



信息通信领域产学研合作特色期刊 | 十佳皖刊  
第三届全国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

<http://tech.zte.com.cn>

2019年4月 • 第2期

专题：云网一体化技术



# 《中兴通讯技术》第8届编辑委员会成员名单

- 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）
- 副主任

徐子阳（中兴通讯股份有限公司总裁） | 糜正琨（南京邮电大学教授）

编委（按姓名拼音排序）

- 陈建平

上海交通大学教授
- 陈前斌

重庆邮电大学副校长
- 葛建华

西安电子科技大学教授
- 管海兵

上海交通大学教授
- 郭庆

哈尔滨工业大学教授
- 洪波

中兴发展股份有限公司总裁
- 洪伟

东南大学教授
- 纪越峰

北京邮电大学教授
- 蒋林涛

中国信息通信研究院科技委主任
- 李尔平

浙江大学教授
- 李红滨

北京大学教授
- 李建东

西安电子科技大学副校长
- 李军

清华大学教授
- 李乐民

中国工程院院士
- 李融林

华南理工大学教授
- 李少谦

电子科技大学教授
- 林晓东

中兴通讯股份有限公司副总裁
- 刘健

中兴通讯股份有限公司高级副总裁
- 刘建伟

北京航空航天大学教授
- 陆建华

中国科学院院士
- 马建国

广东工业大学教授
- 孟洛明

北京邮电大学教授
- 糜正琨

南京邮电大学教授
- 任品毅

西安交通大学教授
- 孙知信

南京邮电大学教授
- 谈振辉

北京交通大学教授
- 唐雄燕

中国联通网络技术研究院首席科学家
- 王文博

北京邮电大学副校长
- 王文东

北京邮电大学教授
- 王喜瑜

中兴通讯股份有限公司执行副总裁
- 王翔

中兴通讯股份有限公司高级副总裁
- 卫国

中国科学技术大学教授
- 吴春明

浙江大学教授
- 邬贺铨

中国工程院院士
- 徐安士

北京大学教授
- 徐子阳

中兴通讯股份有限公司总裁
- 续合元

中国信息通信研究院副总工
- 薛一波

清华大学教授
- 杨义先

北京邮电大学教授
- 杨震

南京邮电大学校长
- 易芝玲

中国移动研究院首席科学家
- 张宏科

北京交通大学教授
- 张平

北京邮电大学教授
- 张云勇

中国联通研究院院长
- 赵慧玲

工业和信息化部科技委信息网络专家组组长
- 郑纬民

清华大学教授
- 钟章队

北京交通大学教授
- 周亮

南京邮电大学教授
- 朱近康

中国科学技术大学教授
- 祝宁华

中国科学院半导体研究所副所长

# 目次

中兴通讯技术 (ZHONGXING TONGXUN JISHU)  
总第145期 第25卷 第2期 2019年4月

## 专题:云网一体化技术

面向云网一体的新型城域网演进探讨 02  
陈运清, 雷波, 解云鹏

云网一体使能网络即服务 09  
朱海东

SD-WAN 关键技术 15  
柴瑶琳, 穆域博, 马军锋

EBOD:打造开放 SD-WAN 网络服务平台 20  
周文辉, 刘永伟

运营商 SDN 云网协同架构和关键技术研究 28  
鲁子奕, 杨文斌

面向云网协同的新型城域网 37  
马季春, 孟丽珠

41 基于安全保障的边缘计算卸载方案  
廉晓飞, 谢人超, 黄韬

## 专家论坛

47 智能是怎样生成的  
钟义信

52 网络人工智能发展分析与建议  
王海宁

57 基于人工智能的网络智能化发展探讨  
张嗣宏, 左罗

## 企业视界

63 网络智能,以“智”赋“动”  
杜永生, 蒋新建, 巫江涛

## 2019 年第1—6 期专题计划及策划人

### 1. 5G 商用支撑理论及关键技术

中兴通讯股份有限公司执行副总裁 王喜瑜  
中兴通讯股份有限公司首席科学家 向际鹰

### 3. 边缘计算技术及其应用

清华大学教授 郑纬民  
佐治亚州立大学教授 潘毅  
韦恩州立大学教授 施巍松

### 5. 新型光互连与光接入技术

北京大学教授 李红滨

### 2. 云网一体化技术

中国联通网络技术研究院首席科学家 唐雄燕

### 4. 5G 通信安全技术

清华大学教授 李军

### 6. 5G 通信系统示范应用

中国信息通信研究院科技委主任 蒋林涛

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 十佳皖刊 中国五大文献数据库收录期刊 1995年创刊

# CONTENTS

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol. 25 No. 2 Apr. 2019

## Special Topic: Technologies of Cloud Network Convergence

Evolution of New Metropolitan Area Network for Cloud Network Convergence **02**  
CHEN Yunqing, LEI Bo, XIE Yunpeng

Cloud Network Convergence Enables Network as a Service **09**  
ZHU Haidong

Key Technology in SD-WAN **15**  
CHAI Yaolin, MU Yubo, MA Junfeng

EBoD—Building up the Open SD-WAN Network Service Platform **20**  
ZHOU Wenhui, LIU Yongwei

Infrastructure and Key Technologies of SDN Cloud Network for Service Provider **28**  
LU Ziyi, YANG Wenbin

New Metropolitan Area Network for Cloud Network Synergy **37**  
MA Jichun, MENG Lizhu

**41** Security-Based Computation Offloading Scheme in Edge Computing Network  
LIAN Xiaofei, XIE Renchao, HUANG Tao

## Expert Forum

**47** How Is Intelligence Created  
ZHONG Yixin

**52** Analysis and Suggestions on the Development of Network Artificial Intelligence  
WANG Haining

**57** Network Intelligence Based on Artificial Intelligence  
ZHANG Sihong, ZUO Luo

## Enterprise View

**63** Network Intelligence: Artificial Intelligence Endows Network Automation  
DU Yongsheng, JIANG Xinjian, WU Jiangtao

期刊基本参数: CN 34-1228/TN\*1995\*b\*16\*72\*zh\*P\* ¥ 20.00\*15000\*11\*2019-04

## 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。

# 专题：云网一体化技术

专题策划人 唐雄燕



工学博士，教授级高工，中国联通网络技术研究院首席科学家，中国联通智能网络中心总架构师，下一代互联网宽带业务应用国家工程实验负责人，“新世纪百千万人才工程”国家级人选，任北京邮电大学兼职教授、博士生导师，工业和信息化部通信科技委委员，北京通信学会副理事长，中国通信学会理事，国际开放网络基金会（ONF）董事会成员；拥有 20 余年的电信新技术、新业务研发与技术管理经验，主要专业领域为宽带通信、光纤传输、IP 技术、物联网、新一代网络等；曾主持通信企业多项重大技术工作，担任多个国家级科研课题的负责人。

## 内容导读

随着云计算技术的进步、产业互联网的崛起以及企业数字化转型的加速，信息通信技术（ICT）服务正在全面云化，企业上云成为重要趋势。预计到 2025 年，85% 的企业应用将上云。云设施与云服务都离不开基础网络的支撑，可靠、灵活、弹性、智能的网络连接是企业上云的基础和保障。为更好地支撑云服务发展，提供网络即服务（NaaS），网络本身也必须转型和重构，以数据中心为核心、基于软件定义网络（SDN）/网络功能虚拟化（NFV）的云化网络是通信网络演进的基本方向，云化网络也是 5G 核心网的技术选择。云与网的紧密性不断增强，二者水乳交融，云网协同或者一体化的必要性和价值日益凸现，向政企客户提供一站式的“云+网+X（应用）”的 ICT 服务成为电信运营商以及云服务提供商的共同目标。在电信行业转型的大背景下，以云网一体化为特征的产业互联网市场已成为电信运营商新的业务增长点。云网一体化不单是网络架构与技术的深刻变革，也是网络运营与服务模式的重大创新，这一领域尚处在培育与发展阶段，前景广阔。近年来，数据中心网络已全面 SDN 化，电信运营商 IP 网络和传送网络的 SDN 化转型正在积极推进，SD-WAN 服务受到越来越多地关注

和市场青睐，边缘云风生水起，云原生（Cloud-Native）技术蓬勃发展，以开源与白盒为特征的颠覆性创新不断推进。这一切标志着云网一体化无论是在技术架构还是产业应用发展方面都在逐步迈向深水区，机遇与挑战并存。

本专题旨在从技术、应用、运营和服务等多个维度探讨云网一体化，专题文章由来自电信运营商、通信设备商、科研机构和高校的专家们分别撰写，内容涵盖了通信网络的云网一体化架构与技术、SDN-WAN 技术与应用、网络即服务、边缘计算等云网一体化热点话题。希望本专题能帮助读者全面深入地了解云网一体化的技术和应用动态，为关注云网一体化的业界同仁提供有价值的参考。在此对各位作者的大力支持和精心撰稿表示衷心的感谢！

唐雄燕

2019 年 3 月 20 日



# 面向云网一体的新型城域网演进探讨

## Evolution of New Metropolitan Area Network for Cloud Network Convergence

陈运清/CHEN Yunqing, 雷波/LEI Bo, 解云鹏/XIE Yunpeng

(中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 102209)

(China Telecom Corporation Limited Beijing Research Institute, Beijing 102209, China)



**摘要:** 新型城域网的设计应面向未来业务需求,以简洁、通用、高效、智能为目标演进。新型城域网可以高效、动态地连接大量的接入节点,逐步形成城域内的统一承载新平面。在演进策略方面,新型城域网的构建不是颠覆性地推倒重来,而是从现网、现状出发,基于各项技术研发进展,结合网络建设节奏,循序渐进实现平滑演进。

**关键词:** 城域网演进;叶脊架构;统一承载;网络切片

**Abstract:** The design of the new metropolitan area network should be oriented to the future service requirement, with concise, universal, high efficiency and intelligence as the evolution goal. A large number of access nodes in the metropolitan area are connected in an efficient and dynamic way, and a unified bearing new plane is gradually formed. The construction of the new metropolitan area network needs to proceed from the existing network and present situation. Based on the research and development of various technologies, and the specific situation of network construction, the smooth evolution is finally achieved.

**Key words:** metropolitan area network evolution; Spine-Leaf architecture; unified bearer; network slice

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902001

网络地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190404.1622.002.html>

网络出版日期: 2019-04-04

收稿日期: 2019-01-27

随着“互联网+”时代的到来,云与网络的融合趋势日渐明显,未来所有业务和应用都将在云上承载,“云网一体化”已成为一股不可阻挡的趋势。云网融合也打破传统基础网络运营牌照及资源垄断,降低了行业门槛。互联网业务(OTT)云服务商开始强势介入,运营商在企业对企业(B2B)市场正在遭遇前所未有的挑战。可以预见不久的未来,云网市场竞争将更加激烈,留给运营商的时间已经很短,运

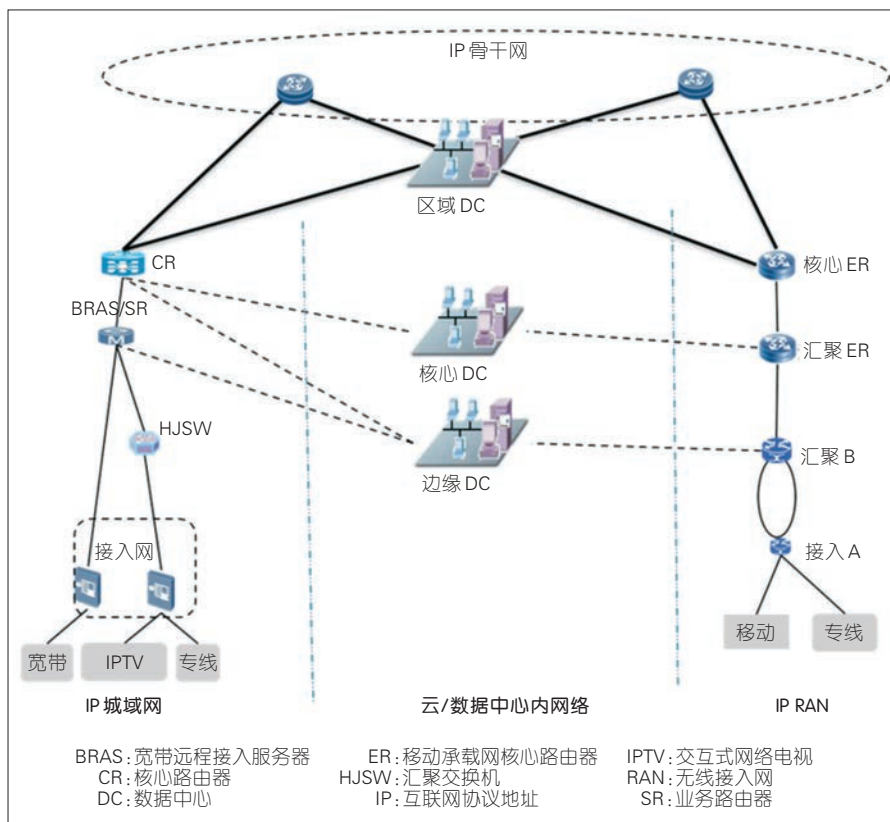
营商需要布局云网一体化总体战略,实现云网产品的差异化能力,打造技术领先和优质体验的优势,构建运营商B2B的“竞争力”<sup>[1]</sup>。

云网一体化需要将应用、云计算、网络及客户联通起来,提供一个端到端、完整、灵活、可扩展的方案,网络将按照云的要求提供网络资源(网络即服务),而云则根据应用的需要调用网络资源<sup>[2]</sup>。城域网作为用户/业务承载的重要入口,对运营商云网一体化的战略布局起着举足

轻重的作用。

### 1 城域网现状及问题

如图1所示,目前运营商在城域网范畴内普遍存在3种网络形态:第1种是承载公众用户宽带业务为主的互联网协议地址(IP)城域网,主要采用高端路由器和交换机设备组网,网络架构多为树型或口字型的扁平化架构;第2种是综合承载3G/4G移动回传业务和政企专线的IP无线接入网(RAN)/分组传送网



▲ 图1 城域网范围内以IP设备为基础的3类网络

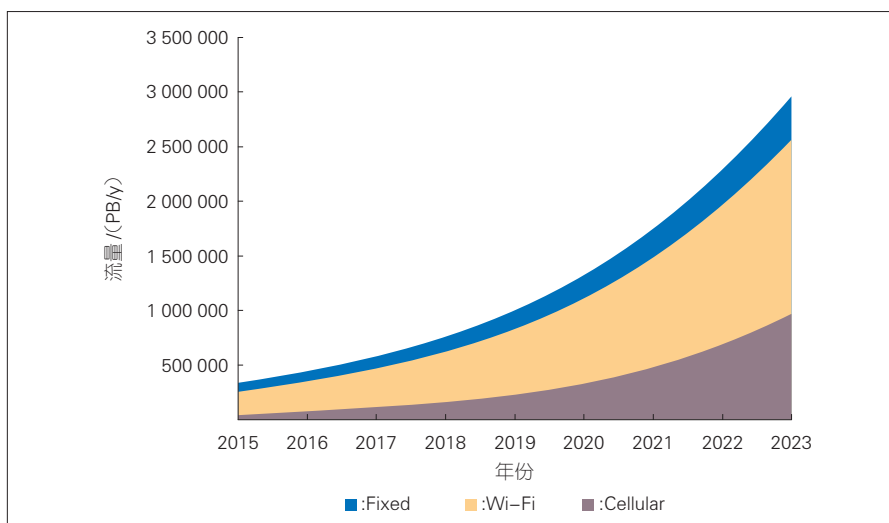
(PTN),主要采用IP RAN/PTN系列设备组网,网络架构多为环型或口字型架构;第3种是云/数据中心内网络,设备类型以交换机为主,网络架构通常为树型架构(传统数据中心)或叶脊(Spine-Leaf)架构(云数据中心)。这3类网络在城域范畴内形成多个网络域。

这种多域的树/环形网络架构在云网一体化趋势下将难以为继。一方面未来网络流量将大幅增长。根据2018年Ovum咨询报告中对全球流量的统计及预测,从2017年到2023年,来自移动和宽带网络的总数据流量将以31%的复合年增长率(CAGR)增长。其中移动网络的总流量增长更为迅猛,预计将增长近8倍,达到41%的CAGR,如图2

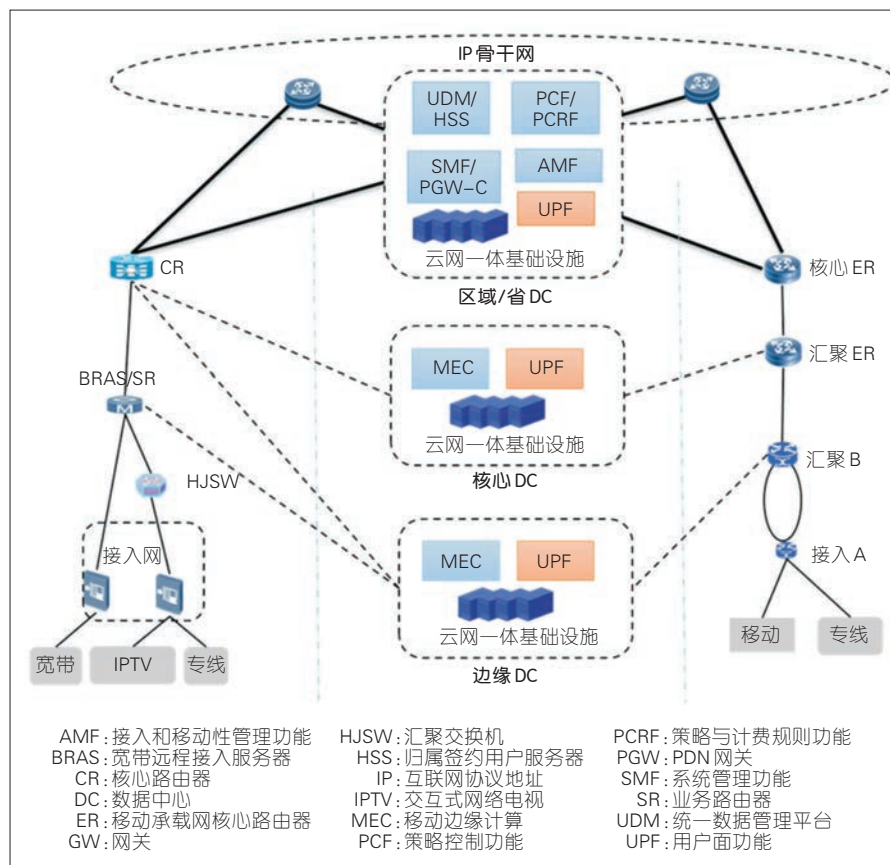
所示<sup>[3]</sup>。

另一方面,网络功能虚拟化(NFV)和5G的引入也将对城域网业务的流量、流向产生较大影响:(1)运营商在加速城域网虚拟化的

节奏。虚拟宽带远程接入服务器(vBRAS)等虚拟化网元在城域网开始规模落地,通过采用基于x86服务器的虚拟化网元方式将部分大会话、小流量业务从传统硬件BRAS设备上分流到核心数据中心(DC)集中部署,城域网网元功能逐步迁入到通信技术(CT)云中,城域网业务从现有的网元间通信演变为CT云资源池服务间的通信。(2)5G网络的建设已经铺开。“5G建设,承载先行”,承载网络对5G发展的重要性不言而喻<sup>[4]</sup>。5G提出的网络云化部署思路就是指5G用户面功能(UPF)将下沉到各级云/DC。UPF除了被部署在区域及省层面以满足互联网业务、IP多媒体子系统(IMS)/长期演进语音承载(VoLTE)业务需求外,还将分布在本地核心DC、边缘DC以及接入机房,以提高高带宽互联网业务本地化分流的能量,同时解决移动边缘计算(MEC)业务、高可靠低时延(uRLLC)业务对于低时延、低成本部署的需求(如图3所示)。这势必将导致用户面



▲ 图2 网络流量预测



▲图3 UPF在网络中部署的位置

流量的Mesh化和本地化,不仅带来传统的标准汇聚型的南北向流量,同时还会带来大量的分布式的东西向流量。

可以预见,未来的云网一体化中,城域内流量大幅增长,下沉节点的数量也将成百上千倍地上升,用户流量实现就近入云,大量流量将不再出城域。城域内的多域网络必然带来过多的流量绕转和大量的背靠背端口浪费等问题,同时硬件形态多样化和网络协议多样化也将给未来业务与网络部署以及运营管理带来巨大挑战。

为了应对上述问题,运营商已经着手研究并探索城域网未来发展方向,面向云网一体的新型城域网

成为研究的热点。

## 2 新型城域网的设计思路及关键问题

### 2.1 总体设计思路

中国电信于2016年发布《CTNet2025网络架构白皮书》,提出新一代网络架构将能够实现以下目标:(1)大幅提升网络能力和性能,创建强大的新一代信息基础设施;(2)以业务和技术创新推进降本增效,支撑提速降费,利国惠民;(3)打造开放新生态,支撑“双创”新引擎,向用户提供丰富的网络业务;(4)技术创新引领,支撑服务中国企业“走出去”<sup>[5]</sup>。

在CTNet2025战略指引下,新型城域网将面向未来业务需求,朝着简洁、通用、高效、智能的目标演进,以高效、动态的方式连接城域内大量的接入节点,逐步形成城域内的统一承载新平面。基于上述原则,新型城域网的主要设计思路有3个方面:(1)城域内网络架构及协议要进一步简化,以提升网络转发能力,形成超宽极简的承载平面,实现对多业务的高效承载;(2)网络设备以通用硬件为主,采用“商业芯片+定制化软件”或“白牌硬件+厂商软件”等模式实现设备层面的通用化;(3)提升网络智能感知和控制能力,为网络注智,实现网络智慧化运营。

### 2.2 关键问题

构建新型城域网是一项复杂的工程,从技术层面来看,涵盖网络架构设计、组网协议选择以及网络切片、网络监测等多种关键技术集成应用。其中,组网架构和协议用于简化网络,实现网络的通用化及可靠连接;网络切片技术面向用户提供业务切片,实现资源及连接的高效保障;网络监测技术则为网络注智,提升网络管理效率。

(1)基于通用设备的Spine-Leaf组网架构。

传统城域网多采用树型或口字型的扁平化架构,随着5G、云网融合业务规模部署,城域内网络流量本地化趋势更加明显,东西向流量占比进一步提升,Spine-Leaf架构开始受到关注。Spine-Leaf架构其实存在已久,该架构脱胎于无阻



塞交换网络架构,初衷是通过模块化设计,采用廉价、通用的交换机设备来搭建三层网络,实现网络架构规模、灵活、弹性扩展,满足数据中心内大规模东西向流量互通需求。

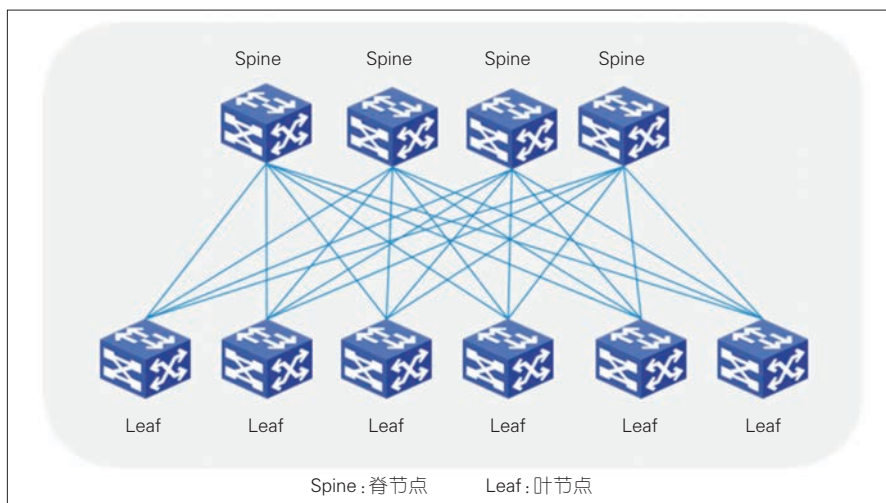
如图4所示,Leaf负责所有的接入,Spine只负责在Leaf间进行高速传输,网络中任意2个服务器都是Leaf-Spine-Leaf三跳可达的。Leaf和Spine间是Full Mesh的,即2个Leaf间可以通过任意1个Spine进行中继,Leaf通过等价多路径技术将不同的流量分散到不同的Spine上进行负载均衡<sup>[6]</sup>。Leaf和Spine均可以使用通用的交换机,基于不同角色突破单一节点设备能力限制,降低网络的构建成本,提高网络的可扩展性。该架构目前已在Facebook、阿里等大型互联网企业的数据中心成熟商用。

Spine-Leaf架构具备灵活伸缩能力,可根据不同场景差异化部署,后续需要视业务规模发展情况灵活扩展,实现城域内流量本地化及云化组网。未来基于Spine-Leaf架构组建新型城域网或将成为一种可行的技术方案。

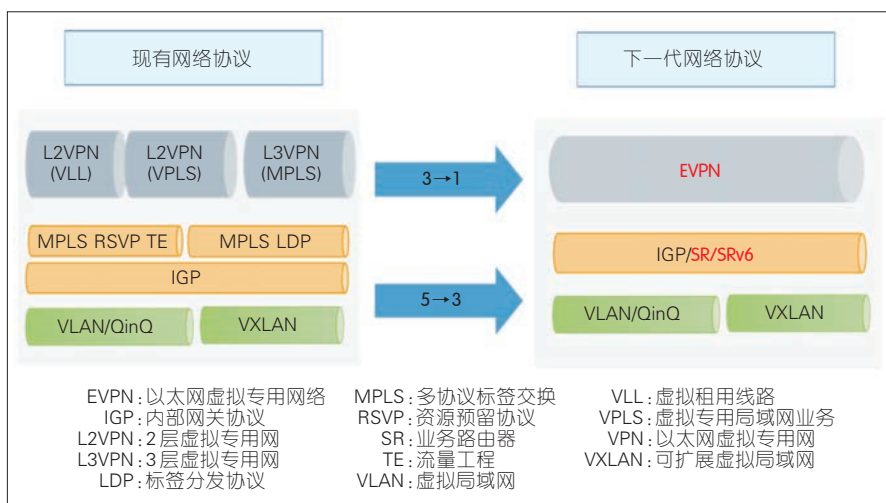
(2)标准化、简单化的下一代组网协议。

目前IP网络协议众多,配置复杂,自动化能力差,对网络运维人员能力要求极高。未来网络协议应满足简化设备配置,降低设备要求,提升运维效率等需求。协议简单化、标准化、自动化已经成为下一代网络协议发展的方向(如图5所示)。

下一代网络协议中,分段路由(SR)和以太网虚拟专用网络



▲图4 Spine-Leaf组网架构



▲图5 网络协议发展方向

(EVPN)是2个重要的协议,其中SR是基于源路由理念设计的在网络上转发数据包的一种协议,基于集中式控制面可实现按需路径规划与调度,提升底层网络资源随选能力,同时可兼容现有设备,保障现有网络平滑演进到软件定义网络(SDN)。SR具备可编程、易部署、维护/协议简化的特点,使得网络端到端的无缝互通变为可能。

而EVPN作为统一业务承载技术,基础标准已经完备,基于

EVPN+SR,可提供云网一体化环境下的L2/L3业务统一承载方案。

(3)采用网络切片满足业务差异化承载需求。

网络切片是指网络根据承载业务的自有特征和需求,对端到端的网络资源(网络功能、物理硬件及接口管道资源等)进行逻辑划分和封装,以满足不同业务对网络带宽、时延、可靠性等网络性能的服务质量(QoS)需求<sup>[7]</sup>。未来5G业务、家宽业务、2B业务等对网络能力要求有

明显差异,需要网络能够通过网络功能和协议定制,提供网络切片的能力,为不同业务/应用场景提供所匹配的网络功能,同时根据业务和用户的动态需求,进行资源的按需调整,提升网络的灵活性,实现业务动态隔离承载。网络切片模型如图6所示。

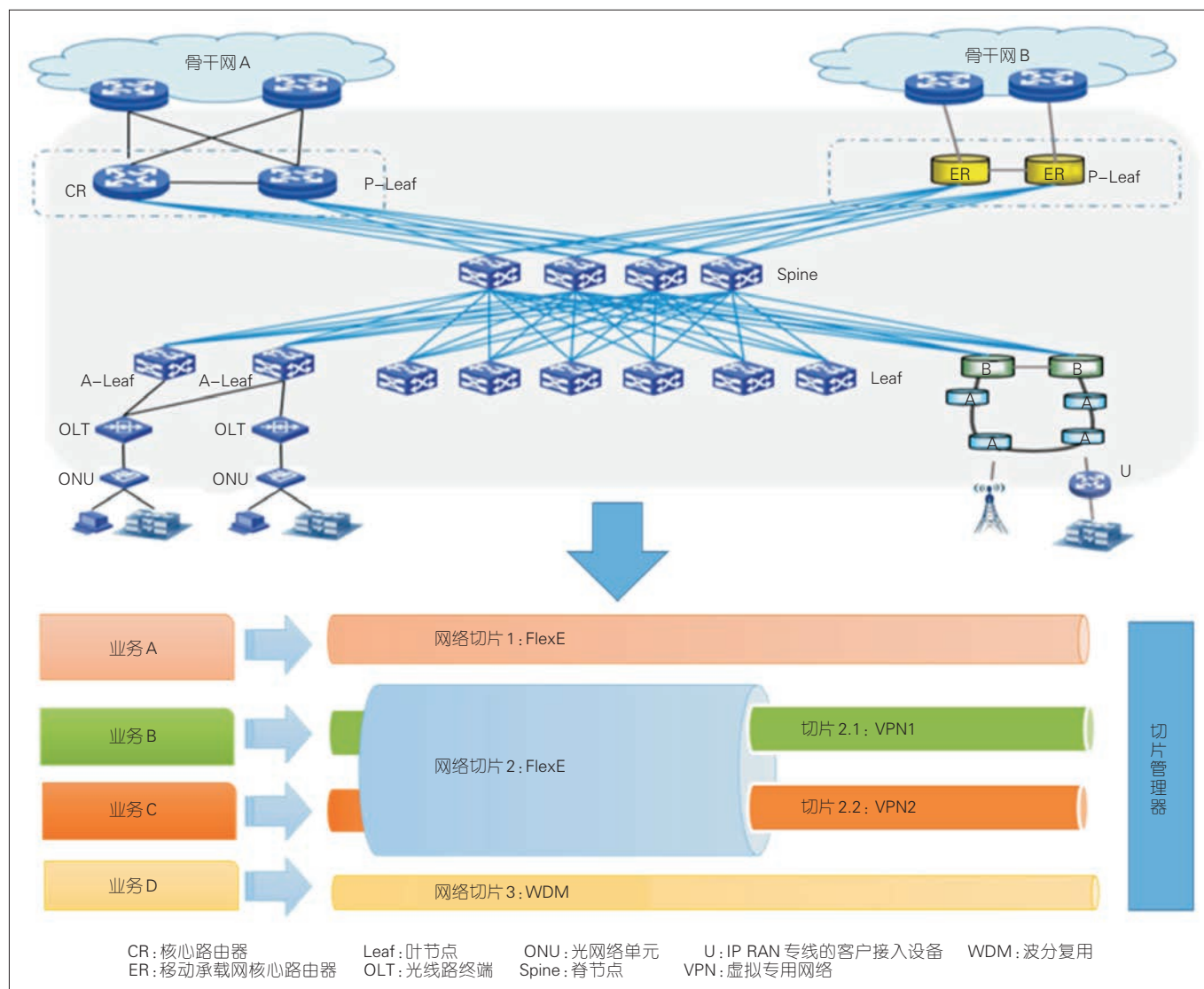
按照设备功能不同,网络切片具体可分为控制面切片和转发面切片2种:控制面切片是对节点及连接抽象,基于策略进行分组管理,形

成独立的逻辑切片。转发面的切片技术可分为软切片技术和硬切片技术:软切片是在二层(Layer 2)或以上,基于统计复用的切片技术,如基于IP/多协议标记交换协议(IP/MPLS)的隧道/伪线技术,基于虚拟专用网络(VPN)、虚拟局域网(VLAN)等的虚拟化技术;硬切片是在一层(Layer 1)或光层,基于物理刚性管道的切片技术,如FlexE技术、光传送网(OTN)技术、波分复用(WDM)技术等<sup>[8]</sup>。

未来城域网切片将结合控制面切片和转发面切片能力,重点关注切片生命周期管理、自动化切片管理、端到端统一编排等技术实现,以满足城域内各种业务的多样化承载需求。

(4)基于Telemetry的网络监测提升网络智慧化能力。

基于高效可行的网络监测采集技术,可以实现网络的可视化控制管理,充分掌握网络内的大数据,是实现未来网络智慧化运营的基础。



▲图6 网络切片模型

石。Telemetry 是一项远程的从物理设备或虚拟设备上高速采集数据的技术,设备通过推模式主动向采集器上输送设备数据信息,提供更实时、更高速的数据采集功能。Telemetry 模型架构如图 7 所示。

- 采样传感器:对指定采样路径的信息进行采集并上送;根据配置的采样路径和过滤条件对指定的数据进行采集和上送。

- 采集器:位于网管侧,接收传感器上送数据,配置完毕后,设备会与采集器建立一种由 Google 开发的通用远程过程调用框架(GRPC)连接,并且推送数据至采集器。

- 订阅关系:将采样传感器和采集器关联起来。如果需要取消订阅,则需要对设备进行重新配置。

- 分析器:位于网管侧,用于分析采集器接收和存储的网络设备上报的监测控制数据。

与传统的简单网络管理协议(SNMP)的 Trap 和 SYSLOG 采用的推模式相比,Telemetry 推送的数据范围更广,不但包括告警及事件,还可以采集类似接口流量等的监控数据,Telemetry 对网络监测控制效率的提升有着至关重要的作用。通过结合人工智能(AI)算力来实现网络的精细化检测和可视化管理,未来有望实现城域网络的智慧化运营。

### 3 城域网演进方案探讨

#### 3.1 新型城域网目标架构

如图 8 所示,新型城域网目标

架构将采用通用设备组网,基于 Spine-Leaf 架构实现固定和移动网络的融合统一承载,同时引入 FlexE、SR、EVPN 等技术,提供差异化服务能力,为不同客户群提供不同等级的切片网络。未来还可以基于 AI、Telemetry 等技术提升网络智能感知和控制能力,实现新型城域网的智慧化运营。

基于通用硬件实现网元的统一承载,一方面可以规避设备及芯片等产业链发展不确定性的风险;另一方面也降低了同时运营多张网络的难度,提高维护效率。

#### 3.2 新型城域网演进策略

新型城域网的构建不是颠覆性地推倒重来,而是需要从现网现状

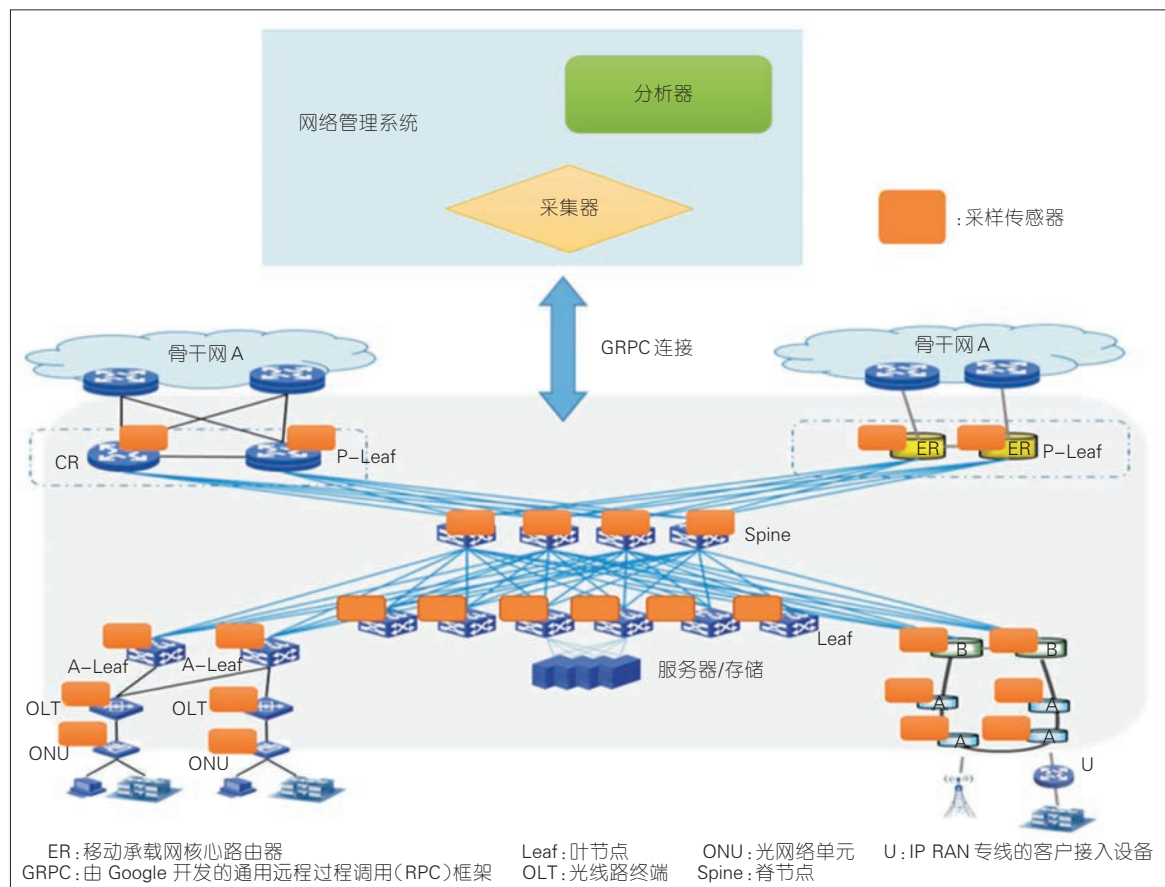
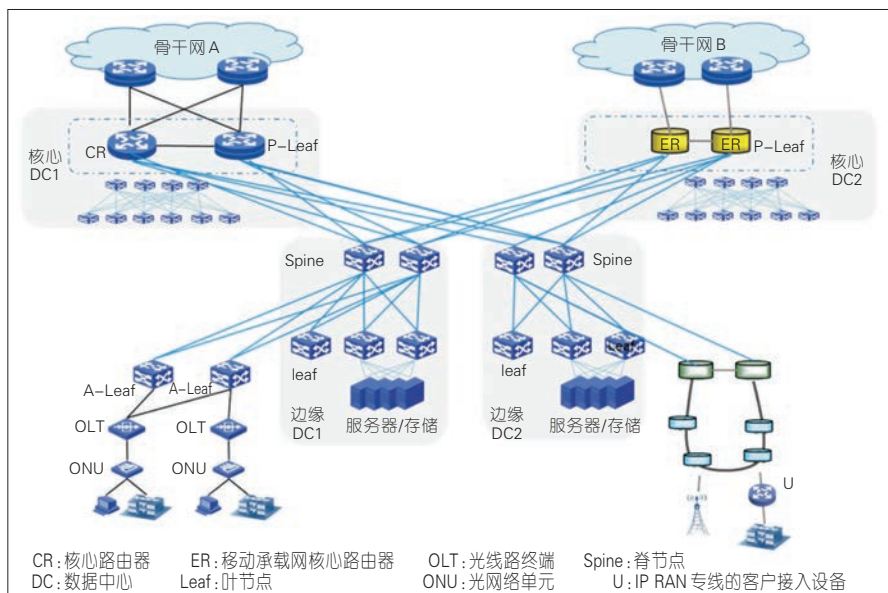


图 7  
Telemetry 模型架构





▲图8 新型城域网目标架构

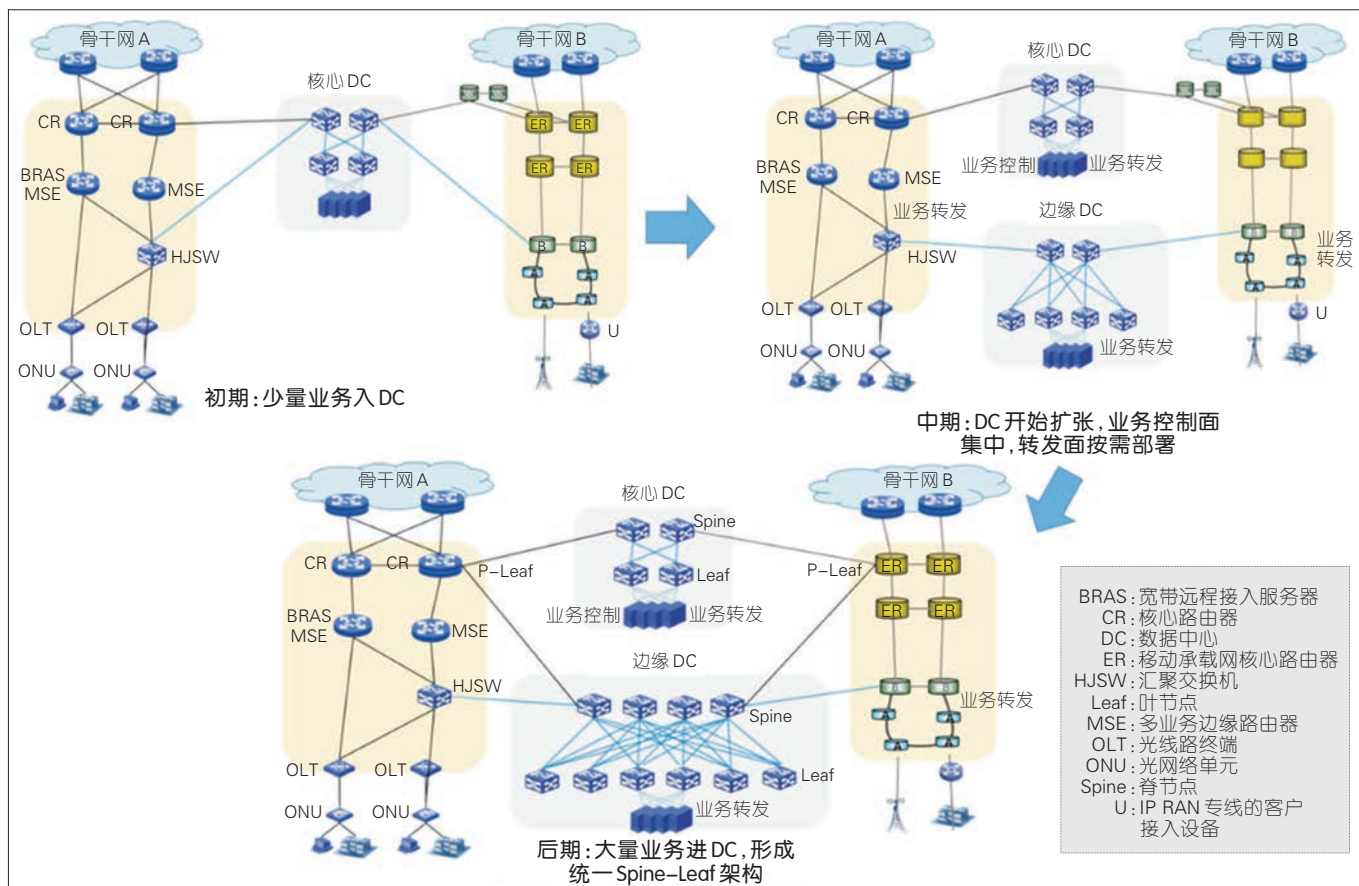
出发,基于各项技术研发进展,结合网络建设节奏,循序渐进实现平滑

演进。新型城域网演进初期可借助5G部署及网络云化契机,如通过引

入虚拟化BRAS,分区域将部分小流量大并发的业务从BRAS设备上分离出来,疏导至城域核心DC中集中处理;中期将业务转发面按照业务承载需求分布到各级DC部署,业务控制面统一上收到核心DC进行集中部署,实现对业务转发面的统一控制。还可根据迁移到DC的业务量有计划地建设DC网络,构建城域内的电信云,逐步实现以DC为核心组网的IP Fabric,同时将DC网络外延至IP城域网与IP RAN,以减少城域范畴内的流量绕转,如图9所示。

演进后期根据业务发展规划将城域网范畴内云/数据中心网络、IP

➡下转第27页



▲图9 新型城域网演进方案



# 云网一体使能网络即服务

## Cloud Network Convergence Enables Network as a Service

朱海东/ZHU Haidong

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



**摘要:** 随着云业务的深入部署,除接入和连接性服务外,云网运营商还须需要将网络端到端带宽和时延等服务质量保障能力作为网络服务提供给最终客户。云网运营商基于云网一体网络架构,通过部署性能测量和故障发现、基于性能的路由、流量统计和状态预测,以及多域编排等系统,满足客户对不同需求层级能力的要求,使能网络即服务(NaaS)能力,实现网络与云化业务的有机结合。

**关键词:** 云网;多云;NaaS;服务等级

**Abstract:** In addition to access and connectivity services, cloud operators also provide multi-factor quality of service (QoS) assurance capabilities (such as end-to-end bandwidth and delay) as the network service to end customers. The cloud network service provider enables network as a service (NaaS) by building performance measure and fault detection, performance aware routing, traffic statistics and state prediction, and multi-domain orchestration systems to match the hierarchy of service needs upon the cloud network architecture.

