

# MPLS 和 MPLS VPN

## 1、MPLS 多协议标签交换

( 1 ) IP 与 MPLS 的对比

### IP 转发原理：

利用路由协议(静态\RIP\OSPF 等)生成路由表，根据目的 IP 地址进行转发，在

IP 报文转发的过程中，目的 IP 地址保持不变。其中用到两个表：

RIB ( 路由表 )：路由信息库，通过各种路由协议获取路由信息。

FIB ( CEF 表 )：转发信息库，根据 RIB 生成，用于指导 IP 报文的转发。

路由器收到数据包，查看数据包的目的 IP 地址 ( IP 头部 )，查找 CEF 表，根据 CEF 表转发数据。

### MPLS 转发原理：

在二层报头与三层报头之间插入 MPLS 报头，可以插入多个 MPLS 头部。

路由器收到数据包，查看数据包的标签 ( MPLS 头部 )，查找标签转发表，根据标签转发表转发数据。通过 LDP 协议来生成标签转发表。

IP 包头长度 20 字节，MPLS 包头长度是 4 字节，基于 MPLS 转发的效率高于基于 IP 转发。

IP 网络是逐跳转发数据，收到数据包，查找路由表发给下一跳就可以，而不关心下一跳路由器到底把数据包给谁。MPLS 网络中，预先分配标签，生成 LSP。

IP 的逐跳转发，在经过的每一跳处，必须进行路由表的最长匹配查找 ( 可能多次 )，速度缓慢。MPLS 的标签转发，通过事先分配好的标签，为报文建立了

一条标签转发通道（LSP），在通道经过的每一台设备处，只需要进行快速的标签交换即可（一次查找）。

## （2）MPLS 术语

- 标签：类似于目的 IP 地址的作用，路由器基于标签来转发数据。是一个比较短的，定长的，通常只具有局部意义的标识，这些标签通常位于数据链路层的数据链路层封装头和三层数据包之间，标签通过绑定过程同 FEC 相映射。
- LIB：标签信息库，通过标签协议获取标签值。
- LFIB：标签转发信息库，根据 LIB 生成，用于指导 MPLS 报文的转发。
- FEC：Forwarding Equivalence Class，转发等价类，是在转发过程中以等价的方式处理的一组数据分组，一个路由条目就是一个 FEC。MPLS 路由器为每个 FEC（路由条目）生成一个标签。可以通过地址、隧道、COS 等来标识创建 FEC，目前看到的 MPLS 中只是一条路由对应一个 FEC。通常在一台设备上，对一个 FEC 分配相同的标签。
- LSP：标签交换通道。数据流所走的路径，与 MPLS VPN 有关系。一个 FEC 的数据流，在不同的节点被赋予确定的标签，数据转发按照这些标签进行。
- LSR：Label Switching Router，LSR 是 MPLS 的网络的核心交换机，它提供标签交换和标签分发功能。

- LER : Label Switching Edge Router , 在 MPLS 的网络边缘 , 进入到 MPLS 网络的流量由 LER 分为不同的 FEC , 并为这些 FEC 请求相应的标签。它提供流量分类和标签的映射、标签的移除功能。

LDP 邻居是不会把从邻居学到的标签继续发给邻居 , 本地有效 , 传递给邻居的是自己生成的标签。

### ( 3 ) MPLS 转发工作原理

- in 本地标签 : 标签分配协议(LDP)为本地的每一个 FEC 分配一个唯一的标签值。
- out 远程标签 : 通过 LDP 获取邻居为该 FEC 分配的标签 , 选择最优的放入 FIB。

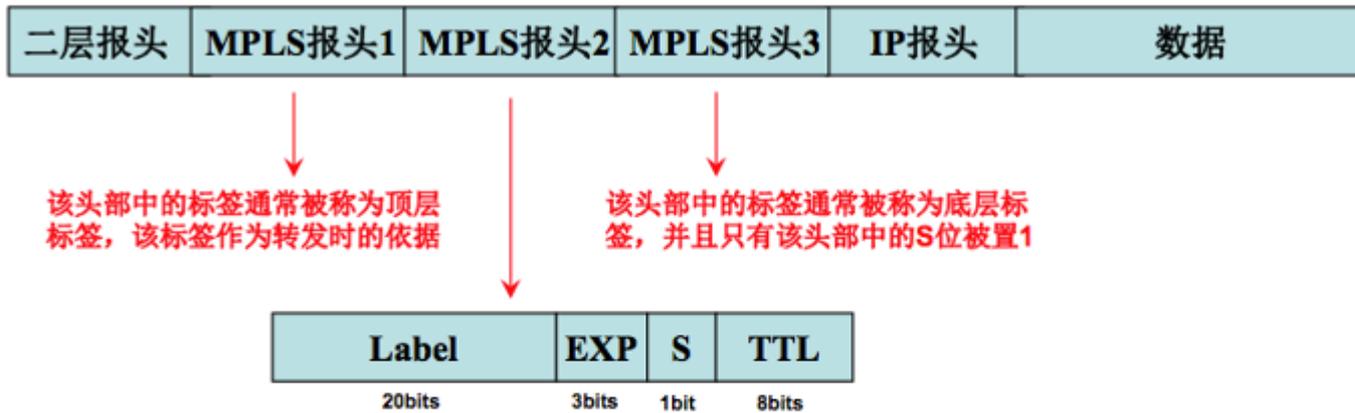
MPLS 转发的四个动作 :

1. 数据包由 IP 域进入到 MPLS 域 , LER 根据标签转发表压入标签 ( **PUSH** ) 。
2. 在 MPLS 域转发数据包时 , LSR 根据标签转发表替换标签 ( **SWAP** ) 。
3. 当数据包离开 MPLS 域时 , LER 是弹出标签 ( **POP** ) 。 PHP : 倒数第二跳弹出。
4. 在最后一跳将所有标签移除 ( **Untag** ) 。

LSR 如何判断所收到的报文是 MPLS 标签报文?

