

MPLS 原理与配置

MPLS (Multi-Protocol Label Switching, 多协议标签交换)

MPLS 知识点：

基本概念 (LSP, FEC, LER, LSR, ingress ,transit, egress) ,
MPLS 体系结构 (控制平面 , 转发平面) , MPLS 标签 (长度 4 字节分 4 字段) , 标签空间 , LSP 建立的两种方式 (静态 LSP , LDP) , LDP 的 hello 时间 , 端口号 , LDP 4 类消息 , 标签的发布方式 , 分配控制方式 , 保持方式 , PHP 倒数第二跳弹出 , CE , PE ,P 基本概念 , 传统 VPN 模型 (Overlay VPN , Peer to peer VPN) , 地址空间重叠的 3 个问题 , MPLS VPN 的解决方法 , RT RD 的作用 , 标签嵌套

基本概念

LSP (Label Switched Path) : 标签交换路径 , 即到达同一目的地址的报文在 MPLS 网络中经过的路径。

FEC (Forwarding Equivalent Class) : 一般指具有相同转发处理方式的报文。在 MPLS 网络中 , 到达同一目的地址的所有报文就是一个 FEC。

LER (Label Edge Router) : 在 MPLS 网络中 , 用于标签的压入或弹出

LSR (Label Switched Router) : 在 MPLS 网络中 , 用于标签的交换

根据数据流的方向

LSP 的入口 LER 被称为入节点 (Ingress) ;

LSP 中间的 LSR 被称为中间节点 (Transit) ;

LSP 的出口 LER 被称为出节点 (Egress) 。

MPLS 报文由 Ingress 发往 Transit , 则 Ingress 是 Transit 的上

游节点，Transit 是 Ingress 的下游节点；同理，Transit 是 Egress 的上游节点，Egress 是 Transit 的下游节点。

MPLS 体系结构

控制平面：负责产生和维护路由信息以及标签信息。

路由信息表 RIB (Routing Information Base)：由 IP 路由协议 (IP Routing Protocol) 生成，用于选择路由。

标签分发协议 LDP (Label Distribution Protocol)：负责标签的分配、标签转发信息表的建立、标签交换路径的建立、拆除等工作。

标签信息表 LIB (Label Information Base)：由标签分发协议生成，用于管理标签信息。

转发平面：即数据平面 (Data Plane)，负责普通 IP 报文的转发以及带 MPLS 标签报文的转发。

转发信息表 FIB (Forwarding Information Base)：从 RIB 提取必要的路由信息生成，负责普通 IP 报文的转发。

标签转发信息表 LFIB (Label Forwarding Information Base)：简称标签转发表，由标签分发协议建立 LFIB，负责带 MPLS 标签报文的转发。

```
[R7]dis fib
```

Destination/Mask	Nexthop	Flag
8.8.8.8/32	192.168.17.1	
DGHU	t[5839]	GE0/0/1
0x0		
192.168.17.255/32	127.0.0.1	HU
t[124]	InLoop0	0x0

```
[R1]dis fib
```

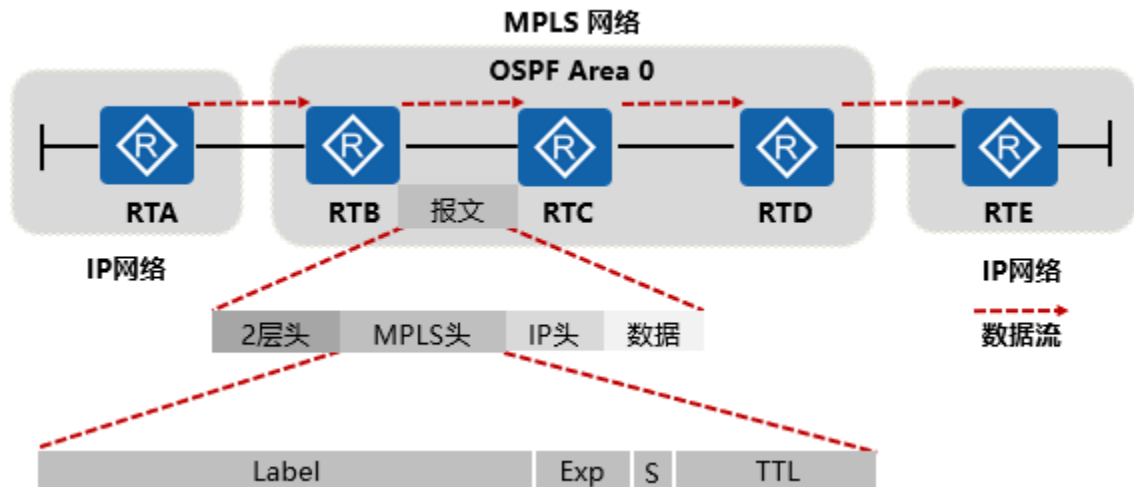
Route Flags: G - Gateway Route, H - Host
Route, U - Up Route
S - Static Route, D - Dynamic
Route, B - Black Hole Route

```
-----  
-----  
  
Destination/Mask      Nexthop      Flag  
TimeStamp      Interface      TunnelID  
3.3.3.3/32      192.168.12.2      DGHU  
t[162]          GE0/0/0          0x3  
2.2.2.2/32      192.168.12.2      DGHU  
t[152]          GE0/0/0          0x1
```

查找 FIB 表，Tunnel ID 为 0x0，是普通 IP 报文，Tunnel ID 是非 0x0，是标签报文

MPLS 标签

MPLS 标签的长度为 4 个字节，共分 4 个字段：



Label : 20bit，标签值域；

Exp : 3bit , 用于扩展。通常做 CoS (Class of Service) ,
设备发生阻塞 , 优先发送优先级高报文 ;
S : 1bit , 栈底标识。MPLS 支持多层标签 , 即标签嵌
套。S 值为 1 时表明为最底层标签 ;
TTL : 8bit 和 IP 报文中的 TTL (Time To Live) 意义相
同。

```
Frame 41: 106 bytes on wire (848 bits), 106 bytes captured (848 bits) on  
Ethernet II, Src: HuaweiTe_32:76:56 (54:89:98:32:76:56), Dst: HuaweiTe_1  
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 1025, Exp: 0, S: 0, TTL: 25  
0000 0000 0100 0000 0001 .... = MPLS Label: 1025  
.... .... 000. .... = MPLS Experimental Bits: 0  
.... .... 0 .... = MPLS Bottom Of Label Stack:  
.... .... 1111 1111 = MPLS TTL: 255  
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 1029, Exp: 0, S: 1, TTL: 25  
Internet Protocol Version 4, Src: 9.9.9.9, Dst: 10.10.10.10
```

