MPLS 配置

目 录

第 1 章 MPLS 配置 1
1.1 MPLS 概述 1
1.2 MPLS 相关概念 1
1.2.1 转发等价类 1
1.2.2 标签 2
1.2.3 标签转发信息库 4
1.3 MPLS 配置须知 4
1.4 MPLS 配置 5
1.4.1 MPLS 配置任务列表 5
1.4.2 启动 MPLS 5
1.4.3 配置静态 LSP 6
1.4.4 配置标签范围 7
1.4.5 清除 MPLS 计数器 7
1.4.6 查看 MPLS 信息 7
1.5 LDP 配置 8
1.5.1 LDP 配置任务列表 8
1.5.2 配置 LSR 标识 9
1.5.3 启动 LDP 9
1.5.4 配置传输地址 9
1.5.5 配置分发标签的地址列表 10
1.5.6 配置本地发现机制参数 10
1.5.7 配置 LDP 邻居 11
1.5.8 配置指定邻居发现机制参数 11
1.5.9 配置会话保持时间 12
1.5.10 强制 Explicit-Null 标签 12
1.5.11 配置 LDP 日志记录 12
1.5.12 查看 LDP 信息 13
第 2 章 MPLS L2VPN 配置 14
2.1 MPLS L2VPN 概述 14
2.2 MPLS L2VPN 相关概念 14
2.2.1 VFI 14
2.2.2 Pseudo-Wire 14
2.2.3 无环路的 L2VPN 网络 14
2.3 MPLS L2VPN 配置 15
2.3.1 MPLS L2VPN 配置任务列表 15
2.3.2 启动 MPLS L2VPN 15
2.3.3 创建 VFI 15

2.3.4 VFI 与接口绑定 16
2.3.5 配置静态 VC 标签 16
2.3.6 查看 L2VPN 信息 17
2.4 MPLS L2VPN 配置示例 17
2.4.1 点到点 L2VPN 配置示例 17
第 3 章 MPLS L3VPN 配置 20
3.1 MPLS L3VPN 概述 20
3.2 MPLS L3VPN 配置 21
3.2.1 MPLS L3VPN 配置任务列表 21
3.2.2 配置 MPLS 21
3.2.3 配置 LDP 22
3.2.4 配置 VRF 22
3.2.5 配置 VPN 路由 23
3.2.6 配置 PE 与 P 设备之间路由 23
3.2.7 配置 PE 间 BGP 路由 24
3.3 MPLS L3VPN 配置示例 24
3.3.1 配置 R1（CE） 25
3.3.2 配置 R2（PE） 25
3.3.3 配置 R3（P） 27

第 1 章 MPLS 配置

1.1 MPLS 概述

MPLS（Multiprotocol Label Switching）是多协议标签交换的简称，它用短而定长的标签来封装网络层分组。MPLS 把路由选择和数据转发分开，由标签来规定一个分组通过网络的路径。MPLS 网络由核心部分的标签交换路由器（Label Switching Router, LSR）以及边缘部分的标签边缘路由器（Label Edge Router）组成。标签交换路由器的作用可以看作是 ATM 路由器与传统路由器的结合，由控制单元和交换单元组成；边缘标签路由器的作用是分析 IP 包头，用于决定相应的传送级别和标签交换路径。

在 MPLS 网络中，支持标签交换的设备被称为标签交换路由器，这些标签交换路由器相连接组成标签交换路经（Label Switching Path, LSP）。LSR 之间通过标签分发协议（LDP），扩展的路由协议以及其他方式交换标签信息。LSP 的入口 LSR 根据分组的网络层信息（比如 IP 头部）为其加上标签，出口 LSR 将标签去除，其它 LSR 对报文的转发仅依据标签来完成。

为报文加上标签，使 MPLS 网络更似一种面向连接的数据转发，尽管其控制层面是基于现有的 IP 技术实现的。LSR 的角色可以由支持 MPLS 的多种类型的设备充当，比如路由器或三层路由器。

MPLS 最初是用来提高路由器的转发速度而提出的一个协议，但是由于其固有的优点，其用途已不仅仅局限于此，MPLS 还在流量工程（Traffic Engineering）、VPN 等方面得到广泛的应用，从而日益成为大规模 IP 网络的重要标准。

1.2 MPLS 相关概念

1.2.1 转发等价类

FEC（Forwarding Equivalence Classes，转发等价类）是 MPLS 中的一个重要概念。它表示一组转发方式相同的分组，比如，具有相同的地址前缀和转发路径。

在无连接的网络层协议的作用下，一个数据包在网络中传播时，经过的每个路由器都需要独立的对其进行路径选择。选择下一跳的过程可以被理解为是按照如下两步完成的：(a) 将报文划分到不同的转发等价类中；(b) 为每个 FEC 决定下一跳。如果仅考虑转发报文这一项功能，被划分到通过一个 FEC 中的报文是没有区别的，它们都会在同样的路径中传播。

在传统的 IP 报文转发中，路由器之所以会认为两个报文在同一个 FEC 中，是因为这两个报文的目的地址都可以与路由表中的某项条目“最长匹配”。在报文的每一跳上，路由器都需要重新对这个报文进行检查来决定它所在的 FEC。

而在 MPLS 中，将报文指派到 FEC 的操作仅需要在报文进入网络时执行一次。在网络的入口路由器上，报文所在的 FEC 被表示为一个固定长度的值，也就是标签，并且该标签

会被放置到报文中。在下一跳处，路由器就不再需要检查报文的网络层头部，而是直接根据标签决定报文新的下一跳，然后用新的标签替换旧的标签，并将报文转发出去。

1.2.2 标签

1. 标签的定义

标签（Label）是一个短的、定长的且仅在两台邻接 LSR 之间有意义的标识符，用来表示一个转发等价类。通常情况下，报文所在的 FEC 是根据其网络层目的地址决定的。

标签仅在两台邻接 LSR 之间有意义。比如，路由器 Ru 和 Rd 都支持标签交换，并且它们商定：如果一个报文属于转发等价类 F，Ru 将该报文发往 Rd 时会加上标签 L，这样就可以说 Label L 和 FEC F 之间形成一种绑定的关系，这种绑定对从 Ru 到 Rd 的报文有效。需要注意的是，此时 L 仅仅是 Ru 和 Rd 之间使用的一个随机值。

2. 标签的结构

MPLS 实现了通过栈式操作向报文中加入多个标签，从而在报文中形成一个标签栈（Label Stack）。RFC3032 定义了标签栈的一种结构，该结构适用于 PPP 链路或者以太网链路。标签栈中每个条目的结构如图 1.1 所示。

