目录

第 1 章 基本管理操作

1.1 交换机管理

1.1.1 管理方式

用户购买到交换机设备后，需要对交换机进行配置，从而实现对网络的管理。交换机为用户提供了两种管理方式：带外管理和带内管理。

1.1.1.1 带外管理

带外管理即通过 Console 进行管理，通常情况下，在首次配置交换机或者无法进行带内管理时，用户会使用带外管理方式。例如：用户希望通过远程 Telnet 来访问交换机时，必须首先通过 Console 给交换机配置一个 IP 地址。

用户用 Console 管理的步骤如下：

第一、搭建环境：

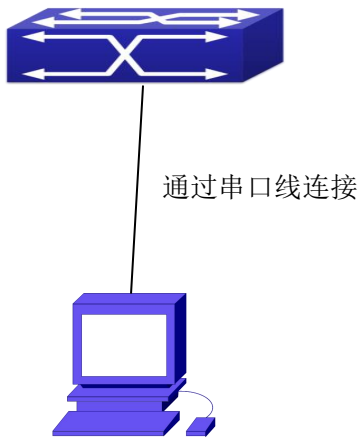


图 1-1 交换机 Console 管理配置环境

按照图 1-1 所示，将 PC 的串口（RS-232 接口）和交换机随机提供的串口线连接，下面是连接中用到的设备说明：

设备名称	说明
PC 机	有完好的键盘和 RS-232 串口，并且安装了终端仿真程序，如 Windows 系统自带超级终端等。
串口线	一端与 PC 机的 RS-232 串口相连；另一端与交换机的 Console 相连。

交换机	有完好的 Console。

第二、进入超级终端：

连接成功后，打开 Windows 系统自带超级终端。下面是打开 Windows XP 自带超级终端的示例。

1）点击超级终端：

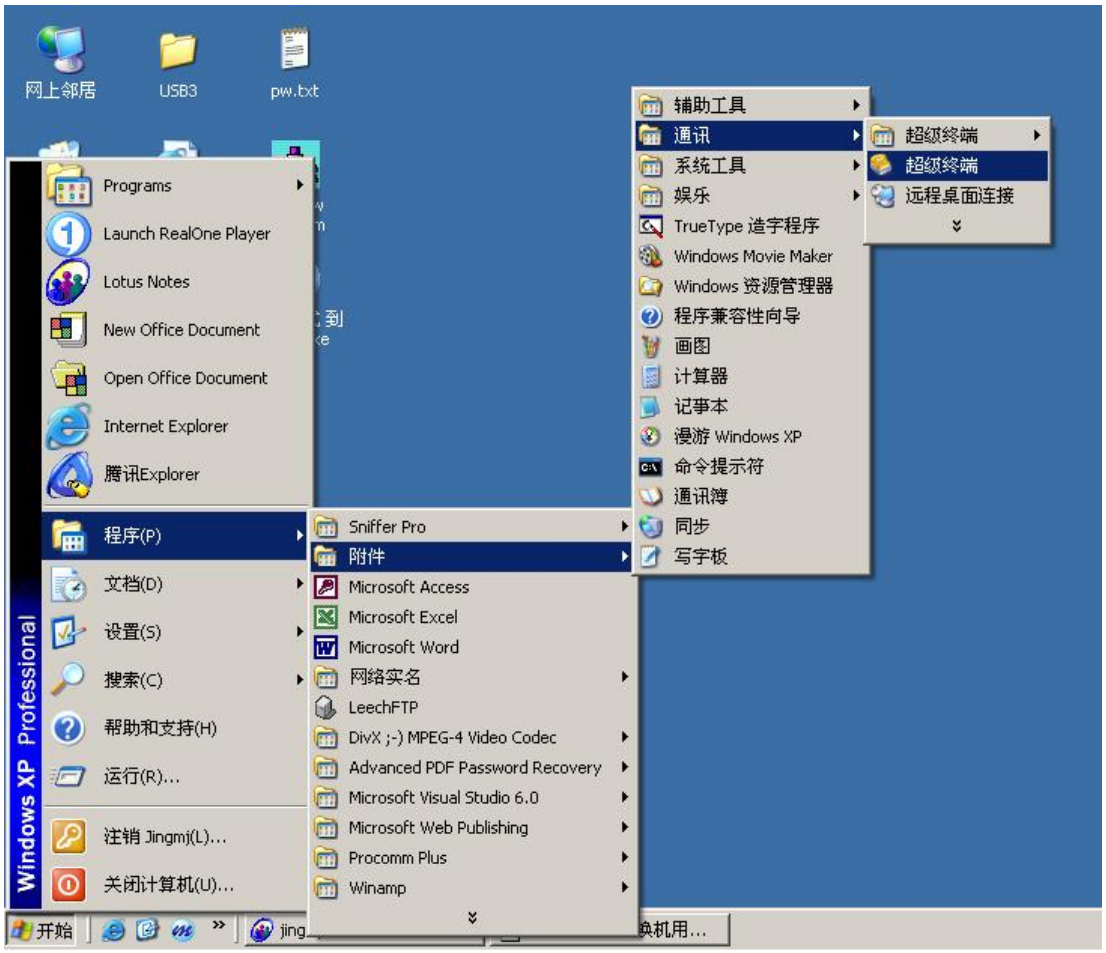


图 1-2 打开超级终端一

2）在“名称”处填入打开超级终端的名称，例如把它定义为“Switch”：

图 1-3 打开超级终端二

3）在“连接时使用”处，选择 PC 机使用的 RS-232 串口，如连接的是串口 1，则选择串口 1，点击确定按钮：

图 1-4 打开超级终端三

4）出现 COM1 属性，波特率选择“115200”，数据位选择“8”，奇偶校验选择“无”，停止位选择“1”，数据流控制选择“无”；或者直接点击“还原默认值”后，点击确定按钮：

图 1-5 打开超级终端四

5）出现超级终端的配置界面：

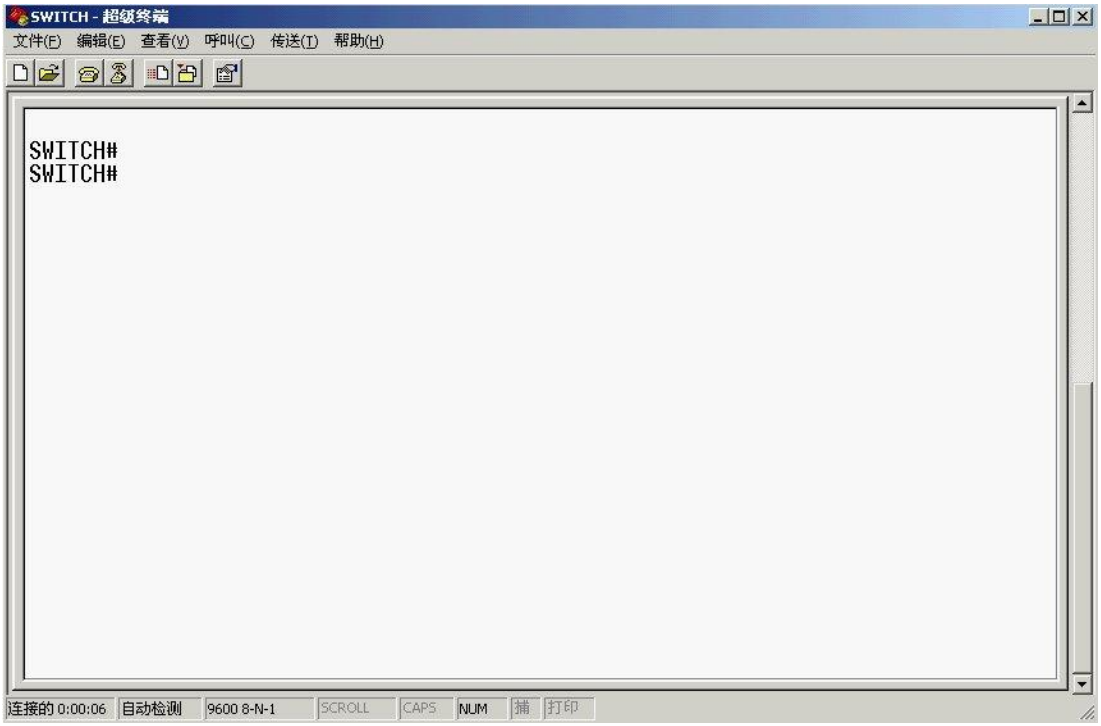


图 1-6 打开超级终端五

第三、进入交换机 CLI 界面：

打开交换机的电源开关。在超级终端的配置界面上出现了如下提示，进入到交换机的

CLI 配置方式：

switch>

接下来用户可以输入相关命令进行管理，命令详见具体章节。

1.1.1.2 带内管理

所谓带内管理（In-band management），包括通过 Telnet 程序登录到交换机，或者通过 HTTP 协议访问交换机，或者通过神州数码网络（北京）有限公司自主研发的 snmp 网管软件对交换机进行配置管理。交换机提供带内管理方式可以使连接到交换机中的某些设备具备管理交换机的功能。当交换机的配置出现变更，导致带内管理失效时，可以使用带外管理对交换机进行配置管理。

1.1.1.2.1 通过 Telnet 管理交换机

通过 Telnet 管理交换机要具备的条件：

1) 交换机配置 IPv4/IPv6 地址；
2) 作为 Telnet 客户端的主机 IP 地址与其所属交换机的 VLAN 接口的 IPv4/IPv6 地址在相同网段；
3) 若不满足 2），则 Telnet 客户端可以通过路由器等设备到达交换机某个 IPv4/IPv6 地址。

本交换机是三层交换机，可以配置多个 IPv4/IPv6 地址，配置方法见配置交换机的 IP 地址相关章节。下面以交换机出厂时的情况举例，系统只有 VLAN1 存在。

以下是 Telnet 客户端 Telnet 到交换机的 VLAN1 接口的步骤（以 IPv4 地址为例)：

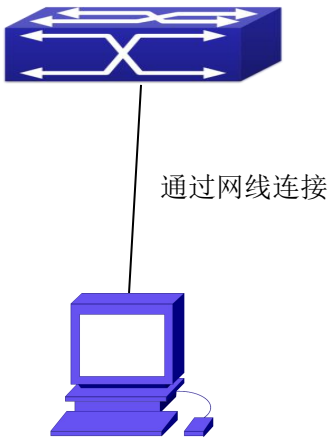


图 1-7 通过 Telnet 管理交换机

第一：配置交换机 IP 地址，并且启动交换机的 Telnet Server 功能。

首先配置主机的 IP 地址，要与交换机的 VLAN1 接口 IP 地址在同一个网段。如交换机的 VLAN1 接口 IP 地址为 10.1.128.251/24，则可以设置主机的 IP 地址为 10.1.128.252/24。在主机上执行“ping 10.1.128.251”命令，显示是否 ping 通；若 ping 不通，则检查原因。

下面简单介绍交换机 VLAN1 接口的 IP 地址配置命令，在进行带内管理之前，必须通

过带外管理即 Console 方式配置交换机的 IP 地址，配置命令如下（以后如不特殊说明，所有的交换机配置时的提示符均采用 Switch）：

Switch>

Switch>enable

Switch#config

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.128.251 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)#no shutdown

然后在 Console 的全局配置模式下使用命令 **telnet-server enable** 启动 Telnet Server 功能。配置如下：

Switch>enable

Switch#config

Switch(config)# telnet-server enable

第二：运行 Telnet 客户端程序。

运行 Windows 自带的 Telnet 客户端程序，并且指定 Telnet 的目的地址。

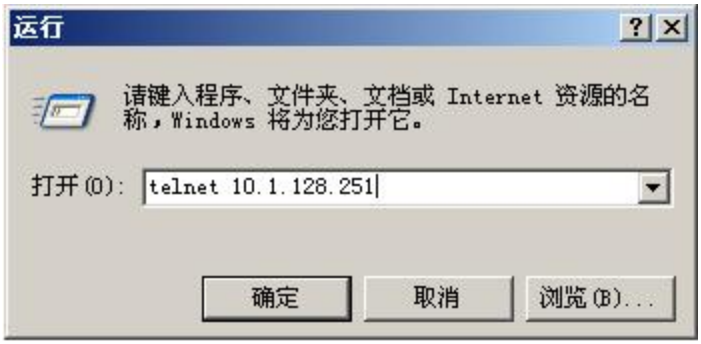


图 1-8 运行 Windows 自带的 telnet 客户端程序

第三：登录交换机。

登录到 Telnet 的配置界面，需要输入正确的用户名和口令，否则交换机将拒绝该 Telnet 用户的访问。该项措施是为了保护交换机免受非授权用户的非法操作。若交换机没有设置授权 Telnet 用户，则任何用户都无法进入交换机的 Telnet 配置界面。因此在允许 Telnet 方式配置管理交换机时，必须在 Console 的全局配置模式下使用命令 **username *<username>* privilege *<privilege>* [password (0 | 7) *<password>*]** 为交换机设置 Telnet 授权用户和口令并使用命令 **authentication line vty login local** 打开本地验证方式，其中 privilege 选项必须存在且为 15。如交换机的授权用户名为 test，口令为明文的 test，设置方式如下：

Switch>enable

Switch#config

Switch(config)#username test privilege 15 password 0 test

Switch(config)#authentication line vty login local

在 Telnet 配置界面上输入正确的用户名和口令，Telnet 用户就可成功的进入到交换机的 CLI 配置界面。Telnet 登录后与通过 Console 进入后使用的命令完全一致。

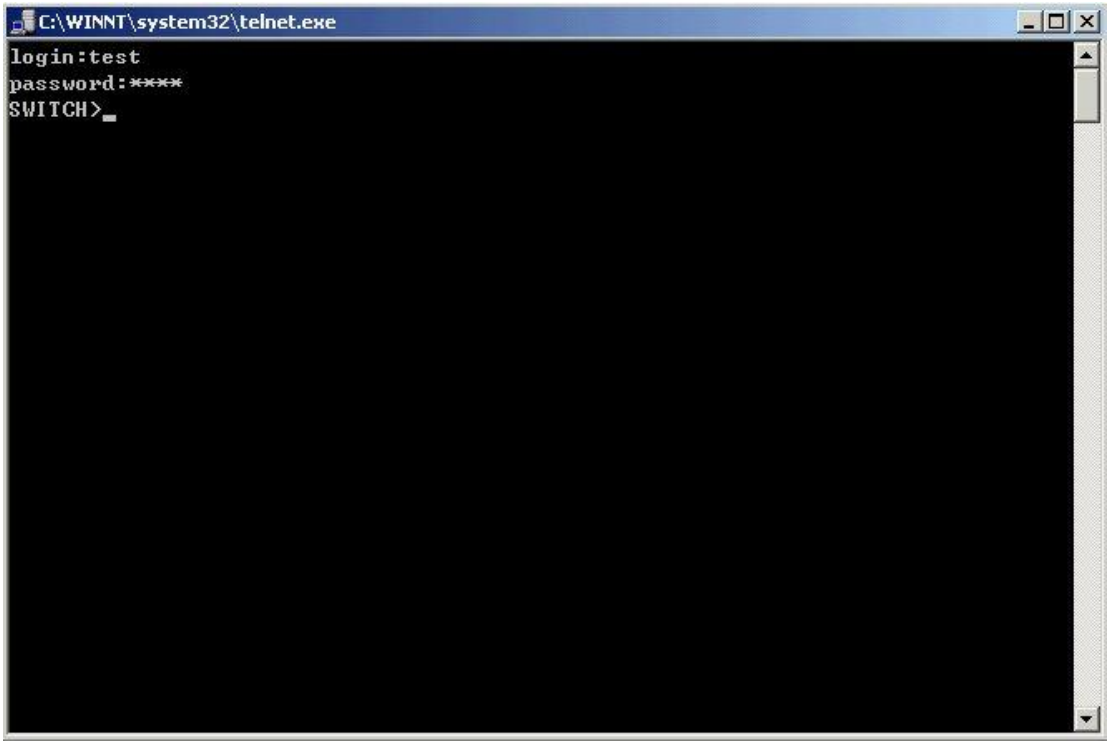


图 1-9 Telnet 配置界面

1.1.1.2.2 通过 HTTP 管理交换机

通过 HTTP 管理交换机要具备的条件：

交换机配置 IPv4/IPv6 地址；

作为客户端的主机 IPv4/IPv6 地址与其所属交换机的 VLAN 接口的 IPv4/IPv6 地址在相同网段；

若不满足 2），则客户端可以通过路由器等设备到达交换机某个 IPv4/IPv6 地址。

与 Telnet 用户登录交换机类似，只要主机能够 ping/ping6 通交换机的 IPv4/IPv6 地址，并且输入正确的登录口令，该主机就可通过 HTTP 访问交换机。步骤如下：

第一：配置交换机的 IP 地址，并且启动交换机的 HTTP Server 功能。

通过带外管理配置交换机 IP 地址，参见通过 telnet 管理交换机一节。

在 Console 的全局配置模式下使用命令 **ip http server** 启动 HTTP Server 功能，使能 Web 配置。配置如下：

Switch>enable

Switch#config

Switch(config)#ip http server

第二：在配置主机上运行 HTTP 协议。

在主机上运行 Web 浏览器，在地址栏处输入交换机的 IP 地址，或直接运行 Windows 的 HTTP 协议，比如交换机的 IP 地址为“10.1.128.251”；

图 1-10 执行 HTTP 协议

在使用 IPv6 地址访问交换机时，推荐使用浏览器 Firefox，版本在 1.5 以上，比如交换机的 IPv6 地址为 3ffe:506:1:2::3，在地址处输入交换机的 IPv6 地址 http://[3ffe:506:1:2::3]，地址需要用方括号括起来。

第三：Web 访问交换机。

登录到 Web 的配置界面，需要输入正确的用户名和口令，否则交换机将拒绝该 HTTP 访问。该项措施是为了保护交换机免受非授权用户的非法操作。若交换机没有设置授权 Web 用户，则任何用户都无法进入交换机的 Web 配置界面。因此在允许 Web 方式管理交换机时，必须在 Console 方式下的全局配置模式下使用命令 **username *<username>* privilege *<privilege>* [password (0 | 7) *<password>*]** 为交换机设置 Web 授权用户和口令并使用命令 **authentication line web login local** 打开本地验证方式，其中 privilege 选项必须存在且为 15。如交换机的授权用户名为 admin，口令为明文的 admin，设置方式如下：

Switch>enable

Switch#config

Switch(config)#username admin privilege 15 password 0 admin

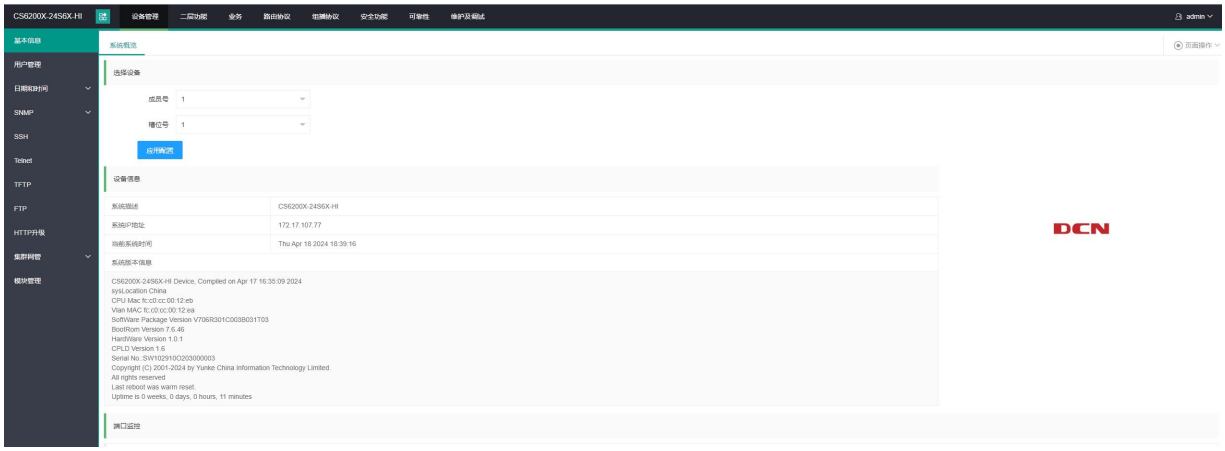
Switch(config)#authentication line web login local

下面是 switch 的 Web 配置的登录界面：

图 1-11 Web 登录界面

输入正确的用户名和密码，进入交换机的 Web 配置主界面。

图 1-12 Web 配置界面



注意：通过 Web 配置交换机名称时，交换机名称由英文字母构成。

1.1.1.2.3 通过 snmp 网管软件管理交换机

通过 snmp 网管软件管理交换机要具备的条件：

1) 交换机配置 IP 地址；

2) 作为客户端的主机 IP 地址与其所属交换机的 VLAN 接口的 IP 地址在相同网段；

3) 若不满足 2），则客户端可以通过路由器等设备到达交换机某个 IP 地址；

4) 开启了 snmp 功能。

安装 snmp 网管软件的主机必须能 ping 通交换机的 IP 地址，这样在运行 Snmp 网管软件时，Snmp 网管软件就能找到交换机设备，并且对其进行可读写的操作。具体如何通过 Snmp 网管软件管理交换机在本手册中不做介绍，请参看《Snmp 网管软件用户手册》。

1.1.2 CLI 界面

交换机为用户提供了三种管理界面：CLI（Command Line Interface 命令行）界面、Web 界面和 Snmp 网管软件。我们将对 CLI 界面做详细的介绍，Web 界面与 CLI 界面功能相似，就略去不介绍了 ，Snmp 网管软件请参看《Snmp 网管软件用户手册》。

用户对 CLI 界面并不陌生，前面我们提到的 Console 管理方式、Telnet 登录到交换机都是通过 CLI 界面对交换机进行配置管理的。

CLI 界面由 Shell 程序提供，它是由一系列的配置命令组成的，根据这些命令在配置管理交换机时所起的作用不同，Shell 将这些命令分类，不同类别的命令对应着不同的配置模式。下面将介绍交换机的 Shell 的特点：

配置模式

配置语法

快捷键

帮助功能

对输入的检查

支持不完全匹配

1.1.2.1 配置模式介绍

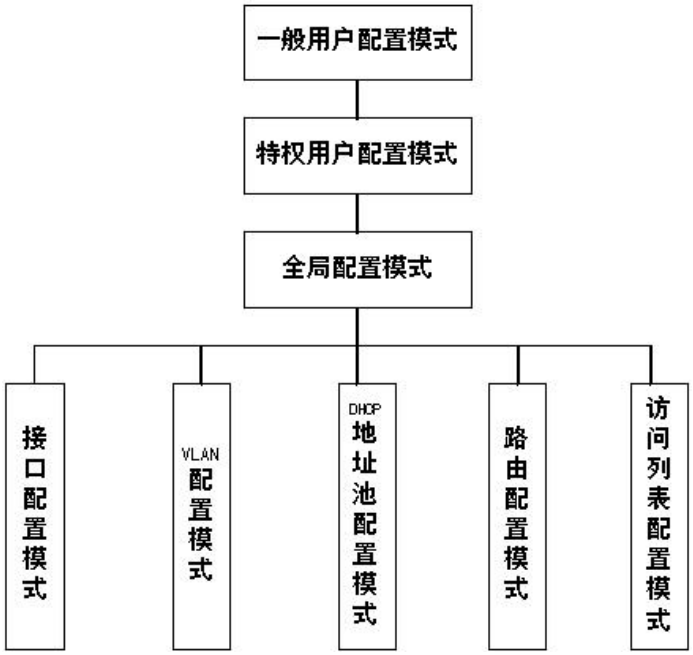


图 1-13 交换机的 Shell 配置模式

1.1.2.1.1 一般用户模式

用户进入 CLI 界面，首先进入的就是一般用户模式，提示符为“**Switch>**”，符号“>”为一般用户模式的提示符。当用户从特权用户模式使用命令 **exit** 退出时，可以回到一般用户模式。

1.1.2.1.2 特权用户模式

在一般用户模式使用 **enable** 命令，如果已经配置了进入特权用户的口令，则输入相应的特权用户口令，即可进入特权用户模式“**Switch#**”。当用户从全局配置模式使用 **exit** 退出时，也可以回到特权用户模式。另外交换机提供“Ctrl+z”的快捷键，使得交换机在任何配置模式（一般用户模式除外），都可以退回到特权用户模式。

在特权用户模式下，用户可以查询交换机配置信息、各个端口的连接情况、收发数据统计等。而且进入特权用户模式后，可以进入到全局模式对交换机的各项配置进行修改，因此进入特权用户模式后必须要设置特权用户口令，防止非特权用户的非法使用，对交换机配置进行恶意修改，造成不必要的损失。

1.1.2.1.3 全局配置模式

进入特权用户模式后，只需使用命令 **config**，即可进入全局配置模式“**Switch(config)#**”。当用户在其他配置模式，如接口配置模式、VLAN 配置模式时，可以使用命令 **exit** 退回到全局配置模式。

在全局配置模式，用户可以对交换机进行全局性的配置，如对 MAC 地址表、端口镜像、创建 VLAN、启动 IGMP Snooping、STP 等。用户在全局配置模式还可通过命令进入到接口配置模式对各个接口进行配置。

接口配置模式

在全局配置模式，使用命令 **interface** 就可以进入到相应的接口配置模式。交换机操作系统提供了三种端口类型：1.VLAN 接口；2.以太网端口；3.port-channel，因此就有三种接口的配置模式。

接口类型	进入方式	可执行操作	退出方式
VLAN 接口	在全局配置模式下，输入命令 **interface vlan *<Vlan-id>***。	配置交换机的 IP 等。	使用 **exit** 命令即可退回全局配置模式。
以太网端口	在全局配置模式下，输入命令 **interface ethernet *<interface-list>***。	配置交换机提供的以太网接口的双工模式、速率等。	使用 **exit** 命令即可退回全局配置模式。
port-channel	在全局配置模式下，输入命令 **interface port-channel *<port-channel-number>***。	配置 port-channel 有关的双工模式、速率等。	使用 **exit** 命令即可退回全局配置模式。

VLAN 配置模式

在全局配置模式，使用命令 **vlan *<vlan-id>***就可以进入到相应的 VLAN 配置模式。在 VLAN 配置模式，用户可以配置属于本 VLAN 的成员端口。执行 **exit** 命令即可从 VLAN 配置模式退回到全局配置模式。

DHCP 地址池配置模式

在全局配置模式下用 **ip dhcp pool *<name>*** 命令进入到 DHCP 地址池配置模式“**Switch(Config-*<name>*-dhcp)#**”。在 DHCP 地址池配置模式下可以配置 DHCP 地址池的属性。执行 **exit** 命令即可从 DHCP 地址池配置模式退回到全局配置模式。

路由配置模式

路由协议类型	进入方式	可执行操作	退出方式
RIP 路由协议	在全局配置模式下输入 router **rip 命令。**	配置 RIP 协议参数。	执行 exit 命令即可退回全局配置模式。
OSPF 路由协议	在全局配置模式下输入 router **ospf 命令。**	配置 OSPF 协议参数。	执行 exit 命令即可退回全局配置模式。
BGP 路由协议	在全局配置模式下输入 router **bgp <AS number>**命令。	配置 BGP 协议参数。	执行 exit 命令即可退回全局配置模式。

访问列表配置模式

访问列表类型	进入方式	可执行操作	退出方式

命名标准 IP 访问列表配置模式	在全局配置模式下输入 **ip access-list standard** 命令。	配置标准访问列表配置模式。	执行 **exit** 命令即可退回全局配置模式。
命名扩展 IP 访问列表配置模式	在全局配置模式下输入 **ip access-list extanded** 命令。	配置扩展访问列表的参数。	执行 **exit** 命令即可退回全局配置模式。

1.1.2.2 配置语法

交换机为用户提供的配置命令形式不完全一样，但它们都遵循交换机配置命令的语法。以下是交换机提供的通用命令格式：

cmdtxt <*variable*> {enum1 | … | enumN} [option1 | … | optionN]

语法说明：黑体字 **cmdtxt** 表示命令关键字；**<*variable*>**表示参数为变量；**{enum1 | … | enumN }**表示在参数集 **enum1~enumN** 中必须选一个参数；**[option1 | … | optionN]**表示该参数可选择一个或者不选。在各种命令中还会出现“**< >**”， “**{ }**”，“**[ ]**”符号的组合使用，如：**[<*variable*>]**，**{enum1 <*variable*> | enum2}**，**[option1 [option2]]**等等。

下面是几种配置命令语法的具体分析：

show version，没有任何参数，属于只有关键字没有参数的命令，直接输入命令即可；

vlan <vlan-id>，输入关键字后，还需要输入相应的参数值；

firewall {enable | disable}，此类命令用户可以输入 firewall enable 或者 firewall disable；

snmp-server community {ro | rw} <*string*>，出现以下几种输入情况：

snmp-server community ro <*string*>

snmp-server community rw <*string*>

1.1.2.3 支持快捷键

交换机为方便用户的配置，特别提供了多个快捷键，如上、下、左、右键及删除键 BackSpace 等。如果超级终端不支持上下光标键的识别，可以使用 ctrl+p 和 ctrl+n 来替代。

按键	功能	
删除键 BackSpace	删除光标所在位置的前一个字符，光标前移	
上光标键“↑”	显示上一个输入命令。最多可显示最近输入的二十个命令	
下光标键“↓”	显示下一个输入命令。当使用上光标键回溯到以前输入的命令时，也可以使用下光标键退回到相对于前一个命令的下一个命令	
左光标键“←”	光标向左移动一个位置	左右键的配合使用， 可对已输入的命令做覆盖修改
右光标键“→”	光标向右移动一个位置	
Ctr+p	相当于上光标键“↑”的作用	
Ctr+n	相当于下光标键“↓”的作用	
Ctr+b	相当于左光标键“←”的作用	
Ctr+f	相当于右光标键“→”的作用	

Ctr+z	从其他配置模式（一般用户配置模式除外）直接退回到特权用户模式
Ctr+c	打断交换机 ping 或其它正在执行的命令进程
Tab 键	当输入的字符串可以无冲突的表示命令或关键字时，可以使用 Tab 键将其补充成完整的命令或关键字

1.1.2.4 帮助功能

交换机为用户提供了两种方式获取帮助信息，其中一种方式为使用“help”命令，另一种为“？”方式。

帮助	使用方法及功能
Help	在任一命令模式下，输入“help”命令均可获取有关帮助系统的简单描述。
“？”	1．在任一命令模式下，输入“?”获取该命令模式下的所有命令及其简单描述； 2．在命令的关键字后，输入以空格分隔的“?”，若该位置是参数，会输出该参数类型、范围等描述；若该位置是关键字，则列出关键字的集合及其简单描述；若输出 “<cr>” ，则此命令已输入完整，在该处键入回车即可； 3．在字符串后紧接着输入“?”，会列出以该字符串开头的所有命令。

1.1.2.5 对输入的检查

1.1.2.5.1 成功返回信息

通过键盘输入的所有命令都要经过 Shell 的语法检查。当用户正确输入相应模式下的命令后，且命令执行成功，不会显示信息。

1.1.2.5.2 错误返回信息

当用户输入的命令错误，或者参数范围，类型，格式有错误，交换机会提示错误。

1.1.2.5.3 支持不完全匹配

交换机的 Shell 支持不完全匹配的搜索命令和关键字，当输入无冲突的命令或关键字时，Shell 就会正确解析。

例如：

1. 对特权用户配置命令“show interface ethernet 1/1/1”，只要输入“sh in e 1/1/1”即可。
2. 对特权用户配置命令 “show running-config”，如果仅输入“sh r”，系统会报“% Ambiguous command!”，因为 Shell 无法区分“show r”是“show radius”命令还是“show running-config”命令，因此必须输入“sh ru”，Shell 才会正确的解析。

1.2 交换机基本配置

1.2.1 基本配置

交换机的基本配包括进入和退出特权用户模式的命令、进入和退出接口配置模式的命令、设置及显示交换机的时钟、显示交换机的系统版本信息等。

命令	解释
一般用户配置模式/特权用户配置模式	
enable [<*1-15*>] **disable**	用户使用 **enable** 命令，从一般用户配置模式进入特权用户配置模式或修改当前用户权限级别，**disable** 为退出特权用户模式命令。
特权用户配置模式	
config [terminal]	从特权用户配置模式进入到全局配置模式。
各种配置模式	
exit	从当前模式退出，进入上一个模式，如在全局配置模式使用本命令退回到特权用户配置模式，在特权用户配置模式使用本命令退回到一般用户配置模式等。
show privilege	显示当前用户权限。
一般用户配置模式和特权用户配置模式之外的其它模式	
end	当前处于非一般用户配置模式或特权用户配置模式时，使用该命令可以直接退回到特权用户配置模式。
特权用户配置模式	
clock set <*HH:MM:SS*> [YYYY.MM.DD]	设置系统日期和时钟。
show version	显示交换机版本信息。
set default	恢复交换机的出厂设置。
write	将当前运行时配置参数保存到 Flash Memory。
reload	热启动交换机。
show cpu usage	显示 CPU 使用率。
show cpu utilization	显示当前 CPU 的使用率。
show memory usage	显示内存使用率。
全局配置模式	

banner motd <LINE> **no banner motd**	配置使用 telnet 或通过 console 等方式登陆交换机认证成功时显示的欢迎信息。
web-auth privilege <1-15> **no web-auth privilege**	设置 web 登录交换机的级别。

1.2.2 远程管理

1.2.2.1 Telnet

1.2.2.1.1 Telnet 简介

Telnet 远程登录是一个简单的远程终端协议。用户用 Telnet 就可在其所在地通告 TCP 连接注册（即登录）到远程的另一个主机上（使用 IP 地址或主机名）。Telnet 能把用户的击键传到远程的主机，同时也能把远程主机的输出通过 TCP 连接返回到用户屏幕。这种服务是透明的，因为用户的感觉是键盘和显示器是直接连接在远程主机上。

Telnet 使用客户－服务器模式，在本地的系统为 Telnet 客户端，远程主机为 Telnet 服务器。交换机既可以作为 Telnet 服务器也可以作为 Telnet 客户端。

当交换机作为 Telnet 服务器时，用户可以通过 Windows 或其他操作系统自带的 Telnet 客户端软件，Telnet 登录到交换机，就如前面介绍带内管理章节中介绍的一样。交换机作为 Telnet 服务器时最多可以同时与 5 个 Telnet 客户端建立 TCP 连接。

当作为 Telnet 客户端时，在交换机的特权用户配置模式下使用 telnet 命令即可登录到其他远端主机。交换机作为 Telnet 客户端时只能与一个远程主机建立 TCP 连接，如果想与另一个远程主机建立连接，则必须先断开与上一个远程主机的 TCP 连接。

1.2.2.1.2 Telnet 任务序列

配置 Telnet 服务器
交换机 Telnet 登录到远程主机

1. 配置 Telnet 服务器

命令	解释
全局配置模式	
telnet-server enable **no telnet-server enable**	打开交换机的 Telnet 服务器功能；本命令的 no 操作为关闭 Telnet 服务器功能。

username <username> [privilege <privilege>] [password [0 | 7] <password>] **no username <username>**	配置 Telnet 登录到交换机的本地用户名和口令；本命令的 no 操作为删除本地授权 Telnet 用户。本地 Telnet 用户的执行命令权限必须设为 15。
authentication securityip <ip-addr> **no authentication securityip <ip-addr>**	配置 Telnet 登录到交换机的安全 IP 地址；本命令的 no 操作为删除授权 Telnet 安全地址。
authentication securityipv6 <ipv6-addr> **no authentication securityipv6 <ipv6-addr>**	配置 Telnet 登录到交换机的安全 IPv6 地址；本命令的 no 操作为删除授权 Telnet 安全地址。
authentication ip access-class {<num-std>|<name>} **no authentication ip access-class**	为 Telnet/SSH/Web 登录方式绑定标准的 IP ACL 规则；本命令的 no 操作为取消绑定 ACL。
authentication ipv6 access-class {<num-std>|<name>} in **no authentication ipv6 access-class**	为 Telnet/SSH/Web 登录方式绑定标准的 IPv6 ACL 规则；本命令的 no 操作为取消绑定 ACL。
authentication line {console | vty | web} login method1 [method2 …] **no authentication line {console | vty | web} login**	配置远程登录认证方法列表。
authentication enable method1 [method2 …] **no authentication enable**	配置 enable 认证方法列表
authorization line {console | vty | web} exec method1 [method2 …] **no authorization line {console | vty | web} exec**	配置远程登录授权方法列表。
authorization line vty command <1-15> {local | radius | tacacs} (none|) **no authorization line vty command <1-15>**	配置 VTY（即指 Telnet 和 ssh 登录方式）登录用户的命令授权方式和授权选择优先级。
accounting line {console | vty} command <*1-15*> {start-stop | stop-only | none} method1 [method2…] **no accounting line {console | vty} command <*1-15*>**	配置登录记账方法列表
特权模式	
terminal monitor **terminal no monitor**	使登录到交换机的 Telnet 客户端显示调试信息；本命令的 no 操作为关闭 Telnet 客户端显示调试信息的功能。

show users	显示通过 telnet 和 ssh 登陆的用户信息，包括线路号，登陆的用户名及用户的 IP。
clear line vty <0-31>	删除指定线路上登陆的用户，强制 telnet 或 ssh 登陆的用户下线。

2. 交换机 Telnet 登录到远程主机

命令	解释
特权模式	
telnet [vrf <*vrf-name*>] {<*ip-addr*> | <*ipv6-addr*> | host <*hostname*>} [<*port*>]	使用交换机提供的 Telnet 客户端登录到远程主机。

1.2.2.2 SSH

1.2.2.2.1 SSH 简介

SSH 是 Secure Shell 安全外壳的简写，它建立在可靠的 TCP/IP 等通信协议之上，通过 SSH 服务器和 SSH 客户端软件之间的密钥交换，身份认证，加密等算法的协商，在它们之间建立一条安全的传输信息的通道，保证双方交互的信息不能被任何第三方截取和破译，从而最大限度的保证了对实现 SSH 服务器功能的交换机的配置和管理。目前交换机上实现的是符合 SSH2.0 协议规定的 SSH 服务器。支持 SSH2.0 标准的终端软件如 SSH Secure Client、putty 等可以利用 SSH2.0 协议，远程登陆交换机上的 SSH 服务器，实现对该交换机的安全的配置和管理。

目前 SSH 服务器支持客户端软件对主机的 RSA 公钥认证，支持协议规定的 3DES 加密算法，以及 SSH 服务器对 SSH 用户的密码认证等。

1.2.2.2.2 SSH 服务器配置任务序列

命令	解释
全局配置模式	
ssh-server enable **no ssh-server enable**	打开交换机的 SSH 服务器功能；本命令的 no 操作为关闭 SSH 服务器功能。
username <*username*> [privilege <*privilege*>] [password [0 | 7] <*password*>] **no username <*username*>**	配置 SSH 客户端软件登录到交换机的用户名和口令；本命令的 no 操作为删除授权 SSH 用户。
ssh-server timeout <*timeout*> **no ssh-server timeout**	设置 SSH 认证超时时间；本命令的 no 操作恢复缺省的 SSH 认证超时时间。

ssh-server authentication-retries ***<authentication-retires>*** **no ssh-server authentication-retries**	设置 SSH 认证重试次数；本命令的 no 操作恢复缺省的 SSH 认证重试次数。
ssh-server host-key create rsa modulus ***<modulus>***	生成新的 SSH 服务器的 RSA 主机密钥对。
特权模式	
terminal monitor **terminal no monitor**	使登录到交换机的 SSH 客户端显示调试信息；本命令的 no 操作为关闭 SSH 客户端显示调试信息的功能。
show crypto key	显示 ssh 加密密钥。
crypto key clear rsa	清除 ssh 加密密钥。

1.2.2.2.3 SSH 服务器配置举例

案例 1：

组网需求：交换机端运行 SSH 服务器，终端运行支持 SSH2.0 标准的客户端软件如 Secure shell client 或 putty 等。客户端使用用户名和密码方式登录交换机。

交换机首先配置本地的地址，然后增加 SSH 用户，启动 SSH 服务，这样 SSH2.0 客户端软件就可以利用交换机配置的用户名和密码远程登录配置 SSH 服务的交换机了。

```
Switch(config)#ssh-server enable
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 100.100.100.200 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan1)#exit
Switch(config)#username test privilege 15 password 0 test
```

如果是 IPv6 网络，终端需要运行支持 IPv6 功能的 SSH 客户端软件，例如 putty6，交换机上除配置本地的地址为 IPv6 地址外，其它配置不变。

1.2.3 配置交换机的 IP 地址

交换机所有以太网接口都默认为二层（DataLink Layer）端口，进行二层转发。VLAN 接口（Interface VLAN）代表了某一个 VLAN 的三层接口功能，可以配置 IP 地址，该 IP 地址也是交换机的 IP 地址。VLAN 接口相关的配置命令都可以在 VLAN 接口模式下配置。交换机为用户提供了三种配置 IP 地址的方式：

- 手工配置方式
- BootP 方式
- DHCP 方式

手工配置 IP 地址，即用户为交换机指定一个 IP 地址。

BootP/DHCP 方式是交换机作为 BootP/DHCP Client，向 BootP/DHCP Server 发出 BootPRequest（申请获取地址的请求包）广播包，BootP/DHCP Server 接收到请求后将地

址分配给交换机。另外交换机还具有了 DHCP Server 的功能，能够动态的为 DHCP Client 分配 IP 地址、网关地址及 DNS 服务器地址等网络参数。具体 DHCP Server 的配置参见网络协议操作部分。

1.2.3.1 配置交换机的 IP 地址任务序列

1. 进入 VLAN 接口配置模式
2. 手工配置方式
3. BootP 方式
4. DHCP 方式

1. 进入 VLAN 接口配置模式

命令	解释
全局配置模式	
interface vlan <*vlan-id*> **no interface vlan <*vlan-id*>**	创建一个 VLAN 接口（VLAN 接口属于三层接口）；本命令的 no 操作为删除交换机创建的 VLAN 接口（三层接口）。
interface ethernet <*interface-name*>	进入网管端口配置模式。

2.手工配置方式

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
ip address <*ip_address*> <*mask*> [secondary] **no ip address <*ip_address*> <*mask*> [secondary]**	配置交换机的 VLAN 接口的 IP 地址；本命令的 no 操作为删除交换机的 VLAN 接口的 IP 地址。
ipv6 address <*ipv6-address* / *prefix-length*> [eui-64] **no ipv6 address <*ipv6-address* / *prefix-length*>**	配置 IPv6 地址，包括可聚合全球单播地址，本地站点地址，本地链路地址。本命令的 no 操作为删除 IPv6 地址。

3.BootP 方式

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
ip bootp-client enable **no ip bootp-client enable**	使能交换机为 BootP Client，通过 BootP 协商方式获取 IP 地址及网关地址；本命令的 no 操作为关闭 BootP Client 功能。

