

M-ICT 时代 SDN 技术实践与创新

Practice and Innovation of SDN Technology in M-ICT Era

李光/LI Guang
王延松/WANG Yansong
范成法/FAN Chengfa

(中兴通讯股份有限公司, 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 (2016) 04-0061-006

摘要: 软件定义网络(SDN)集中控制、控制和转发分离、网络能力开放的特点将使其成为未来网络的主要支撑技术,以应对万物移动互联网、业务复杂多变、带宽飞速增长等挑战。重点介绍了中兴通讯融合云计算和开放网络思想在SDN技术方面的实践和创新,相关场景包括数据中心网络、广域网、5G网络切片、云网融合的随选网络等,同时指出了未来需要进一步重点关注的技术方向。

关键词: SDN; 网络功能虚拟化; 网络重构; 数据中心; 广域网; 5G网络切片; 随选网络

Abstract: Due to the advantages of centralized control, forwarding and control separation, and open network capability, soft defined network (SDN) will be the main supporting technology of future network to deal with major challenges, such as Internet of everything, complex and various business, continuously increasing bandwidth, etc. ZTE focus on the practice and innovation of SDN technology which is combined with cloud computing and open network technology. Major related application scenarios such as data center network, wide area network (WAN), 5G network slices, on-demand network (fusion of cloud and network) are discussed. Meanwhile, we propose the key technology development direction in the future.

Key words: SDN; NFV; network reconfiguration; data center; WAN; 5G network slice; network on-demand

1 新时代网络面临的挑战

M-ICT时代是一个前所未有的巨变新时代,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。生活与工作也会难分彼此,消费者和企业需要在日常生活和工作中即时按需接入应用和获取信息。虚拟现实(VR)/增强现实(AR)的兴起将使虚拟与现实合二为一,物理与数字世界的关联更加紧密,人工智能让数字世界变得更智慧。因此,要求互联网变得更加灵活、更加迅捷地服务于生活,需要帮助客户在信息的收集、分发、处理、存储、传输、消费等各环节挖掘更多的价值。

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。随着丰富而便捷的各种互联网应用服务(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、不可观。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^[1]。

M-ICT时代是一个宽带飞速增长、流量模型多样化的时代,互联网需要支持跨域和多样化的带宽、性能保证。过去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6000Gbit/s,未来5年将增长10倍或更多。各种业务对网络的带宽、时延、并发用户数提出了不同的要求。同时,业务的流量模型也在发生变化,淘宝“双11”抢购、春晚直播等产生的流量具有事件性、突发性,对网络带来了巨大的压

力。当前网络僵化、封闭的缺陷被逐渐放大。

2 SDN 技术综述

软件定义网络(SDN)的出现带来了新一轮的产业变革,它正逐渐成为解决未来网络发展问题的关键技术之一。

SDN的思想最早来自于学术界,2006年为了更好地实现控制与转发分离并加快网络创新,由斯坦福大学主导,在美国自然科学基金会(NSF)以及工业界的支持下启动了Ethane项目,这是SDN技术的雏形。2008年,Nick McKeown在SIGCOMM会议上首次提出了将OpenFlow协议用于校园网络的试验创新,SDN呼之欲出。

收稿时间: 2016-07-20
网络出版时间: 2016-09-08

2011年初,成立了开放网络基金会(ONF),并在2012年4月发布了SDN白皮书,其中网络三层架构模型获得了业界的广泛认同。2012年谷歌宣布其主干网络已经全面运行在OpenFlow上,通过10G网络链接分布在全球各地的12个数据中心,使广域网线路的利用率从30%提升到接近100%。SDN的快速部署引起了业界广泛关注,它向人们证明了SDN具有解决网络现存问题的能力,同时也增强了业界对于SDN技术可行性的信心。

SDN关键技术包括几个方面的内容:控制与转发解耦,实现控制集中化和网络能力开放化。其架构分为转发平面、控制平面和应用平面。控制平面即SDN控制器是整个架构的核心,进行集中的管理与控制,并提供网络能力开放接口。一个SDN控制器可以对转发平面多台设备进行控制,转发设备与控制器之间通过南向接口进行通信,转发设备仅仅进行数据的处理与转发。除了对下层转发设备进行控制外,SDN控制器还

