。新型网络采用 SDN 技术, 通过将路由设备控制和转发功能分离, 实现网络路由的集中计算, 向转发设

备下达路由, 从而实现网络的灵活、智能调度, 以及网络能力的开放和可编程^[1]。

1.2 中国移动 NovoNet 计划

中国移动推出 NovoNet 新一代网络计划, 旨在融合 IT、CT 技术, 构建一张“资源可全局调度, 能力可全面开放, 容量可弹性伸缩, 架构可灵活调整”的新一代网络。NovoNet 中 Novo 是拉丁语创新的词根, Net 包括了移动和固定网络、IP 网络、传输网络以及数据中心网络。NovoNet 的核心技术是 SDN 和 NFV, 核心思想是“新架构、新运营、新服务”。NovoNet 将以新型数据中心为单元形成电信云, 通过新型网络实现高效承载, 最终实现网络功能软件化、资源共享

收稿时间: 2016-09-23
网络出版时间: 2016-10-31

化、网络可编程。

2 中国移动 SDN 部署实践

2.1 SDN 部署应用场景

中国移动 SDN 网络主要包括 5 个应用场景：

(1) NovoDC, 是 NovoNet 在数据中心的实现方案, 旨在为公有云、私有云提供多租户/多业务的虚拟网络, 满足用户自助开通虚拟私有云网络的需求。

(2) 软件定义的分组传送网 (SPTN), 是 NovoNet 在传送网的主要场景之一, 旨在为集团客户、长期演进 (LTE) 回传网络提供快速开通和质量保证。

(3) NovoWAN, 是 NovoNet 在广域网的实现方案, 通过实时感知网络流量, 全局集中调度流量, 提升 IP 网络带宽利用率, 并且能够保证关键业务质量。

(4) NovoVPN, 是 NovoNet 在集客多协议标签交换 (MPLS) 虚拟专用网络 (VPN) 的实现方案, 该方案基于 Overlay VPN 技术, 实现集客 VPN 用户的快速接入, 自动上线。

(5) 移动核心网、固网应用 SDN, 实现灵活业务链的编排。

2.2 数据中心 SDN 商用部署

2015 年中国移动公众服务云商用部署 SDN 网络, 主要提供私有网络 (VPC)、虚拟防火墙、虚拟负载均衡、VPN 等网络服务。该方案基于中国移动自研的 OpenStack 大云平台, 采用 Plug-in 方式和 SDN 对接。

该方案中 SDN 转发节点数百个, 控制器采用集群方式实现可靠保护和负载分担, 如图 1 所示。

2.3 SPTN 部署

2.3.1 SPTN 架构、北向接口和南向接口

SPTN 是业界率先提出面向超大

规模网络的层次化控制架构, 并付诸实现。SPTN 作为下一代城域传送网解决方案, 要能够覆盖全国所有县市, 实现多厂家, 百万节点组网。为了在大规模网络上, 同时实现区域内灵活管控和跨区域端到端调度, SPTN 引入了分层分域管理的层次化控制器模型, 如图 2 所示^[2]。

直接管理转发设备的控制器成为域控制器, 一个管理域对应一个域控制器来管控; 在域控制器之上, 可以继续构建超级控制器, 用于管理下层的多个域控制器; 若需要跨域管理多个超级控制器的域, 还可以继续在此基础上构建更高层次的超级控制器。通过构建金字塔式的层次化控制器架构, 顶层控制器能对全网的集中控制中心, 实现大规模、多域、多厂家组网。同时, 各层控制器独立管控自己域内的资源, 能够实现本地运维和管理。

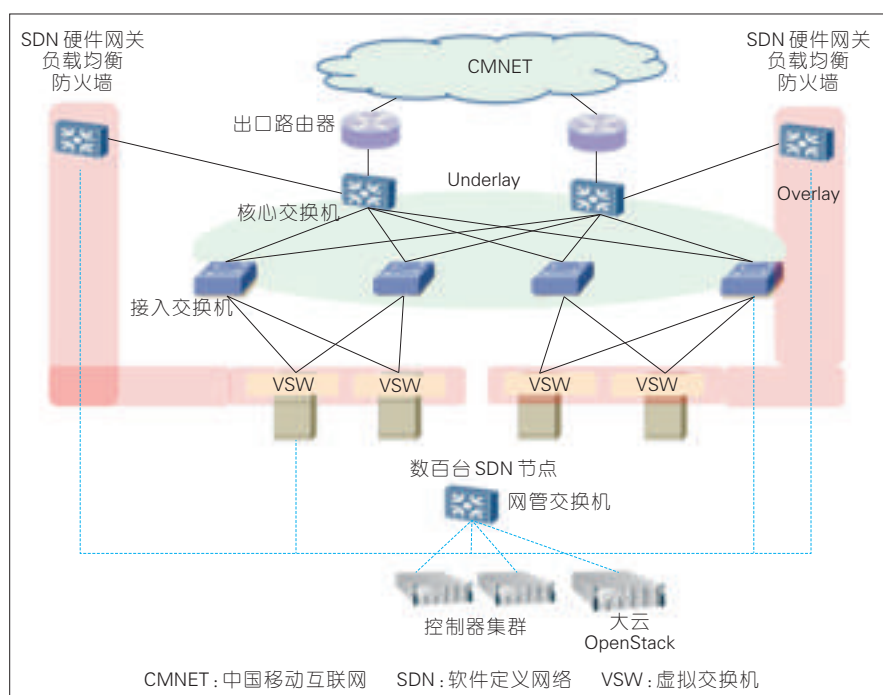
各层控制器采用统一的拓扑、资源、业务抽象模型, 上层控制器可通过下层控制器的北向接口的调用来完成自底向顶的集成。如果提升控制器的管理能力, 控制器支持管理更

多的转发设备的情况下, 可以避免控制器的层次过多, 这样更加有助于网络的集成和管理。

中国移动率先制订了 SPTN 标准信息模型及接口协议, 实现现网多厂家互联及智能化升级。北向接口指控制器之间以及控制器与应用程序 (APP) 之间的接口, 主要接口功能需包括拓扑管理、业务控制、告警、性能监测控制以及安全管理等功能。APP 与控制器之间的接口以及控制器之间接口的大部分功能相同, 为了减少接口标准的复杂度, 两个接口采用相同的标准协议。在 SPTN 系统中, 采用了业界主流的 RESTCONF 接口, 针对 SPTN 功能设计了统一的 YANG 数据模型, 描述接口的交互信息, 主要的模型如表 1 所示。

制订 SPTN 南向接口 (OpenFlow 表转发模型 (TTP)), 通过标准转发设备和南向接口实现跨厂家设备的直接管控。原生的 OpenFlow 无法满足 SPTN 电信级网络的要求。SPTN 针对 OpenFlow 做了如下方面的扩展：

(1) 转发 pipeline 扩展。该扩展支持网络侧接口 (NNI) 到用户网络



▲ 图 1 数据中心 SDN 网络架构

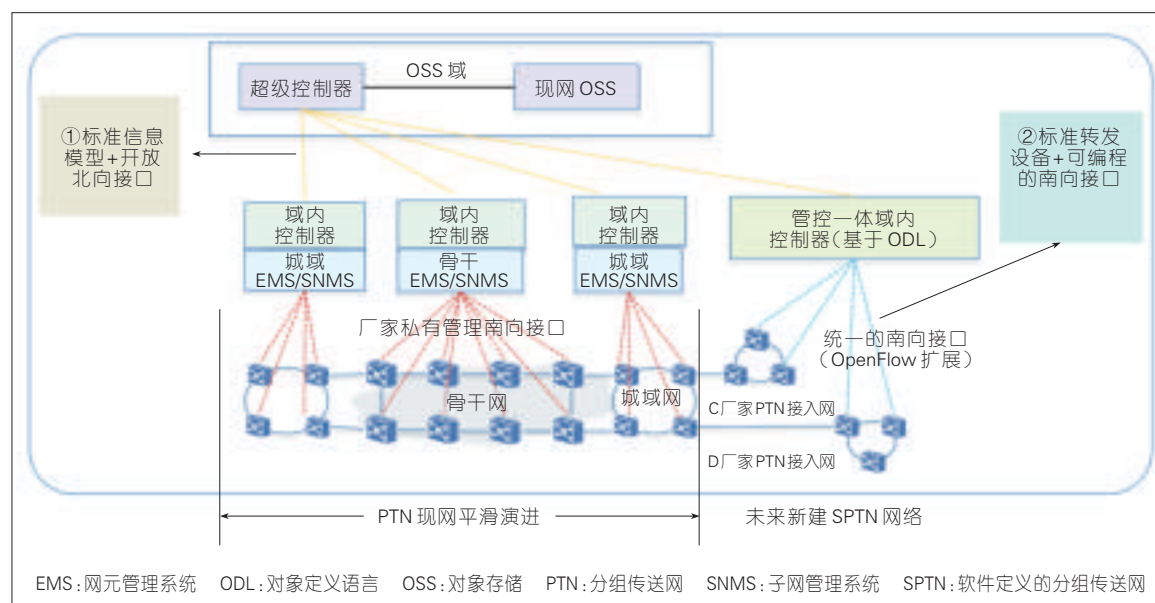


图2
SPTN 层次化控制器架构及标准接口

表 1 SPTN 北向接口主要 YANG 模型

属性对象	说明
隧道	两个端点之间一条隧道的行为及属性
以太服务流	某个以太业务的行为及属性
端点	某个 UNI 接口的行为及属性
PW	两个端点之间一条伪线的行为及属性
APS 保护	某个 APS 实例的行为及属性
OAM 实例	某个 OAM 实例的行为及属性
NodeInfo	拓扑中某个节点的信息
内部 LinkInfo	拓扑中某个节点的控制器内部某条链路的信息
外部 LinkInfo	拓扑中某个节点的控制器外部某条链路的信息
APS: 自动保护倒换 OAM: 操作管理维护	PW: 伪线 SPTN: 软件定义的分组传送网 UNI: 用户网络接口

接口 (UNI) 侧的处理, 以及 UNI 到 NNI 的处理。这个处理过程能够使得 SPTN 系统能够插入或者提取合适的操作管理维护 (OAM) 报文或者保护报文。

(2) 对 OAM 的扩展。该扩展需满足层次化的 OAM 要求, 支持段层、伪线 (PW) 层、分层服务提供商 (LSP) 层以及业务层的各种 OAM 处理, 以及不同厂家设备之间的互联互通。对 OAM 的扩展模块应置于传送设备, 以硬件实现, 以保证实时性。

(3) 对线性保护倒换的扩展。线性保护需要运行较复杂的状态机, 如果都运行在控制平面, 50 ms 以内

的快速保护倒换很难实现。在 SPTN 中建议将倒换状态机的运行作为黑盒放置于传送设备, 该处理模块与 OAM 模块及 OpenFlow pipeline 对接, 同时, 控制器运行协同机制, 保证保护倒换状态的一致性。

2.3.2 SPTN 测试和试点

SPTN 构建了包括软件系统 (APP、超级控制器、域控制器)、硬件设备 (SPTN 设备及芯片), 测试仪表等的端到端生态系统, 如图 3 所示。

目前, 中国移动已经完成现网 7 厂家的实验室互通测试, 在广东、浙江、福建、北京等省份或地区进行了

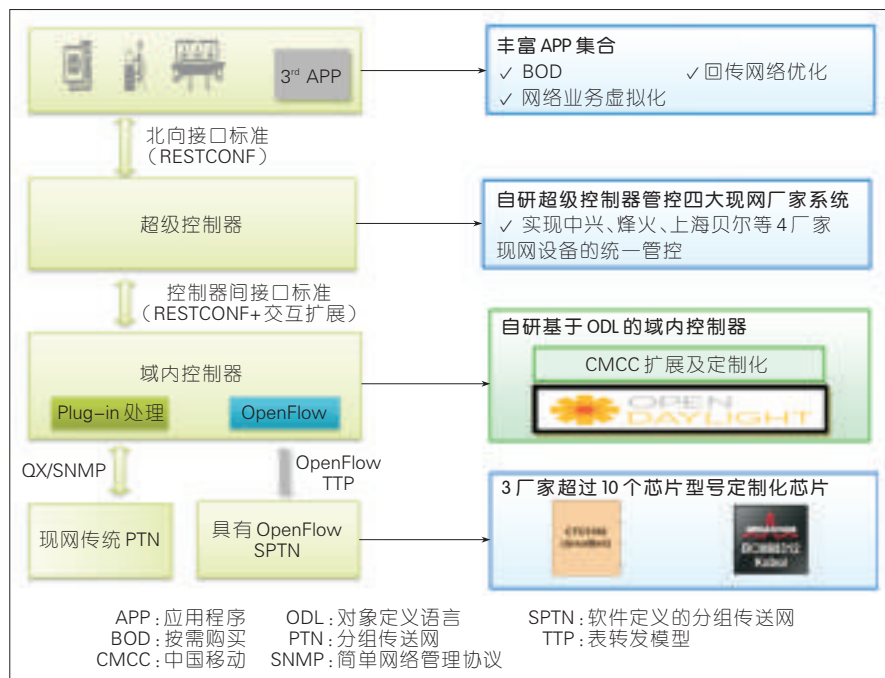
在现网商用试点。试点结果表明, SPTN 网络让 PTN 专线开通时间从“周”级别缩短到“分钟”级, 实现了跨厂家端到端业务开通。

2.4 自研 SDN 控制器

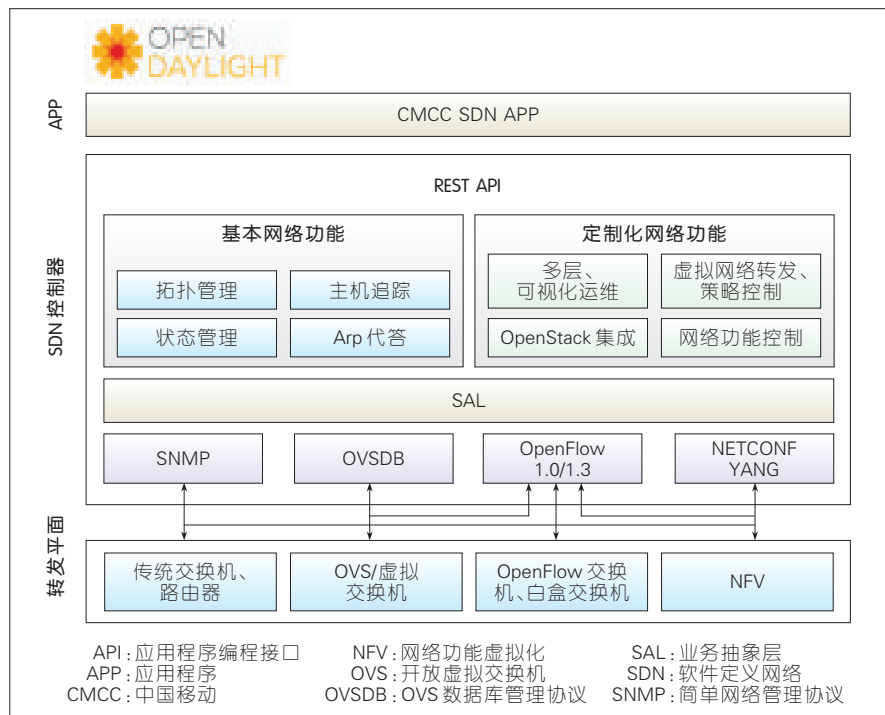
自 2014 年起, 中国移动基于开源 OpenDaylight 平台, 自主研发了面向数据中心的 SDN 控制器, 为公有云、私有云提供虚拟网络解决方案。自研 SDN 控制器一方面借助 OpenDaylight 平台实现多种南向协议 (包括 OpenFlow、NETCONF 等) 以及网络基本功能 (拓扑、状态管理、主机追踪等); 另一方面自主研发新功能, 满足中国移动数据中心的定制需求。自研新功能主要包括以下几部分, 如图 4 所示。

(1) 虚拟网络转发、策略控制。基于开放虚拟交换机 (OVS), 通过 OpenFlow 流表的方式实现功能包括 L2 转发、L3 分布式路由、安全组、虚拟端口限速、动态主机配置协议 (DHCP) 服务、元数据服务。

(2) 与第三方网元开放接口互通。利用多厂家商业 VXLAN 网关、防火墙、负载均衡器为虚拟网络提供服务。自研 SDN 控制器按照《中国移



▲ 图3 SPTN 架构和生态系统



▲ 图4 中国移动自研控制器架构

动SDN控制器接口规范》进行开发，控制商用设备。

(3) 多层、可视化运维。提供 Underlay 物理层、Overlay 虚拟网络层以及用户视图层3个层面的可视化

运维功能。

(4) OpenStack 集成。能够与主流 OpenStack 发布版 I、K 等集成。

中国移动自研 SDN 控制器不仅能够满足数据中心的定制化功能需

求,在性能方面也可以满足中型数据中心上千台虚拟机(VM)并发上线的能力。

3 SDN 规模部署关键问题

通过以上一定规模的商用部署和运营,以及真实环境下的压力测试,我们发现SDN网络在实际使用中还存在着一些问题亟待解决:

(1) 软件定义网络,除了把软件的优势带给了网络,也把软件的问题扩展到网络,影响到了网络的稳定性。数据库、消息队列以及异常处理是大型软件运行中影响稳定性的主要因素。传统网络设备采用专用转发芯片实现,操作系统运行的软件以及协议相对简单,稳定性较高。SDN 网络中通过控制器集中处理消息,引入了消息队列、数据库等软件组件,在大压力下这些软件组件本身的问题将直接影响网络系统的稳定性。在使用中,我们发现了几个实际应用中的案例:

- 数据库不同步。OpenStack Neutron 和控制器都维护各自数据库。当一个虚拟交换机(VSM)故障,马上新建 VM 时,Neutron 数据库来不及更新而控制器已经感知,后续对这个 VM 的处理将出现异常。