4.DHCP

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
ip dhcp-client enable **no ip dhcp-client enable**	使能交换机为 DHCP Client，通过 DHCP 协商方式获取 IP 地址及网关地址；本命令的 no 操作为关闭 DHCP Client 功能。

1.2.4 SNMP 配置

1.2.4.1 SNMP 介绍

SNMP（Simple Network Management Protocol，简单网络管理协议）是目前使用最广泛的网络管理协议，大量应用于以 TCP/IP 为基础的计算机网络。SNMP 是一个不断发展着的协议：SNMP v1 简单、易实现，被众多厂家支持； SNMPv2c 对 v1 的功能进行了部分修正和丰富，开始支持分层式的网管；SNMPv3 在安全性上做了极大的扩充，添加了 USM（基于用户的安全模型）和 VACM（基于视图的访问控制模型）子系统。

SNMP 协议提供了一个在网络中两点之间交换管理信息的直接的、基本的方法。SNMP 采用轮询的消息查询机制，采用被广泛使用的面向无连接的传输层协议 UDP 来传输消息，因此能够很好的被现有的计算机网络支持。

SNMP 协议采用管理站/代理模式，因此 SNMP 结构包括两个部分：NMS 网络管理站（Network Management Station），是运行支持 SNMP 协议的网管软件客户端程序的工作站，在 SNMP 的网络管理中起核心作用。Agent 代理，是运行在被管理网络设备上的服务器端软件，直接管理被管对象。NMS 利用通信手段，通过 Agent 代理来管理各被管对象。（本款及后续系列交换机都具有 Agent 代理功能）。

SNMP 的 NMS 和 Agent 之间通过标准消息进行通信，采取客户/服务器模式，由 NMS 发出请求，Agent 做出应答。SNMP 共有 7 种消息类型：

- Get-Request
- Get-Response
- Get-Next-Request
- Get-Bulk-Request
- Set-Request
- Trap
- Inform-Request

NMS 通过 Get-Request、Get-Next-Request，Get-Bulk-Request 和 Set-Request 消息来对 Agent 发出查询和设置管理变量的请求，Agent 在收到请求后，用 Get-Response 消息来对请求进行回复。在某些特殊情况下，如网络设备端口 UP/DOWN、网络拓朴变化时候，Agent 会主动的向 NMS 发送 Trap 消息来通知 NMS 发生了异常事件。（当然，NMS 还可以通过设置 RMON 功能，自行对一些情况设置警报，当设定的警报事件触发后，Agent 将根据设置发送 Trap 或记录 Log，关于 RMON，下面有具体介绍）。Inform-Request 主要用

于 NMS 之间进行通信，一般应用于分层式的网络管理。

USM 提供了完善的加密和鉴别服务，保证了传输的安全性。根据用户输入的密码，USM 对报文进行加密，保证报文在传输过程中不被察看，对报文进行鉴别，保证报文在传输过程中不被修改。USM 的标准加密算法为 DES-CBC 算法，鉴别算法为 HMAC-MD5 和 HMAC-SHA 算法。同时 USM 提供了时间窗的检查，防止网络延迟和重播的干扰。

VACM 提供了优秀的用户鉴权服务，保证了访问的安全性。VACM 将访问权限相同的用户放入同一组中，并为组划分了读写和通告操作的安全范围，有效地防止了用户的越权行为。

1.2.4.2 MIB 介绍

NMS 可以访问的网管信息是经过精确的定义的，被完备的组织在一个管理信息数据库中，即 MIB。所谓 **MIB 管理信息库**（Management Information Base），是对于通过网络管理协议可以访问信息的精确定义。它使用一个层次化、结构化的形式，定义了可以从被监测网络设备上获得的管理信息。ISO ASN.1 为 MIB 定义了一个树型结构，每个 MIB 都用这种树型结构来组织所有的可用信息，树的每个节点都包含一个 OID 对象标识符(Object Identifier)和一个关于该节点的简短文本描述。OID 是有句点隔开的一组整数，它命名节点并且可以由它指示该节点在 MIB 树型结构中的位置，如下图所示：

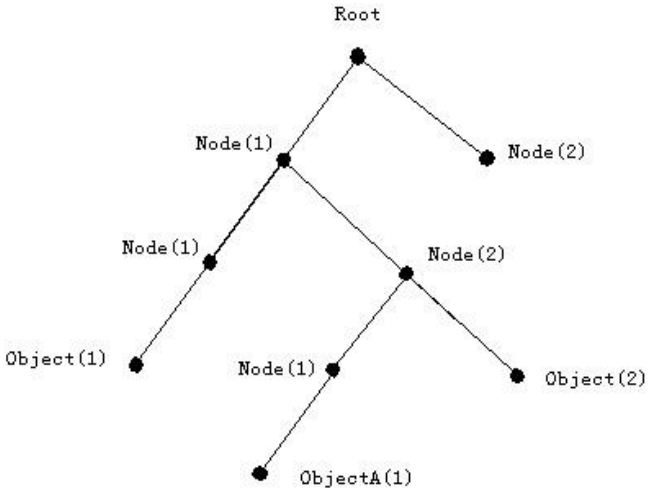


图 1-14 ASN.1 树实例

在该图中，对象 A 的 OID 为 1.2.1.1，NMS 通过这个独一无二的 OID，可以没有歧义的访问到这个对象，从而获取这个对象包含的标准变量。MIB 就按照这个结构定义了一个所监控网络设备的标准变量的集合。

如果您需要浏览 Agent 的 MIB 中的变量信息，需要在 NMS 上运行 MIB 浏览软件。Agent 上的 MIB 一般包括公有 MIB 和私有 MIB 两部分，公有 MIB 内定义的是公开的，所有 NMS 都可以访问的网络管理信息，私有 MIB 内定义的是各设备特有的属性信息，需要设备厂商的支持才可以浏览和控制。

MIB-I [RFC1156]是 SNMP 公有 MIB 库的第一个版本，后来经过扩充，被 MIB-II [RFC1213]所取代，MIB-II 保留了 MIB-I 在原来的 MIB 树中的对象标识符。MIB-II 下面包含很多子树，我们将之称为组，这些组里的对象覆盖了网络管理的各个功能域，NMS 通过访问 SNMP Agent 的 MIB 库，就可以得到相应的网络管理信息。

本交换机可以做为 SNMP Agent，支持 SNMPv1/v2c 和 SNMPv3。本交换机支持基本的 MIB-II、RMON 公有 MIB，还支持 BRIDGE MIB 等相关公有 MIB，同时支持自定义的私有 MIB，基本涵盖了本款交换机所涉及的各个相关参数，为网管软件管理提供全面的支持。

1.2.4.3 RMON 介绍

RMON 是对 SNMP 标准基本体系的最重要的扩充。RMON 是一套 MIB 定义，其作用是定义标准的网络监视功能和接口，使基于 SNMP 的管理终端和远程监视器之间能够通信。RMON 提供了一种有效并且高效的方法来监视子网范围内的行为。

RMON 的 MIB 分为 10 组，该交换机支持其中最常用的 1、2、3、9 组，即：

统计组(statistics)：维护代理监视的每一个子网的基本使用和错误统计。

历史组(history)：记录从统计组可得到的信息的周期性统计样本。

警报组(alarm)：允许管理控制台人员为 RMON 代理记录的任何计数或整数设置采样间隔和报警阈值。

事件组(event)：一个关于由 RMON 代理产生的所有事件的表。

其中，警报组需要事件组的实现。统计组和历史组是显示现在或以前的一些子网统计数据。警报组和事件组则提供了一种可以监视网络上任意整数型数据变化的方法，并在数据异常时提供一些警告动作（发送 Trap 或者记录 Log）。

1.2.4.4 SNMP 配置

1.2.4.4.1 SNMP 配置任务序列

1.打开或关闭 SNMP 代理服务器功能
2.配置 SNMP 团体字符串及代理设备的属性
3.配置 SNMP 管理站地址
4.配置引擎号
5.配置用户
6.配置组
7.配置视图
8.配置 TRAP
9.启动/关闭 RMON

1.打开或关闭 SNMP 代理服务器功能

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server enable	打开交换机作为 SNMP 代理服务器功能；本

no snmp-server enable	命令的 no 操作为关闭 SNMP 代理服务器功能。

2.配置 SNMP 团体字符串

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server community {ro | rw} {0 | 7} <*string*> [access {<*num-std*>|<*name*>}] [ipv6-access {<*ipv6-num-std*>|<*ipv6-name*>}] [read <*read-view-name*>] [write <*write-view-name*>] **no snmp-server community <*string*> [access {<*num-std*>|<*name*>}] [ipv6-access {<*ipv6-num-std*>|<*ipv6-name*>}]**	设置交换机的团体字符串；本命令 no 操作为删除配置的团体字符串。

3.配置 SNMP 管理站地址

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server securityip {<*ipv4-address*> | <*ipv6-address*> } ***no snmp-server securityip {*<ipv4-address> | <*ipv6-address*> }**	设置允许访问本交换机的NMS管理站的安全IPv4或者IPv6地址；本命令的no操作为删除配置的安全IPv4或者IPv6地址。
snmp-server securityip enable **snmp-server securityip disable**	打开/关闭 NMS 管理站的安全 IP 地址检查功能。

4.配置引擎号

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server engineid <*engine-string*> **no snmp-server engineid**	设置交换机的本地引擎号，用于 v3。

5.配置用户

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server user <use-string> <group-string> [{authPriv | authNoPriv}	为一个 SNMP 的组添加一个新用户，完成 USM 配置，用于 v3。

auth {md5 | sha} <word>] [access {<*num-std*>|<*name*>}] [ipv6-access {<*ipv6-num-std*>|<*ipv6-name*>}] **no snmp-server user <user-string> [access {<*num-std*>|<*name*>}] [ipv6-access {<*ipv6-num-std*>|<*ipv6-name*>}]**	

6.配置组

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server group <*group-string*> {noauthnopriv | authnopriv | authpriv} [[read <*read-string*>] [write <*write-string*>] [notify <*notify-string*>]] [access {<*num-std*>|<*name*>}] [ipv6-access {<*ipv6-num-std*>|<*ipv6-name*>}] **no snmp-server group <*group-string*> {noauthnopriv | authnopriv | authpriv} [access {<*num-std*>|<*name*>}] [ipv6-access {<*ipv6-num-std*>|<*ipv6-name*>}]**	设置交换机的组信息，完成 VACM 配置，用于 v3。

7.配置视图

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server view <*view-string*> <*oid-string*> {include | exclude} **no snmp-server view <*view-string*> [<*oid-string*>]**	设置交换机的视图信息，用于 v3。

8.配置 TRAP

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server enable traps **no snmp-server enable traps**	设置允许设备发送 Trap 消息，用于 v1/v2c/v3。
snmp-server host {<*host-ipv4-address*> |	设置接收 SNMP 的 Trap 消息的网络管理站

<*host-ipv6-address*>} {v1 | v2c | {v3 {Noauthnopriv | Authnopriv | Authpriv}}} <*user-string*> **no snmp-server *host* {<*host-ipv4-address*> | <host-ipv6-address>} {v1 | v2c | {v3 {Noauthnopriv | Authnopriv | Authpriv}}} <*user-string*>**	IPv4 或者 IPv6 地址，v1/v2c 中的 Trap 团体字符串，v3 中的用户名和安全级别。本命令的 no 操作为删除指定的接收 Trap 消息的网络管理站的 IPv4 或者 IPv6 地址。
snmp-server trap-source {<ipv4-address> | <ipv6-address>} **no snmp-server trap-source {<ipv4-address> | <ipv6-address>}**	设置本交换机发送 trap 时所使用源 IPv4 或 IPv6 地址；本命令的 no 操作为删除配置的发送 trap 使用的源 IPv4 或 IPv6 地址。
端口配置模式	
[no] switchport updown notification enable	开启或者关闭端口 UP/DOWN 事件发送 trap 信息的功能。

9.启动/关闭 RMON

命令	解释
全局配置模式	
rmon enable **no rmon enable**	打开/关闭 RMON。

1.2.4.5 SNMP 典型配置举例

管理站（NMS）的 IP 地址是 1.1.1.5；交换机（Agent）的 IP 地址是 1.1.1.9。

案例 1：管理站的网管软件使用 SNMP 协议从交换机获取数据。

配置步骤如下：

Switch(config)#snmp-server enable

Switch(config)#snmp-server community rw private

Switch(config)#snmp-server community ro public

Switch(config)#snmp-server securityip 1.1.1.5

这样，管理站就可以使用 private 作为团体字符串对交换机进行可读写的访问，也可以使用 public 作为团体字符串对交换机进行只读的访问。

案例 2：管理站要接收来自交换机的 v1 Trap 消息（注：管理站可能设置了对 Trap 的团体字符串的验证，那么此例假设管理站的 Trap 验证团体字符串为 usertrap）。

配置步骤如下：

Switch(config)#snmp-server enable

Switch(config)#snmp-server host 1.1.1.5 v1 usertrap

Switch(config)#snmp-server enable traps

案例 3：管理站的网管软件使用 SNMP v3 协议从交换机获取数据。
配置步骤如下：
Switch(config)#snmp-server enable
Switch(config)#snmp-server user tester UserGroup authPriv auth md5 hellotst
Switch(config)#snmp-server group UserGroup AuthPriv read max write max notify max
Switch(config)#snmp-server view max 1 include

案例 4：管理站要接收来自交换机的 v3Trap 消息。
配置步骤如下：
Switch(config)#snmp-server enable
Switch(config)#snmp-server host 10.1.1.2 v3 authpriv tester
Switch(config)#snmp-server enable traps

案例 5： 管理站（NMS）的 IPv6 地址是 2004:1:2:3::2, 交换机（Agent）的 IPv6 地址是 2004:1:2:3::1。管理站的网管软件使用 SNMP 协议从交换机获取数据。
交换机端的配置如下：
Switch(config)#snmp-server enable
Switch(config)#snmp-server community rw private
Switch(config)#snmp-server community ro public
Switch(config)#snmp-server securityip 2004:1:2:3::2

这样，管理站就可以使用 private 作为团体字符串对交换机进行可读写的访问，也可以使用 public 作为团体字符串对交换机进行只读的访问。

案例 6： 管理站要接收来自交换机的 Trap 消息（注：管理站可能设置了对 Trap 的团体字符串的验证，那么此例假设管理站的 Trap 验证团体字符串为 usertrap）。
交换机端的配置如下：
Switch(config)#snmp-server host 2004:1:2:3::2 v1 usertrap
Switch(config)#snmp-server enable traps

1.2.4.6 SNMP 排错帮助

在配置、使用 SNMP 时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 SNMP 未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令），保证交换机和主机能互相 ping 通（使用 ping 命令）；
- 然后，务必确认交换机打开了 SNMP Agent 服务器功能（使用 snmp-server enable

命令）；

- 接着，保证为 NMS 配置安全 IP（使用 snmp-server securityip 命令）和团体字符串（使用 snmp-server community 命令）正确，因为只要有一个错误 SNMP 将不能正确和 NMS 通信；
- 如果需要使用 Trap 功能，务必打开 Trap 功能（使用 snmp-server enable traps 命令），为了保证 Trap 能发送到指定的主机，请记住正确配置 Trap 的目标主机的 IP 和团体字符串（使用 snmp-server host 命令）；
- 如果需要使用 RMON 功能，必须首先打开 RMON（使用 rmon enable 命令）；
- 在 SNMP 运行过程中，如果用户还有疑惑，可以使用 show snmp 命令查看 SNMP 收发包的统计信息；可以使用 show snmp status 命令查看 SNMP 的配置信息；可以使用 debug snmp packet 命令打开 SNMP 的调试开关，查看调试信息。

如果上述查看方式的尝试仍无法解决 SNMP 的问题，那么请与技术服务中心联系。

1.2.5 交换机升级

1.2.5.1 交换机系统文件

系统文件包括系统映像文件和引导文件。交换机的升级就是对这两个文件更新，方法就是用新的文件覆盖旧的文件。

系统映像文件是指交换机硬件驱动和软件支持程序等的压缩文件，即我们通常说的 IMG 升级文件。交换机系统映像文件只允许保存在 FLASH 中，文件名固定为 nos.img。

引导文件是指引导交换机初始化等的文件，即我们通常说的 ROM 升级文件（如果文件较大，可以压缩为 IMG 文件）。引导文件只允许保存在 ROM 中。交换机规定引导文件的文件名固定为 boot.rom。

系统映像文件和引导文件的升级方法是一样的。交换机为用户提供了两种模式下的交换机升级：一、BootROM 模式；二、Shell 模式下的 TFTP 升级、FTP 升级。下面两节详细介绍这两种模式的升级方法。

1.2.5.2 BootROM 模式升级

在 BootROM 模式下升级交换机有一种升级方式：TFTP，可通过 BootROM 下的命令设置。

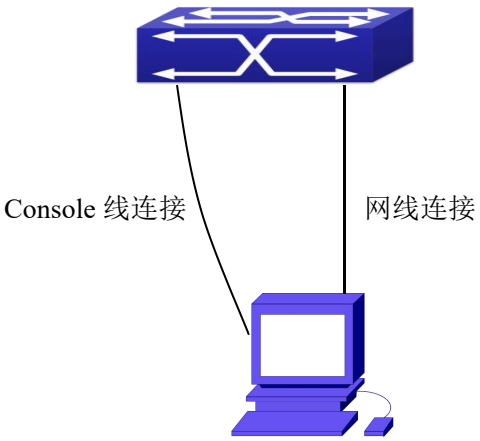


图 1-15 在 BootROM 模式下交换机升级的典型拓扑

升级步骤如下：

第一步：

如图将一台 PC 作为交换机的控制台，并且该控制台的以太网口与交换机的网管端口相连，在 PC 上安装有 TFTP 的服务器软件，及需要升级的 boot 文件。

第二步：

在交换机启动的过程中，按住 ctrl＋b 键，直到交换机进入 BootROM 监控模式。显示如下：

[Boot]:

第三步：

在 BootROM 模式下，执行命令 setconfig，设置本机在 BootROM 模式下的 IP 地址、服务器的 IP 地址。如设置本机地址为 192.168.1.2，PC 地址为 192.168.1.66，配置如下：

[Boot]: setconfig

Host IP Address: [10.1.1.1] 192.168.1.2

Server IP Address: [10.1.1.2] 192.168.1.66

[Boot]:

第四步：

打开 PC 中 TFTP 服务器，运行 TFTP Server 程序。在往交换机下传升级版本时，请先检查服务器与被升级交换机之间的连接状态，在交换机端使用 ping 命令，ping 通后，在交换机的 BootROM 模式下执行 load 命令；若 ping 不通，则检查原因。

以下是更新引导文件 boot.rom。

[Boot]: load boot.rom

TFTP from server 192.168.1.66; our IP address is 192.168.1.2

Filename 'boot.rom'.

Load address: 0x300000

Loading: ##

##################################

done

Bytes transferred = 496240 (79270 hex)

[Boot]:

第五步：

在 BootROM 模式下，执行命令 write boot.rom。以下是对更新引导文件的保存：

[Boot]: write boot.rom

File exists, overwrite? (Y/N)[N] y

Writing flash:/boot.rom.....

Write flash:/boot.rom OK.

[Boot]:

第六步：

升级交换机成功，在 BootROM 模式下，执行命令 run 或 reboot，回到 CLI 配置界面。

[Boot]:run（或者 reboot）

BootROM 模式下的其他命令

DIR 命令

用于显示 NANDFLASH 中现存的文件。

[boot]:dir

37720321	Thu Jan 1 12:32:45 1970	nos1.img
37690905	Thu Jan 1 12:3:52 1970	nos.img
39373648	Thu Jan 1 0:12:28 1970	nosxl.img

[Boot]:

1.2.5.3 FTP/TFTP 升级

1.2.5.3.1 FTP/TFTP 简介

FTP（File Transfer Protocol）/TFTP（Trivial File Transfer Protocol）都是文件传输协议，在TCP/IP协议族中处于第四层，即属于应用层协议，主要用于主机之间、主机与交换机之间传输文件。它们都采用客户机－服务器模式进行文件传输。下面是它们的不同之处。

FTP承载于TCP之上，提供可靠的面向连接数据流的传输服务，但它不提供文件存取授权，以及简单的认证机制（通过明文传输用户名和密码来实现认证）。FTP在进行文件传输时，客户机和服务器之间要建立两个连接：控制连接和数据连接。首先由FTP客户机发出传送请求，与服务器的21号端口建立控制连接，通过控制连接来协商数据连接。

数据连接有两种方式：

一种为主动连接。客户端是主动告诉服务器自己用于数据传输的地址和端口号，控制连接将一直保留到数据传输完成。接着服务器在20号端口没有被使用的条件下采用20号端口与客户机提供的地址和端口号建立数据连接，并传输数据；如果20号端口正在被使用，通过设置20号端口可以重用，服务器通过系统自动生成另外的端口号建立数据连接。

另外一种方式是被动连接。客户端通过控制连接告诉服务器端建立被动连接，服务器端就建立自己的数据监听端口，将这个端口通过控制连接告诉客户端，由客户端主动与指定地址的端口建立数据连接。

由于数据连接是通过指定的地址和端口号，还存在通过第三方来提供数据连接服务。

TFTP 承载在 UDP 之上，提供不可靠的数据流传输服务，同时也不提供用户认证机制

以及根据用户权限提供对文件操作授权；它是通过发送报文，应答方式，加上超时重传方式来保证数据的正确传输。TFTP 相对于 FTP 的优点是提供简单的、开销不大的文件传输服务。

交换机实现 FTP/TFTP 客户机和服务器的功能。当交换机作为 FTP/TFTP 客户机时，在不影响交换机正常工作的情况下，能从远端 FTP/TFTP 服务器（可以是主机和其它交换机）下载配置文件或系统文件，(FTP 客户端可以查看服务器上的文件列表)，也可以将交换机当前配置文件或系统文件上载到远端 FTP/TFTP 服务器上（可以是主机和其它交换机）的功能；当交换机作为 FTP/TFTP 服务器时，同样它能为它授权的 FTP/TFTP 客户机提供上传和下载文件的服务，（FTP 服务器还提供传输服务器上文件列表功能）。

下面介绍 FTP/TFTP 中经常用到的术语：

ROM：EPROM 的简称，可擦写只读寄存器。交换机采用 FLASH 闪存代替 EPROM。

SDRAM：交换机内存，用于系统软件的运行和配置序列的存放。

FLASH：闪存，用于保存系统文件和配置文件。

系统文件：包括系统映像文件和引导文件。

系统映像文件：是指交换机硬件驱动和软件支持程序等的压缩文件，即我们通常说的 IMG 升级文件。交换机系统映像文件只允许保存在 FLASH 中。交换机规定，在全局配置模式下通过 FTP 上载系统映像文件的文件名固定为 nos.img，拒绝其它系统 IMG 文件的上载。

引导文件：是指引导交换机初始化等的文件，即我们通常说的 ROM 升级文件（如果文件较大，可以压缩为 IMG 文件）。引导文件只允许保存在 ROM 中。交换机规定引导文件的文件名固定为 boot.rom。

配置文件：包括启动配置文件和运行配置文件。区分启动配置文件和运行配置文件便于实现配置的备份和更新。

启动配置文件：是指交换机启动时采用的配置序列。启动配置文件存放在非易失存储介质中，即对应着所谓的配置保留。对于不支持 CF 卡的设备，交换机启动配置文件只存放在 FLASH 中。对于支持 CF 卡的设备，启动配置文件可以存放在 FLASH 中或者 CF 卡中。对于支持配置多启动配置文件的设备，启动配置文件名为扩展名为.cfg 的文件，默认情况下为 startup.cfg。对于不支持多配置文件的设备，启动配置文件名固定为 startup-config。

运行配置文件：是指交换机当前运行的配置序列。交换机运行配置文件存放在内存中。目前，使用命令 write 或命令 copy running-config startup-config，可将运行配置序列 running-config 从内存中保存到 FLASH 中，即实现运行配置序列到启动配置文件的转变，形成配置保留。为了禁止非法文件的上载和方便配置，交换机规定，运行配置文件名固定为 running-config。

出厂配置文件：即 factory-config 文件，是交换机出厂时的配置文件，使用命令 set default 和命令 write，重启后可将配置文件恢复成出厂配置文件。

1.2.5.3.2 FTP/TFTP 配置

交换机作为 FTP 或者 TFTP 客户机时，在配置上极其相似，因此本手册把 FTP 和 TFTP 作为客户机时的配置结合在一起说明。

1.2.5.3.2.1 FTP/TFTP 配置任务序列

1. FTP/TFTP 客户机配置

（1） 上载/下载配置文件或系统文件

（2） FTP 客户机查看服务器上文件列表

2. FTP 服务器配置

（1） 启动 FTP Server

（2） 配置 FTP 登录用户名和口令

（3） 修改 FTP Server 连接空闲时限

（4） 关闭 FTP Server

3. TFTP 服务器配置

（1） 启动 TFTP Server

（2） 配置 TFTP Server 连接空闲时限

（3） 配置超时范围内没有收到应答报文的重传次数

（4） 关闭 TFTP Server

1. FTP/TFTP 客户机配置

（1）FTP/TFTP 客户机端上下载文件

命令	解释
特权用户配置模式	
copy *<source-url>* *<destination-url>* [ascii | binary]	FTP/TFTP 客户机上下载文件。

（2）FTP 客户机查看服务器上文件列表

特权用户配置模式	
ftp-dir *<ftpServerUrl>*	FTP 客户机查看服务器上文件列表 FtpServerUrl 为 ftp://user:password@IPv4|IPv6 Address 格式。

2.FTP 服务器配置

（1）启动 FTP 服务器

命令	解释
全局配置模式	
ftp-server enable **no ftp-server enable**	启动 FTP Server；本命令的 no 操作为关闭 FTP Server 服务，禁止 FTP 用户登录。

（2）配置 FTP 登录用户名和口令

命令	解释
全局配置模式	
ip ftp username *<username>* password [0 | 7] *<password>* **no ip ftp username *<username>***	配置 FTP 登录用户名和登录口令；本命令的 no 操作为删除配置的用户名，同时也删除密码。

（3）修改 FTP Server 连接空闲时限

命令	解释
全局配置模式	
ftp-server timeout <*seconds*>	设置连接空闲时限。

3.TFTP 服务器配置

（1）启动 TFTP 服务器

命令	解释
全局配置模式	
tftp-server enable **no tftp-server enable**	启动 TFTP Server；本命令的 no 操作为关闭 TFTP Server 服务，禁止 TFTP 用户登录。

（2）修改 TFTP Server 连接空闲时限

命令	解释
全局配置模式	
tftp-server transmission-timeout <*seconds*>	设置超时的时间间隔。

（3）修改 TFTP Server 连接重传次数

命令	解释
全局配置模式	
tftp-server retransmission-number <*number*>	设置超时时间内的最大重传次数。

1.2.5.3.3 FTP/TFTP 配置举例

无论地址为 IPv4 还是 IPv6，命令设置方式相同，下面的举例中仅以 IPv4 地址为例。

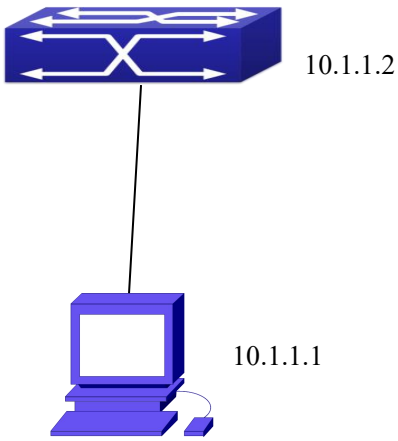


图 1-16 作为 FTP/TFTP client 下载 nos.img 文件

实例 1：交换机作为 FTP/TFTP 客户端来使用。交换机通过某个端口与计算机相连接，计算机为 FTP/TFTP 服务器，IP 地址为 10.1.1.1，交换机作为 FTP/TFTP 客户端，交换机管理 VLAN 的 IP 地址为 10.1.1.2。从计算机上下载交换机的“nos.img”文件。

FTP 配置：

计算机端配置：

在计算机上启动 FTP Server 软件，并且设置用户名为“Switch”，密码为“superuser”。并将“12_30_nos.img”文件放到计算机上对应的 FTP Server 目录下。

交换机的配置步骤如下：

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)#no shut

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch(config)#exit

Switch#copy ftp://Switch:superuser@10.1.1.1/12_30_nos.img nandflash:nos.img

执行完上述命令，交换机就可将计算机上的“nos.img”文件下载到 NANDFLASH 中了。

TFTP 配置：

计算机端配置：

在计算机机上启动 TFTP Server 软件，并将“12_30_nos.img”文件放到计算机上对应的 TFTP Server 目录下。

交换机的配置步骤如下：

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)#no shut

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch(config)#exit
Switch#copy tftp://10.1.1.1/12_30_nos.img nandflash:nos.img

实例 2：交换机作为 FTP 服务器来使用。交换机通过某个端口与计算机相连接，交换机作为 FTP 服务器，计算机作为 FTP 客户端，将交换机上的“nos.img”文件传送到计算机上，保存为 12_25_nos.img。
交换机的配置步骤如下：
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan1)#no shut
Switch(Config-if-Vlan1)#exit
Switch(config)#ftp-server enable
Switch(config)#ip ftp username Switch password 0 superuser

计算机端配置：
通过 FTP 客户端软件，登录到交换机，用户名为“Switch”，密码为“superuser”，通过“get nos.img 12_25_nos.img”命令将交换机上的“nos.img”文件下载到计算机上。

实例 3：交换机作为 TFTP 服务器来使用。交换机通过某个端口与计算机相连接，交换机作为 TFTP 服务器，计算机作为 TFTP 客户端，将交换机上的“nos.img”文件传送到计算机上。
交换机的配置步骤如下：
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan1)#no shut
Switch(Config-if-Vlan1)#exit
Switch(config)#tftp-server enable
计算机端配置：
通过 TFTP 客户端软件，登录到交换机，通过“tftp”命令将交换机上的“nos.img”文件下载到计算机上。

实例 4： 交换机作为 FTP 客户机查看 FTP 服务器上文件列表。同步情况：交换机通过以太口和计算机相连，计算机为 FTP 服务器，IP 地址为 10.1.1.1，交换机作为 FTP 客户端，交换机 VLAN1 接口 IP 地址为 10.1.1.2。

FTP 配置：
计算机端：
在计算机上启动 FTP Server 软件，并且设置用户 Switch，密码为 superuser。
交换机：

Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan1)#no shut
Switch(Config-if-Vlan1)#exit
Switch(config)#exit
Switch#ftp-dir ftp://Switch:superuser@10.1.1.1
220 Serv-U FTP-Server v2.5 build 6 for WinSock ready...
331 User name okay, need password.
230 User logged in, proceed.
200 PORT Command successful.
150 Opening ASCII mode data connection for /bin/ls.
recv total = 480
nos.img
nos.rom
parsecommandline.cpp
position.doc
qmdict.zip
…(省略部分显示)
show.txt
snmp.TXT
226 Transfer complete.

1.2.5.3.4 FTP/TFTP 排错帮助

1.2.5.3.4.1 FTP 排错帮助

在使用 FTP 协议上下载系统文件时，务必保证链路的可达，即在使用 FTP 之前，使用 Ping 命令检验 FTP 客户机和服务器的是否可达。如 Ping 不通，则需查看相应排错信息，恢复链路的可达性。

下面是发送文件时的正确信息，如果不正确，请检查链路的可达性并重新执行 copy 命令。

220 Serv-U FTP-Server v2.5 build 6 for WinSock ready...
331 User name okay, need password.
230 User logged in, proceed.
200 PORT Command successful.
nos.img file length = 1526021
read file ok
send file
150 Opening ASCII mode data connection for nos.img.

226 Transfer complete.

close ftp client.

下面是接收文件时的正确信息，如果不正确，请检查链路的可达性并重新执行 copy 命令。

220 Serv-U FTP-Server v2.5 build 6 for WinSock ready...

331 User name okay, need password.

230 User logged in, proceed.

200 PORT Command successful.

recv total = 1526037

****

write ok

150 Opening ASCII mode data connection for nos.img (1526037 bytes).

226 Transfer complete.

如果交换机通过 FTP 升级系统文件或系统启动文件时，必须等待系统提示出现表示升级成功的 close ftp client.或 226 Transfer complete.的字样，此时交换机可以进行重启的操作，否则将会导致交换机无法启动。若出现通过 FTP 升级系统文件及系统启动文件失败时，请重新升级或进入到 BootROM 模式升级。

1.2.5.3.4.2 TFTP 排错帮助

在使用 TFTP 协议上下载系统文件时，务必保证链路的可达，即在使用 TFTP 之前，使用 Ping 命令检验 TFTP 客户机和服务器的是否可达。如 Ping 不通，则需查看相应排错信息，恢复链路的可达性。

下面是发送文件时的正确信息，如果不正确，请检查链路的可达性并重新执行 copy 命令。

nos.img file length = 1526021

read file ok

begin to send file,wait...

file transfers complete.

close tftp client.

下面是接收文件时的正确信息，如果不正确，请检查链路的可达性并重新执行 copy 命令。

begin to receive file,wait...

recv 1526037

****

write ok

transfer complete

close tftp client.

如果交换机通过 TFTP 升级系统文件或系统启动文件时，必须等待系统提示出现表示升级成功的 close tftp client.的字样，此时交换机可以进行重启的操作，否则将会导致交换机无法启动。若出现通过 TFTP 升级系统文件及系统启动文件失败时，请重新升级或进入到 BootROM 模式升级。

1.3 文件系统

1.3.1 文件存储设备介绍

交换机的文件存储设备主要是 FLASH。FLASH 是交换机上最常用的存储设备，可以用来存放系统映像文件（IMG 文件）、系统引导文件（ROM 文件）和系统配置文件（CFG 文件）。

FLASH 可以在 Shell 模式下或 Bootrom 模式下进行文件的复制、删除、重命名操作。

1.3.2 文件系统操作任务配置序列

1.存储设备格式化操作
2.子目录的创建操作
3.子目录的删除操作
4.修改当前存储设备的工作路径
5.显示当前工作路径
6.显示存储设备中的指定文件或目录信息
7.删除文件系统上的指定文件
8.文件重命名操作
9.文件复制操作

1.存储设备格式化操作

命令	解释
特权用户配置模式	
format <device>	格式化存储设备。

2.子目录的创建操作

命令	解释
特权用户配置模式	
mkdir <*directory*>	在指定设备的指定目录下创建子目录。

3.子目录的删除操作

命令	解释
特权用户配置模式	
rmdir <*directory*>	在指定设备的指定目录下删除子目录。

4.修改当前存储设备的工作路径

命令	解释
特权用户配置模式	
cd <*directory*>	修改当前存储设备的工作路径。

5.显示当前工作路径

命令	解释
特权用户配置模式	
pwd	显示当前工作路径。

6.显示存储设备中的指定文件或目录信息

命令	解释
特权用户配置模式	
dir [WORD|all]	显示存储设备中的指定文件或目录信息。

7.删除文件系统上的指定文件

命令	解释
特权用户配置模式	
delete <file-url>	删除文件系统上的指定文件。

8.文件重命名

命令	解释
特权用户配置模式	
rename <*source-file-url*> <*dest-file* >	把交换机上的某个指定的文件重命名为新的文件名。

9.文件复制

命令	解释
特权用户配置模式	
copy <*source-file-url* > <dest-file-url>	把交换机上的某个指定文件复制为新的文件。

1.3.3 典型应用

将当前系统上 nandflash 中的 IMG 文件 nandflash:/nos.img 复制一份到 nandflash 中的 nandflash:/nos2.img 文件。

交换机配置如下：

switch#copy nandflash:nos.img nandflash:nos2.img

Please wait as the new firmware is loaded. It may take a few minutes. Please do not reboot during this period until the process shows that it is completed.

Write ok.

1.3.4 排错帮助

当用户进行文件系统操作出现错误时，请检查是否是以下原因所引起的：

- 文件名或文件路径输入是否正确；
- 重命名文件时，该文件是否正在被使用，或目标文件名是否与已有的文件或目录相同

1.4 集群网管

1.4.1 集群网管介绍

集群网管是一种带内配置管理手段，与常规的 CLI、SNMP、Web Config 不同的是，它借助某台中间交换机（命令交换机）对目标交换机（成员交换机）进行间接配置管理，而不是在管理工作站上对目标交换机进行直接配置管理。命令交换机和成员交换机之间是一对多的关系，在一台命令交换机上可以配置和管理多台成员交换机。只要在命令交换机上配置公网 IP，集群中所有成员交换机均可不配置公网 IP 也可以被远程配置管理，在 IP 资源日益紧张的今天，集群网管的配置手段节省了 IP 地址资源。而且集群网管做到了动态地发现具有集群功能的交换机（候选交换机），管理员可以根据需要手动或自动把发现的候选交换机加入已建立的集群，成为集群的成员交换机，从而可以通过命令交换机对成员交换机进行所有的配置和管理操作。当多台成员交换机分布在不同的地理位置（典型情况如不同的楼层）时，集群网管的方便性是很明显的。集群网管还有一个优点就是带内管理，即不需要为配置管理成员交换机而建立专门的通信联接，而是直接利用命令和成员之间的中继联线，因而是非常节省网络资源的。

基于集群网管以上特征，集群网管主要有以下优点：

1. 节省 IP 地址
2. 简化配置管理任务

3. 不受网络拓扑结构和距离的限制
4. 自动发现和自动建立功能
5. 在出厂默认配置下就可以通过集群网管管理多台交换机
6. 支持对集群内任意一台交换机的升级和配置管理

1.4.2 集群网管基本配置

集群网管配置任务序列如下：

1. 启动或停止集群功能
2. 建立集群
   1) 配置集群中成员设备使用的私有 IP 地址池
   2) 创建或删除集群
   3) 在集群中加入或删除一个成员
3. 在命令交换机上配置集群相关属性
   1) 使能或禁止集群自动加入功能
   2) 设置自动加入的 member 成为手动加入的 member
   3) 设置或修改集群中的交换机发送保活报文的时间间隔
   4) 设置或修改集群内部的保活报文最大允许丢失的个数
   5) 清除命令交换机维护的候选交换机列表
4. 在候选交换机上配置集群相关参数
   1) 设置集群发送保活报文的时间间隔
   2) 设置集群内部保活报文最大允许丢失的个数
5. 利用集群网管进行远程管理
   1) 远程配置管理
   2) 对成员交换机进行远程升级
   3) 重启成员交换机
6. 利用 web 管理集群网管
   1) 启动 http
7. 利用 snmp 管理集群网管
   1) 启动 snmp server

1. 启动或停止集群功能

命令	解释
全局配置模式	
cluster run [key <*WORD*>] [vid <*VID*>] **no cluster run**	启动或停止交换机本设备的集群功能。

2. 建立集群

命令	解释
全局配置模式	

cluster ip-pool <*commander-ip*> **no cluster ip-pool**	配置集群中成员设备使用的私有 IP 地址池。
cluster commander [<*cluster_name*>] **no cluster commander**	创建或者删除集群。
cluster member {candidate-sn <candidate-sn> | mac-address <mac-addr> [id <member-id>]} **no cluster member {id <member-id> | mac-address <mac-addr>}**	添加或删除集群成员。

3. 在命令交换机上配置集群相关属性

命令	解释
全局配置模式	
cluster auto-add **no cluster auto-add**	使能或禁止把新发现的候选交换机自动加入集群。
cluster member auto-to-user	把自动加入的成员变成手动加入的成员。
cluster keepalive interval <*second*> **no cluster keepalive interval**	设置集群的保活时间。
cluster keepalive loss-count <*int*> **no cluster keepalive loss-count**	设置集群中保活报文最大允许丢失个数。
特权模式	
clear cluster nodes [nodes-sn <*candidate-sn-list*> | mac-address <*mac-addr*>]	清除命令交换机维护的候选交换机列表中的节点。

4. 在候选交换机上配置集群相关参数

命令	解释
全局配置模式	
cluster keepalive interval <*second*> **no cluster keepalive interval**	设置集群的保活时间。
cluster keepalive loss-count <*int*> **no cluster keepalive loss-count**	设置集群中保活报文最大允许丢失个数。

5. 利用集群网管进行远程管理

命令	解释
特权模式	
rcommand member <*member-id*>	在命令交换机上使用该命令对集群

	的成员交换机进行配置管理。
rcommand commander	在成员交换机上使用该命令对命令交换机进行配置管理。
cluster reset member [id <*member-id*> | mac-address <*mac-addr*>]	在命令交换机上使用该命令重启成员交换机。
cluster update member <member-id> <src-url> <dst-filename> [ascii | binary]	在命令交换机上对成员交换机进行远程升级。

6. 利用 web 管理集群网管

命令	解释
全局配置模式	
ip http server	在命令交换机和成员交换机上启动 http 功能。 注：通过 web 从 commander 访问 member 时必须确保 member 上面开启了 http 功能。commander 通过点击其集群拓扑图上 member 节点来访问 member。

7. 利用 snmp 管理集群网管

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server enable	在命令交换机和成员交换机上启动 snmp server 功能。 注：通过 snmp 从 commander 访问 member 时必须确保 member 上面开启了 snmp server 功能。commander 通过设置团体字符串 <commander-community>@sw<member id> 的方式访问指定的 member。

1.4.3 集群网管举例

案例：

四台交换机 SW1-SW4，其中指定 SW1 为命令交换机，其余交换机为成员交换机，其中 SW2 和 SW4 和命令交换机直接相连，交换机 SW3 通过交换机 SW2 连接到命令交换机。

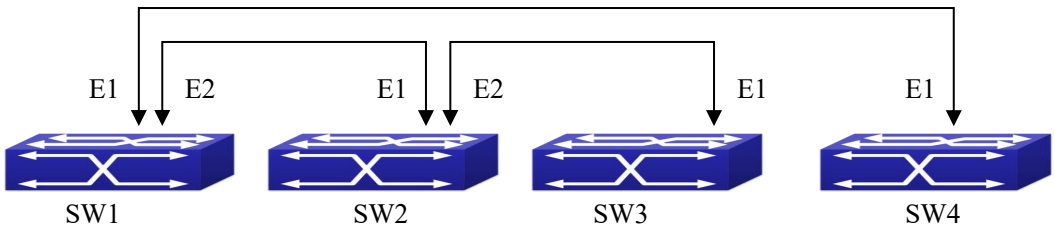


图 1-17 集群网管配置

配置步骤：

1. 配置命令交换机

SW1 的配置：

Switch(config)#cluster run

Switch(config)#cluster ip-pool 10.2.3.4

Switch(config)#cluster commander 5526

Switch(config)#cluster auto-add

2. 配置成员交换机

SW2-SW4 的配置：

Switch(config)#cluster run

1.4.4 集群网管排错帮助

当在使用集群网管过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

是否正确配置了命令交换机，并启动了自动加入功能(cluster auto-add)，并且是否命令交换机和成员交换机相连的端口属于配置的 cluster vlan。