提供了一系列的开放编程接口,提供给应用层对网络的业务灵活加载及控制。应用程序(APP)提供通过控制器北向接口,实现网络功能的定制与创新。

SDN商用部署明显加快。预计2016年,SDN在云服务提供商和通信服务提供商数据中心的部署比例将从2015年的20%提高到60%,同时,SDN的企业采用率预计将从6%提升至23%。预计至2019年,应用于数据中心和企业局域网SDN领域的以太网交换机和控制器收入将达到122亿美元,其中交换机占82亿美元,SDN控制器占40亿美元。

3 SDN 实践与创新

3.1 未来网络整体架构

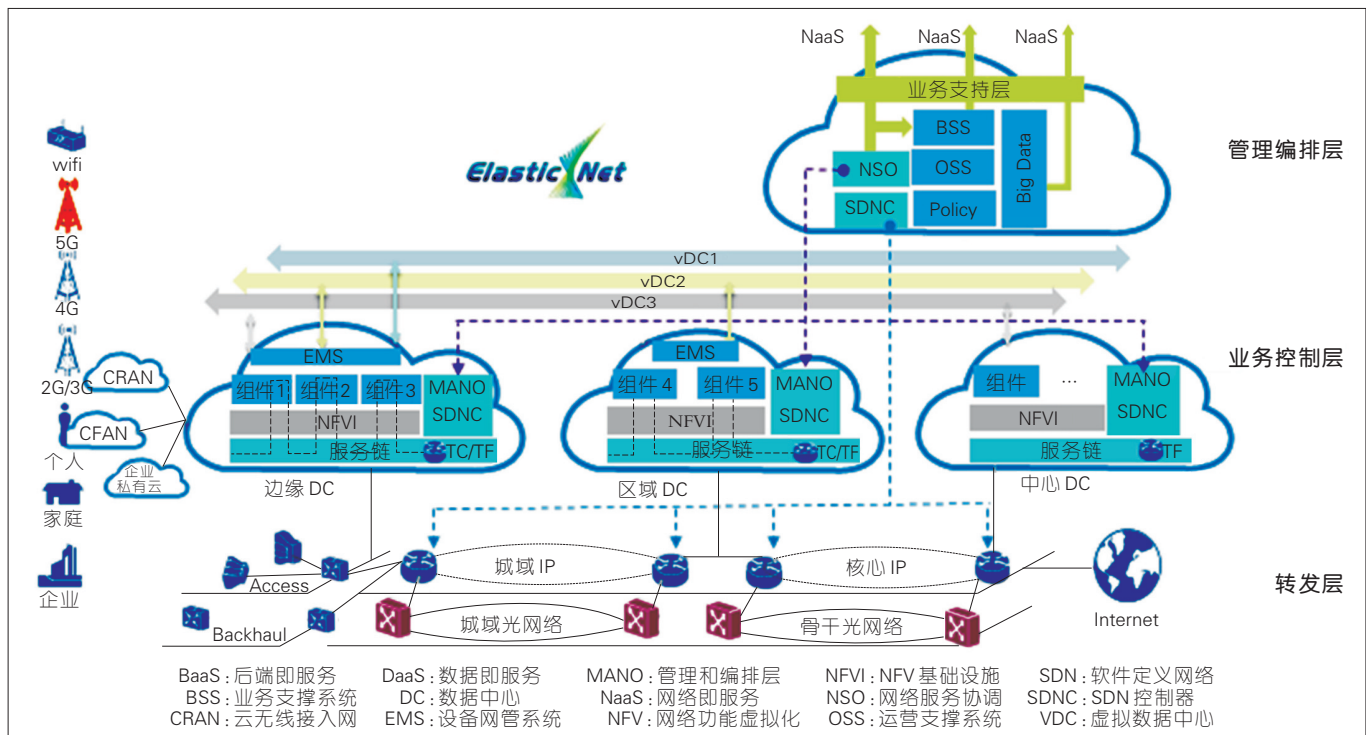
云时代基于“云”来构建全新的基础网络,突破传统垂直分割、封闭网元的刚性结构,引入水平分层的网络架构,重塑弹性开放、云网协同的一体化网络。SDN/网络功能虚拟化(NFV)为这个变革提供了技术支撑