根据二层协议字段进行判断承载的是否是 MPLS 报文 : 以太网 : 0x8847 ( 单播 ) 和 0x8848 ( 组播 ) ; PPP : 0x8281 MPLSCP , 一种新的 NCP 协议。

### ( 4 ) MPLS 包头结构



### MPLS报头长度32bit

20Bit用作标签 ( Label )

3个Bit的EXP, 协议中没有明确，通常用作COS

1个Bit的S,用于标识是否是栈底，表明MPLS的标签可以嵌套。

8个Bit的TTL

[https://blog.csdn.net/gongxifacai\\_believe](https://blog.csdn.net/gongxifacai_believe)

### ( 5 ) FEC 的优缺点

#### 1. FEC 的精妙之处：

不同目的地址（属于相同的网段）的 IP 报文，在 ingress 处被划分为相同的 FEC，具有相同的标签，这样在 LSR 处，只需根据标签做快速的交换即可。而对于传统的 IP 路由，在每一跳处实际上都是一次重新划分 FEC 的过程。如果一台路由器对于 ip 路由和标签交换同样使用了 cache 功能，由于对于路由来说，在 cache 中只能记录主机路由，条目将十分有限，而标签对应的是 FEC，可能是网段，可以做到很少的条目匹配大量的报文。

#### 2. FEC 的致命缺陷：

对于一条 FEC 来说，沿途所有的设备都必须具有相同的路由（前缀和掩码必须完全相同）才可以建成一条 LSP。换句话说，使用 MPLS 转发的

所有沿途设备上，对于要使用标签转发的路由，都不能做路由聚合的操作。

## 2、LDP ( Label Distribution Protocol ) : 标签分发协议

( 1 ) LDP 建立邻居分为两个阶段 :

- 发现邻居阶段 ( 基于 UDP )
- 会话建立阶段 ( 基于 TCP )

LDP 的协议报文除 Hello 报文基于 UDP 外，其它报文都是在 TCP 之上，端口号为 646。

LDP 协议邻居关系的建立过程 :

### 1. 发现邻居阶段 : 使用 UDP 报文。

验证是否收到对方的 LDP Hello : `R1#show mpls ldp discovery`

发现邻居阶段的目标 : 确认 TCP 阶段主动发起方，传输地址大的一方作为主动发起方，使用传输地址来进行 TCP 会话连接，默认情况下，

Transport Address 为 LSR 的 Router-id。必须保证两个 Transport

Address(即 LSR 的 Router-ID)之间是路由可达的，否则可考虑使用接口

下的 `mpls ldp discovery transport-address interface`，将 Transport

Address 配置为直连接口的 IP 地址。可以在接口模式下使用下列命令来

修改 Transport address。

```
(config-if)#mpls ldp discovery transport-address interface
```

```
(config-if)#mpls ldp discovery transport-address x.x.x.x
```

2. 会话建立阶段：使用 TCP 报文。

查看 TCP 会话建立情况：`R1#show mpls ldp neighbor`

### (2) LDP 协议基本配置命令

配置：

```
ip cef
mpls label protocol ldp
- mpls ldp router-id interface [force]
mpls label range xxx (可选)

mpls ip (接口下)
```

OSPF 支持自动配置：`mpls ldp autoconfig` (OSPF 进程下)

LDP 部署建议：首先部署 IGP 协议，必须保证 LDP 的 Router ID 路由可达。

### (3) LDP 协议标签映射信息

标签映射消息的格式：一个 LDP 报文中会承载多个标签映射消息，每个标签映射消息包含两要素：FEC TLV 和 Label TLV。

LDP 协议与 IGP 路由协议的关系：LDP 必须与 IGP 路由协议配合，在帧模式 (Frame Mode) 下，为每一条路由分配一个标签，为本地的直连路由分配 POP 标签。

PHP (Penultimate Hop Popping)，倒数第二跳弹出。

如果没有倒数第二跳弹出，在最后一跳上首先会查找 MPLS 转发表，然后再查找 IP 路由表，两次查找造成效率低下。

	标签分配方式
倒数第一跳	分配特定的标签 3
倒数第二跳	随机分配

#### ( 4 ) LDP 协议的标签行为

- 分配模式 : Label Allocation ( 如何分配标签 )
  - 分发模式 : Label Distribution ( 如何传递标签 )
  - 保留模式 : Label Retention ( 如何保存标签 )
  - 标签空间 : Label Space ( 标签有效范围 )
- 分配模式 Label Allocation : 本地为一条路由前缀绑定一个标签的前提条件。

独立控制模式 Independent Control : 只要本地通过 IGP 学习到路由前缀,就会为这条路由前缀分配标签(本地也会为直连路由分配 POP 标签)。

有序控制模式 Ordered Control : 本地通过 IGP 学习到路由前缀,但必须该路由前缀的下一跳路由器将该前缀所对应的标签映射消息通告给本地,本地才会为该前缀分配标签。

