第3章 MPLS与VPN应用

3.1 MPLS 协议

3.1.1 静态 MPLS 协议

▶ 原理

MPLS (Multi-Protocol Label Switching) 是多协议标签交换的简称,所谓多协议是指 MPLS 支持多种网络层协议,例如 IP、IPv6、IPX 等;而且兼容包括 ATM、帧中继、以太网、PPP 等 在内的多种链路层技术;所谓标签交换就是给报文附上标签,根据标签进行转发。MPLS 使用 的是面向无连接的控制面和面向连接的数据面,从而使面向无连接的 IP 网络中添加了面向连 接的属性。最初 MPLS 技术是为了提高路由设备的转发速度,随着硬件技术和网络处理器的 发展,这一优势已经不明显了。但由于 MPLS 将二层交换和三层路由技术结合起来的固有优 势,它在解决 VPN (虚拟专用)和 TE (流量工程)问题时具有其他技术无可比拟的地方。在 解决企业互联问题,提供各种新业务方面,MPLS 越来越被运营商看好,成为运营商在 IP 网 络中提供增值业务的重要手段。因此 MPLS 技术获得了越来越多的关注,MPLS 的应用也逐 步转向 MPLS VPN 和流量工程等应用。

MPLS 节点

一个运行 MPLS 功能的节点能够识别 MPLS 的信令协议(控制协议),能够运行一个或者 多个的三层路由协议(包括静态路由),并且能够根据 MPLS 标签转发报文。通常一个 MPLS 节点也有能力转发原始的三层报文(如 IP 报文)。

转发等价类 FEC(Forwarding Equivalence Class)

转发等价类是指在转发过程中以等价的方式处理的一类数据报文,例如,目的地址前缀 相同的数据报文。针对不同的应用,FEC的归类方法也可以不尽相同。在 IP 单播路由应用中 FEC 可以按照目的地址前缀进行分类,也就是一条路由对应一个 FEC。属于相同转发等价类 的报文在 MPLS 网络中将获得完全相同的处理。

LSR(Label Switching Router)标签交换路由器

LSR 是 MPLS 的网络的核心设备,它具有标签交换和标签分发功能。在 MPLS 体系文档 RFC3031 中讲到 LSR 同时是一个有能力转发原始的三层报文(如 IP 报文或者 IPv6 报文等) 的 MPLS 节点,对于 MPLS 在 IP 网络中的应用,意味着 LSR 有能力同时执行正常的 IP 报文 转发。 LER (Label Switching Edge Router)标签边缘路由器

在 MPLS 的网络边缘,进入到 MPLS 网络的流量由 LSR 区分为不同的 FEC,并为这些 FEC 请求相应的标签;离开 MPLS 网络的流量由 LER 弹出标签并还原为原始的报文。因此 LER 提供了流量分类、标签的映射和标签的移除功能。

LSP(Label Switched Path)标签交换路径

标签交换路径中一个 FEC 的数据流在不同的节点被赋予确定的标签,数据转发根据已经 分配好的标签在各个节点上执行标签交换动作。数据流所走的路径就是 LSP,是一系列 LSR 的集合。可以将 LSP 看作类似穿越 MPLS 核心网络的一个隧道。

标签是一个长度固定、具有本地意义的短标识符。说它具有本地意义指的是标签只在相邻的两个 LSR 之间分发传递,因此也只在这两个 LSR 之间有效。一个标签用于标识一个FEC,当报文到达 MPLS 网络入口时,它将按一定规则被划分给不同的 FEC,根据报文所属的 FEC 将相应的标签封装在报文中,在 MPLS 网络中按标签进行转发。

▶ 任务拓扑



R2(config)#interface loopback 0 R2(config-if-Loopback 0)#ip address 10.0.2.2 32 R2(config-if-Loopback 0)#exit R2(config)#

Ruijie>enable Password:ruiiie Ruijie#configure terminal Ruijie(config)#hostname R3 R3(config)#interface loopback 0 R3(config-if-Loopback 0)#ip address 10.0.3.3 32 R3(config-if-Loopback 0)#exit R3(config)#interface gigabitEthernet 0/1 R3(config-if-GigabitEthernet 0/1)#no switchport R3(config-if-GigabitEthernet 0/1)#ip address 10.0.23.3 24 R3(config-if-GigabitEthernet 0/1)#exit R3(config)#interface gigabitEthernet 0/2 R3(config-if-GigabitEthernet 0/2)#no switchport R3(config-if-GigabitEthernet 0/2)#ip address 10.0.34.3 24 R3(config-if-GigabitEthernet 0/2)#exit R3(config)#