和前进动力。中兴通讯创新性地提出了以“云”为中心的未来网络ElasticNet2020,如图1所示。总体思想是“一个中心,双轮驱动,三层重构”。“一个中心”是指将以虚拟数据中心(VDC)为中心重新构建网络,云将成为新网络基础设施的核心。“双轮驱动”是指SDN、NFV两种技术相互促进。“三层重构”是指网络重构、业务重构和运营重构^[2-3]。

SDN在ElasticNet中的位置在网络重构中,目的是改造传统电信网络的基础设施层,形成云网融合的新基础设施。网络重构后,云网融合的基础设施重点使能基础设施即服务(IaaS)云能力。以“云”为核心的网络可以分为云接入、云内网、云互联3个部分^[4]。

云接入是指终端到云的网络连接,其中包括宽带接入网、移动回传网等。5G BackHaul的SDN化已成为业界共识,用户定制业务的随选网络也离不开SDN技术,它将使接入网变得更加灵活、按需接入、用户可定制。

云内网对应数据中心网络,在边



▲图1 ElasticNet 架构

缘、区域、中心 3 级数据中心,云计算、SDN、NFV 等得到了充分的应用。通过将计算、存储、网络进行全方位的虚拟化改造,在 SDN 控制器和 NFV 协调层的统一调度下,流量不再经 L4~L7 层设备中转,避免了流量的迂回,大大降低了转发时延,虚拟机业务的添加、删除也变得异常灵活、快捷,网络的自动化管理、敏捷性和资源利用效率都将大为提升。

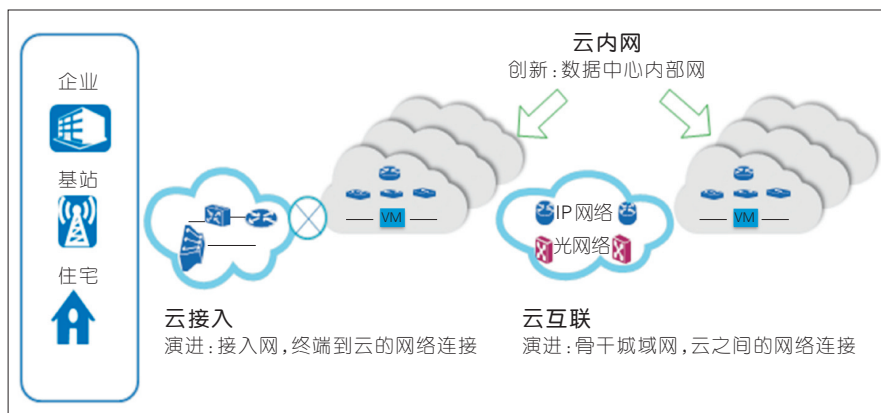
云互联对应传统互联网协议(IP)骨干网。随着数据中心逐步成为网络上的核心节点,骨干网的流量特点也发生了变化。数据中心分布式部署、虚拟机(VM)迁移等带来的东西向流量对骨干网带宽、时延、服务质量(QoS)等提出了更高要求。广域网 IP 和光的技术融合也对联合调度、路径选择提出了新的挑战。基于集中控制、控制和转发分离的 SDN-广域网(WAN)解决方案可以很好地解决上述问题。

随着网络的演进,将出现 3 类新兴的云网关:首先,基于 NFV 的虚拟化网络功能放置在数据中心,形成了业务增值网关。其次,进入数据中心的流量要有效地分配到每个 VM 上,以做到负载均衡、用户功能定制等,因此产生了分流网关的设备形态。另外,为了帮助客户获得云时代更好的体验,前端设备需要运用 SDN 和 NFV 最新技术,形成具有“智能”的微云网关。这 3 类云网关设备既有分工,又有协作,共同促进了网络的转变,用户体验的提升,如图 2 所示。