- 分发模式 Label Distribution : 本地将一个标签映射消息通告给邻居的前提条件。

下游主动模式 Downstream Unsolicited : 本地会主动将所生成的标签映射消息通告给所有 LDP 邻居。

下游按需模式 Downstream On Demand : 只有邻居向本地请求某条前缀的标签映射消息时,本地才会通告标签映射消息给邻居。

- 保留模式 Label Retention : 本地是否会在数据库中保留从邻居接收到的所有标签映射消息。

自由模式 Liberal Retention : 本地将从邻居接收的所有标签映射消息都保存在数据库中。

保守模式 Conservative Retention : 本地仅保存最优路由下一跳邻居所通告的该路由前缀的标签映射消息。

- 标签空间 Label Space : 本地所通告出去的标签是对局部(接口)有意义还是对全局有意义。

基于平台 Per-Platform : 本地通告出去的标签映射消息对全局有意义,从不同的接口通告出去的同一 FEC 所对应的标签相同。

基于接口 Per-Interface : 本地通告出去的标签映射消息对局部有意义,从不同的接口通告出去的同一 FEC 所对应的标签不同。

帧模式(Frame Mode) :

- 分配模式(Label Allocation):独立控制模式(Independent Control)
- 分发模式(Label Distribution):下游主动模式(Downstream Unsolicited)
- 保留模式(Label Retention):自由模式(Liberal Retention)
- 标签空间(Label Space):基于平台(Per-Platform)

## ( 5 ) 路由环路的预防与检测

### 1. 路由环路的预防 :

任何涉及到转发或者是路由的算法 , 都容易发生 “路由环路” 。

既然 LSP 的建立是依赖 IP 路由的 , 那么环路的预防也应该交给 IP 来做。

自己无需处理了。

## 2. 路由环路的检测：

每经过一次 MPLS 转发，TTL 减一。

```
R1(config)#mpls ip propagate-ttl
```

TTL copy 功能默认是打开的，no 掉  
关闭

```
R1(config)#no mpls ip propagate-ttl [forwarded | local]
```

forwarded：对进入的流量关闭标签 copy 功能，local 为本地产生的流量关闭标签 copy 功能。关闭 TTL copy 功能，此时，IP 域进入 MPLS 域，TTL 值为 255。

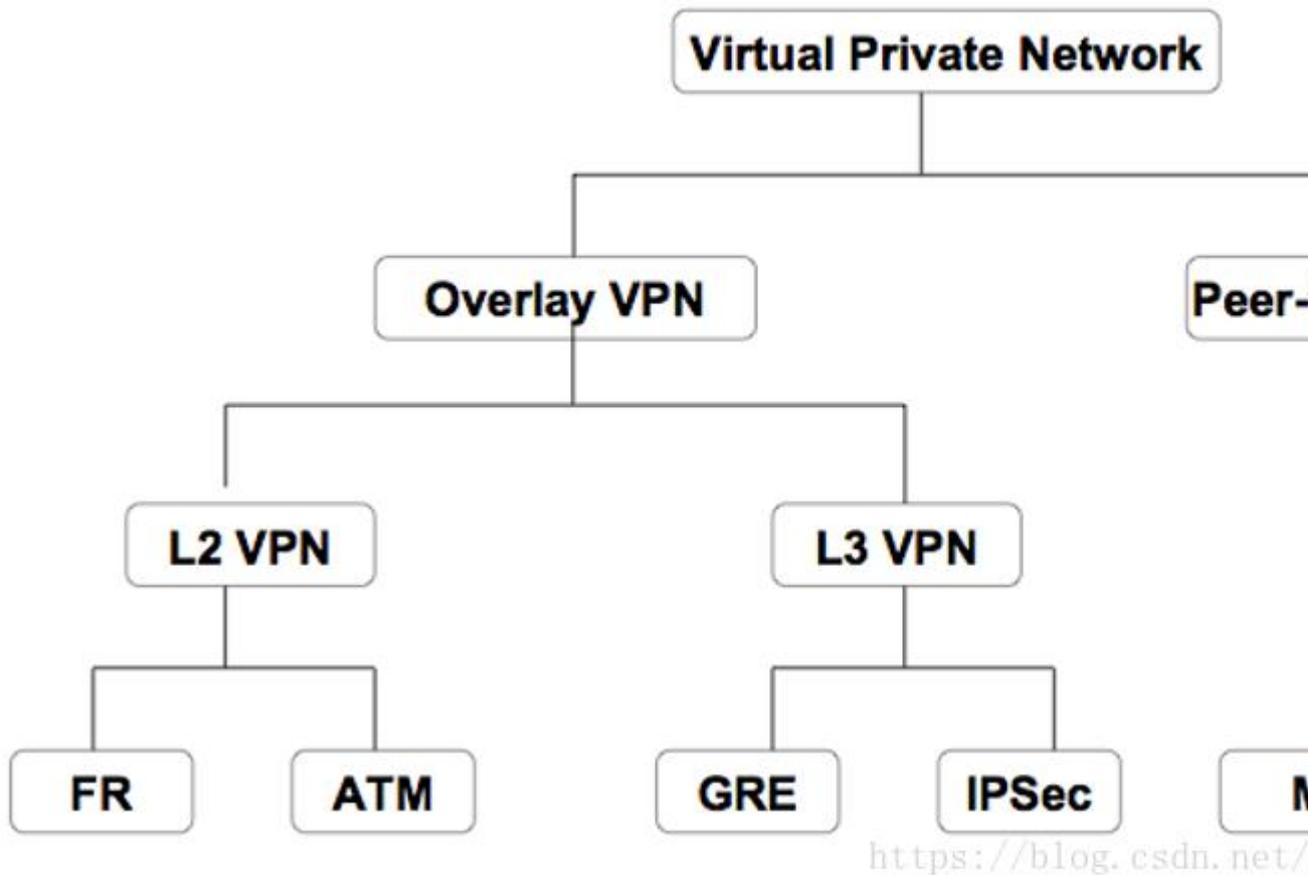
## (6) LDP 邻居认证

```
R2(config)#mpls ldp neighbor 1.1.1.1 password cisco
```

```
clear mpls ldp neighbor * | x.x.x.x
```