- 消息队列满。控制器消息队列满了,将造成后续 VM 端口启动消息丢失,进而导致后续 VM 无法执行 DHCP 流程并获取 IP 地址。

- 异常处理不完善。为了避免并发写数据时候的冲突问题,软件系统的操作方式有两种,一种是单数据库操作且写数据加锁,但这种方式效率有限;另一种方式是采用分布式数据库采用负载分担方式,不过容易出现并发写的时候锁不住,造成两边数据冲突,所以在锁不住的情况下往往采用回滚方式处理。由于控制器异常情况下回滚处理不完善,回滚失败,导致重新申请失败。

在大数据量并发配置的情况下,上述问题很容易发生,且直接影响网

络的稳定性。关于软件给网络稳定性带来风险的问题,需要重点研究和优化。

(2)目前的SDN产品不是开放,而是更封闭。传统网络中,基础网络基于以太网、IP路由协议搭建,主要采用多厂家数据中心交换机产品混合组网。对于安全、负载均衡等增值网络服务方面,可以通过IP技术兼容第三方厂家产品实现。从目前SDN产品看,包括控制器、虚拟交换机、SDN TOR交换机、SDN网关、防火墙、负载均衡、VPN设备等,都必须采用单厂家一揽子方案,最多强绑定指定第三方产品。这种格局并不利于SDN的长远发展。

该问题表现为2个层面的绑定:第1个层面是SDN和功能网元的绑定;第2个层面是SDN控制面和转发面的绑定。对于第1个层面,其本质在于目前缺少标准的业务链实现机制,所以厂家在SDN转发设备和防火墙、负载均衡等网络功能设备之间导流时,采用了SDN厂家私有技术和接口。另外,功能网元的配置定义不完善(如单臂双臂、子接口虚拟局域网配置等),需要相应的扩展。对于第2个层面,一方面从商业上讲,控制器和转发设备之间想打开是一种新的商业模式,还需要产业链自己去演进,也许未来会形成控制器厂家和转发设备厂家,而现阶段,每个厂家都同时有控制器和转发设备,想互相管理对方的设备难度很大;另一方面,单从技术上讲,即使不同SDN方案提供商宣称控制器和转发设备之间都支持OpenFlow1.3,但是在这些flow mod消息中到底相同功能的一条流表映射成为几级设备上的转发表,每级转发表匹配的内容和动作是什么,都是千差万别的,特别是控制器去配置硬件交换机时,还和芯片有关,难度更大。

中国移动自主开发SDN控制器的最主要需求就是为了解决上述两个问题。一方面通过定义标准的控

制器与多厂家转发设备之间的接口和模型,实现SDN和NFV的解耦;另一方面通过制订标准的OpenFlow流TTP,实现控制器与转发设备之间标准的南向接口,解耦SDN控制面和转发面。

(3)多域协同的架构选择问题。广域网部署SDN面临很多实际的挑战。电信级的网络中,网元数量众多,以PTN设备为例,每个省有几万端设备,全国近100万端设备,单一甚至集群控制器无法管理这么大规模的网络。另外,广域网的转发设备分布很广,覆盖全国31个省份,且网络拓扑复杂,省内分为接入、汇聚、核心3层,跨省还有单独的承载平面,如果控制器全国集中部署,光控制器和转发设备之间的传输时延就有几十毫秒,对控制面的可靠性和稳定性影响大。最后,由于长期网络的运维分工,广域网的运维、管控团队部门很多,较难实现理想的SDN集中控制和管理。

分域控制器是广域网引入SDN新技术,解决上述运营和维护问题的有效手段。分域控制器本身的方案选择也分为单层控制器+东西向接口、多层控制器+南北向接口两种方式。如图5所示,通过优劣势对比,

多层控制器平衡了复杂性,是有效的多域协同网络架构。

(4)缺少大规模复杂网络中控制器功能及性能测试方案。控制器的功能和性能测试是SDN方案的重中之重。在SDN产品快速发展的过程中,测试仪表和方案一直相对落后,没有专门的、通用的测试产品。为此,中国移动牵头梳理了SPTN场景下的测试需求,并联合仪表厂家、分组传送网(PTN)厂家联合开发SPTN测试仪表,填补了产业链在SPTN测试领域的空白。当前控制器测试的主要问题包括3点:

- 控制器是面向十万节点量级网络设计的,如何衡量控制器的性能指标并进行定量测试。

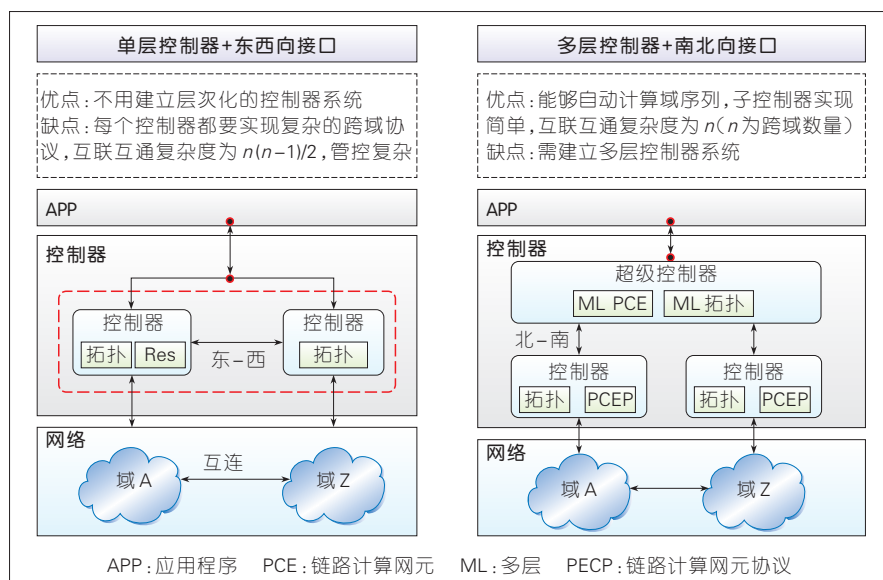
- 测试环境包括多层次化控制器及转发设备,如何进行全系统端到端精细测试。

- 各种接口是适配实际网络设计的,如何采用通用测试仪表进行相关测试。

测试仪表主要实现以下套件,完成接口、功能和性能测试。

- 接口一致性测试套件。分别模拟APP、各层控制器、转发设备,验证被测设备接口对象树构型、属性间

➡下转第39页



▲图5 单层、多层控制器方案对比

城域网虚拟化方案及思路探讨

Schemes on Metropolitan Area Network Virtualization

杨锋/YANG Feng
解冲锋/XIE Chongfeng
史凡/SHI Fan

(中国电信股份有限公司北京研究院,
北京 100035)
(China Telecom Beijing Research
Institute, Beijing 100035, China)

中国政府近年来积极推进宽带中国建设。2015年2月工信部部署实施《宽带2015专项行动》;2015年3月李克强总理在政府工作报告中提出政府制订《“互联网+”行动计划》,并于7月印发行动的指导意见;2015年5月国务院办公厅发文《国务院办公厅关于加快高速宽带网络建设推进网络提速降费的指导意见》。宽带提速、光进铜退、光网改造工程加剧了城域网边缘设备的压力,宽带远程接入服务器(BRAS)的每用户会话数从光网改造前的1个,增加为光网改造后的3~4个。从现网数据看,现网BRAS的用户侧物理端口使用率、会话占用率不同,地区存在资源使用率的巨大差异,这导致资源有效使用率下降。近年来wifi等业务创新,也对BRAS的部署提出了新的需求。

网络虚拟化技术有助于实现网络硬件资源优化并实现业务层面的创新。通过控制网络功能虚拟化(NFV)的按需创建,可以实现物理资

中图分类号:TN929.5 文献标志码:A 文章编号:1009-6868(2016)06-0036-004

摘要: 网络功能虚拟化(NFV)技术通过软硬件分离、硬件标准化等方式,提升硬件资源循环使用率,降低技术门槛和开发成本,并大幅降低运营商的投资成本(CAPEX)和运营成本(OPEX)。通过对城域网(MAN)网元的演化方案的介绍,探讨了在过渡阶段如何快速有效引入虚拟化的现网部署,认为虚拟宽带远程接入服务器(vBRAS)的使用将会促进城域网向网络智能化、运营智慧化方向发展。

关键词: NFV; 部署方案; vBRAS

Abstract: Through the separation of hardware and software, and standardization of hardware, network function virtualization (NFV) technology enhances the efficiency of the utilization of hardware resources, and reduces technical barriers and development costs, and significantly reduces the Capital Expenditure (CAPEX) and Operating Expense (OPEX). The evolution scheme of the metropolitan area network(MAN) element is introduced, and the fast and effective way of leading the current network deployment into MAN at the transition stage is also discussed. We believe that virtualization broadband remote access server (vBRAS) will promote the smart network and intelligent operation development of MAN.

Keywords: NFV; deployment scheme; vBRAS

源的均衡,并能够减少硬件资源的闲置和浪费。

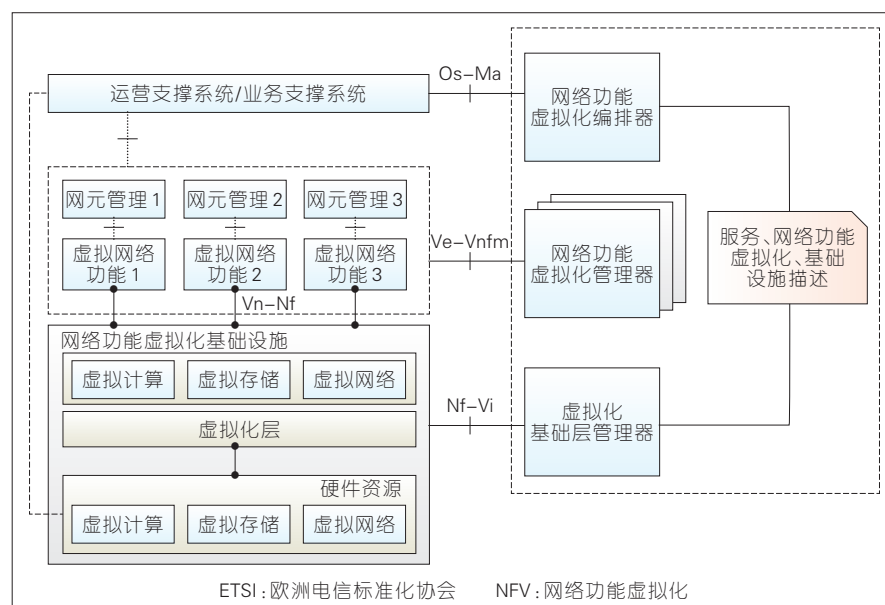
1 NFV 技术简介

2012年10月,由AT&T、BT、Deutsche Telekom、Orange、Telefonica等7家运营商在欧洲电信标准化协会(ETSI)发起成立了NFV行业规范工作组(NFV ISG),该工作组致力于制订支持NFV的硬件和软件基础设施的要求和架构规范,以及虚拟网络功能的指南,并配合其他标准组织开展相关的工作,根据情况对现有的虚拟化技术和相关标准进行整合(如图1所示)。目前已发布架构、需求、应用案例等多个技术文稿及一系列PoC文档^[1]。

NFV技术将极大地改变基础运

营商的网络建设、运维、管理和业务创新模式。在网络建设方面,NFV利用通用化硬件构建统一的资源池,在大幅降低硬件成本的同时,还可以实现网络资源的动态按需分配,从而实现资源共享和资源利用率的显著提升。在研发和运维方面,NFV采用的自动化集中管理模式,将推动硬件单元管理自动化、应用的生命周期管理自动化,以及网络运维的自动化,使运维、研发一体化(DevOps)成为可能。在企业管理方面,为了应对NFV对运营商带来的一系列变化,基础网络运营商的组织关系、企业文化等都有可能需要变革,运营商的企业文化在NFV引入之后将加速向软件文化转变。在业务创新方面,基于NFV架构的网络中,业务部署只需申请云化

收稿时间:2016-09-18
网络出版时间:2016-11-07



▲ 图1 ETSI NFV 架构

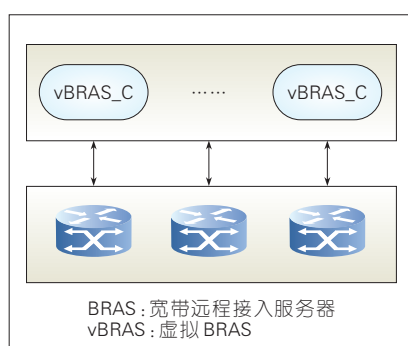
资源（计算/存储/网络），加载软件即可，网络部署和业务创新则会变得更加简单。

2 vBRAS 实现方案

智能边缘 BRAS 是城域网的关键节点，是用户接入终结点及基础服务提供点。专业一体化设备在实现业务功能与硬件强相关，给新业务部署方面带来很大难题。目前，不同的业务对 BRAS 的带宽和会话需求差异较大，给规划带来了较大的困难，无法充分利用 BRAS 的硬件能力。虚拟 BRAS (vBRAS) 是实现城域网虚拟化的代表技术，其每个模块可按需在虚拟机上部署，且可基于通用服务器的虚拟化资源提供能力，从而实现灵活扩展。目前 vBRAS 主要还在试验或现网试点阶段。从各个厂商，目前 vBRAS 主要有 3 种方案^[2-4]。

2.1 vBRAS 控制和实体 BRAS 转发方案

该方案优先实现转发控制分离，控制平面采用 vBRAS 方式部署在通用 x86 服务器，转发平面采用专用转发设备，如图 2 所示。该方案的典型特点是将传统的 BRAS 设备控制面与



▲ 图2 vBRAS 控制面+实体 BRAS 转发面

转发面分离，即控制面基于 NFV 架构实现虚拟化；转发面基于专用的物理转发设备进行相关的业务转发。就设备形态而言，控制面是基于通用服务器安装的 vBRAS 控制面的应用程序 (APP)，转发设备就是支持 BRAS 特性的软件定义网络 (SDN) 流转发设备。该方案的具备以下优势：

- (1) 充分利用现有资源。转发面可利用现有的 BRAS 设备，保护投资。
- (2) 转发性能强。因为转发设备采用传统的物理 BRAS 设备转发，转发性能强。

该方案也有如下局限：

- (1) 硬件平台不通用，需要专用的转发设备做转发，系统封闭。
- (2) 转发面虚拟化程度不高。因

是专用的硬件平台，很难纳入云平台的统一控制，从而很难在 NFV 统一架构下实现虚拟化。

如上所述，该方案无法体现出 NFV 技术的优势，只是将现有的控制平面分离出来。目前实体 BRAS 存在的会话和带宽不匹配问题无法得到根本解决（板卡 64K SESSION 限制）。该方案只适用于对现有的硬件 BRAS 进行改造，以满足基于现有功能的业务创新和统一管理需求。

2.2 一体化 vBRAS 方案

该方案主要将 BRAS 的业务整体功能运行在一个服务器虚拟机上实现虚拟化，从而实现 BRAS 设备网元级的虚拟化，如图 3 所示。该方案的典型特点是 BRAS 的控制与转发都基于 NFV 架构实现虚拟化，但是控制和转发面并未实现分离，运行在同一台虚拟机上。

该方案优点是虚拟化程度高，具有弹性伸缩能力，部署更加灵活^[5]。

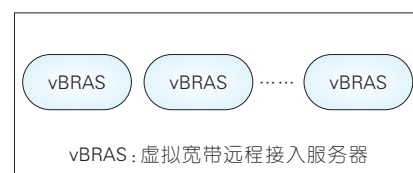
然而，该方案也有如下局限性：

- (1) 控制和转发面未实现分离，无法灵活配置控制和转发资源。
- (2) 设备转发性能相对较差，尤其在多业务叠加环境中，性能则会下降明显。

该方案基本实现了网络功能虚拟化。vBRAS 基本能够实现根据需求灵活调配、动态调整、业务的快速开通和业务模式的创新，但因转发和控制尚未分离，仍无法发挥资源的最大有效利用率。

2.3 vBRAS 的控制面和转发面分离方案

该方案主要将 BRAS 的控制面和转发面解耦，vBRAS_C 和 vBRAS_U 分



▲ 图3 一体化 vBRAS 方案

别作为 NFV 实体运行在不同服务器虚拟机上,如图 4 所示。该方案的典型特点是 BRAS 的控制与转发都基于 NFV 架构实现虚拟化,并实现了控制和转发面分离。未来可基于软件功能分集,每个功能作为单独的虚拟机,从而能够实现 BRAS 业务组件级虚拟化。

该方案优点是实现了控制面和转发面分别实现了虚拟化,虚拟化程度高,可按需弹性伸缩部署控制面和转发面,部署更加灵活。

然而,该方案也有局限性,如设备转发性能相对较差,尤其在多业务叠加环境中,性能下降明显;尚未实现业务组件虚拟化,无法实现业务组件级的定制。

该方案为下一步向业务组件级虚拟化过渡奠定了基础。该方案基本上实现了 NFV 的灵活扩展和业务创新的需求。适用于开通新业务、进行新业务创新的应用场景。

3 vBRAS 基于业务部署方案

中国电信城域网主要为二级架构,即城域网核心层和业务接入层(如图 5 所示)。BRAS 是城域网主要的智能边缘设备,承载宽带用户的接入。目前中国电信有数千台 BRAS 在线运行,在承载业务中存在如下一些问题:

(1)设备硬件升级换代快,设备为软硬件一体化设备,投资可能得不到保障。

(2)设备是封闭系统,新增功能较为困难,开发周期长,部分功能还需要更换或增加硬件支持。

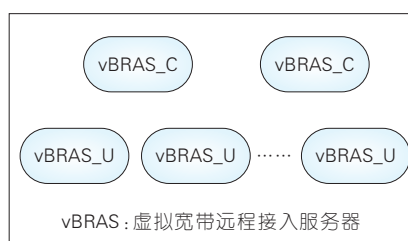
(3)资源使用率低,会话和带宽在不同场景下的不同需求无法得到灵活的适配。

vBRAS 作为城域网虚拟化的主要技术手段,将会解决目前硬件 BRAS 存在的问题,并在业务模式创新等方面展现出优势。在现有实体 BRAS 运行的情况下,vBRAS 只能按