中兴通讯基于对 SDN 技术的深入理解,融合云计算和开放网络的思想,在 ElasticNet 架构下,开展了多项创新实践。

3.2 数据中心网络

随着云计算的兴起,云数据中心成为未来电信网络的核心节点,其承载各类 NFV 云化软件及 IT 系统,实现信息通信技术(ICT)融合,同时也成为网络的一个部分,实现了“云”和



▲ 图 2 基于“云”的网络层次

网络资源的统一规划部署和调度。云数据中心是 ElasticNet 架构应用的最典型场景,SDN/NFV 技术在其中充分融合,目前已经开始商用部署。

SDN 应用的优势首先体现在实现海量用户的支持。数据中心存在大量的租户,需要网络层唯一标识租户,并实现租户的安全隔离,保障用户的独立性和数据安全;同时,租户租用了 VDC 服务,需要与其内部网络组网,需具备自助管理功能。通过 SDN 的集中控制器,实现网络虚拟化,结合虚拟可扩展局域网(VXLAN)技术等,可以很好地解决上述问题。

其次,使用 SDN 可以实现多路径转发与负载均衡。SDN 控制器上有全局的网络视图、资源信息和利用率信息等,可以预设用户策略、负载均衡策略,通过统一计算和流表下发控制转发路径,显著提升了转发效率。

另外,SDN 可带来网络能力的开放。网络虚拟化后,网络资源可以作为一种基础资源进行开放和增值,用户可以编程来定制网络,并可以与计算、存储资源一起,形成完整的 IaaS 服务,增加收益,高效运维。当然,能实现网络的自动管理、诊断,及绿色节能等优点^[9],也是 SDN 在数据中心应用得到业界广泛认可的重要原因。

中兴通讯 VDC 解决方案基于 SDN 的 Overlay 架构,在 VXLAN 隧道端点(VTEP)/网关(GW)之间建立 VXLAN 隧道,无需升级原有硬件交

换机。Underlay 网络负责提供底层网络连通性。Overlay 网络在不改变底层网络的前提下实现多租户、大二层、按需自动化部署、配置等网络功能。SDN 控制器负责控制基础网络,以实现网络的自动化配置。VTEP 点可以选择在虚拟交换机(vSwitch)上或者架顶(TOR)交换机上。数据中心南北向流量和东西向流量在 VXLAN 网关统一分流,出数据中心的流量在网关处做 VXLAN 终结和网络地址转换(NAT)等。对于小型私有云,既可以采用服务器 VM 做网关,也可以采用交换机,以降低建网成本。对于大型私有云,推荐采用大型交换机做网关,单位成本流量最低。对于大型公有云,建议采用路由器形态的网关设备,支持和 NAT、VPN 的合一部署,大大提升了设备集成度,如图 3 所示。

中兴通讯实现了多项创新技术:支持分布式路由,同租户跨子网的流量就近转发;基于 Intel 数据面开发工具集(DPDK),实现了虚拟机出向的流量一次查表,零报文拷贝,可达到线速转发;SDN 控制器可以支持完善的分布式集群功能,支持数据切片;SDN 控制器基于高性能消息机制,组件之间完全隔离、异步并发;TOR 将 OpenFlow 流表映射为芯片流表,实现硬件级高性能流转发;通过 OpenStack 的 Ironic 技术和控制器配合提供裸金属服务器部署能力,实现虚拟化和非