在命令交换机的 VLAN1 启动 cluster commander 后，请不要在该 Vlan 下启动路由协议(rip,ospf,bgp)等，以避免该路由协议将该 Vlan 的私有集群网管地址广播到其它交换机，造成路由环路。

命令交换机和成员交换机之间的连接是否正常，可通过相关的 debug 命令观察交换机能否正确接收和处理相关的集群网管报文。

1.5 USB

1.5.1 USB 功能介绍

当有 USB 存储设备插入或拔出交换机的 USB 接口时，交换机可以检测到有 USB 的热插拔信息，并进行 USB 存储设备的挂载或卸载操作

当有 USB 存储设备插入交换机的 USB 接口时，交换机挂载 USB 设备中的文件系统，交换机可以进行 USB 设置中文件的读取，拷贝，删除，更名，配置恢复，下载文件和保存

交换机中文件的操作

本设备支持 USB 设备的过流报警功能，当设备的实际电流超过了设备的额定电流之后，交换机会提示用户交换机温度过高，此时如果插入 USB 设备将有烧坏设备的危险。

1.5.2 USB 功能配置序列

1. 进行 USB 存储设备的挂载，并进入 USB 盘符
2. 显示 USB 盘符信息
3. 将源文件拷贝成目的文件
4. 删除文件内容
5. 重命名文件名
6. 将 USB 盘符下的 config 文件升级到交换机中
7. 将 USB 盘符下的 img 文件升级到交换机中
8. 创建目录
9. 删除已存在目录
10. 进行 USB 存储设备的卸载

1. 进行 USB 存储设备的挂载，并进入 USB 盘符

命令	解释
特权配置模式	
cd usb:	进入 USB 盘符

2. 显示 USB 盘符信息

命令	解释
特权配置模式	
dir	显示 USB 盘符信息

3. 将源文件拷贝成目的文件

命令	解释
特权配置模式	
copy source destination	将源文件拷贝成目的文件

4. 删除文件

命令	解释
特权配置模式	
delete filename	删除文件

5. 重命名文件名

命令	解释
特权配置模式	
rename source destitation	将源文件名更名为目的文件名

6. 将 USB 盘符下的 config 文件升级到交换机中

命令	解释
特权配置模式	
copy usb:/startup.cfg startup.cfg	将 usb 盘符下的 startup.cfg 升级到交换机中,该操作支持反向传输，即：copy startup.cfg usb:/startup.cfg

7. 将 USB 盘符下的 img 文件升级到交换机中

命令	解释
特权配置模式	
copy usb:/nos.img nos.img	将 usb 盘符下的 img 文件升级到交换机中，该操作支持反向传输，即：copy nos.img usb:/nos.img

8. 创建目录

命令	解释
特权配置模式	
mkdir	创建新目录

9. 删除已存在的目录

命令	解释
特权配置模式	
rmdir	删除已存在的目录

1.5.3 USB 功能举例

将 usb 盘符中的 source1.txt 删除，将 usb 盘符中的 tt.txt 文件重命名为 tttt.txt

在 usb 盘符中创建新目录 sw1

Switch#delete source1.txt

Switch#rename usb:/tt.txt usb:/tttt.txt

Switch#mkdir sw1

1.5.4 USB 功能排错帮助

- 目前只支持 CLI 用户操作界面模式下 USB 设备的挂载/卸载功能，该功能在非 CLI 用户操作界面模式下暂不支持。
- 确保交换机处于上电状态，并正确的插入 USB 设备，USB 设备中的文件内容会自动 mount 到交换机的文件系统中。
- 对于 USB 读写功能，暂不支持读写过程中的插拔操作。
- 插入 USB 设备，USB 设备中的文件内容会自动 mount 到交换机的文件系统中，本功能暂不支持文件内容的中文识别和显示。
- 直接输入 dir 命令，默认显示的是 flash 盘符下的文件内容，若要显示 usb 设备中的文件信息，可以先输入命令 cd usb:进入 usb 盘符，然后再输入命令 dir，显示 usb 设备中的文件信息；或者使用绝对路径，输入命令 dir usb:，显示 usb 设备中的文件内容。
- 本功能暂时不支持大文件的显示。

1.6 设备管理

1.6.1 设备管理简介

交换机的设备管理功能能够向用户提供机架的电源及风扇状态信息。实现对物理设备的维护和管理，并支持电源和风扇的热插拔操作。

1.6.2 设备管理配置

1.6.2.1 监测和调试任务

1．显示板卡信息

2．显示风扇状态信息

3．显示电源状态信息

1.显示板卡信息

命令	解释
特权模式	
show [member <member-id>] slot <slot-id>	显示各板卡基本信息。

2.显示风扇状态信息

命令	解释

特权模式	
show fan	显示风扇是否在位，工作状态是否正常以及风扇的速率。

3.显示电源状态信息

命令	解释
特权模式	
show power	显示各电源是否在位，工作状态是否正常。

第 2 章 网络安全操作手册

2.1 网络安全特性介绍

网络安全，是指通过采取必要措施，防范对网络的攻击、侵入、干扰、破坏和非法使用以及意外事故，使网络处于稳定可靠运行的状态，以及保障网络数据的完整性、保密性、可用性、真实性和可控性的能力。它涵盖了计算机网络的各个方面，包括硬件、软件、数据以及系统的整体安全。网络安全的重要性在于它已经成为国家安全的重要组成部分，直接关系到国家的政治、经济、文化、社会、生态、国防等各个领域的稳定和发展。

本章的重点主要是通过加密以及密码复杂度的手段去保证密码的安全，保证数据的完整性和保密性。

2.2 网络安全特性配置

2.2.1 修改端口号功能配置任务序列

1. 修改 SSH 服务端默认端口号
2. 修改 TELNET 服务端默认端口号
3. 修改 SNMP 服务端默认端口号

命令	解释
全局配置模式	
[no] ssh-server dst-port <*port-number*>	修改(关闭)SSH 服务端默认端口号的功能，关闭为默认端口号。
[no] telnet-server dst-port <*port-number*>	修改(关闭)TELNET 服务端默认端口号的功能，关闭为默认端口号。
[no] snmp-server dst-port <port-number>	修改(关闭)SNMP 服务端默认端口号的功能，关闭为默认端口号。

2.2.2 修改加密算法功能配置任务序列

1．修改 SSL 安全加密算法
2．修改 SSH 安全加密算法

命令	解释
全局配置模式	

[no] ip http secure-ciphersuite {aes128-gcm-sha256 | aes128-sha | aes128-sha256 | aes256-sha | aes256-sha256 | ecdhe-rsa-aes128-gcm-sha256 | ecdhe-rsa-aes128-sha | ecdhe-rsa-aes256-sha}	开启(关闭)SSL 加密算法，关闭时默认选择所有算法。
[no] ssh-server encryption-algorithm (add | remove) {aes128-cbc | 3des-cbc | aes128-ctr | aes256-ctr | aes256-cbc | 3des-ctr | all}	添加（移除）SSH 加密算法组件，删除时默认只有 aes-128-ctr、aes-256-ctr、3des-ctr 三种算法。

2.2.3 修改加密算法功能配置任务序列

1．可变缺省密码
2．强制修改缺省密码
3．密码强度检查
4．密码有效期
5．错误信息提示
6．密码回显
7．用户强制安全输入

命令	解释
全局配置模式	
[no] service default user password macbased	配置设备出厂缺省密码由设备 VLAN MAC 地址计算 MD5 后，通过特定组合生成，本命令的 no 操作为恢复出厂缺省密码。
[no] first-login change password	（取消）用户初次登录时，强制修改缺省密码。
[no] userpassword restriction {min-length <1-32> | format-mix (<2-4>) | max-consecutive-char <2-32> | max-consecutive-identical-char <2-32>}	（取消）配置密码强度检查，其中包含长度，种类和组合。长度为 1-32；种类为大写字母，小写字母，数字，特殊字符，包含其中 2 到 4 种，组合包含允许的相邻字符最大个数和允许的连续相同字符最大个数。
[no] service user password valid-time <0-90>	配置密码有效期，no 为永久有效。

[no] user-login failed msg neutral	用户登录失败时，提示信息不包含认证失败具体原因的内容：密码错误、用户不存在等，仅提示登录失败的中性提示信息，no 为提示具体内容。
[no] password feedback (none|star)	配置密码回显的方式，默认显示*号。
[no] userpassword security-config	（取消）配置用户密码强制安全输入

2.2.4 敏感信息加密功能配置任务序列

1．使能加密功能

2．配置加密方式

命令	解释
全局配置模式	
[no] service password-encryption	配置（去）试能加密模式
[no] service password-encryption type user algo (md5|sha256|aes (salt|)|sm4 (salt|))	配置（删除）加密方式，使用的加密算法以及盐值

2.2.5 重要文件校验功能配置任务序列

1．使能 IMG 及配置文件校验功能

命令	解释
全局配置模式	
[no] boot (img | startup-config) check enable	开启（关闭）img 校验或者配置文件校验

2.3 网络安全特性举例

案例 1：

用户有如下配置需求：交换机配置启动检查配置文件，且登陆的时候需要密码，有效期为 10 天

配置步骤如下：

Switch(config)#

Switch(config)#authentication line console login local

Switch(config)#boot startup-config check enable
Switch(config)#service user password valid-time 10

案例 2：

用户有如下配置需求：1.用户配置密码只能用密文方式输入回显为*号，且需求数字，大小写字母，特殊字符四种组合方式，密码长度不得低于 10。2.配置中的密码使用 SM4 加密，并且每次显示不能一样。

配置步骤如下：

Switch(config)#
Switch(config)#service password-encryption
Switch(config)#service password-encryption type user algo sm4 salt
Error:user admin is Encrypt by other algo, please delete first
Switch(config)#no username admin
Switch(config)#service password-encryption type user algo sm4 salt
Switch(config)#userpassword security-config
Switch(config)#password feedback star
Switch(config)#userpassword restriction min-length 10 format-mix 4
Switch(config)#username aaa password
Password:**********
Invalid password, password must no lease than 4 type(ex:0-9,A-Z,a-z,special character) mixed format!
Switch(config)#username aaa password
Password:**********
Switch(config)#show running-config |include aaa
username aaa password 7 Zjs+r7VvTdI4oHwSJXHdOn3pim5RGKcI5ZOPFUXchjU=
Switch(config)#show running-config |include aaa
username aaa password 7 Zjs+r7VvTdI4oHwSJXHdOiwj4bAHIoyEj9vRRNVh+Sc=

案例 3：

用户有如下配置需求：用户使用 ssh 连接设备时，不能使用 3des-cbc 和 3des-ctr 算法。

配置步骤如下：

Switch(config)#
Switch(config)#ssh-server enable
ssh is enabled successfully.
Switch(config)#ssh-server encryption-algorithm add all
Switch(config)#ssh-server encryption-algorithm remove 3des-cbc 3des-ctr

第 3 章 二层业务操作

3.1 端口配置

3.1.1 端口介绍

交换机端口包括电口和 Combo 端口， Combo 端口可以选择配置为千兆电口，也可以选择配置为千兆 SFP 光口，两者只能选择其中之一。

如果用户要对某些端口进行配置，可以使用命令 interface ethernet <interface-list>进入到相应的以太网接口配置模式，参数<interface-list>为一个或多个端口，<interface-list>包含多个端口时，可以使用‘;’和‘-’等特殊字符进行连接，‘;’连接不连续的端口号，‘-’连接连续的端口号。例如要同时对前面板上的 2,3,4,5 端口进行操作，可以使用命令 interface ethernet 1/1/2-5。在以太网接口配置模式下可对端口的速率、双工模式、流量控制等进行配置，相应物理端口的表现也随之改变。

3.1.2 业务端口配置

业务端口配置任务序列如下：

1. 进入业务端口配置模式
2. 配置业务端口的属性

(1) 配置组合端口的组合模式
(2) 打开或关闭端口
(3) 配置端口名字
(4) 配置端口连线类型
(5) 配置端口速率和双工模式
(6) 配置带宽控制
(7) 配置流量控制
(8) 打开或关闭端口环回功能
(9) 配置交换机广播风暴抑制功能
(10) 配置扫描端口方式
(11) 配置端口速率违背控制
(12) 配置端口速率设置统计间隔时间

3. 虚拟线路检测

1.进入以太网端口配置模式

命令	解释
全局配置模式	
interface ethernet *<interface-list>*	进入业务端口配置模式。

2.配置以太网端口属性

命令	解释
端口配置模式	
media-type {copper | copper-preferred-auto | fiber | sfp-preferred-auto}	设定组合端口模式（仅限组合端口）。
shutdown **no shutdown**	关闭或打开指定端口。
description <string> **no description**	设定或取消指定端口的名字。
speed-duplex {auto [10 [100 [1000]] [auto | full | half |]] | force10-half | force10-full | force100-half | force100-full | force100-fx [module-type {auto-detected | no-phy-integrated | phy-integrated}] | {{force1g-half | force1g-full} [nonegotiate [master | slave]]}| force10g-full} **no speed-duplex**	设置 1000Base-TX、100Base-TX 或 100Base-FX 端口的速率和双工模式。本命令的 no 操作为恢复默认设置，即自动协商速度双工。
negotiation {on|off}	打开或关闭 1000Base-FX 端口的自动协商。
bandwidth control <bandwidth> [both | receive | transmit] **no bandwidth control**	设置或取消指定端口收、发数据占用的带宽。
flow control **no flow control**	打开或关闭指定端口的流量控制功能。
loopback **no loopback**	打开或关闭指定端口的环回测试功能。
storm control {unicast | broadcast | multicast} {kbps <Kbits> | pps <PPS>}	打开交换机的广播风暴抑制（或组播、未知单播，下同）功能，并设置每秒允许通过的广播包数量；本命令的 no 操作为取消广播风暴抑制功能。

port-scan-mode {interrupt | poll} **no port-scan-mode**	配置扫描端口方式为中断或查询方式。本命令的 no 操作恢复默认的端口扫描方式。
rate-violation <200-2000000> [recovery <0-86400>] **no rate-violation**	设置交换机端口的报文最大收包速率，如果端口的接收报文速率违背了收包速率则 shutdown 端口，可以配置 shutdown 端口后的恢复时间，默认是 300s。本命令的 no 操作为关闭端口的速率违背功能。
全局配置模式	
port-rate-statistics interval <interval -value>	配置 port-rate-statistics 统计间隔时间。

3. 虚拟线路检测

命令	解释
特权模式	
virtual-cable-test interface (ethernet |)IFNAME	进行端口的虚拟线路检测。

3.1.3 端口配置举例

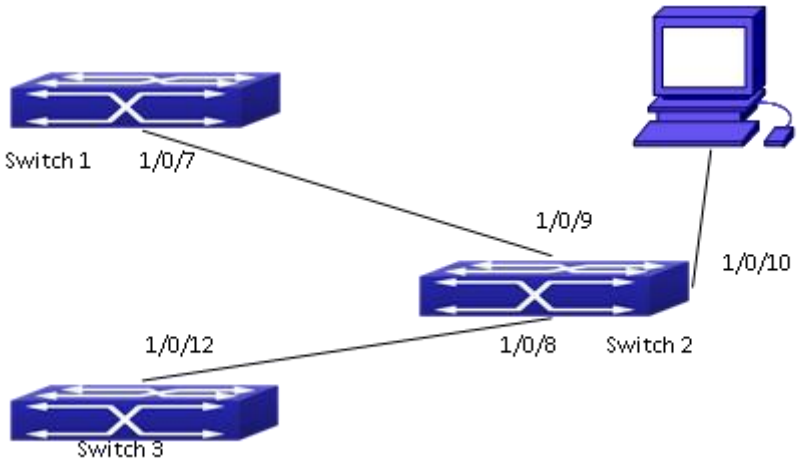


图 2-1 端口配置举例

交换机中均未配置 VLAN，因此使用缺省 VLAN1。

交换机	端口	属性
SW1	1/1/7	入口带宽限制，50M
SW2	1/1/8	端口镜像源端口
	1/1/9	100M/full、端口镜像源端口
	1/1/10	1000M/full、端口镜像目的端口
SW3	1/1/12	100M/full

配置如下：

SW1：

Switch1(config)#interface ethernet 1/1/7

Switch1(Config-If-Ethernet1/1/7)#bandwidth control 50000 both

SW2：

Switch2(config)#interface ethernet 1/1/9

Switch2(Config-If-Ethernet1/1/9)#speed-duplex force100-full

Switch2(Config-If-Ethernet1/1/9)#exit

Switch2(config)#interface ethernet 1/1/10

Switch2(Config-If-Ethernet1/1/10)#speed-duplex force1g-full

Switch2(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit

Switch2(config)#monitor session 1 source interface ethernet 1/1/8;1/1/9

Switch2(config)#monitor session 1 destination interface ethernet 1/1/10

SW3：

Switch3(config)#interface ethernet 1/1/12

Switch3(Config-If-Ethernet1/1/12)#speed-duplex force100-full

Switch3(Config-If-Ethernet1/1/12)#exit

3.1.4 端口排错帮助

用户在进行端口配置时通常会遇到的情况及解决建议如下：

- 两个光口互相连接时，如果一端设置为自动协商，另一端设置强制速率/双工，则光口不会 Link up。这是由 IEEE 802.3 协议决定的。
- 建议用户不要进行以下的组合设置：打开某端口流控，同时设置该端口组播抑制；设置某端口的广播、组播或未知单播抑制，同时设置端口带宽限制。如果在端口进行这些组合设置，可能导致端口流量低于期望值。

3.2 端口隔离

3.2.1 端口隔离功能简介

端口隔离是一个基于端口的独立功能，作用于端口和端口之间，隔离相互之间的流量，利用端口隔离的特性，可以实现 vlan 内部的端口隔离，从而节省 vlan 资源，增加网络的安全性。配置端口隔离功能后，一个隔离组内的端口之间相互隔离，不同隔离组的端口之间或者不属于任何隔离组的端口与其他端口之间都能进行正常的数据转发。一台交换机上最多能够配置 30 个隔离组。

3.2.2 端口隔离功能任务序列

1. 创建隔离组
2. 将以太网端口添加进隔离组
3. 指定需要隔离的流量
4. 显示端口隔离的配置情况

1. 创建隔离组

命令	解释
全局配置模式	
isolate-port group <*WORD*> **no isolate-port group <*WORD*>**	设置隔离组；本命令的 no 操作将删除隔离组。

2. 将以太网端口添加进隔离组

命令	解释
全局配置模式	
isolate-port group <*WORD*> switchport interface [ethernet | port-channel] <*IFNAME*> **no isolate-port group <*WORD*> switchport interface [ethernet | port-channel] <*IFNAME*>**	将一个或一组以太网端口加入某个隔离组成为该隔离组的隔离端口；该命令的 no 操作是将一个或一组以太网端口从某个隔离组中移出。

3. 指定需要隔离的流量

命令	解释
全局配置模式	
isolate-port apply [<l2| all>]	使端口隔离的配置应用于隔离 2 层流量或者隔离所有的流量。

4. 显示端口隔离的配置情况

命令	解释
特权配置模式和全局配置模式	
show isolate-port group [<*WORD*>]	显示端口隔离的相关配置，包括已经配置的隔离组和隔离组内的所有以太网端口。

3.2.3 端口隔离功能典型案例

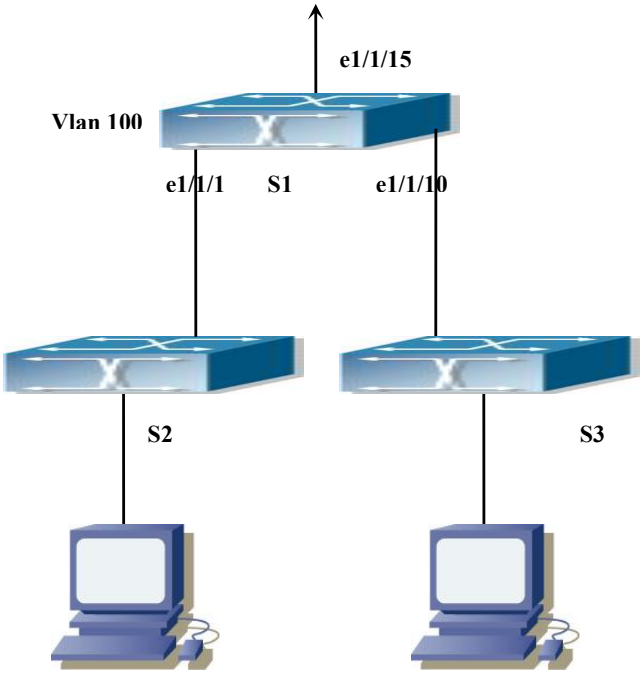


图 2-2 端口隔离功能配置案例

各个交换机的拓扑和配置如上图所示，e1/1/1、e1/1/10 和 e1/1/15 都属于 vlan 100。要求在交换机 S1 上配置端口隔离后，交换机 1 的 e1/1/1 和 e1/1/10 不通，但 e1/1/1 和 e1/1/10 可以和上行口 e1/1/15 通。即，所有下行端口之间不能互通，但下行端口可以和指定的上行端口互通。上行端口可以和所有端口互通。

在 S1 上进行配置：

Switch(config)#isolate-port group test

Switch(config)#isolate-port group test switchport interface ethernet 1/1/1;1/1/10

3.3 端口环路检测

3.3.1 端口环路检测功能简介

随着交换机的发展，用户通过以太网交换机接入网络越来越多。在企业网中，用户通过二层以太网交换机接入网络，他们不仅有上 internet 的需求，同时内部二层互通的需求也相当迫切。当用户需要二层互通时，报文的转发直接通过 MAC 寻址，MAC 地址学习的正确与否决定着用户之间是否能够正确的互通。在二层交换中，通过 MAC 地址寻址来进行报文转发。二层设备的 MAC 地址学习都是通过源 MAC 地址学习来进行的。即：当端口收到一

个未知源 MAC 地址的报文，会将这个 MAC 添加到接收端口上，以便后续以该 MAC 地址为目的的报文能够直接转发，即一次学习，多次转发。

当新来源 MAC 如果发现该 MAC 已经学习到了二层设备上，而源端口不一样，会修改原来 MAC 地址的源端口，也就是将原来的 MAC 地址移动到新的端口上来。因此当链路上存在环回情况时，最后会发现整个二层网络中的所有的 MAC 地址都移动到了存在环回的端口上了（大多的情况是 MAC 地址频繁在不同端口间切换），导致二层网络瘫痪。在网络中进行端口环路检测非常必要，具有重要的意义。当设备通过环路检测发现了网络存在环回情况时，可以通过发送告警信息到网管系统，使网络管理人员能够及时发现网络中存在的问题，从而及时定位和解决。避免长时间的用户断网现象。

因为环路检测可以动态的发现链路上是否存在环回以及链路上的环回是否消失，因此，对于支持端口受控（比如端口隔离，端口 MAC 地址学习受控）的设备，可以实现自动维护。这样不仅减轻网管人员的工作负担，同时反应更加及时，能迅速将环回对网络的影响减小至最小。

3.3.2 端口环路检测功能配置任务序列

1. 配置环路检测的时间间隔
2. 启动端口环路检测功能
3. 配置端口环路控制方式
4. 显示和调试端口环路检测相关信息
5. 配置环路检测受控方式是否自动恢复

1. 配置环路检测的时间间隔

命令	解释
全局配置模式	
loopback-detection interval-time *<loopback> <no-loopback>* **no loopback-detection interval-time**	设置或恢复环路检测的时间间隔。

2. 启动端口环路检测功能

命令	解释
端口配置模式	
loopback-detection specified-vlan *<vlan-list>* **no loopback-detection specified-vlan *<vlan-list>***	启动和关闭端口环路检测功能。

3. 配置端口环路控制方式

命令	解释

端口配置模式	
loopback-detection control {shutdown | block| learning } **no loopback-detection control**	打开和关闭端口的环路检测受控功能。

4. 显示和调试端口环路检测相关信息

命令	解释
特权配置模式	
debug loopback-detection **no debug loopback-detection**	打开端口环路检测功能模块的调试信息，本命令的 NO 操作关闭调试信息输出。
show loopback-detection [interface <*interface-list*>]	不输入参数则显示所有端口的环路检测状态和检测结果，输入参数则显示相应端口的状态和结果。

5. 配置环路检测受控方式是否自动恢复

命令	解释
全局配置模式	
loopback-detection control-recovery time out <0-3600>	配置环路检测受控方式是否自动恢复或者恢复的时间间隔。

3.3.3 端口环路检测典型案例

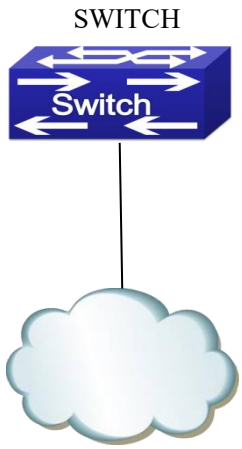


图 2-3 端口环路检测典型配置案例

上述配置中，交换机检测网络拓扑中是否存在环路情况。在交换机与外部网路连接的端口上启动端口环路检测功能，如果外部网络中存在环路的情况，交换机就会提示下连的网络存在环路，并将交换机上的这个端口控制，以免影响整个网络的正常工作。

SWITCH 配置任务序列：

Switch (config)#loopback-detection interval-time 35 15

Switch (config)#int ethernet 1/1/1

Switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#loopback-detection special-vlan 1-3

Switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#loopback-detection control block

如果使用 block 控制，必须全局启动 mstp，并且配置生成树实例与 vlan 的对应关系

Switch(config)#spanning-tree

Switch(config)#spanning-tree mst configuration

Switch(Config-Mstp-Region)#instance 1 vlan 1

Switch(Config-Mstp-Region)#instance 2 vlan 2

Switch(Config-Mstp-Region)#

3.3.4 端口环路检测排错帮助

端口环路检测功能默认情况下是关闭的，如果需要检测环路可以打开该功能。

3.4 ULDP

3.4.1 ULDP 功能简介

单向链路是网络中常见的一种错误链路状态，在光纤连接的链路中尤为常见。所谓单向链路，是指链路两端的端口之一可以收到对端发送的数据链路层报文，而对端不能收到本端发送的报文。此时链路物理层处于是连通状态，能正常工作，因而物理层的检测机制无法发现设备间通信存在问题。如下图所示，图中所示的光纤连接的错误就无法通过物理层的自动协商等机制发现。

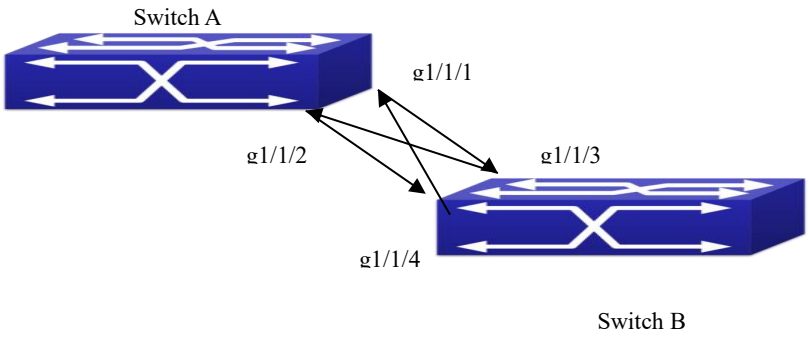


图 2-4 光纤交叉连接

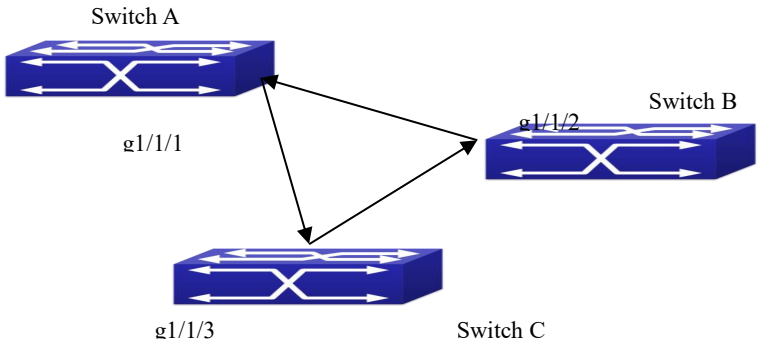


图 2-5 光纤一端未连接

这种情形通常会出现在以下几种情况之中：GBIC（Giga Bitrate Interface Converter，吉比特接口转换器）或接口出现故障、软件故障、硬件失效或其他异常表现。单向链路会引起一系列问题，比如生成树拓扑环路，广播黑洞等。

ULDP（UniDirectional Link Detection Protocol）有助于防止在上述几种失效中发生灾难性的事件，在通过光纤或铜质以太网线（例如超五类双绞线）连接的交换机上，它可以监控物理线路的链路状态，当发现单向链路后，向用户发送告警信息，并根据用户配置，自动或者手动地关闭相关端口。

神州数码系列交换机 ULDP 是通过交互 ULDP 报文识别对端设备，检测链路链接的正确性。端口使能了 ULDP 后，将启动协议状态机，在状态机的不同状态下发送不同类型的报文，与对端交互信息来检测链路的连接状况。ULDP 可以动态的学习对端的通告报文时间间隔，并以此来调整对端信息在本端的存活时间。此外，ULDP 还提供了重启机制，当端口被 ULDP 关闭后，可以通过重启机制来重新检测。其中，ULDP 发送通告报文的时间间隔和重启时间间隔可由用户配置，以便 ULDP 在不同的网络环境对链路的连接错误做出更快的响应。

ULDP 能正确工作的前提是链路工作在全双工方式，链路两端都使能了 ULDP 功能，认证方式和密码相同。

3.4.2 ULDP 配置任务序列

1. 启动全局 ULDP 功能
2. 启用端口 ULDP 功能
3. 配置全局积极模式
4. 配置端口积极模式
5. 配置关闭单向链路方式
6. 配置 Hello 报文时间间隔
7. 配置 Recovery 时间间隔
8. 重启被 ULDP 关闭的端口

9. 显示和调试 ULDP 相关信息

1. 启动全局 ULDP 功能

命令	解释
全局配置模式	
uldp enable **uldp disable**	全局启动或关闭 ULDP 功能。

2. 启动端口 ULDP 功能

命令	解释
端口配置模式	
uldp enable **uldp disable**	端口启动或关闭 ULDP 功能。

3. 配置全局积极模式

命令	解释
全局配置模式	
uldp aggressive-mode **no uldp aggressive-mode**	设置全局工作模式。

4. 配置端口积极模式

命令	解释
端口配置模式	
uldp aggressive-mode **no uldp aggressive-mode**	设置端口工作模式。

5. 配置关闭单向链路方式

命令	解释
全局配置模式	
uldp manual-shutdown **no uldp manual-shutdown**	配置关闭单向链路方式。

6. 配置 Hello 报文时间间隔

命令	解释
全局配置模式	
uldp hello-interval <*integer*> **no uldp hello-interval**	配置 Hello 报文时间间隔范围为 5－100 秒，默认为 10 秒。

7. 配置 Recover 时间间隔

命令	解释
全局配置模式	
uldp recovery-time <*integer*> **no uldp recovery-time <*integer*>**	配置端口重启时间间隔范围为 30－86400 秒，默认为 0 秒。

8. 重启被 ULDP 关闭的端口

命令	解释
全局配置模式或端口配置模式	
uldp reset	全局模式下重启所有端口； 端口模式下重启指定端口。

9. 显示和调试 ULDP 相关信息

命令	解释
特权模式	
show uldp [interface ethernet IFNAME]	显示 ULDP 信息。不带端口参数显示全局 ULDP 信息。带端口参数显示全局信息和该端口邻居信息。
debug uldp fsm interface ethernet <*IFname*> **no debug uldp fsm interface ethernet <*IFname*>**	打开或关闭指定端口的状态机迁移信息调试项。
debug uldp error **no debug uldp error**	打开或关闭错误信息调试项。
debug uldp event **no debug uldp event**	打开或关闭事件信息调试项。
debug uldp packet {receive|send} **no debug uldp packet {receive|send}**	打开或关闭所有端口收发报文类型。
debug uldp {hello|probe|echo| unidir|all} [receive|send] interface ethernet <IFname> **no debug uldp {hello|probe|echo| unidir|all} [receive|send] interface ethernet <IFname>**	打开或关闭特定端口收发的某种类型报文的详细内容。

3.4.3 ULDP 功能典型案例

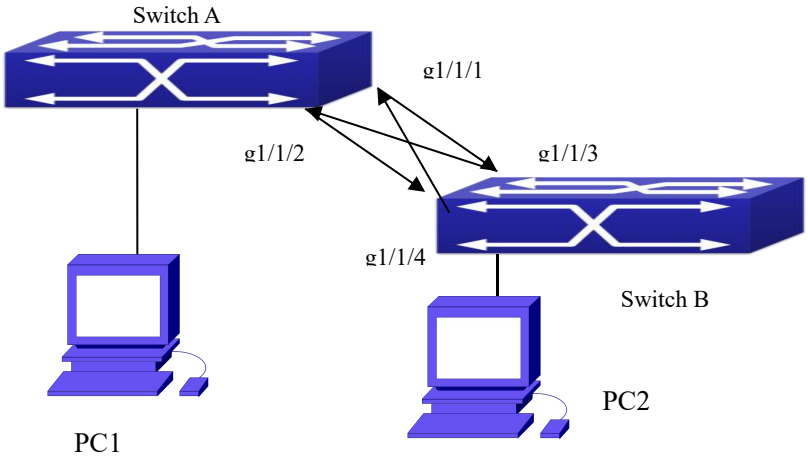


图 2-6 光纤交叉连接

在上述网络拓扑图中，SWITCH A 的端口 g1/1/1，g1/1/2 和 SWITCH B 的端口 g1/1/3，g1/1/4 均为光口，该连接为交叉连接。此时物理层连通，能工作正常，但是数据链路层异常。ULDP 可以检测并且关闭这种错误链路状态。最终的结果是 SWITCH A 的端口 g1/1/1，g1/1/2 和 SWITCH B 的端口 g1/1/3，g1/1/4 均被 ULDP 关闭。只有连接正确才能正常工作（不会被关闭）。

Switch A配置序列：

SwitchA(config)#uldp enable
SwitchA(config)#interface ethernet 1/1/1
SwitchA(Config-If-Ethernet1/1/1)#uldp enable
SwitchA(Config-If-Ethernet1/1/1)#exit
SwitchA(config)#interface ethernet 1/1/2
SwitchA(Config-If-Ethernet1/1/2)#uldp enable

Switch B配置序列：

SwitchB(config)#uldp enable
SwitchB(config)#interface ethernet 1/1/3
SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/3)#uldp enable
SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/3)#exit
SwitchB(config)#interface ethernet 1/1/4
SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/4)#uldp enable

最终，SWITCH A的端口g1/1/1，g1/1/2均被ULDP关闭，在PC1的CRT终端均有提示信息：

%Oct 29 11:09:50 2007 A unidirectional link is detected! Port Ethernet1/1/1 need to be

shutted down!

%Oct 29 11:09:50 2007 Unidirectional port Ethernet1/1/1 shutted down!

%Oct 29 11:09:50 2007 A unidirectional link is detected! Port Ethernet1/1/2 need to be shutted down!

%Oct 29 11:09:50 2007 Unidirectional port Ethernet1/1/2 shutted down!

SWITCH B的端口g1/1/3，g1/1/4均被ULDP关闭，在PC2的CRT终端均有提示信息：

%Oct 29 11:09:50 2007 A unidirectional link is detected! Port Ethernet1/1/3 need to be shutted down!

%Oct 29 11:09:50 2007 Unidirectional port Ethernet1/1/3 shutted down!

%Oct 29 11:09:50 2007 A unidirectional link is detected! Port Ethernet1/1/4 need to be shutted down!

%Oct 29 11:09:50 2007 Unidirectional port Ethernet1/1/4 shutted down!

3.4.4 ULDP 排错帮助

配置注意事项：

- 为了使得 ULDP 能够监测到光纤口上的一端未连或是交叉错连，端口必须为全双工模式，且速率相同。
- 当一端错连的光纤端口的自动协商机制在决定端口的工作模式和速度时，即使 ULDP 已经使能，也不起作用。在这种情况下，认为该端口是 Down 的。
- 为了确保能正确的建立邻居和监测单向链路，要求：链路两端都使能 ULDP，且认证模式和密码相同，目前两端均不需验证密码。
- 发送 hello 报文的 hello interval 间隔可调（默认 10 秒，可调范围 5-100 秒），以便根据不同的网络环境使 ULDP 对链路连接错误做出更快的响应。但是这个时间间隔必须小于 1/3 的 STP 收敛时间，如果设置的时间过长，在 ULDP 发现并关闭单向连接端口之前 STP loop 已经形成。反之，如果设置的时间间隔太短，端口的网络负担会增加，带宽会减少。
- ULDP 不处理任何 LACP 事件，把汇聚组（如 Port-channel，trunk 端口等）的每个链路看作是独立的，分别进行处理。
- ULDP 不能和其它厂商相似的协议兼容，也就是说，不能在一端使能 ULDP，而在另一端使能其他的相似的协议。
- ULDP 功能默认是关闭的。打开全局 ULDP 功能后，可以同时打开调试开关来查看调试信息。设计了多条 DEBUG 命令来打印调试信息，如事件，状态机，错误，报文信息。对于报文信息，还可以分不同参数来打印不同类型的报文信息。
- Recovery 定时器 timer 默认不启用。只有用户配置了 recovery time（30-86400 秒）才启用。
- reset 命令和重启机制只能重启 ULDP 自动关闭的端口，被用户手工关闭的或是被其他模块关闭的端口不会被 ULDP 重新启动。

3.5 LLDP

3.5.1 LLDP 功能简介

链路层发现协议（Link Layer Discovery Protocol，LLDP）是 802.1ab 中定义的新协议，它可使邻近设备向其他设备发出其状态信息的通知，并且所有设备的每个端口上都存储着定义自己的信息，如果需要还可以向与它们直接连接的近邻设备发送更新的信息，近邻的设备会将信息存储在标准的 SNMP MIBs。网络管理系统可从 MIB 处查询出当前第二层的连接情况。LLDP 不会配置也不会控制网络元素或流量，它只是报告第二层的配置。802.1ab 中的另一个内容是使网络管理软件利用 LLDP 所提供的信息去发现某些第二层的矛盾之处。IEEE 目前使用的是 IETF 现有的物理拓扑、接口和 Entity MIBs。

简单说来，LLDP 是一种邻近发现协议。它为以太网网络设备，如交换机、路由器和无线局域网接入点定义了一种标准的方法，使其可以向网络中其他节点公告自身的存在，并保存各个邻近设备的发现信息。例如设备配置和设备识别等详细信息都可以用该协议进行公告。

具体来说，LLDP 定义了一个通用公告信息集、一个传输公告的协议和一种用来存储所收到的公告信息的方法。要公告自身信息的设备可以将多条公告信息放在一个局域网数据包内传输，传输的形式为类型长度值（TLV）域。所有具备 LLDP 能力的设备必须支持设备机身 ID 和端口 ID 公告，但根据预计，多数设备还要支持系统名称、系统描述和系统能力公告。系统名称和系统描述公告可以为收集网络流量数据提供非常有用的信息。系统描述公告可以包含诸如公告设备的全名和系统的硬件类型及软件操作系统的版本信息等数据。

802.1AB 链接层发现协议（Link Layer Discovery Protocol），将能够使企业网络的故障查找变得更加容易，并加强网络管理工具在多厂商环境中发现和保持精确网络拓扑结构的能力。

许多网络管理软件都使用“自动发现”功能（Automated Discovery）来跟踪拓扑的变化和条件，但绝大多数软件最多也只是到达第三层，将设备分组到各个 IP 子网而已。但这些都是非常原始的数据，只是有关设备增加和移除的基本事件，而不是这些设备在哪里或怎样与网络服务进行操作等详情。

第二层发现（Layer 2 Discovery）则深度触及了诸如哪些设备附带有哪些端口，以及哪些交换机与其他设备相互连接等信息，并显示出了客户端、交换机、路由器和应用服务器以及网络服务器之间的路径。如此详细的信息对计划和查询网络失败的根源将很有意义。

LLDP 将成为一种非常有用的管理工具，提供精确的网络映射、流量数据和网络故障查找信息。

3.5.2 LLDP 功能配置任务序列

1．全局启动 LLDP 功能

2．配置基于端口的 LLDP 功能开关

3．配置端口 LLDP 运行状态
4．配置 LLDP 更新报文发送间隔
5．配置 LLDP 报文老化时间乘法器
6．配置更新报文发送延迟
7．配置 Trap 报文发送间隔
8．配置端口使能 Trap 功能
9．配置端口发送信息可选属性
10．配置端口 Remote Table 存储空间大小
11．配置端口 Remote Table 满时的操作类型
12．显示和调试 LLDP 功能相关信息

1 .全局启动 LLDP 功能

命令	解释
全局配置模式	
lldp enable **lldp disable**	全局启动或关闭 LLDP 功能。

2 .配置基于端口的 LLDP 功能开关

命令	解释
端口配置模式	
lldp enable **lldp disable**	设置基于端口的 LLDP 功能开关。

3 .配置端口 LLDP 运行状态

命令	解释
端口配置模式	
lldp mode{send|receive|both|disable}	设置指定端口 LLDP 运行状态。

4 .配置 LLDP 更新报文发送间隔

命令	解释
全局配置模式	
lldp tx-interval <*integer*> **no lldp tx-interval**	设置 LLDP 更新报文发送间隔为配置值或默认值。

5 .配置 LLDP 报文老化时间乘法器

命令	解释
全局配置模式	

lldp msgTxHold <*value*> **no lldp msgTxHold**	设置 LLDP 报文老化时间乘法器为配置值或默认值。

6 .配置更新报文发送延迟

命令	解释
全局配置模式	
lldp transmit delay <*seconds*> **no lldp transmit delay**	设置 LLDP 更新报文发送延迟为配置值或默认值。

7 .配置 Trap 报文发送间隔

命令	解释
全局配置模式	
lldp notification interval <*seconds*> **no lldp notification interval**	设置 Trap 报文发送间隔为配置值或默认值。

8 .配置端口使能 Trap 功能

命令	解释
端口配置模式	
lldp trap <*enable*|*disable*>	设置端口使能 Trap 功能打开或关闭。

9 .配置端口发送信息可选属性

命令	解释
端口配置模式	
lldp transmit optional tlv [portDesc] [sysName] [sysDesc] [sysCap] **no lldp transmit optional tlv**	设置端口发送信息可选属性为选择值或默认值。