Label	Exp	S	TTL	
20	3	1	8	bits

图 1.1 标签栈条目结构

Label：实际的标签值，长度 20bit。

Exp：保留，通常作 COS，长度 3bit。

S：如果条目是标签栈的最后一项，则 S 被设置为 1，表示栈底。其他条目的 S 都为 0，长度 1bit。

TTL：与 IP 头部的 TTL 含义相同，长度 8bit。

3. 标签的操作

(1) NHLFE

The Next Hop Label Forwarding Entry（下一跳标签转发条目）被用来转发带有标签的报文，它可能包含以下信息：(a) 报文的下一跳；(b) 对报文的标签栈执行的操作；(c)其它信息。

(2) 标签映射

标签映射是指将报文（带或不带标签）映射到一个或一组 NHLFE 条目，从而确定对报文的操作方式。标签映射包括入口路由器处的标签映射和标签交换路径（Label Switching Path，LSP）中的映射。

入口路由器处的标签映射也称作：FEC-to-NHLFE Map（FTN），标签交换路由器在确定报文的 FEC 之后，将每个 FEC 影射到一组 NHLFE。用来处理进入时未带标签的报文。

LSP 中的映射也称为：Incoming Label Map（ILM），将每个进入的带有标签的报文映射到一个或一组 NHLFE。

(3) 标签分发方式

标签分发是为某个 FEC 建立标签交换路径（LSP）的过程。

MPLS 支持的标签分发方式有两种：下游自主标签分发（DU，Downstream Unsolicited）和下游按需标签分发（DoD，Downstream On Demand）。

在下游自主标签分发中，标签交换路由器（Label Switching Router，LSR）在没有收到请求时主动分发标签与 FEC 的绑定信息；

在下游按需标签分发中，LSR 只有在获得请求消息之后才进行标签的分发。

说明： 路由器支持的是自主标签分发方式。

---

(4) 标签分配控制方式

MPLS 使用的标签分配控制方式有两种：独立（Independent）标签分配控制和有序（Ordered）标签分配控制。

在独立方式中，如果 LSR 收到了其他 LSR 的标签请求，则该 LSR 可以立刻对其进行回应，而不需要下游分发的标签绑定。独立控制模式允许 LSR 在任何时候都可以向其他 LSR 分发标签绑定信息。

在有序方式中，LSR 只有从下一跳了解了标签绑定信息，或者 LSR 自身就是 LSP 的出口路由器，此时它才可以向其他 LSR 分发绑定信息。

说明： 路由器支持的是独立标签分配控制方式。

---

(5) 标签保持方式

MPLS 使用的标签保持方式也有两种：保守（Conservation）标签保持和自由（Liberal）标签保持。

在保守方式中，LSR 仅保存自己需要使用到的标签绑定信息，而不是所有接收到的信息；

在自由方式中，LSR 保存所有接收到的标签绑定信息。

说明： 路由器支持的是自由标签保持方式。

---

4. 标签分发协议（LDP）

LDP（Label Distribution Protocol），标签分发协议，运用逐跳或者动态标签分配的算法，通过把标签分配给 IGP 学习到的路由，在标签交换路由器之间建立尽力而为的 LSP。

LDP 主要运行在可靠的 TCP 连接上(除非使用 UDP)。LDP 主要执行 4 个操作：

发现（Discovery）：发布并维护网络中的 LSR。 会话（Session）：建立和保持

两个对等 LDP 之间的会晤。 广告（Advertisement）：执行标签的分配和传播。

通知（Notification）：通告差错信息。

1.2.3 标签转发信息库

路由器系列产品通过标签转发信息库来维护 MPLS 报文转发使用的 FTN 和 ILM 条目，标签转发信息库包括两部分内容：ILM 表、FTN 表。

1. 入标签映射表（ILM）

MPLS 入标签映射表又称为 ILM（Incoming Label map）。ILM 中保存着所有的分配的标签（非小于 16 的特殊标签）到 NHLFE 的映射：包括动态标签分发协议分配的标签映射以及用户手动配置的标签映射，并且这些映射信息随着 LDP 的状态变化和用户配置的变化而被动态更新。

MPLS 的软件转发模块（MPLS Forwarding Module）通过查询 ILM 表实现 MPLS 报文的标签交换并转发或弹出标签交由 IP 转发。

2. FEC 至 NHLFE 的映射表（FTN)

MPLS FEC 至 NHLFE 的映射表又称为 FTN 表（Incoming Label map）。FTN 中保存着所有的 FEC 到 NHLFE 的映射：包括动态标签分发协议学习到的路由出标签映射以及用户手动配置的路由出标签映射，并且这些映射信息随着 LDP 的状态变化和用户配置的变化而被动态更新。

软件模块收到 IP 报文后，查找 FTN 表，如果存在和 FEC 一致的 FTN，则根据 FTN 对应的 NHLFE 的进行转发操作。NHLFE 下一跳没有指定设备实际出端口时，需要在 FTN 表中继续查找下一跳 NHLFE。

1.3 MPLS 配置须知

在开始配置路由器的 MPLS 功能之前，请先阅读并了解下面的内容：

* 传统路由器不支持在 VRF 端口配置 MPLS，即在 MPLS L3VPN 中运行 MPLS，仅在 BSR 路由器支持

* 在动态标签分配（LDP）和静态 LSP 配置混用时存在如下限制：对于一条地址前缀（路由），若同时存在 LDP 生成的动态标签绑定以及命令配置的静态绑定（通过 **mpls static** 全局配置命令），这两条绑定之间会产生冲突。在实际使用中，请尽量避免在开启 LDP 的同时配置静态标签绑定。若需使用静态绑定，请在进行配置之前先关闭 LDP。

1.4 MPLS 配置

1.4.1 MPLS 配置任务列表

* 启动 MPLS
* 配置静态 LSP
* 配置标签范围
* 清除 MPLS 计数器
* 查看 MPLS 信息

1.4.2 启动 MPLS

启动 MPLS 以允许路由器转发 MPLS 报文。MPLS 的启动包括全局启动和端口启动两步，只有在两步都完成以后，路由器端口才可以对 MPLS 报文进行处理。

使用下面的命令在全局配置模式下启动 MPLS：

命令	目的
mpls ip	全局启动 MPLS
no mpls ip	全局关闭 MPLS

使用下面的命令在端口配置模式下启动 MPLS：

命令	目的
mpls ip	VLAN 端口启动 MPLS
no mpls ip	VLAN 端口关闭 MPLS

注释：
1.传统路由器 VRF 端口不支持 MPLS 启动操作；
2.端口 MPLS 配置只有在全局 MPLS 启动后才生效。

1.4.3 配置静态 LSP

请注意：

路由器在动态标签分配（LDP）和静态 LSP 配置混用时存在如下限制：对于一条 地址前缀（路由），若同时存在 LDP 生成的动态标签绑定以及命令配置的静态绑定（通过 **mpls static** 全局配置命令），这两条绑定之间会产生冲突。在实际使用中，请尽量避免在开启 LDP 的同时配置静态标签绑定。若需使用静态绑定，请在执行 **mpls static** 配置之前先关闭 LDP。