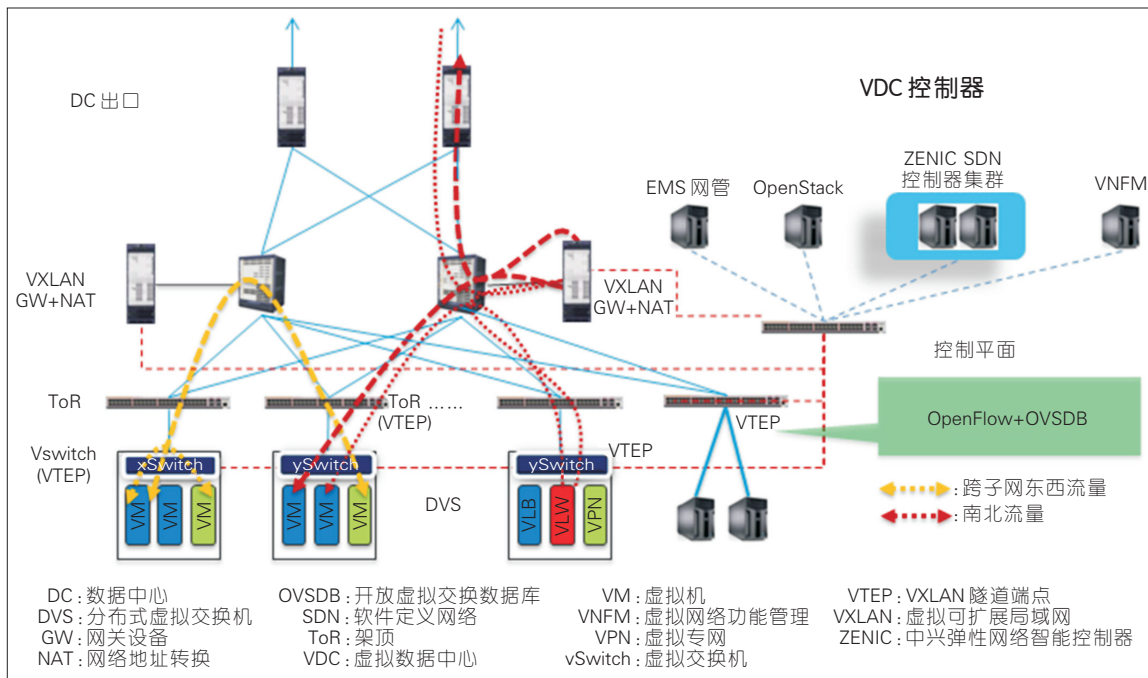


图 3 SDN VDC 解决方案

虚拟化环境统一管理。

3.3 广域网

广域网涉及多个网络层次,不同的网络层次和区域一般是独立的,处于不同的控制管理域。传统的广域网是封闭的,从应用和业务的角度来看,网络是一个黑盒子。使用 SDN 技术,通过北向接口实现网络能力对上层应用开放,让上层应用获得其所需的网络资源和服务,可以真正实现“网络即服务”^[6]。

广域网 SDN 应用涉及多个场景。有移动 BackHaul 的基于 IP 的无线接入网 (IPRAN) 虚拟化和软件定义的分组传送网 (SPTN),也有数据中心之间的互联网络 (DCI),还有光传输的软件定义 OTN (SD-OTN) 等。而最终,整个大网将统一为 SDN 化的 IP 和光协同的大网。

SDN IPRAN 实现了 IPRAN 网络的集中管理控制和接入虚拟化,海量的 IPRAN 接入设备被虚拟为汇聚设备的远端板卡进行管理。其中,网络拓扑的获取、路径的计算和选择、业务通道的建立均由 SDN 控制器完成,无需在 IPRAN 设备上运行复杂的 IP/无

缝多协议标记交换协议 (MPLS),降低了专业技术门槛。同时,IPRAN 虚拟化支持端到端、多段拼接的 L2 虚拟专网 (VPN)、L3VPN 业务以及 L2+L3 的 VPN 业务。在管理方式上,可采用 Web Portal,实现 IPRAN 接入层业务一键式部署,并提供扩缩环 APP 业务,可快速实现网络的弹性调整。整个系统采用标准化的南北向接口,利于互通和扩展。随着 SDN 技术的进一步发展,以 IPRAN 接入层为起点的技术逐渐被扩展延伸,增加了多层多域的概念,增加了对 MPLS 的管理,使其可以应用到 IP/MPLS 全网,实现全网的 SDN 化。

SPTN 是将 SDN 网络控制与分组传送网 (PTN) 转发面结合的技术,实现了集中化智能控制、网络可编程与 PTN 高效多业务传送能力。端到端操作维护管理和电信级高可靠性的结合,提升了 PTN 网络的资源利用率和开放性,打破了垂直组网架构,实现了网络智能、动态的重组,同时有利于跨域业务协同等。PTN 网络虚拟化后,可感知网络和业务状态,实现精细化网络调优,打破网络资源电商化销售模式。控制器采用分层架