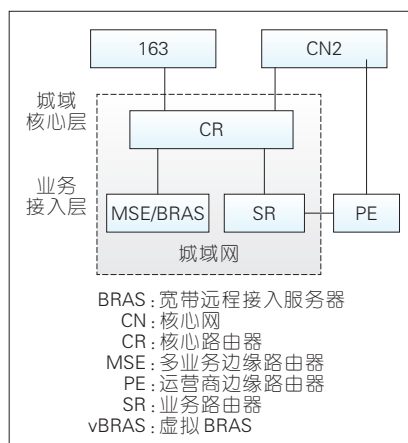
照业务需求逐步引入,待技术发展成熟逐步替换的策略。

现有的城域网的宽带接入主要是 PUPSPV 方式,在不改变现有网络规划的情况下,可以根据新业务的开通需求同步引入 vBRAS。根据不同的业务,分为不同的 vBRAS 云资源池,如上网资源池、交互式网络电视(IPTV)资源池、网络电话(VoIP)资源池、终端综合管理系统(ITMS)资源池等。不同的 vBRAS 资源池按业务类型决定部署在边缘数据中心(DC)或核心 DC,譬如对于 ITMS 业务,业务流量较小,适合统一管理,则部署在核心 DC 机房比较合适;对于大流量业务,譬如 IPTV 等,流量较大,部署在边缘 DC 机房,则更能保证用户业务体验。图 6 为引入 vBRAS 后城域网的网络架构图。vBRAS 部署分两层实现业务的分流。

根据 vBRAS 的部署位置,将对应的业务通过 VxLAN 隧道二层连通对应的 vBRAS。根据 VxLAN 的特点,可采用 PSW-PS-PVxLAN 或 POLT-PS-



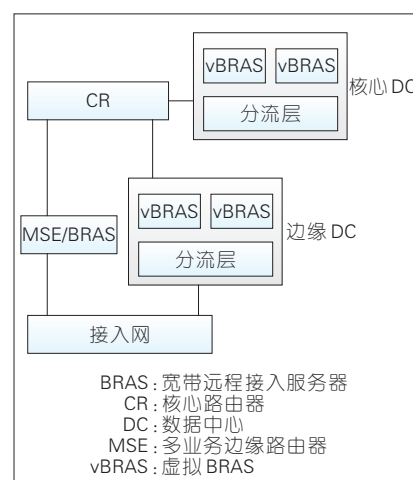
▲图4 vBRAS的控制面和转发面分离方案



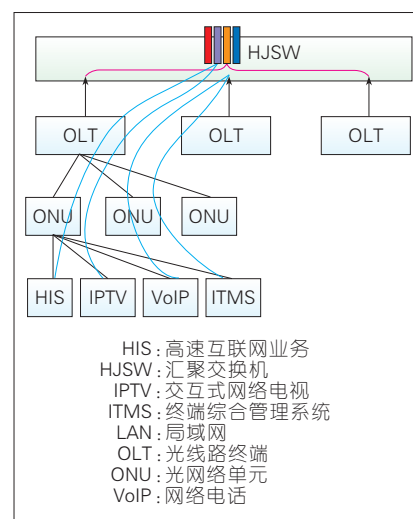
▲图5 城域网架构

PVxLAN 的方式。如图 7 所示为 PSW-PS-PVxLAN 模式,高速互联网业务(HIS)、IPTV、VoIP、ITMS 等业务都有不同的虚拟局域网(VLAN)或 QinQ(堆叠 VLAN)标识。根据不同的标识连接到不同的汇聚交换机(HJSW),然后在 HJSW 上根据不同业务进入 VxLAN 隧道,连通对应的 vBRAS。图 8 所示为 POLT-PS-PVxLAN 模式,在 HJSW 上每个光线路终端(OLT)来的流量根据不同的业务进入不同的 VxLAN 隧道,连通对应的 vBRAS^[6]。

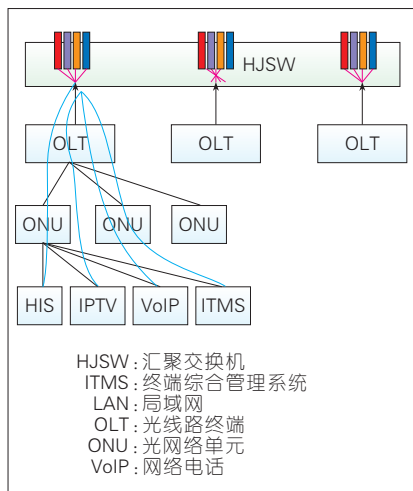
利用 VxLAN+NFV 技术,通过业务导流,首先将城域网新上线业务部署在 vBRAS 资源池中;后续将现有城



▲图6 引入vBRAS后网络架构



▲图7 PSW-PS-PVxLAN模式



▲图8 POLT-PS-PVxLAN 模式

域网部分业务转移到vBAS资源池当中,以实现业务逐步地向NFV系统中迁移。

4 结束语

NFV技术将有效提升BRAS硬件扩展性差,资源使用率低下,新增功能困难等问题。BRAS作为城域网主

要的业务接入设备,其设备虚拟化将会大大促进城域网业务的快速开通,灵活部署,基础设施资源共享并降低运营成本。vBRAS将会促进城域网向网络智能化、运营智慧化方向发展。虽然近年来NFV技术发展十分迅速,但仍处于发展初期,城域网虚拟化方案的规模部署还需要进一步的细化和验证。

参考文献

- [1] 赵慧玲,谢云鹏,胡晓娟. 网络功能虚拟化标准及技术探讨[J]. 中兴通讯技术, 2015, 21(4): 45-50. DOI:10.3969/j.issn.1009-6868.2015.04.010
- [2] Broadband Forum. WT-345 Broadband Network Gateway and Network Function Virtualization [R]. USA: Broadband Forum, 2016
- [3] 李立奇,叶卫明,章淑敏. 核心网NFV云化试点方案研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2016, (5):13-17
- [4] ETSI. E. Network Functions Virtualisation (NFV): TSI GS NFV-TST 001 V1.1.1[S]. ETSI, 2016
- [5] ETSI. Network Functions Virtualisation (NFV): ETSI GS NFV 002 V1.2.1[S]. ETSI, 2014
- [6] ETSI. Network Functions Virtualisation (NFV): ETSI GS NFV-EVE 004 V1.1.1[S]. ETSI, 2016

←上接第35页

关系和取值正确性。

- 控制器功能和性能测试套件。模拟控制器或大量网元,对业务功能管理、拓扑管理、通知公告和性能管理等功能性能进行测试,并给出问题原因。

4 展望

SDN被视为下一代网络的核心技术已经广泛达成共识,不管是AT&T的Domain2.0,中国移动的NovoNet,还是中国联通的CUBE-NET2.0和中国电信的CTNet2025,不同运营商应用SDN主要的场景也基本一致。

中国移动一直以来作为新技术的引领者,积极探索和实践SDN架构和技术给网络带来的价值,同时也在实际应用中发现了一些问题,归结为一个词就是“跨界”。SDN把软件和网络结合在一起,给网络带来灵活性

和开放性的同时,也对网络固有的稳定性有所冲击,需要持续完善和优化。对于SDN引入来说,应该全局考虑业务系统对稳定性和灵活性的需求和平衡,具体问题具体分析。

跨界的SDN对网络行业的影响是深远的,从厂家、设备、产品,到网络设计人员、维护人员,再到公司的体制都面临着挑战。随着更多的SDN商用案例推出,这些挑战将更加显现,从业人员和公司除SDN技术本身之外,还应更多地考虑知识跨界和转型。

参考文献

- [1] 李正茂. 通信4.0:重新发明通信网[M]. 北京: 中信出版集团, 2016
- [2] 李晨,段晓东,陈炜,等. SDN和NFV的思考与实践[J]. 电信科学, 2014, (8): 23-27. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.08.004

作者简介



杨锋, 中国电信股份有限公司北京研究院IP与未来网络研究中心工程师;长期从事城域网架构设计、IP/MPLS等技术研究,现主要负责SDN/NFV等新技术研究工作;发表论文10余篇,获得专利授权2项。



解冲锋, 中国电信股份有限公司北京研究院IP与未来网络研究中心主任,教授级高级工程师;主要研究方向为互联网架构、IPv6、下一代互联网以及SDN/NFV等;负责多项国家级科研项目;曾获得通信学会科技进步一等奖1项;获得专利授权8项。



史凡, 中国电信股份有限公司北京研究院网络技术部IP与未来网络研究中心主任,高级工程师,同时担任MEF中国工作组主席、CCSA TC3 SVN研究组组长、SDN产业联盟集成与测试工作组副组长等职务;长期从事IP/MPLS/VPN技术研发,现主要负责SDN/NFV等新技术研究和网络架构设计。

作者简介



李晨, 中国移动通信有限公司研究院网络研究所SDN项目经理;主要从事IP网络、数据中心组网以及SDN和NFV方面的研究;负责中国标准化协会研究课题2项;牵头制订中国通信行业标准11篇,已发表论文10篇。



程伟强, 中国移动通信有限公司研究院网络所SPTN项目经理;主要从事城域网传送网、分组微波、SDN等技术的产品规划及标准的研究工作。



王金柱, 中国移动通信有限公司研究院网络所ODL项目经理;从事IMS、TCP、SDN等技术的研究与研发工作;发表SCI论文3篇。

中国联通 SDN 的思考和应用实例

SDN and Its Applications of China Unicom

程莹/CHENG Ying

(中国联合网络通信集团有限公司, 北京 100033)
(China United Network Communications Corporation Limited, Beijing 100033, China)

软件定义网络(SDN)的应用,已逐步从最初的数据中心网络扩展至通信网络的多个领域。控制与转发相分离的核心思想,一方面通过控制器处理能力的提升和北向接口的开放使得网络更加智能化,另一方面电信级转发能力要求迅速实现硬件的标准化,从而降低建设成本。

对于传统电信运营商而言,SDN 的部署和应用不应是简单替代传统网络的“革命式”转型,而应在传统网络基础上,逐步演进^[1-3]。对新建网络可采用基于 SDN 技术的解决方案,对传统网络则可通过 SDN 控制器及编排器与网管系统相结合,逐步实现对网络的统一控制。

以中国联通的实际部署为例,SDN 的引入需根据业务和网络发展的实际需求以及对应技术的成熟程度,在不同域的网络逐步引入,不可一蹴而就。

1 电信级 SDN 网络目标部署架构

1.1 主要目标

以中国联通为例,运营商引入

收稿时间: 2016-09-13
网络出版时间: 2016-11-04

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0040-04

摘要: 通过对电信级软件定义网络(SDN)网络的主要设计目标、目标部署架构,以及引入 SDN 场景的介绍,认为 SDN 的引入需考虑业务和网络发展的实际需求以及对应技术的成熟程度,在不同域的网络逐步进行。网络重构并不意味着完全摒弃传统网络,而是需要渐进式地继续坚持 IP 基础技术体系,推动网络向 IT 化转型。

关键词: 软件定义网络; 云计算; 目标部署架构; 数据中心

Abstract: In this paper, the design objective, target deployment architecture, and scenarios of soft defined network (SDN) are introduced. We propose that SDN should be gradually used in different domains, the actual needs of the business and network development, and the maturity of the corresponding technologies should all be considered. Network reconfiguration does not mean the disuse of the traditional network, but the progressive using of IP-based technology system. In this way, IT transformation of the network can be promoted.

Keywords: SDN; cloud computing; target deployment architecture; data center

SDN 的主要目标为实现网络的智能化和自动化,打造以软件为核心,面向客户、业务和服务的网络^[4],具体内容包括:

(1)通过标准化的接口,进行网络能力的抽象;通过操作系统化的控制平面,将网络能力开放;提供网络可编程能力,实现快速的业务创新、管理创新;通过业务应用程序(APP),实现用户自主业务的开通以及调整。

(2)通过集中的控制平面,以全局视野,进行快速集中的路径计算,实现全局资源、路径、流量的高效调度、配置和优化;快速进行业务的发放和动态调整,缩短用户业务需求的响应时间。

(3)通过集中的控制平面,标准化的转发设备,灵活适应业务和资源的动态调整需求,灵活满足各种组合

型业务需求及部署。

(4)减少设备上协议及控制功能,降低设备成本。提高设备的标准化、互通兼容性,实现网络与供应商解耦,降低网络建设成本。通过灵活快速的资源调度以及优化,提升全网资源的利用率,从而降低网络服务的成本。

1.2 目标部署架构

传统电信运营商通常基础网络覆盖范围大,以中国联通为例,现网是按照地市、省内骨干、省际骨干 3 个层次组网和分域管理的。随着云计算和数据中心的发展,业务网络将逐步向以数据中心为核心,实现 3 级数据中心分层分域组网。SDN 控制平面、管理平面、编排协同平面与之相对应,宜采用分层分域的方式部署到各级数据中心中,从而保证网络的

可扩展性、可靠性、安全性。

依据前述演进策略,SDN 的转发平面根据业务仍可保持现有网络的分层级设计,分为地市、省内/省际骨干 2~3 个层面,其中地市转发平面可根据网络节点的多少分为接入/汇聚/核心层。

传统运营商可能的 SDN 目标架构如图 1 所示。其中,分域、分层的 SDN 网络需要由不同的控制器来控制,并通过跨专业的编排协同层完成跨层编排和调度,这样的设计根据需要可能分为多级,从而实现端到端的服务。业务编排/协同器以面向客户和业务的管理控制为主,能够根据预定的业务模板,将用户录入的业务需求转化为针对不同域的控制命令,下发给各域控制器,实现相关业务的配置,从而能够实现多个不同域或不同专业、不同厂商之间控制器的协同。

运营支撑系统(OSS)内的工单、电子运维、客户管理等子系统需要与 SDN 的控制平面、编排协同平面和应用平面交互信息,这种信息交互应通过外部接口实现。

SDN 网络与传统网络相比,在专线业务提供等方面发生较大变化,如

将提供客户在线自助业务订购、自助带宽调整、临时带宽调整、带宽日历等实时新业务。需要业务支撑系统(BSS)在计费、出账、订购、确认、退订等方面进行改造,实现对业务开通实时性、业务需求实时变化、自助实时账单查询等功能的支持。

2 数据中心交换网络引入 SDN 场景

SDN 技术最早应用于数据中心内和数据中心间的网络中,目前用于数据中心交换网络的 SDN 交换机技术较为成熟。因此,运营商引入 SDN 网络也常常是从数据中心的相关场景开始。

以中国联通为例,数据中心的布局包括骨干基地数据中心、区域中心数据中心、边缘数据中心 3 层架构,骨干基地数据中心和区域中心数据中心规模都比较大,数据中心内建有独立的交换网络,这些数据中心内的交换网络可按照一个域进行 SDN 改造,如图 2 场景 1 所示^[5]。边缘数据中心一般利用城域机房建设,利用多个城域机房的空

间组建数据中心(DC)资源池,满足业务发展的需要。边缘数据中心池多个机房间通过二层 VXLAN 网络将多个数据中心内的交换网络连通,数据中心资源池的所有交换网络设备也可以按照一个网络域进行 SDN 改造,如图 2 所示。

2.1 场景 1:骨干和区域数据中心场景

骨干和区域中心数据中心一般可单域组网,每个数据中心内的交换网络按一个网络域组网,通过单域控制器进行控制。

2.2 场景 2:城域数据中心资源池场景

城域数据中心则可采用多机房虚拟数据中心的方式,即多个机房虚拟成一个数据中心。多个数据中心局点的交换网络作为一个完整的网络域,可以通过一个单域控制器进行控制。在南向接口尚不规范和开放的情况下,需要每个厂商配套建设单域控制器,通过多域控制器实现对整个数据中心资源池中的交换网络的控制;当南向接口已经规范并开放后,则可采用单域控制器实现对数据中心资源池的所有交换设备的统一控制。

在向 SDN 网络演进过程中,新建

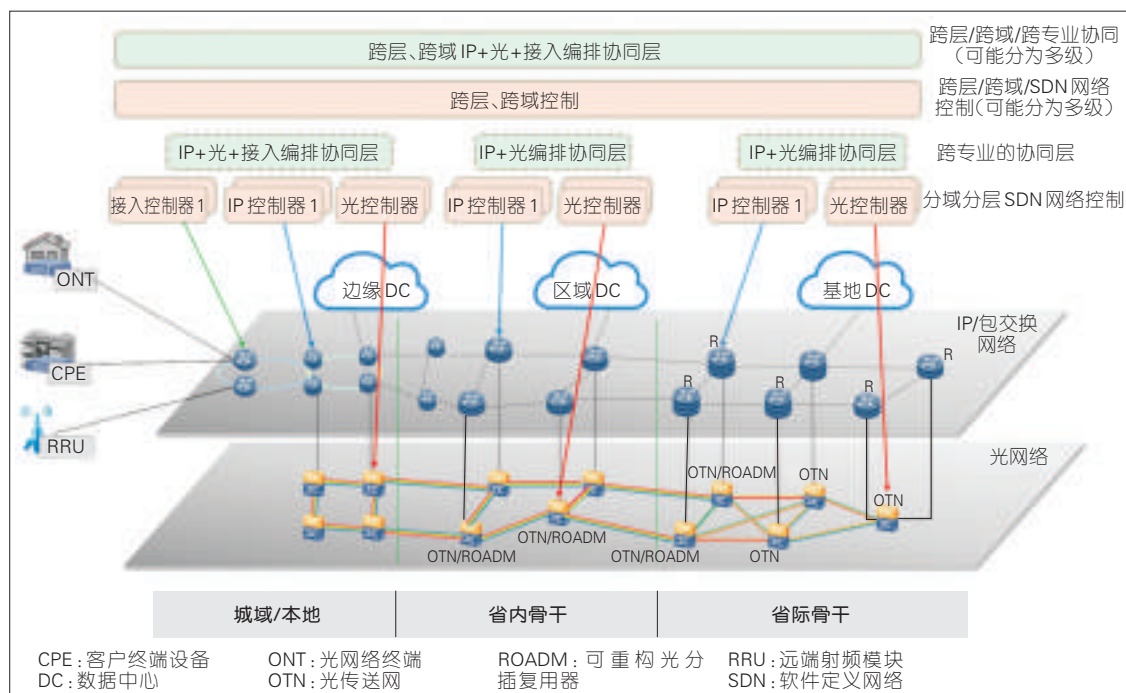
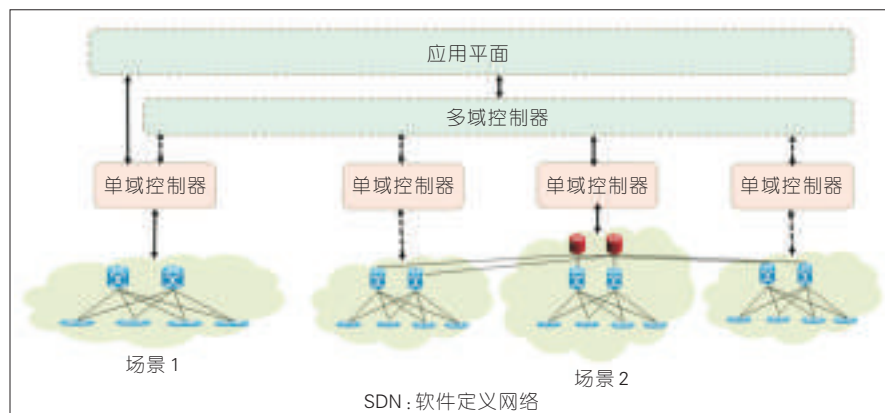