标签空间

标签空间是指标签的取值范围。标签空间划分如下 :

0 ~ 15 : 特殊标签。如标签 3 , 称为隐式空标签 , 用
于倒数第二跳弹出 ;
16 ~ 1023 : 静态 LSP 和静态 CR-LSP 共享的标签空间 ;
1024 及以上 : LDP、RSVP-TE、MP-BGP 等动态信令协议的
标签空间。

建立 LSP 的方式有两种 :

静态 LSP : 用户通过手工方式为各个转发等价类分配标签建
立转发隧道 ;

动态 LSP : 通过标签发布协议动态建立转发隧道。

静态 LSP

配置 MPLS 协议 , 首先需要配置 LSR ID , 全局开启 MPLS ,

在转发 MPLS 的接口上开启 MPLS 功能

```
static-lsp ingress R3toR1 destination 1.1.1.1 32
```

```
nexthop 192.168.23.2 out-label 302
```

```
static-lsp transit R3toR1 incoming-interface g0/0/1 in-label 302 nexthop 192.168.12.1 out-label 201
```

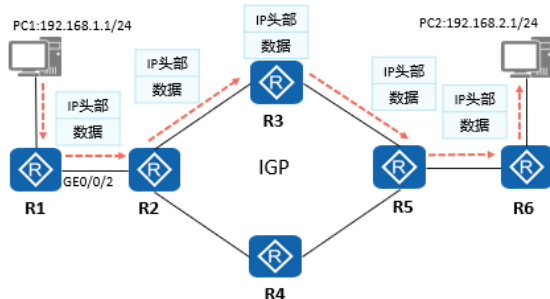
```
static-lsp egress R3toR1 incoming-interface g0/0/0 in-label 201
```

- 90 年代中期，互联网流量的快速增长。传统 IP 报文依赖路由器查询路由表转发，但由于硬件技术存在限制导致转发性能低，路由器的查表转发成为了网络数据转发的瓶颈。
- 因此，旨在提高路由器转发速度的 MPLS (Multi-Protocol Label Switching，多协议标签交换) 被提出。与传统 IP 路由方式相比，MPLS 在数据转发时，只在网络边缘分析 IP 报文头，在网络内部采用更为高效的标签 (Label) 转发，节约了处理时间。
- 随着设备硬件性能不断提升，MPLS 在提高数据转发速度上的优势逐渐弱化，但其支持多层标签嵌套和设备内转控分离的特点，使其在 VPN (Virtual Private Network，虚拟私有网络)、QoS (Quality of Service，服务质量) 等新兴应用中得到广泛应用。
- 本课程主要介绍 MPLS 的工作原理以及标签的转发流程，静态标签交换路径的配置方法等。



传统IP路由转发

- 传统的IP转发采用的是逐跳转发。数据报文经过每一台路由器，都要被解封查看报文网络层信息，然后根据路由最长匹配原则查找路由表指导报文转发。各路由器重复进行解封查找路由表和再封装的过程，所以转发性能低。



传统IP路由转发的特点：

- 所有路由器需要知道全网的路由。
- IP头部不定长，处理效率低。
- 传统IP转发是面向无连接的，无法提供较好的端到端QoS保证。

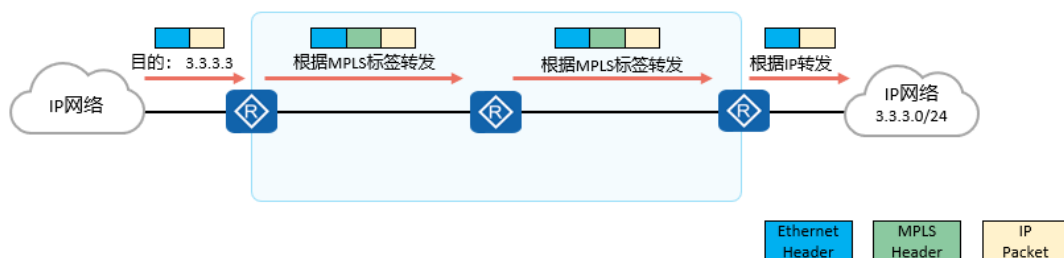
R1路由表

目的网段/掩码	协议	优先级	开销	下一跳	出口接口
192.168.1.0/24	Direct	0	0	192.168.1.254	GE0/0/0
192.168.0.0/16	Direct	0	0	192.168.12.1	GE0/0/2
0.0.0.0/0	Static	60	0	192.168.12.2	GE0/0/2



MPLS基本概念

- MPLS位于TCP/IP协议栈中的数据链路层和网络层之间，可以向所有网络层提供服务。
- 通过在数据链路层和网络层之间增加额外的MPLS头部，基于MPLS头部实现数据快速转发。
- 本课程仅介绍MPLS在IP网络中的应用。

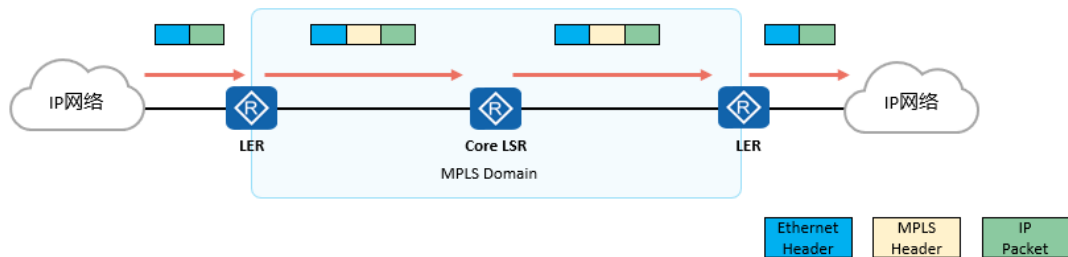


- MPLS 起源于 IPv4 (Internet Protocol version 4) ，其核心技术可扩展到多种网络协议，包括 IPv6 (Internet Protocol version 6) 、 IPX (Internet Packet Exchange) 、 Appletalk、DECnet、CLNP (Connectionless Network Protocol) 等。MPLS 中的“Multiprotocol”指的就是支持多种网络协议。
- MPLS 以标签交换替代 IP 转发。标签是一个短而定长的、只具有本地意义的标识符。