**Key words:** cloud network; multi-cloud; NaaS; service-level agreement

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902002  
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.tn.20190409.1517.004.html>

网络出版日期: 2019-04-09  
收稿日期: 2019-01-16

一直以来,网络规划人员采用自顶向下的设计方法构建并不断扩展数据通信网络,在过去的20年里成功地完成了业务和网络IP化过程。近年来,随着云计算的成熟应用以及信息技术(IT)行业与信息通信(IC)行业的交融,这种以需求为基础创建的网络通常无法如预期那样运行,也无法随网络规模的不断增长而扩展,无法满足客户的需求<sup>[1]</sup>。未来网络的规划设计应以数据和数据中心(DC)为核心,围

绕云化业务的需求进行,这已经成为IT和IC行业的共识。云与网有机结合将构成云网一体的新型信息系统架构。

### 1 云网的概念

云网(CloudNet)将云计算架构与网络能力相结合。云网一体架构充分利用软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)等技术提供的动态可编程能力,实现服务设施按需灵活部署。在该架构下,业务通

过跨Internet连接的若干数据中心协同提供,在提升资源利用率和业务可靠性的同时实现业务部署和管理的敏捷性<sup>[2]</sup>。

#### 1.1 云网一体参与方

在云网一体框架下,客户的业务由云业务服务商(CSP)和网络业务服务商(NSP)共同完成。CSP利用架设在数据中心之上的设备和资源,通过互联网或其他网络以随时获取、按需使用、随时扩展、协作共

享等方式,为用户提供数据存储、互联网应用开发环境、互联网应用部署和运营管理等服务。CSP通过云化数据中心提供服务,主要类型有软件即服务(SaaS)、平台即服务(PaaS)和基础设施即服务(IaaS)等。典型的CSP有阿里云、腾讯云、亚马逊AWS、微软Azure等。

除了公有云,互联网公司和政府、大型企业的私有云也是云的重要组成部分,如Facebook通过全球分布的数据中心为各区域客户提供服务,各级政府通过政务云提供便捷的公众服务。当私有云与公有云配合提供服务时,即成为混合云。

NSP则为客户提供网络接入服务、本地互连和跨地域骨干远程连接等服务,这些网络服务是综合电信运营商的基础电信业务之一。目前电信行业内一些运营商同时提供云服务和网络连接服务,转型为云网综合运营商,如中国三大运营商:中国电信(天翼云)、中国联通(沃云)和中国移动(移动云),它们都运营有各自的公用云和专有云业务;其他国家如西班牙电信(Telefónica)、德电(Deutsche Telekom)等传统电信运营商也纷纷进入公有云市场。

## 1.2 云网一体的研究范围

参照电气和电子工程师协会(IEEE)CloudNet委员会关注和研究的技术方向,云网一体架构分为以下几个技术领域<sup>[2]</sup>。

### (1)云网总体架构。

云网总体架构包括分布式数据中心架构、云数据中心大规模路由

组织方式、数据中心内/外部互访方式以及联合云和混合云组网等方面。业务的扁平化使得越来越多的数据中心网络引入Internet全球路由,实现跨地域的信息服务,这需要基于边界网关协议(BGP)路由属性和策略对流量流向进行优化控制。随着个人和政企业务上云的演进,联合云、混合云等多云方式部署也成为影响云网架构的重要推动力量。调研表明:81%的企业会采用多云策略,平均每个企业会使用5朵公用云和(或)私用云<sup>[3]</sup>。大型互联网公司如Twitter也转向了混合云方案,将其冷存储和Hadoop业务迁移到了Google云上。在多云环境下,端到端业务需要在多个网络域和管理域间完成交互协同。

### (2)云网资源管理。

云网资源管理根据业务需要动态按需提供计算资源、存储资源和网络带宽、服务等级等能力,涵盖的范围不仅包含数据中心基础设施和数据中心内部网络(DCN),还要包含数据中心互联网络(DCI),特别是通过多个NSP网络资源及CSP自用的骨干专网共同实现跨数据中心互联<sup>[4]</sup>。云网资源管理需要获取物理网络和虚拟拓扑的全局视图和资源使用状态,提供最优的资源调度和使用策略,提供弹性、可扩展的动态资源管理方案。

### (3)云网虚拟化技术。

云网虚拟化引入SDN转控分离架构和NFV虚拟网元,一方面可以实现业务部署的简化和自动化,提供敏捷服务,加速新业务上线速度;另一方面在多层、多域、多厂家

组网的复杂网络中提供端到端的管理和控制能力。分域化和层次化部署的SDN控制面还能够提供精细的控制粒度,提高系统资源利用率和运维效率。

### (4)云网业务和云网安全。

云网业务和云网安全包括SaaS、PaaS、IaaS、大数据和数据分析、内容分发、多业务边缘计算等业务场景及其相关的安全要求。

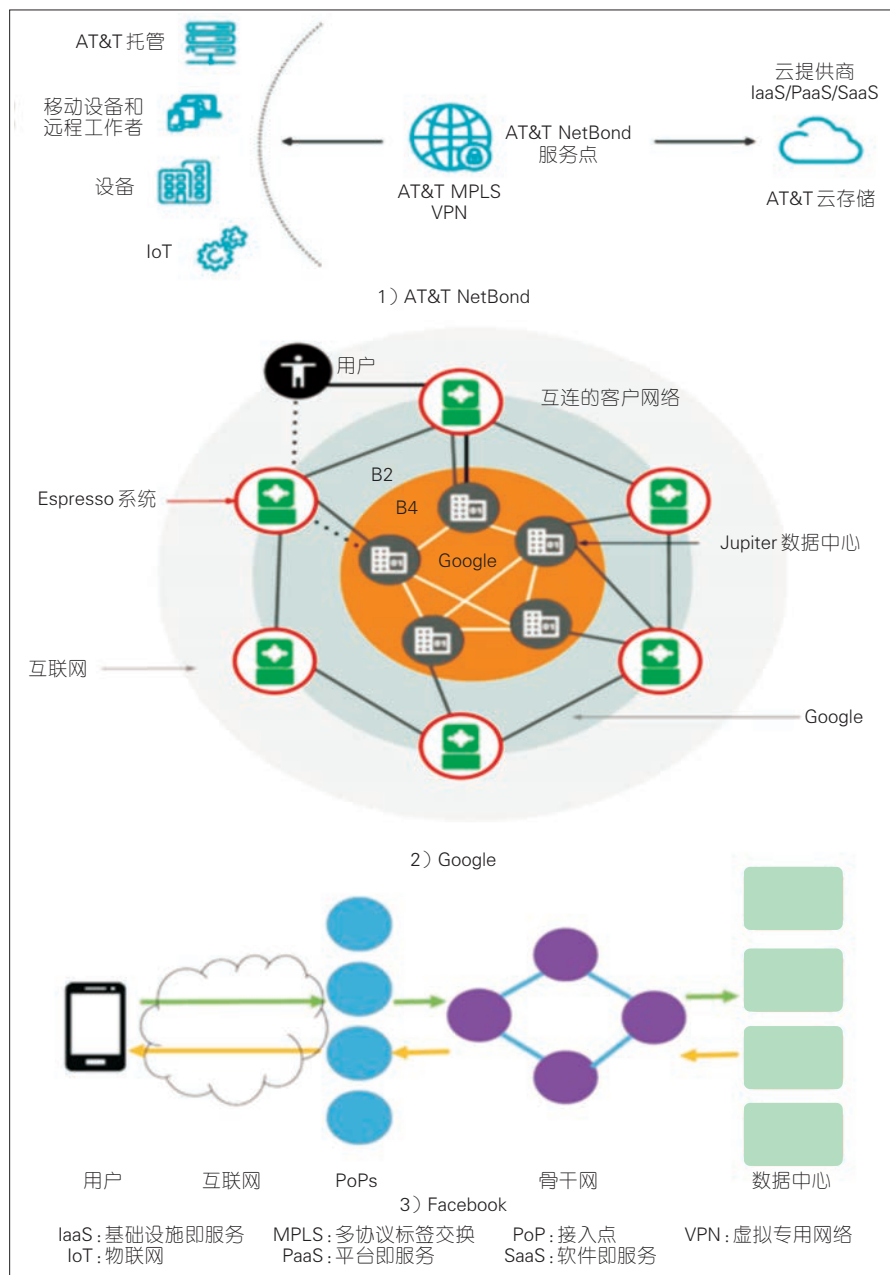
在云网一体架构下,为了保证端到端的业务体验,运营商还将提供给客户端到端带宽和时延等网络服务质量保障能力,从而实现网络即服务(NaaS)。

## 2 网络架构和业务需求

### 2.1 云网一体骨干网架构

对云网业务服务商而言,网络整体架构在很大程度上决定了业务组织方式和SDN/NFV等新技术的部署难度,从而影响资源优化利用所能达到的程度。从网络角度看,云网架构可以分为数据中心内外2个部分。数据中心内部DCN的目标架构主要有Fat Tree、Spine-Leaf等。数据中心之外的骨干网部分,得益于IP网与生俱来的互通性和可达性,目前NSP和CSP根据各自商业目标在其资源管控范围分别建设和发展各自的骨干网络系统。

如图1所示,AT&T针对企业入云提供了NetBond产品<sup>[5]</sup>,在网络中部署NetBond服务节点并与CSP背靠背接入,实现了AT&T企业多协议标签交换(MPLS)虚拟专用网络(VPN)和多云接入服务的整合,支



▲图1 AT&T、Google 和 Facebook 的网络

持用户接入私有云和公用云,还实现了带宽的按需扩展和连接的高安全保障。既是云服务商,又是内容服务商的 Google 拥有名为 B4 和 B2 的 2 张骨干网,前者由 33 个全球节点构成专用的大容量 DCI 网络<sup>[6]</sup>,后者在全球 70 多个区域完成 Google 数据中心与外部邻接运营商互通,

是终端用户访问 Google 的各种服务的必经通道<sup>[7]</sup>。Facebook 的网络由边缘接入点 (PoP)、全球骨干和若干数据中心构成。用户通过 Internet 接入各地 PoP 点,再经由骨干网访问数据中心,Facebook 的骨干网同时承载外部用户流量和内部数据中心 (DC) 间流量<sup>[8]</sup>。

从业务的视角看,上述 3 种骨干网架构没有把从最终用户到云中的、业务的全部端到端路径视为一个整体,实质上是在各自网络域内部进行的分段局部优化。根据 NSP 和 CSP 网络架构现状,用户端到端业务路径包含基础网络运营商 NSP 的接入/城域网、NSP-CSP 网间互通 PoP、运营商骨干网和 CSP 骨干/DCI 专网,以及数据中心内网 DCN 等。其中,互通 PoP 是新引入的网络节点,它不仅要完成传统 BGP 域间路由互通,还要满足业务互通对服务质量、安全隔离等要求,是实现业务端到端一致性的关键节点。当用户基于使用安全性和经济性等因素选择多网多云方案时,该方案还需要具备多个 NSP 和多个 CSP 间的多域资源组合优化和编排能力。图 2 分别展示了云网一体架构的单网单云和多网多云 2 种架构。

## 2.2 网络能力需求层级

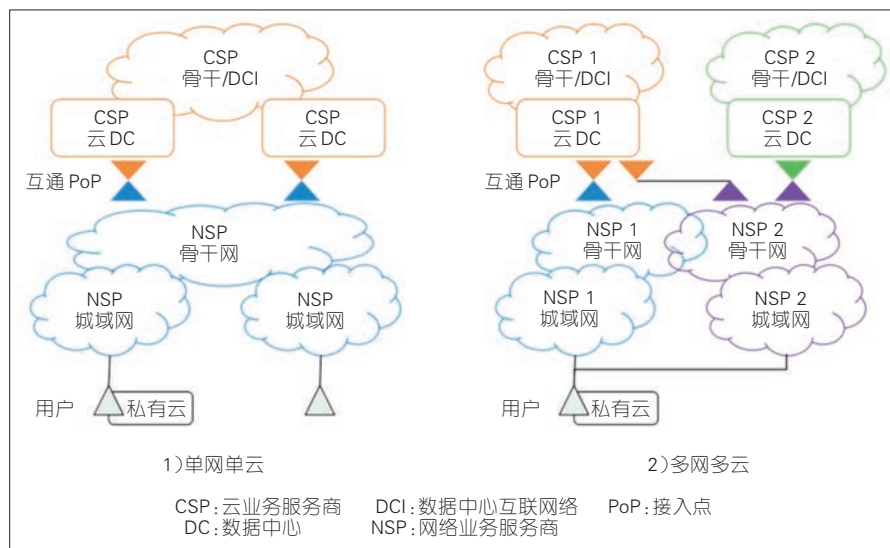
业务运营对网络能力的需求存在若干层级,如图 3 所示。

(1)最底层是网络物理带宽、物理覆盖范围和站点间可达性,这些属性是提供网络服务的基础。其中,物理带宽能力包含接入带宽和传输带宽能力。

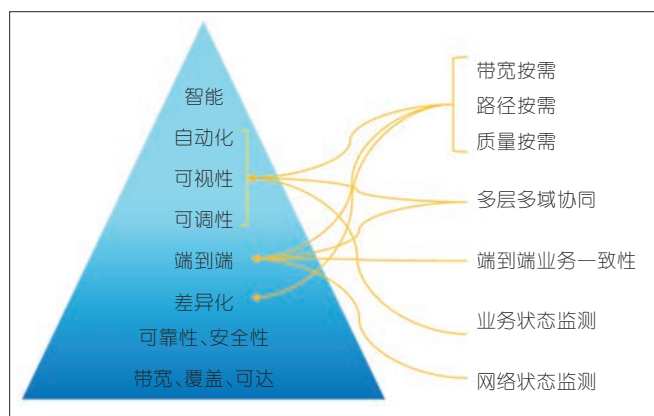
(2)按照开放式系统互联 (OSI) 7 层模型,可靠性和安全性可分为物理层到网络层 (L1—L3)、传输层到应用层 (L4—L7) 2 部分。前者主要由网络能力保证,后者则由业务应用软件来实现。

(3)网络差异化业务保证能力是多业务综合承载的要求,即在一





▲图2 云网一体骨干网架构



▲图3 网络能力需求层级

张物理网络上按照不同业务的服务质量等级分配相应资源,不同业务对网络服务关键指标不同,比如企业跨DC大量数据复制业务关注在一定时间内总数据吞吐量,而对网络时延和丢包相对不很敏感。基于WEB的交互式应用,除了带宽和丢包率之外,影响传输控制协议(TCP)效率的时延因素成为业务保障的重要指标。目前,云网业务的主要技术指标有带宽、时延和可靠性等<sup>[9]</sup>,云网运营商在保证各等级业务服务达标的过程中,不仅为价值用户提供了更多产品选择,也使

得网络资源得以充分利用。

(4)网络的端到端能力是指从用户终端到应用服务器的全路径业务保障能力,特别是业务路径可能经过一个或多个运营商的多个管理域,在相邻的管理域之间需要保证用户体验的一致性。通过引入SDN编排系统,消除各个网络域采用的不同技术的形式差异,完成不同管理域间在资源定义、业务定义和服务等级协议(SLA)定义的映射和转换,同时实现资源的优化配置。

(5)自动化、可视性和可调性是云网敏捷能力的体现,也是实现

NaaS的灵活按需能力的基础。在SDN技术架构下,云网运营者将网络控制和转发分离,通过集中的控制面获取全局的资源 and 资源利用信息,并在路由层面实现对业务端到端全局路径组合优化。借助SDN网络规划和业务部署工具,云网运营者还可以实现业务部署的简化和自动化过程。只有具备了自动化、可视性和可调性的网络,才能作为一种服务发布给客户。

(6)智能化是更加高阶的自动化,其目标在于实现基于意图的网络(IBNS),从而为云网资源的设计、实施、运营提供覆盖全生命周期的自动化能力,将业务需求和网络资源配置实时同步。

### 3 关键技术和系统

#### 3.1 性能测量和故障发现

云网业务的分布式天性使得最终用户的体验效果除了依赖应用软件外,还依赖于包括数据中心里的服务器、数据中心内外部网络以及运行在服务器上的虚拟化软件等组件的运行情况。从网络角度来看,云网运营商需要管理和保障数据中心内、数据中心间和用户到数据中心这3个网络域的业务带宽、时延和可靠性。研究表明当业务中断或体验下降时,用户很自然地将问题归结为终端问题和网络问题,而实际上50%的“网络”问题并不是由网络引发的<sup>[10]</sup>,因此,云网运营商需要有效的性能测量系统。

Ping探测是一种检测网络L3连通性和丢包率的通用手段。NSP



用 IP Ping 探测网络边界间的连通性, CSP 则使用 TCP Ping 和 HTTP Ping 检验业务层的连通性。显然后者更能符合用户端到端体验,但会存在2点问题:(1)针对网络中每用户每应用的测量不仅占用终端和服务器的计算资源,同时其产生的海量测量数据需要存储和管理,例如 Microsoft Ping mesh 系统每天可以产生 2 000 亿个探针和 24 T 字节的数据<sup>[10]</sup>, Facebook 为了降低对资源的需求采用随机选择部分业务进行测量<sup>[11]</sup>;(2)将 CSP 应用层的测量结果应用到 NSP 网络层资源管理的映射关系是十分复杂的,特别是中间网络的路径上汇集了不同等级的海量应用,针对特定应用的网络问题根因分析缺少自动化手段。网络吞吐量与时延的性能测量分为带内和带外,带内的方式就是在报文头中设置或添加探针字段,在测量点统计性能指标,网络中间节点无感知。带外的方式则通过在网络中增加独立的探针数据流。由于数据网络的逐跳转发天性,这种方式无法保证探针流与业务流全程同路径。

基于业务的网络性能测量是支撑云网运维的重要手段,国际互联网工程任务组(IETF)正在研究、发展的 In-band 操作管理维护(OAM)采用带内机制,在数据包头增加 OAM 字段来实现对网络故障检测、路径测量、流量等的监测,有望成为各种隧道封装统一的测量机制。

### 3.2 基于性能的路由

基于路由的 L3 寻址是实现网络可达的基础手段。现有的内部网

关协议(IGP)和 BGP 协议在路由计算中对网络性能,特别是链路利用率、拥塞丢包性能、路径时延等实时动态性能变化并不敏感。云网业务通常跨越多个网络域,在域间运行的 BGP 协议为距离-矢量协议,其自身甚至对带宽也不敏感,所以依靠目前的 IGP 和 BGP 协议,无法针对业务的服务质量需求和网络性能的变化自动调整业务路由。为此,基于 IP/MPLS 和 SDN/Openflow 的流量工程隧道被引入到网络中完成流量流向的调整。隧道封装方式可以有很多种:虚拟局域网(VLAN)、虚拟可扩展局域网(VXLAN)、通用路由封装(GRE)、MPLS、分段路由(SR)等,云网运营商可以根据自身网络设备的支持情况和技术布局选择具体方式。

鉴于网络中业务种类的多样性和不同业务对网络资源需求的关联性,优化对象只能是网络中的高价值流量,或对整网带宽占用显著的、数量少流量高的“大象”流<sup>[12]</sup>。针对这些高价值流量,应用上节讨论的性能测量结果,采用 SDN 集中控制方式调整流量路径,从而优先保障这些业务的质量。在同一个网络管理域中,可以为高价值流量建立端到端流量工程优化路径,当存在对丢包、时延等不敏感的背景流量时,网络带宽资源利用率可以接近 100%。从网络资源全局优化角度,业务等级数量越多不一定会使得优化效果更好。过多的业务等级使得资源分配算法更加复杂,流向调整引起的网络收敛速度也可能受到影响,甚至导致出现网络震荡。目前

在实践中,部署 2~4 个业务等级即可取得较好的调优效果。

### 3.3 流量统计和状态预测

基于性能的路由落地须要准确地统计当前在网业务流量并预测调整后的网络状态。使用简单网络管理协议(SNMP)可以以秒级粒度收集网络设备接口流量,业务级流量记录则需要使用 Netflow/IPFIX、sFlow 等基于采样的工具,云网的控制面需要将这些信息与网络拓扑结合,生成网络资源矩阵和流量矩阵。网络中某个路径性能与该路径上的负荷有关,而负荷是实时变化的。当负荷的变化主要是由控制面基于策略主动发起的,在一段时间内具有可预测性,使用流量工程 TE 技术进行网络资源优化才可行。这个时间段就是 TE 调整的窗口,在这个窗口期内,要根据网络性能完成 TE 策略的计算或下发生效。Facebook<sup>[11]</sup>和 Google<sup>[12]</sup>分别在边缘 PoP 和 DCI 场景实现了频度在 30 s 的调优方案。面对云网系统海量的业务流,Telemetry 技术提供效率更高的信息上报通道,可以提供更加精细的流量状态信息,进一步提高调优算法的效果。

### 3.4 多域编排

对一个由多域异构网络承载的业务,其网络转发面端到端路径可由多种制式的隧道拼接而成,控制面则归属于多个 NSP 和 CSP 的管理域范围。如图 4 所示,这需要引入多域编排(MDO)系统,完成多种技术和多个运营商间的资源管理、业

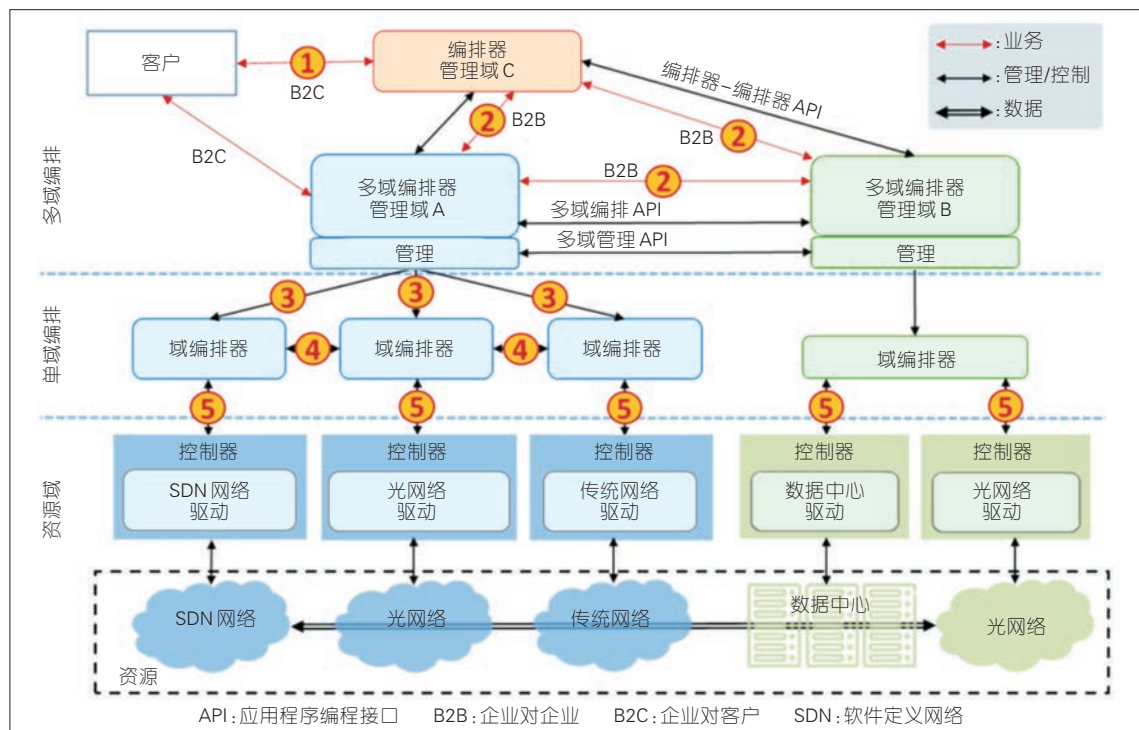


图4 多域编排系统框架

务管理和域间SLA协同<sup>[13]</sup>。单域编排器从SDN控制器获取资源信息后进行本域的资源编排和业务编排，并与邻接域的单域编排器互通。多域编排器则通过应用程序编程接口(API)与本管理域中各下级单域编排器实现通信，完成多个子域间的协同编排，并实现对端到端业务的SLA保障。

## 4 结束语

在业务上云和多云时代，云网一体是ICT融合的必由之路。云网运营商发掘和扩展网络能力，将基础网络接入能力、连接保障能力、按需SLA能力与云化业务需求相结合，提供满足用户对高品质灵活服务的需要的新型网络服务，提升网络资源的商用价值，实现供需双赢。

### 参考文献

[1] OPPENHEIMER P. 自顶向下网络设计(第3版)

[M]. 北京:人民邮电出版社, 2011

[2] IEEE- Cloudnet about CloudNet[EB/OL].

[2019-01-10]. <http://cloudnet2018.ieee-cloudnet.org/about.html>

[3] 2018 State of the Cloud Report [EB/OL].[2019-01-10]. <https://www.rightscale.com/lp/state-of-the-cloud>

[4] NGUYEN C L, PING W, DUSIT N. Resource Management in Cloud Networking Using Economic Analysis and Pricing Models: A Survey [J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2017,19(2): 954-1001.DOI: 10.1109/COMST.2017.2647981

[5] AT&T NetBond Product Brief [EB/OL].[2019-01-10]. <https://www.business.att.com/products/netbond.html>

[6] CHIYAO H, SUBHASREE M, MOHAMMAD A. B4 and After: Managing Hierarchy, Partitioning, and Asymmetry for Availability and Scale in Google's Software-Defined WAN [C]//SIGCOMM 2018. Budapest, Hungary: ACM, 2018. DOI: 10.1145/3230543.3230545

[7] KOK Y, MURTAZA M, JEREMY R. Taking the Edge off with Espresso: Scale, Reliability and Programmability for Global Internet Peering [C]// SIGCOMM '17 Proceedings of the Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication. Los Angeles, USA: 2017. DOI: 10.1145/3098822.3098854

[8] SUNG E Y, TIE X, WONG H Y S, et al. Robotron: Top-down Network Management at Facebook Scale[EB/OL].[2019-01-10]. <https://research.fb.com/publications/robotron-top-down-network-management-at-facebook-scale/>

[9] CHRISTOPH A, AJAY B, EMILLIE D. Capacity Planning for the Google Backbone Network [EB/OL].[2019-01-10]. <https://ai.google/research/pubs/pub45385>

[10] CHUANXIONG G, LIHUA Y, DONG X.

Pingmesh: A Large-Scale System for Data Center Network Latency Measurement and Analysis[EB/OL].[2015-08-23][2019-01-10]. <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/pingmesh-large-scale-system-data-center-network-latency-measurement-analysis/>

[11] BRANDON S, HYUJEONG K, TIMOTHY C. Engineering Egress with Edge Fabric: Steering Oceans of Content to the World [C]// SIGCOMM 2017. USA: ACM, 2017. DOI: 10.1145/3098822.3098853

[12] ALOK K, SUSHANT J, UDAY N. BwE: Flexible, Hierarchical Bandwidth Allocation for WAN Distributed Computing[EB/OL].[2019-01-10]. <https://ai.google/research/pubs/pub43838>

[13] RICCARDO G, DAVID P, PAOLO M, et al. Multi-Domain Orchestration and Management of Software Defined Infrastructures: a Bottom-Up Approach[C]// 2016 European Conference on Networks and Communications. IEEE Communications Society. USA:IEEE, 2016

### 作者简介



朱海东,中兴通讯股份有限公司产品规划总工;主要从事数据通信产品和网络规划设计等工作。



# SD-WAN 关键技术

## Key Technology in SD-WAN

柴瑶琳/CHAI Yaolin, 穆域博/MU Yubo, 马军锋/MA Junfeng

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

**摘要:** 软件定义广域网(SD-WAN)是将软件定义网络(SDN)技术应用于广域网(WAN)连接的服务。重点阐述了 SD-WAN 应用的关键技术,包括 SD-WAN 服务中 4 种典型技术架构、SD-WAN 的整体功能模块以及边缘设备中所采用的关键技术。与传统的 WAN 架构相比,SD-WAN 技术以一种多接入、安全、策略驱动业务、弹性路由、多虚拟隧道、敏捷上云的方法重新定义了开放式的 WAN 架构。

**关键词:** SD-WAN 安全;策略驱动业务;弹性路由;多隧道;敏捷上云

**Abstract:** The software-defined wide-area network (SD-WAN) is a specific service that applies the software-defined network (SDN) technology to WAN connections. The key technologies of SD-WAN are discussed in this paper, including the technologies used in the following items: four typical technology architectures, the overall functional modules, and the edge devices. Compared with traditional WAN architecture, the SD-WAN technology redefines the open WAN architecture with a multi-access, security, policy-driven service, flexible routing, multiple virtual tunnels, and agile touching cloud approach.

**Key words:** SD-WAN security; policy-driven services; flexible routing; multi-tunnel; agile touching cloud

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902003  
网络地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190326.1729.004.html>

网络出版日期: 2019-03-26  
收稿日期: 2019-01-28

软件定义广域网(SD-WAN)是将软件定义网络(SDN)技术应用到广域网(WAN)场景中的一种服务。这种服务用于连接广阔地理范围的企业网络,包括企业的分支机构及数据中心<sup>[1]</sup>。SD-WAN 架构不依赖于专有的物理设备,与必须做预配置的多协议标签交换(MPLS)链路相比,弹性地解决了多分支结构企业网络在支持差异化服务等级应用能力、网络灵活度、线路成本、安全传输等方面正面临持续

增长的压力。

根据互联网数据中心(IDC)的数据,SD-WAN 市场将从 2017—2022 年以 40.4% 的复合年增长率增长,销售额达到 45 亿美元<sup>[2]</sup>。

现有市场的 SD-WAN 技术实现方案有多种:如 VMware 的 SD-WAN 架构包含边缘应用程序、编排和云网关,提供企业和云应用程序以及数据的直接最佳访问点,同时支持在云端和内部部署虚拟服务,显著增强自动化运维能力;思科和

华为为提供 WAN 连接制作了不同功能和性能需求的广域网边缘设备,更加关注广域网优化功能。通信服务提供商也正在提供 SD-WAN 即服务产品。SD-WAN 即服务通过常规宽带连接补充或替换通常为 MPLS 的专用 WAN 网络,最大限度地提高了企业管理基础架构和连接的灵活性。中国电信随选网络系统由业务门户、SDN 编排器、SDN 控制器、SDN 设备 4 大组件构成,该系统基于 WAN 和骨干网设备的集



中控制和全局网络资源的管理,根据不同服务和应用来实时动态建立端到端的 WAN 逻辑路径,优先满足一些高带宽、低时延、低抖动的敏感应用,包括语音、数据、视频、自动驾驶、虚拟现实(VR)等应用,实现了 SD-WAN 即服务技术<sup>[3]</sup>。

随着企业上云需求的不断提高,现有企业在云场景中跨境数据传输和运用客户关系管理系统(CRM)、企业资源计划(ERP)等高端应用时经常面临丢包、延迟、卡顿等无法正常使用的情况。SD-WAN 技术通过集成在多云边缘的网络功能和策略,提供了面向多云场景中简易运维、即用即用、可靠、易扩展的云化企业专线来保障多云环境下的企业业务运转,重塑了企业上云的生态过程。但要真正成为企业级 SD-WAN 服务标准,SD-WAN 技术方案还须提供一些关键功能,如多个传输路径、集中控制和自动化,以及端到端安全性<sup>[4]</sup>。

## 1 SD-WAN 架构

SD-WAN 架构将部署在各个地理位置的企业网络(包括分支机构或数据中心)通过 WAN 接入技术相互连接。如图 1 所示,不同的 SD-WAN 架构以 SD-WAN 控制器对网络域的控制边界为准,划分为 4 种典型的 SD-WAN 架构方式。

(1)叠加架构。该架构改变了传统的 WAN 业务模型,由单一的 WAN 接入方式变为多接入方式。同时,SD-WAN 控制器控制了边缘设备到网关的上行流量,简化了 WAN 的操作和管理,使业务模型更

弹性、更灵活,例如分支到分支的业务流量由分支到数据中心再到各个业务分流变为直接跟随业务分流。这种架构适合中小规模企业组网。

(2)云端架构。该架构集成 SD-WAN 服务提供商所部署的多个入网点节点,是 SD-WAN 服务提供商向大规模多分支公司推荐的一个经典架构。SD-WAN 服务提供商在接入点(PoP)节点部署虚拟边缘路由器(vPE)或网关(GW),一侧与各个分支的边缘设备建立虚拟专用网络(VPN)隧道,另一侧与通信服务提供商的 MPLS 网络中的 PE 设备直连。这种 SD-WAN 架构支持将汇聚上来的流量通过多个隧道转发到运营商的 MPLS 骨干网中,进而保障了端到端不同业务的服务质量。

(3)整合架构。网络管理域由可纳管多个边缘设备扩大到可纳管 1 个或多个通信服务提供商的 MPLS VPN 的运营商边缘路由器(PE)设备(如图 1 中混合 WAN 中的

网关),集成多种 overlay 技术,打破了多个通信服务提供商的统一和自动化管理的通信壁垒,有效提高了网络性能和混合组网能力。

(4)原生架构。该架构主要面向运营商。SD-WAN 控制器统一管理边缘设备、网关设备、骨干核心网 PE、运营商骨干路由器设备,实现了业务流量从“最后一公里”接入到骨干网统一管理和编排的完整架构,从全网意识上实时监测控制和调度网络流量以及各种业务状态,以保障端到端的服务质量。

## 2 SD-WAN 功能模块与关键技术

本文中,我们将 SD-WAN 功能切分为 4 层:运营支撑系统(OSS)/业务支撑系统(BSS)层、服务编排器层、SD-WAN 控制器层,以及 SD-WAN 边缘设备层,各层具体情况如图 2 中所示。

(1)OSS/BSS 层。在 SD-WAN 技术架构中,OSS/BSS 层主要支持

图 1  
SD-WAN 架构图

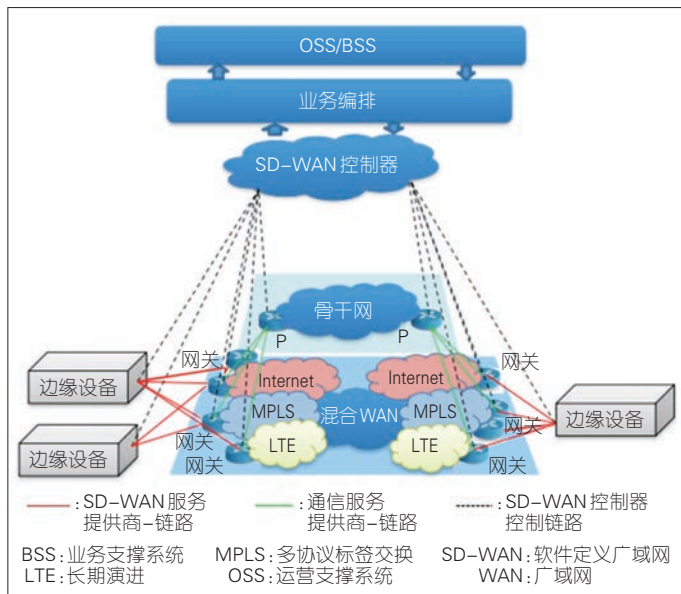






图2  
SD-WAN功能模块图

将业务配置、业务变更、监测控制、可视化、计费管理、运维功能于一体的面向自动化信息管理和智能化运营的支撑系统。

(2) 服务编排器层。在SD-WAN技术架构中,服务编排器负责编排整套服务生命周期的服务。服务编排器提供多种管理模板,支持配置端到端管理业务的多种策略定义和资源统一编排功能,提供开放的RESTful接口,敏捷部署新业务。

(3) 控制器层。SD-WAN控制器支持软件化、集中化、自动化管理边缘设备。SD-WAN控制器与边缘设备建立安全连接,通过执行服务编排器下发的各种策略,向各个边缘设备分发路由协议并支持实时感知边缘设备状态。同时SD-WAN控制器支持实时采集流量信

