



MPLS VPN 业务 VRRP 回程路由设计

王皓轮

(中国移动通信集团福建有限公司福州分公司, 福建 福州 350001)

摘要: 城域网扁平化演进中, 为提高 MPLS L3VPN 业务接入的可靠性, 将 OLT 设备规划为 VRRP 分支节点, 可能产生回程路由陷阱。提出两种各自独立的回程路由切换方法, 一种是基于 OLT 可达性检测的严格型方法, 另一种是基于路由优先级的简化型方法。实验结果表明, 回程路由切换时延为 2~8 s。上述回程路由切换方法, 能有效避免 VRRP 回程路由陷阱, 增强业务可靠性。

关键词: MPLS VPN; VRRP; 回程路由; BGP

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020264

Design of backhaul routes in VRRP networks of MPLS VPN

WANG Haolun

Fuzhou Branch of China Mobile Fujian Communications Fujian Co., Ltd., Fuzhou 350001, China

Abstract: In the process of flattening metropolitan area network, in order to improve the reliability of MPLS L3VPN services, OLT devices can be planned as VRRP branch nodes. This design could probably induce traps of backhaul routes. Two separate methods of switching backhaul routes were proposed. One is a strict method based on checking the reachability of OLT devices, the other is a simplified method based on the priority of routes. The experimental results show that, handover latency is between 2~8 s. These proposed methods of switching backhaul routes, can effectively prevent traps of backhaul routes, and improve the reliability of services.

Key words: MPLS VPN, VRRP, backhaul route, BGP

1 引言

早期的宽带城域网中, 在业务控制层设备 (BRAS 或 SR) 与接入网设备 (OLT 等) 之间, 普遍存在汇聚交换机, 如图 1 (a) 所示, 其中, SW 表示汇聚交换机。在“宽带中国”战略的推动下^[1], 宽带城域网的架构逐渐趋向“扁平化”: 宽带接入网的 OLT 设备逐渐增加大带宽链路 with BRAS 设备

直连。在某些运营商城域网中, 专线业务需依靠 SW 实施跨区调度, 因此, OLT 上行至 SW 的链路在未来较长一段时间中仍然需要保留。因此, 扁平化城域网的架构可分为图 1 (b) 和图 1 (c) 两种类型, 图 1 (b) 是近期目标网, 图 1 (c) 是远期目标网。在图 1 (b)、图 1 (c) 中, 每台 OLT 上联的 BRAS/SR 设备也可能不止两台。

多数城域网中, 既承载宽带互联网业务, 也



承载 MPLS VPN 业务。为提高 MPLS L3VPN 业务接入的可靠性,有多种可选方案,包括:VRRP(虚拟路由器冗余协议)^[2-3]、动态路由协议、静态路由备份、MC-LAG(multi-chassis link aggregation group)等。上述各种冗余保护方法的比较见表 1。其中,VRRP 对用户边缘设备(简称为 CE 设备)的功能要求低,尤其适用于 CE 是终端设备的 L3VPN 业务。同时,VRRP 对城域网规划的影响较小。上述原因,使 VRRP 技术成为 MPLS L3VPN 业务高可靠接入的主流解决方案之一。但是,VRRP 协议标准不能确保回程路由的完备性,因此,在图 1(b)架构的城域网中,有可能产生回程路由陷阱。

VRRP 回程路由陷阱的产生,与“VRRP 双主”现象有关,进一步地说,是与“VRRP 分支节点”的规划有关。“VRRP 分支节点”的含义为:上行不同方向链路透传同一个 VRRP 备份组的 VRRP 报文的网络节点。“VRRP 分支节点”的上行链路的不同方向形成了冗余保护、互为备份的关系。