## 3、VPN 概述

( 1 ) 按照路由信息交换方式进行分类



( 2 ) VPN 中的角色

- CE ( Custom Edge ) : 直接与服务提供商相连的用户设备。
- PE ( Provider Edge Router ) : 指骨干网上的边缘路由器 , 与 CE 相连 , 主要负责 VPN 业务的接入。
- P ( Provider Router ) : 指骨干网上的核心路由器 , 主要完成路由和快速转发功能。

由于网络规模不同，网络中可能不存在 P 路由器。PE 路由器也可能同时是 P 路由器。

### (3) VPN 的分类

- Overlay VPN

服务提供商只提供逻辑的专用通道,用户边缘路由器直接交换用户路由信息。

L2 VPN：通过 FR(Frame Relay)和 ATM 等二层广域网技术实现。

L3 VPN：通过三层隧道技术 GRE、IPsec 实现。

Overlay VPN 的本质是一种静态 VPN，这好比是静态路由，所以他具有类似静态路由的全部缺陷：所有的配置与部署都需要手工完成，如果某个客户的 VPN 中新增了一个结点，则需要完成如下工作，在这个新增结点上建立与所有已存在的 N 个结点的隧道及相关的路由。对于已存在的 N 个结点，需要在每个结点上建立一个与新增结点之间的隧道及相关的路由。由于是静态 VPN，则无法反应网络的实时变化。而且，如果隧道建立在 CE 上，则必须由用户维护，如果建立在 PE 上，则又无法解决地址冲突问题。

- Overlay VPN - 隧道建立在 CE 上

特点：

在 CE 与 CE 之间建立隧道，并直接传递路由信息，路由协议数据总是在客户设备之间交换，服务商对客户网络结构一无所知。典型代表是 GRE、IPSec。

优点：

不同的客户地址空间可以重叠，保密性、安全性非常好。

缺点：

需要客户自己创建并维护 VPN。通常客户不愿意，也没有这个能力。

- Overlay VPN - 隧道建立在 PE 上

特点：

在 PE 上为每一个 VPN 用户建立相应的 GRE 隧道，路由信息在 PE 与 PE 之间传递，公网中的 P 设备不知道私网的路由信息。

优点：

客户把 VPN 的创建及维护完全交给服务商，保密性、安全性比较好。

缺点：

不同的 VPN 用户不能共享相同的地址空间，即使可以共享，则 PE 与 CE 之间的地址、tunnel 之间的地址一定不能相同，并且必须使用大量的 ACL 和策略路由。在实际中不具备可行性。

- Peer-to-Peer VPN

如同静态路由一样，所有具有“静态”性质的东西都不太适合大规模的应用和部署，难以担当重任。所以，首先要解决的问题就是将 VPN 的部署及路由发布变为动态性。

Peer-to-Peer VPN 的产生就是源于这种思想。

这里的 Peer-to-Peer 是指 CE-to-PE，也就是要在 CE 与 PE 之间交换私网路由信息，然后由 PE 将这些私网路由在 P - Network 中传播（P - Network 上肯定是运行了一种动态路由协议），这样这些私网路由会自动的传播到其他的 PE 上。这种 VPN 由于私网路由会泄露到公网上，所以必

须严格的通过路由来控制，即：要确保同一个 VPN 的 CE 路由器上只能有本 VPN 的路由。所以，通常 CE 与 PE 之间运行的路由协议，与 P-Network 上运行的路由协议是不同的，即使相同，也要有很好的路由过滤和选择的机制。

- Peer-to-Peer VPN——共享 PE 方式

所有 VPN 用户的 CE 都连到同一台 PE 上，PE 与不同的 CE 之间运行不同的路由协议（或者是相同路由协议的不同进程，比如 OSPF）。

由路由始发 PE 将这些路由发布到公网上，在接收端的 PE 上将这些路由过滤后再发给相应的 CE 设备。

缺点：为了防止连接在同一台 PE 上的不同 CE 之间互通，必须在 PE 上配置大量的 ACL。

- Peer-to-Peer VPN——专用 PE 方式

为每一个 VPN 单独准备一台 PE 路由器，PE 和 CE 之间可以运行任意的路由协议，与其他 VPN 无关。PE 与 P 之间运行 BGP，并使用路由属性进行过滤。

优点：无需配置任何的 ACL 了。

缺点：每一个 VPN 用户都有新增一台专用的 PE，代价过于昂贵了。

Peer-to-Peer VPN 存在的问题：

<1>地址冲突

<2>提供一种动态建立的隧道技术，MPLS 中的 LSP 正是一种天然的隧道，而且这种隧道的建立是基于 LDP 协议，又恰恰是一种动态的标签生成协议。

<3>动态建立隧道承载的协议：RIP、IS-IS、OSPF、EIGRP、BGP。

于是我们可以使用 BGP：

网络中 VPN 路由数目可能非常大，BGP 是唯一支持大量路由的路由协议。BGP 是基于 TCP 来建立连接，可以在不直接相连的路由器间交换信息，这使得 P 路由器中无须包含 VPN 路由信息。BGP 可以运载附加在路由后的任何信息，作为可选的 BGP 属性，任何不了解这些属性的 BGP 路由器都将透明的转发它们，这使在 PE 路由器间传播路由非常简单。