通过在端口上禁止 LDP 协议运行可以很好的实现动态与静态绑定共存，通过 **no mpls ldp enable** 命令关闭 VLAN 端口的 LDP。如有疑问，请联系我们的技术服务人员。

MPLS 支持静态的转发信息配置，这些信息包括静态的 FTN 和静态的 ILM。在网络规模较小的情况下，可以使用静态的 LSP 配置来替代复杂的动态标签分发协议。

在全局配置模式下，使用下面的命令配置静态的 MPLS 转发信息：

命令	目的
mpls static binding ipv4 dest mask output nexthop outgoing-label	配置静态 FTN 条目 dest： FTN 条目地址前缀； mask：地址前缀掩码 nexthop：下一跳 IP 地址 outgoing-label：出标签，范围 16 - 1048575
mpls static crossconnect incoming-label outgoing-intf nexthop outgoing-label	配置静态 ILM 条目 incoming-label：入标签，范围为配置的静态标签范围 outgoing-intf：下一跳的出端口 nexthop：下一跳 IP 地址 outgoing-label：出标签，范围 16 - 1048575

上述命令的 no 形式用来取消相应的静态 LSP 配置。

静态 FTN 条目通常配置在 LSP 的边缘路由器上。条目的下一跳 IP 地址可以是一个直连地址，也可以是非直连地址。非直连下一跳 FTN 一般用于 MPLS L3VPN 功能，在这种情况下，路由器会自动为非直连地址查找有效的下一跳 FTN，并将查找到的 FTN 与非直连 FTN 绑定成多层的标签栈。

需要注意的是，每配置一条静态的 FTN 条目，用户还需要为该 FTN 添加静态的路由配置，或者确保 FTN 对应的 FEC（目的子网）的路由已经由动态路由协议学习到。对于一个目的子网，若用户只配置了 FTN 条目而对应的路由不存在，作为 LER 的路由器将无法把分组封装为标签的形式发送到期望的 LSP。

1.4.4 配置标签范围

MPLS 允许配置标签的动态申请范围以及静态标签的范围。

在全局配置模式下，使用下面的命令配置标签范围：

命令	目的
mpls label range min max [static min max]	配置标签范围 min：标签范围的最小值，默认为 1024； max：标签范围的最大值，默认为 1048575； static：配置静态标签的范围

缺省情况下静态标签范围为 16 ～ 1023，动态标签的范围如下 1024 ～ 1048575。

为了加快查找速度，目前标签配置范围会自动调整到 32 的整数倍。实际支持 64K 个标签。其中标签 0 到 15 为 IETF 保留值，在配置时不能使用。

若配置了标签范围，但在还没有认为标签被分配给其它模块使用的前提下，若改变了标签的分配范围，则新的标签范围立即生效；否则，需要下次启动以后才能生效。

16 ～ 1023 是静态标签的范围，若需要改变静态标签范围，改变后的值不得超出此范围。

1.4.5 清除 MPLS 计数器

MPLS 会自动对转发的报文进行数目统计，在特权模式下，使用下面的命令清除 MPLS 计数器：

命令	目的
clear mpls counters	清除 MPLS 计数器

1.4.6 查看 MPLS 信息

在全局或端口配置模式下，使用下面的命令查看 MPLS 的相关信息：

命令	目的
show mpls forwarding-table [{ network mask } | interface name | labels value | nexthop address]	查看 MPLS 标签转发信息库的内容 network：目标网络号 mask：目标网络掩码 interface name：显示标签转发信息库中具有指定出端口的条目 labels value：显示标签转发信息库中具有指定本地分发的具有指定标签的条目 nexthop address：显示标签转发信息库中

	以指定邻居作为下一跳的条目
show mpls ftn-table [{ network mask } | neighbor address | remote-label value] | [vrf name]	显示 FEC-to-NHLFE 表中的内 容 network：转发等价类前缀 mask：目标掩码 neighbor address：转发等价类的下一跳地址 remote-label value：配置的出标签 vrf name: 转发等价类所属的 VRF
show mpls interface [interface-name [all [detail]]]	显示 MPLS 端口信息 interface-name：端口类型和名称 all：显示所有的端口，包括没有配置 mpls ip 的端口 detail：显示端口的 mtu 以及输入输出 mpls 报文的统计值
show mpls label range	显示可用的标签分配范围
show mpls static binding ipv4 | crossconnect	显示静态配置的 FTN 或 ILM 条目
show mpls traffic	显示 MPLS 报文统计信息

1.5 LDP 配置

1.5.1 LDP 配置任务列表

* 配置 LSR 标识
* 启动 LDP
* 配置传输地址
* 配置分发标签的地址列表
* 配置本地发现机制参数
* 配置 LDP 邻居
* 配置指定邻居发现机制参数
* 配置会话保持时间
* 强制 Explicit-Null 标签
* 配置 LDP 日志记录

* 查看 LDP 信息

1.5.2 配置 LSR 标识

在启动标签分发协议之前，需要为路由器指定 Router ID，该 ID 在标签交换路径上标识该 LSR。

在全局配置模式下，使用下面的命令配置路由器的 LSR 标识：

命令	目的
mpls ldp router-id A.B.C.D	配置 LSR 标识 A.B.C.D：指定 IP 地址作为标识

只有配置了 router-id，才能在端口启动 LDP。

若配置了 mpls ldp router-id，则新的 router id 立即生效，重新建立 LDP 邻居关系。 建

议本 Router-ID 配置成回环端口地址，因为由 LDP Targeted Hello 触发的 TCP 连接使用 LDP 邻居的 Router-ID 作为 Socket 的两端地址，否则邻居建立失败。

1.5.3 启动 LDP

可以在配置了 mpls ip 的端口启动 LDP 标签分发协议。协议启动后，会自动向该端口直连的网段发送 LDP Hello 报文，并尝试建立 LDP 会话以分发标签信息。

在端口配置模式下，使用下面的命令启动 LDP 协议：

命令	目的
mpls ldp enable	启动 LDP 协议
no mpls ldp enable	关闭 LDP 协议

要在端口启动 LDP，必须首先启动全局 MPLS 以及端口 MPLS。

端口启动了 LDP 之后，路由器会自动与其它支持 LDP 协议的 LSR 建立会话，并分发标签信息。可以通过 **show mpls ldp neighbor** 命令查看 LDP 邻居以及会话状态。初始情况下，启动了 LDP 的端口不会响应 Targeted Hello 报文的请求。