10 .配置端口 Remote Table 存储空间大小

命令	解释
端口配置模式	
lldp neighbors max-num <*value*> **no lldp neighbors max-num**	设置 Remote Table 存储空间大小为配置值或默认值。

11 .配置端口 Remote Table 满时的操作类型

命令	解释
端口配置模式	

lldp tooManyNeighbors {discard|delete}	设置当 Remote Table 满时的操作类型。

12 .显示和调试 LLDP 功能相关信息

命令	解释
特权，全局配置模式	
show lldp	显示当前 LLDP 配置信息。
show lldp interface ethernet *<IFNAME>*	显示当前端口 LLDP 配置信息。
show lldp traffic	显示各种计数器信息。
show lldp neighbors interface ethernet *<IFNAME>*	显示当端口 LLDP 的邻居信息。
show debugging lldp	显示所有开启 LLDP debug 开关的端口。
特权模式	
debug lldp **no debug lldp**	DEBUG 开关打开或关闭。
debug lldp packets interface ethernet *<IFNAME>* **no debug lldp packets interface ethernet *<IFNAME>***	端口或全局 DEBUG 收发包信息功能打开或关闭。
端口配置模式	
clear lldp remote-table	清空端口 Remote-table。

3.5.3 LLDP 功能典型案例

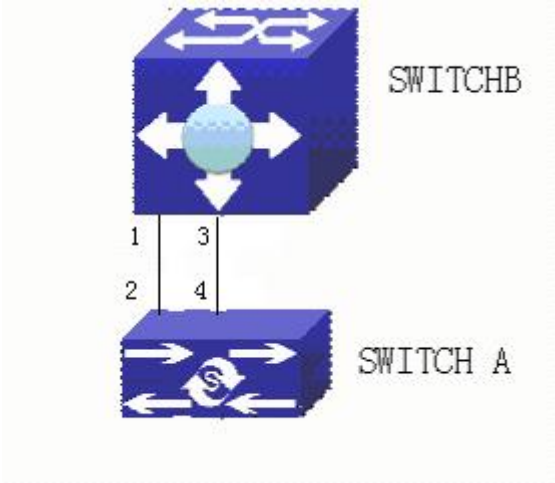


图 2-7 LLDP 功能典型配置案例

在上述网络拓扑图中，SWITCH B 的端口 1、3 与 SWITCH A 的端口 2、4 相连，SWITCH B 端口 1 配置了 LLDP 只接收报文模式，SWITCH A 的端口 4 配置了 Option TLV 为 portDes 和 SysCap。

SWITCH A 配置任务序列：

SwitchA(config)#lldp enable

SwitchA(config)#interface ethernet 1/1/4

SwitchA(Config-If-Ethernet1/1/4)#lldp transmit optional tlv portDesc sysCap

SwitchA(Config-If-Ethernet1/1/4)#exit

SWITCH B 配置任务序列：

SwitchB(config)#lldp enable

SwitchB(config)#interface ethernet1/1/1

SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/1)#lldp mode receive

SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/1)#exit

3.5.4 LLDP 功能排错帮助

- LLDP 功能默认是关闭的。打开 LLDP 全局开关后，可以同时打开调试关 debug lldp 来查看调试信息。
- 使用 LLDP 功能的 show 功能可以看到全局或端口的配置信息。

3.6 LLDP-MED

3.6.1 LLDP-MED 介绍

LLDP-MED（Link Layer Discovery Protocol-Media Endpoint Discovery）以 IEEE 的 802.1AB LLDP（Link Layer Discovery Protocol，链路层发现协议）为基础。LLDP 提供了一种标准的链路层发现方式，可以将本端设备的主要能力、管理地址、设备标识、接口标识等信息组织成不同的 TLV（Type/Length/Value，类型/长度/值），并封装在 LLDPDU（Link Layer Discovery Protocol Data Unit，链路层发现协议数据单元）中发布给与自己直连的邻居，邻居收到这些信息后将其以标准 MIB（Management Information Base，管理信息库）的形式保存起来，以供网络管理系统查询及判断链路的通信状况。

802.1AB LLDP 中没有涉及到对语音设备信息的传输和管理。为了方便对网络中语音设备的部署和管理，LLDP-MED 对 LLDP 进行扩展，定义一些新的 TLV。新的 TLV 消息将提供 PoE（Power over Ethernet）、联网策略（Network Policy）以及紧急电话服务的介质端点位置等信息。

3.6.2 LLDP-MED 配置任务序列

1. LLDP-MED 基本功能配置

命令	解释
端口配置模式	

lldp transmit med tlv all **no lldp transmit med tlv all**	配置指定端口发送所有 LLDP-MED TLV 的功能。no 命令为关闭端口发送 LLDP-MED TLV 的功能。
lldp transmit med tlv capability **no lldp transmit med tlv capability**	配置指定端口发送 LLDP-MED Capability TLV。no 命令为关闭端口发送 LLDP-MED Capability TLV 的能力。
lldp transmit med tlv networkPolicy **no lldp transmit med tlv networkPolicy**	配置指定端口发送 LLDP-MED Network Policy TLV。no 命令为关闭端口发送 LLDP-MED Network Policy TLV 的能力。
lldp transmit med tlv extendPoe **no lldp transmit med tlv extendPoe**	配置指定端口发送 LLDP-MED Extended Power-Via-MDI TLV。no 命令为关闭端口发送 LLDP-MED Extended Power-Via-MDI TLV 的能力。
lldp transmit med tlv location **no lldp transmit med tlv location**	配置指定端口发送 LLDP-MED Location Identification TLV。no 命令为关闭端口发送 LLDP-MED Location Identification TLV 的能力。
lldp transmit med tlv inventory **no lldp transmit med tlv inventory**	配置端口发送 LLDP 报文时携带 LLDP-MED Inventory Management TLVs 集合。no 命令为关闭端口发送 LLDP-MED Inventory Management TLVs 的能力。
network policy {voice | voice-signaling | guest-voice | guest-voice-signaling | softphone-voice | video-conferencing | streaming-video | video-signaling} [status {enable | disable}] [tag {tagged | untagged}] [vid {*<vlan-id>* | dot1p}] [cos *<cos-value>*] [dscp *<dscp-value>*]	配置端口的网络策略，包括端口的 VLAN ID、支持的应用（如语音和视频）、应用优先级以及使用策略等。

no network policy {voice | voice-signaling | guest-voice | guest-voice-signaling | softphone-voice | video-conferencing | streaming- video | video-signaling}	
civic location {dhcp server | switch | endpointDev} <*country-code*> **no civic location**	配置 Civic Address LCI 格式地址的设备类型和国家编号，同时进入端口的 Civic Address LCI 格式地址配置模式，no 命令操作为取消端口 Civic Address LCI 格式地址的所有配置。
ecs location <*tel-number*> **no ecs location**	在端口上配置 ECS ELIN 格式的地址，no 命令操作取消在端口上已经配置的 ECS ELIN 格式的地址。
lldp med trap {enable | disable}	配置指定端口使能或者禁止 LLDP-MED 网络拓扑发生变化发送 TRAP 消息功能。
Civic Address LCI 格式地址配置模式	
{description-language | province-state | city | county | street | locationNum | location | floor | room | postal | otherInfo} <*address*> **no {description-language | province-state | city | county | street | locationNum | location | floor | room | postal | otherInfo}**	进入端口的 Civic Address LCI 格式地址配置模式后，配置详细的地址信息。
全局配置模式	
lldp med fast count <*value*> **no lldp med fast count**	LLDP-MED 快速启动机制激活的情况下，需要快速发送含有 LLDP-MED TLV 的 LLDP 报文，该命令对快速发送报文的个数进行设置。no 命令恢复快速发送报文的个数为默认值。
特权配置模式	
show lldp	显示全局 LLDP 和 LLDP-MED 的配置信息。
show lldp [interface ethernet <*IFNAME*>]	显示当前端口的 LLDP 和 LLDP-MED 配置信息。

show lldp neighbors [interface ethernet <*IFNAME*>]	显示端口邻居的 LLDP 和 LLDP-MED 信息。
show lldp traffic	显示端口 LLDP 和 LLDP-MED 收发包统计。

3.6.3 LLDP-MED 举例

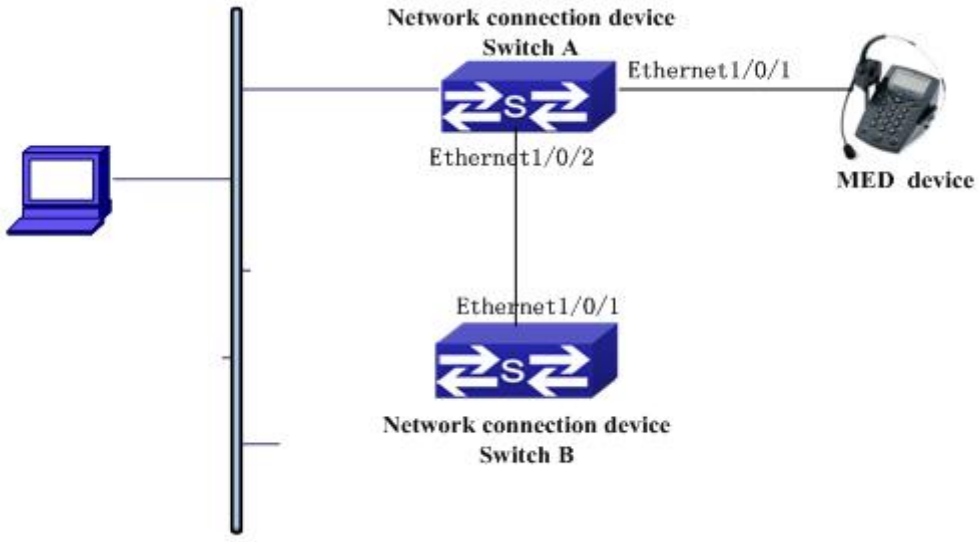


图 2- 8 LLDP-MED 基本配置功能组网图

1) 配置 Switch A

SwitchA(config)#interface ethernet1/1/1

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp enable

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp mode both（本配置可省略，默认工作模式为 RxTx）

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp transmit med tlv capability

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp transmit med tlv network policy

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp transmit med tlv inventory

SwitchB (Config-If-Ethernet1/1/1)# network policy voice tag tagged vid 10 cos 5 dscp 15

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/1)# exit

SwitchA (config)#interface ethernet1/1/2

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/2)# lldp enable

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/2)# lldp mode both

2) 配置 Switch B

SwitchB (config)#interface ethernet1/1/1

SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp enable

SwitchB (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp mode both

SwitchB (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp transmit med tlv capability

SwitchB (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp transmit med tlv network policy

SwitchB (Config-If-Ethernet1/1/1)# lldp transmit med tlv inventory

SwitchB (Config-If-Ethernet1/1/1)# network policy voice tag tagged vid 10 cos 4

3) 验证配置结果

在 Switch A 上显示全局和接口的状态信息。

SwitchA# show lldp neighbors interface ethernet 1/1/1

Port name : Ethernet1/1/1

Port Remote Counter : 1

TimeMark :20

ChassisIdSubtype :4

ChassisId :00-03-0f-00-00-02

PortIdSubtype :Local

PortId :1

PortDesc :****

SysName :****

SysDesc :*****

SysCapSupported :4

SysCapEnabled :4

LLDP MED Information :

MED Codes:

(CAP)Capabilities, (NP) Network Policy

(LI) Location Identification, (PSE)Power Source Entity

(PD) Power Device, (IN) Inventory

MED Capabilities:CAP,NP,PD,IN

MED Device Type: Endpoint Class III

Media Policy Type :Voice

Media Policy :Tagged

Media Policy Vlan id :10

Media Policy Priority :3

Media Policy Dscp :5

Power Type : PD

Power Source :Primary power source

Power Priority :low

Power Value :15.4 (Watts)

Hardware Revision:

Firmware Revision:4.0.1

Software Revision:6.2.30.0

Serial Number:

Manufacturer Name:****

Model Name:Unknown

Assert ID:Unknown

IEEE 802.3 Information :

auto-negotiation support: Supported

auto-negotiation support: Not Enabled

PMD auto-negotiation advertised capability: 1

operational MAU type: 1

SwitchA# show lldp neighbors interface ethernet 1/1/2

Port name : interface ethernet 1/1/2

Port Remote Counter： 1

Neighbor Index: 1

Port name : Ethernet1/1/2

Port Remote Counter : 1

TimeMark :20

ChassisIdSubtype :4

ChassisId :00-03-0f-00-00-02

PortIdSubtype :Local

PortId :1

PortDesc :Ethernet1/1/1

SysName :****

SysDesc :*****

SysCapSupported :4

SysCapEnabled :4

说明：

1) switch A 的端口 2 和 switch B 的端口 1，由于都是网络连接设备的端口，不会主动发送含有 MED TLV 的 LLDP 报文，所以尽管在 switch B 的端口 1 上配置发送 MED TLV，该端口也不会发送 MED 相关信息，导致该端口在 switch A 端口 2 上对应的 Remote 表项中没有 MED 相关信息。
2) LLDP-MED 端设备可以主动发送含有 MED TLV 的 LLDP 报文，所以可以看到 MED 端设备在 switch A 端口 1 上对应的 Remote 表项含有 LLDP MED 信息。

3.6.4 LLDP-MED 排错帮助

当配置 LLDP-MED 功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- LLDP全局功能是否开启。
- 网络连接设备不会主动发送LLDP-MED TLV，只有在收到邻居MED设备发送的含有

LLDP-MED TLV的LLDP报文后，才会发送LLDP-MED TLV。如果在网络连接设备上配置了发送LLDP-MED TLV的命令，端口在发送的报文中仍然不携带LLDP-MED TLV，就说明端口还未收到MED信息，端口发送LLDP-MED信息的功能还未使能。

- 如果邻居设备已经向网络连接设备发送了LLDP-MED信息，但是通过show lldp neighbors命令查看，没有显示LLDP-MED信息，说明邻居发送的LLDP-MED信息有误。

3.7 Port Channel

3.7.1 Port Channel 介绍

在介绍 Port Channel 之前，先介绍一下 Port Group 的概念：Port Group 是配置层面上的一个物理端口组，配置到 Port Group 里面的物理端口才可以参加链路汇聚，并成为 Port Channel 里的某个成员端口。在逻辑上，Port Group 并不是一个端口，而是一个端口序列。加入 Port Group 中的物理端口满足某种条件时进行端口汇聚，形成一个 Port Channel，这个 Port Channel 具备了逻辑端口的属性，才真正成为一个独立的逻辑端口。端口汇聚是一种逻辑上的抽象过程，将一组具备相同属性的端口序列，抽象成一个逻辑端口。Port Channel 是一组物理端口的集合体，在逻辑上被当作一个物理端口。对用户来讲，完全可以将这个 Port Channel 当作一个端口使用，因此不仅能增加网络的带宽，还能提供链路的备份功能。端口汇聚功能通常在交换机连接路由器、主机或者其他交换机时使用。

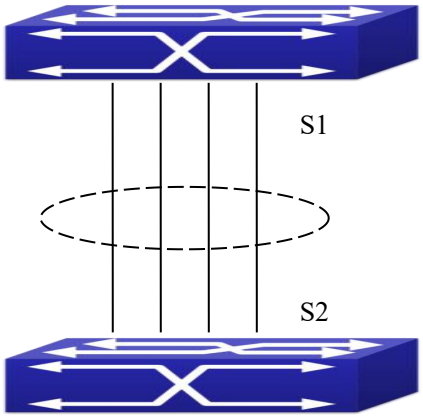


图 2-9 端口聚合示意图

如上图中显示交换机 S1 的 1-4 号端口汇聚成一个 Port Channel，该 Port Channel 的带宽为 4 个端口带宽的总和。而 S1 如果有流量要经过 Port Channel 传输到 S2，S1 的 Port Channel 将根据流量的源 MAC 地址及目的 MAC 地址的最低位进行流量分配运算，根据运算结果决定由 Port Channel 中的某一成员端口承担该流量。当 Port Channel 中的一个端口连接失败，应该由该端口承担的流量将再次通过流量分配算法分配给其他连接正常的端口分担。流量分

配算法由交换机的硬件决定。

交换机提供了两种配置端口汇聚的方法：手工生成 Port Channel、LACP（Link Aggregation Control Protocol）动态生成 Port Channel。只有双工模式为全双工模式的端口才能进行端口汇聚。

为使 Port Channel 正常工作，本交换机 Port Channel 的成员端口必须具备以下相同的属性：

- 端口均为全双工模式；
- 端口速率相同；
- 端口同为 Access 端口并且属于同一个 VLAN 或同为 Trunk 端口或同为 hybrid 端口；
- 如果端口同为 Trunk 端口或同为 hybrid 端口，则其 Allowed VLAN 和 Native VLAN 属性也应该相同。

当交换机通过手工方式配置 Port Channel 或 LACP 方式动态生成 Port Channel，系统将自动选举出 Port Channel 中端口号最小的端口作为 Port Channel 的主端口（Master Port）。若交换机打开 Spanning-tree 功能，Spanning-tree 视 Port Channel 为一个逻辑端口，并且由主端口发送 BPDU 帧。

另外，端口汇聚功能的实现与交换机所使用的硬件有密切关系，本交换机支持任意两个相同属性的物理端口的汇聚，最大组数为 128 个，组内最多的端口数为 16 个。

汇聚端口一旦汇聚成功就可以把它当成一个普通的端口使用，在交换机中还建立了汇聚接口配置模式，与 VLAN 和物理接口配置模式一样，用户能在汇聚接口配置模式下对汇聚接口进行相关的配置。

3.7.2 LACP 简介

基于 IEEE802.3ad 标准的 LACP（Link Aggregation Control Protocol，链路汇聚控制协议）是一种实现链路动态汇聚的协议。LACP 协议通过 LACPDU（Link Aggregation Control Protocol Data Unit，链路汇聚控制协议数据单元）与对端交互信息。

使能某端口的 LACP 协议后，该端口将通过发送 LACPDU 向对端通告自己的系统优先级、系统 MAC 地址、端口优先级、端口号和操作 Key。对端接收到这些信息后，将这些信息与其它端口所保存的信息比较以选择能够汇聚的端口，从而双方可以对端口加入或退出某个动态汇聚组达成一致。

操作 Key 是在端口汇聚时，LACP 协议根据端口的配置（即速率、双工、基本配置、管理 Key）生成的一个配置组合。

动态汇聚端口在使能 LACP 协议后，其管理 Key 缺省为零。静态汇聚端口在使能 LACP 后，端口的管理 Key 与汇聚组 ID 相同。

对于动态汇聚组而言，同组成员一定有相同的操作 Key，而手工和静态汇聚组中，Active 的端口有相同的操作 Key。

端口汇聚是将多个端口汇聚在一起形成一个汇聚组，以实现出/入负荷在汇聚组中各个成员端口中的分担，同时也提供了更高的连接可靠性。

3.7.2.1 静态 LACP 汇聚

静态 LACP 汇聚由用户手工配置，不使能 LACP 协议，在配置时是使用 on 模式强制端口进入汇聚组。

3.7.2.2 动态 LACP 汇聚

1. 动态 LACP 汇聚概述

动态 LACP 汇聚是一种系统自动创建/删除的汇聚，不允许用户增加或删除动态 LACP 汇聚中的成员端口。只有速率和双工属性相同、连接到同一个设备、有相同基本配置的端口才能被动态汇聚在一起。即使只有一个端口也可以创建动态汇聚，此时为单端口汇聚。动态汇聚中，端口的 LACP 协议处于使能状态。

2. 动态汇聚组中的端口状态

在动态汇聚组中，端口可能处于两种状态：selected 或 standby。selected 端口和 standby 端口都能收发 LACP 协议，但 standby 端口不能转发用户报文。

由于设备所能支持的汇聚组中的最大端口数有限制，如果当前的成员端口数量超过了最大端口数的限制，则本端系统和对端系统会进行协商，根据设备 ID 优的一端的端口 ID 的大小，来决定端口的状态。具体协商步骤如下：

比较设备 ID（系统优先级+系统 MAC 地址）。先比较系统优先级，如果相同再比较系统 MAC 地址。设备 ID 小的一端被认为优。

比较端口 ID（端口优先级+端口号）。对于设备 ID 优的一端的各个端口，首先比较端口优先级，如果优先级相同再比较端口号。端口 ID 小的端口为 selected 端口，剩余端口为 standby 端口。

在一个汇聚组中，处于 selected 状态且端口号最小的端口为汇聚组的主端口，其他处于 selected 状态的端口为汇聚组的成员端口。

3.7.3 Load balance 简介

由于目前现有网络的各个核心部分随着业务量的提高，访问量和数据流量的快速增长，其处理能力和计算强度也相应地增大。如果这些大量的数据流量同时从交换机的某一个物理端口转发出去，势必造成网络拥塞，而交换机拥有大量物理端口的情况下，是可能存在有部分物理端口处于闲置浪费状态的。针对此情况而衍生出来的一种廉价有效透明的方法以扩展现有网络设备和服务器的带宽、增加吞吐量、加强网络数据处理能力、提高网络的灵活性和可用性的技术就是负载均衡（Load Balance）。

本型号交换机支持增强型负载分担（RTAG7），RTAG7 负载分担方式对匹配字段进行了扩展，不仅支持 L2、IP 还支持 MPLS、MIM、TRIL，匹配字段和业务类型都得到了极大地补充。

3.7.4 Port Channel 配置任务序列

1. 全局模式下建立一个 port group

2. 分别在端口模式下将这些端口加入指定的 group
3. 进入 load-balance enhanced profile 模式
4. 配置增强型负载分担配置模板
5. 进入 port-channel 配置模式
6. 设置 LACP 协议的系统优先级
7. 设置 LACP 协议中当前端口的端口优先级
8. 设置 LACP 协议中当前端口的 Timeout 模式

1.创建 port group

命令	解释
全局配置模式	
port-group <*port-group-number*> **no port-group <*port-group-number*>**	创建或删除一个 port group。

2.把物理端口加入 port group

命令	解释
端口配置模式	
port-group <*port-group-number*> mode {active | passive | on} **no port-group**	把端口加入 port group，并设置模式。

3.进入 load-balance enhanced profile 模式

命令	解释
全局配置模式	
load-balance enhanced profile	进入 load-balance enhanced profile 配置模式。

4.配置增强型负载分担模板

命令	解释
load-balance enhanced profile 配置模式	
l2 field [dst-mac] [ingress-port] [l2-protocol] [src-mac] [vlan] **no l2 field**	该命令用来配置汇聚口增强型 l2 packets 协议字段负载分担方式，本命令的 no 操作恢复默认配置，即所有的字段均配置。
ipv4 field [dst-ip] [ingress-port] [l4-dst-port] [l4-src-port] [protocol] [src-ip][vlan]	该命令用来配置汇聚口增强型 ipv4 packets 协议字段负载分担方式，本命

no ipv4 field	令的 no 操作恢复默认配置，即所有的字段均配置。
ipv6 field [dst-ip] [ingress-port] [l4-dst-port] [l4-src-port] [protocol] [src-ip][vlan] **no ipv6 field**	该命令用来配置汇聚口增强型 ipv6 packets 协议字段负载分担方式，本命令的 no 操作恢复默认配置，即所有的字段均配置。

5.进入 port-channel 配置模式

命令	解释
全局配置模式	
interface port-channel <*port-channel-number*>	进入 port-channel 配置模式。

6.设置 LACP 协议的系统优先级

命令	解释
全局配置模式	
lacp system-priority <*system-priority*> **no lacp system-priority**	设置 LACP 协议的系统优先级，no 命令表示恢复为默认值。

7.设置 LACP 协议中当前端口的端口优先级

命令	解释
端口配置模式	
lacp port-priority <*port-priority*> **no lacp port-priority**	设置当前端口 LACP 协议中的端口优先级，no 命令表示恢复为默认值。

8.设置 LACP 协议中当前端口的 Timeout 模式

命令	解释
端口配置模式	
lacp timeout {short | long} **no lacp timeout**	设置当前端口 LACP 协议中的端口 Timeout 模式，no 命令表示恢复为默认值。

8. 设置 l2-only 配置开关

命令	解释
load-balance enhanced profile 配置模式	

l2-only {enable | disable}	开启/关闭 l2-only 分担开关

9. 设置交换机的 load-balance hash-shift 方式

命令	解释
全局配置模式	
load-balance hash-shift { dstmac| srcmac | srcport | vlan | dstip | srcip | l4-srcport | l4-dstport | flow-label | proto} value < num >	设置交换机的 load-balance hash-shift，使聚合口成员的流量均匀。

3.7.5 Port Channel 举例

案例 1：以 LACP 方式配置 Port Channel。

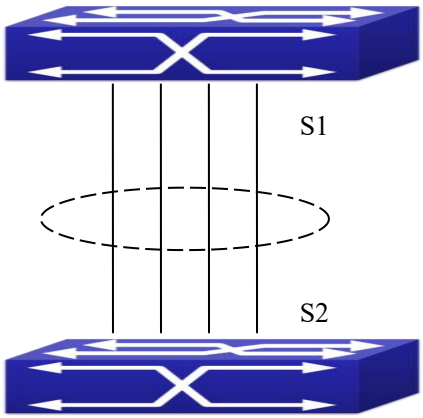


图 2-10 以 LACP 方式配置 Port Channel

如上图所示，交换机 S1 上的 1、2、3、4 端口都是 access 口，将这 4 个端口以 active 方式加入 group 1，交换机 S2 上 6、8、9、10 端口为 access 口，将这 4 个端口以 passive 方式加入 group 2，将以上对应端口分别用网线相连。

配置步骤如下：

Switch1#config

Switch1(config)#interface ethernet 1/1/1-4

Switch1(Config-If-Port-Range)#port-group 1 mode active

Switch1(Config-If-Port-Range)#exit

Switch1(config)#interface port-channel 1

Switch1(Config-If-Port-Channel1)#

```
Switch2#config
Switch2(config)#port-group 2
Switch2(config)#interface ethernet 1/1/6
Switch2(Config-If-Ethernet1/1/6)#port-group 2 mode passive
Switch2(Config-If-Ethernet1/1/6)#exit
Switch2(config)#interface ethernet 1/1/8-10
Switch2(Config-If-Port-Range)#port-group 2 mode passive
Switch2(Config-If-Port-Range)#exit
Switch2(config)#interface port-channel 2
Switch2(Config-If-Port-Channel2)#
```

配置结果：

过一段时间后，shell 提示端口汇聚成功，此时交换机 S1 的端口 1、2、3、4 汇聚成一个汇聚端口，汇聚端口名为 Port-Channel1，交换机 S2 的端口 6、8、9、10 汇聚成一个汇聚端口，汇聚端口名为 Port-Channel2，并且都可以进入汇聚接口配置模式进行配置。

案例 2：以 ON 方式配置 Port Channel。

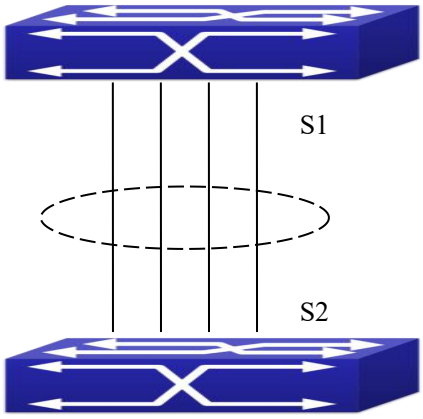


图 2-11 以 ON 方式配置 Port Channel

如图所示，交换机 S1 上的 1、2、3、4 端口都是 access 口，将这 4 个端口以 on 方式加入 group 1，在交换机 S2 上 6、8、9、10 端口为 access 口，将这 4 个端口以 on 方式加入 group 2。

配置步骤如下：

```
Switch1#config
Switch1(config)#interface ethernet 1/1/1
Switch1(Config-If-Ethernet1/1/1)#port-group 1 mode on
Switch1(Config-If-Ethernet1/1/1)#exit
```

```
Switch1(config)#interface ethernet 1/1/2
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/2)#port-group 1 mode on
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/2)#exit
Switch1 (config)#interface ethernet 1/1/3
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/3)#port-group 1 mode on
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/3)#exit
Switch1 (config)#interface ethernet 1/1/4
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/4)#port-group 1 mode on
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/4)#exit

Switch2#config
Switch2 (config)#port-group 2
Switch2 (config)#interface ethernet 1/1/6
Switch2 (Config-If-Ethernet1/1/6)#port-group 2 mode on
Switch2 (Config-If-Ethernet1/1/6)#exit
Switch2 (config)#interface ethernet 1/1/8-10
Switch2 (Config-If-Port-Range)#port-group 2 mode on
Switch2 (Config-If-Port-Range)#exit
```

配置结果：

将交换机 S1 上的 1、2、3、4 端口依次加入 port-group1 后我们可以看到，以 on 方式加入一个组完全是强制性的，两端的交换机并不会通过交换 LACP PDU 来完成汇聚，汇聚也是触发式的，当敲入将端口 1/1/2 加入 port-group1 的命令时，1 和 2 马上汇聚在一起形成 port-channel1，当将端口 1/1/3 加入 port-group1 时，1 和 2 汇聚成的 port-channel1 被拆散，马上 1、2、3 三个端口又重新汇聚成 port-channel1，当将端口 1/1/4 加入 port-group1 时，1、2、3 端口汇聚成的 port-channel1 被拆散，马上 1、2、3、4 端口又重新汇聚成 port-channel1（需要说明的是，当有一个新的端口要加入已经汇聚成功的组时，必须先拆散原先的组，然后再能汇聚成一个新的组）。结果是交换机 S1 和交换机 S2 上的三个端口都以 ON 模式汇聚起来，各自形成一个汇聚端口。

案例 3：Load Balance 功能典型案例

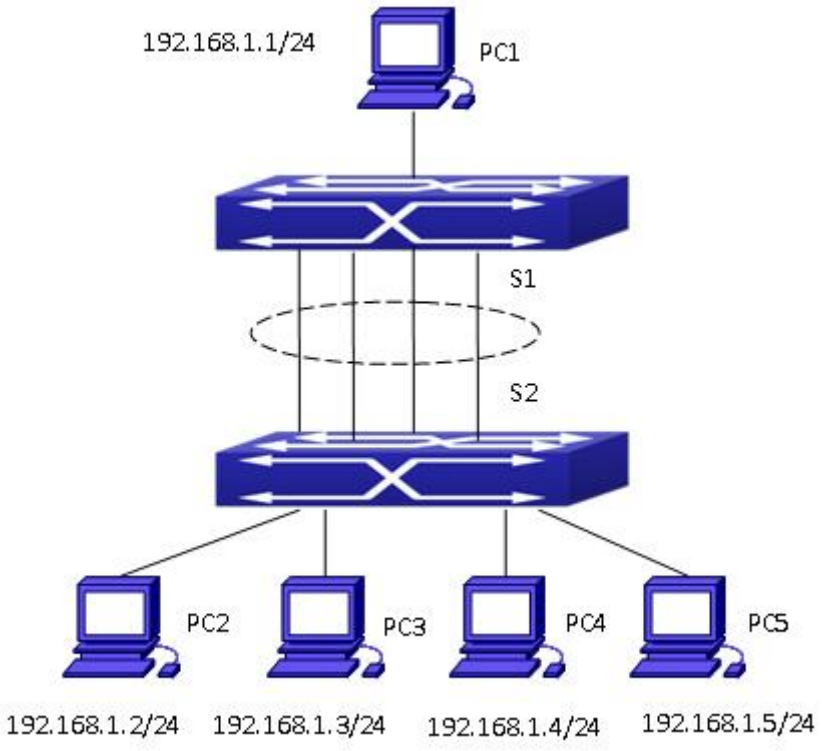


图 2-12 Load Balance 组网图

如图所示，交换机 S1 的 5 端口接 PC1，交换机 S2 的 1-4 端口分别接 PC2-PC5，交换机 S1 和交换机 S2 的所有端口都是默认 access 口。

将交换机 S1 的 1-4，这 4 个端口以 on 方式加入 group 1，将交换机 S2 上 5-8，这 4 个端口以 on 方式加入 group 2。然后在交换机 S1 上增强型负载分担配置模板，并在 interface port-channel 1 接口上应用该模板。

主要配置步骤如下：

Switch1#config
Switch1(config)#interface ethernet 1/1/1
Switch1(Config-If-Ethernet1/1/1)#port-group 1 mode on
Switch1(Config-If-Ethernet1/1/1)#exit
Switch1(config)#interface ethernet 1/1/2
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/2)#port-group 1 mode on
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/2)#exit
Switch1 (config)#interface ethernet 1/1/3
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/3)#port-group 1 mode on
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/3)#exit
Switch1 (config)#interface ethernet 1/1/4
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/4)#port-group 1 mode on
Switch1 (Config-If-Ethernet1/1/4)#exit
Switch1 (config)#load-balance enhanced profile

Switch1 (config-load-balance-enhanced-profile)# ipv4 field dst-ip
Switch1 (config)#interface port-channel 1
Switch1 (config-if-port-channel1)#load-balance enhance-profile

Switch2#config
Switch2 (config)#port-group 2
Switch2 (config)#interface ethernet 1/1/6
Switch2 (Config-If-Ethernet1/1/6)#port-group 2 mode on
Switch2 (Config-If-Ethernet1/1/6)#exit
Switch2 (config)#interface ethernet 1/1/8-10
Switch2 (Config-If-Port-Range)#port-group 2 mode on
Switch2 (Config-If-Port-Range)#exit

配置完成后，PC1 向 PC2-PC5 四台 PC 同时发 IP 报文，由于报文的目的 IP 地址是依次递增的，因此，报文将会被交换机 S1 平均分配到 1-4 这四个出端口上，从而实现基于目的 IP 地址的流量分担的目的。

3.7.6 排错帮助

3.7.6.1 Port Channel 排错帮助

当配置端口聚合功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- 端口聚合组中的端口不具有相同的属性，即双工模式是否为全双工模式，速率是否强制成相同的速率，以及 VLAN 的属性等。如果检查不相同，则修改成相同。
- 一些命令不能在 port-channel 上的端口使用，包括：arp，bandwidth，ip，ip-forward 等。

3.7.6.2 Load Balance 排错帮助

当 Load Balance 功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- 通过 show interface port channel 查看 port-channel 端口聚合组是否 up 起来。
- 通过 show load-balance enhanced-profile 查看增强型负载分担模板是否配置正确。

3.8 MTU

3.8.1 MTU 介绍

JUMBO（超大帧）在业界现在还没有一个确定的标准（包括帧格式和帧的长度），一般将

大小在 1519—9000 之间的帧视为超大帧。超大帧的网络实现可以将整个网络的速度提高 2%到 5%。JUMBO 在使用上只是将交换机在收发的帧的长度增加了。但是考虑到 JUMBO 帧的长度问题，所以 JUMBO 是不送到 CPU 的，我们将送到 CPU 的 JUMBO 帧在收包处理中将 JUMBO 帧丢掉了。

3.8.2 MTU 配置任务序列

1. 配置 MTU 功能使能

1. 配置 MTU 功能使能

命令	解释
全局配置模式	
mtu [<mtu-value>] **no mtu**	启用 mtu 帧的收发功能。 该命令的 NO 操作禁用 mtu 帧的收发功能。

3.9 bpdu-tunnel

3.9.1 bpdu-tunnel 介绍

BPDU Tunnel 是一种二层隧道技术，它使不同地域私网用户的二层协议报文，通过修改目的 MAC 地址的方式在运营商网络内的指定通道进行透明传输。

3.9.1.1 bpdu-tunnel 的作用

在城域网应用中，一个企业的多个分支机构可能会通过运营商网络进行互联。运营商通过提供 VPN 功能来使这些位于不同地理位置的网络组成一个“本地”局域网。这需要运营商网络提供“隧道”功能，即用户网络内产生的数据信息可以完整的通过运营商网络到达同一企业的其它网络。为了维持一个“本地”概念，不仅需要对于用户网络内的数据进行隧道传输，而且对用于维护用户网络内的某些二层协议报文也要进行隧道传输。

3.9.1.2 bpdu-tunnel 的产生背景

在实际组网中，用户经常利用运营商提供的专线来构建自己的二层网络，这使同一用户的私网通常都分布在运营商公网的两侧。如下图所示，用户 A 拥有属于相同 VLAN 的两台设备 CE 1 和 CE 2，该用户的网络分为网络 1 和网络 2，二者通过运营商网络相连接。当二层协议报文在运营商网络中无法透传时，该用户的网络将无法独立进行二层协议的计算（如 STP 协议的生成树计算），从而与运营商网络的二层协议计算相互影响。

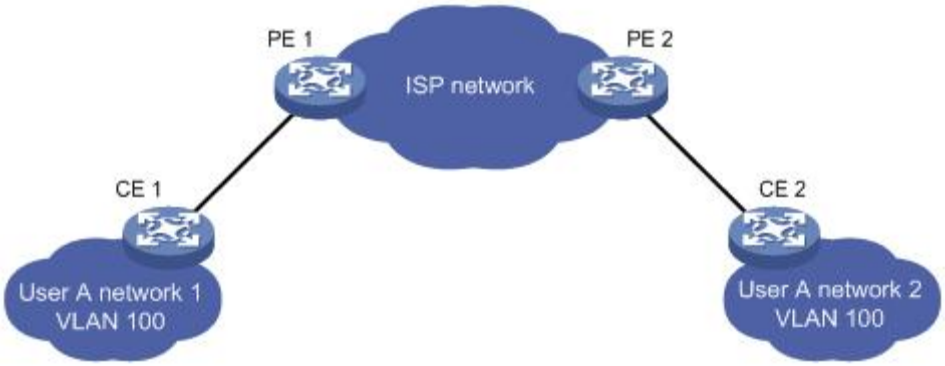


图 2-13 BPDU Tunnel 应用

3.9.2 bpdu-tunnel 配置任务序列

bpdu-tunnel-protocol 配置任务序列如下：
1. 配置全局隧道STPMAC地址
2. 配置端口支持隧道功能

1. 配置全局隧道 MAC 地址

命令	解释
全局配置模式	
bpdu-tunnel-protocol stp default-group-mac **no bpdu-tunnel-protocol stp**	配置或取消全局隧道 STP。

2. 配置端口支持隧道功能

命令	解释
端口配置模式	
bpdu-tunnel-protocol {stp|gvrp |dot1x user-defined-protocol } **no bpdu-tunnel-protocol {stp|gvrp| dot1x| user-defined-protocol }**	开启或关闭端口上支持隧道功能

3.9.3 bpdu-tunnel 举例

典型应用场景如下图所示，在实际组网中，用户经常利用运营商提供的专线来构建自己的二层网络，这使同一用户的私网通常都分布在运营商公网的两侧。如图所示，用户 A 拥有属于相同 VLAN 的两台设备 CE 1 和 CE 2，该用户的网络分为网络 1 和网络 2，二者通过运营商网络相连接。当二层协议报文在运营商网络中无法透传时，该用户的网络将无法独立进行

二层协议的计算（如 STP 协议的生成树计算），从而与运营商网络的二层协议计算相互影响。

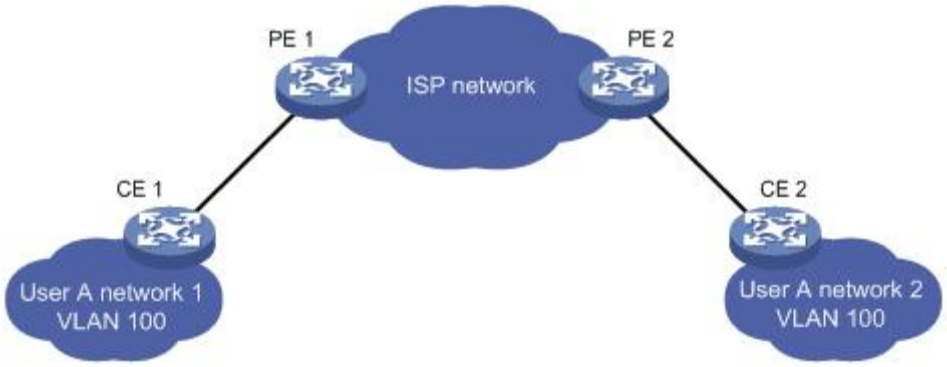


图 2- 14 BPDU Tunnel 应用环境

利用 BPDU Tunnel 功能，可以在运营商网络中透传用户网络的二层协议报文：

1. 运营商网络一端的 PE 1 对从用户 A 的网络 1 收到的二层协议报文进行封装，将其目的 MAC 地址替换成一个特定的组播 MAC 地址，然后在运营商网络中进行转发；

2. 封装好的二层协议报文（称为 BPDU Tunnel 报文）被转发至运营商网络另一端的 PE 2，解封装后被还原为原始的目的 MAC 地址，并发送给用户 A 的网络 2。

边缘交换机 PE1 和 PE2 上关于 bpdu-tunnel-protocol 的配置如下：

PE1 的配置：

PE1(config-if-ethernet1/1)# bpdu-tunnel-protocol stp

PE1(config-if-ethernet1/1)# bpdu-tunnel-protocol lacp

PE1(config-if-ethernet1/1)# bpdu-tunnel-protocol dot1x

PE2(config-if-ethernet1/1)# bpdu-tunnel-protocol user-defined-protocol uldp

PE2 的配置：

PE2(config-if-ethernet1/1)# bpdu-tunnel-protocol stp

PE2(config-if-ethernet1/1)# bpdu-tunnel-protocol gvrp

PE2(config-if-ethernet1/1)# bpdu-tunnel-protocol dot1x

PE2(config-if-ethernet1/1)# bpdu-tunnel-protocol user-defined-protocol uldp

bpdu-tunnel

3.9.4 bpdu-tunnel 排错帮助

端口开启 stp，gvrp，和 dot1x 功能不能直接在该端口上配置 bpdu-tunnel 功能，需要在该端口上先关闭上述功能后才能配置 bpdu-tunnel 功能。

3.10 DDM

3.10.1 DDM 介绍

3.10.1.1 DDM 简介

DDM 即数字诊断监测（Digital Diagnostic Monitor），在 SFF-8472 MSA 中，规范了数字诊断功能的详细内容。该规范规定，在模块内部的电路板上侦测和数字化参数信号；然后，提供经过标定的结果或提供数字化的测量结果及标定参量，这些信息被存贮在标准的内存结构中，以便通过双缆串行接口读取。

在通常我们所说的智能光模块上均支持数字诊断功能。通过光模块内部的 MCU，网络管理单元可以实时的监测光模块的温度（temperature）、工作电压（voltage）、激光偏置电流（bias current）以及发射光功率（tx power）和接收光功率（rx power），获取光模块各参数的阈值，并能得到当前光模块的实时状态。通过这些手段，可以帮助网络管理单元找出光纤链路中发生故障的位置，简化维护工作，提高系统的可靠性。

