



专题：数据网络技术与应用

下一代智能融合城域网方案

曹畅, 张帅, 唐雄燕

(中国联合网络通信有限公司网络技术研究院, 北京 100048)

摘要: 首先论述了目前运营商城域网存在的主要问题、智能城域网的引入背景和应用的主要技术, 然后结合城域网的规模和技术引入时间介绍了网络部署方案和业务组织方案, 并对通信云建设过程中与智能城域网的融合方式进行了分阶段阐述。通过分析, 指出智能城域网建设是运营商 SDN/NFV 网络重构和云网融合过程中的重要环节, 对于综合承载现有城域业务, 应对未来业务云网边协同都有着重要价值, 需要结合建设过程不断积累运营经验。

关键词: 智能城域网; 通信云; 分段路由; 以太 VPN

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019228

Next generation intelligent converged metro network

CAO Chang, ZHANG Shuai, TANG Xiongyan

Network Technology Research Institute of China Unicom, Beijing 100048, China

Abstract: First of all, the main issues in current operator metro network were analyzed, the background of why intelligent metro network and the main technologies of the application were introduced. Then the network deployment plans and service organization plans according to the scale of the metro network and the timeline for introduction of all related technologies were introduced. At last, a stage-by-stage exposition regarding to the fusion mode of communication cloud and intelligent converged metro network during deployment process was presented. Based on a series of analysis, it was pointed out that the construction of intelligent metro network played a very important role in the process of SDN/NFV network reconfiguration and cloud network fusion. It's of great value to bear existing metro network services synthetically and cope with future services on the collaboration of cloud, network and edge. It's necessary to accumulate operation experiences continuously in the deployment process.

Key words: intelligent metro network, communication cloud, segment routing, ethernet VPN

收稿日期: 2019-08-25; 修回日期: 2019-10-10

基金项目: 国家重大科技专项基金资助项目 (No.2018ZX03001019, No.2017ZX03001017); 国家重点研发计划基金资助项目 (No.YFB81800100)

Foundation Items: The National Science and Technology Major Project (No.2018ZX03001019, No.2017ZX03001017), The National Key Research and Development Program of China (No.2018YFB1800100)



1 引言

近年来,随着云计算、物联网、人工智能等技术的蓬勃发展,全社会面向数字化的转型步伐不断加快。从自身降本增效的角度出发,企业上云已成为必然趋势,预计到2025年,85%的企业应用将会承载在云上^[1]。同时,随着我国5G牌照的发放,移动接入侧体验的巨大提升也使得越来越多的行业运用5G技术提升自身能力,在企业上云之后,“企业应用+5G”成为新的趋势,这也就意味着电信网络将成为全社会的新型ICT (information and communication technology, 信息技术) 基础设施^[2]。作为网络运营的主体,电信运营商一方面要为众多企业和个人的应用上云提供高效的连接能力,另一方面,运营商自身网络也面临着云化转型和重构的挑战。以数据中心为核心,基于软件定义网络 (software defined network, SDN)、网络功能虚拟化 (network function virtualization, NFV) 的云化网络是通信网络演进的基本方向,云化网络也是5G核心网的技术选择^[3-4]。在未来网络演进中,云与网的紧密性不断增强,二者将会不断深度融合,云网协同与云网一体化的必要性和价值日益凸显,向政企客户提供一站式的“云+网+X (应用)”的新型服务成为电信运营商以及云服务提供商的共同目标^[5]。

在云服务时代,运营商一方面要经营传统的语音、短信、专线等连接型业务,一方面要继续提供海量带宽去供给应用,此外还有新增的面向工业互联网、车联网等低时延或确定性时延的业务以及面向VR (virtual reality, 虚拟现实)/AR (augmented reality, 增强现实)、云游戏等需要大量算力的图像渲染业务。但是,目前运营商的城域网架构与这些业务的提供能力并不适应。