在图 1(a)、图 1(b)两种城域网架构中,都可以把汇聚交换机规划为 VRRP 分支节点。在图 1(b)架构中,如果想要利用 OLT 上行不同方向的链路、实现更强的业务保护功能,应当把 OLT 规划为 VRRP 分支节点,但是有可能导致“VRRP 双主”,“VRRP 双主”导致回程路由陷阱如图 2 所示。例如,图 2 中,PE 设备(BRAS 或 SR)作为 VRRP 网关,VRRP 备份组的初始规划为:PE1 是 master(活动状态),PE2 是 backup(备用状态)。当 OLT 与汇聚交换机之间的链路中断时,PE2 设备的 VRRP 子接口虽然可以发现 VRRP 报文丢失(未收到),但无法判断 VRRP 报文在哪段链路中丢失,因此,根据 VRRP 协议,PE2 将 VRRP 子接口的状态从 backup 切换为 master,于是,PE1 和 PE2 的 VRRP 子接口同时为 master,形成了“VRRP 双主”。链路故障造成的“VRRP 双主”并不影响 OLT 学习到正确的网关 MAC 和出接口,因此 VRRP 确保了 CE 上行路由的正确性。然而,从 PE 到 CE 的回程路由,有可能经过已中断的链

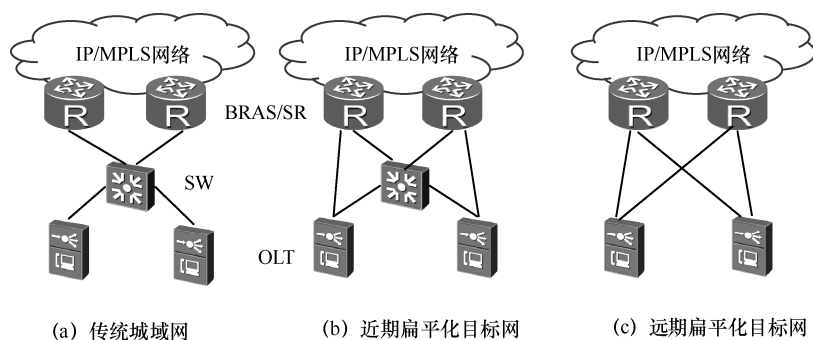


图 1 城域网扁平化演进示意图

表 1 MPLS L3VPN 接入冗余保护方法的比较

冗余保护方法	对 CE 功能要求	CE 配置改造量	对城域网结构要求	对城域网规划的影响	协议标准是否包含回程路由
VRRP	无	无	无	小;只影响应用该方法的业务,不影响其他业务	否
动态路由协议	需支持 OSPF 或 IS-IS 协议	小			是
静态路由备份	需支持 BFD 与静态路由联动	中			否
MC-LAG	无	无	要求 OLT 上行网络结构对称。因此,不适用于图 1(b)架构	大;对城域网的所有业务都影响,需要全网重新规划和全面改造	是

路,造成业务故障,这种现象称为“回程路由陷阱”。为了避免“回程路由陷阱”,需要设计回程路由切换方法。

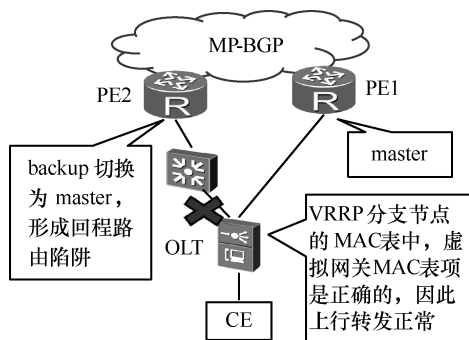


图2 “VRRP 双主”导致回程路由陷阱

现有的关于 VRRP 的研究主要有以下 4 个方面。

- 参考文献[4]对 VRRP 的研究主要集中于两个方面。一方面是对上行路由的监视,包括 VRRP 监视上行接口状态或路由表状态、VRRP 与 BFD 或 ICMP 联动实现对上行链路的监视,再根据监视到的路由中断事件触发 VRRP 主备状态切换。另一方面,对于接入侧,通过同一个 VRRP 备份组中的 backup 路由器向 master 路由器进行 BFD 会话检测,可实现 master 失效情况下 backup 路由器迅速切换为 master (毫秒级时延)。
- 参考文献[5]主要研究静态专线用户侧与城域网 BRAS/SR 之间通过动态路由协议等多种技术实现业务接入的冗余保护,其中对 VRRP 的应用主要是在用户内网。
- 参考文献[6]探讨了 MPLS L3VPN 接入的多种冗余保护方法,包括动态路由协议、VRRP 等。其中提及 VRRP 的适用场景为:CE 为终端设备或其他不支持动态路由协议的设备。
- 参考文献[7]验证了 LACP 对 VRRP 回程路由切换的作用。