息,并可快速应对网络异常情况进行弹性路径调整。

(4) 边缘设备层。边缘设备是创建和终止SD-WAN隧道连接的终端设备。边缘设备支持常见的SDN南向接口协议,支持零接触配置(ZTP)部署能力,支持安全隧道绑定功能,支持识别多种应用程序功能,支持面向应用的访问控制策略,并还可以支持路由协议。

边缘设备层对应的边缘设备在市场上主要由客户终端设备(CPE)、通用客户终端设备(uCPE)、虚拟客户终端设备(vCPE)3种设备形态组成,3种设备的功能对比如表1所示。CPE是SD-WAN服务提供商提供的专用硬件设备。uCPE是一个支持运行虚拟网络功能(VNF)的可远程管理的基于物理

硬件的通用平台。通过uCPE,SD-WAN服务提供商可以实现WAN的轻松部署、修改,以及客户端VNF的删除。vCPE是一种通过使用软件而不是专用硬件设备向企业提供网络服务的方法。通过vCPE,供应商可以大大简化并加速服务交付,远程配置和管理设备,并允许客户订购新服务或根据需求调整现有服务。vCPE是网络功能虚拟化(NFV)部署的主要推动力之一。

边缘设备的关键功能包括ZTP、动态隧道建立、WAN优化、自动化检测与服务质量(QoS)、动态功能服务链、应用程序识别、动态路径调整、安全。

(1) ZTP。ZTP是一种允许自动配置物理节点的机制,该机制将解放边缘设备的北向接口,使边缘设备与SD-WAN控制器形成一个从设备加电到设备与控制器互信互通的完整自动化部署的业务态。

(2) 动态隧道建立。在SD-WAN场景中,动态隧道VPN技术支持使用动态的IP地址来建立企业自己的VPN网络,并由SD-WAN控

表1 边缘设备CPE、uCPE、vCPE功能对比表

功能	CPE	uCPE	vCPE
ZTP	√	√	√
动态隧道建立	√	√	√
自动化检测与QoS	√	√	√
WAN优化	√	√	√
动态功能服务链	--	√	√
应用程序识别	√	√	√
动态路径调整	√	√	√
安全	√	√	√
VNF+	--	√	√

CPE: 客户终端设备  
QoS: 服务质量  
uCPE: 通用客户端设备  
vCPE: 虚拟客户端设备  
VNF: 虚拟网络功能  
WAN: 城域网  
ZTP: 零接触部署

制器来集中完成隧道的建立和路由的分发。动态隧道 VPN 技术主要有可扩展虚拟局域网(VXLAN)、通用路由封装(GRE)、无状态传输隧道(STT)等。

(3) WAN 优化。在 SD-WAN 方案中 CPE 会支持 WAN 优化功能。WAN 优化功能主要有以下技术实现:数据压缩,利用算法压缩/解压缩数据包头;数据消重,对高频次的数据进行编码并利用指针替换;内容缓存,统计热点内容,进行边缘存储和本地访问直接分发;传输控制协议(TCP)优化,利用优化 TCP 协议过程来改善标准 TCP 的拥塞控制和重传机制等<sup>[5]</sup>。

(4) 自动化检测与 QoS。SD-WAN 技术方案根据实时网络路径传输性能(主要包括丢包率、时延、时延抖动、带宽利用率)来动态选择路径转发,弹性保障上层应用的服务质量。SD-WAN 技术架构中将网络链路的性能检测分为被动方式和主动方式:主动测量方式主要利用探针技术主动探测业务流,以 Internet 控制报文协议(ICMP)、双向转发检测机制协议(BFD)、连接故障管理(CFM)、单向主动测量协议(OWAMP)技术实现为主;被动测量方式主要是通过边缘设备上定制可自动统计和过滤网络相关性能指标的算法或协议栈功能。

(5) 动态功能服务链。动态功能服务链与底层的物理拓扑相隔离,可通过 SD-WAN 技术架构中的服务编排器和控制器来自动创建、增加、删除、移动网络服务功能,提升了网络架构的可扩展性。动态功

能服务链技术主要是通过将 SDN 技术与 NFV 技术相结合,即在业务编排器层通过策略驱动资源(包含网络资源、计算资源、存储资源等)的统一编排来组合不同服务功能,同时下发流量分类策略到控制器层来动态控制数据转发路径,实现面向用户业务的不同需求。

(6) 应用程序识别。边缘设备的应用程序识别技术主要是采用深度包检测(DPI)技术,主要包含协议解析器、检测算法引擎、检测结果处理功能模块等。在 SD-WAN 技术架构中,DPI 通过将业务流量的前几个数据包给协议解析器对应用层协议进行解析,同时并行镜像给检测引擎,检测引擎将业务流量与应用间的映射关系写入边缘设备的缓存数据库中,后续的同—业务流数据包将直接匹配映射关系,因此缓存数据库不再镜像给检测引擎而直接进行后续的检测结果显示。另一方面,后续检测结果处理功能模块会根据不同的应用 ID 与特征进行差异化的数据路径转发,进而实现完整的应用程序识别过程。

(7) 动态路径调整。在 SD-WAN 技术架构中,动态路径调整的实现方式是将多个 WAN 线路绑定到一起,共同提供业务传输服务,尤其在检测到某个 WAN 线路的传输质量较差时,可以将业务直接切换到其他 WAN 线路或者均衡一部分业务流量到其他 WAN 线路。隧道绑定技术可以实现不同流不同线路、不同应用不同线路、不同数据包不同线路 3 种颗粒度的 WAN 传输。

(8) 安全。安全的实现贯穿整

个 SD-WAN 技术架构。SD-WAN 技术架构一般通过集成认证服务器/公钥生成(PKI)服务器,或对接第三方的提供轻量目录访问协议(LDAP)/远程身份验证拨入用户服务的服务器(RADIUS)来实现身份认证服务功能,包括对边缘设备的 ID 注册认证、SD-WAN 控制器的 IP 登记认证、VNF 序列号注册认证等。在 WAN 传输的安全技术主要是通过 2 种密钥加解密的 IPSec 技术来保障。第 1 种是因特网密钥交换协议(IKE)身份认证的密钥,第 2 套是数据流加密的密钥。第 2 套密钥在传统方案中是通过去中心化加密通信框架(DH)来分布式计算;但在一些 SD-WAN 方案里则会直接由 SD-WAN 控制器来进行同步,并周期性地更新这个密钥,以实现关键帧加密保护。SD-WAN 技术架构中的控制信道主要是将一般使用的路由协议嵌套在安全套接层协议(SSL)/传输层安全协议(TLS)/数据包传输层安全协议(DTLS)协议来实现加密。由于 MD5 的破解难度低,针对边界网关协议(BGP)安全,在 SD-WAN 技术方案中一般会选择嵌套在 IPSec 协议中。针对 SD-WAN 业务层的安全,一般使用缓存、访问控制列表(ACL)、防火墙(FW)、深度数据包检测(DPI)技术手段或者通过集成第三方的 VNF 如入侵检测系统(IDS)、入侵防御系统(IPS)、下一代防护墙(NGFW)功能来保障。

### 3 应用场景

根据边缘设备的部署位置,我

们将SD-WAN应用场景划分为3大类:分支到分支、分支到数据中心、分支到云。

(1)场景1:企业分支+企业分支场景。

企业在各个分支机构部署边缘设备,然后通过安全可靠的WAN专线来实现分支结构之间的互联互通。**图3**经常使用的解决方案中的WAN专线底层技术包括GRE、IPSec、VXLAN等等。这种应用场景将可支撑企业进行数字化信息化转型。

(2)场景2:企业总部(数据中心)+企业分支场景。

在**图4**的应用场景中,企业会在MPLS专线的基础上增加通过不同的ISP提供的Internet连接企业总部。在分支和数据中心所部署的边缘设备,支持基于网络的实时状态,将业务动态分发到总部和分支机构之间的多条路径上(WAN专线底层技术有GRE、IPSEC、VXLAN等等)。这种应用场景可以支撑企业面向各种弹性业务的需求,例如产品发布、电话会议、视频会议链路灾备等。



▲图3 企业分支+企业分支场景



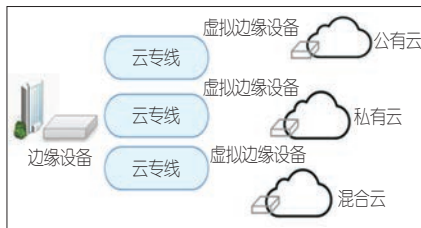
▲图4 企业总部(数据中心)+企业分支场景

(3)场景3:云中心(公有云/混合云/私有云)+企业分支场景。

SD-WAN服务提供商通过建立一张多云专网,支持接入各种公有云服务(Office 365、阿里云、腾讯云、亚马逊云服务、中国电信云等)、私有云、混合云等,支持对各种云服务进行优化。企业分支(或总部)部署的边缘设备,如**图5**所示,可以识别出云数据,并通过SD-WAN服务提供商建立的云专网进行承载,将业务流传输到云最近的接入节点和数据中心,以提供更好的云服务。这种应用场景可支撑企业业务容灾、集中备份、快速安全上云等。

## 4 结束语

当前的SD-WAN技术方案主要是针对混合城域网方案的技术优化。在面向云网协同的场景中,在企业网络中所部署的SD-WAN架构与云架构缺乏互联互通,各自部署独立的编排与运营系统,难以实现面向应用驱动的网云一体化、集成化、智能化、安全化的完整功能链的统一编排和资源动态调度,真正保障端到端业务的自动化、弹性化。另一方面,SD-WAN各个技术模块的标准化仍存在很多问题,如SD-WAN技术架构的规范定义,对应服务编排器、控制器、边缘设备的



▲图5 云中心(公有云/混合云/私有云)+企业分支场景

各自基本功能模块定义和南北向接口一致性规范等。在面向企业的SD-WAN商用方案中,SD-WAN技术架构应在安全、高可用等方面提供可信WAN技术,支撑未来网络的各种应用,如无人驾驶、视频会议、网络直播、AR/VR、工业互联网等。

## 参考文献

- [1] 中国互联网协会. 软件定义广域网(SD-WAN)研究报告[R]. 2018
- [2] IDC. IDC 报告[EB/OL].[2019-01-22].<http://news.idcquan.com/gjzx/150052.shtml>
- [3] 孙颖, 林睿, 聂世忠. 随选网络系统架构及关键技术实践[J]. 电信科学, 2018, 33(12): 142-147
- [4] GORDEYCHIK S, KOLEGOV D. SD-WAN Threat Landscape [EB/OL].[2019-01-22]. <https://arxiv.org/abs/1811.04583>
- [5] 张晨. SD-WAN进阶教程[EB/OL].[2019-01-22].<https://www.sdnlab.com/20683.html#001>

## 作者简介



**柴瑶琳**, 中国信息通信研究院技术与标准研究所助理工程师, 并担任 SDN/NFV/AI 技术标准与产业推进委员会 SDN 集成与测试工作组项目经理; 现从事 SDN/NFV 领域相关的科研、测试和研发工作, 主要研究方向为 SDN; 发表论文 2 篇。



**穆域博**, 中国信息通信研究院技术与标准研究所工程师, 并担任 SDN/NFV/AI 技术标准与产业推进委员会 SDN 集成与测试工作组组长、SDN 技术与规范合作组副组长; 现从事 SDN/NFV 领域相关的科研、测试和研发工作, 主要研究方向为 SDN、云计算、大数据等; 发表论文 8 篇。



**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, 并担任 ITU-T SG11 研究组 Q5 报告人、SDN/NFV/AI 技术标准与产业推进委员会副秘书长; 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、网络人工智能等; 主持或参与多项国家发改委专项、工信部专项三、科技部“863”专项等, 先后完成多项国家/行业标准及 ITU-T 国际标准的制定工作。



# EBoD: 打造开放 SD-WAN 网络服务平台

## EBoD—Building up the Open SD-WAN Network Service Platform

周文辉/ZHOU Wenhui, 刘永伟/LIU Yongwei

(中国移动通信研究院, 北京 100053)

(China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China)



**摘要:** 软件定义广域网(SD-WAN)提供广域网云连接网络服务,成为云网融合和协同的重要手段,全球信息通信技术(ICT)产业链各环节都在积极推动其研发、试验和部署。中国移动提出了企业宽带随选网络(EBoD)计划,研发、试验了基于开放网络自动化平台(ONAP)的、多厂家的SD-WAN统一集中管控原型系统,并将部分研究成果贡献到ONAP社区跨运营商连接项目(CCVPN)业务场景。

**关键词:** 云网协同;云网融合;云计算;广域网

**Abstract:** Software-defined wide-area network (SD-WAN) provides WAN network services for cloud connectivity and becomes an important means of cloud network convergence and synergy. The global information communication technology (ICT) industry chain is actively promoting the R&D, test and deployment of SD-WAN. China Mobile has put forward the enterprise broadband on-demand network (EBoD) plan, developed and tested the centralized, unified control prototype system across multi-manufacture based on the open network automation platform (ONAP). And some research achievements have been contributed to the cross-domain, cross-layer virtual private network (CCVPN) business scenario of ONAP community.

**Key words:** cloud network synergy; cloud network convergence; cloud computing; WAN

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902004

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190408.1056.008.html>

网络出版日期: 2019-04-08

收稿日期: 2019-02-18

经过十多年的发展,云计算技术经历了大数据处理、虚拟化、容器化、无服务器计算<sup>[1]</sup>等各个技术阶段的发展,正在改变社会信息通信技术(ICT)基础设施建设和使用模式。公有云、私有云、混合云使得企业或者组织能够敏捷地构建区域化、全球化规模的新型信息化基础设施,即基于企业分支、互联网和云计算数据中心构建企业下一代信息化基础设施,并且让用户在使

用这种信息化基础设施时,在各个层面包括应用、服务、网络、基础设施等的管控具有与当前企业局域网相同的获得感。

在云计算时代,运营商面临网络和业务转型。一方面,电信运营商积极向移动互联网信息服务商转型,为行业、政府、企业客户提供物联网(IoT)、视频、计算、存储等各类云服务,构筑新的竞争力和业务增长点。另一方面,全球电信运营商

正在进行基于软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)和云计算的下一代电信网络平台重构和技术演进<sup>[2]</sup>,旨在构建一个网络服务部署敏捷、网络动态按需扩展、业务快速创新的“云网协同”电信网络服务平台,实现电信运营商网络的开放化、服务化、敏捷化、智能化。云网协同不仅是下一代电信网络演进目标和发展趋势,也成为移动互联网信息服务差异化竞争的核



心能力之一。

云网协同顾名思义要同时打造云计算和云网络基础设施,二者相辅相成<sup>[3]</sup>。“云”是指云计算数据中心、云服务;“网”是指云网络基础设施,不仅包括云数据中心局域网络,还包括企业或企业数据中心与云数据中心之间,以及云数据中心之间的网络,特别是后两者,我们称之为“云连接”,它还面临巨大挑战。从电信运营商的角度看,云网协同主要包括3种场景。

(1)场景1:云承载网、网络基础设施云化、云网融合。电信网络云化成为云计算的一个垂直应用领域,即“电信云数据中心”。电信机房数据中心化(CORD)<sup>[4]</sup>将传统通信机房重构成基于开源软件系统、通用硬件系统的云化、SDN化、自动化的云数据中心。全球宽带论坛(BBF)制定的云电信机房(Cloud CO)架构<sup>[5]</sup>、NFV开放平台(OPNFV)发起的虚拟化电信机房(vCO)<sup>[6]</sup>开源平台,都是与CORD类似的基于云计算、SDN、NFV的下一代电信云网平台。

(2)场景2:网服务云,基于广域网提供安全、可靠、用户体验良好的云连接网络。网服务云为云计算提供了安全、可靠、良好体验的接入和互联互通网络,成为以“云优先”为导向的互联网服务提供商技术和产品的重要发展战略。全球顶级云服务提供商 Google、Amazon、阿里巴巴、微软等在该场景下具有丰富的实践经验,基于SDN技术、流量规划、分段路由(SR)等技术实现了云数据中心间东西向流量的低成

本、高性能、灵活调度<sup>[7]</sup>,部署并提供企业云骨干网<sup>[8]</sup>、广域网(WAN)网关<sup>[9]</sup>等技术、产品和服务,实现企业客户网络与云的无缝对接,为用户提供高安全、高可靠、高性能云连接管道。

(3)场景3:5G应用场景下移动边缘计算新架构的研究和探索,实现高可靠、高性能、大连接移动云计算服务。5G时代,移动互联网信息服务如智能驾驶、远程医疗、增强现实等大计算、低延时应用对网络和计算架构带来了新且更严格的要求,须要考虑在供电、移动网络覆盖和传送网络带宽等条件下终端、边缘以及云之间的运算能力的动态分配<sup>[10]</sup>,实现更加动态敏捷的云网协同架构。Linux 基金会的 Akraino Edge Stack<sup>[11]</sup>提出了边缘云基础设施架构和自动化部署平台。

## 1 SD-WAN 技术发展状况

基于WAN提供一个良好体验的云连接网络服务面临着如下的一些挑战:

(1)高复杂异构网络下的大规模租户支持能力。云连接网络横跨用户设备、接入网络、云数据中心,以及不同网络服务商(ISP)网络,同时用户访问的云服务和应用分布广且动态变化,云连接的高性能、可靠性、服务质量保证等技术实现复杂度高。与此同时,广域网云连接网络平台支持的租户虚拟专用网络(VPN)规模将数以十亿、百亿计,比云数据中心的规模更加巨大。

(2)缺乏高效的网络运维方式。由于复杂度高,传统的基于电

子工单任务分发、基于命令行工具的部署和配置、人工排错的运维方式已经远远不能满足云连接网络服务的需求,需要新的技术手段实现智能运维。

(3)企业安全基础架构须要“与时俱进”。现有企业安全管控架构已经不能适用基于云计算模式的分布式企业信息化基础设施,企业安全管控模式须要向安全策略集中控制,安全管控模块软件化、分布化、虚拟化方式发展。

软件定义广域网(SD-WAN)基于SDN和叠加网技术,实现了跨互联网连接位于不同地理位置的企业分支、企业数据中心、云数据中心等的虚拟化网络。基于SD-WAN技术构建云连接网络服务平台已经成为共识,相关产品和服务在全球方兴未艾。互联网云服务提供商通过自建或联合研发部署的方式为企业用户提供“上云”工具和服务;网络设备、云平台厂商通过自研、产业合作、跨界并购的方式具备或完善SD-WAN平台和服务能力,实现端到端云计算网络管控能力;电信运营商包括AT&T、中国移动等都在积极试验和试点SD-WAN平台和技术。

就像虚拟可扩展局域网(VXLAN)一样,SD-WAN为云计算而生,具有众多先进技术特性:SDN化、自动化、动态适应,并逐渐向意图驱动网络<sup>[12]</sup>管控架构演进;具有灵活、简便的部署方式,同时支持虚拟化网络功能(VNF)、硬件盒子等“零接触”部署方式;引入微分段式动态虚拟化安全架构<sup>[13]</sup>,实现更细

粒度的安全管控;面向“应用为中心”,支持服务流可视化技术<sup>[14]</sup>,识别并保障不同用户、不同应用的服务质量;使用深度缩减、端到端流量精确控制、往返时间(RTT)实时传输控制协议(TCP)隧道<sup>[15]</sup>等多种WAN加速和优化技术,提高广域网数据传送效率,降低网络拥塞。

SD-WAN 已经在全球成为一个热点,并有小规模的部署和应用,但总体来说还处于试验和发展的初级阶段,要达到企业级、平台级网络服务还有很多关键的技术问题需要解决。

(1)如何基于人工智能和机器学习技术实现SD-WAN复杂环境下用户设备、网元、应用数据的采集、跟踪、分析、关联,进而实现智能化运维<sup>[16]</sup>是其取得成功的关键,是正在攻克的难题,目前还处于起步和试验阶段。

(2)简单、高效、“无差别”感知的云连接网络管控集成。对于企业客户IT系统管理者来说,对SD-WAN云连接网络的管控要像企业内部网络一样“无感知”;对于云服务提供商来说,需要云连接与云数据中心网络的集成,并根据全局云网络特征实现更加高效的云计算资源部署和调度。

(3)当前SD-WAN解决方案和平台比较封闭,都有各自的编排和控制平台及管控协议,如何构建一个统一、集中、开放的SD-WAN管控平台则是电信运营商亟待解决的问题。

中国移动提出了企业宽带随选网络(EBoD)计划,积极、深入推动

SD-WAN技术和产品的成熟和开放,由于采用多厂家设备,如何实现开放、统一、集中、高效的SD-WAN管控系统并实现和厂家SD-WAN平台的解耦面临着巨大挑战,包括统一抽象的业务模型、服务自动化编排 workflow、抽象模型到不同厂家SD-WAN系统管控逻辑的映射、网络服务数据模型(包括网元、拓扑、流量和应用分布等)、网络服务全生命周期管控等。我们设计、开发和实现了一个基于开放网络自动化平台(ONAP)和第三方SD-WAN系统对接的原型系统,针对上述关键技术要求验证了统一、集中SD-WAN管控能力,并实现了如下的目标和成果:

(1)实现了分钟级的企业VPN和云连接管道的自动化敏捷部署、配置和动态扩展。

(2)设计和实现了统一SD-WAN服务和资源模型、编排 workflow 参数定制和 workflow 新增和扩展、厂家SD-WAN平台适配驱动、动态资产库(AAI)数据模型等,验证了与不同厂家SD-WAN平台解耦的技术可行性。

(3)设计和验证了SD-WAN全生命周期动态管控架构,验证了网元动态扩展能力。

### 1.1 系统设计

图1是基于ONAP的统一、集中SD-WAN管控系统的架构,其中包括SD-WAN业务层、ONAP平台、厂家SD-WAN平台。

(1)SD-WAN业务层。SD-WAN业务层有着本系统研发和试

验的主要功能,如设计和实现网络服务和资源模型、工作流定制、底层网络网元管控逻辑适配、AAI数据模型、全生命周期管控模块等。

(2)ONAP平台。ONAP提供了一个通用的网络服务自动化编排、管控框架和平台,为上层业务编排和管控提供设计环境和运行环境。

(3)厂家SD-WAN平台。厂家SD-WAN平台通过北向接口接收上层ONAP平台的管理和控制流,实现SD-WAN网络服务抽象逻辑到实际承载网元的映射,完成网络服务的部署、配置和管控。

整个系统实现了基于模型和策略驱动的SD-WAN网络服务的自动化部署、配置、全生命周期管控,关键流程如图2所示。

(1)设计和实现网络服务和资源抽象模型,抽象模型描述SD-WAN相关的服务、资源、策略以及参数;

(2)用户通过Portal订购服务,输入定制信息包括企业分支地点、VPN信息、企业分支互联网协议地址(IP)地址信息、云数据中心信息、策略信息等,作为SD-WAN网络服务模型实例化参数用于网络服务部署、配置;

(3)SD-WAN网络服务模型适配成底层网络平台开放能力应用程序编程接口(API)调用,如SDN-WAN控制器提供的客户终端设备(CPE)API;

(4)SD-WAN平台接收ONAP平台API调用,配置、管理、控制相关的网元设备,如SDN控制器通过南向接口给CPE分配一个IP地址;

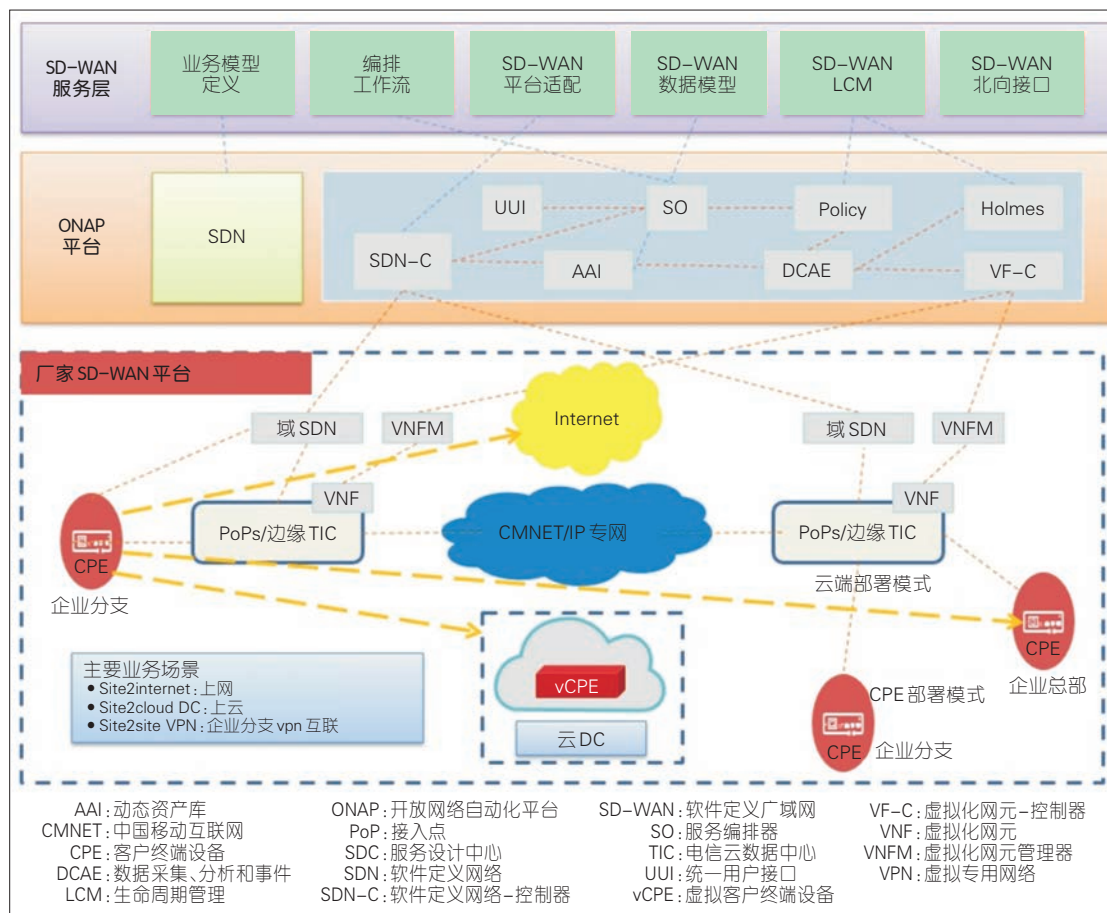


图1  
基于 ONAP 的统一、集中  
SD-WAN 管控系统架构

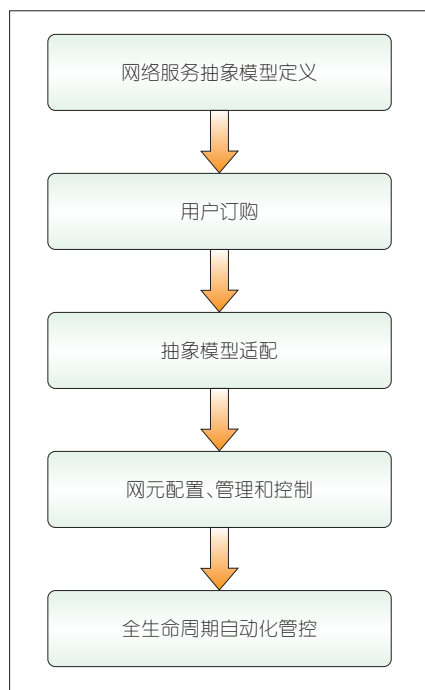


图2 基于模型和策略驱动的软件定义广域网服务实现流程

(5) 基于策略的全生命周期自动化管理和控制, 实现网络服务的动态弹性扩展、安全控制、流量工程、可靠性保障等。

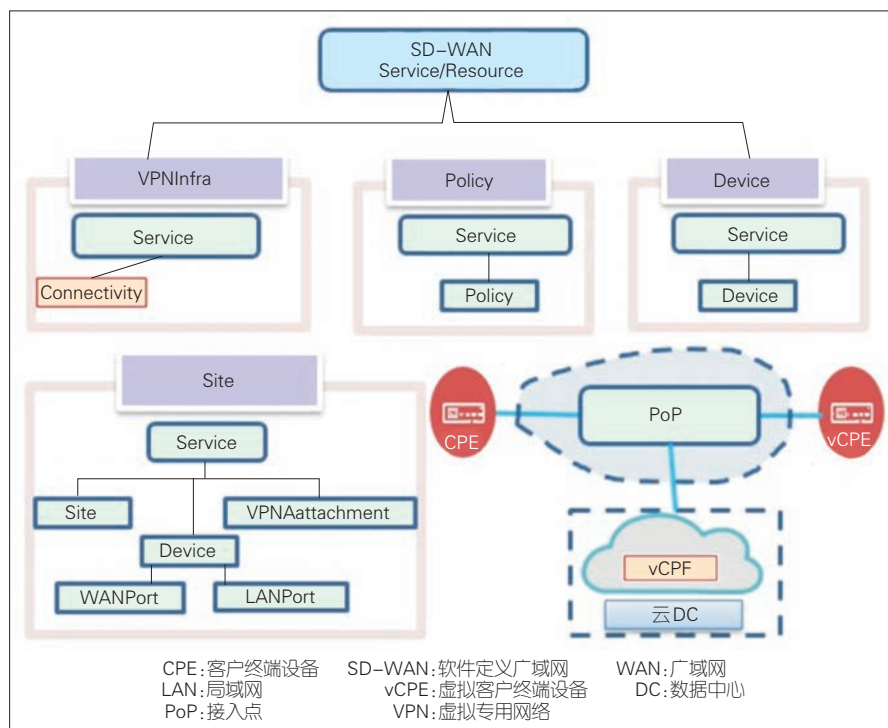
## 1.2 网络模型设计和实现

SD-WAN 服务和资源模型设计遵循云应用拓扑和业务流程规范 TOSCA<sup>[17]</sup>, 但目前还没有统一的基于 TOSCA 标准的 SD-WAN 网络模型。我们的网络服务模型参考国际互联网工程任务组 (IETF) 发布的 SD-WAN YANG 模型草案<sup>[18]</sup>、中国移动相关技术规范, 主要包括: 服务模型, 如 VPNInfra、Site、Policy、Device 服务类型; 资源模型, 如 Device、Site、VPN Attachment、

Connectivity、Policy、局域网 (LAN) 等资源类型。

在该模型下, 一个租户的 VPN 由 VPNInfra、Site 等服务组成, 客户 Site 通过 VPN attachment 关联到 VPNInfra 服务, Site 实例可以是多种类型, 包括企业分支、运营商接入点 (PoP)、云数据中心等。VPNInfra 服务实现用户 VPN 部署、配置和扩展, 如部署上云服务; 用户可以通过 Policy 服务动态下发策略, Site 服务实现 VNF 动态容量扩展, 总体网络模型设计如图 3 所示。由于当前 ONAP 的应用设计中心 (SDC) 平台还不完善, 可扩展能力有限, 本原型系统设计的虚拟连接 (VL) 资源类型需要扩展原有





▲ 图3 SD-WAN网络模型

Python代码才能将它们添加到SDC设计平台中去。

服务和资源抽象模型映射到底层网元、云计算基础设施上的部署或配

置服务调用,图5给出了底层网络适配的架构和关键流程。底层适配器的设计和实现工作包括网络资源API、网络资源处理逻辑和底层SD-WAN平台服务调用,本原型系统主要新增分配资源(AR)、虚拟连接(VL)资源类型的API接口,新增和扩展对应所有SD-WAN网络资源类型的处理有向图(DG)和JAVA代码,并基于北向AsoPI接口新增和扩展了底层SD-WAN平台服务调用节点和JAVA代码。

### 1.5 网络服务全生命周期管理设计和实现

本原型系统基于ONAP提供的数据采集、分析和事件(DCAE)框架,设计和实现了VPN网关实例动态扩展的功能,图6给出了其架构和关键流程。

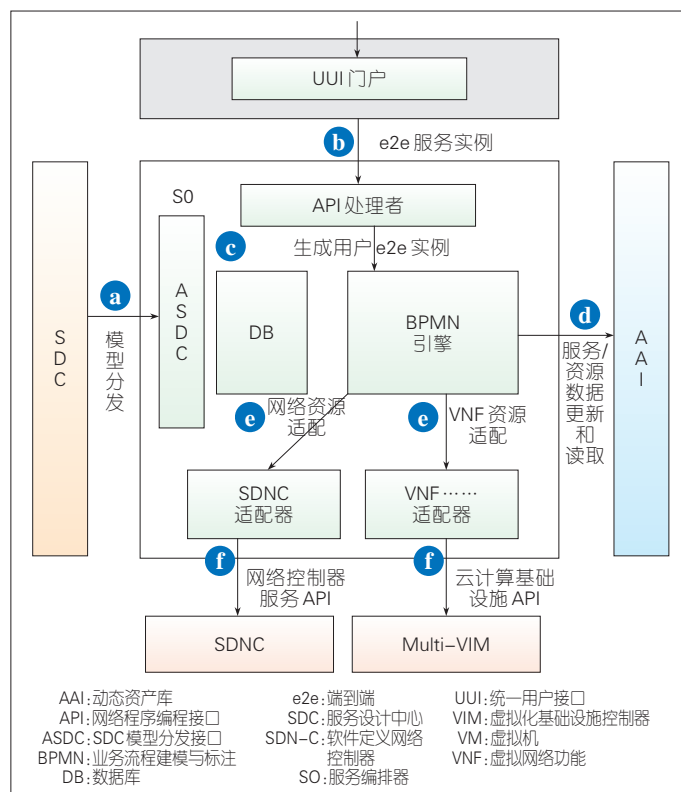
### 1.3 自动化编排设计和实现

我们在现有ONAP提供的自动化编排框架基础上,增加了模型实例化模板,定制了工作流参数和脚本代码,并针对VPN网关实例扩容场景新增 DeviceScaleOut 工作流。新增 DynamicPolicy 工作流实现动态策略下发,新增 SiteScale 工作流实现VPN扩展。可以使用 Openstack heat 编排方式实现 VNF 部署和扩展,图4给出了SD-WAN网络服务自动化编排的框架和关键流程。

### 1.4 底层网络适配设计和实现

ONAP SDN-C平台提供了一个编程语言、流程和框架,将上层网络

图4  
软件定义广域网服务  
自动化编排框架和  
关键流程





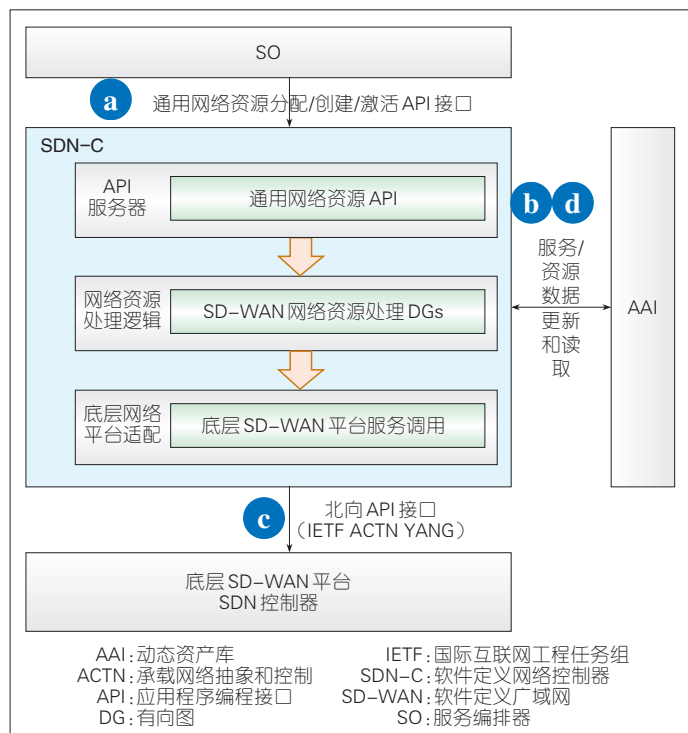


图5  
SD-WAN平台服务  
适配架构

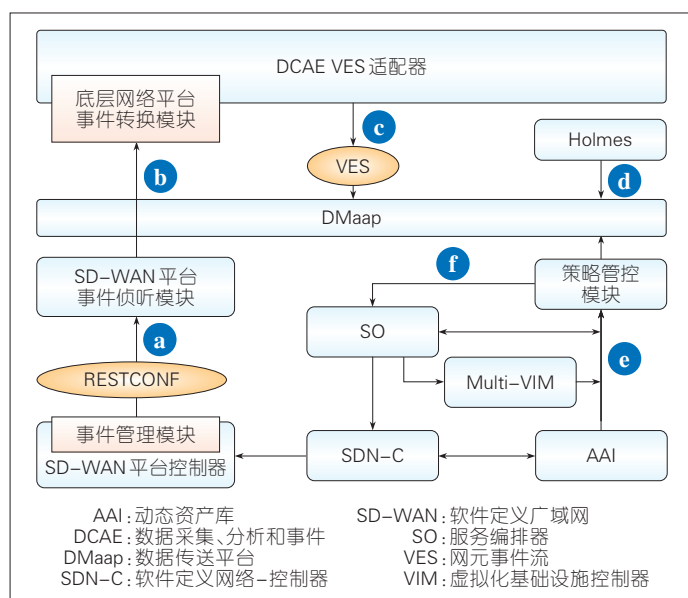


图6  
SD-WAN网络服务  
全生命周期管理  
架构和流程

(1)“底层网络事件侦听模块”作为一个消息网关设备通过北向接口订购底层网络测量消息和事件,并将接收的性能报警事件转换成上层消息格式发布到ONAP平台数据传送服务(DMaap)组件;

(2)“底层网络平台事件转换”

模块订阅底层网络消息和事件;

(3)将接收到的底层网络事件转换成DCAE网元事件流(VES)事件,该事件包括事件类型、设备信息等并发布到DMaP组件;

(4)在ONAP平台的Holmes组件中创建事件分析和处理规则,订

阅和接收到网络设备VES事件消息后,根据相应的规则触发相应的策略执行消息;

(5)ONAP平台策略执行模块根据策略执行消息中的相关信息如网络服务实例通用唯一识别码(UUID)、资源UUID等信息从AAI获取相关服务、资源模型参数;

(6)策略执行模块根据策略定义调用服务编排器(SO)执行DeviceScale工作流,该工作流实现VPN网关实例弹性扩容。

## 1.6 原型系统验证

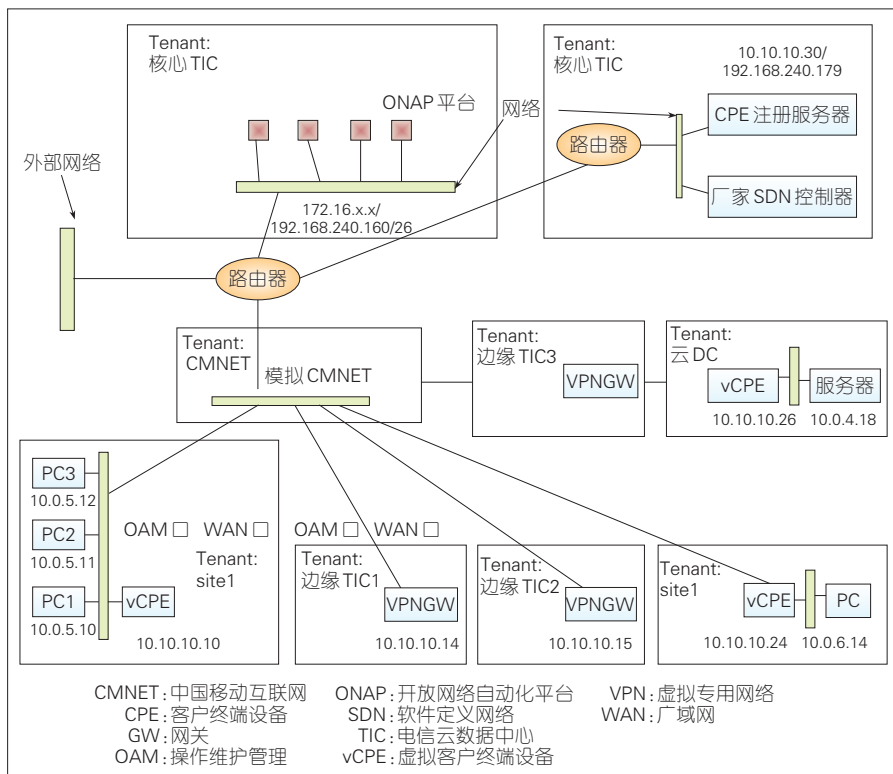
原型系统试验环境如图7所示,主要包括以下平台:

(1)系统软件平台。包括ONAP北京版本、SD-WAN SDN控制器、Openstack Queen版本等。

(2)硬件环境。由7台X86服务器、1台交换机构成。每台服务器有2路12核中央处理器(CPU),384 G内存,10 TB存储,4\*Gb电口+4\*10 Gb光口网卡,安装Linux Ubuntu 16.04LTS版本;交换机配置为48 Gb+4\*10 Gb端口。

(3)网络配置。Openstack租户网络采用虚拟局域网(VLAN)方式,为了接近真实性模拟以及实现不同系统间的隔离,为核心电信云数据中心(TIC)、边缘TIC、云数据中心、企业分支创建了不同的租户以及内部网络,所有的内部网络通过网络地址转换(NAT)与中国移动互联网(CMNET)络互通。

(4)部署方案。统基于Openstack虚拟机方式部署,采用转控分离的部署架构,Core TIC用于



▲图7 ONAP与软件定义广域网对接原型系统试验环境

部署管控平面,包括 ONAP 平台和 SDN 控制器等;边缘 TIC 用于部署用户数据平面,包括虚拟专用网络-网关(VPN-GW)等;企业分支部署 vCPE 和用户 PC;云计算数据中心用于部署视频云服务。

本原型系统已经在实验室环境下完成了企业分支VPN互联、企业上云等应用场景下的关键功能:自动化快速部署和配置企业分支间VPN,大约10 min内完成;对已创建的VPN动态扩展上云服务,大约10 min内完成;动态应用服务质量(QoS)策略下发,保障视频云访问流QoS;VPN-GW网元根据业务流量动态扩展,实现负载分担。

## 2 SD-WAN 技术工作展望

本原型系统验证了基于ONAP

平台的统一、集中自动化管控 SD-WAN 的关键技术的可行性, 下一步我们将围绕如下的一些研发、集成、试验工作, 推动该系统快速成熟并具备商用能力。

(1)网络服务管控能力扩展。  
SD-WAN 网络服务管控能力随着业务需求和场景不断扩展,除了自动化部署、系统弹性扩展等管控能力,下一步须要增加故障管理、企业信息化增值服务等服务能力。

(2) 跨域、多厂家、多控制器对接实现。目前只是研发和实现了单控制器平台下的部署场景,下一步将扩展到跨域、多厂家、多控制器场景。该场景比较复杂,须要进一步扩展 AAI 数据库模型、SDN-C 网络编排驱动、SD-WAN 北向接口,实现多厂家 SD-WAN 产品互通组网。

(3)底层承载网络管控能力互通。研发和试验SD-WAN和底层承载网络管控互通需求、架构和实现,不仅是满足SD-WAN网络服务部署的自动化程度、速度、QoS保障的技术要求,同时也是电信网络运营商提供SD-WAN云连接网络的差异化竞争优势,能够提供更敏捷、更高质量、更智能的云服务管道。

(4)网络人工智能集成能力。  
需要基于网络人工智能构建一个完整的网络和服务数据采集、跟踪、分析、关联系统并和 ONAP 管控框架集成,提供高效、智能的网络服务全生命周期管理。

(5)SD-WAN与企业客户信息通信技术(ICT)基础设施管控平台的集成。为企业客户提供SD-WAN管控的“自服务”能力和接口,实现与企业客户ICT基础设施管控的无缝集成。

### 3 结束语

在基于云计算、SDN、NFV 技术的网络演进技术驱动和云优先需求的驱动下,基于SD-WAN的技术提供了广域网云连接,成为云网融合和协同能力的重要手段,全球云服务产业链各环节都在积极推动其研发、试验和部署。通过原型系统的研发和试验,我们在实现开放、集中、统一管控能力的SD-WAN云网络服务关键技术问题上进行了深度探索和试验。实践证明,在复杂、异构广域网环境下提供企业级用户体验的SD-WAN“云连接”是一个复杂繁重的工程,在集中管控模型和架构标准化、虚拟化集成架构以及

基于网络人工智能的智能运维等方面还面临着巨大的挑战,需要产业各方共同努力,共同推动 SD-WAN 云连接逐步成熟和商用。

#### 参考文献

- [1] AWS team. 从 IaaS 到 FaaS—Serverless 架构的前世今生[EB/OL]. (2017-01-18)[2019-02-25]. <https://aws.amazon.com/cn/blogs/china/iaas-faaS-serverless/>
- [2] AT&T. AT&T Domain 2.0 Vision White Paper [R]. 2013
- [3] 陈天, 樊勇兵, 陈楠, 等. 电信运营商云网协同业务及应用[J]. 电信科学, 34(2): 161-172. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018008
- [4] PRETE L. CORD—Wiki Home[EB/OL]. (2018-10-18)[2019-02-25]. <https://wiki.opencord.org/>
- [5] BBF. TR-384 Cloud Central Office Reference Architectural Framework [EB/OL]. [2019-02-25]. <http://wiki.broadband-forum.org/>
- [6] OPNFV. Virtual Central Office—Building a Virtual Central Office (VCO) with open source communities and components [EB/OL]. [2019-02-25]. <https://www.opnfv.org/resources/virtual-central-office>
- [7] KUMAR A, POUTIEVSKI L, SINGH A, et al. B4: Experience with a Globally-Deployed Software Defined WAN[C]//SIGCOMM 2013. USA: ACM, 2013. DOI: 10.1145/2534169.2486019
- [8] 阿里云发布云骨干网企业一分钟即可构建全球网络[EB/OL]. (2017-12-14)[2019-02-25]. [http://baijiahao.baidu.com/s?id=](http://baijiahao.baidu.com/s?id=1586722342247059708&wfr=spider&for=pc)

- 1586722342247059708&wfr=spider&for=pc
- [9] Making the Connection from the SD-WAN to the Cloud [EB/OL]. (2018-10-04)[2019-02-25]. <https://www.sdxcentral.com/articles/analysis/making-the-connection-from-the-sd-wan-to-the-cloud/2018/10/>
- [10] ANDREEVS, GALININA O, PYATTAEV A. Exploring Synergy between Communications, Caching, and Computing in 5G—Grade Deployments [J]. IEEE Wireless Communications, 2016, 54(8): 60-69. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7537178
- [11] Akraio Edge Stack[EB/OL]. [2019-02-25]. <https://wiki.akraio.org/>
- [12] Cisco Extends Intent-Based Networking from the LAN to the WAN [EB/OL]. [2019-02-25]. <https://www.sdxcentral.com/>
- [13] How Does Micro-Segmentation Help Security? Explanation [EB/OL]. [2019-02-25]. <https://www.sdxcentral.com/networking/virtualization/definitions/how-does-micro-segmentation-help-security-explanation/>
- [14] Riverbed's Visibility-as-a-Service Now Available Globally Through BT, Enabling Customers to Manage the Digital Experience [EB/OL]. (2018-12-06)[2019-02-25]. <https://www.riverbed.com/blogs/riverbed-visibility-as-a-service-available-globally-through-bt.html>
- [15] AppEx LotWAN 广域网加速系统[EB/OL]. [2019-02-25]. <http://www.appexnetworks.com.cn/>
- [16] Nyansa CTO Says AI and Big Data Analytics Will Tackle New Network Challenges [EB/OL]. (2018-11-26)[2019-02-25]. <https://www.sdxcentral.com/sponsored/interviews/>

- nyansa-cto-says-ai-and-big-data-analytics-will-tackle-new-network-challenges/2018/11/
- [17] TOSCA Simple Profile in YAML Version 1.0 [EB/OL]. [2019-02-25]. <http://docs.oasis-open.org>
- [18] A YANG Data Model for SD-WAN VPN Service Delivery [EB/OL]. [2019-02-25]. [https://datatracker.ietf.org/doc/draft-sun-opsawg-sdwan-service-model/?include\\_text=1](https://datatracker.ietf.org/doc/draft-sun-opsawg-sdwan-service-model/?include_text=1)

#### 作者简介



**周文辉**, 中国移动通信研究院主任研究员; 主要研究领域为宽带无线接入、IP 承载网、云计算、SDN 等; 主导或参与中国移动 WLAN、云计算、中国移动下一代网络 Novonet 规划、5G 等重大项目, 参加多项国家项目; 已发表论文 10 余篇, 专利授权 20 余项。



**刘永伟**, 中国移动通信研究院网络与 IT 技术研究所研究员; 主要研究领域为 IP 承载网领域; 承担过多个承载网研究项目以及研发工作。

#### 上接第 8 页

城域网和 IP RAN/PTN 网络融合在一起, 逐步形成统一的 Spine-Leaf 架构, 向大通道、广覆盖的统一高速转发平面方向演进。

## 4 结束语

运营商在以数据中心为核心重构未来网络的趋势下, 需要对云网端进行全面战略布局, 加速云网一体化的转型, 构建面向大连接、大网络、大融合的新型城域网。需要指出的是新型城域网的建设和运营是一个循序渐进的过程, 在构建及设计的过程中需要通过实践不断地对其进行总结经验和完善。当前城域网演进还处在初级阶段, 需要对各项关键技术及方案进行探索和试

点验证, 推进技术成熟与方案落地应用。

#### 参考文献

- [1] 云网融合, 时不我待 运营商打赢 B2B 突围战的最好机会[EB/OL]. (2018-03-02)[2019-01-18]. <http://www.cww.net.cn/article?id=428075&from=groupmessage&isappinstalled=0>
- [2] 何晶颖. 云网融合的演进路径探讨[J]. 电信快报, 2018, (4): 12-16
- [3] Ovum. Network Traffic Forecast[R]. 2018
- [4] 李俊杰, 唐建军. 5G 承载的挑战与技术方案探讨[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(1): 49-52. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2018.01.010
- [5] 刘桂清. 构建智能云网, 建设网络强国[EB/OL]. (2018-05-11)[2019-01-18]. <https://www.sdnlab.com/20792.html>
- [6] 张晨. 云数据中心网络与 SDN: 技术架构与实现[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018
- [7] 乔楚. 5G 网络端到端切片技术研究[J]. 通信技术, 2018, 51(9): 23-38
- [8] 王强, 陈捷, 廖国庆, 等. 面向 5G 承载的网络切片架构与关键技术[J]. 中兴通讯技术, 2018, 24(1): 58-61. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2018.01.012

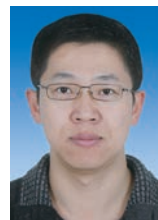
#### 作者简介



**陈运清**, 中国电信股份有限公司北京研究院院长, 教授级高级工程师, 同时担任 CCSA “网络 5.0 技术标准推进委员会”副主席等职务; 目前主要研究方向为未来网络架构、新型 IP 网络技术等。



**雷波**, 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高级工程师, 同时担任 CCSA “网络 5.0 技术标准推进委员会”管理与运营组组长等职务; 目前主要研究方向为未来网络架构、新型 IP 网络技术等。



**解云鹏**, 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高级工程师, 同时担任 CCSA “网络 5.0 技术标准推进委员会”架构组副组长等职务; 主要研究方向为未来网络架构、新型 IP 网络技术等。



# 运营商 SDN 云网协同 架构和关键技术研究

## Infrastructure and Key Technologies of SDN Cloud Network for Service Provider

鲁子奕/LU Ziyi, 杨文斌/YANG Wenbin

(北京大地云网科技有限公司, 北京 100088)  
(Beijing Tethernet Technology Co., Ltd., Beijing 100088, China)



**摘要:** 研究了运营商重构新一代云网协同架构所涉及的关键技术,从架构角度出发,提出了从业务编排器、软件定义网络(SDN)协同器和服务提供者接口(SPI)到云商应用程序编程接口(API)的设计要点。同时,还深入研究了分段路由隧道(SRTE)、虚拟可扩展局域网(VXLAN)、软件定义广域网(SD-WAN)和接入点(PoP)探测等前沿云网网络技术,提出了如何将这些技术进行整合以实现统一SDN的调度和管理。

**关键词:** 云网协同; SDN编排器; SPI; SD-WAN; VXLAN; SRTE; PoP探测

**Abstract:** In this paper, the key technologies involved in the reconstruction of a new generation of cloud network architecture for service provider are studied, and the design points of the cloud network orchestration, software defined network (SDN) coordinator, service provider framework (SPI), and application program interface (API) are put forward. The cloud network technologies including segmented routing tunnel (SRTE), virtual extensible local area network (VXLAN), software defined wide area network (SD-WAN) and point-to-point (POP) detection are also studied. To realize unified SDN scheduling and management, the way to integrate above technologies is proposed.

**Key words:** cloud network; SDN orchestration; SPI; SD-WAN; VXLAN; SRTE; PoP detection

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902005

网络出版地址 <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190325.1245.002.html>

网络出版日期: 2019-03-25

收稿日期: 2019-01-20

云计算这一崭新的计算形态已经被大众所接受,它不依赖单个物理中央处理器(CPU)的纵向计算能力,而是通过网络横向的平台能力使逻辑资源池的使用和扩展更加方便、灵活。从某种技术意义上来看,网络抽象和延展了分布的物理计算资源,云计算的本质就是网络计算。从此,计算和网络原本2个相对独立的创新引擎,在技术能力和规模效益上得以相互借鉴、相互依存和相互激励,双引擎叠加

成就了今天信息通信(IT)产业的飞速发展。

计算和网络双引擎叠加该如何实现?网络如何更好地为云计算提供服务和支撑,对于传统运营商来说,还面临巨大的挑战。中国运营商网络能力未抽象,自动化程度低,难以适应互联网业务快速调整的需求;因此,如何实现云网协同,是目前中国运营商、互联网应用服务(OTT)和云商非常关心的话题。近些年,软件定义网络(SDN)技术的

出现,给传统运营商带来梦寐以求的、灵活快捷的技术架构;但如何实现在运营商内部大规模运行的骨干网络SDN部署?如何在异构和多厂商环境部署?如何与云商自动化协同对接?这些都是我们需要考虑的问题。我们将讨论运营商重构新一代云网协同架构和技术实践。

## 1 运营商 SDN 云网协同架构 的业务需求

基础运营商拥有最丰富的光纤



和线路网络资源;但如何通过SDN、网络功能虚拟化(NFV)、云技术或网络新技术整合运营商现有的优势资源(骨干网、城域网、互联网以及各类云资源),加快推动向“新服务”运营商转型,重构网络基础架构,以开放姿态建设未来网络,为用户提供端到端一站式灵活的解决方案,成为了运营商研究的新课题。尤其是新型计算提供商,追求的已是资源秒级响应并按秒计费,而传统运营商还是靠手工或传统方式开通业务甚至以月为单位。如何根本性改变现有业务模式,实现面向云业务的灵活调度、快速部署,也成为运营商关注的新课题。目前,运营商面临着如以下的挑战和需求<sup>[1-3]</sup>:

(1)骨干网络需要灵活调度、快速部署;因此,运营商需要改变现有业务流程和模式,以满足用户快速灵活的上云业务需求。

(2)运营商大多采用多厂商设备,现有厂商的设备有的不支持SDN(虽可逐步替换,但代价沉重),另外,即使各厂商具备SDN能力,控制器是各厂商私有的;因此,如何实现云网协同和资源统一管理是个巨大挑战。

(3)从运营商的网络接入、骨干到云端,会用到截然不同的网络技术,如何通过云网协同技术实现更贴近用户、更适于跨域部署的云资源布局,让用户可以一点接入、多点部署、全网服务,也需要运营商重点考虑。

(4)重构云网协同架构,需要运营商建立云网一体化新生态。运营商网络资源与各家云商对接上的应

用程序编程接口(API)规范和标准差别很大,需要考虑如何采用高效通用的南向接口实现对接。

## 2 运营商云网协同业务面临的挑战

近几年来,全球电信业普遍认可基于SDN云网协同技术对运营商的战略意义和商用价值;但是,真正大规模骨干网络部署基于SDN云网协同编排的落地商用方案并不多见,原因在于运营商骨干网SDN的研发和工程实践技术挑战仍然很大。项目从立项到开发的过程面临许多不确定性,导致研发周期延长,从而加大项目的风险。结合大地云网科技过去3年与多种类型的服务商客户的合作及部署的实际经验,我们整理和分析运营商云网业务面临的主要挑战:

(1)异构网络SDN项目技术研发难度大,复杂度高,且无先例。运营商大型骨干网络往往是由不同厂商、不同技术路线和不同产品设备所组成的分布式异构网络系统。在由多厂商高端路由设备组成的骨干网络上完成SDN架构和技术实施仍是世界性的技术难题。SDN的控制、管理、协同和业务编排不仅涉及到不同厂商的不同网络设备和软件架构功能的分工协作,还涉及到运营商的业务、产品、运营和市场等多方面不同需求的满足。网络能力的抽象和模型化技术极其复杂,设计师必须掌握多领域最新技术的系统整合设计,并具有创新实践的能力和经验。

(2)运营商SDN研发项目沟通

协调工作量巨大,资源消耗大。众所周知,运营商SDN项目将网络控制、转发和管理平面重新划分与规范,集中与分布控制的机理在运营商现网SDN改造中不仅面临接口多,接口规范不确定、不统一等现实情况,项目研发的沟通协调工作量大,难度大。针对运营商异构网络SDN架构的实施,国际上成功的案例也不多,目前的现状为:多设备竞争厂商的网络设备开发、网络操作系统、SDN的架构、技术路线、软件实现机制、API及软件数据库,以及其研发进度完全不同,常会使得SDN技术架构的设计工作的沟通和协调异常艰难。

(3)项目开发需求多,变化大,风险高,周期长,需有超前的预见性。由于云网协同和SDN项目核心软件的开发和实现会涉及运营商内部多个业务部门,针对这些业务需求,运营商的不同部门在不同时间点可能有不同的理解。SDN软件系统平台研发团队必须确保系统架构对业务的需求变化有一定超前的预见性,否则面对不同需求,SDN软件系统研发容易面临反复修订、更改,从而导致软件系统主要结构和流程的多次更改。这对于核心系统平台的质量和时效都是一种极大的考验<sup>[4]</sup>。

## 3 运营商云网协同架构的设计要点

运营商云网协同架构基于SDN技术,赋能现有骨干网、互联网接入和云网络等,运用先进技术手段重构网络基础架构,与公有云优势资

源整合,提供端到端的网络资源自动部署和快捷调度<sup>[5-6]</sup>,同时提供弹性带宽、自助服务、即时开通的运营服务,为企业客户提供上云服务、跨云的连接(包括数据中心、公有云、私有云)和分支组网等多重场景,包括为用户轻松解决云计算落地“最后一公里”的问题。运营商云网协同架构如何设计?如何确保业务编排、技术架构、技术规范和业务流程等众多方面的合理性和先进性?文章中,我们将针对性地介绍云网协同架构中的几个设计关键点。

### 3.1 统一业务编排器

统一业务编排器是全网 SDN 逻辑的核心。如图 1 所示,编排器具备运营商骨干网完备的业务逻辑,

支持多种业务支撑系统接口,并且具备 API 外部扩展能力,可以定义完整的用户业务流程,具体包括用户业务的开通、生成、下发、计费,如用户虚拟专用网络(VPN)、终端设备(TE)隧道业务,以及用户云专线等。

统一业务编排器管理和控制全网的设备,展现全局网络流量动态,收集全向网络拓扑,统一呈现网络及设备状态。编排器还实现全网资源统一管理、业务统筹调度与路径优化,统一编排用户上云、云间各种组网的业务流程,为用户提供云网一站式打通。

针对统一业务编排器,我们提出了 2 点建议:

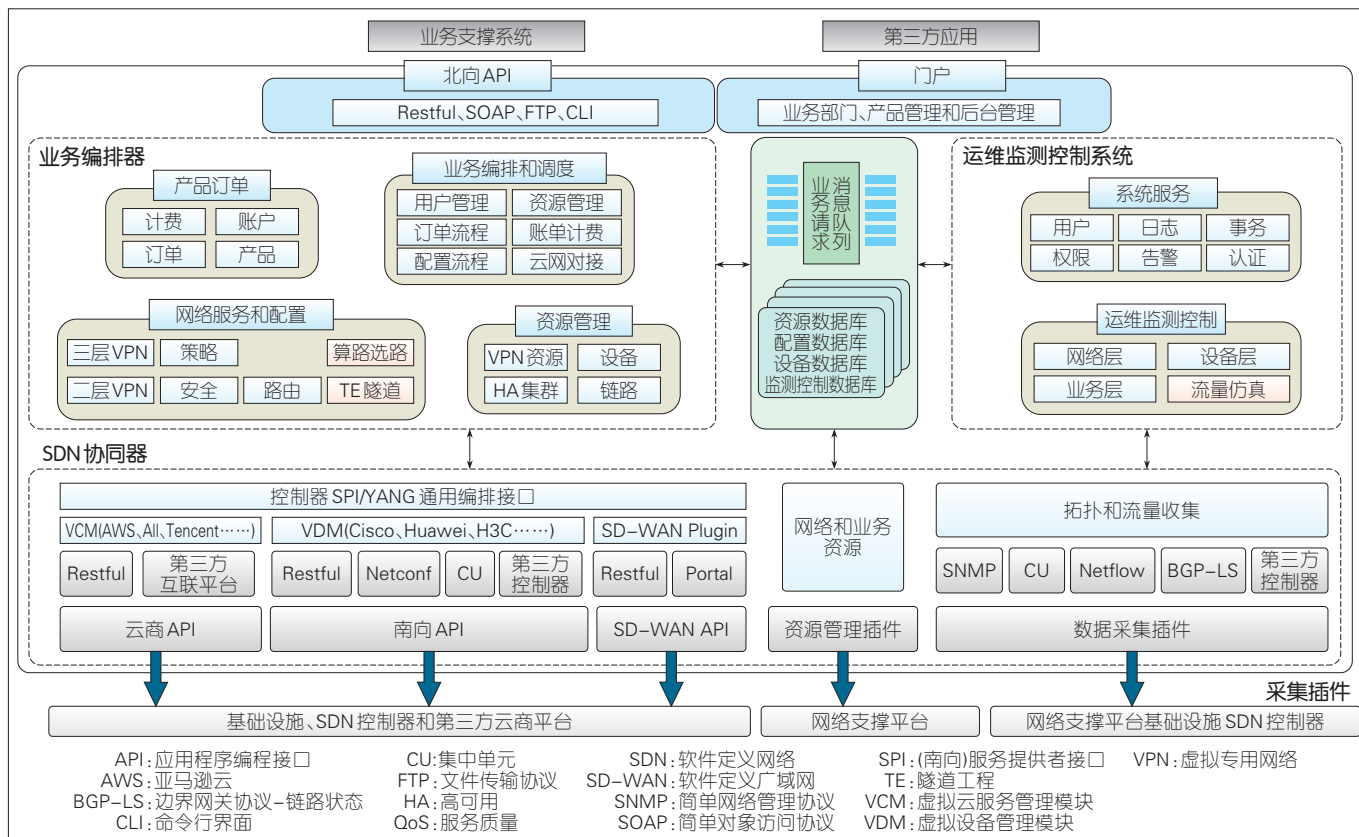
(1)业务编排器整个系统架构

按照业务和功能进行拆分,并基于现有成熟的微服务架构实现最小粒度化的服务模块。微服务可以按需组合完成各类业务场景开通,实现完全解耦的模块化系统架构设计。

(2)统一业务编排器的设计需由具备既熟悉网络的底层架构、技术和协议,又掌握新型云网络技术和软件架构的全栈技术的专业架构师来完成,同时还需要与优秀的系统软件架构师(包括客户和合作伙伴)共同合作。

### 3.2 优化业务流程

运营商的系统会涉及到业务、产品、运营和市场等多方面不同需求和流程,在传统运营模式下,部门多,环节多,业务周期长,难以适应



▲图1 统一业务编排器系统结构示意图

云网业务的发展。优化系统业务流程在SDN架构设计中至关重要,通过SDN架构重构,抽象业务逻辑,重新定义用户权限与流程,包括运维人员、最终用户、云服务商、客户经理等不同角色账户自服务、业务便捷管理等功能,重新规范运营商的业务流程和自动化以实现运营业务。

针对业务流程的情况,我们的具体建议为:

(1)运营商需要在需求阶段和甲方一起对流程进行梳理、确认。因流程的更改会导致软件系统主要结构的更改,甚至会导致研发和项目进展出现停顿、瓶颈甚至反复,运营商需要在需求阶段就对流程进行梳理和确认。

(2)软件设计架构尽可能实现微服务和模块化。由于云网协同和SDN项目会涉及运营商内部多个业务部门,业务需求在不同部门、不同时间点可能有不同的理解,因此设计架构上需尽可能微服务和模块化,即使将来流程调整也不至于推倒重来。

### 3.3 制定SDN协同器和通用服务提供者接口(SPI)

SDN协同器负责全程全网(物理网络)的统一收集、抽象和组建,需要进行网络资源数据和拓扑的搜集,从而全面掌握服务商的网络资源,包括设备、链路、端口、拓扑等。SDN协同器能够实现网络资源和能力的抽象化、模型化,是业务平台能力和服务支持的基础组件。通过SDN协调器实现物理网络向逻辑网

络的转化,并通过兼容各种异构SDN控制器系统与云商API互联,与运营商网络支撑系统对接,从而实现对服务商网络的统一、快捷和安全的控制和管理<sup>[7]</sup>。

需要指出的是,SDN协调器的能力将受限于其南向的SDN控制器、软件定义广域网(SD-WAN)控制器和运营商网络支撑系统所提供的能力。为避免受南向的SDN控制器和SD-WAN控制器能力限制可能带来的功能限制,SDN协同器应具备通用SDN控制器的基本功能,支持直接配置、控制和管理市场上主流骨干网络设备。SDN协调器模块设计的优劣直接影响业务平台的能力和其未来可持续迭代和扩展演进。

针对SDN协同器和通用服务SPI编排接口,我们的建议如下:

(1)南向面向服务商网络基础设施厂商SDN控制器、SD-WAN控制器以及第三方云平台的配置和管理,需要实现对不同厂家控制器环境业务下发及高可用(HA)机制,实现主/备控制器的高可用HA状态的监测、协商同步和故障处理等。

(2)整合异构厂商设备,实现解耦。多厂商的设备控制器是各厂商私有的,不能兼容其他厂家设备。不同厂家定义的YANG model、命令内容、配置方式,即使是设备命名规则都不相同,要建立一套公认的YANG模型,实现异厂家控制器对接,沟通和技术都要解决巨大困难。

### 3.4 规范API

云网协同架构为数据中心、私

有云、公有云提供了端到端网络接入服务。API的接口规范不仅要满足网络资源的管理和对接,还需要和多个云平台打通并对接,适配多个云平台以及自动化类型的数据中心等可编程平台,为用户提供云网一站式打通。由于不同的云服务商提供的业务形式不同、可编程能力和API规范不同,再加上业务开通上的流程差异,要实现跨云的自动化业务流程,需要面临的挑战是巨大的。

协同编排器API包括北向API网络、南向API网络和东西向集群内网络<sup>[8]</sup>。

(1)北向API网络:通用控制器系统和统一编排器通过该网络发送和接收北向API的网络业务信息。

(2)南向API网络:通用控制器系统通过该API和南向厂商控制器(或者设备)发送和接收的网络管理信息。

(3)东西向集群API网络:通用控制器系统通过该网络备份数据库数据,发送和接收东西向业务API。

针对API规范,我们的具体建议如下:

(1)云商对接须尽早进行。大部分云商都有各自非标准的API规范,且每个云商的接入方式、路由设计以及API还是有着很大的差别,需有经验的开发人员尽早参与讨论和设计。

(2)云商和运营商的API调用流程须协调好。在资源申请中,运营商是一点登录还是允许云商和运营商多点登录,一定要协调好。如果可以让用户一点接入、多点部署、



全网服务,还需要涉及跨域部署的多服务商和多站点云资源布局,这其中的技术也非常复杂。

#### 4 运营商云网协同架构涉及的关键技术

运营商云网协同架构至少涵盖接入、骨干网和云中心等几个层面,实现从接入到云中心端到端的网络自动化部署和租户的打通,包括端到端统一调度资源、服务等级协议(SLA)服务质量保障、路径规划和VPN安全管理等。这不仅涉及到整体架构的统一规划还涉及到许多的技术实现,如云数据中心网络技术通常以可扩展虚拟局域网(VXLAN)/以太网虚拟专用网络(EVPN)为主,还要考虑 Openstack Neutron联动;运营商的骨干网通常以多协议标签交换(MPLS)/分段路由隧道(SRTE)为主,还要考虑2层虚拟专用网络(L2VPN)/3层虚拟专用网络(L3VPN)与云中心租户对接;接入侧传统的城域网或新型的

SD-WAN接入和接入点(PoP)探测技术还要考虑与MPLS的混合组网实现。这几个层面须与云网协同统一管理、协同工作,才能真正实现企业客户从选择最佳PoP站点接入到骨干网,并实现上云的端到端业务快速部署,具体

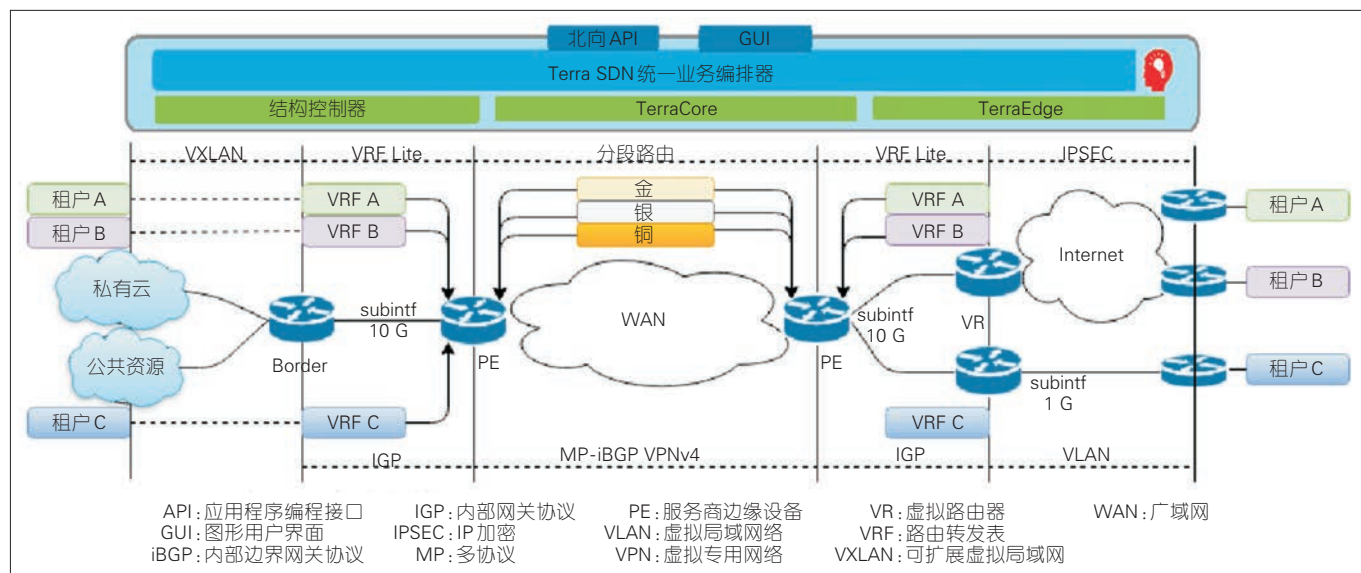
如图2所示。文章中,我们将重点介绍云网协同架构中会涉及到几项关键技术。

##### 4.1 云中心 VXLAN/EVPN 和云商对接

随着公有云的真正崛起,SDN作为云网协同的必备技术,其发展经历了从基于Openflow的SDN流派到网络厂商的私有SDN流派,再到后来基于开放VXLAN/EVPN的广义SDN流派。基于VXLAN的Overlay由于其简单、易扩展等优势已经成为数据中心网络最炙手可热的技术。

VXLAN作为一种网络虚拟化技术,采用“MAC in UDP”封装形

式,并且基于IP网络实现大二层技术,它是一种用于实现大型云计算和数据中心的网络二层互通技术。VXLAN作为一种数据封装技术,其本身没有控制平面,其在转发数据前的表项学习,如ARP表、VXLAN网络标识(VNI)、VXLAN隧道终端(VTEP)地址等都是通过数据包的泛洪来完成。如果网络中存在大量的泛洪流量,势必对网络的性能有所影响;因此,VXLAN数据转发前表项学习的泛洪流量一开始就是一个重要问题。边界网关协议(BGP)EVPN(RFC7432)标准的出现非常及时,促进了VXLAN的快速发展和普及,并为VXLAN和其他Overlay技术奠定了竞争基础。基于BGP EVPN控制层学习L2和L3的可达信息,通过EVPN完成在VXLAN转发数据报文前ARP表项学习、主机路由学习和VTEP自动发现,VXLAN+EVPN为云数据中心虚拟化、集群和云部署大二层网络夯实网络基础。云中心VXLAN EVPN

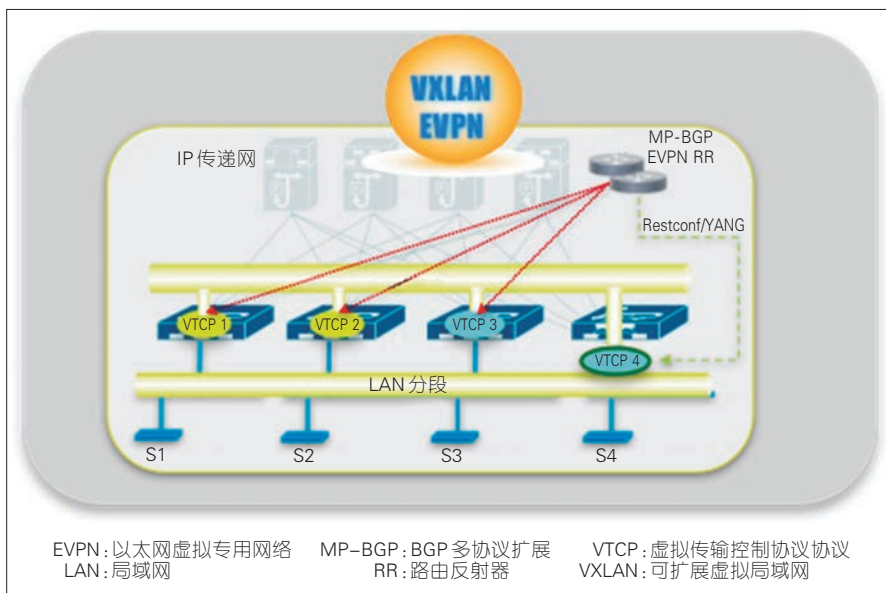


▲图2 端到端的云网协同架构示意图

架构示意如图3所示。

云商的按需自动对接实际上就是把某个用户在云商的虚拟私有云(VPC)网络和运营商骨干网中开通的3层VPN连接打通。典型的云环境包括基于Host Overlay公有云和基于裸机服务器托管云。目前一般选择 VXLAN/EVPN 作为底层技术,运营商骨干网一侧会用到基于SD-WAN的MPLS、SRTE的网络技术。SD-WAN到云数据中心SDN网络的统一编排和租户管理,如图4所示。

运营商SD-WAN控制器通过RestAPI与云中心控制器对接。控制器通过企业用户的云平台子账号调用API获取其VPC资源,同时获取租户VPC资源信息并打通网络VPN运营商SD-WAN控制器,负责服务商边缘设备(PE)的租户和VPN对接信息的下发,具体体现为客户端设备(CE)和PE之间三层



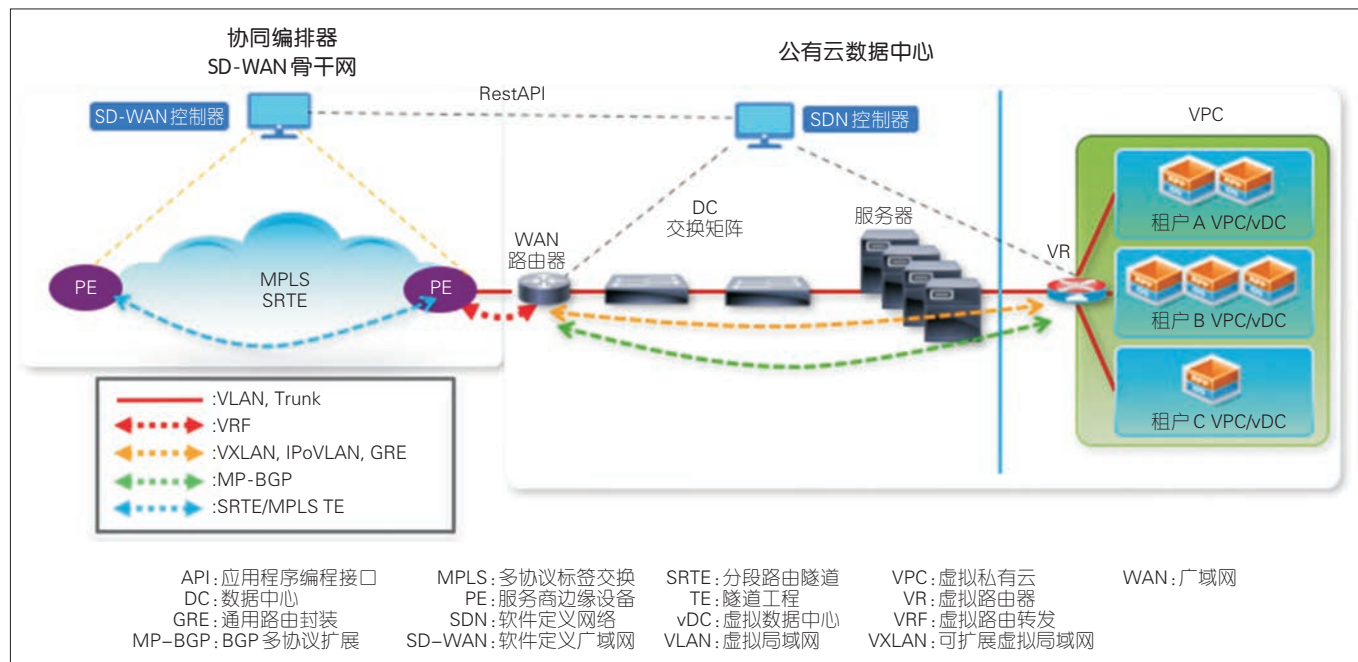
▲图3 云中心 VXLAN EVPN 架构示意图

VPN业务子接口、关联的BGP-VRF会话以及服务质量(QoS)配置等。运营商SD-WAN业务编排器会自动调用云商平台开放API,通过云商SDN控制器打通云中心WAN路由器和VR路由器的租户VRF对接信息,PE路由器与云中心的WAN

路由器通过VRF自动打通。

针对云中心VXLAN/EVPN和云商对接,我们提出如下建议:

(1)基于VXLAN的Overlay由于其简单、易扩展等优势已成为公有云数据中心网络的技术首选,SD-WAN基于PE的逻辑子端口



▲图4 云网自动对接示意图

VRF 与云商对接。虽然在具体技术上相对成熟,但每家云商 VPC 的结构不一样,实际对接中还是存在很多问题。

(2) 针对运营商业务编排器/SD-WAN 控制器,我们需要事先和云商协商好调用流程和实现逻辑。云商平台开放 API,但每家云商 API 没有统一标准且差别很大;因此和每家云商 API 对接是一个挑战。

## 4.2 骨干网技术:MPLS 还是 SRTE

目前,运营商拥有覆盖全国甚至全球的大规模骨干网资源、数据中心资源,传统的手工已经不能满足云的模式,运营商基于 SD-WAN 的广域网重构项目迫在眉睫。SD-WAN 骨干调度核心思想是流量调度和基于多租户的服务和管理,目前主要有 3 类方式:第 1 类基于白牌机+Openflow SDN 控制器。Google B4 就是基于这个方案(2010—2012 年),其核心是其 TE 调度和算法,它巧妙地避开了 Openflow 的众多缺陷,包括基于源和目的地址配合差分服务代码点(DSCP)作为流表的转发策;但 Openflow+白牌机的方案反馈还是有些问题,包括白牌机对 SRTE 支持能力、双向转发检测(BFD)/Tunnel 支持性能和数量、路由策略和 VPN 能力,以及交换机流表和端口缓存的大小等。运营商基本上不会大规模采用 Openflow+白牌机方案。第 2 类基于 MPLS +SDN 控制器,实现全网的流量调度和 VPN 租户管理。MPLS TE 多年前已开始部署,就目前运营商客户部署