首先,城域网结构复杂。从建设和运维的历史承袭出发,运营商习惯于一类业务建一个承载网,因此目前城域内存在着由PTN (packet

transport network, 分组传送网)/IPRAN (internet protocol radio access network, 无线接入网IP化)网元组成的移动承载网,由OLT (optical line terminal, 光线路终端)/BRAS (broadband remote access server, 宽带接入服务器)等网元组成的固网承载网以及电路专线承载网、通信云数据中心 (data center, DC) 网络等^[6]。这种架构是在长期的网络业务演进过程中形成的。各网络运行管理相对独立,而且在设备的容量、协议的使用、自治域的划分、业务功能的支持上都各有不同。经过多年的发展,这些网络之间形成了复杂的业务联系。多张网络互联带来网络管理的复杂度,导致日常业务开通和新业务开发的难度大、周期长。业务快速开通是云网协同的重要特性,这在当前的复杂环境下实现起来非常困难。

其次,网络建设和扩容成本过高。由于每张网都是端到端建设,网络设备之间存在着大量的背靠背连接,对需要多张网协同的业务,连接成本明显增加,而且还存在着接入层与核心汇聚层之间不同厂商设备解耦的难题,这种情况导致网络升级扩容会带来更多的成本提升^[7]。

再次,网络缺乏智能性。在端到端的业务面前,通信云DC越来越成为业务的中心,但是多张网络的协同管理和控制一直没解决好,如果采用分区分域建设管控系统的话,又会增加控制架构的层级,降低控制的效率^[8]。综上所述,建设一张能够提供云服务、满足云网融合要求的、高效的、低成本智能城域网,已是摆在运营商面前的迫切任务。

2 网络演进关键技术

面临城域网的一系列问题,近年来以IETF为代表的互联网研究和标准化机构,提出了许多新技术加以应对,不少已在应用实践中不断成熟,其中较为核心的包括分段路由 (segment routing, SR)、以太网VPN (ethernet VPN, EVPN)、

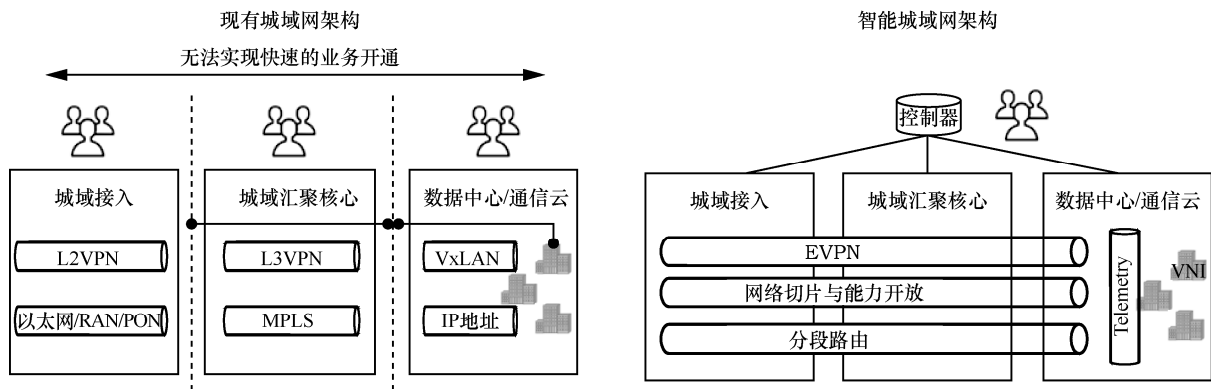


图1 现有城域网与未来城域网关键技术对比

网络切片与能力开放、网络监测（Telemetry）技术^[9-10]。现有城域网与未来城域网关键技术对比如图1所示。

SR 技术是基于协议简化统一的一种源路由技术，其做法是在数据分组报头中插入带顺序的分段（segment）列表，以指示接收到这些数据分组的节点怎么去处理和转发这些数据分组。SR 技术主要实现端到端策略定制，快速布放和网络中流量调优。SR 利用了现有的多协议标记交换（multi protocol label switching, MPLS）转发架构，通过对现有协议，如内部网关协议（interior gateway protocol, IGP）进行扩展，并以更加简单的方式提供流量工程（traffic engineering, TE）、MPLS VPN 等功能，能使现有网络更好地平滑演进，且同时适用于 IPv4 和 IPv6 网络。基于 SR 的源路由能力，提供微环避免机制，提供更强的高速重路由（fast reroute, FRR）保护功能，支持任意拓扑的节点和链路保护。SR 技术同时支持控制器的集中控制模式和转发器的分布控制模式，可以实现集中控制和分布控制之间的平衡。

