



信息通信领域产学研合作特色期刊  
 第三届国家期刊奖百种重点期刊 | 中国科技核心期刊

ISSN 1009-6868  
 CN 34-1228/TN

# 中兴通讯技术

## ZTE TECHNOLOGY JOURNAL

tech.zte.com.cn

2017年4月 • 第2期

### 专题：通信网络重构新技术



产业互联网络解决方案



# 《中兴通讯技术》第7届编辑委员会委员名单

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

**主任** 陆建华（中国科学院院士,清华大学教授）

**副主任** 赵先明（中兴通讯股份有限公司总裁） 糜正琨（南京邮电大学教授）

**副主任** 马建国（广东工业大学教授） 陈前斌（重庆邮电大学副校长）

## 编委（按姓名拼音排序）

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



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

### 办刊宗旨

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

# Contents 目次

中兴通讯技术 总第133期 第23卷 第2期 2017年4月

## 专题: 通信网络重构新技术

- 02 中国电信网络重构及关键技术分析..... 史凡,赵慧玲
- 06 中国联通网络重构与新技术应用实践..... 唐雄燕,曹畅
- 12 网络功能虚拟化的关键技术 ..... 王路,赵鹏,付乔
- 17 M-ICT时代随选网络架构与实施策略..... 王延松,王伟忠,卢华
- 23 vBRAS 应用场景及评估方法探讨 ..... 雷波,解云鹏,王波
- 27 SDN/NFV 测试方法的研究 ..... 穆域博,马军锋,徐骁麟
- 33 构建网络创新试验环境的探索..... 毕军,胡虹雨,王畅
- 37 运营商开源策略研究..... 王峰,赵慧玲,杨明川

## 专家论坛

- 41 5G 新需求下无线网络重构的若干思考 ..... 冯建元,冯志勇,张奇勋
- 45 工业互联网——重构网络架构的起点..... 张恒升
- 47 着力突破与创新,实现超越与引领 ..... 钟义信

## 企业视界

- 50 M-ICT 应用发展趋势及其关键技术分析..... 吕达,董振江,杨勇

## 技术广角

- 56 新一代视频业务安全解决方案 ..... 华新海,贺镇海,刘志军
- 60 一种基于 Docker 的数据中心云平台实现方法及系统 ..... 彭勇,谢剑,童遥,申光

期刊基本参数:CN 34-1228/TN\*1995\*b\*16\*64\*zh\*P\* ¥ 20.00\*15000\*14\*2017-04

# Contents 目次

ZTE TECHNOLOGY JOURNAL Vol. 23 No. 2 Apr. 2017

## Special Topic: New Technologies of Network Reconstruction

- 02 Network Reconstruction and Key Technologies of China Telecom ..... SHI Fan, ZHAO Huiling
- 06 Network Reconstruction and New Technology Applications of China Unicom .....  
..... TANG Xiongyan, CAO Chang
- 12 Key Technologies in Network Function Virtualization ..... WANG Lu, ZHAO Peng, FU Qiao
- 17 Architecture and Implementation Strategy of Network on Demand in M-ICT Era .....  
..... WANG Yansong, WANG Weizhong, LU Hua
- 23 Deployment and Performance Evaluation of vBRAS .....  
..... LEI Bo, XIE Yunpeng, WANG Bo
- 27 Test Methodology of SDN/NFV ..... MU Yubo, MA Junfeng, XU Xiaoling
- 33 Constructing the Experimental Environment for Network Innovation .....  
..... BI Jun, HU Hongyu, WANG Yangyang
- 37 Open Source Strategy of Operators ..... WANG Feng, ZHAO Huiling, YANG Mingchuan

## Expert Forum

- 41 Wireless Network Reconstruction for 5G ..... FENG Jianyuan, FENG Zhiyong, ZHANG Qixun
- 45 Industrial Internet: The Start of Network Architecture Reconstruction ..... ZHANG Hengsheng
- 47 Focusing on Innovation and Realizing the Transcendence ..... ZHONG Yixin

## Enterprise View

- 50 Key Technologies and Development Trend of M-ICT Applications .....  
..... LV Da, DONG Zhenjiang, YANG Yong

## Technology Perspective

- 56 A New Generation of Video Service Security Solutions ..... HUA Xinhai, HE Zhenhai, LIU Zhijun
- 60 A Cloud Platform for Data Center Based on Docker .....  
..... PENG Yong, XIE Jian, TONG Yao, SHEN Guang

## 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。

## 2017年第1—6期专题

### 1 NB-IoT体系标准与应用

王喜瑜 中兴通讯股份有限公司 副总裁  
孙知信 南京邮电大学 教授

### 2 通信网络重构新技术

赵慧玲 中国电信北京研究院 总工

### 3 5G无线传输技术

卫国 中国科学技术大学 教授

### 4 神经网络与深度学习

焦李成 西安电子科技大学 教授

### 5 硅基光电子集成技术与器件

陈建平 上海交通大学 教授

### 6 虚拟现实技术与应用

潘志庚 杭州师范大学 教授



赵慧玲

中国通信学会常务理事,中国通信学会信息通信网络技术专业委员会主任委员,中国通信学会北京通信学会副理事长,中国通信标准协会网络与业务能力技术工作委员会主席,工信部科技委委员,中国电信科技委常委兼核心网组负责人,国际标准组织 MEF 顾问董事,SDN、NFV 产业联盟技术委员会副主任;长期从事电信网络领域技术和标准工作;曾获多个国家及省部级科技进步奖项;发表技术文章 100 余篇、技术专著 12 部。

## 导读

网络重构是全球电信运营商关注的重点。近年来美国 ATT、西班牙电信、日本 NTT 和德国电信等国际运营商纷纷制订了网络重构的战略;中国三大运营商也陆续发布了网络重构白皮书。网络重构是指希望通过未来 5~10 年时间,给现有的运营商网络不断注入新的活力,使网络资源可以根据业务需求灵活调度,业务部署快速上线,网络运维能力实现自动化,主动满足物联网、互联网+、人工智能等对网络的需求,实现网络即服务(NaaS)。

从根本上来说,网络是电信运营商的基石,是形成连接的基础,也是构成电信级平台和业务的前提。网络重构工作的成效将决定着电信运营商今后的竞争力和发展潜力,也是影响整个社会信息基础设施和国家信息战略实施的要点。

那么网络重构的内涵和特征是什么?网络重构中采用了哪些关键技术和方案?对于这些技术如何评估和测试,如何进行试验?运营商使用开源软件技术遇到什么风险和问题?针对这些网络重构相关的关键问题,我们组织了本期专题。

在本期专题文章中,《中国电信网络重构及关键技术分析》介绍了 CTNet 2025 战略目标,网络重构总体架构和关键技术;《中国联通网络重构及新技术应用实践》介绍了中国联通 CUBE-Net 2.0 网络架构及关键特征,并给出了应用场景;《网络功能虚拟化的关键技术》分析了网络功能虚拟化目前的技术状态,运营商的这几篇文章给读者勾画了网络重构的远景和近期实践。《M-ICT 时代随选网络架构与实施策略》是来自中兴通讯的文章,介绍了网络重构随选网络的总体思路和实施策略,并从连接随选、功能随选和 Portal 策略等不同维度给出了随选网络的不同实践;《vBRAS 应用场景及评估方法探讨》介绍了城域网虚拟化 vBRAS 的现场试验情况,分析了存在的问题,给出了评估方法;《SDN/NFV 测试方法的研究》全面介绍了网络重构关键技术 SDN、NFV 的评估测试方法,对业界关注的接口、平台等测试思路和存在的问题都做出了详尽描述;《构建网络创新试验环境的探索》介绍了构建网络创新试验平台方面的有益探索;《运营商开源策略研究》介绍了开源软件体系,特别值得说明的是文章重点分析了目前开源软件面临的挑战和存在的风险,给出了运营商做开源的建议。

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

赵慧玲

2017年2月11日





# 中国电信网络重构及关键技术分析

## Network Reconstruction and Key Technologies of China Telecom

史凡/SHI Fan  
赵慧玲/ZHAO Huiling

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

以网络智能化为主题的网络重构工作成为各大电信运营商未来的重点举措之一,如 AT&T 提出的 Domain 2.0、中国电信提出的 CTNet 2025 等,都是希望通过未来 5~10 年时间对现有的运营商网络进行一个根本性的、革命性的改造和提升,从而适应和引领电信网络的新发展,满足物联网、互联网+、人工智能等对网络的需求,实现网络即服务(NaaS)的效果。

从根本上来说,网络是电信运营商的基石,是形成连接的基础,也是构成电信级平台和业务的前提。所以,网络重构工作的成败将决定着电信运营商今后的竞争力和发展潜力,也是影响整个社会信息基础设施和国家信息战略实施的要点。为此,选择和攻关核心技术,服务于网络重构工作就显得尤为重要。

## 1 网络重构的目标

### 1.1 网络智能化目标

现有的电信网络长期追求高性能和高质量的保障,是由大量垂直一体化的专用硬件和专业网络构成的,

收稿日期: 2017-01-24  
网络出版日期: 2017-02-27

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0002-004

**摘要:** 阐述了运营商网络重构的意义和目标,提出了以软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)和云计算为核心技术开展网络架构重构工作的观点,其中 SDN 主要解决网络智能控制和能力开放的问题;NFV 重点在网络功能和网元形态两方面着手降低资本性支出(CAPEX)和运营成本(OPEX);云计算则更多作为基础设施成为网络虚拟化和云化的前提。聚焦运营商需求,SDN 技术中需要关注南北向接口和控制器等标准化;NFV 技术中需要关注管理和编排(MANO)规范和统一化网络功能虚拟化基础设施(NFVI);云计算需要关注虚拟化和开源技术。

**关键词:** 网络重构;SDN;NFV;云计算

**Abstract:** In this paper, the value and target of the network reconstruction project for operators are demonstrated. It is proposed that key technologies in this project should be soft-defined network (SDN), network function virtualization (NFV) and cloud computing. SDN can provide the network intelligence control and ability openness, and NFV can reduce the capital expense (CAPEX) and operating expense (OPEX) both in network function and element type; cloud computing is the infrastructure of the virtualization of the telecom network. SDN needs to focus on the standardization of the north/south interface and the controller; NFV needs to pay attention to the management and orchestration (MANO) specification and the unified network functions virtualization infrastructure (NFVI); cloud computing needs to focus on virtualization and open source technology.

**Key words:** network reconstruction; SDN; NFV; cloud computing

整个生态系统较为封闭,产业链更新相对缓慢,同时资本性支出(CAPEX)和运营成本(OPEX)高企,对业务的响应比较慢,已经越来越难以满足未来网络随选的要求,特别是对网络要能够自动适应业务和应用变化的智能化需求。智能化的未来网络应该具备以下 4 个特征<sup>[1]</sup>:

(1)简洁。网络的层级、种类、类型等尽量减少,降低运营和维护的复杂性和成本,也有助于业务和应用的保障能力提升。比如:通过网络层级简化、业务路由等的优化,我们认为是在全国 90% 地区实现不大于 30 ms 的传输网时延,这对于时延敏

感型业务是非常有益的。

(2)敏捷。网络需要提供软件可编程的能力,具备资源弹性可伸缩的能力,这非常有助于网络业务的快速部署和扩缩容。比如:面向最终客户的“随选网络”可以提供分钟级的配套开通和调整能力,使得客户可以按需来实时调整网络连接。

(3)开放。网络需要形成更丰富和边界的开放能力,能不同类型的业务所调用,且不仅为自营业务所服务,更可以为第三方应用所使用。比如,互联网的通信平台,可以根据其不同应用对网络能力的不同要求(服务质量(QoS)、带宽、时延等)要求网

络资源进行差异化提供。

(4)集约。网络资源应该能够统一规划、部署和端到端运营,避免分散、非标准的网络服务。比如:业务平台全面实现云化,使得其支撑的所有网络服务的体验与地域无关。

## 1.2 未来网络架构

要实现上述目标,我们认为未来网络在架构上应分为图1所示的3个层面<sup>[1]</sup>。

(1)基础设施层。基础设施层由虚拟资源和硬件资源组成,包括统一云化的虚拟资源池、可抽象的物理资源和专用的高性能硬件等,其目的是以通用化和标准化为目标提供基础设施的承载平台。其中,虚拟资源池一般基于云计算和虚拟化技术来提供,通过网络功能层中的云管理平台、虚拟网络功能管理器(VNFM)和控制器等进行管理;而难以虚拟化的专用硬件则靠现有的网元管理系统(EMS)/网络管理体系(NMS)来管理,部分物理资源借助抽象层的引入还能够被控制器等进行双向管理<sup>[2]</sup>。

(2)网络功能层。网络功能层主要面向软件化的网络功能实现,结合虚拟资源和物理资源的管理系统/平台,实现逻辑功能和网元实体的分

离,便于资源的集约化调度管控。其中,云管理平台主要负责对虚拟化资源的管理协同,包括计算、存储和网络的统一管控;VNFM主要负责对基于网络功能虚拟化(NFV)实现的虚拟网络功能的管控,控制器实现基于软件定义网络(SDN)实现的基础设施的管控。为简化接口和协议要求,规避不同系统间信息模型不同带来的互通难度,我们不建议让这些系统和现有的EMS/NMS直接进行东西向互联,建议利用上层的网络协同和业务编排器进行疏通,完成端到端的网络和业务管理。

(3)协同编排层。主要提供对网络功能的协同和对业务能力的编排,结合信息技术(IT)系统和业务平台的能力化,共同实现网络能力开放。其中,网络协同和业务编排器主要负责向上对业务需求的网络语言翻译和能力封装,向下对网络功能层中的不同系统和网元进行协同,保障网络端到端打通;IT系统和业务平台则主要服务于网络资源的能力化和开放化封装,支持标准化的调用。

可以看出:这一未来网络架构与现有的电信网络架构相比,产生了3个非常大的根本性变化。

(1)设施的标准化和归一化。除

了少数必须采用专用硬件的设备或系统外,通信技术(CT)的硬件资源也像IT一样大量基于标准化、可云化部署的资源池来实现,通过一些虚拟化的技术手段还能够实现虚/实、新/老设备和系统的互通和统一管理,传统的封闭式、烟囱式等的网络体系被打破。

(2)功能的虚拟化和软件化。网络功能将不再依赖于独立的硬件体系;而是主要以软件的形式存在,与专用硬件解耦(基于通用的资源池),可以灵活部署和按需扩缩容。同时,网络资源甚至服务能力都可能进行软件编程,在资源调配和业务响应上非常便捷,不再受限于现有的“硬件-软件-业务”的程式化、按部就班的运作模式。

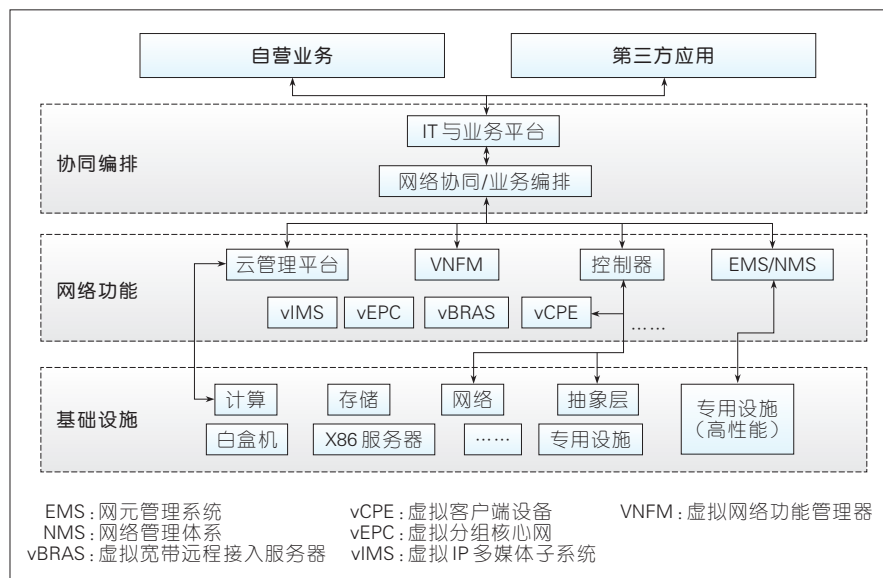
(3)IT能力的业务化和平台化。运营商的IT系统不再仅限于作为网络的指出系统,更多将能力打造成为服务平台,提供对外的能力开放,成为网络能力平台化的核心。同时,IT技术也不再局限于业务平台和软件系统,更多嵌入到网络功能和基础设施当中,成为不可分割的一部分。

## 2 网络重构三大关键技术

### 2.1 SDN

SDN是将网络的控制平面与数据转发平面进行分离,采用集中控制替代原有分布式控制,并通过开放和可编程接口实现“软件定义”的网络架构。SDN是IT化的网络,具有开放的生态链,其核心是网络的“软化”,基于软件实现网络的敏捷、开放以及智能。

对于网络重构而言,SDN的核心价值在于将传统分散的网络智能统一起来,如图2左图所示。传统网络基于分散的单一化的控制和转发,网管主要面向配置管理,业务能力有限;而SDN(如图2右图所示)则将主要用于网络配置的网管能力转换为智能调度和网络能力封装,不仅改善



▲图1 未来网络架构(示意)

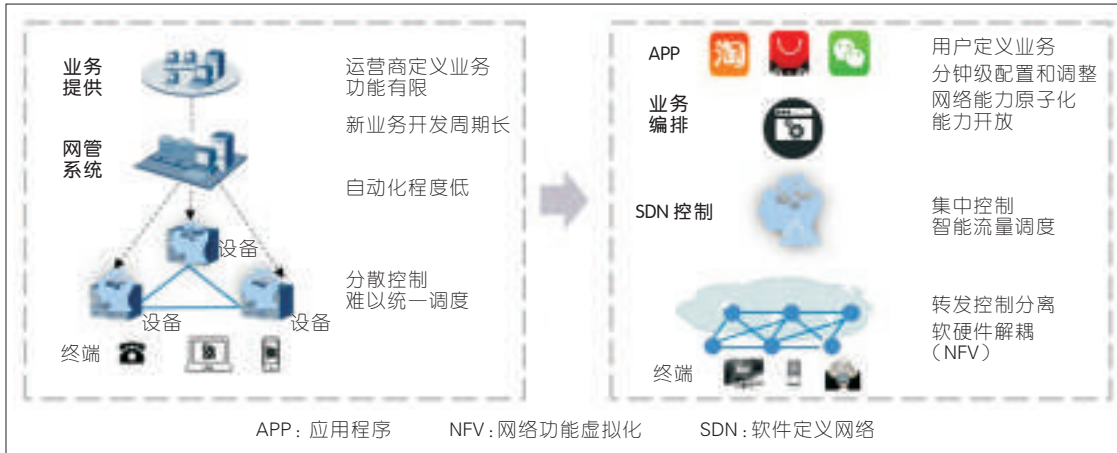


图2 SDN驱动网络敏捷和智能开放

了自身资源的管控,还能真正实现对上层业务甚至千变万化的应用的按需适配。

### 2.2 NFV

NFV是指利用虚拟化技术,采用标准化的通用IT设备(x86服务器、存储和交换设备等)来实现各种网络功能,目标是替代通信网中私有、专用和封闭的网元,实现统一的硬件平台+业务逻辑软件的开放架构。基于NFV可以实现网络的简洁、灵活和低成本。通过软硬件解耦和硬件标准化,网络资源可以根据业务需求变化而弹性伸缩,支持新业务的快速加载和上线。网络基础设施实现了NFV以后,就可以像使用和管理IT云资源池那样使用和管理网络,实现网络的“云化”。

对于网络重构而言,NFV的核心价值在于在网络设备的技术实现方

式上进行了彻底的改良,如图3左图所示。现有专用硬件形态的网元架构封闭、成本高企、难以扩展,引入如图3右图所示的NFV方案后,运营商网络中不需要单纯依赖于“压价”来降低CAPEX,同时通过归一化的硬件基础设施为统一集约运营提供了基础,长期将降低OPEX。

### 2.3 云计算

云计算是在虚拟化技术、分布式技术的基础上发展而来的新型的IT服务提供模式和解决方案,是对传统IT的“软件定义”,带来相关部署、运维和业务发放模式的变革。云计算的引入将大大降低人工参与和手工操作的需要,提供自动化的能力,并且使得统一的资源可以为更多的租户所使用,获得更多的效益;同时,云计算提供开放的高级持续性威胁(APT)接口,也非常有利于基于软件

来定义业务,便于能力开放。

对于网络重构而言,云计算相关技术是SDN/NFV的基础条件,如NFV中所需的网络功能虚拟化基础设施(NFVI)解决方案资源池就需要基于云计算的方式来部署,基于云化的资源池是SDN控制器、编排器和NFV的管理和编排(MANO)等的基础平台。

## 3 三大关键技术的关注点

从运营商网络重构的角度,上述三大技术构成了未来网络的技术核心,重点是需要服务于网络能力的提升和网络的可持续发展。由于相关技术的发展阶段不同,所以各自的关注点也有所区别<sup>[2]</sup>。

(1)SDN应关注南北向接口和控制器、编排器标准化。从硬件设备、控制和编排器软件、应用业务模型几个层面来看,SDN产业的成熟度不一,仍在快速迭代发展中,全面成熟

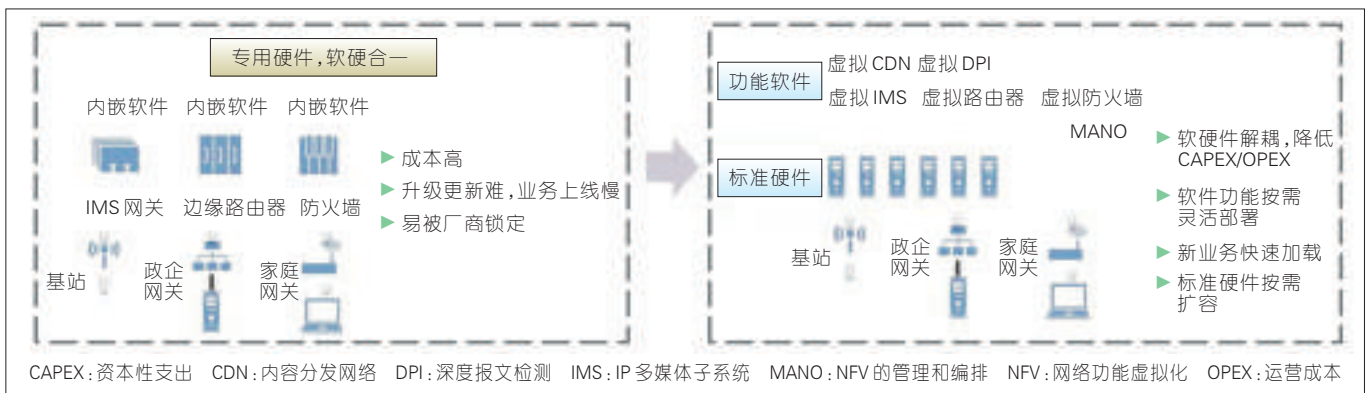


图3 NFV实现网络简洁灵活和低成本



有待时日。SDN 技术重点在南/北向接口标准化,目前在结合业务场景实现跨厂家的互通,以及相应接口和系统的性能和可靠性等方面仍存在问题,一系列传统的协议(如 Internet 工程任务组(IETF)的路径计算元件通信协议(PCEP)等)和新兴的协议(如 OpenFlow、Netconf 等)本质上已经在南向接口上自成体系,在需要尽快加以统一,避免形成各自发力、分散割据的局面;同时在北向接口方面,以 Resful 为代表又定义得非常简陋,难以满足业务模块化和原子化的需求。根据技术和产业链的成熟程度,近期运营商将逐步考虑在 IP 骨干网、互联网数据中心(IDC)网络等数据网中应用 SDN,并择机扩大到其他 IP 网和传输、接入等其他专业网络,为此急需在 SDN 接口的标准上形成统一。随着 SDN 标准的逐步完善,以及软件自主开发能力的增强,后续运营商还要考虑实现跨厂家、跨专业的控制层打通,做到 SDN 端到端网络能力调度和业务编排。长远来看:今后还会在 SDN 控制器和编排器系统中应用大数据分析和人工智能的技术,最终实现网络的智能化。

(2) NFV 应关注 NFVI 统一和 MANO 标准化。国际标准组织欧洲电信标准化协会(ETSI)定义的 NFV 网络通用架构包括硬件资源层、虚拟资源层和网元功能层,分层解耦,由管理编排模块 MANO 统一管理,而硬件资源层和虚拟资源层共同组成了虚拟化网络的基础设施 NFVI。目前,VNF 的部署方式还存在多种方案,基于 x86 架构的硬件资源层转发性能与现有专用设备相比差距很大,管理编排模块 MANO 还缺少经过大

规模商用验证的产品,而且运营商也缺乏对此进行集成和运营的经验。NFVI 是未来网络的基础设施,它是承载网络功能 VNF 的云资源池,如同 IT 系统中的 IT 云资源池,目前各厂商 NFV 设备的 NFVI 各不相同。如果运营商不能尽早定义和搭建统一标准的 NFVI,而是草率地引入各厂商的 NFV 方案,将会继续形成众多与厂家绑定的烟囱系统,不能达到资源高效共享和新业务快速加载的目的。为此,可以借助相关网络工程的建设,研究制订 NFVI 的标准和部署方案,明确 NFVI 与现有云资源池的关系,并开展小范围部署。同时,必须尽快确定运营商内跨专业的 MANO 规范,包括各个组成部分间的关系(如 VNFM 与 VIM 间的管理模式等),用于指导工程采购和自主研发。

(3) 云计算应关注虚拟化新技术和开源技术。作为云计算的基石,服务器虚拟化计算包括了中央处理器(CPU)、内存、输入输出(IO)虚拟化等,是处于硬件和 Guest OS 之间的新型软件技术,可以为各种 Guest OS 提供与实际硬件无异的模拟硬件环境,实现在同一个平台上运行多个 OS,有助于安全性和效率。目前虚拟化技术对于满足 SDN/NFV 引入部署,特别是统一的 NFVI 部署方面,在功能上已经基本可以满足,包括非统一内存访问(NUMA)绑定、内存巨页、数据平面开发包(DPDK)等的支持,但是在可靠性方面,尤其是系统、网元、虚拟化/操作系统、基础设施硬件见协同方面还有很多空白,将产生大量虚拟化技术新的改良空间。同时,以 OpenStack+KVM 为代表的开源技术在 NFVI 和 MANO 中也逐步开始体现出

价值,特别是在实现三层解耦方面作用很大,但是目前能提供电信级商用能力的系统几乎还不存在,这将成为云计算基础设施部署的一个困难。

## 4 结束语

综上所述,以智能化为核心的网络重构电信运营商网络发展的大势所趋,SDN/NFV/Cloud 则是其中最为关键的技术,具有各自不可替代的重大价值。但是在具体技术,尤其是和现网应用部署相结合方面,还有很多值得关注的要点和难点,可以成为今后我们进行重点攻关的领域,应该成为技术研发的主要课题。

### 参考文献

- [1] CTNet2025 网络架构白皮书[R]. 北京:中国电信, 2016
- [2] 赵慧玲. 网络重构及其挑战[C]//北京: 2016 全球网络技术大会, 2016

### 作者简介



史凡, 中国电信股份有限公司北京研究院 CTNet2025 开放实验室运营中心副主任, 高级工程师, 同时担任 MEF 中国工作组主席、CCSA TC3 SVN 研究组组长、SDN 产业联盟集成与测试工作组副组长等职务; 长期从事 IP/MPLS/VPN 技术研发, 现主要负责 SDN/NFV 等新技术研究和网络架构设计。



赵慧玲, 中国通信学会常务理事, 中国通信学会信息网络技术专业委员会主任委员, 中国通信学会北京通信学会副理事长, 中国通信标准协会网络与业务能力技术工作委员会主席, 工信部科技委委员, 中国电信科技委常委兼核心网组负责人, 国际标准组织 MEF 顾问董事, SDN、NFV 产业联盟技术委员会副主任; 长期从事电信网络领域技术和标准工作; 曾获多个国家及省部级科技进步奖项; 发表技术文章 100 余篇, 技术专著 12 部。

# 中国联通网络重构与新技术应用实践

## Network Reconstruction and New Technology Applications of China Unicom

唐雄燕/TANG Xiongyan  
曹畅/CAO Chang

(中国联通网络技术研究院, 北京 100048)  
(China Unicom Network Technology  
Research Institute, Beijing 100048, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0006-006

**摘要:** 提出了中国联通面向云端双中心的解耦与集约型网络架构——CUBE-Net 2.0。CUBE-Net 2.0 实现了在总体建设与运营成本最低的优化目标下, 用户与数据双中心的网络格局。针对 CUBE-Net 2.0 和企业云服务的具体要求, 介绍了 E-CUBE 网络发展概况和主要应用场景, 以及通过 E-CUBE 实现网络跨层跨域协同的关键技术。认为结合 E-CUBE 网络演进与发展方向, 电信运营商需要构建新的运营生态来适应网络的变革。

**关键词:** 网络架构; 产业互联网; 软件定义网络(SDN); 网络功能虚拟化(NFV); 云计算

**Abstract:** In this paper, CUBE-Net 2.0, the cloud-oriented dual-center decoupling and intensive network architecture for China Unicom is proposed. Optimizing the cost of overall construction and operation, CUBE-Net 2.0 states the layout of the network to be user and data center. Considering the specific requirements of the CUBE-Net 2.0 and the enterprise cloud services, the development overview and the main application scenarios of the E-CUBE network, as well as the key technologies of network cross-layer and cross-domain collaborations through E-CUBE are introduced. Combined with E-CUBE network evolution and development orientation, it is necessary for telecom operators to build a new operational ecology to adapt to the network changes.

**Key words:** network architecture; industrial Internet; soft defined network (SDN); network function virtualization (NFV); cloud computing

### 1 运营商面临的挑战

近年来, 随着网络承载业务的丰富, 通信技术(CT)与信息技术(IT)的深度融合, 运营商在当前网络运营中面临网络连接数和流量增长推动网络规模快速膨胀, 业务云化和终端虚拟化颠覆网络全局流量模型, 专有网络和专有设备极大增加网络经营压力, 互联网业务创新加快驱动网络智能化转型等一系列挑战。

(1) 网络连接数和流量增长推动网络规模快速膨胀。

未来 10 年, 将有海量的设备连入网络, 连接将变得无处不在。宽带从连接 50 亿人增加到连接 500 亿物, 同时宽带流量将有 10 倍的增长。家庭千兆以及个人百兆接入成为普遍服务, 而一些新业务(如 4 K/8 K 视频、虚拟现实游戏、汽车无人驾驶等)对网络丢包率、时延等的服务质量(QoS)要求更苛刻。

(2) 业务云化和终端虚拟化颠覆网络全局流量模型。

随着云计算的发展和大规模移动网络的建设, 用户对宽带的需求已从基于覆盖的连接, 转向基于内容和

社交体验的连接。传统电信业务流量主要服务于网络终端节点之间的通信, 符合泊松分布模型; 而互联网流量和流向则由热点内容牵引, 难于准确预测。数据中心成为主要流量生产和分发中心, 呈现无尺度分布的特征, 且与现有电信网络部署架构不匹配。

(3) 专有网络和专有设备极大增加网络经营压力。

随着固定和移动网络覆盖范围的扩大, 网络规模日趋庞大。网络服务需要由具有不同功能属性的多个专业网络组合提供, 各专业网络彼此之间条块化分割, 能力层次不齐, 业务的端到端部署和优化困难。同时,

传统设备研发和部署体系封闭, 网元功能单一和受限, 功能扩展和性能提升困难, 导致新业务的创新乏力以及响应滞后, 无法满足互联网应用对服务的动态请求。

(4) 互联网业务创新加快驱动网络智能化转型。

互联网业务创新需要更加智能弹性的网络服务, 网络需要及时洞察用户需求, 实时响应用户需求。今天运营商的网络难以满足互联网业务创新对网络的灵活性、扩展性、智能化、低成本等要求。

面对这些挑战, 中国联通对于网络服务的定义也从狭义的连接和转发服务向广义的信息转发、存储和计

收稿日期: 2017-01-25  
网络出版日期: 2017-02-27

算一体化服务,并在2015年对外正式发布了新一代的网络架构 CUBE-Net 2.0<sup>[1]</sup>,作为中国联通面向未来网络转型和技术演进的总体指导框架。

## 2 中国联通 CUBE-Net 2.0 网络架构

### 2.1 架构理念

CUBE-Net 2.0以泛在超宽带网络为基础,并引入云计算、软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)技术进行网络的重构和改造,使得基础网络具备开放、弹性、敏捷等新的技术特征,形成网络即服务(NaaS)的架构理念(顶层架构如图1所示)。其主要的技术理念体现为3个方面:以泛在的宽带为基础,通过云网协同的手段实现弹性的网络。

### 2.2 关键特征

为实现上述技术理念,CUBE-Net 2.0的顶层架构特征可概括为:面向云端双中心的解耦与集约型网络

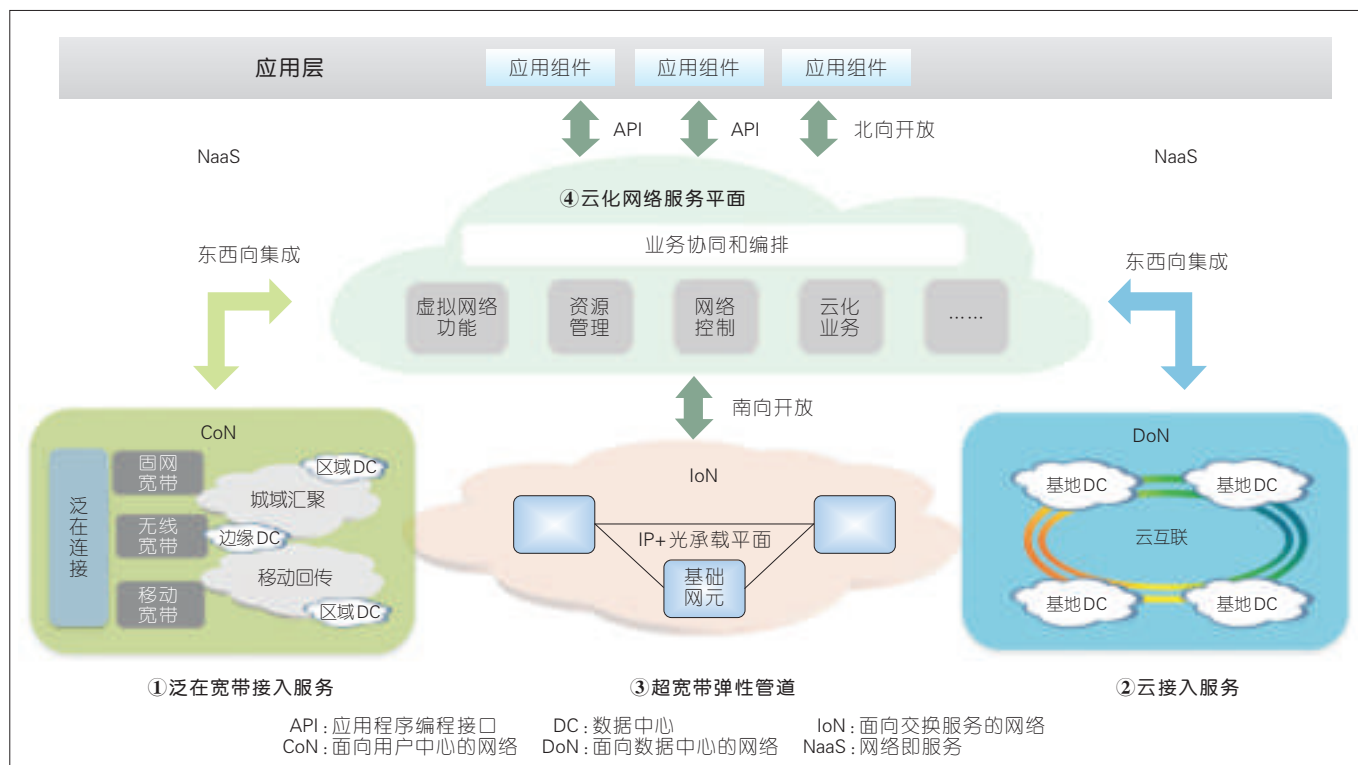
架构。

在秉持总体建设与运营成本最低的一个原则下,CUBE-Net 2.0将逐步形成“用户”与“数据”双中心格局,网络将更多服务于用户与数据间的沟通以及数据本身的分发处理。对于云服务,网络的灵活性、动态性、开放性和资源的快速提供尤为重要,网络建设理念也需要实现由“云随网动”到“网随云动”的转型。随着移动宽带的发展和智能终端的普及,“用户中心”将更多地体现为移动智能终端和物联网终端;而“数据中心”则成为信息通信服务的基础依托,网络将由纯粹的连接型哑管道转型为具备更强智能和一定计算/存储能力的“云网络”宽带基础设施。

其次,通过服务功能、逻辑功能和部署功能的三维解耦,实现弹性灵活的网络服务。针对传统网络紧耦合不灵活的束缚,功能“解耦”将是实现网络弹性化的基本手段,CUBE-Net 2.0将网络按服务功能的不同划分为用户域、互通域和数据域3个服

务功能域。其中,用户域负责实现用户与用户间的通信服务,涉及用户接入网内流量以及用户接入网间的流量;互通域负责用户与云服务之间的通信服务,涉及用户上传到云服务的流量和云服务下发到用户的流量;数据域负责云数据中心间的通信(DCI)以及云数据的数据分发服务(利用内容分发网络(CDN)将内容数据由基地云分发到边缘云),涉及数据中心间流量以及云数据的数据分发流量。

除此之外,CUBE-Net 2.0还将打造高效经济的网络基础。通过由厂家提供的设备模型与控制器网络模型的两层建模,实现网络设备控制面与转发面解耦、控制器集中化部署,对全网形成统一的调度策略。同时,在软硬件解耦的基础上,将计算/存储/网络资源池化,通过引入NFV的管理和编排(MANO)实现对虚拟网络功能、网络服务的生命周期管理,并通过与SDN、服务链的协同交互实现网络远程、自动、智能的快速部署,形成控制平面的集约。通过构



▲图1 CUBE-Net 2.0顶层架构



建网络大数据平台、挖掘数据价值,实现数据管理的集约。

### 3 面向产业互联网应用的 E-CUBE 网络

#### 3.1 服务定位

中国联通在 CUBE-Net 2.0 整体架构下,针对向企业提供“云专线”的新型服务,提出了涵盖企业-企业,企业-互联网,企业-数据中心(DC),DC-DC 之间的专线场景的产业互联网络解决方案<sup>[2-4]</sup>。产业互联网络解决方案具备了分钟级开通业务的敏捷属性、按需提供差异化的专线服务能力、服务等级协议(SLA)属性、支持资源和网络控制多层次开放的开放属性和诸如虚拟用户终端设备(vCPE)、虚拟防火墙(vFW)等虚拟增值服务的增值属性。