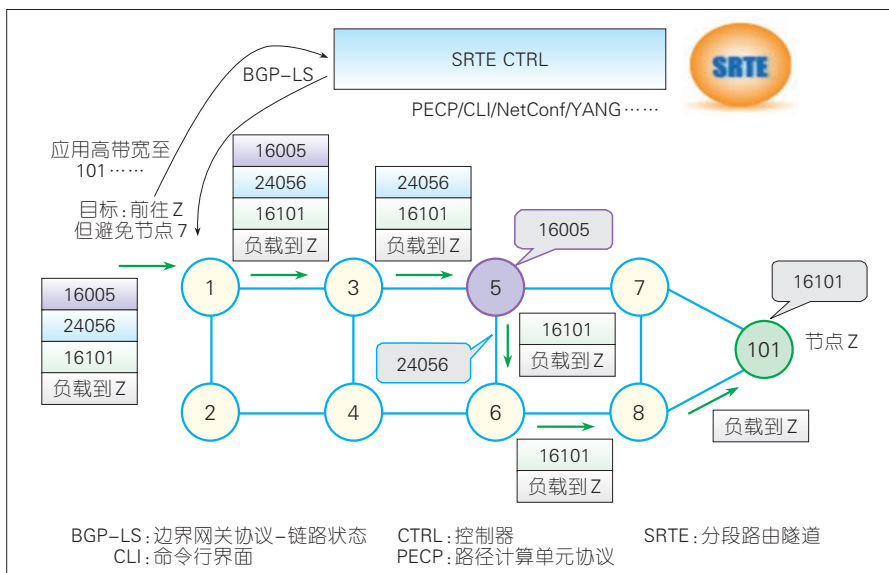
情况看,绝大部分抱怨 MPLS TE 的部署过于复杂;因而真正在生产网 TE 隧道使用并不多。由于 MPLS 成熟有余先进不足,运营商将来不会大规模采用。第 3 类方案是基于分段路由(SR)实现流量调度和管理 SR+SDN 控制器,该方案也是笔者更希望看到的。和 MPLS 的网络类似,SR 基于源头组建一个完整的分层服务提供商(LSP)路径,而且可以和现有的 MPLS 网络兼容,只需要对现有的内部网关协议(IGP)进行简单地扩展,就可以实现 TE、快速重路由(FRR)、MPLS VPN 等功能。目前,基于 SRTE 的 SDN 控制器技术在业界属于非常领先的技术,其中 SR 的基础转发表甚至比标签分发协议(LDP)更简洁,同时还将源路由技术与 SDN 理念完美结合。在流量 TE 管理方面,SRTE 比资源预留隧道(RSVP-TE)技术流量标签隧道状态的数量少很多,也不像 LDP/RSVP 信令那么复杂,目前各个厂商新一代的路由设备基本

上都支持 SRTE。推荐运营商采用 SR+SDN 重构新一代的骨干网实现流量调度和管理。基于 SRTE SDN 控制示意如图 5 所示。

针对骨干网技术,我们的建议如下:

(1) 尽管 SRTE 技术优势比较明显,但目前各个硬件厂商(包括第三方控制器+SR 路由器)在 SRTE 具体实现还是有一定差距,有几点是设计部署时需要考虑的:如何根据链路质量(load/loss/delay)动态实时调整 TE 路径以实现全局负载均衡、隧道快速倒换策略和逃生算法(如思科 PBTS 技术)、配置回滚的一致性、离线流量规划、TE 路径的对称故障检测等,各商家的方案功能差别比较大,在中国能真正完整实现基于 SRTE 的 SDN 控制器更是屈指可数。

(2) 对于运营商和云服务商,我们都希望能够基于标准的南向支持 NetConf/YANG 等协议控制和管理多厂商网络设备。在开源和开放的



▲图 5 基于 SRTE 软件定义网络控制示意图



大趋势下,各个厂商都宣称支持 SRTE 和 NetConF 以及开放北向 API 等。中国运营商如联通已经成功部署基于多厂商 SDN 协同编排器,利用统一协同编排器实现多厂商设备的解耦,整合异构多厂商设备,开创了异构环境下多云互联的先河。

## 5 SD-WAN 接入技术

随着企业上云和广域网按需接入的需求日益增加,传统的 MSTP 和 MPLS 等专线业务由于成本高、部署周期长等问题已难以满足云和互联网时代的需求,面向基于互联网和 PoP 探测选择的 SD-WAN 技术随之诞生。SD-WAN 就是一种面向分支灵活接入的部署场景,在其

设计和部署时,我们需要考虑南北运营商 Internet 瓶颈的问题,并会选择在各地的多个机房部署多线 PoP 节点。在 PoP 层解决了跨运营商互通提升互联品质,POP 之间构建了专线骨干网,以确保 SD-WAN 远程传输业务品质。由于目前中国运营商 MPLS VPN 网络已大规模部署,运营商须要考虑把 MPLS VPN 的 PE 和租户 VPN 集成到 SD-WAN 系统中。此时,各个 PoP 节点的虚拟服务商边缘设备(vPE)/网关(GW)需要与运营商 MPLS 网 PE 节点对接,并通过 OptionA/OptionB 或纳管等方式统一管理。这种架构能有效提高网络性能和混合组网能力,特别是各种高服务级别的实时流量,

而且可方便实现 SD-WAN 与运营商骨干网 MPLS 对接。SD-WAN 具体技术实现如图 6 所示。

针对 SD-WAN 技术,整合 SD-WAN 架构兼顾运营商 MPLS/SRTE 骨干网,真正实现为客户提供全国范围内集 MPLS VPN、IPSEC VPN、SD-WAN 等多种应用的 WAN 解决方案,解决运营商“最后一公里”的难题。

(1) 由于打通了 MPLS 租户 VPN 与 SD-WAN 租户 VPN(也有称之为“混合架构”能力),该架构非常适合实现骨干网、SD-WAN 与主要云运营商对接,开展云联网业务

(2) 运营商在部署这种架构时,建议将 SD-WAN 接入控制器和骨

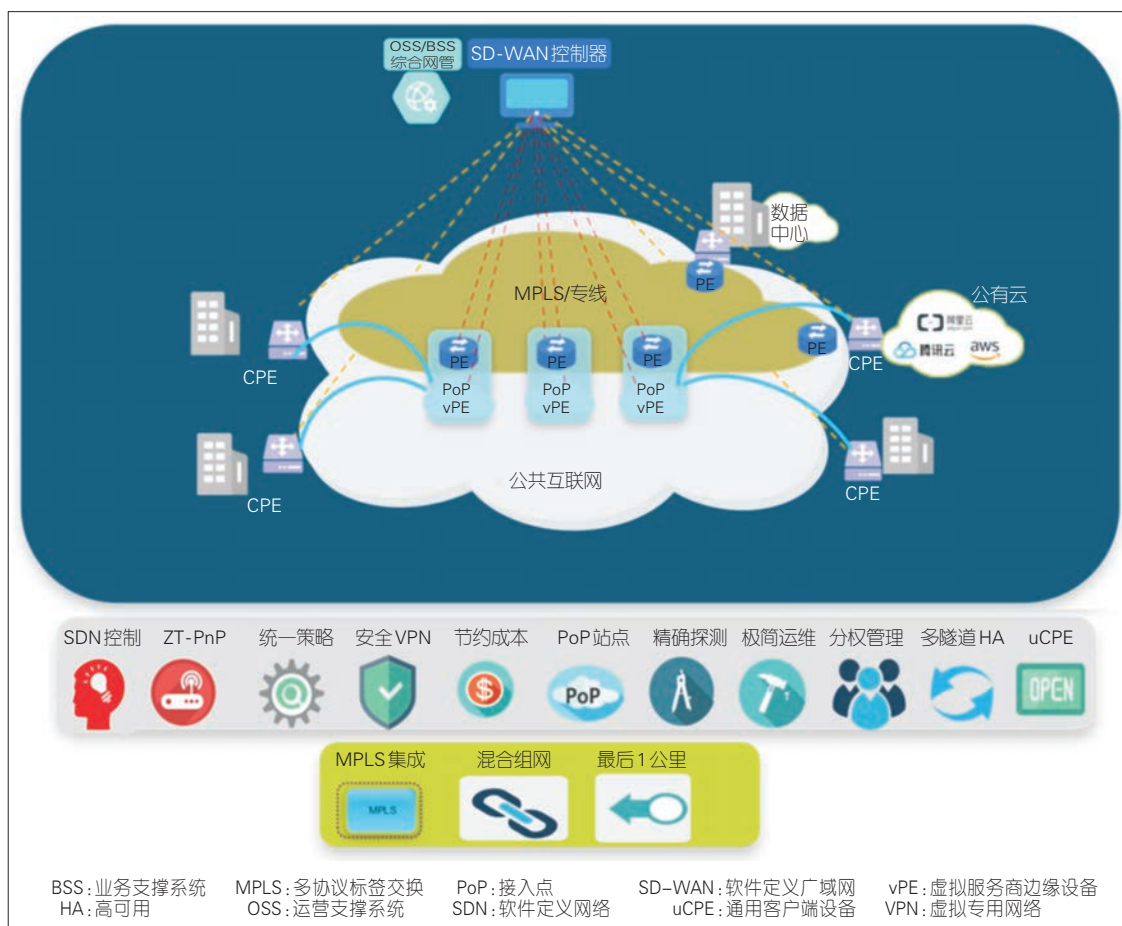


图 6  
整合 SD-WAN 架构  
示意图

干网控制器整合。整合的控制器将 MPLS 服务商 PE 节点统一纳管。这样在开通 VPN 业务时就可以实现完全的业务自动化

## 6 结束语

新型云服务商追求资源逻辑管理和秒级响应,传统的运营商网络已无法支撑业务的弹性和快速增长。云网协同和 SDN 技术的出现,将整个物理网络抽象并简化为“单一”逻辑网络资源池,并通过软件定义用户业务的自动化流程,实现多个系统联动,完成业务端到端快速自动部署。这些年来,中国运营商已开始在大规模运行的骨干网络中进行 SDN 重构,拥抱多云互联的时代。个别运营商已实现多厂商异构环境 SDN 实践部署并取得宝贵经验。但对于中国运营商的骨干网络,在实现 SDN 转变时还面临巨大的挑战,如:运营商缺乏 SDN 技术

和架构,没有标准规范,各个厂商设备实现方式非标准,多厂家异构设备管理,业界实践经验不多等。在中国,SDN 网络技术作为开放软件架构,在开放性、通用标准和互操作方面还有很多路要走,但无论如何,SDN 和云计算作为未来 IT 发展的 2 大最基本的创新引擎,其发展势不可挡。相信不久的将来,SDN 与云计算相结合的云网协同将会给运营商、云商和客户带来一片新的天地。

### 参考文献

- [1] NADEAU D T, GRAY K. SDN: Software Defined Networks [M]. USA: O'REILLY, 2014
- [2] FILSFILSM C, MICHIELSEN K, TALAULIKAR K. Segment Routing Part1 [M]. Beijing: China Industry and Information Technology Pushing&Media Group, and The People's Posts and Telecommunications Press, 2017
- [3] BGP MPLS-Based Ethernet VPN-EVPN [EB/OL]. [2019-01-18]. <https://tools.ietf.org/html/rfc7432>
- [4] IETF. BGP MPLS-Based Ethernet VPN:RFC 7432 [S].2015
- [5] Segment Routing Architecture [EB/OL]. [2019-01-18].<https://tools.ietf.org/html/rfc8402>
- [6] IETF. Segment Routing Architecture: RFC 8402 [S].2018
- [7] Virtual eXtensible Local Area Network (VXLAN): A Framework for Overlaying Virtualized Layer 2 Networks over Layer 3 Networks [EB/OL]. [2019-01-18]. <https://tools.ietf.org/html/rfc7348>
- [8] MAHALINGAM M, DUTT D, DUDA K, et al. Virtual eXtensible Local Area Network (VXLAN): A Framework for Overlaying Virtualized Layer 2 Networks over Layer 3 Networks[R]. RFC Editor, 2014

### 作者简介



**鲁子奕**, 北京大地云网科技有限公司 CTO, 曾任 Cisco 大中华区副总裁、全球研发总监等职务; 长期负责网络软硬件产品第一线设计、研发等相关工作。



**杨文斌**, 北京大地云网科技有限公司技术总监, 曾在 Cisco、IBM 等公司分别任职; 作为中国最早从事数据中心和云计算架构师, 参与过中国大部分金融机构数据中心和骨干网络架构, 以及运营商、OTT 客户的 SDN 云网规划的设计工作。

# 面向云网协同的新型城域网

## New Metropolitan Area Network for Cloud Network Synergy

马季春/MA Jichun, 孟丽珠/MENG Lizhu

(中国联通中讯邮电咨询设计院有限公司, 北京 100048)  
(China Information Technology Designing&Consulting Institute Co.,Ltd. of China Unicom, Beijing 100048, China)



**摘要:** 根据运营商城域网络的现状、问题以及未来云网协同的发展趋势,提出了一种新型的城域网网络架构。新型的MAN将适时采用简化的网络设备、统一的简化网络协议以及核心加边缘的Spine-leaf形式的网络架构,实现业务的综合承载,满足未来云业务和网络的协调发展。

**关键词:** 云网协同;分段路由;城域网

**Abstract:** In this paper, a new architecture of metropolitan area network (MAN) is proposed based on the current situation, problems of MAN and the development trend of network synergy. Simplified network equipment, unified simplified network protocol and spine-leaf style network architecture are adopted in MAN to realize the integrated bearing of service. In this way, the coordinated development of future cloud business and network will be met.

**Key words:** cloud network synergy; segmentation routing; metropolitan area network

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902006

网络地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190417.0950.002.html>

网络出版日期: 2019-04-17

收稿日期: 2019-04-12

云计算、软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)等技术和业务的不断发展,使得云业务和网络发展关系日趋紧密、相辅相成,云网协同已经成为重要的发展趋势。一方面网络是云业务发展的基础,另一方面云业务也带动网络的云化发展和演进。在云网协同的背景下,城域网架构需要重构与优化,形成下一代新型城域网。

### 1 城域网现状

当前运营商网络在城域部分存在多张互联网协议地址(IP)网络:互联网城域网、IP 无线接入网络

(RAN)、骨干承载网、通信云数据中心(DC)网络。

互联网城域网是互联网业务的承载网络,主要承载业务包括家庭宽带、互联网专线等。互联网城域网一般由宽带网络网关控制设备(BNG)和核心路由器(CR)组成,均为较大型的路由器设备,BNG设备负责业务的接入和控制,CR负责城域网与骨干网的连接。通常采用的是星形结构,BNG设备直接连接CR设备。

IP RAN是承载移动网基站回传流量的网络,也用于承载大客户数据专线接入业务。IP RAN通常

采用接入层、汇聚层、核心层3层架构,并且多采用星形和环形结合的结构。

骨干承载网主要承载跨地市的数据专线和虚拟专用网络(VPN)业务。骨干网采用全国统一的自治域,一般在各城域设有2~4台接入设备,负责城域内业务的接入。

通信云DC网络包括DC内部和DC之间的网络,目前通信云DC网络正处在发展时期。DC内部网络主要承载DC内通信云服务器和资源池之间的通信,DC之间网络主要承载跨本地DC的东西向流量。通信云DC网络一般采取基于交换



机设备的叶脊(Spine-Leaf)架构进行组网。

## 2 当前城域网的主要问题

### (1)网络复杂。

正如上文所述,当前城域内有多个不同定位的IP网络,这些网络是在长期的网络业务演进过程中形成的。各网络运行管理相对独立,而且在设备的容量、协议的使用、自治域的划分、业务功能的支持上都各有不同。随着多年的业务发展,这些网络之间形成了复杂的业务联系。多张网络互联带来网络管理的复杂度,导致日常业务开通和新业务开发的难度大,周期长。业务快速开通是云网协同的重要特性,这在当前的复杂环境下实现起来非常困难<sup>[1]</sup>。

### (2)成本高。

由于多张网络的存在,网络设备之间存在大量背靠背连接。对跨网络的业务,连接成本明显增加。随着网络云化的进一步演进,当网元逐步云化之后,通信云DC越来越成为业务的中心,主要的流量业务都将穿越多张网络,形成成本的浪费。

## 3 网络技术发展的趋势

### (1)网络设备简化。

网络设备趋于简化,向标准化、白盒化发展。当前被广泛采用的大型、封闭式的硬件路由设备,在互通性、扩容灵活性、可维护性和设备成本等方面存在局限性,越来越难以满足云化架构的网络演进需求。借鉴云计算的思想,网络设备也向

标准化、可弹性部署方面的发展,主要采用基于标准X86平台的网元设备,或者定制基于通用芯片的白盒转发设备。

### (2)网络协议发展。

随着SDN的发展,网络转发面和控制面进一步分离,许多原来需要通过网络设备中复杂的协议来解决的问题,转为通过独立的控制系统来实现。转发设备需要承担的任务越来越单一,相应的网络协议也逐步简化。当前,以分段路由(SR)/以太网虚拟专用网络(EVPN)为代表的协议引导了转发协议的简化和统一。SR/EVPN协议以其对SDN的良好支持、高扩展性、简化的跨域实现、快速收敛能力、融合的L2/L3虚拟专用网络支持,成为了实现网络流量工程和虚拟专用网络隔离的主要选择。

### (3)网络结构演变。

在网络设备的简化和网络功能虚拟化的背景下,网络能力从核心设备中转向数据中心。以数据为中心逐渐成为运营商网络演进的重要方向。数据中心网络结构已经经过了多年的演进,目前普遍采用核心加边缘的Spine-Leaf形式网络结构,实现Fabric化的网络组织。该结构注重保证网络的横向扩容能力以及对业务流量的快速疏导,目前已经成为主流数据中心网络组织的基本结构。

## 4 云网协同对城域网发展的要求

当前,云网协同已经成为运营商网络演进的重要趋势。网络的云

网协同演进既要满足业务协同的要求,又要满足架构协同的要求<sup>[2]</sup>。

在业务协同方面,网络要能匹配云业务的需求,包括:自动开通、弹性调整、线上控制等。同时还要支持业务能力的开放,实现网络可编程。业务协同的演进主要通过网络SDN化实现。

在架构协同方面,网络要实现以DC为中心的融合组网,简化连接网络架构,实现业务功能的虚拟化和业务网元的云化弹性部署。架构演进是包括城域网在内的运营商网络演进的重点。

## 5 面向云网协同的新型城域网方案

### 5.1 总体思路

新型城域网的方案应能解决现有网络存在的问题,同时要满足技术发展和网络演进的需求。主要采用以下总体思路:

(1)简洁架构。通过简化网络结构,实现简单、标准化的架构,便于维护和扩展;通过简化的协议,降低设备要求和建网成本。

(2)融合承载。网络能够实现家庭宽带、5G移动承载、通信云等业务的融合承载,避免多张网络带来的问题。

(3)自动高效。网络具备基于SDN的自动化和可编程能力,实现快速的业务开通以及差异化的服务保障。

(4)网业分离。将网络和业务能力分离,网络主要负责连接和承载,业务基于SDN和云化网元实

现,保证业务快速开发和灵活性。

## 5.2 网络架构

该架构以 DC 为中心,云网一体重构城域网。该架构面向云化网元和用户的综合承载,采用核心+边缘转发架构;采用以通信云 DC 为中心的资源池提供云化网元的支持;采用融合的核心设备,实现架构的统一;采用多种边缘设备,实现 5G、家庭宽带、大客户、通信云网元的承载。

网络架构如图 1 所示。

## 5.3 协议和技术

简化设备要求,可以实现对网络弹性扩展的支持。网络设备采用 SR/EVPN 协议,简化设备功能要求,降低建网成本。网络主要负责连接和承载,通过 SDN 驱动的 SR TE 实现灵活的流量调度和跨域互通能力,通过支持 QoS 和 VPN,实现网络业务隔离和切片业务保障<sup>[3]</sup>。

## 6 重点业务承载方案

新型城域网采用网业分离设计目标,业务网元云化,网络负责承载。这样一来,在新业务开发时,完全可以依赖云化资源池提供网元能力,由网络负责转发承载,并通过 SDN 配合实现云化网元的连接和服务质量保证。文中,我们仅重点介绍 5G 回传业务和家庭宽带业务的承载方案。

### 6.1 5G 回传业务承载方案

5G 回传业务负责实现将基站流量接入到 5GC 的用户面管理功

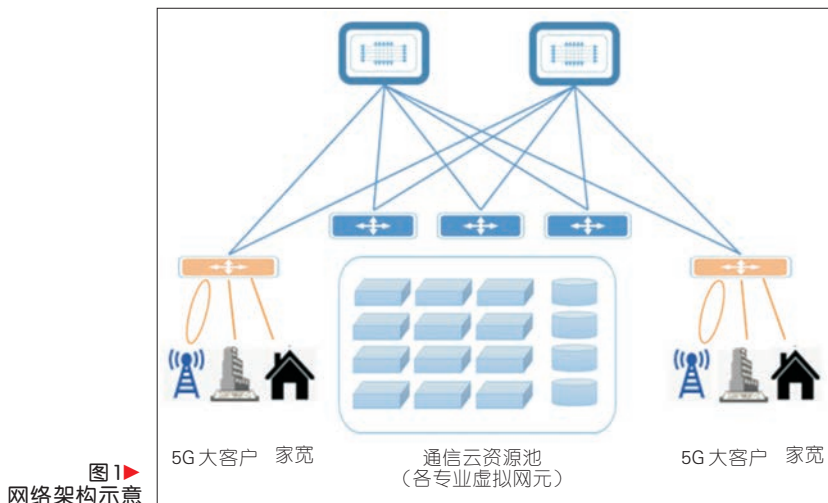
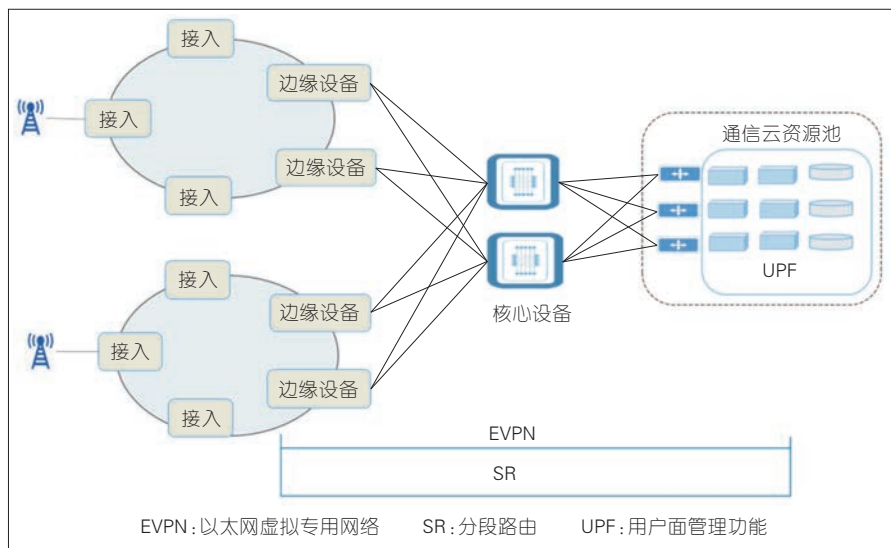


图1  
网络架构示意



▲图2 5G回传业务承载方案

能(UPF)等核心网网元。5G 回传业务承载方案如图 2 所示。

5G 核心网侧,网元由部署在数据中心中的云化资源池服务器实现。服务器通过城域网边缘设备接入,一般采用双星型上连,支持负载分担。

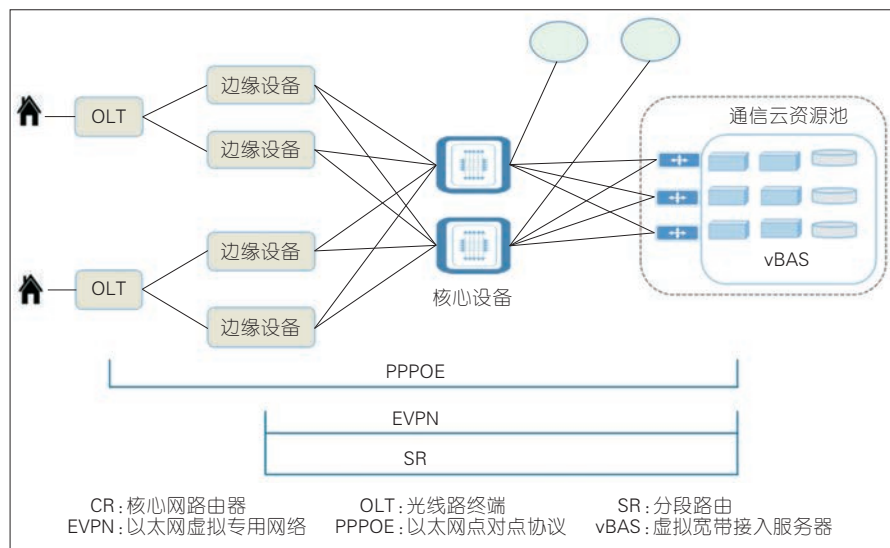
5G 基站侧,采用星型或环形拓扑的方式由基站接入设备接入城域网边缘设备,部署 SR/EVPN 等协议和技术实现端到端的业务承载。新型城域网可通过 SR 实现 5G 回传业

务的快速倒换,同时基于 SR 的选路和资源配置策略实现 5G 回传业务的时延和带宽保障。

### 6.2 家庭宽带业务承载方案

家庭宽带业务负责实现将家庭网络流量接入到互联网,承载方案如图 3 所示。

家庭网络流量通过接入网光线路终端(OLT)接入城域网边缘设备,可采用双星型上连 2 台边缘设备,支持主备保护。



▲图3 家庭宽带业务承载方案

OLT流量通过城域网网络接入DC中的家宽资源池,由资源池网元实现以太网点对点协议(PPPoE)认证,以及网络地址转换(NAT)等,并最终能够将流量接入互联网(城域CR)。

该方案采用端到端的SR/EVPN,实现业务承载,并通过SR实现业务的快速倒换。基于SR的选路和资源分配策略可以实现大带宽

保障。

## 7 结束语

通过对城域网的重构,以DC为中心、简化架构、融合承载的新型城域网可以有效解决目前城域网网络的问题,并满足云网协同的需求。未来,随着5G的发展和基于IPv6的分段路由(SRv6)等技术的进一步应用,新型城域网将为支持

运营商业务的升级演进起到重要的作用。

### 参考文献

- [1] 唐雄燕, 曹畅. 中国联通网络重构与新技术应用实践[J]. 中兴通讯技术, 2017(2):22-23. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2017.02.002
- [2] 唐雄燕, 周光涛, 赫罡, 等. 新一代网络体系架构CUBE-Net2.0研究[J]. 邮电设计技术, 2016(11):11-12
- [3] Cisco Data Center Spine-and-Leaf Architecture: Design Overview White Paper [EB/OL]. [2019-04-07]. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/nexus-7000-series-switches/white-paper-c11-737022.html>

### 作者简介



**马季春**, 中国联通中讯邮电咨询设计院有限公司智能网络设计院总工程师, 教授级高工; 长期从事数据通信网络咨询、规划、设计, 以及云网协同生态的创新研发等相关工作。



**孟丽珠**, 中国联通中讯邮电咨询设计院有限公司智能网络设计院助理工程师; 从事数据通信网络研究、互联网业务应用的相关工作。





# 基于安全保障的边缘计算卸载方案

## Security-Based Computation Offloading Scheme in Edge Computing Network

廉晓飞/LIAN Xiaofei, 谢人超/XIE Renchao, 黄韬/HUANG Tao

(北京邮电大学, 北京 100876)

(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**摘要:** 提出了基于安全管理的边缘计算卸载方案,并基于量子进化算法(QEA)设计了卸载决策方案。该方案保证了用户在边缘计算网络中进行计算卸载的安全性。仿真结果表明,与常规计算卸载方案对比,本方案能在保证计算卸载安全的情况下有效降低整个系统的开销。

**关键词:** 移动边缘计算; 计算卸载; 计算卸载决策; 资源分配

**Abstract:** In this paper, a computation offloading scheme based on security management in edge computing network is proposed, which uses quantum evolution algorithm (QEA) to make reasonable offloading decisions. The scheme can perform secure computing offloading in the edge computing network. The simulation results show that this strategy can effectively reduce the cost of the whole system under the condition of ensuring security.

**Key words:** mobile edge computing; computation offloading; computation offloading decision; resource allocation

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902007

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190328.1700.004.html>

网络出版日期: 2019-03-28

收稿日期: 2019-02-10

为了应对终端设备处理能力不足、资源有限等问题,业界在移动边缘计算(MEC)中引入了计算卸载概念<sup>[1]</sup>。边缘计算卸载即用户终端(UE)将计算任务卸载到 MEC 网络中,主要解决设备在资源存储、计算性能以及能效等方面的不足。计算卸载最初是在移动云计算(MCC)中提出<sup>[2]</sup>,在 MCC 中,UE 可以通过核心网(CN)访问远程的集中式云(CC)的计算和存储资源,将计算过程卸载到云端。然而,MCC

通过计算卸载的方式虽然为移动用户提供了更快的数据处理能力,降低了设备损耗,但也引入了高延迟以及移动无线网络上的额外负载等问题。MEC 技术通过将云端服务进一步“下沉”到网络边缘,解决了 MCC 中计算卸载延时过长、占用网络资源过多等问题。这使得 MEC 中的计算卸载可以应用在视频服务、自动驾驶和物联网等多个领域。

此外,随着计算卸载技术的应用,边缘网络在安全方面暴露出一系列问题。例如,边缘计算服务器分布式部署方式,使得单点防护能

力降低,而多租户的形式会导致恶意用户潜入网内,利用云平台漏洞攻击网络;因此,设计合理的安全措施显得十分必要。计算任务被卸载到边缘网络中,面临更加复杂的网络环境,原本用于云计算的许多安全解决方案也不再适用于边缘计算的计算卸载;因此,设计基于安全机制的边缘计算网络中的计算卸载方案成为解决以上问题的新途径。

### 1 传统的 MEC 中计算卸载方案

MEC 提供了离用户更近的计

基金项目: 国家科技重大专项  
(2018ZX03001019-003)

算资源和存储资源;而如何利用更近的资源来提升网络性能并减小延时,则主要由计算卸载技术实现。本节将主要介绍传统 MEC 中的计算卸载流程以及方案,并对其做简要的对比和分析。

### 1.1 MEC 中计算卸载流程

MEC 中的计算卸载技术主要包括卸载决策和资源分配。其中,卸载决策是指 UE 决定是否卸载、卸载多少以及卸载什么的问题。在卸载系统中,UE 一般由代码解析器、系统解析器和决策引擎组成,其执行卸载决策分为 3 个步骤:首先,代码解析器确定卸载内容,具体内容取决于应用程序类型和代码数据分区;然后,系统解析器负责监测控制各种参数,例如可用带宽、卸载数据大小以及执行本地应用程序所耗费的能量;最后决策引擎根据卸载策略确定是否卸载。

完成卸载决策之后,需要解决资源分配问题,即卸载在哪里的的问题。如果 UE 的计算任务是不可分割的或者可以分割但分割的部分存在联系,这种情况下卸载任务就需要卸载到同一个 MEC 服务器。对于可以分割但分割的任务不存在联系的计算任务,则可以将其卸载到多个 MEC 服务器。

### 1.2 MEC 中卸载方案分析

目前业界研究 MEC 中的卸载方案主要基于卸载决策和资源分配 2 个关键技术点。研究目标主要为降低延时,降低能量消耗。

文献[3]中,作者以降低延时为

目标做出合理的卸载决策。在卸载的过程中,首先 UE 发出卸载请求,然后 MEC 服务器会给 UE 返回信道状态信息(CSI),包括应用缓冲队列状态、本地计算和 MEC 服务器计算消耗的能量以及 UE 和 MEC 之间的信道状态信息。UE 收到 CSI 后,根据具体的优化目标做出卸载决策。在文献[3]中由于引入了 CSI 信息,导致信令开销增大。文献[4]中,作者以优化延时为目标研究了计算卸载过程中的资源分配问题。作者首先对本地计算和 MEC 服务器计算推导出最优的资源分配算法,然后对于部分卸载模型,采取分段式优化,并证明了最优数据分割策略。基于上述 2 种结果,找出了最优联合通信和计算资源的分配算法。结果表明,在通信资源充足而计算资源有限的情况下,采用分段式优化的算法能显著较少端到端的延时。文献[5]中,作者提出的以降低延时为目标的最优卸载方案,就是考虑了 MEC 在计算资源有限的情况下,如何进行卸载决策和资源分配的问题。作者提出了分层的 MEC 部署架构,并采用 Stackelberg 博弈论的方法解决了多用户卸载方案。文献[6]中,对于顺序任务,即线性拓扑任务图,作者找到最优的任务卸载到边缘云;而对于并发任务,则采用负载均衡启发式算法将任务卸载到边缘云中,以使 UE 和 MEC 服务器之间的并行最大化,达到最小的延时。文献[7]中,作者针对部分卸载模型,提出了任务之间的依赖关系对卸载决策的影响,并且采用多项式时间算法来解决卸载决策的最优

方案。

文献[8—10]中,作者以优化能量消耗为目标设计了计算卸载方案,在满足应用时延的同时以优化 UE 处的能量消耗为目标,提出了 2 个资源分配方案:第 1 种策略基于在线学习、网络状态动态的调整,以适应 UE 的任务要求;第 2 种策略是预先计算的离线策略,需要每个时隙的数据速率、无线信道状况的信息支持。文献[9]中,作者在离线策略的基础上设计了 2 种动态离线策略即确定性离线策略和随机离线策略,用于卸载。实验数据也表明,在节能方面有高达 78% 的提升。文献[10]中,作者提出了在保证时延的情况下对能量进行优化的卸载方案。该方案同时考虑了前传网络和回传网络的链路状况,采用人工鱼群算法进行全局优化。

目前,有关 MEC 中的计算卸载研究工作大部分没有考虑安全问题。UE 在卸载计算任务的过程中会遇到各种各样的安全问题,例如用户恶意卸载、分布式拒绝服务(DoSS)攻击、隐私泄漏等;因此设计一个保证安全的计算卸载方案很有必要。相比于上述研究方案,我们的研究贡献主要有以下几点:

(1) 基于 MEC 网络架构设计基于安全的 MEC 计算卸载架构,并提出信任管理机制。

(2) 在此架构基础上,对 MEC 计算卸载的过程进行建模分析,以优化整个系统的延时和能耗总的开销为目标,设计了计算卸载策略。

(3) 基于量子进化算法(QEA)提出了卸载决策求解算法,并对该

卸载方案进行仿真验证。结果显示,相比于常规卸载策略,本方案不仅使得整个系统开销降低,且提高了安全保障。

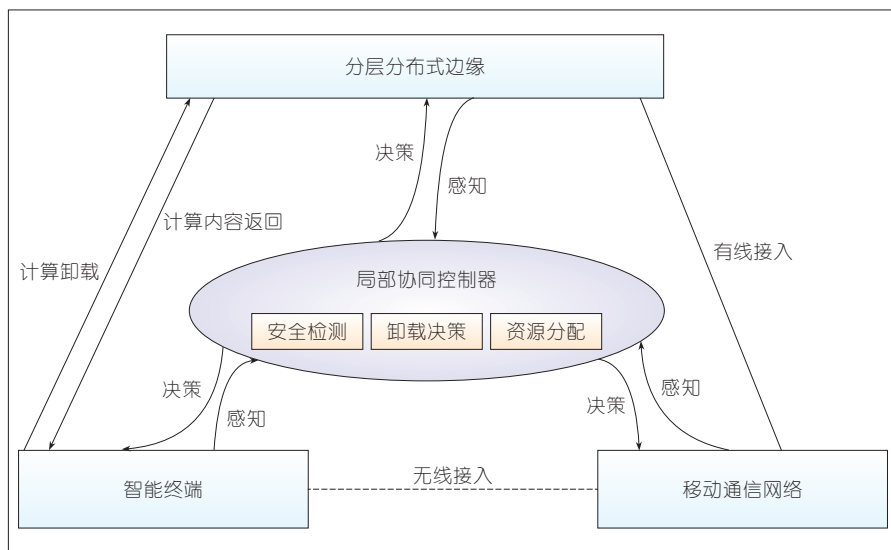
## 2 基于安全的 MEC 计算卸载方案

### 2.1 基于安全的 MEC 架构设计

一般情况下,终端在执行计算卸载任务的过程中,需要不断感知云服务环境的变化,通过与远端服务器通信来制定卸载策略,造成终端能耗浪费和网络资源占用,降低了系统的服务效率。此外,在网络安全方面,没有统一的监测和管控机制,网络安全难以保证。针对这几个问题我们在3层云架构体系中引入局部 MEC 控制器,可以实时感知网络的资源状况和服务器状态,并与 MEC 服务器进行交互。局部 MEC 控制器管理一个接入点下的所有边缘服务器,通过实时获取该区域内网络状态信息、拓扑信息、管理信息以及智能终端信息等构建局部数据库。所有局部控制器由全局控制器集中控制,全局控制器根据局部控制器得到的信息下发合理的资源分配策略或预测策略,并实现资源分配与安全管理控制,以保证用户终端的安全计算卸载。基于安全的 MEC 网络结构协同机制如图1所示。

### 2.2 基于安全的 MEC 计算卸载方案设计

本方案的主要目标是设计一种智能解决方案。该方案不仅能解决



▲ 图1 基于安全的移动边缘计算网络结构协同机制

计算卸载时的安全问题,而且可用于有效地处理 MEC 卸载时所涉及的动态问题,主要包括对可伸缩性的突然需求、信任状态的预测和估计、计算卸载的智能决策、网络状态的后期分析、更新信任策略等。在本方案中,MEC 控制器将有恶意卸载的用户转移到安全监测控制服务器以计算它们每次交互的信任,在不中断网络正常操作的前提下继续监测控制卸载的用户。

终端将卸载的任务信息发送给 MEC 局部协同控制器,此时会进行安全监测和转移等步骤,然后将决策结果返回给 UE。本方案以优化整个系统的能量消耗和时延的均衡为目标,在引入了信任管理机制的同时尽量减少能量消耗。优化能耗主要包括 UE 能耗和 MEC 服务器能耗以及信任管理监测控制引入的能耗。时延则是从发起计算任务到执行完并返回结果的时间。

基于上文对卸载方案的描述,基于安全管理的计算卸载方案可转

化为卸载决策和资源分配的问题,下面我们将从网络模型、卸载模型、安全模型角度描述建模过程,并得到决策函数。

#### (1) 网络模型。

网络模型由网络不同的边缘节点(EC)组成,每个 EC 由一组 MEC 服务器和 MEC 控制器组成。 $C=\{c_1, c_2, \dots, c_K\}$  代表不同的边缘节点,每个边缘节点中的 MEC 集合表示为  $S_{c_k}=\{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ , 可以为移动终端提供计算卸载服务。UE 集合表示为  $N=\{n_1, n_2, \dots, n_q\}$ 。

#### (2) 卸载模型。

在该模型中,将每一个时隙内做出卸载决策的判定成为一个策略集,则另  $A_t$  表示为卸载的决策矩阵,如公式(1):

$$A_t = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1,s} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & \cdots & a_{n,s} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中,  $a_{n,s} \in \{0,1\}$  表示  $UE_n$  是否卸载计算任务到 MEC 服务器,  $a_{n,s}=1$



代表将  $UE_n$  的计算任务卸载到 MEC 服务器,否则代表本地执行。由于每个任务只能由一个 MEC 服务器执行,因此需要满足公式(2)和公式(3)的约束条件。

$$\sum_{s=1}^S a_{n,s} \leq 1, \quad (2)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{n,s} \leq 1. \quad (3)$$

基于信任管理机制,卸载决策可分为服务器执行计算任务和本地执行任务2种。

• 服务器执行计算任务。

若服务器经过信任监测,决定给某个 UE 分配计算和通信资源,那么整个计算任务将在服务器执行。这种情况下,整个计算任务在单位时间内所消耗的总能量主要由传送能耗、MEC 服务器计算能耗和服务器的监测控制能耗3部分组成,可用公式(4)来表示:

$$E_{s,n} = \frac{P_n B_n}{R_n} + v_{n,s} D_n + E_{monitor}, \quad (4)$$

其中,  $n(n=1,2,\dots)$  为 UE 编号,

$\frac{P_n B_n}{R_n}$  代表传送能耗,  $P_n$  代表  $UE_n$  的传送功率,  $B_n$  代表计算卸载的数据量,  $R_n$  代表传送速率,  $v_{n,s} D_n$  代表 MEC 服务器的计算能耗,  $v_{n,s}$  表示 MEC 服务器每个 CPU 周期消耗的能量,  $D_n$  代表完成该计算任务所需要的 CPU,  $E_{monitor}$  表示监测控制能耗。监测控制能耗和信任管理机制中相关参数将会在安全模型中详细介绍。