## 4、MPLS VPN

### (1) MPLS VPN 概述

L3 MPLS/VPN 模型特点：

- 隧道承建:客户设备透明\运营商设备维护
- 路由维护:客户设备维护\运营商设备维护
- VPN 数据封装:MPLS 标签报头

L3 MPLS/VPN 模型的优势与劣势：

1. 优势:由运营商维护客户路由,降低管理成本
2. 劣势:路由信息被运营商获取、数据缺乏加密

L3 MPLS/VPN 模型需要解决的问题：

1. 如何做到同一台 PE 设备的不同客户 CE 设备之间的隔离? VRF
2. 如何在 PE 设备与 CE 设备之间维护路由信息? RT 值
3. 如何在公网上传递客户私有路由? MP-BGP 传递 VPNV4 路由实现

4. 如何容许重叠的客户私有路由? RD 值
5. 如何在公网上转发客户数据? 标签传递

## **( 2 ) L3 MPLS VPN 功能组件**

1. PE 设备 VRF
2. PE-CE 间路由协议及 PE 设备路由重发布
3. 骨干网络 P 与 PE 间 IGP
4. 骨干网络 P 与 PE 间 LDP
5. PE 设备之间 MP-BGP

## **( 3 ) VRF(Virtual Routing and Forwarding)**

每个 VRF 可以理解为一台虚拟逻辑路由器，每台支持 VRF 的路由器可以创建多个 VRF，默认情况下，VRF 之间、VRF 与主路由器之间是物理隔离，一台 PE 路由器分配多个 VRF 来连接不同的客户设备，实现同一 PE 下的不同客户网络信息的隔离需求。

PE-CE 间常见路由协议：静态、RIP、EIGRP、ISIS、OSPF、BGP 等。

MP-BGP：将 CE 的路由引入到 PE 上的全局 BGP 的 VPNv4 地址簇中。

## **( 4 ) RD ( route distinguisher ) 路由标识**

RD 的作用

:

1. CE 的 IPv4 路由进入全局的 VPNv4 地址簇时,在 32 位的 IPv4 路由前面增加一个 8 个字节的 RD，变成 VPNv4 路由前缀。

2. 即使客户 CE 的路由是重叠的，但是可以通过添加唯一的 RD，形成独一无二的 VPNv4 路由前缀，以解决重叠客户路由的通告问题。

VPNv4 地址结构：

RD (8 个字节)

RD 的格式：

- 16 位自治系统号 ASN : 32 位用户自定义数，例如:100:1
- 32 位 IP 地址 : 16 位用户自定义数,例如:172.1.1.1:1

TYPE (2 字节) 0x0002	2 字节 AS 号
TYPE (2 字节) 0x0102	4 字节 IP 地址

配置 RD：

在 VRF 下可以配置 RD，同一台 PE 上的 RD 值必须唯一，从该 VRF 上学习到的所有 IPv4 路由前缀，都会在 IPv4 路由前缀前插入该 VRF 所配置的 RD 值，从而变成 VPNv4 路由前缀。

```
Router (config)#ip vrf A
```

```
Router(config-vrf)#rd ?
```

```
ASN:nn or IP-address:nn VPN Route Distinguisher
```

```
Router(config-vrf)#rd 1:1
```

### ( 5 ) RT : Route Target

RT 的作用：将 PE 上接收到的 VPNv4 前缀通告给正确的 CE 设备。

RT 的格式：

RT(Route Target) 是 BGP 的扩展 community 属性，扩展的 community 有如下两种格式:其中 type 字段为 0x0002 或者 0x0102 时表示 RT。

TYPE(2 字节) 0x0002	2 字节 AS 号
TYPE(2 字节) 0x0102	4 字节 IP 地址

RT 的分类：

- Export RT  
在 VPNv4 路由前缀通告时作为扩展团体属性携带
- Import RT  
本地 VRF 用于接收具有特定 RT 值的 VPNv4 路由前缀

RT 的配置：在 VRF 下进行 Export RT 和 Import RT

```
Router(config)#ip vrf A
Router(config-vrf)#route-target export ?
ASN:nn or IP-address:nn Target VPN Extended Community
Router(config-vrf)#route-target export 1:1
Router(config-vrf)#route-target import 1:1
```