Ruijie>enable Password:ruijie Ruijie#configure terminal Ruijie(config)#hostname R4 R4(config)#interface loopback 0 R4(config-if-Loopback 0)#ip address 10.0.4.4 3 R4(config-if-Loopback 0)#exit R4(config)#interface gigabitEthernet 0/2 R4(config-if-GigabitEthernet 0/2)#no switchport R4(config-if-GigabitEthernet 0/2)#ip address 10.0.34.4 24 R4(config-if-GigabitEthernet 0/2)#exit R4(config)#interface gigabitEthernet 0/3 R4(config-if-GigabitEthernet 0/3)#no switchport R4(config-if-GigabitEthernet 0/3)#ip address 10.0.45.4 24 R4(config-if-GigabitEthernet 0/3)#exit R4(config)#

Ruijie>enable Password:ruijie Ruijie#configure terminal Ruijie(config)#hostname R5 R5(config)#interface gigabitEthernet 0/3 R5(config-if-GigabitEthernet 0/3)#no switchport R5(config-if-GigabitEthernet 0/3)#ip address 10.0.45.5 24 R5(config-if-GigabitEthernet 0/3)#exit R5(config)#interface loopback 0 R5(config-if-Loopback 0)#ip address 10.0.5.5 32 R5(config-if-Loopback 0)#exit R5(config)#

2. 在 MPLS 域内配置 OSPF 协议实现内部路由互通。

R1(config)#router ospf 1 R1(config-router)#router-id 1.1.1.1 Change router-id and update OSPF process! [yes/no]:y R1(config-router)#network 10.0.12.0 0.0.0.255 area 0 R1(config-router)#network 10.0.1.1 0.0.0.0 area 0 R1(config-router)#exit R1(config)# R2(config)#router ospf 1 R2(config-router)#router-id 2.2.2.2 Change router-id and update OSPF process! [yes/no]:y R2(config-router)#network 10.0.2.2 0.0.0.0 area 0 R2(config-router)#network 10.0.12.0 0.0.0.255 area 0 R2(config-router)#network 10.0.23.0 0.0.0.255 area 0 R2(config-router)#exit R2(config)# R3(config)#router ospf 1 R3(config-router)#router-id 3.3.3.3 Change router-id and update OSPF process! [ves/no]:v R3(config-router)#network 10.0.3.3 0.0.0.0 area 0 R3(config-router)#network 10.0.23.0 0.0.0.255 area 0 R3(config-router)#network 10.0.34.0 0.0.0.255 area R3(config-router)#exit R3(config)# R4(config)#router ospf 1 R4(config-router)#router-id 4.4.4.4 Change router-id and update OSPF process! [yes/no]:y R4(config-router)#network 10.0.34.0 0.0.0.255 area R4(config-router)#network 10.0.45.0 0.0.0.255 area R4(config-router)#network 10.0.4.4 0.0.0.0 area R4(config-router)#exit R4(config)# R5(config)#router ospf R5(config-router)#router-id 5.5.5.5 Change router-id and update OSPF process! [yes/no]:y R5(config-router)#network 10.0.45.0 0.0.0.255 area 0 R5(config-router)#network 10.0.5.5 0.0.0.0 area 0 R5(config-router)#exit R5(config)#

3. 在各设备全局模式开启 mpls ip 协议,同时在接口开启标签交换功能。

R1(config)#mpls ip R1(config)#interface gigabitEthernet 0/0 R1(config-if-GigabitEthernet 0/0)#label-switching R1(config-if-GigabitEthernet 0/0)#exit R1(config)#

R2(config)#mpls ip R2(config)#interface gigabitEthernet 0/0 R2(config-if-GigabitEthernet 0/0)#label-switching R2(config-if-GigabitEthernet 0/0)#exit R2(config)#interface gigabitEthernet 0/1 R2(config-if-GigabitEthernet 0/1)#label-switching R2(config-if-GigabitEthernet 0/1)#exit R2(config)#