SRv6 是 SR 架构使用 IPv6 数据平面的实现，依靠 IPv6 地址的灵活性，通过 IPv6 报文头扩展支持隧道，从而取消了 MPLS 转发承载技术，将普通的 IP 转发和隧道转发统一。SRv6 基于原生 IPv6，可以提供数以亿计的地址，为海量应用和终端提供接入，SRv6 还可以实现应用驱动的路径

可编程，为不同应用和租户提供差异化的服务水平协议（service level agreement, SLA）保障。面向未来网络时代各种垂直应用，运用 SRv6 解决可编程网络、全网流量调优、拥塞保护、运维等方面问题将成为必然趋势。

VxLAN（virtual extensible LAN）是一种实现网络虚拟化的上层（overlay）技术，该技术起源数据中心，主要应用在数据中心内部，通过隧道封装在一个共享的三层网络上实现二层扩展，虚拟出服务于不同租户的虚拟网络，用以满足租户网络的隔离，租户虚拟机在网络中迁移、重生、扩容等，有效解决数据中心内的二层广播域问题。EVPN 是基于 MP-BGP 作为 VxLAN 的控制平面，为以太网 VPN 分发介质访问控制（media access control, MAC）/IP 路由的技术，实现了网络控制平面与数据平面的分离，满足云服务灵活快捷部署，可以自动建立 VxLAN 隧道，极大地减轻配置工作量，通过控制平面实现 MAC 和 ARP（address resolution protocol, 地址解析协议）的学习，减少数据面泛洪。

网络切片是 SDN/NFV 技术应用于 5G 网络的关键服务。一个网络切片将构成一个端到端的逻辑网络，按切片需求方的需求灵活地提供一种或多种网络服务。通过服务化架构，可直接或者通过能力开放平台向外部应用提供网络服务，支持定制化的网络功能参数、基于动态深度分组检测



(deep packet inspection, DPI) 的灵活服务质量 (quality of service, QoS) 策略、个性化切片和流量路径管理等能力开放功能, 从而更加精细化和智能化地满足外部对网络服务的要求。目前主流的切片方式包括软切片与硬切片两种。软切片可以借助传统的 VPN、VLAN、DSCP (differentiated services code point, 差分服务代码点) 等技术实现隔离度较低的业务层切片; 硬切片基于网元的切片和链路的 L0/L1 层通道化, 实现物理隔离的网络。

网络监测 (network telemetry) 是一项从物理设备或虚拟设备上远程高速采集数据的网络监控技术。Telemetry 技术采取推送方式, 由设备主动向后台监控服务器推送自身信息, 从而避免了查询模式下查询请求造成的在网络中的额外时延以及大量查询请求给网络和设备带来的压力。Telemetry 将采集对象的原始数据 (设备的接口流量统计、CPU 或内存数据等信息) 通过 YANG 模型定义, 利用 GPB (Google protocol buffer) 格式编码, 实现跨平台高效传输数据, 采用开源可靠的 GRPC 协议将经过编码格式封装的数据上报给采集器进行接收和存储。基于 Telemetry 分布式采集, 流量监控粒度从分钟级细化到秒级, 更加精细, 避免了均值造成的“消峰填谷”误差, 做到精细化流量可视。