图 1
SDN 网络的目标部署
架构



▲图2 城域SDN数据中心网络架构

机房可直接采用支持SDN的交换设备。已有数据中心可以根据业务发展情况(机架出租型、云数据中心等)和需求,逐步采用SDN的设备进行替换升级。

3 本地综合承载传送网引入SDN场景

本地综合承载传送网(UTN)属于本地层面的网络,基于IP/多协议标签交换(MPLS)技术标准体系,并且支持MPLS-TP标准协议,对运营商网络具有普遍的适用性。中国联通自2012年起已在全国300多个本地网中大规模开展了UTN的建设,主要定位于承载2G、3G以及长期演进(LTE)等移动回传业务,核心汇聚层主要定位于边缘流量的汇聚和转发,接入层位于网络边缘,用于提供灵活的业务接入^[6]。

在UTN领域引入SDN,可促进运维简化,实现全网虚拟化,集中控制路由策略,便于跨层、跨域互通。UTN引入SDN宜以本地网为单位,是一个支持SDN功能的转发设备与现有UTN网络共同组网逐步演进的过程。其中,新增网元可以采用支持SDN相关规范和功能的产品,现有网元应通过对网元和网管系统的南、北向接口进行功能升级和扩展,将网络能力开放给单域控制器或多域控制器,实现SDN控制器对新老网元的统一控制。

UTN引入SDN技术的网络架构如图3所示。

3.1 实验性部署阶段

在初期实验性部署阶段,管理平面和单域控制器都在本地部署,通过多域控制器实现多域网络协同控制。这个阶段又分为2个过程:第1个过程是针对新型采用SDN技术的UTN设备组建试验网进行试验验证,控制器仅对新增的SDN-UTN设备实现控制,并通过迭代开发实现功能完善;第2个过程是进行现网UTN网络网管功能和设备功能的升级和扩展,

开发网管与控制器的接口,更好地实现控制器对现有网络和新建设备的统一控制。

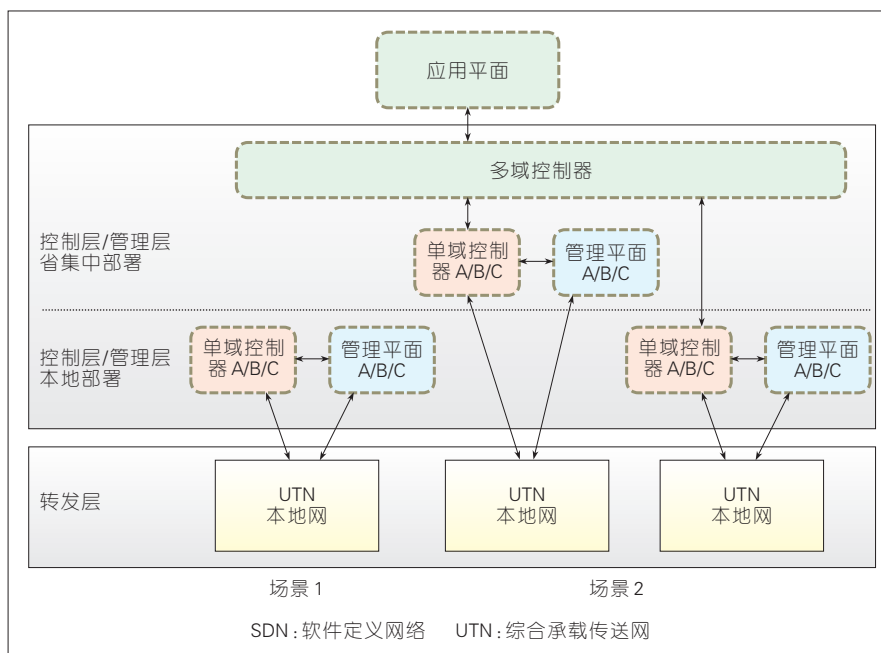
3.2 规模部署阶段

在规模部署阶段,单域控制器和网管可根据各省具体情况,按地市部署或按省集中部署,通过多域控制器实现对每个本地网的统一控制。

跨本地网的业务,需要经过IP承载网,这需要待IP承载网采用SDN技术升级后,由编排协同器实现对跨UTN、IP承载网的相关业务的统一协同控制。

4 结束语

在传统电信网络日渐式微的今天,全球主流运营商纷纷加入了IT化、软件化的转型。SDN/NFV等网络技术正逐渐成为构建新兴网络基础设施的主要技术选择,云计算、物联网等业务的逐步成熟也促进了电信网络重构。然而,网络重构并不意味着完全摒弃传统网络,长期以来传统架构的网络技术和运营模式势必保持相当长时期的惯性,渐进式地继续坚持IP基础技术体系的同时,推动网



▲图3 SDN-UTN网络架构

络向 IT 化转型是更为稳健的一种方式^[7-9]。

在变革转型的过程中,新的网络架构势必对运营商的传统管理模式以及运营策略产生较大的冲击,主要表现在:

(1)网络运营模式正在从以设备为中心向以软件为中心转型。随着控制和转发的分离,网络硬件资源正在逐步通用化,软件功能也在逐步定制化。软件功能从硬件中剥离后,采购模式将从纵向的软硬件一体的标准化网元采购,转变为横向的通用基础硬件、通用基础软件和定制化软件的独立采购。与此同时,与采购配套的售后技术服务也将随之改变,软件和硬件的维护和升级能够实现独立进行。

(2)在基础的标准框架基础上,快速迭代的需求必将使得开源生态越来越繁荣。新时期的标准化和开源将互相渗透影响,代码事实标准将逐渐成为新的业态,越来越多的大型应用系统将基于开源搭建。

(3)业务开发和运营向一体化(DevOps)方向转型。传统的电信业

务从需求到上线需要经过需求分析、标准定制、开发验证、测试采购、部署交付、维护优化等一系列繁复流程,且整个过程所需要的职能分散在运营商的不同部门,需要大量时间用于跨部门、厂商的协同。由于 SDN、NFV、云计算等基础技术为屏蔽硬件差异化提供了可能,业务上线和运营的小版本敏捷迭代需求将应运而生,开发和运营的环境将逐步能够融为一体。

基于上述分析,运营商在向新的网络架构和运营模式转型的过程中,从以 SDN 为代表的支撑技术中获取了控制承载分离、软硬件解耦等优势的角度分析,也势必需要为新的业务形态进行全盘配套考虑。

参考文献

- [1] 赵慧玲,史凡. SDN/NFV的发展与挑战[J].电信科学,2014,30(8):13-18. DOI:10.3969/j.issn.1000-0801.2014.08.002
- [2] 李晨,段晓东,陈炜,等.SDN和NFV的思考与实践[J].电信科学,2014,30(8):23-27. DOI:10.3969/j.issn.1000-0801.2014.08.004
- [3] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNAL, et al. OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008, 38(2):69-74

- [4] ITU-T. Framework of Software-Defined Networking: Recommendation ITU-T Y.3300 [S/OL]. (2014-06-12)[2016-09-12]. https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.3300-201406-1!!!PDF-E&type=items
- [5] 中国联通. 中国联通 SDN 技术体制规范[S]. 北京:中国联通, 2016
- [6] 曹畅,庞冉,张贺,等. SDN在中国联通本地综合承载网的应用研究[J]. 邮电设计技术,2015,(7): 59-63. DOI:10.16463/j.cnki.issn1007-3043.2015.08.013
- [7] 程伟强,李晨. 电信级 SDN 在运营商网络中的应用研究[J]. 电信技术,2016,(3): 52-55. DOI:10.3969/j.issn.1000-1247.2016.03.012
- [8] AT&T. AT&T Network on Demand [EB/OL]. (2016-01-08)[2016-09-22]. <http://about.att.com/innovation/showcase/networkondemand>
- [9] Domain 2.0 White Paper [EB/OL]. (2016-01-08) [2016-09-22]. https://www.att.com/Common/about_us/pdf/AT&T%20Domain%202.0%20Vision%20White%20Paper.pdf

作者简介



程莹,中国联通集团技术部标准管理处高级工程师,同时担任 ITU-T SG11 Q4 报告人和 ITU-T JCA-SDN 副主席;长期从事云计算及下一代互联网新技术预研和标准化工作,主要研究方向为云网络、SDN、NFV 等。

中兴通讯对 SDN/NFV 的思考与应用实践

Thoughts and Practices on SDN/NFV by ZTE

范成法/FAN Chengfa
袁道洲/YUAN Daozhou
古渊/GU Yuan

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

效率提升一直是技术革命的主旋律, 软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)是近期通过软件化、通用化提升效率的新兴手段, 在网络的各个方向经历过多角度尝试之后, 逐步在各领域生根发芽, 找到了自己的定位, 开始了面向实际的应用。

当通用的硬件能力足够强大, 可以满足大多数应用时, 软件化生产方式会带来更高的生产效率, 代表着更加先进的生产力, 这个就是 NFV 的方法; 当应用的需求继续飞速增长, 远远超出通用计算能力时, 专业优化的硬件需要继续发挥作用, 同时人们还希望其更加灵活, 如将控制面拿出来, 使其具备柔性扩展的能力, 这个就是 SDN 的方法。SDN 和 NFV 的有机结合可以构建面向未来的丰富多彩的网络。

基于 SDN 和 NFV 的核心技术, 中国电信 CTNet2025 给出了未来网络的新技术要求^[1], 中国移动直接牵头 Open-O 的开源研发^[2], AT&T 则提出

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0044-004

摘要: 认为将软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)有机结合, 能够在未来网络的建设中发挥重要作用。提出了对 SDN/NFV 技术的应用思考, 包括网络连接、虚拟化数据中心及建立在此基础上的业务等。同时, 结合中兴通讯的应用实践, 分析了相关平台和应用系统的构建方法, 并以校园云平台为例介绍了云化数据中心的應用。

关键词: SDN; NFV; 分析; 应用

Abstract: Combination of software defined network(SDN) and network function virtualization(NFV) is very important in building future network. The applications of SDN/NFV in some aspects, such as network connection, virtualized data center and SDN/NFV-based services are introduced in this paper. The relevant platforms and application approaches are analyzed from ZTE's perspective. Moreover, a campus cloud platform is introduced as an example of application for cloud data center.

Keywords: SDN; NFV; analysis; application

了网络设施向软件化转型的 Domain 2.0 倡议^[3]。

1 SDN/NFV 应用技术的实现与发展

未来 10 年, 由于 4K 以上视频、虚拟现实、5G 等应用的推动, 网络带宽增长的需求非常旺盛, IP 网络和光网络仍然要不断提升网络带宽能力, 这种发展速度超出了通用处理器的处理能力, 在网络汇聚层和核心层需要专用的转发设备来支撑。同时, 为了解决方案总体柔性的要求, 优化的专业设备应更具灵活性, 接受 SDN 控制器的管控。另外, 考虑到与现有网络的对接, 以及 SDN 控制器失效情况下的保护, 需要采取平滑演进的策略, 在传统技术基础上, 逐步加载 SDN 集中控制平面, 实现网络控制的集中化和软件化, 从而使网络能力向上层应

用开放。在这个过程中, 对 IP 层的控制和对光层的控制可采用类似的技术, 实现 IP 层和光层的协同, 创造更多的实用价值。

IP 和光层广域大网提供了一个连接的基础, 而连接只有与业务节点结合在一起, 才能形成完整可销售的解决方案。当前, 业务节点已逐渐标准化, 就是数据中心(DC)。DC 的基础元素是大量的通用处理器、存储和安全单元, 这些基础元素通过大容量交换机扁平化地连接起来, 形成一个整体资源。这个资源可用来支持各类云业务、信息技术(IT)业务, 也可以用来支持电信层面的各类业务。为了在统一、通用的环境下有效地支撑各类业务, 需要对资源进行虚拟化, 划分出无数个计算、存储、网络和安全的小系统, 每个小系统可以支撑独立的业务。多个小系统上支撑的

收稿时间: 2016-09-15
网络出版时间: 2016-10-31

业务结合起来,就形成了丰富多彩的业务支持集合。在这样的一个数据中心中,SDN 控制器再次发挥作用,集中实现对所有网络节点的转发控制,使计算、存储、安全资源被有效地串接起来。同时将一个物理的网络虚拟成多个逻辑小网络,经过这样的虚拟化处理,DC 内形成许多可调配伸缩的资源池。这些资源池可直接租给客户使用,提供基础服务;也可以在上面运行各类 IT 应用,提供 IT 增值服务;还可作为网络功能虚拟化基础设施(NFVI),给 NFV 的各类电信服务提供支撑;同时,如果构建了 NFV 和 IT 应用的基本组件,则可以提供平台给第三方进行开发,进一步提升使用率和增值能力,其可想象的空间是十分巨大的。

通过上述 SDN 化大网和虚拟化 DC 可以构建面向未来的信息通信技术(ICT)一体化应用基础设施,其衍生出的业务系统将是一个非常庞大的生态系统。基于这种新技术,基础网络领域原来比较难做的业务能得到较好的解决,比如政企客户服务方面,可以在原来专线业务基础上,增加更灵活的带宽调整能力,增加各类 IT 和通信技术(CT)应用套餐选项,改善企业客户应用感受。

基于 SDN 和 NFV 在大网、DC 和业务应用上起到的重要作用,中兴通讯开展了持续的实践。实践的基础是多层次构建平台。首先,未来仍需长期提供强大带宽的刚性网元,包括路由器、DC 交换机、光传送网(OTN)及分组传送网(PTN)设备等,在进行带宽提升改造,保证带宽能力领先的同时,全面进行 SDN 化改造,使其可以接受 SDN 控制器的有效控制;第二,与 OpenDaylight、OpenStack 等开源组织深度合作,以开源平台为基础构建 ZENIC 广域网、DC 控制器体系,以及 TECS 云平台体系;第三,以电信和政企行业多年的积累为基础,构建 ICT 平台即服务(PaaS)NFV 组件平台,并在其基础上构建多类 NFV 系

统;第四,遵循 ETSI 框架,参与 Open-O 建设,构建 ICT 软件即服务(SaaS)业务管理平台。

以这些平台为基础,回到实际需求层面,构建各个层次的应用系统。首先,大网是运营商最宝贵的资源之一,大网的 SDN 化是重要的一环。大网由于其涉及地域广泛、厂家众多、新老交错,多运营商对接和进度不一致,SDN 化改造的难度最大,方法也不能过于激进。从实施可能性的角度看还是需要采取演进的策略,在保持原有设备能力的基础上,增加 SDN 的能力,在局部或者一个新建的网络中先实施 SDN 化,然后逐步扩大范围,最终实现全网的 SDN 化。目前我们在骨干、城域和移动回传多个层次以 IP 和光传送两个维度都进行了 SDN 化的尝试,取得了许多一手的经验。从实际的发展动力上看,随着 DC 的广泛部署,特别是众多边缘 DC 的部署,DC 之间通过 SDN 化的网络进行互联是非常有必要的。DC 之间的互联(DCI)具有一定的封闭性,流量有时段突发性,并且有局部快速增长的特点,非常适合一个基于 SDN 的大网来支撑。组成这个大网的元素仍然是路由器和 OTN 设备,路由器在保留原有的域内和域间协议的基础上,增加了与 SDN 控制器之间收集拓扑状态和计算路径执行等的扩展接口,并增加了流量状态采集接口,这样控制器基于这些全局信息就可以实现 DC 之间的最佳连接,并在流量需求和状态发生较大变化后进行有效的调度。如果这个 DCI 网络底层有 OTN 的支撑,则可以在路由器网络和光网络层面同时部署控制器,实现两者之间的协同,从而提升承载效率,带来更加稳定、可靠的收益。比如,路由层面的带宽调整常常牵涉到不相关路径的全局调整,有可能造成路由的调整期动荡。基于 IP 和光的协同,可以通过光层来调整 IP 接口的带宽能力,满足实际流量增长的需要。在此情况下,光层先给 IP 层提供

基本的带宽,当某个 IP 接口需要追加时,光层将预留的带宽追加给 IP 层,保证 IP 层得到增加,无需调整不相关路由,避免调整期动荡。同时,光层的调整可以是渐进式的,无需进行全局调整。

通过 ZENIC 系列广域网控制器及上层应用(APP),中兴通讯在广域网的各个位置,包括骨干、城域和接入都进行了相关的试点,实现了基于单槽位 400G 路由器和路径计算单元(PCE)统一计算的 DCI 骨干网和城域网解决方案,并开展了 IP 和光协同的尝试,这些解决方案已开始逐步服务于现网。

