



专题：“IPv6+”网络技术创新体系

5G 承载网的“SRv6+EVPN”技术研究与规模部署

吴伟¹, 张文强¹, 杨广铭², 马培勇², 杨锋¹

(1. 中国电信集团有限公司, 北京 100032; 2. 中国电信股份有限公司研究院, 广东 广州 510630)

摘要: 5G 和云时代已经到来, SRv6 和 EVPN 是云网融合演进道路上的关键技术。通过回顾网络协议发展历程, 分析 SRv6 及 EVPN 的诞生背景、技术原理和优势, 并结合中国电信 5G 承载网 STN 的架构、中国电信 5G 发展战略以及 2B 业务, 研究了“SRv6+EVPN”的应用场景及部署策略, 最后介绍了中国电信 STN 部署“SRv6+EVPN”实际情况, 并对“城域+骨干”的云网一体化基础设施全面部署“SRv6+EVPN”技术进行了展望。

关键词: STN; SRv6; EVPN; MPLS; VPLS

中图分类号: TN915.41

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020253

SRv6 +EVPN technology research and scale deployment of 5G bearer network

WU Wei¹, ZHANG Wenqiang¹, YANG Guangming², MA Peiyong², YANG Feng¹

1. China Telecom Group Co., Ltd., Beijing 100032, China

2. Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: 5G and cloud era has come, SRv6 and EVPN are the key technologies in the evolution of cloud network integration. The development process of network protocol was reviewed, the birth background, technical principles and advantages of SRv6 and EVPN were analyzed, and the application scenarios and deployment strategies of SRv6+EVPN were studied combined with the STN architecture of China Telecom 5G bearer network, China Telecom 5G development strategy and 2B service. Finally, the actual situation of China Telecom's STN deployment of SRv6+EVPN was introduced, and the overall deployment of SRv6+EVPN technology in metropolitan + backbone cloud network integration infrastructure was forecasted.

Key words: STN, SRv6, EVPN, MPLS, VPLS

1 引言

5G 和云时代已经到来, 网络已成为 5G 基础设施的数字底座。SRv6 (segment routing IPv6, 基于 IPv6 转发平面的段路由) 是基于 native IPv6

和源路由的新一代网络协议, 是云网融合演进道路上的关键技术, 是构筑 5G 和云时代智慧连接的基础。SRv6 作为下一代 IP 网络革命性基础协议, 是推动云网融合的利器。

国内几大运营商都在积极探索 SRv6 与 5G 网



络的结合,一致认为 SRv6 将开启新 IP 网络时代,是新一代 IP 网络的核心技术之一。其中,中国移动早在 2019 年就已经在积极探索 SRv6 新范式;中国联通则携手华为采用 SRv6 技术进行专线业务开通局部试点。中国电信则是走在“SRv6+EVPN”技术应用的最前面,在国际标准尚存在激烈博弈之际,中国电信聚焦 5G 核心能力,开展大量创新实践工作,践行新发展理念,加快 5G 商用步伐,引领华为、中兴、烽火和新华三等国内企业进行联合技术攻关,于 2019 年年初,在业界率先完成“SRv6+EVPN”的测试验证,实现跨厂商融合组网,并在 2020 年年初进行大规模商用部署,形成事实标准,为国内产业链抢占国际标准制高点发挥了至关重要的作用。本文主要分析 SRv6 及 EVPN 的技术原理和优势,研究如何结合中国电信网络实际和业务发展需求,在承载网引入“SRv6+EVPN”新技术,构建“城域+骨干”的云网一体化的基础设施。

2 SRv6/EVPN 技术及运用分析

2.1 SRv6/EVPN 定义

SRv6 (segment routing IPv6, 基于 IPv6 转发平面的段路由) 是基于源路由理念而设计的在网络上转发 IPv6 数据分组的一种协议。SRv6 通过在 IPv6 报文中插入一个段路由头部信息(segment routing header, SRH), 在 SRH 中压入一个显式的 IPv6 地址栈, 通过中间节点不断地进行更新目的地址和偏移地址栈的操作来完成逐跳转发。

EVPN (ethernet virtual private network) 是一种用于二层网络互联的 VPN 技术, 它最开始由 RFC7432 定义, 是一个基于 BGP 和 MPLS 的 L2 VPN。EVPN 通过扩展 BGP 协议, 使用扩展后的可达性信息, 使不同站点的二层网络间的 MAC 地址学习和发布过程从数据平面转移到控制平面。EVPN 解决了传统 VPLS 不支持双归网络负载分担的问题, 避免了公网 PE 间的全连接弊端, 实现了快速收敛。同时, EVPN 作为统一的 VPN 架构, 全面

支持 L2 及 L3VPN。

2.2 SRv6/EVPN 关键技术

基于源路由理念而设计的协议包括 SR-MPLS (简称 SR) 和 SRv6。其中 SR 在数据转发面仍然使用 MPLS 标签封装, 要求网络中所有设备支持 MPLS 转发, 对网络能力提升不显著。而 SRv6 去除了 MPLS 标签, 在数据面直接使用 IPv6 地址作为转发标签, 在控制面和数据面都实现了统一承载。SRv6 不仅继承了 SR 的所有优点, 还具备标签空间数量近似无限、全网唯一、任意节点可达的优点, 是 IP 技术近 20 年来出现的跨越式的创新, 让业务端到端可管可控成为可能, 在网络可编程和网络能力开放领域具有巨大的想象空间和发展前景, 其价值远非 SR 可比。