时延的计算主要由计算时延和

传送时延组成,可用公式(5)表示:

$$T_{s,n} = \frac{D_n}{F_{n,s}} + \frac{B_n}{R_n}, \quad (5)$$

其中,  $F_{n,s}$  表示的是 MEC 的 CPU 计算能力。

MEC 服务器执行的代价函数如公式(6):

$$Z_{n,s} = \gamma E_{s,n} + (1 - \gamma) T_{s,n}, \quad (6)$$

其中,  $\gamma$  表示时延和能耗的权重,由于不同应用程序的需求不一样,因此权重比例需要根据用户的需求而改变。

• 本地执行计算任务。

若应用程序在本地执行计算任务,能耗主要是指处理计算任务的能耗,可用公式(7)表示:

$$E_{l,n} = v_{n,l} D_n, \quad (7)$$

其中,  $v_{n,l}$  代表本地计算每个 CPU 周期的能耗,  $D_n$  代表完成该计算任务所需要的 CPU。

时延的消耗主要是计算的时延,可用公式(8)表示:

$$T_{l,n} = \frac{D_n}{F_{n,l}}, \quad (8)$$

其中,  $F$  表示 UE 的 CPU 计算能力。

本地执行的代价函数如公式(9)所示:

$$Z_{n,l} = \gamma E_{l,n} + (1 - \gamma) T_{l,n}. \quad (9)$$

(3)安全模型。

通过在 MEC 控制器中引入安全模块,实现对卸载的计算任务进行安全监测,本文中我们采用 X.Qin 等人设计的熵检测算法<sup>[11]</sup>。因为攻击的数据包与正常的数据包很相似,常规检测方法如规则匹配等很

难发现异常;而熵检测算法能精准地感知网络参数的变化,然后计算出相对应的信息熵,通过这种方法来具体检测是否是恶意卸载的计算任务。

根据文献[12]可知,卸载的计算任务进行检测时需要消耗能量,我们设计的卸载决策方案直接影响着该能量的变化;因此,找出最小化能耗的卸载决策是基于安全的卸载方案的优化目标。其中涉及到熵检测算法的属性有 UE 信任度、卸载频率、网络环境和 CPU 以及内存利用率等。属性  $z$  在集合  $G$  中的分布属于多项式的分布,概率如公式(10)所示:

$$P(G_z) = \frac{|G|}{\prod_{z=1}^{|G|} z!} \prod_{z=1}^{|G|} G_z^z, \quad (10)$$

$G = \{g_1, g_2, \dots, g_z\}$ , 其中  $1 \leq z \leq 5$ ,  $G$  表示相关属性的集合,  $G_z$  的计算是代表具有属性  $z$  的用户占整个系统用户的比例,由此可以计算出  $R_{n,i} = \sum_G P$ 。我们采用最大阈值策略来判断恶意卸载的用户,且这5个参数服从多项分布;因此若大于设定的阈值,则为恶意卸载的用户,卸载决策的判决则是不同意卸载。信息熵的计算公式具体如公式(11)所示:

$$R_n = -\sum_{i=1}^5 R_{n,i} \log(R_{n,i}), \quad (11)$$

其中,  $R_n^H$  为检测阈值,因此卸载决策的随着检测结果而变化,具体如公式(12)所示:

$$a_{n,s} = \begin{cases} 1, & R_n \geq R_n^H \\ 0, & R_n < R_n^H \end{cases}. \quad (12)$$

监测控制成本开销如公式(13):

$$E_{monitor} = \frac{v_{n,s} M_u R_n}{M_s}, \quad (13)$$

$E_{monitor}$  表示监测控制能耗,它和信任管理机制中的算法涉及参数相关; $M_u$  表示 MEC 服务器为一个 UE 提供的内存资源; $M_s$  表示整个服务器的内存可用资源。

因此,总的优化函数表示如公式(14-19)所示:

$$\min[\sum_{n \in N} (\sum_{s \in S} (a_{n,s} Z_{n,s}) + (1 - a_n) Z_{n,l})] \quad (14)$$

$$a_{n,s} \in \{0,1\} \forall n \in N, \quad (15)$$

$$\sum_{s=1}^S a_{n,s} \leq 1, \quad (16)$$

$$\sum_{n=1}^N a_{n,s} \leq 1, \quad (17)$$

$$a_{n,s} = \begin{cases} 1, R_n \geq R_n^H \\ 0, R_n < R_n^H \end{cases}, \quad (18)$$

$$\sum_{n \in N} a_n F_{n,s} \leq F_s. \quad (19)$$

公式(19)的约束条件中, $F$ 代表 MEC 服务器的总的 CPU 计算资源,MEC 服务器分配的计算资源不能超过总的计算资源。

### 3 算法设计

在基于安全的计算卸载方案中,当数据量较大时,该问题是一个 NP-hard 问题。为了进一步求解该问题,本节采用一个 QEA<sup>[13]</sup> 的解决方案来寻找该模型的最优近似解。寻找最优解的过程表示如算法 1。

### 4 仿真分析

图 2 展示了系统总的开销和卸

#### 算法 1 基于量子进化算法的计算卸载算法

**begin**

当前迭代次数  $t$  置为 0,并设置最大迭代次数  $M$

初始化  $Q(t)_a$  卸载决策矩阵

通过 make 子程序观察  $Q(t)_a$  的状态来确定最优解矩阵  $P(t)_a$

通过 repair 子程序(约束条件)来对  $P(t)_a$  修正

评估  $P(t)_a$  对应的整体开销

把  $P(t)_a$  中的最优解存储到  $B(t)_a$  中

**while**( $t < M$ ) **do**

**begin**

当前迭代次数  $t$  加 1

通过 make 子算法观察  $Q(t-1)_a$  状态来确定  $P(t)_a$

评估  $P(t)_a$  对应的整体开销的最小值

利用 update 子程序对  $Q(t)_a$  进行更新

把  $P(t)_a$  和  $B(t-1)_a$  中的最优解存储到  $B(t)_a$  中

把  $B(t)_a$  中的最优解置为  $b_a$

**if**(当前迭代次数满足迁移条件) **then**

把  $b_a$  或者  $b'_{a,j}$  迁移到  $B(t)_a$  中

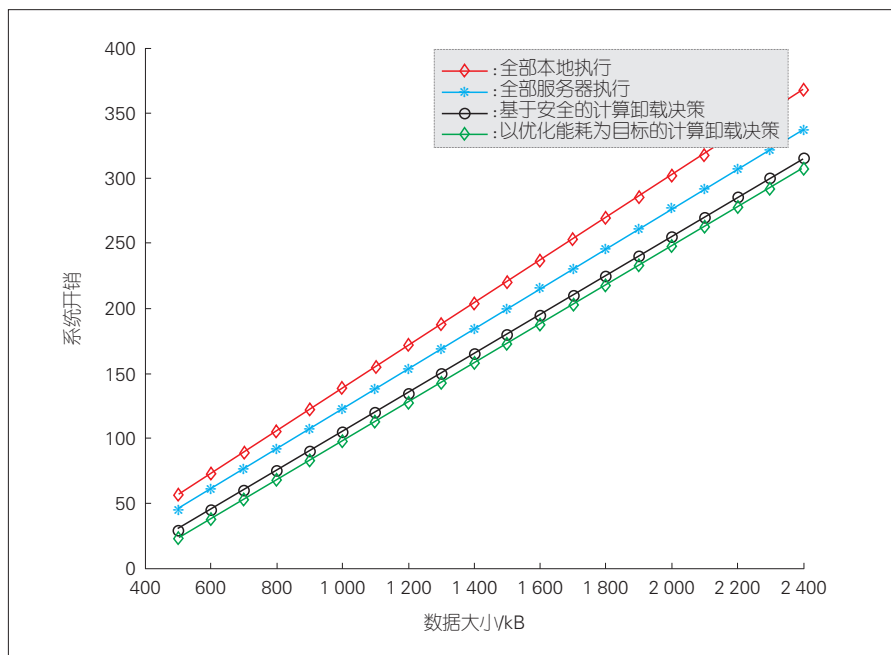
**end if**

**end**

**end**

载任务数据量  $B_n$  之间的关系。随着数据量的增加,总的开销也在增加。重要参数的数值如下: $UE_n$  的

传送功率是 100 mw,数据传送速率  $R_n$  是 10 Mbit/s,CPU 周期数是 1 000 Megacycles。同时还对比了本方案



▲ 图 2 系统总的开销和卸载任务数据量  $B_n$  之间的关系

的卸载决策和其他3种卸载决策的方案。由图3可以看出,全部本地执行计算任务的开销最大,全部服务器执行的开销较小,我们提出的基

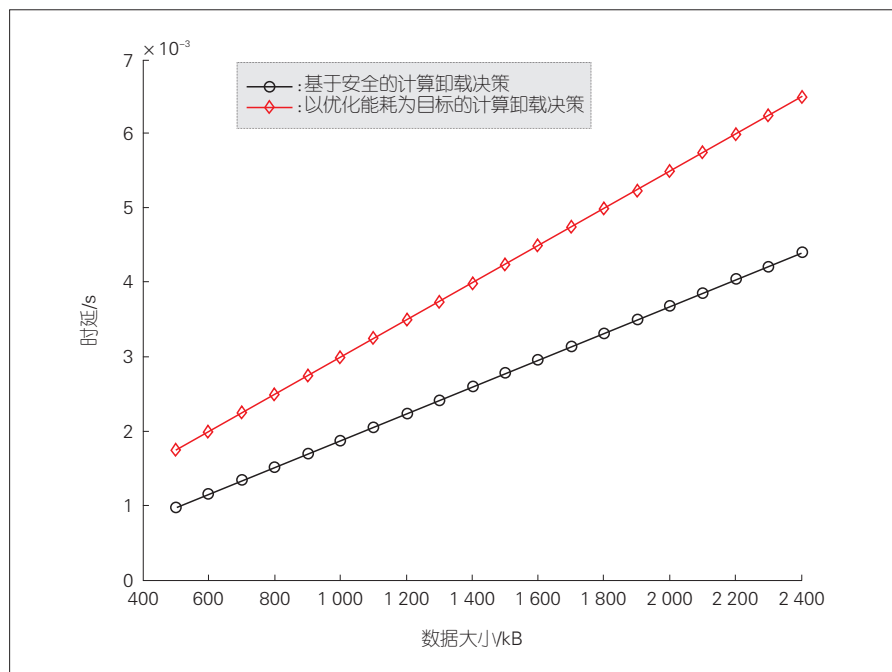
于安全的卸载决策方案是接近最优解的。虽然整体的开销大于文献[14]中提出的仅优化能耗的方案,但仅优化能耗的方案未考虑安全因

素和时延的计算。如图3所示,在时延上我们提出的计算卸载方案是优于仅考虑能耗的卸载方案。

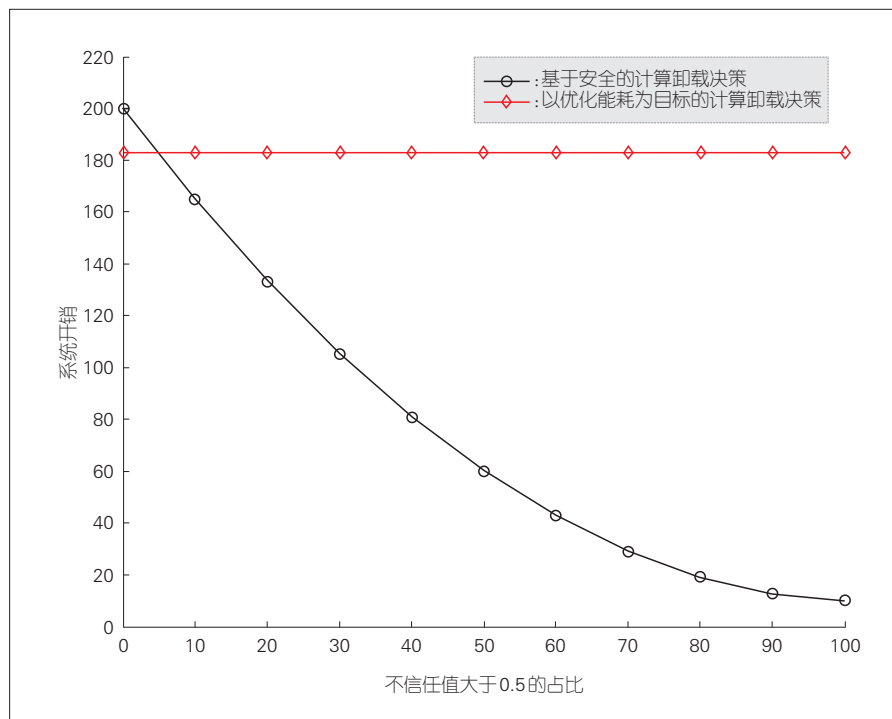
在进行熵检测时,我们通过设置5个影响属性的值来模拟不同安全程度的用户。随着不信任用户的转移,整个系统的开销如图4所示。结果表明,基于安全管理的计算卸载方案通过对不信任用户的转移和集中控制能够使得系统的开销整体下降。

## 5 结束语

文章中,我们提出了基于安全的边缘计算卸载方案。该方案不仅使得计算卸载过程中的整体开销最小化,而且保证了卸载的安全。在该方案中,我们采用基于QEA的算法来找到最优的卸载决策矩阵。仿真结果表明,在保证安全性的前提下,本方案在整体开销的性能上优于其他常规方案。



▲ 图3 系统时延和卸载任务数据量  $B_n$  之间的关系



▲ 图4 系统开销与用户终端信任值大小的关系

## 参考文献

- [1] HU Y C, PATEL M, SABELLA D, et al. Mobile Edge Computing—A Key Technology towards 5G[J]. ETSI White Paper, 2015, 11(11): 1–16
- [2] KHAN A U R, OTHMAN M, MADANI S A, et al. A Survey of Mobile Cloud Computing Application Models[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(1): 393–413. DOI:10.1109/SURV.2013.062613.00160
- [3] LIU J, MAO Y Y, ZHANG J, et al. Delay-Optimal Computation Task Scheduling for Mobile-Edge Computing Systems[C]//2016 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT). Spain: IEEE, 2016: 1451–1455. DOI:10.1109/ISIT.2016.7541539
- [4] REN J K, YU G D, CAI Y L, et al. Latency Optimization for Resource Allocation in Mobile-Edge Computation Offloading[J]. IEEE

➡ 下转第56页





# 智能是怎样生成的

## How Is Intelligence Created

钟义信/ZHONG Yixin

(北京邮电大学, 北京 100876)

(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902010

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190409.0928.002.html>

网络出版日期: 2019-04-09

收稿日期: 2019-03-17

**摘要:** 重点指出为了构建普适性的且可理解的智能生长机制, 需要颠覆传统科学的科学观和方法论对人工智能研究的统领地位, 确立信息科学的科学观和方法论对人工智能研究的统领。探究了人工智能理论的核心问题: 智能是怎样生成的? 结果表明, 普适性的智能生成机制就是“信息转换与智能创生”定律。

**关键词:** 人工智能; 生成机制; 信息转换

**Abstract:** In this paper, it is emphatically pointed out that in order to set up the universal and understandable mechanism for intelligence growth, it is necessary to subvert the dominant position of the traditional scientific view and methodology over artificial intelligence research, and to establish the scientific view and methodology of information science leading artificial intelligence research. The core question of artificial intelligence theory is explored: how is intelligence created? And the secret of intelligence creation is revealed as the law of “information conversion and intelligence creation”.

**Key words:** artificial intelligence; mechanism of intelligence creation; information conversion

最近几年, 人工智能的发展引起了全世界的高度重视。许多国家都把发展人工智能设定为国家重要战略。2017年7月, 中国国务院也发布了《新一代人工智能发展规划》, 提出了中国人工智能发展“三步走”的目标<sup>[1]</sup>。

因此, 学术界都在认真思考: 我们应当为人工智能的相关发展做些什么?

### 1 什么是最紧迫的人工智能研究课题

人们提出了各种各样的人工智能研究课题: 大数据智能、群体智能、跨媒体智能、混合智能、自主智能、机器学习、类脑计算、量子计算、

机器人、无人驾驶等, 胜似雨后春笋。显然, 所有这些都很有意义。

不过, 如果我们注意到人工智能研究的历史和现状, 以及社会的深层需求, 就可以发现: 通用性的人工智能整体理论更加值得关注。

这是因为数十年来在“分而治之”方法论引领下, 世界人工智能的研究被分解为人工神经网络(结构主义人工智能)、物理符号系统/专家系统(功能主义人工智能)和感知动作系统/智能机器人(行为主义人工智能), 形成三足鼎立的“三大学派”, 并各自为战, 互不相容。虽然3个学派都取得了一些精彩的局部领域应用成果(如神经网络的深度学习、专家系统的AlphaGo、感知动

作系统/智能机器人的Sophia等), 却无法形成通用性、整体性的人工智能理论, 这成为现代人工智能研究的最大痛点。这种状况一直持续到现在。显然, 只有局部成果而没有通用性、整体性理论支持的人工智能, 是不成熟的人工智能, 是没有后劲的, 因而也走不远, 很难持续地兴旺发展。如果长此下去, 新一轮的人工智能寒冬迟早还会再来。

令人欣喜的是, 从1978年至今, 经过40多年的艰辛探索和不懈努力, 笔者提出并建立了“机制主义人工智能理论”<sup>[2]</sup>, 西北工业大学何华灿提出并建立了“泛逻辑学理论(人工智能的逻辑基础)”<sup>[3]</sup>, 原北京师范大学现在辽宁工程技术大学工

作的汪培庄提出并建立了“因素空间理论”<sup>[4]</sup>(人工智能的数学基础)”。从2015年开始,3位专家就一直寻求这3个理论的有机合成,形成了“机制主义人工智能基础理论”,实现了长期互不相容的人工智能“三大学派”的和谐、统一,成为人工智能的整体性理论,并实现“基础意识、情感、理智”三位一体的高等智能<sup>[5]</sup>。

为什么机制主义人工智能理论有这样强大的威力?其关键在于发现并解决了人工智能理论的一个核心问题:智能究竟是怎样生成的?是否存在普适的智能生成机制?一旦发现了这种普适的智能生成机制,人工智能理论的研究就看到曙光了。

## 2 建立普适的智能生成机制,不是一般的技术问题

那么,智能到底是怎样生成的呢?什么又是所谓的智能的普适生成机制呢?

如上所述,长期以来学术界一直认为:智能是人类(或生物)大脑工作的产物,因此为了探究智能的生成奥秘,就要“揭开大脑的神秘面纱”。近200年来,人们围绕大脑的结构和功能展开了大量的研究,包括医学界的大脑解剖技术、神经生理学界的各种扫描成像技术、认知科学界的各种心理实验技术等。根据这些研究的进展,人工智能学界先后展开了模拟人类大脑新皮层结构的人工神经网络研究(1943年开始)和模拟人脑逻辑思维功能的物理符号系统及专家系统研究(1956

年开始)。所有这些方法的共同特点都是把大脑作为一个复杂的物质系统,按照分而治之的方法论把它分解为相对简单的子系统进行研究,希望把各个子系统的研究成果加以合成就能揭秘大脑的工作机制;但是上述所有努力都没有达到目的。

上述努力达不到目的的原因何在?原来,虽然人工智能和大脑原型确实都是由物质构成的,但在“信息和智能的研究视角”下,它们却都是复杂的信息系统,更准确地说是复杂的物质系统所支持的复杂信息系统,而不再是纯粹的物质系统。更为重要的是,人们对大脑系统的关注,不再是它们的物质结构,同样也不简单是这些物质结构和系统功能共同支持的“信息过程以及在这种信息过程中所展现的各种神奇能力”。

需要指出,这种“研究视角”的改变,不是简单的技术性问题,而是科学研究的“科学观”问题,以及由这种科学观所孕育的“方法论”问题。技术问题是科学研究的低层问题,科学观和方法论问题是科学研究最高层的问题。低层的技术问题当然非常重要,没有技术理论就无法具体实现;但低层技术问题要服从高层的科学观和方法论的支配和管理(不管是否意识到)。所以,上述所有的分而治之方法都达不到建

构人工智能整体理论目的,这主要不是因为技术能力不够,而是所秉持的“科学观和方法论”不对路。

根据我们数十年的研究,到目前为止,科学研究存在2大类科学观和方法论:工业时代所形成的传统科学的科学观和方法论;信息时代所需要的信息科学的科学观和方法论。2种科学观和方法论的对照见表1。可以看出,2种科学观和方法论很不相同。

毫无疑问,人工智能是一类“复杂物质系统所支持的复杂信息系统”,是信息科学技术的高端产物;因此,人工智能的研究应当遵循信息科学的科学观和方法论。遗憾的是,当人工智能在20世纪中叶问世时,世界上还没有信息科学的科学观和方法论(因为信息科学的科学观和方法论须在信息科学研究长期实践的基础上才能逐步被人们总结和提炼出来),于是人们就沿用了那时已经非常成功因而非常流行的传统科学的科学观和方法论。结果,人工智能的研究就被分而治之的方法论分解成为了前面所提到的3大学派。

那么,为什么传统科学的科学观和它的分而治之方法论不能建立人工智能的整体性理论而只能形成一些局部的理论和技术呢?

显然,当人们对复杂信息系统施行分而治之的时候,就不可避免地割断了这个复杂信息系统各个子

▼表1 2种科学观和方法论的对比

比较的项目	传统科学	信息科学
科学观的主要特征	确定性,客观性	不确定性,主体客体相互作用
方法论的主要特征	机械还原,分而治之	信息生态,整体演化

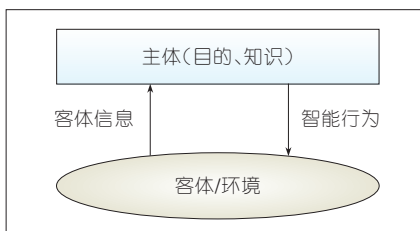
系统之间复杂而看不见的信息联系,而这些复杂而看不见的信息联系正是复杂信息系统的生命线。既然生命线被割断了,原来的复杂信息系统就不再可能被还原了。这是分而治之方法论在人工智能研究领域不能发现更不能建立“普适的智能生成机制”的根本原因,也是分而治之方法论不可能建立人工智能整体理论的根本原因。

### 3 颠覆了传统科学观和方法论的统领,答案便跃然纸上

明白了这个道理,以发现普适性智能生成机制为目标的人工智能基础理论研究就必须坚决放弃分而治之的方法论思想,虽然后者在数百年的近代科学研究领域一直是放之四海而皆准的铁律。人工智能理论研究的出路则在于研究和总结适合于人工智能这种复杂信息系统性质的新的科学方法论——信息科学的科学观和方法论(见表1)。用现在比较时髦的语言来说,就是要坚决颠覆传统科学的科学观和方法论对人工智能研究的统领地位,确立信息科学的科学观和方法论对人工智能研究的统领。

有了这样的认识,我们就有了全新的研究视角——信息科学的科学观和方法论。按照这个科学观念和方法,人工智能的研究模型就不再是单纯的“脑模型”,而是“主体与客体之间相互作用的模型”;因为“智能”不是大脑凭空产生的,而是在主体与客体相互作用的过程中产生出来的<sup>[2],[5]</sup>,如图1所示。

图1是智能系统(人类智能或



▲图1 智能系统(人类智能、人工智能)模型

人工智能)的典型模型,具有普遍的意义。在该模型中,存在2类不同的对象:一类是环境中的客体事物,一类是人类主体(当然也可以是生物主体或人工智能主体,最具典型意义的是人类主体。以下的叙述,都将以人类主体为例展开),还有主体与客体之间的相互作用——客体产生的客体信息作用于主体,主体则生成智能行为反作用于客体。众所周知,任何人类主体和生物主体都具有自己的目的和先期积累起来的知识(人工智能系统的目的和知识则是由人类主体所赋予的)。人类主体的永恒目的是“生存与发展”,人类正是通过这种相互作用来实现自己的目的。

如果考察图1模型中的相互作用过程,关于智能的一系列问题就能得到十分简明而又十分清晰的理解。比如:为什么主体需要智能?如果主体没有智能情况会怎样?主体所需要的智能“是怎样生成的”?这种智能的生成机制为什么是“普适”的?

我们首先考察:为什么主体需要智能?

从图1可以看出,受到客体信息的作用之后,主体就应当生成“智能行为”反作用于客体,以便通过这种相互作用来实现主体“生存和发

展”的目的。但是,成功实现这个目的的前提是主体生成的行为必须具有足够的智能水平,否则,主体就达不到自己的目的,这个行为就成为了失败的行为。另一方面,如果主体生成的行为“不够智能”,还可能会破坏环境运行的客观规律,后者又会反过来给主体的生存发展带来风险。可见,在主体客体相互作用的过程中,一方面为了实现主体自身生存与发展的目的,同时也为了维护环境运行的客观规律,主体都必须生成具有足够智能水平的行为。这就是智能问题的全部意义:如果没有智能,人类主体就难以生存更难以发展。

那么,主体所需要的智能行为是怎样生成的?

图1的模型也同样非常明确地告诉我们:主体必须根据自己的目的,运用已有的先验知识,设法把从外部客体收到的“客体信息”转化为自己所需要的“智能行为”。这就是:在目的牵引下、在知识支持下“把信息转换为智能”。舍此,别无他途。

这就揭示了一个非常重要的根本规律:信息转换与智能创生。意思是说,为了创生智能而展开的信息转换是生成智能的根本规律。这个规律是根本性的,是唯一的,也是普遍适用的。这种普遍适用的根本规律通常被称为“定律”。因此,普适的智能生成机制——信息转换与智能创生是关于如何生成智能的一条基本定律。

相映成趣的是,我们在基础科学已经发现了“质量转换与物质不



灭”定律和“能量转换与能量守恒”定律,如今在信息科学(人工智能是信息科学的制高点)我们又发现了“信息转换与智能创生”定律。这样,物质、能量、信息三大资源领域的“转换定律”就齐备了。质量转换定律和能量转换定律揭示了物质世界和能量世界运行的客观规律;信息转换定律则揭示了人类如何把信息资源转换为智能求得生存和发展的人类生存与发展的规律。因此,普适性智能生成机制的探索,是一项意义极为重大的科学研究。

值得注意的是,普适性智能生成机制的定律无需强制“要用人工神经网络来创生智能”,也无需强制“要用物理符号系统/专家系统来创生智能”,更无需强制“要用感知动作系统/智能机器人来创生智能”,只强调了“要通过信息转换来创生智能”。

由此说明,“人工智能是信息科学技术的制高点和高端产物”这一认识是何等准确而深刻!而人们以前持有的“人工智能是计算机科学的分支”的说法和“人工智能是自动化学科的延伸”的说法则显得牵强。实际上,在以往的人工智能研究中,人们确实重视了计算机科学技术和自动化技术,或多或少地忽视了信息科学技术,忽视了信息和信息转换理论的重要性。这种认识看来需要做出调整。

指出这一结论也很重要,因为这样就可以使人们明白,在研究人工智能的时候,信息的观念和信息转换的观念是最重要的。这丝毫也没有贬低“算法和算力”的作用,因

为一切信息转换的实现都要得到算法和算力的支持。但是,需要进一步明确的是,算法和算力都是为了实现相应的“信息转换与智能创生”而服务的。

当然,这里所说的“信息科学”不是指 Shannon 信息论,因为 Shannon 信息论的信息只是一种统计性的语法信息,丢失了信息的“内容”和“价值”因素<sup>[5]</sup>,不足以支持人工智能的研究。由于篇幅的缘故,有关这一问题的讨论就不在这里详细展开。

#### 4 智能生成机制与人工智能通用模型

当然,任何定律都是普遍适用的,也是抽象的。如果要把定律的内涵具体化,就需要根据神经科学、认知科学、信息科学、人类学、人文科学等学科的相关知识来构建人工智能的通用模型,图2表示的就是这样的人工智能通用模型<sup>[2],[5]</sup>。

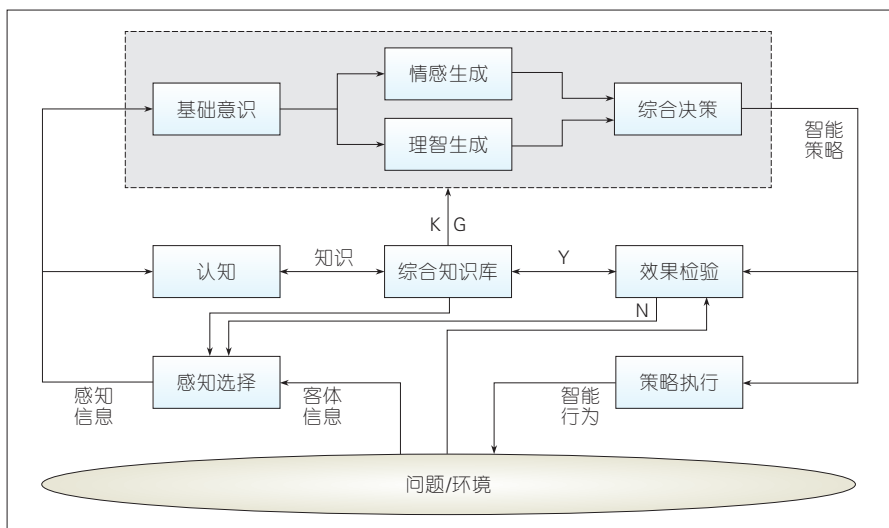
其实,图2和图1一样,都刻画了人类主体与客体相互作用的过

程。图2的椭圆表示的是环境及其中的客体(也可称为问题),其余部分则表示主体生成智能行为的整个过程,也就是信息转换与智能创生定律——普适性智能生成机制的实施过程,包括如下7个典型阶段:

(1)客体(或问题)呈现的客体信息作用于主体。

(2)由客体信息到感知信息/语义信息的转换(感知与注意)。由于主体具有目的和知识,主体就通过“感知与注意”模块来判断这个客体信息是否与自己的目的有关,如果无关就不予理会(这就是“舍弃”),如果有关(无论是正面相关还是负面相关)就予以关注并生成感知信息。感知信息具有3个分量:反映客体形态的“语法信息”,反映客体对于主体目的而言的效用利害关系的“语用信息”以及定义在语法信息和语用信息之上的“语义信息”。根据语义信息的定义,它可以代表语法信息和语用信息,因此也就可以代表整个感知信息。

(3)由语义信息到知识的转换



▲图2 人工智能的通用模型

(认知)。根据语义信息,主体就可以在综合知识库检索到与这个客体相关的知识,包括常识知识、经验知识和规范知识(甚至本能知识,取决于知识库的质量)。

(4)由语义信息到智能策略的转换(谋略与决策)。根据语义信息,主体就可以利用检索到的本能知识和常识知识生成相应的基础意识反应,利用本能知识、常识知识和经验知识生成情感反应,利用本能知识、常识知识、经验知识和规范知识生成理智反应,并将它们综合成为应对这个客体的智能策略(这个过程比较复杂,将在另文阐述)。

(5)由智能策略到智能行为的转换(执行)。主体通过执行机构把智能策略转换成为智能行为。

(6)由偏差信息到优化策略的转换(检验与优化)。在一般情况下,由于信息转换的每个步骤都存在不理想性和不确定性,把智能行为反作用于客体之后的结果往往与目标之间会存在偏差。这种偏差实际上就是一种新的信息,表示策略的智能程度还不够;因此,需要把这种偏差信息反馈到整个系统的输入端,产生新的感知信息/语义信息,学习和提取新的知识,并根据新的信息和知识改进策略,优化效果。

这种反馈、学习、优化的过程通常要进行多次,直到偏差足够小为止。这时所得到的策略才是真正可用的智能策略,可以把它存储在综合知识库(策略库)中备用。

(7)重设目标(更新)。如果经过多次偏差反馈、学习、优化过程都不能以满意的程度达到目标,主体就要考虑原来预设的目标可能有问题,需要重新预设目标,重新进行上述信息转换过程,直到信息转换过程所生成的智能策略能够达到预设的目标为止。

以上7个步骤,就是普适性的智能生成机制(适用于人类智能,也适用于人工智能),它们构成了人工智能理论研究的基本问题,也反映了“人类认识世界和改造世界并在改造客观世界的过程中同时改造自己”的过程。人类就是在“不断地认识世界和改造世界并在改造客观世界的过程中不断改造自己”的过程中不断进步,不断求得越来越好的生存与发展。

## 5 结束语

本文探讨了人工智能理论的核心问题:智能是怎样生长的?结果表明,普适性的智能生成机制就是“信息转换与智能创生”定律。文中

还着重指出:为了能够理解和构建普适性的智能生长机制,需要颠覆传统科学的科学观和方法论对人工智能研究的统领地位,确立信息科学的科学观和方法论对人工智能研究的统领。这是人工智能理论研究的至关重要的问题。在此基础上,本文给出了人工智能的通用模型及其意义。

### 参考文献

- [1] 国务院. 新一代人工智能发展规划[M]. 北京:人民出版社, 2017
- [2] 钟义信. 机制主义人工智能理论[J]. 智能系统学报, 2018, (1): 2-18
- [3] 何华灿. 泛逻辑学理论[J]. 智能系统学报, 2018, (1): 19-36
- [4] 汪培庄. 音速空间理论[J]. 智能系统学报, 2018, (1): 37-54
- [5] 钟义信. 高等人工智能原理[M]. 北京:科学出版社, 2014

### 作者简介



钟义信, 北京邮电大学智能科学技术中心教授, 发展中国家工程技术科学院院士, 国际信息研究学会名誉主席及中国分会主席, 曾任国家“863”计划通信主题首届首席专家、国务院信息化专家委员会常委、中国人工智能学会理事长、中国神经网络委员会主席;长期从事信息科学和人工智能基础理论的研究和教学;先后创立“全信息理论”“语义信息论”和“机制主义人工智能理论”, 获多项国家级和部级科技奖励;已发表信息科学及人工智能领域学术著作16部, 学术论文510余篇。



# 网络人工智能发展分析与建议

## Analysis and Suggestions on the Development of Network Artificial Intelligence

王海宁/WANG Haining

(中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 102209)  
(China Telecom Corporation Limited Beijing Research  
Institute, Beijing 102209, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902008

网络地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.tn.20190408.0855.006.html>

网络出版日期: 2019-04-08

收稿日期: 2019-01-20

**摘要:** 人工智能(AI)技术经历了60多年的发展并达到前所未有的高度,通信网络领域是其最大的细分市场。简要介绍了AI技术的发展历程,以及本轮AI技术发展的内涵和核心要素。通过AI在通信网络领域应用发展的驱动力和概况的阐述,提出5大典型网络AI应用场景,并针对3大核心要素给出网络AI的发展建议。

**关键词:** AI; 网络; 应用场景

**Abstract:** Artificial intelligence (AI) technology has developed for 60 years and made unprecedented achievements. Communication network domain is the largest subdivision market of AI. In this paper, the history of AI technology development is introduced, as well as the connotation and core elements. By expounding the driving force and general situation of the application and development of AI in the field of communication network, five typical application scenarios of network AI are also presented. Finally, suggestions for the development of network AI are given according to the three core elements.