#### 3.2 技术架构

产业互联网络解决方案的核心使能技术是 SDN/NFV<sup>[5]</sup>,为支持企业端到端的“云专线”业务体验,需要包含 4 个领域:云接入、云互联、云 DC 网和跨域管理控制协同,具体如图 2 所示。

云接入用于企业分支接入到 DC 或 Internet 场景,根据不同企业的需

求提供差异化专线接入方式,根据接入方式不同,可以为企业提供差异化功能和质量要求的用户终端设备(CPE)设备。

在 CUBE-Net 架构下,用户终端和云数据中心成为网络服务的双中心,这就实现 DCI,即从用户中心节点到数据中心节点骨干平面之间的互联。云互联骨干网引入 SDN 技术,实现专线业务自动发放和动态优化、调整。云互联转发面将采取多协议标签交换(MPLS)L3 虚拟专用网络(VPN) over MPLS-TE 方式承载企业租户 L2/L3 互联业务。

云 DC 网是支撑 DC 运转的网络设备和组网技术的总称。云 DC 网将以 SDN 构建业务感知网络,不仅支撑传统 DC 的机架资源出租,还可以对企业提供虚拟 DC(vDC)服务。云 DC 网也是支持电信 NFV 和网络功能云化(NFC)的基础,是构成未来产业互联网基础设施的重要支撑。

跨域管控协同基于 CUBE-Net 2.0 定义的“云化的网络服务平面”实现,在云化的服务平面内,主要新技术是 SDN 控制、协同和 NFV 管理(NFVM)。VNFM 负责对云化的虚拟网络功能进行生命周期的管理,SDN 控制器负责对物理转发和虚拟转发网络功能进行集中控制和自动化。

这包含两个层面的协同:管理和控制。以 VPN 业务自动发放为例,对象存储(OSS)/网元管理系统(EMS)完成物理设备 VPN 初始化配置、虚拟设备生命周期管理;控制器完成业务的动态发放和闭环控制。跨域控制协同是指一个端到端的服务提供,需要 SDN、NFV 构筑一个统一的协同编排层来实现,并通过统一的协同层将服务需求按照业务逻辑分解、分配给 SDN、NFV,进而实现业务的敏捷和自动化。

#### 3.3 组网结构

为实现端到端连接,产业互联网络解决方案的基础网络包括 DC 内网络、DCI、DC 接入网络和传送网络,其基础网络架构如图 3 所示。其中,DC 物理网络采用树-脊柱(LEAF-SPINE)二层架构,LEAF 用于连接服务器或机架,SPINE 用于下行连接 LEAF,上行 LEAF 和 SPINE 之间通过 10 GE/40 GE 互联,每个 DC 都有直连链路连接到城域网路由器(CR)、综合承载传送网(UTN)汇聚 CR 和 DCI PE CR。对于 DCI,每个 DC 部署两台路由器(DCI PE),用于实现彼此之间全连接(MESH)的双归属互联。对于 DC 接入网络,企业 CPE 通过城域网或 UTN 接入,采取虚拟可扩展局域网

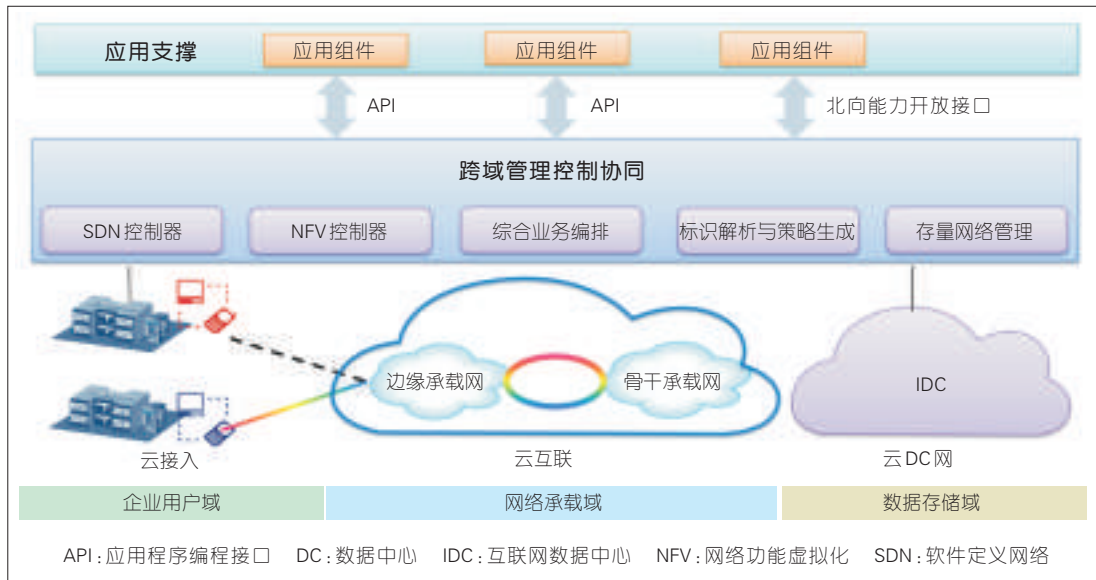


图 2 产业互联网络解决方案包含 4 个领域



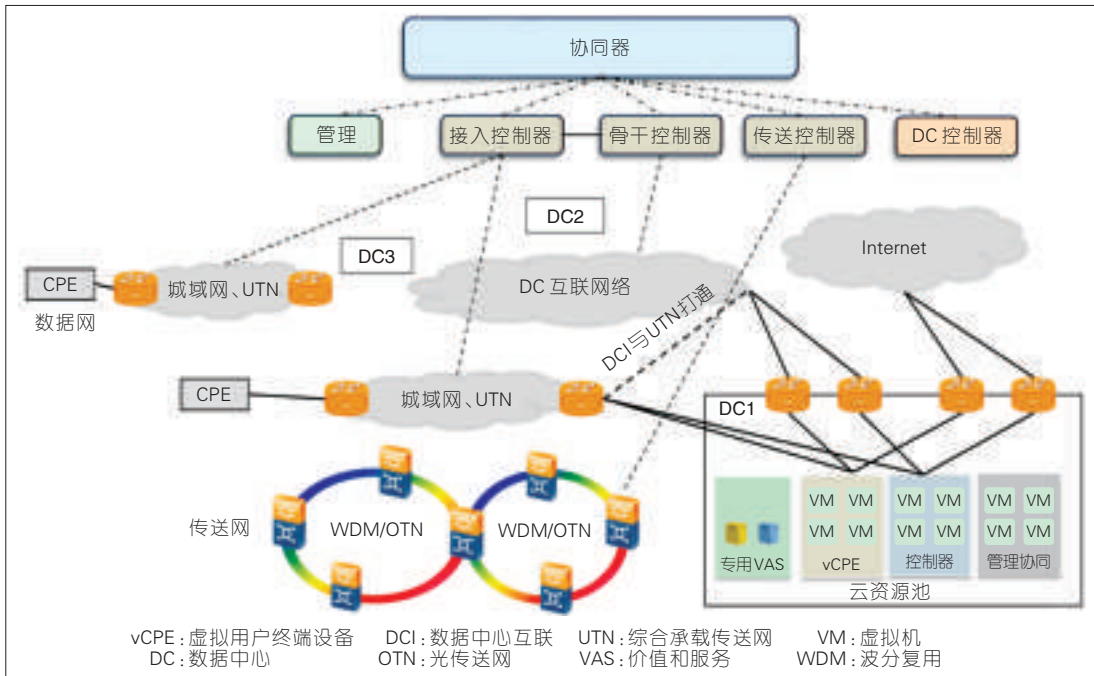


图3 产业互联网络解决方案基础网络架构

(VxLAN) Overlay 专线或者 MPLS 专线技术。UTN 与 DC 互联网络之间有直连链路。企业集团总部一般光纤直连到 DCI 骨干平面, 企业分支一般通过 UTN 网络汇聚后接入 DCI 骨干平面。传送网络是支撑 DC 接入和 DC 互联的底层基础网络, 采取标准化的 GE/STM-1 与企业对接, 保障跨厂家跨域的端到端质量。

### 3.4 应用实践

#### 3.4.1 SD-UTN 场景

在 CUBE-Net 2.0 的框架下, 中国联通对本地 UTN 进行了 SDN 化升级, 并结合虚拟化技术以及 IP/MPLS 转发机制, 打造了软件定义(SD)-UTN 网络<sup>[6]</sup>。SD-UTN 主要用于承载城和传送包括移动互联网、企业专线在内的各类电信级业务。SD-UTN 的引入, 可以简化移动回传网的运维, 实现集客专线业务的协同。

SD-UTN 的网络架构由数据平面、控制平面、管理平面和应用平面 4 个部分组成(如图 4 所示<sup>[6]</sup>)。其中, 控制平面功能将不再完全分布于每台设备上, 而是集中到 SDN 控制器实

现。在控制平面(SDN 控制器)的上层应增加应用平面。管理平面除对数据平面网元进行管理外, 还需管理控制平面, 并且与控制平面和应用平面互通, 联合提供网络的管控能力。

#### 3.4.2 DCI 场景

在产业互联网技术架构下, DCI 是支撑企业端到端“云专线”业务所必需的 4 个领域中的重要一支。由

于 SDN 技术可以分离网络的控制平面与转发平面, 对 DCI 的 SDN 化升级也是实现云互联的必由之路。

基于 SDN 的 DCI 业务可以帮助企业实现云到云、企业到云的连接, 进而实现业务的快速灵活提供功能。基于 SDN 的 DCI 系统<sup>[7]</sup>, 由应用层、协同层、控制层、转发层构成, 整体网络架构如图 5 所示<sup>[7]</sup>。

网络转发层主要由路由器设备

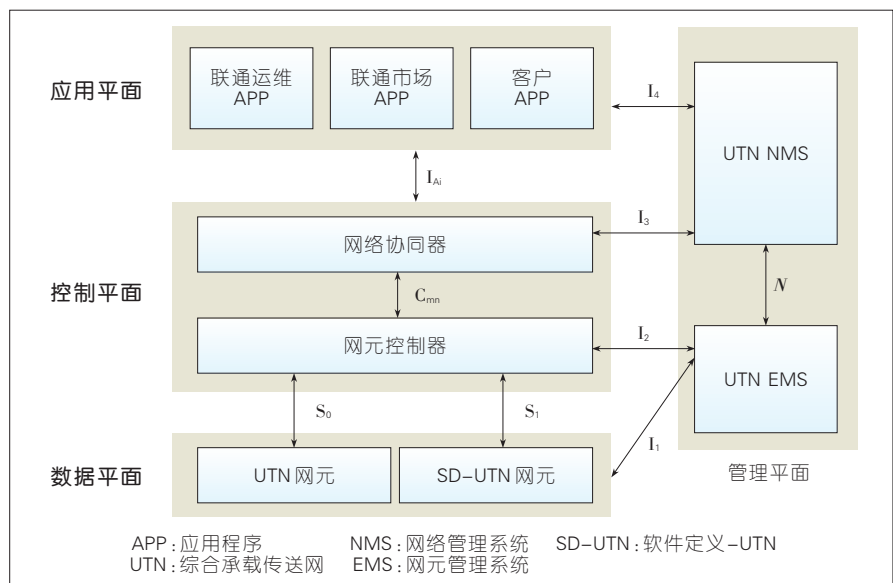


图4 SD-UTN 网络逻辑架构

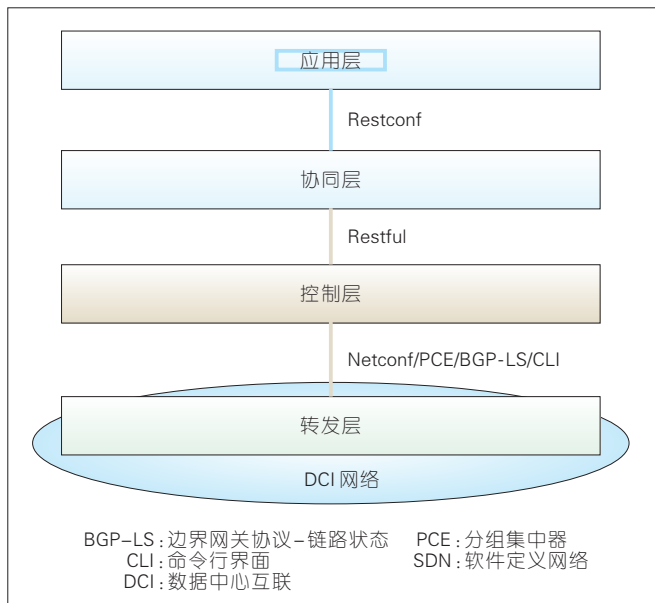


图5 基于SDN的DCI体系架构

组成,和控制层通过 Netconf/分组集中器(PCE)/边界网关协议-链路状态(BGP-LS)/命令行界面(CLI)等协议或方式交互。转发层利用 VxLAN 等技术,可以实现不同云之间的连接。控制层主要由控制器构成,控制器向下对转发层的 DC 对接能力、TE 能力等配置进行下发,向上通过 Restful 等协议和协同层协同器交互。协同层主要由协同器构成,兼具协同和业务编排功能,协同层提供基于 Restconf 等协议的北向接口给应用层调用。应用层由各种应用软件构

成,这些软件由 Portal、后台数据库等组成。SDN 控制器的北向接口支持第三方 APP 调用网络资源,云控制平台可以通过插件调用基于 SDN 的 DCI 服务,实现连接的快速调整。

#### 4 E-CUBE 网络演进与发展

E-CUBE 网络的落地也随着概念的提出在积极展开,中国联通产业互联网络解决方案发展规划如图 6 所示。2016 年,已实现基于 IP A 网完成云互联网的 SDN 化改造,网络覆盖到省会一级和海外 POP 点,支持运营商

和跨国企业区域总部以及企业 DC 的敏捷接入需求。未来 3 年的发展将依托于 IP A 网和 UTN 网络逐步落地。2017 年,将基于分布全国的 UTN 网络完成云接入网的 SDN 化改造,并在转发面和控制面实现与 A 网的端到端互通。支持企业分支的敏捷专线需求。2018 年,在云承载网络(云互联和云接入)敏捷的基础上,进一步通过协同层实现云业务与网络专线的一体化服务能力。

#### 5 与网络重构相适应的新运营生态

基于 CUBE-Net 2.0 架构的网络重构之后,网络的运营生态将出现一系列新特点。首先,DevOps 迭代开发使得新业务开发和运营更加敏捷化。由于 SDN 和 NFV、云技术对硬件差异化的屏蔽<sup>[8-9]</sup>,使得新业务的开发周期大大缩短,厂家传统“投入大,周期长”的瀑布流开发模式将向敏捷迭代的小版本的开发模式转变。同时,为保持整体架构的可扩展性和弹性,开发和运营的环境越来越融为一体。基于 DevOps 合作模式,运营商与厂家共同进行快速迭代式技术和业务创新,从而进一步实现新业务开发和运营的敏捷化。在这种模式下,传统标准规范和设备采购流程也都可以

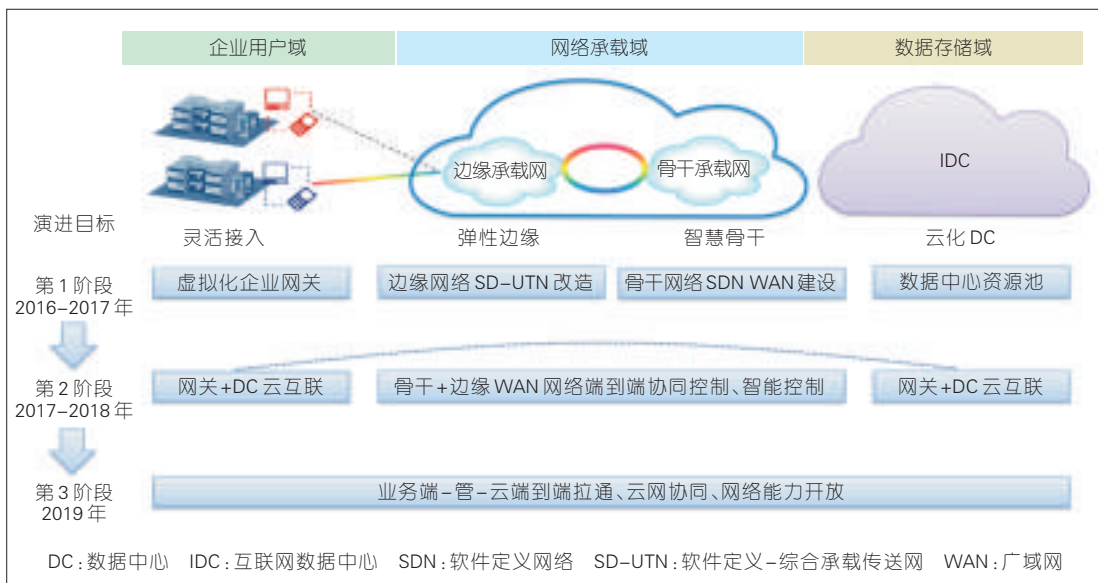


图6 中国联通产业互联网络解决方案发展规划

得到简化。

其次,为满足服务的规模化普适化和实现服务的创新性开放性,标准和开源将成为商用化的重要途径。随着开源逐渐进入CT领域,并和原来CT标准互相影响,代码事实标准越来越重要。互联网促使开源软件大发展,开发模式社区化,大型应用系统框架均使用开源搭建。在CUBE-Net 2.0中部分领域,基于开源代码进行技术预研,同时与开源组织加强合作,提升自身技术能力及开源掌控力。

此外,软件、硬件采购模式正在以设备为主向以软件为主转移。CUBE-Net 2.0的架构实现资源、控制以及开放体系的解耦,网络硬件资源通用化,软件功能定制化。尤其是软件功能从硬件中剥离以后,采购模式从传统的纵向标准化的网元和软件功能一体化采购转变为横向的通用基础硬件采购、通用基础软件采购、定制化功能软件等独立采购的模式。除了传统设备服务提供商,将涌现一批新兴的关于硬件提供商和软件提供商,产业链条更加丰富。

同时,互联网化集约运营成为运营商转型趋势。围绕资源、控制以及

开放三大体系形成独立的运营平面,实现集约化信息通信技术(ICT)资源管理,集中的控制调度以及统一的能力开放,构建立体化服务网络。既有效解决“解耦+集约”之间的平衡问题,又可以实现“用户”和“数据”中心之间的服务联动,实现端、管、云的协同。

## 6 结束语

中国联通将在CUBE-Net 2.0的网络架构的指导下,通过SDN、NFV以及云的技术手段,提升网络的管控能力以及服务能力,更好满足用户差异化的服务需求,更好地支撑物联网、云计算以及互联网+等信息产业战略落地,支撑中国联通网络运营的成功转型。

### 参考文献

- [1] 中国联通. CUBE-Net2.0白皮书[EB/OL]. (2016-07-13)[2017-01-25]. <http://wenku.baidu.com>
- [2] 邹贺铨. 迎接产业互联网时代[J]. 中国经济信息, 2014(23):5-11
- [3] 唐雄燕. 新一代网络Cube-Net的技术思路与体系架构[J]. 中国电信建设, 2016(1): 25-27
- [4] SDN: Transforming Networking to Accelerate Business Agility [EB/OL]. (2016-07-13)[2017-01-25]. <http://www.opennetsummit.org/archives/mar14/site/why-sdn.html>
- [5] ETSI. Network Function Virtualization, NFV

White Paper [EB/OL]. (2016-07-13)[2017-01-25]. <http://www.docin.com/p-645006081.html>

- [6] 曹畅, 胡锦涛, 庞冉, 等. 中国联通SD-UTN网络技术与应用研究[J]. 邮电设计技术, 2016(11):54-60. DOI: 10.12045/j.issn.1007-3043.2016.11.012
- [7] 华一强, 路康. 基于SDN的DCI的应用场景和业务流程探讨[J]. 邮电设计技术, 2016(11): 66-71. DOI: 10.12045/j.issn.1007-3043.2016.11.014
- [8] 房秉毅, 张云勇, 程莹, 等. 云计算国内外发展现状分析[J]. 电信科学, 2010(S1): 1-6
- [9] 曹畅, 简伟, 王海军, 等. SDN与光网络控制平面融合技术研究[J]. 邮电设计技术, 2014(3): 11-15

### 作者简介



**唐雄燕**, 中国联通网络技术研究院固网首席专家, 教授级高级工程师, 兼任北京邮电大学兼职教授、博士生导师; 长期在电信运营企业从事宽带通信和信息应用方面的研发和技术管理工作, 主要专业领域为宽带通信、光纤传输、接入网、下一代网络、业务平台技术等; 承担国家“863”及国家“八五”攻关等多项科研任务; 已出版专著5部, 发表技术论文100余篇。



**曹畅**, 中国联通网络技术研究院SDN高级架构师, 高级工程师; 主要研究方向为传送网、数据网SDN技术与网络协同层、编排层控制技术; 已发表论文30余篇, 获得专利授权5项。

# 网络功能虚拟化的关键技术

## Key Technologies in Network Function Virtualization

王路/WANG Lu  
赵鹏/ZHAO Peng  
付乔/FU Qiao

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

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0012-005

**摘要:** 指出了网络功能虚拟化(NFV)的5个关键技术: 硬件及管理技术、虚拟层技术、管理编排技术、可靠性技术、加速技术, 并介绍了NFV发展情况及当前存在的问题。认为NFV作为运营商网络转型的核心技术架构, 是虚拟化和云计算等信息技术(IT)技术在电信领域的一次大规模应用。随着技术的成熟, 未来将很快看到NFV架构的电信网络; 以NFV为出发点, 通信技术(CT)和IT将走向深度融合。

**关键词:** NFV; 管理和编排(MANO); Hypervisor

**Abstract:** In this paper, 5 key technologies of network function virtualization (NFV) are pointed out, including hardware and management technology, virtual layer technology, management arrangement technology, reliability technology, acceleration technology. And the development status and problems are also introduced. NFV is considered as the core technology architecture of the network transformation of operators, and it is the large-scale application of information technology (IT) technology (such as virtualization and cloud computing) in the field of telecommunications. With the maturity of the technology, the NFV architecture of the telecommunications network will be used in the future, and communication technology (CT) and IT will deeply integrate.

**Keywords:** NFV; management and orchestrator (MANO); Hypervisor

## 1 NFV 架构和应用场景

### 1.1 NFV 架构

网络功能虚拟化(NFV)的基础架构由欧洲电信标准化协会(ETSI)NFV行业规范组织(ISG)设计完成, NFV逻辑架构如图1所示。

NFV逻辑架构主要分为4个部分: NFV的管理和编排(MANO)系统用于整体编排和控制管理; NFV基础设施(NFVI)提供网元部署所依赖的基础设施环境; 虚拟网络功能(VNF)这一层包括虚拟网元自身以及负责管理VNF的网元管理系统(EMS); 运营支持系统/业务支持系统(OSS/BSS)是运营支撑系统。

### 1.2 NFV 应用场景

NFV的应用范围非常广泛, 从网络边缘到网络核心, 从固定网络到移动网络, 所有网络功能的实现都有可能重新设计或改造。以下介绍几种NFV应用的典型场景[1]。

#### (1) 固定接入网。

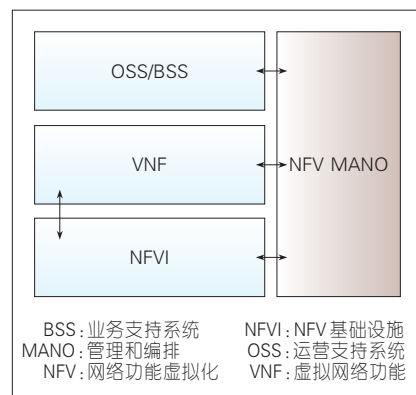
虚拟客户终端设备(vCPE)和虚

拟宽带远程接入服务器(vBRAS)是NFV部署的典型示例之一。vCPE将复杂的网络功能及新增业务以虚拟化方式部署在网络侧而非用户侧, 同时为运营商未来新增业务乃至第三方业务提供开放平台。vCPE的部署使得传统固定接入网络变得更加灵活, 用户可以根据需求定制自己的网络。从目前的产业发展现状来看, 固定接入网络的NFV化已经成为业界的共识, 但目前技术方案尚未完全成熟, 各类VNF的功能仍有待完善。

#### (2) 移动核心网。

核心网虚拟化一直是NFV应用的重点领域。目前, 全球运营商在该领域概念验证(POC)、试点乃至部署案例众多, 比如: 日本DoCoMo公司尝

试自主集成构建物联网解决访问虚拟演进的数据核心网(vEPC)。同时, 中国移动也以虚拟IP多媒体子系统(vIMS)和基于IMS的语音业务(VoLTE)为切入点, 进行了深入的



▲ 图1 NFV逻辑架构

收稿日期: 2017-01-20  
网络出版日期: 2017-03-07



NFV 试点。

### (3) 移动接入网。

移动接入网的分布式特征所带来的高成本、高管理复杂度的挑战使得 NFV 成为其未来发展的重要解决方案。新一代基站布建架构——云化无线接入网(C-RAN)就是一种典型应用场景。C-RAN 通过将基带处理器从站点移开,并置于核心更深处,可有效降低设备成本,改善协作,增加网络容量。同时,在无线接入网络方面,基于虚拟技术的无线控制器(AC)虚拟化和池化技术也逐渐引起广泛关注。AC 虚拟池的实现可以有效降低 AC 设备成本,增强设备的可靠性,提高 AC 设备利用率,简化运营商运维管理 AC 设备的复杂度。

### (4) 数据中心应用。

虚拟防火墙(vFW)、虚拟负载均衡器(vLB)和虚拟安全套接层(vSSL)/Internet 协议安全性(IPSEC)网关(GW)当前在数据中心也得到了大量应用。得益于 NFV 带来的灵活性特点,上述虚拟化网元可以灵活扩容和缩容。其次,基于 SDN 的业务链功能,能够实现非常灵活的增值业务编排,真正实现用户按需定制。

## 2 NFV 关键技术及其解决方案

### 2.1 硬件及硬件管理技术

#### 2.1.1 硬件概述

硬件作为 NFV 最底层的基础设施,涉及的硬件包括 3 类:计算类、存储类和网络类。

#### (1) 计算。

计算类硬件采用商用通用服务器(COTS),目前业界主流的指令集为 X86,服务器为双中央处理器(CPU)的 2 路服务器。主流服务器形态包括 5 种:刀片式、机架式、多节点(也称为高密度服务器)、整机柜、机柜级架构(RSA)。

- 刀片式服务器是一种刀框集

成多个卡式服务器单元(形态像刀片)的服务器,刀框内同时集成背板、交换背板、管理单板、电源和风扇等部件。其集成度较高,可以节省大量机柜空间。

- 机架式服务器是一种集成 CPU、内存、主板、网卡、硬盘、电源和风扇的服务器。一个机架式服务器为一个计算单元。

- 多节点服务器是一种在特定空间的框内,集成电源、风扇和多个服务器单元的服务器,多个服务器单元共享电源和风扇。

- 整机柜服务器是一种标准化的服务器,整机柜内集成电源模块、风扇模块、交换模块、管理模块、服务器模块。

- RSA 是 Intel 提出的一种未来服务器形态,是芯片资源池化,通过资源池虚拟出需要的服务器的技术。

#### (2) 存储。

当前 NFV 业界主流存储技术采用 IP 存储区域网络(IP-SAN)和分布式存储,相应的存储介质为磁阵和存储型服务器。

磁阵是一种可靠性达 5 个 9、性能高的成熟存储硬件。存储型服务器是一种配置硬盘多,满足大容量存储需求的服务器。不同存储介质需要结合相应的存储技术,以发挥最大的技术优势。

#### (3) 网络。

网络类硬件主要采用交换机。为满足站点组网的要求,实现设备间互通,采用接入交换机和核心交换机实现站点组网。接入交换机一般采用 1U 的盒式交换机,主要实现二层互通,核心交换机采用模块交换机,主要实现三层互通。

#### 2.1.2 硬件资源池共享

NFV 业务种类繁多,主要集中在无线接入、固网接入、核心网和部分业务平台等。硬件资源池的共享是实现资源共享的第一步,网元部署地理位置和业务特性,决定了硬件资源

有无共享的必要,硬件配置则决定硬件资源池有无共享的可行性。因此,在相同地理位置,网元业务特性相同的网元,应保证其硬件配置的一致,同一个硬件资源池中应尽量减少硬件配置的种类。

#### 2.1.3 硬件管理

硬件管理是 NFV 网络部署、运营、保证业务质量必不可少的部分。然而当前硬件管理规范方面并不是十分标准。

服务器一般采用简单网络管理协议(SNMP)和智能平台管理接口(IPMI)实现管理,不同厂商 SNMP 和 IPMI 存在差异。磁阵一般采用 SNMP 和存储管理接口标准(SMI-S)实现管理,SNMP 方面不同厂商存在较大差异,SMI-S 为全球存储网络工业协会(SINA)组织主导的国际标准,是统一的标准;然而 SMI-S,在故障告警方面没有涉及。交换机可采用 SNMP 实现管理,不同厂商在实现方面存在较大差异。

目前台式系统管理任务组(DMTF)正在制订服务器、磁阵和交换机的相关技术标准,即 Redfish 和 Swordfish。主流服务器、磁阵厂商均在推动该标准的成熟。Redfish 和 Swordfish 均基于 Restful 应用程序编程接口(API)实现,接口符合未来发展的趋势。Redfish 和 Swordfish 在故障管理方面暂未成熟,DMTF 正在大力推动其完善

### 2.2 虚拟层技术

虚拟层是基础架构层 NFVI 的重要组成部分,包含 Hypervisor 和虚拟化基础设施管理(VIM)。虚拟层将物理计算、存储、网络资源通过虚拟化技术转换为虚拟的计算、存储、网络资源池,提供给虚拟机使用,同时,提供虚拟资源的管理和运维<sup>[9]</sup>。

#### 2.2.1 VIM

虚拟化基础设施管理平台,负责

对虚拟化资源进行统一的管理、监测控制、优化,对虚拟机进行生命周期管理等。

目前,主流 VIM 平台基于 OpenStack 社区进行开发,包括身份认证及授权、虚拟机镜像管理、计算资源管理、存储资源管理、网络资源管理、虚拟机生命周期管理等能力。同时,VIM 平台整合了 NFVI 的运维和管理能力,包括虚拟化层的关键绩效指标(KPI)监测控制,故障告警收集及上报等。

### 2.2.2 虚拟化软件 Hypervisor

Hypervisor 将通用物理服务器与上层软件应用分开,使得具有不同操作系统的多个虚拟机可以在同一个物理服务器上运行,最大化地利用硬件资源,即一个物理服务器的硬件资源可以被多个虚拟机共享。Hypervisor 把硬件相关的 CPU、内存、硬盘、网络资源全面虚拟化,并提供给上层 VNF 使用,具备计算虚拟化、存储虚拟化和网络虚拟化能力。Hypervisor 可以与 VIM 系统交互实现对虚拟机的创建、删除等操作以及故障管理、性能管理等功能。

#### (1) 计算虚拟化。

实现对服务器物理资源的抽象,将 CPU、内存、输入/输出(I/O)等服务器物理资源转化为一组可统一管理、调度和分配的逻辑资源,并基于这些逻辑资源在单个物理服务器上构建多个同时运行、相互隔离的虚拟机执行环境,实现更高的资源利用率,同时满足应用更加灵活的资源动态分配需求。

为实现 5 个 9 的高可用性,NFV 对计算虚拟化提出了新的技术要求,包括 CPU 核绑定、大页内存、非均匀存储器存取(NUMA)、亲和性/反亲和性和部署等能力,同时需禁止 CPU、内存的超分配。

#### (2) 存储虚拟化。

将存储设备进行抽象,以逻辑资源的方式呈现,统一提供全面的存储

服务。可以在不同的存储形态,设备类型之间提供统一的功能。

#### (3) 网络虚拟化。

在服务器的 CPU 中实现完整的虚拟交换的功能,虚拟机的虚拟网卡对应虚拟交换的一个虚拟端口,服务器的物理网卡作为虚拟交换的上行端口。

目前,业界主流的网络虚拟化技术包括虚拟交换机及单根 I/O 设备虚拟化技术(SR-IOV)。虚拟交换机(OVS)是在开源的 Apache2.0 许可下的产品级质量的虚拟交换标准,通过虚拟化软件提供的部署在主机上的虚拟交换功能,主机节点的物理接口及虚拟机的虚拟网卡(vNIC)分别与虚拟交换机连接,通过虚拟交换机实现与外部网络的数据传输。SR-IOV 基于虚拟功能的虚拟机直通,虚拟机直接使用物理网卡资源进行网络通信,减少传统的虚拟交换带来的 CPU 消耗,提升性能,减少时延。

## 2.3 管理编排技术

### 2.3.1 管理编排

NFV MANO 的架构由 NFV 编排器(NFVO)、VNF 管理器(VNFM)、VIM 组成,完成对于 NFV 系统内虚拟资源、虚拟网元和网络服务的管理。MANO 系统架构图 2 所示。

NFVO 实现网络服务和网元管理及处理,提供网络服务生命周期的管理。VNFM 实现虚拟化网元 VNF 的生命周期管理,包括 VNF 实例的初始化、VNF 的扩容/缩容、VNF 实例的终止。VIM 是虚拟化基础设施管理系统,主要负责虚拟基础设施的管理,监测控制和故障上报,面向上层 VNFM 和 NFVO 提供虚拟化资源池。VIM 提供虚拟机镜像管理功能。

### 2.3.2 管理编排产业发展

MANO 由 ETSI NFV ISG 首先提出,并于 2014 年底发布 MANO 阶段 1 规范,明确了 MANO 系统架构、功能

实体、接口和参考流程,为业界 NFV 管理系统的设计提供了参考。

目前 NFV MANO 相关标准化工作尚未完成接口和模版的数据模型定义,尚无法指导各厂家设备基于统一格式开发并实现互通;与此同时,很多开源社区提供了开源版本的 MANO 或 MANO 部分组件,形成了对标准的重要补充。

在 NFVO 层面,目前最重要的开源组织是刚刚宣布成立的开放网络自动化平台(ONAP)组织,ONAP 由中国移动主导的 OPEN-O 和 AT&T 主导的 ECOMP 合并成立。在 VIM 层面,OpenStack 已经成为 VIM 的事实标准,多数厂家 VIM 基于 OpenStack 实现,并支持 OpenStack API,供 VNFM 和 NFVO 调用。

### 2.3.3 NFV 后的网络管理

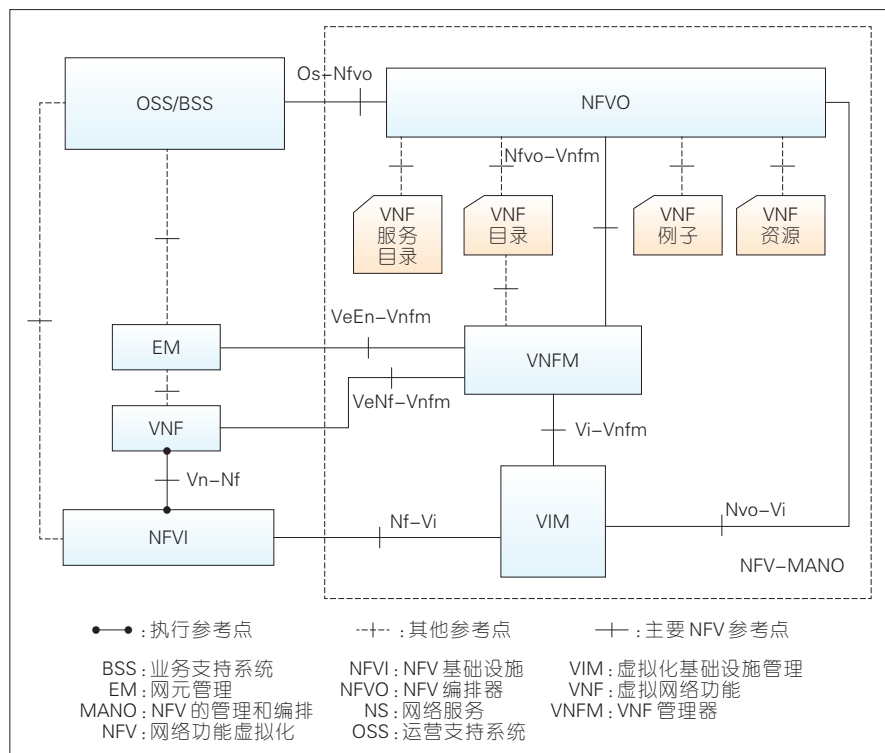
MANO 的引入,实现了网络的灵活管理和动态调整,同时也为运营商运维带来了全新的挑战。

首先,MANO 引入了 NFVO、VNFM、VIM 等一系列新的管理实体,将原有烟囱式的一体化运维分拆成了资源和应用两个层面,对现有 OSS 网管管理架构和流程均造成较大影响,需着重考虑 MANO 与 OSS 的协作关系。

其次,NFV 引入了 NFVI、VNF、网络服务(NS)等一系列新的管理对象,对现有 OSS 管理的资源管理模型、配置模型、性能模型、故障模型和多层故障关联等均造成较大改变。

再次,NFV MANO 向运营商提供了更为智能化的网络管理手段,有望使网络运维由传统的故障驱动型运维转向依靠预定义的策略和模版,依靠大数据和机器学习,实现网络的自动调整和治愈。这对未来网管及网络运维人员的技能均提出了极大的挑战。

基于以上挑战,未来网管的一种形态将发生大的变化,在管理模式上分为设计态和运行态。设计态采用



▲图2 MANO系统架构

形式化语言提供系统运行的策略和编排的模版,供机器执行,实现网络的自动调整和治愈;运行态监测控制资源和应用,对其进行实时的调度和治愈。

#### 2.4 可靠性技术

引入虚拟化技术后,如何保证虚拟网元依然能够表现出与传统物理设备相当的可靠性成为人们关心的主要问题。虚拟软件和云管理技术可靠性要求较低。如何基于相对不可靠的虚拟化和云技术提供高可靠的电信业务呢?