SRv6 让云、管、端可以基于同一个标准协议实现端到端可管可控, 这种独特优势使其成为下一代 IP 网络的核心技术和热点。

EVPN 的关键原理是将 IP VPN 的技术优势引入到以太网网络中, 引入 BGP 协议承载 MAC 可达信息, 从控制平面学习远端 MAC 地址; 实现控制平面和转发平面分离。

2.3 SRv6/EVPN 优势分析

2.3.1 MPLS LDP、RSVP-TE、SR 与 SRv6 劣势对比

(1) MPLS LDP 部署简单, 但需要专门的 LDP 协议, 且无法进行路径控制。

(2) RSVP-TE 可以进行路径控制, 但部署复杂且在大规模组网中对设备性能压力较大。

RSVP-TE 的流量工程的部署限制:

- 有 N 个节点互联, 就需要 $N \times (N-1)$ 个隧道配置;
- 中间的 P 节点, 需要维护所有经过它的隧道状态, 导致性能压力较大, 所以无法大量部署。

(3) SR

为了解决这些问题, 源路由技术应运而生。

MPLS/SR 对比示意图如图 1 所示,相比 MPLS 每节点维护标签,源路由仅需在首节点配置路径信息,中间节点无协议状态,只需要按照标签转发即可,这就是 SR (segment routing)。SR 通过扩展 IGP/BGP 实现,去掉了 LDP 和 RSVP,简化了控制面。SR 的源路由机制使它通过源节点即可控制数据分组在网络中的转发路径,满足了未来 SDN (software defined networking) 智能网络对路由灵活控制的需求,实现路径的规划、计算以及调优,解决大规模部署的问题。

虽然 SR 去除了 LDP 和 RSVP,解决了控制面的问题,但是 SR 在数据转发面仍然使用 MPLS 标签封装,这就要求网络中所有设备支持 MPLS 转发,对于跨域打通以及设备要求比较高。

(4) SRv6

SRv6 同样是基于源路由理念而设计的一种

协议,比 SR 更进一步的是去除了 MPLS 标签,在数据面直接使用 IPv6 地址作为转发标签,在控制面和数据面都实现了统一承载。带有 SRH 的 IPv6 详细报文格式如图 2 所示,为实现 SRv6 技术,在 IPv6 报文中进行了一些扩展,新增了 SRH。

SR-MPLS 和 SRv6 的技术对比见表 1。

从表 1 中对比分析可以得到:SR-MPLS 与 SRv6 的本质区别在于前者 segment ID 使用 MPLS label,后者使用 IPv6 地址。正是这一本质区别,使得 SRv6 在诸多方面都比 SR-MPLS 表现出强大的优势,并成为“可预见的终极方案”。