光接口交换机的数字诊断功能（DDM）是运营商客户的基本需求，可做以下应用：

1、模块寿命预测

通过监测激光的偏置电流来预测激光器的寿命，可以粗略的估计激光器的使用寿命是否接近终了。通过对收发模块内部的工作电压和温度进行实时监测，可以让系统管理员发现一些潜在的问题：

（1）Vcc 电压过高，会带来 CMOS 器件的击穿，Vcc 电压过低，激光器不能正常工作；

（2）接收功率太高，会损坏接收模块；接收功率过低，接收模块断路不能正常工作；

（3）工作温度太高，会加速器件的老化；

（4）通过对接收到的光功率的监测，可以对线路和远端发射机的性能进行监控。

2、故障定位

在光链路中，定位故障的发生位置对业务的快速加载至关重要。故障隔离特性则可以使系统管理员快速定位链路故障的位置。此特性可以定位故障是在模块内还是在线路上，是在本地模块还是在远端模块。通过快速定位故障，减少了系统的故障修复时间。

通过数字诊断功能，对温度（temperature）、工作电压（voltage）、激光偏置电流（bias current）以及发射光功率（tx power）和接收光功率（rx power）的警告（warning）和警报（alarm）状态进行综合分析，可以快速的定位故障。状态变量 Tx Fault（发射失败）和 Rx LOS (接收信号丢失)等状态都对故障的分析起着重要的作用。

3、兼容性验证

兼容性验证就是分析模块的工作环境是否符合数据手册或和相关的标准兼容。模块的性能只有在这种兼容的工作环境下才能得到保证。在有些情况下，由于环境参数超出数据手册或相关的标准，将造成模块性能下降，从而出现传输误码。工作环境与模块不兼容的情况有：

（1）电压超出规定范围；

（2）接收光功率过载或低于接收机灵敏度；

（3）温度超出工作温度范围。

3.10.1.2 DDM 功能

DDM 功能描述具体如下：

1. 显示收发器的监测信息

收发器的实时参数有发射功率（TX power）、接收功率（RX power）、温度（Temperature）、电压（Voltage）、偏置电流（Bias current），通过对这些参数的检测以及对警告（warning）、报警（alarm）、实时状态、阈值等相关监测信息的查询，网络管理员可以了解到当前收发器的工作状态，发现一些潜在的问题。通过查看光模块的故障信息可以帮助网络管理员快速定位线路故障，加快修复故障的时间。

2. 用户自定义阈值

收发器对于实时参数 TX power、RX power、Temperature、Voltage、Bias current 有固定的阈值，但由于用户的使用环境不一样，需要自定义阈值来监测收发器的工作状态，因此，通过自定义阈值，可以让用户灵活的监测收发器的工作状态，及时的发现故障。阈值类型包括报警的高阈值（high alarm）、报警的低阈值（low alarm）、警告的高阈值（high warn）、警告的低阈值（low warn）。

用户配置的阈值和厂商配置的阈值可以同时显示出来，供用户查看。当用户定义的阈值不合理时，会提示用户，并自动按厂商的阈值进行报警或警告。用户可以恢复所有阈值为厂商阈值，可以恢复单个阈值为厂商阈值。

阈值的合理性：报警的高低阈值应该包含警报的高低阈值，并且高阈值应该大于低阈值，即 high alarm>= high warn>= low warn>= low alarm。

对于 sfp 光模块，接收功率的校验方式分内部校验和外部校验，这个是厂商决定的。参数的实时监测值和厂商预设的阈值采用相同的校验方式。

3. 软件监控

用户除了实时的查看收发器模块的工作状态，还需要监控之前收发器发生异常时的时间、异常类型等详细情况。软件监控这个功能可以让用户通过查看日志发现之前收发器产生的异常情况，也可以让用户通过命令查询上一次的发生异常的详细情况。当用户发现光模块有异常信息，对其进行处理后，需要重新监控光模块的信息时，可以清楚软件监控的异常信息，重新开始监控。

3.10.2 DDM 配置任务序列

DDM 配置任务序列如下：

1. 显示收发器（transceiver）实时检测信息
2. 配置收发器（transceiver）各监测参数的报警或警告阈值
3. 配置收发器（transceiver）的软件监控状态

（1）配置收发器（transceiver）的软件监控的时间间隔

（2）配置收发器（transceiver）的软件监控的使能状态

（3）显示收发器（transceiver）的软件监控信息

（4）清除收发器（transceiver）的软件监控信息

1. 显示收发器（transceiver）实时检测信息

命令	解释
用户模式、特权模式、全局配置模式	
show transceiver [interface ethernet <interface-list>] [detail]	显示收发器的监测信息，

2. 配置收发器（transceiver）各监测参数的报警或警告阈值

命令	解释
端口配置模式	
transceiver threshold {default | {temperature | voltage | bias | rx-power | tx-power} {high-alarm | low-alarm | high-warn | low-warn} {<value> | default}}	用户配置自定义的阈值。

3. 配置收发器（transceiver）的软件监控状态

(1) 配置收发器（transceiver）的软件监控的时间间隔

命令	解释
全局配置模式	
transceiver-monitoring interval <minutes> **no transceiver-monitoring interval**	设置软件监控的时间间隔。本命令的 no 命令为设置时间间隔为默认时间间隔 15 分钟。

（2）配置收发器（transceiver）的软件监控的使能状态

命令	解释
端口配置模式	
transceiver-monitoring {enable | disable}	设定端口是否开启软件监控功能。只有开启软件监控任务的端口，系统才会记录其异常状态。当端口关闭了软件监控任务后，此端口的异常信息将被清空。

（3）显示收发器（transceiver）的软件监控信息

命令	解释
特权模式、全局配置模式	

show transceiver threshold-violation [interface ethernet <interface-list>]	显示软件监控信息，包括上一次超过阈值的信息、当前软件监控的时间间隔和该端口是否使能了软件监控。

（4）清除收发器（transceiver）的软件监控信息

命令	解释
特权模式	
clear transceiver threshold-violation [interface ethernet <interface-list>]	清空软件监控的阈值异常信息。

3.10.3 DDM 举例

举例 1：

在交换机上的 21 口和 23 口插上支持 DDM 的 SFP 光模块，在 24 口上插上不支持 DDM 的 SFP 光模块，22 口不插任何 SFP 光模块，显示光模块的 DDM 信息。

a、显示所有正常读取出实时参数的端口信息（不支持或者没有插光模块，则不显示），例如：

Switch#show transceiver

Interface	Temp（℃）	Voltage（V）	Bias（mA）	RX Power（dBM）	TX Power（dBM）
1/1/21	33	3.31	6.11	-30.54(A-)	-6.01
1/1/23	33	5.00（W+）	6.11	-20.54(W-)	-6.02

b、显示指定端口的信息(不支持或没插光模块的显示 N/A)，例如：

Switch#show transceiver interface ethernet 1/1/21-22;23

Interface	Temp（℃）	Voltage（V）	Bias（mA）	RX Power（dBM）	TX Power（dBM）
1/1/21	33	3.31	6.11	-30.54(A-)	-6.01
1/1/22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1/1/23	33	5.00（W+）	6.11	-20.54(W-)	-6.02

c、显示详细的信息，包括端口的基本信息、实时监测参数值、警告（warning）、报警（alarm）、异常状态、阀值信息、序列号，例如：

Switch#show transceiver interface ethernet 1/1/21-22;24 detail

Ethernet 1/1/21 transceiver detail information：

Base information：

SFP found in this port, manufactured by company, on Sep 29 2010.

Type is 1000BASE-SX. Serial Number is 1108000001.

Link length is 550 m for 50um Multi-Mode Fiber.

Link length is 270 m for 62.5um Multi-Mode Fiber.

Nominal bit rate is 1300 Mb/s, Laser wavelength is 850 nm.

Brief alarm information：

RX loss of signal

Voltage high

RX power low

Detail diagnostic and threshold information：

	Diagnostic	Threshold			
	Realtime Value	High Alarm	Low Alarm	High Warn	Low Warn
	---	---	---	---	---
Temperature（℃）	33	70	0	70	0
Voltage（V）	7.31(A+)	5.00	0.00	5.00	0.00
Bias current（mA）	6.11(W+)	10.30	0.00	5.00	0.00
RX Power（dBM）	-30.54(A-)	9.00	-25.00	9.00	-25.00
TX Power（dBM）	-6.01	9.00	-25.00	9.00	-25.00

Ethernet 1/1/22 transceiver detail information：N/A

Ethernet 1/1/24 transceiver detail information：

Base information：

SFP found in this port, manufactured by company, on Sep 29 2010.

Type is 1000BASE-SX. Serial Number is 1108000001.

Link length is 550 m for 50um Multi-Mode Fiber.

Link length is 270 m for 62.5um Multi-Mode Fiber.

Nominal bit rate is 1300 Mb/s, Laser wavelength is 850 nm.

Brief alarm information：N/A

Detail diagnostic and threshold information：N/A

说明：如果序列号全为 0，表示序列号没有指定，则显示为：

SFP found in this port, manufactured by company, on Sep 29 2010.

Type is 1000BASE-SX. Serial Number is not specified.

Link length is 550 m for 50um Multi-Mode Fiber.

Link length is 270 m for 62.5um Multi-Mode Fiber.

Nominal bit rate is 1300 Mb/s, Laser wavelength is 850 nm.

举例 2：

在交换机上的 21 口插上支持 DDM 的 SFP 光模块，显示光模块的 DDM 信息后配置光模块的阈值。

步骤 1：显示光模块的 DDM 详细信息

Switch#show transceiver interface ethernet 1/1/21 detail

Ethernet 1/1/21 transceiver detail information：

Base information:

……

Brief alarm information：

RX loss of signal

Voltage high

RX power low

Detail diagnostic and threshold information：

	Diagnostic			Threshold	
	Realtime Value	High Alarm	Low Alarm	High Warn	Low Warn
	----------	----------	----------	----------	---------
Temperature（℃）	33	70	0	70	0
Voltage（V）	7.31(A+)	5.00	0.00	5.00	0.00
Bias current（mA）	6.11(W+)	10.30	0.00	5.00	0.00
RX Power（dBM）	-30.54(A-)	9.00	-25.00	9.00	-25.00
TX Power（dBM）	-13.01	9.00	-25.00	9.00	-25.00

步骤 2：配置光模块的发送功率阈值，警告下限阈值为-12，报警下限阈值为-10.00

Switch#config

Switch(config)#interface ethernet 1/1/21

Switch(config-if-ethernet1/1/21)#transceiver threshold tx-power low-warning -12

Switch(config-if-ethernet1/1/21)#transceiver threshold tx-power low-alarm -10.00

步骤 3：显示光模块的 DDM 详细信息。报警采用用户配置的阈值，厂商设置的阈值用括号标注起来，由于-13.01<-12.00，所以发送功率有（A-）的报警。

Switch#show transceiver interface ethernet 1/1/21 detail

Ethernet 1/1/21 transceiver detail information：

Base information:

……

Brief alarm information：

RX loss of signal

Voltage high

RX power low

TX power low

Detail diagnostic and threshold information：

	Diagnostic			Threshold	
	Realtime Value	High Alarm	Low Alarm	High Warn	Low Warn
	----------	----------	----------	----------	---------
Temperature（℃）	33	70	0	70	0

Voltage（V）	7.31(A+)	5.00	0.00	5.00	0.00
Bias current（mA）	6.11(W+)	10.30	0.00	5.00	0.00
RX Power（dBM）	-30.54(A-)	9.00	-25.00	9.00	-25.00
TX Power（dBM）	-13.01(A-)	9.00	-12.00(-25.00)	9.00	-10.00(-25.00)

举例 3：

在交换机上的 21 口插上支持 DDM 的 SFP 光模块，显示光模块的软件监控信息后使能端口的软件监控功能。

步骤 1：显示光模块的软件监控信息。21 口和 22 口都没有使能软件监控功能，软件监控的时间间隔是 30 分钟。

Switch(config)#show transceiver threshold-violation interface ethernet 1/1/21-22

Ethernet 1/1/21 transceiver threshold-violation information：

Transceiver monitor is disabled. Monitor interval is set to 30 minutes.

The last threshold-violation doesn’t exist.

Ethernet 1/1/22 transceiver threshold-violation information：

Transceiver monitor is disabled. Monitor interval is set to 30 minutes.

The last threshold-violation doesn’t exist.

步骤 2：使能 21 口的软件监控功能。

Switch(config)#interface ethernet 1/1/21

Switch(config-if-ethernet1/1/21)#transceiver-monitoring enable

步骤 3：显示光模块的软件监控信息。从显示可以看到，21 口使能了软件监控功能，上一次超过阈值出现报警的时间是 2011 年 1 月 2 日的 11 点零 50 秒，超过阈值时详细的 DDM 信息也显示了出来。

Switch(config-if-ethernet1/1/21)#quit

Switch(config)#show transceiver threshold-violation interface ethernet 1/1/21-22

Ethernet 1/1/21 transceiver threshold-violation information：

Transceiver monitor is enabled. Monitor interval is set to 30 minutes.

The current time is Jan 02 12:30:50 2011.

The last threshold-violation time is Jan 02 11:00:50 2011.

Brief alarm information：

RX loss of signal

RX power low

Detail diagnostic and threshold information：

	Diagnostic		Threshold	
Realtime Value	High Alarm	Low Alarm	High Warn	Low Warn

Temperature（℃）	33	70	0	70	0
Voltage（V）	7.31	10.00	0.00	5.00	0.00
Bias current（mA）	3.11	10.30	0.00	5.00	0.00
RX Power（dBM）	-30.54(A-)	9.00	-25.00(-34)	9.00	-25.00
TX Power（dBM）	-1.01	9.00	-12.05	9.00	-10.00

Ethernet 1/1/22 transceiver threshold-violation information：

Transceiver monitor is disabled. Monitor interval is set to 30 minutes.

The last threshold-violation doesn't exist.

3.10.4 DDM 排错帮助

当在使用 DDM 功能的过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- 请确保端口上的光模块收发器已经插紧，否则无法显示 DDM 信息（显示为 N/A 或没有 DDM 信息）；
- 请确保 SNMP 配置的正确性，否则报警事件无法上报网管系统；
- 只有部分板卡和盒式交换机支持 SFP 的 DDM 功能或 XFP 的 DDM 功能，请确保所使用的板卡和盒式交换机支持相应的功能；
- 使用 show transceiver 命令或 show transceiver detail 命令时，交换机要检查所有端口，所以显示的时间会比较慢，建议查询指定端口上收发器的监测信息。
- 请确保用户自定义的阈值的正确性，当任意一个阈值设置错误时，收发器将自动按照厂商的设置的进行报警。
- QSFP+端口 DDM 信息暂不支持发射功率（TX power），这是由 SFF-8436 决定的。
- QSFP+端口如果配置为 40G 模式，会显示全部 4 个通道的 DDM 信息；如果配置为 4x10G 模式，则只显示当前 10G 端口对应的通道信息。
- DAC 线缆自带光模块，如果是 passive 模式的线缆，没有 DDM 信息；如果是 active 模式的线缆，可以查看 DDM 信息。

3.11 EFM OAM

3.11.1 EFM OAM 介绍

以太网最初为局域网而设计，但随着以太网的发展，应用扩展到了城域网和广域网，链路长度和网络规模上都迅速扩大，而由于有效管理维护机制的缺乏，严重阻碍以太网技术在城域网和广域网的应用。因此，在以太网上实现 OAM 功能成为必然的发展趋势。

关于以太网 OAM，有四个协议标准：802.3ah(EFM OAM)、802.3ag(CFM)、E-LMI、Y.1731；EFM OAM 和 CFM 为 IEEE 组织制定，EFM OAM 工作在数据链路层，可以有效地发现和管

理底层存在的数据链路情况，利用 EFM OAM 技术可以有效提高对以太网的管理和维护能力，保障网络的稳定运行。CFM 为网络级以太网 OAM 技术，多应用于网络的接入汇聚层，用于监测整个网络的连通性、定位网络的连通性故障。Y.1731 是由 ITU，即国际电信联盟制定的标准，功能比 CFM 强大许多，也可以说 CFM 实现的功能是 Y.1731 的子集。E-LMI 是由 MEF 制定的标准，只应用于 UNI（用户边界和用户面对的供应商边界之间）。四个协议分别适用于不同的网络拓扑和管理要求，四者之间是互补的关系。

EFM OAM（Ethernet in the First Mile Operation，Administration and Maintenance，最后一英里以太网操作，管理和维护），工作在 OSI 模型的数据链路层，通过 OAM 子层来实现相关的功能，如下图所示：

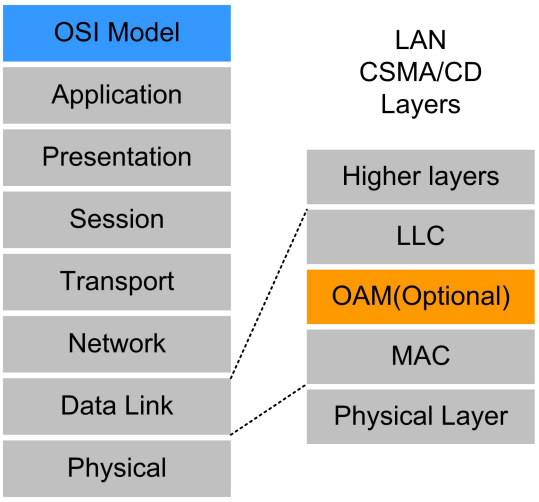


图 2-15 OAM 在 OSI 参考模型中的位置

OAM protocol data units（OAMPDU）使用慢协议的目的 mac 地址 01-80-c2-00-00-02，最大发送速率为 10Pkt/s。

EFM OAM 功能建立在 OAM 连接建立的基础上，提供了诸如链路监控，远端故障指示和远端环回控制等管理链路运行的一种机制，下面是 EFM OAM 工作流程的简单介绍。

1. 建立 OAM 连接

本端 OAM 实体通过交互 Information OAMPDU 发现远端 OAM 实体、并与之建立稳定会话。EFM OAM 的工作模式有两种：主动模式、被动模式。EFM OAM 连接只能由主动模式的 OAM 实体发起，而被动模式的 OAM 实体只能等待对端 OAM 实体的连接请求。EFM OAM 连接建立后，两端的 OAM 实体通过持续发送 Information OAMPDU 保持连接。若在 5 秒钟内未收到对端 OAM 实体的 Information OAMPDU，则认为连接超时，OAM 连接中断。

2. 监控链路性能

以太网的故障检测非常困难，特别是在网络物理通信没有中断而网络性能缓慢下降的情况下。链路性能监控用于在各种环境下检测和发现链路层故障，EFM OAM 通过交互 Event Notification OAMPDU（事件通知报文）来监控链路：当一端 OAM 实体监控到一般链路事件时，将向其对端发送 Event Notification OAMPDU 进行通报，同时将监控信息记入日志并

发送 SNMP Trap 上报网管系统；而对端 OAM 实体收到事件通知报文后，同样也将其记入日志并上报。这样，管理员就可以通过观察日志信息和网管系统动态地掌握网络的状况。

EFM OAM 监控的一般链路事件是指链路上发生的一般性错误事件，包括错误符号周期事件，错误帧事件，错误帧周期事件，错误帧秒总数事件。

错误符号周期事件：在指定 M 秒内，错误符号数大于或等于设定的低阈值。（符号：指物理介质上的最小数据传输单元。对于编码系统是唯一的，不同的物理介质上的 symbol 也可能是不同的。符号率即每秒电子状态改变的次数）

错误帧周期事件：指定帧数 N 为周期，在收到 N 个帧的周期内错误帧数大于或等于设定的低阈值。（错误帧：指收到的 CRC 检测出错的帧）

错误帧事件：在指定 M 秒内，收到的错误帧数大于或等于设定的低阈值。

错误帧秒总数事件：在指定 M 秒内，收到的错误帧秒数大于或等于设定的低阈值。（错误帧秒：某一秒内，收到至少 1 个错误帧，这一秒就称为错误帧秒）

3.远端故障指示

由于设备故障或不可用而导致流量中断的情况，OAMPDU 定义了一个标志（即 Flags 域）允许以太网 OAM 实体将故障信息通知给对端。由于在以太网 OAM 连接已建立的情况下，两端的 OAM 实体会不断地交互 Information OAMPDU，因此本端 OAM 实体可以将本端发生的紧急链路事件通过 Information OAMPDU 告诉远端 OAM 实体，同时记录日志并发送 SNMP Trap 告警。这样，管理员可以通过观察日志信息和网管系统动态地了解链路状态，对相应的错误及时进行处理。

Information OAMPDU 将紧急链路事件即链路故障分为三种，分别是 Critical Event，Dying Gasp 和 Link Fault；不同厂商对这三种故障的具体定义都不同，我们的定义为：

Critical Event，端口 EFM OAM 功能关闭；

Link Fault，本地处于单向操作或错误数大于等于设定的高阈值；单向操作（Unidirectional Operation）是指在全双工且不支持自动协商的链路上，链路的一个方向无法工作（一般发生在通过光纤连接的链路上，收或发端因为某些原因无法连通）；EFM OAM 可以检测到该故障，并通过发送 Information OAMPDU 来通知远端 OAM 实体。

Dying Gasp，暂无定义；设备虽然不生成 Dying Gasp OAMPDU，但依然能够接收并处理对端发送的该类型 OAMPDU。

4. 远端环回

远端环回只有在以太网 OAM 连接建立完成后才能实现，且只有工作在 OAM 主动模式的端口才能发起环回请求。在 OAM 连接已经建立的情况下，主动模式的 OAM 实体发起远端环回命令，对端实体对该命令进行响应。当远端处于环回模式下，除了 OAMPDU 报文以外的所有报文都将按照原路返回，网络管理员通过远端环回可以检测链路的延时，抖动和吞吐量。定期地进行环回检测可以及时发现网络故障，并通过分段环回检测来帮助定位故障发生的具体区域。注意，在远端环回模式下，将不能进行正常通信。

EFM OAM 典型应用拓扑如下图所示，它主要用于点到点链路和仿真点到点的 IEEE 802.3 链路，通过在两个点到点连接的设备上启用 EFM OAM 功能，监控以太网接入的“最后一英里”中常见的链路问题。用户端到电信运营商局端设备的这一段连接从使用者的角度看是“最先一英里”，而从运营者的角度则是“最后一英里”。

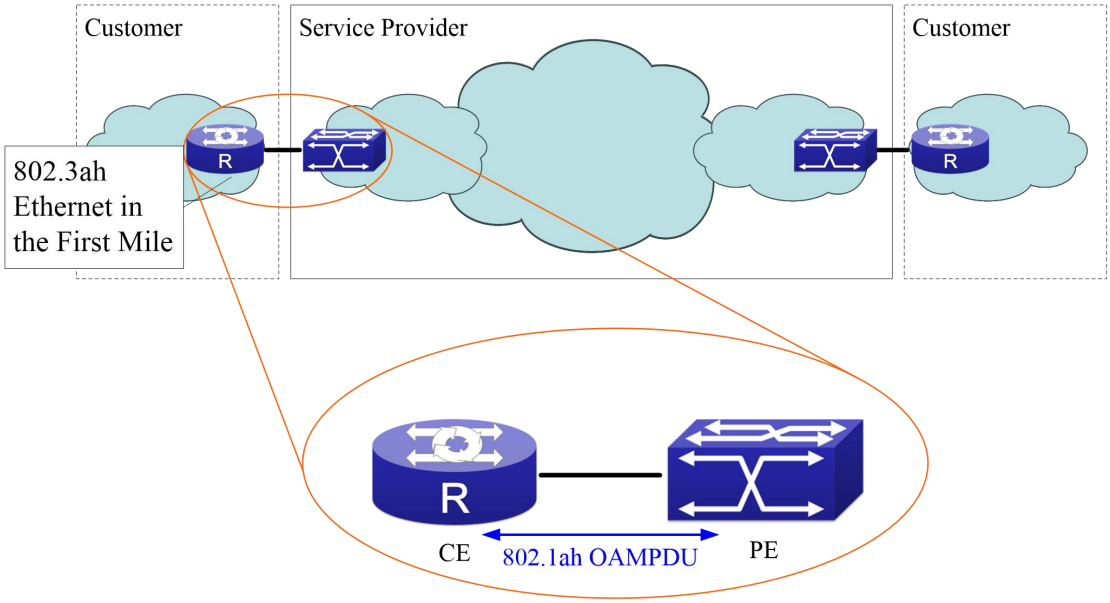


图 2-16 OAM 典型应用拓扑图

3.11.2 EFM OAM 基本配置

EFM OAM 配置任务序列如下：

1.使能端口 EFM OAM 功能

2.配置 EFM OAM 的链路监控（Link monitor）参数

3.配置 EFM OAM 的远端错误指示（Remote Failure）参数

4.使能端口 EFM OAM 环回功能

注意：配置 OAM 参数时，需要先启动 OAM 功能。

涉及到单纤功能时，需要先关闭协商，然后使能端口的 efm oam。

1.使能端口 EFM OAM 功能

命令	解释
端口配置模式	
ethernet-oam mode {active | passive}	配置 EFM OAM 的工作模式，默认为 active 主动模式。
ethernet-oam **no ethernet-oam**	使能端口 EFM OAM 功能；本命令的 no 操作为关闭端口 EFM OAM 功能。

ethernet-oam period <seconds> **no ethernet-oam period**	配置 OAMPDU 的发送周期（可选），本命令的 no 操作为恢复 OAMPDU 发送周期为默认值。
ethernet-oam timeout <seconds> **no ethernet-oam timeout**	配置 EFM OAM 连接超时时间（可选），本命令的 no 操作为恢复连接超时时间为默认值。

2. 配置 EFM OAM 的链路监控（Link monitor）参数

命令	解释
端口配置模式	
ethernet-oam link-monitor **no ethernet-oam link-monitor**	使能 EFM OAM 的链路监控功能(默认使能），本命令的 no 操作为关闭 EFM OAM 的链路监控功能。
ethernet-oam errored-symbol-period {threshold low <low-symbols> | window <seconds>} **no ethernet-oam errored-symbol-period {threshold low | window }**	配置错误符号周期事件的低阈值和窗口周期值；本命令的 no 操作为恢复各个配置为默认值。（可选）
ethernet-oam errored-frame-period {threshold low <low-frames> | window <seconds>} **no ethernet-oam errored-frame-period {threshold low | window }**	配置错误帧周期事件的低阈值和窗口周期值；本命令的 no 操作为恢复各个配置为默认值。（可选）
ethernet-oam errored-frame {threshold low <low-frames> | window <seconds>} **no ethernet-oam errored-frame {threshold low | window }**	配置错误帧事件的低阈值和窗口周期值；本命令的 no 操作为恢复各个配置为默认值。（可选）
ethernet-oam errored-frame-seconds {threshold low <low-frame-seconds> | window <seconds>} **no ethernet-oam errored-frame-seconds {threshold low | window}**	配置错误帧秒总数事件的低阈值和窗口周期值；本命令的 no 操作为恢复各个配置为默认值。（可选）

3. 配置 EFM OAM 的远端错误指示（Remote Failure）参数

命令	解释
端口配置模式	

ethernet-oam remote-failure **no ethernet-oam remote-failure**	使能 EFM OAM 的远端故障指示功能(故障指本地发生 critical-event 或 link-fault 事件)，本命令的 no 操作为关闭 EFM OAM 的远端故障指示功能。（可选）
ethernet-oam errored-symbol-period threshold high {high-symbols | none} **no ethernet-oam errored-symbol-period threshold high**	配置错误符号周期事件的高阈值；本命令的 no 操作为恢复配置为默认值。（可选）
ethernet-oam errored-frame-period threshold high {high-frames | none} **no ethernet-oam errored-frame-period threshold high**	配置错误帧周期事件的高阈值；本命令的 no 操作为恢复配置为默认值。（可选）
ethernet-oam errored-frame threshold high {high-frames | none} **no ethernet-oam errored-frame threshold high**	配置错误帧事件的高阈值；本命令的 no 操作为恢复配置为默认值。（可选）
ethernet-oam errored-frame-seconds threshold high {high-frame-seconds | none} **no ethernet-oam errored-frame-seconds threshold high**	配置错误帧秒总数事件的高阈值；本命令的 no 操作为恢复配置为默认值。（可选）

4. 使能端口 EFM OAM 环回功能

命令	解释
端口配置模式	
ethernet-oam remote-loopback **no ethernet-oam remote-loopback**	使能远端 EFM OAM 实体进入 OAM 环回模式（对端需要配置 OAM 环回支持），本命令的 no 操作为取消远端的 OAM 环回。
ethernet-oam remote-loopback supported **no ethernet-oam remote-loopback supported**	使能端口的远端环回支持，本命令的 no 操作为取消端口的远端环回支持。

3.11.3 EFM OAM 举例

案例：

在点到点链路的 CE 和 PE 设备上开启 EFM OAM 功能，监控该“最后一英里”链路的性能，当出现错误事件时，会记录日志并上报网管系统；在必要时，可以使用远端环回功能

检测链路。

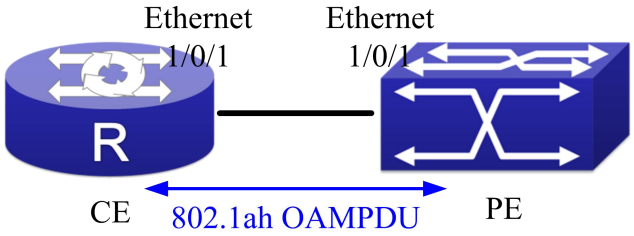


图 2-17 OAM 典型应用拓扑图

配置步骤：（下面省略了 SNMP 及 Log 的配置过程，具体请参考手册的相关内容）

在 CE 设备上的配置

CE(config)#interface ethernet 1/1/1

CE (config-if-ethernet1/1/1)#ethernet-oam mode passive

CE (config-if-ethernet1/1/1)#ethernet-oam

CE (config-if-ethernet1/1/1)#ethernet-oam remote-loopback supported

其他参数使用默认配置

在 PE 设备上的配置

PE(config)#interface ethernet 1/1/1

PE (config-if-ethernet1/1/1)#ethernet-oam

其他参数使用默认配置

当需要使用远端环回时，执行以下命令

PE (config-if-ethernet1/1/1)#ethernet-oam remote-loopback

检测完毕后，执行以下命令，使对端退出 OAM 环回

PE (config-if-ethernet1/1/1)#no ethernet-oam remote-loopback

当不需要支持远端环回时，执行以下命令

CE (config-if-ethernet1/1/1)#no ethernet-oam remote-loopback supported

3.11.4 EFM OAM 排错帮助

当在使用 EFM OAM 过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- 检查链路两端的 OAM 实体是否都处于被动模式，都处于被动模式下的两个 OAM 实体之间无法建立 EFM OAM 连接。
- 请确保 SNMP 配置的正确性，否则错误事件无法上报网管系统。
- 处于 OAM 环回模式的链路，不能进行正常通信；在检测完链路的性能后，应该及时取消远端环回。
- 只有部分板卡支持远端环回功能，请确保所使用的板卡支持该功能。
- OAM 远端环回功能与 STP，MRPP，ULPP，Flow Control，loopback detection 功能互斥，因此开启了 OAM 环回功能的端口不能配置上述功能。
-

3.12 PORT SECURITY

3.12.1 PORT SECRUITY 介绍

Port security 是一种基于 MAC 地址对网络接入进行控制的安全机制，是对已有的 802.1X 认证和 MAC 地址认证的扩充。这种机制通过检测端口收到的数据帧中的源 MAC 地址来控制非授权设备对网络的访问，通过检测从端口发出的数据帧中的目的 MAC 地址来控制对非授权设备的访问。Port security 的主要功能是通过定义各种端口安全模式，让设备学习到合法的源 MAC 地址，以达到相应的网络管理效果。启动了 Port security 功能之后，当发现非法报文时，交换机将触发相应特性，并按照预先指定的方式进行处理，既方便用户的管理又提高了系统的安全性。

3.12.2 PORT SECURITY 配置任务序列

1.PORT SECURITY 基本功能配置

命令	解释
端口配置模式	
switchport port-security **no switchport port-security**	配置端口的 port-security 功能。
switchport port-security mac-address <*mac-address*> [vlan <*vlan-id*>] **no switchport port-security mac-address <*mac-address*> [vlan <*vlan-id*>]**	配置端口的静态安全 MAC。
switchport port-security maximum <*value*>no switchport port-security maximum <*value*>	配置端口允许的最大安全 MAC 地址数。
switchport port-security violation {protect | recovery | restrict | shutdown} **no switchport port-security violation**	当超过设定 MAC 地址数量的最大值，或访问该端口的设备 MAC 地址不是这个 MAC 地址表中该端口的 MAC 地址，或同一个 VLAN 中一个 MAC 地址被配置在几个端口上时，就会引发违反 MAC 地址安全。
switchport port-security aging {static | time <*value*> | type {absolute | inactivity}} **no switchport port-security violation aging {static | time | type}**	本命令用来使能端口的 port-security 老化表项的功能，指定老化时间以及类型等。
特权配置模式	
clear port-security {all | configured | dynamic }	本命令用来清除端口的安全

[[address <*mac-addr*> | interface <*interface-id*>] [vlan <*vlan-id*>]]	MAC 表项。
show port-security [interface <*interface-id*>] [address | vlan]	显示 port-security 配置信息。

3.12.3 PORT SECURITY 举例

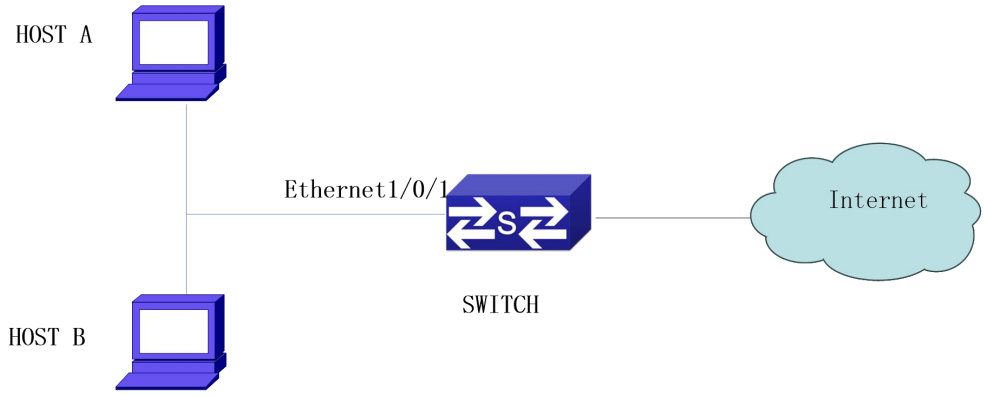


图 2- 18 Port security 功能典型组网图

在交换机端口启动 Port security 功能时，配置端口允许的最大安全 MAC 数量为 10，该端口最多只允许 10 个用户接入 Internet，超过最大数量后，新来的用户无法访问 Internet，既可以限制用户的数量又起到安全访问的功能。如果配置端口允许的最大安全 MAC 数量为 1，则只允许一个用户访问，HOST A 和 B 只有一个能访问网络。

配置步骤：

#配置交换机 Switch

Switch(config)#interface Ethernet 1/1/1

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#switchport port-security

Switch(config-if- ethernet1/1/1)#switchport port-security maximum 10

Switch(config-if- ethernet1/1/1)#exit

Switch(config)#

3.12.4 PORT SECURITY 排错帮助

当配置 PORT SECURITY 功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- 功能是否正常开启
- 是否配置了允许的最大MAC数量

3.13 VLAN

3.13.1 VLAN 介绍

VLAN（Virtual Local Area Network）即虚拟局域网，这项技术可以根据功能、应用或者管理的需要将局域网内部的设备逻辑地划分为一个个网段，从而形成一个个虚拟的工作组，并且不需要考虑设备的实际物理位置。IEEE 颁布了 IEEE802.1Q 协议以规定标准化 VLAN 的实现方案，交换机的 VLAN 功能即按照 802.1Q 的标准实现。

VLAN 技术的特点在于可以根据需要动态的将一个大的局域网划分成许多不同的广播域：

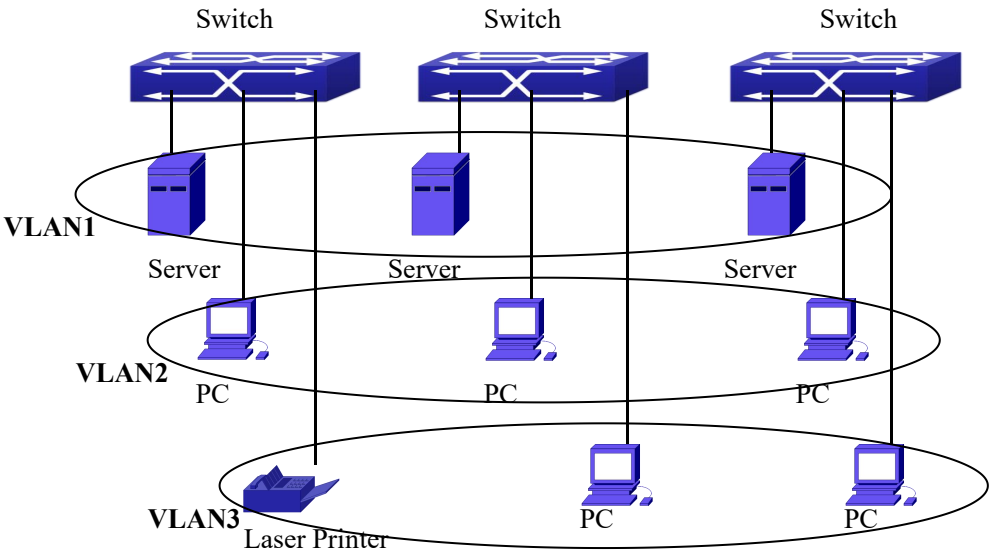


图 2-19 按照逻辑定义的 VLAN 网络

每个广播域即一个 VLAN，VLAN 和物理上的局域网有相同的属性，不同之处只在于 VLAN 是逻辑的而不是物理的划分，所以 VLAN 的划分不必根据实际的物理位置，而每个 VLAN 内部的广播、组播和单播流量都是与其它 VLAN 隔绝的。

基于 VLAN 的以上特性，VLAN 技术给我们带来以下的便利：

- 改善网络性能
- 节约网络资源
- 简化网络管理
- 降低网络成本
- 提高网络安全

交换机根据端口在转发报文时对是否带tag 标签的不同处理方式，把以太网端口分为三种链路类型：Access、Hybrid和Trunk。

Access 类型的端口只能属于一个 VLAN，一般用于连接计算机的端口。

Trunk 类型的端口可以允许多个 VLAN 通过，可以接收和发送多个 VLAN 的报文，一般用于交换机之间连接的端口。

Hybrid 类型的端口可以允许多个 VLAN 通过，可以接收和发送多个 VLAN 的报文，可以用于交换机之间连接，也可以用于连接用户的计算机。

Hybrid 端口和 Trunk 端口在接收数据时，处理方法是一样的，唯一不同之处在于发送数据时：Hybrid 端口可以允许多个 VLAN 的报文发送时不打标签，而 Trunk 端口只允许 native VLAN 的报文发送时不打标签。

在交换机中，实现了 802.1Q 所定义的 VLAN 和 GVRP（GARP VLAN Registration Protocol），本章将对交换机 VLAN 和 GVRP 的使用和配置进行详细的说明。

3.13.2 VLAN 的配置任务序列

1. 创建或删除 VLAN
2. 指定或删除 VLAN 名称
3. 为 VLAN 分配交换机端口
4. 设置交换机端口类型
5. 设置 Trunk 端口
6. 设置 Access 端口
7. 设置 Hybrid 端口配置
8. 打开或关闭全局的 VLAN 入口规则
9. 配置 Private VLAN
10. 设置 Private VLAN 的绑定操作
11. 指定内部 VLAN ID

1.创建或删除 VLAN

命令	解释
全局配置模式	
vlan WORD **no vlan WORD**	创建/删除 VLAN 或进入 VLAN 模式。

2.指定或删除 VLAN 名称

命令	解释
VLAN 配置模式	
name <*vlan-name*> **no name**	设置/删除 VLAN 名称。

3.为 VLAN 分配交换机端口

命令	解释

VLAN 配置模式	
switchport interface <*interface-list*> **no switchport interface <*interface-list*>**	为 VLAN 分配交换机端口。

4.设置交换机端口类型

命令	解释
端口配置模式	
switchport mode {trunk | access | hybrid}	设置当前端口为 Trunk，Access 端口或 Hybrid 端口。

5.设置 Trunk 端口

命令	解释
端口配置模式	
switchport trunk allowed vlan {WORD | all | add WORD | except WORD | remove WORD} **no switchport trunk allowed vlan**	设置/删除 Trunk 端口允许通过的 VLAN。
switchport trunk native vlan <*vlan-id*> **no switchport trunk native vlan**	设置/删除 Trunk 端口的 PVID。

6.设置 Access 端口

命令	解释
端口配置模式	
switchport access vlan <*vlan-id*> **no switchport access vlan**	将当前端口加入/退出到指定 VLAN。

7. 设置 Hybrid 端口

命令	解释
端口配置模式	
switchport hybrid allowed vlan {WORD | all | add WORD | except WORD | remove WORD} {tag | untag} **no switchport hybrid allowed vlan**	设置/删除 Hybrid 端口允许以 tag 或 untag 方式通过的 VLAN。
switchport hybrid native vlan <*vlan-id*> **no switchport hybrid native vlan**	设置/删除端口的 PVID。

8. 打开或关闭 VLAN 的入口规则

命令	解释
端口配置模式	
vlan ingress enable **no vlan ingress enable**	打开及关闭 VLAN 的入口规则。

9. 配置 Private VLAN

命令	解释
VLAN 配置模式	
private-vlan {primary | isolated | community} **no private-vlan**	将当前 VLAN 设置为 Private VLAN。

10. 设置 Private VLAN 的绑定操作

命令	解释
VLAN 配置模式	
private-vlan association <secondary-vlan-list> **no private-vlan association**	设置/删除 Private VLAN 的绑定关系。