NFV的可靠性可以自底向上,分别从硬件、虚拟云平台、虚拟网元3个层次实现。

##### (1) 硬件可靠性。

硬件层面的可靠性即包括NFV所在的硬件节点的可靠性,也包括物理网络、存储的可靠性。通过多年信息技术(IT)和通信技术(CT)的积累,这些设备的可靠性已经有了较为完备的部署方案,基本可以满足NFV

的需求。

##### (2) 虚拟云平台可靠性。

虚拟云平台的可靠性包括云管理平台的可靠性和虚拟管理平台(Hypervisor)的可靠性。目前OpenStack已被普遍认可作为云管理平台。在IT和CT关于OpenStack可靠性的需求中,流传着一个“牲口还是宠物”的玩笑。IT领域认为虚拟资源就是“牲口”,需要成群的管理,却不需要对每一个都格外关注,当某一个虚拟资源出现故障后,我们只需要为用户重新启动一个虚拟资源补充这个空白即可。然而,在CT领域,由于其虚拟资源上运行的是电信网元,每一个故障都可能导致电信业务的错误乃至瘫痪,因此CT运营商必须把这些虚拟资源看成是“宠物”,即对每一个虚拟资源都要格外关注,一旦出现故障,就要及时发现并恢复,以保障其上业务的正常运行。

Hypervisor的可靠性问题目前业界未能达成一致意见。虽然存在一些私有的Hypervisor的可靠性解决方

案,然而广泛采用的开源的Hypervisor并没有可靠性保障,而主要是依靠云管理节点发现故障并进行修复。这就导致Hypervisor的可靠性机制完全依赖于云管理平台及其二者之间网络的可靠性。同时,云管理节点目前发现故障及修复的接口尚未完善,因此在Hypervisor发现故障和修复方面存在较大问题。

##### (3) 虚拟网元可靠性。

传统的电信网元软件一般都有较为完善的可靠性机制。当引入虚拟化技术后,由于引入了虚拟层,电信网元软件无法直接读取到网元硬件的信息,而只能看到其依赖的虚拟层信息。因此,引入虚拟化后,电信网元的可靠性方案也要因此进行相应的修改和优化,以满足电信网络的快速故障发现和恢复要求。目前,大部分虚拟网元在交付同时都能提供可靠性方案。然而各种可靠性方案存在差别,且对硬件和云平台的要求各异。

#### 2.5 数据面加速技术

传统的IT通用服务器采用的多核处理器的包处理性能无法满足通信网络数据面网元的高性能要求,因此出现了多种数据面加速技术。传统支撑包处理的主流硬件平台大致可分为3个方向:硬件加速器、网络处理器、多核处理器。

##### 2.5.1 硬件加速器

硬件加速器由于本身规模化的固化功能具有高性能、低成本的特点。专用集成电路(ASIC)和现场可编程门阵列(FPGA)是最广为采用的器件。

ASIC是一种应特定用户要求和特定电子系统的需要而设计、制造的集成电路。ASIC的优点是面向特定用户的需求,在批量生产时与通用集成电路相比体积更小,功耗更低,可靠性提高,性能提高,保密性增强,成本降低等;但是ASIC的灵活性和扩



展性不够,开发费用高,开发周期长。

FPGA 作为 ASIC 领域中的一种半定制电路而出现,与 ASIC 的区别是用户不需要介入芯片的布局布线和工艺问题,而且可以随时间改变其逻辑功能,使用灵活。FPGA 以并行运算为主,其开发相对于传统 PC、单片机的开发有很大不同,以硬件描述语言来实现。相比于 PC 或单片机的顺序操作有很大区别。

### 2.5.2 网络处理器

网络处理器(NPU)是专门为处理数据包而设计的可编程通用处理器,采用多内核并行处理结构,提供了包处理逻辑软件可编程的能力,在获得灵活性的同时兼顾了高性能的硬件包处理。其常被应用于通信领域的各种任务,比如包处理、协议分析、路由查找、声音/数据的汇聚、防火墙、服务质量(QoS)等。其通用性表现在执行逻辑由运行时加载的软件决定,用户使用专用指令集即微码进行开发。其硬件体系结构大多采用高速的接口技术和总线规范,具有较高的 I/O 能力,使得包处理能力得到很大提升。

NPU 拥有高性能和高可编程性等诸多优点,但其成本和特定领域的特性限制了它的市场规模。

### 2.5.3 多核处理器

多核处理器在更为复杂的高层包处理上具有优势,随着包处理开源生态系统逐渐丰富,为软件定义的包处理提供了快速迭代的平台。现代 CPU 性能的扩展主要通过多核的方式进行演进。这样利用通用处理器同样可以在一定程度上并行地处理网络负载。由于多核处理器在逻辑负载复杂的协议及应用层面上的处理优势,以及越来越强劲的数据面的支持能力,它在多种业务领域得到广泛的采用。再加上多年来围绕 CPU 已经建立起的大量成熟软件生态,多核处理器发展的活力和热度也是其

他形态很难比拟的。

当前的多核处理器也正在走向片上系统(SoC)化,针对网络的 SoC 往往集成内存控制器、网络控制器,甚至是一些硬件加速处理引擎。

多核处理器集成多个 CPU 核以及众多加速单元和网络接口,组成了一个 SoC。在这些 SoC 上,对于可固化的处理交由加速单元完成,而对于灵活的业务逻辑则由众多的通用处理器完成,这种方式有效地融合了软硬件各自的优势。

### 2.5.4 VNF 加速

对于性能要求一般的控制面/数据面网元,可以直接部署在通用多核处理器服务器上执行。

对于性能要求严苛的数据面网元,可以考虑采用辅助硬件加速器的方式。取决于业务功能的定制化和灵活性考虑,综合成本因素,选择 ASIC 或者 FPGA 加速器。

## 3 结束语

NFV 作为运营商网络转型的核心技术架构,是虚拟化和云计算等 IT 技术在电信领域的一次大规模应用。目前以 ETSI NFV 架构为技术架构,运营商和业界厂商大力推动 NFV 的分层解耦和资源池化,并且在固定接入网、移动接入网、移动核心网、数据中心等场景下开展试验验证和商用尝试。

虽然 ETSI 在 NFV 架构上已经定型,但在具体模块、接口、流程等实现上还不完善,目前业界的开源社区、标准组织和厂家乃至运营商都在积极推动相关技术的进步和成熟。文章中,我们详细分析了采用 NFV 分层解耦后之后,需要关注的关键技术。首先需要通过虚拟化技术在硬件资源池之上形成虚拟资源池,并且考虑硬件共享和硬件管理、虚拟资源管理的问题,完成虚拟资源生命周期管理;其次,通过管理和编排系统对各类资源形成视图,完成虚拟网元的生

命周期管理和网络服务的管理,并且解决各层故障上报和故障关联的问题,同时还要处理好 NFV 管理编排和 OSS 的关系,形成新的网管体系。电信业务有着高可靠性和实时性等要求,因此仅仅实现 NFV 分层解耦无法满足这类特殊要求。要实现电信业务的 5 个 9 可靠性要求,需要从下向上在每个层面都提供可靠性保障,并且各层面能够进行联动,提供系统级别的可靠性;要实现电信业务实时性的要求,数据面网元功能需从硬件实现到系统设计都进行针对性的加速。

以 NFV 为基础的运营商网络转型大幕已经开启,随着技术的成熟,未来将很快看到 NFV 架构的电信网络,以 NFV 为出发点 CT 和 IT 将走向深度融合。

### 参考文献

- [1] 李正茂. 通信 4.0[M]. 北京,中信出版社, 2016
- [2] Network Functions Virtualization (NFV); Management Orchestration: GS NFV-MAN 001 V0.6.2 (2014-07)[S]. ETSI, 2014

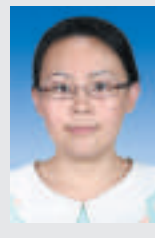
### 作者简介



王路,中国移动通信研究院网络技术研究所项目经理、高级工程师;主要从事核心网、NFV 相关的研究工作。



赵鹏,中国移动通信研究院网络技术研究所研究员;主要从事 NFV/SDN、核心网、OSS/BSS 相关的技术研究和标准化工作。



付乔,中国移动通信研究院网络技术研究所项目经理、中级工程师;主要从事 NFV 相关的研究和开源工作。



# M-ICT 时代随选网络架构与实施策略

## Architecture and Implementation Strategy of Network on Demand in M-ICT Era

王延松/WANG Yansong  
王伟忠/WANG Weizhong  
卢华/LU Hua

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

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0017-006

**摘要:** 随选网络包括连接随选和功能随选。连接随选主要是通过软件定义网络(SDN)技术实现网络资源的按需调度,有点到点、点到数据中心(DC)、点到互联网等3种应用场景,网络需要支持带宽按需保证、服务质量保证及虚拟专用网络等。功能随选是指网络功能的自动化配置,通过网络功能虚拟化(NFV)技术来实现。最终用户在终端上可灵活按需定制整个网络,获得极致业务体验,真正实现“所见即所得”。

**关键词:** 随选网络;连接随选;功能随选;软件定义网络;网络功能虚拟化;网络重构

**Abstract:** The network on demand refers to connection on demand and function on demand. The connection on demand uses software defined networks (SDNs) to implement on-demand network resource scheduling and three application scenarios, including point-to-point, point-to-data center (DC) and point-to-internet scenarios. The network should offer on-demand bandwidth, guaranteed service quality and virtual private networks. The function on demand service allows the user to implement automated network service configuration via network function virtualization (NFV). Terminal users can customize the entire network on the terminal flexibly to get extreme service experience and to realize “what you see is what you get”.

**Keywords:** network on demand; connection on demand; function on demand; SDN; NFV; network reconfiguration

### 1 M-ICT 时代电信网络面临的挑战

M-ICT 时代是一个带宽飞速增长的时代,一个面向移动、万物互联、全面跨界融合的信息时代。随着物联网、5G 的发展,将产生随时随地的海量连接,预计到 2020 年将超过 500 亿移动连接。过去的 7 年,网络流量增长了 10 倍。预计未来 2~3 年城域网总流量将增长 3~7 倍,超过 6 000 Gbit/s,未来 5 年将增长 10 倍或更多。同时,当前互联网的流量模型也呈现多样化的趋势,如“双十一”抢购、春晚直播等产生的流量具有事件性、突发性,对网络带来巨大的压力。当前网络僵化、封闭的缺陷被逐渐放大。

M-ICT 时代是一个以“人”为本的时代。围绕着用户需求,业务层出不穷、复杂多变。随着丰富而便捷的互联网应用服务(OTT)对用户习惯的培养,用户要求的不断提高和多元化,对网络的管理也提出了严峻的挑战:当前的网络成为了业务的管道,内容不可知、不可控、不可管。新业

务的上线周期非常长,往往以月来计算。各类技术的不断叠加,大量独立网络和业务的“烟囱群”使得网络管理变得异常复杂。用户定制网络、业务快速开通的呼声愈发强烈。

### 2 随选技术的演进

随着移动互联网业务的飞速发展,运营商的分组网络承载的数据量急剧膨胀;而网络流量的激增却没有给电信运营商带来与之对等的利润。运营商面临管道化的困境,电信运营商增量不增收:一方面,网络流量激增,现有网络不能满足用户需求,运营商需要投入大量的成本升级,扩容现有网络,如巨额的基础设

施投资等,以满足用户日益增长的带宽需求;另一方面,流量增长给运营商带来的利润增长微乎其微,互联网生态系统产生的增长没有成比例地回馈到运营商手中。运营商的业务量与收入之间的剪刀差日益扩大。

针对上述问题,在 2007 年左右,中国电信等运营商提出了智能管道的概念。智能管道是指以高带宽的固定和移动承载网络为基础,通过可管控的端到端差异化管道的建立,实现网络资源的智能调度和按需匹配,满足用户多种方式灵活接入的需求,为用户提供可按需定制和随时随地接入的网络和创新业务体验。

智能管道的特征主要体现在以

收稿日期: 2017-01-25  
网络出版日期: 2017-02-28

下4个方面:

(1)用户可识别。按需匹配网络及业务是智能管道改善用户体验的核心,其中对用户身份、属性、位置等信息的识别是其基本前提。

(2)业务可区分。不同业务具有不同的服务质量需求,对业务进行有效区分是保障业务质量的关键。除了对语音、视频、上网等关键业务进行区分外,还应该加强基于协议和特征的业务细分,以实施相应的差异化处理。

(3)流量可管控。以视频业务为代表的大带宽业务对流量的要求越来越高,业务模型的多样化也使流量具有突发性和不确定性。对流量的感知、控制和调度是保障服务质量、提升用户体验的核心。

(4)网络可管理。智能、自动的网络管理也是智能管道构建的一个重要方面。要求网络能够按用户自助需求,对带宽、时延、可靠性等资源进行快速配置。

智能管道的理念很好地契合了网络的发展方向,能够全面提升运营商网络的智能化水平。它的提出将使运营商的核心竞争力逐渐演变为以用户需求和体验为导向的网络能力提升,从而促使传统运营商完成向服务提供商角色的全面转型。

但是由于网络架构的局限性,传统的网络架构天生不具备多维感知和精细化区分的能力,智能管道并没有大规模的部署,业界需要新的能够改变网络基础架构的技术产生。这个时候,云计算、软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术应运而生,这些技术的产生和发展为电信网络的变革提供了技术驱动力。云计算从根本上改变了业务的提供模式,SDN实现控制与转发分离和在控制集中之上的能力开放,NFV实现软硬件解耦和网络功能的虚拟化。这些技术对电信网络产生了一系列的改变。

(1)云数据中心成为电信网络新

基础设施。借助云数据中心的灵活性、低成本、易扩展等特征,传统电信网络将重构。云数据中心将成为电信网的新基础设施。

(2)电信网络从垂直分割向水平分层发展。SDN/NFV技术从源头上打破了垂直分割的刚性网络体系和复杂繁多的封闭网元架构,重塑弹性开放的电信网络。

(3)电信运营体系走向智能运营。用户按需订购,业务按需快速部署,网络按需构建和释放,运营成本(OPEX)和资本性支出(CAPEX)极大降低,客户体验极大提升。

随选网络正是市场需求和上述通信技术变革相结合的产物,让客户按需获得网络资源、按需获得极致业务体验成为可能。

针对网络的最终使用者,即最终客户,随选网络可以为客户提供如下价值:

(1)客户可以根据自身的连接、业务需求自助选购,按需部署。

(2)客户可根据自身需求变化灵活调整业务套餐,包括调整带宽、服务等级、增减网络业务、选择要接入的分支等。

(3)客户可以获得对自己网络的管理权力。

(4)分钟级业务开通,可见的业务选择,极大提升了客户体验。

针对网络的建设及运营者,即运营商,随选网络有如下价值:

(1)重构了运营商大量的基础设施及系统。运营管理系统、业务编排、网络控制、基础网络资源等形成了有机可协同的整体。

(2)有效整合和利用了闲置资产,并可利用资源对外服务。

(3)重构了运营商的业务提供模式,实现了从运营商定义业务到用户自定义业务转变。

(4)在基本的连接服务的基础上提供更加丰富的网络业务,例如网络状态监测控制、业务保障、增值业务部署等。

(5)对高价值的目标客户,可以提供极致的、按需进行优化的网络解决方案。

### 3 随选网络架构与实施策略

#### 3.1 随选网络整体架构

随选网络的特征有4个方面:一是速度,用户定制网络服务的速度明显加快,由原来的几星期减少至短短几分钟,甚至可以接近于实时,这在过去是不可想象的;二是简单,用户可以轻松订购和管理网络服务,而无需专业人员协助或接受专业培训;三是灵活,用户可以根据自身的需求来开通差异化功能;四是可靠,用户可以得到高安全性和高可靠性的服务。

业界一些主流运营商先后提出了随选网络的建网思路,AT&T提供点到点、点到互联网等场景的网络连接方案,同时也支持业务随选方案,支持分布式拒绝服务(DDOS)攻击防御、WEB过滤,邮箱过滤等多种业务应用随选。

Vodafone支持企业分支机构和总部之间的点到点网络随选方案,同时也支持点到数据中心的网络随选连接服务。可提供公有云和私有云之间基于叠加网络的隧道传输,满足云网络之间的带宽保证、性能要求和安全可靠等方面的需求。

NTT支持数据中心(DC)内业务自动配置,支持各种防火墙、负载均衡器等业务功能的随选。对于网络随选,支持企业分支机构和总部之间的点到点,以及企业到DC之间的点到DC。NTT也规划支持网络功能的随选,结合NFV虚拟化技术,提供如认证服务器、防火墙等的随选。

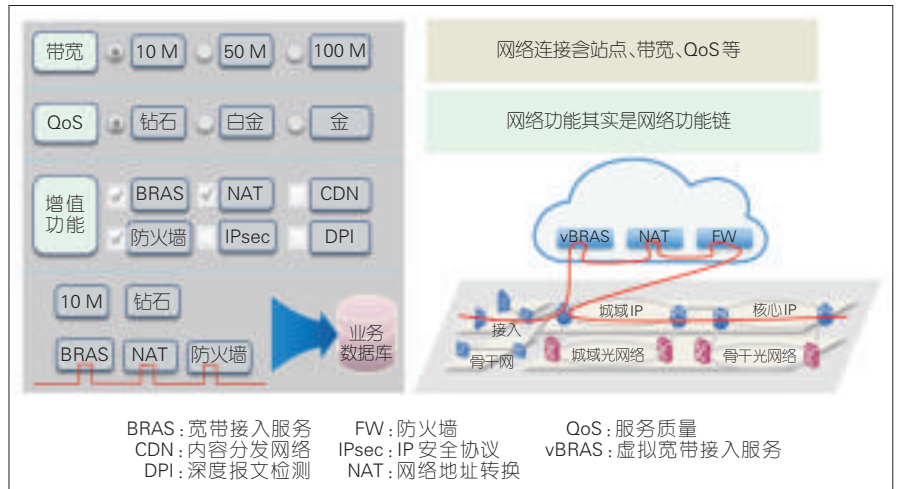
中兴通讯基于对网络本身的剖析以及对各种应用场景的需求分析,将随选网络分为两大部分的内容,即连接随选和功能随选。连接随选和功能随选可以独立提供服务,并可以提供多样化的组合服务。具体如图1所示<sup>[1-2]</sup>。

以连接为基础,以体验为根本是随选网络的核心。对于网络随选,可选择相应的站点、带宽、服务质量(QoS)等相关内容,真正可以为用户定制端到端有质量保障的网络连接服务。对于业务随选,用户可以选择所需的网络功能服务,比如网络地址转换(NAT)、防火墙等,还可以根据用户的需求形成相应的业务功能链。当用户选定所需的网络连接和业务功能服务后,通过编排器和SDN控制器实现网络及业务的自动化快速部署,真正实现所见即所得,大幅提升用户感知。

用户可以在终端上,灵活指定所需的连接及业务功能服务,自动化实现全网的业务保障。真正切合时代需求,提供多样化服务。随选网络带来的网络自动化部署流程如图2所示<sup>[4-5]</sup>。

### 3.2 连接随选的实施策略

随选网络的关键之一是连接随选,主要聚焦于三大应用场景:点到点、点到数据中心、点到互联网,如图3所示。



▲ 图1 随选网络的业务解析

点到点主要是针对企业分支到分支、分支到总部互联的需求。此场景下对网络的主要要求是支持带宽按需分配(BOD)、虚拟专用网络(VPN)、QoS等,个别企业会有二层VPN的需求。企业的边缘路由器需支持二层或者三层接入,通过叠加网络隧道进行互通。SDN控制器根据编排器下发的策略信息,向边缘路由器配置QoS,虚拟可扩展局域网(VxLAN)隧道信息。

点到数据中心主要是针对企业接入数据中心的场景,需要接入的DC可能是边缘DC,也可能是核心DC,甚至是公有云。此场景下,主要的网络诉求是二层接入,而核心DC或公有云需要支持VPN业务,同时还要支持BOD、QoS以及某些网络功能虚拟化应用。主要的网络需求包括快速的云业务接入,云接入带宽BOD、QoS、VPN,以及跟现有叠加网络的兼容等方面。虚拟边界网关

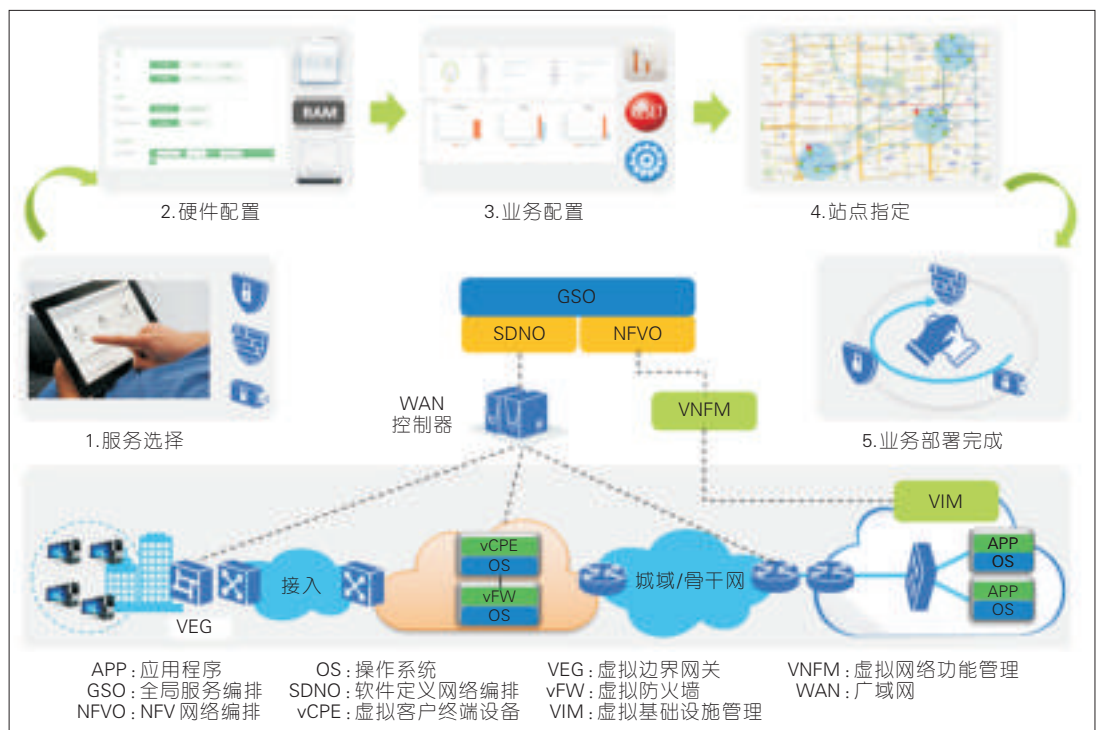


图2 端到端的业务定制流程



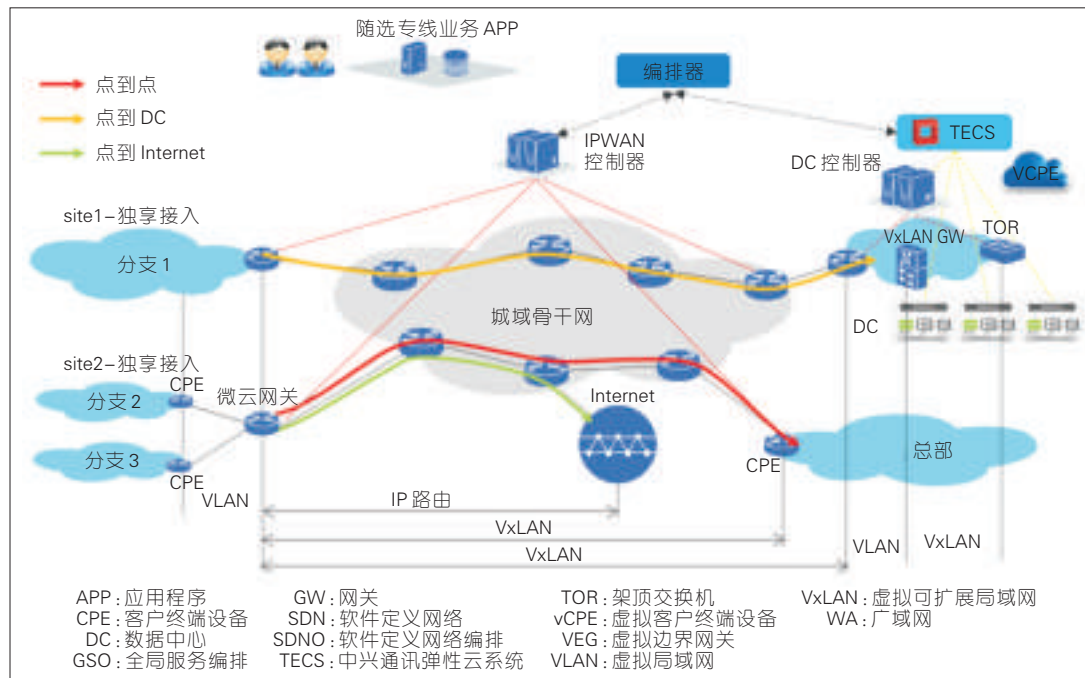


图3  
随选网络应用场景

(VEG)设备对企业网络接入的数据进行 VxLAN 封装, VEG 通过隧道接入到 DC 的网关, 编排器协调跨域操作, 能够保证用户接入侧业务虚拟局域网 (VLAN) 和 DC 侧业务 VLAN 保持一致<sup>[6-8]</sup>。

点到互联网针对的场景比较简单, 主要是互联网接入。网络需求在于快速的 Internet 网络接入, 接入带宽 BOD, 支持网 NAT 网络增值服务、流量可视化, 以及多站点的 Internet 接入等。VEG 设备根据编排器下发的策略和网络的流量状态动态调整用户接入 Internet 的网络带宽, 对于私网地址要进行 NAT 转换。

用户可以根据需求自动区分 3 种连接随选场景, 通过不同业务标识接入 VEG, VEG 根据用户自定义的业务标识将不同的场景业务流量送入到相应的转发隧道中。

### 3.3 功能随选的实施策略

网络连接的随选极大提高了运营商的网络管理运维能力, 但运营商仍摆脱不了管道工的角色, 面对流量增量不增收的现状, 面对互联网各类 OTT 应用的跨界蚕食, 运营商急需转

型。NFV 技术的发展, 使运营商看到了转型的契机。NFV 技术提出了软硬件解耦的观点, 使用通用 x86 服务器作为统一的硬件基础, 云操作系统全局 OpenStack 管理, 各业务功能在虚拟机上实现。编排管理平台可以调用 OpenStack 接口, 自动创建虚拟机, 组建内部网络<sup>[9]</sup>。

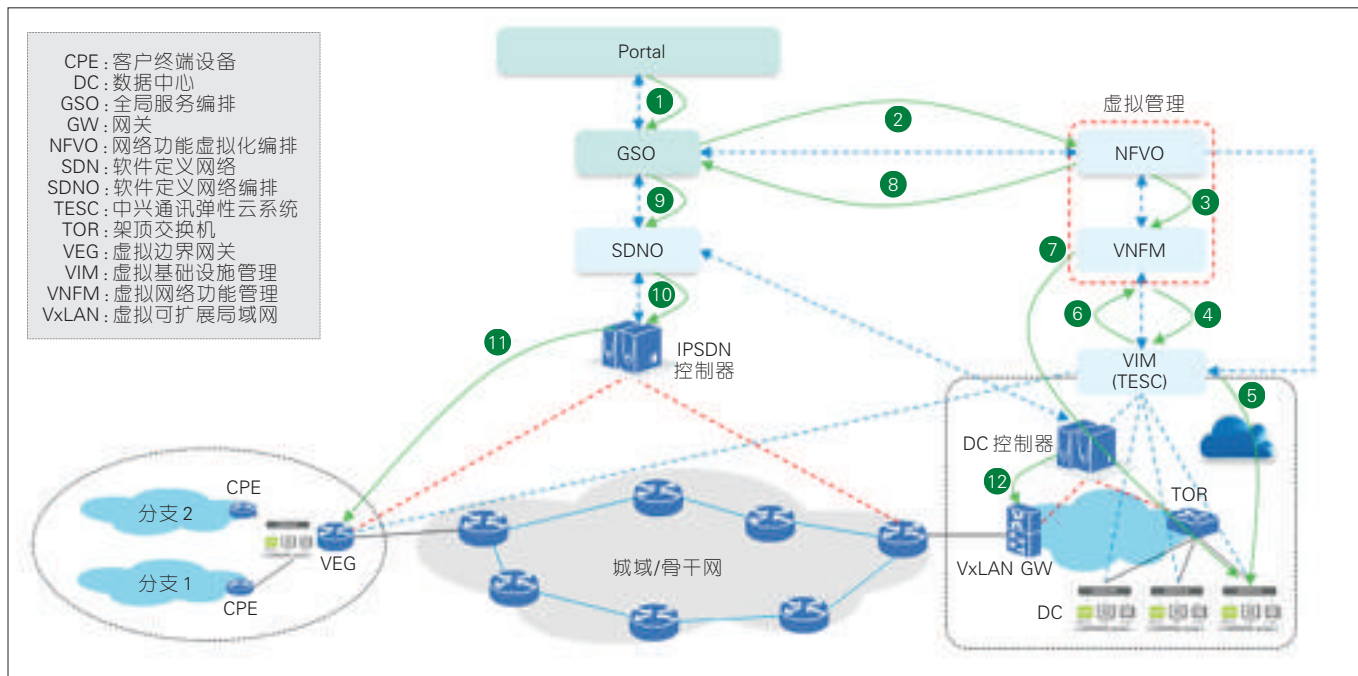
功能随选的基本特征是用户按需订购, 业务按需提供。要做到这一步, 需要有一整套自动化部署流程, 配合预定模板来实现。中兴通讯的未来网络解决方案 ElasticNet, 借鉴 SDN 和 NFV 框架, 引入云技术、大数据和开放等理念构建的分层集中控制、统一管理的软件可定义的 ElasticNet 弹性网络, 它采用编排管理层 MICT-OS、业务功能层 Elastic Cloud Service 和基础设施层 Elastic Cloud Infra 的 3 层架构, 引入边缘 DC、区域 DC、和中心 DC 的多级 DC 部署方式, 以 SDN/NFV 技术双轮驱动, MICT-OS 统一管控的形式, 构成运营商的目标架构。其中, 弹性网络的关键组成部分 Elastic Cloud Service 是按照 NFV 框架在建在 DC 之上实现各类网络的虚拟网络功能, 并引入 NFV 的

管理和编排 (MANO) 对其进行全生命周期管理和自动化部署与运维, 并结合 MICT-OS 统一编排下完成全网点到点的 NFV 业务自动部署和能力开放, 可以根据用户的需求, 整网的资源情况采取最优的策略, 实现业务的快速部署和资源的最大化利用, 快速构建定制化网络, 有效降低建网成本。整体方案如图 4 所示。

在具体的实施和演进的过程中, 可以结合 vCPE 等网络功能虚拟化。如针对政企客户, 在为其提供 L2/L3 专线或者 Internet 访问的同时, 为其提供包括 NAT、防火墙、深度报文检测 (DPI) 等一系列的网络功能服务, 这些服务可根据需要部署在具备智能化处理能力的智能微云网关中或者部署在运营商的 DC 机房中的云平台上<sup>[9]</sup>。

### 3.4 随选网络 Portal 实施策略

用户门户 (Portal) 支持多终端接入的能力。手机、平板还是电脑, 都可以接入到 Portal 中, 对随选网络进行查看、订购、管理等操作。手机和平板可以开发相应的应用程序 (APP), 通过 APP 接入, 对于电脑则



▲ 图4 功能随选实施方案

通过WEB页面接入。Portal可根据不同的使用者角色呈现出不同的界面。Portal的一些主要功能模块如图5所示。

Portal使用者大致可以分为3种:

(1) 运营商客户经理。运营商客户经理负责所辖区域的客户的维护、业务查看、管理等。

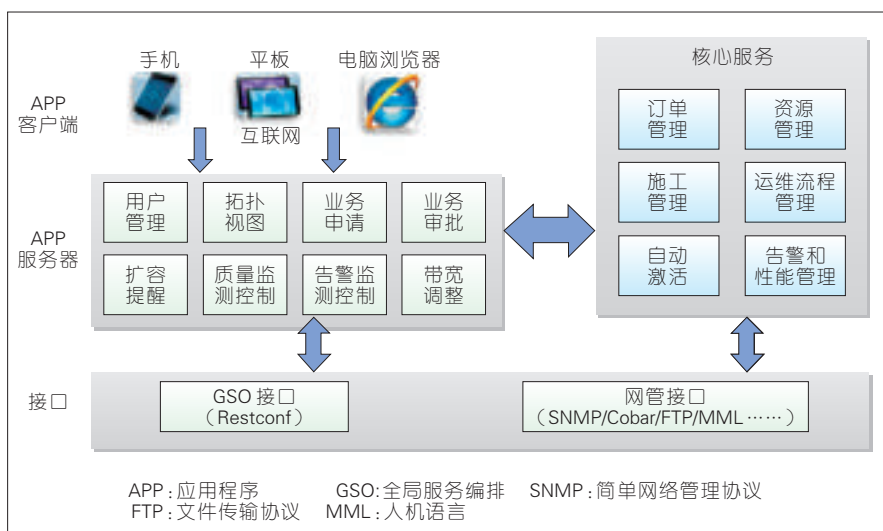
(2) 客户。对于客户来说,只需要呈现用户管理、业务选购、业务监测控制相应的界面。

(3) 运营商管理员。在所有使用者中,管理员的权限是最高的,他能够看到所有的视图,能够访问、操作所有的数据。

移动互联网各类APP给用户生活带来了极大的便利性,同时也培养了用户习惯。随选网络架构需要向移动互联网靠拢,充分考虑用户的需求、使用便捷性及使用习惯。因此,中兴通讯针对随选网络架构提出了“5Any”概念:

(1) Any-way。通过任一种方式接入到Portal中。

(2) Anywhere。没有地点限制,只要能够获得接入网络的权利,就能



▲ 图5 Portal的功能组成

够接入到Portal对随选网络业务进行查看管理。

(3) Anyone。即任何一个具有管理权限的人都可以接入到Portal中。

(4) Anytime。只要你想,随时都可以接入。

(5) Any-info。可以通过Portal获得随选网络的各个业务的状况,用户状况。

随选网络APP可以分为两个部

分:服务器及客户端。客户端根据角色权限为使用者呈现不同界面,进行查看、订购、管理等操作。客户端请求通过互联网送至服务器进行动作分解,服务器将相关的请求分别送往编排器或网管系统。针对申请新业务,该请求送往全局服务编排(GSO)和网管,再由GSO送往网络功能虚拟化编排(NFVO),NFVO根据新建业务类型等参数,选取合适的模板后,向

虚拟基础设施管理申请中央处理器(CPU)、内存、存储等资源创建网络、虚拟机及该新业务软件版本;新业务正常启动后,再通知网管对其进行业务配置。

随选网络的用户按需订购、业务按需提供,在Portal、SDN、NFV及相应的预定义模板的配合下,做到了全自动化,极大简化了运营运维管理的复杂性、长周期性。另外,不论是SDN还是NFV技术,都采用协议规范接口,方便同第三方厂商的APP、VNF进行集成,这也能使得运营商的业务功能逐渐丰富起来<sup>[10]</sup>。

#### 4 结束语

随选网络是SDN/NFV新的发展阶段。针对最终用户,随选网络可以让用户根据自身的需要进行灵活定制,可快速提供专线服务,可灵活调整业务套餐,更可按需增加相应的网络功能服务等。针对运营商,随选网络重构了运营商大量的基础设施及系统,如业务运营支撑系统、业务编排、网络控制、基础网络资源等,可更加有效地利用闲置资源。同时,随选网络也重构了运营商的业务提供模式,实现从运营商定义业务到用户自定义业务转变。

相比传统只重视网络随选的思路,中兴通讯创新性地把应用随选和连接随选放到同等重要的地位。利

用SDN最新技术实现了点到点、点到互联网、点到DC3类专线服务。通过SDN的调度,可以实现站点、带宽、QoS的端到端保证,以实现用户定制网络。同时,通过NFV技术最新,构建微型虚拟化环境,基于此环境,用户可以定制NAT、防火墙、广域网(WAN)加速等业务,提升应用体验。上层通过业务编排层和SDN控制器实现业务和网络的自动化部署,快速提升用户感知。

在具体的演进过程中,可以结合城域网的中心机房(CO)重构,实现应用的协同。企业个体的应用,可以放在微云系统中,多企业可共享的大型的应用可放在云端。两者有机的配合可极大地提升用户的体验。

#### 参考文献

- [1] 中兴通讯股份有限公司.SDN/NFV弹性网络技术白皮书[R/OL].(2016-06-27)[2017-02-15]. <http://www.zte.com.cn/china/solutions/network/20160627/201606271313>
- [2] 中兴通讯股份有限公司.弹性网络ElasticNet解决方案[R/OL].(2017-02-15). [http://www.zte.com.cn/china/solutions/network/architecture\\_evolution/ElasticNet](http://www.zte.com.cn/china/solutions/network/architecture_evolution/ElasticNet)
- [3] 黄孙亮.SDN重构承载网络——中兴通讯弹性云承载解决方案[J].中兴通讯技术(简讯),2015(12):15-17
- [4] 黄孙亮.云网融合的随选网络[J].中兴通讯技术(简讯),2016(10):27-28
- [5] 赵慧玲,徐向辉,陈运清,等.智能管道构建思路探讨[J].电信科学,2011,27(3):21-23.DOI:10.3969/j.issn.1000-0801.2011.03.002
- [6] 王茜,陈运清,曹磊.智能管道架构及技术方案

探讨[J].中兴通讯技术,2012,18(1):16-19. DOI:10.3969/j.issn.1009-6868.2012.01.005

- [7] 孔力,陈婉琪,赫罡,等.智能管道发展及技术实现[J].邮电设计技术,2012(3):12-15. DOI:10.3969/j.issn.1007-3043.2012.03.002
- [8] 韦乐平.SDN的战略性思考[J].电信科学,2015,31(1):1-6
- [9] 姚春鸽.互联网+来了,电信网怎么变[N].人民邮电,2015-12-15(5)
- [10] 李晨,段晓东,陈炜,等.SDN和NFV的思考与实践[J].电信科学,2014(8):23-27. DOI:10.3969/j.issn.1000-0801.2014.08.004

#### 作者简介



王延松,中兴通讯股份有限公司有线技术规划总工,科技部“十三五”“宽带网与新型网络”主题专家;主要研究方向为软件定义网络、网络功能虚拟化等;主持或参与省部级项目8项,获得省部级科技进步奖1项;发表学术论文5篇,申请专利10余项。



王伟忠,中兴通讯股份有限公司承载网产品管理经理;一直从事产品研发及管理工作,先后负责网络产品、业务产品、智能互联产品等研究、开发工作;曾获省部级科技进步奖3项,申请发明专利4项。



卢华,中兴通讯股份有限公司有线承载网项目经理;先后从事无线基站、核心网和承载网系统产品研发工作,目前主要负责网络功能虚拟化vRouter、vCPE等研发、管理工作;申请发明专利7项。



# vBRAS 应用场景及评估方法探讨

## Deployment and Performance Evaluation of vBRAS

雷波/LEI Bo  
解云鹏/XIE Yunpeng  
王波/WANG Bo

(中国电信股份有限公司, 北京 102209)  
(China Telecom Corporation Limited,  
Beijing 102209, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0023-004

**摘要:** 虚拟宽带远程接入服务器(vBRAS)已经成为电信运营商在IP城域网(MAN)引入网络功能虚拟化(NFV)的一个切入点,主要应用在一些小流量、常在线业务场景以及需要集中运营的业务场景。在vBRAS的性能评估方面,可以通过资源占用率等基本指标和稳定系数、均衡系数和无关系数等扩展指标来综合衡量。

**关键词:** NFV; vBRAS; 性能评估

**Abstract:** Virtual broadband remote access server (vBRAS) has become one of the network function virtualization (NFV) scenarios in IP metropolitan area network (MAN). And vBRAS is mainly used in two scenarios: one is to support the small flow and always online business, another is for the business which needs to be concentrated on operating. There are some basic indicators such as resource utilization and extended indicators including stability coefficient, equilibrium coefficient and unrelated coefficient to evaluate the performance of vBRAS.