**Key words:** AI; network; application scenarios

## 1 人工智能发展概述

### 1.1 发展历程

人工智能(AI)指人造的机器或系统能够实现的智能,是与人类和其他动物表现出的人类智能和自然智能相对的概念。人工智能自1956年首次提出后,经历了3次发展浪潮<sup>[1]</sup>。

(1)20世纪50年代末—20世纪70年代初,这是人工智能的诞生和第1次发展浪潮。这个时期主要的发展成果是将逻辑推理能力赋予了计算机系统;但是由于当时计算性能的瓶颈、数据量缺失等因素,导致了人工智能项目过于乐观的目标无法兑现。

(2)20世纪70年代末—80年代末,是以“专家系统”为代表的人工智能的第2次发展浪潮。这个时期主要的发展成果是将人类知识总结并教授给了计算机系统,专家系统在生产制造、财务会计、金融等领域得到了广泛应用。

(3)20世纪90年代后期至今,随着计算能力、算法理论和数据量爆发性提升,开始了人工智能第3次发展浪潮,“大数据”+“深度学习”+“人工智能芯片”驱动了本轮人工智能发展。在强大算力的支持下,将大数据输入深度学习模型并进行训练<sup>[2]</sup>,机器可以比人类专家更快得到更优的模型,这些将使人工智能技术的广泛应用成为了一种

可能。

### 1.2 人工智能内涵

针对本轮人工智能发展,人工智能主要有以下2种内涵:

(1)伴随深度学习研究的爆发和应用,人工智能可以等同于以深度学习为代表的大计算量、复杂算法的狭义人工智能。

(2)从产业角度,人工智能包括了以芯片和大数据为代表的基础设施、开源人工智能技术框架和模型算法,以及在此基础上构建的面向特定场景的应用方案和服务。

### 1.3 发展核心要素

人工智能技术的发展和运用取



决于以下3个核心要素。

#### (1)算法。

算法决定了人工智能应用的理论极限效果。面向不同的应用场景,解决不同的问题,需要选择不同的人工智能算法。

深度学习类算法是本轮人工智能发展最重要的理论基础,是一种试图使用包含复杂结构或由多重非线性变换构成的多个处理层对数据进行高层抽象的算法,在图像图形识别、计算机视觉、语音识别、自然语言处理等方面都取得了比传统机器学习方式更显著的效果。

#### (2)数据。

数据决定了机器学习算法的优化程度以及对实际应用场景的适用程度。

一个机器学习模型可以理解为一个函数 $f(x)=y$ ,输入数据 $x$ ,可以输出结果 $y$ 。这个函数的算式种涉及了许多参数,这些参数的取值将影响输出结果 $y$ 和实际结果 $y'$ 的拟合程度,也就是模型的优化程度。根据已知数据寻找模型参数的过程称为模型训练,最终寻找到的 $f(x)=y$ 的映射关系被称为训练出来的模型。这个过程中,输入的数据的准确性和数量决定了训练出来的模型的优化程度,以及是否能够适用于目标应用场景。数据量越大,训练出来的模型越精确,机器学习的应用发展离不开大数据的帮助。

#### (3)算力。

算力决定了机器学习算法模型的训练和应用的速度。

机器学习特别是深度学习,离不开基于大量数据的训练。为了训

练出性能优良的模型,通常需要耗费几个月甚至更久的时间才能完成,无法满足实际应用的要求,定制化、专用化人工智能芯片应运而生。从芯片技术本身的发展路径来看,图形处理器(GPU)、现场可编程门阵列(FPGA)、专用集成电路(ASIC)以及类脑芯片是目前市场上的4大类人工智能芯片。这4类芯片有着不同的运算特点,未来一定时期内必定是多类芯片互补共存的状态。

人工智能芯片的发展极大地缓解了人工智能在计算能力方面的瓶颈,让深度学习成为了实用的算法,释放了人工智能的全新潜力。

## 2 网络人工智能发展

### 2.1 需求与驱动力

自2013年起,全球运营商相继发布网络重构和转型战略,期待能够通过引入软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)、云计算、第5代移动通信技术(5G)等新技术,减少对专有硬件的依赖,实现新业务的快速部署,满足用户多样化的需求,提升核心竞争力。

新技术的应用为网络带来了极大的灵活性和操控性,同时也引入了更多的复杂性。可以预见,未来网络至少面临着3方面的挑战。

#### (1)网络架构动态变化。

传统架构采用自顶向下的设计方式,网络架构固定,网元明确,设计和部署周期长,5~10年才会变化。而未来网络基于云化基础设施,业务功能和网络功能原子化,自

底向上按需组合编排,网络架构随时可变,面向业务场景适配,部署周期以小时来记。

#### (2)分层解耦后故障定位复杂。

传统网络设备软硬件通常来自同一厂商,出现故障由单一厂商负责解决,定位简单,责任清晰。未来演进到NFV网络后,网络设备自底向上分为物理设备、虚拟资源、功能软件3层,同时引入了网络编排、网元管理、虚拟资源管理3个编排管理层次,分层解耦引入了多厂商的同时也面临着更多可能的故障点,告警数量成倍增长,运营商面临更为复杂的故障定位、根因分析和责任划定。

#### (3)网络资源实时调整。

传统网络采用人工方式,以年为单位进行滚动规划,通过按照峰值容量部署大量冗余设备提供下一年度的业务发展保障。而未来网络的目标是实现网络资源的自适应实时调整,需要根据业务需求和网络资源状况进行实时自动化的网络资源分配和调整,从而实现了网络资源在不同业务之间的共享以及绿色节能。

上述挑战成为了网络重构落地的主要障碍,传统的人工方式不足以支撑未来网络业务需求,人工智能技术必然成为解决未来网络运营问题的重要手段。

### 2.2 国际标准和开源项目情况

随着全球运营商网络重构的实践发展,前述各种网络部署运营的问题逐渐暴露,全球运营商和信息技术(IT)、通信技术(CT)厂商都纷

纷投入到网络人工智能方面的研究,在各大国际标准和开源组织启动了相关工作。

(1) 欧洲电信标准化协会(ETSI)。

2017年2月,中国电信联合工信部电信研究院、卢森堡大学、三星等在ETSI推动成立了全球第1个网络人工智能标准工作组——体验网络智能(ENI),致力于利用AI等智能化技术优化网络部署和运营<sup>[3]</sup>。该工作组的研究范围包括分析网络人工智能场景和需求,构建策略驱动的闭环网络人工智能体系架构。目前成员包括亚、美、欧地区超过40家重量级的运营商、厂商及科研机构<sup>[4]</sup>。

目前ENI已完成了第1阶段(用例和需求的识别)的工作<sup>[5][6]</sup>,并正在进行第2阶段(架构设计)的工作<sup>[7]</sup>,同时也启动了相关概念验证工作<sup>[8]</sup>。

(2) 第3代合作伙伴计划(3GPP)。

3GPP的系统架构工作组SA2在2017年5月的杭州会议上开启了5G网络智能化的研究项目——使能5G网络自动化项目(eNA)。该项目基于5G核心网中引入的网络数据分析功能(NWDAF),辅助其他网元实现网络切片智能化管理、按需移动性管理、流量分流和卸载等功能。

(3) 国际电信联盟电信标准分局(ITU-T)。

在2017年11月,ITU-T SG13全会讨论正式批准成立了机器学习焦点组(FG-ML5G)<sup>[10]</sup>,目标是分析

如何在未来网络特别是5G网络中应用机器学习,提升网络性能和用户体验。具体工作包括机器学习在未来网络的应用场景、潜在需求、架构,以及具体接口、协议、算法、数据结构和个人信息保护等方面,分析机器学习对自主网络控制和管理方面的影响。

(4) Linux基金会。

Linux基金会于2018年3月成立了深度学习基金会,这是一个涵盖机器学习和深度学习开源代码开发的综合性组织。Linux深度学习基金会的第1个项目是Acumos项目,该项目致力于提供一个易于模型设计、训练、发布共享和部署应用的开源框架平台。

上述国际标准和开源工作各有侧重:ETSI ISG ENI侧重网络智能引擎(ENI系统)通用内部架构定义、与其他网络系统的接口,涉及各专业网络领域的应用;3GPP作为移动网络的权威技术标准组织,其系统架构组的eNA项目侧重5G网络侧的各种应用场景;ITU-T FG-ML5G焦点组输出的是研究报告,其用例多数聚焦于5G无线侧应用,同时也输出了一个通用的机器学习应用架构,但FG-ML5G即将于2019年3月结束,输出的报告需要输入到合适的标准组织进一步定义正式的标准;Acumos开源项目面向各类实际部署应用,不局限于网络侧应用场景,是一个人工智能平台即服务(PaaS)平台类项目。

2.3 国际运营商网络人工智能发展  
美国的AT&T重点打造AI开源

平台Acumos,其机器学习平台已经用于解决多项业务中遇到的问题,包括物联网(IoT)、娱乐、客户服务、安全和网络监测控制故障检测等,未来重点应用领域包括5G和安全。Verizon的人工智能的发展主要集中在企业到企业(B2B)类业务、物联网,以及无线网络优化配置等方面。

欧洲各大运营商包括Vodafone、Telefonica、Telenor和Telecom Italia都在开展利用AI技术提升无线小区管理效率等方面的研究和尝试。

日本NTT集团设立了统一的AI品牌“corevo®”(Co-revolution),与各领域企业合作推动创新革命。其重点应用领域为IoT,目标将整个IoT网络的管理技术、数据的分散处理技术、安全等涉及多方面的技术集成在一起。

### 3 网络人工智能典型应用场景

#### 3.1 网络流量优化与拥塞防控

网络流量快速增长,受热点事件影响易产生局部流量出口过载,而依靠人工调整策略引导流量的方式,缺乏流量可视和对调控结果的预知,缺乏快速分流到备份出口的能力,容易影响路由正确性和稳定性。

通过引入人工智能技术,可以对一段时期内的拥塞数据进行聚类分析,识别拥塞网络的特征,提取流量规律并进行预测和模拟,可以用于主动式局部调整或者指导其他人

工智能驱动的动作,以实现预防性控制<sup>[11]</sup>。

### 3.2 网络切片编排管理

网络切片对网络的自动化、可编程性和模块化提出了更高的要求和挑战。网络切片实例的动态创建、变更和终止,以及根据业务需求进行动态扩缩容等,需要更加智能的技术来支持网络切片的部署和运营管理。

利用人工智能技术,通过对多个网络切片业务和资源需求进行预测,在多个资源池上进行合理编排和部署,保障多个网络切片叠加后更加充分地共享基础设施。通过预测在切片内的用户数、业务流量的变化,可以提前给出网络切片内网元的自动扩缩容建议,从而实现对网络切片的智能化管理。

### 3.3 大规模天线配置

为了充分发挥大规模多输入多输出(MIMO)的优势,需要对基站的各项参数进行灵活的适应性调整,以应对业务的变化。面对大量的参数组合和快速的业务变化,迫切需要更加智能的、可自我优化的机制。

引入人工智能技术可以自动识别站点场景,并且能够对这些场景的用户分布和业务量等进行预测,自动完成当前最优参数值配置(如通过天线权值调整方向、倾角等),改变小区的覆盖分布,及时适应用户分布和业务类型,有效提升资源利用率和用户体验。通过智能估算和迭代,减少最优权值搜索周期,支

撑5G无线网络的快速部署<sup>[11]</sup>。

### 3.4 网络告警关联和故障预测

网络日常运行会产生大量告警,网管系统会进行初步的清洗,过滤掉一部分无效告警后再交给人工分析。随着未来网络分层解耦,网络各层产生的告警总数成倍增加,靠人工来分析定位不能满足需求。

使用人工智能技术基于大量历史告警数据进行训练,可以高效、准确抽取出有效规则,清洗减少告警信息的数量。此外,还可以基于网络运行状态等数据进行关键特征识别和模式训练,预先指出可能出问题的设备或链路,帮助运维人员准确预测和处理故障信息<sup>[11]</sup>。

### 3.5 网络绿色节能

网络能耗是运营商的重要资本性支出(OPEX)支出之一,提高能源效率亦是未来网络运营的关键要求。网络容量是按照网络业务的峰值要求建设的,包括无线基站以及集中部署未来NFV网络基础设施的数据中心,大规模天线和X86服务器相比传统网络设备更加耗电。

基于AI的网络智能节能技术充分考虑了网络覆盖、用户分布和业务特征,辅以负荷预测,精准预测和选择热点小区,适时选择设备休眠和唤醒时机,提供可靠、无缝的用户体验,使得区域网络资源利用率更高、用户体验更好,有效降低区域内网络能耗<sup>[11]</sup>。

## 4 发展建议

人工智能正在经历60年来的

第3次发展浪潮,大数据、深度学习和人工智能芯片的发展为本轮人工智能的发展应用奠定了基础。引入了5G、SDN/NFV、云计算等新技术的通信网络面临着前所未有的挑战,传统的人工方式不足以支撑未来网络业务需求。人工智能技术在网络重构的过程中有着广泛的应用场景,必然成为解决未来网络运营问题的重要手段。

然而,在目前的网络人工智能发展中,仍然存在许多待解决问题,分析和建议如下:

#### (1) 算法设计。

AI模型和算法影响AI应用效果,模型算法必须和应用场景适配。解决不同的问题需要不同的AI模型和算法;不同环境/应用场景下,解决相同问题,不一定能使用相同的AI模型;同一应用场景下,随着业务发展变化,AI模型可能需要迭代优化。模型和算法的研发,须要结合面向应用场景的专业知识,包括数据标注、特征提取和模型调优等方面,须要数据科学家与网络工程师合作完成。

针对上述问题,建议模型和算法在研发之初就须要面向具体应用场景,结合实际应用数据;鼓励产学研用相结合的网络AI应用研发,培养复合型人才。

#### (2) 数据获取。

数据是人工智能技术得以应用的重要基础,目前普遍存在如下问题:网络数据量大,采集和存储成本高;数据格式不统一,数据可用性较低,数据标注工作量大;存在数据孤岛、融合度低、网络数据与外部数据



脱节等情况;缺乏用于AI应用研发的数据集。

针对上述问题,建议引导制定各专业网络数据采集和存储的行业标准,统一各厂家设备能力;鼓励运营商、设备商、互联网公司、垂直行业在数据领域进行融合;建立各领域的开源数据集,用于科研和AI应用开发验证。

### (3)算力建设。

以深度学习为代表的AI模型训练需要强大算力支持,目前AI芯片硬件及配套AI开发工具目前高度依赖以英伟达GPU、Google Tensor flow为代表的其他国家的产物和技术;GPU在AI训练方面具有明显优势,基本处于垄断地位,价格较高,研发成本较高。

应当鼓励国产AI芯片及AI工具的发展,建立健康产业链,并且鼓励发展基于云计算的AI平台服务,按需租用训练所需的算力资源。

#### 参考文献

- [1] 李焱. 新一代人工智能发展白皮书(2017)[R]. 中国电子学会, 2017
- [2] YOSHUA B, YANN L, GEOFFREY H. Deep Learning [J]. Nature, 521: 436–444. DOI: 10.1038/nature14539
- [3] ETSI. New ETSI Group on Improving Operator Experience Using AI [EB/OL]. (2017–02–21) [2019–01–10]. <https://goo.gl/zLZZso>
- [4] ETSI ISG. Experiential Networked Intelligence [EB/OL]. [2019–01–10]. <https://portal.etsi.org/tb.aspx?tbid=857&SubTB=857>
- [5] ETSI. Experiential GS ENI 001v1.1.1 [R/OL]. [2019–01–10]. [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/ENI/001\\_099/001/01.01.01\\_60/gr\\_ENI001v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ENI/001_099/001/01.01.01_60/gr_ENI001v010101p.pdf)
- [6] ETSI. Experiential GS ENI 002v1.1.1 [R/OL]. [2019–01–10]. [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/ENI/001\\_099/002/01.01.01\\_60/gs\\_ENI002v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/ENI/001_099/002/01.01.01_60/gs_ENI002v010101p.pdf)
- [7] ETSI GS ENI 005. Experiential Networked Intelligence (ENI); System Architecture [EB/OL]. [2019–01–10]. [https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report\\_WorkItem.asp?WKI\\_ID=54085](https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=54085)
- [8] ETSI GR ENI 006. Experiential Networked

Intelligence (ENI); PoC framework [EB/OL]. [2019–01–10]. [https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report\\_WorkItem.asp?WKI\\_ID=54509](https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=54509)

[9] Study of Enablers for Network Automation for 5G: 3GPP TR 23.791[S/OL]. [2019–01–10]. <https://www.3gpp.org/DynaReport/23-series.htm>

[10] ITU-T FG–ML5G. Focus Group on Machine Learning for Future Networks Including 5G [EB/OL]. [2019–01–10]. <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ml5g/Pages/default.aspx>

[11] 王海宁. 网络人工智能应用白皮书(2018年)[R]. SDN/NFV产业联盟, 2018

#### 作者简介



王海宁, 中国电信股份有限公司北京研究院网络人工智能研究中心主任, 中关村高端领军人才, 高级工程师, 并担任 ETSI ISG ENI 副主席、ITU-T Q6/11 报告人、CCSA NFV 标准特设起草组组长、SDN/NFV/AI 技术标准与产业推进委员会网络人工智能应用工作组组长等多个标准组织的管理职位; 近年主要研究方向包括 5G 网络技术、SDN/NFV、网络人工智能等; 2017 年获得北京市委组织部青年骨干个人项目资助; 主持编制 10 余项国际标准和行业标准, 拥有 20 余项授权专利, 发表文章多篇。

#### ← 上接第 46 页

- Transactions on Wireless Communications, 2018, 17(8): 5506–5519. DOI:10.1109/TWC.2018.2845360
- [5] ZHANG K, MAO Y M, LENG S P, et al. Optimal Delay Constrained Offloading for Vehicular Edge Computing Networks[C]//2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2017. France: IEEE, 2017: 1–6. DOI:10.1109/ICC.2017.7997360
- [6] JIA M K, CAO J N, YANG L. Heuristic Offloading of Concurrent Tasks for Computation Intensive Applications in Mobile Cloud Computing[C]//2014 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), Canada: IEEE, 2014: 352–357. DOI:10.1109/INFOCOMW.2014.6849257
- [7] KAO Y H, KRISHNAMACHARI B, RA M R, et al. Hermes: Latency Optimal Task Assignment for Resource-Constrained Mobile Computing [C]//2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), 2015. Hong Kong, China: IEEE, 2015: 1894–1902. DOI: 10.1109/INFOCOM.2015.7218572
- [8] KAMOUN M, LABIDI W, SARKISS M. Joint Resource Allocation and Offloading Strategies in Cloud Enabled Cellular Networks[C]//2015 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2015. UK: IEEE, 2015: 5529–5534. DOI:10.1109/ICC.2015.7249203
- [9] LABIDI W, SARKISS M, KAMOUN M. Energy-Optimal Resource Scheduling and Computation Offloading in Small Cell Networks [C]//2015 22nd International Conference on

Telecommunications (ICT). Australia: IEEE, 2015: 313–318. DOI:10.1109/ICT.2015.7124703

- [10] ZHANG H L, GUO J, YANG L C, et al. Computation Offloading Considering Fronthaul and Backhaul in Small-Cell Networks Integrated with MEC[C]//2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2017. USA: IEEE, 2017: 115–120. DOI:10.1109/INFOCOMW.2017.8116362
- [11] QIN X, XU T G, WANG C. DDoS Attack Detection Using Flow Entropy and Clustering Technique[C]//2015 11th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS). China: IEEE, 2015: 412–415. DOI:10.1109/CIS.2015.105
- [12] SHARMA V, YOU I, KUMAR R, et al. Computational Offloading for Efficient Trust Management in Pervasive Online Social Networks Using Osmotic Computing[J]. IEEE Access, 2017, 5: 5084–5103. DOI:10.1109/access.2017.2683159
- [13] HAN K H, KIM J H. Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm for a Class of Combinatorial Optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(6): 580–593. DOI:10.1109/tevc.2002.804320
- [14] LABIDI W, SARKISS M, KAMOUN M. Energy-Optimal Resource Scheduling and Computation Offloading in Small Cell Networks[C]//2015 22nd International Conference on Telecommunications (ICT). Australia: IEEE, 2015: 313–318. DOI:10.1109/ICT.2015.7124703

#### 作者简介



廉晓飞, 北京邮电大学未来网络理论与应用实验室在读硕士生; 主要研究方向为 5G 网络、移动边缘计算等。



谢人超, 北京邮电大学未来网络理论与应用实验室副教授、硕士生导师; 主要研究方向为信息中心网络、移动网络内容分发技术和移动边缘计算等; 主持国家与省部级项目 4 项; 已发表论文 40 余篇, 申请授权专利 10 余项。



黄韬, 北京邮电大学未来网络理论与应用实验室教授、博士生导师; 主要研究方向为新型网络体系架构、内容分发网络、软件定义网络等; 主持国家与省部级项目 10 余项; 已发表论文 100 余篇, 申请授权专利 40 余项。



# 基于人工智能的网络智能化发展探讨

## Network Intelligence Based on Artificial Intelligence

张嗣宏/ZHANG Sihong, 左罗/ZUO Luo

(南京中兴软件有限责任公司, 江苏 南京 210012)  
(Nanjing ZTE Software Co.Ltd., Nanjing 210012, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902009

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190326.0955.002.html>

网络出版日期: 2019-03-26

收稿日期: 2019-01-25

**摘要:** 梳理了当前人工智能在通信领域的研究和应用进展, 提出了中兴通讯基于人工智能的网络智能化解决方案。认为网络可以在网元智能、运维智能和业务智能3个层面引入人工智能(AI), 并按照分层、按需、分阶段的引入原则, 最终实现网络泛在智能。同时提出了一套多维度智能化分级标准, 结合通信工作流程和智能化范围, 将网络智能化水平分为5个等级, 这将有助于网络逐步向目标架构演进。

**关键词:** 5G; AI; 网络智能化; 架构; 分级演进

**Abstract:** The research and application progress of artificial intelligence (AI) in the field of communication are reviewed, and the network intelligent solution of ZTE based on AI is proposed. It believes that the AI can be introduced into network in three levels: network element intelligence, operation and maintenance (O&M) intelligence and business intelligence, with the principles of tiered, on-demand, and phased. In this way, ubiquitous intelligence can be achieved. At the same time, a set of multi-dimensional intelligent grading standards is proposed. Combined with telecom workflow and intelligent scope, the level of network intelligence is divided into five levels, which help the network evolve to the target architecture.

**Key words:** 5G; AI; network intelligence; architecture; phased evolution

### 1 通信网络目前面临的挑战

5G时代即将来临, 随着云化转型深入和物联网(IoT)等业务的融入, 电信运营商面临网络复杂化、业务差异化和用户需求多样化等挑战, 对降低运营成本, 提升网络运维效率及便捷性等方面提出更高的要求。这些要求和挑战具体包括<sup>[1-8]</sup>:

(1) 网络运维更加复杂。2G、3G、4G、5G多种制式将长期共存, 网络管理和优化的难度大大增加, 对运维人员提出了更高要求。另外, 虚拟化分层解耦, 故障的定界、定位更加困难。此外, 云化网络动态变化, 资源调度和管理也是一个

巨大的挑战。

(2) 网络能力要求高。和传统网络相比, 5G网络在带宽、时延、可靠性、连接数等关键业务指标上都有量级上的提升, 并且需要同时满足不同业务的差异化需求。如何充分发挥网络潜能, 快速适应网络需求变化, 对新一代的网络设备提出了较高的智能化要求。

(3) 业务需求多样化。一方面, 人与人通信的单一模式将逐渐演变为人与人、人与物、物与物的全场景通信模式, 业务场景将会更加复杂, 这将带来对服务等级协议(SLA)的差异化需求, 以及与之配套的网络管理复杂性等。另一方面, 依托5G

网络能力和丰富的业务发展, 业务体验也将呈现出多元化、个性化发展态势, 网络对于体验的支撑保障将颠覆传统模式, 迎来全新挑战。

### 2 当前通信领域对人工智能的研究和应用进展

#### 2.1 通信领域标准/开源组织在人工智能应用方面的研究进展

目前第3代合作伙伴项目(3GPP)、欧洲电信标准化协会(ETSI)、国际电信联盟电信标准化部门(ITU-T)、中国通信标准化协会(CCSA)、深度学习基金会的人工智能开源平台项目(Acumos)等众

多标准/开源组织都已经开始在各方面研究人工智能技术在通信网络中的应用,研究进展如下<sup>[9-10]</sup>。

#### (1)3GPP。

在2017年5月的业务与系统工作组(SA WG2)#121会上通过了“Study of Enablers for Network Automation for 5G SI”的立项,在核心网领域增加网络数据分析功能(NWDAF)来进行数据分析,并将分析结果反馈给网元来决策。

在2018年6月的无线接入网(RAN)#80全会上通过了“RAN-Centric Data Collection and Utilization SI”立项,研究面向网络自动化与智能化的无线大数据采集与应用,并且探索在RAN侧引入数据分析的潜在影响。

在2018年9月的SA WG5#81会上通过“Intent Driven Management Service for Mobile Networks”立项,调查意图驱动的移动网络管理场景,研究可用于实现移动驱动目标的、包括自组织网络(SON)在内的自动化机制,以及描述意图的适当机制。

#### (2)ETSI。

在2017年2月,业界首个网络智能化标准组——“体验式网络智能(ENI)”宣布成立,该组织使用人工智能来提升运营商在网络部署和操作方面的体验。其核心理念是网络感知分析,数据驱动决策,基于人工智能(AI)的闭环控制。

在2018年1月,零触摸网络及业务管理行业规范小组(ISG-ZSM)的相关会议召开,会议聚焦端到端网络和服务管理,目标是在理想情

况下100%自动执行所有操作过程和任务。

#### (3)ITU-T。

在2017年11月的SG13会议上,ITU-T成立了面向5G未来网络的机器学习焦点组(FG-ML5G)。FG-ML5G的工作目标是提高面向5G的机器学习的互操作性、可靠性和可模块化能力,制定用于未来网络的机器学习研究报告和标准,包括接口、架构、协议、算法和数据格式,分析用于未来网络的机器学习的适应性及影响。

#### (4)CCSA。

CCSA已经在多个应用领域展开相关研究工作,在2017年7月的TC1-WG1#58会上讨论通过了“人工智能在电信网络演进中的应用研究”课题立项。2017年12月的TC5-WG6#47会上通过“人工智能和大数据在无线通信网络中的应用研究”课题立项。2017年12月的TC5-WG12#2会上通过“智能化5G核心网络切片技术研究”课题立项。2018年8月的TC5-WG6#49次会议上通过“移动通信网络智能化能力分级研究”课题立项。

(5)开源组织:深度学习基金会和Acumos项目。

2018年3月,linux基金会下成立了专门研究人工智能技术的深度学习基金会,并宣布了第1个开源项目Acumos。该项目由美国电信巨头AT&T牵头运作,项目的2大目标是开源平台和Marketplace,希望构建一个开放的AI应用和服务生态圈。Acumos项目已经于2018年11月发布第1个版本Athena,并计划

2019年5月发布第2个版本Boreas。

(6)开放无线接入网络(ORAN)联盟。

2018年2月,中国移动、美国AT&T、德国电信、日本NTT DOCOMO以及法国Orange等5家电信运营企业宣布联合成立ORAN联盟,目标是使无线网络实现标准化、通用化、开源化、智能化。该联盟计划引入RAN智控平台,通过实时数据分析、机器学习及人工智能技术,让网络更具智慧性。

## 2.2 运营商在人工智能应用方面的研究进展

全球主流运营商都已经将网络智能化转型上升到战略层面,积极研究人工智能技术在通信领域的应用,探索跨界创新,通过人工智能、大数据、5G、IoT等技术的融合寻找价值应用场景。

中国移动提出“促进传统产业向数字化、智能化转型升级,努力成为人工智能应用的先行者和人工智能产业的赋能者”的目标,自研“九天”人工智能平台,并积极参与开放网络自动化平台(ONAP)和ORAN等开源组织,希望将AI技术赋能到通信网络的设计、规划、运营、维护、业务服务等每一个环节,提升网络的能力和服务质量,大幅降低运维运营成本<sup>[11-13]</sup>。

中国电信提出了“网络智能化、业务生态化、运营智慧化”的转型3.0目标,发布了灯塔AI平台,积极参与ENI等国际标准组织,牵头产业界共同编制发布了《网络人工智能应用白皮书》,以CTNet2025为指



引,将AI技术与软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术结合,打造新一代智能信息基础设施。

中国联通提出“以智慧网络做基础设施建设的提供者、以智慧应用做新业务新业态的推动者、以智慧技术做技术创新的引领者”的目标,通过引入AI等新技术,打造智能、敏捷、集约、开放的CUBE-Net 2.0+网络,给出了从网络云化到网络自动化,最终走向网络智能化的智能化演进路径。同时,中国联通结合混改转型,引入互联网公司等战略合作方,成立了多个智能化技术联合实验室。

美国AT&T也走在引领行业智能化转型的前列,提出了Network 3.0 Indigo的下一代网络转型计划,构建数据社区,积极打造智能化的

产业生态系统,成立了第1个由电信运营商牵头的AI开源项目Acumos,并且计划通过Acumos和ONAP的协同,建设智能化网络,提供各类智能业务应用。

此外,软银、德国电信、沃达丰等国际领先运营商都提出了智能化转型计划,在网络运维优化、业务运营等多个领域积极引入AI技术。

### 3 基于人工智能的网络智能化演进

#### 3.1 网络智能化总体架构

当前通信网络正在从传统网络向SDN/NFV云化网络转型,并基于云化网络架构,引入AI 3大能力,即数据感知、AI分析、意图洞察,云化网络将进一步向智能化网络演进。面向未来的智能化网络架构如图1

所示<sup>[14]</sup>。

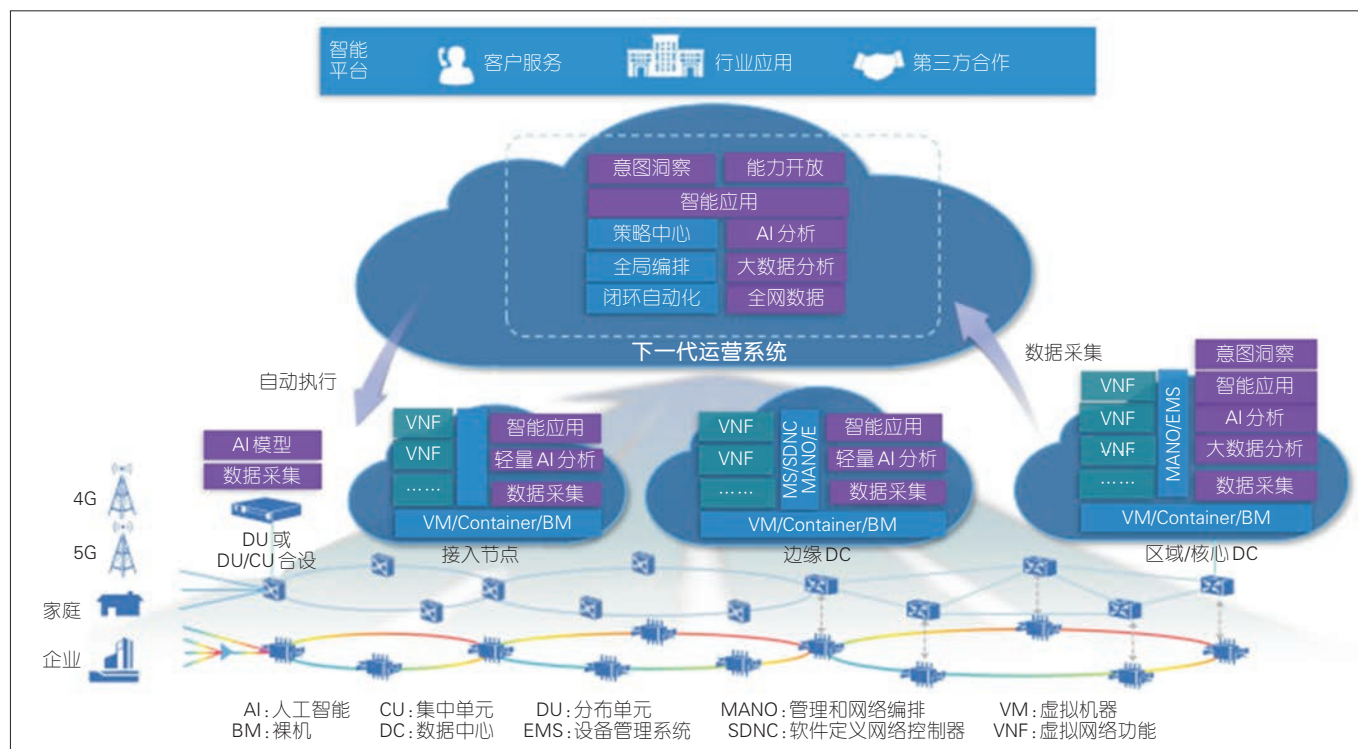
3大AI能力为:数据感知能力、AI分析能力、意图洞察能力。

(1)数据感知能力。数据感知能力包括数据采集、存储、预处理,可以为AI分析提供训练和推理所需要的高质量基础数据。

(2)AI分析能力。AI分析能力包括训练和推理2大能力,使用人工智能技术来训练数据,生成各场景所需的算法模型,为各类策略提供支撑,同时也可以使用训练出来的AI模型进行应用推理。

(3)意图洞察能力。通过意图洞察能力,可以实现用户意图的识别、转译、验证和保障等功能,在自动化管控系统的配合下,精准实现用户意图。

未来网络的人工智能能力是泛在化的,可以根据不同的建设需求,



▲图1 面向5G及未来网络的智能化网络架构

在网络的不同层面,分层逐步引入AI能力。网络的几大层面,如基础设施层、网络及业务控制层、运营及编排层,都将根据对智能能力的细化要求,逐步使能AI。

在网络层中,越上层的位置越集中化,跨领域分析能力越强,适合对全局性的策略集中进行训练及推理,比如跨域调度、端到端编排等。通常对计算能力要求很高,需要跨领域的海量数据支撑,对实时性要求一般敏感度较低。越下层位置,越接近端侧,专项分析能力越强,对实时性往往有较高要求,比如5G新空口(NR)的移动性策略移动边缘计算(MEC)的实时控制等;但对计算能力依赖度不高,一般适合引入嵌入式推理能力或结合MEC,部署具备一定实时处理能力的轻量级训练引擎。

### 3.2 网络智能化总体规划原则

(1)5G云化网络优先。网络智能化整体架构优先以5G云化网络架构为基础,重点在5G网络中实现,同时也兼顾传统网络,因为传统的网络也可以进行局部智能化升级改造。

(2)统一架构设计。架构设计和能力规划以整网智能化为主要目标,所有子网遵循统一架构,便于未来跨域跨子网的综合场景智能化的推进。

(3)解耦设计,多场景部署。智能化涉及的大数据、AI、下一代运营运维系统等多平台实现组件化解耦设计,可分可合,满足各种部署场景需求。

(4)聚焦价值场景,逐步推进。智能化切入可以由点及面,逐步实施,从单专业局部功能增强切入,再延伸向同领域跨专业场景,最终向全网端到端等高智能场景演进。

### 3.3 网络智能化分级演进

考虑到当前网络发展的现状和AI技术发展水平,我们认为全网智能化难以一蹴而就,需要经过一个长期的发展过程,逐步达到最终理想的智能化水平。有必要借鉴自动驾驶领域分级演进的方法,研究形成通信网络智能化的分级标准,一方面可以在行业内就智能化形成统一认识和理解,另一方面也有助于向行业内各参与方在技术引入、产品规划方面提供一个参考依据。

参考自动驾驶分级标准,我们对网络智能化水平也细化了5个智能化等级,具体如图2所示。相对于自动驾驶以驾驶员为核心的单一场景,通信网络的智能化分级评估要复杂得多,难以通过单一场景或维度来衡量,需要既充分考虑通信网络规划设计、安装部署、运维优化、业务运营等不同的工作流程,又

要考虑从网元到整网的端到端网络子系统;因此,需要对网络的智能化水平进行多维度综合衡量<sup>[15]</sup>。

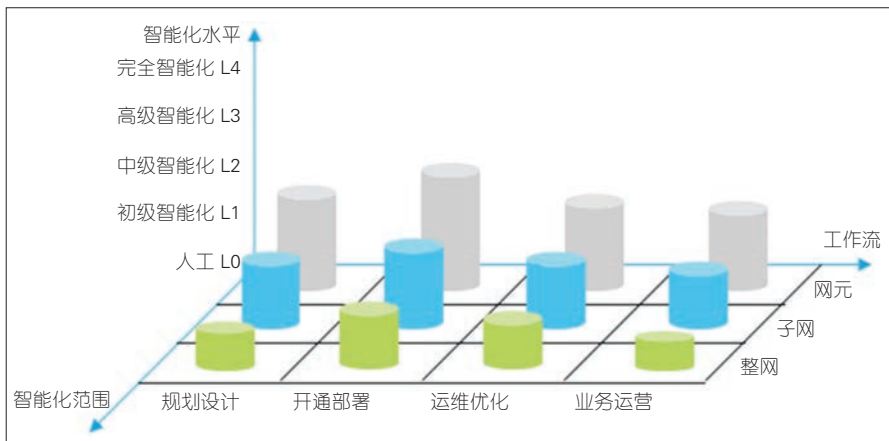
每个级别的智能化水平可以用一组关键特征来体现,每个阶段都有一些关键能力的进步,具体的特征如图3所示。

当前网络的智能化水平大致处于L1~L2之间,大部分场景处于L1,局部场景具备L2水平。不同的网络架构也会对智能化的水平产生制约,相比传统网络,云化网络更容易实现高级别智能化。我们建议5G等新建网络可以参考L2级水平来建设,并逐步向L3/L4演进;而传统网络只能做局部智能化增强,最多也只能达到L2级,难以实现更高等级的智能化。

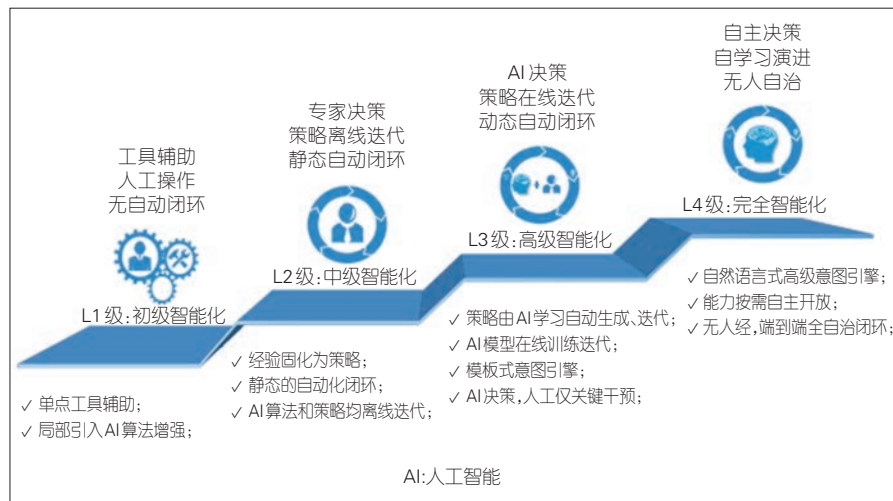
## 4 人工智能在通信网络的典型应用场景

### 4.1 基于AI的大规模天线技术

5G的大规模天线技术,可以有效提升网络覆盖,降低干扰,增强系统性能,其在Pre5G长期演进(LTE)系统中已经得到了较好的验



▲图2 网络智能化分级综合评估示例



▲图3 网络智能化分级各阶段的关键特点

证。5G 大规模多输入多输出(MIMO)的波束赋型,基于射频指纹库,结合数据地图,通过AI算法训练形成规则,能够在波束跟踪、联合波束管理、室内外判决、基站定位等领域发挥至关重要的作用。

利用大规模MIMO波束调整原理,可以针对高楼的垂直面、场馆、具备潮汐效应的区域等场景,通过AI算法来分析用户的分布规律,灵活调整广播/控制信道的波束分布,达到覆盖和容量的最优,减少干扰。

比如针对固定场馆类的场景,由于人员分布在长时间内相对固定,可以根据这一特点设计广播权值自适应来达到最优覆盖。基于网管、测量报告(MR)等数据,结合相关AI算法,进行场景识别,我们可以判断出是体育赛事场景还是演唱会场景,并计算出基于此场景和当前用户分布下的最优权值,以提升场馆区域内的信道质量指示(CQI)、信号与干扰加噪声比(SINR)等指标。我们将权值组合与关键性能指标(KPI)、用户分布

等信息建立关联数据库,便于后期同类场景快速匹配获取优化权值。

#### 4.2 无线覆盖智能优化

无线网络的覆盖质量一直是导致用户投诉的关键因素之一。无线小区的参数设置与小区内部、周边小区、周边环境的参数需要合理协同,来保障网络质量。传统方式下,对覆盖问题分析,通常需要依托于路测、呼叫跟踪、人工经验判断等手段来解决,一般人力消耗大,处理时间长,处理成本高,且优化效果差异性较大,难以精准控制。

基于人工智能的无线覆盖智能优化,可以利用大数据和人工智能技术,通过对历史覆盖数据、关联数据进行学习,训练生成优化控制模型,自动输出无线参数规划和调优建议,实现无线覆盖的智能优化。

无线覆盖职能优化的整个流程主要包含如下步骤:

(1)网络数据采集和预处理。现网提供包括KPI指标、性能管理、配置管理、工程参数、测量报告、呼

叫跟踪、深度报文检测(DPI)等在内的综合性历史数据,通过数据处理单元对多维度原始数据进行收集、存储和预处理。

(2)人工智能平台训练和模型输出。人工智能平台利用大数据系统预处理后的高质量数据进行模型训练、模型生成,同时提供预测和决策的推理能力,给出各种优化建议,如:天线下倾调整建议、功率参数建议、邻区建议、专用优化参量建议、工程实施建议等。

(3)自动化优化实施。根据大数据和人工智能平台输出的调优建议,运营商实施优化调整。调整可以是自动的优化参数下发执行,也可以是人工执行物理调优,如调整下倾角、方位角、挂高等。

#### 4.3 智能5G切片

网络切片的引入给网络带来了极大的灵活性,使网络可以按需定制、实时部署、动态保障,但同时也带来了运维管理方面的复杂性。AI技术的引入,可以使得网络切片的运维管理更加智能、灵活。

(1)切片智能部署。

在端到端切片部署过程中,网络切片管理功能(NSMF)将端到端切片的SLA拆分为各子切片的SLA是关键的一个环节。基于切片部署的历史数据,利用AI算法,对业务类型、模板信息、云网资源特性、配置参数等上下文信息,以及无线、核心网、承载等子切片实例SLA的测量数据(如时延、带宽、用户数、速率等)进行建模分析,挖掘切片模板、网络资源、配置参数和SLA指标之



间的关联关系。在实际应用时,根据实时需求的输入,自动给出最优的SLA拆分及资源部署建议,精准匹配客户需求,提升资源使用效率。

#### (2) 切片智能保障。

端到端切片智能保障的基础是自动化闭环控制,通过数据自动采集和分析、策略自动决策、策略自动执行实现端到端切片的SLA保障。同时,闭环控制系统可以实现分层保障,包括端到端闭环保障、子切片闭环保障、网络功能(NFs)闭环保障,各层关注的对象和KPI可以存在差异,并能够独立实现自动化保障。基于监测控制采集的数据,进行AI智能分析,一旦触发预定义事件则上报到策略中心,由策略中心进行自动化的自愈和自优处理,最后下发编排执行。

#### (3) 切片智能运营。

切片运营是5G网络重要的特性,与4G时代流量运营主要以个人用户为对象不同,切片运营主要针对垂直行业客户提供差异化SLA服务,同时结合垂直行业应用,打包提供给个人客户。用户使用某类应用时,即自动享受对应的切片服务,从而实现企业-企业-消费者的新商业模式,为运营商带来新的收入。

### 4.4 承载网智能流量预测及路径调优

随着未来网络规模和复杂度的持续增长,尤其是物联网、网络切片等新技术的引入,承载网络在路径规划和流量调度方面,需要满足高吞吐、低时延、随需而动的需求,但使用传统的路径规划方法很难根据

链路的动态情况,实时地给出最优的流量调度和路径优化方案。基于AI技术,我们利用众多项目和场景所积累的多维历史数据,进行智能分析和算法探索,并结合某个实际网络的需求,进行流量预测和路径优化推理,例如:中长期流量增长预测、短期流量峰值评估、区域流量仿真、路径策略优化等。

同时我们还利用大数据系统实时采集网络状态数据,结合当前负载状态、资源冗余情况、和业务要求等信息,通过AI算法对未来流量进行预测,并依据预测结果来指导路径选择和资源调度,自动得到最优路径和最佳资源,从而提高网络使用效率,保障用户体验。

### 5 结束语

AI在电信领域的应用仍处于起步阶段,未来5—10年将是运营商网络智能化转型的关键时期。随着AI技术的逐步成熟,它将逐步引入电信网络的各个应用场景中,帮助运营商将网络由当前人治模式转向自我驱动为主的自治模式转变,真正实现网络运营运维领域的智能化变革。

#### 参考文献

- [1] 王威丽,何小强,唐伦,等.5G网络人工智能化的基本框架和关键技术[J].中兴通讯技术,2018,24(2):38-42.DOI:10.3969/j.issn.1009-6868.2018.02.008
- [2] 尤肖虎,张川,谈晓思等.基于AI的5G技术——研究方向与范例[J].中国科学:信息科学,2018,48(12):1589-1602. DOI: 10.1360/N112018-00174
- [3] 张琰,盛敏,李建东.大数据驱动的“人工智能”无线网络[J].中兴通讯技术,2018,24(2):2-5. DOI:10.3969/j.issn.1009-6868.2018.02.001
- [4] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等.5G移动通信发展趋势与若干关键技术[J].中国科学:信息科学,2014,44(5):551-563.DOI:10.1360/N112014-00032
- [5] System Architecture for the 5G System: 3GPP TS 23.501[S].3GPP

- [6] LI R P, ZHAO Z F, ZHOU X, et al. Intelligent 5G: When Cellular Networks Meet Artificial Intelligence [J].IEEE Wireless Communications, 2017, 24(5): 175-183. DOI: 10.1109/mwc.2017.1600304wvc
- [7] ETSI Launches Zero Touch Network and Service Management Group [EB/OL]. (2017-12-14)[2019-01-15]. <http://www.etsi.org/news-events/news>
- [8] WANG X F, LI X H, LEUNG V C M. Artificial Intelligence-Based Techniques for Emerging Heterogeneous Network: State of the Arts, Opportunities, and Challenges [J].IEEE Access, 2015, 3: 1379-1391. DOI:10.1109/access.2015.2467174
- [9] IMRAN A, ZOHA A. Challenges in 5G: How to Empower SON with Big Data for Enabling 5G [J]. Network IEEE,2014,28(6):27-33.DOI: 10.1109/MNET.2014.6963801
- [10] HAN S F, CHIH-LIN I, LI G, et al. Big Data Enabled Mobile Network Design for 5G and Beyond [J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(9): 150-157. DOI:10.1109/mcom.2017.1600911
- [11] BARCO R, LAZARO P, MUNOZ P. A Unified Framework for Self-Healing in Wireless Networks[J].IEEE Communications Magazine, 2012,50(12): 134-142.DOI: 10.1109/MCOM.2012.6384463
- [12] HUANG Y D, TAN J J, LIANG Y C. Wireless Big Data: Transforming Heterogeneous Networks to Smart Networks [J]. Journal of Communications and Information Networks, 2017, 2(1):19-32. DOI:10.1007/s41650-017-0002-1
- [13] CHIH-LIN I, SUN Q, LIU Z M, et al. The Big-Data-Driven Intelligent Wireless Network: Architecture, Use Cases, Solutions, and Future Trends [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2017, 12(4): 20-29. DOI:10.1109/mvt.2017.2752758
- [14] KHATIB E J, BARCO R, MUNOZ P, et al. Self-Healing in Mobile Networks with BigData [J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 54(1): 114-120.DOI: 10.1109/MCOM.2016.7378435
- [15] Study of Enablers for Network Automation for 5G: 3GPP TR 23.791[S].3GPP

#### 作者简介



**张嗣宏**,南京中兴软件有限责任公司人工智能方案总工程师;负责中兴通讯人工智能整体方案的规划,主要研究方向为通讯领域的创新方案,包括云计算、大数据、人工智能等技术在通讯领域的应用。



**左罗**,南京中兴软件有限责任公司系统方案部创新方案规划副部长;负责中兴通讯系统产品创新方案的规划,主要研究方向为5G、AI、网络切片、云网融合、MEC等领域。



# 网络智能,以“智”赋“动”

## Network Intelligence: Artificial Intelligence Endows Network Automation

杜永生/DU Yongsheng<sup>1</sup>

蒋新建/JIANG Xinjian<sup>1,2</sup>

巫江涛/WU Jiangtao<sup>1</sup>

(1.中兴通讯股份有限公司,广东 深圳 518057;

2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室,广东 深圳 518057)

(1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China;

2. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518057, China)

**摘要:** 通过分析一种较为系统的思维模型,提出了在网络智能中“以智赋动”的观点。通过网络元及用户智能识别、网络资源智能调度、网络智能保障、网络业务智能编排4个主要智能能力,分别赋予网络自动化用户通信环境适应能力、自动化网络资源优化能力、自动化故障修复能力、自动化业务适应能力。介绍了当前系统节能、智能无线资源管理(RRM)、边缘智能、智能网规网优、智能运维保障、网络安全6个应用级子方案。最后提出了MAPE-K、智能服务侧挂、模型驱动、三层共享等顶层设计思路,作为后续网络智能化架构设计的参照。

**关键词:** 网络智能;思维模型;智能RRM

**Abstract:** Based on the systematic thinking model, “artificial intelligence endows network automation” is put forward. Through the intelligent identification of network elements and users, intelligent scheduling of network resources, intelligent guarantee of network resources and intelligent arrangement of network business, the network automation users are endowed with communication environment adaptability, automation network resource optimization capability, automatic fault repair capability, and automation business adaptability. Then six sub-schemes of system are proposed, including energy saving, intelligent radio resource management (RRM), edge intelligence, intelligent network regulation network excellence, intelligent operation and maintenance guarantee, and network security. Finally, the MAPE-K, intelligent service side-hanging, model-driven, three-tier sharing and other top-level design ideas are proposed as the reference for the following intelligent network architecture design.