2.3.2 VPLS 与 EVPN 对比

随着网络技术的发展,用户间经常采用 VPLS 技术实现业务二层互通,但是使用 VPLS 技术存在如下问题。

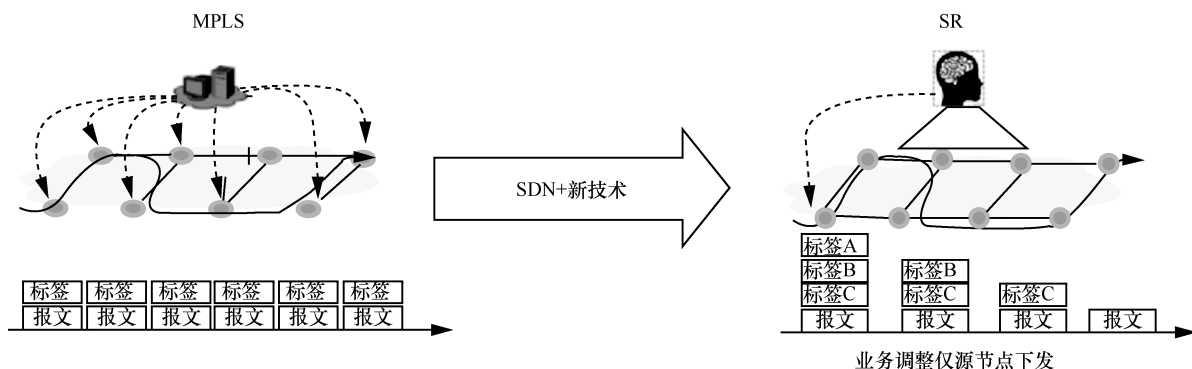


图 1 MPLS/SR 对比示意图

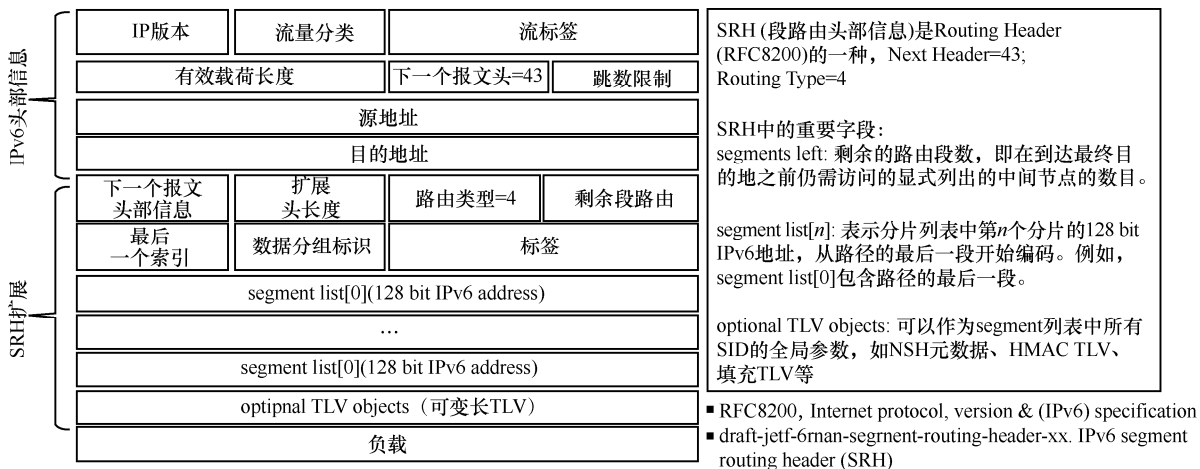


图 2 带有 SRH 的 IPv6 详细报文格式



表 1 SR-MPLS 和 SRv6 技术对比

对比项	SR-MPLS	SRv6
控制面	IPv4/IPv6	IPv6
数据面	MPLS	IPv6
转发性能	MPLS 封装头小，以封装 L3VPN 为例，最少只要 8 byte、2 层 MPLS 标签，SR 流量工程每增加 1 个 SID，增加 4 byte；转发效率高	以封装 L3VPN 为例，最少只要 40 byte 的 IPv6 头，SR 流量工程每增加 1 个 SID，增加 16 byte
跨域部署	复杂，跨 AS 域只能使用 SR-TE，需要依赖跨域控制器，PE 需要远端 PE 的 loopback 主机路由	容易，跨域既有 SRv6-BE 也有 SRv6-TE；利用 IPv6 可达性，跨 AS 域部署容易，不需要跨域扩散主机路由，引入汇聚路由即可，大幅减少了扩散路由数量和路由策略复杂度
大规模部署	复杂（SID 空间有限，设备 SID 统一规划和维护复杂）	容易（SID 采用 IPv6 地址空间，适合大网规划）
SR 栈层数	3 层标签：VPN/BGP/SR	1 个 IPv6 报文头：统一业务标识和传输隧道
与传统网络互通	困难（IPv6 MPLS/BGP-LU）	容易（仅有 IPv6）
控制和管理	支持 SDN	支持 SDN
可编程性	困难	灵活，业务编排器或各种 App 能够根据 SLA 及业务诉求指定网络和应用（业务链），提供灵活的可编程能力
可靠性	TI-LFA、SRv4-TE 采用端到端保护技术，大规模组网 BFD 会话开销大	TI-LFA、SRv4-TE 采用局部保护技术，无须部署复杂的 E2E BFD 检测技术
ECMP	复杂（插入 entropy 标签，有标签栈数量有限）	简单（基于 flow label 进行负载分组）
云网协同	困难，数据中心网络，包括 VM，一般不支持 MPLS 协议	交易，数据中心网络设备一般都支持 IPv6
终端协同	困难，终端设备支持 MPLS 困难	容易，终端设备一般都支持 SRv6；Linux 4.10 版本开始支持 SRv6，4.14 版本支持 SRv6 Function 大部分功能

- 无法实现负载分担：VPLS 不支持在多归属网络中流量传输的负载分担。
- 网络资源的消耗较高：一方面，当需要实现大量的站点互联时，运营商所有 PE 设备需配置成全连接状态，网络资源的消耗很大；另一方面，大量学习 MAC 地址的 ARP 报文不仅占用网络带宽，还可能造成远端站点学习到不必要的 MAC 地址，同时对 ARP 请求报文的频繁处理也会占用较多的主机 CPU 资源。

与 VPLS 相比，EVPN 技术可以解决上述问题，实现 L2/L3 统一承载。

- EVPN 通过扩展 BGP 使二层网络间的 MAC 地址学习和发布过程从数据平面转移到控制平面。这样可以使设备在管理

MAC 地址时像管理路由一样，使目的 MAC 地址相同但下一跳不同的多条 EVPN 路由实现负载分担。

- 通过使用 EVPN 技术，运营商 PE 设备之间不再需要建立全连接，可以通过部署路由反射器，所有 PE 设备与反射器建立邻居关系，通过路由反射器来反射 EVPN 路由，大大降低了网络复杂度，减少了网络信令数量。
- PE 设备通过 ARP 协议和 MAC/IP 地址通告路由分别学习本地和远端的 MAC 地址信息以及其对应的 IP 地址，并将这些信息缓存至本地。当 PE 设备再收到其他 ARP 请求后，将先根据 ARP 请求中的目的 IP 地址查找本地缓存的 MAC 与 IP 地址的对