1.5.4 配置传输地址

在默认情况下，路由器会使用端口的 IP 地址与其它 LSR 建立连接，通过配置传输地址，可以强制路由器使用指定的 IP 来与 LSR 建立 TCP 会话。

在端口配置模式下，使用下面的命令配置 LDP 的传输地址：

命令	目的
mpls ldp discovery transport-address ip-addr | interface	配置该端口上建立的 LDP 会话使用的传输 地址

	ip-addr：指定 IP 地址； interface：指定使用该端口的 IP 作为传输地址

LDP 会话建立时，必须在两台路由器之间先行建立了 TCP 连接，通过此连接来进行标签通告。为了建立 TCP 连接，路由器必须知道对方的传输地址(IP 地址)。

若用指定的建立连接成功，即使再改动 IP 地址，也不再重新建立连接。

1.5.5 配置分发标签的地址列表

在默认情况下，启动了 LDP 的路由器会自动分发所有已经建立的标签与 FEC 绑定关系，通过配置分发标签的地址列表，可以控制本地与指定地址前缀关联的标签如何分发。

在全局配置模式下，使用下面的命令配置分发标签地址列表：

命令	目的
mpls ldp advertise-labels for prefix-access-list	配置 LDP 的标签分发需遵循 prefix-access-list 中的规则 prefix-access-list：包含地址前缀的访问控制列表，一系列 deny 与 permit 条目用来控制标签 分发的策略

关于访问控制列表的配置，请参见相关配置说明书。

1.5.6 配置本地发现机制参数

在端口启动 LDP 功能之后，路由器会自动与直连的 LSR 建立会话并交换标签信息，本地会话的建立是受本地发现机制相关参数的控制的。这些参数包括：holdtime 与 interval。

holdtime 表示 LSR 保持一个已发现的邻居的时间，interval 表示 LSR 发送本地 Hello 报文的时间间隔。通常情况下，interval 的值小于 holdtime，在 holdtime 超时之前，即使没有受到该邻居发送的 Hello 报文，本地 LSR 仍然认为该邻居存在，如果 Holdtime 超时，本地 LSR 就会将该邻居删除，并结束与该邻居之间已经建立的会话。

holdtime 时间过大，会导致 LDP 过慢的检查出连接超时；若时间过短，则会因为链路上突发的流量导致 hello 报文丢失时，引起 LDP 中止会话。

在全局配置模式下，使用下面的命令配置本地发现机制参数：

命令	目的
mpls ldp discovery hello holdtime value	配置保持邻居的时间 value：范围 1 – 65535 秒，默认 15 秒
mpls ldp discovery hello interval value	配置发送 Hello 报文的间隔 value：范围 1 – 65535 秒，默认 3 秒

interval 默认为 holdtime 的三分之一，以维持本地邻居的稳定状态。在邻居会话已经建立的情况下，如果修改本地路由器的 holdtime 值，路由器会与邻居 LSR 之前重新商定 holdtime 的较小值作为有效值。同时，修改 holdtime 会导致本地会话的重新建立。

1.5.7 配置 LDP 邻居

对于本地直连的邻居，LDP 可以通过本地发现机制自动与其建立连接。LDP 同样支持与远端非直连的 LSR 建立会话，此时，需要手动指定 LDP 邻居。

在全局配置模式下，使用下面的命令指定非直连 LDP 邻居：

命令	目的
mpls ldp neighbor ip-addr targeted	指定 LDP 邻居 ip-addr：指定邻居的 IP 地址
no mpls ldp neighbor ip-addr targeted	删除 LDP 邻居

需要注意的是，配置非直连邻居之后，需要通过配置允许路由器接收 Targeted Hello 报文，使之可以与远端邻居建立会话。

可以使用 **show mpls ldp neighbor** 命令查看路由器与非直连 LDP 邻居之间的会话状态。

注释：
在没有全局启动 **mpls l2vpn** 的情况下，路由器可以与远端 LSR 建立并维持指定目标会话，但不会与其交互标签信息。

1.5.8 配置指定邻居发现机制参数

与本地邻居类似，LDP 同样支持一组参数对非直连会话的参数进行设置。

在全局配置模式下，使用下面的命令设置这些参数：

命令	目的
mpls ldp discovery targeted-hello accept	允许本地 LSR 处理 Targeted-hello 报文
mpls ldp discovery targeted-hello holdtime value	配置远端会话的 holdtime value：范围 1 – 65535 秒，默认 45 秒
mpls ldp discovery targeted-hello interval value	配置远端会话 targeted-hello 报文发送周期 value：范围 1 – 65535 秒，默认 15 秒

端口上发现的 target 邻居后，若在 target holdtime 超时前，仍然没有收到该邻居的 target hello 消息，则会将该邻居删除，并且中止和该邻居的 target LDP 会话。

target holdtime 时间过大，会导致 target LDP 过慢的检查出连接超时；若时间过短，则会因为链路上突发的流量导致 target hello 报文丢失时，引起 target LDP 中止会话。

1.5.9 配置会话保持时间

路由器与其它 LSR 建立会话之后，需要定时发送 Keepalive 报文以维持会话。在会话保持时间超时之前，即使没有收到 Keepalive 报文，LSR 仍然认为该会话有效。

在全局配置模式下，使用下面的命令配置会话保持时间：

命令	目的
mpls ldp holdtime value	配置 LDP 会话保持时间 value：1 – 65535，默认 60 秒。

在建立会话时，LSR 之间会商定使用 holdtime 的较小值作为有效值。

1.5.10 强制 Explicit-Null 标签

在默认情况下，对于本地直连路由，路由器会向上游 LSR 通告 Implicit-Null 标签以便于上游邻居在转发 mpls 报文时采用倒数第二跳弹出外层标签。若为了阻止进行倒数第二跳弹出外层标签，而采用 explicit null 标签交换外层标签，需要配置本命令。

注意：
如果希望启动路由器的 MPLS L2VPN 或 L3VPN 功能，请确保没有配置强制分发 Explicit-Null 标签功能。

在全局配置模式下，使用下面的命令强制路由器通告 Explicit-Null 标签：

命令	目的
mpls ldp explicit-null [for prefix-acl [to peer-acl]]	prefix-acl：对于符合指定的前缀地址列表，将用 explicit null 标签取代 implicit null 标签通知 LDP 上游邻居 peer-acl：将用 explicit null 标签取代 implicit null 标签通知指定的 LDP 上游邻居

若配置了 **mpls ldp explicit-null**，满足 prefix-acl 的直连路由将用 Explicit-Null 标签替代 Implicit-Null 标签，通告给满足 peer-acl 的上游邻居；若没有配置 prefix-acl，则所有的直连路由都将用 Explicit-Null 标签替代 Implicit-Null 标签。

1.5.11 配置 LDP 日志记录

LDP 支持通过日志的形式记录邻居的变动情况。 在全局配

置模式下，使用下面的命令启动 LDP 日志记录：

命令	目的
logging ip-addr	启动系统日志功能 ip-addr：日志服务器地址

mpls ldp logging neighbor-changes	启动 LDP 日志记录功能

1.5.12 查看 LDP 信息

在全局或端口配置模式下，使用下面的命令查看 LDP 信息：

命令	目的
show mpls ldp bindings [vrf name]	显示某个 VRF 中标签信息库中的内容
show mpls ldp discovery	显示运行了邻居发现机制的端口列表
show mpls ldp neighbor	显示 LDP 邻居的会话状态
show mpls ldp parameters	显示 LDP 当前参数