构,域控制器 D-Controller 负责一个管理域内的业务分发,跨域控制器 H-Controller 负责跨域业务分发,如图 4 所示。

随着数据中心逐渐成为网络流量的起点和终点,以及数据中心承载的业务类型增多,跨数据中心间流量交互(即东西向流量)快速增长。DCI 骨干网为上述流量提供快速、自动、多样化、差异化的承载服务,能够实现基于租户级别的流量调度和优化。目前 DCI 常用的是可以感知到租户流量的松耦合方案:业务编排器支持租户建立端到端的自定义网络;租户网络在骨干网边缘路由器和 GW 之间通过 VXLAN 标识隔离;在 DCI 边缘设备上,支持 VXLAN-虚拟 VPN (EVPN) 功能,并可以把租户流量映射到 IP/MPLS 网络,而对 DCI 核心设备无特殊要求。骨干网边缘路由器上只需支持通过边界网关协议传递域内链路状态 (BGP-LS)、路径计算单元通信协议 (PCEP) 和基于 XML 的网络配置协议 (NetConf),就可以和 SDN 控制器协同实现骨干网的流量调度和优化。

SDN 化光传送网 (SD-OTN) 的控

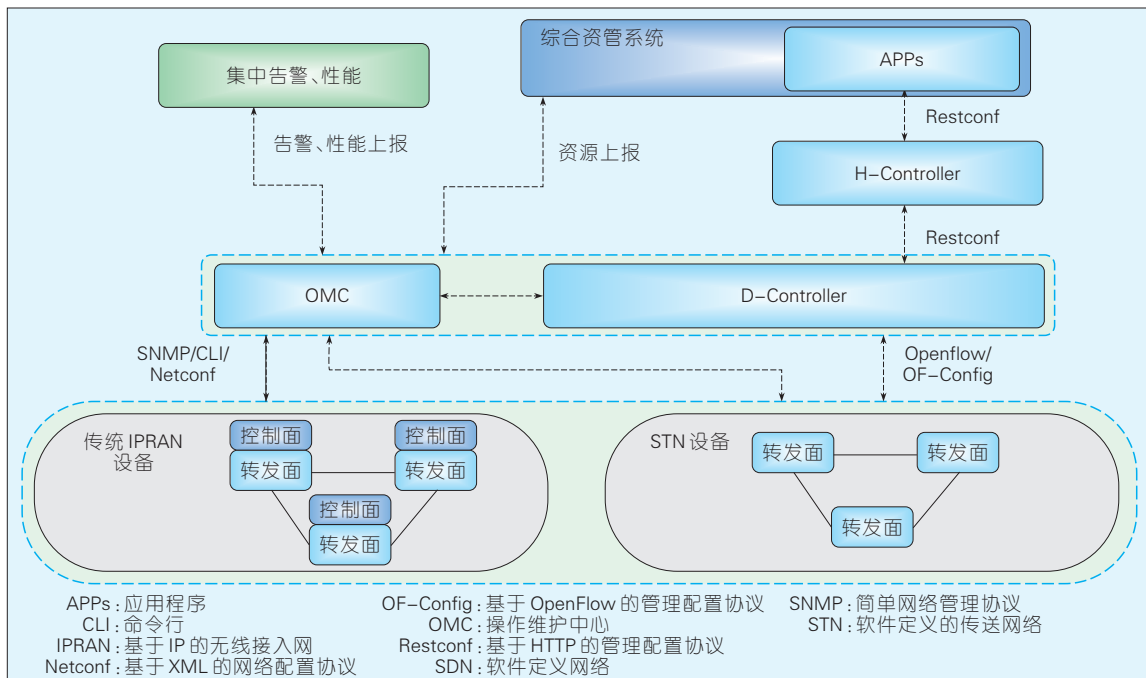


图4
移动 BackHaul
SDN 应用

制器采用层次化的设计,具有全局网络视图、转发状态等信息,并将传输资源虚拟化后开放给上层应用。通过SDN改造,实现了组件可编程、节点可编程、网络可编程,方便运营商业务开展和网络调度等。