应信息,如果查找到对应信息,PE将返回ARP响应报文,避免ARP请求报文向其他PE设备广播,减少网络资源消耗。

经过上述SRv6与MPLS LDP/RSVP-TE/SR、EVPN与VPLS优势对比分析,在5G网络建设发展中,“SRv6+EVPN”技术的应用是必不可少的。SRv6相比其他技术,直接使用IPv6地址作为转发标签,在控制面和数据面都实现了统一承载,同时云、管、端可以基于同一个标准协议实现端到端可管可控,最重要的是使用SRv6技术可使网络具备可编程能力,使建设的网络具备5G的SDN特性。而EVPN能够实现控制平面和转发平面分离,具备负载分担能力,使网络变得更加智能、可靠、稳定。

2.4 “SRv6+EVPN”运用场景分析

“SRv6+EVPN”技术主要应用于政企类业务,特别是针对5G 2B(to business)业务,用于保障5G 2B业务的低时延、高质量保障的承载。承载网开启“SRv6+EVPN”可实现以下特性。

(1) 分钟级开通,极速上云,助力云网业务快速发展

“SRv6+EVPN”业务快速开通保障开通示例如图3所示,基于SRv6的网络解决方案,业务开通时,只需在两端做相应配置,具备可提供两端配置、中间无感知的业务开通能力,把业务开通的时间由原来的天级减少到分钟级,扫除了云业务开展的障碍。

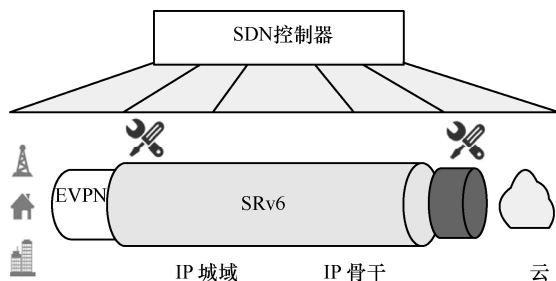


图3 “SRv6+EVPN”业务快速开通保障

(2) 端到端路径保障,实现时延可承诺网络传统IP网络转发路径随机,时延不确定,无

法满足时延敏感类垂直行业的要求。基于SRv6,可以根据业务意图、网络拥塞状态等,智能地选择最佳路径并实时调整,以持续提供最佳连接体验,做到时延可承诺,提升网络商业变现的能力。其中,基于EVPN over SRv6 Policy(低时延选路)技术如图4所示,根据低时延业务需求选择一条时延小的路径进行报文转发。

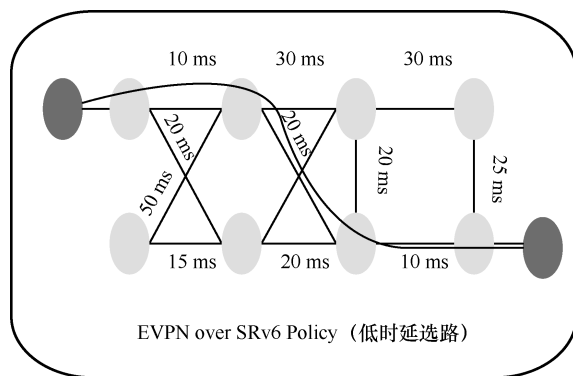


图4 “SRv6+EVPN”端到端低时延选路

(3) EVPN解决二层网络负载分担、故障快速收敛以及企业分支/数据中心网络MAC迁移等问题

以一个企业为例,“SRv6+EVPN”负载分担、快速收敛保障如图5所示,EVPN能够解决企业总部与其分支机构的负载分担问题,接入侧和网络侧同时支持单活和双活;企业总部链路出现故障时,则通知远端设备更新相应MAC转发表,实现故障路径快速收敛。

(4) “SRv6+MPLS”双平面智能选路,新老共存,平滑转型

基于“SRv6+MPLS”双平面智能选路控制协议,可解决新老网络SRv6与MPLS融合组网的问题,大幅延伸现网设备的生命周期,保护存量资源的投资。

基于以上“SRv6+EVPN”运用特性分析,可知“SRv6+EVPN”可应用于网络的各个层面,包括城域网、骨干网,甚至云资源和终端层面,SRv6可让云、管、端基于同一个标准协议实现端到端