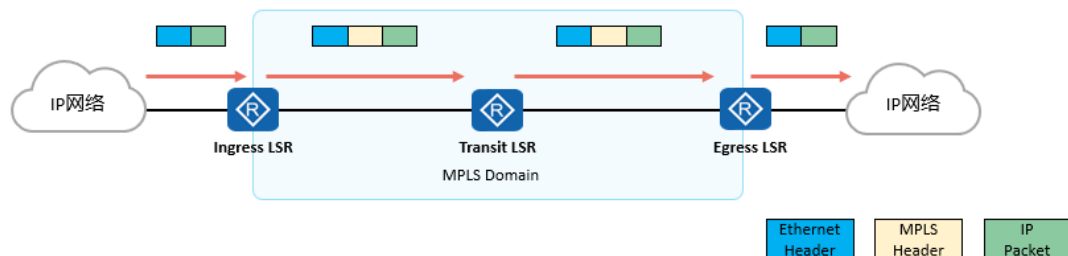
MPLS术语介绍 - LSR与MPLS域

- MPLS域（MPLS Domain）：一系列连续的运行MPLS的网络设备构成了一个MPLS域。
- LSR（Label Switching Router，标签交换路由器）：支持MPLS的路由器（实际上也指支持MPLS的交换机或其他网络设备）。位于MPLS域边缘、连接其它网络的LSR称为边沿路由器LER（Label Edge Router），区域内部的LSR称为核心LSR（Core LSR）。



MPLS术语介绍 - LSR分类

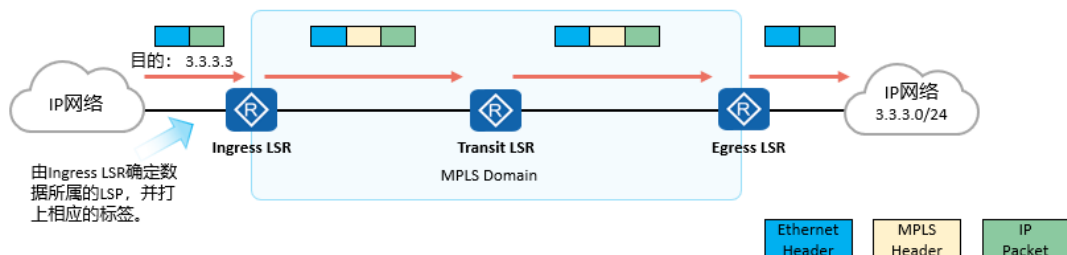
- 除了根据LSR在MPLS域中的位置进行分类之外，还可以根据对数据处理方式的不同进行分类：
 - 入站LSR（Ingress LSR）：通常是向IP报文中压入MPLS头部并生成MPLS报文的LSR。
 - 中转LSR（Transit LSR）：通常是将MPLS报文进行例如标签置换操作，并将报文继续在MPLS域中转发的LSR。
 - 出站LSR（Egress LSR）：通常是将MPLS报文中MPLS头部移除，还原为IP报文的LSR。



- 关于 MPLS 报文的标签操作，将在后面的课程中展开介绍。

MPLS术语介绍 - FEC

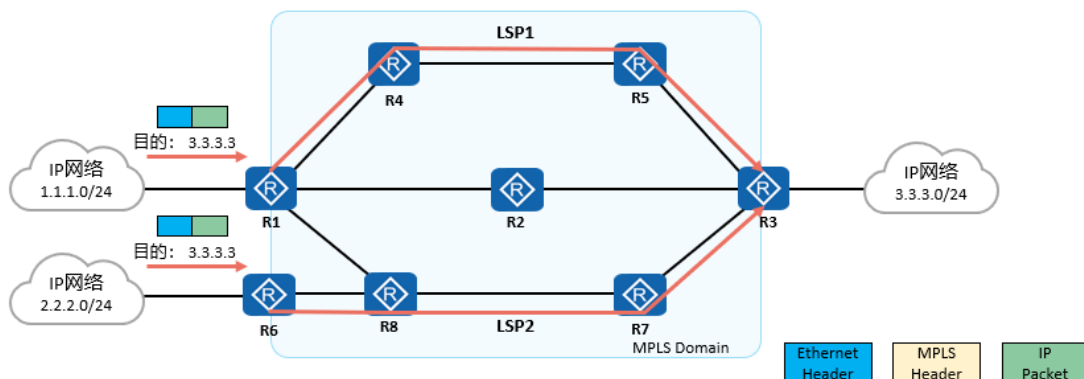
- FEC (Forwarding Equivalence Class, 转发等价类) 是一组具有某些共性的数据流的集合, 这些数据流在转发过程中被网络节点以相同方式处理。
 - 在MPLS网络中, FEC可以通过多种方式划分, 例如基于目的IP地址及网络掩码、DSCP等特征来划分。
 - 数据属于哪一个LSP, 由数据进入MPLS域时的Ingress LSR决定。
 - MPLS标签通常是与FEC相对应的, 必须有某种机制使得网络中的LSR获得关于某FEC的标签信息。



- 在传统的采用最长匹配算法的IP转发中, 匹配到同一条路由的所有报文就是一个转发等价类。
- 在MPLS中, 关于FEC最常见的例子是: 目的IP地址匹配同一条IP路由的报文被认为属于同一个FEC。

MPLS术语介绍 - LSP

- LSP (Label Switched Path, 标签交换路径) 是标签报文穿越MPLS网络到达目的地所走的路径。
- 同一个FEC的报文通常采用相同的LSP穿越MPLS域, 所以对同一个FEC, LSR总是用相同的标签转发。