综上所述,参考文献对于 VRRP 回程路由的研究,可总结为:参考文献[2-3]作为 VRRP 标准,

未解决回程路由问题。参考文献[4]论述了 VRRP 网关以上路径的回程路由切换方法,未论述 VRRP 网关以下路径的回程路由切换方法。参考文献[7]未论述 VRRP 网关与 VRRP 分支节点之间无法建立 LACP 的场景。参考文献[5-6]未论述 VRRP 回程路由问题。参考文献[4]中的可达性检测技术,包括 BFD、ICMP,虽然未完全解决 VRRP 回程路由问题,但对于本文的研究具有参考意义。

2 VRRP 回程路由切换方法设计

2.1 VRRP 回程路由陷阱的解决思路

MPLS L3VPN 在城域网中的实现方式为: BGP/MPLS IP VPN。其中,不同的 VPN 地址空间通过不同的 VRF (虚拟路由转发) 实例隔离。同一个 VPN 业务包含一个或多个 VRF 实例。不同的 VRF 实例之间,依靠 MP-BGP 的 RT (route target, BGP 扩展团体属性之一) 控制 VPNv4 路由的发布和接收。

VRRP 子接口的状态包括: master、backup、initialize (初始状态)。在 PE 设备中,当 VRRP 子接口与某个 VRF 绑定后, master 和 backup 子接口的 IP 网段产生的直连路由将会出现在 VRF 路由表中。initialize 子接口的 IP 网段,在一定的配置条件下 (与设备功能特性有关),不产生直连路由。

当 VRRP 子接口处于 backup 状态时,表明它可以收到其他 VRRP 子接口发来的 VRRP 报文,因此该子接口能与 VRRP 分支节点互通,它产生的直连路由是“有效回程路由”。当 VRRP 子接口处于 master 状态时,不能直接判断它是否能与 VRRP 分支节点互通,因此该子接口产生的直连路由可能是“有效回程路由”,也可能是“无效回程路由”。“有效回程路由”可到达 VRRP 分支节点。“无效回程路由”不能到达 VRRP 分支节点。进入 VRF 路由表的直连路由,无论是否“有效回程路由”,都有可能发布到 MP-BGP 中,被其他的



PE 接收, 或者被同一台 PE 的其他 VRF 接收。同理, 以 VRRP 子接口为出接口的静态路由, 也同样可区分为有效回程路由、无效回程路由。图 3 中, 假设 PE3 采用 MP-BGP 默认选择的回程路由, 因此, PE3 有可能选择无效回程路由, 形成回程路由陷阱。