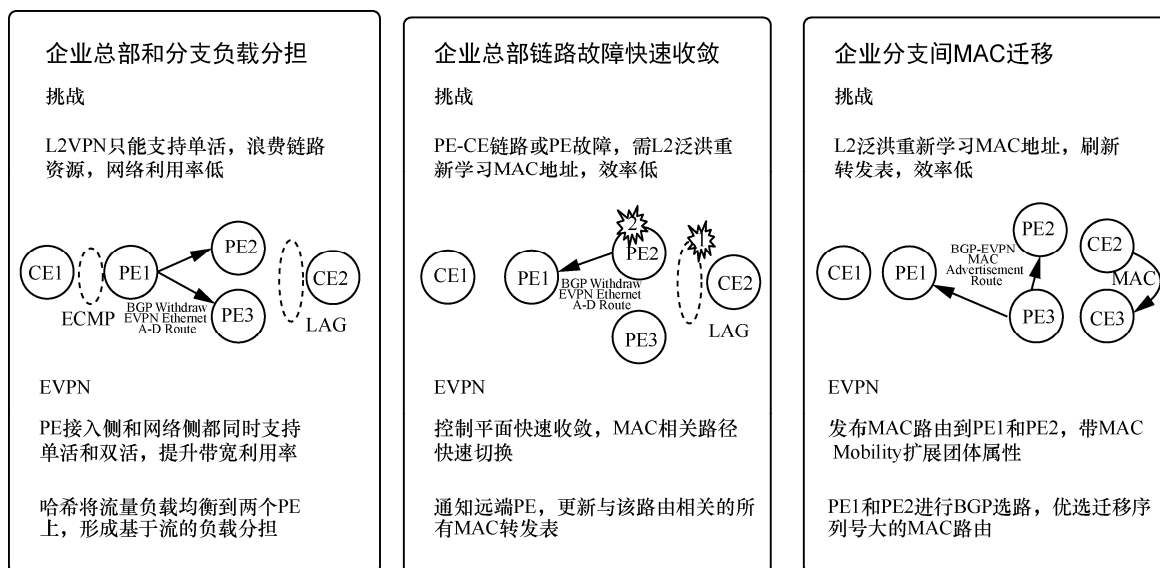


图5 “SRv6+EVPN”负载分担、快速收敛保障

可管可控。根据中国电信网络现状及发展规划，首先在 5G 承载网 STN 层面全面部署“SRv6+EVPN”，然后逐步按需将“SRv6+EVPN”延伸部署到城域网和骨干云网层面。

3 5G 承载网“SRv6+EVPN”部署分析

中国电信 5G 承载网 STN (smart transport network) 定位为实现 3G/4G/5G 等移动回传业务和政企以太专线、云专线、云网等多业务的融合承载网络，并将以 STN 为基础向新型城域网演进，实现城域范围内固移融合、云网一体承载。STN 需进一步简化网络协议，实现网络智能、敏捷、高效，达到业务端到端一跳直达入云、极简跨域的目标。同时，中国电信 IP 网络已经全程开启 IPv6，基于 IPv6 的地址空间巨大，聚合更便利，超大规模组网无压力，因此，在 STN 全面部署“SRv6+EVPN”成为必然选择。SRv6 在控制面和转发面都摒弃了 MPLS，统一承载各种业务，不同领域和网络段快速打通，极大地简化了网络协议，简化了运维。SRv6 特有的 Ti-LFA 和 mirror SID 技术，实现任意拓扑的端到端 50 ms 倒换高可靠性。中国电信 STN 已覆盖全

国大多数本地网，成为全球最大规模的使能 SRv6 网络，实现了网络的智能、敏捷、高效，打造开放产业生态。

3.1 基于 SRv6 EVPN 的网络切片方案部署

STN 基于 FlexE 的网络切片部署 SRv6 EVPN 方案，如图 6 所示，在一张网络上分别承载 2C (to customer) 和 2B 业务，提供 5G 2C/2B 垂直行业提供高质量承载，并且具备实现业务级和用户级的切片能力。在各个硬切片内部可部署多个 QoS 等级，匹配不同的业务 SLA 质量要求。基站流量根据 5QI 等属性进入相应的硬切片通道，通过承载网的硬切片导入对应的核心网业务切片，实现业务端到端的安全隔离和差异化承载。2B 业务采用 SRv6 技术实现域内或跨域业务开通或一跳直达，只需在业务两端进行配置，中间网络节点和跨域节点无须感知业务配置增删，实现业务敏捷开通；同时使能 5G 2B 业务的 SLA 随流监控能力，精准监控并反馈 2B 业务质量，并实现 SLA 可视化，提升对 2B 业务的质量保障能力。