第 2 章 MPLS L2VPN 配置

2.1 MPLS L2VPN 概述

MPLS L2VPN 又被称为 VPLS（Virtual Private LAN Service），它提供基于 MPLS 网络的二层虚拟专用网服务。

路由器产品提供的 L2VPN 功能是以标签分发协议（LDP）作为信令协议的。

启动了 L2VPN 服务之后的路由器通常作为服务商边缘（PE）设备运行，一端连接到客户边缘设备（CE），另一端连接到服务商的 MPLS 核心，与其它服务商路由器（P）建立标签交换路径。在路由器中，标签交换路径的建立由软件控制层面完成，而报文的转发由数据层面实现。对于来自客户设备的报文，路由器自动为其添加 MPLS 标签栈，并将增加了标签栈的报文封装到新的以太网头部中，发往 LSP 的下一跳；对于来自 MPLS 网络的报文，路由器首先去掉其 MPLS 头部，然后根据原始报文的以太网信息进行转发。

2.2 MPLS L2VPN 相关概念

2.2.1 VFI

VFI（Virtual Forwarding Instance），即虚拟转发实例，在启动了 L2VPN 服务的路由器中起着桥接的作用，用来完成二层报文的转发。与通常意义上的路由器不同的是，VFI 不仅连接着普通的以太网端口，同样也连接着通往远端 VFI 的伪线路（PW）。

2.2.2 Pseudo-Wire

伪线路表示两个远程 VFI 之间的连接，它由一对单向的 MPLS 标签交换路径构成，因此，一条伪线路总是对应着两个虚电路标签：本地 PE 生成的 VC 标签和对端 PE 生成的 VC 标签。本地 VC 标签总是由接收到的 MPLS 报文携带，可以用来表示相应的 ILM 条目，对端 VC 标签总是在本地发送 MPLS 报文时使用，可以用来表示相应的 FTN 条目。

一条伪线路被建立起来的另一个必备条件是 LSP 的下一跳必须被确定。与下一跳对应的标签被称为隧道标签（Tunnel Label），在发送 MPLS 报文时，Tunnel Label 在 VC Label 之后被压入报文的标签栈，在到达 PW 倒数第二跳之前决定报文的走向。

2.2.3 无环路的 L2VPN 网络

VPLS 在点到多点模式下，要求所有的 PE 之间建立全网状（Full-Mesh）的连接，任意两个 PE 之间都存在一条 PW。在报文转发时，则使用了水平分割（Split-Horizon）的策略，PE 从 PW 上收到的广播报文将不再向 PW 转发。

说明：

路由器目前仅支持点到点模式的 MPLS L2VPN。

2.3 MPLS L2VPN 配置

2.3.1 MPLS L2VPN 配置任务列表

* 启动 MPLS L2VPN
* 创建 VFI
* VFI 与接口绑定
* 配置 VFI 接入端口
* 配置静态 VC 标签
* 查看 L2VPN 信息

2.3.2 启动 MPLS L2VPN

在全局配置模式下，使用下面的命令启动 L2VPN 功能：

命令	目的
mpls l2vpn	启动 L2VPN
no mpls l2vpn	关闭 L2VPN

2.3.3 创建 VFI

启动 L2VPN 功能之后，需要创建 VFI 并将其绑定端口，表示该端口将连接到客户设备。

在全局配置模式下，使用下面的命令创建一个 VFI：

命令	目的
mpls vfi vfi-name [ptop | vpls]	创建 VFI 并进入该 VFI 的配置模式 vfi-name：VFI 名称 ptop：表示该 VFI 是点到点模式，只有一个 远端邻居 vpls：表示该 VFI 是点到多点模式

进入 VFI 配置模式之后，可以使用下面的命令配置相关的参数：

命令	目的
pwid value	配置该 VFI 使用的虚电路号

neighbor peer-addr encapsulation mpls	指定 VFI 邻居 peer-addr：邻居 IP 地址

PW ID 表示该 VFI 在建立伪线路时使用的标识，每个 VFI 的 PW ID 不同，VFI 邻居之间必须使用相同的 PW ID 来标识同一个 VFI，否则 PW 无法建立。为 VFI 指定 PW ID 之后，该标识是不可以修改的，如果希望修改一个 VFI 的 PW ID，请将其删除之后重新创建。

需要注意的是，仅仅指定 VFI 的邻居并不能在两个 LSR 之间建立指定目标会话，还需要通过命令 **mpls ldp neighbor** 命令将 VFI 邻居指定为 LDP 邻居。

说明：
1.对于点到点模式的 VFI，只能为其指定一个邻居；
2.在多点模式下，需要为每个 PE 设备指定完整的 VFI 邻居列表，以形成全网状的连接。

2.3.4 VFI 与接口绑定

请注意：
路由器，在绑定了 **VFI** 的接口上配置 **IP** 地址是无效的。

创建 VFI 之后，需要将其绑定端口，表示该端口用来连接客户设备。

在 VLAN 端口配置模式下，使用下面的命令绑定一个 VFI：

命令	目的
mpls l2vpn vfi vfi-name	将 VFI 绑定到端口 vfi-name：绑定的 VFI 名称

说明：
点对点模式的 VFI 与端口之间是一对一的关系，一个 VFI 只能绑定一个端口。

2.3.5 配置静态 VC 标签

与 MPLS 相同，L2VPN 也支持静态的转发信息设置。 在全局

配置态下，使用下面的命令为 VFI 配置静态转发信息：

命令	目的
mpls static vfi vfi-name incoming-label output peer-addr outgoing-label	配置静态 VFI ILM 条目 vfi-name：VFI 名称 incoming-label：入标签，配置范围为静态标签范围 peer-addr：VFI 邻居地址 outgoing-label：出标签，范围 16 - 1048575

注释：
一条静态 VFI 条目用来表示一条 PW 连接，incoming-label 与 outgoing-label 分别表示本地与对端使用的 VC 标签。静态 VFI 条目只有在 PW 的下一跳有效时才生效。

2.3.6 查看 L2VPN 信息

在全局配置模式和端口配置模式下，使用下面的命令查看 MPLS L2VPN 的信息：

命令	目的
show mpls forwarding-table pwid value	显示标签转发信息库中符合指定伪线路号的 ILM 信息，value 的取值范围为 1～4294967295
show mpls ftn-table vfi vfi-name	查看指定 VFI 中的转发条目 vfi-name：VFI 名称
show mpls ldp bindings vfi vfi-name	查看与指定 VFI 关联的标签绑定信息
show mpls l2vpn vfi	查看所有 vfi 的状态信息
show mpls l2vpn pw [pwid | neighbor peer-addr | interface interface-name | detail]	查看 PW 信息 pwid：指定 PW ID； neighbor peer-addr：指定邻居； interface interface-name：端口类型和名称 detail：PW 详细信息