如果说大网是连接的基础,那么 DC 就是业务的基础,也是电信级网元 NFV 化的实现基础。经过几年的发展和探索,行业的认识逐步清晰。针对低带宽要求的 IT 应用,需要建设大型 DC,数目不用很多,走集约化的道路;针对高带宽低时延的 CT 应用,DC 位置不宜过高,这时候需要建设大量的边缘 DC,支撑电信需求的同时,也需要关注一些本地化的 IT 应用;还有一些应用,如客户云上多业务分类和加速,放在边缘 DC 也不合适,需要放到客户出口位置,这时候就需要在设备级实现虚拟化。

在技术实现上,集中的、IT 化要求的虚拟化数据中心(VDC)是基础。边缘 DC 的基础实际上是 NFVI,本质上是一个 VDC,针对电信级的需求进行各类功能扩充,就形成了中心机房(CO)重构的概念,分布式虚拟化则是一个简化的实现。

对于一个 VDC 体系来说,大量的通用服务器,存储被扁平化的 DC 交换机连成一体,外加安全设备和对大网的网关设备,最后各网络节点被 VDC 控制器在逻辑上统一管理起来。然后所有这些资源被 OpenStack 云平台统一分配,形成一个业务整体,对外提供计算、存储、网络综合服务。当把这些技术应用于 CT 边缘 DC 的时候,所有的技术能力得以保

留,但是要针对 CT 业务做一些相应的提升。

第一个提升就是要提供一个网关把广大的接入网、城域网和数据中心连接起来,这个网关的原型是宽带接入服务器/业务路由器(BRAS/SR)的合一体多业务边缘路由器(MSE)。如今,在新的技术要求下,这个网关的路由器功能需要保留以便连接核心路由器(CR),而 BRAS 的功能要进行虚拟化,保留转发面来终结客户拨号,同时需要新增连接数据中心的功能,提供业务链的起点。这个网关的超强转发能力是未来 4K 大视频等性能得到保证的基础,是 CO 重构图景下非常重要的一个网元。

第二个提升是设法保证 DC 内的网元性能,在保证通用性的前提下有更好的能耗比。在功能虚拟化完成之后,各类加速方法将会在 CT 要求的 DC 中出现和标准化。

中兴通讯是 VDC 早期主要的实践厂商之一,已经基于整套技术开通了商用局。目前,中兴通讯已开始了基于 VDC 技术的 CO 重构工作的试点,积极倡导并率先采用 C-U 分离加软硬分离技术,开创了 CO 重构的全新思路。同时,中兴通讯也积极探索分布式虚拟化技术,并将以上相关技术结合起来,更好地满足业务需求。

大网和 DC 都是基础,最终的价值要通过业务来展现。基于 CO 重构建设的 NFVI 可以开展各类电信级业务。基于 NFV 的业务组件平台 ICT PaaS 和服务组件平台 ICT SaaS 提供了庞大的 NFV 能力。

回到网络本身可提供的业务来看,目前针对政企客户的随选网络是一个重要的业务。随选网络是在原有大客户专线的基礎上,通过 SDN 和 NFV 技术实现提升和扩展的一种新型业务。原有的专线局限于同类网络,开通牵涉部门多,带宽调整也不灵活。通过 SDN Overlay 技术,可以实现跨异类网络的专线,按时间段提供按需带宽服务(BOD),实现更快速的

自助开通,使专线提供能力得到较大提升;同时通过 NFV 技术和 IT 能力集成技术,可以给客户提供应用层面的一站式套餐服务,或者进一步的增值服务。在云化越来越重要的未来,这些应用层面的服务并非可有可无。比如,当企业更多的业务迁到云上,从客户到云之间的连接本身将成为影响应用体验的瓶颈。如果不对多个应用和用户进行有效的分类疏导和加速,即使这条专线的带宽相对较大,应用体验也会随着业务间竞争而迅速恶化。此时在客户出口部署分类、疏导和加速应用,将会使用户感觉带宽像是提升了许多倍。

从发展进程来看,连接随选将可快速部署,应用随选的优势也将会被逐步认识到,最终会形成连接随选加应用随选综合部署的模式,这将是 SDN 和 NFV 紧密结合的一个非常生动的案例。中兴通讯采用多年积累的 SDN 和 NFV 技术,积极推动完整的随选网络方案的实现和落地,并坚信这个方案将会切切实实提升用户的工作效率和体验。

SDN 和 NFV 作为新技术,正成为 ICT 融合趋势下的一种基本方法和能力。中兴通讯在网络的 SDN 化、VDC 和 CO 重构建设,以及相关新业务中,坚持以提升效率为目标,在注重网元的硬转发能力提升的基础上,全方位采用 SDN 和 NFV 技术,使网络刚柔相济,为客户提供面向未来的优质网络服务。

2 基于 SDN/NFV 的云化数据中心案例

某大学数据中心 IT 资源部署方式是按照每个应用进行物理的划分,主要业务包含校园网运维系统、一卡通系统、办公自动化(OA)系统、视频会议系统、校园网考试系统、选课系统等。这种按应用独立部署专用设施的方式存在以下问题:

- (1)资源利用率低;
- (2)运维成本高;

- (3)业务部署缓慢;
- (4)管理策略分散。

为解决这些问题,支撑智慧校园建设,提出了统一校园云平台的建设需求。如图 1 所示,校园云平台由中兴通讯建设,计算虚拟化底层采用 KVM 平台,网络虚拟化采用 SDN 方案并实现 NFV,云管理平台为基于 OpenStack 架构的中兴 iROS 系统。

关于校园云平台方案的具体说明如下:

(1)组网采用 SDN 方案,SDN 控制器集中进行网络控制;

(2)用户网络为基于虚拟可扩展局域网(VXLAN)的重叠网络;

(3)M6000 路由器做 VXLAN 网关,实现虚拟路由器(vROUTER)和网络地址转换(NAT)功能;虚拟通道终端(VTEP)由运行在计算服务器上的 ZXDV S 虚拟交换机实现;

(4)NFV 方案采用软硬件结合的方式,虚拟负载均衡器(vLB)采用 A10 硬件负载均衡设备实现,虚拟防火墙(vFW)则采用山石软件防火墙实现;

(5)通过引入集中的云运营管理平台 iROS,形成统一资源管理、统一生产调度的方式,实现“一点受理,全网服务”的 VDC 资源集约化服务。

该方案具有以下所述的优势。

(1)开放架构

基于 OpenStack 开放架构,方便集成业界领先的软硬件 NFV 产品,可以为客户提供丰富的 NFV 能力,避免封闭系统带来的各种技术和成本问题。

(2)智能高效

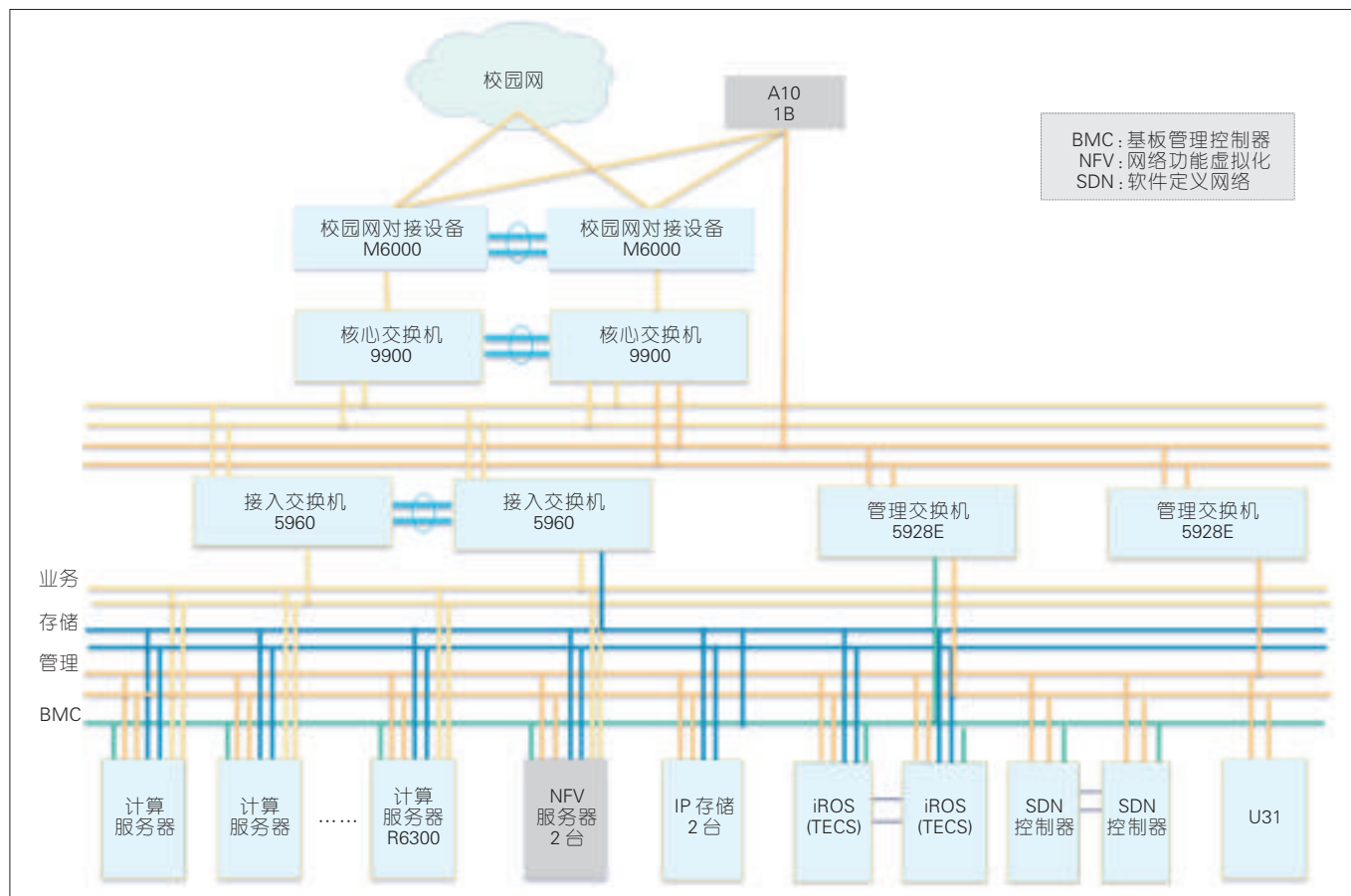
- 采用分布式路由方案,减少租户内部路由迂回,提升网络效率;

- vFW 采用透明方案,由 SDN 控制器实现自动引流,避免手工路由配置,避免对组网的干扰。

(3)安全可靠

NFV 基于 x86 架构,运行在中兴云平台虚拟机(VM)上,中兴云平台提供高可靠性、高性能保障:

- 通过虚机高可用性(HA)、虚



▲ 图1 校园云平台组成

机热迁移等技术保障 NFV 节点的高可靠性;

- 通过非统一内存访问 (NUMA)、内存巨叶、虚拟中央处理器 (vCPU) 绑定物理核、DPDK、SR-IOV 等的优化来实现硬件级别的性能保障。

(4) 按需使用

- 系统提供地址重叠和 NAT 功能, 租户可以自定义用户网络, 并可按需申请使用公网 IP;

- 租户可按需申请 vFW、vLB, 并根据业务规模可调整 vFW、vLB 规格, 实现资源按需申请、按需使用。

(5) 统一管理

在 iROS 云管理平台实现对 vLB/vFW 等 NFV 网元的集中管理和配置。

(6) 灵活编排

基于 SDN 控制器的集成策略控制, 实现以租户为单位的安全业务链

自主编排。

3 结束语

SDN 和 NFV 作为新技术, 只有与实际应用需求相结合, 才能获得长足发展。当前, 在 IT 云和 CT 云基础设施、大网演进改造、新型政企业务等领域, SDN 和 NFV 技术已经找到了切入点。围绕未来网络的各种新要求, 中兴通讯在努力提升原有网络带宽能力的基础上, 积极利用 SDN 和 NFV 技术, 建立平台, 推进应用, 不断进行相关领域的探索和实践, 以期对 ICT 融合技术和应用的发展做出应有的贡献。

参考文献

- [1] 中国电信 CTNet-2025 网络架构白皮书[R]. 北京: 中国电信, 2016
- [2] 中国移动 Open-O 技术架构研讨稿[R]. 北京: 中国移动, 2016
- [3] AT&T Domain 2.0 Vision White Paper[R]. USA: AT&T, 2013

作者简介



范成法, 中兴通讯承载网产品线规划总工; 主要从事数据通信领域研发、规划等相关工作。



袁道洲, 中兴通讯 VDC 产品规划系统工程师; 主要从事核心网、云计算等领域规划和系统集成工作。



古渊, 中兴通讯承载网标准总工、标准战略委员会成员; 主要从事承载网领域研发、标准战略规划及实施推进等工作。

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和以 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 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 [C]// 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 [C]// 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。

对发展下一代网络的思考

Development of the Next Generation Network

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0052-004

摘要: 认为下一代网络转型是由业务需求和技术发展两方面共同驱动的, 软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)是下一代网络技术的基础。介绍了SDN和NFV的技术实质、发展现状及其所面临的重要挑战。此外, 还对下一代网络发展进程中遇到的关键问题进行了分析探讨, 指出5G网络发展与下一代网络相结合具有重要的意义。

关键词: SDN; NFV; 下一代网络; 5G

Abstract: Next generation network transformation is driven by technology development and business requirement. Software defined network(SDN) and network function virtualization(NFV) are the basis for the next generation network. The essence, development, and the major challenges of SDN and NFV are proposed in this paper. Moreover, we discuss the key problems in the development of next generation network, and point out that the combination of 5G network and the next generation network would be significant.

Key words: SDN; NFV; next generation network; 5G

段晓东/DUAN Xiaodong

(中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053)
(China Mobile Research Institution,
Beijing 100053, China)

- SDN/NFV 是发展未来网络的起点, 但并不是终点
- 下一代网络是 CT 和 IT 深度融合的产业, 将催生一次巨大的产业变革
- 发展 SDN 和 NFV 为核心的下一代网络需要创新思维和多方位变革

1 向下一代网络转型的必然

近年来, 以软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)为代表的未来网络技术和以5G为代表的未来移动技术逐渐成为网络发展中的热点。尤其是SDN, “软件定义一切”成为热门话题, 展现了现有网络向下一代网络发展演进的美好前景。

技术的进步推动着网络的发展演进, 但是现有网络根深蒂固的问题和快速发展的新需求之间的矛盾也是推进下一代网络发展的根本因素之一。下一代网络转型必定是在业务需求与技术的双驱动中发展。

首先, 从业务需求驱动角度来

看, 运营商面临的需求非常多, 但是归根结底是如下两个方面。

(1) 运营商已经全面迈入“流量经营”时代, 超大流量对网络的挑战逐渐加剧。

流量经营已经获得了广泛讨论, 随着移动互联网的发展, 我们真正进入了流量经营的时代。以中国移动为例, 2015年中国移动数据业务收入规模首次超过语音, 占通信服务收入比达52%, 随着4G的快速发展和用户的普及, 2016年上半年更是超过60%的比例。其实这也是大多数发达国家运营商走过的必经之路, 早在2011年日本的三大运营商数据业务收入占比即全线超过50%, 2013年美国的三大运营商数据业务收入占比也已全线超过50%^[1]。

今天的流量增长还只是第一步,

流量的挑战才刚刚开始。最近热门的4K、超4K、8K等多媒体技术将进一步激发流量的爆发式增长, 而增强现实技术(AR)、虚拟现实技术(VR)的发展会将流量激增推向新高潮。很多人都在预测流量趋势, 各种各样的流量发展预测我想都不为过。过去的发展也充分证明了这一点, 流量发展会释放不可限量的潜力。流量的规模将更加刺激运营商宽带化的发展要求, 但其背后对网络的挑战也是巨大的。

(2) 万物互联为运营商带来历史新机遇, 也给网络提出了全新要求。

万物互联是在人与人通信、互联基础上的扩展, 是实现“互联网+”和“工业互联网”的重要基础。万物互联一方面带来了巨大的连接规模, 预计连接突破百亿, 将在多个行业创造

收稿时间: 2016-09-15
网络出版时间: 2016-11-02

超过 10 万亿美元的新增市场规模;另一方面也带来了更大的连接广度和深度,提供面向无线、有线全连接的接入广度,为运营商带来拓展连接规模和连接范围的机会,同时也对网络提出了高密度、低时延、广覆盖等个性化的要求。

万物互联给我们的发展带来了更多的历史机遇,但是网络如何适应万物互联,能不能承担工业互联网、“互联网+”的发展重任,成为下一代网络发展的一个巨大挑战。面对巨大的需求挑战,我们要看到当前网络自身组织方式存在很多不足,难以支撑未来流量的超高速发展,更难以支撑未来万物互联的新需求,甚至可能影响我们的生存发展。长期看来,现有网络模式难以为继,下一代网络转型成为必然。

一方面,网络流量呈指数级增长,现有网络层架架构、调度能力、机房供电均无法适应未来发展需求。其中典型问题包括:现有网络多是按照地域组织的多级复杂的汇接网络,投资成本(CAPEX)较大;网络调度能力有限,网络利用率偏低,在超大流量重载情况下,IP 网缺乏灵活、敏捷的调度手段,一般要靠轻载部署来解决;设备承载大量穿通流量,导致机房供电不足,传统设备功耗过大等。

另一方面,互联网、多媒体等新业务层出不穷,专用设备无法满足快速更新换代和数字化服务要求。主要体现在:多为软硬件一体化的专用设备,更新换代周期长;新业务、新功能不断快速涌现,专用设备开发周期长,升级改造复杂,无法适应数字化服务需求;缺乏快速上线和灵活部署的能力等。

现有网络在架构设计、调度设计、设备设计等多个方面都存在着问题,未来要承担超大流量和万物互联时代的重任,网络必须进行变革。需求驱动的同时,技术给了我们很好的解决这些问题的手段。经常有人说为什么业界突然都喜欢 SDN/NFV 了,