3.2 政企上云业务和云间高速方案部署

对于政企客户上云业务和云间互联业务，一

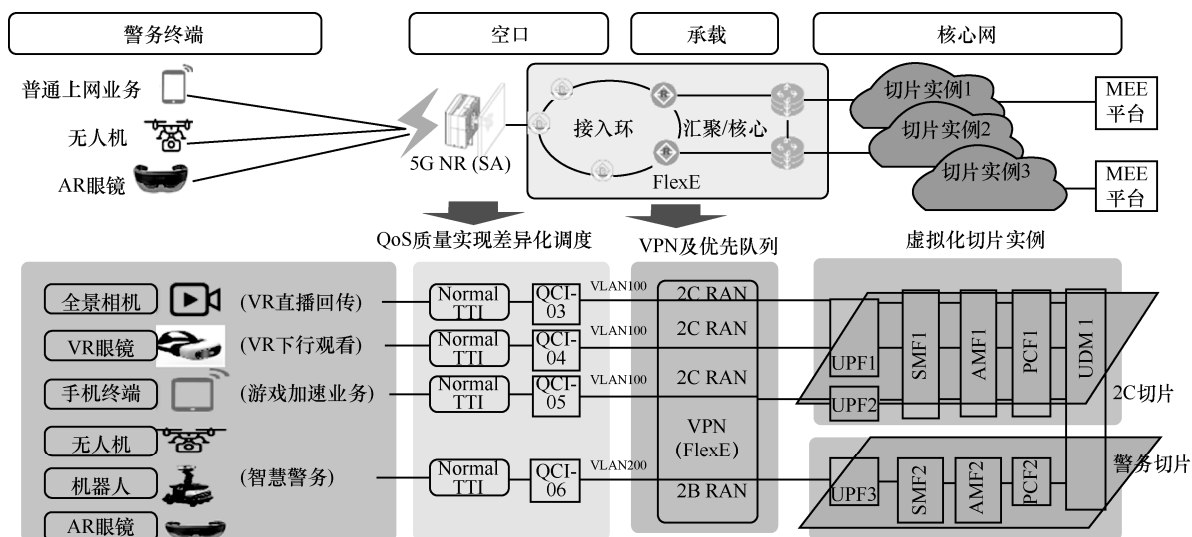


图6 STN切片场景

般包含 STN 城域内部和跨“STN+CN2”骨干网两种场景,如图7所示。

在 STN 的边缘设备与云端 ASBR 或客户站点边缘设备建立端到端的 SRv6 EVPN over 2B FlexE 切片,承载上云业务或云间互联业务;对于跨骨干网上云业务和云间互联业务,只需要部署跨域的 SRv6 EVPN,能够快速实现 5G 2B 专线,并减少承载网络业务配置点,减少跨域背对背的配置点;在跨 STN 和骨干网络中,根据不同的用户等级映射到相应的 2B 硬切片通道或者 QoS 等

级通道,进行不同 SLA 质量保障。

对于有低时延选路需求的客户业务,可以在业务接入边缘设备上采用 SRv6 Policy 技术,通过管控系统搜集获取网络链路的时延信息,计算出满足“时延+负载”等多种约束条件的路径,给边缘业务接入设备下发动态计算出 SRv6 Policy 承载上云业务;对于有 ECMP (equal-cost multipath routing) 或 UCMP (unequal cost multiple path) 需求的业务,基于 SRv6 融合算法,采用 SRv6 Policy 的 UCMP 能力,在多路径的网络场景,能够智能

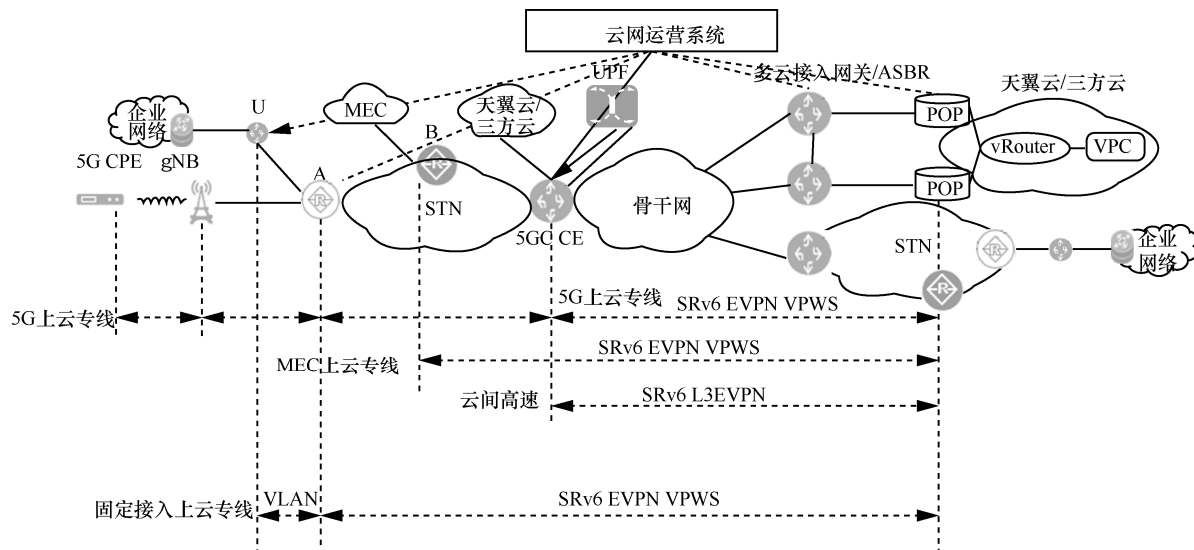


图7 STN政企上云和云间互联场景



适应业务 SLA/带宽变化，动态调整 UCMP 权重，实现网络资源与业务的自适应调整。

3.3 5G MEC 业务方案部署

对于 5G MEC 业务，根据不同的业务场景，STN 提供 MEC 在核心 DC、区域 DC、边缘 DC、园区等不同覆盖范围的多种接入场景。

UPF 在核心 DC，MEC 平台在边缘 DC 场景如图 8 所示，UPF 通过所在机房的 TOR/EOR 设备，经 VLAN/QinQ 二层对接 5GC-CE，并启用 eBGP 传递业务路由；MEC 平台通过所在机房的 TOR/EOR 设备，经 VLAN/QinQ 二层对接 B 设备。B 设备和 5GC-CE 通过 SRv6 EVPN VPWS over 2B FlexE 切片通道实现与 2C 业务的切片通道隔离。同理，基站与 5GC-CE 之间，基站为 MEC 业务分配独立的 2B VLAN 接入 STN，通过 SRv6 EVPN L3VPN over 2B FlexE 切片通道实现与 2C 业务的切片通道隔离。