中兴通讯在广域网SDN上大胆创新,取得多项先进成果:实现了IP和光的统一控制,实现多个场景的统一部署;基于路径计算单元(PCE)实现分组和光联合调度,实现跨层业务自动配置,降低了路由器投资;支持多种南向接口;支持多域分层控制,通过H-Controller实现跨域的路径计算、业务编排。

3.4 5G 网络切片

国际电信联盟(ITU)确定了5G的3个主要应用场景:一是面向4K/8K超高清视频、全息技术、增强现实/虚拟现实等应用,需要支持0.1~1 Gbit/s的用户体验速率,此场景下的主要需求是高带宽;二是面向大规模机器通信、物联网的海量传感器接入,每平方公里将有一百万的连接,此场景需要支持海量的并发连接;三是面向无人驾驶、远程机器人控制、

远程医疗手术等实时应用领域,要求超低的端到端时延,通常不能超过几毫秒,此场景的主要需求是高可靠、低延时。上述应用需要5G网络以灵活的方式构建,形成5G网络中的“三朵云”。运营商则可以对速率、容量和覆盖率等网络性能指标进行灵活动态的调整和合理的部署,从而满足不同应用的个性化需求。基于网络切片的5G将使运营商服务于小众定制化的需求成为可能^[7]。

中兴通讯采用SDN/NFV的平台技术实现新型网络架构,解决物联网等多样化场景的问题。新型“三朵云”5G网络架构通过引入NFV和SDN等技术,将未来移动网络的控制面与转发面分离,将作为上层应用的网络控制功能与底层网络基础设施分离,这是实现网络切片的基础。5G网络将呈现“一个逻辑架构、多种组网架构”的形态,通过网络切片,实现基于统一基础网络架构按需构建不同的逻辑网络实例。

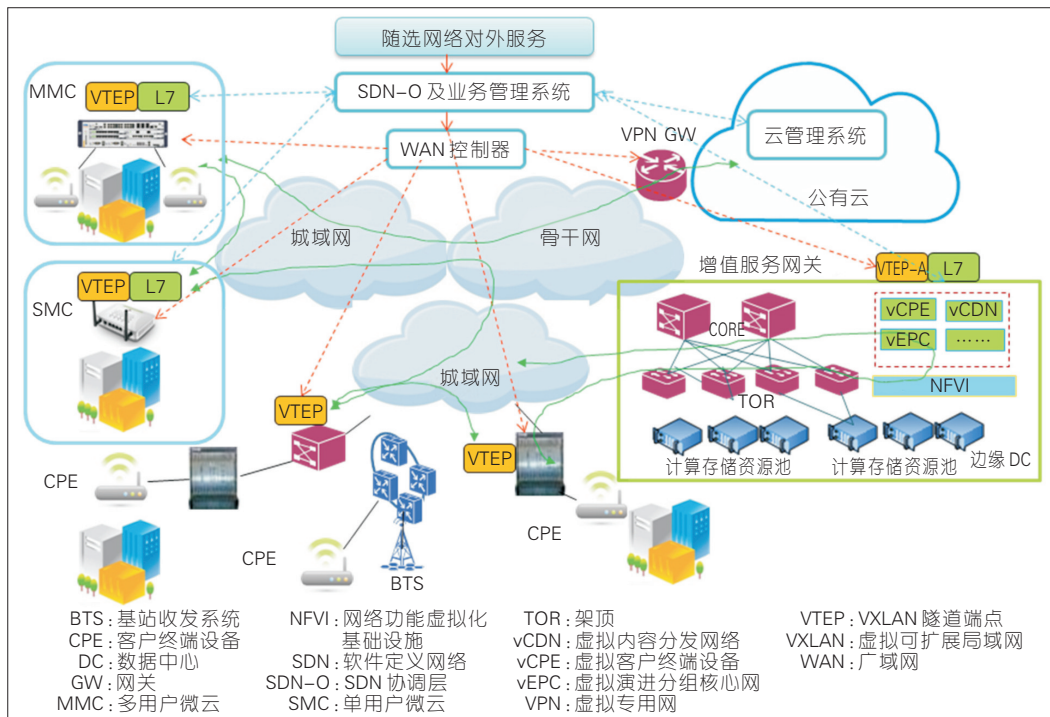
中兴通讯的5G网络切片方案采用统一控制平台,支持有线和无线的统一编排和调度,支持分组与光深度融合,联合调度,以适应5G高带宽、