这一定是双驱动的,通过技术和业务需求双驱动来推进网络变革。

2 对 SDN/NFV 技术发展的思考

2.1 SDN 和 NFV 是下一代网络的基础和起点但不是终点

网络转型是不断借鉴、引入创新技术的过程。SDN/NFV 是下一代网络的基础性技术,也是发展未来网络的基础和起点。但要强调的是 SDN/NFV 并不是下一代网络发展的终点,目前电信软件开源、白牌硬件、网络分片、5G 网络架构等新的技术方向已经初露端倪。

SDN 和 NFV 这两个技术经常被混为一谈,也都有越来越被泛化的趋势。其实从本质或者说经典的概念来看,SDN 和 NFV 是不同的东西。SDN 负责的是网络连接的调度,NFV 负责的是网络功能的实现。从国际上看,SDN 和 NFV 的产生和推动力量也是不同的,其诞生和发展的国际组织也是不一样的。网络由网元功能和网络连接共同组成,这两者缺一不可,都是网络重要的组成部分,所以 NFV 实现的软件化网络功能和 SDN 实现的灵活调度的网络连接一定是互相依存,互相补充的,共同构成了下一代网络的基础。

NFV 的实质是电信界主动学习信息技术(IT)、主动变革的方向。最早由 AT&T、中国移动、BT、Telefonica 等 13 家主流运营商于 2012 年在欧洲电信标准协会(ETSI)发起。NFV 的实质是采用虚拟化技术,基于通用硬件实现电信功能软件化。NFV 最关键的两个部件是增强的虚拟化层和新增的管理编排系统(MANO)^[1]。

SDN 2006 年诞生于斯坦福大学 Clean Slate 课题,是 IP 网络基础架构的创新。SDN 率先被 Google 成功应用,之后在数据中心(DC)规模化应用。SDN 的实质是控制和转发分离,通过智能计算,实现对路由的控制。

SDN 最关键的部件是网络中新增的控制器。

2.2 SDN 和 NFV 是标准与开源密切结合的发展历程

SDN 和 NFV 技术发展历程非常关键的一点,也是和过去的网络不太一样的地方,就是标准与开源的密切结合。

SDN 和 NFV 均打开了原有网络中的封闭体系,实现了解耦和开放。软硬件的解耦,功能软件化成为趋势,也带来了原有封闭产业的开放和 IT、通信技术(CT)产业的互相渗透。网元通信接口变成了应用程序界面(API)调用的软件接口,软件互操作成为主要内容。越来越需要依赖事实标准投入来增强互通性,越来越需要重视开源发展和软件开发、集成、认证的能力,提升软件层面的互操作能力。

SDN 相关的开源社区非常活跃,极大的加速了 SDN 的落地。除了开放网络基金会(ONF)这个 SDN 主要的产业组织外,开源组织还包括 SDN 开放控制器(ODL)、开放网络操作系统(ONOS)、转发层开放虚拟交换(OVS)、云内操作系统 OpenStack 等。其中,ODL 和 ONOS 是控制器最主要的开源组织,OpenStack 是北向接口模块的开源组织,OVS 是转发模块的开源组织。

为了推动 NFV 产业发展,运营商和厂商除了大力开展 NFV 在传统组织的标准化工作,也积极借鉴 IT 产业的经验,依靠开源组织加速 NFV 的实现。NFV 产业发展涉及到的标准化组织主要是 ETSI 等,开源组织主要包括开放网络功能虚拟化(OPNFV)、OpenStack、ODL、ONOS 等。其中,ETSI NFV ISG 是 NFV 的创始组织和架构制定者,OPNFV 等都是不同模块的开源组织。

随着编排器成为网络中 SDN 和 NFV 的“大脑”,具有越来越重要的地位,国际上最近成立了全开放编排器

(OPEN-O)的开源组织,这个组织由Linux基金会、中国移动等公司共同发起,中国力量在开源领域具备了较强的影响力。

SDN和NFV相关开源项目非常活跃,逐渐形成了产业事实,对标准进行了有力的补充,加快了SDN和NFV的成熟。

2.3 SDN和NFV走过拐点,进入商用的关键时期

SDN为网络流量调度和网络资源利用率提升带来了增益,可以应用于DC、广域网、传送网和移动核心网等领域。典型的有:

(1)DC引入SDN,支撑虚拟私有云(VPC)等业务;

(2)DC之间引入SDN,实现跨越DC流量管理和调度;

(3)广域网引入SDN,实施智能调度流量;

(4)传送网引入SDN,满足自动开通和调度需求;

(5)SDN应用于移动网络,实现灵活的业务链等。

相对来说,SDN更加成熟一些,经过几年来产业界不断研讨、开发和试点,SDN的成熟度有了飞快发展,并已经大量开始商用部署。从运营者商用案例和方案、芯片、标准化、开源等方面看,SDN当前最重要的产业链特征是不同的场景成熟度有较大差异,部分场景已经商用,尤其是在DC场景已经进入成熟期和现网规模部署期。

NFV除了颠覆了通信网络的设备实现方式,更进一步改变了网络的架构。从网络的边缘接入到网络核心,从固定网络到移动网络,网络功能的实现都有可能受到NFV影响。目前典型的场景是:

(1)核心网的NFV化,实现大容量灵活的核心网络功能;

(2)移动接入网络的NFV化,构建云化无线接入网(C-RAN)等新型接入网络;

(3)固定接入网络的NFV化,推进固定网络的架构创新和业务灵活开展;

(4)DC和企业网络的NFV应用,实现用户功能的按需定制。

自2012年NFV的概念首次提出以来,NFV逐渐从一个抽象的概念变为现实,并有了广泛的试点和一定的部署。目前,全球多家运营商已展开了NFV相关的部署、测试和试点工作,从中积累了丰富的经验和珍贵的经验。关于NFV的商用部署方案也不断产生,2015年更被业界认为是NFV启动商用的元年^[1]。整体上,从全球运营商看来,几乎所有运营商均认可NFV/SDN是未来网络发展的方向,多数运营商已推出了较清晰的战略、布局、目标,但实际操作中各公司的转型力度存在差异,挑战还很大。

3 SDN和NFV发展中的关键问题

3.1 SDN和NFV自身仍面临很多技术挑战

随着应用的推进,SDN和NFV也暴露出了大量问题,需要进一步加大创新和研究的力度,以解决如下所述的典型问题。

(1)多域协同控制的架构选择问题。SDN诞生于单一的中小型的网络环境,当它应用到大规模网络中,尤其是电信网络多域多层次环境中的时候,就存在如何跨域协同的问题。引入东西向的接口可实现多个控制器之间的通信,构架多层次的控制器环境也能实现跨域协同,因此,选择单层还是多层控制成为了一个重大问题。

(2)产品不开放,反而更封闭的问题。例如对于SDN,当前的解决方案不是走向一个更加开发化的环境,而且存在单一厂商绑定问题。当前的控制器、网关、防火墙、负载均衡等都是单厂家捆绑,大量接口存在私有扩展难以打开的问题。

(3)如何实现协同保证可靠性的问题。电信级可靠性要求较高,虚拟化三层解耦后各层可靠性如何保证,各层是否需要以及如何协同,在业务层、NFV平台层和硬件要做一些综合的考虑,取得一个最佳的平衡。

(4)IT硬件如何支撑虚拟化网元的高性能问题。数据面业务的需求(编解码、加解密等)的转发性能如何实现与传统设备相当的性能。目前各种硬件辅助加速方案易造成VNF软件与底层硬件平台的绑定,或者硬件的独特性。需要定义软硬件加速技术通用架构,统一API,实现数据面VNF与底层硬件平台的解耦。

(5)MANO与现有网管系统的关系问题等。这些都是在商用过程中引发的需要克服的问题。SDN和NFV的架构设计,技术研发,标准和开源工作还没有结束,留下了很多创新空白,值得大力投入并在其中占有一席之地。

3.2 发展SDN和NFV需要创新思维和多方位变革

在引入SDN和NFV之前,CT产业生态相对封闭,与IT产业交叠较少。下一代网络必将是CT和IT深度融合的产业,将催生一个全新的产业生态,这将是一次巨大的产业变革。各参与方将尽己所能在产业重构过程中,争得有利位置。此次产业生态的变化需要各方以开放的心态合作共赢。

CT生态和IT生态的融合和紧密互动,这对原有通信产业来说,既是一次机遇又是一次重大挑战,发展下一代网络呼唤全新思维^[2]。

(1)重视面世的产业重构,颠覆与被颠覆并存。

下一代网络是IT和CT融合的大时代。这个时代下,打破旧的产业秩序,建立新的产业秩序在所难免。可以预见未来将出现大洗牌和新的竞争格局,必须加以高度重视。

从设备制造商角度来看,受冲击

最大的是传统设备制造商。原本软硬件一体化设备的售卖模式被打破。传统设备制造商除了在网元功能软件上具有非常强的技术壁垒外,在通用硬件和虚拟层软件方面将面临来自IT领域新玩家的强大竞争。从运营商角度来看,因为传统上缺乏软件基因,引入IT技术后如何更好地运营面临人才、文化、机制等多方面的挑战。

(2)重视核心能力的塑造,关键是软件能力的全面提升。

下一代网络是软件化的时代,这对操作系统、虚拟化平台的自主掌控提出新的要求。要倒逼改革,借助发展契机改变我们在软件上较为落后的局面。相对于硬件为主的系统,软件系统涉及更加开放和复杂的生态链。其中开源模式是IT软件运作的一个重要基础,需要从战略高度上支持开源,促进大型企业、高校和研发机构向开源方向上加大投入,帮助中国具备更强的“软”实力。

(3)重视新的文化变迁,关键是打破旧思维。

树立全局思维来推动下一代网络的发展。打破过去“各司其职,各管一段”的老思想,从全局性、整体性、长远性的目标出发思考问题。

树立研发运营一体化(DevOps)的思维推进下一代网络的发展。下一代网络呼唤DevOps来加速运营商业务的提供和网络的部署。DevOps转变背后更重要的是企业文化和人的转变。

全局思维、DevOps思维等不是靠一句简单的口号就可以形成,思维转变依赖于员工能力和素质的再造,需要企业文化的保驾护航,这是企业在下一代网络时代能否真正成功的决定性因素。

4 下一代网络与5G

下一代网络处于发展的关键时期,同时,未来5G网络架构的创新也已经迫在眉睫。移动通信每一代技

术从研究、标准化、产业化,到继续演进,约10年的时间形成一个周期。我们正处在一个关键的窗口期——定义2020年及以后的5G网络。

当前移动网络的物理设备及组网方式,在连接数量支持、吞吐量、时延等方面存在一个甚至两个数量级的差距。仅靠优化部署无法满足5G的应用场景及指标要求,引入新技术成为必然。5G网络的平台和功能同样重要,5G的发展也呼唤着SDN和NFV的深入支撑,成为一体^[4]。

4.1 5G网络架构设计的总体思路

结合5G总体设计目标,初步提出5G网络架构设计的总体思路:

(1)从刚性到软性。从固定网元、固定连接、固定部署到动态配置、灵活连接;网络资源虚拟化。

(2)更彻底的IP化、互联网化。网络去隧道,破壁垒,实现与IP网络互通融合;引入IT/互联网技术,优化网络设计。实现无承载、无连接、无隧道。

(3)集中化智能和分布化处理。集中化智能-垂直行业提供按需个性化服务;分布化处理-网关下沉,边缘计算,提高网络吞吐量,降低时延。

4.2 5G网络方案挑战巨大

虽然业界对5G的定义仍在如火如荼的讨论中,但5G网络的雏形及其标志性的技术已经越来越清晰。从网络侧来看,网络切片、新协议、模块化、新互联、无状态将成为5G网络的标志性技术。

典型的架构变化方向有:5G核心网和4G核心网可能是一种松耦合的设计;控制面通过融合与模块化实现重构;新的网络功能定义方式引发新的连接模型;新的无状态的设计,更有利于网络功能的动态部署、负载迁移等。

技术的演进从来都不是一件容易的事情,对5G网络来说更是如此。5G设计阶段,其内部标准的碎

片化同样挑战着移动通信领域“统一标准”的愿景。平台技术与网络功能技术如何协同设计,控制机制是否引入SDN式的集中控制都存在争议和挑战。此外,在5G网络架构设计中,需要具备SDN/NFV和5G网络两个领域的知识,新的设计可能颠覆传统的既得利益者,因此来自传统技术势力的阻碍成为了必须面对的挑战。

时间窗口紧迫,3GPP R14很快将要完成总体设计并启动具体的标准制定。很高兴地看到中国在5G的总体架构设计中发挥了核心作用,而且越来越引领创新的发展之路。尤其是,中国移动联合了全球48家合作伙伴已共同启动了5G网络的系统设计项目。如何将SDN/NFV和5G结合将成为重要议题,也关系到5G网络能否更好地发展,满足客户需求。

5 结束语

下一代网络的发展正面临着关键时期,对产业内的各方来说是一次巨大的变革。由此带来的是产业的升级换代,以及生产力的巨大飞跃。中国当前正处在适应“新常态”,进行产业转型的关键历史时期,发展下一代网络更加具有划时代的意义,任重而道远。

参考文献

- [1] 中国移动2015年年度报告[R]. 北京: 中国移动通信有限公司, 2016
- [2] Network Function Virtualization (NFV) Management and Orchestration Version 1.0.0 [R]. Nice: ETSI, 2014
- [3] 李正茂. 通信4.0[M]. 北京: 中信出版社, 2016
- [4] 5G网络架构白皮书[R]. 北京: IMT2020推进组, 2016

作者简介



段晓东, 中国移动通信研究院网络技术研究所所长、高级工程师; 主要从事IP网络、下一代互联网、SDN/NFV和5G网络相关的研发、技术管理工作。

面向未来网络运营的敏捷运维架构

Agile Operation Architecture for the Future Network

徐代刚/XU Daigang
孟照星/MENG Zhaoxing
刘学生/LIU Xuesheng

(中兴通讯股份有限公司, 四川 成都
610041)
(ZTE Corporation, Chengdu 610041, China)

1 未来网络发展趋势

当今世界已进入数字时代,人们的生活被技术渗透,技术引领着消费生活、商业生态的革新,市场变化日新月异,移动设备迅猛增长,带宽需求不断提高,业务种类日益丰富,面对互联网行业的跨界竞争,电信运营商面临前所未有的压力。

随着信息化和移动互联网的不断发展,云计算、虚拟化和物联网技术推动电信网络和全球通信产业进入新的历史性阶段,即万物移动互联网阶段。这一阶段的来临为电信网络的深化转型和架构变革带来强大动力,电信网络的封闭性有望打破,从垂直封闭架构转向水平开放架构,硬件和软件将实现解耦,生态系统将走向开放,产业链将获得健康发展,这不仅有利于降低运营商的投资成本(CAPEX)和运营成本(OPEX),而且有利于实现网络开放,增强网络弹性,促进电信业务创新。

未来电信网络的变革重点在两方面:一是网络功能虚拟化(NFV),

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 06-0056-005

摘要: 认为随着软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)和云化网络的发展,传统运维面临严峻的挑战。提出基于最新的开源标准规范,采用控制/编排/管理/策略/分析(COMPA)核心要素来重构传统运营支撑系统(OSS),实现统一业务编排与网络协同,支持动态资源调度和实时自动控制,提供大数据分析和智能策略驱动服务保障闭环,进而助力电信业的互联网化运营和数字化商业转型。此外,还介绍了中兴通讯新一代运营管理系统的架构及其重要特性。

关键词: SDN; NFV; OSS; 敏捷运维; COMPA

Abstract: With the development of software defined network (SDN)/ network function virtualization(NFV) and cloud network, traditional operations are now facing severe challenges. Based on the latest open standards, reconstructing the traditional operation support system(OSS) by the core elements of control/orchestration/management/policy/analysis(COMPA) is proposed in this paper. New OSS supports unified service orchestration, network collaboration, dynamical resource scheduling, real-time automatic control, big data analysis, and service closed loop driven by intelligent policy. As a result, the Internet operation and digital business transformation is realized. Moreover, new generation of operations management system by ZTE is introduced.