R3(config)#mpls ip R3(config)#interface gigabitEthernet 0/1 R3(config-if-GigabitEthernet 0/1)#label-switching R3(config-if-GigabitEthernet 0/1)#exit R3(config)#interface gigabitEthernet 0/2 R3(config-if-GigabitEthernet 0/2)#label-switching R3(config-if-GigabitEthernet 0/2)#exit R3(config)#

R4(config)#mpls ip R4(config)#interface gigabitEthernet 0/2 R4(config-if-GigabitEthernet 0/2)#label-switching R4(config-if-GigabitEthernet 0/2)#exit R4(config)#interface gigabitEthernet 0/3 R4(config-if-GigabitEthernet 0/3)#label-switching R4(config-if-GigabitEthernet 0/3)#exit R4(config)#

R5(config)#interface gigabitEthernet 0/3 R5(config-if-GigabitEthernet 0/3)#label-switching R5(config-if-GigabitEthernet 0/3)#exit R5(config)#

4. 在网络设备全局配置模式下创建 R1 设备到 R5 设备关于目的 10.0.5.5/32 的静态 LSP。

R1(config)#mpls static ftn 10.0.5.5/32 out-label 102 nexthop gigabitEthernet 0/0 10.0.12.2

R2(config)#mpls static ilm in-label 102 forward-action swap-label 203 nexthop gigabitEthernet 0/1 10.0.23.3 fec 10.0.5.5/32

R3(config)#mpls static ilm in-label 203 forward-action swap-label 304 nexthop gigabitEthernet 0/2 10.0.34.4 fec 10.0.5.5/32

R4(config)#mpls static ilm in-label 304 forward-action swap-label 3 nexthop gigabitEthernet 0/3 10.0.45.5 fec 10.0.5.5/32

5. 在网络设备全局模式下创建 R5 设备到 R1 设备关于目的 10.0.1.1/32 的静态 LSP。

R5(config)#mpls static ftn 10.0.1.1/32 out-label 504 nexthop gigabitEthernet 0/3 10.0.45.4

R4(config)#mpls static ilm in-label 504 forward-action swap-label 403 nexthop gigabitEthernet 0/2 10.0.34.3 fec 10.0.1.1/32

R3(config)#mpls static ilm in-label 403 forward-action swap-label 302 nexthop gigabitEthernet 0/1 10.0.23.2 fec 10.0.1.1/32

R2(config)#mpls static ilm in-label 302 forward-action swap-label 3 nexthop gigabitEthernet 0/0 10.0.12.1 fec 10.0.1.1/32

▶ 任务验证

1. 检查 OSPF 协议配置情况。

```
R2#show ip ospf neighbor
OSPF process 1, 2 Neighbors, 2 is Full:
Neighbor ID
               Pri
                      State
                               BFD State Dead Time
                                                         Address
                                                                          Interface
1.1.1.1
               1
                    Full/DR
                                          00:00:35
                                                       10.0.12.1
                                                                     GigabitEthernet 0/0
                                  -
3.3.3.3
                    Full/DR
                                          00:00:33
               1
                                                       10.0.23.3
                                                                     GigabitEthernet 0/1
                                  _
R2#
R3#show ip ospf
                   neighbor
OSPF process 1, 2 Neighbors, 2 is Full:
                                                          Address
                                                                        Interface
Neighbor ID
              Pri
                    State
                                 BFD State Dead Time
2.2.2.2
                    Full/BDR
                                            00:00:39
                                                         10.0.23.2
                                                                      GigabitEthernet 0/1
               1
4.4.4.4
               1
                    Full/DR
                                           00:00:36
                                                         10.0.34.4
                                                                        GigabitEthernet 0/2
R3#
```