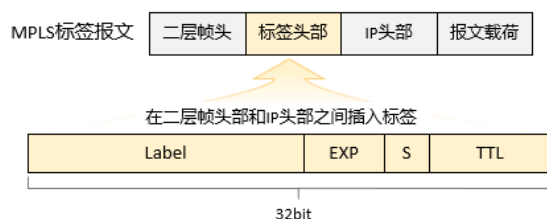
- 一条LSP包含一台入站LSR、一台出站LSR以及数量可变的中间LSR, 因此LSP也可以看做是这些LSR的有序集

合。

- LSP 需要在数据转发开始前建立完成，只有这样报文才能顺利穿越 MPLS 域。
- LSP 可通过静态和动态两种方式建立。
- 需要注意的是，LSP 是一个从“起点”到“终点”的单向路径，若需要双向数据互通，则需要在双方之间建立双向的 LSP。

MPLS标签

- IP报文进入MPLS域之前，会被入站LSR压入MPLS头部（又叫MPLS标签），形成一个MPLS标签报文。一个标签报文可以包含一个或多个MPLS标签。



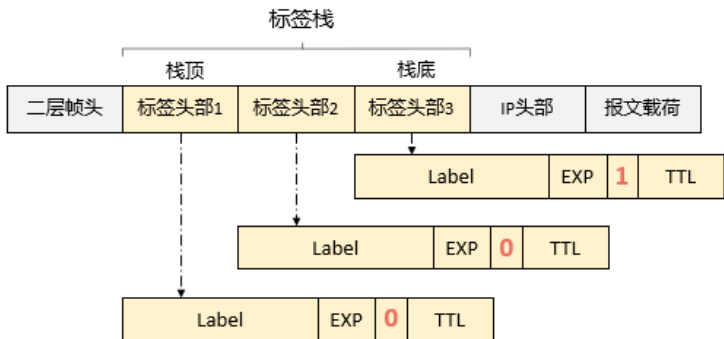
- 标签 (Label)：用于携带标签值，长度20bit。
- EXP (Experimental Use)：主要用于CoS (Class of Service)，长度3bit。
- S (Bottom of Stack)：栈底位，用于指示该标签头部是否为最后一层标签，长度1bit。如果该字段为1，则表示当前标签头部为栈底；如果该字段为0，则表示当前标签头部之后依然还有其他标签头部。
- TTL (Time To Live)：用于当网络出现环路时，防止标签报文被无限制转发，与IP报文头部中的TTL具有相同的意义，长度8bit。

- EXP 字段在早期的 MPLS 标准中被定义，意为试验性的字段，但实际上该字段主要被用于 CoS。为了避免歧义，RFC5462 重新定义了该字段，命名为流分类 (Traffic Class)。



MPLS标签栈

- MPLS支持一层或多层标签头部，这些标签头部的有序集合被称为标签栈（Label Stack）。
- 当标签栈中存在多个标签时，这些标签的顺序是非常讲究的：
 - 最靠近二层头部的标签是栈顶标签，标签中的S字段为0。
 - 最靠近IP头部的标签是栈底标签，标签中的S字段为1。



- 当上层为 MPLS 标签栈时，以太网头部中的 Type 字段为 0x8847，PPP 头部中的 Protocol 字段为 0x8281。



标签空间

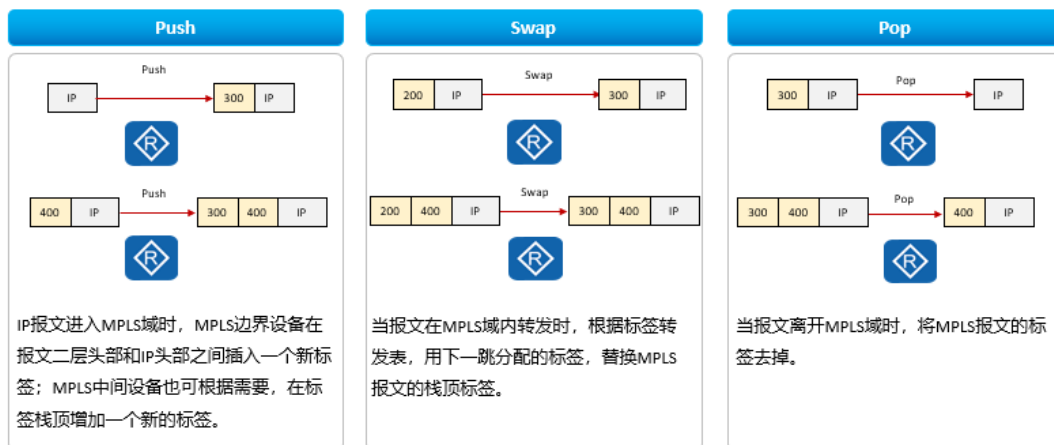
- 标签是一个短而定长的、只具有本地意义的标识符。标签空间就是指标签的取值范围。标签值的范围及规划如下：

标签值	描述
0~15	特殊标签值。例如0被定义为IPv4显式空标签（IPv4 Explicit NULL Label），标签值3被定义为隐式空标签（Implicit NULL Label）
16~1023	用于静态LSP、静态CR-LSP的共享标签空间
1024~1048575	LDP、RSVP-TE、MP-BGP等动态信令协议的标签空间； 动态信令协议的标签空间不是共享的，而是独立且连续的，互不影响

- 只具有本地意义说明每一台 LSR 之间的标签空间是相互独立的，即每台路由器都可以使用完整的标签空间。

MPLS标签的处理

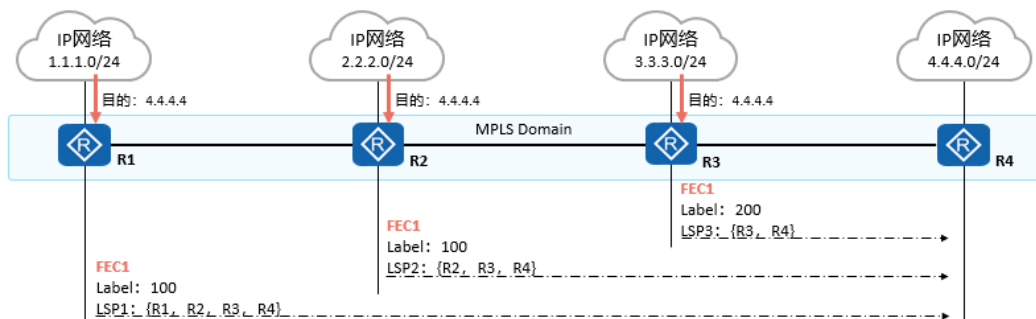
- LSR对标签的操作类型包括标签压入（Push）、标签交换（Swap）和标签弹出（Pop）。