3 智能城域网架构

从运营商网络面临的实际问题和未来云化业务的承载需求出发, 这里采用国际通用标准 (SR 和 EVPN), 按照城域网范围内全业务统一承载的要求, 业务层面通过控制器实现端到端拉通, 并且采用与 OTT (over the top) 相同的网络架构和盒式设备模块化方式组网, 以 10GE/100GE 标准以太网接口为基本接口单元, 提出了一种新型的智能城域网架构, 如图 2 所示。

该网络架构能够较好地适应 5G 时代云网融合业务的发展需要, 解决现有网络存在的问题,

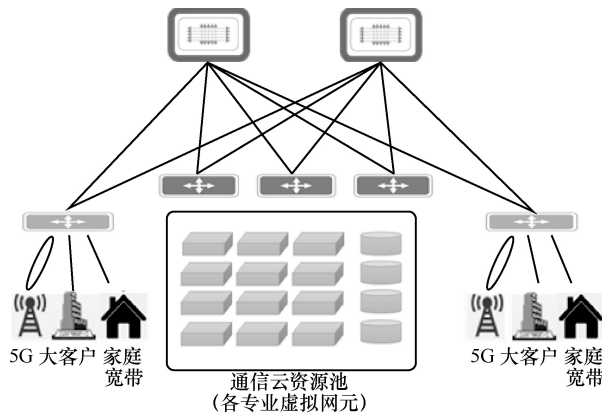


图2 智能城域网架构

同时具备了技术的可扩展性和城域网面向未来长期演进的需求。其主要特点为以下内容。

(1) 简洁架构

借鉴通信云 DC 的架构特点, 以 DC 为核心, 将整个城域网按照叶脊 (leaf-spine) 架构进行重构, 在网络的核心汇聚层优先使用交换机组网, 既提高了转发容量, 又降低了转发协议要求, 且多厂商之间的管理互通与解耦性良好, 随着城域网业务的不断丰富, 只需通过增加叶子 (leaf) 节点即可接入新的边缘网元, 城域核心汇聚层只做横向扩展, 结构长期保持稳定。

(2) 融合承载

当前网络仅通过不同的接入层网元, 即可实现对家庭宽带、5G 移动承载、通信云等业务的综合承载, 不需面向每一种业务端到端垂直建网, 避免建设多张网络带来的成本提升和运维管理等问题。且采用 leaf-spine 架构后, 对多数业务在核心汇聚层的转发跳数得到降低, 有效降低了转发时延。

(3) 自动高效

通过引入 SR 和 EVPN 业务, 网络天然具备基于 SDN 的自动化和可编程能力, 并且通过统一的业务编排系统打通通信云内外, 可实现快速的业务开通和差异化的服务保障。在有低时延、广泛连接等需求的业务请求到达时, 可以通过通信云快速地对业务组织编排, 确定满足业务时延等指

所示,通信云 DC 多局址规划,并设置两级核心设备,即每局址设置单台智能城域网核心设备,同时设置一对一级核心设备用于转发通信云 DC 间流量。每局址普通核心设备兼做边界出口网络设备,为减少局间传输资源需求以及规避 DC 局单点故障,DC 外边缘设备就近双归至两个通信云 DC 的核心设备上。

考虑到智能城域网多业务承载特性, 基于智能城域网架构, 设计了针对城域内 5G 回传、家庭宽带、专线和通信云 4 种主要业务的承载方案, 如图 4 所示。

对于 5G 回传业务,智能城域网主要是将基站流量接入 5GC 的用户面功能(user plane function, UPF)等核心网网元。在 5G 基站侧,由基站接入设备接入城域网边缘设备,采用星形或环形拓扑。

可保留现有的 IP-RAN 接入层，通过 SR 方式与智能城域网的汇聚 leaf 直接协议对接。在 5G 核心网侧，网元由部署在 DC 中的云化资源池服务器实现。服务器通过城域网边缘设备接入，采用双星形上连，支持负载分担。承载技术可端到端采用 SR/EVPN/MPLS L3VPN 等，并通过 SR 实现业务的快速倒换，配置基于 SR 的选路和资源配置策略实现业务时延和带宽保障。