## ( 6 ) MPLS VPN 数据的转发

顶层公网标签

：由 LDP 分配，指示 LSR 如何将标签报文从始发的源 PE 通过 LSP 标签交换到达目的 PE。

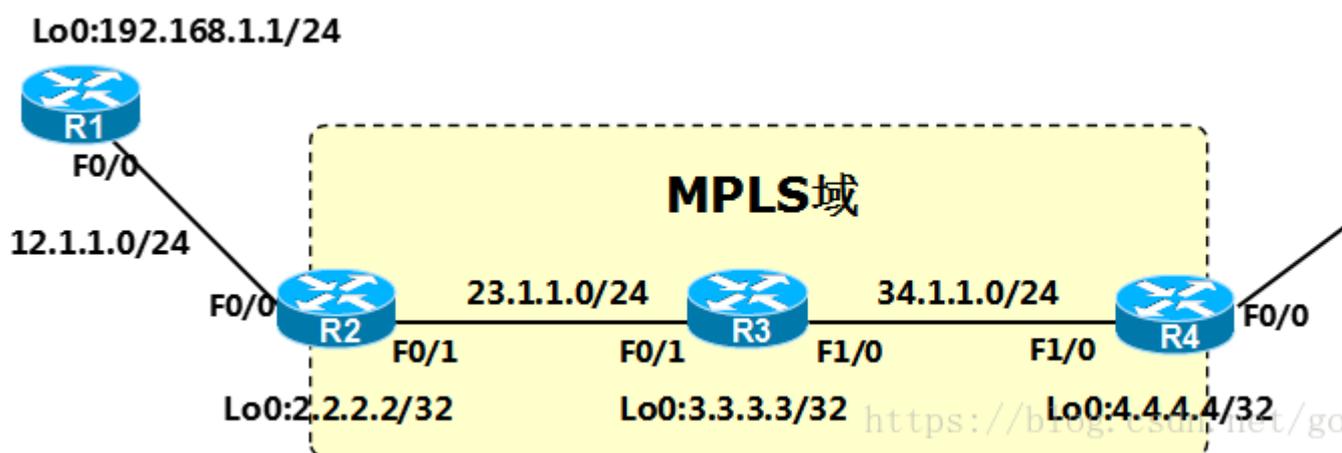
内层私网标签(VPN 标签)：由 MP-BGP 分配,在将每一条客户路由变为 VPNv4 路由前缀时会自动为每一条 VPNv4 前缀关联一个标签。内层私网标签用于指示目的 PE 将该标签报文转发给特定 VRF(通告该报文目的 IP 对应的路由条目)的特定接口,以及对应的标签动作。

## 5、MPLS VPN 配置

PE-CE 间路由协议：常见路由协议-静态、RIP、EIGRP、ISIS、OSPF、BGP 等。

配置步骤：

1. 配置 LDP 协议
2. 配置 VRF
3. 配置 PE 到 CE 的路由协议
4. 配置 MP-BGP 协议
5. 配置重分布



### (1) PE-CE 间路由协议-静态路由

配置案例要求：

- R1 与 R5 的 Loopback 地址可以互访
- R1\R2、R4\R5 之间配置静态路由
- MPLS 域配置 IGP 协议

## 1、配置 LDP 协议

LDP 协议基本配置命令

```
ip cef
mpls ip
mpls label protocol ldp
mpls ldp router-id loopback 0
interface FastEthernet0/1
mpls ip
```

验证查看命令

```
show mpls interfaces
show mpls ldp neighbo
show mpls ldp bindings
show mpls forwarding-table
```

## 2、配置 VRF

在 PE 设备创建 VRF , 配置 RD RT 信息

R2 :

```
ip vrf SITE1
rd 1:1
route-target export 100:1
route-target import 200:1
interface FastEthernet0/0
ip vrf forwarding SITE1
```

R4 :

```
ip vrf SITE2
rd 1:1
route-target export 200:1
route-target import 100:1
interface FastEthernet0/0
ip vrf forwarding SITE2
```

### 3、配置 PE 到 CE 的路由协议

PE 设备：

```
R2: ip route vrf SITE1 192.168.1.0 255.255.255.0 12.1.1.1
```

```
R4: ip route vrf SITE2 192.168.5.0 255.255.255.0 45.1.1.5
```

```
R2#show ip route vrf SITE1
```

```
12.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
```

```
C 12.1.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0
```

```
S 192.168.1.0/24 [1/0] via 12.1.1.1
```

CE 设备：

```
R1: ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 12.1.1.2
```

```
R5: ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 45.1.1.4
```

### 4、配置 MP-BGP 协议

R2

```
router bgp 100
```

```
bgp router-id 2.2.2.2
```

```
no bgp default ipv4-unicast
```

```
neighbor 4.4.4.4 remote-as 100
```

```
neighbor 4.4.4.4 update-source Loopback0
```

```
address-family vpnv4
```

```
neighbor 4.4.4.4 activate
```

```
neighbor 4.4.4.4 send-community extended/--自动生成，无需配置--/
```

### 5、配置重分布

在 PE 设备上，将静态路由重分布到 BGP

```
router bgp 100
```

```
address-family ipv4 vrf SITE1
```

```
redistribute static
```

```
no synchronization
```

```
exit-address-family
```

## ( 2 ) PE-CE 间路由协议-OSPF

### 配置案例要求

- R1 与 R5 的 Loopback 地址可以互访
- R1\R2、R4\R5 之间配置 OSPF
- MPLS 域配置 IGP 协议

### 1、配置 LDP 协议

LDP 协议基本配置命令

```
ip cef
mpls ip
mpls label protocol ldp
mpls ldp router-id loopback 0
interface FastEthernet0/1
mpls ip
```

验证查看命令

```
show mpls interfaces
show mpls ldp neighbor
show mpls ldp bindings
show mpls forwarding-table
```

### 2、配置 VRF

在 PE 设备创建 VRF , 配置 RD RT 信息

R2 :

```
ip vrf SITE1
rd 1:1
route-target export 100:1
route-target import 200:1
interface FastEthernet0/0
```

```
ip vrf forwarding SITE1
```

R4 :

```
ip vrf SITE2
```

```
rd 1:1
```

```
route-target export 200:1
```

```
route-target import 100:1
```

```
interface FastEthernet0/0
```

```
ip vrf forwarding SITE2
```