**Keywords:** NFV; vBRAS; performance evaluation

### 1 vBRAS 形态及发展方向

城域网宽带远程接入服务器(BRAS)设备位于城域网边缘,是用户实现各种业务的入口,近年来运营商不断尝试“宽带中国”、智能管道的战略转型,BRAS的关键地位也进一步得到凸显。近年来在新业务、新流量模型的冲击下,传统BRAS的弊端也开始暴露,作为软硬件一体化的专用设备,传统BRAS这种控制与转发紧耦合的架构在一定程度上束缚了城域网的发展。

网络功能虚拟化(NFV)技术的出现,为传统BRAS设备的发展提供了新的思路,通过采用x86等通用硬件以及虚拟化技术,把原有必须通过专用硬件实现的网络功能,改由通用服务器实现,从而实现传统BRAS的软硬件解耦及功能抽象。基于NFV技术实现的虚拟化BRAS(vBRAS)有利于资源的灵活共享,满足业务的自动部署、弹性伸缩、故障隔离和自愈,以及新业务的快速开发和部署<sup>[1-4]</sup>。

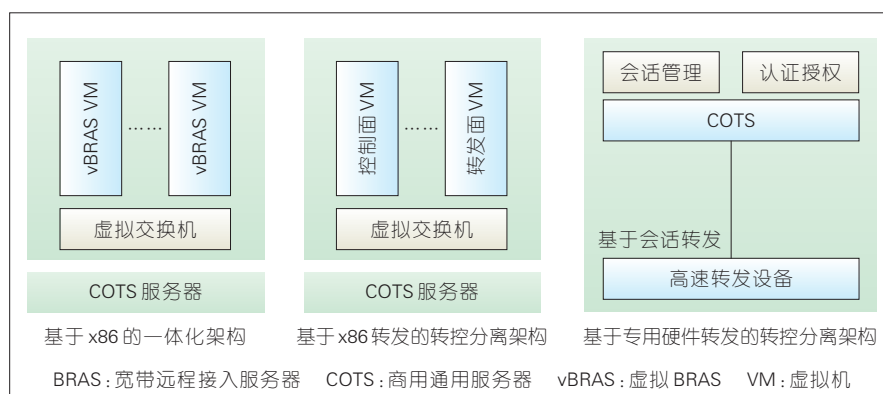
根据控制面和转发面实现方式

不同,目前vBRAS的实现主要有3种形态,如图1所示。

其中,形态1为基于通用x86服务器的一体化架构,控制面和转发面运行在单个虚拟机中;形态2为基于通用x86服务器转发的转控分离架构,由通用服务器硬件结合虚拟化软件的网络云资源池来实现转发面,并

通过统一云资源池提高业务的集约化管理能力;形态3为基于专用高速硬件转发的转控分离架构,在通用x86服务器实现的控制面控制下,通过专用硬件实现高效而灵活的流量转发。

综合来看,vBRAS将向转控分离的形态(形态2和形态3)演进,形态



▲ 图1 典型vBRAS架构

收稿日期: 2017-01-15  
网络出版日期: 2017-03-01

2 适合承载网络电话 (VoIP)、虚拟专用拨号网 (VPDN) 等小流量业务;形态 3 适合承载宽带上网、高清视频、虚拟现实 (VR) 等大流量业务。形态 1 由于可能会导致控制面分散,难以实现集约化的管理,不是 vBRAS 的发展方向。

### 2 vBRAS 的典型应用场景

基于 vBRAS 的特点和能力,现有 vBRAS 主要应用在一些小流量、多并发、常在线业务场景以及需要集中运营的业务场景中。

(1) 分流小流量、大并发业务的场景。

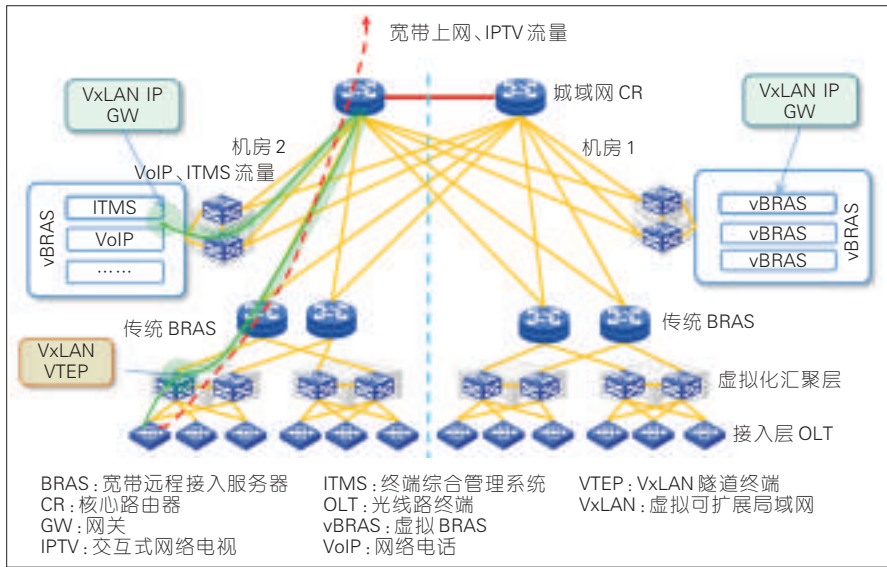
目前,现网传统 40 G 平台 BRAS 转发能力一般支持 100 000 用户数,由于 BRAS 设备控制层面在用户会话性能存在瓶颈,为保障用户突发流量、宽带质量,通常要求并发用户数不超过 30 000 ~ 40 000,该场景下可通过 vBRAS 分流现网 VoIP 等小流量大并发的业务,解决传统 BRAS 的会话处理能力不均衡问题。

如图 2 所示,发挥传统 BRAS 和 vBRAS 的特点,将占用 BRAS 控制层面资源,占用会话数,同时将流量要求小的业务 (VoIP 等) 迁移至数据中心的 vBRAS 部署,宽带上网、交互式网络电视 (IPTV) 等业务流保留在传统 BRAS 进行认证及转发。虚拟化汇聚层可基于 QinQ 等方式区分用户及业务类型,构建到 vBRAS 的隧道,将不同业务分流到 BRAS 和 vBRAS。

(2) 公共 Wi-Fi 业务集中接入统一认证场景。

公共 Wi-Fi 业务是一种免费公用无线网络,手机用户在公共场所搜索到特定无线网络后,通过简单的认证流程即可免费使用。公共 Wi-Fi 业务资源池需要满足用户城域内的集中 Portal 认证,并根据接入位置推送定制化 Portal 页面的需求。

如图 3 所示,Portal 认证采用 vBRAS 资源池部署,利用城域网汇聚交换机或者路由器设备构建虚拟可



▲ 图 2 小流量大并发业务分流场景

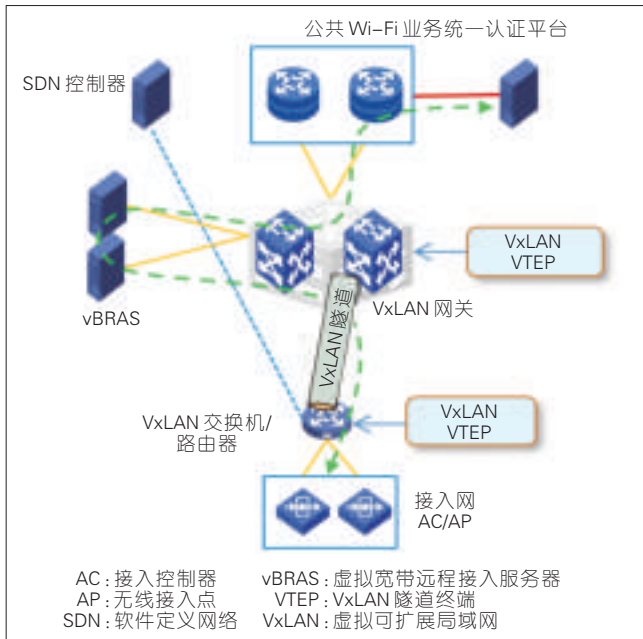


图 3 公共 Wi-Fi 业务集中接入统一认证场景

扩展局域网 (VxLAN) 大二层网络,形成公共 Wi-Fi 的 Overlay 承载网,实现城域网范围内的公共 Wi-Fi 业务流量的集中认证。

### 3 vBRAS 性能评估的需求

NFV 技术提出之后,就一直强调分层解耦、集约管控的原则,以期实现开放、合作、竞争的生态环境。因此 NFV 重点关注基础设施层、网络功能层和协同编排层之间的南北向解

耦,主要包括以下 3 方面<sup>[5-6]</sup>:

- (1) 通用硬件与虚拟化软件的解耦;
- (2) 虚拟网络功能 (VNF) 与 NFV 基础设施 (NFVI) 解耦;
- (3) NFV 的管理和编排 (MANO) 解耦。

其中,为了满足 VNF 与 NFVI 的解耦,需要构建一套科学、合理的 VNF 性能评估方法,以便于同一套评估体系去衡量不同供应商的 VNF 以

及不同专业的 VNF。

以 vBRAS 为例,其业务处理能力与所消耗的硬件服务器资源没有绝对的线性关系,按照传统的通过堆叠测试仪表来测试网元设备最大处理能力的方法并不适用于 vBRAS,主要有两方面问题:一是 vBRAS 的软件处理极限非常高,需要耗费大量的测试仪表资源,而目前的测试仪表价格昂贵,通常是普通网络设备的数百倍,很难在一般的测试环境中堆叠足够的测试仪表;二是部分 vBRAS 提供方也没有在实验环境中测试出 vBRAS 的极限,无法提前计算和规划测试方案与测试资源。

因此继续沿用现有物理网元的测试方案,即简单地将 vBRAS 及相应底层系统 NFVI 解决方案放置到现有物理网元设备的测试环境中,按照现有物理网元设备的测试用例进行测试,难以准确测试出 vBRAS 的性能极值,我们需要找出一种新的性能评估方案。

#### 4 vBRAS 性能评估指标与验证

一般而言,对 vBRAS 性能评估可以通过固定环境下的性能测试和固定需求的性能测试来衡量,在相同业务情况下,系统对资源占用越少则越有优势,但这个问题也不是绝对的,还需要考察其他方面的内容。因此我们将 vBRAS 性能评估指标分成两类:一类为基本指标,主要是固定业务输入下的资源占用率;一类为扩展指标,通过 vBRAS 在不同时刻和不同平台上的测试结果综合进行考量。

(1) 基本指标,指资源占用率指标,一般包括中央处理器(CPU)、内存、存储和网络等几方面指标,具体包括:

- 虚拟机 CPU (vCPU) 性能的关键指标,包括 vCPU 使用率、系统调用开销、vCPU 绑定率;
- 内存 (RAM) 的主要性能指标,包括访问带宽和延迟;

• 硬盘输入输出 (I/O) 的主要性能指标,包括连续/大块/小块读写的吞吐量;

• 网络的主要性能指标,包括传输吞吐量、延迟、抖动和丢包率。

(2) 扩展指标,用以衡量 vBRAS 在不同环境下的运行情况,包括稳定系数、均衡系数和无关系数等方面指标,具体包括:

• 均衡系数,用以衡量存在多个相同类型资源时,各个资源占用率是否均衡;

• 稳定系数,用以衡量持续测试一段时间后,各项性能指标是否会出现波动;

• 无关系数,用以衡量 vBRAS 在不同 NFVI 平台上的表现是否一致。

我们假设:

• 业务输入  $X$ , 根据业务需求所制定的业务模型以及一定量的业务输入;

• 观察指标  $G$ , 利用测试仪表所检测的关键性指标,比如丢包率或时延等指标,用以衡量 vBRAS 是否处于正常工作状态;

• 性能指标  $Y$ , vBRAS 对 NFVI 平台的资源需求。

那么对于在一定的业务输入  $X$  时,当  $G \leq G_H$  时,记录此时所得到的性能指标  $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_N\}$ , 其中  $Y_n$ ,  $n = 1, \dots, N$  表示 vBRAS 需要占用多个资源,每个资源的占用率,比如 vBRAS 需占用多个 vCPU,  $Y_n$  表示每个 vCPU 的利用率。

此外还需要考虑在不同时刻和不同平台上的性能指标是否存在差异,因此还存在两个维度:

• 时间维度  $t$ , 即在不同时刻测试出的性能指标值;

• 平台维度  $j$ , 即在不同 NFVI 平台测试出的性能指标值。

我们即可以用  $Y_n^{(t,j)}$  表示在  $j$  平台上  $t$  时刻测试出的第  $n$  项资源的利用率。因此对于 3 个扩展指标可以分别表述如下:

• 均衡系数。vBRAS 其性能指

标与研发能力、编程能力有密切关联,如果系统设计不够合理,就容易出现资源利用不均衡,同类资源的某些部分不够,而另外一些部分却空闲的情况,因此定义均衡系数  $\alpha$ ,用以衡量存在多个相同类型资源时,各资源占用率是否均衡。

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \left( \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J Y_n^{(t,j)}}{T*J} - \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J Y_n^{(t,j)}}{N*T*J} \right)^2}{N}} \quad (1)$$

• 稳定系数。由于 vBRAS 的软件特性,各项性能指标可能会随时间的变化出现波动,因此定义稳定系数  $\beta$ ,用以衡量持续测试一段时间后,各项性能指标的波动情况。

$$\beta = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T \left( \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J Y_n^{(t,j)}}{N*J} - \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J Y_n^{(t,j)}}{N*T*J} \right)^2}{T}} \quad (2)$$

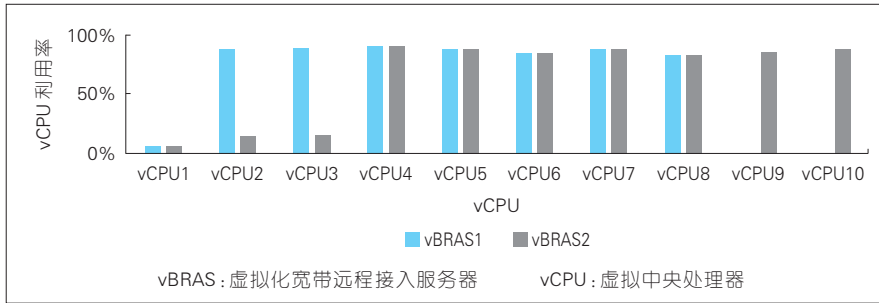
• 无关系数。平台无关性是指当存在多个 NFVI 平台可选择的时候, vBRAS 在不同的平台上占用相同资源所实现的业务处理能力接近。因此定义无关系数  $\gamma$ ,用以衡量 vBRAS 在不同 NFVI 平台上的表现是否一致。

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J \left( \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T Y_n^{(t,j)}}{N*T} - \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J Y_n^{(t,j)}}{N*T*J} \right)^2}{J}} \quad (3)$$

我们在实验室对两个不同供应商的 vBRAS 网元进行了测试,两个 vBRAS 在架构上存在较大差异, vBRAS1 采用单虚拟机模式,在一个虚拟机内完成管理面、控制面和转发面的功能;而 vBRAS2 采用多虚拟机模式,用不同的虚拟机分别完成管理面、控制面和转发面的功能,因此只通过 vCPU 利用率是无法衡量 vBRAS1 和 vBRAS2 的优劣势。因此我们利用文中提出的 3 个扩展参数进行了综合评估。

(1) 均衡系数。对于 vBRAS1 占用 8 个 vCPU,而 vBRAS2 则占用 10 个,每个 vCPU 的平均利用率如图 4





▲ 图4 不同vBRAS的均衡系数对比

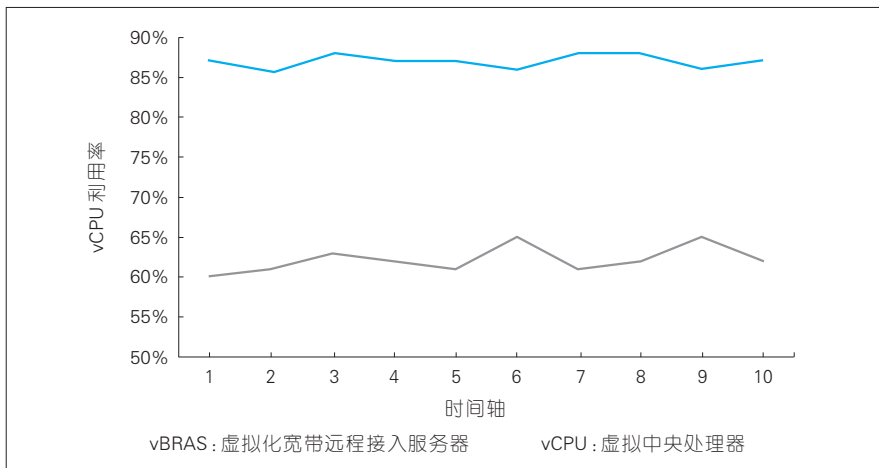
所示。

综合起来,计算出vBRAS1的 $\alpha=0.289$ ,vBRAS2的 $\alpha=0.366$ ,因此可以认为vBRAS1较vBRAS2利用资源更为均衡。

目前采用黑盒测试法,未区分这些vCPU是用于管理面、控制面和转发面。显然用于管理面和控制面的vCPU的利用率会明显低于用于转发面的vCPU,因此将不同用途的vCPU放在一起比较,会导致评估结果产生一定的偏差。未来可以考虑借助灰盒测试法,区分vCPU的用途,分别比较用于管理面、控制面和转发面的3类vCPU资源利用情况,得出更为全面的比较结果。

(2)稳定系数。对于不同时刻的两个vBRAS的平均利用率情况如图5所示。

综合起来,计算出vBRAS1的 $\beta=0.008$ ,vBRAS2的 $\beta=0.016$ ,因此可以认为vBRAS1较vBRAS2更加



▲ 图5 不同vBRAS的稳定系数对比

稳定。

### (3)无关系数

由于vBRAS1厂家自己也提供NFVI平台,vBRAS1在自家的平台上的性能更优,但运行在第三方平台上时,性能会有所下降。vBRAS2厂家不提供NFVI平台,可运行在不同的第三方NFVI平台上。

此时,vBRAS1的 $\gamma=0.022$ ,vBRAS2的 $\gamma=0.009$ ,因此可以认为vBRAS2较vBRAS1与平台的无关系数更好。

因此如果要综合比较vBRAS1和vBRAS2的优劣势,需要对这几个参数进行综合评估,给每个参数给出一定的权重,比如按照层次化评估法进行综合评估,限于篇幅,不再赘述。

## 5 结束语

作为IP网络领域虚拟化的代表之一,vBRAS已经成为运营商在IP城域网入NFV的切入点。在vBRAS的评估方面,可以通过资源占用率等基

本指标和稳定系数、均衡系数和无关系数等扩展指标来综合衡量。可以预见的是,随着NFV应用规模的逐步扩大,后续对VNF性能的系统评估方案以及自动化评估工具等方面的需求也将会越来越明确。

### 致谢

本期实验工作是在北京研究院-惠普联合实验室完成的,王旭亮、谷欣、许一亮等工程师承担了大量的试验,对他们谨致谢意!

### 参考文献

- [1] 蒋铭,于益俊. NFV与VNF架构演进与网络架构未来[J]. 信息技术, 2016(1): 45-51
- [2] 杜鹃. VNF在移动网络中的应用初探[J]. 内蒙古科技与经济, 2015(16): 62-63
- [3] 周宇翔. NFV走向商用面临六大问题[N]. 通信产业报, 2014-09-01(25)
- [4] 周振勇. NFV技术进展及其应用探讨[J]. 电信网络技术, 2016(7): 41-45
- [5] 李晨,谷欣,林群阳,等. NFV网络加速技术探讨及实践[J]. 电信网络技术, 2016(6): 25-32
- [6] 恩博伦通信. 完整验证NFV的性能[J]. 电信网络技术, 2015(6): 63-71

### 作者简介



雷波, 中国电信股份有限公司北京研究院网络技术与规划部IP与未来网络研究中心主任; 目前主要研究方向为IP网络技术与SDN/NFV技术。



解云鹏, 中国电信股份有限公司北京研究院网络技术与规划部高级工程师; 主要研究方向为IP网络技术与SDN/NFV; 已获得省部级奖1项; 申请专利10余项, 合著专著3本, 发表论文10余篇。



王波, 中国电信集团公司技术部技术主管, CCSA接入网与家庭网络工作组副组长, FSN O&E工作组联合主席; 主要研究方向为宽带接入、智能管道等; 曾获国家科技进步二等奖以及中国通信学会、中国电子学会、CCSA的多个奖项。

# SDN/NFV 测试方法的研究

## Test Methodology of SDN/NFV

穆域博/MU Yubo  
马军锋/MA Junfeng  
徐骁麟/XU Xiaolin

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

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0027-006

**摘要:** 构建了系统性评估软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术能力的三级测试方法体系: 接口级别的测试方法、网元级别的测试方法和平台级别的测试方法。结合技术发展的具体特点, 该体系分级别抽象了测试工作需要开展的测试方向, 首次形成了相应的测试评估指标。该测试方法体系将为进一步的测试研究工作提供重要的参考。

**关键词:** 通信技术(CT); 信息技术(IT); SDN; NFV

**Abstract:** In this paper, in order to make a systematic and comprehensive evaluation for the soft defined network(SDN)/network function virtualization(NFV), the three-level test methodology, including interface-level test method, device-level test method and platform-level test method is proposed. This test methodology abstracts test aspects for different level and firstly formulates consistent metrics, and will provide an important reference for the test research evaluation in the future.

**Key words:** communication technology (CT); information technology (IT); SDN; NFV

当前, 软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术已经进入商业化部署的发展阶段。其中, 平台化集成发展、场景化差异发展和开源化创新发展成为现阶段技术发展的主要特征。

随着商业化发展的不断深入, 技术发展前期相对缺失的规范化和标准化测试工作越来越成为制约业界发展的重要瓶颈。当前, SDN/NFV技术依据不同的社区生态初步形成了相对孤立的“事实标准体系”, 这对于开展测试方法的研究形成了障碍。

## 1 测试方法体系的总体设计

### 1.1 两大测试维度

从重构网络架构的角度出发(如图1<sup>[1]</sup>所示), 当前软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)基础技术架构大体上可以抽象为3个功能层级: 基础设施层、业务控制层和管理编排层。基础设施层要求转发面网元设备具备网络可编程能力, 通过业务控制层的南向接口开放网络设备的控制功能; 业务控制层要求能

够管控基础设施, 形成全局视角, 借助业务控制层的北向接口向管理编排层提供网络服务能力; 管理编排层需要按照具体的网络业务需求调度网络资源, 落实应用部署的要求<sup>[1]</sup>。作为首要测试对象, 测试三层基础技术架构的功能/性能能力是开展SDN/NFV测试工作的重要内容。

除基础技术架构之外, 与信息技术(IT)手段相融合的统一系统平台能力(如图2所示)也是开展SDN/NFV测试工作需要考虑的另一个重要维度。随着虚拟化技术的不断成熟, SDN/NFV技术越来越多的与分布式存储技术、并行计算技术等IT技术交织协作, 催生出融合型技术平台。面对这样的被测对象, 传统单一的网络能力测试方法已经难以满足系统评估和分析的需要, 开展SDN/NFV的测试工作亟需建立新的系统级测试

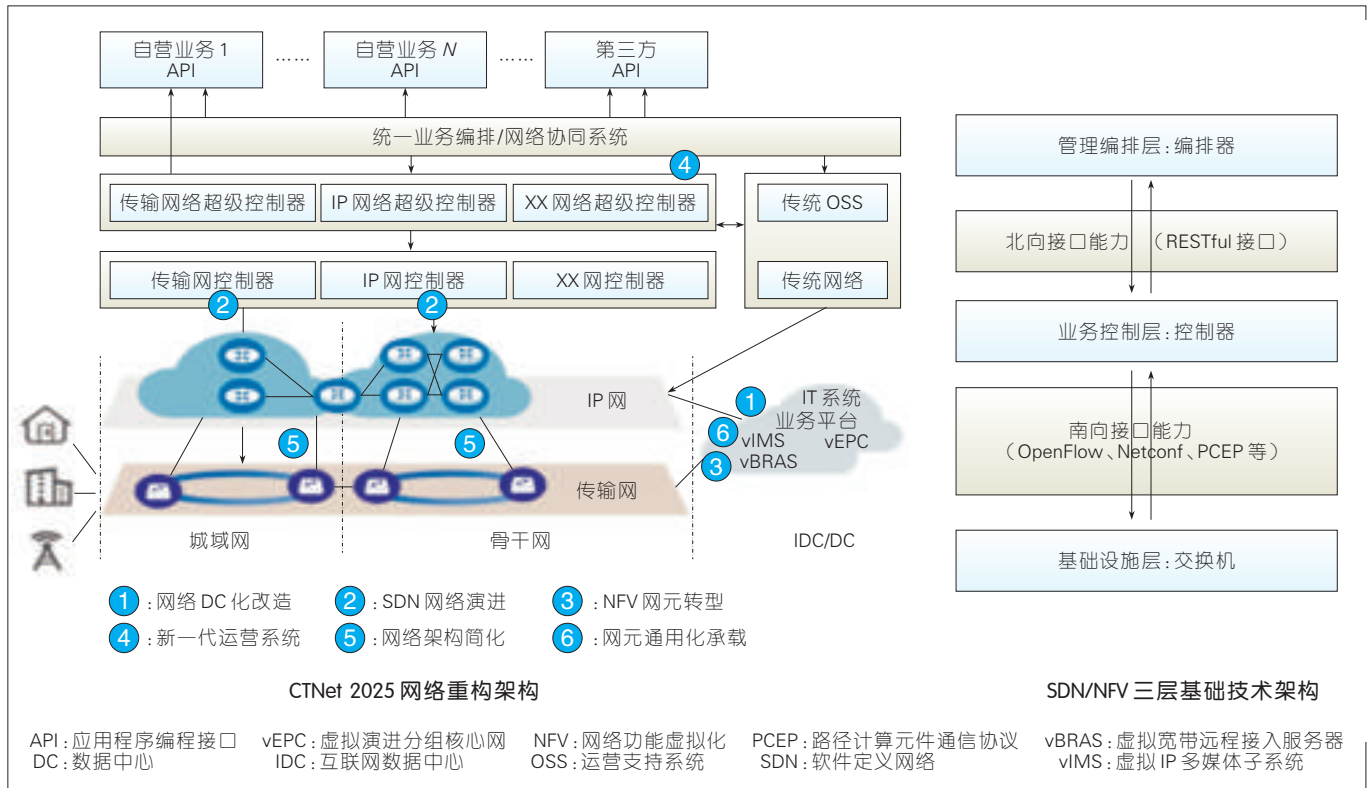
方法。

### 1.2 测试视角与测试思路

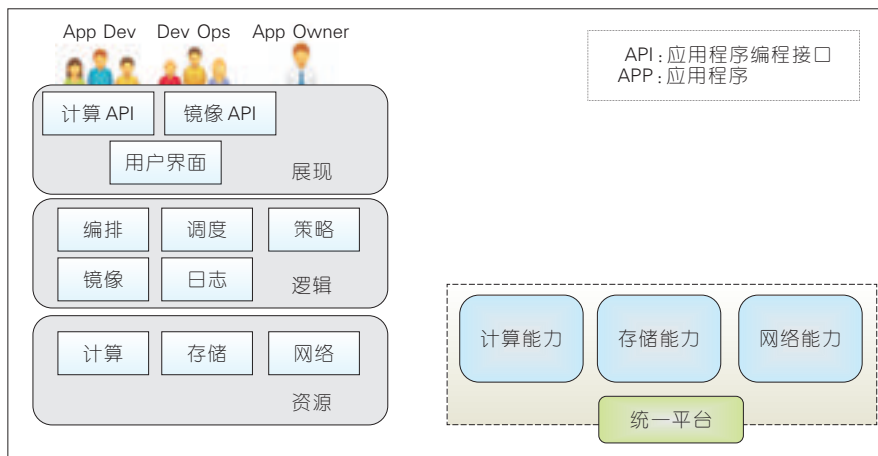
从测试视角出发, SDN/NFV的测试工作可以分为开发测试和验收测试两大方向: 开发测试是项目研发的重要组成部分, 通常借助白盒测试的方法测试内部结构; 验收测试专注于具体的技术性能指标能否适配外部应用需求, 大多数采用黑盒测试的方法测试性能。对比紧耦合于项目研发方法的开发测试, 验收测试专注于系统接口能力和整体功能/性能指标, 抽象化了不同的技术实现架构和研发细节, 更容易形成统一的测试方法体系, 这对于指导产业发展, 推动商业化进程有着更加重大的意义。

在SDN/NFV基础技术架构下开展验收测试, 首先应当从接口能力入手, 这些网络接口的功能/性能参数

收稿日期: 2017-01-26  
网络出版日期: 2017-03-03



▲ 图1 网络架构重构与SDN/NFV基础技术架构



▲ 图2 ICT技术统一平台

是评测网络能力最基本的技术指标；在此基础上扩展测试范围，应当围绕网络接口连接的网元设备，特别是位于不同功能层级的网元实体展开测试，这些网元实体是完整实现具体网络能力的最小单元。考虑到不同应用场景下SDN/NFV技术体系存在的差异化和平台化特点，有必要结合场景部署的技术要求形成系统/平台级

别的评测方法。整体上看：按照从聚焦局部到扩展全局的测试思路，应当建立接口级别、网元级别和平台级别的三级评测方法体系（如图3所示），有针对性地开展测试评估工作。

## 2 接口级别的测试方法分析

接口能力主要体现了系统与系统之间或系统内部子系统之间的交

互性，其测试的重点在于检查数据的交互、传递和控制，以及系统间的逻辑关系。在SDN/NFV基础技术架构下，业务控制层的南北向接口分别连接了基础设施层和管理编排层，功能上“屏蔽了网络技术细节，提供了网络抽象能力”，是整体网络架构中最重要的技术耦合点。对南北向接口开展测试工作，需要结合具体接口的技术发展特点，重点关注3个方面的性能指标：协议/功能一致性、互操作性和高性能。

### 2.1 南向接口能力测试

南向接口连通了基础设施层和业务控制层，是实现控制与转发相分离，软硬件解耦的重要接口。自SDN/NFV技术提出以来，南向接口得到了开放网络基金（ONF）、国际互联网工程任务组（IETF）等开源社区和技术标准组织的大力支持，形成了以OpenFlow、Netconf、路径计算元件通信协议（PCEP）、边界网关协议传递



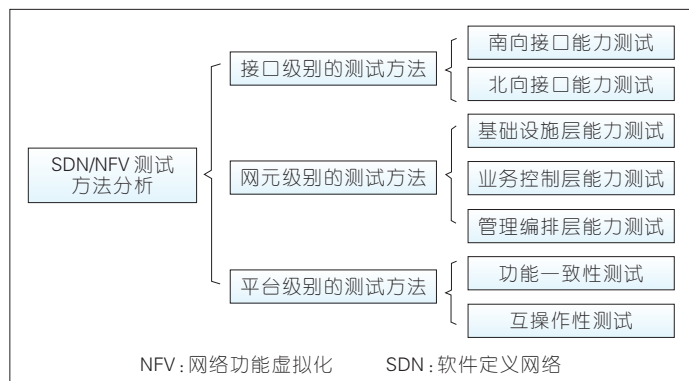


图3  
SDN/NFV 测试方法体系

域内链路状态(BGP-LS)等协议为代表的技术标准体系。考虑到不同设备厂商在基础设施层的设计和实现方面存在较大的差异。

#### (1) 协议一致性。

协议一致性测试检验南向接口能力与标准文档之间的一致性程度,是保障网元设备互联互通的基础型测试工作,具体的测试内容涉及3个方面:信道建立/断开、协议报文交互、健壮性。

- 信道建立/断开:测试能否按照标准指定的传输控制协议(TCP)/用户数据报协议(UDP)端口号,完成报文交互,建立/断开通信信道。

- 协议报文交互:测试能否按照标准定义的报文格式,完成相应的报文交互,实现协议设定的网络功能。

- 健壮性:测试能否按照标准预设的错误处理方法,完成相应的报文交互,正确应答/处理错误信息。

#### (2) 高性能。

高性能测试检验南向接口在高业务负载条件下的网络接口能力,主要的测试指标有:业务处理能力、缓存能力。

- 业务处理能力:测试按照标准指定的业务处理方法,南向接口能够完成的业务吞吐量。

- 缓存能力:测试按照标准指定的业务报文格式,南向接口设置的最大缓存长度。

## 2.2 北向接口能力测试

北向接口连通了业务控制层和

管理编排层,功能上实现了业务编排需求和全局化网络能力之间的映射。接口能力的主要表现为RESTful 应用程序编程接口(API),技术上实现了协议交互报文与HTTP方法之间的解耦,提高了接口访问的可用性和执行效率。考虑到主流设备厂商在业务控制层尚未形成统一的网络信息模型,当前,在测试方面,业界主要关注北向接口的功能一致性、互操作性和高性能3方面指标。

#### (1) 功能一致性。

功能一致性测试检验北向接口能力与业务编排需求之间的一致性程度。在尚未形成统一的网络信息模型之前,功能一致性测试是开展互操作性测试工作的唯一前提,具体的测试内容涉及两个方面:资源管理能力和业务编排能力。

- 资源管理能力:测试能否全局化管理网络资源,搜集网元、带宽、链路、拓扑等网络信息,并通过HTTP报文交互完成信息传递。

- 业务编排能力:测试能否实现业务编排需求与全局化网络能力之间的映射,通过HTTP报文交互调度网络资源,落实业务编排指令。

#### (2) 互操作性。

互操作性测试检验不同网元设备之间的互操作能力,是解除厂商锁定,建设良性市场的关键性测试工作。以功能一致性测试为基础的互操作性测试,具体测试内容涉及:信道建立/断开、功能一致性、健壮性。

- 信道建立/断开:测试能否建

立异厂商设备的HTTP连接,完成相应的报文交互,建立/断开通信信道。

- 功能一致性:测试能否在异厂商设备互联的条件下,进行资源管理能力测试和业务编排能力测试。

- 健壮性:测试能否在异厂商设备互联的条件下,完成基本的错误识别、告警和日志记录能力。

#### (3) 高性能。

高性能测试检验北向接口在高业务负载条件下的网络接口能力,主要测试指标有:HTTP信道事务吞吐量、业务处理能力。

- HTTP信道事务吞吐量:测试HTTP信道在进行GET、PUT、POST、DELETE操作时的事务吞吐量。

- 业务处理能力:测试不同业务负载的最大吞吐量,包括资源管理类报文负载和业务编排类报文负载。

## 3 网元级别的测试方法分析

### 3.1 基础设施层能力测试

基础设施层主要负责形成网络转发面,搜集网元节点的状态信息,通过南向接口上传给业务控制层。典型的基础设施层设备是交换机。按照SDN/NFV技术关于“控制与转发相分离”和“软件与硬件相解耦”的技术要求,白盒化和软件化是SDN/NFV交换机发展的重要特点。考虑到主流厂商的交换设备在能力开放方面存在差异,在测试方面,规格指标和性能指标是当前交换机测试的主要关注点。

#### (1) 规格指标。

规格指标测试检验交换机的功能能力能否达到设备提供商的规格指标,是交换机质量保证的传统测试方法。对于SDN/NFV交换设备,具体的测试内容涉及两个方面:可编程能力和表容量能力。

- 可编程能力:测试交换机通过南向接口处理控制指令流(如OpenFlow流表报文)的能力规格,重点关注交换机最大表项宽度(如

OpenFlow L2/L3 流表位宽和访问控制列表(ACL)位宽)。

- 表容量能力:测试交换机能够存储的最大流表数目(如 OpenFlow L2 流表容量和 L3 流表容量)。

(2)性能指标。

性能指标测试检验交换机能够达到的最大业务处理能力,是另一种交换机质量比较的传统测试方法。对于 SDN/NFV 交换设备,具体的测试内容涉及两个方面:可编程性能和数据转发能力。

- 可编程性能:测试交换机通过南向接口处理控制指令流(如 OpenFlow 流表报文、Netconf 配置参数)的性能参数,重点关注交换机的流表/配置建立速度。

- 数据转发能力:测试交换机的数据通道能否按照 RFC 2544 的规范要求,进行线性转发,同时,测试交换机在数据通道的缓存长度。

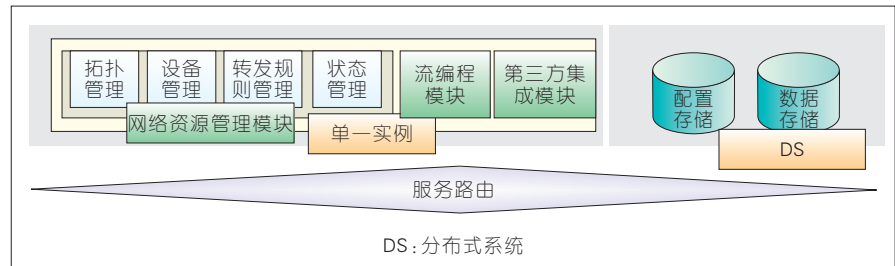
### 3.2 业务控制层能力测试

业务控制层是 SDN/NFV 基础技术架构中最重要的一层。通过综合处理南向接口接收到的网络状态信息,业务控制层形成全局性的网络能力视图,向管理编排层提供系统化的网络服务。典型的业务控制层设备是控制器。考虑到实际组网环境中控制器需要管理不同规模的基础设施层,在测试方面,单实例能力和集群能力是当前控制器测试的两大主要关注点。

(1)单实例能力。

单实例控制器负责管控小范围内的基础设施资源,其功能能力是业务控制层最小的功能集合。单实例控制器主要包括三大通用模块(如图 4 所示):网络资源管理模块、流编程模块和第三方集成模块,具体的测试内容围绕这三大功能模块展开。

- 网络资源管理:测试单实例控制器管理基础设施资源的能力,具体包括网元、带宽、链路、拓扑等网络资源的管理上限、南向接口的信道连接



▲ 图4 控制器通用功能模块

数量等资源管理能力。

- 流编程:测试单实例控制器的网络编程能力,重点关注流表(OpenFlow 协议为例)或者配置(Netconf 协议为例)的编程能力。

- 第三方集成:测试单实例控制器能否集成到第三方平台,重点关注单实例控制器能力能否整合到平台能力当中。

(2)集群能力。

控制器集群负责管控更大范围的基础设施资源,聚焦于不同集群规模条件下的控制器能力,具体的测试内容包括:集群初始化能力测试和单实例能力测试指标的集群正交。

- 集群初始化能力:测试控制器集群在初始化阶段的处理能力,重点关注控制器集群的主被选举时延和角色宣告时延。

- 单实例能力测试指标的集群正交:在不同的集群规模条件下(如拓扑结构和拓扑规模),测试控制器集群在网络资源管理、流编程和第三方集成方面的功能/性能能力。

### 3.3 编排管理层能力测试

编排管理层是 SDN/NFV 基础技术架构中最高层。通过匹配系统化的网络服务能力与具体的业务部署需求,编排管理层负责形成网络资源的全局化模板,并向业务控制层下发模板调用请求。典型的编排管理层设备是编排器。作为最接近业务应用的 SDN/NFV 基础技术能力,在测试方面,业务能力测试是当前业界的主要关注点。