对于家庭宽带业务，智能城域网使用 SR，接入边缘设备至通信云边缘设备采用 SR 转发互联网业务，在智能城域网内部，使用 EVPN 承载。OLT 与智能城域网采用双活连接或单挂连接，OLT 将流量送入家庭宽带 VPN，通过智能城域网透传到资源池内的 vBRAS 设备与 IP 城域网 CR 建立 BGP 邻居，传递路由信息。vBRAS 与边缘

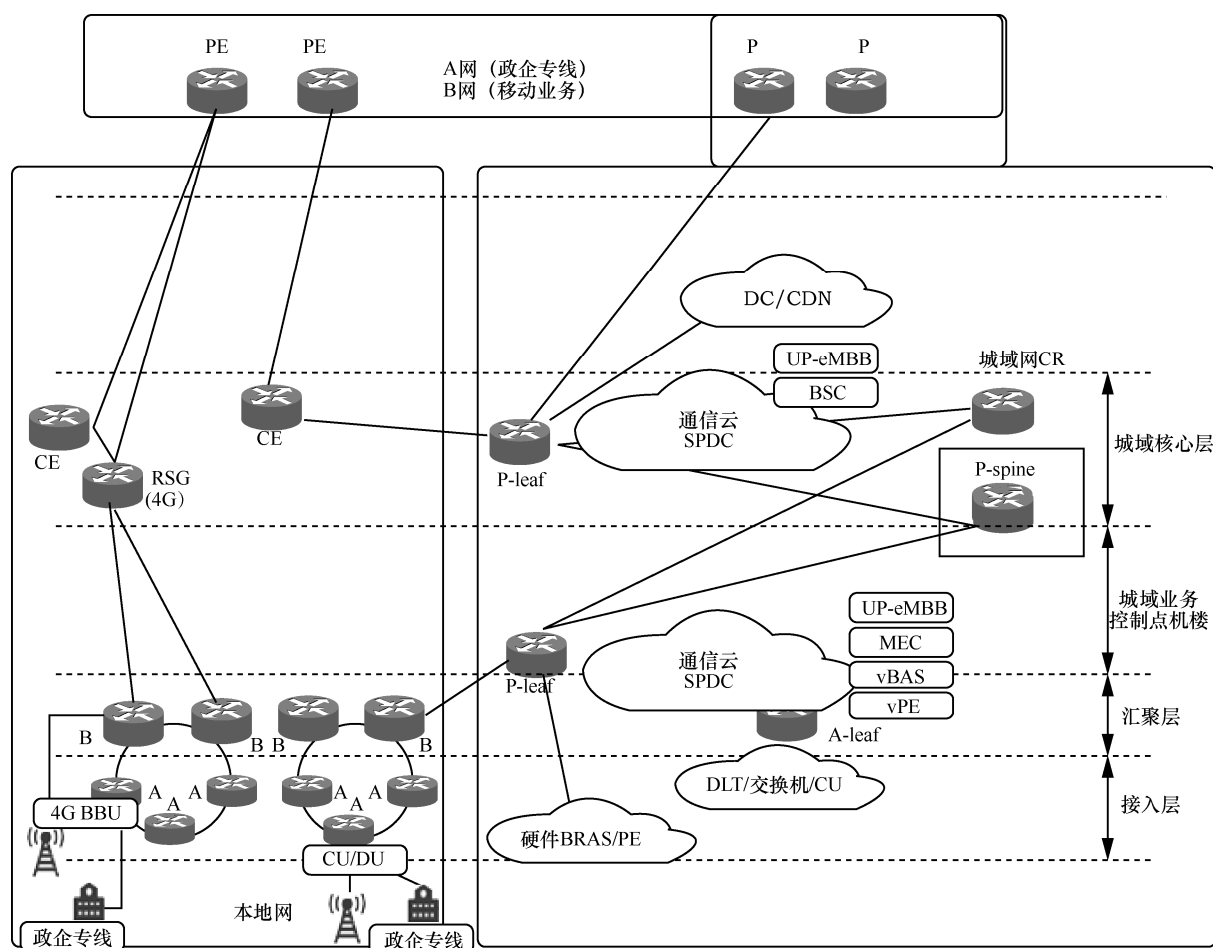


图4 智能城域网业务承载方案

设备双活连接或单挂连接, 实现用户认证和 PPP 会话终结。vBRAS 通过智能城域网将 IP 流量送到城域网核心路由器访问互联网。

对于专线业务, 在城域网内, 二层点到点专线业务使用 EVPN VPN 承载, EVPN 路由使用 BGP EVPN 地址族传递, 边缘汇聚设备及 vRR 作为路由反射器反射 BGP EVPN 路由。三层专线业务使用 L3VPN 承载, 边缘汇聚设备及 vRR 作为路由反射器反射 BGP L3VPN 路由, 边缘汇聚设备及 vRR 均不配置下一跳 (next-hop-self)。同时, 采用 EVPN 作为家庭宽带业务二层隔离, 采用 EVPN/MPLS VPN 作为 3 层业务隔离。如果需要与广域网对接, 则智能城域网和广域网加入相同 VRF, 通过广域网实现路由互通。VRR 和广域网 VRR 建立多跳 EBGP 邻居, 反射 VPNv4 路由信息。