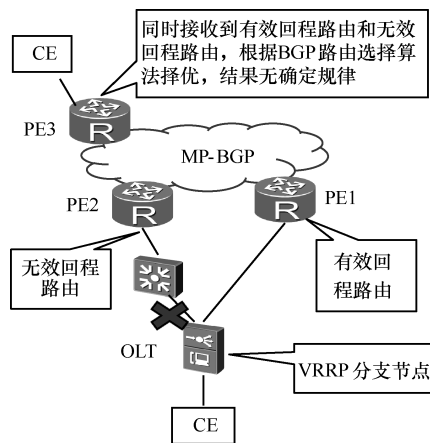


图 3 MPLS VPN 回程路由陷阱的形成

根据上述分析, 可知, VRRP 回程路由切换方法的设计, 可选用如下两种设计思路之一。

设计思路一: 在 VRF 路由表中, 及时清除无效回程路由。

设计思路二: 保留 VRF 路由表中的无效回程路由。通过控制路由优先级, 确保 VPN 业务回程路由只选择有效回程路由, 不选择无效回程路由。

根据上述两种设计思路, 本文分别设计了严格型回程路由切换方法、简化型回程路由切换方法。

2.2 严格型回程路由切换方法

根据设计思路一, 若要及时清除无效回程路由, 可采用的设计方法是: 提前设置联动机制, 当 PE 设备 VRRP 子接口与“VRRP 分支节点”之间的通信中断时, 触发 VRRP 子接口状态变为 initialize, 并清除相关直连路由和静态路由, 就可以避免无效回程路由驻留在 VRF 路由表中, 同时也能通过 MP-BGP 协议自动撤销已发布出去的无效回程路由。城域网中, 如果 PE 与 VRRP 分支节点 (汇聚交换机或 OLT) 之间是直连链路, 可以启用 LACP 协议, 因此, 当链路中断时, LACP

协议失效, 能够触发 VRRP 子接口转入 initialize, 并清除直连路由和静态路由。如果 PE 与 OLT 之间存在汇聚交换机, 那么, 作为 VRRP 分支节点的 OLT 不能与 PE 建立 LACP 互联, 因此, 需要借助 PE 对 OLT 的可达性检测协议, 清除无效回程路由。这种回程路由切换原理, 如图 4 所示。可达性检测协议包括: BFD (bidirectional forwarding detection)、ICMP (internet control message protocol)。由于现网中大部分 OLT 设备不支持 BFD 功能, 因此, 如果 PE 采用 BFD 检测 OLT 的可达性, 则只能选用“单臂回声 BFD”。对于不支持“单臂回声 BFD”的 PE 设备, 也可以考虑 ICMP 检测。当上述检测任务建立之后, 应当将检测任务的周期性检测结果与 PE 的 VRRP 子接口状态联动。当周期性检测结果出现若干次“不可达”时, 触发 VRRP 子接口转入 initialize 状态, 进而清除相关直连路由和静态路由, 随后 MP-BGP 协议将自动撤销无效路由。上述可达性检测任务与 VRRP 子接口状态联动的具体实现方案, 与 PE 设备的功能特性有关。

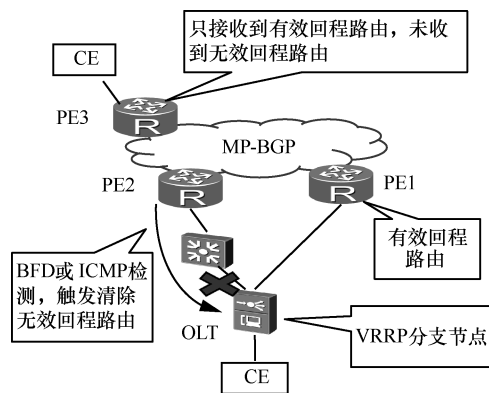


图 4 基于可达性检测的回程路由切换原理

根据上述原理设计的回程路由切换方法, 本文中称之为严格型回程路由切换方法 (exact backhaul route switching method, EBRSM)。虽然 EBRSM 的具体方案与设备功能特性有关, 但其实现原理都可以用图 5 表示。其中, 每台 PE 需要一个独立的“OLT 可达性检测 VRF”, 区别于业务 VRF 实例。BFD 或 ICMP 检测的目标 IP 地址, 都

属于这个“OLT 可达性检测 VRF”。创建独立的 VRF 用于 OLT 可达性检测, 目的在于: 在 PE 设备中, 对每台 OLT 只需要一个检测任务; 当 VPN 业务增多时, 只需将新增的 VRRP 子接口与其对应 OLT 的检测任务进行“状态联动”。这种规划方法, 能精简每台 PE 所需的检测任务数, 使每台 PE 所需的 BFD 或 ICMP 检测任务数不大于该 PE 下挂的汇聚交换机下的 OLT 数。

2.3 简化型回程路由切换方法

2.3.1 方法提出与名词定义

虽然 EBRSM 已经精简了每台 PE 的可达性检测任务数, 但是, 由于需要将 VRRP 子接口逐个与可达性检测任务 (BFD 或 ICMP) 进行“状态联动”,