业务能力测试检验编排器能否

满足业务/应用部署的需求。按照典型的 SDN/NFV 业务特点进行划分,具体的测试内容涉及 3 个方面:L2 虚拟专用网络(VPN)/L3VPN 能力、服务功能链(SFC)能力、虚拟防火墙(vFW)/虚拟负载均衡(vLB)/虚拟网关(vGW)能力。

- L2VPN/L3VPN 能力:测试编排器配置部署 L2VPN/L3VPN 的能力,重点关注形成模板的处理能力和下发模板的能力。

- SFC 能力:测试编排器配置部署 SFC 的能力,重点关注形成模板的处理能力和下发模板的能力。

- vFW/vLB/vGW 能力:测试编排器配置部署 vFW/vLB/vGW 的能力,重点关注形成模板的处理能力和下发模板的能力。

## 4 平台级别的测试方法分析

ICT 统一平台是 SDN/NFV 技术与 IT 技术(分布式存储技术、并行计算技术)协同发展的融合型技术平台。按照欧洲电信标准化协会(ETSI)在 2014 年发布的 NFV 体系架构标准,ICT 技术统一平台实现了“网络功能虚拟化基础设施(NFVI)+虚拟基础设施管理(VIM)”两大主要功能,具备了承载以 VNF 为代表的业务负载的能力(如图 5<sup>[2]</sup>所示)。ICT 技术统一平台设计了多种 NFV 特色(如错误管理、IPv6、L3VPN 等),能够对于不同的负载场景需求进行有针对性的差异化匹配部署,体现了良好的功能弹性。对 ICT 技术统一平台开展测试评估工作,需要综合 ICT 测试方法,以平台和负载的关系为主要测试

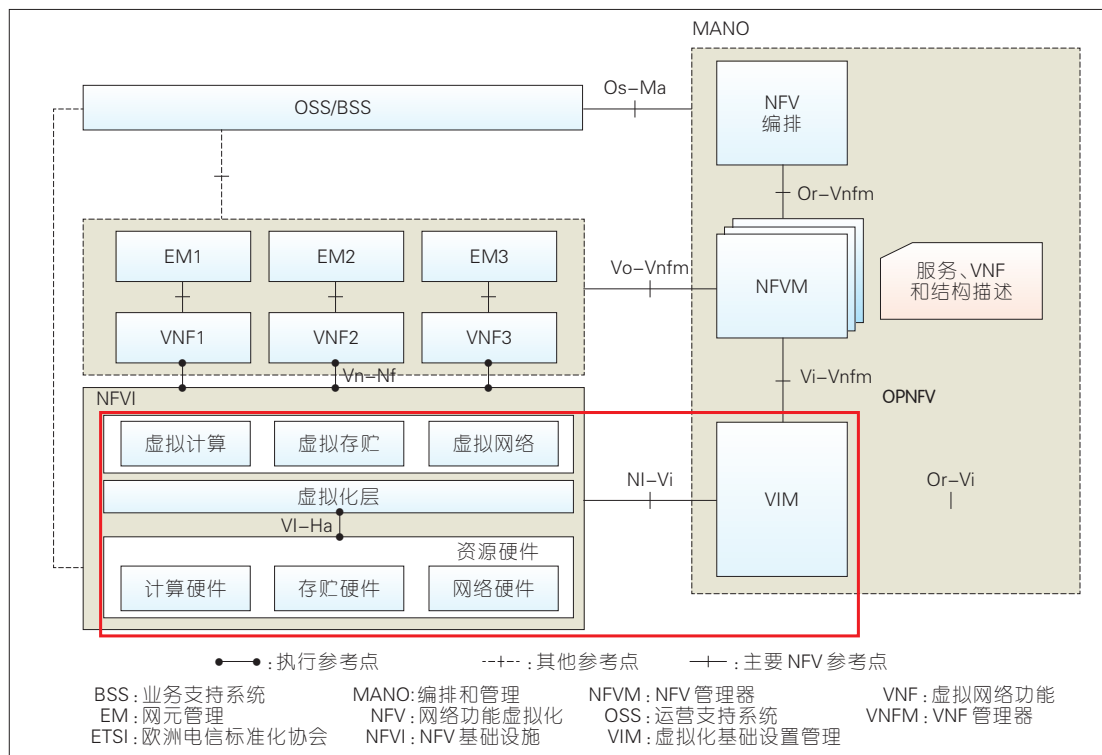


图5 ETSI GS NFV 002 NFV 体系架构

对象,重点关注两个方面的能力指标:功能一致性和互操作性。

#### 4.1 功能一致性

功能一致性测试关注平台能力与负载需求之间的匹配程度,是实现业务负载部署和互操作性测试的重要前提,具体的测试内容围绕平台能力的3个方面展开:计算一致性、存储一致性和网络一致性。

##### (1) 计算一致性。

计算一致性测试检验平台的计算能力能否满足业务负载(如L3VPN/L2VPN、SFC、vFW等)的计算需求,重点关注高性能、规格指标、可靠性3个方面。

- **高性能**:测试平台的中央处理器(CPU)/内存处理能力能否满足业务负载的需求,重点关注CPU和内存的处理时延和吞吐量。

- **规格指标**:测试平台的CPU/内存规格指标能否满足业务负载的需求,重点关注CPU和内存的核数和平均利用率。

- **可靠性**:测试平台CPU/内存的

可靠性能否满足业务负载的需求,重点关注CPU/内存的平均无错误时间等可靠性指标。

##### (2) 存储一致性。

存储一致性测试检验平台的存储能力能否满足业务负载(如L3VPN/L2VPN、SFC、vFW等)的存储需求,重点关注高性能、规格指标、可靠性3个方面。

- **高性能**:测试平台的存储处理能力能否满足业务负载的需求,重点关注串行/随机读写操作的处理时延和吞吐量。

- **规格指标**:测试平台的存储规格指标能否满足业务负载的需求,重点关注块存储/对象存储的规格大小和平均利用率。

- **可靠性**:测试平台存储的可靠性能否满足业务负载的需求,重点关注块存储/对象存储的平均无错误时间等可靠性指标。

##### (3) 网络一致性

网络一致性测试检验平台的网络能力能否满足业务负载(如L3VPN/L2VPN、SFC、vFW等)的网络

需求,重点关注高性能、规格指标、可靠性3个方面。

- **高性能**:测试平台的网络处理能力能否满足业务负载的需求,重点关注NFVI结点和虚拟机(VM)的处理时延和吞吐量。

- **规格指标**:测试平台的网络规格指标能否满足业务负载的需求,重点关注平台能够承载的最大连接数、网络吞吐量、网络利用率。

- **可靠性**:测试平台网络的可靠性能否满足业务负载的需求,重点关注平台所用网卡的平均无错误时间等可靠性指标。

#### 4.2 互操作性

互操作性测试检验平台与负载之间的互操作能力,是一种解除厂商锁定,建设良性市场的关键性测试工作,具体的测试内容主要围绕负载部署能力的相关指标展开。

负载部署能力测试检验业务负载能否在异厂商平台上实现部署和管理,重点关注负载生命周期管理、负载配置管理、负载健壮性管理和负



载性能能力。

- 负载生命周期管理:测试能否在异厂商平台上完成完整的负载生命周期,即负载部署、负载运行和负载卸载。

- 负载配置管理:测试能否在异厂商平台上配置负载参数。

- 负载健壮性管理:测试能否在异厂商平台上监测、记录负载错误信息,并按照设计要求进行错误处理。

- 负载性能能力:测试在异厂商平台上负载运行时的性能参数指标,如吞吐量、时延等。

## 5 测试实践与问题分析

### 5.1 典型测试实践

在标准化组织和开源社区的支持下,到2016年底,业界主要在两个方向开展了SDN/NFV的测试实践:OpenFlow协议一致性测试和开源控制器能力测试。

#### (1) OpenFlow 接口一致性测试。

在ONF的主导下,发布于2014年的OpenFlow 1.3v协议获得了业界的认可,全球主流设备制造商纷纷基于该协议设计出自己的OpenFlow-enable设备。随着商业化部署的不断发展,OpenFlow接口能力成为业界关注的重点。在这样的技术背景下,ONF提出了OpenFlow 1.3v一致性测试规范<sup>[1]</sup>:通过394项测试例,分别验证了OpenFlow接口能否在信道建立/断开、协议报文交互和健壮性3个方面与OpenFlow 1.3v规范保持一致。

#### (2) 开源控制器能力测试。

OpenDayLight社区于2016年5月发布了开源控制器OpenDaylight的单实例测试白皮书<sup>[2]</sup>,测试内容覆盖了OpenDayLight控制器在网络资源管理和流编程两大功能方面的处理能力,其中,白皮书在流编程能力(OpenFlow流表配置)方面实现了OpenFlow-Beryllium、ONOS-1.5.1v和Floodlight-1.2v的单实例对比测试。

ONOS社区在2015年4月,发布

了开源控制器ONOS-1.2.0v(Blackbird版本)的集群性能测试白皮书<sup>[3]</sup>,测试内容覆盖了ONOS集群在网络资源管理和流编程功能方面的处理能力。

### 5.2 测试工作中的问题探讨

#### (1) 测试思路局限性。

从测试思路上看:目前已经开展的测试工作仍然聚焦于以OpenFlow协议为代表的南向接口能力和以控制器为代表的网元设备能力,对于以ICT技术统一平台为对象的平台级测试工作,目前尚处于研究阶段。

#### (2) 测试方法滞后性。

从测试方法上看:系统性和规范性测试方法体系的缺失已经成为制约测试工作进一步发展的重要瓶颈。标准化组织的相对滞后和开源组织的快速发展,形成了当前依据社区生态为划分的“事实标准体系”,进一步增加了建设标准化测试方法体系的难度。

#### (3) 测试工具不成熟。

在测试工具方面,传统的测试仪提供商面临着技术转型的巨大压力,其测试解决方案难以满足评估的需求,特别是围绕ICT技术统一平台开展的测试评估活动。当前以开源项目为主体的开源工具集成为测试工作的主要依赖。然而,开源项目自身在可靠性和稳定性方面存在缺陷,开源社区在技术支持等服务质量方面存在重大短板,整体上看,缺少可靠的测试工具成为制约进一步开展测试工作的另一个重要因素。

## 6 结束语

当前,SDN/NFV相关的测试工作还处于比较初级的发展阶段,从测试思路到测试工具,业界还没有形成行之有效的系统级解决方案。未来,伴随着商业化进程的不断深入,SDN/NFV相关的测试工作也将逐步得到业界的重视,吸引越来越多的技术专家参与其中,完善测试方法讨论,研发系统级评测工具,全面提升SDN/

NFV技术评测水平。

### 参考文献

- [1] 中国电信. 中国电信CTNet2025网络架构白皮书[EB/OL]. [2016-07-11][2017-01-24]. [http://wenku.baidu.com/link?url=VFlm\\_4wmV7gTbrV0m3uv4Ce4PgR5n9MnWfjTvDC8CMYvzK7hVuR7T6rYasMjGijyU\\_0pCVOogjt2NUYXaK5ywwA8NzxiSQ9imf\\_-\\_SiLYG](http://wenku.baidu.com/link?url=VFlm_4wmV7gTbrV0m3uv4Ce4PgR5n9MnWfjTvDC8CMYvzK7hVuR7T6rYasMjGijyU_0pCVOogjt2NUYXaK5ywwA8NzxiSQ9imf_-_SiLYG)
- [2] ETSI. Network Functions Virtualisation (NFV) Architectural Framework. [EB/OL]. [2014-12-21][2017-01-22]. [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV/001\\_099/002/01.02.01\\_60/gs\\_NFV002v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.02.01_60/gs_NFV002v010201p.pdf)
- [3] ONF. OpenFlow Switch Specification[EB/OL]. [2014-03-27][2017-02-24]. <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/onf-specifications/openflow/openflow-switch-v1.3.4.pdf>
- [4] OpenDaylight. OpenDaylight性能测试白皮书[EB/OL]. [2016-05-20][2017-01-23]. [https://www.opendaylight.org/sites/www.opendaylight.org/files/odl\\_performancetechnicalreport\\_1-1\\_052716.pdf](https://www.opendaylight.org/sites/www.opendaylight.org/files/odl_performancetechnicalreport_1-1_052716.pdf)
- [5] ONOS. ONOS性能测试白皮书[EB/OL]. [2015-04-12][2017-01-19]. <https://wiki.onosproject.org/display/ONOS/Blackbird+Performance+Evaluation>

### 作者简介



穆域博, 中国信息通信研究院技术与标准研究所工程师; 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5篇学术论文。



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



徐晓麟, 中国信息通信研究院技术与标准研究所工程师; 现主要从事互联网领域相关科研、咨询、测试工作, 主要研究方向为云计算、大数据、物联网等; 发表SCI论文5篇。

# 构建网络创新试验环境的探索

## Constructing the Experimental Environment for Network Innovation

毕军/BI Jun

胡虹雨/HU Hongyu

王旻旻/WANG Yangyang

(清华大学网络科学与网络空间研究院, 北京 100084)

(Institute for Network Sciences and Cyberspace, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

随着社会的发展,互联网作为通信基础设施之一在经济文化发展起到越来越重要的作用。面对实际需求,当前互联网在扩展性、安全性和移动性等方面存在的不足也逐渐显现出来。在未来网络体系结构创新方面,引发了学术界和产业界的研究热潮<sup>[1]</sup>。然而新型网络体系结构难以在现有网络上部署,缺乏包容多重创新网络结构的真实试验环境。为此,由清华大学牵头的国家“863”课题“未来网络体系结构创新环境”围绕构建网络创新试验环境方面在中国首次开展了实践,课题提出了未来网络创新环境体系结构——FINE<sup>[2]</sup>。FINE结构在网络功能虚拟化、软件定义网技术等方面,实现虚拟网动态建设、网络资源隔离、跨域网络可编程,提供了支持异构未来网络创新所需基础环境,并且在数据平面提出了带状态的转发抽象带状态转发抽象(SFA)等8种新型的转发抽象技术及其原型系统,在控制平面提出了WE-Bridge协作式域间软件定义网络

收稿日期: 2017-01-25  
网络出版日期: 2017-03-07

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0033-004

**摘要:** 介绍了构建网络创新试验环境方面的一些实践。认为在中国试验网方面,主要采用稳定性与先进性相结合的技术路线:在主干网,基于虚拟可扩展局域网(VxLAN)灵活构建虚拟网络,为用户提供网络资源;在边缘的试验站点,提供虚拟机和可编程设备等丰富的试验资源。在国际试验网方面,则主要采用域间分布式协作与域内集中式管控相结合的技术路线,基于所提出的WE-Bridge域间软件定义网络(SDN)机制为用户提供跨域试验网和可编程资源。

**关键词:** 试验网; VxLAN; 域间SDN

**Abstract:** In this paper, the practice on experimental environment for network innovation is introduced. For the internal testbed, the technical route which combines the stability with advancement is adopted: virtual networks based on virtual extensible local area network (VxLAN) in the backbone can be flexibly constructed, which can provide network resources to the users; rich test resources including virtual machines and programmable devices can be provided on the edge of this testbed. For the international testbed, the technical route which combines the inter-domain distributed cooperation with centralized management and control is adopted, and cross-domain experimental networks and programmable resources can be provided through the soft defined network (SDN) WE-Bridge mechanism.

**Keywords:** testbed; VxLAN; inter-domain SDN

(SDN)、混合层次式多控制器、网络资源和控制规则调度等一些新型的机制。

基于上述新型网络设备和软件系统,该课题依托清华大学、北京大学、北京邮电大学等高校,中科院计算所、工信部电信研究院等科研院所,中国电信和中国移动等运营商研究院,建成了17个节点的网络创新中国国内试验平台;依托亚美欧学术网络合作建成了首个跨国域间网络试验平台。基于上述试验平台,开展了10余项新型网络体系结构或IP新协议的研究和试验,展示了该网络创新环境试验平台的技术优势。上述实践对构架网络创新试验平台有一

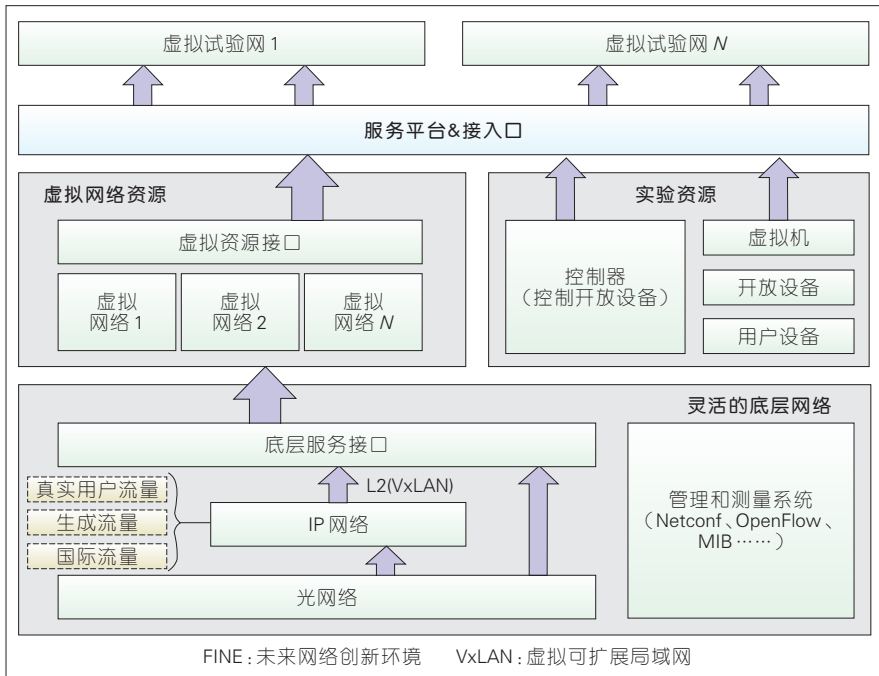
定探索意义。

## 1 FINE 中国试验网

### 1.1 试验网架构及虚拟网络构建

FINE中国试验网的总体结构如图1所示,该试验网采用成熟性与先进性相结合的技术路线。

在试验网主干网方面,核心目标是为试验用户提供稳定可靠、多样可选择的网络连接拓扑。为此,我们采用了先进的虚拟可扩展局域网(VxLAN)技术,用户通过试验网络虚拟化平台,基于Netconf配置试验拓扑所涉及的节点的网络设备,来灵活构建虚拟试验网。VxLAN被封装于用



▲图1 FINE 中国试验网总体结构

户数据报协议(UDP)报文中,易于增量部署,存活性强。理论上可以支持 $2^{24}$ 个虚拟网络的建立,具有很好的扩展性。此外,试验用户可通过试验网络虚拟化平台提出虚拟网的服务质量需求,基于实时测量的延迟、丢包、抖动等数据,试验平台可以在虚拟网创建时用户选择符合服务质量需求的VxLAN隧道,并在试验过程中根据实时测量结果,调度新的符合要求的VxLAN隧道。

在边缘网络方面,核心目标是为试验者提供了丰富的试验资源。每个节点下联的试验站点内,不仅涵盖了虚拟机和OpenFlow设备,还提供了课题自主研发的SFA、SynFlow等多种数据平面可编程设备,并允许试验者接入自行研发设备。

在17个节点间建立了全连接的VxLAN隧道,这意味着用户所需的17个节点的任意网络拓扑,都可以通过不同的VxLAN隧道组合来实现。节点之间的连接除了使用共享资源的互联网之外,还在清华大学、北京大学、北京邮电大学等节点之间架设了直连光纤。多样的网络链路资源

为试验者带来更多的选择和便利,这样试验者的在平台上创建的网络试验既能够运行在互联网共享资源的真实环境下,又能够运行在高带宽、低延时的光纤环境。

### 1.2 跨站点虚拟网络试验示例

用户可以根据试验需要,选择在位于某一大学的试验站点内试验,或进行跨站点的试验。

图2是单站点内试验的示意。试

验者通过试验资源虚拟化平台的在相应站点内服务器内申请虚拟机资源,来运行虚拟主机和虚拟交换机,并建立虚拟交换机之间的三角形拓扑,完成试验网络构建。

图3是多站点试验的示意。对于需要通过真实网络环境的网络试验,需要利用多站点间的协同工作。我们仍以组建三角网络为例,在该场景下用户自研设备构建单播的三角形网络。为了贯穿互联网,本地站点的虚拟局域网(VLAN)映射到主干网的VxLAN。通过VxLAN ID的隔离, FINE平台可以支持多个跨站点的网络试验同时运行。如图所示,除了支持VxLAN 1000、2000、3000组成的三角形网络试验,还支持了VxLAN 4000组成的网络试验。用户除了使用自研设备,也可以使用站点服务器所提供的虚拟机进行试验。

## 2 FINE 国际跨域试验网

### 2.1 跨域试验网协作机制 WE-Bridge

在国际试验网方面,为了扩展跨域试验网,我们采用域间分布式协作与域内集中管控相结合的技术路线,提出了一种软件定义网络的东西向接口——WE-Bridge<sup>[1]</sup>来解决异构的控制器在域间SDN网络的合作,其原理如图4所示。对于多个SDN管理

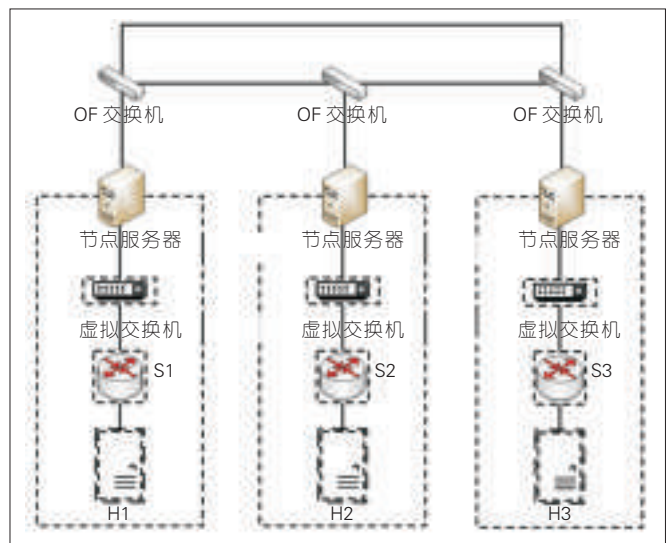


图2▶ 单站点内三角拓扑网络试验



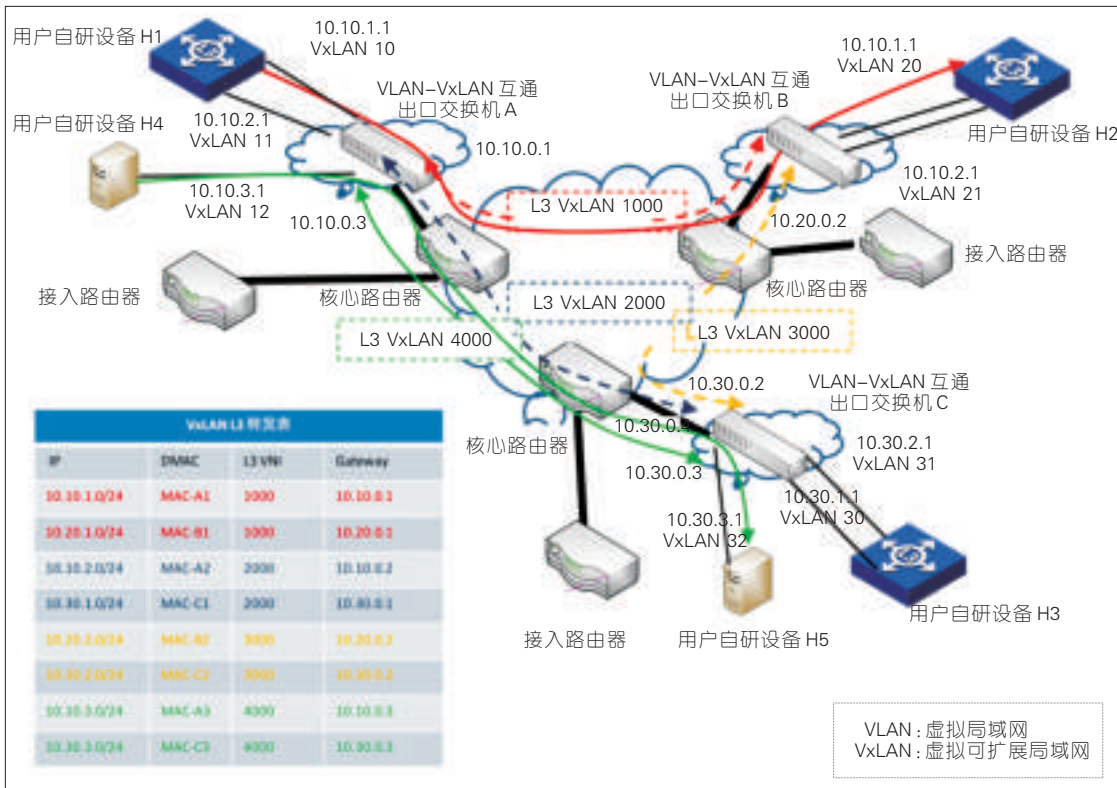


图3 多站点试验示例

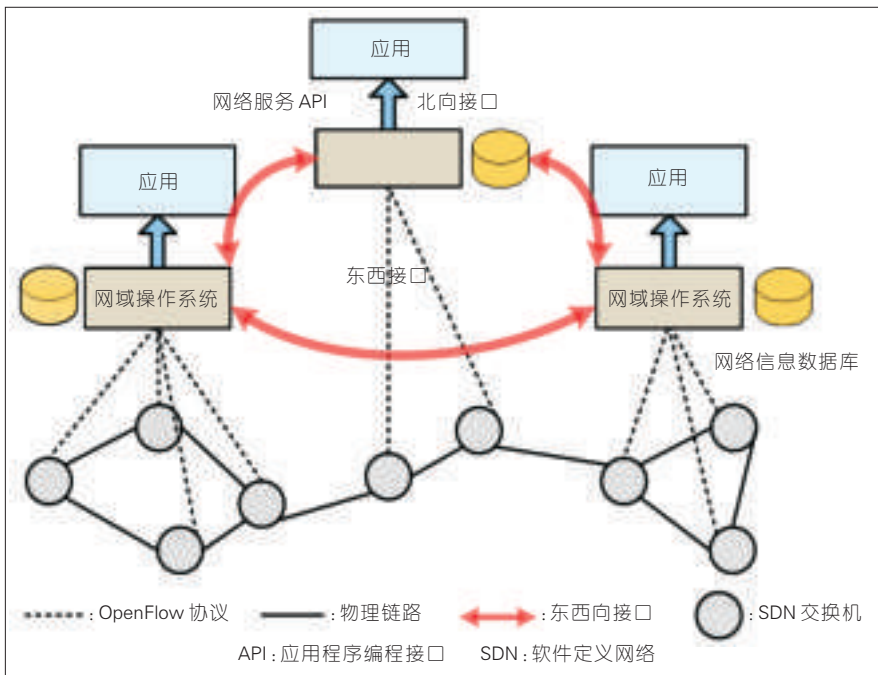


图4 跨域协作机制 WE-Bridge

域, WE-Bridge 是一个高性能的网络视图交换机制,它可以兼容不同控制器和网络视图信息存储系统。WE-Bridge 通过将物理网络抽象为不同粒

度层次的虚拟网络视图以及交换简化的虚拟网络视图信息来构建全局网络视图。建立对等会话的两个管控域的控制面之间通过 JSON 格式交

换网络视图信息,实现跨域的可编程性。WE-Bridge 机制主要包括网络视图信息的定义、网络视图的信息存储格式和传输格式,以及一个高性能的网络视图交换机制。

我们建设了横亚、美、欧 3 地的域间 SDN 试验网,主要由 6 个 SDN 试验网组成:清华大学 CERNET SDN 试验网、北京邮电大学 SDN 实验网、中科院 CSTNET SDN 试验网、美国 Internet2 SDN 试验网、欧洲 SURFNET SDN 试验网、日本 APAN-JP/JGN-X SDN 试验网组成。对于不在同一地域的 SDN 试验网,试验网边界设备之间采用 3 层 GRE 隧道的方式进行连接,另外清华与美国 Internet2 之间、清华与北京邮电大学之间建立了光纤 VLAN 通道。每个 SDN 试验网部署有 1 个控制器。每个控制器部署由清华大学所开发的跨控制器平台的 SDN 域间通信协议 WE-Bridge。

### 2.2 细粒度多路径路由试验示例

当今的互联网使用边界网关协

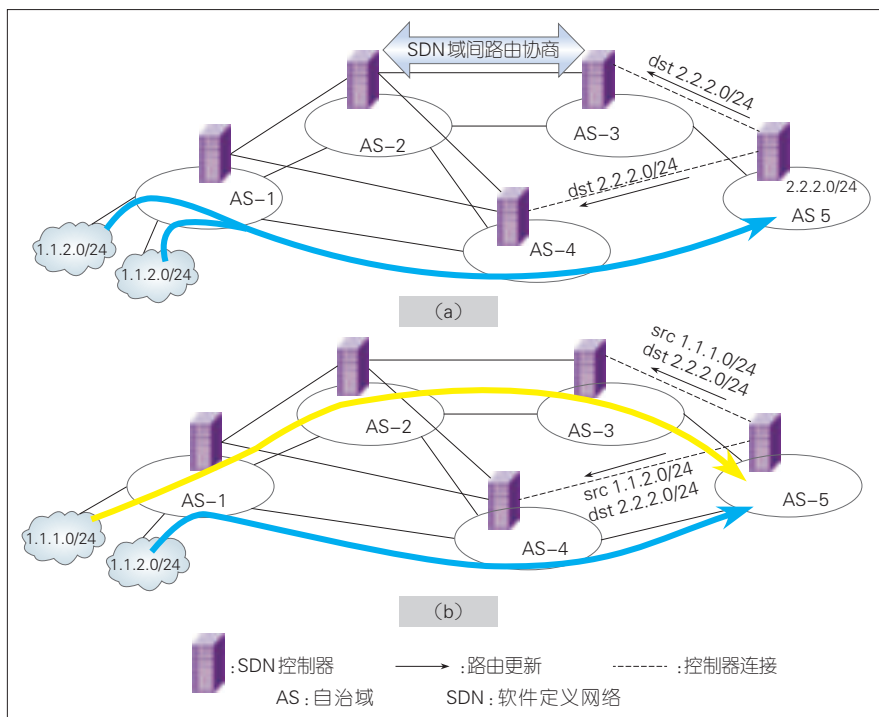
议(BGP)作为域间路由的标准协议,虽然BGP协议在通过国际互联网工程任务组(IETF)的推动下不断更新,但当前域间路由受到BGP基于目的IP地址前缀的限制,对同一个目的IP地址前缀,BGP只能选择唯一域间路径,无法灵活使用域间的多路径。互联网的发展会产生更多的流量对灵活路由策略的需求,诸如不同用户到某个特定网络前缀,选择多条不同的域间路径路由,以便满足通信服务质量和安全的要求。这些需求在当前的BGP路由上难以实现。

SDN可以提供IP流级别(包括源IP地址、目的IP地址、源端口、目的端口和应用协议号IP五元组)细粒度的细粒度转发控制。我们设计了SDN域间细粒度多路径路由机制试验方案,在相邻SDN自治域使用WE-Bridge交换网络视图的基础上,每个SDN自治域获得全局网络视图,计算更细粒度的策略表达,与相邻自治域协商基于特定源和目的IP前缀、协议端口等多字段的路由策略,实现比传统BGP路由更灵活的域间细粒度路由。

我们用一个例子说明细粒度多路径路由实现不同的源网络到达相同的目的网络,采用不同的路由路径。如图5(a)所示,BGP路由下,从自治域(AS)1自治域下联的两个不同网络到达AS 5网络,采用相同的路径;而SDN域间细粒度路由机制使用WE-Bridge东西协同接口,传播基于IP五元组路由信息,在自治域间构建不同的路由路径,如图5(b)所示,从AS 1自治域下联的两个不同网络,采用两条不同的路径达到AS 5目的网络。

### 3 结束语

文章中,我们介绍了构建网络创新试验平台的研究工作,在虚拟网络动态构建、网络资源隔离、跨域网络协作等方面提出重要创新。该试验平台提供的环境可以支持多种不同



▲ 图5 域间细粒度路由的试验

新型网络体系结构同时开展试验,为未来网络体系结构的探索创新提供了支撑平台,也为构建中国的未来网络基础设施建设奠定技术基础。该试验平台的建设也存在许多技术挑战,比如:在容纳更多的网络试验同时,兼顾各个网络试验对网络资源使用的效率和公平性;如何提高平台在控制平面和数据平面的扩展性,提高对网络试验支持的规模和范围。随着信息中心网络(ICN)、5G等新型网络技术应用和发展,构建能够兼容异构网络创新,达到多种网络结构共存发展的未来网络生态环境,在理论和实践上值得深入探索。

#### 参考文献

- [1] PAN J, PAUL S, JAIN R. A Survey of the Research on Future Internet Architectures [J]. IEEE Communications Magazine, 2011, 49(7):26-36
- [2] BI J. FINE: Future Internet iNnovation Environment [J]. China Communications (IEEE), 2015, 12(1): 146-147

- [3] LIN P P, BI J, WOLFF S, et al. A West-East Bridge Based SDN Inter-Domain Testbed [J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(2): 190-197

#### 作者简介



**毕军**,清华大学网络科学与网络空间研究院网络体系结构研究室主任、教授、博导,国家“863”项目“未来网络体系结构和创新环境”首席专家;长期从事网络体系结构领域的研究;多次获得科研奖励;发表SCI论文60余篇,EI论文200余篇。



**胡虹雨**,清华大学网络科学与网络空间研究院网络体系结构研究室工程师;主要从事网络体系结构领域的研究;发表SCI论文多篇,EI论文近20篇。



**王阳**,清华大学网络科学与网络空间研究院网络体系结构研究室博士后;主要研究方向为互联网体系结构、软件定义网络、网络测量;多次获学术会议优秀论文奖;发表SCI和EI论文20余篇。

# 运营商开源策略研究

## Open Source Strategy of Operators

王峰/WANG Feng  
赵慧玲/ZHAO Huiling  
杨明川/YANG Mingchuan

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

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0037-004

**摘要:** “开放化”和“软件化”是运营商网络重构的重要目标, 开源软件技术是运营商网络重构的重要技术手段。认为当前运营商领域的开源技术体系正在日益完善中, 但是在软件能力、知识产权、社区运营等方面仍存在一定风险。运营商需要将开源技术的引入提升到企业战略的高度, 强化开源管理的重点举措, 弥补在网络发展和业务创新中的软件短板, 并遵循完善软件研发模式, 深度参与社区建设, 实现重点领域突破的工作步骤, 有序推进开源技术在现网的规模引入。

**关键词:** 运营商; 开源软件; 网络重构; 管理策略

**Abstract:** Open and software are significant characteristics of operator network in the future, and open source software is playing a very important role in operators' network reconstruction. Currently, although operator-oriented open source software system has made great progress, there are still some risks in software capability, intellectual property rights, community operation and so on. Operators need to promote the introduction of open source technology to a high degree of corporate strategy, strengthen the key measures to make up for the short board in the network development and business innovation. By following the steps of improving software research and development approach, deeply participating in open source community building, achieving breakthroughs in key open source areas, operators will achieve the benefits from large-scale application of open source software.