3.4 网络的高可靠性

STN 对于网络可靠性有很高的要求，在引入 SRv6 之后需要能够端到端保证高可靠性。这些技术包括：SRv6 Ti-LFA 和防微环；主备 SRv6 Policy 隧道主热备份；尾节点保护；SRv6 Policy 逃生到

SRv6 BE。

SRv6 具备 TI-LFA 和微环避免技术，可以解决任意网络拓扑的链路或节点故障场景 50 ms 快速无环收敛；SRv6 Policy 隧道热备份可以解决网络中间链路或节点故障后，切换到提前规划好的备份路径；另外，SRv6 具备基于本地保护能力的尾节点保护技术，对于提供相同 VPN 业务的双归 PE，把这一对 PE 配置成镜像组，并通过 IGP 把镜像关系在网络里扩散。当镜像组内主用 PE 出现故障时，PLR (point of local repair) 设备快速感知，将流量转发到镜像组的备用 PE，备用 PE 直接转发流量到 CE；在设备与控制器通信完全中断的极端情况下，业务还可以从 SRv6 Policy 切换到 SRv6 BE 进行逃生。总之，SRv6 提供丰富的实现 2B 业务的高可靠保障能力。

3.5 智慧运营

STN 城域网络业务种类多，同时承载移动、政企、家宽业务，这些业务特征和运营方式差异较大。STN 的运营管控系统需要负责各种业务的运营和生命周期管理，实现差异化承载和运营。

政企用户可以通过 STN 连接天翼云和三方云

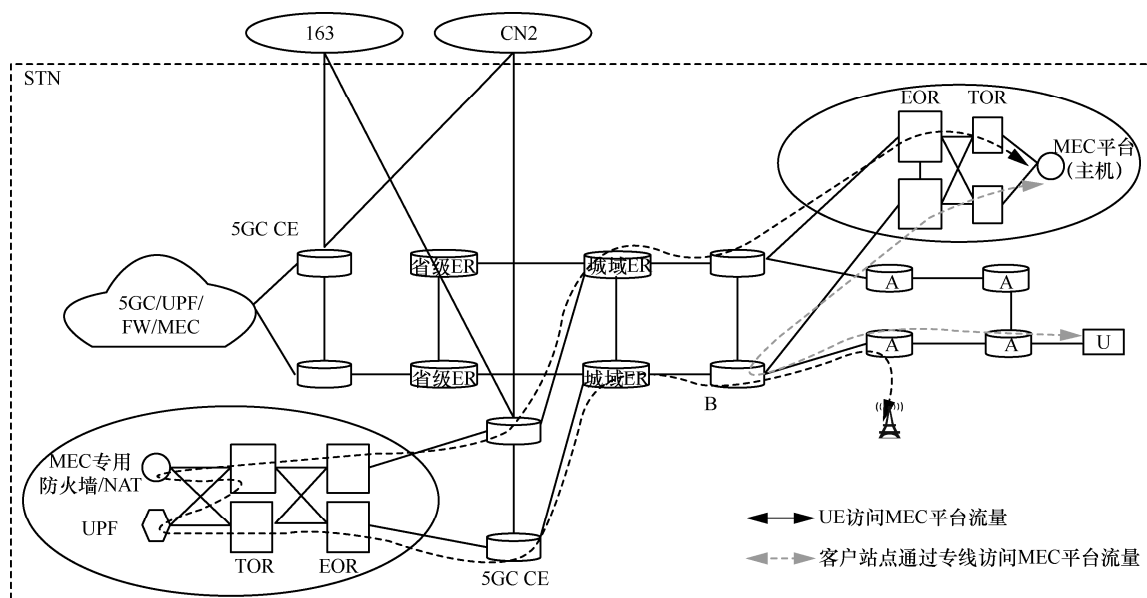


图 8 UPF 在核心 DC，MEC 平台在边缘 DC 场景

商分布在大、中型云资源池。运营管控系统需要提供政企用户的差异化、敏捷入云以及云间高速互访的运营诉求。对于跨省际访问云资源池的业务,由于省际间长途光路时延差距较大,底层传输存在ROADM等动态光路由机制,需要运营管控系统部署动态时延算路能力以及ECMP/UCMP等负载均衡类机制,充分盘活网络资源。

针对政企上云和云间互联业务,承载网提供网络服务化能力向天翼云和三方云商以API等方式开发网络能力是必要的。需要STN运营管控系统对承载网能力进行服务化封装,开放API供云商调用,实现云网业务的敏捷发放。当前现网的网管系统主要是网元监测及业务发放,缺少时延及带宽的动态计算和调整能力,无法做到基于SLA的业务路径规划;同时,面对大规模的网元,故障定位主要依赖于人工经验,缺少智能化的故障预测及自动恢复能力。所以,需要引入智能控制器,提供云网业务一站式,用户可自助,网络路径导航,网络和业务可视,故障智能定界、定位,全网业务和资源可灵活调度等能力,发挥网络和业务最大化价值。

3.6 网络演进

STN需要考虑与现有4G承载网络的兼容和演进,STN隧道演进总体策略如下:2020年新入网的STN设备均支持SRv6特性,开启SRv6与MPLS双转发平面,新设备间业务流量互通优先采用SRv6作为转发隧道,新设备与原有4G承载网设备间采用MPLS作为转发隧道,实现网络平滑演进、4G/5G互操作和投资保护;后期随着5G业务发展,可逐步将4G承载网设备退网,实现全网对SRv6的支持。在网络演进过程中,同步将传统的网管系统升级为具备SDN和智能化的STN运营管控平台,实现对5G承载网的智能管控和业务流量的差异化保障及其转发路径的敏捷优化。