11. 指定内部 VLAN ID

命令	解释
全局配置模式	
vlan <2-4094> internal	指定内部 VLAN 的 ID 号。

3.13.3 VLAN 典型应用

案例：

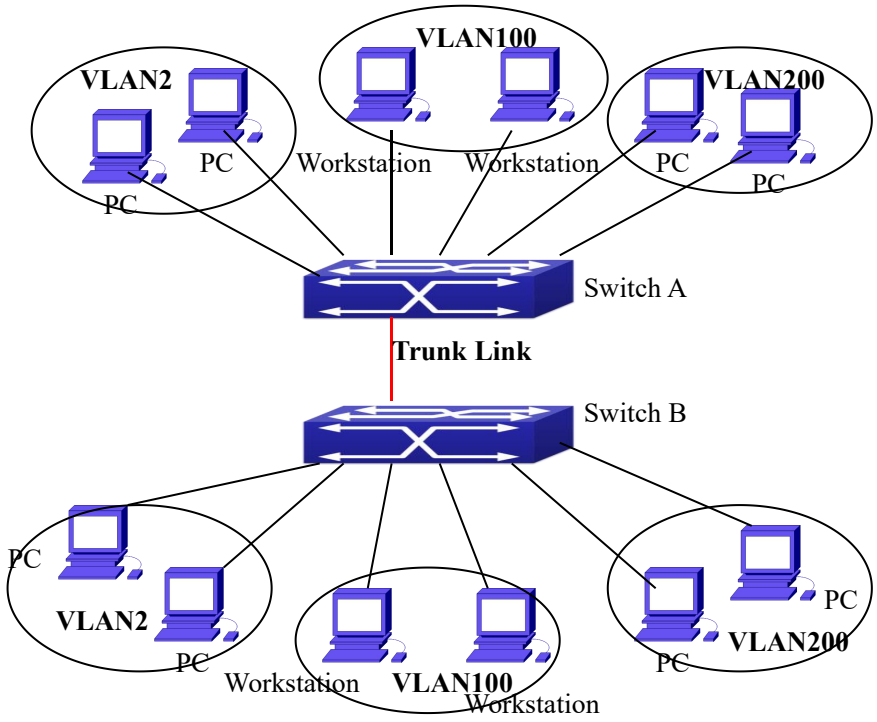


图 2-20 VLAN 典型应用拓扑图

由于局域网安全和应用的需要，需要将现有的整个局域网划分为 3 个 VLAN：VLAN2、VLAN100 和 VLAN200，并且要求这三个 VLAN 跨越两个地域 A 和 B，现在两处分别放置一台交换机，因此 VLAN 流量只要可以在交换机间传输，就可以满足跨地域的要求。

配置项目	配置说明
VLAN2	A 地、B 地交换机 2～4 端口
VLAN100	A 地、B 地交换机 5～7 端口
VLAN200	A 地、B 地交换机 8～10 端口
Trunk port	A 地、B 地交换机的 11 端口

将两台交换机的 Trunk port 相连，成为 Trunk link，用于承载跨交换机的 vlan 流量；将各种网络设备连接到交换机的各个 VLAN 的端口上，就归属到相应的 VLAN 之中。

在本例中，1 号和 12 号端口空闲，可以做为管理端口或其它用途。

配置步骤如下：

A 交换机:

Switch (config)#vlan 2

Switch (Config-Vlan2)#switchport interface ethernet 1/1/2-4

Switch (Config-Vlan2)#exit

Switch (config)#vlan 100

Switch (Config-Vlan100)#switchport interface ethernet 1/1/5-7

Switch (Config-Vlan100)#exit

Switch (config)#vlan 200

Switch (Config-Vlan200)#switchport interface ethernet 1/1/8-10

Switch (Config-Vlan200)#exit

Switch (config)#interface ethernet 1/1/11

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#switchport mode trunk

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#exit

Switch (config)#

B 交换机:

Switch (config)#vlan 2

Switch (Config-Vlan2)#switchport interface ethernet 1/1/2-4

Switch (Config-Vlan2)#exit

Switch (config)#vlan 100

Switch (Config-Vlan100)#switchport interface ethernet 1/1/5-7

Switch (Config-Vlan100)#exit

Switch (config)#vlan 200

Switch (Config-Vlan200)#switchport interface ethernet 1/1/8-10

Switch (Config-Vlan200)#exit

Switch (config)#interface ethernet 1/1/11

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#switchport mode trunk

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#exit

3.13.4 Hybrid 端口的典型应用

案例：

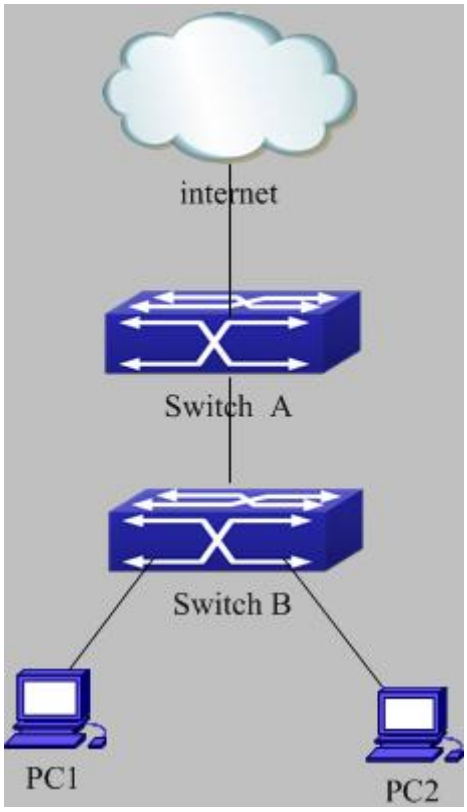


图 2-21 Hybrid 口的典型应用场景

PC1 与 Switch B 的 Ethernet 1/1/7 口相连，PC2 与 Switch B 的 Ethernet 1/1/9 口相连，Switch A 的 Ethernet 1/1/10 与 Switch B 的 Ethernet 1/1/10 相连。

出于安全的考虑，要求 PC1 和 PC2 之间不能互访，但是 PC1 和 PC2 可以通过网关 Switch A 访问其它的网络资源。这种情况下我们可以通过 Hybrid 端口来实现。

配置项如下：

端口	类型	PVID	允许通过的 VLAN
Switch A 的 1/1/10	Access	10	允许 VLAN 10 的报文以 untag 方式通过
Switch B 的 1/1/10	Hybrid	10	允许 VLAN 7,9,10 的报文以 untag 方式通过
Switch B 的 1/1/7	Hybrid	7	允许 VLAN 7,10 的报文以 untag 方式通过
Switch B 的 1/1/9	Hybrid	9	允许 VLAN 9,10 的报文以 untag 方式通过

配置步骤如下：

A 交换机:

Switch(config)#vlan 10

Switch(Config-Vlan10)#switchport interface ethernet 1/1/10

B 交换机：

Switch(config)#vlan 7;9;10
Switch(config)#interface ethernet 1/1/7
Switch(Config-If-Ethernet1/1/7)#switchport mode hybrid
Switch(Config-If-Ethernet1/1/7)#switchport hybrid native vlan 7
Switch(Config-If-Ethernet1/1/7)#switchport hybrid allowed vlan 7;10 untag
Switch(Config-If-Ethernet1/1/7)#exit
Switch(Config)#interface Ethernet 1/1/9
Switch(Config-If-Ethernet1/1/9)#switchport mode hybrid
Switch(Config-If-Ethernet1/1/9)#switchport hybrid native vlan 9
Switch(Config-If-Ethernet1/1/9)#switchport hybrid allowed vlan 9;10 untag
Switch(Config-If-Ethernet1/1/9)#exit
Switch(Config)#interface Ethernet 1/1/10
Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#switchport mode hybrid
Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#switchport hybrid native vlan 10
Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#switchport hybrid allowed vlan 7;9;10 untag
Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit

3.14 GVRP

3.14.1 GVRP 介绍

GVRP 即 GARP VLAN 属性注册协议，它是 GARP（通用属性注册）协议的一个应用。GARP 协议主要用于建立一种属性传递扩散的机制，以保证协议实体能够注册和注销该属性。GARP 作为一个属性注册的载体，可以用来传播属性。而根据传播的属性的不同，可以分为很多应用协议，例如 GMRP 和 GVRP。所以说 GVRP 是通过 GARP 这一协议机制，把 VLAN 属性信息传播到整个二层网络的协议。

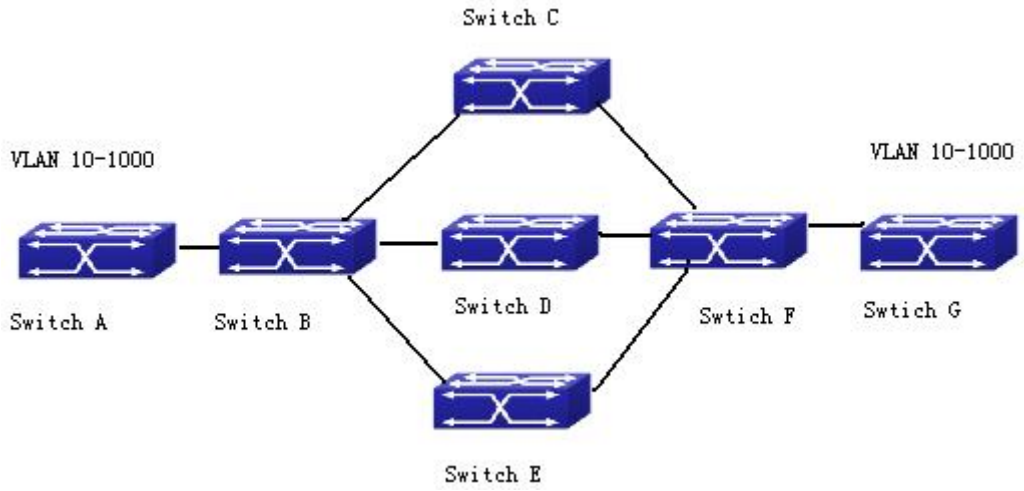


图 2-22 典型应用场景。

其中 A 和 G 是二层网络中没有直连的两个交换机，BCDEF 是二层网络连接 A 和 G 的中间的交换机，交换机 A 和 G 手工配置了 VLAN100-1000，BCDEF 没有此配置，在没有开启 GVRP 的情况下，A 和 G 的 VLAN100-1000 是不能相互通信的，因为中间交换机没有相关 VLAN，但是在所有交换机开启 GVRP 功能之后，通过 GVRP 的 VLAN 属性传播机制使得中间交换机 BCDEF 动态的注册了这些 VLAN，使得 A 和 G 的 VLAN100-1000 中每一个 VLAN 都可以相互通信，即可以看作是一个 VLAN。当 A 和 G 手动注销 VLAN100-1000 后，中间交换机 BCDEF 动态注册的这些 VLAN 也会随之注销。简单说来，通过 GVRP 协议，两个不相邻的交换机的相同 VLAN 可以互相通信，而不必去手动配置中间的每台路由器（这样的手动配置不但麻烦，并且很容易出错），从而达到在复杂的组网环境中简化 VLAN 配置的目的。

3.14.2 GVRP 配置任务序列

GVRP 配置任务序列如下：

1. 配置 GARP 定时器参数
2. 配置端口类型
3. 开启 GVRP 功能

1. 配置 GARP 定时器参数

命令	解释
全局配置模式	
garp timer join <200-500> **garp timer leave <500-1200>** **garp timer leaveall <5000-60000>** **no garp timer (join | leave | leaveAll)**	配置 GARP 的 leaveall，join 和 leave 定时器。

2. 配置端口类型

命令	解释
端口配置模式	
gvrp **no gvrp**	开启/关闭端口上 GVRP 功能。

3. 开启 GVRP 功能

命令	解释
全局配置模式	
gvrp **no gvrp**	全局开启/关闭 GVRP 功能。

3.14.3 GVRP 举例

GVRP 典型应用：

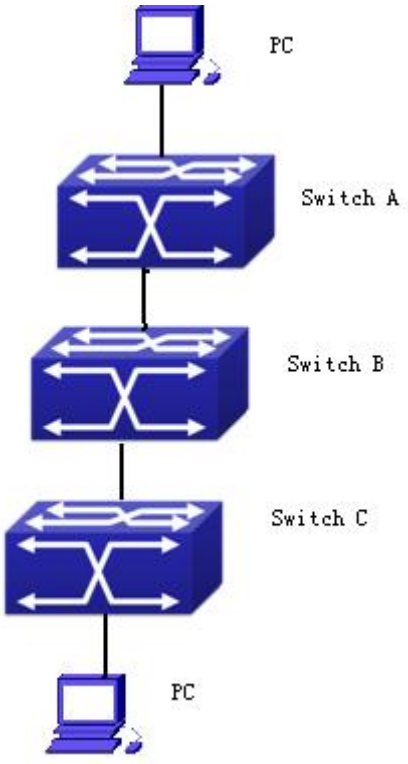


图 2-23 GVRP 典型应用拓扑图

为了实现交换机之间 VLAN 信息的动态注册和更新，需要在交换机上配置 GVRP 协议。在交换机 A、B 和 C 上配置 GVRP，使得交换机 B 学习到动态 VLAN100，这样，分别连接到交换机 A 和 C 的 VLAN100 上的两台工作站就可以通过没有配置静态 VLAN100 的交换机 B 互相通信。

配置项目	配置说明
VLAN100	交换机 A、C 的 2～6 端口
Trunk port	交换机 A、C 的 11 号端口，交换机 B 的 10、11 号端口
全局 GVRP	交换机 A、B、C
端口 GVRP	交换机 A、C 的 11 号端口，交换机 B 的 10、11 号端口

将两台工作站分别与交换机 A 和 B 的 VLAN100 的端口相连，将交换机 A 的 11 号端口与交换机 B 的 10 端口相连，交换机 B 的 11 号端口与交换机 C 的 11 号端口相连。

配置步骤如下：

Switch A:

Switch (config)#gvrp

Switch (config)#vlan 100

Switch (Config-Vlan100)#switchport interface ethernet 1/1/2-6

Switch (Config-Vlan100)#exit

Switch (config)#interface ethernet 1/1/11

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#switchport mode trunk

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#gvrp

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#exit

Switch B:

Switch(config)#gvrp

Switch(config)#interface ethernet 1/1/10

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#switchport mode trunk

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#gvrp

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit

Switch (config)#interface ethernet 1/1/11

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#switchport mode trunk

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#gvrp

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#exit

Switch C:

Switch (config)#gvrp

Switch (config)#vlan 100

Switch (Config-Vlan100)#switchport interface ethernet 1/1/2-6

Switch (Config-Vlan100)#exit

Switch (config)#interface ethernet 1/1/11

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#switchport mode trunk

Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#gvrp
Switch (Config-If-Ethernet1/1/11)#exit

3.14.4 GVRP 排错帮助

Trunk 链路两端 Trunk 端口的 GARP 计数器设置必须相同，否则 GVRP 不能正常工作。交换机的 GVRP 功能不能和 RSTP 同时打开，如果要打开 GVRP 功能，请首先关闭端口的 RSTP 功能。

3.15 Dot1q-tunnel

3.15.1 Dot1q-tunnel 介绍

Dot1q-tunnel 也称 QinQ（802.1Q-in-802.1Q），是对 802.1Q 的扩展，其核心思想是将用户私网 VLAN 标签（CVLAN tag）封装到公网 VLAN 标签（SPVLAN tag）上，报文带着两层 VLAN 标签穿越服务商的骨干网络，从而为用户提供一种较为简单的二层隧道。它简单而易于管理，仅仅通过静态配置即可实现，特别适用于小型的以三层交换机为骨干的企业网或小规模城域网。

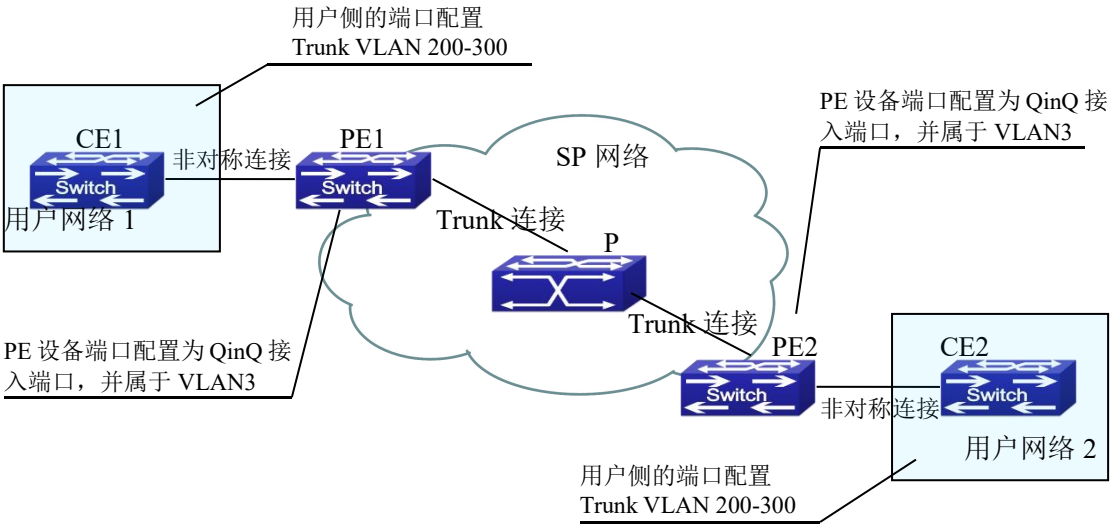


图 2-24 基于 Dot1q-tunnel 的互连模式

如上图所示，在用户端口上使能 dot1q-tunnel 功能，并为每个用户分配一个 SPVLAN 号（SPVID），此处为 3，不同的 PE 上应该为同一网络用户分配相同的 SPVID。当报文从 CE1 到达 PE1 时，带有用户内部网络的 VLAN tag 200~300，由于使能了 dot1q-tunnel 功能，PE1 上的用户端口将再次为报文加上另外一层 VLAN tag，其 ID 就是分配给该用户的 SPVID。

此后该报文在服务提供商网络中传播时仅在 VLAN3 中进行且全程带有两层 VLAN tag（内层为进入 PE1 时的 tag，外层为 SPVID），但用户网络的 VLAN 信息对运营商网络来说是透明的。当报文到达 PE2，从 PE2 上的客户端口转发给 CE2 之前，外层 VLAN tag 被剥去，CE2 收到的报文内容与 CE1 发送的报文完全相同。PE1 到 PE2 之间的运营商网络对于用户来说，其作用就是提供了一条可靠的二层链路。

Dot1q-tunnel 技术的产生使得服务提供商可以靠自己的一个 VLAN 来支持客户的多个 VLAN。服务提供商和客户可以独立设置自己的 VLAN。

可见，使用 dot1q-tunnel 功能具有如下特点：

- 通过简单的静态配置即可实现，免去了繁杂的配置，维护工作。
- 运营商只需为每个用户分配一个 SPVID，提升了可以同时支持的用户数目；而用户也具有选择和管理 VLAN ID 资源的最大自由度（从 1~4096 中任意选择）。
- 用户网络具有较高的独立性，在服务提供商升级网络时，用户网络不必更改原有的配置。

本节将对 switch 的 dot1q-tunnel 使用和配置进行详细说明。

3.15.2 Dot1q-tunnel 配置

Dot1q-tunnel 的配置任务序列：

1. 设置端口的 dot1q-tunnel 功能
2. 设置端口的协议类型（TPID）

1. 设置端口的 dot1q-tunnel 功能

命令	解释
端口配置模式	
dot1q-tunnel enable **no dot1q-tunnel enable**	进入/退出端口的 dot1q-tunnel 模式。

2. 设置端口的协议类型（TPID）

命令	解释
端口配置模式	
dot1q-tunnel tpid {0x8100|0x9100|0x9200|<1-65535>}	在 trunk 端口上设置端口的协议类型。

3.15.3 Dot1q-tunnel 典型应用

案例：

服务提供商边界交换机 PE1 与 PE2 用 VLAN3 来承载客户网络 CE1 与 CE2 的 VLAN200~300 的数据业务。PE1 的端口 1 连接 CE1，端口 10 连接公网，所连设备的 TPID

为 9100；PE2 的端口 1 连接 CE2，端口 10 连接公网。

配置项目	配置说明
VLAN3	PE1、PE2 的端口 1
dot1q-tunnel	PE1、PE2 的端口 1
tpid	9100

配置步骤如下：

PE1:

Switch(Config)#vlan 3

Switch(Config-Vlan3)#switchport interface ethernet 1/1/1

Switch(Config-Vlan3)#exit

Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1

Switch(Config-Ethernet1/1/1)# dot1q-tunnel enable

Switch(Config-Ethernet1/1/1)# exit

Switch(Config)#interface ethernet 1/1/10

Switch(Config-Ethernet1/1/10)#switchport mode trunk

Switch(Config-Ethernet1/1/10)#dot1q-tunnel tpid 0x9100.

Switch(Config-Ethernet1/1/10)#exit

Switch(Config)#

PE2:

Switch(Config)#vlan 3

Switch(Config-Vlan3)#switchport interface ethernet 1/1/1

Switch(Config-Vlan3)#exit

Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1

Switch(Config-Ethernet1/1/1)# dot1q-tunnel enable

Switch(Config-Ethernet1/1/1)# exit

Switch(Config)#interface ethernet 1/1/10

Switch(Config-Ethernet1/1/10)#switchport mode trunk

Switch(Config-Ethernet1/1/10)#dot1q-tunnel tpid 0x9100.

Switch(Config-Ethernet1/1/10)#exit

Switch(Config)#

3.15.4 Dot1q-tunnel 排错帮助

- 在 Trunk 端口启用 dot1q-tunnel 功能会使数据包的标签层数据不可预知，也不是应用中所需要的，因而不推荐在 Trunk 端口启用 dot1q-tunnel 功能。
- 不能与 STP/MSTP 同时使用。
- 不能与 PVLAN 同时使用。

3.16 VLAN-translation

3.16.1 VLAN-translation 介绍

VLAN translation 即 VLAN 翻译，它根据用户的需求将原有的 VLAN ID 转换为新的 VLAN ID，这样可以在不同的 VLAN 之间交换数据。VLAN translation 分为入口翻译与出口翻译，分别在入口或出口对 VLAN ID 进行转换。

本节将对 VLAN translation 的使用和配置进行详细的说明。

3.16.2 VLAN-translation 配置

VLAN-translation 的配置任务序列：

1. 设置端口的 VLAN-translation 功能
2. 设置端口 VLAN-translation 的翻译关系
3. 设置端口 VLAN-translation 翻译关系查找失败是否丢包
4. 显示 VLAN-translation 相关配置

1. 设置端口的 VLAN-translation 功能

命令	解释
端口配置模式	
vlan-translation enable **no vlan-translation enable**	进入/退出端口的 VLAN-translation 模式。

2. 设置端口 VLAN-translation 的翻译关系

命令	解释
端口配置模式	
vlan-translation <*old-vlan-id*> to <*new-vlan-id*> {in|out} **no vlan-translation <*old-vlan-id*> {in|out}**	添加/删除 VLAN-translation 翻译关系。

3. 设置端口 VLAN-translation 翻译关系查找失败是否丢包

命令	解释
端口配置模式	

vlan-translation miss drop {in | out | both} **no vlan-translation miss drop {in | out | both}**	设置/取消 VLAN-translation 查找翻译关系失败时丢包。

4. 显示 VLAN-translation 相关配置

命令	解释
特权用户配置模式	
show vlan-translation	显示 vlan-translation 相关配置。

3.16.3 VLAN-translation 典型应用

案例：

服务提供商边界交换机 PE1 与 PE2 用 VLAN3 来承载客户网络 CE1 与 CE2 的 VLAN20 的数据业务。PE1 的端口 1/1/1 连接 CE1，端口 1/1/10 连接公网；PE2 的端口 1/1/1 连接 CE2，端口 1/1/10 连接公网（如下图）。

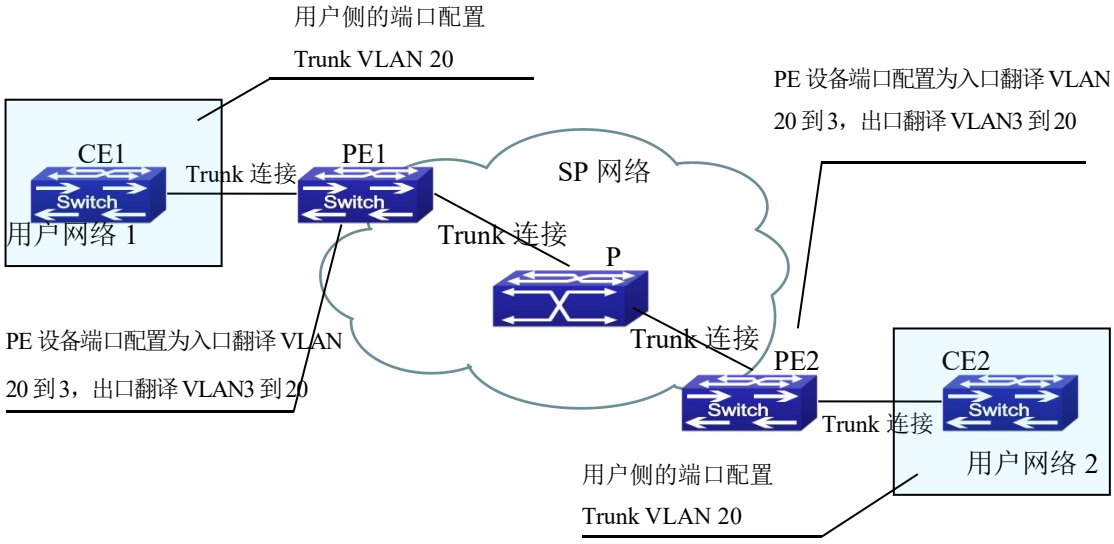


图 2-25 VLAN-translation 典型应用拓扑

配置项目	配置说明
VLAN-translation	PE1、PE2 的端口 1/1/1
Trunk port	PE1、PE2 的端口 1/1/1 与端口 1/1/10

配置步骤如下：

PE1、PE2:

switch(Config)#interface ethernet 1/1/1

switch(Config-Ethernet1/1/1)#switchport mode trunk

```
switch(Config-Ethernet1/1/1)# vlan-translation enable
switch(Config-Ethernet1/1/1)# vlan-translation 20 to 3 in
switch(Config-Ethernet1/1/1)# vlan-translation 3 to 20 out
switch(Config-Ethernet1/1/1)# exit
switch(Config)#interface ethernet 1/1/10
switch(Config-Ethernet1/1/10)#switchport mode trunk
switch(Config-Ethernet1/1/10)#exit
switch(Config)#
```

- VLAN-translation 排错帮助
- 不能与 Dot1q-tunnel 同时使用。
- 目前部分产品不支持对非 0x8100 的报文进行 vlan translation，所以不建议在 vlan-translation 端口配置 dot1q-tunnel tpid 为非 0x8100 的值。
- 灵活 QINQ、vlan translation 以及 QINQ 对报文处理的优先级关系如下：灵活 QINQ ＞ vlan translation＞QINQ。
- 如果入口翻译不匹配，部分产品可能会出现对入口 tag 报文在外层再打一层 tag 的行为，所以当确定入口报文不匹配入口翻译表项时请取消 vlan-translation enable。

3.17 动态 VLAN

3.17.1 动态 VLAN 介绍

动态 VLAN 是相对于静态 VLAN（即基于端口的 VLAN）而言的。动态 VLAN 包括基于 MAC 地址的 VLAN（MAC-based VLAN）、基于 IP 子网的 VLAN（IP-subnet-based VLAN）和基于协议的 VLAN（Protocol-based VLAN），分述如下。

基于 MAC 地址划分 VLAN 的方法是根据每个主机的 MAC 地址来划分，即对每个 MAC 地址的主机都配置他属于哪个 VLAN。这种方式的 VLAN 允许网络用户从一个物理位置移动到另一个物理位置时，自动保留其所属 VLAN 的成员身份。由这种划分的机制可以看出，这种 VLAN 的划分方法的最大优点就是当用户物理位置移动时，即从一个交换机换到其他的交换机时，VLAN 不用重新配置，因为它是基于用户，而不是基于交换机的端口。

基于 IP 子网的 VLAN 是根据每个主机的源 IP 地址及其子网掩码来划分的 VLAN，它根据子网网段来为进入的数据包分配相应的 VLAN 号，使数据包进入指定的 VLAN。它的优点与基于 MAC 地址划分的 VLAN 相同，可以在用户移动时不必重新进行配置。

VLAN 按网络层协议来划分，可使不同的协议属于不同的 VLAN。这对于希望针对具体应用和服务来组织用户的网络管理员来说是非常具有吸引力的。而且，用户可以在网络内部自由移动，但其 VLAN 成员身份仍然保留不变。这种方法的优点是用户的物理位置改变了，不需要重新配置所属的 VLAN，而且可以根据协议类型来划分 VLAN，这对网络管理者来说

很重要。还有，这种方法不需要附加的帧标签来识别 VLAN，这样可以减少网络的通信量。

注意：动态 VLAN 需要跟端口的 Hybrid 属性配合才能很好的工作，需要用户将需要添加到动态 VLAN 的端口配置为 Hybrid 属性。

3.17.2 动态 VLAN 配置

动态 VLAN 的配置任务序列：

1. 设置端口的 MAC-based VLAN 功能
2. 指定一个 VLAN 为 MAC VLAN
3. 设置 MAC 地址与 VLAN 的对应关系
4. 设置端口的 IP-subnet-based VLAN 功能
5. 设置 IP 子网与 VLAN 的对应关系
6. 设置协议与 VLAN 的对应关系
7. 调整动态 VLAN 的优先顺序

1.设置端口的 MAC-based VLAN 功能

命令	解释
端口配置模式	
switchport mac-vlan enable **no switchport mac-vlan enable**	打开/关闭端口的 MAC-based VLAN 功能。

2. 指定一个 VLAN 为 MAC VLAN

命令	解释
全局配置模式	
mac-vlan vlan <vlan-id> **no mac-vlan vlan <*vlan-id*>**	设置指定 VLAN 为 MAC VLAN;本命令的 no 命令为取消该 VLAN 为 MAC VLAN。

3. 设置 MAC 地址与 VLAN 的对应关系

命令	解释
全局配置模式	
mac-vlan mac <mac-addrss> <mac-mask> vlan <vlan-id> priority <priority-id> **no mac-vlan {mac <mac-addrss> <mac-mask>|all}**	添加/删除 MAC 地址与 VLAN 的对应关系。即指定 MAC 地址加入/离开指定 VLAN。

4.设置端口的 IP-subnet-based VLAN 功能

命令	解释
端口配置模式	
switchport subnet-vlan enable **no switchport subnet-vlan enable**	打开/关闭端口的 IP-subnet-based VLAN 功能。

5.设置 IP 子网与 VLAN 的对应关系

命令	解释
全局配置模式	
subnet-vlan ip-address *<ipv4-addrss>* mask *<subnet-mask>* vlan *<vlan-id>* priority *<priority-id>* **no subnet-vlan {ip-address *<ipv4-addrss>* mask *<subnet-mask>*|all}**	添加/删除 IP 子网与 VLAN 的对应关系。即指定 IP 子网加入/离开指定 VLAN。

6.设置协议与 VLAN 的对应关系

命令	解释
全局配置模式	
protocol-vlan etype *<etype-id>*| vlan *<vlan-id>* priority *<priority-id>* **no protocol-vlan etype *<etype-id>***	添加/删除协议与 VLAN 的对应关系。即指定协议加入/离开指定 VLAN。

7.调整动态 VLAN 的优先顺序

命令	解释
全局配置模式	
dynamic-vlan mac-vlan prefer **dynamic-vlan subnet-vlan prefer**	设置动态 VLAN 的优先顺序。

3.17.3 动态 VLAN 典型应用

案例：

办公网中某部门 A 属于 VLAN100，该部门有若干成员经常在整个办公网中移动办公，而其仍要保证是部门 A 的成员而访问 VLAN100 的资源。假定该其中一个成员为 M，其 PC 的 MAC 地址为 00-03-0f-11-22-33，当 M 移动到 VLAN200 或 VLAN300 中时，应当将 M 所在的端口配置为 hybrid 模式，并且以 untag 方式属于 VLAN100。这样当 VLAN100 中的数据会转发到 M 所在的端口，实现在 VLAN100 中的通信需求。

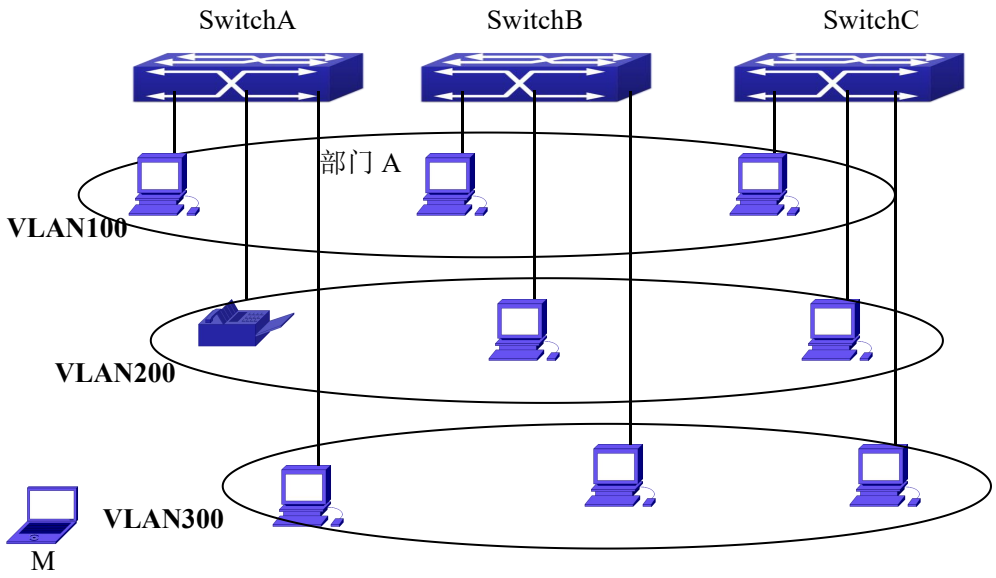


图 2-26 动态 VLAN 典型应用拓扑

配置项目	配置说明
MAC-based VLAN	Switch A, Switch B, Switch C 进行全局配置

例如 M 位于 Switch A 的 E1/1/1，则配置步骤如下：

对于 Switch A, Switch B, Switch C:

SwitchA(Config)#mac-vlan mac 00-03 -0f-11-22-33 vlan 100 priority 0

SwitchA(Config)#interface ethernet 1/1/1

SwitchA(Config-Ethernet1/1/1)#swportport mode hybrid

SwitchA(Config-Ethernet1/1/1)#swportport hybrid allowed vlan 100 untagged

SwitchB(Config)#mac-vlan mac 00-03-0f-11-22-33 vlan 100 priority 0

SwitchB(Config)#exit

SwitchB#

SwitchC(Config)#mac-vlan mac 00-03-0f-11-22-33 vlan 100 priority 0

SwitchC(Config)#exit

SwitchC#

3.17.4 动态 VLAN 排错帮助

在配置有动态 VLAN 的交换机上，如果连接的两台设备（如 PC）均属于同一动态 VLAN，那么这两台设备之间初次通讯会有不通的现象。解决方法是两台设备主动向交换机发送数据包（如进行 ping 操作），使交换机学习到它们的源 MAC，之后，两台设备在该动态 VLAN

之中可正常通讯。如下图所示。

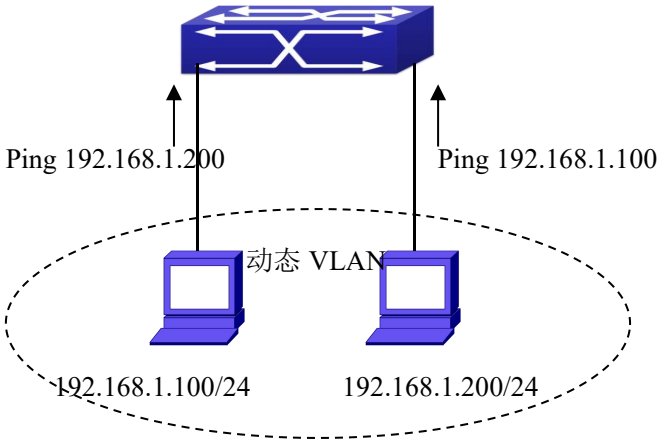


图 2-27 动态 vlan 排错示例

3.18 Voice VLAN

3.18.1 Voice VLAN 介绍

Voice VLAN 指为用户的语音数据流而专门划分的 VLAN。通过划分 Voice VLAN 并将连接语音设备的端口加入 Voice VLAN，可以为语音数据配置 QoS 服务（Quality of Service，服务质量），提高语音流量的传输优先级，保证通话质量。

交换机可以根据进入端口的数据报文中的源 MAC 地址字段，判断该数据流是否为指定语音设备的语音数据流，源 MAC 地址符合系统设置的语音设备 OUI（Organizationally Unique Identifier，全球统一标识符）地址的报文被认为是语音数据流，被划分到 Voice VLAN 中传输。

这种划分是基于 MAC 地址来划分的，它实现的机制就是每一个通过网络传输信息的语音设备都对应唯一的 MAC 地址，VLAN 交换机跟踪属于指定的 MAC 的地址。这种方式的 VLAN 允许语音设备从一个物理位置移动到另一个物理位置时，仍然属于 Voice VLAN。由这种划分的机制可以看出，这种 VLAN 的划分方法的最大优点就是根据语音流而自动将其划入 Voice VLAN，在特定优先级下传输语音数据。同时，当语音设备物理位置移动时，同样属于 Voice VLAN，而不用重新配置，因为它是基于语音设备的，而不是基于交换机的端口。

注意：Voice VLAN需要跟端口的Hybrid属性配合才能很好的工作，需要用户将需要添加到Voice VLAN的端口配置为Hybrid属性。

3.18.2 Voice VLAN 配置

Voice VLAN 的配置任务序列如下：

1. 设置 VLAN 为 Voice VLAN
2. 将语音设备加入 Voice VLAN
3. 使能端口的 Voice VLAN

1. 设置 VLAN 为 Voice VLAN

命令	解释
全局配置模式	
voice-vlan vlan <*vlan-id*> **no voice-vlan**	设置/取消指定 VLAN 为 Voice VLAN。

2. 将语音设备加入 Voice VLAN

命令	解释
全局配置模式	
voice-vlan mac <*mac-address*> <*mac-address-mask*> priority <*priority-id*> [name <*voice-name*>] **no voice-vlan {mac <*mac-address*> <*mac-address-mask*>|name <*voice-name*> |all}**	指定某语音设备加入/离开 Voice VLAN。

3. 使能端口的 Voice VLAN

命令	解释
端口配置模式	
switchport voice-vlan enable **no switchport voice-vlan enable**	打开/关闭端口的 Voice VLAN 功能。

3.18.3 Voice VLAN 典型应用

案例：

公司内部通过 Voice VLAN 的设置来实现通讯。IP-phone1 与 IP-phone2 可以接在交换机的任意端口上，即可实现正常通讯，并且可以通过上联端口与其它交换机进行互通。IP-phone1 的 MAC 地址为 00-03-0f-11-22-33，"连接交换机的 1/1/1 口， IP-phone2 的 MAC 地址为 00-03-0f-11-22-55，连接交换机的 1/1/2 口，交换机的端口 1/1/10 为上联端口。如下图所示。

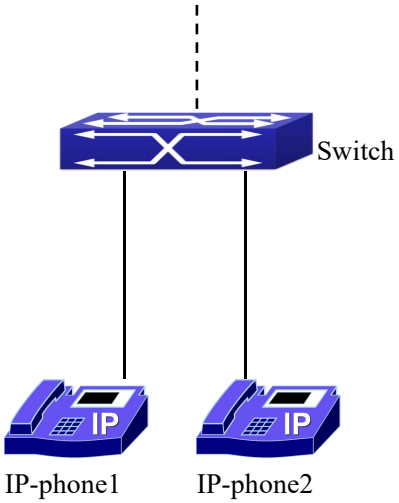


图 2-28 Voice VLAN 典型应用拓扑

配置项目	配置说明
Voice VLAN	Switch 进行全局配置

配置步骤如下：

Switch 1:

switch(Config)#vlan 100

switch(Config-Vlan100)#exit

switch(Config)#voice-vlan vlan 100

switch(Config)#voice-vlan mac 00-03-0f-11-22-33 mask 255 priority 5 name company

switch(Config)#voice-vlan mac 00-03-0f-11-22-55 mask 255 priority 5 name company

switch(Config)#interface ethernet1/1/10

switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#switchport mode trunk

switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit

switch(Config)#interface ethernet 1/1/1

switch(Config-If-Ethernet1/1/1)#switchport mode hybrid

switch(Config-If-Ethernet1/1/1)#switchport hybrid allowed vlan 100 untag

switch(Config-If-Ethernet1/1/1)#exit

switch(Config)#interface ethernet 1/1/2

switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#switchport mode hybrid

switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#switchport hybrid allowed vlan 100 untag

switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#exit

3.18.4 Voice VLAN 排错帮助

- Voice VLAN 与 MAC-based VLAN 不能同时使用。 Voice VLAN 对于语音设备的支

持最多为 1024 台，超出上限将不再支持。

- 端口上的 Voice VLAN 缺省为打开，若使用中某端口上已经设置好的数据不再进入 Voice VLAN，请首先考虑是否在端口上已将 Voice VLAN 功能关闭。

3.19 Multi-to-One VLAN Translation

3.19.1 Multi-to-One VLAN Translation 介绍

Multi-to-One VLAN translation 即多对一的 VLAN 翻译。在上行数据流方向，根据用户的需求将原有的 VLAN ID 转换为新的 VLAN ID，同时在下行数据流方向还原原来的 VLAN ID。

本节将对Multi-to-One VLAN translation的使用和配置进行详细的说明。

交换机的access口不支持此功能。

3.19.2 Multi-to-One VLAN Translation 配置

Multi-to-One VLAN translation 的配置任务序列：

1. 设置端口 Multi-to-One VLAN translation 功能
2. 显示 Multi-to-One VLAN translation 的相关配置

1. 设置端口的 VLAN-translation 功能

命令	解释
端口配置模式	
vlan-translation n-to-1 <WORD> to <new-vlan-id> **no vlan-translation n-to-1 <WORD>**	设置/删除 Multi-to-One VLAN translation。

2. 显示 Multi-to-One VLAN translation 相关配置

命令	解释
特权用户配置模式	
show vlan-translation n-to-1	显示 Multi-to-One VLAN translation 相关配置。

3.19.3 Multi-to-One VLAN Translation 典型应用

案例：

如下图，用户 A、B、C 分别属于该域中的 VLAN 1、VLAN 2、VLAN 3，在进入核心网络层前，用户 A、B、C 数据流被边缘接入交换机 Switch1 接口 Ethernet1/1/1 映射成 VLAN 100，相反，用户 A、B、C 数据流从核心网络层进入边缘层时，会被边缘接入交换机 Switch1 接口 Ethernet1/1/1 分别映射成 VLAN1、VLAN2、VLAN3；同理，在边缘接入交换机 Switch2 接口 Ethernet1/1/1，也实现了针对用户 D， E， F 多对一的映射。