**Keywords:** operator; open source software; network reconstruction; management strategy

开源软件是一种源代码可以被任意获取的计算机软件, 这种软件的版权持有人可在许可证协议规定下保留部分权利, 进而允许软件被任何人用于任何目的的学习、修改和发布<sup>[1]</sup>。开源软件有助于降低软件研发的进入门槛和采购成本, 缩短开发周期, 提升软件代码生产率, 是推动互联网产业飞速发展的重要动力。

网络的“软件化”和“开放化”是当前运营商网络重构的主旋律。在这一背景下, 开源软件日益获得运营商的关注。传统的运营商网络发展模式具有建设周期长、业务创新受厂商设备限制等问题, 网络一旦部署即相对“固化”, 因此亟需借助软件技术支持网络架构和能力的灵活调整, 以适应瞬息万变的互联网时代发展需求。同时, 互联网应用服务(OTT)业务的蓬勃发展使得运营商面临被全面管道化的风险, 运营商为了在降低成本的同时拓展新的业务领域和价值, 实现与互联网厂商的平等对弈, 就必须掌握与之相同的工具和武

器, 开源软件技术无疑是其中非常重要一个方面。借助开源的力量, 运营商有望克服现有网络中存在的大量私有、封闭的接口和协议导致的难题, 推动软件系统之间的接口开放化和协议通用化, 实现网络资源和能力的更大程度的开放。

当前, 主流运营商都将基于开源技术打造自身的软件领域核心竞争力作为工作重点, 并取得了一定成效, 例如: AT&T 计划将现有开源软件所占比例从 5% 提升到 50%, 包括基于开源 OpenStack 技术着手建立 AT&T Integrated Cloud 平台等<sup>[2]</sup>。中国的三大运营商也同时在开源领域发

力, 例如: 中国移动联合 Linux 基金会发起 OPEN-O 编排器项目, 主导发起业界首个基于容器的开源网络功能虚拟化(NFV)项目 OpenRetriever 等; 中国联通和 ON.Lab (开放网络实验室) 共同推进开放网络操作系统(ONOS)控制器、端局数据中心化(CORD)项目等; 中国电信在其 CTNet 2025 网络架构白皮书<sup>[3]</sup>中, 明确提出在网络重构过程中将优选开源软件技术, 实现研发运营一体化, 并已经在主流开源社区建立了重要影响力, 例如成功入选 OpenStack 开源社区的黄金会员。

在业界的推动下, 开源也得到了

收稿日期: 2017-01-20

网络出版日期: 2017-03-06

基金项目: 国家高技术研究发展(“863”)计划(2015AA016106)



众多标准化组织特别是以实现“互操作”为目标的通信网络标准化领域的重视。这主要是因为受到各方利益限制,传统的标准制订过程过于冗长,并且最终的标准文本通常是仅能满足基本互连互通需求的最小子集;而开源软件可以以事实标准的身份出现,其开放性能够加速标准的制订和验证,并能避免读者在标准文字描述上的理解差异。其中,最典型的是软件定义网络(SDN)领域最具影响力的标准化组织开放网络基金会(ONF),它不但率先提出“from pdf to python”标准化工作策略,而且还通过和ON.Lab的整合,全面推进文本标准和开源代码的协同制订和发布<sup>[4]</sup>。

## 1 开源软件技术体系

开源软件能够有效地满足软件研发在高效率、低成本等方面的需求,并已经渗透到各行各业的方方面面,乃至很多新兴技术从诞生伊始就和开源项目紧密绑定。对于运营商而言,需要更多关注在网络、数据中心、业务平台、IT系统以及终端等领域的开源技术发展,建立和完善相应的技术体系,为开源技术的选型、整合、应用和优化提供基础。

### 1.1 网络领域开源技术

网络是运营商赖以生存的根基,开源软件的理念主导了当前网络走向开放化、软件化的趋势,主要体现在利用SDN、NFV等技术的网络演进和改造。

(1)在SDN领域,开源软件主要体现在控制器层(OpenDaylight、ONOS等开源SDN控制器)和应用层(OpenStack作为应用驱动SDN资源);同时,在网络转发设备层,开源的虚拟网络设备(Open vSwitch)和以“X86处理器+Linux操作系统”为基础的白牌交换机等也日益获得关注。

(2)在NFV领域,网络功能将以基于X86服务器虚拟化的方式承载,因此开源的虚拟化平台(基于内核的

虚拟机(KVM)、Docker)及其管理平台(OpenStack、Kubernetes)成为主流;同时,为了弥补X86服务器在网络处理上的不足,以开源的数据平面开发工具(DPDK)技术为代表的网络数据包处理加速技术发挥了巨大的作用。

(3)运营商越来越关注编排层在网络的架构演进、资源协同和业务创新中的重要作用,因此以OpenMANO代表的开源编排器项目是当前网络开源领域的热点。

### 1.2 数据中心领域开源技术

数据中心是运营商的重要资产,也是运营商打造创新业务的基础,其开源引入的重点在于以云计算、大数据为代表的互联网技术。

(1)在云计算方面,从底层基础设施的各类开源虚拟化技术(KVM计算虚拟化技术、Ceph存储虚拟化技术、MidoNet网络虚拟化技术)及其开源的资源管理平台(OpenStack),到中间的平台层开源软件技术(CloudFoundry),再到上层将各种各样的开源应用软件作为软件即服务(SaaS),开源软件已经实现了全堆栈覆盖。另外,以Docker为代表的容器技术是当前云计算领域关注的焦点,它能够在基础设施即服务(IaaS)层面支持更便捷的资源按需供给,并作为平台即服务(PaaS)平台为“微服务化”应用创新提供支持。

(2)在大数据方面,Hadoop开源平台一度被视作大数据处理技术的事实标准,而在后续演进中的实时计算框架(例如Spark)、流处理计算框架(例如Storm)、图计算框架(例如Neo4j),乃至被称作Hadoop 2.0的先进大数据计算框架都是来自开源社区。当前,在海量数据分析和应用的前沿,也有大量的开源项目推动技术发展,例如:深度学习领域的TensorFlow、Caffe、Deepnet等。

### 1.3 业务平台及IT系统领域开源技术

业务平台及IT系统是运营商较

早引入开源的领域,主要体现在以Linux+Apache+MySQL+PHP为典型代表的开源软件体系,以及在软件系统开发中引入的各种开源软件框架(Struct、Spring、Hibernate)。同时,在处理业务数据时,为了提升系统的安全性、可靠性和扩展性,业务平台通常还会引入开源的防火墙(iptables)、负载均衡(LVS、Nginx)、系统监测控制(Zabbix)等软件设备。当前,随着业务访问量和数据处理量的激增,越来越多的开源分布式处理技术成为业务平台的必需,例如Redis分布式缓存、MongoDB分布式数据库、Swift分布式对象存储以及用于分布式应用系统协调的Zookeeper等。

### 1.4 终端领域开源技术

终端领域中的开源技术最典型的就是Android系统,它借助开源的力量,构成完备的生态体系,从而一举战胜了闭源的iOS系统,占据了移动终端市场的广阔市场,并将在后续继续成为该领域的霸主。同时,以OpenWRT为代表的开源嵌入式系统,在家庭网关等领域也被广泛应用。当前,物联网是终端领域的热点,这同样也体现在开源项目的竞争上,例如:Google发布的物联网底层操作系统Brillo等。

## 2 开源管理重点举措

商业购买和自主研发一度是运营商软件体系中最主要的研发途径;但是如果单纯依赖商业软件,其特有的封闭性将使得运营商可能被软件厂商“绑架”,从而丧失议价权,造成采购成本的提升。同时,如果商业软件中植入有恶意代码,也很难被侦测。然而,如果运营商采用完全自主研发,虽然能够在业务适配度、代码掌控力、软件安全性等方面获得较高保证,但是其弊端在于代码研发过程中的质量风险以及相关软件研发队伍的低利用率等问题。

开源软件的兴起为运营商的软

件研发提供了新的模式,主要体现在其开放的特性足以消除用户对采用封闭商业软件的顾虑;其架构和实现在开源社区的群力打造下不断完善,有助于缓解独力研发的压力。需要引起注意的是开源软件在其带来便利优势的同时也存在着不可小觑的风险,需要使用者在管理上建立更加全面细致的举措。

### 2.1 开源软件风险分析

开源软件的首要风险来自于软件能力方面。开源软件依托相对松散的社区提供代码维护和支持,因此在质量保障、运行稳定性等方面容易出现问题,例如:项目进度难以得到保障乃至出现项目中止的情况。同时,开源软件缺少对运维的完备支持,需要用户自行部署和维护,导致较高的运营成本(OPEX)。特别是对于软件研发能力相对较弱的运营商而言,在面对部分开源软件代码质量差,软件升级易导致版本不兼容,软件代码大量冗余,性能和稳定性无法满足业务需求等问题时,需要耗费大量的人力物力,从而削减了开源引入的优势。因此,运营商在选取开源软件时,需要充分借鉴业界已有的最佳实践,选用合适的软件版本,并随时跟踪社区进展,检测新版本后向兼容性,同时根据需求重构开源软件关键环节,在掌控代码细节的同时定制开发,满足业务实际需求<sup>[9]</sup>。

开源软件的另一个风险来自于知识产权。虽然开源软件源代码的公开性使得使用者可以非常容易获得软件,但是它和闭源商业软件一样,也是受到著作权保护的作品。其中,许可证制度就是开源软件在其自身发展过程中形成的知识产权管理方法。不同许可证在开源约束的严格程度上有所差别,更加宽松的开源许可证要求将更加适合于商业应用。因此,运营商应培育熟知开源知识产权保护法律的人才,建立开源软件的引入应用的管理审核机制,在应

用开源软件前务必熟知其许可证授权模式,进而通过积极参与各类型开源社区的运作,广泛了解开源应用案例,对开源知识产权的纠纷进行剖析和熟知,避免陷入产权风险<sup>[6]</sup>。

最后,开源社区的建立和开源软件的研发在当前受到了越来越多的商业利益的驱动,最典型的体现是众多巨头加入并主导社区工作。为了确保自身利益不受侵害,并增强产业影响力,运营商的软件研发团队必须能够深度掌控开源代码实现,以确保软件代码的质量,并积极参与社区建设。另外,必须承认的是凭借多年的研发和市场经验,商业软件确实在很多场合中具有开源技术不可比拟的优势。

### 2.2 开源管理机制重点举措

开源软件能够有效地弥补运营商在网络发展和业务创新中“软件缺位”的短板,形成一套成熟的基于开源的软件应用和发展机制,涵盖软件架构的设计、软件开发与协作流程、软件部署、软件版权管理、软件运维等各个方面,已经成为运营商发展的必需。其中,运营商开源管理机制的重点举措包括:

(1)将开源软件研发实践提升到企业战略地位。运营商应把参与开源社区的重要性提升到与传统参与标准制订的同等甚至更高地位,一方面有利于将自己的诉求体现到开源软件中,另一方面也有利于培养一支真正深入开源软件核心开发的队伍。

(2)培育企业文化、转变企业生产模式。运营商要应用开源软件,首先必须有浓厚的软件开发氛围、有相应的软件研发流程支撑、有很好的软件工程师激励手段以及软件工程师培育计划。

(3)培养开源软件架构师。核心开源软件都有庞大社区协作研发、市场运作、合作推广模式,开源软件的引入绝不仅是利用开源软件代码,而是要培育既熟悉核心技术又熟悉开

源运作的架构师队伍,能够基于需求和现状对开源技术进行正确选择,并充分借助社区力量与与生态系统协作,带领团队开展基于开源软件的研发和集成。

(4)培养开源软件研发人才队伍。开源软件的引入和应用并非不需要自身具备强大的软件研发能力,相反开源软件只是促进自主研发的重要手段,运营商应转变传统模式,坚持自主研发,培养一支强大的软件研发团队,能够将开源软件真正应用到企业的业务场景中,并且结合现网应用进行迭代开发和持续优化。

(5)发扬开源精神。积极在已有开源软件的基础上进行创新、扩展和优化,并且将研发成果回馈到开源社区,提升技术影响力。在开源模式中,企业或个人共享越多,越会得到社区的认可,从而具有越高的地位,乃至主导技术的发展和社区的运作。

通过上述举措的实施,运营商将能更好地掌控开源软件这一“重型武器”,实现更低的软件研发部署成本,更快的业务创新和客户响应速度,更好的人才成长环境以及更优的客户体验保障。

## 3 开源工作建议

开源软件在现网的规划和引入不能一蹴而就,运营商需根据自身的发展需要和能力水平制订切实的实施步骤。总体而言,运营商开源工作的开展主要包括完善软件研发模式、深度参与社区建设、实现重点领域突破等3个阶段。

### 3.1 建立基于开源软件的研发模式

加速开源软件技术的学习、研发和引入过程,运营商必须遵循开源软件技术的特点调整现有软件研发模式。开源软件具有项目起点高,进入门槛低,利用众筹和敏捷开发等特点。与传统的商业软件提供部署和运维服务不同,开源软件需要用户自行完成相关工作,并根据业务需求自



主开展二次开发。虽然开源软件有效地缩减了软件开发周期和采购成本,但是它要求用户建立专业的软件开发团队,并为软件的运行维护支付必要的成本。

基于开源软件的研发模式需要根据业务需求选取最合适的开源项目,充分借鉴开源社区中已有的软件架构和代码实现,进而进行必要的重构,以切实保证开源软件的应用效果,可行的方案包括在软件设计阶段,利用开源软件搭建初始系统进行技术验证与研发评估;在迭代开发阶段,将开源模块集成到软件系统中以缩短研发周期,在全面检查开源代码质量的同时针对业务环境变化重写相关开源代码;在软件提交阶段,注意在完成软件系统交付的同时,将修订后的开源代码提交给社区,并考虑将研发过程中的其他成果陆续回馈社区。

### 3.2 深度参与主流开源社区建设

根据业务发展和应用实践的需要,运营商可在重点领域选取合适的开源社区进行探索,积极参与社区讨论和贡献开源代码,逐步熟悉社区运作经验并建立社区影响力,进而为更广泛领域的开源软件技术引入积累经验。

以中国电信自主研发的“蓝存”分布式对象存储为例<sup>[7]</sup>,它是以开源的Ceph为核心的分布式对象存储产品。与其他相关的开源技术相比,Ceph在技术成熟度方面具有优势,能够满足海量、高并发的数据访问需求。在研发过程中,蓝存团队发现开源社区提供的Ceph软件在支持规模运营方面存在不足,从而自主研发了资源管控门户、用户存取权限控制、文件接口协同高可用等关键技术,并积极和社区沟通,尝试将相关的代码回馈给开源社区。同时,蓝存存在研发中涉及到了Ceph核心系统与Zabbix、Keepalived等开源技术的整合,相关的经验也陆续贡献给社区,这些都是

深度参与社区建设的必要活动。

### 3.3 在重点开源领域实现突破

开源软件通过建立“事实标准”的方式正在迅速取代传统的书面标准的地位,因此以建立开源社区的方式树立产业地位,已经成为业界的共识。当前,“软件定义一切”已经成为主流,软件将在各个方面发挥其前所未有的作用,其中必将会涉及运营商能够占据主导的领域。因此,运营商需要把握这一机会,巩固既有优势,引导产业发展。

运营商在网络领域拥有旁人无法比拟的优势,而围绕这一核心开展开源软件技术研发是必然方向。当前,上层网络创新业务和底层网络基础设置之间的协同是业界共同关注的焦点,它也是运营商为用户提供支持“随选网络”等创新业务的NaaS的重要掌控点,因此与该方向相关的网络编排器、云管理平台、网络控制器等开源项目,都需要运营商的主导和参与。运营商已经在相关项目上发挥了重要的引领作用,例如制订NaaS服务需求、设计SDN控制器北向接口等等,如果后续将相关成果整合到相应的开源软件项目中,将更有助于强化运营商在网络产业中的主导地位,并将影响力扩展到其他开源社区中。

## 4 结束语

开源软件技术的研发和实践是运营商网络重构的重要手段。通过全面深入的调研和评测,运营商可以从主流的开源技术体系中合理选取开源技术方案,并结合自身需求开展以开源为核心的自主研发,加快软件系统的上线和优化,增强核心技术掌控,建立产业影响力。

但是,开源软件技术的深入学习、全面掌握和顺利应用绝非一日之功。当前,运营商应该抓住开源软件的发展机遇,从技术研究、产品开发、运营模式、人才培养、企业文化等多方面进行变革,充分利用开源软件的

既有优势,才能“站在巨人的肩膀上”,取得更长足的进展。

### 参考文献

- [1] Open-source software [EB/OL]. [2017-01-18] [2017-03-06]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source\\_software](https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source_software)
- [2] AT&T Wants 50% of Its Software to Be Open Source [EB/OL]. [2016-01-05] [2017-01-20]. <https://www.sdxcentral.com/articles/news/att-wants-50-of-its-software-to-be-open-source/2016/01>
- [3] 中国电信集团公司. CTNet 2025 网络架构白皮书 [R/OL]. [2016-07-11] [2017-01-12]. <http://www.chinatelecom.com.cn/news/06/bps/>
- [4] Open Networking Foundation. ONF Review [EB/OL]. [2016-12] [2017-01-11]. <https://www.opennetworking.org/about/onf-overview>
- [5] 赵慧玲. 网络重构及其挑战[C]//2016 全球网络技术大会(GNTC), 2016
- [6] 开源中国社区. 如何为你的开源项目选择一个合适的开源协议 [EB/OL]. [2016-07-07] [2017-01-03]. <https://www.oschina.net/news/74999/how-to-choose-a-license>
- [7] 中国电信云计算实验室. 蓝存分布式对象存储 [EB/OL]. [2017-01-22] [2017-01-20]. <http://cloudlab.ctbri.com.cn/>

### 作者简介



王峰, 中国电信股份有限公司北京研究院教授级高级工程师; 主要从事云计算、软件定义领域的关键技术和创新产品的研发工作; 发表论文20余篇。



赵慧玲, 中国通信学会常务理事, 中国通信学会信息网络技术专业委员会主任委员, 中国通信学会北京通信学会副理事长, 中国通信标准协会网络与业务能力技术工作委员会主席, 工信部科技委委员, 中国电信科技委常委兼核心网组负责人, 国际标准组织MEF顾问董事, SDN、NFV产业联盟技术委员会副主任; 长期从事电信网络领域技术和标准工作; 曾获多个国家及省部级科技进步奖项; 发表技术文章100余篇, 技术专著12部。



杨明川, 中国电信股份有限公司北京研究院副总工程师, 云计算与大数据产品线总监; 参与多项国家重大专项研究, 获得多项省部级科技奖, 入选国家“863”计划专家库。



## 本期专家论坛 栏目策划人



### 续合元

中国信息通信研究院技术与标准研究所总工程师,教授级高级工程师,曾任国际电信联盟-电信部门 (ITU-T)物联网全球标准化行动的技术策略协调人、M2M 焦点组主席,现任 ITU-T 第 13 研究组 (SG13) 的副主席、中国通信标准化协会 (CCSA) 泛在网技术委员会 (TC10) 主席,担任电信研究院的硕士研究生指导教师;长期从事电信网络与交换方面的研究和标准制订工作,对于信令和网络协议有深入的研究,目前致力于未来网络、泛在/物联网、车联网、工业互联网的研究。

# 5G 新需求下无线网络 重构的若干思考

## Wireless Network Reconstruction for 5G

冯建元/FENG Jianyuan, 冯志勇/FENG Zhiyong, 张奇勋/ZHANG Qixun

(北京邮电大学, 北京 100876)

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

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0041-004

**摘要:** 认为无线网络重构技术是满足日益增长的数据业务需求的关键,虚拟化是实现无线网络重构的有效手段。通过无线网络架构的逻辑抽象和资源的池化虚拟,能够满足 5G 多种类型业务广泛连接的需求,并提供超高性能的数据传输体验。此外,还指出了无线网络虚拟化面临的挑战,认为未来的无线虚拟化网络将与大数据、人工智能等技术相融合,变得更加智能、灵活和高效。

**关键词:** 5G; 无线网络虚拟化; 架构

**Abstract:** In this paper, we propose that wireless network reconstruction is the key to meet the growing demand of data service, and virtualization is an effective means of realizing wireless network reconstruction. Based on the abstract logical network architecture and the pooled virtual resources, diverse data services of 5G and super high performance of wireless data transmission can be realized. Moreover, the challenges of virtualization wireless network are pointed out, and it is believed that wireless network virtualization will be more intelligent, more flexible, and more efficient by the fusion of big data and artificial intelligence.

**Key words:** 5G; wireless network virtualization; architecture

### 1 虚拟化实现 5G 无线网络的重构

无线通信的飞速发展正在深刻改变社会生产和生活方式。推动无线通信技术发展可以抢占新一轮科技革命和产业变革制高点,重塑全球竞争力优势。在这种需求背景下,5G 的研发和演进成为了重中之重,

然而发展无线通信技术面临着许多新数据业务形势下的艰巨挑战。

首先,移动数据量仍然急速增长。无线网络提供了诸如多媒体数据服务、电子商务、电子政务、物联网等种类丰富的无线数据业务,一方面满足了公众多样的数据需求,另一方面其带来的数据量的压力也是巨大的。根据国际电信联盟报告及工信部统计数据等资料预计,同 2010 年相比,2030 年全球移动数据流量(仅移动业务数据)将增长近 2 万倍,而中

收稿日期: 2017-03-02

网络出版日期: 2017-03-02

国的移动数据流量增速高于平均水平,其增长将高达4.2万倍<sup>[1]</sup>。如何保障如此庞大的需求将会是严峻挑战。

第二,移动终端数量将迅猛增长。5G网络的目标之一是实现万物互联的物联网,这不仅将移动通信设备,也将工业设备、家具电器等电子终端融入了无线网络,网络中的设备数量将成倍增长。根据思科等的资料预测:到2020年,全球联网移动设备数量将达到250亿,并继续加速增长;物联网连接数到2020年达到72亿,2030年将接近1000亿<sup>[1]</sup>。

第三,数据业务种类多样化,高可靠和低时延要求的数据业务增加。随着移动互联网提供的业务种类多样化,数据业务对网络的需求不再仅仅是传输容量的增加,一些新型的业务类型,如:高速铁路通信、虚拟现实、云协作、车联网等,均要求得到高可靠性和低时延的通信服务。如何在满足传输容量的基础上,满足差异化的数据业务需求,也将是5G面临的巨大挑战。

数据流量的快速增长,业务流量的不均匀分布和数据业务类型多样要求网络具备灵活的链路调配能力和对不同数据业务的适配能力,换言之,网络的重构技术是满足新形势下数据业务需求的关键。然而,要实现网络的重构,技术上还面临严峻挑战。首先,当前无线网络中设备数量庞大且种类多样,对应的无线资源也丰富多样,这些无线资源难以统一调度;第二,现有无线网络中的设备体系是垂直化的,网络缺乏弹性,扩展性不佳;第三,当前无线网络中很多业务服务形式仍然是紧耦合的,不利于网络的重构。

面对这些挑战,解决的关键是如何实现无线资源和网络基础设施的共享调度,建立面向业务服务的逻辑网络架构。无线网络虚拟化给出了解决的办法,通过网络的虚拟化、软件化,使网络可以在通用的平台上进行重构,具有良好的扩展性;同时,无

线网络虚拟化将无线网络中多种多样的无线资源进行池化和划分,可以以构件的形式对不同颗粒度的无线网络资源进行剪裁和组合,实现了网络中多种资源的统一灵活调度;此外,无线网络虚拟化对网络功能的抽象也为网络业务的解耦合,进而实现网络的重构提供了解决方案。

无线虚拟化网络能够打破网络间的壁垒,使资源利用更有效率,网络管控更加灵活,网络的可重构性使网络升级更加便捷,成本更低,在保障用户体验的同时,降低运营商的投资成本和运行成本。因此,虚拟化是实现无线网络重构,满足5G新形势下业务需求的有效手段。

## 2 无线网络虚拟化的内涵与挑战

无线网络虚拟化,就是借用有线网络中软件定义网络(SDN)和网络功能虚拟化(NFV)的思想,将无线资源如频率、时间、编码、功率等虚拟为一个统一的资源池,对资源池的无线资源进行按需整合,从而使不同类型、不同需求的无线数据业务形成各自针对性的逻辑网络,这种逻辑功能上的网络相对于传统物理上的网络,是虚拟化和相互独立的。根据国际电信联盟电信标准局的定义,无线网络虚拟化包含了如下两个关键技术特征<sup>[2]</sup>:

(1)将各种网络资源整合并抽象的能力,例如资源池化和网络切片;

(2)网络间灵活管控的能力,例如:控制与业务平面安全隔离等。

无线网络虚拟化技术能够通过整个网络的协作与共享实现网络资源的最优配置。它能够超越网络物理层面的界限,实现整个网络的负载均衡和无缝覆盖。网络资源利用率可以得到提升,同时,灵活的网络管理能够简化网络功能和控制流程,大大降低网络的投资成本和运行成本。

网络虚拟化技术在有线网络领域已应用于虚拟局域网(VLAN)<sup>[3]</sup>、虚

拟专用网络(VPN)<sup>[4]</sup>和主动可编程网络(APN),前两者将网络进行逻辑上的划分,APN则通过网络应用编程接口(NAPI)开放网络的物理资源。2009年,Nick McKeown等人提出了软件定义网络(SDN)<sup>[5-7]</sup>,更是助推了网络虚拟化研究在有线网络的展开。然而,无线网络与有线IP网有着巨大的不同:首先,无线网络具有地理特征的小区概念;第二,无线网络具有IP网络没有的信令;第三,无线资源是多种类多维度的。这些不同造成有线网络虚拟化技术并不能直接应用于无线网络。

无线虚拟化研究的任务和挑战主要分为以下几方面。首先,要设计出能够支持无线资源池化和无线网络重构的无线虚拟化网络架构。当前无线网络架构的静态、封闭,造成无线资源利用率低下,无线网络架构不能灵活重构,无法为用户提供广泛接入,也使得无线网络的升级换代周期漫长,且成本高昂。第二,要实现无线网络的控制与业务分离和无线网络协议的虚拟划分方法。虚拟划分无线网络协议能够实现虚拟逻辑网络的重构;而分离控制平面和业务平面能够有效降低无线网络重构带来的信令开销,提高信道资源的有效传输效率。第三,要研究多域无线资源的虚拟化方法,包括:虚拟资源的动态资源映射、分配以及迁移的方法和机理,对处理资源的基站进行水平共享,动态部署,按需分配。第四,要研究无线融合网络中通信、计算和存储多域资源的认知协同优化技术。无线资源是多维多域的,充分挖掘不同维度资源相互协作的潜力,如:计算换容量、存储换容量,是提升无线通信网络性能的新思路。

## 3 基于无线虚拟化的网络架构演进

无线通信技术发展到4G,传输技术已得到极大地提升,我们通过各种技术已经逼近了香农公式给出的信

道容量极限,如果没有新的开创性理论被发现,那么寄希望于通过传输技术大幅度提高链路传输速率和频谱效率已经非常困难,而网络技术将会是继续提升通信性能的突破点。从1G到4G,通信网络的架构并没有很大改变,然而现有的蜂窝控制的无线网络架构,已经无法满足网络向虚拟化发展的要求,因此,对无线网络架构重新设计,使之能够支撑无线网络虚拟化成为关键。

不同于现有网络以设备单元划分的网络结构,无线虚拟化网络的架构按照功能的不同,划分为3个功能平面:认知平面、虚拟化控制平面、数据平面。我们借助图1对无线虚拟化网络架构的组成和各功能平面间的关系进行说明。

这个架构的新颖之处是在原有无线网络架构中加入了认知平面、控制平面,与数据平面共同存在,各平面可以实现如下所述的功能。

认知平面。网络虚拟化需要实现对资源的灵活管控和共享,这需要捕获网络的状态,包括:业务类型,可用接入网和其位置、无线资源、用户要求等。认知平面可以从核心网和接入网获取网络状态信息,并将所获得的网络中业务类型和可用的无线资源信息提供给控制平面,为控制平

面划分网络切片,实现资源共享提供参考。另一方面,认知平面收集接入网资源和位置的信息,根据业务特征相似度,将相似度高的小区划分为群落,减少控制平面进行资源管理时的复杂度。

虚拟化控制平面。控制平面收到认知平面提供的网络业务状态和接入网信息后,根据可用资源和用户业务将网络资源切片。每个切片是网络资源共享的单位,其构成可能是多种资源,如图1右侧所示。用户分到网络切片,代表着可以使用对应的基础设施和无线资源。例如用户分到的切片由无线局域网(WLAN)和长期演进网络(LTE)资源组成,表示用户可以使用对应WLAN和LTE接入点及其资源来传输数据。

数据平面。数据平面包括了所有的接入网和其无线资源。在异构网络中,它由LTE、3G、WLAN、D2D网络等以及对应无线资源构成。数据平面承载了网络中数据的传输。在无线虚拟化网络中,数据平面的资源,如频谱和基础设施,被控制平面切片并分配给用户。

这3个平面协作实现了无线网络虚拟化。认知平面利用认知无线网络技术,对网络环境进行感知,将网络信息(如业务需求类型、地理位置、

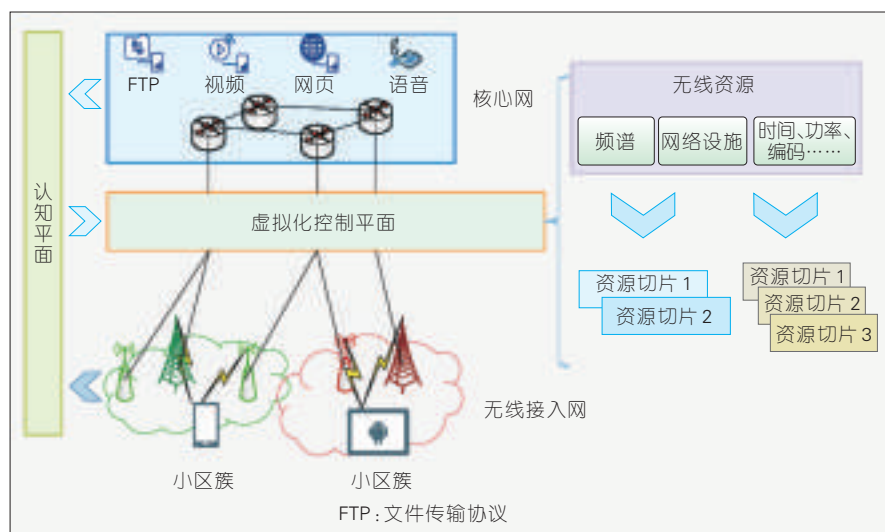
流量大小、用户种类等)反馈给虚拟化控制平面。虚拟化控制平面采用“联邦管控”的集中加分布的方式管理网络,即根据认知平面反馈的网络信息,按照地理位置和业务特征相似度集中地将无线网络设施(如基站、热点)划分为小区簇;而在每一个小区簇里,各种设施的无线资源抽象为一个资源池,再在簇内按照本簇业务特征对簇内资源池的资源进行切片划分,每一个资源切片中包含的无线资源则映射到数据平面对应的物理资源上,在数据平面中传输数据。

需要指出的是对网络设施(如基站和热点)进行分簇,以联邦群落的方式进行管控,能够在相似业务特征的小区内,把资源切片的复杂度大大降低,这使超密集5G异构网络的资源灵活分配成为可能。此外,群落式分布管理也利于无线虚拟化网络简化信令流程。

#### 4 虚拟化中灵活的资源管控技术

无线虚拟化网络为无线网络的重构提供了架构基础,在此之上,如何进行无线资源的灵活管控,关系到虚拟化网络的重构效果。无线虚拟化网络中资源的管控技术包含多流传输技术和授权/非授权频谱的聚合技术。

多流传输技术是指数据业务能通过多条无线链路同时进行上、下行传输。我们回想无线虚拟化架构中控制平面将无线资源切分成资源切片,每一个资源切片中包含两方面资源:一是无线资源,如频谱的分配;二是接入网络,如Wi-Fi接入点和LTE接入点的分配。利用资源切片中的多种资源进行数据传输,是多流技术的主要目的。我们以一个简单的例子进行说明,假设某一用户被分配到的资源切片中包含LTE和WLAN资源,表明该用户可以使用对应的网络资源进行数据传输。根据切片里WiFi资源和LTE资源的比例和计划



▲ 图1 无线虚拟化网络架构



传输的数据业务的特征(如服务质量(QoS)需求、数据大小等),控制器将业务数据按比例拆分成合适大小的数据包并编好序列,分别经由 Wi-Fi 网络和 LTE 网络传输数据。当数据到达终端时,各链路数据包按照包序列重构为原始业务流。

多流传输技术整合了不同的接入网资源,但另一方面,频谱资源也需要我们相应地整合利用。由于现有的频谱分配政策,导致频谱离散化与碎片化现象特别严重,这些频谱碎片带宽窄,无法支撑 5G 超高速率数据传输。因此,将碎片化的零星频谱资源重构为一段虚拟的大带宽频谱有着极为现实的意义,这用到了授权/非授权频段的载波聚合技术。

在 5G 移动通信系统中,需要传输的业务种类十分丰富,如实时控制数据、实时视频数据和高速下载数据等,不同业务的传输性能要求不同,需要将业务与多个离散频段上的时频资源进行聚合,统一调度来提高资源利用效率。授权频谱的载波聚合基于信道质量的反馈,主要涉及终端的成员载波分配与每个成员载波上的时频资源的调度。离散成员载波所处的频段、覆盖范围与负载条件不同,并且不同终端在同一个成员载波上的信道条件差异很大,需要采取有效的调度方法来利用多频段载波差异性、载波对终端的差异性与终端业务间的差异性,为终端分配频谱资源,提升网络对业务的服务质量。可以通过在最小负载(LL)成员载波选择方案中加入用户在成员载波上的信道条件,并利用成员载波上数据缓存的大小来衡量载波负载,以达到充分利用多个成员载波的频率分集特性和实现成员载波间的负载均衡的目的。

非授权频谱的载波聚合则是考虑频谱质量与业务需求匹配性。由于非授权频段存在多个通信系统,需要考虑载波聚合系统在非授权频段与已有通信系统的共存,故非授权频

段的频谱资源对于载波聚合系统并不是持续可用的,也使得载波聚合系统的可用带宽是动态变化的。相比授权频段载波聚合,非授权频段的可用带宽大,传输速率高,适合非实时数据量大的业务传输,如文件下载类业务。但是其接入的不稳定性,无法保证数据包低时延传输。为了定量评估授权频段载波与非授权频段载波接入质量的差异性,可以采用载波聚合系统在各频段上的接入时延作为衡量指标。在授权频段可以持续接入;在非授权频段,可以根据采用的退避机制与频段的占用情况计算出其接入等待时延,同时采用业务数据包所能容忍的等待时延与所需的传输速率来定量评估业务对服务质量的需求。然后进一步可以根据成员载波的带宽与接入时延来计算与不同业务的匹配度,使授权载波尽量传输时延要求高的业务数据包,非授权载波尽量传输时延要求低和总传输数据量高的业务,从而有效地利用授权频段与非授权频段的差异性和用户业务的差异性,提高无线网络的服务质量。

## 5 结束语

面对无线数据业务需求不断扩大、种类日益繁多的新形势,5G 无线网络需要实现虚拟化,以根据不同业务需求灵活管控和重构网络,提高无线资源的使用效率,满足各种业务用户的数据传输体验。无线虚拟化网络从架构上满足了 5G 网络“一个逻辑架构,多种组网”的架构要求,适应了网络演进与变革的趋势,为网络的长期演进提供了支撑。然而,我们也应该看到,随着通信技术迈向 5G,通信的智能化时代也将来临,在无线虚拟化网络基础上,如果将大数据科学、人工智能技术融入到网络的管控中来,网络的虚拟化将更加适应和匹配无线网络多种多样的数据业务需求。可以预见,未来的虚拟化无线网络也将变得更加智能、更加灵活、更

加高效。

### 参考文献

- [1] IMT-2020 需求组阶段报告[R]. 北京: IMT-2020 (5G)需求组, 2014
- [2] International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, Report ITU-T Y.3011: Framework of Network Virtualization for Future Networks [S]. ITU-T, 2012
- [3] ZHANG Z, HUANG X, KEUNE B, et al. Modeling and Simulation of Data Flow for VLAN-Based Communication in Substations [J]. IEEE Systems Journal, 2015, PP(99):1-12. DOI: 10.1109/JSYST.2015.2428058
- [4] ALSHALAN A, PISHARODY S, HUANG D. A Survey of Mobile VPN Technologies[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016, 18(2): 1177-1196. DOI:10.1109/COMST.2015.2496624
- [5] MCKEOWN N, ANDERSON T, BALAKRISHNAN H, et al. Openflow: Enabling Innovation in Campus Networks[J]. Computer Communication Review, 2008, 38 (2):69-74. DOI: 10.1145/1355734.1355746
- [6] SEZER S, SCOTT-HAYWARD S, CHOUHAN P K, et al. Are We Ready for SDN? Implementation Challenges for Software-defined Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(7): 36-43. DOI: 10.1109/MCOM.2013.6553676
- [7] KREUTZ D, RAMOS F M, VERISSIMO P E, et al. Software-defined Networking: A Comprehensive Survey[J]. Proceedings of the IEEE, 2015, 103(1):14-76. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2371999

### 作者简介



冯建元,北京邮电大学信息与通信工程学院博士研究生;主要研究方向为多层异构网络协同优化、异构网络融合和无线虚拟化网络技术。



冯志勇,北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室主任、教授、博士生导师,北斗系统频率组专家;主要研究方向为认知无线网络频谱感知与动态频谱资源管理、异构网络融合及跨层设计、无线网络虚拟化网络架构与关键技术等;曾获国家杰出青年科学基金;已提交国际标准化提案 30 余篇,发表学术论文 100 余篇,出版著作 2 部。



张奇勋,北京邮电大学信息与通信工程学院副教授;主要研究方向为认知无线网络体系架构、异构网络融合、无线网络虚拟化关键技术等。

# 工业互联网——重构网络架构的起点

## Industrial Internet: The Start of Network Architecture Reconstruction

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0045-002

**摘要:** 分析了当前的网络发展趋势和工业互联网业务特性,认为工业互联网不是一个全新的物理网络,而是以互联网、物联网、移动网以及新型专网为基础,经业务驱动构建而成,并通过软件定义网络(SDN)、虚拟化等技术整合网络资源。认为工业互联网扩大了网络范围,催生了新的网络信息节点分布结构,提出了更高的网络业务需求,必将深刻地影响通信网络架构的演进方向,成为重构通信网络架构的起点。

**关键词:** 工业互联网; SDN; 虚拟化

**Abstract:** In this paper, the trends of network development and service characteristics of industrial Internet are analyzed. It is believed that the industrial Internet is not a new physical network, actually it is driven by business on the basis of Internet, Internet of things, mobile network and the new private network. And software defined network(SDN), virtualization are proposed to realize network resource integration. Based on the industrial Internet, the scope of network is expanded, the new distribution of network information nodes is produced, and the demand for network services is improved. In this way, industrial Internet will deeply affect the evolution of communication network architecture and become the start of network architecture reconstruction.