2. 检查各设备之间的互通情况。

```
R1#show ip route ospf
       10.0.2.2/32 [110/1] via 10.0.12.2, 01:39:57, GigabitEthernet 0/0
0
0
       10.0.3.3/32 [110/2] via 10.0.12.2, 01:14:55, GigabitEthernet 0/0
0
       10.0.4.4/32 [110/3] via 10.0.12.2, 01:14:55, GigabitEthernet 0/0
0
       10.0.5.5/32 [110/4] via 10.0.12.2, 00:35:28, GigabitEthernet 0/0
0
       10.0.23.0/24 [110/2] via 10.0.12.2, 01:15:02, GigabitEthernet 0/0
0
       10.0.34.0/24 [110/3] via 10.0.12.2, 01:14:55, GigabitEthernet 0/0
0
       10.0.45.0/24 [110/4] via 10.0.12.2, 01:14:55, GigabitEthernet 0/0
R1#
R1#ping 10.0.3.3
Sending 5, 100-byte ICMP Echoes to 10.0.3.3, timeout is 2 seconds:
  < press Ctrl+C to break >
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/2/4 ms.
R1#
R1#ping 10.0.4.4
Sending 5, 100-byte ICMP Echoes to 10.0.4.4, timeout is 2 seconds:
  < press Ctrl+C to break >
11111
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 2/2/4 ms.
R1#ping 10.0.5.5
Sending 5, 100-byte ICMP Echoes to 10.0.5.5, timeout is 2 seconds:
  < press Ctrl+C to break >
11111
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 3/4/5 ms.
R1#
3. 检查 MPLS 协议配置情况。
```

R2#show mpls forwarding-table

```
Label Operation Code:
PH--PUSH label
PP--POP label
SW--SWAP label
SP--SWAP topmost label and push new label
DP--DROP packet
PC--POP label and continue lookup by IP or Label
```

PI--POP label and do ip lookup forward PN--POP label and forward to nexthop PM--POP label and do MAC lookup forward PV--POP label and output to VC attach interface **IP--IP** lookup forward s--stale Local Outgoing OP FEC Outgoing Nexthop label interface label 102 203 SW 10.0.5.5/32 Gi0/1 10.0.23.3 302 imp-null PP 10.0.1.1/32 Gi0/0 10.0.12.1 R3#show mpls forwarding-table Label Operation Code: PH--PUSH label PP--POP label SW--SWAP label SP--SWAP topmost label and push new label **DP--DROP** packet PC--POP label and continue lookup by IP or Label PI--POP label and do ip lookup forward PN--POP label and forward to nexthop PM--POP label and do MAC lookup forward PV--POP label and output to VC attach interface **IP--IP** lookup forward s--stale Local **Outgoing OP FEC** Nexthop Outgoing label interface label 203 304 SW 10.0.5.5/32 Gi0/2 10.0.34.4 403 302 SW 10.0.1.1/32 Gi0/1 10.0.23.2 R3# R2#show mpls forwarding-table detail Label Operation Code: PH--PUSH label PP--POP label SW--SWAP label SP--SWAP topmost label and push new label **DP--DROP** packet PC--POP label and continue lookup by IP or Label PI--POP label and do ip lookup forward PN--POP label and forward to nexthop PM--POP label and do MAC lookup forward PV--POP label and output to VC attach interface **IP--IP** lookup forward s--stale Local **Outgoing OP FEC** Outgoing Nexthop label interface label 102 203 SW 10.0.5.5/32 Gi0/1 10.0.23.3 Added by Route(vrf Global), Tag Stack: { 203 } 302 imp-null PP 10.0.1.1/32 Gi0/0 10.0.12.1 Added by Route(vrf Global), Tag Stack: { }

R2#

4. 测试 R1 设备和 R5 设备之间的 loopback 0 接口互通情况。

```
R5#ping 10.0.1.1 source 10.0.5.5

Sending 5, 100-byte ICMP Echoes to 10.0.1.1, timeout is 2 seconds:

<
```

5. 使用 Wireshark 抓包工具分析数据流量, 对应的 FEC 在 MPLS 域内压入标签转发, 中间节点负责将标签替换。



> 问题与思考

- 1. 在静态 MPLS LSP 配置上使用标签 3 有什么作用?
- 2. FEC 的分类都有哪些? 目前常用的 FEC 分类是哪一种?

3.1.2 动态 MPLS LDP 协议

▶ 原理

标签分发协议 LDP(Label Distribution Protocol)是多协议标签交换 MPLS 的一种控制协议,相当于传统网络中的信令协议,负责转发等价类 FEC(Forwarding Equivalence Class)的分类、标签的分配以及标签交换路径 LSP(Label Switched Path)的建立和维护等。LDP 规定