基本概念 LSP建立 标签转发

MPLS转发概述

- MPLS转发的本质就是将数据归到对应的FEC并按照提前建立好的LSP进行转发。
 - 对于整个MPLS域，LSP是某一给定的FEC进入域和离开域的路径，可以看成是LSR的有序集合。
 - 对于单台LSR，需要建立标签转发表，用标签来标识FEC，并绑定相应的标签处理和转发等行为。

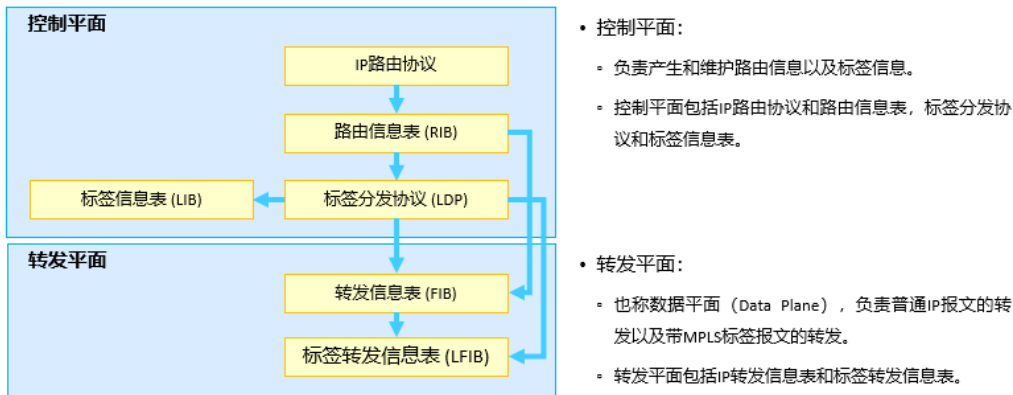


- 同一个 FEC，若进入 MPLS 域的 Ingress LSR (入站 LSR) 不同，转发时的 LSP 也不相同。
- 同一个 FEC，LSR 的处理方式相同，不论这个 FEC 来自哪里 (进入设备的接口)。
- LSR 的转发动作决定了 LSP，而标签转发表确定转发动作，所以建立标签转发表也可以理解为建立 LSP。
- 如图所示，因为有着相同的目的地，所以这三份数据属于同一个转发等价类 FEC1。同时由于入站 LSR 不同，这些

数据将分别在 LSP1、LSP2 和 LSP3 上被转发。因为标签仅具有本地意义，所以每台 LSR 上给同一 FEC 分配的标签，可以相同，也可以不同。

MPLS体系结构

MPLS的体系结构由控制平面 (Control Plane)和转发平面 (Forwarding Plane)组成。

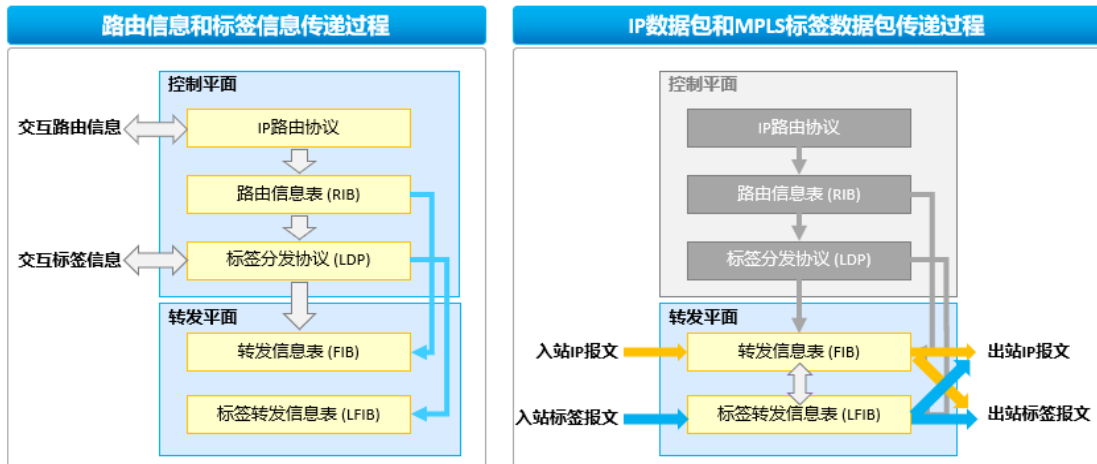


- 控制平面：
- 控制平面是无连接的，主要功能是负责产生和维护路由信息以及标签信息。
- 控制平面包括：
- 路由信息表 RIB (Routing Information Base)：由 IP 路由协议 (IP Routing Protocol)、静态路由和直连路由共同生成，用于选择路由。
- 标签信息表 LIB (Label Information Base)：用于管理标签信息，LIB 中的表项可由标签交换协议 (LDP、RSVP 等协议) 或静态配置生成。
- 转发平面：
- 转发平面也称为数据平面，是面向连接的，主要功能是负责普通 IP 报文的转发以及带 MPLS 标签报文的转发。
- 转发平面包括：
- 转发信息表 FIB (Forwarding Information Base)：从 R

IB 提取必要的路由信息生成，负责普通 IP 报文的转发。

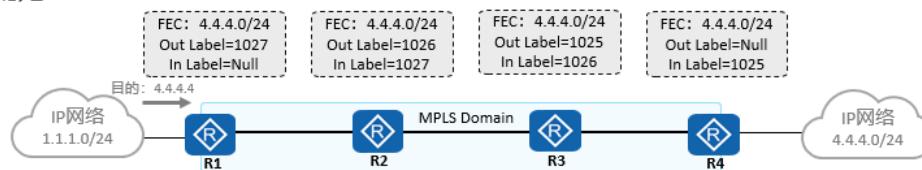
- 标签转发信息表 LFIB (Label Forwarding Information Base)：简称标签转发表，负责带 MPLS 标签报文的转发。