**Key words:** industrial Internet; SDN; virtualization

张恒升/ZHANG Hengsheng

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

- 广泛连接、泛在互联的网络是工业互联网发展的基础
- 工业互联网的业务特性决定了不会出现独立的工业互联网物理专网
- 工业互联网突破了传统公众互联网与企业网的边界,改变了网络服务提供者的分布,对通信网络架构的发展将产生巨大的影响

## 1 什么是工业互联网

**新**一轮科技革命和产业变革正蓬勃兴起,互联网加速与传统产业融合,移动互联网、物联网、云计算、大数据、人工智能等新技术正逐步向工业领域渗透,一系列新的生产方式、组织形式和商业模式不断涌现,工业互联网应运而生。

不同国家在信息和工业领域的基础不同,发展需求各异,对于互联网与工业/产业深度融合的认识也不同。即使是对工业互联网内涵的认识,美国工业互联网联盟(IIC)与中

国工业互联网产业联盟(AII)也不完全一致。IIC将工业互联网定义为:为了商业收入转型,通过先进的数据分析使能智能工业操作的,连接物、机器、计算机与人的互联网<sup>[1]</sup>。而AII定义:工业互联网是互联网和新一代信息技术与工业系统全方位深度融合所形成的产业和应用生态,是工业智能化发展的关键综合信息基础设施<sup>[2]</sup>。显然两个定义显示出对于工业互联网的发展各有侧重,但两者都一致认为广泛连接、泛在互联的网络是工业互联网发展的基础。

## 2 工业互联网不会是一个全新的物理网络

随着网络技术的发展,一种业务

建一个网的发展模式已经成为过去,运营商为减少同时建设和运营多个网络的成本,一直在探索在同一个物理网络上承载多种业务和服务,各种虚拟专用网(VPN)、Overlay技术得到了大量应用,近年来大热的软件定义网络(SDN)和虚拟化技术,更是让网络通用能力与具体业务要求去耦合成为可能。在这种趋势下,工业互联网单独成网既是逆技术潮流而行,也是资源的浪费。

同时,工业互联网的业务特性决定了不会出现独立的工业互联网物理专网。工业互联网的业务模式可归纳为4种,分别是:智能化生产、网络化协同、个性化定制、服务化延伸。

4种业务模式连接对象包含了

收稿日期: 2017-02-15  
网络出版日期: 2017-03-02

人、工厂、机器和互联网平台等,接入方式包括个人拨号、企业宽带、移动蜂窝和区域无线连接等,带宽需求从物联网智能模块的窄带到虚拟现实(VR)协同设计的超宽带。如此复杂的网络需求情况,现有的任何单个网络均无法满足;而如果要重新建设一个完全满足所有工业互联网业务需求的网络,其投资力度、建设规模和管理复杂度都将是巨大的,且产出预期并不明朗。

### 3 工业互联网冲击现有网络架构

工业互联网以互联网、物联网、移动网以及新型专网为基础,通过SDN、虚拟化等技术整合各个网络的资源,以业务为驱动构建而成。工业互联网业务的复杂性决定了支撑网络的复杂和多元,工业互联网突破了传统公众互联网与企业网的边界,改变了网络服务提供者的分布,对通信网络架构的发展将产生巨大的影响。

#### 3.1 工业互联网延伸了网络范围

传统网络结构中,企业自主建设维护的工厂内网和运营商提供服务的公众网泾渭分明,工厂内支撑办公信息化的信息技术(IT)网络和支撑生产的操作技术(OT)网络也相互隔离。工业互联网打破了这些界线,其网络将由工厂内网和工厂外网组成。

从业务发展看,个性化定制、协同化制造等业务将工厂内网络打开,为满足生产制造的远程控制、监测、操作需求,封闭的OT网络需具备更强的互联互通能力,IT系统的云化使企业IT网络与互联网结合更为紧密。

从技术上看,工业网络有着更高的信息化和信息采集需求,5G等技术工业适配能力的提升,让原有公众网络有机会渗透至工厂生产环节并提供服务;SDN等技术的成熟,也让运营商看到了通过提供高质量VPN和网络切片替代企业专网的可能。

从产业上看,思科等通信企业逐

步向工厂内网络渗透,西门子等工业互联网提供商出于业务互联网化发展诉求,也在主动开放工厂内网络。支撑工业互联网的通信网络,将突破原有企业网络接入点边界,延伸到工业企业内部,极大地扩展了网络范围。

#### 3.2 工业互联网改变了网络“造血机制”

传统网络中,互联网数据中心(IDC)是信息服务的源头,是互联网的“造血中心”,实现信息汇集是运营商设计网络架构时的考虑重点。移动互联网的发展带来了大量的信息推送需求,从大型“造血中心”向“末梢”的信息传输效率太低,因此在靠近“末梢”的地方出现了大量“储血点”,用以增加服务提供节点,缩短传输路径,提升服务效率。城域网的信息服务能力需要提升,网络架构也要进行相应调整。随着工业企业信息化进程的推进,未来将出现大量的“造血点”。在工业生产过程中,将产生大量有价值、高敏感的数据,主要用于企业生产流程的优化、企业间的相互协调,这种多服务于自己,少服务于公众的高信息安全要求,决定了这部分数据不会集中到某个大型造血中心,而是在本地造血点进行存储、分析,并对外提供服务。这种新的互联网造血分布,将对网络架构产生根本性影响,改变围绕骨干网和骨干节点构建网络的路线,IDC和企业数据中心(EDC)的建设理念和布局思路都将需要调整,城域网、接入网以及微数据中心将在互联网信息服务中扮演更为重要的角色。

#### 3.3 工业互联网提升了网络性能要求

工业互联网对通信网络最直接影响是提出了更高的网络需求,简单概括就是需要支持百亿终端、百万用户、百级平面的业务发展。百亿终端接入是指,未来智能工业产品和装备——包括智能汽车、家电、机械、仪表及各种智能部件等——的数量将

达到百亿级水平,网络需满足工业互联网海量智能工业产品联接、信息交互的服务需求。百万用户是指,工业企业利用网络开展监测、控制等对隔离和安全要求比较高的业务,需要进行用户隔离,网络能够支持百万级的VPN隔离。百级平面是指,网络具备“多租户”能力,每个业务平面是一张具备完整网络管理、控制和数据传输能力的网络,能够为一类业务或一个超大型企业提供完全自主控制管理的网络。

### 4 结束语

工业互联网的出现是技术和产业发展推动的必然结果,同时也将冲击通信网络原有的技术架构和发展模式。扩大延伸的网络范围、全新的网络信息节点分布、百级到百亿级网络业务需求都将深刻地改变通信网络架构,以开放化、虚拟化、智能化、融合化为发展方向的SDN、5G、窄带物联网(NB-IoT)、IPv6等网络技术将在工业互联网中广泛应用。与移动蜂窝网络代际分明的演进路径不同,互联网成长史告诉我们,互联网从来不按“剧本”发展,但可以预见工业互联网将成为通信网络发展的重要契机和助力,成为重构通信网络架构的起点。

#### 参考文献

- [1] Industrial Internet Vocabulary[IR]. 美国:工业互联网联盟, 2015
- [2] 工业互联网体系架构(版本1.0)[IR]. 北京:工业互联网产业联盟, 2016

#### 作者简介



张恒升,中国信息通信研究院互联网中心高级工程师、工业互联网产业联盟试验平台副组长;长期从事数据通信网络、物联网、IPv6领域的研究,近年来专注研究SDN、工业互联网等新技术的发展应用。



# 着力突破与创新,实现超越与引领

## Focusing on Innovation and Realizing the Transcendence

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0047-003

**摘要:** 详细阐释了“人工智能是当代重要交叉科学群的创新前沿”这一论断,分析了人工智能对于科学技术、经济和社会发展的意义。同时还指出了中国在人工智能领域存在的差距和优势,并从战略性、系统性、可操作的角度出发,给出了中国发展人工智能的建议。

**关键词:** 人工智能; 创新驱动; 发展建议

**Abstract:** It is believed in this paper that artificial intelligence is the innovation engine for, and frontier of, important interdisciplinary sciences. The implications of artificial intelligence on development of social, economy, science and technology are analyzed, and the strong points and weak points needed in advancing artificial intelligence for China are also pointed out. Moreover, a number of strategic, systematic, and operational advices are proposed.

**Keywords:** artificial intelligence; innovation driven; strategic recommendations

钟义信/ZHONG Yixin

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

- 人工智能是人类认识、改造世界的助手,对人工智能超越人类的恐惧缺乏科学根据
- 在人工智能领域,中国握有方法论的“潜优势”,完全可以转化为强大的“现优势”
- 缺乏突破创新的自信心和引领国际的强烈意识,急功近利,以及学术诚信缺失是中国人工智能发展存在的“隐差距”

人类对于智能机器的探索活动,古已有之。不过,以“人工智能”来命名这一探索并成为一学科领域,却发生于1956年夏季在Dartmouth举行的一次小规模学术研讨会上。因此,2016年是人工智能学科问世的60周年,在这个不同寻常的年份,世界各地的人工智能科技工作者都在密切关注人工智能的发展动向。

2016年3月,DeepMind研制的人工智能围棋系统AlphaGo以4:1的成绩击败了韩国的围棋高手李世石,把世界对人工智能的关注推向了前所未有的高潮。各种各样的议论喷涌而出。悲观者大呼:“人工智能对于人类的潜在威胁太严重,应当通过立法限制甚至禁止人工智能的研究”;

乐观者高喊:“人工智能是人类的真正福音,只要把自己的思想意愿转嫁给人工智能机器,人类就可以通过机器来实现长生不老的千年梦想”。在科技界,人们则在激动着、讨论着:我们应当在什么样的热点技术上发力?是深度学习?是认知技术?还是类脑计算?

回想这些年来,互联网、云计算、大数据、物联网、移动互联、智能制造、智慧城市、人工智能、机器人一波又一波的高新技术登台亮相,中国科技界、教育界和产业界都在一个个地紧紧追赶。虽然在跟踪追赶的过程中取得了不菲的进展,但是人们不禁都在思考:对于人工智能来说,当前社会的需求是什么?什么才是有效的创新战略?怎样才可以摆脱跟踪追赶的被动局面,争取到引领创新的话语权?

发展人工智能不应当是一种孤

立性、局部性的行动,而应当是能够带动和引领整个科学技术的创新和发展。

### 1 人工智能是当代重要交叉科学群的创新前沿

为了阐明“人工智能是当代重要交叉科学群的创新前沿”这个论断,需要逐个澄清相关的基本概念,包括:什么是人工智能?什么是当代的重要交叉科学群?以及什么是当代重要交叉科学群的创新前沿?

#### 1.1 什么是人工智能

人工智能是一门“探索人类智能机理,创制人工智能机器,增强人类智力能力”的科学技术。从这个意义上可以理解,只要人类的智力能力得到了增强和扩展,人们从事各种科学技术以至各种经济社会活动的智力能力就会得到有效提升,从而能够有

收稿日期: 2017-02-17  
网络出版日期: 2017-03-02

效促进各行各业的创新与发展。

那么,什么是人类智能?人类智能主要表现在人类主体为了不断改善生存发展的水平而发现问题、定义问题、解决问题的能力。其中,发现问题和定义问题的能力依赖于主体的目的、知识、直觉、理解力、想象力、灵感、顿悟、审美等内在能力,因此被称为“隐性智能”;解决问题的能力则主要依赖于获得信息,生成知识,创生策略等外显能力,因此被称为“显性智能”。

显然,隐性智能十分抽象,几近神秘,不仅研究起来甚为困难,就连理解起来也颇感玄奇,而显性智能则相对可理解,可研究。因此,人工智能研究遵循的原则是:基于人类主体给定的问题、知识、目标(这就是人类发现问题和定义问题的能力)这些前提,研究如何利用信息、生成知识、创生策略来解决问题,达到目标。也就是说,人工智能的研究遵循人类智能与人工智能相结合的原则:人类智能负责发现和定义问题,人工智能则负责在人类所给定的问题框架下解决问题。这样,人工智能机器就可以成为人类认识世界和改造世界的聪明助手。

由此可见,没有生命,没有目的,没有灵感,也没有审美能力的人工智能机器系统,原则上不具有隐性智能的能力,因而不可能独立地发现问题和定义问题,只能在人类所发现和所定义的问题框架下去解决问题。因此,人工智能超越人类的恐惧缺乏科学根据。

## 1.2 什么是当代重要的交叉科学群

当今的时代是信息时代,认识信息资源和利用信息资源为人类服务的信息科学是当今时代的标志性科学。具体来说,信息科学是“研究信息的性质及其运动规律的科学”,也就是以信息为研究对象,以信息的性质及其运动规律为研究内容,以信息科学方法论为研究指南,以增强和扩

展人类信息功能(全部信息功能的有机整体就是人类的智力功能)为研究目标的科学。换言之,信息科学的研究目标就是扩展人类的智力功能,而研究信息的性质及其运动规律和信息科学方法论都是为了实现扩展人类智力功能这个目标服务的。

由此就可以清楚地理解:人工智能的研究是信息科学的最高目标,也是信息时代科学技术发展的基本目的;而为了使人工智能系统能够在人类发现和定义的问题框架下成功地解决问题,人工智能的研究必须从人类求解问题的能力中得到启发。这表明,人工智能的研究需要向认知科学学习,因为认知科学就是研究人类自己是如何面对解决问题的。另一方面,认知科学所研究的人类解决问题的机理又建立在脑科学的基础之上,因此,人工智能的研究必须理解脑科学的工作机理。再者,人类发现问题、定义问题、解决问题的能力并不是永远固定不变的,而是不断进化和发展的。因此人工智能的研究还必须学习信息生物学,后者深刻地研究和揭示了人类能力不断进化的机制。可见,脑科学、认知科学、信息科学、信息生物学、人工智能是当代最具重要意义的交叉科学群。这个科学群还包含更多的学科,恕不一一阐述。

## 1.3 什么是当代重要科学群的创新前沿

虽然脑科学、认知科学、信息科学、信息生物学、人工智能各有各的研究内容,但是所有这些学科共同的目标都是智能,如人类的智能(脑科学)、生物的智能(信息生物学)、人类智能的物质基础(脑科学)、人类智能和生物智能的工作机理(认知科学)、人类智能和生物智能的进化机制(认知科学与信息生物学)、人类智能的信息基础和研究方法论(信息科学)、人类智能的机器模拟和实现(人工智能)等。

所以,人类智能和人工智能是当代这一重要交叉科学群共同的创新前沿。人们对于脑科学、认知科学、信息科学、信息生物学的理解深化了,就会促进人工智能研究的发展;反之,一旦人工智能的研究取得了突破和创新,也必然能够带动脑科学、认知科学、信息科学、信息生物学的突破与创新。

## 2 中国人工智能发展的现状:差距与优势

中国人工智能的发展现状,大家平日都亲身感受得到,应当比较熟悉,似乎无需赘言;但是国情是我们思考问题的基础,因此不可不察。而且,我们对于中国在人工智能发展方面所存在的差距和优势的认识,确实还有必要进一步深化。

### 2.1 差距:显差距,隐差距

大家都意识到,中国在人工智能的发展方面确实存在不少的差距。普遍认为,由于中国缺失了工业革命这个历史阶段的洗礼,因此在工业基础和工艺水平方面天然存在明显的不足。特别是中国微电子工业领域的高性能芯片制造能力有待进一步加强,人工智能硬件系统的水平也有待进一步提高等,这些都是众所周知的显差距。

然而,更值得深思的问题是:在人工智能的科学研究方面,长期以来,中国同行普遍习惯于跟踪学习,缺乏突破创新的民族自信心,更缺乏引领国际的强烈意识。无论是互联网、物联网、语义网、云计算、大数据、移动互联这些大概念,还是深度学习、无人驾驶、类脑计算这些技术思想,都是外国学者率先提出,然后才是中国学者蜂拥而上。加上这些年滋长蔓延起来的急功近利和学术诚信缺失,往往在蜂拥而上之后的一夜之间就会冒出许多“新成果”!这是中国人工智能发展存在的隐差距。

需要指出的是,显差距正因为

“显”,已经得到各有关方的高度重视,并且正在不断地被缩小;但是,隐差距则因为“隐”,不容易被察觉,至今还没有引起各方面必要的重视,因此仍然是实现突破创新和引领战略的隐患。

## 2.2 优势:现优势,潜优势

那么中国在人工智能研究中是否也存在什么优势呢?表面看来,似乎中国在人工智能研究领域一直处于跟踪学习状态,谈不上存在什么优势;但是仔细考察发现其实不然,中国在人工智能研究中的确存在不可忽视的优势。

中国目前虽然在整体上还处于相对落后状态,但在某些技术研究上却处于国际领先地位。例如:语音识别技术,中国已经在近期多次国际评测大赛中夺得世界冠军;在汽车自动驾驶方面,中国的研发水平也与国际上旗鼓相当;特别是在理论研究方面,中国在人工智能通用理论研究方面的机制主义人工智能理论、人工智能逻辑理论研究方面的泛逻辑学、人工智能数学方面的因素空间理论都是国际领先的成果。这些都是已经涌现出来的现优势。

更加重要的是,像人工智能这样既十分复杂又极其深刻的科学研究,势必自觉或不自觉地受到科学方法论的影响。几十年来,国际人工智能的研究形成三大学派,就是受了以分而治之为特征的机械还原方法论的影响,把复杂的人工智能研究分为结构模拟的人工神经网络学派、功能模拟的物理符号系统学派、行为模拟的感知动作系统学派,而且长久以来互不认可,不能形成人工智能研究的合力。科学论证充分表明,适于人工智能研究的科学方法论不是“机械还原论”的方法论,而应当是“信息生态论”的方法论。后者与中国历来的“整体论”和“辩证论”思维传统息息相通。因此,在人工智能的研究领域,中国握有方法论的潜在优势(潜

优势),只要自觉地加以运用,这种潜在优势完全可以转化为强大的现实优势(现优势)。

## 3 人工智能的社会需求和发展中国人工智能的战略建议

### 3.1 人工智能的社会需求

中国的信息化建设全面启动于20世纪90年代,得益于现代信息技术的支持,取得了举世瞩目的辉煌成就,进入了迎接复杂问题的新时期,面临着巨大挑战。从整个经济社会发展和全面改革的大局判断,习近平总书记在多次讲话中也明确指出,中国的改革开放进入了攻坚克难的深水区。众所周知,人工智能技术是信息技术的高端前沿;因此,为了迎接复杂问题的挑战,为了成功走出深水区到达胜利的彼岸,中国亟需人工智能科学技术的全面支持。

另一方面,纵观当今的国际环境不难发现,一些发达国家在中国黄海、台海、东海、南海不断制造紧张局势,企图以武力遏制中国的和平崛起。他们声称要长期投资人工智能,要用人工智能武器战胜中国,对此不能不高度警惕,并采取果断措施。

### 3.2 加快发展中国人工智能的建议

为加快发展中国人工智能,从战略性、系统性、可操作的角度出发提出5项建议。

#### (1) 顶层规划。

火车跑得快,全靠车头带。建议设立国家级智能科学技术发展规划与协调专家委员会,负责研究和提出中国智能科学技术发展的中长期规划,制订智能科学技术产学研发展的实施政策,协调和促进中国智能科学技术的快速有序健康发展。

#### (2) 人才培养。

万事都紧要,人才是根本。建议国务院学位委员会把中国现有的“智能科学与技术”二级学科提升为一级

学科,以形成系统完整的智能科学技术人才培养体系;同时建议教育部在中小学开设智能科学与技术基础知识课程,开展课外兴趣培育活动。

#### (3) 创新研究。

跟踪不可废,创新更关键。在国家自然科学基金设置“智能科学技术基础理论”专门领域,大力推进智能科学基础理论的突破创新;同时在国家“十三五”规划设立智能制造、智能农业、智能服务业、智能交通、智能网络空间安全、智能教育等应用专项。

#### (4) 产业标准。

创新是尖兵,产业是后盾。大力促进中国智能化产业的发展,并在国家标准委员会建立智能产品标准工作委员会,鼓励有条件的单位和学术团体开展各类智能技术产品的测试、评价和检验标准的研究,引导智能化产业和产品市场有序健康发展。

#### (5) 持续发展。

解放劳动力,未雨先绸缪。在国家人力资源和社会保障系统建立企业人员技能升级培训制度,使广大企业应用智能技术产品(如各类智能机器人)所解放出来的劳动者能够顺利转移到更具创新意义的就业领域,促进国民经济产业不断升级发展。

发展中国人工智能,机不可失,时不我待!

### 作者简介



钟义信,北京邮电大学智能科学技术中心教授,发展中国家工程科学技术学院院士,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。



# M-ICT应用发展趋势及其关键技术分析

## Key Technologies and Development Trend of M-ICT Applications

吕达/LV Da

董振江/DONG Zhenjiang

杨勇/YANG Yong

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518052)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518052, China)

信息通信技术(ICT)融合、吸纳各种跨界的新技术,并通过在ICT应用中的探索和实践,不断催生各种新业务、新服务。ICT应用已经与移动互联网、云计算和大数据等技术领域深度融合,呈现出3个方面的技术趋势:

(1)人工智能带来的服务智能化与智慧化。在高性能计算、存储、大数据和网络技术迅猛发展的基础之上,人工智能技术重新焕发出生命力,带来了M-ICT应用与服务智能化、智慧化。

(2)以区块链为特征的去中心化。以区块链技术为代表的互联网分布式数据技术,用于M-ICT应用分布式构建,并提供去中心化的安全可信服务,解决了互联网环境交易信任的难题。

(3)万物互联化。4G网络的商用部署和5G网络的逐步推进,使得万物互联成为现实,带来更高的带宽、更低的功耗、更低的时延,催生大量万物互联下的ICT新应用、新服

收稿日期: 2017-02-10

网络出版日期: 2017-03-06

基金项目: 广东省科技计划项目(2015B010129011)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0050-006

**摘要:** 认为随着信息通信技术(ICT)的融合发展, M-ICT应用的架构、功能和服务形态都发生了重大变化, 呈现出了智能化、去中心化、泛在化等主要特征。详细阐述了在人工智能、区块链和物联网等方面 M-ICT应用的研究进展, 展望了其发展趋势, 并指出了当前需要解决的关键技术问题。

**关键词:** 人工智能; 区块链; 万物互联

**Abstract:** With the fusion of information and communication technologies (ICT), the architecture, function and service mode of M-ICT applications have been changed, and intelligence, decentralized and ubiquitous are presented as the main features of M-ICT applications in this paper. Moreover, the M-ICT applications and development trend for artificial intelligence, block chain and Internet of things (IoT) are introduced, and the key technical problems are pointed out.

**Keywords:** artificial intelligence; block chain; Internet of everything

务、新形态, 泛在的 ICT 应用服务可满足用户随时随地、方便快捷、个性化的消费, 也将对 ICT 应用架构带来深刻的影响。

### 1 人工智能及 ICT 应用的智能化

人工智能从功能上可分为计算智能、感知智能和认知智能, 近些年人工智能的大发展是大数据、云计算和算法改进的共同作用。

#### 1.1 计算智能的发展趋势分析

计算智能作为基础通用性技术引擎, 包含分布式计算与存储、神经网络、分布式机器学习算法与模型、智能调度引擎和智能硬件加速等。计算智能近年有了较大进展, 有如下所述的主要表现。

(1) 大数据<sup>[1]</sup>、云计算、硬件加速是计算智能的基础支撑。大数据可

揭示未知的关联性或者规律, 是人工智能的信息载体, 而云计算则提供了充足的分布式计算和存储能力。大数据与云计算的结合是机器学习技术在近年得到飞速发展的推动力, 再加上智能加速硬件的发展(如图像处理器(GPU)和现场可编程逻辑门阵列(FPGA)芯片<sup>[2]</sup>), 共同推动人工智能从理论走向实际应用。

(2) 机器学习特别是深度学习是计算智能取得长足进步的加速器<sup>[3]</sup>。机器学习以计算模式划分, 包含传统的单机版机器学习(如开源的 R、Python、Weka 等), 基于各种分布式计算框架的并行机器学习(如开源的 Mahout、RHadoop 等), 以及目前热门的开源框架(如 Caffe、TensorFlow 等)。以算法类型划分, 包含基础应用中的监督学习、非监督学习、半监督学习, 又包含高级应用中的深度学习、强化学习、集成学习、迁移学习

等。目前深度学习的典型算法在图像、语音取得突破性进展,但是需要大量的人工标注数据。

综上所述,能够得到如下结论。

(1)深度学习是当前业界热点,但传统机器学习仍将占有一席之地。一方面,在金融、电信等传统领域既需要提供高精度的模式识别/预测结论,又需要模型变量的清晰可控,所以传统机器学习/统计科学方法仍有很大空间;另一方面,基于集成学习、增量学习的机器学习方法往往具有更好的鲁棒性和更经济的使用成本。

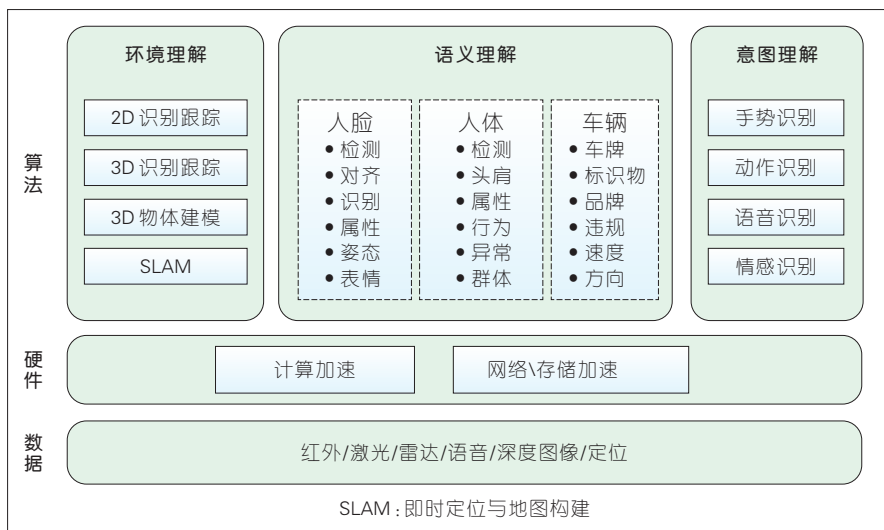
(2)迁移学习和深度强化学习是未来机器学习研究和应用的重要方向。迁移学习能够让我们把大数据得到的模型迁移到小数据上面,是在较小人工监督代价下进行机器学习的一种新策略;而强化学习在AlphaGo成功后重获业界关注,在游戏、多轮语义对话、机器人的运动规划和避障等中有广阔的应用前景。

(3)智能调度是计算智能中大规模数据训练与上线的服务保证。智能调度需要根据数据形态、算法实现、模型构建,自动选择合适的并行计算框架及相应算法/模型,实现最优在线服务。人工智能的模型训练需要进行若干次的实验才能达到最佳效果,而且在模型训练过程需要提供中间结果的可视化展示与应用效果评估,考虑如何快速进行自动的超参数优化等。

## 1.2 感知智能的发展趋势分析

感知智能的目标是让机器能听懂人类的语言,看懂世间万象,典型的如自动语音识别和图像识别。感知智能是人工智能的基石,也是目前产业化前景最为看好的技术,其技术全貌如图1所示。

随着传感器技术的进步,一些新的传感器也涌现出来,如深度摄像头等。这些传感器不断地产生和收集多种类型的海量数据,为感知智能的



▲ 图1 感知智能技术全貌

发展奠定了数据基础。

算法是感知智能计算的核心,从应用的领域可以分为几何理解、语义理解和意图理解三大领域。

- 几何理解指根据视觉信息恢复环境的几何信息,并可以对目标进行精确定位和跟踪,输出6个自由度的空间位置信息;

- 语义理解是对图片或者视频中的目标进行识别和分析,并输出结构化的有明确语义的信息;

- 意图理解是指对交互意图的理解,目前成熟度最高是语音识别技术,除此之外,姿态手势和情感也是重要的交互手段,在游戏中得到了初步应用。

感知智能,特别是语音识别、人脸识别近年取得了很大突破,主要依赖于深度学习的蓬勃发展<sup>[4-5]</sup>。深度学习取得成功,首先是因为大数据在很大程度上缓解了训练过拟合的问题,其次在于飞速发展的计算机硬件所提供的强大计算能力,使得训练大规模神经网络成为可能。此外,神经网络的模型设计和训练方法也取得了长足进步,非监督和逐层的预训练等训练方法能加速收敛。

感知智能虽然在指定的数据集上准确率不断提高,但是实际工程应用中还有许多问题需要解决。深度

学习现在已经有一些很好的开放模型可以解决一些通用问题,但是图像识别中需要对于不同的目标构造不同的特征提取和分类器模型,没有通用的准则。实际工程中为获得较高性能,需要针对目标特性,构造核心的损失函数和监督规则,同时需要大量的专业领域知识和经验。

感知智能有以下发展趋势:

(1)采用弱监督/半监督学习框架提升数据利用率。

大数据中标注样本少,人工进行多属性标注耗时久、花费大,如何有效利用无标签数据进行学习成为提升深度神经网络的关键问题。自2016年以来,以生成对抗网络(GAN)为代表的无监督学习方法成为深度学习研究的主流方向,但是GAN训练存在极大的不稳定性,用于图像识别的效果并不好。结合聚类等传统无监督方案,研究如何在深度学习框架下结合现有的标注样本进行弱监督或半监督学习成为一个重要思路。

(2)多模型集成或者多模态加权提升任务目标的准确率。

在一些特定领域,如支付,对准确率要求非常高,目前人脸识别仅仅作为一种辅助手段,在这种情况下,单一模型由于深度学习自身原因容易陷入局部最优解的问题,在错误拒

绝率和正确接受率之间很难做到兼顾。可以考虑采用多模型集成学习的策略进行准确率提升,或者采用多种生物特征如声纹识别进行安全性加强。

(3)从单一算法模块向端到端的深度神经网络框架演进。

深度学习最初用来进行特征学习,视频和图像分析任务由多个算法构成,单一算法性能提升在硬件架构上无法做到统一,导致实时性较差。进行端到端的神经网络构造,是深度学习的演进方向。如在目标检测分类领域单纯地从特征提取,发展到引入专门的池化层来解决尺寸归一化问题,进一步分类和定位任务联合设计损失函数,最后将候选框选取也纳入目标检测网络,在性能上也会有非常可观的提升。

图像的采集从数据源方面极易受到光照、天气等的干扰,导致识别率下降,如何从数据源侧提升采集的质量,也是感知智能系统方案设计中非常重要的环节。

针对感知智能的新的服务器架构和终端硬件,是计算智能发展重点方向。数据、硬件和算法构成了感知智能的三架马车,在未来的人工智能产业蓬勃发展的时代里,感知智能会一如既往成为科技进步,改变产业格局的最重要的技术原动力之一。

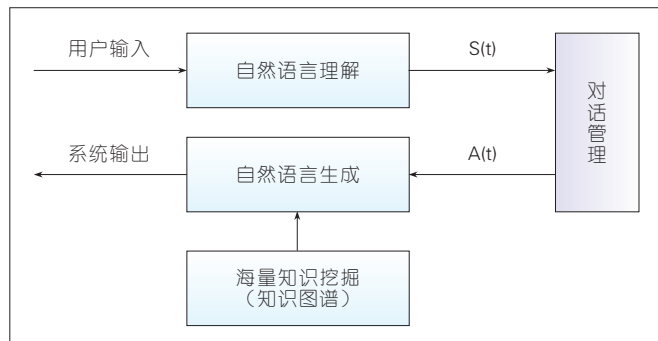
### 1.3 认知智能的发展趋势分析

认知智能,即对人类深思熟虑行为的模拟,包括记忆、推理、规划、决策与知识学习等高级智能行为,代表了人工智能的更高层次。近年来,自然语言处理(NLP)取得了较为明显的技术突破<sup>[6-7]</sup>,相关的智能应用层出不穷,例如智能问答和智能机器人等。典型的自然语言处理系统如图2所示。

#### (1)自然语言理解。

模块功能是真正理解用户输入的语义和意图。从用户的输入来讲,一般问题分为3种类型:基于特定领

图2▶  
典型自然语言处理系统



域的知识问答型,基于特定目的的任务型和完全开放的闲聊型。

- 基于特定领域的知识型,又分为一问一答和上下文交互两种形式,均可以采用基于知识图谱加上传统检索模型的方式。

- 基于特定目的的任务型,对于任务型的一般所需的参数或条件是非常明确的,可以将参数或条件抽象成帧插槽,采用插槽填充的方式进行问答。

- 完全开放的闲聊型。对于闲聊型的,是意图最不容易把握的,通常采用传统检索模型加上深度学习方式进行问答。

#### (2)自然语言对话。

- 引导交互。基于某种营销或推荐目的,引导用户聊天内容。也可以在理解用户意图前提下,缺失部分或全部必要元素,采用引导方式追问达到用户目的。

- 对话管理。基于当前对话状态确定系统动作,目前研究主流的方式是基于深度强化学习来实现对话管理,如部分可观测马尔科夫决策过程(POMDP)。

#### (3)自然语言生成。

自然语言生成一般主要用在开放闲聊型中,对于常见问题(FAQ)库中无法找到答复的就自动生成,最流行的解决方案是“seq2seq + attention”。一般答复和生成比例在8:2左右,自动生成的使用率并不高,除技术难度高之外,还存在缺乏聊天机器人的评价标准,缺乏标准化的大规模训练数据等问题。此外,基

于深度学习来构建聊天机器人的技术研发还处于初期阶段。

#### (4)海量异构知识挖掘。

基于特定领域的问答或者知识性、事实性问答,需要基于知识图谱来实现。对海量异构数据进行解析后,从中挖掘出概念、关系、属性、语义等语言单元,然后采用知识图谱的方式进行知识表示和存储。知识图谱在知识的查找、推理和管理方面有明显的优势。

认知智能技术的发展趋势有以下4点。

(1)从浅层语义分析到深层语义分析的自然语言处理。

传统的语义分析通常采用符号抽取和匹配的思路来进行,或者采用简单的机器学习。局限性在于在有限样本和计算的情况下,对复杂函数表示能力有限,复杂分类泛化能力受限,同时还需要人工抽取特征。目前,NLP领域深度学习受到极大重视,深度学习不仅可以自动抽取特征,同时以更紧凑简洁方式表达比浅层复杂的函数集合,NLP将不断从传统的浅层语义分析向深层语义分析发展。

(2)从单一的智能机器学习到混合的智能学习。

AlphaGo的成功背后,其技术更加让人震撼,它将深度学习和强化学习进行结合使用,突破了传统单一方法的效果。同样的,在处理NLP时,由于NLP大部分是复杂问题或者XOR问题,因此需要多种算法的组合来解决问题,扬长避短,机器学习、深



度学习和强化学习的结合,将在 NLP 中发挥出更大的优势。

(3)从单一知识获取方式到多通道融合获取方式。

最传统的问答系统交互性差,技术实现上通常基于类似于搜索引擎的索引检索方式,很难理解用户意图,主要原因在于粗粒度检索,准确率受限,另外也缺乏知识推理和知识引导交互。通过已结构化的知识图谱来进行语义理解、获取答案,甚至可以进行知识推理,不仅可以精确匹配答案并推理,同时也能处理非结构化文档,支持结构也更复杂。

(4)从人工学习知识到半监督的人机协作知识自学习。

互联网产生的大量的非结构化数据,通常被以文件形式存储到文件系统,以进行搜索、查询,对于文档中的知识价值则需要人去理解消化,其局限性在于管理成本高,知识无法共享传递价值。而采用知识挖掘工具或者知识图谱等技术,就可以实现半自动的非结构化文件知识挖掘,同时采用图的形式进行知识表示和存储,只需人工校对就能使大家共用数据,发挥知识价值。

#### 1.4 人工智能在 ICT 领域中的应用

人工智能技术已经走进了工业生产和人们生活的方方面面。在传统的电信网络领域,基于人工智能的网络智能运维及智慧运营成为各个电信运营商的主要目标之一。特别地,基于人工智能技术对各类网络数据的实时处理,自动学习,主动优化和提升,将通信网络从“灵活网络”升级至“自动网络”,最后演进成为“知化网络”,全面提升运行服务能力和效率。

在行业领域。人工智能首先在如行业客服、安防、金融等各行业深化应用。例如视频分析、反恐与情报分析、地铁等大流量区域的监测控制比对;自动客服机器人,减少人力的成本,实现 7×24 自动智能客服;金

融领域的远程开户、刷脸支付、金融大数据采集、处理、人工智能自动交易、资产管理等。

在智慧家庭领域,智慧家居产品将因为人工智能技术而更加智能,各种可听、可看、可行走、能理解、能执行的智慧家居产品,能全面服务于家庭娱乐、看护和生活助手等多种个性化需求。

在终端领域,语音交互、语义理解、自动学习,将会改变终端的交互方式。个人助手业务的兴起,意味着终端业务的用户体验将深受人工智能技术影响。特别是 5G 到来后,网络提速后的“宽”和“快”,将极大提升人机之间响应速度。结合“类人脑”的智能云服务,极大地提升了用户体验。

## 2 区块链技术

区块链是一种分布式账本<sup>[8-9]</sup>,账本以区块形式存在,每个区块以哈希值连接成一根链条,因此得名区块链,它是基于密码学、分布式系统和对等网络的综合技术。其去中心化、数据不易篡改、数据可追溯等新特性,将会为 ICT 应用的架构带来新的变化。

尽管区块链技术的还存在一些重要的问题还需要继续突破,但是这并不妨碍区块链技术在各行各业的应用,其应用前景非常广阔,典型的

应用场景如下所述。

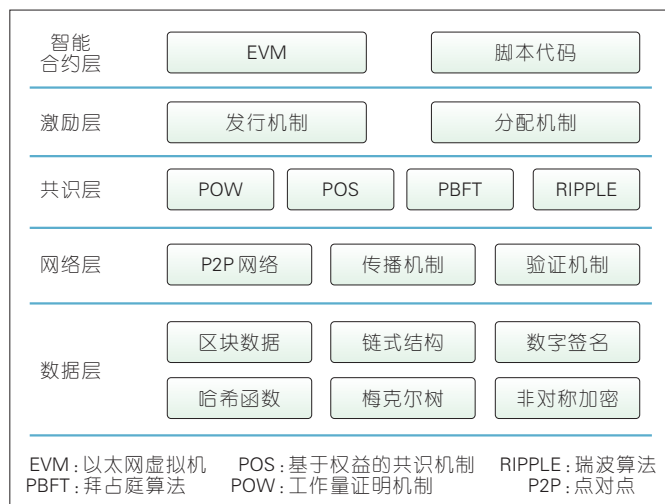
- 数字货币:提供更多的汇兑手段,流转通畅;
- 支付交易:优化交易过程,降低交易成本;
- 大数据交易:数据资产流通和隐私保护,通过应用程序编程接口(API)保护“裸”数据;
- 物联网:自我服务、自我维持,设备间自主交易和共享;
- 身份认证:杜绝网络和电信诈骗、反洗钱,提供可信凭证;
- 权益登记和转移:明确所有权,提供溯源依据,保护合法权益;
- 信用交易:减少交易纠纷,推动互联网金融行业进一步发展;
- 公共领域:车位共享、学历证明、环保众筹、供应链等,智能合约提供信任保障;
- 医疗领域:医疗记录、死亡证明,杜绝篡改和作假。

区块链技术的演进,目前已经从 1.0 进入 2.0 阶段,区块链 2.0 的架构如图 3 所示。

以上各层中,共识层、网络层和数据层是需要重点关注的技术方向。

(1) 共识层。

共识机制最初源于比特币的工作量证明机制(POW),该机制耗时耗能。后期发展出了基于权益的共识机制(POS)。基于瑞波算法(RIPPLE)和拜占庭算法(PBFT)的共



识机制也是当前使用非常广泛的技术。从性能、可靠性和安全性等多个方面考虑,基于PBFT的共识算法应该是以后的主流算法。

(2)网络层。

根据现有的测试数据分析,节点数量的增加带来了指数级增长的网络流量,从而严重影响到了共识算法的性能。此外,区块链节点的验证机制也严重依赖于网络层的性能和安全。当然效率和可靠性是一对矛盾,业界很多企业宣称的性能指标,脱离了业务应用、复杂网络、系统异常等场景的指标,是没有意义的,除了关注峰时性能还要关注平均性能数据,这是目前的难点,也是重点研究方向,性能提升可以从打包、异步、并行、分离几个方面考虑。

(3)数据层。

为了提升区块链的性能和效率,区块上需要存储的是价值数据、可信数据,而对于其他数据需要结合传统数据库和文件存储技术,需要在两者间做好桥梁和同步机制,同时对于投票节点和普通节点可采用轻节点和完全节点保存数据的方法,减少数据量的大规模同步。数据安全是另一大核心技术,也是区块链技术赖以生存的根本,是数据层需要重点解决的问题。随着量子计算机的研制成功,密码学技术需要继续研究出新的抗

量加密技术。

### 3 万物互联下的 ICT 服务泛在化

当前全球物联网技术体系、商业模式、产业生态仍在不断演变和探索中。低功率广域网(LPWAN)技术在全球范围内快速兴起并逐步商用,面向物联网广覆盖、低时延场景的5G技术标准化进程加速,各种物联网垂直应用逐渐成熟,推动物联网的发展进入万物互联的新时代<sup>[10-11]</sup>。平台化服务、泛在化连接、智慧化终端成为物联网应用发展的主要特征。产业生态进入以水平化环节为核心,垂直一体化布局为模式的构建阶段,如图4所示。

在物联网的发展过程中,标准的地位举足轻重。全球物联网相关标准化组织众多,标准化体系框架已基本建立,如图5<sup>[12]</sup>所示。

• 平台层。作为业界最大的标准组织,oneM2M已发布两个版本标准,并在继续研制新的版本;W3C也已完成了相关工作,并在物联网语义方面继续研究。

• 网络层。主要由第3代合作伙伴(3GPP)等主要标准化组织推动,已冻结的标准有:面向中低速率机器通信的eMTC,面向窄带移动场景的窄带物联网(NB-IoT)和面向车联网

应用的V2V。此外,低功耗、长距离通信技术也是标准化热点,如LoRa、sigfox等。

• 行业应用。国际电信联盟(ITU)成立了SG20推动物联网和智慧城市相关标准的制定,工业互联网联盟(IIC)完成工业领域的标准化,KNX定义了智能家居标准。

各标准组织间也加大了协调合作,协同推进标准的落地。此外,物联网开源兴起,如短距离通信领域的OCF和AllSeen,平台标准oneM2M、W3C的开源等。开源软件成为标准落地、构建和扩大生态、增加企业影响力的重要手段。

在万物互联的进程中,仍然面临一些技术挑战。比如:工业制造、安全生产中的高可用性和可靠性,车联网和智能家居中的安全与隐私问题等。具体来说,有以下关键技术需要重点研究:

• 边缘计算。在靠近物或数据源头的网络边缘侧,就近提供智能互联服务,聚焦实时、短周期数据的分析和处理,满足行业在处理的敏捷性、业务智能化、数据聚合与互操作、安全与隐私保护等方面的关键需求。

• 运动智能技术。通过融合各种外部传感器数据评估机器人位姿和环境地图的概率分布,实现地图构建和机器人定位,在未知环境的自主

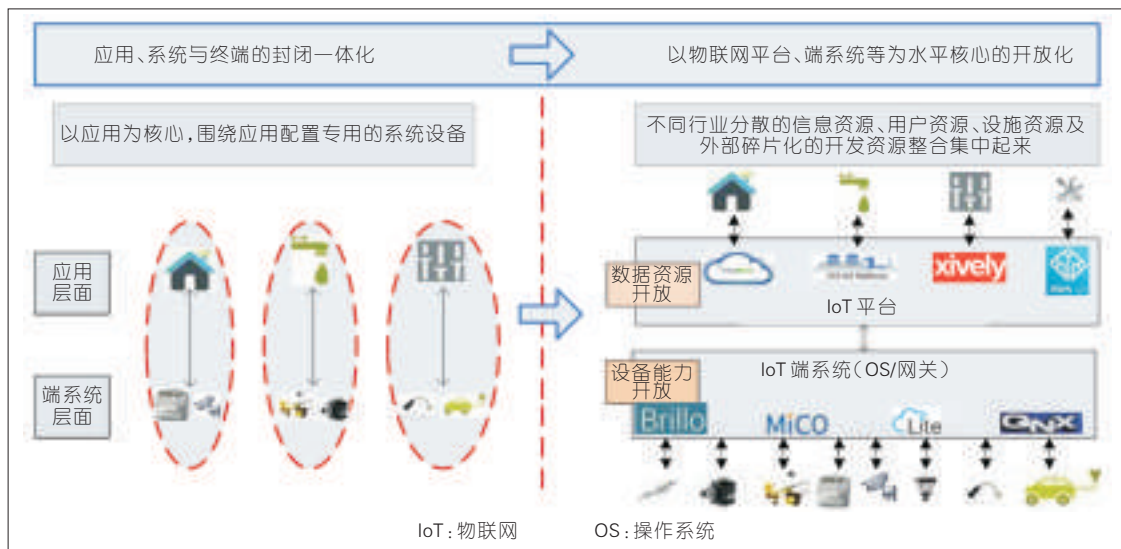


图4 物联网产业发展模式转变示意





# 新一代视频业务安全解决方案

## A New Generation of Video Service Security Solutions

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 02-0056-04

**摘要:** 视频业务互联网化给视频系统的存储、传输、内容属性、应用等各环节带来了相应的信息安全风险。分析了传统视频业务安全方案的不足,并提出了新一代视频业务安全解决方案,从根本上提升了视频业务的系统安全性和内容安全性,有效解决了视频业务运营所面临的安全问题。此外,还展望了视频业务安全的未来研究方向。

**关键词:** 视频业务;安全运维;防篡改;安全云;图像识别

**Abstract:** Internet-based video service brings information security risk to each part in the system, such as storage, transmission, content properties and applications. In this paper, the disadvantages of traditional solutions are analyzed, and a new generation of video service security solutions is proposed. In this way, system safety and content safety are enhanced, and safety problems of video business operation are solved. Moreover, the future research directions of video service security are also pointed out.