由于两张网属于不同自治域, 跨域互联设备启用 BGP EPE, 为互联链路分配 EPE 节点标签, 实现跨域 SR/SR-TE 转发。智能城域网的业务接入设备采用显示指定或动态分配的方式部署 SR TE, 负责 L3VPN/VPWS 业务流量转发。

对于通信云业务, 通信云 spine 与智能城域网核心设备合设, 通过边缘设备接入通信云资源池,

这里又根据边缘设备是否支持 SR/EVPN 协议分成两种情况。如果边缘设备不支持 SR/EVPN, 那么边缘设备不起三层网关, 仅做二层连接, 通信云资源池网关设置为智能城域网核心设备的选播网关 (anycast GW), 边缘设备通过 MC-LAG 技术提供服务器跨机箱链路聚合。如果边缘设备可以支持 SR/EVPN, 边缘设备采用 SR/EVPN, 实现端到端的 SR/EVPN 业务承载。

5 智能城域网云/网融合方式分析

随着智能城域网的建设, 未来通信云 DC 与智能城域网的业务配置方式对云/网融合的实现方式产生较大影响, 目前主要有 4 种云网对接方式, 如图 5 所示。

5.1 通信云与智能城域网间完全独立

在这种方式中, 通信云采用 L2/L3 网关与智能城域网对接, 彼此直接通过各自的设备直连, 优点是云/网边界清晰, 运维职责划分灵活, 但是缺点是需要各自独立的设备, 投资较高, 且业务流量存在针对网内和云内的绕转, 不能够对业务进行灵活的配置, 需要按照云/网的分工分别进行。