### 3、配置 PE 到 CE 的路由协议

PE 设备 :

R2

```
router ospf 1 vrf SITE1
```

```
network 12.1.1.2 0.0.0.0 area 1
```

R4

```
router ospf 1 vrf SITE2
```

```
network 45.1.1.4 0.0.0.0 area 1
```

CE 设备 :

R1

```
router ospf 1
```

```
network 192.168.1.1 0.0.0.0 area 1
```

```
network 12.1.1.1 0.0.0.0 area 1
```

R5

```
router ospf 1
```

```
network 192.168.5.5 0.0.0.0 area 1
```

```
network 45.1.1.5 0.0.0.0 area 1
```

### 4、配置 MP-BGP 协议

R2

```
router bgp 100
  bgp router-id 2.2.2.2
  no bgp default ipv4-unicast
  neighbor 4.4.4.4 remote-as 100
  neighbor 4.4.4.4 update-source Loopback0
  address-family vpnv4
  neighbor 4.4.4.4 activate
  neighbor 4.4.4.4 send-community extended/--自动生成，无需配置--/
```

## 5、配置重分布

在 PE 设备上，将 OSPF 重分布到 BGP

R2/R4

```
router bgp 100
  address-family ipv4 vrf SITE1
  redistribute ospf 1 vrf SITE1 match internal external 1 external 2
```

在 PE 设备上，将 OSPF 重分布到 BGP

R2

```
router ospf 1 vrf SITE1
  redistribute bgp 100 subnets
  network 12.1.1.2 0.0.0.0 area 1
```

R4

```
router ospf 1 vrf SITE2
  redistribute bgp 100 subnets
  network 45.1.1.4 0.0.0.0 area 1
```

### ( 3 ) PE-CE 间路由协议-BGP

#### 配置案例要求

- R1 与 R5 的 Loopback 地址可以互访

- R1\R2、R4\R5 之间配置 BGP
- MPLS 域配置 IGP 协议

## 1、配置 LDP 协议

LDP 协议基本配置命令：

```
ip cef
mpls ip
mpls label protocol ldp
mpls ldp router-id loopback 0
interface FastEthernet0/1
mpls ip
```

验证查看命令

```
show mpls interfaces
show mpls ldp neighbor
show mpls ldp bindings
show mpls forwarding-table
```

## 2、配置 VRF

在 PE 设备创建 VRF，配置 RD RT 信息

R2：

```
ip vrf SITE1
rd 1:1
route-target export 100:1
route-target import 200:1
interface FastEthernet0/0
ip vrf forwarding SITE1
```

R4：

```
ip vrf SITE2
rd 1:1
route-target export 200:1
```

```
route-target import 100:1
interface FastEthernet0/0
ip vrf forwarding SITE2
```

### 3、配置 PE 到 CE 的路由协议

PE 设备：

R2

```
address-family ipv4 vrf SITE1
neighbor 12.1.1.1 remote-as 200
neighbor 12.1.1.1 activate
no synchronization
exit-address-family
```

R4

```
address-family ipv4 vrf SITE2
neighbor 45.1.1.5 remote-as 200
neighbor 45.1.1.5 activate
no synchronization
exit-address-family
```

CE 设备：

R1

```
router bgp 200
no synchronization
network 192.168.1.0
neighbor 12.1.1.2 remote-as 100
no auto-summary
```

R5

```
router bgp 200
no synchronization
network 192.168.5.0
neighbor 45.1.1.4 remote-as 100
```

```
no auto-summary
```

#### 4、配置 MP-BGP 协议

R2

```
router bgp 100
  bgp router-id 2.2.2.2
  no bgp default ipv4-unicast
  neighbor 4.4.4.4 remote-as 100
  neighbor 4.4.4.4 update-source Loopback0
  address-family vpnv4
  neighbor 4.4.4.4 activate
  neighbor 4.4.4.4 send-community extended/--自动生成，无需配置--/
```

如何解决 AS-Path 防止环路机制导致路由无法学习问题？

**1 ) As-override** : 把 AS-PATH 含有的和 CE AS 号相同的 AS 号，全部替换成自己的 AS 号（在 PE 设备配置）。

R2

```
router bgp 100
  address-family ipv4 vrf SITE1
  neighbor 12.1.1.1 as-override
```

R4

```
router bgp 100
  address-family ipv4 vrf SITE2
  neighbor 45.1.1.5 as-override
```

**2 ) Allowas-in** : 表示允许接收 BGP 条目中含有几次自己的 AS-PATH（在 CE 设备配置）。

R1

```
router bgp 200
  neighbor 12.1.1.2 allowas-in 1
```

R5

```
router bgp 200
```

```
neighbor 45.1.1.4 allowas-in 1
```

#### ( 4 ) PE-CE 间路由协议-RIP

#### 配置案例要求

- R1 与 R5 的 Loopback 地址可以互访
- R1\R2、R4\R5 之间配置 RIP
- MPLS 域配置 IGP 协议

#### 1、配置 LDP 协议

LDP 协议基本配置命令

```
ip cef
```

```
mpls ip
```

```
mpls label protocol ldp
```

```
mpls ldp router-id loopback 0
```

```
interface FastEthernet0/1
```

```
mpls ip
```

验证查看命令

```
show mpls interfaces
```

```
show mpls ldp neighbor
```

```
show mpls ldp bindings
```

```
show mpls forwarding-table
```