**Key words:** video service; security operation; tamper proofing; security cloud; image recognition

华新海/HUA Xinhai  
贺镇海/HE Zhenhai  
刘志军/LIU Zhijun

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

源加速设施,极大地节省了带宽,提升了用户体验。但由于源站可能存在不良资源(病毒文件,违反法律或公序良俗的图片、视频等),使得CDN系统存储并传播了这些内容,同样会导致不良影响并造成运营风险。

因此视频业务安全解决方案对于保障视频业务的运营极为重要。

## 1 视频业务安全解决方案概述

随着宽带网络和移动互联网的发展以及信息技术(IT)的进步,视频业务发展迅猛,其流量占据了网络流量的70%以上,已经成为继语音、短信、数据之后主要的电信基础业务<sup>[1]</sup>。据预测,移动视频流量在未来6年将增长24倍,2020年视频流量在网络数据消费的占比将会超过95%<sup>[2]</sup>。人们可以随时随地播放、下载视频,视频业务成为人们生活的重要组成部分。

视频业务的高速发展也给视频业务运营带来了严重的安全风险:

(1)互联网化的视频业务必然带来互联网化的主机分布式部署,其中的能力设备服务于公众,往往数量巨大,其安全管理和运维存在较大风险,每一个设计或运维缺陷产生的安全风险都会导致严重后果。

(2)如果播放内容的存储设备遭到黑客入侵并篡改,将迅速传播并在公众舆论中造成恶劣影响,给业务的运营商带来不可挽回的重大损失。

(3)视频业务往往具有强大的主机服务性能和网络带宽。如果这些主机或网络设备被黑客攻陷并植入后门,作为僵尸网络的一部分通过发起分布式拒绝服务(DDoS)去攻击其他服务,形成对互联网环境的“反噬”,其危害无疑是巨大的。

(4)此外,缓存视频和其他类型资源的内容分发网络(CDN)作为资

## 2 传统视频业务安全方案及其不足

传统视频业务安全解决方案是参照传统电信业务安全解决方案来构建的。传统的基础电信业务从网络层、系统层、应用层等方面实施安全策略:

(1)通过对组网实施安全域划分,将各类网元划分为Trust、DMZ、Un-Trust等区域,对不同等级区域实施不同的安全策略,尽可能在安全性、服务性能等要素间取得平衡。

(2)对系统和数据设备实施安全加固,包括安全补丁的安装、合规配置、最小化服务、访问控制设置等。

(3)通过定期安全扫描、渗透测试等强化系统的安全评估,通过安全开发流程避免应用层漏洞。

上述基础手段有效地提升了系

统安全性,降低系统被入侵的风险,但对视频业务而言仍然存在如下不足和风险:

(1)对视频业务中大量分布式主机安全管理能力不足。由于视频业务往往主机数量巨大且分布多个地市,某一个点出现某种安全弱点都有可能造成不良后果。

(2)对入侵行为响应缓慢,无法有效监测控制、阻止、告警。

(3)无法对视频业务中直播、点播的码流实施有效监测控制,防止码流在传输时被篡改造成恶劣影响。

(4)无法对设备中缓存的视频、海报模板等内容实施安全监管,尤其互联网应用服务(OTT)视频业务中的播放素材可能来源于不同的内容提供商甚至个人用户,其合法性需要得到快速有效地鉴别。

针对上述问题,我们提出了新一代视频业务的安全解决方案。

### 3 新一代视频业务安全解决方案

视频业务一般性的组网分层架构如图1所示,其中机顶盒、智能手机等终端通过宽带、移动网络等承载网接入到边缘服务节点,完成认证并向用户提供视频业务;边缘节点和中心区域的网元进行交互,实现如内容注入等业务流程。

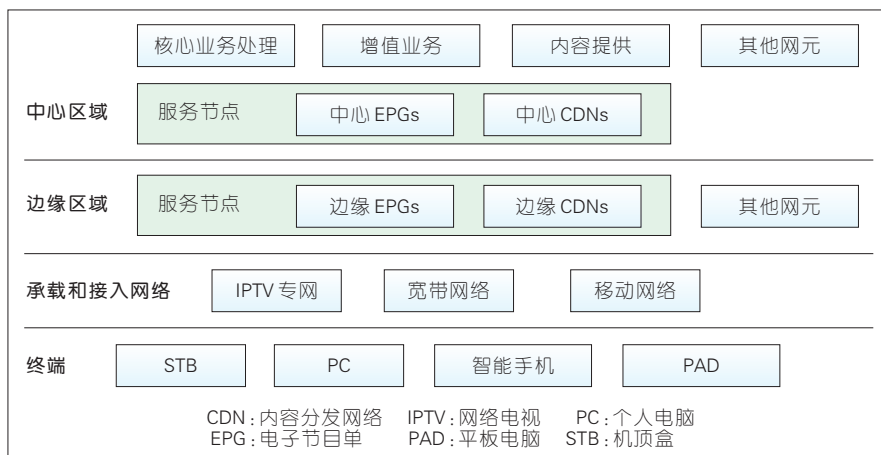
相应的业务安全解决方案体系结构如图2所示。其中,各主要组成部分为:

- 主机安全运维——对视频业务大量的服务节点和中心节点,从日志管理、入侵检测、合规管理等方面提升系统基础安全性。

- 主机内容防篡改——在主机内核部署模块只允许指定进程对指定目录进行写操作,其他非法进程的写操作则直接被阻断并告警。

- 码流防篡改——通过数字签名方式检测视频流端到端的传输是否发生非法篡改。

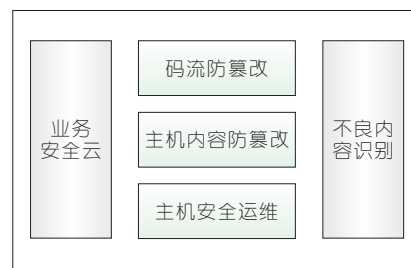
- 业务安全云——对服务节点



▲图1 视频业务逻辑架构

可能面临的Web攻击、DDoS攻击等安全威胁实施保护。

- 内容安全(不良内容识别)——对缓存在服务节点的视频、图片、文本等内容实施扫描,识别其中的不良内容(如黄色、暴力等)以及可能携带的系统病毒,通知业务系统采取进一步处置措施。



▲图2 视频业务安全解决方案体系结构

#### 3.1 主机安全运维

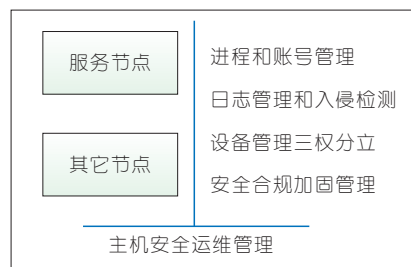
视频业务往往需要在业务开展的地、市区域部署大量服务节点和若干中心节点。如前所述,大量的设备需要统一进行安全管理,避免因某个节点安全缺陷造成的风险。如图3所示,这里引入了主机安全运维方案,从进程管理、日志管理、设备管理、安全合规管理等几个方面提升视频业务节点的安全性。

(1)进程和账号管理:监测控制主机进程和账号,如果出现异常变化,如新增非系统以及非业务的进程和账号,立即生成日志并告警上报;

(2)日志管理和入侵检测:统一存储所有设备的日志信息,防止设备日志被非法删除或篡改,并分析日志信息,发现入侵痕迹及时告警上报;

(3)设备管理三权分立:将主机管理权限设置为管理员、操作员和审计员。

- 管理员包干管理若干节点主机并分配操作员,为其创建临时运维



▲图3 主机安全运维功能示意

账号和操作时间窗,但管理员无操作设备权限;

- 操作员在指定的时间窗口内进行运维操作,超出时间则其账号将被收回;

- 审计员审计设备操作状态,发现并处置安全隐患。

(4)安全合规加固管理:定期检测系统的合规配置,将不合规部分予以告警上报。

通过这4个方面的安全运维管理,节点安全状况从出现安全事件后被动采取措施,转变为事前主动检测、事中告警阻断和事后回溯,有效

提升了视频服务节点安全管控能力。

### 3.2 主机内容防篡改

如上文所述,服务节点内容被恶意篡改后的传播将导致恶劣的后果。传统的防篡改方案基于比对,设定可信源后,定期将目标目录下的文件和可信源依次比对。该方案的问题在于:

(1) 比对过程极大消耗了系统资源,且视频业务中服务节点分布各地,数量众多,需要保持数据同步;

(2) 如果可信源被攻破,则后续的比对都将失去意义;

(3) 比对周期之间如果发生篡改,则非法篡改的内容依然会被迅速传播,导致方案失效。

新一代主机内容防篡改方案在电子节目单(EPG)、CDN等服务节点部署基于内核的防篡改模块,针对存储的内容文件,依据预先配置的策略,只允许合法进程对相应目录写操作,其他进程均视为非法,并禁止增加、删除、修改这些目录下的文件。

对应的策略配置形如:

目录1——进程1  
目录1——进程2  
目录2——进程3  
……

其含义为对目录1,进程1和进程2可做写操作(如EPG模板更新、CDN内容注入等);对目录2,进程3可做写操作。其他进程对目录1、2的写操作将被直接阻止,同时做告警操作。

对应于传统比对方案,该方案的优势在于:

(1) 基于内核驱动模块,执行过程对性能消耗几乎可忽略不计;

(2) 不需要设置可信源以及基于可信源的数据同步;

(3) 发生的篡改被直接阻断,不留下任何传播恶意信息的时间窗口。

### 3.3 端到端的码流防篡改

互联网环境下,提供视频业务的

节点直接面向公众传送视频流。为防止码流在传输到终端的过程中被非法篡改,造成用户无法收看正常的节目甚至接收恶意码流,造成不良影响,引入端到端的码流防篡改方案。

(1) 在视频源的后向增加签名服务器,接收视频流,根据加密算法生成签名信息流;

(2) 如果终端具有鉴别签名信息流能力,则同时接受来自CDN节点的视频流和来自签名服务器的签名流,并对视频流计算签名值和签名流比对,如一致则接收到的视频流合法,否则该视频流非法,进行阻断和告警处理;

(3) 如果终端不具备鉴别签名信息流的能力,则在CDN节点之后,视频流接收终端之前的位置部署签名检测服务器,进行上述的类似检测和告警。

采用如上的带外方式和节点并行部署签名服务器,在不改变现有组网的情况下,有效保证了端到端的码流传输安全。

### 3.4 业务安全云

提供互联网视频服务的节点可能面临的攻击包括Web应用层攻击、系统级Oday攻击、DDoS攻击等。上文已提及基础的安全加固、安全开发流程可一定程度缓解这些攻击,但仍取决于系统研发人员和工程人员的安全意识和能力。

新一代视频业务安全解决方案包括了业务安全云方案,在业务服务节点前置安全云,根据服务节点的特点搭载可选的Web应用防火墙、抗DDoS、定制抗特定Oday漏洞、文件病毒扫描等功能,其架构如图4所示。

(1) 抗DDoS模块可选用轻量级的基于规则的异常流量探测和实时阻断方案,或者重量级的流量清洗和回注方案;

(2) 针对服务节点中的EPG等Web应用防护,架设Web应用防火墙,抵御常见的Web攻击;同时针对

突发的Oday漏洞,且后向服务节点无法及时升级补丁的场景,提供虚拟补丁引擎,针对漏洞特点编写规则,以防火墙方式抵御入侵;

(3) 如果服务节点和客户端发生文件传输,则在传输过程中可以通过安全云实施病毒扫描,以阻止病毒文件的扩散。

业务安全云服务的具体部署特性如下:

(1) 根据后向服务节点情况配置上述何种防护措施,如针对互联网缓存系统可配置上述3种安全功能,针对EPG配置Web应用防火墙(WAF)&虚拟补丁以及轻量级的抗DDoS功能等;

(2) 根据服务节点传输流量线性调整安全云服务的部署,配置足够且可靠的安全服务能力,且不会因为其单点故障导致整个服务失败。

### 3.5 内容安全

以上章节探讨了视频业务设备节点针对黑客攻击的防御方案,可以归结为系统安全问题。另一方面节点存储的内容来源也会随着业务发展而日趋多样化,如多家内容提供商甚至个人用户上传的自制视频内容等。尽管视频服务运营商未必直接生产内容,但仍要对其存储内容的合法性负有相应的责任。因此,需要一套高效可行的解决方案来鉴别视频业务存储内容的合法性,也就是内容安全问题。

不良内容的识别可针对图像和视频,如图5所示,处理流程可分为如下步骤:

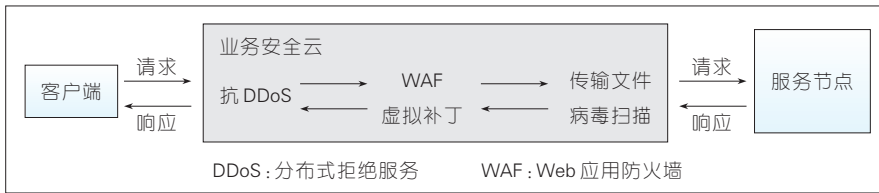
(1) 服务节点下发文件采集策略,告知新增了哪些待判别的文件;

(2) 根据策略向服务节点采集待判别文件并存储在本地;

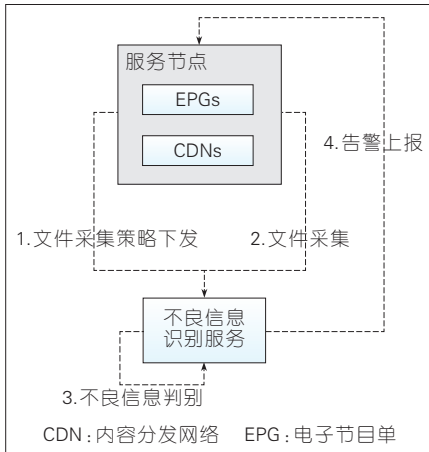
(3) 对采集的视频、图像等资源实施判别;

(4) 将判别出的不良文件信息上报到服务节点,待后者进一步处置,处置方式则包括文件删除、通知管理





▲图4 业务安全云架构示意



▲图5 视频服务节点内容安全示意

员、记录日志、降低源站信用等级等。

不良信息的判别采用基于大数据的机器学习方式。对图像的判别分为离线、在线两个阶段<sup>[9]</sup>。

(1) 离线: 采集数十万张以上的正负样本, 提取图像特征值并入库;

(2) 在线: 获得待判别的目标图像, 提取特征数据, 并依据上述特征值, 利用机器学习算法判断目标图像非法的概率, 概率大于一定阈值则判定为非法<sup>[4-5]</sup>。

不良图片的判别准确率一方面依靠机器学习算法的选型和实现, 另一方面则有赖于离线阶段样本的收集。此外, 图形处理器(GPU)运算技术的运用将大幅提升离线和在线运算的效率。

视频文件的鉴别可通过抽帧方式转化为图片, 再利用上述图片判别方式进行判别。

## 4 视频业务安全未来研究展望

随着视频业务的不断发展, 视频业务安全研究的新课题也将不断涌

现。从目前来看, 未来视频业务安全研究将有如下两方面的重要内容。

一方面是对视频内容安全实时监测控制技术的研究。现有方案将视频文件抽帧得到图片实施判断, 如果图片采样率过高会消耗大量计算资源, 采样率过低则判断精确度下降。随着人工智能和机器学习的发展, 未来针对视频画面、声音的具体内容以及前后帧关联, 需要提出更加高效的实时算法去判断视频内容合法性, 从根本上解决流媒体内容安全问题, 确保视频平台作为社会传媒核心系统的安全性, 避免造成不良的社会和政治影响。

另一方面是大数据分析平台在视频业务安全中的应用研究。将网络设备、主机、应用、安全设备等产生的所有网络行为数据(含日志、流量等)进行收集, 结合内部基础信息, 包括资产、组织架构、人员账号、安全域等上下文信息, 构建核心大数据分析算法模型, 对复杂的网络攻击事件和内部违规行为进行深度挖掘, 考量网络、主机、应用、数据等各条安全防护措施<sup>[6]</sup>, 度量视频业务网络安全一般状况, 同时预测业务安全潜在的安全攻击等风险, 及时发现现有视频业务网络及平台安全解决方案所存在的问题, 并提醒运维人员在哪一环节存在短板需要弥补<sup>[7-8]</sup>。

## 5 结束语

通过上述分析可知, 对视频业务而言, 单一维度的安全防护措施无法全面解决安全风险, 整个安全防御体系中任何一个点出现偏差都有可能功亏一篑。因此, 我们只有从系统、存储、传输、攻防手段、内容属性等多

个维度建立视频业务的完整安全防护体系, 才能从根本上解决互联网环境下视频业务的安全问题。

### 参考文献

- [1] 曹珈, 徐火顺, 尹芹. 大视频变革之路[J]. 中兴通讯技术(简讯), 2016, (3):19-23
- [2] 华新海, 刘耀东, 徐火顺. 下一代融合视频业务架构与演进[J]. 电信科学, 2015, 31(4):2-9. DOI: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015094
- [3] 陈骁, 金鑫, 谭晓阳. 基于躯干检测的单人不良图片识别[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(3): 348-355. DOI: 10.11834/jig.20160309
- [4] LIU Y, LIN S, SHENG T, et al. Adult Image Detection Combining BoVW Based on Region of Interest and Color Moments[C]// IIP 2010: Intelligent Information Processing V, Uk: DBLP, 2010:316-325. DOI: 10.1007/978-3-642-16327-2\_38
- [5] YAN C C, LIU Y, XIE H, et al. Extracting Salient Region for Pornographic Image Detection[J]. Journal of Visual Communication & Image Representation, 2014, 25(5):1130-1135. DOI:10.1016/j.jvcir.2014.03.005
- [6] 杨曦, GUL J, 罗平. 云时代下的大数据安全技术[J]. 中兴通讯技术, 2016, 22(1):14-18. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2016.01.004
- [7] CARDENAS A, MANADHAT P, RAJAN S. Big Data Analytics for Security[J]. IEEE Security & Privacy Magazine, 2013, 11(6):74-76. DOI: 10.1109/MSP.2013.138
- [8] XU L, JIANG C, WANG J, et al. Information Security in Big Data: Privacy and Data Mining [J] Access IEEE, 2014, 2:1-28. DOI:10.1109/ACCESS.2014.2362522

### 作者简介



华新海, 中兴通讯股份有限公司多媒体视讯产品总经理; 主要研究方向为云计算、基于IP的视频产品技术与解决方案、视频业务安全解决方案、内容分发网络技术等产品解决方案等。



贺镇海, 中兴通讯股份有限公司多媒体视讯产品线产品规划经理; 主要研究方向为网络安全、视频业务智能检测等。



刘志军, 中兴通讯股份有限公司多媒体视讯产品线产品规划经理; 主要研究方向为多媒体视频业务的智能安全检测、防范技术与产品解决方案等。

# 一种基于 Docker 的数据中心云平台实现方法及系统

## A Cloud Platform for Data Center Based on Docker

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2017) 01-0060-03

**摘要:** 为解决现有平台即服务(PaaS)云平台的可用性和兼容性问题,提出了一种基于 Docker 的通用容器解决方案,并进一步提出基于该容器的云平台系统架构,详细描述了各个子系统及其功能模块的设计实现。认为通过引入动态调度模块,并复用多个分布式系统的公共组件,将使该系统架构的调度能力更加开放。

**关键词:** PaaS; Docker; 平台架构; 资源调度

**Abstract:** In this paper, a common container solution based on Docker is proposed to enhance availability and compatibility of platform as a service(PaaS) cloud platform. Furthermore, the cloud platform architecture based on Docker is proposed, and the design and implementation of its subsystems and functional modules are also described. It is believed that scheduling possibilities should be improved by dynamic scheduling module and common components of distributed system reuse.

**Keywords:** PaaS; Docker; platform architecture; resource scheduling

彭勇/PENG Yong<sup>1</sup>  
谢剑/XIE Jian<sup>1</sup>  
童遥/TONG Yao<sup>2</sup>  
申光/SHEN Guang<sup>2</sup>

(1. 广西科技大学, 广西 柳州 545006;  
2. 中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京 210012)  
(1. Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, China;  
2. ZTE Corporation, Nanjing 210012, China)

### 1 应用服务部署现状

随着信息化技术的深入发展,数据中心的应用服务数量急剧增加,原有采用实体机和虚拟机部署应用服务的方式面临着以下的问题:

- (1) 数据中心资源利用率不高。
- (2) 应用环境管理复杂,维护效率不高。
- (3) 应用服务迁移困难。
- (4) 传统应用服务部署启动慢。

### 2 现有 PaaS 云平台分析和 Docker 容器技术

#### 2.1 现有 PaaS 云平台分析

平台即服务(PaaS)是云服务的

收稿日期: 2016-10-10  
网络出版日期: 2017-03-02

一种<sup>[1]</sup>,服务提供商不仅提供按需索取的硬件和操作系统服务,还提供了应用程序平台和解决方案。通过 PaaS 平台,应用开发者可以很方便地把应用和服务托管在平台之上,而不用关心它们底层的硬件配置和运行环境。目前,业界已涌现出众多的 PaaS 云平台<sup>[2]</sup>,但它们均存在很大的不足。首先就是应用的运行环境兼容性较差,单一化的运行托管环境会导致应用的兼容性降低,不利于 PaaS 平台的快速扩张和通用性要求;其次, PaaS 平台内置的基础能力也不足,无法满足应用提供者对于能力的多样化需求<sup>[3]</sup>;另外,现有的 PaaS 云平台一般仅提供针对特定编程语言的应用运行环境,如 Google 应用程序工程(GAE)<sup>[4]</sup>仅支持 Python 和 Java 运行环境,新浪应用程序工程(SAE)<sup>[5]</sup>

仅支持 Java 和 PHP5 运行环境,因此急需提升平台的可用性和扩展性。

#### 2.2 Docker 容器技术

Docker 是基于 Linux 的 LXC(Linux 容器)技术,把应用包装在容器里,使其具有移植性和独立性。具体来讲, Docker 提供标准化的 Image 和 Image 共享等功能,能够很简便地在 Docker 内部嵌入一个 Web 服务器(如 Jetty、Tomcat 等),更重要的是,使用 Docker 可以运行非常多的容器进程,针对不同 Web 服务能提供不同的 Image,并将各类不同的应用运行环境统一封装,对外提供统一管理和操作接口,提高 PaaS 平台的可用性和灵活性。

### 3 基于 Docker 的 PaaS 云平台设计

基于 Docker 的数据中心云平台的系统架构如图 1 所示,下面对该 PaaS 云平台涉及的主要实体和实体间的逻辑子模块进行描述。

### (1) 云平台调度子系统。

云平台调度子系统是整个云平台的大脑,用于合理地分配系统资源,具体说来就是一个容器到底落地在哪些物理服务器上<sup>[6]</sup>。调度子系统可细分为两个部分:初次调度和动态调度。初次调度是当用户第一次创建应用时进行的调度,包括资源的创建、删除、修改等操作;而动态调度是指在系统运行过程中的调度,主要是针对某些负载过高、过低的容器进行 scaling out、scaling in 的调度,实现资源的合理分配、整合。

### (2) 路由控制子系统。

路由控制子系统在 PaaS 云平台中对所有进来的请求进行路由,该系统分为两层:第1层是从外部域名到内部临时域名的路由,第2层是从内部临时域名到容器的路由<sup>[7]</sup>。提供内部临时域名是为了方便应用开发者在提交应用之后再次检查确认,路由控制子系统还提供负载均衡、健康检查、会话粘滞等高级功能。

### (3) 通用容器子系统。

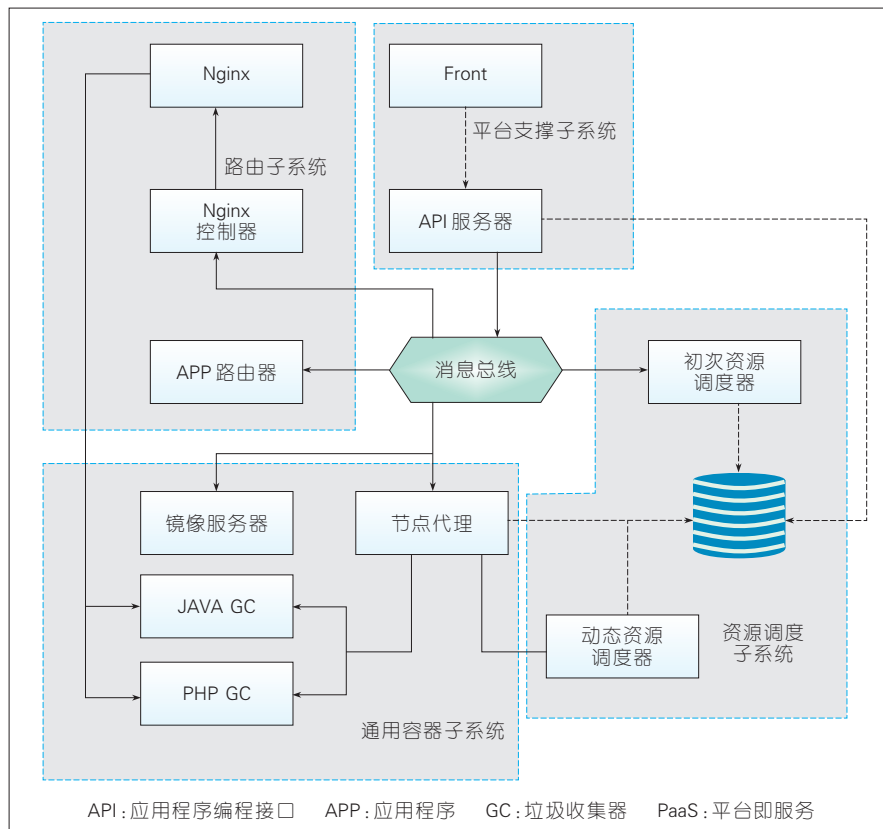
通用容器可抽象出两层,分别为适配层和容器层。适配层一方面可以作为驻留结点采集主机负载等信息,另一方面可以适配底层的容器。容器层则是在 Docker 应用程序编程接口(API)的基础上封装出不同的 Web 容器,比如 Docker-Jetty、Docker-Tomcat 等。同时还引入了镜像服务器这个集中式镜像管理模块。

### (4) 平台支撑子系统。

平台支撑子系统是平台中的基础模块,提供基础能力的支持,比如:API 服务器将系统的能力统一抽象出 restful 的 HTTP 接口,Memcached 提供不同容器之间的 session 共享,Cache 提供高性能的分布式对象缓存服务,MySQL 提供原生的关系型数据库,Freedisk 提供小文件存储的服务。

## 4 基于 Docker 的 PaaS 云平台实现

本系统分为资源调度子系统、路



▲图1 基于 Docker 的 PaaS 云平台架构

由控制子系统、通用容器、平台支撑子系统4个子系统。

### 4.1 资源调度子系统的实现

资源调度子系统是整个系统的核心,当 PaaS 应用请求通过 API 服务器到达系统内部时,是由资源调度子系统决定数据流的走向。

对于调度子系统,我们在实现时又细分为初次调度和动态调度<sup>[8]</sup>。

初次调度是指请求第1次到来时的调度,调度子系统在收到申请部署应用之后,通过该次调度决定承载该应用的多个容器分别落在哪几台物理服务器上。

而动态调度是指在系统运行过程中,通过对应用状态和容器状态的监测控制,对应用动态地进行扩容、缩容等。

资源调度子系统主要包括的模块如下所述。

(1)初次资源调度器:实现所有

初次资源操作请求的中转和协调,实现方式分为两步。第1步先取出所有的物理服务器,针对不同的请求策略使用不同的过滤器来过滤物理服务器,得到可用的服务器列表,保证主机的可用性。第2步是引入权重和打分概念,初次资源调度器通过不同的权重计算每个主机的得分,然后按照主机的得分从高到低排序,并按照应用部署多个副本(默认是2个)到得分高的主机上。

(2)动态资源调度器:实现动态调度,动态地增加、减少应用后端容器的数量。动态资源调度器获取到主机和 Docker 容器的负载信息后,按如下策略完成应用副本扩充:根据相应的调度策略选择负载最低的主机,在该主机上部署此应用的副本,同时向路由子系统发送请求,请求修改路由的指向,使得新加入的应用副本可接收请求,从而实现负载均衡。当集群中所有主机都接近于高负载状态



时,将停止应用副本的扩充,并向管理员发出告警邮件。同理,若发现某应用的所有副本的平均访问量过低,则按一定策略进行应用副本的收缩,此外,在副本扩充和收缩的过程中,添加定期碎片整理,在保证同一应用的多个副本分布在不同主机的前提下,尽量将分散的应用汇集到部分主机上。

(3)节点代理:一方面作为驻留进程运行在每个计算节点上,周期性地向初次资源调度器上报心跳数据,心跳数据包含CPU利用率、内存使用率和硬盘剩余空间等信息;另一方面适配底层的 Docker 容器,并获取其上每个容器的负载数据,包括CPU占用率、内存使用率、硬盘读写状态等。

#### 4.2 路由控制子系统的实现

路由控制子系统维护了整个系统的路由信息,包括外部域名到内部临时域名和内部临时域名到容器(ip+端口)的映射,在底层通过对 Nginx 反向代理服务器的控制来实现 Web 请求的分发和比例控制。

路由控制子系统包括如下所述的主要模块。

(1)APP 路由器:整个 PaaS 云平台路由的核心控制组件,该组件负责维护 1 份包含所有应用路由策略的路由表,并根据特定的任务调度算法控制 Nginx 以完成对应用访问请求的路由,实现多个应用副本间的负载均衡、健康检查、会话粘滞等功能。该模块在接收到域名增加或删除操作的时候,先进行合法性判断,确定合法之后再判断是否需要更新路由表,如果需要则通知 Nginx 控制器进行路由表的更新操作。

(2)Nginx 控制器:跟 Nginx 同机部署。在收到 APP 路由器的更新路由信息的通知后,从数据库中加载最新的路由信息,并通过 Java 的 Velocity 技术生成对应的配置文件,替换当前 Nginx 的配置文件并重启 Nginx,从而使得路由信息及时生效。

(3)Tengine:在 Nginx 的基础上,针对大访问量网站的需求,添加了高级功能和特性,比如一致性 hash,会话保持,健康检查,根据服务器状态自动上线、下线等。

#### 4.3 通用容器的实现

基于对 Docker 的封装,提供了多种 Web 容器,比如 Java 的容器、PHP 的容器等。另外,为了方便平台管理者快速发布、删除容器,还创新性地引入镜像服务器这个集中式镜像管理模块。

#### 4.4 平台支撑子系统的实现

该平台还包括其他一些支撑组件,具体如下所述。

(1)API 服务器:整个系统对外提供的接口,使用 Spring 框架实现,把系统的能力通过 Restful 的 HTTP 接口暴露出来,方便系统管理员调用。

(2)Memcached:整个 PaaS 平台容器的内存共享池,通过在容器内部把 session 信息重定向到该共享内存池中,实现会话保持<sup>[9]</sup>。

(3)Nginx-Log:分析 Nginx 的日志信息,采集每个应用访问量等信息。

(4)基础能力:比如 Mysql 数据库、定时任务等一些公用的服务。

### 5 结束语

针对现有应用服务部署存在的问题,以及现有 PaaS 云平台兼容性和扩展性的问题,我们提出了一种基于 Docker 的数据中心 PaaS 云平台实现方法。

未来可以使用容器逐步替换数据中心云平台中所有基础模块,如监测控制模块、负载均衡模块、服务管理模块、日志收集模块、消息中心管理模块等,使数据中心云平台计算、存储进一步分离。

#### 参考文献

- [1] 吴朱华. 云计算核心技术剖析[M]. 北京:人民邮电出版社, 2011
- [2] 卜文军, 邹朝斌, 于佳琳. 热点云计算平台推荐[J]. 硅谷, 2011, 10(5):10-10. DOI: 10.3969/j.

issn.1671-7597.2011.05.010

- [3] 徐鹏, 陈思, 苏森. 互联网应用 PaaS 平台体系结构[J]. 北京邮电大学学报, 2012, 35(1):120-124. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5321.2012.01.028
- [4] 李露. GAE 的技术发展及应用[J]. 科技创业月刊, 2012, 26(8):192-193. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2272.2012.08.088
- [5] 丛磊. 新浪云计算 SAE 的技术演变[J]. 程序员, 2014, 15(9):90-95
- [6] NIVODHINI M K, KOUSALYA K, MALLIGA S. Algorithms to Improve Scheduling Techniques in IaaS Cloud[C]// ICICES 2013, USA:IEEE, 2013:246-250. DOI: 10.1109/ICICES.2013.6508188
- [7] 高允翔, 汤泳, 肖伟. 运营商私有云的 DaaS 构建方案初探[J]. 邮电设计技术, 2012, 55(10):20-22
- [8] VAQUERO L M, RODERO-MERINO L, BUYA R. Dynamically Scaling Application in the Cloud[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2011, 41(1):45-52. DOI: 10.1145/1925861.1925869
- [9] PETROVIC J. Using Memcached for Data Distribution in Industrial Environment[C]// ICONS 08, USA:IEEE, 2008:368-372. DOI: 10.1109/ICONS.2008.51

#### 作者简介



彭勇,广西科技大学网络与现代教育技术中心工程师;研究方向为云计算、信息安全等。



谢剑,广西科技大学网络与现代教育技术中心工程师;研究方向为云计算、数据库、数据挖掘等。



童遥,中兴通讯股份有限公司工程师;研究方向为云计算、统一通讯等。



申光,中兴通讯股份有限公司工程师;研究方向为云计算、统一通讯等。

# 《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)参考文献以20条左右为宜,不允许公开发表的资料不应列入。所有文献必须在正文中引用,文献序号按其在文中出现的先后次序编排。常用参考文献的书写格式为:
  - 期刊[序号]作者.题名[J].刊名,出版年,卷号(期号):引文页码.数字对象唯一标识符
  - 书籍[序号]作者.书名[M].出版地:出版者,出版年:引文页码.数字对象唯一标识符
  - 论文集中析出文献[序号]作者.题名[C]/论文集编者.论文集名(会议名).出版地:出版者,出版年(开会年):引文页码.数字对象唯一标识符
  - 学位论文[序号]作者.题名[D].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:通信地址、电话(含手机)、Email等。

### 3. 其他事项

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

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

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

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

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133期  
2017年4月 第23卷2期

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

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

---

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

出版、发行:中兴通讯技术杂志社  
发行范围:全球发行  
印刷:合肥添彩包装有限公司  
出版日期:2017年4月10日  
中国标准连续出版物号:ISSN 1009-6868  
CN 34-1228/TN  
广告经营许可证:皖合工商广字0058  
定价:每册20.00元,全年120.00元