**Key words:** network intelligence; thinking model; intelligent RRM

DOI: 10.12142/ZTETJ.201902011

网络地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190408.0855.002.html>

网络出版日期: 2019-04-08

收稿日期: 2019-01-30

## 1 网络智能的业界解决思路

### 1.1 利用人工智能(AI)解决网络相关问题

如何利用AI解决网络相关问题,目前业界有2种做法:

一种是自上而下,即以技术驱动应用。尽量利用成熟的AI技术解决网络中的问题。如果能保证最终效果,甚至不惜重新定义网络中的业务问题来适配AI技术。例如某国的运营商通过无人机来寻找弱

覆盖区域<sup>[1]</sup>,如果这个做法在城市中能普及,将大幅颠覆原有的网优业务流程。

另外一种是自下而上,即业务驱动技术。先对现有网络生产、管理、运营流程的问题进行梳理,从这些问题出发估计可能使用哪些AI技术,然后研究相应的AI技术来解决当前流程中的问题。例如某国运营商提出从自组织网络(SON)或网络优化流程出发,通过将AI技术应用到SON中,提高现有算法的性能

和自适应能力,以及面对不同小区/用户的个性化适应能力。这种做法有针对性,但是算法如何设计、训练、应用,须要自行研究,而这个研究工作恰恰是整个网络智能化中最难的一环。

### 1.2 AI技术在IT领域的进展

谷歌于2016年提出基于机器学习的Zero Touch Network<sup>[2]</sup>的概念,通过机器学习让网络层自适应运营业务的变化,达到自动扩容、自

动编排新业务。在Garter 2017年的关于智能运维(AIOps)<sup>[3]</sup>的报告中,则把网络智能运维的关注点集中于智能检测、预测、根因分析3个维度。Cisco提出的意图网络<sup>[4]</sup>,就是通过语义理解技术将用户的意图转换为网络资源的自动部署和自动保障需求。

网络智能涉及问题的思考方向,从抽象的层次来看,分为3点:

(1)贯通整合。从空间角度来看,这是一个整体能力的体现,即利用人工智能善于获取各层数据并关联的能力以及较成熟的语义理解技术,整合贯通网络业务涉及到的各层次及各层次端到端的网元器件。例如Zero Touch、意图网络涉及到的都是端到端网络资源的整合。

(2)自适应和模糊逻辑。从空间维度上看,这些都是网络中每一个层次或个体的智能化体现。利用人工智能技术擅长的模式识别能力,对现有网络进行画像,并进行自适应调整,达到网络资源使用最优化;利用人工智能的数据关联能力替代逻辑,解决人力思考的时间成本,AIOps就属于这种范畴;利用数据监测控制耗能成本低的特点,针对网络中的最小个体(例如单个用户)进行监测控制并进行个性化的自适应调整,提升用户感知。

(3)预测。从时间维度上看,利用人工智能自优化学习和善于从历史数据预测未来的能力,在问题出现之前进行针对性部署,能够避免在问题造成既有损失后再设法弥补的情况。例如AIOps利用预测进行预维,理论上可以把故障降低为零;

SON领域的预测优化场景,可以避免损失出现。

## 2 网络智能化的问题分析

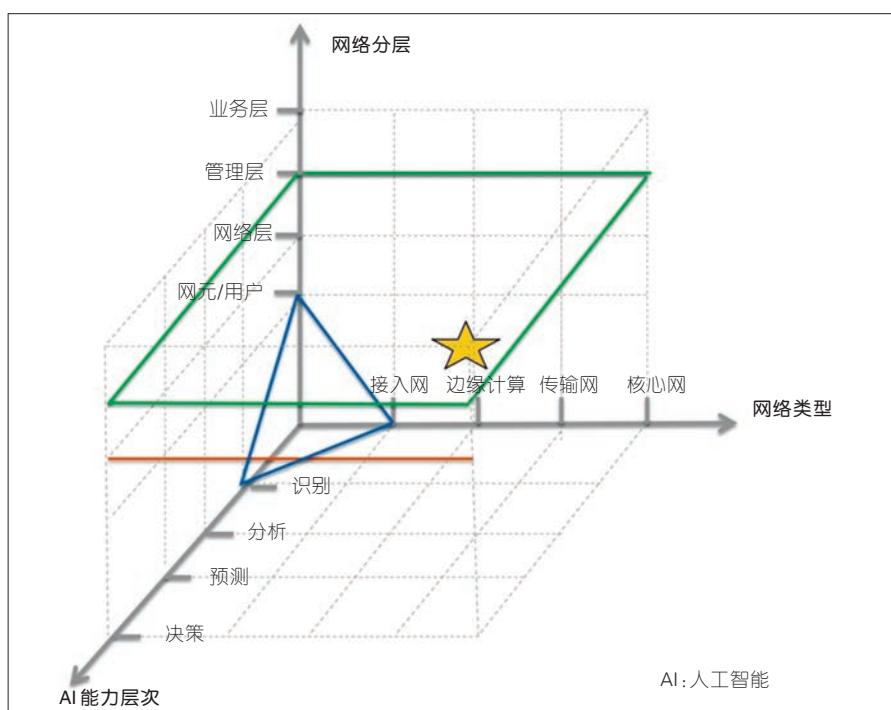
在通信领域,为了识别人工智能技术带来的价值,减少相关风险,我们尝试提出一种较为系统的思维模型,希望能对人工智能在无线通信领域带来的问题进行较为系统的分析,并对各种问题的关键特性、价值、难易程度进行简要说明。

这个系统的思维模型如图1所示,我们从AI能力简易分类、网络传统管理层次模型、网络类型3个维度对目前网络智能问题进行思考。网络类型按照数据流动的方向进行分类排列;网络分层参照电信管理网(TMN)分层模型,并针对网络智能化应用做了一些调整,将用户和网元合并为一个层次纳入进来;网络层是指管理网络资源优化、

均衡、调度业务的层次,管理层则是指保障网络正常运行的层次,业务层是面向运营商最终用户的服务的层次。AI能力分为识别、分析、预测、决策。识别是指从海量数据中学习和匹配复杂模式;分析是指从高维数据中寻找相关和因果关系;预测是指在时空维度学习数据分布规律预测未来事件;决策是指在高度复杂场景下多目标优化联合求解。从这3个维度出发,我们可以思考在某一种网络的某一个运作流程,能利用AI的什么能力来解决什么问题,通过这样的模型进行全方位、有条理的思考。下面我们将按照网络分层模型对各个层次逐一进行分析。

(1)网元/用户层次。

如图1所示,在这个层面出现了一个三角形区域。该区域由无线接入网络类型、网元和面向复杂的



▲ 图1 AI在通信网络应用的层次模型



信道模型和可移动的用户模型、AI识别能力构成。

- 选择无线接入网络类型是因为其数量大,并是目前4G和未来5G主要的接入方式,本身涉及到当前通信网络的核心竞争力。

- 该领域主要利用AI技术中的识别技术,通过对无线通信物理层和空口的各种场景进行识别,提高各种空口算法性能和准确率。该领域还能对于用户使用模型和个人通信环境的识别、网络通过自适应识别结果来大幅提高用户感受。例如利用AI对信道的学习识别自动适配各种参数的链路自适应技术,并通过射频指纹来识别用户的通信环境。

- 该领域主要的困难是数据采集和AI应用理论比较欠缺。从数据的角度看,网元的空口信道和用户的使用模型、数据收集和建模非常困难,且属于无线通信特有,是通信设备商的核心竞争力所在,无法从相邻领域借鉴。另外,业界公开的论文质量一般,我们必需脚踏实地自行研究。

尽管非常困难,但由于提升网元性能和用户感受是通信设备商的核心竞争力所在,因此我们须要作为长期项目跟踪研究。

#### (2)网络层面。

该层面涉及的范围是图1中的一条线,由决策技术、所有网络类型构成。资源优化本来就是所有网络的主要设计目标,涉及的主要AI技术是模糊决策技术,即并非一定需要找到逻辑明确的原因,只要能帮助改善网络资源利用效果的决策动

作即可。

- 网络层面进行资源优化设计的范围比较广泛,即应用比较广泛,例如大规模多输入多输出(MIMO)自适应调整、小区负荷均衡、流量均衡等。

- 网络层面引入AI在近期实现的可能性非常大。从数据的角度看,网络测量的数据本身就已经在搜集,存储非常规范;从技术的角度看,网络资源优化的相关学术论文较多,质量较高;从可借鉴的角度看,信息技术(IT)和通信技术(CT)问题域非常类似。另外,由于人工智能上线,导致算力提升,即使利用传统方法也可能解决部分问题。

- 由于存在规模效应,网络层面优化的绝对效果往往非常惊人,例如采用了大规模MIMO智能自适应的网络,初步实验中吞吐率上升10%,资源利用率上升20%,对于规模网络来说每一个百分点带来的绝对值效益非常惊人。

网络层优化相关技术较为成熟,且存在规模效应,绝对价值对运营商来说吸引力非常大;因此,应该属于新兴产业中所谓“低垂的果实”,是短期内需要重点突破和投入的方向。

#### (3)管理层。

如图1所示,这个层面涉及的范围一个四边形区域,由所有AI技术、所有网络类型构成。该区域的管理流程和基础数据类型和IT网络类似,所以基本可以借鉴AIOps的方法论。

- 管理层优化主要是解决运维方内部人力和网络质量问题。根据

Gartner的AIOps的方法论,关键问题的方向是异常检测、根因定位、模式识别和预测。关键性能指标(KPI)异常检测和故障定界都是较为成熟的例子。

- 管理层的流程和基础数据类型基本和IT网络类似,且数据存储比较规范。从技术上看,此领域受众较网络层更为广泛,相关的论文数量多,IT业界智能化技术领先的公司也在进行研究,所以容易出现成果。

- 管理层优化的规模效应没有网络层资源调度明显,但因该领域向上连接业务层,向下连接资源层,根据IT领域的发展情况,是最有可能实现端到端场景的层次。

智能化技术领先的公司正在进行该领域的相关研究,成果比较多,技术、机制较为成熟,也容易出现新的观点和业务思路,且能提高运营商的运维效率,所以应是短期内业界主要保持研究跟进的方向。

#### (4)业务层。

如图1所示,这个层面是五角星的一个点。之所以是一个点,因为这个层次是3个维度整合的顶点即核心网、业务层、AI决策能力的整合。网络类型层面则是由接入网到核心网,最终构成一条完整的业务链条;识别、分析、预测和决策4种AI能力尽管能各自发展、独立应用,但大致上存在一个层层递进的关系,AI决策依赖识别、分析,而业务依赖管理层的网络质量保障和网络层的网络资源优化。

- 目前该领域主要的需求是在不同网络类型的端到端、网络分层

层面、用户业务到网络资源端到端;在AI层面,则是完全的自动化诉求,目前标准提案中的意图网络则体现该诉求,将用户意图翻译为端到端网络资源需求,然后自动激活、保障、优化,全过程能够通过AI自主决策。

●这种意图网络的概念来源于Cisco,在IT云网络中实施,CT具备一定的借鉴性,但CT虚实结合的网络和IT基本完全的虚拟化和云化网络存在一定的区别。从数据的角度看,不仅仅是单个领域的数据存储、收集问题,而是多个领域的数据搜集、存储以及规范性问题;从技术上看,需要在基础数据建模和网络各领域元器件可驱动的行为建模达到一定的深度、广度和较高的规范性之后,业务层AI化需求才能变得鲜活起来。

●业务层AI化来自运营商的渴求,具备大一统性,较为理想,但复杂度非常高。其难点在于该需求基本包含了3个维度的方方面面,因此要求所有方面都要遵循规范的建模。

目前该需求价值非常高,较为理想;但实现复杂度高,要求对现有网络和未来网络的所有方面进行整合。笔者认为这种需求规划要提前,并需要按部就班,对需求分割分别实现,并建议首先从数据规范化全领域建模开始。

### 3 网络智能分级及典型场景

在通信网络中,无论是网元/用户、网络、管理、业务任何一个层次,使用哪种智能运维技术,对应智能

运维技术领域中的成熟程度如何,其目的都是赋予网络更广、更快的自动化程度。如图2所示,从价值和技术成熟度出发,通过网络层资源的智能调度,赋予网络更强的资源自动化组织能力;通过网络智能保障,赋予通信网络更强的故障自动化修复能力;通过网络智能编排能力,赋予网络业务自动化适应能力;通过网元、用户智能识别能力,赋予网元对通信环境和用户个性化需求的自动化适应能力。每一种能力都能增加网络不同方面的自动化程度。尽管每一种能力的成熟程度存在差别,但总体来说,智能化技术和网络自动化总体上体现出以“智”(智能技术)赋予网络“动”(自动能力)的关系,且不同的智能化技术推动网络前进,不同技术的智能化的成熟度共同决定了网络的智能化程度,网络的智能化决定和定义了网络的自动化深度和广度,如图2所示。我们将网络智能化等级和自动化程度2个维度引入网络智能分

级,具体如图3所示。

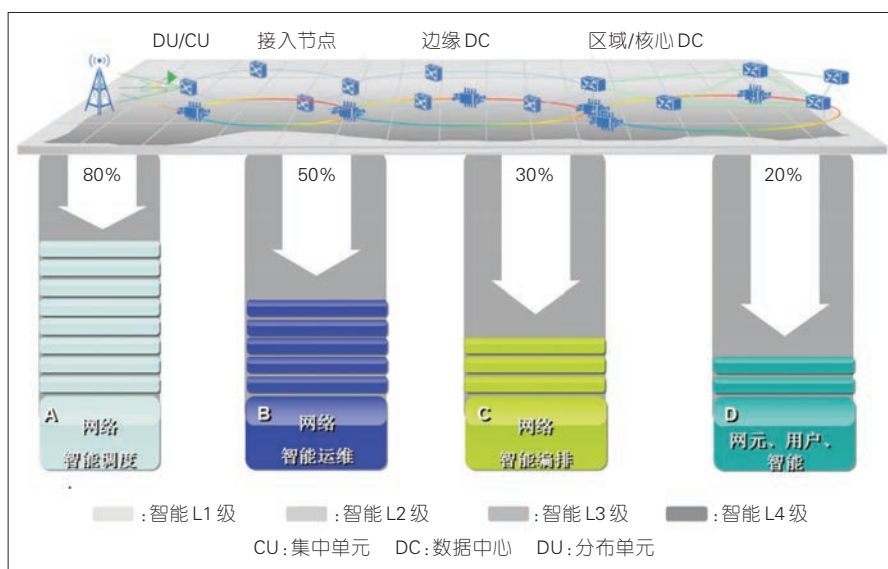
在网络自动化发展的过程,智能化技术参差不齐的发展速度如图2,值得我们对此进行思考。

(1)必须承认技术发展速度的差别,须要保持每一种能力都能自行迭代前进;在保持不同能力松耦合前进的基础上,也要注意不同能力融合衍生产生新价值的趋向。

(2)网络自动化发展的过程,不仅仅依赖智能技术的发展,还包含各种数据采集的深度、广度以及相关建模的规范性发展,因为智能必须依赖足够的规范化数据。

(3)网络智能化技术发展的过程须要防止颠覆性技术的出现,造成技术断代,形成难以弥补的差距。网元的算力、架构、空口模型的进展是一个值得重点关注的领域。

(4)不同的智能化技术发展进度不一,导致往往初期出现的是一个点,无法独立形成一个完整的场景价值闭环(一般是原有网络各种场景闭环的补充);同时也会导致不



▲图2 通信网络领域的可智能化、可自动化程度

等级/名称		关键特征	分级评估维度					
			执行	数据采集	分析	决策	需求映射	智能化场景
L0	人工运营网络	全人工操作	人工	人工	人工	人工	人工	无
L1	辅助运营网络	工具辅助数据采集 人工分析决策	系统为主	人工为主	人工	人工	人工	部分场景
L2	初级智能化网络	部分场景基于静态策略 自动分析 人工决策	系统	系统为主	人工为主	人工	人工	部分场景
L3	中级智能化网络	特定场景实现动态策略 自动分析 预先设计场景系统辅助 人工决策	系统	系统	系统为主	人工为主	人工	部分场景
L4	高级智能化网络	系统实现动态策略完整 闭环 预先设计场景系统自动 完成需求映射	系统	系统	系统	系统为主	人工为主	部分场景
L5	完全智能化网络	全部场景系统完成全部 闭环 系统自动完成需求映射	系统	系统	系统	系统	系统	全场景

▲图3 网络智能分级

同场景的自动化程度不同。

(5)在网络智能化过程中,初期会出现被称为低垂的果实的技术和需求,体现出技术好实现、用户价值高的特点。谁能抓住,谁就能迅速打开市场,依赖这个补充体力去摘取顶端的果实。

(6)在这个过程种,场景、价值

整合能力非常重要,即以点带面的能力。从一个智能技术点带动一个用户价值,形成对用户有利的场景。

中兴通讯无线网络智能化的场景规划、子方案整合如图4<sup>[5]</sup>所示。

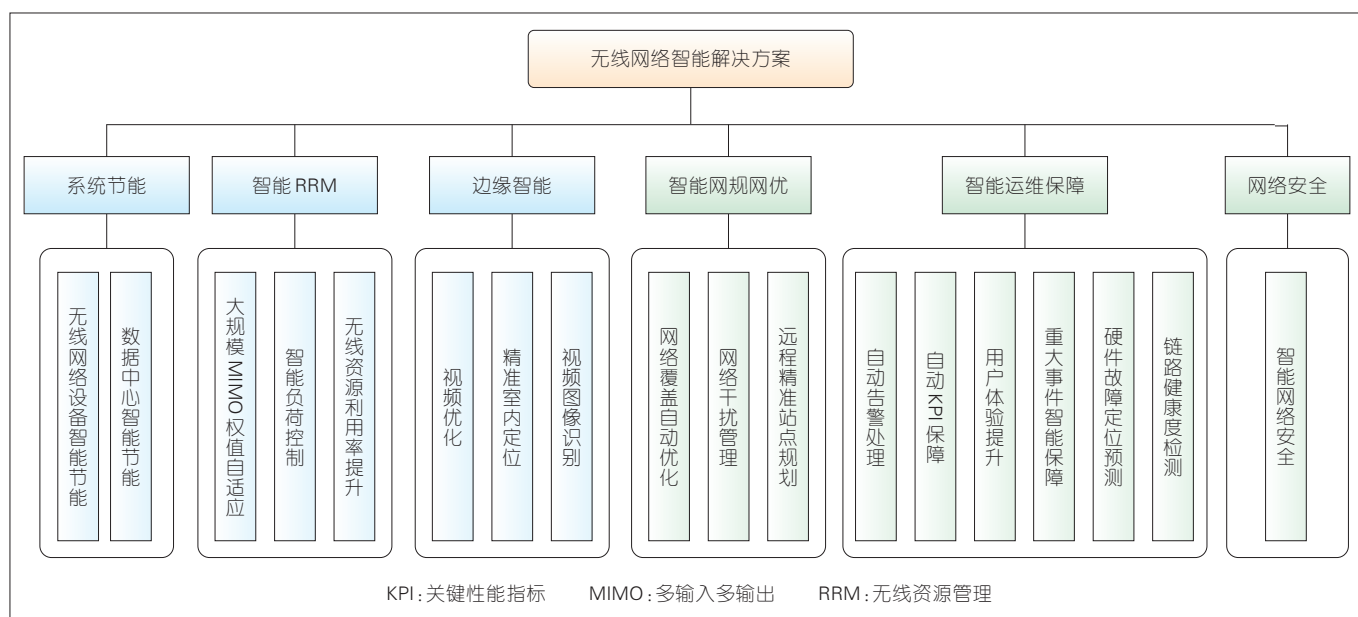
从智能网元、智能保障、智能业务等层次出发,以自下而上的方式,通过业务驱动技术,总结智能技术

涉及的业务点,中兴通讯提出了面向用户的解决方案。

(1)节能子方案中分为多个场景,对于其中的无线侧节能,初步估计能通过制式频段协同节能10%~15%;通过共覆盖识别可增加20%可休眠小区;通过在线调优可增加10%节能生效时间。

(2)智能RRM子方案中分为多个子场景,对于其中的大规模MIMO权值自适应,可通过特殊场景的大规模MIMO权值自适应和一般场景的大规模MIMO权值自适应。实验验证小区流量提升10%,场馆提升流量5%~20%;另外一个场景则通过跨站负荷控制(T-Robot)和基于无线指纹和负荷的载波聚合(CA)策略、基于射频指纹的负荷均衡(LB)、基于负荷预测的移动性负荷均衡(MLB)的应用,通过实验数据得到下行速率提升13%,上行速率提升17%的效果。

(3)边缘智能通过边缘网络对



▲图4中兴通讯无线网络智能化的场景规划、子方案整合方案



于用户的视频体验感受进行评估,以提升用户的视频感受,满足其他较大数据量业务的需求。

(4)智能网规网优主要能够对网络的规划部署、生命周期优化、智能保障能形成一个较好的智能业务闭环。其中,网络覆盖自动优化依托多维大数据,建立覆盖优化功率调整和倾角调整模型,自动输出优化方案,构建一个覆盖优化闭环反馈系统。

(5)智能运维过程中包含多个子场景,通过对其中 KPI 保障进行说明,以及 KPI 劣化检测、根因定位和 TOP 小区自优化、日志分析定位等技术缩短故障解决周期,日志分析定位可节省 80% 的时间,达到个性化调优,自适应潮汐变化。

(6)网络安全通过机器学习(ML)异常事件识别算法,支持分布式拒绝服务(DDOS)、蠕虫病毒攻击后流量模型识别,触发编排隔离物联网(IoT)设备,对异常的 IoT 设备进行隔离,保障网络服务(NS)切片业务正常。

#### 4 智能运维的顶层设计

智能运维的总体解决方案基本是依据 MAPE-K<sup>[6]</sup> 的架构特点进行构建,如图 5<sup>[7]</sup> 所示。

M(Monitor)代表监测控制,主要是对生产环境中的实时数据进行智能监测控制,及时发现问题;A(Analyze)主要指对数据进行智能分析之后,通过分析模型,如通过根因分析输出某一个特殊事件的上下文,并通过这个上下文确定问题的根本原因等;P(Policy)为根据

分析输出的模型和本地运营网络的基本策略,编排各种原子服务处理分析结果,完成自动化运维,原文中是“Plan”(计划)的含义,即所处技术的发展,已经被策略(一种动态的计划)替代;E(Execute Service)为网络运维的各种原子服务,一方面能直接对网络节点生效,一方面为 Policy 提供编排的资源和网络原子服务。

除此之外,该架构还具备智能侧挂、模型驱动、三层共享等特点。

##### (1)智能服务侧挂。

MAPE-K 架构和当前各层生产系统的关系体现在侧挂系统的设计中,如图 6 中左图所示。这个方式首先在 Cognet<sup>[8]</sup> 中被提出,然后我们做了多层侧挂的衍生。智能技术为当前生产系统提供各种服务,在网元侧通过边缘计算提供智能计算服务,用于网元的实时推理;在管理侧提供外挂系统,给现有的网络管理服务提供智能服务,用于网元的非实时智能业务。这种架构的技术特点是如果撤除侧挂智能服务,现有生产系统也能照样运行,只是自动

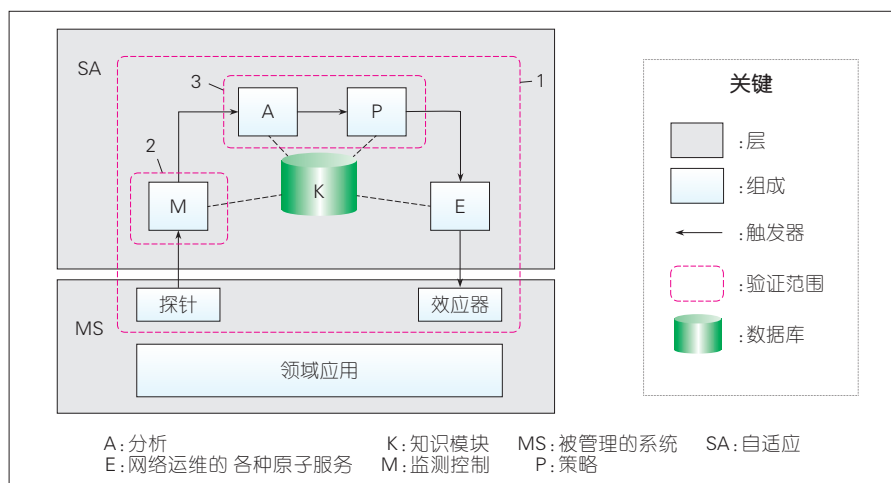
化程度降低而已。这种架构在智能化发展的初步阶段,能够保证现有网络的安全运行,一旦智能服务出现异常或不准确,就能被有效截断,避免影响现有生产系统;另外,也能为运营商现有的传统 3G、4G 网元设备提供智能化能力,有利于 3G、4G、5G 的相互协调优化。

但是,随着嵌入式芯片技术和节能技术的发展,以及设备的更新换代,智能应用的成熟,侧挂智能必然被融合智能替代,网元本身具备智能化能力,网络管理层面必然也被更先进的 AIOps 下一代智能运维系统替代,如图 6 所示。

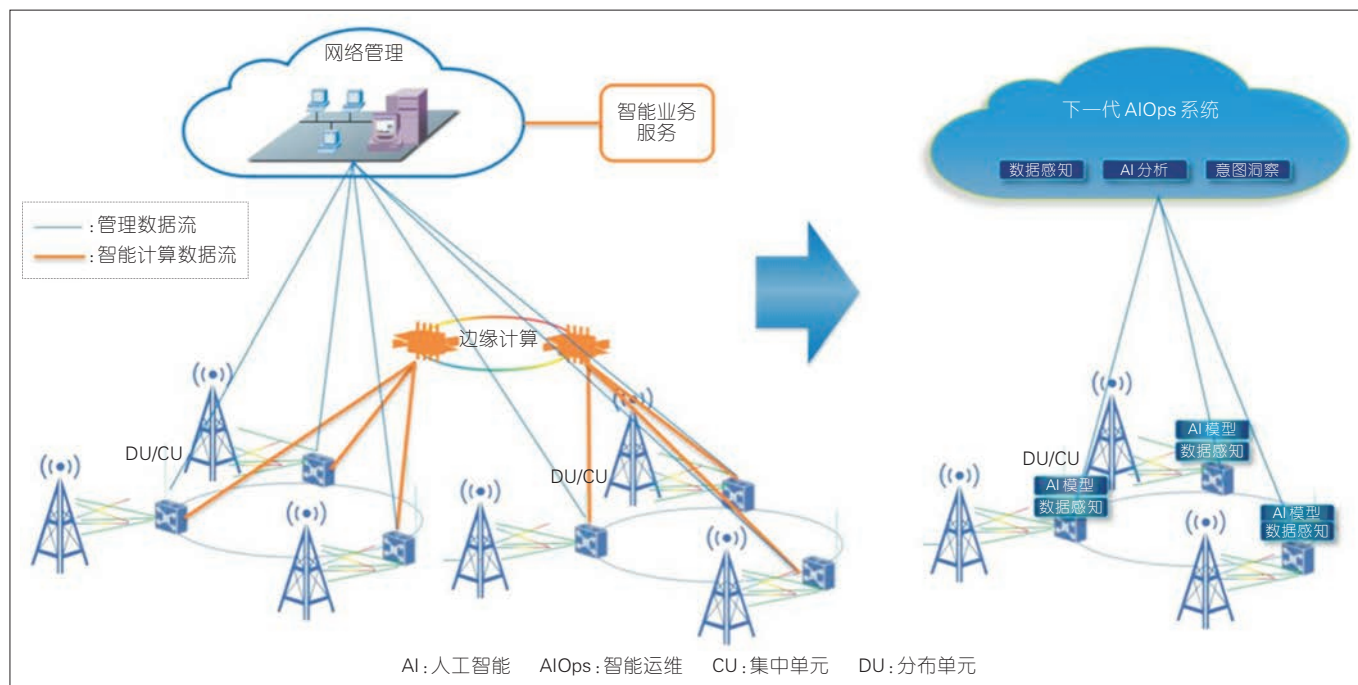
##### (2)模型驱动。

随着智能化技术的演进,模型驱动在整个网络中必然变得更加重要。模型的定义,从更深层次来讲,体现了网络资源的可驱动网络功能的数量、网络功能的驱动深度、网络资源关联能力。

众所周知,软件对于硬件资源的控制,是通过硬件建模之后的模型进行驱动来完成。智能服务作为一种软件服务,无论其自生智能能



▲图 5 MAPE-K 的架构特点



▲图6 下一代AIOps智能运维系统

力多大,其输入和输出严重受到网络功能建模和网络数据建模的限制。输入的网络数据建模质量差、各成一体、无法进行有效关联,算法则难以训练出有效模型;另外,即使智能服务训练出模型,如果没有网络功能的建模保证,同样无法驱动网络功能进行调整,达不到网络自动化闭环的效果。

当前网络中建模效果比较好的是配置、性能、告警等模型,未来如果需要提供对用户更加有效的服务,还须要对涉及的信令、日志、MR、地理模型、社交数据进行建模,和系统其他数据采取更加有利计算和联系的方式建模,例如采取维度建模、矢量化结构存储等,通过类似的方式为智能服务提供更加有效的建模数据,提高系统的自动化程度。

### (3)三层共享。

目前通信网络一般由一层网络

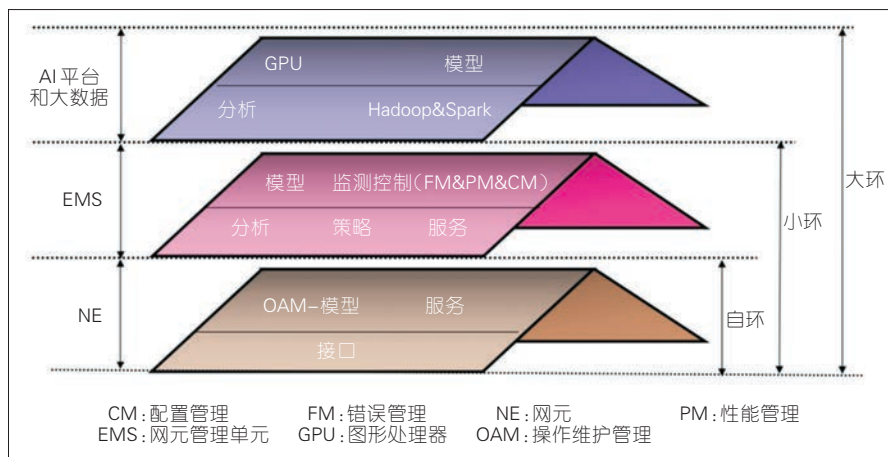
实体和两层管理系统构成。网元从算力成本和其所属的数据节点位置(只拥有自身节点数据)出发,一般情况下只增加一个通用推理功能,用于接收其他管理系统训练后的推理模型,在实际生产环境中接收实时数据后,依据推理模型进行实时推理,这种方式的特点是网络的反应具备实时性,这个称为自环。其次是在网元管理单元(EMS)中,对于本网络的数据进行训练分析,得到推理模型,然后在收到实时数据后进行推理,或者把模型推送给网元,这种方式称为小环,小环具备了以上架构中的所有元素,区别在于出于成本和职责的定位,其主要须要面对中小数据量、非实时的推理情况。最上层是大数据和AI平台层,架构元素则类似EMS,只不过其支持大数据量训练、集群计算、矩阵运算,其训练的推理模型可以在

图7中的3个层次进行共享,称之为大环。这种共享性首先体现在推理模型能在3个层级进行共享;其次业务专家在最上层平台业务探索生成的模型,能够跨越空间和时间,从实验室到运行环境进行模型共享;最后通过模型共享能够达到算力共享的目的,给网元赋予更大的智能范畴,解决现在云管端网络中端的算力问题。

## 5 机会和挑战

尽管网络智能有着很好的前景,但是不可否认,未来依然是机会和挑战共存。笔者认为,未来的挑战来自如下几个方面:

(1)算法的挑战。由于通信网络智能属于专业领域,人工智能近几年的发展和相应投入主要集中在计算机视觉、自然语言、语音等领域,在通信网络智能领域的学术研



▲图7 三层共享模型

究并不太多。网络智能的算法和应用须要从从业人员从基础算法的选择、超参寻找、参数调优等一系列探索开始。

(2)数据同源建模的挑战。不可否认目前在电信领域沉淀着非常多的数据,但这些数据来自不同厂商,存储类型也不同,那么数据相互关联访问成为一个非常大的挑战,但这恰恰就是价值所在。

(3)迁移学习的挑战。这是电信领域特有的问题,电信网络目前是生产和运营分离,对于不同运营商的网络,其所处地域、经济发展都不同,所以网络模型也会存在差异。这样一来,对于生产商做出来的基础算法模型,不同的运营商在

不同的地域都须要重新训练和调整,即迁移学习的问题。

尽管存在一些问题,但是基于机器学习的通信网络智能目前已经势不可挡。周边的生态环境已经发生变化,物联网、虚拟化网络的蓬勃发展,巨大数据量的喷发,都促使我们想方设法采取最好的技术来迎接网络智能的未来。

#### 参考文献

- [1] LILLIAN B. AT&T Exploring Artificial Intelligence for UAV Tower Inspections [EB/OL]. (2018-1-10)[2019-01-15].<https://unmanned-aerial.com/att-exploring-artificial-intelligence-uav-tower-inspections>
- [2] KOLEY B. The Zero Touch Network. CNSM 2016 [EB/OL].(2018-01-10)[2019-01-15].<https://research.google.com/pubs/pub45687.html>
- [3] Gartner. Gartner Inc. 2017 Market Guide for AIOps Platforms [EB/OL]. (2018-01-05)[2019-01-15].<https://www.moogsoft.com/resources/aiops/guide/gartner-2017-aiops-market-guide/>

- [4] Cisco. 2018 Intent-Based Networking Building the bridge between business and IT [EB/OL]. (2018-08-31)[2019-01-15].<https://securenetworkers.com/2018/08/31/intent-based-networking/>
- [5] ZTE. 人工智能前沿[R]. 2019
- [6] KEPHART J O, CHESS D M. The Vision of Autonomic Computing [J]. IEEE Computer, 36 (1):41-50, 2003
- [7] IGLESIA D G D L. MAPE-K Formal Templates for Self-Adaptive Systems: Specifications and Descriptions [R]. USA: ACM, 2015
- [8] Cognet . An NFV/SDN Based Architecture for Autonomic 5G Network Management using Machine Learning [EB/OL].(2018-01-10) [2019-01-15]. [http://www.cognet.5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/08/ETSI-CogNet-AO\\_Poster\\_final.pdf](http://www.cognet.5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/08/ETSI-CogNet-AO_Poster_final.pdf)

#### 作者简介



杜永生,中兴通讯股份有限公司无线网管架构师;主要研究方向为智能运维;发表4篇公开专利。



蒋新建,中兴通讯股份有限公司无线研究院LTE中心LTE系统部系统工程师;主要研究方向为无线网络智能化。



巫江涛,中兴通讯股份有限公司电信云及核心网产品团队MANO技术总工;主要从事虚拟化运维与智能化相关领域研究及产品规划工作。



# 《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,以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)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].学位授予单位所在城市名:学位授予单位,授予年份.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:通讯地址、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

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

---

双月刊 1995年创刊 总第145期  
2019年4月 第25卷 第2期

主管:安徽出版集团有限责任公司  
主办:时代出版传媒股份有限公司  
深圳航天广宇工业有限公司  
出版:安徽科学技术出版社  
编辑、发行:中兴通讯技术杂志社

总编:王喜瑜  
副总编:蒋贤骏  
常务副总编:黄新明  
责任编辑:徐烨  
编辑:卢丹、朱莉  
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1201室  
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  
发行范围:公开发行  
印刷:合肥添彩包装有限公司  
出版日期:2019年4月20日  
中国标准连续出版物号:ISSN 1009-6868  
CN 34-1228/TN  
定价:每册 20.00 元