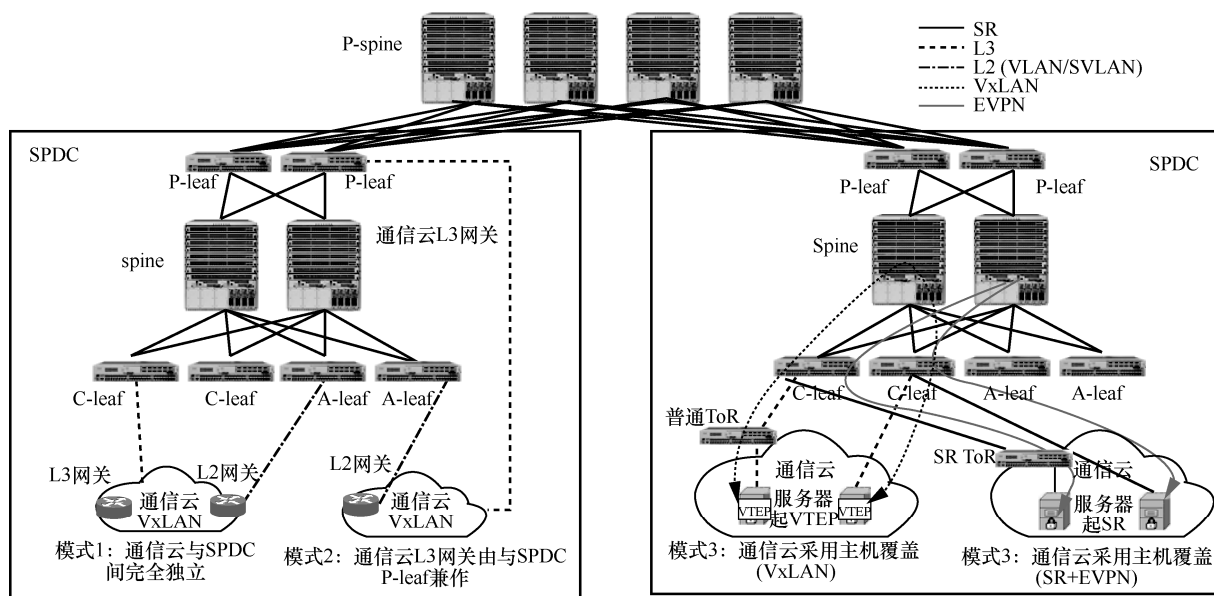


图5 智能城域网云/网融合方式



5.2 通信云 L3 网关由智能城域网 P-leaf 兼作

在这种方式中,通信云采用 L2 网关与智能城域网对接, L3 网关合设,这种方式可以节省一对云/网之间的 P-leaf 设备,降低了投资,但是云网基本仍是物理分离的,只在出口处合设边界,相当于将云/网对接的工作由一对设备间转移到了一台设备内,该方案成熟度也比较高,但同样需要云/网分别配置,不够灵活。

5.3 通信云以 VxLAN 方式进行主机覆盖

在这种方式中,通信云采用 VxLAN 方式实现主机覆盖(host overlay),实现了云/网边界设备的完全合设,云/网使用统一的基础设施,有效降低了投资。但问题是,该方案较大程度上依赖 host overlay 的手段,缺乏对底层连接能力的有效把控和性能检测,当底层网络不够优化或者出现问题时,上层的网络性能也会受到影响,如果做流量调优的话,则对 host 侧的协议要求较高。虽然有这些问题,但是该方案基于 host overlay 方式,实现了云网业务的联动,有效地提升了业务的灵活性,仍不失为目前通信云与智能城域网融合的优选方案。

5.4 通信云以 SR+EVPN 方式进行主机覆盖

在这种方式中,通信云仍然采用 host overlay 模式,只是在云/网融合的 underlay 层面引入了 SR 技术,可以实现对 underlay 路由和网络性能的有效控制。同时在 overlay 层面,引入 EVPN 作为控制协议,对 L2/L3 VPN 的实现进行统一的自动化配置,简化了网络协议,降低了运维难度,该方案应该说是通信云与智能城域网互通的最优方案。但是,考虑到 SR/EVPN 技术的成熟度和进入数据中心部署的时间节奏,完全按照该方案实现目前还有一定难度,可以作为目标方案持续研究。

6 结束语

随着 5G 时代的到来,云/网融合业务将会快速普及,面向云服务的网络重构已经迫在眉睫。

通过本文论述的智能城域网架构和组网方案,可以实现网络以 DC 为中心、简化架构、融合承载等许多新的功能特性。通过引入支持云网深度融合的智能城域网,可以有效解决目前城域网络的问题,并对未来网络更好地提供低时延、高可靠、强算力等新型业务打下了良好的基础。未来,随着 5G SA 的发展和基于 IPv6 的分段路由(SRv6)等技术的进一步应用,网络将继续朝着协议简化、功能增强、灵活控制、边界扩展的方向发展,智能城域网将为支持运营商业务的升级演进起到重要的作用。

参考文献:

- [1] 唐雄燕,曹畅.中国联通网络重构与新技术应用实践[J].中兴通讯技术,2017(2): 22-23.
TANG X Y, CAO C. Network reconstruction and new technology applications of china unicom[J]. ZTE Technology Journal, 2017(2): 22-23.
- [2] 蒋林涛.从云网融合到 ICT 基础设施[J].信息通信技术,2019(2): 4-6.
JIANG L T. Cloud network convergence to the ICT infrastructure[J]. Information and Communications Technologies, 2019(2): 4-6.
- [3] 李彤,马季春.云化背景下运营商数据网演进思路探讨[J].邮电设计技术,2017(10): 1-4.
LI T, MA J C. Discussion on the evolution of carrier's data networks affected by cloud computing[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2017(10): 1-4.
- [4] 张园.面向中小企业的随选网络架构及关键技术[J].电信科学,2018(7): 8-14.
ZHANG Y. Architecture and key technologies of network on demand for small and medium enterprises[J]. Telecommunications Science, 2018(7): 8-14.
- [5] 付乔,段晓东,王路,等.边缘电信云架构与关键技术[J].电信科学,2018(7): 8-14.
FU Q, DUAN X D, WANG L, et al. Architecture and key technology of telco edge cloud[J]. Telecommunications Science, 2018(7): 8-14.
- [6] 唐雄燕,周光涛,赫罡,等.新一代网络体系架构 CUBE-Net2.0 研究[J].邮电设计技术,2016(11): 11-12.
TANG X Y, ZHOU G T, HE G, et al. Research on next generation network architecture CUBE-Net2.0[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016(11): 11-12.
- [7] Cisco data center spine-and-leaf architecture: design overview white paper[R]. 2019.

- [8] 陈华南, 龚霞, 朱永庆, 等. 城域网重构思路[J]. 电信科学, 2018 (5): 120-126.
CHEN H N, GONG X, ZHU Y Q, et al. Metropolitan area network re-architecture[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(5): 120-126.
- [9] 王海军, 王光全, 郑波, 等. 5G 网络架构及其对承载网的影响[J]. 移动通信, 2018,42(1): 33-38.
WANG H J, WANG G Q, ZHENG B, et al. Architecture of 5G network and its influences on carrying networks[J]. Mobile Communications, 2018, 42(1): 33-38.
- [10] 孙嘉琪, 李玉娟, 杨广铭, 等. 5G 承载网演进方案探讨[J]. 移动通信, 2018,42(1): 1-6.
SUN J Q, LI Y J, YANG G M, et al. Discussion on evolution schemes of 5G carrying network[J]. Mobile Communications, 2018, 42(1): 1-6.
- [11] 马季春, 孟丽珠. 面向云网协同的新型城域网[J]. 中兴通讯技术, 2019(4): 37-40.
MA J C, MENG L Z. New metropolitan area network for cloud network synergy[J]. ZTE Technology Journal, 2019(4): 37-40.
- [12] 陈运清, 雷波, 谢云鹏. 面向云网一体的新型城域网演进探讨[J]. 中兴通讯技术, 2019(4): 2-8.
CHEN Y Q, LEI B, XIE Y P. Evolution of new metropolitan area network for cloud network convergence[J]. ZTE Technology Journal, 2019(4): 2-8.

[作者简介]



曹畅 (1984-), 男, 博士后, 中国联合网络通信有限公司网络技术研究院未来网络研究部高级专家、智能云网技术研究室主任, 主要研究方向为 IP 网宽带通信、SDN/NFV、新一代网络编排技术等。



张帅 (1990-), 女, 中国联合网络通信有限公司网络技术研究院未来网络研究部工程师, 主要研究方向为 IP 传输网、数据中心网络、SDN 技术等。



唐雄燕 (1967-), 男, 中国联合网络通信有限公司网络技术研究院首席科学家、智能网络中心总架构师, 北京邮电大学兼职教授、博士生导师, 主要研究方向为宽带通信、光纤传输、互联网/物联网、SDN/NFV 与新一代网络等。