控制平面与转发平面



LSP建立原则

- 当网络层协议为IP协议时，FEC所对应的路由必须存在于LSR的IP路由表中，否则该FEC的标签转发表项不生效。
- LSR用标签标识指定FEC，所以该FEC的数据被发送至LSR时，必须携带正确的标签，才能被LSR正确的处理。



- 对某一FEC，设备上存在进 (In) 标签和出 (Out) 标签，分别表示该FEC的数据接收时和发送时所携带的标签。
- 以R2转发到4.4.4.0/24的数据为例，R1为R2的上游 (Upstream) LSR，R3为R2的下游 (Downstream) LSR。为确保标签报文能被正确的处理和转发，那么R1发给R2的报文所携带的标签与R2上绑定到4.4.4.0/24的相同，即R1的出标签等于R2的入标签。同理，R2关于4.4.4.0/24这条FEC的出标签必须等于R3的入标签。



LSP建立方式

- MPLS需要为报文事先分配好标签，建立一条LSP，才能进行报文转发。LSP分为静态LSP和动态LSP两种。

静态LSP	动态LSP
<ul style="list-style-type: none"> 基本概念： <ul style="list-style-type: none"> 静态LSP是用户通过手工为各个FEC分配标签而建立的。 静态LSP不使用标签发布协议，不需要交互控制报文，因此消耗资源比较小。 通过静态方式建立的LSP不能根据网络拓扑变化动态调整，需要管理员干预。 应用场景： <ul style="list-style-type: none"> 适用于拓扑结构简单并且稳定的小型网络。 标签分配原则： <ul style="list-style-type: none"> 前一节点出标签的值等于下一个节点入标签的值。 	<ul style="list-style-type: none"> 基本概念： <ul style="list-style-type: none"> 动态LSP通过标签发布协议动态建立。 标签发布协议是MPLS的控制协议（也可称为信令协议），负责FEC的分类、标签的分发以及LSP的建立和维护等一系列操作。 常用标签发布协议：标签分发协议 (LDP) <ul style="list-style-type: none"> 全称：Label Distribution Protocol。 定义：LDP是多协议标签交换MPLS的一种控制协议，负责转发等价类FEC的分类、标签的分配以及标签交换路径LSP的建立和维护等操作。LDP规定了标签分发过程中的各种消息以及相关处理过程。 应用场景：LDP广泛地应用在VPN服务上，具有组网、配置简单、支持基于路由动态建立LSP、支持大容量LSP等优点。

- 静态 LSP：
- 由于静态 LSP 各节点上不能相互感知到整个 LSP 的情况，因此静态 LSP 是一个本地的概念。
- 动态 LSP：
- 其他标签分布协议：
- RSVP-TE：Resource Reservation Protocol Traffic Engineering，它是对 RSVP 的扩展，用于建立基于约束的 LSP。它拥有普通 LDP LSP 没有的功能，如发布带宽预留请求、带宽约束、链路颜色和显式路径等。
- MP-BGP：Multiprotocol Border Gateway Protocol，MP-BGP 是在 BGP 协议基础上扩展的协议。MP-BGP 支持为 MPLS VPN 业务中私网路由和跨域 VPN 的标签路由分配标签。



MPLS标签转发

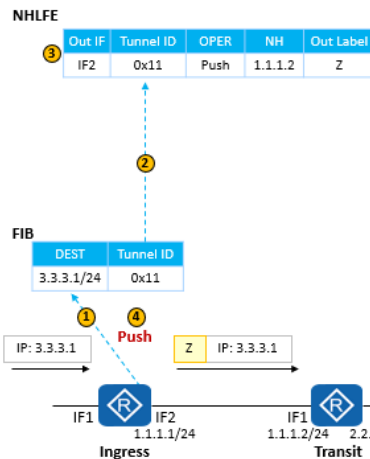
LSR处理报文时主要根据FTN、NHLFE和ILM。



- Tunnel ID : 为了给使用隧道的上层应用 (如VPN、路由管理) 提供统一的接口, 系统自动为隧道分配了一个ID, 也称为Tunnel ID。该Tunnel ID的长度为32比特, 只是本地有效。在MPLS转发过程中, FIB、ILM和NHLFE表项是通过Tunnel ID关联的。



Ingress LSR的处理



- 在Ingress LSR, 通过查询FIB表 (得到FTN信息) 和NHLFE表指导报文的转发。
- 当IP报文进入MPLS域时, 首先查看FIB表, 检查目的

IP 地址对应的 Tunnel ID 值是否为 0x0。

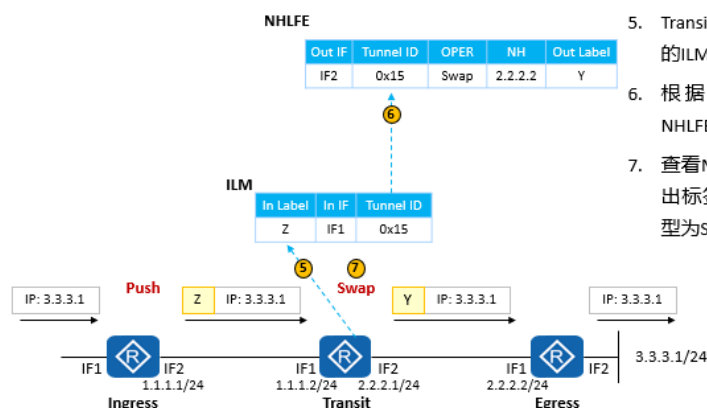
- 如果 Tunnel ID 值为 0x0，则进入正常的 IP 转发流程。
- 如果 Tunnel ID 值不为 0x0，则进入 MPLS 转发流程。