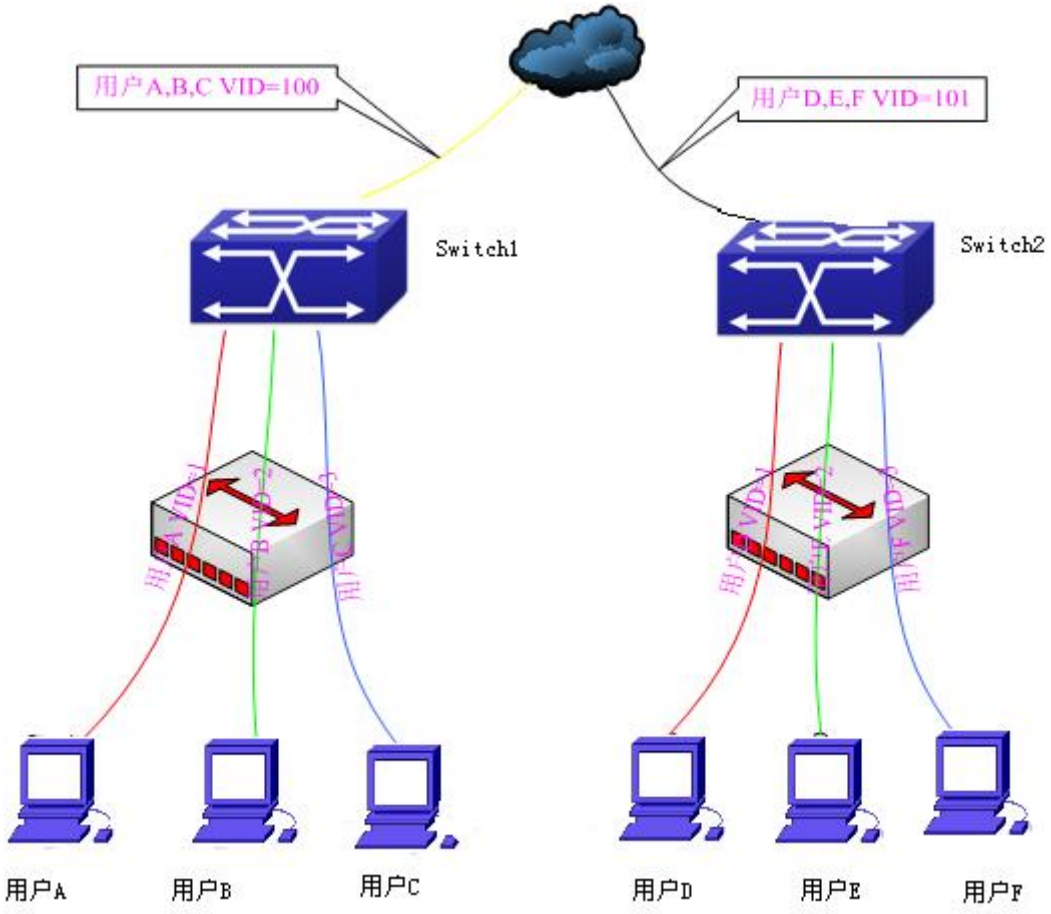


图 2-28 VLAN-translation 典型应用拓扑

配置项目	配置说明
VLAN	Switch1、Switch2
Trunk Port	Switch1、Switch2 的下联端口 1/1/1 和上联端口 1/1/5
Multi-to-One VLAN-translation	Switch1、Switch2 的下联端口 1/1/1

配置步骤如下：

Switch1、Switch2：

switch(Config)# vlan 1-3;100

switch(Config-Ethernet1/1/1)#switchport mode trunk

switch(Config-Ethernet1/1/1)# vlan-translation n-to-1 1-3 to 100

switch(Config)#interface ethernet 1/1/5
switch(Config-Ethernet1/1/5)#switchport mode trunk
switch(Config-Ethernet1/1/5)#exit

3.19.4 Multi-to-One VLAN Translation 排错帮助

- 不能与 Dot1q-tunnel 同时使用。
- 不能与 VLAN-translation 同时使用。
- 映射前与映射后的 VLAN 中不能存在相同的 MAC 地址。
- 检查芯片是否有足够的硬件资源保证该功能所有客户端正常工作。
- MAC 地址限制学习可能会影响该功能使用。
- 该功能要在开启 MAC 软件学习后使用。

3.20 Super VLAN

3.20.1 Super VLAN 简介

Super VLAN 技术（也称 VLAN 聚合）引入 super VLAN 和 sub VLAN 的概念。一个 super VLAN 可以包含一个或多个保持着不同广播域的 sub VLAN。Sub VLAN 不再占用一个独立的子网网段。在同一个 super VLAN 中，无论主机属于哪一个 sub VLAN，它的 IP 地址都在 super VLAN 对应的子网网段内。

在 LanSwitch 网络中，VLAN 技术以其对广播域的灵活控制（可跨物理设备）、部署方便而得到了广泛的应用。但是在一般的三层交换机中，通常是采用一个 VLAN 对应一个三层接口的方式来实现广播域之间的互通的，这在某些情况下导致了对 IP 地址的较大浪费。我们来看下面这个例子，设备内 VLAN 划分如下图所示。

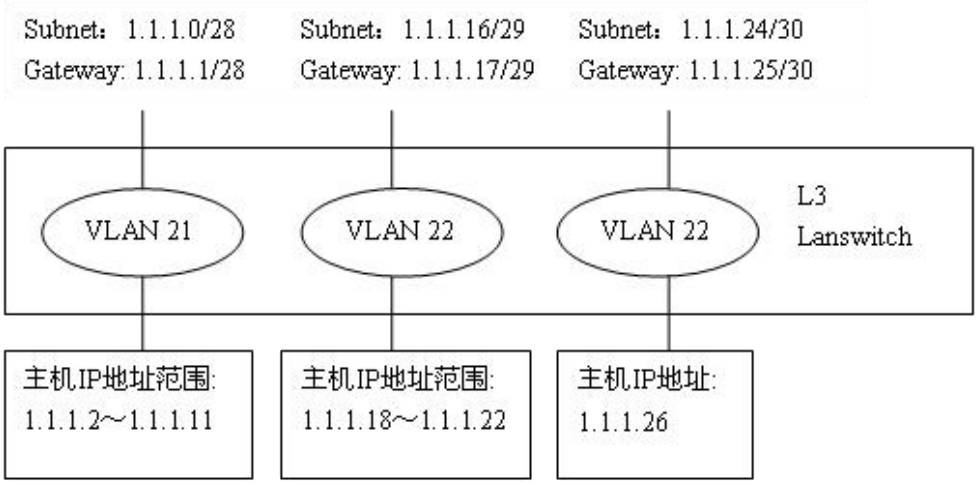


图 2-29 普通 VLAN 网络示意图

VLAN	IP Subnet	Gateway Address	Usable Hosts	Customer Hosts	Needed Hosts
21	1.1.1.0/28	1.1.1.1	14	13	10
22	1.1.1.16/29	1.1.1.17	6	5	5
23	1.1.1.24/30	1.1.1.25	2	1	1

表 1-1 普通 VLAN 主机地址划分示例

表 1-1 列出了地址的划分情况。VLAN 21 预计未来要有 10 个主机，给其分配一个掩码长 28 的子网——1.1.1.0/28。网段内子网号 1.1.1.0 和子网定向广播地址 1.1.1.15 不能用作主机地址，1.1.1.1 作为子网缺省网关地址也不可作为主机地址，剩下地址范围在 1.1.1.2～1.1.1.14 的主机地址可以被主机使用，这部分地址共有 13 个（2^{32-28}-3=13）。这样，尽管 VLAN 21 只需要 10 个地址就可以满足需求了，但是按照子网划分却要分给它 13 个地址。

依此类推，VLAN 22 预计未来有 5 个主机地址需求，至少需要分配一个 29 位掩码的子网（1.1.1.16/29）才能满足要求。VLAN 23 只有 1 个主机，则占用子网 1.1.1.24/30。

这三个 VLAN 总共需要 10+5+1＝16 个地址，按照普通 VLAN 的编址方式，即使最优化的方案也需要占用 $2^{32-28}+2^{32-29}+2^{32-30}$=28 个地址，地址浪费了将近一半。而且，如果 VLAN 21 后来并没有增长到 10 台主机，而只增长到了 3 台主机，本来分一个掩码长 29 的子网就够用了，但之前却分了一个子网掩码长 28 的子网给它，多出来的地址都因不能再被其他 VLAN 使用而被浪费掉了。

同时，这种划分也给后续的网络升级带来了很大不便。假设 VLAN23 所在的客户一段时间后需要增加 2 台主机，又不愿意改变已经分配的 IP 地址。在 1.1.1.24 后面的地址已经分配给了其他人的情况下，那没有办法，只能额外再给他分配一个的 29 位掩码的子网和一个新的 VLAN 给他。这样 VLAN23 的客户只有 3 台主机，却被迫分配了两个子网，不在同一个 VLAN，造成管理上的极大不便。

由此我们可以看出，被诸如子网号、子网定向广播地址、子网缺省网关地址消耗掉的 IP 地址数量是相当可观。同时，这种地址分配的固有约束也严重降低了编址的灵活性，使许多闲置地址被浪费。为了解决这一问题，Super VLAN 应运而生。

可见，Super VLAN 的好处是：减少子网号、子网缺省网关地址和子网定向广播地址的消耗，实现了不同广播域使用同一子网网段地址，增加编址的灵活性，减少了闲置地址浪费。

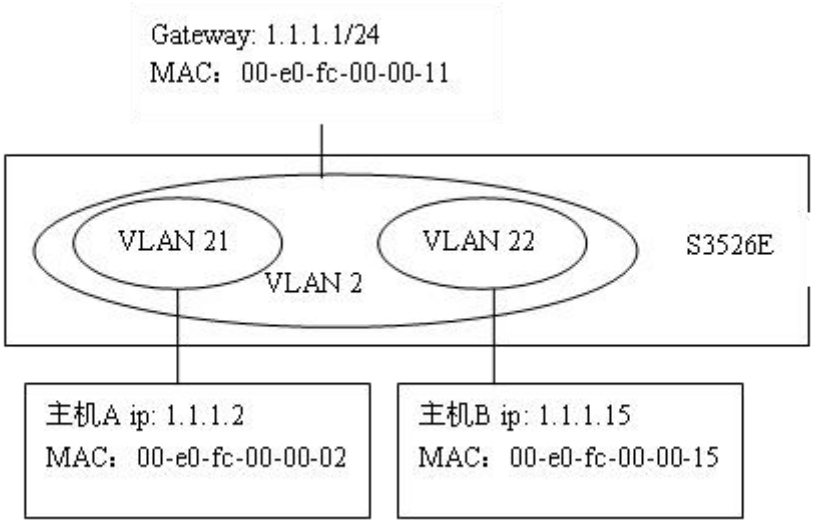


图 2-30 super vlan 功能示意图

- Super VLAN 不同于通常意义的 VLAN，Super VLAN 只是建立一个三层接口，不能包含任何端口，是一个三层的概念。
- Super VLAN 三层接口 UP：它所含 sub-VLAN 中存在 UP 状态的物理端口。

3.20.2 Super VLAN 配置任务序列

1. 创建或删除 supervlan
2. 指定或删除 subvlan
3. 开启或关闭 subvlan 的 arp-proxy 功能
4. 指定或删除接口的 ip-addr-range
5. 指定或删除 subvlan 的 ip-addr-range

1. 创建或删除 supervlan

命令	解释
VLAN 配置模式	
supervlan **no supervlan**	创建/删除 supervlan。

2. 指定或删除 subvlan

命令	解释
VLAN 配置模式	
subvlan WORD **no subvlan {WORD | all}**	指定/删除 subvlan。

3. 开启或关闭 subvlan 的 arp-proxy 功能

命令	解释

接口配置模式	
arp-proxy subvlan {WORD | all} **no arp-proxy subvlan {WORD | all}**	开启/关闭 subvlan 的 arp-proxy 功能。

4. 指定或删除接口的 ip-addr-range

命令	解释
接口配置模式	
ip-addr-range <*ipv4-addrss*> to <*ipv4-addrss*> **no ip-addr-range**	指定/删除接口的地址范围。

5. 指定或删除 subvlan 的 ip-addr-range

命令	解释
接口配置模式	
arp-check-range subvlan **<*vlan-id*>** **<*ipv4-addrss*>** **to <*ipv4-addrss*>** **no** arp-check-range subvlan **<*vlan-id*>**	指定/删除 subvlan 的地址范围。

3.20.3 Super VLAN 典型应用

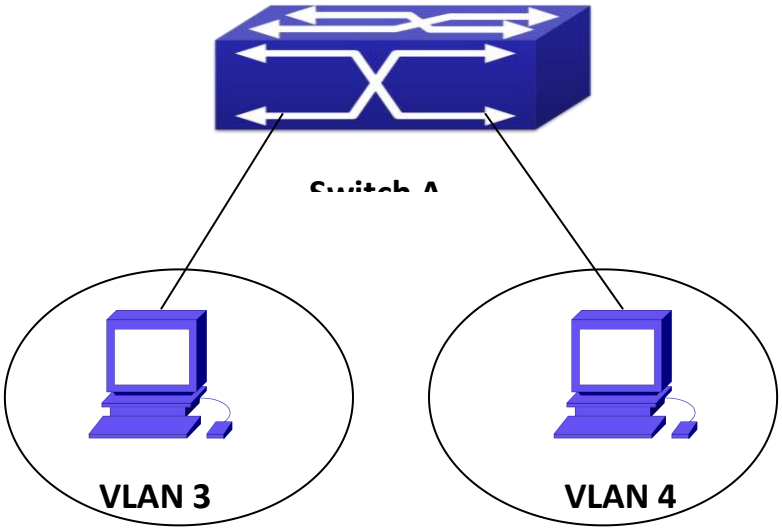


图 2-31 supervlan 典型应用拓扑图

由于局域网应用的需要，需要让两个 vlan 的终端配置为同一网段的地址，它们之间的二层流量要隔离，但是三层流量能正常转发。vlan3 用的地址范围为 1.1.1.1-10，vlan4 用的地址范围为 1.1.1.20-30，只有在这个地址范围内的终端的三层流量互通，而其他使用同网段地址的终端的三层流量不被转发。在交换机上设置 supervlan 可以实现这种需求。

配置项目	配置说明
VLAN2	Supervlan

VLAN3	A 交换机 1 端口
VLAN4	A 交换机 2 端口

配置步骤如下：

Switch A:

switch(Config)#vlan 2-4

switch(Config)#vlan 2

switch(Config-Vlan2)#supervlan

switch(Config-Vlan2)#subvlan 3;4

switch(Config-Vlan2)#exit

switch(Config)#interface vlan 2

switch(config-if-vlan2)#ip address 1.1.1.254 255.255.255.0

switch(config-if-vlan2)#arp-proxy subvlan all

switch(config-if-vlan2)# arp-check-range subvlan 3 1.1.1.1 to 1.1.1.10

switch(config-if-vlan2)# arp-check-range subvlan 4 1.1.1.20 to 1.1.1.30

switch(config-if-vlan2)#exit

3.20.4 Super VLAN 排错帮助

- supervlan 功能与 VRRP、动态 VLAN、私有 VLAN、组播 VLAN 等功能互斥，不要同时使用。
- subvlan 的 arp-proxy 功能只对一个 subvlan 生效，配置 arp-proxy 的 VLAN 收到的流量可以向其他 VLAN 转发。当处于两个不同 subvlan 的设备互相发送流量通信时，请注意将两个 subvlan 的 arp-proxy 功能均开启。
- subvlan 上不能建立三层接口。
- 创建\删除 supervlan 时需要保证该 VLAN 没有三层接口，否则会报错。
- 当 supervlan 的接口上指定了接口的 IP 地址范围，未指定 subvlan 地址范围，则以接口上规定的地址范围为准；当接口和 subvlan 上都指定了 IP 地址范围时，按顺序先检查是否在 subvlan 地址范围内，然后再检查是否在接口地址范围内，通过上述两次检查后的数据包才可以进入后续处理环节。
- 设置 supervlan 或 subvlan 时必须是存在的 VLAN 才可以设置。
- 将端口模式设置为 trunk 时，会自动将 supervlan 从 allow-vlan 中去除。

3.21 MAC 地址表

3.21.1 MAC 地址表介绍

MAC 地址表是标识目的 MAC 地址与交换机端口之间映射关系的表，其 MAC 地址分为静态 MAC 地址和动态 MAC 地址。静态 MAC 地址由用户配置，具有最高优先级（不能

被动态 MAC 地址覆盖）且永久生效；动态 MAC 地址由交换机在转发数据帧的过程中学习，且在有限时间内生效。当交换机接收到需要转发的数据帧时，首先学习数据帧的源 MAC 地址，与接收端口建立映射关系；然后根据目标 MAC 地址查询 MAC 地址表，如果命中相关表项，交换机将数据帧从相应端口转发；否则，交换机将数据帧在其所属广播域内广播。如果动态 MAC 地址长时间没有从转发数据帧中学习到，交换机就将其从 MAC 地址表中删除。

对于 MAC 地址表的操作可分为两步：

1. MAC 地址的获取；
2. 根据 MAC 地址表转发或过滤。

3.21.1.1 MAC 地址表的获取

MAC 地址表的获取可分为静态配置和动态学习。静态配置即由用户人为的建立 MAC 地址与端口的映射关系；动态学习即由交换机动态的发现 MAC 地址与端口的映射关系，并定期的更新 MAC 地址表。下面我们将重点介绍 MAC 地址表的动态学习过程。

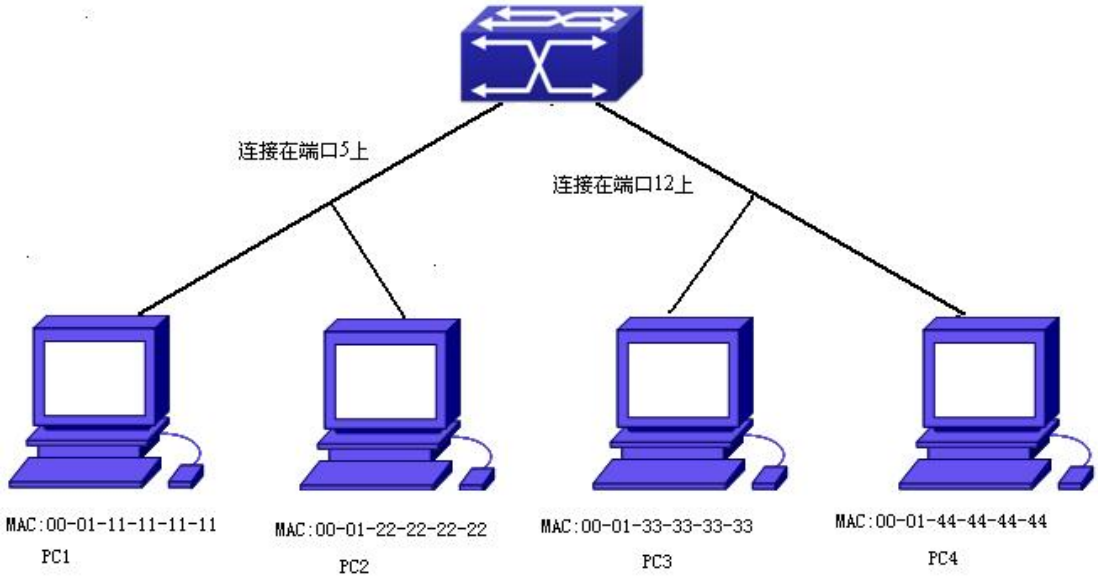


图 2-32 MAC 地址表动态学习

上图的拓扑环境为：4 台主机连接在交换机上，其中主机 1、2 在同一个物理分段中（即相同的冲突域），该物理分段与交换机的端口 1/1/5 相连；主机 3、4 在同一个物理分段，该物理分段与交换机的端口 1/1/12 相连。

初始状态下MAC地址表中没有任何学习到的地址映射表项，以主机1和主机3的相互通信为例，MAC地址表的学习过程如下：

1. 当主机1向主机3传输信息时，交换机在端口1/1/5处收到该信息的源MAC地址00-01-11-11-11-11，交换机的MAC地址表中就会增加MAC地址00-01-11-11-11-11和端口1/1/5映射表项；
2. 同时交换机会检查到该信息的目标MAC地址00-01-33-33-33-33，此时交换机中只有MAC地址00-01-11-11-11-11和端口1/1/5的映射表项，没有00-01-33-33-33-33对应的端口映射，因此交换机只能将该信息广播给交换机的每个端口（假设交换机的所有端口都属于缺省VLAN）；
3. 位于端口1/1/12的主机3、4均收到主机1发出的信息，但主机4不会给主机1回应，因为目

标MAC地址为00-01-33-33-33-33，只有主机3会给主机1回应。这时交换机的1/1/12号端口收到主机3的发出的信息，交换机的MAC地址表中就又增加了MAC地址00-01-33-33-33-33和端口1/1/12映射表项；

4. 目前MAC地址表的内容为MAC地址00-01-11-11-11-11动态对应着端口1/1/5，MAC地址00-01-33-33-33-33动态对应着端口1/1/12；
5. 经过一段时间的主机1和主机3的通信之后，交换机再也没有接收到从主机1和主机3发出的信息，300到2*300秒（即一到两倍的老化时间内）内交换机的MAC地址表将删除上面保存的MAC地址映射表项。这里的300秒是交换机缺省的MAC地址的老化时间，交换机提供老化时间的修改。

3.21.1.2 转发或过滤

交换机会根据MAC地址表对接收到的数据帧做出转发或过滤的决定。以上图为例，假设当前交换机 MAC地址表动态学习到了主机1和主机3的MAC地址，用户又手工配置了主机2和主机4与端口的映射关系。交换机的MAC地址表为：

MAC地址	端口号	获取方式
00-01-11-11-11-11	1/1/5	动态
00-01-22-22-22-22	1/1/5	静态
00-01-33-33-33-33	1/1/12	动态
00-01-44-44-44-44	1/1/12	静态

1. 根据MAC地址表转发的情况

如果主机1向主机3发送信息时，交换机根据MAC地址表，将从端口1/1/5接收到的数据从端口1/1/12发出。

2. 根据MAC地址表过滤的情况

如果主机1向主机2发送信息，交换机根据MAC地址表，检查到主机2和主机1在同一个物理分段中，交换机将对该信息进行过滤，即不发送帧信息。

另外交换机能转发三种类型的帧：

- 广播帧；
- 组播帧；
- 单播帧。

下面简单介绍交换机对三种帧的处理：

1. 广播帧：交换机能阻隔冲突域，但不能阻隔广播域，在没有设置VLAN的情况下连接在交换机的所有设备是处在同一个广播域中的，当交换机接收到广播帧时，它会向所有的端口转发该广播帧。当交换机设置了VLAN后，MAC地址表也会做相应的调整，会增加VLAN的信息，此时交换机接收到广播帧后，不会将该广播帧转发给交换机内的所有端口，而改变为只向属于同一个VLAN的所有端口转发。
2. 组播帧：对于未知组播，交换机会在同一个vlan内广播，如果交换机设置了IGMP Snooping功能或配置了静态组播组时，交换机只会向属于该组播组的端口转发该组播帧。
3. 单播帧：在没有设置VLAN的情况下，当交换机接收到的单播帧的目标MAC地址在MAC表中存在，交换机会直接将该单播帧转发到相应的端口；当接收到单播帧的目标MAC地址在MAC地址表中不存在时，交换机会对该单播帧进行广播。当交换机设置了VLAN，

交换机只会在同一VLAN内转发单播帧；当转发单播帧的目标MAC地址在MAC地址表中存在，但不属于同一VLAN，此时交换机只能将该单播帧在它属于的VLAN内进行广播。

3.21.2 MAC 地址表配置

Mac 地址表的配置任务序列如下：

1. 配置 mac 地址老化时间，
2. 配置静态 mac 地址转发/过滤表项
3. 删除动态地址表项
4. 配置 hash 冲突表

1. 配置 MAC 地址老化时间

命令	解释
全局配置模式	
mac-address-table aging-time <*0* | *aging-time*> **no mac-address-table aging-time**	配置 mac 地址老化时间。

2. 配置静态 mac 地址转发/过滤表项

命令	解释
全局配置模式	
mac-address-table {static | static-multicast | blackhole} address <*mac-addr*> vlan <*vlan-id* > [interface [ethernet | portchannel] <*interface-name*>] | [source|destination|both] **no mac-address-table {static | static-multicast | blackhole | dynamic} [address <*mac-addr*>] [vlan <*vlan-id*>] [interface [ethernet | portchannel] <*interface-name*>]**	配置静态 mac 地址转发表项，配置静态组播 MAC 地址表项，配置地址过滤表项。

3. 删除动态地址表项

命令	解释
特权用户配置模式	
clear mac-address-table dynamic [address <*mac-addr*>] [vlan <*vlan-id*>] [interface [ethernet | portchannel] <*interface-name*>]	删除动态地址表项。

4. 配置 hash 冲突表

命令	解释
全局配置模式	
mac-address-table hash <algo0 | algo1>	修改 mac 地址的 hash 算法，来提高设备的随机 mac 的学习能力
全局配置模式	
show collision-mac-address-table	打印 hash 冲突 mac 表。

* MERGEFORMAT

3.21.3 典型配置举例

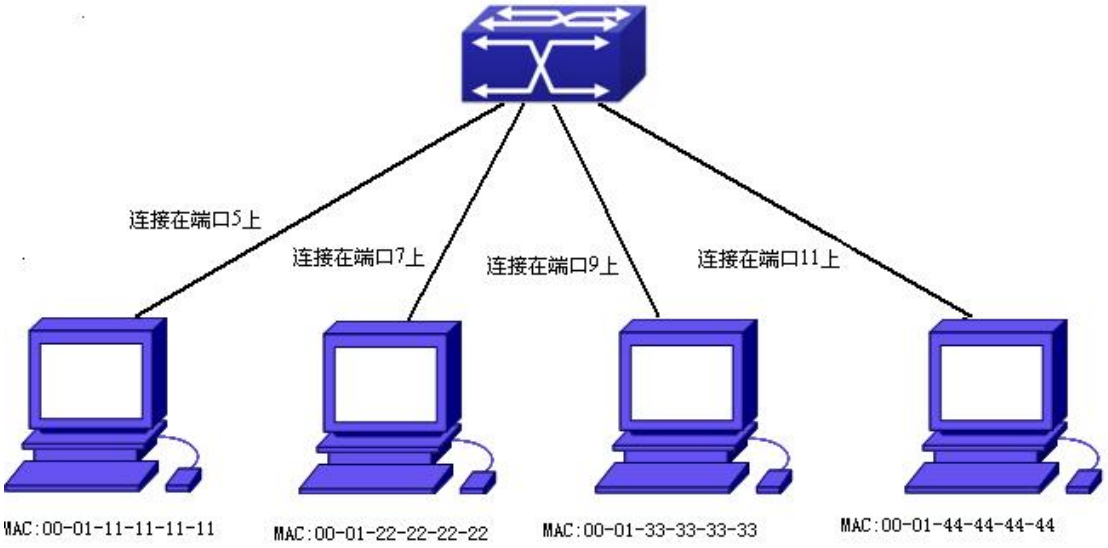


图 2-33 MAC 地址表典型配置举例

案例：

如上图所示四台主机分别连接在交换机的 1/1/5、1/1/7、1/1/9、1/1/11 端口，这四台主机都属于缺省 VLAN1。根据实际网络的需要，动态学习功能是打开的；主机 1（连接在端口 1/1/5）保存有机密资料，任何与它不在一个物理分段的主机不能访问它；主机 2（连接在端口 1/1/7）和主机 3（连接在端口 1/1/9）分别与端口 1/1/7 和端口 1/1/9 建立静态映射关系。配置步骤如下：

1.设置主机 1 的 MAC 地址 00-01-11-11-11-11 为过滤地址；

Switch(config)#mac-address-table blackhole address 00-01-11-11-11-11 vlan 1

2.主机 2 和主机 3 分别与端口 1/1/7 和端口 1/1/9 建立静态映射关系。

Switch(config)#mac-address-table static address 00-01-22-22-22-22 vlan 1 interface ethernet 1/1/7

Switch(config)#mac-address-table static address 00-01-33-33-33-33 vlan 1 interface ethernet 1/1/9

3.21.4 排错帮助

输入 show mac-address-table 命令时，发现某端口没有学习到该端口连接的设备的 MAC。可能的原因：

- 用于连接的以太网线损坏，更换以太网线；
- 交换机启动 SpanningTree，且端口处于 discarding 状态；或者端口刚连接上设备，Spanning Tree 还在计算中，等 Spanning Tree 计算完毕，端口就可以学习 MAC 地址了；
- 若不是上述的问题时，请查看是否是端口损坏，若是请找技术支持解决。

3.22 MAC Notification

3.22.1 MAC Notification 介绍

Mac notification 功能主要在于通知，mac 地址的新增或删除，就是当有 device 的加入或 device 移除时，通过 snmp 的 trap 功能通知网管发生的变化。

3.22.2 MAC Notification 配置

Mac notification 配置任务序列如下：

1. 配置全局 snmp mac notification 功能
2. 配置全局 mac notification 功能
3. 配置全局发送 mac notification 通知的时间间隔
4. 配置 history table 的大小
5. 配置端口支持 mac notification 的 trap 类型
6. mac notification 配置情况和报文数据
7. 清除 mac notification trap 的计数值

1. 配置全局 snmp mac notification 功能

命令	解释
全局配置模式	
snmp-server enable traps mac-notification **no snmp-server enable traps mac-notification**	配置或取消 snmp 全局 mac notification 功能

2. 配置全局 mac notification 功能

命令	解释
全局配置模式	

mac-address-table notification **no mac-address-table notification**	配置或取消全局 mac notification 功能

3. 配置全局发送 mac notification 通知的时间间隔

命令	解释
全局配置模式	
mac-address-table notification interval <0-86400> **no mac-address-table notification interval**	配置 mac notification 的时间间隔或者恢复默认时间间隔

4. 配置 history table 的大小

命令	解释
全局配置模式	
mac-address-table notification history-size <0-500> **no mac-address-table notification history-size**	配置 history table 的大小或者恢复该 table 大小为默认值

5. 配置端口支持 mac notification 的 trap 类型

命令	解释
端口配置模式	
mac-notification {added | all | moved | removed} **no mac-notification**	配置或取消端口支持 mac notification 的 trap 类型

6. 显示 mac notification 配置情况和报文数据

命令	解释
特权模式	
show mac-notification summary	显示 MAC 通知的配置情况和通知报文数据

7. 清除 mac notification trap 的计数值

命令	解释
特权模式	
clear mac-notification statistics	清除 mac notification trap 的计数值

3.22.3 MAC Notification 举例

管理站（NMS）的 IP 地址是 1.1.1.5；交换机（Agent）的 IP 地址是 1.1.1.9。
管理站要接收来自交换机的 Trap 消息（注：管理站可能设置了对 Trap 的团体字符串的验证，那么此例假设管理站的 Trap 验证团体字符串为 usertrap）。
配置步骤如下：

Switch(config)#snmp-server enable
Switch(config)#snmp-server enable traps mac-notification
Switch(config)# mac-address-table notification
Switch(config)# mac-address-table notification interval 5
Switch(config)# mac-address-table notification history-size 100
Switch(Config-If-Ethernet1/1/4)#mac-notification both

3.22.4 MAC Notification 排错帮助

通过 show 和 snmp 部分的 debug 命令可以查看 trap 发送是否成功。

3.23 Rmon

3.23.1 Rmon 介绍

RMON 主要实现了统计和告警功能，用于网络中管理设备对被管理设备的远程监控和管理。统计功能指的是被管理设备可以按周期或者持续跟踪统计其端口所连接的网段上的各种流量信息，比如某段时间内某网段上收到的报文总数，或收到的超长报文的总数等。告警功能指的是被管理设备能监控指定 MIB 变量的值，当该值达到告警阈值时（比如端口速率达到指定值，或者广播报文的比例达到指定值），能自动记录日志、向管理设备发送 Trap 消息。

RMON 和 SNMP 都用于远程网络管理，SNMP 是 RMON 实现的基础，RMON 是 SNMP 功能的增强。RMON 使用 SNMP Trap 报文发送机制向管理设备发送 Trap 消息告知告警变量的异常。虽然 SNMP 也定义了 Trap 功能，但通常用于告知被管理设备上某功能是否运行正常、接口物理状态的变化等，两者监控的对象、触发条件以及报告的内容均不同。

RMON 使 SNMP 能更有效、更积极主动地监测远程网络设备，为监控子网的运行提供了一种高效的手段。RMON 协议规定达到告警阈值时被管理设备能自动发送 Trap 信息，所以管理设备不需要多次去获取 MIB 变量的值，进行比较，从而能够减少管理设备同被管理设备的通讯流量，达到简便而有力地管理大型互连网络的目的。

RMON 规范（RFC2819）中定义了多个 RMON 组，设备实现了公有 MIB 中支持的统计组、历史组、事件组和告警组。

1. 统计组。统计组规定系统将持续地对端口的各种流量信息进行统计（目前只支持对以太网端口的统计），并将统计结果存储在以太网统计表（etherStatsTable）中以便管理设备随时查看。统计信息包括网络冲突数、CRC 校验错误报文数、过小（或超大）的数据报文数、广播、多播的报文数以及接收字节数、接收报文数等。

在指定接口下创建统计表项成功后，统计组就对当前接口的报文数进行统计，它统计的结果是一个连续的累加值。

2. 历史组。历史组规定系统将按周期对端口的各种流量信息进行统计，并将统计结果存储在历史记录表（etherHistoryTable）中以便管理设备随时查看。统计数据包括带宽利用率、错误包数和总包数等。

历史组统计的是每个周期内端口接收报文的情况，周期的长短可以通过命令行来配置。

3. 事件组。事件组用来定义事件索引号及事件的处理方式。事件组定义的事件用于告警组配置项和扩展告警组配置项中。当监控对象达到告警条件时，就会触发事件，事件有如下几种处理方式：

（1） Log：将事件相关信息（事件发生的事件、事件的内容等）记录在本设备 RMON MIB 的事件日志表中，以便管理设备通过 SNMP GET 操作进行查看。

（2）Trap：向网管站发送 Trap 消息告知该事件的发生。

（3）Log-Trap：即在本设备上记录日志，又向网管站发送 Trap 消息。

（4）None：不做任何处理。

4. 告警组。RMON 告警管理可对指定的告警变量（如统计组统计的端口收到的报文总数 etherStatsPkts）进行监视。用户定义了告警表项后，系统会按照定义的时间周期去获取被监视的告警变量的值，当告警变量的值大于或等于上限阈值时，触发一次上限告警事件；当告警变量的值小于或等于下限阈值，触发一次下限告警事件，告警管理将按照事件的定义进行相应的处理。

3.23.2 Rmon 配置

RMON 任务配置任务序列如下：

1. 开启 RMON 功能
2. 配置 RMON 统计组
3. 配置 RMON 历史组
4. 配置 RMON 事件组
5. 配置 RMON 告警组
6. 显示配置及结果

1. 开启 rmon 功能

命令	解释
全局配置模式	

rmon enable **no rmon enable**	开启 RMON 功能；本命令的 no 操作为关闭 RMON 功能

2．配置 rmon 统计组

命令	解释
全局配置模式	
rmon statistics <*1-65535*> (ethernet *IFNAME*|*IFNAME)* (owner *WORD*|) **no rmon statistics <*1-65535*>**	配置 RMON 统计组；本命令的 no 操作为删除 RMON 统计组

3．配置 rmon 历史组

命令	解释
全局配置模式	
rmon history <*1-65535*> (ethernet *IFNAME*|*IFNAME)* (buckets <*1-100*>|) (interval <*5-3600*>|) (owner *WORD*|) **no rmon history <*1-65535*>**	配置 RMON 历史组；本命令的 no 操作为删除 RMON 历史组

4．配置 rmon 事件组

命令	解释
全局配置模式	
rmon event <*1-65535*> (description *NAME*|) type (*log* | *trap WORD* | *log-trap WORD* | *none*) (owner *WORD*|) **no rmon event <*1-65535*>**	配置 RMON 事件组；本命令的 no 操作为删除 RMON 事件组

5．配置 rmon 告警组

命令	解释
全局配置模式	
rmon alarm <*1-65535*> *OID* interval <*5-3600*> (*absolute*|*delta*) rising-threshold *WORD* <*1-65535*> falling-threshold *WORD* <*1-65535*> startup-alarm (*rising*|*falling*|*risingorfalling*) (owner *NAME*|) **no rmon alarm <*1-65535*>**	配置 RMON 告警组；本命令的 no 操作为删除 RMON 告警组

6．显示配置及结果

命令	解释
特权模式或全局配置模式	
show rmon statistics (ethernet *IFNAME*|)	显示 RMON 统计组配置及统计结果
show rmon history (ethernet *IFNAME*|)	显示 RMON 历史组配置及统计结果
show rmon event (<*1-65535*>|)	显示 RMON 统计组配置
show rmon event-log (<*1-65535*>|) (event <*1-65535*> |)	显示RMON统计组在告警组中生成的日志信息
show rmon alarm	显示 RMON 告警组配置

3.23.3 Rmon 举例

案例 1：

用户 A 有如下需求配置：能够实时统计接口 1/1/10 的收到报文的情况，并对 1/1/10 接口接收报文速率阈值在 100~1000 p/s 范围之外的生成日志告警。

配置更改：

a) 开启 RMON 功能
b) 创建接口 1/1/10 的 RMON 统计表
c) 创建 RMON 事件表
d) 创建 RMON 告警表

配置步骤如下：

```
Switch(config)# snmp-server enable
Switch(config)# rmon statistics 5 Ethernet1/1/10 owner A
Switch(config)# rmon event 1 type log
Switch(config)# rmon event 2 type log
Switch(config)# rmon alarm 1 1.3.6.1.4.1.6339.100.3.2.1.26.10 interval 5 absolute
rising-threshold 1000 1 falling-threshold 100 2 startup-alarm risingorfalling owner A
```

配置结果：

```
Switch(config)# show rmon statistics ethernet 1/1/10
Statistics entry 5 owner is A.
  Interface : Ethernet1/1/10(index is 10,oid is 1.3.6.1.2.1.2.2.1.1.10)
  0 packets received, 0 octets, 0 packets dorp
  Input packets type statistics:
  broadcast packets      :0            ,multicast packets :0
```

```
   undersize packets      :0            ,oversize packets   :0
   fragments packets      :0            ,jabbers packets    :0
   CRC alignment errors :0              ,collisions         :0
   Input packets length statistics:
   (64)          packets    :0          ,(65~127)    packets:0
   (128~255)   packets    :0            ,(256~511)   packets:0
   (512~1023) packets    :0             ,(1024~1518)packets:0

Switch(config)# show rmon event
History control entry 1 owner is Invalid.
   eventDescription :
   eventType :log
   eventCommunity :

History control entry 2 owner is Invalid.
   eventDescription :
   eventType :log
   eventCommunity :

Switch(config)# show rmon alarm
event index is 1,owner is A
   Interval timer       :5
   Variable             :1.3.6.1.4.1.6339.100.3.2.1.26.10
   SampleType           :absolute
   Startup Alarm        :risingorfalling
   Rising Threshold     :1000
   Rising EventIndex    :1
   Falling Threshold    :100
   Falling EventIndex :2

Switch(config)# show rmon event-log
logIndex 1 in event 1
(24191900)67:11:59.00 The 1.3.6.1.4.1.6339.100.3.2.1.26.10 defined in alarm table
1.alarm sample type is absolute.
log message    : alarm rising event : value = 2012, RisingThreshold = 1000

logIndex 2 in event 2
```

(24204100)67:14:01.00 The 1.3.6.1.4.1.6339.100.3.2.1.26.10 defined in alarm table 1.alarm sample type is absolute.
log message : alarm falling event : value = 45, FallingThreshold = 100

logIndex 1 in event 2
(24133800)67:02:18.00 The 1.3.6.1.4.1.6339.100.3.2.1.26.10 defined in alarm table 1.alarm sample type is absolute.
log message : alarm falling event : value = 0, FallingThreshold = 100

案例 2：

用户 B 有如下需求配置：能够每间隔 1800S 统计接口 1/1/10 的收到报文的情况，并对 1/1/10 接口接收报文速率阈值在 100~1000 p/s 范围之外的生成 snmp trap 报文告警。

配置更改：

a) 开启 RMON 功能
b) 创建接口 1/1/10 的 RMON 历史表
c) 创建 RMON 事件表
d) 创建 RMON 告警表

配置步骤如下：

Switch(config)# snmp-server enable
Switch(config)# snmp-server trap-source 110.1.1.2
Switch(config)# snmp-server host 110.1.1.1 v2c 1
Switch(config)# snmp-server enable traps
Switch(config)# rmon history 1 Ethernet1/1/10
Switch(config)# rmon event 1 type trap aa
Switch(config)# rmon event 2 type trap bb
Switch(config)# rmon alarm 1 1.3.6.1.4.1.6339.100.3.2.1.26.10 interval 5 absolute rising-threshold 1000 1 falling-threshold 100 2 startup-alarm risingorfalling owner B

配置结果：

Switch(config)# show rmon history
History control entry 1 owner is Invalid.
Interface : Ethernet1/1/10(index is 10,oid is 1.3.6.1.2.1.2.2.1.1.10)
Interval timer : 1800
Buckets numbers : 50

History statistics entry index 5 input packets:
Start time :(25189400)69:58:14.00

recived packets :163757 ,recived Octets :10490273
broadcast packets :163695 ,multicast packets :62
undersize packets :0 ,oversize packets :0
fragments packets :0 ,jabbers packets :0
CRC alignment errors :0 ,collisions :0
drop packets :0 ,utilization :0

History statistics entry index 4 input packets:
Start time :(25009300)69:28:13.00
recived packets :163757 ,recived Octets :10490177
broadcast packets :163695 ,multicast packets :62
undersize packets :0 ,oversize packets :0
fragments packets :0 ,jabbers packets :0
CRC alignment errors :0 ,collisions :0
drop packets :0 ,utilization :0

History statistics entry index 3 input packets:
Start time :(24829300)68:58:13.00
recived packets :163753 ,recived Octets :10489738
broadcast packets :163691 ,multicast packets :62
undersize packets :0 ,oversize packets :0
fragments packets :0 ,jabbers packets :0
CRC alignment errors :0 ,collisions :0
drop packets :0 ,utilization :0

History statistics entry index 2 input packets:
Start time :(24649200)68:28:12.00
recived packets :163758 ,recived Octets :10490241
broadcast packets :163696 ,multicast packets :62
undersize packets :0 ,oversize packets :0
fragments packets :0 ,jabbers packets :0
CRC alignment errors :0 ,collisions :0
drop packets :0 ,utilization :0