有可能造成运维工作量较大。为了进一步简化运维工作, 本文提出一种简化型回程路由切换方法 (simplified backhaul route switching method, SBRSM)。它基于路由优先级, 不需要建立 BFD 或 ICMP 检测任务。SBRSM 要求 MPLS L3VPN 的逻辑结构规划为 hub-and-spoke 结构。现实中, 大部分 MPLS L3VPN 可以规划为这种逻辑结构。Hub-and-Spoke 结构的特点是: 将 CE 分为 hub-CE 和 spoke-CE, hub-CE 之间可以互相通信, spoke-CE 之间不需要互相通信, spoke-CE 需要与 hub-CE 通信。

相关定义基本概念见表 2。

从以上定义可知, SBRSM 采用了“多 VRF 实例”, 即采用 VRRP 保护方法的一个 VPN 业务,

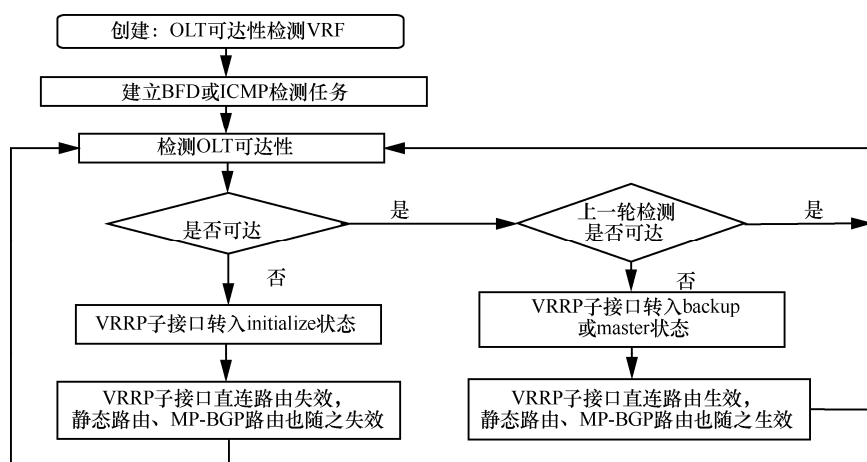


图 5 严格型回程路由切换方法的实现原理

表 2 SBRSM 名词定义

名词	定义
VRRP 分支节点	与“引言”中的定义相同。对于不同的城域网结构和 VLAN 规划情况, VRRP 分支节点有可能是汇聚交换机, 也可能是 OLT
A 类子接口	VRRP 子接口, 它所在的主接口与“VRRP 分支节点”之间建立 LACP A 类子接口产生的直连路由以及关联的静态路由, 统称为 A 类路由
B 类子接口	VRRP 子接口, 它所在的主接口与“VRRP 分支节点”之间不能建立 LACP B 类子接口产生的直连路由以及关联的静态路由, 统称为 B 类路由
C 类子接口	不启用 VRRP 的子接口。可采用 OSPF 等其他冗余保护方法
A 类 VRF	某个 VPN 业务, 在所有 PE 上的 A 类子接口, 纳入一个 VRF, 称为 A 类 VRF
B 类 VRF	某个 VPN 业务, 在所有 PE 上的 B 类子接口, 纳入一个 VRF, 称为 B 类 VRF
C 类 VRF	某个 VPN 业务, 在所有 PE 上的 C 类子接口, 纳入一个 VRF, 称为 C 类 VRF



需要建立 3 个 VRF 实例，分别为 A 类 VRF、B 类 VRF、C 类 VRF。

2.3.2 SBRSM 设计原理

根据上述定义可知：A 类路由是可信路由，B 类路由是不可信路由（可能有效，也可能无效）。

SBRSM 是基于 IP 路由的管理距离（administrative distance）区分路由优先级。管理距离，也称为路由协议间优先级，数值越小越优先。SBRSM 的回程路由设计原理是：在每个 VRF 接收 MP-BGP 路由的路由策略中，根据 import-RT，区分 A 类路由和 B 类路由，对它们赋予不同的管理距离，使得 A 类路由的管理距离小于 B 类路由的管理距离。