4 结束语

SRv6作为下一代IP网络革命性基础协议,是推动云网融合的利器,在国际标准尚存在激烈博弈之际,中国电信联合华为等国内企业进行技术攻关,快速实现了跨厂商融合组网、大规模商用部署,并形成事实标准,为国内产业链抢占国际标准制高点发挥了至关重要作用。

面向5G的STN具备了SRv6、FlexE、随流检测等能力,支持网络切片,具备业务快速开通、SLA质量保障、自动化等智能化管控能力,满足5G 2B和2C业务差异化承载。5G技术的应用将会引入云游戏、cloud VR、工业控制、智慧医疗、智慧园区等新业务,5G业务上云需求将会成为普遍需求。STN与云的协同和融合将成为未来的发展方向,STN应可以灵活接入不同层面的云资源,满足用户—云、云—云的灵活承载方向演进,实现网随云动、云网融合,支撑5G+云网业务的商业成功。

中国电信“SRv6+EVPN”在STN成功部署运用之后,后续将同时在两方面展开“SRv6+EVPN”的部署推广工作:一是结合城域内以STN为基础的新型城域网试点及建设工作,在新型城域网全面部署“SRv6+EVPN”,使能城域网全面具备智能、敏捷、高效等特征;二是结合CN2网络优化改造工作,全面采用新型路由器设备连接/预连接天翼云、三方云、私有云资源,同时部署“SRv6+EVPN”,使能IP骨干层面云与网无缝衔接,实现骨干云网更加智能、敏捷、高效。在这两方面工作完成后,中国电信将具备从城域到骨干的全方位云网一体化基础设施,从而可持续提升用户体验,促进数字经济的健康发展。

参考文献:

- [1] 王君健. SRv6技术探讨[J]. 邮电设计技术, 2020(1): 59-63.
WANG J J. Discussion on SRv6 technology[J]. Design Technology of Posts and Telecommunications, 2020(1): 59-63.



- [2] 华为 SRv6 创新商用解决方案[J]. 通信世界, 2020(3): 31.
Huawei SRv6 innovative business solutions [J]. Communication World, 2020(3): 31.
- [3] 唐永林, 刘锋. SRv6 的分段标识符结构的改善[J]. 电信科学, 2020, 36(4): 170-174.
TANG Y L, LIU F. Improvement of segmented identifier structure of SRv6[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(4): 170-174
- [4] 陈焯. 基于 BGP 协议的 EVPN 实现与研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2017.
CHEN Y. Implementation and research of EVPN based on BGP protocol [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2017.
- [5] 仇丽华, 赵野, 梁世豪, 等. 某运营商基于 MPLS 技术的 DCI 部署方案[J]. 电信技术, 2019(8): 109-111.
QIU L H, ZHAO Y, LIANG S H, et al. DCI deployment scheme of an operator based on MPLS technology[J]. Telecom Technology, 2019(8): 109-111.
- [6] 孙晓栋. 跨域 MPLS VPN 解决方案[J]. 价值工程, 2019, 38(27): 146-148.
SUN X D. Cross domain MPLS VPN solution[J]. Value Engineering, 2019, 38 (27): 146-148.
- [7] 张翔宇, 魏国伟. 基于 GRE 和 IPSec 的 MPLS L2 层 VPN 技术研究与应用[J]. 网络空间安全, 2020, 11(5): 85-90.
ZHANG X Y, WEI G W. Research and implementation of MPLS L2VPN technology based on GRE and IPSec [J]. Cyberspace Security, 2020, 11(5): 85-90.
- [8] 陆刚. 基于 MPLS VPN 广域网下多种业务的设计与实现[J]. 中国新通信, 2019, 21(6): 46-48.
LU G. Design and implementation of multiple services based on MPLS VPN WAN [J]. China New Communications, 2019, 21(6):

46-48.

- [9] 段宏, 郭昌华, 刘文钊. FlexE 技术及其在 5G 承载网中的应用探析[J]. 邮电设计技术, 2020(3): 80-85.
DUAN H, GUO C H, LIU W Z. FlexE technology and its application in 5G carrying network[J]. Design Technology of Posts and Telecommunications, 2020(3): 80-85.
- [10] IETF. BGP MPLS-based ethernet VPN: RFC7432[S]. 2015.

[作者简介]



吴伟 (1972—), 男, 中国电信集团有限公司高级工程师、云网发展部副总经理, 主要从事网络发展和规划工作。

张文强 (1979—), 男, 中国电信集团有限公司高级工程师、云网发展部宽带网络规划处处长, 主要从事网络发展和规划工作。

杨广铭 (1974—), 男, 中国电信集团有限公司研究院高级工程师, 主要从事通信网络研究工作。

马培勇 (1971—), 男, 中国电信集团有限公司研究院高级工程师, 主要从事移动承载网络技术研究和网络规划工作。

杨锋 (1981—), 男, 中国电信集团有限公司高级工程师, 主要从事承载网络技术研究和网络规划工作。