低延时的要求。

3.5 云网融合的随选网络。

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,如图5所示。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(BOSS)、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。

相比一般只重视连接随选的思路,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、点到数据中心三类专线服务。通过SDN的调度,可以实现站点、带宽、服务质量(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、WAN加速等业务,提升



▲图5 随选网络组成

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。

中兴通讯独有的微云一体机产品具有分布式智能,这些分布式智能是随选网络的必备功能。微云一体机和可作为企业级客户终端设备(CPE)设备,除了具有高性能转发的特点以外,支持本地虚拟化,支持云平台统一管理,可配合云平台和SDN控制器实现本地的防火墙、NAT和WAN加速等。

4 结束语

SDN作为一种新的网络技术与架构,其核心价值已经得到了学术界和工业界的广泛认可。中兴通讯在SDN应用方面做了大量的实践和创新,总体来看,SDN技术还在不断演

进^[8],以下几点值得重点关注。

(1)基于SDN和NFV融合的E2E业务链技术,成为电信网络全面开放化,业务部署敏捷化的杀手锏。

参考文献

- [1] 姚春鸽. “互联网+”来了,电信网怎么变 韦乐平解析电信网的“互联网+”战略[EB/OL]. (2015-12-15) [2016-07-10] http://www.cnii.com.cn/industry/2015-12/15/content_1665320.htm
- [2] 中兴通讯股份有限公司. SDN/NFV弹性网络技术白皮书[R/OL]. (2015-06-27) [2016-07-10] <http://www.zte.com.cn/china/solutions/network/20160627>
- [3] 中兴通讯股份有限公司. 弹性网络 ElasticNet 解决方案[EB/OL]. [2016-07-10] http://www.zte.com.cn/china/solutions/network/architecture_evolution/ElasticNet
- [4] 黄孙亮. SDN重构承载网络——中兴通讯弹性云承载解决方案[EB/OL]. (2015-12-11) [2016-07-10] http://www.zte.com.cn/cndata/magazine/zte_technologies/2015/2015_12/magazine/201512t20151211_446667.html
- [5] 李晨, 段晓东, 陈炜, 等. SDN和NFV的思考与实践[J]. 电信科学, 2014, 30(8): 23-27
- [6] 沈滢, 李文宇, 张俊霞, 等. SDN/NFV专利态势与技术发展趋势[J]. 信息通信技术, 2016, 10(1): 17-21
- [7] 中兴通讯股份有限公司. 5G技术白皮书[R/OL]. (2016-04-22) [2016-07-10] <http://www.zte.com.cn/china/solutions/access/5g/424379>
- [8] 韦乐平. SDN的战略性思考[J]. 电信科学, 2015, 31(1): 1-6

(2)建立包含运营商、电信设备商、互联网公司、IT厂商、软件开发商、芯片和器件厂商在内的新型ICT产业链。

(3)开源平台也带来了一些全新的商业模式。OpenDayLight、ONOS等开源平台的崛起将重新定义设备厂商的角色,产生新的机遇和商业模式。

(4)新型路由优化技术(如BIER、分段路由等)帮助路由器向SDN的方式迁移。

2016年软件定义网络将仍然保持快速发展的态势,网络运营商、设备制造商等对SDN的探索与应用不会停止,随着越来越多的产业相关方参与到SDN

的发展中,将会带来整个SDN市场的繁荣。

作者简介



李光,中兴通讯有线研究院院长;先后主持程控交换机、IP语音网、3G平台、高端路由器、光传输、交换机等产品开发,承担省部级课题5项,获省部级奖励3项;已申请专利10余项。



王延松,中兴通讯承载网预研技术总工;主要研究方向为软件定义网络、网络功能虚拟化等;主持或参与省部级课题8项,获得省部级科技进步奖1项;已发表论文5篇,申请专利10余项。



范成法,中兴通讯承载网规划总工、有线产品首席架构师;负责产品系统架构设计,曾主持多种产品和方案的开创性研究,先后主持或参与省部级课题5项;已申请专利10余项。