根据 IP 路由选择的通用算法标准，对于匹配同一个目的 IP 的多条路由，首先比较前缀长度，优选最长的路由前缀。如果路由前缀长度相同，则优选管理距离最小的路由。一般情况下，A 类路由与 B 类路由是完全对称的，路由前缀长度一致，因此，A 类路由优先于 B 类路由。上述原理如图 6 所示。

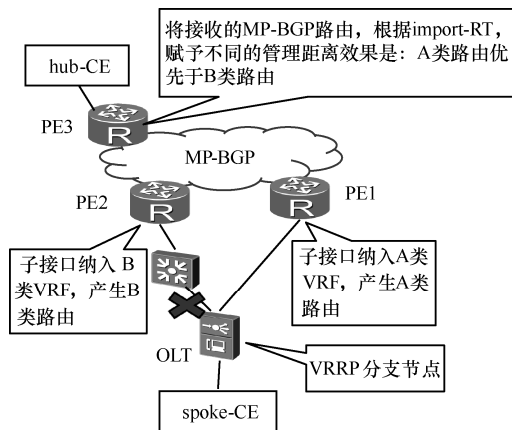


图 6 PE 间 VRF 路由优先级控制原理

但是，在某些特殊情况下，B 类路由中可能存在主机路由，主机路由的前缀最长，优先于 A 类路由。这种特殊情况出现在：当 B 类路由向同一台 PE 的另一个 VRF 发布时，某些厂商的 BRAS/SR 设备默认发布主机路由。如果 A 类路由跨 PE 发布时并不包含主机路由，则会出现优先级

反转，如图 7 所示。为了避免这种风险，应当在 B 类 VRF 向 MP-BGP 发布直连路由时，过滤前缀长度为 32 的所有路由，从而阻止主机路由被发布。这种过滤措施的合理性在于：由于 B 类子接口都是 VRRP 子接口，也就是以太网子接口，接口 IP 掩码长度都小于 32。

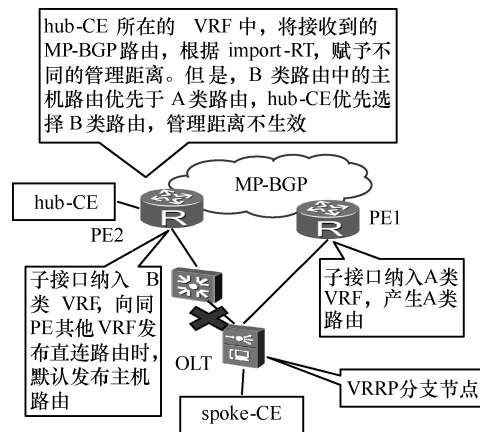


图 7 主机路由造成的优先级反转现象

综上所述，SBRSM 所需的关键技术包括：在路由发布方 VRF 过滤直连主机路由，在路由接收方 VRF 根据 import-RT 修改路由管理距离。PE 间 VRF 路由优先级控制原理如图 6 所示，主机路由造成的优先级反转现象如图 7 所示。图 6 和图 7 中，hub-CE 采用 C 类子接口。同理，可推断，当 hub-CE 采用 A 类子接口时，上述论证也是严密的。

2.3.3 SBRSM 实现步骤

对于一个 MPLS L3VPN 业务，SBRSM 的实现步骤如下。

步骤 1 规划子接口。同一个 VLAN 中，CE 归属子接口的规划方法有 3 种：（1）一个 C 类子接口；（2）至少两个 A 类子接口；（3）一个 B 类子接口以及至少一个 A 类子接口。对于 hub-CE，可选用第（1）或第（2）种；对于 spoke-CE，可选上述任意一种。

步骤 2 在 B 类 VRF 将直连路由引入 MP-BGP 时，配置路由过滤策略，不引入主机路由（前缀长度为 32 的 IPv4 直连路由）。

步骤3 对不同类 VRF 设置不同的 export-RT (route-target, BGP 扩展团体属性之一), 每个 VRF 在接收 MP-BGP 路由时, 根据 import-RT 修改路由管理距离, 使得接收后的 A 类路由管理距离小于 B 类路由管理距离。