Keywords: SDN; NFV; OSS; agile operations; COMPA

构成新型数据中心;二是软件定义网络(SDN),构成新型敏捷网络。

(1)新型数据中心,采用NFV技术,实现软硬件分离,电信网元功能将以软件形式实现和部署,虚拟计算、虚拟存储和虚拟网络在电信云集中部署,形成云化资源池,实现网络快速部署,网元快速升级以及容量的弹性调度。

(2)新型敏捷网络,采用SDN技术,通过将网络控制和转发功能分离,实现网络路由的集中计算,向转发设备下达路由,从而实现网络的灵活、智能调度,以及网络能力的开放和可编程。

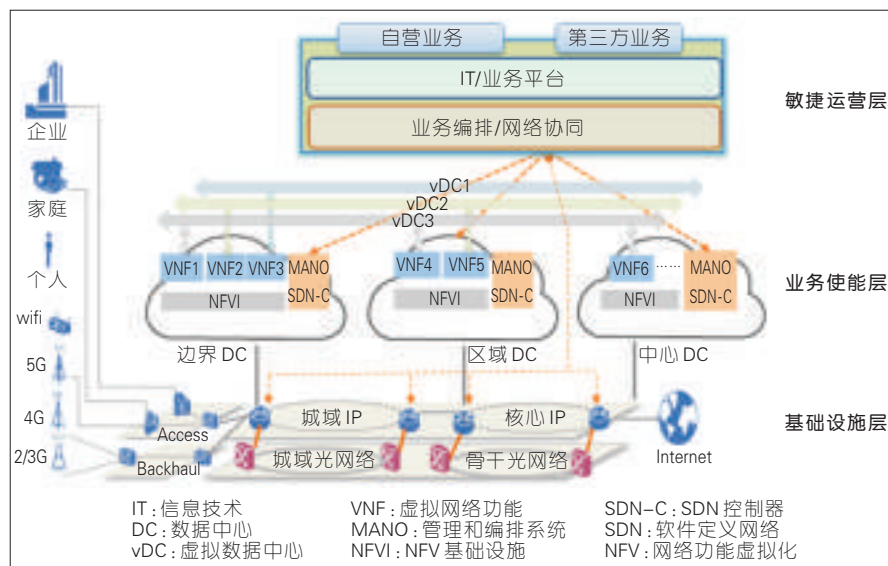
未来电信网络的业务流量将集

中在云化数据中心(DC),未来网络的架构设计和组网布局将以电信云为核心^[1-3],引入边缘DC、区域DC和中心DC的多级DC部署方式,采用基础设施、业务功能和协同编排3层架构,通过SDN/NFV技术双轮驱动和跨域协同,云操作系统统一动态分配和调度资源,实现云网深度融合,服务全面云化,如图1所示。

2 传统运维面临挑战

电信市场历史发展表明,对网络及构建在网络上的产品和服务进行有效管理是运营商核心竞争力的基础。网络的好坏直接影响到产品和服务的质量,同时,随着竞争不断加

收稿时间: 2016-09-15
网络出版时间: 2016-10-28



▲ 图1 未来网络目标架构

剧,能否快速提供服务和产品,将直接决定能否抢占市场先机。

传统电信网络属于规划型网络,基于软硬件一体的标准化网元,系统复杂而封闭,不支持业务的全生命周期管理^[4]。传统意义的网络生命周期包括规划、建设、维护和优化4个环节,分别由电信运营商的不同部门使用不同的流程和工具来实现。目前各个环节之间相对独立,自动化程度比较低,信息交互和操作协同困难,对人工和专家的依赖度高,在网络规模和复杂度增加的趋势下,很难适应网络扩容、优化和容灾减灾等快速响应的要求。

未来电信网络属于按需型网络,

需要适应互联网应用对网络、资源的弹性伸缩要求,支持最终用户或运营商自身,针对不同的业务场景和需求,灵活地订制出最适合的业务,而不是千篇一律的标准业务^[1-3]。这就要求从网络业务按需部署,服务资源可视管理,基础设施按需建设等多个环节进行功能和流程的重组与改造。通过统一运营框架,减少运维对象和分层专业维护这三大策略,让运维工作更加高效可靠,实现运营运维一体化。传统和未来网络之间的区别如图2所示。

SDN/NFV存在着巨大的潜能,只有业务支撑系统(BSS)和运营支撑系统(OSS)充分适应新型网络技术,

SDN/NFV的核心价值才能被挖掘出来。OSS与新型网络的整合和交互能力是一项重大的挑战。

传统OSS系统对整个网络服务采用静态配置方式,假设服务类型的改变并不频繁,服务参数也是相对固定或是不可选择,不允许用户或者应用驱动的实时服务变更,对服务的任何改变都复杂耗时。传统OSS系统为周期性定制的服务设计,周期为几天、几周,甚至更长,不能在细粒度时间上对包/流进行响应。

在SDN/NFV中,网络不再是静态的,SDN控制器会使应用或者策略能够动态地优化网络资源利用率。NFV的基础设施需要重新对资源进行动态分配,来满足各种流量需求。OSS系统必须要能够接受动态网络变更,为SDN控制器和NFV编排器提供自由的空间来动态进行资源调整和业务变更,同时保证支持传统电信网管功能。

3 开源标准共筑核心

基于SDN/NFV网络,新型OSS需要满足以下需求^[5-8]:

- 模型驱动服务开通。OSS采用通用的管理信息模型,支持网络服务模式设计,自动映射到SDN/NFV网络设备,并通过策略中心驱动NFV编排器和SDN控制器,自动化地开通网络服务。

- 与NFV编排器交互。OSS配置

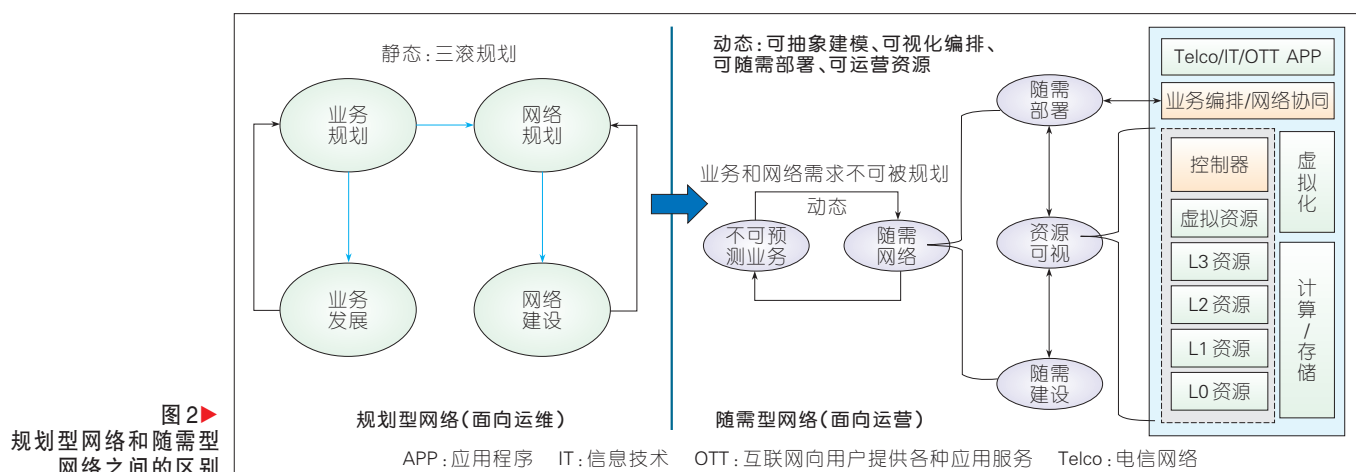


图2 规划型网络和按需型网络之间的区别

虚拟化基础设施(NFVI),NFV编排器负责配置运行在NFVI上的虚拟化网络功能(VNF),为VNF分配资源,并创建网络服务连接(NS)。

- 与SDN控制器交互。OSS配置SDN网络基础设施环境,SDN控制器负责把网络服务和业务应用策略下发到SDN转发面设备,比如不断地更新和维持网络交换协议(OpenFlow)的流表。

- 配置和状态管理分离。传统OSS配置网络服务参数,对应长期的网络状态,新型OSS支持服务参数配置和网络状态管理分离,允许NFV编排器和SDN控制器能够实时地对网络状态或者服务参数进行修改。

- 动态实时管理响应。通过NFV编排器和SDN控制器,OSS能够支持由流量环境和网络事件引发的实时网络和服务变更,实时响应的粒度应该达到流的级别(分/秒/毫秒)。

新型OSS引入NFV编排器、SDN控制器,打破传统OSS系统的封闭性与烟囱式,在实体网络和虚拟网络之上建立覆盖新老领域的业务编排和网络协同系统,支持全网统一运营管理,实现SDN/NFV在现有环境中平滑演进和端到端的业务提供。

基于以上目标,全球开源标准组织蜂拥而至,协同规范,共筑未来网络运营核心利器,其中城域以太网论坛(MEF)提出的全生命周期服务协同系统(LSO)引人瞩目^[6]。MEF-LSO可与欧洲电信标准化协会(ETSI)的NFV标准架构^[7]、开放网络基金会(ONF)的SDN标准架构^[8]兼容映射,不仅支持跨产品、跨专业和跨厂商,还能支持跨运营商的端到端网络服务协同,被称为第3张网。

LSO参考电信管理论坛(TMF)的增强电信运营图(eTOM)模型^[5],通过LSO分层和嵌套,实现端到端的全生命周期服务管理,LSO具备OSS全部功能域(服务实现、控制、保障、使用、分析、安全和策略功能),支持运营商为不同租户和服务分配资源,租

户拥有网络服务全局视图,支持多网络异厂商的服务组件编排,支持新商品、租户服务和网络技术快速上市。

基于LSO核心理念和SDN/NFV标准规范,中国移动牵头发起的全球顶级全开放编排器(OPEN-O)开源项目^[9]在Linux基金会成功立项。OPEN-O致力于打造电信级的开源业务协同器平台,实现跨SDN、NFV和传统网络业务端到端协同。

OPEN-O不仅仅能帮助有开发能力的运营商构建开源平台,同时对于缺乏开发能力的中小型运营商,也提供了商用开源版本的解决方案。OPEN-O理解运营商网络的复杂性,将与传统OSS集成,解决新老业务的互通和协同问题。

OPEN-O参考TMF-eTOM管理域分层视图^[5],划分为产品、业务和资源3个层次,形成分层编排管理架构^[9],核心系统包括:全局业务编排(GSO)、NFV编排和SDN编排器以及VNF管理系统,如图3所示。

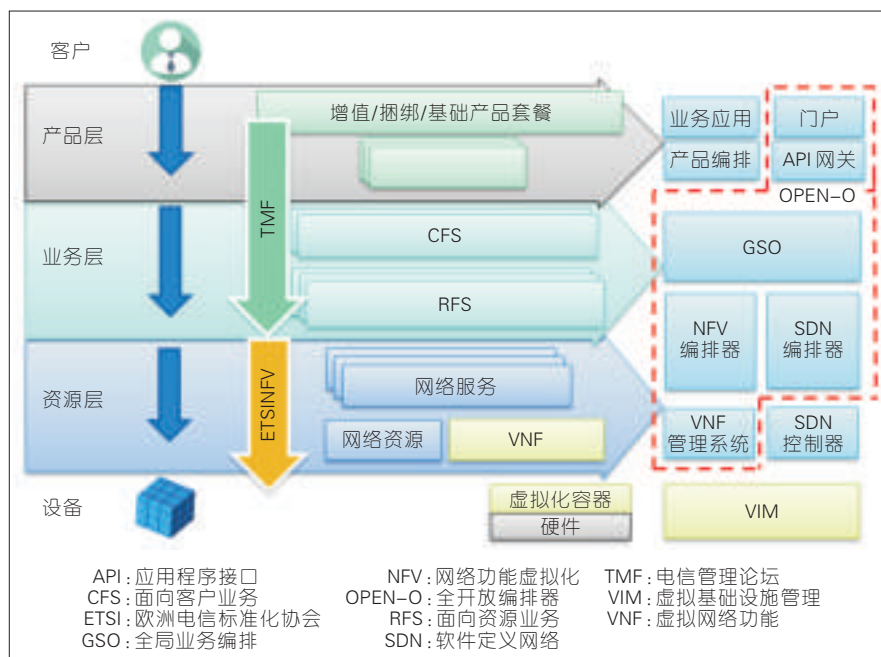
OPEN-O的愿景是“统筹任意网络上的任意服务”,为了平衡短期的版本目标和长期的架构演进能力,OPEN-O技术委员会中专门成立了架

构委员会,以确保OPEN-O能构建一个可持续演进的微服务和模型驱动的技术架构。

4 策略运维敏捷转型

传统OSS系统业务定制和开通能力的特点是分散和相对固定,由于缺乏体系化的开通支撑,传统系统的资源管理能力较弱,缺乏客户、业务、资源关联信息,还不具备全业务、长流程的自动开通能力。对于已经开通的业务,传统OSS是侧挂支撑系统,侧重于事后管理,以保障网络资产的稳定运行为出发点。比如,设备和管线能不能工作,有没有退服或者明显的性能指标下降是主要关注的方面,但对于网络上面承载的不同业务表现的好坏,以及最终使用者的感受和体验,则没有实时监测控制及自动化恢复能力。

基于SDN/NFV网络,新型OSS融入生产系统,通过建立全局资源和资产管理系统,支持编排器和控制器自动开通网络业务,通过分析器和策略器实现网络业务运维闭环,形成自动化、智能化敏捷运营架构^[1-3]。传统网络运维和未来网络运营的比较如图4



▲图3 OPEN-O 分层编排管理架构

所示。

美国电信运营商 AT&T 推出 Domain2.0 转型方案,引领电信网络重构潮流,AT&T 面对 SDN/NFV 网络,新建增强型运营支撑平台 (ECOMP),支持用户自定义业务、网络运维自动化,建立了未来网络运营模式的标杆^[1],其中控制/编排/管理/策略/分析 (COMPMA) 代替传统的故障/配置/计费/性能/安全 (FCAPS) 成为未来网络运营重构的核心要素。

针对未来网络运营模式,TMF 推出下一代运营中心方案 (OpCF)^[2],采用松耦合、组件化和微服务技术架构,并提出了自主闭环管理单元模型,可以形成分层嵌套运行的 COMPMA 管理架构。

5 运营重构开放使能

在传统的网络运营模式下,运营商和厂商之间、运营商和客户之间基本上都采用简单的“售卖”模式,现有网络主要依赖单向流程化的工程建设和网络维护来提供网络服务,紧耦合的网络软硬件及专用设备决定了网络能力的深度和广度。

未来网络运营的最终目标,就是为智能管道提供丰富灵活的用户订制和业务快速部署的能力。从“运营商定义业务”转化为“用户定义业务”,丰富用户可定义的服务与特性。在用户使用业务的过程中,智能管道需增加网络感知能力,针对不同

场景、不同业务、不同用户的不同需求,灵活制定和部署相关业务策略,从而更有效地服务用户和保障体验。

中兴通讯提出的新一代运营管理系统 (MICT-OSTM)^[2],支持客户业务定制,网络能力开放,云网融合管理,开发运营一体,与运营商形成开发、销售、服务、反馈、维护等多节点互动机制,从单纯的售卖服务关系走向更多的合作创新关系,实现弹性灵动的云化网络服务。

MICT-OSTM 按照功能可以划分为 4 个核心系统:客户使能系统 (CES)、开放使能系统 (OES)、大数据系统和开发运营一体化系统 (DevOps)。这 4 种系统可分可合,基于不同场景,形成不同的能力集合,支持电信网络 (Telco) 和云数据中心 (CloudDC) 的统一运营运维。

(1) CES: 客户使能业务敏捷化

CES 基于 BSS 能力增强,结合面向客户的大数据系统和面向业务的 DevOps 平台,支持客户业务定制开发敏捷化,其核心能力包括:丰富的产品套餐、敏捷的业务流程、优化的用户体验,个性的应用定制,以及灵活多样的合作伙伴商业模式等等。

(2) OES: 开放使能运营智能化

OES 基于 OSS 能力重构,结合面向业务的大数据系统和面向资源的 DevOps 平台,支持云化网络基础设施运营智能化,其核心能力包括:基于 COMPMA 核心要素重构传统 OSS,支持

业务模型设计驱动服务自动开通,支持实时大数据分析触发动态策略调整,支持智能策略管理驱动服务保障闭环等,图 5 为 OES 系统架构。

架构上,OES 基于平台即服务 (PaaS) 平台,支持微服务和容器化,有 9 个核心系统。

- 服务编排:以 GSO/全局资源编排 (GRO) 为核心,同时融合传统服务开通系统,通过 NFV/SDN/IT 领域编排器,支持统一的业务编排和资源调度,具备快速业务创新与实时业务开通能力。

- 网络管理:传统网络管理系统 (NMS) 虚拟化,支持综合配置管理、端到端网络激活、诊断测试和异厂商网元管理系统 (EMS) 接入,与编排系统协同,形成跨新老网络的服务实现能力。

- 资源控制:通过 EMS/VNFM/虚拟基础设施管理 (VIM) 和 SDN 控制器,形成云化基础设施的统一控制层,支持跨区域资源的实时响应和动态控制,提供了按需自动化的资源随选能力。

- 策略管理:支持跨网络 and 全业务策略管理服务,基于业务需求、网络状态和资源信息,进行动态预测、智能决策与策略分发执行;

- 智能分析:面向业务、网络和云化基础设施,支持实时监测控制和数据采集,基于事件流和大数据技术,提供实时分析和智能分析能力。

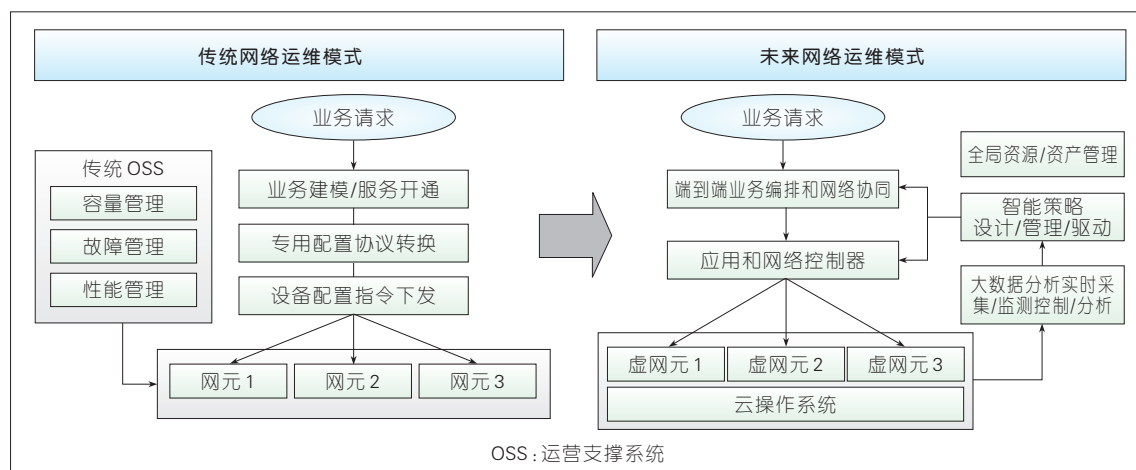


图4 传统网络运维和 未来网络运营的比较

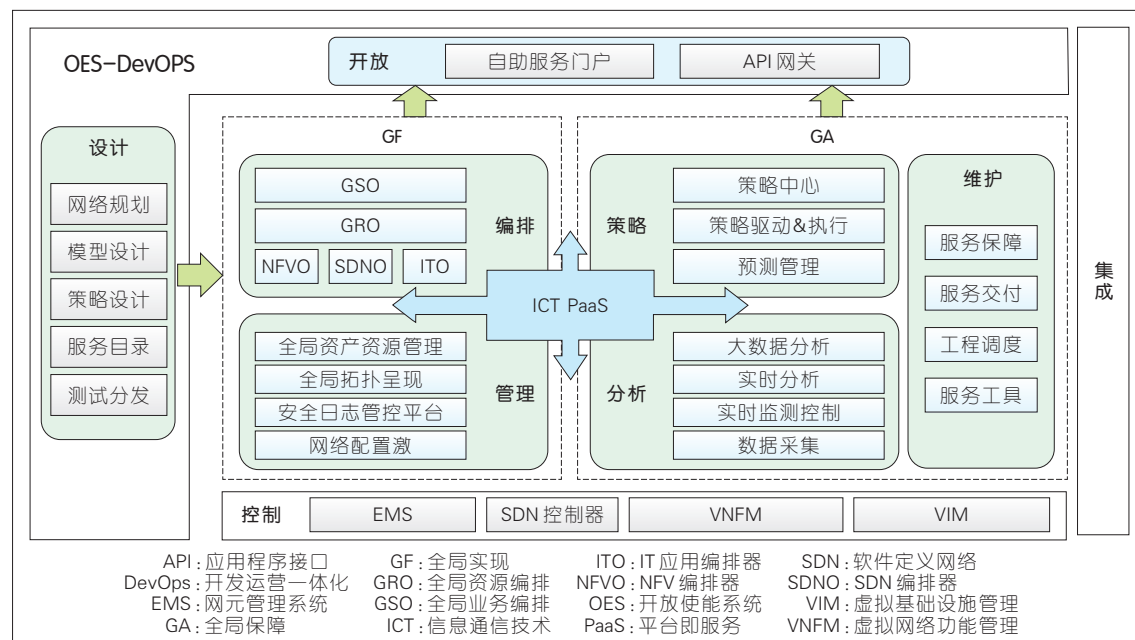


图5 MICT-OES 系统架构

• 全局资产: 以客户和业务为导向, 提供面向客户、面向业务的全局资源视图和拓扑视图, 为服务实现和服务保障提供全局资源状态信息。

• 能力开放: 通过应用程序接口(API)网关, 支持面向第三方的网络能力开放, 能够提供多样化的开放性接口, 支持运营商自营业务及第三方业务的便捷集成, 丰富网络应用与业务生态。