2.4 MPLS L2VPN 配置示例

2.4.1 点到点 L2VPN 配置示例

一个典型的点到点 MPLS L2VPN 网络如下图所示：

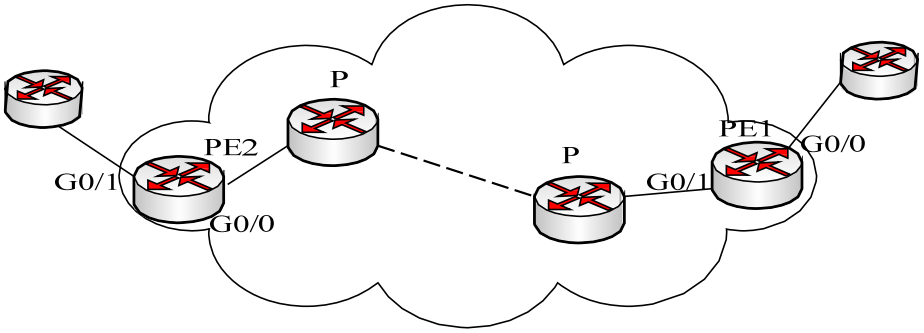

图 2.1 点到点 MPLS L2VPN

其中 PE1 的配置如下：

（1）端口配置

```
router_config# interface g0/1
router_config_g0/1# ip address 91.0.0.1 255.0.0.0
router_config_g0/1# exit
```

（2）创建回环端口作为 LSR ID

```
router_config# interface loopback 1
router_config_l1# ip addr 101.0.0.1 255.0.0.0
```

（3）MPLS 配置

```
router_config# mpls ip
router_config# interface g0/1
router_config_ g0/1# mpls ip
```

（4）LDP 配置

```
router_config# mpls ldp router-id 101.0.0.1
router_config# mpls ldp discovery targeted-hello accept
router_config# mpls ldp neighbor 102.0.0.1 targeted
router_config# interface g0/1
router_config_ g0/1# mpls ldp enable
```

（5）MPLS L2VPN 配置

```
router_config# mpls l2vpn
router_config# mpls vfi vpn-red ptop
router_config_vfi_vpn-red# pwid 200
router_config_vfi_vpn-red# neighbor 102.0.0.1 encapsulation mpls
router_config_vfi_vpn-red# exit
router_config# interface g0/0（此处 g0/0 连接客户）
router_config_ g0/2# mpls l2vpn vfi vpn-red
router_config_ g0/2#exit
```

（6）路由协议配置

```
router_config# router rip
router_config_rip# version 2
router_config_rip# network 101.0.0.0
router_config_rip# network 91.0.0.0
router_config_rip# exit
```

PE2 的配置清单如下（PE2 show running-config）：

```
mpls ip
mpls ldp discovery targeted-hello accept
mpls ldp neighbor 101.0.0.1 targeted
mpls ldp router-id 102.0.0.1
!
mpls l2vpn
mpls vfi vpn-red ptop
```

```
  pwid 200
  neighbor 101.0.0.1 encapsulation mpls
!
interface loopback 1
  ip address 102.0.0.1 255.0.0.0
!
interface GigaEthernet0/0
  ip address 92.0.0.1 255.0.0.0
  mpls ip
  mpls ldp enable
!
interface GigaEthernet0/1
  no ip address
  mpls l2vpn vfi vpn-red
!
router rip
  version 2
  network 102.0.0.0
  network 92.0.0.0
```

第 3 章 MPLS L3VPN 配置

3.1 MPLS L3VPN 概述

MPLS L3VPN 也可称为 MPLS BGP VPN，它是 MPLS 与 VRF 技术的一种结合运用。

通常，一个 VPN 包含一组客户网络，它们在服务商路由器上共享一个公共的路由表。每个客户网络都与服务商网络设备的接口连接，服务商设备则将每个接口关联到一个 VPN 路由表。一个 VPN 路由表也被称为一个 VRF（VPN Routing/Forwarding table）。

MPLS L3VPN 网络主要由三种类型的设备组成：客户边缘路由器 CE，服务商边缘路由器 PE 以及服务商路由器 P。

CE 设备在客户网络的边缘连接着 PE，CE 与 PE 之间通过动态协议或静态配置建立路由，CE 设备不需要支持 VRF。

PE 设备可以同时连接着不同客户网络的 CE 设备，并通过配置 VRF，将不同客户网络的路由分配到不同的 VPN 路由表，PE 设备之间通过 MP-BGP 协议互相学习 VRF 路由，同时 MP-BGP 协议为每条 VRF 路由分配一个 VPN 标签。

服务商网络的内部不需要部署 VRF，因而 P 设备并不了解客户网络的路由状况。P 与 PE 设备之间通过运行标签分发协议（LDP）建立动态的 LSP，客户网络的报文在服务商网络中被封装为 MPLS 形式转发。

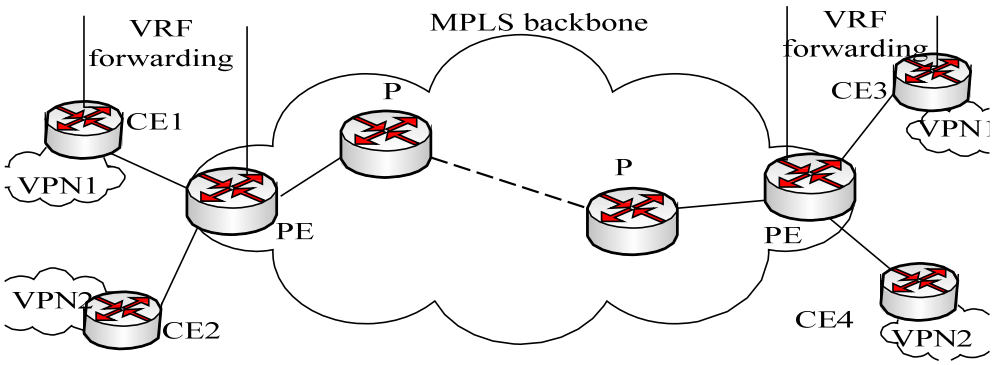

图 3.1 MPLS VRF VPN

在转发过程中，客户网络的报文首先从 CE 设备到达 PE 设备的一个接口，PE 设备根据该接口的 VRF 配置找到相应的 VRF 路由表，然后根据客户报文的目的 IP 地址查找路由。在 PE 间 MP-BGP 会话已经建立的情况下，PE 查找到客户报文需要被转发到远端的 PE，则首先将 MP-BGP 生成的 VPN 标签添加到客户报文的 IP 头部之前，然后，PE 查找对端 PE 在 LSP 的真实下一跳路由器（P），并将下一跳标签添加到 VPN 标签之外。从 PE 到倒数第二跳 P 设备的过程中，客户报文 IP 头部之前始终存在 VPN 标签和隧道标签。到达倒数第二跳 P 设备后，P 设备去掉报文的外层标签，然后将带有 VPN 标签的报文转发给目标 PE；最后，目标 PE 设备根据 VPN 标签，将客户报文转发给 CE。