上述 3 个步骤构成了 SBRSM。关于步骤 1 的补充说明: 由于 hub-CE 属于客户总部站点或汇聚站点, 一般建议采用 OSPF 等动态路由协议, 也就是 C 类子接口。若 hub-CE 采用 PTN 接入汇聚交换机, 或光纤直连到汇聚交换机, 也可以将汇聚交换机作为 VRRP 分支节点, 规划 A 类子接口。

2.4 回程路由切换方法的比较

本文提出的两种回程路由切换方法, 都是为“VRRP 分支节点”从汇聚交换机“下沉”到 OLT 的演进需求而设计的。EBRSM 的优点在于适用范围广, 不受 VPN 业务逻辑结构的限制, 但 PE 设备配置带来的运维工作量较大。SBRSM 的优点在于配置简单、易维护, 但要求 VPN 业务规划为 Hub-and-Spoke 结构。因此, 当运营商需要在城域网中对 MPLS L3VPN 业务普遍推行 VRRP 分支节点下沉时, 应当优选 EBRSM。当运营商只计划对某些 MPLS L3VPN 业务推行 VRRP 分支节点下沉时, 如果该业务逻辑结构可以规划为 Hub-and-Spoke 结构, 则建议优选 SBRSM。

这两种方法的共同创新点, 是在 OLT 上行非对称组网的城域网中, 面向 MPLS L3VPN 业务双归属接入的保护需求, 提出可普遍适配已有城域网设备的 VRRP 回程路由设计方法。EBRSM 的创新点, 是在借鉴现有 BFD、ICMP 检测技术的基础上, 将每个 OLT 可达性检测任务与同链路中的多个 VPN 实例的子接口状态联动, 精简了检测任务数, 并总结出通用的实现原理, 如图 5 所示。SBRSM 的创新点, 是通过设置全局路由策略, 批量控制路由优先级, 使可信路由的优先级高于不确信路由的优先级。因此, SBRSM 避免了创建可达性检测任务, 也避免了对子接口状态进行管理,

简化了运维。

这两种方法的性能开销, 主要是 CPU 运算开销。EBRSM 的开销主要在于可达性检测任务以及子接口状态联动, PE 设备每秒需要执行运算次数为 $O(N/T) + O(M)$, 其中, N 代表 PE 间接相连的 OLT 数量, 也就是可达性检测任务数; T 代表执行可达性检测任务的周期, 建议取 0.1~1 s; M 代表因链路故障而需要执行状态联动的 VPN 子接口数量。SBRSM 的开销主要是路由策略, PE 设备每秒需要执行运算次数为 $O(K)$, 其中, K 代表 MP-BGP 每秒发布和接收的更新路由条目数。一般情况下, N/T 的数量级低于 10^3 , M 的数量级低于 10^2 , K 的数量级低于 10^3 。因此, EBRSM 和 SBRSM 产生的开销很小, 不影响 PE 设备的正常运行。

这两种方法的执行性能, 即回程路由切换时延, 将在“实验方法及结果”中体现。

从维护方面分析, EBRSM 需要维护可达性检测任务、子接口状态联动的配置, 运维工作量稍大, 但只要形成标准化管理流程, 即可长期维护。SBRSM 的配置关键在于 VPN 实例规划、RT 属性规划、路由管理距离规划, 规划完成后, 配置简单、容易维护。

3 实验方法及结果

在城域网中选取两台华为 ME60、一台诺基亚贝尔 7750SR, 作为实验 PE 设备。以图 4 作为 EBRSM 的实验拓扑, 实验相关参数见表 3, 其中根据不同的检测机制分为两种实验场景, 都根据 BGP 协议默认优选经过 PE2 的回程路由。以图 6 和图 7 作为 SBRSM 实验拓扑, 实验相关参数见表 4, 其中在 C 类 VRF 中修改 A 类路由的管理距离为 100, 保持默认的 B 类路由管理距离。

在上述每个实验中, 将 OLT 上行端口关闭, 模拟链路中断, 测试路由切换时的 ping 分组丢失数。每次 ping 间隔 0.5 s, 一次分组丢失代表超时 2 s。实验结果见表 5。