• 自助服务: 通过自助门户, 为用户业务的“一站式”灵活提供、快速开通与自助管理提供平台, 从而大大提升业务部署的速度, 提升用户的业务体验。

• 业务开发: 以设计工具为核心, 支持网络规划、模型设计和策略设计, 通过DevOps平台, 贯通持续集成(CI)和持续交付(CD)流程, 支持仿真测试和灰度发布, 实现可视化业务开发和部署, 提升业务及时上线能力。整体上, OES以编排域和管理域组件为核心, 基于新老网络资源控制层, 构成新型的全局实现系统(GF), 以策略域和分析域组件为核心, 融合传统服务保障系统, 构成新型的全局保障系统(GA), GF基于策略进行资源调配和应用部署, GA对网络业务

进行实时监测控制和智能分析, 基于策略触发GF进行自动化故障处理与网络业务优化。

6 结束语

未来网络发展以快速交付价值作为目标, 需要构建互联网化的运营运维系统。基于SDN/NFV、全面云化的基础设施, 为运营商降低成本、快速增收、业务创新和敏捷服务提供了巨大便利。为了实现这些优点, 需要传统OSS向新型OES架构演进。

中兴通讯提出的 MICT-OS™, 支持连接运营商、客户和合作伙伴, 支持连接网络、应用和内容, 实现价值化创造; OES支持运营商智能运营和敏捷运维, 支持对外开放ICT资源和能力, 实现数字化转型。

参考文献

- [1] 中国电信CTNet-2025网络架构白皮书[R]. 北京: 中国电信, 2016
- [2] 中兴通讯股份有限公司. 中兴通讯 ElasticNet 弹性网络技术白皮书 v3.0 [R/OL]. (2016-06-29) [2016-09-10]. <http://res.www.zte.com.cn/china/~/media/zte/Files/PDF/White-Skin-Book/2016SDNNFV/SDNNFV30.pdf?la=zh-CN>
- [3] AT&T ECOMP Architecture White Paper[R]. USA: AT&T, 2016
- [4] 马宁宇. SDN和NFV对OSS/BSS的影响[EB/OL]. (2016-03-30) [2016-09-10]. <http://www.sdnlab.com/16377.html>

- [5] TMF G1118_OSS_BSS_Futures_Architecture_R15.5.1[S]. TMF, 2016
- [6] MEF-55 LSO Reference Architecture and Framework[S]. MEF, 2016
- [7] ETSI-RFI NFV Management & Orchestration v1.0[S]. ETSI, 2015
- [8] ONF_TR_SDN_ARCH_v1.0[S]. ONF, 2014
- [9] Open Orchestrator White Paper[R/OL]. (2016-06) [2016-09-10]. <http://www.openo.org>

作者简介



徐代刚, 中兴通讯战略与技术专家组成员、高级系统架构师; 主要研究方向为SDN/NFV、智能运营运维、IaaS/PaaS/SaaS等。



孟照星, 中兴通讯中心研究院工程师; 主要研究方向为SDN/NFV、跨域编排协同、智能运营运维等。



刘学生, 中兴通讯中心研究院工程师; 主要研究方向为SDN/NFV、统一网络管理、智能运营运维等。

《中兴通讯技术》第22卷总目次

卷·期·页		卷·期·页					
卷首特稿							
ICT 核心器件发展展望	李尔平	22-1-02	开放 5G 网络架构与开源平台···赵明,王京,田志刚	22-3-06			
专题							
专题:网络空间安全							
网络空间安全面临的挑战及应对策略	周延森,周琳娜	22-1-05	5G 空口统一框架初探:软件定义空口	倪吉庆,孙奇,崔春风	22-3-12		
网络空间安全体系及关键技术	张应辉,郑东,马春光	22-1-10	大规模 MIMO 下行预编码技术	陆晨,王闻今,高西奇	22-3-17		
云时代下的大数据安全技术	杨曦, Gul Jabeen, 罗平	22-1-14	一种适合 5G 的新型多载波技术——FB-OFDM··	张万春,辛雨,郁光辉	22-3-22		
面向数据的安全体系结构初步研究	苗放	22-1-19	一种应用于 5G 基于 LDPC 码的物理层包编码 ..	徐俊,许进,胡留军	22-3-26		
安全多方计算技术研究与应	张卷美,徐荣华	22-1-23	基于 GRT 平台的全双工 WiFi 设计与实现····	吴浩洋,王韬,焦秉立	22-3-31		
同态加密的发展及应用	巩林明,李顺东,郭奕旻	22-1-26	非理想 CSIT 下超密集分布式天线网络的高能	效协同波束成形	王璟,冯伟,周世东	22-3-36	
计算机网络取证和调查的科学研究	邹锦涛,陈航,徐菲	22-1-30	5G 环境下系统级仿真建模与关键技术评估····	李凯,徐景,杨旸	22-3-41		
专题:大数据分析处理与应用							
大数据的开放式创新	吴甘沙	22-2-02	专题:天地一体化信息网络				
试论大数据之“大”	李廉	22-2-07	对中国建设天、空、地一体化信息网络的几点	认识	顾学迈,赵康健,贾敏,张乃通	22-4-02	
大数据分析平台——从扩展性优先到性能优先	郑纬民,陈文光	22-2-11	基于分布式星群的空间信息网络体系架构与	关键技术	王敬超,于全	22-4-09	
典型大数据计算框架分析	赵晟,姜进磊	22-2-14	天基宽带互联网发展现状与展望	梁宗闯,陶滢,高梓贺	22-4-14		
分布式数据处理系统内存对象管理问题分析 ..	张雄,陆路,石宣化	22-2-19	空间信息网络中的星座设计方法研究	张威,张更新,苟亮	22-4-19		
Spark 计算引擎的数据对象缓存优化研究	陈康,王彬,冯琳	22-2-23	天地一体化信息网络天基宽带骨干互联系统	初步考虑	张平,秦智超,陆洲	22-4-24	
大数据存储系统中负载均衡的数据迁移算法 ..	李甜甜,王智,宋杰	22-2-28	天地一体化生态电磁环境的构建	姚富强	22-4-29		
基于概念网的媒体大数据分析和结构化描述	方法	张宝鹏,彭进业,范建平	22-2-33	天基网络动态接入技术现状与趋势	贾敏,高天娇,郑黎明,郭庆	22-4-34	
BC-BSP:一个基于 BSP 的高可扩展并行	迭代图处理系统	刘恩孚,冷芳玲,鲍玉斌	22-2-38	天地一体化信息网络协议体系与传输性能简析	····	杨冠男,李文峰,张兴敢	22-4-39
大数据安全必须面对的攻击假设矩阵····	潘柱廷	22-2-44	空间互联网协议技术及应用	····	杨志华,袁鹏,张钦宇	22-4-46	
专题:5G 技术与业务创新				天地一体化网络空间信息抗干扰技术	····	陈新龙,陈大可	22-4-49
非均匀密集无线组网····	陶小峰,吴慧慈,许晓东	22-3-02	专题:工业互联网与智慧工厂技术				
智慧云制造——一种互联网与制造业深度融合的				新模式、新手段和新业态····	李伯虎,柴旭东,张霖	22-5-02	

	卷·期·页
对智能制造内涵与十大关键技术的系统思考	黄培 22-5-07
面向智能制造的云平台技术	王恩东, 张东, 元开元 22-5-11
工业 CPS 技术、架构及应用策略研究	刘棣斐, 田洪川, 刘贺贺 22-5-17
工业互联网推动工厂网络与互联网融合发展	高巍 22-5-21
智慧工厂机器视觉感知与控制关键技术综述	王耀南, 陈铁健 22-5-26
流程工业智能工厂建设的探索与实践	施一明 22-5-31
工业互联网的安全挑战及应对策略	陶耀东, 李强, 李宁 22-5-36
工业生产中的知识自动化决策系统	陈晓方, 吴仁超, 桂卫华 22-5-42
面向家纺产品云定制的数码喷印彩色管理技术	金小团, 陈刚, 陈纯 22-5-47
面向智慧油田的工业物联网语义集成技术研究	刘阳, 曾鹏, 于海斌 22-5-51
专题: SDN/NFV 的实践与规模应用	
SDN/NFV 与网络技术的发展方向	蒋林涛 22-6-02
SDN/NFV 组网技术标准	聂秀英 22-6-07
SDN/NFV 关键技术问题分析和标准化进展	马军锋 22-6-12
SDN 的网络模型及北向接口	李晨, 陈俏钢, 李凤凯, 吴波 22-6-17
业务功能链技术及其应用探析	李晨, 解冲锋 22-6-22
SDN/NFV 关键技术的分析和实现: MICT-OS™	张铁卿 22-6-26
SDN 规模部署关键问题分析	李晨, 程伟强, 王金柱 22-6-31
城域网虚拟化方案及思路探讨	杨锋, 解冲锋, 史凡 22-6-36
中国联通 SDN 的思考和应用实例	程莹 22-6-40
中兴通讯对 SDN/NFV 的思考与应用实践	范成法, 袁道洲, 古渊 22-6-44
专家论坛	
动态网络主动安全防御的若干思考	吴春明 22-1-34
安全通论——经络篇	杨义先, 钮心忻 22-1-38
应用驱动的大数据挖掘	李涛, 刘峥, 周绮凤 22-2-49
大数据安全与隐私保护态势	范渊 22-2-53

	卷·期·页
安全通论——攻防篇之“盲对抗”	杨义先, 钮心忻 22-2-57
5G: 智能移动通信 1.0	李少谦 22-3-47
安全通论——攻防篇之“石头剪刀布”	杨义先, 钮心忻 22-3-49
关于天基传输网络体系结构的讨论	刘华峰, 孙智立, 杨昕, 赵康健, 程子敬 22-4-53
新一代低轨卫星网络和地面无线自组织网络融合技术的探讨	杨昕, 孙智立, 刘华峰, 赵康健, 程子敬, 苗晔, Haitham Cruickshank 22-4-58
中国智能制造之路	莫欣农 22-5-56
工业互联网不是企业经营发展的万能钥匙	赵维铎 22-5-59
SDN 发展趋势	刘韵洁, 黄韬, 张娇 22-6-48
对发展下一代网络的思考	段晓东 22-6-52

企业视界

信息设备供电系统发展趋势	胡先红 22-1-42
M-ICT 时代融合业务技术发展趋势	陆平, 董振江, 杨勇 22-2-61
M-ICT 时代下的 5G 技术及创新	朱龙明, 朱清华, 姚强 22-3-52
后摩尔时代的 3D 封装技术——高端通信网络芯片对 3D 封装技术的应用驱动	王晓明 22-4-64
M-ICT 时代 SDN 技术实践与创新	李光, 王延松, 范成法 22-5-61
面向未来网络运营的敏捷运维架构	徐代刚, 孟照星, 刘学生 22-6-56

技术广角

位置信息辅助的机间自组网路由协议研究	史琰, 杨鹏 22-1-46
无线核心网的 TC0 分析方法研究	史庭祥, 田会芹 22-1-50
基于号码携带的 VoLTE 网络互通研究	缪永生, 倪明 22-1-54
辅助北斗技术的捕获空间计算和误差分析	谢棋军, 陈新, 刘佩林 22-1-59
大数据技术发展趋势及灯塔大数据行业应用平台	王若倪, 赵慧玲 22-3-57
面向未来移动通信的核心网架构	宗在峰, 吴瑟 22-3-62

《中兴通讯技术》杂志(双月刊)投稿须知

一、杂志定位

《中兴通讯技术》杂志为通信技术类学术期刊。通过介绍、探讨通信热点技术,以展现通信技术最新发展动态,并促进产学研合作,发掘和培养优秀人才,为振兴民族通信产业做贡献。

二、稿件基本要求

1. 投稿约定

- (1)作者需登录《中兴通讯技术》投稿平台:tech.zte.com.cn/submission,并上传稿件。第一次投稿需完成新用户注册。
- (2)编辑部将按照审稿流程聘请专家审稿,并根据审稿意见,公平、公正地录用稿件。审稿过程需要1个月左右。

2. 内容和格式要求

- (1)稿件须具有创新性、学术性、规范性和可读性。
- (2)稿件需采用WORD文档格式。
- (3)稿件篇幅一般不超过6000字(包括文、图),内容包括:中、英文题名,作者姓名及汉语拼音,作者中、英文单位,中文摘要、关键词(3~8个),英文摘要、关键词,正文,参考文献,作者简介。
- (4)中文题名一般不超过20个汉字,中、英文题名含义应一致。
- (5)摘要尽量写成报道性摘要,包括研究的目的、方法、结果/结论,150~200字为宜。摘要应具有独立性和自明性。中英文摘要应一致。
- (6)文稿中的量和单位应符合国家标准。外文字母的正斜体、大小写等须写清楚,上下角的字母、数据和符号的位置皆应明显区别。
- (7)图、表力求少而精(以8幅为上限),应随文出现,切忌与文字重复。图、表应保持自明性,图中缩略词和英文均要在图中加中文解释。表应采用三线表,表中缩略词和英文均要在表内加中文解释。
- (8)参考文献以20条左右为宜,不允许公开发表的资料不应列入。所有文献必须在正文中引用,文献序号按其在文中出现的先后次序编排。常用参考文献的书写格式为:
 - 期刊[序号]作者.题名[J].刊名,出版年,卷号(期号):引文页码.数字对象唯一标识符
 - 书籍[序号]作者.书名[M].出版地:出版者,出版年:引文页码.数字对象唯一标识符
 - 论文集中析出文献[序号]作者.题名[C]/论文集编者.论文集名(会议名).出版地:出版者,出版年(开会年):引文页码.数字对象唯一标识符
 - 学位论文[序号]作者.题名[D].保存地点:保存单位,授予年.数字对象唯一标识符
 - 专利[序号]专利所有者.专利题名:专利号[P].出版日期.数字对象唯一标识符
 - 国际、国家标准[序号]标准名称:标准编号[S].出版地:出版者,出版年.数字对象唯一标识符
- (9)作者超过3人时,可以感谢形式在文中提及。作者简介包括:姓名、工作单位、职务或职称、学历、毕业于何校、现从事的工作、专业特长、科研成果、已发表的论文数量等。
- (10)提供正面、免冠、彩色标准照片一张,最好采用JPG格式(文件大小超过100kB)。
- (11)应标注出研究课题的资助基金或资助项目名称及编号。
- (12)提供联系方式,如:通信地址、电话(含手机)、Email等。

3. 其他事项

- (1)请勿一稿两投。凡在2个月(自来稿之日算起)以内未接到录用通知者,可致电编辑部询问。
- (2)为了促进信息传播,加强学术交流,在论文发表后,本刊享有文章的转摘权(包括英文版、电子版、网络版)。作者获得的稿费包括转摘酬金。如作者不同意转摘,请在投稿时说明。

编辑部地址:安徽省合肥市金寨路329号国轩凯旋大厦1201室,邮政编码:230061

联系电话:0551-65533356,联系邮箱:magazine@zte.com.cn

本刊只接受在线投稿,欢迎访问本刊投稿平台:tech.zte.com.cn/submission

中兴通讯技术

ZHONGXING TONGXUN JISHU

双月刊 1995 年创刊 总第 131 期
2016 年 12 月 第 22 卷 6 期

主管:安徽省科学技术厅
主办:安徽省科学技术情报研究所
中兴通讯股份有限公司
编辑:《中兴通讯技术》编辑部

总编:陈杰
常务副总编:黄新明
责任编辑:徐烨
编辑:卢丹,朱莉,赵陆
排版制作:余刚
发行:王萍萍
编务:王坤

《中兴通讯技术》编辑部
地址:合肥市金寨路 329 号凯旋大厦 12 楼
邮编:230061
网址:tech.zte.com.cn
投稿平台:tech.zte.com.cn/submission
电子信箱:magazine@zte.com.cn
电话:(0551)65533356
传真:(0551)65850139

出版、发行:中兴通讯技术杂志社
发行范围:全球发行
印刷:合肥添彩包装有限公司
出版日期:2016 年 12 月 10 日
中国标准连续出版物号: ISSN 1009-6868
CN 34-1228/ TN
广告经营许可证:皖合工商广字 0058
定价:每册 20.00 元,全年 120.00 元