#### 2、配置 VRF

```
ip vrf SITE1
```

```
rd 1:1
```

```
route-target export 100:1
```

```
route-target import 200:1
```

```
interface FastEthernet0/0
ip vrf forwarding SITE1
ip vrf SITE2
rd 1:1
route-target export 200:1
route-target import 100:1
interface FastEthernet0/0
ip vrf forwarding SITE2
```

### 3、配置 PE 到 CE 的路由协议

PE 设备：

R2

```
router rip
address-family ipv4 vrf SITE1
redistribute bgp 100 metric 1
network 12.1.1.0
no auto-summary
version 2
```

R4

```
router rip
address-family ipv4 vrf SITE2
redistribute bgp 100 metric 1
network 45.1.1.0
no auto-summary
version 2
```

PE 设备：

R1

```
router rip
version 2
network 192.168.1.0
network 12.0.0.0
```

```
no auto-summary
```

R5

```
router rip
```

```
version 2
```

```
network 192.168.5.0
```

```
network 45.0.0.0
```

```
no auto-summary
```

#### 4、配置 MP-BGP 协议

R2

```
router bgp 100
```

```
bgp router-id 2.2.2.2
```

```
no bgp default ipv4-unicast
```

```
neighbor 4.4.4.4 remote-as 100
```

```
neighbor 4.4.4.4 update-source Loopback0
```

```
address-family vpv4
```

```
neighbor 4.4.4.4 activate
```

```
neighbor 4.4.4.4 send-community extended/--自动生成，无需配置--/
```

#### 5、配置重分布

在 PE 设备上，将 RIP 重分布到 BGP

```
router bgp 100
```

```
address-family ipv4 vrf SITE1
```

```
redistribute rip
```

在 PE 设备上，将 BGP 重分布到 RIP

R2/R4

```
router rip
```

```
address-family ipv4 vrf SITE1
```

```
redistribute bgp 100 metric 1
```

将 CE 路由引入 PE 的相关 VRF BGP 中

```
router bgp 100
address-family ipv4 vrf SITE1
redistribute rip
no synchronization
```

## ( 5 ) PE-CE 间路由协议-EIGRP

### 配置案例要求

- R1 与 R5 的 Loopback 地址可以互访
- R1\R2、R4\R5 之间配置 EIGRP
- MPLS 域配置 IGP 协议

### 1、配置 LDP 协议

LDP 协议基本配置命令：

```
ip cef
mpls ip
mpls label protocol ldp
mpls ldp router-id loopback 0
interface FastEthernet0/1
mpls ip
```

验证查看命令

```
show mpls interfaces
show mpls ldp neighbor
show mpls ldp bindings
show mpls forwarding-table
```

### 2、配置 VRF

```
ip vrf SITE1
rd 1:1
route-target export 100:1
route-target import 200:1
```

```
interface FastEthernet0/0
ip vrf forwarding SITE1
ip vrf SITE2
rd 1:1
route-target export 200:1
route-target import 100:1
interface FastEthernet0/0
ip vrf forwarding SITE2
```

### 3、配置 PE 到 CE 的路由协议

R2

```
router eigrp 100
no auto-summary
!
address-family ipv4 vrf SITE1
redistribute bgp 100 metric 10000 100 255 1 1500
network 12.1.1.0 0.0.0.255
no auto-summary
autonomous-system 12
exit-address-family
```

R4

```
router eigrp 100
no auto-summary
!
address-family ipv4 vrf SITE2
redistribute bgp 100 metric 10000 100 255 1 1500
network 45.1.1.0 0.0.0.255
no auto-summary
autonomous-system 45
exit-address-family
```

R1

```
router eigrp 12
network 192.168.1.0
```

```
network 12.1.1.0 0.0.0.255  
no auto-summary
```

R5

```
router eigrp 45  
network 192.168.5.0  
network 45.1.1.0 0.0.0.255  
no auto-summary
```

#### 4、配置 MP-BGP 协议

R2

```
router bgp 100  
bgp router-id 2.2.2.2  
no bgp default ipv4-unicast  
neighbor 4.4.4.4 remote-as 100  
neighbor 4.4.4.4 update-source Loopback0  
address-family vpnv4  
neighbor 4.4.4.4 activate  
neighbor 4.4.4.4 send-community extended /--自动生成，无需配置--/  
exit-address-family  
address-family ipv4 vrf SITE1 /--自动生成，无需配置--/  
no synchronization  
exit-address-family
```

#### 5、配置重分布

```
router bgp 100  
address-family ipv4 vrf SITE1  
redistribute eigrp 12
```

R2

```
router eigrp 100  
address-family ipv4 vrf SITE1  
redistribute bgp 100 metric 10000 100 255 1 1500
```

R4

```
router eigrp 100
address-family ipv4 vrf SITE2
redistribute bgp 100 metric 10000 100 255 1 1500
```

将 CE 路由引入 PE 的相关 VRF BGP 中

```
router bgp 100
address-family ipv4 vrf SITE1
redistribute eigrp 12
no synchronization
```

## (6) 验证

测试 R1 R5 之间的连通性

```
R1#ping 192.168.5.5 source 192.168.1.1
```

```
R1#traceroute 192.168.5.5 source 192.168.1.1
```

查看 MP-BGP 自动为每条 VPNv4 路由前缀所分配的私网标签

```
R2#show ip bgp vpnv4 all labels
```

数据转发过程的标签表项查看

```
R2#show mpls forwarding-table
```

```
R2#show ip cef vrf SITE1 192.168.5.5
```

```
R2#show ip bgp vpnv4 all labels
```