随着 VPN 网络规模的扩大，单个 PE 的路由维护负担过重，容易形成处理上的瓶颈，为此引入分层 PE，讲一个 PE 的处理功能分担在多个不同层次的 PE 上完成。在分层 PE 解决方案中，PE 设备所连接 的设备不仅是 CE 设备，也可以是 PE 设备。互联的 PE 形成一种层次关系，直接连接 CE 设备的 PE 称为底层 PE(UPE)，连接 PE 的 PE 路由器称为上层 PE（SPE）。UPE 维护其直接连接的 VPN 站点的路由，但不维护 VPN 中其他远程站点的路由或仅维护它们的聚合路由；SPE 维护其通过 UPE 所连接的站点的 VPN 中所有的路由，包括本地和远程站点中的路由。UPE 和 SPE 之间可以使用 IBGP，也可以使用 EBGP。

运营商的网络可以构成一个 VPN，拥有自己的对端和路由策略，此时可以从其他运营商购买骨干网络业务，并向自己的客户提供 VPN 业务。 BSR 路由作为 CE 可以支持 MPLS，在 VPN 中运行 MPLS，实现 PE 嵌套，达到前述目标。

如果一个 VPN 的两个站点位于不同的自治系统之内，相应的 PE 路由之间、PE 与路由发射器之间就无法使用 IBGP 连接来分发 VPN-IPv4 路由，这时必须使用 EBGP 来在自治系统之间分发 VPN-IPv4 路由。 BSR 路由器支持三种跨自治系统 VPN 的解决方案：ASBR 之间只用 VRF-to-VRF 连接；使用 EBGP 在域间分发标记 VPN-IPv4 路由；多跳 EBGP 分发标记 VPN-IPv4 路由。

说明：路由器只有 BSR 路由支持跨域 MPLS VPN。其他系列路由产品目前还不支持此功能。

3.2 MPLS L3VPN 配置

3.2.1 MPLS L3VPN 配置任务列表

* 配置 MPLS
* 配置 LDP
* 配置 VRF
* 配置 VPN 路由
* 配置 PE 与 P 设备之间路由
* 配置 PE 间 BGP 路由

3.2.2 配置 MPLS

参见下面的步骤，首先启动路由器的 MPLS 功能：

命令	目的
Router# **configure**	进入路由器全局配置模式。
Router_config# **mpls ip**	全局启动 MPLS。

Router_config# **interface** *intf-name*	进入接口配置模式。
Router_config_intf# **mpls ip**	启动接口的 MPLS 功能。
Router_config_intf# **exit**	退出接口配置模式。
Router_config# **show mpls interface**	查看 MPLS 接口状态。

3.2.3 配置 LDP

参见下面的步骤，启动路由器的 LDP 功能：

命令	目的
Router# **configure**	进入路由器全局配置模式。
Router_config# **mpls ldp router-id** *A.B.C.D*	配置 LDP 的路由器标识。
Router_config# **interface** *intf-name*	进入接口配置模式。
Router_config_intf# **mpls ldp enable**	在接口启动 LDP。
Router_config_intf# **exit**	退出接口配置模式。

3.2.4 配置 VRF

配置一个或多个 VRF，并将三层接口绑定到 VRF。

命令	目的
Router# **configure**	进入路由器配置模式。
Router_config# **ip vrf** *vrf-name*	创建 VRF，并进入 VRF 配置模式。 vrf-name：VRF 名称，最多 16 个字符。
Router_config_vrf# **rd** *route-distinguisher*	制定 VRF 的路由区分符。 route-distinguisher：路由区分符，由自治域号与任意数字组成，或 IP 地址与任意数字组成。
Router_config_vrf# **route-target** **{ export | import | both }** *route-target-extened-community*	创建 VRF 的输入和输出目标 VPN 扩展属性。 route-target-extended-community：由自治域号与任意数字组成，或 IP 地址与任意数字组
Router_config_vrf# **interface** *intf-name*	进入端口配置模式。 intf-name：端口名称。
Router_config_intf# **ip vrf forwarding** *vrf-name*	将接口与 VRF 关联。 vrf-name：VRF 名称。
Router_config_intf# **exit**	退出端口配置模式。
Router_config# **show ip vrf**	查看 VRF 信息。

[brief | detail | interface] [*vrf-name* **]**	
Router_config# **no ip vrf** *vrf-name*	删除已配置的 VRF 以及该 VRF 与三层接口 的关联。 vrf-name：VRF 名称。
Router_config_intf# **no ip vrf forwarding** **[** *vrf-name* **]**	删除三层接口与 VRF 的关联。

3.2.5 配置 VPN 路由

VPN 路由是指 PE 与 CE 设备之间的路由，本文中以 OSPF 协议的配置为例，其它路由协议，如 RIP，BEIGRP 等与之类似。

参见下面的步骤，在 PE 与 CE 之间建立 VPN 路由：

命令	目的
Router# **configure**	进入路由器配置模式。
Router_config# **router ospf** *process-id* **vrf** *vrf-name*	启动 OSPF-VRF 路由，并进入配置模式。
Router_config_ospf# **network** *network-number network-mask* **area** *area-id*	定义 OSPF 网络，掩码以及区域 ID
Router_config_ospf# **redistribute bgp** *ASN*	将指定 BGP 网络信息转入 OSPF 网络。
Router_config_ospf# **exit**	退出 OSPF 配置模式。
Router_config# **show ip ospf**	查看 OSPF 协议信息。
Router_config# **no router ospf** *process-id*	删除 OSPF-VRF 路由配置。

3.2.6 配置 PE 与 P 设备之间路由

PE 与 P 设备之间可以通过 OSPF，RIP，BEIGRP 等动态路由协议建立路由，也可配置静态路由。此处以 OSPF 协议为例。

命令	目的
Router# **configure**	进入路由器配置模式。
Router_config# **router ospf** *process-id*	启动 OSPF-VRF 路由，并进入配置模式。
Router_config_ospf# **network** *network-number network-mask* **area** *area-id*	定义 OSPF 网络，掩码以及区域 ID
Router_config_ospf# **exit**	退出 OSPF 配置模式。
Router_config# **show ip ospf**	查看 OSPF 协议信息。
Router_config# **no router ospf** *process-id*	删除 OSPF-VRF 路由配置。