表 3 EBRSM 实验参数

实验场景	PE 设备选型			PE2 采用的检测机制	检测时间间隔/s	超时门限/次
	PE1	PE2	PE3			
场景 1	7750SR	ME60	ME60	单臂回声 BFD	0.2	3
场景 2	ME60	7750SR	ME60	ICMP 超时触发事件处理脚本	1	1

表 4 SBRSM 实验参数

实验拓扑	PE 设备选型			修改路由管理距离的 VRF	A 类路由的管理距离	B 类路由的管理距离
	PE1	PE2	PE3			
图 6	ME60	ME60	7750SR	PE3 的 C 类 VRF	100	170
图 7	ME60	ME60	无	PE2 的 C 类 VRF	100	255

表 5 路由切换场景中的分组丢失测试数据

回程路由切换方法	链路断造成 ping 分组丢失的测试场景	ping 分组丢失数	
		最小值	最大值
EBRSM	CE 到网关	0	1
	CE 之间跨网段互访	1	3
SBRSM	CE 到网关	0	1
	CE 之间跨网段互访	1	3

从表 3 可以看出, CE 到网关的分组丢失数小于“CE 之间跨网段互访”的分组丢失数,也就是说, VRRP 网关切换时延, 小于端到端路由修复时延。因此, 端到端路由修复时延, 是由回程路由切换时延决定的。由于每次 ping 分组丢失代表 2 s 超时, 因此, 回程路由切换时延为 2~8 s。两种切换方法的切换时延相近。

4 结束语

“宽带中国”战略推动了城域网的扁平化演进, 使 OLT 上行链路形成了多方向接入的格局。这种网络结构催生了一种面向 MPLS VPN 业务的新的 VRRP 规划思路: 将 OLT 作为 VRRP 分支节点。与传统的将汇聚交换机作为 VRRP 分支节点的规划相比, 这种新规划对 OLT 上行链路阻断的容灾能力更强, 但却容易引发回程路由陷阱。本

文中提出的回程路由切换方法, 能有效预防回程路由陷阱, 增强了 VRRP 分支节点下沉到 OLT 之后的网络可靠性。主要应用场景为 CE 分布密集、对 OLT 上行链路故障敏感的 MPLS L3VPN 业务(例如视频监控终端接入、物联网终端接入、运营商末端网元管理等)。

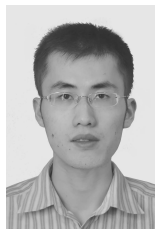
参考文献:

- [1] 汤艺超. “宽带中国”战略下宽带城域网的架构演进[J]. 中国新通信, 2017, 19(20): 71-72.
TANG Y C. Architecture evolution of broadband metropolitan area network under the strategy of broadband China[J]. China New Telecommunications, 2017, 19(20): 71-72.
- [2] IETF. Virtual router redundancy protocol (VRRP): RFC3768[S]. 2004.
- [3] IETF. Virtual router redundancy protocol (VRRP) version 3 for IPv4 and IPv6: RFC5798[S]. 2010.
- [4] 王达. 华为路由器学习指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.

- WANG D. Huawei router learning guide[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2014.
- [5] 董铮, 唐海军. 基于路由交换技术的静态专线冗余备份方法[J]. 电信科学, 2015, 31(10): 204-209.
- DONG Z, TANG H J. A static line redundant backup method based on routing switching technology[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(10): 204-209.
- [6] 甘沛露. MPLS VPN 业务多种实现方式探讨[J]. 电信技术, 2016(8): 113-120.
- GAN P L. Discussion on the implementation of MPLS VPN service[J]. Telecommunications Technology, 2016(8): 113-120.
- [7] 孙国锋. 基于 VRRP+LACP 高可靠性网络设计与实现[J]. 信息通信, 2019(5): 179-180.

SUN G F. Design and implementation of high reliability network based on VRRP + LACP[J]. Information & Communications, 2019(5): 179-180.

[作者简介]



王皓轮 (1984-), 男, 博士, 中国移动通信集团福建有限公司福州分公司工程师, 主要研究方向为城域网运维及优化、IP 网络技术应用与演进。