基本概念 LSP建立 标签转发

Transit LSR的处理

当MPLS报文在MPLS域转发时：

5. Transit LSR根据MPLS的标签值查看对应的ILM表，得到Tunnel ID。
6. 根据ILM表的Tunnel ID找到对应的NHLFE表项。
7. 查看NHLFE表项，得到出接口、下一跳、出标签和标签操作类型，标签操作类型为Swap，则交换标签。



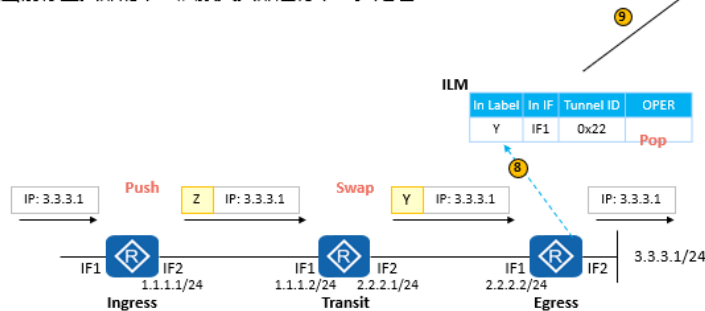
- 在 Transit LSR，通过查询 ILM 表和 NHLFE 表指导 MPLS 报文的转发。

基本概念 LSP建立 标签转发

Egress LSR的处理

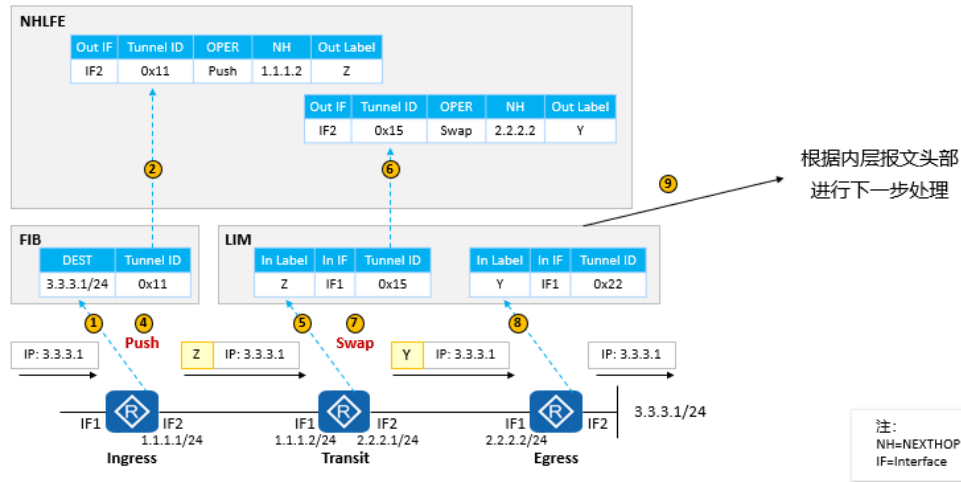
- 当MPLS报文需要离开MPLS域时：
- 8. Egress根据ILM查询到该标签对应的操作为Pop，说明需要剥离该标签
- 9. 根据当前标签头部的下一层报文头部进行下一步处理

- S=1，表明该标签是栈底标签，直接进行IP转发。
- S=0，表明还有下一层标签，根据下一层标签。



- 在 Egress LSR，通过查询 ILM 表指导 MPLS 报文的转发。

MPLS详细转发过程



MPLS基本配置命令

1. 配置LSR ID

```
[Huawei] mpls lsr-id lsr-id
```

mpls lsr-id命令用来配置LSR的ID。LSR ID用来在网络中唯一标识一个LSR。LSR没有缺省的LSR ID，必须手工配置。为了提高网络的可靠性，推荐使用LSR某个Loopback接口的地址作为LSR ID并在配置前对网络中所有LSR的LSR ID进行统一规划。

2. 使能MPLS

```
[Huawei] mpls
```

mpls命令用来使能本节点的全局MPLS能力，并进入MPLS视图。

```
[Huawei-GigabitEthernet0/0/0] mpls
```

在接口视图下，使能当前接口的MPLS功能。需先使能全局MPLS能力后才能执行接口下的MPLS使能命令。



静态LSP配置命令 (1)

1. Ingress LSR配置

```
[Huawei] static-lsp ingress lsp-name destination ip-address { mask-length | mask } { nexthop next-hop-address | outgoing-interface interface-type interface-number } * out-label out-label
```

static-lsp ingress命令用来为入口节点配置静态LSP。

- 推荐采用指定next-hop的方式配置静态LSP，确保本地路由表中存在与指定目的IP地址精确匹配的路由项，包括目的IP地址和下一跳IP地址。如果LSP出接口为以太网类型，必须配置nexthop next-hop-address参数以保证LSP的正常转发。
- out-label的取值范围为16~1048575。

2. Transit LSR配置

```
[Huawei] static-lsp transit lsp-name [ incoming-interface interface-type interface-number ] in-label in-label { nexthop next-hop-address | outgoing-interface interface-type interface-number } * out-label out-label
```

static-lsp transit命令用来为中间转发节点配置静态LSP。

- 下一跳和出接口的配置规则和Ingress LSR保持一致。
- in-label的取值范围为16~1023。
- out-label的取值范围为16~1048575。

- out-label 占用的是下游 LSR 的标签空间，而下游空间采用的标签分发方式不确定，所以 out-label 的标签空间为 16~1048575。

- in-label 占用的是当前 LSR 的标签空间，采用静态 LSP 时，标签空间为 16~1023。



静态LSP配置命令 (2)

3. Egress LSR配置

```
[Huawei] static-lsp egress lsp-name [ incoming-interface interface-type interface-number ] in-label in-label
```

static-lsp egress命令用来在出口节点配置静态LSP。

- in-label的取值范围为16~1023。

4. 查看静态LSP配置

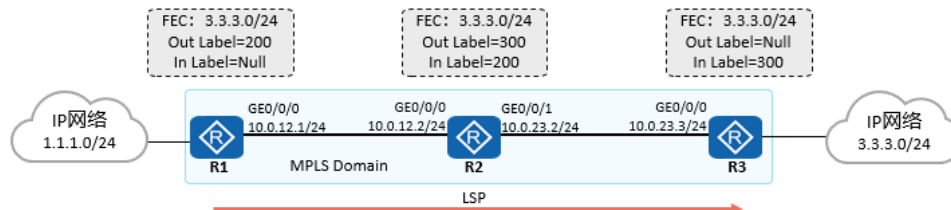
```
[Huawei] display mpls static-lsp [ lsp-name ] [ { include | exclude } ip-address mask-length ] [ verbose ]
```

display mpls static-lsp命令用来查看静态LSP信息。



静态LSP配置案例 (1)