3.2.7 配置 PE 间 BGP 路由

参见下面的步骤，在 PE 之间建立 MP-BGP：

命令	目的
Router# **configure**	进入路由器配置模式。
Router_config# **router bgp** *autonomous-system-number*	通过指定自治域号启动 BGP 路由协议，并 进入 BGP 协议配置模式。
Router_config_bgp# **bgp log-neighbor-changes**	启动 BGP 邻居变化日志记录。
Router_config_bgp# **neighbor** *address* **remote-as** *ASN*	配置 BGP 邻居以及邻居的自治域号。
Router_config_bgp# **neighbor** *address* **update-source** *intf-name*	配置连接 BGP 邻居使用的接口。
Router_config_bgp# **address-family vpnv4**	进入 BGP VPN 配置模式。
Router_config_bgp_vpnv4# **neighbor** *address* **activate**	在 VPNV4 中激活邻居。
Router_config_bgp_vpnv4# **bgp redistribute-internal**	将 VPNV4 路由转入内部网关路由协议。
Router_config_bgp_vpnv4# **exit-address-family**	退出 VPNV4 配置模式。
Router_config_bgp# **address-family ipv4 vrf** *vrf-name*	进入 VRF address-family 配置模式。
Router_config_bgp_af# **bgp redistribute-internal**	将 VRF 路由转入内部网关路由协议。
Router_config_bgp_af# **redistribute ospf** *ospf-process-id*	将 OSPF 路由信息转入 BGP 网络。
Router_config_bgp_af# **network** *network-number* / *prefix-len*	配置 BGP 发布的网络号和掩码长度。
Router_config_bgp_af# **exit-address-family**	退出 VRF address-family 配置模式。
Router_config_bgp# **exit**	退出 BGP 配置模式。
Router_config# **show ip bgp vpnv4 [* | all | rd | vrf]**	查看 BGP-VRF 路由信息以及标签状态。

3.3 MPLS L3VPN 配置示例

如下图所示是一个简单的 MPLS L3VPN 网络，其中各设备的配置列举如下。

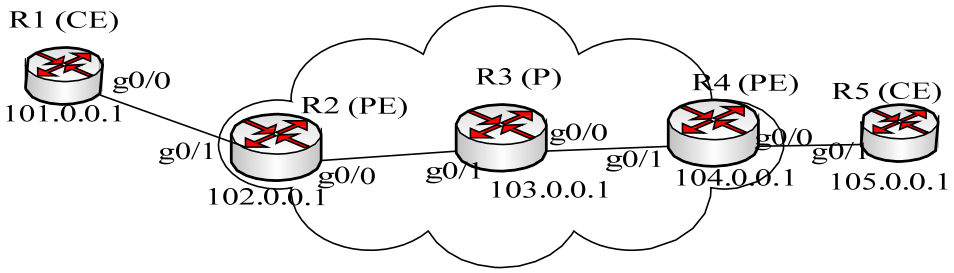

图 3.2 MPLS L3VPN 示例网络

3.3.1 配置 R1（CE）

1. 配置回环端口

```
R1_config# interface Loopback0
R1_config_l0# ip address 101.0.0.1 255.255.255.255
R1_config_l0# exit
```

2. 配置物理端口

```
R1_config# interface g0/0
R1_config_g0/2# ip address 92.0.0.1 255.0.0.0
R1_config_g0/2# exit
```

3. 配置 OSPF 路由协议

```
S1_config# router ospf 1
S1_config_ospf_1# network 92.0.0.0 255.0.0.0 area 0
S1_config_ospf_1# network 101.0.0.1 255.255.255.255 area 0
S1_config_ospf_1# exit
```

3.3.2 配置 R2（PE）

1. 配置全局 MPLS

```
R2_config# mpls ip
```

2. 配置 LDP 全局属性

```
R2_config# mpls ldp router-id 102.0.0.1
```

3. 创建 VRF

```
R2_config# ip vrf vpn1
R2_config_vrf_vpn1# rd 100:1
R2_config_vrf_vpn1# route-target export 100:1
R2_config_vrf_vpn1# route-target import 100:1
R2_config_vrf_vpn1# exit
```

4. 创建回环端口

```
R2_config# interface Loopback0
R2_config_l0# ip address 102.0.0.1 255.255.255.255
R2_config_l0# exit
```

5. 配置物理接口

```
R2_config# interface g0/1
R2_config_g0/0# ip vrf forwarding vpn1
R2_config_ g0/0# ip address 92.0.0.2 255.0.0.0
R2_config_ g0/0# exit
R2_config# interface g0/0
R2_config_ g0/1# ip address 93.0.0.1 255.0.0.0
R2_config_ g0/1# mpls ip
R2_config_ g0/1# mpls ldp enable
R2_config_ g0/1# exit
```

6. 配置 PE 与 P 之间 OSPF 路由

```
R2_config# router ospf 1
R2_config_ospf_1# network 93.0.0.0 255.0.0.0 area 0
R2_config_ospf_1# network 102.0.0.1 255.255.255.255 area 0
R2_config_ospf_1# exit
```

7. 配置 PE 与 CE 间 VPN 路由

```
R2_config# router ospf 2 vrf vpn1
R2_config_ospf_2# network 92.0.0.0 255.0.0.0 area 0
R2_config_ospf_2# redistribute bgp 1
R2_config_ospf_2# exit
```

8. 配置 MP-BGP

```
R2_config# router bgp 1
R2_config_bgp# bgp log-neighbor-changes
R2_config_bgp# neighbor 104.0.0.1 remote-as 1
R2_config_bgp# neighbor 104.0.0.1 update-source Loopback0
R2_config_bgp#
R2_config_bgp# address-family vpnv4
```

```
R2_config_bgp_vpnv4# neighbor 104.0.0.1 activate
R2_config_bgp_vpnv4# bgp redistribute-internal
R2_config_bgp_vpnv4# exit-address-family
R2_config_bgp#
R2_config_bgp# address-family ipv4 vrf vpn1
R2_config_bgp_vpn1# no synchronization
R2_config_bgp_vpn1# bgp redistribute-internal
R2_config_bgp_vpn1# redistribute ospf 2
R2_config_bgp_vpn1# exit-address-family
R2_config_bgp# exit
```

3.3.3 配置 R3（P）

1. 配置全局 MPLS 及 LDP

```
R3_config# mpls ip
R3_config# mpls ldp router-id 103.0.0.1
```

2. 配置回环端口

```
R3_config# interface Loopback0
R3_config_l0# ip address 103.0.0.1 255.255.255.255
R3_config_l0# exit
```

3. 配置物理接口

```
R3_config# interface g0/1
R3_config_ g0/0# ip address 93.0.0.2 255.0.0.0
R3_config_ g0/0# mpls ip
R3_config_ g0/0# mpls ldp enable
R3_config_ g0/0# exit
```

4. 配置 OSPF 路由

```
R3_config# router ospf 1
R3_config_ospf_1# network 93.0.0.0 255.0.0.0 area 0
R3_config_ospf_1# network 103.0.0.1 255.255.255.255 area 0
R3_config_ospf_1# exit
```