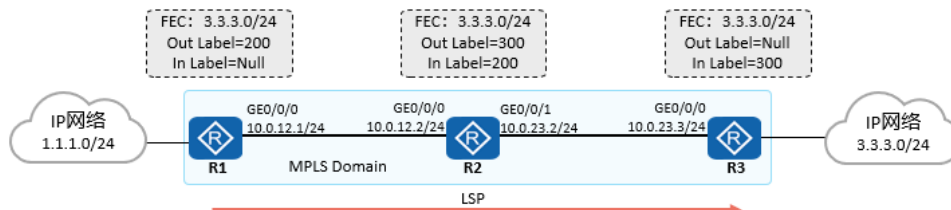
- 案例介绍：R1、R2和R3之间已经部署了IGP协议，故1.1.1.0/24与3.3.3.0/24网络之间已经能够互访。现要求通过配置静态LSP，使得这两个网络之间能基于MPLS进行互访，标签分配如图。
- 配置思路：
 1. 在设备和接口上使能MPLS功能
 2. 按照规划配置静态LSP



静态LSP配置案例 (2)

1. 三台路由器的LSR ID分别为10.1.1.1、10.1.1.2和10.1.1.3，以R1为例，使能全局和接口的MPLS功能。

```
[R1]mpls lsr-id 10.1.1.1
[R1]mpls
Info: Mpls starting, please wait... OK!
[R1-mpls]quit
[R1]interface GigabitEthernet 0/0/0
[R1-GigabitEthernet0/0/0]mpls
[R1-GigabitEthernet0/0/0]quit
```



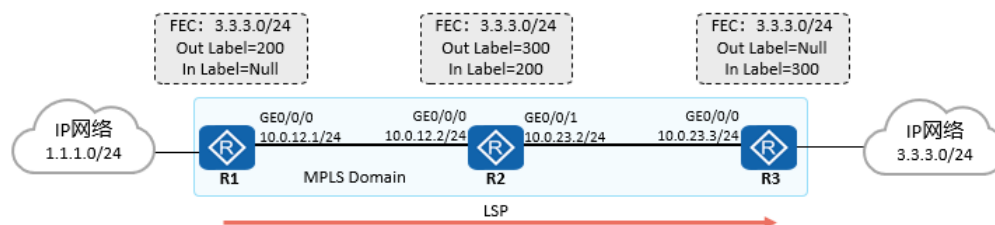
静态LSP配置案例 (3)

2. 配置R1去往R3方向的静态LSP

```
[R1] static-lsp ingress 1to3 destination 3.3.3.0 24 nexthop 10.0.12.2 out-label 200
```

```
[R2] static-lsp transit 1to3 incoming-interface GigabitEthernet 0/0/0 in-label 200 nexthop 10.0.23.3 out-label 300
```

```
[R3] static-lsp egress 1to3 incoming-interface GigabitEthernet 0/0/0 in-label 300
```



静态LSP配置案例 - 检查配置

```
[R1]display mpls lsp
```

LSP Information: STATIC LSP

FEC	In/Out Label	In/Out IF	Vrf Name
3.3.3.0/24	NULL/200	-/GE0/0/0	

```
[R2]display mpls lsp
```

LSP Information: STATIC LSP

FEC	In/Out Label	In/Out IF	Vrf Name
3.3.3.0/24	200/300	GE0/0/0/GE0/0/1	

```
[R3]display mpls lsp
```

LSP Information: STATIC LSP

FEC	In/Out Label	In/Out IF	Vrf Name
3.3.3.0/24	300/NULL	GE0/0/0/-	

经测试，1.1.1.0/24网段的主机到3.3.3.0/24主机的ping测试没有问题。

仅配置了1.1.1.0/24到3.3.3.0/24的单向静态LSP，为何可以实现双向通信呢？



静态LSP配置案例 - 抓包分析

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
5	12.109000	1.1.1.1	3.3.3.3	ICMP	102	Echo (ping) request

Frame 5: 102 bytes on wire (816 bits), 102 bytes captured (816 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: HuaweiTe_b1:15:3e (00:e0:fc:b1:15:3e), Dst: HuaweiTe_49:20:bb (00:e0:fc:49:20:bb)
MultiProtocol Label Switching Header, Label: 300, Exp: 0, S: 1, TTL: 254
Internet Protocol Version 4, Src: 1.1.1.1, Dst: 3.3.3.3
Internet Control Message Protocol

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6	12.141000	3.3.3.3	1.1.1.1	ICMP	98	Echo (ping) reply

Frame 6: 98 bytes on wire (784 bits), 98 bytes captured (784 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: HuaweiTe_49:20:bb (00:e0:fc:49:20:bb), Dst: HuaweiTe_b1:15:3e (00:e0:fc:b1:15:3e)
Internet Protocol Version 4, Src: 3.3.3.3, Dst: 1.1.1.1
Internet Control Message Protocol

从抓包信息可知, 1.1.1.0/24网段的主机到3.3.3.0/24主机的报文基于MPLS标签转发。
3.3.3.0/24网段的主机到1.1.1.0/24主机的报文基于IP包头转发

思考题：

- (多选) 下面对 MPLS 头部的描述正确的是 ()
- MPLS 头部的长度为 32 比特
- MPLS 头部中的 Label 字段取值范围为 0~65535
- MPLS 可以实现多层 MPLS 头部的嵌套
- 可以通过 MPLS 头部中的 max_hop 字段防止标签报文被无限制转发
- (单选) 在配置 Transit LSR 上的静态 LSP 时，入标签和出标签的取值均为 16~1023
- 正确
- 错误

参考答案：

- AC
- B
-