History statistics entry index 1 input packets:
Start time :(24469100)67:58:11.00
recived packets :163767 ,recived Octets :10491620
broadcast packets :163693 ,multicast packets :74

```
 undersize packets      :0          ,oversize packets   :0
 fragments packets      :0          ,jabbers packets    :0
 CRC alignment errors :0            ,collisions         :0
 drop packets           :0          ,utilization        :0

Switch(config)# show rmon event
History control entry 1 owner is Invalid.
   eventDescription :
   eventType :trap
   eventCommunity :aa

History control entry 2 owner is Invalid.
   eventDescription :
   eventType :trap
   eventCommunity :bb

Switch(config)# show rmon alarm
event index is 1,owner is B
   Interval timer       :5
   Variable             :1.3.6.1.4.1.6339.100.3.2.1.26.10
   SampleType           :absolute
   Startup Alarm        :risingorfalling
   Rising Threshold     :1000
   Rising EventIndex    :1
   Falling Threshold    :100
   Falling EventIndex :2
```

3.23.4 Rmon 排错帮助

1. 在配置 RMON 功能的时候需要注意必须将 snmp-server enable 开关打开，这个开关会默认开启 RMON 功能，no rmon enable 会删掉所有 RMON 表项配置。

2. 可以通过 show rmon 不同的表项去查看你下发到表中的配置是否正确。

3. 告警表触发 trap 告警必须先配置 snmp-server enable traps。

第 4 章 IP 业务操作

4.1 三层接口

4.1.1 三层接口介绍

在交换机上可以创建三层接口。三层接口并不是实际的物理接口，它是一个虚拟的接口。三层接口是在 VLAN 的基础上创建的。三层接口可以包含一个或多个二层端口（它们同属于一个 VLAN），但也可以不包含任何二层端口。三层接口包含的二层端口中，需要至少有一个是 UP 状态，三层接口才是 UP 状态，否则为 DOWN 状态。交换机中所有的三层接口缺省使用一个相同的 MAC 地址，此地址是在三层接口创建时从交换机保留的 MAC 地址中选取的。三层接口是三层协议的基础，在三层接口上可以配置 IP 地址，交换机可以通过配置在三层接口上的 IP 地址，与其它设备进行 IP 协议的传输。交换机也可以在不同的三层接口之间转发 IP 协议报文。Loopback 接口也属于三层接口。

4.1.2 三层接口配置

三层接口配置任务序列：

1. 创建三层接口
2. 配置三层接口的带宽
3. 配置 VLAN 接口描述
4. 打开或关闭 VLAN 接口
5. **VRF 配置**
   (1) 创建VRF实例，并进入VPN实例视图
   (2) 配置VRF实例的RD （可选）
   (3) 配置VRF实例的RT （可选）
   (4) 配置 VRF 实例与接口关联
6. 配置三层接口的 mac 地址

1.创建三层接口

命令	解释
全局配置模式	
interface vlan <*vlan-id*> **no interface vlan <*vlan-id*>**	创建一个 VLAN 接口（VLAN 接口属于三层接口）；本命令的 no 操作为删除交换机创建的 VLAN 接口（三层接口）。
interface loopback <*loopback-id*> **no interface loopback <*loopback-id*>**	创建一个 Loopback 接口并进入 Loopback 接口配置模式；本命令的 no 操作为删除指

	定的 Loopback 接口。

2. 配置三层接口的带宽

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
bandwidth <bandwidth> **no bandwidth**	配置 interface vlan 的带宽。本命令的 no 命令为恢复 interface vlan 的带宽值为默认值。

3. 配置 VLAN 接口描述

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
description <*text*> **no description**	配置 VLAN 接口的描述信息；其 no 形式取消该 VLAN 接口的描述信息。

4. 打开或关闭 VLAN 接口

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
shutdown **no shutdown**	打开或关闭 VLAN 接口。

5. VRF 配置

(1) 创建VRF实例，并进入VPN实例视图

(2) 配置VRF实例的RD （可选）

(3) 配置 VRF 实例与接口关联

命令	解释
全局配置模式	
ip vrf <vrf-name> **no ip vrf <vrf-name>**	创建 VRF 实例；缺省情况下未创建 VRF 实例。
VRF 配置模式	
rd <ASN:nn_or_IP-address:nn>	配置 VRF 实例的 RD。缺省情况下未创建 RD。
接口配置模式	
ip vrf forwarding < vrf-name > **no ip vrf forwarding < vrf-name >**	配置 VRF 实例与接口关联。
ip address <ip-address> <mask> **no ip address <ip-address> <mask>**	配置直连接口的私网 IP 地址。

6.配置三层接口的 mac 地址

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
mac-address <mac-addr> **no mac-address <mac-addr>**	配置 interface vlan 的 mac 地址。本命令的 no 命令为恢复 interface vlan 的 mac 值为默认值。

4.2 网管端口

4.2.1 IP 网管端口介绍

网管端口位于主控卡上，标注为 Ethernet，软件配置名称为 Ethernet0，用户可以使用命令 interface Ethernet 0 进入到网管端口配置模式。通过以太网线连接到网管端口的用户可以以 Telnet、Web 等方式对交换机进行配置管理。

4.2.2 IP 网管端口配置

网管端口配置任务序列如下：

1. 进入网管端口配置模式
2. 配置网管端口的属性

（1） 打开或关闭端口
（2） 设置网管端口的速率
（3） 设置网管端口的双工模式
（4） 配置端口 IP 地址

1. 进入网管端口配置模式

命令	解释
全局配置模式	
interface ethernet <*num*>	进入网管端口配置模式。

2. 配置网管端口的属性

命令	解释
网管端口配置模式	
shutdown **no shutdown**	关闭或打开网管端口。
ip address <*ip-address*> <*mask*> **no ip address [<*ip-address*> <*mask*>]**	配置或取消网管端口的 IP 地址。

4.3 IP 配置

4.3.1 IPv4、IPv6 介绍

IPv4 是全球通用因特网协议的当前版本。事实证明，IPv4 简单、灵活、开放、稳固耐用、便于实施，且能够和多种上下层协议良好协同工作。 尽管 IPv4 自 20 世纪 80 年代初确立以来就几乎未曾改动，但是 IPv4 始终支持因特网的升迁，一直发展到目前的全球规模。然而，随着因特网基础设施与因特网应用服务的发展不断地突飞猛进，IPv4 在因特网的目前规模与复杂性面前已暴露其不足之处。

IPv6 指的是互联网协议第六版，是由 IETF 设计的下一代互联网协议，用以取代现有的互联网协议第四版（IPv4）。IPv6 是专为弥补 IPv4 不足而开发出来的，以便让因特网能够进一步发展壮大。

IPv6 所解决的最重要问题就是增加 IP 地址的数量。IPv4 地址已近枯竭，而因特网用户的数量却在不断以几何级数增长。随着需要使用 IP 地址的因特网服务与应用设备（利用因特网的信息终端、家庭与小型办公室网络、IP 电话与无线服务等）不断大量涌现，IP 地址的供给更显紧张。人们早就开始着手解决 IPv4 地址紧缺的问题，采用各种技术延长现有 IPv4 基础架构的寿命，其中包括网络地址转换（Network Address Translation，简称 NAT）和无类别域间路由（Classless Inter-Domain Routing，简称 CIDR）等技术。

虽然 CIDR、NAT 和私有编址的组合暂时缓和了 IPv4 地址空间紧缺的问题，但是 NAT 技术破坏了 IP 设计初衷的端到端模型，使作为网络中间节点的路由设备必须保持每个连接的状态，大大增加了网络延迟，降低了网络性能。而且网络数据包地址的变换阻碍了端到端的网络安全性检查，如 IPSec 认证报头(AH)就是一个例子。

因此，要综合解决 IPv4 存在的诸多问题，IETF 设计的下一代互联网协议 IPv6 已经成为目前唯一可行的解决方案。

首先 IPv6 协议 128 比特的编址方案能确保在时间和空间范围内为全球 IP 网络节点提供足够的全球唯一的 IP 地址。而且，除了增加地址空间以外，IPv6 还对 IPv4 的其它许多关键设计进行了改进。

层次化编址方案有助于路由聚合，有效减少了路由器的路由表项，提高了路由选择与数据包处理的效率与可扩展性。

IPv6 的包头设计相比 IPv4 更有效率，数据字段更少，去掉了包头校验和，从而加快了基本 IPv6 包头的处理速度。在 IPv6 包头中，分片字段作为可选扩展字段出现，路由器转发过程中不用再对数据包做分片处理，通过路径 MTU 发现机制协同数据包源点工作，提高了路由器处理效率。

支持地址自动配置与即插即用。IPv6 的地址自动配置功能使大量 IP 主机能够轻松发现网络路由器，并自动获得全球唯一的 IPv6 地址，这使利用 IPv6 因特网的设备具备了即插即用特性。自动地址配置功能还使对现有网络的重新编址变得更加简单便捷，使网络运营商

能够更加方便地管理从一个提供商到另一个提供商的转换。

支持 IPSec。IPSec 在 IPv4 中为可选项，而在 IPv6 协议中则是必须实现的。 IPv6 提供了安全扩展包头，能够提供诸如访问控制、机密性与数据完整性等端到端的安全服务，从而使加密、验证和虚拟专用网络 (VPN) 的实施变得更加容易。

增强对移动 IP (Mobile IP) 与移动计算设备的支持。在 IETF 标准中定义的移动 IP 协议使移动设备不必脱离其现有连接即可自由移动，这是一种日益重要的网络功能。与 IPv4 不同的是，IPv6 的移动性是使用内置自动配置获取转交地址 (Care-Of-Address)，因而无需外地代理 (Foreign Agent)。 此外，这种联编过程使通信节点 (Correspondent Node) 能够与移动节点 (Mobile Node) 直接通信，从而避免了在 IPv4 中所要求的三角路由选择的额外系统开销。其结果是，在 IPv6 中，移动 IP 的处理效率大为提高。

避免网络地址转换 (NAT)的使用。NAT 机制的引入是为了在不同的网络区段之间共享和重新使用相同的地址空间。这种机制在暂时缓解了 IPv4 地址紧缺问题的同时，却为网络设备与应用程序增加了处理地址转换的负担。 由于 IPv6 的地址空间大大增加，也就无需再进行地址转换，NAT 部署带来的问题与系统开销也随之解决。

支持广泛部署的路由选择协议。IPv6 保持并扩展了对现有内部网关协议（Interior Gateway Protocols，简称 IGP）与外部网关协议（Exterior Gateway Protocols，简称 EGP）的支持，例如，RIPng、OSPFv3、IS-ISv6 与 MBGP4+ 等 IPv6 路由协议。

组播地址数量增加，对组播的支持有所增强。IPv6 取消了广播功能，使用组播机制来处理 IPv4 的广播功能，不仅节省了网络带宽，而且提高了网络效率。

4.3.2 IP 配置

可以将三层接口配置为 IPv4 接口或者 IPv6 接口。

4.3.2.1 IPv4 地址配置

IPv4 配置任务序列：

1. 配置三层接口的 IPv4 地址
2. 允许不可达报文上 CPU

1. 配置三层接口的 IPv4 地址

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
ip address <*ip-address*> <*mask*> [secondary] **no ip address [<*ip-address*> <*mask*>]**	配置 VLAN 接口的 IP 地址；本命令的 no 操作为删除 VLAN 接口 IP 地址。

2. 允许不可达报文上 CPU

命令	解释
全局配置模式	

ip route unreachable-to-cpu { enable | disable}	允许不可达报文上 CPU 或禁止不可达报文上 CPU。

4.3.2.2 IPv6 地址配置

IPv6 配置任务序列如下：

1． IPv6 基本配置

（1）配置接口 IPv6 地址

（2）配置 IPv6 静态路由

2． IPv6 邻居发现配置

（1）配置 DAD 邻居请求消息数目

（2）配置发送邻居请求消息间隔

（3）使能与禁止路由器公告

（4）配置路由器公告生存期

（5）配置路由器公告最小间隔时间

（6）配置路由器公告最大间隔时间

（7）配置前缀公告参数

（8）设置静态邻居表项

（9）清除邻居表项

（10）设置发送路由公告的 hoplimit 值

（11）设置发送路由公告的 mtu 值

（12）设置发送路由公告的 reachable-time 值

（13）设置发送路由公告的 retrans-timer 值

（14）配置标识除地址信息之外的其他信息是否由 dhcpv6 获取

（15）配置标识地址信息是否由 dhcpv6 获取

3． IPv6 隧道配置

（1）创建/删除隧道

（2）配置隧道描述

（3）配置隧道源

（4）配置隧道目的

（5）配置隧道下一跳

（6）配置隧道模式

（7）配置隧道路由

1. IPv6 基本配置

(1) 配置接口 IPv6 地址

命令	解释
接口配置模式	

ipv6 address ***<ipv6-address/prefix-length>*** **[eui-64]** **no ipv6 address** ***<ipv6-address /prefix-length>***	配置 IPv6 地址，包括可聚合全球单播地址，本地站点地址，本地链路地址。本命令的 no 操作为删除 IPv6 地址。

(2) 设置IPv6静态路由

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 route <ipv6-prefix/prefix-length> {***<nexthop-ipv6-address>*** **|** ***<interface-type interface-number>*** **|** {***<nexthop-ipv6-address>*** ***<interface-type interface-number>***}} **[distance]** **no ipv6 route <ipv6-prefix/prefix-length>** {**<nexthop-ipv6-address>** **|** ***<interface-type interface-number>*** **|** {***<nexthop-ipv6-address>*** ***<interface-type interface-number>***}} **[distance]**	配置 IPv6 静态路由。本命令的 no 操作 为删除 IPv6 静态路由。

2. IPv6 邻居发现配置

（1）配置 DAD 邻居请求消息数目

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd dad attempts ***<value>*** **no ipv6 nd dad attempts**	设置接口进行重复地址检测时，连续发出的邻居请求消息数目，本命令的 no 操作为恢复默认值（1）。

（2）配置发送邻居请求消息间隔

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd ns-interval ***<seconds>*** **no ipv6 nd ns-interval**	设置接口发送邻居请求消息的时间间隔。本命令的 no 操作为恢复默认值（1 秒）。

（3）使能与禁止路由器公告

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd suppress-ra ***no ipv6 nd*** **suppress-ra**	禁止 IPv6 路由器公告，本命令的 no 操作为开启 IPv6 路由器公告。

（4）配置路由器公告生存期

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd ra-lifetime <*seconds*> **no ipv6 nd ra-lifetime**	配置路由器公告的生存期，本命令的 no 操作为恢复默认值（1800 秒）。

（5）配置路由器公告最小间隔时间

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd min-ra-interval <*seconds*> **no ipv6 nd min-ra-interval**	配置用于路由器公告的最小时间间隔，本命令的 no 操作为恢复默认值（200 秒）。

（6）配置路由器公告最大间隔时间

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd max-ra-interval <*seconds*> **no ipv6 nd max-ra-interval**	配置用于路由器公告的最大时间间隔，本命令的 no 操作为恢复默认值（600 秒）。

（7）配置前缀公告参数

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd prefix <ipv6-address/prefix-length> <valid-lifetime> <preferred-lifetime> [off-link] [no-autoconfig] **no ipv6 nd prefix *<ipv6-address/prefix-length>* *<valid-lifetime>* *<preferred-lifetime>* [off-link] [no-autoconfig]**	配置路由器公告的地址前缀及其公告参数，本命令的 no 操作为删除路由公告的地址前缀。

（8）设置静态邻居表项

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 neighbor *<ipv6-address>* *<hardware-address>* interface *<interface-type interface-name>*	设置静态邻居表项，包括邻居 IPv6 地址，MAC 地址，二层端口。
no ipv6 neighbor *<ipv6-address>*	删除邻居表项

（9）清除邻居表项

命令	解释
特权配置模式	
clear ipv6 neighbors	清除所有静态邻居表项。

（10）设置发送路由公告的 hoplimit 值

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd ra-hoplimit <value>	设置发送路由公告的 hoplimit 值。

（11）设置发送路由公告的 mtu 值

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd ra-mtu <value>	设置发送路由公告的 mtu 值。

（12）设置发送路由公告的 reachable-time 值

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd reachable-time <seconds>	设置发送路由公告的 reachable-time 值。

（13）设置发送路由公告的 retrans-timer 值

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd retrans-timer <seconds>	设置发送路由公告的 retrans-timer 值。

（14）配置标识除地址信息之外的其他信息是否由 dhcpv6 获取

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd other-config-flag	标识除地址信息之外的其他信息是否由 DHCPv6 获取。

（15）配置标识地址信息是否由 dhcpv6 获取

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 nd managed-config-flag	标识地址信息是否由 DHCPv6 获取。

3. IPv6 隧道配置

（1）创建/删除隧道

命令	解释
全局配置模式	
interface tunnel <*tnl-id*> **no interface tunnel <*tnl-id*>**	创建一条隧道。本命令的 no 操作为删除一条隧道。

（2）配置隧道描述

命令	解释
隧道配置模式	
description <*desc*> **no description**	配置隧道描述，本命令的 no 操作删除隧道描述。

（3）配置隧道源

命令	解释
隧道配置模式	
tunnel source {<*ipv4-address*> | <*ipv6-address*> | <*interface-name*>} **no tunnel source**	配置隧道源端 IPv4/IPv6 地址，或者允许隧道源取自接口的主 IPv4/IPv6 地址，本命令的 no 操作为删除隧道源端的 IPv4/IPv6 地址或隧道源接口名。

（4）配置隧道目的

命令	解释
隧道配置模式	
tunnel destination {<*ipv4-address*> | <*ipv6-address*>} **no tunnel destination**	配置隧道目的端的 IPv4/IPv6 地址，本命令的 no 操作为删除隧道目的端的 IPv4/IPv6 地址。

（5）配置隧道下一跳

命令	解释
隧道配置模式	
tunnel nexthop <*ipv4-address*> **no tunnel nexthop**	配置隧道的下一跳 IPv4 地址，本命令的 no 操作为删除隧道的下一跳 IPv4 地址。

（6）配置隧道模式

命令	解释
隧道配置模式	

tunnel mode [[gre] [ip | ipv6]| ipv6ip [6to4 | isatap]] **no tunnel mode**	配置隧道模式，本命令的 no 操作为清除隧道模式。

（7）配置隧道路由

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 route *<ipv6-address/prefix-length>* {*<interface-type interface-number>* | tunnel *<tnl-id>*} **no ipv6 route *<ipv6-address/prefix-length>* {*<interface-type interface-number>* | tunnel *<tnl-id>*}**	配置隧道路由，本命令的 no 操作为删除隧道路由。

4.3.3 IP 配置举例

4.3.3.1 IPv4 典型案例

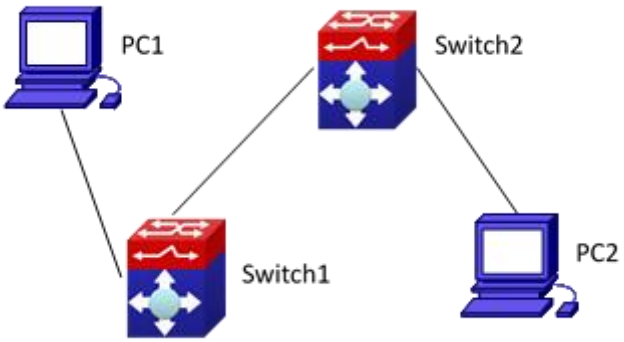


图 3-1 IPv4 典型案例

用户有如下配置需求：在 switch 1 和 switch 2 上配置不同网段的 IPv4 地址，配置静态路由，利用 ping 功能验证可达性。

配置说明：

1、 在 Switch1 上配置两个 vlan，分别为 vlan1 和 vlan2

2、 在 Switch1 的 vlan1 内配置 IPv4 地址 192.168.1.1 255.255.255.0，在 vlan2 内配置 IPv4 地址 192.168.2.1 255.255.255.0

3、 在 Switch2 上配置两个 vlan，分别为 vlan2 和 vlan3

4、 在 Switch2 的 vlan2 内配置 IPv4 地址 192.168.2.2 255.255.255.0，在 vlan3 内配置 IPv4 地址 192.168.3.1 255.255.255.0

5、 PC1 的 IPv4 地址为 192.168.1.100 255.255.255.0，PC2 的 IPv4 地址是 192.168.3.100 255.255.255.0

6、 在 Switch1 上配置静态路由 192.168.3.0/24 ,在 Switch2 上配置静态路由 192.168.1.0/24

7、 PC 机之间互 ping

注：首先要确定 PC1 和 Switch1 可以 ping 通，PC2 和 Switch2 可以 ping 通

配置步骤如下：

Switch1(Config)#interface vlan 1

Switch1(Config-if-Vlan1)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0

Switch1(Config)#interface vlan 2

Switch1(Config-if-Vlan2)#ip address 192.168.2.1 255.255.255.0

Switch1(Config-if-Vlan2)#exit

Switch1(Config)#ip route 192.168.3.0 255.255.255.0 192.168.2.2

Switch2(Config)#interface vlan 2

Switch2(Config-if-Vlan2)#ip address 192.168.2.2 255.255.255.0

Switch2(Config)#interface vlan 3

Switch2(Config-if-Vlan3)#ip address 192.168.3.1 255.255.255.0

Switch2(Config-if-Vlan3)#exit

Switch2(Config)#ip route 192.168.1.0 255.255.255.0 192.168.2.1

4.3.3.2 IPv6 典型案例

案例 1：

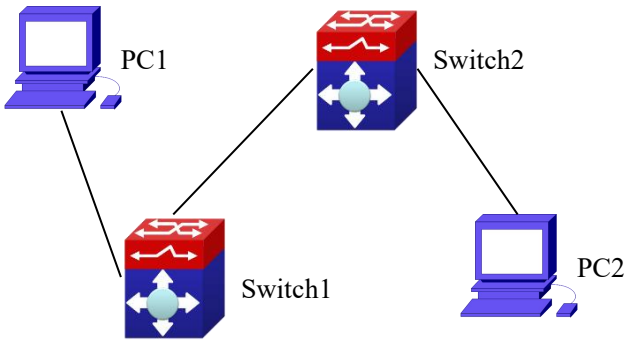


图 3-2 IPv6 典型案例

用户有如下配置需求：在 Switch 1 和 Switch 2 上配置不同网段的 IPv6 地址，配置静态路由，利用 ping6 功能验证可达性。

配置说明：

在 Switch1 上配置两个 vlan，分别为 vlan1 和 vlan2

在 Switch1 的 vlan1 内配置 IPv6 地址 2001::1/64,在 vlan2 内配置 IPv6 地址 2002::1/64

在 Switch2 上配置两个 vlan，分别为 vlan2 和 vlan3

在 Switch2 的 vlan2 内配置 IPv6 地址 2002::2/64，在 vlan3 内配置 IPv6 地址 2003::1/64

PC1 的 IPv6 地址为 2001::11/64,PC2 的 IPv6 地址是 2003::33/64

1、 在 Switch1 上配置静态路由 2003::33/64,在 Switch2 上配置静态路由 2001::11/64

2、 pc 机之间互相 ping6

3、 注：首先要确定 PC1 和 Switch1 可以 ping 通，PC2 和 Switch2 可以 ping 通

4、 配置步骤如下：

```
Switch1(Config)#interface vlan 1
Switch1(Config-if-Vlan1)#ipv6 address 2001::1/64
Switch1(Config)#interface vlan 2
Switch1(Config-if-Vlan2)#ipv6 address 2002::1/64
Switch1(Config-if-Vlan2)#exit
Switch1(Config)#ipv6 route 2003::33/64 2002::2
Switch2(Config)#interface vlan 2
Switch2(Config-if-Vlan2)#ipv6 address 2002::2/64
Switch2(Config)#interface vlan 3
Switch2(Config-if-Vlan3)#ipv6 address 2003::1/64
Switch2(Config-if-Vlan3)#exit
Switch2(Config)#ipv6 route 2001::33/64 2002::1

Switch1#ping6 2003::33
```

配置结果：

```
Switch1#show run
interface Vlan1
 ipv6 address 2001::1/64
!
interface Vlan2
 ipv6 address 2002::2/64
!
interface Loopback
 mtu 3924
!
ipv6 route 2003::/64 2002::2
!
no login
!
end
```

```
Switch2#show run
interface Vlan2
 ipv6 address 2002::2/64
!
interface Vlan3
 ipv6 address 2003::1/64
!
interface Loopback
 mtu 3924
!
ipv6 route 2001::/64 2002::1
!
no login
!
End
```

案例 2：

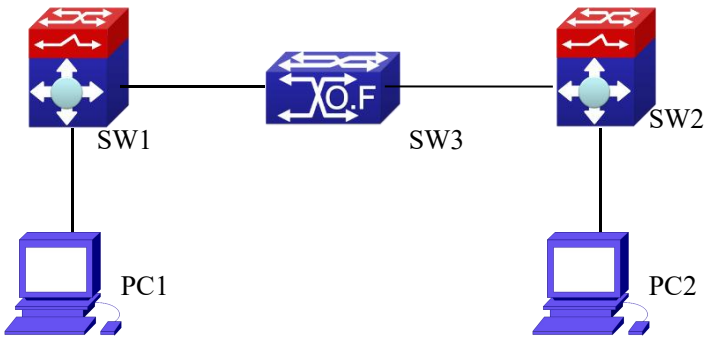


图 3-3 IPv6 隧道

该案例为 IPv6 隧道，用户有如下配置需求：SW1 和 SW2 为隧道的节点，支持双栈。SW3 只是运行 IPv4，PC1 和 PC2 进行通信

配置说明：

在 SW1 上配置两个 vlan，分别为 vlan1 和 vlan2。Vlan1 是 IPv6 域，vlan2 连接 IPv4 域

在 SW1 的 vlan1 中配置 IPv6 地址 2002:caca:ca01:2::1/64，并且打开 RA 功能，在 vlan2 配置 IPv4 地址 202.202.202.1

在 SW2 上配置两个 vlan，分别是 vlan3 和 vlan4，vlan4 是 IPv6 域，vlan3 是连接 IPv4 域

在 SW2 的 vlan4 中配置 IPv6 地址 2002:cbcb:cb01:2::1/64，并且打开 RA 功能，在 vlan3 上配置 IPv4 地址 203.203.203.1

在 SW1 上配置手工隧道，隧道的源 IPv4 地址为 202.202.202.1，配置默认 IPv6 路由指向该隧道

在 SW2 上配置手工隧道，隧道的源 IPv4 地址为 203.203.203.1，配置默认 IPv6 路由指向该隧

道

在 SW3 上配置两个 vlan，分别为 vlan2 和 vlan3，在 vlan2 上配置 IPv4 地址 202.202.202.202 在 vlan3 上配置 IPv4 地址 203.203.203.203

PC1 和 PC2 通过 SW1 和 SW2 获得 2002 的前缀自动配置 IPv6 地址

在 PC1 上 ping PC2 的 IPv6 地址

配置步骤如下：

SW1(Config-if-Vlan1)#ipv6 address 2002:caca:ca01:2::1/64

SW1(Config-if-Vlan1)#no ipv6 nd suppress-ra

SW1(Config-if-Vlan1)#interface vlan 2

SW1(Config-if-Vlan2)#ipv4 address 202.202.202.1 255.255.255.0

SW1(Config-if-Vlan1)#exit

SW1(config)# interface tunnel 1

SW1(Config-if-Tunnel1)#tunnel source 202.202.202.1

SW1(Config-if-Tunnel1)#tunnel destination 203.203.203.1

SW1(Config-if-Tunnel1)#tunnel mode ipv6ip

SW1(config)#ipv6 route ::/0 tunnel1

SW2(Config-if-Vlan4)#ipv6 address 2002:cbcb:cb01::2/64

SW2(Config-if-Vlan4)#no ipv6 nd suppress-ra

SW2 (Config-if-Vlan3)#interface vlan 3

SW2 (Config-if-Vlan2)#ipv4 address 203.203.203.1 255.255.255.0

SW2 (Config-if-Vlan1)#exit

SW2(Config)#interface tunnel 1

SW2(Config-if-Tunnel1)#tunnel source 203.203.203.1

SW2(Config-if-Tunnel1)#tunnel destination 202.202.202.1

SW2(Config-if-Tunnel1)#tunnel mode ipv6ip

SW2(config)#ipv6 route ::/0 tunnel1

4.3.4 IPv6 排错帮助

☞配置路由器的生存期时不应该小于发送路由器公告的时间间隔。如果相连 PC 未获得 IPv6 地址时，应注意 RA 公告的开关（默认为关闭）。

4.4 IP 转发

4.4.1 IP 转发介绍

网关设备可以将 IP 协议报文从一个子网转发到另一个子网中，这种转发是通过路由寻

径的。交换机的 IP 转发是由硬件协助完成的，可以达到端口的线速转发；同时还可以提供各种灵活的控制，对转发行为进行调整和监控。交换机可以支持禁止或允许优化的聚合算法以调整交换芯片中网段路由表项的生成，查看 IP 转发的统计信息，监视 IP 报文的收发状况，以及查看硬件转发芯片的状况。

4.4.2 IP 路由聚合配置

IP 路由聚合配置任务序列：

1. 配置是否使用优化 IP 路由聚合算法

1.配置是否使用优化 IP 路由聚合算法

命令	解释
全局配置模式	
ip fib optimize **no ip fib optimize**	配置交换机使用优化 IP 路由聚合算法；本命令的 no 操作为交换机不使用优化 IP 路由聚合算法。

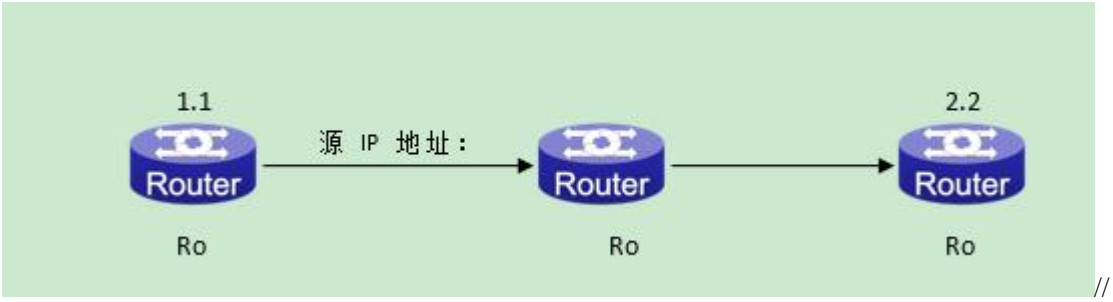
4.5 URPF

4.5.1 URPF 介绍

URPF（Unicast Reverse Path Forwarding，单播逆向路径转发）将组播中使用的RPF技术应用到单播中，用于防止基于源地址欺骗的网络攻击行为。

交换机接收报文，同时获取报文的源地址和入接口，然后把该源地址作为目的地址在路由表中查找路由，如果查到的路由出接口和接收该报文的入接口不匹配，交换机则认为该报文的源地址是伪装的，并丢弃该报文。

源地址欺骗攻击为入侵者构造出一系列带有伪造源地址的报文，对于使用基于IP 地址验证的应用来说，此攻击方法可以导致未被授权用户以他人身份获得访问系统的权限，甚至是以管理员权限来访问。即使响应报文不能达到攻击者，同样也会造成对被攻击对象的破坏。



//

图 3-11 URPF 应用环境

如上图所示，在Router A上伪造源地址为2.2.2.1/8 的报文，向服务器Router B发起请求，Router B响应请求时将向真正的“2.2.2.1/8”发送报文。这种非法报文对Router B和Router C都

造成了攻击。URPF 技术可以应用在上述环境中，阻止基于源地址欺骗的攻击。

4.5.1.1 IPv6 URPF 运行机制

目前URPF的运行机制依赖于交换机芯片提供的ACL功能。

首先全局使能URPF功能监视路由表变化：将路由表FIB中的每条路由生成对应的URPF permit ACL规则。URPF严格模式下，ACL规则的形式为：入数据包源地址网段+入数据包入接口VID。入数据包源地址网段对应FIB表路由表项的目的网段地址，入数据包入接口VID对应FIB表路由表项的出接口VID。URPF松散模式下，ACL规则的形式为入数据包源地址网段，入数据包源地址网段对应FIB表路由表项的目的网段地址。

在端口上启动URPF后：将端口绑定URPF规则，并且生成默认的DENY ALL规则下发硬件。

通过以上操作，就可以确保，在数据到达此端口时，只有符合上述规则的数据才能进入端口，其它数据都会被丢掉。

目前对应 URPF 的 ACL 规则优先级较低，不会阻挡各种协议包数据，因此启动该功能不影响该交换机路由协议的正常运行。

4.5.2 URPF 配置任务序列

1) 启动 URPF
2) 端口启动 URPF
3) 显示和调试 URPF 相关信息

1) 全局启动 URPF

命令	解释
全局配置模式	
urpf enable **no urpf enable**	全局启动和关闭 URPF。

2) 端口启动 URPF

命令	解释
端口配置模式	
ip urpf enable {loose | strict} **no ip urpf enable**	端口启动和关闭 URPF。

3) 显示和调试 URPF 相关信息

命令	解释
特权配置模式	
debug urpfno debug urpf	关闭/打开 URPF 调试功能，在 URPF 规则安装失败时提示错误。
特权和配置模式	

show urpf	显示哪些端口启动了 URPF。
show urpf rule ipv4 num interface ethernet IFNAME	显示端口绑定的 IPv4 规则数目。
show urpf rule ipv6 num interface ethernet IFNAME	显示端口绑定的 ipv6 规则数目。
show urpf rule ipv4 interface ethernet IFNAME	显示端口绑定的 ipv4 规则明细。
show urpf rule ipv6 interface ethernet IFNAME	显示端口绑定的 ipv6 规则明细。

4.5.3 URPF 典型案例

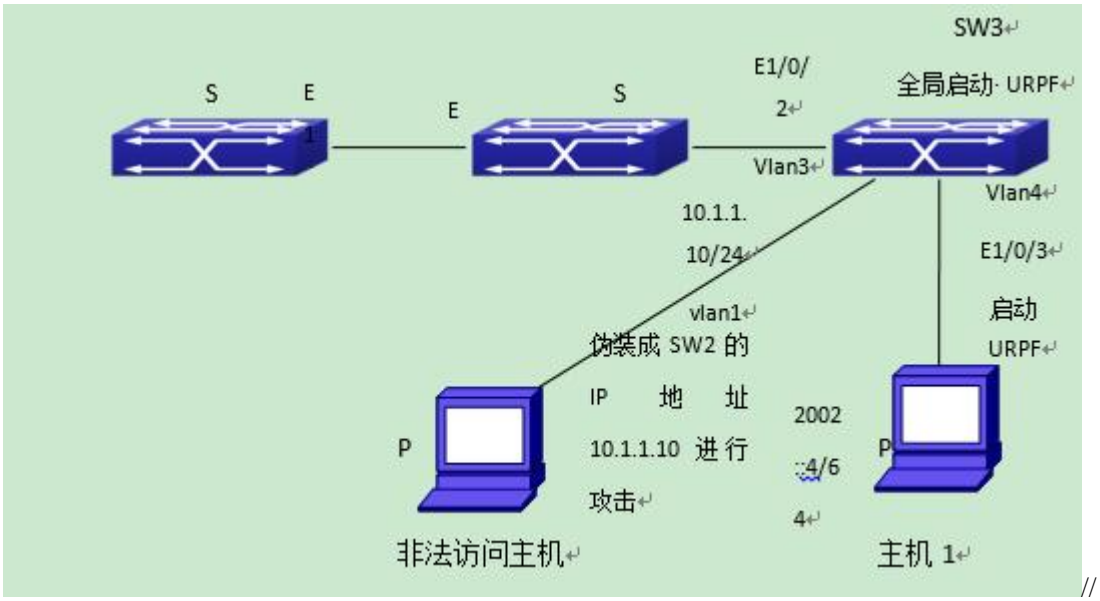


图 3-12 典型案例

如上图所示的网络拓扑中，一台 SW3 上启动 URPF 功能。当链接的网络中有人冒充别人的 IP 地址进行恶意攻击时，交换机通过硬件 FFP 功能直接丢弃所有的攻击报文。

设置 SW3 Ethernet1/1/3 启动 URPF 功能。

SW3 配置任务序列：

Switch#config

Switch(config)#urpf enable

Switch(config)#interface ethernet 1/1/3

Switch(Config-If-Ethernet1/1/3)#ip urpf enable strict

4.5.4 URPF 排错帮助

URPF协议的正常运行非常依赖URPF对应规则的正确下发，如果在配置URPF后，发现功能与预期不符：

判断是否因为交换机配置了与URPF冲突的规则（URPF的优先级要小于ACL），如果发生互斥，则ACL的规则起作用。

判断FIB表中是否存在相关的路由，只有FIB表中存在该路由后，才会在该端口下发相应的ACL规则。

判断是否硬件的 ACL 表现已满，从而导致无法对新生成的路由下发 ACL 规则。

如果在正常配置下，URPF 运行的情况仍然和预期不匹配，请打开 URPF 的调试功能，并且利用 show urpf 和相关的显示规则数目以及明细规则的命令观察生成的 URPF 规则是否正常，并将结果发送给技术服务中心。

4.6 ARP

4.6.1 ARP 介绍

ARP（Address Resolution Protocol）地址解析协议，主要用于 IP 地址到以太网 MAC 地址的解析。交换机除了支持动态 ARP 外，也支持静态配置。此外，在某些应用中，交换机还支持配置代理 ARP。如当交换机的接口收到某 ARP 请求，该请求的 IP 地址与接口地址在一个 IP 网段，但却不在同一物理网络中，此时该接口若启动了代理 ARP 的功能，接口会将自己的 MAC 地址作为 ARP 的回应，然后将收到的实际数据报文进行转发。启动代理 ARP 功能可以使因为物理网络分离但属于同一 IP 网段的机器忽视物理网络分离的事实，经过具有代理 ARP 接口的转发像处在一个物理网络中。

4.6.2 ARP 配置

ARP 配置任务序列：

1. 配置静态 ARP
2. 配置代理 ARP
3. 清除动态 ARP
4. 选择 hash 算法
5. 清除 ARP 报文统计信息

1. 配置静态 ARP

命令	解释
VLAN 接口模式	
arp <*ip_address*> <*mac_address*> {interface [ethernet] <*portName*> } **no arp <ip_*address*>**	配置静态 ARP 表项；本命令的 no 操作为删除指定 IP 地址的 ARP 表项。

2. 配置代理 ARP

命令	解释
VLAN 接口模式	
ip proxy-arp **no ip proxy-arp**	打开以太口代理 ARP 的功能；本命令的 no 操作为关闭代理 ARP 的功能。

3.清除动态 ARP

命令	解释
特权用户模式	
clear arp-cache	清除交换机学习到的动态 ARP。

4.选择 hash 算法

命令	解释
全局配置模式	
l3 hashselect [<crc16l | crc16u | crc32l | crc32u | lsb>]	设置 L3 表的 hash 算法，该命令的使用涉及到 ARP 表项在硬件中的存储，必须在厂商技术人员的指导下使用，该命令的详细信息请参考命令手册的相应部分。

5. 清除 ARP 报文统计信息

命令	解释
特权用户模式	
clear arp traffic	清除交换机 ARP 报文统计信息。

4.6.3 ARP 转发排错帮助

交换机无法 PING 通直接相连的网络设备，检查可能存在的情况和建议的解决方法：

- 首先检查交换机是否学习到相应的 ARP。
- 若 ARP 未能学习到，那么使用 ARP 的调试信息，观察 ARP 协议报文的收发情况。
- 用户比较容易遇到的现象是线缆有问题，导致 ARP 不能学习。

4.7 防 ARP 扫描

4.7.1 防 ARP 扫描功能介绍

ARP 扫描是一种常见的网络攻击方式。为了探测网段内的所有活动主机，攻击源将会

产生大量的 ARP 报文在网段内广播，这些广播报文极大的消耗了网络的带宽资源；攻击源甚至有可能通过伪造的 ARP 报文而在网络内实施大流量攻击，使网络带宽消耗殆尽而瘫痪。而且 ARP 扫描通常是其他更加严重的攻击方式的前奏，如病毒自动感染，或者继而进行端口扫描、漏洞扫描以实施如信息窃取、畸形报文攻击，拒绝服务攻击等。

由于 ARP 扫描给网络的安全和稳定带来了极大的威胁，所以防 ARP 扫描功能将具有重大意义。交换机防 ARP 扫描的整体思路是若发现网段内存在具有 ARP 扫描特征的主机或端口，将切断攻击源头，保障网络的安全。

有两种方式来防 ARP 扫描：基于端口和基于 IP。基于端口的 ARP 扫描会计算一段时间内从某个端口接收到的 ARP 报文的数量，若超过了预先设定的阈值，则会 down 掉此端口。基于 IP 的防 arp 扫描设置限速和隔离两级阀值，当超过一级阀值（限速阀值）后，硬件对该主机的 ARP 报文（包括 ARP 请求和应答）仍然正常转发，只是对送 CPU 的速率进行限制，并产生 trap 告警，通知管理员可能存在攻击；当报文速率达到二级阀值（隔离阀值）时，再采取隔离措施，记录日志，产生 trap 告警。一级阀值限速和二级阀值隔离在全局使能基于 IP 的防 ARP 扫描后同步开启，一级阀值必须小于二级阀值才能生效。此两种防 arp 扫描功能可以同时启用，端口被禁掉之后可以通过配置自动恢复功能自动恢复其状态。IP 被禁掉之后，只要接收到 arp 报文的速率降到二级阈值之下即可自动恢复。

为了提高交换机的效率，可以配置受信任的端口和 IP，交换机不检测来自受信任的端口或 IP 的 ARP 报文，这样可以有效地减少交换机的负担。

4.7.2 防 ARP 扫描配置任务序列

1) 启动防 ARP 扫描功能
2) 配置基于端口和基于 IP 的防 ARP 扫描的阈值
3) 配置信任端口
4) 配置信任 IP
5) 配置自动恢复时间
6) 显示和调试防 ARP 扫描相关信息
7）配置超出阀值之后的动作。

1) 启动防 ARP 扫描功能

命令	解释
全局配置模式	
anti-arpscan enable [ip|port] **no anti-arpscan enable [ip|port]**	全局启动或关闭防 ARP 扫描功能。

2) 配置基于端口和基于 IP 的防 ARP 扫描的阈值

命令	解释
全局配置模式	

anti-arpscan port-based threshold <*threshold-value*> **no anti-arpscan port-based threshold**	设置基于端口的防 ARP 扫描阈值。
anti-arpscan ip-based level1|*level2* *threshold* <*threshold-value*> **no anti-arpscan ip-based level1|level2 threshold**	设置基于 IP 的防 ARP 扫描的接收 ARP 报文的一级或二级阈值，一级阈值默认为 4p/s，二级默认为 8p/s。二级阈值必须大于一级阈值。

3) 配置信任端口

命令	解释
端口配置模式	
anti-arpscan trust <port | supertrust-port| iptrust-port > **no anti-arpscan trust <port | supertrust-port| iptrust-port >**	设置端口的信任属性。

4) 配置信任 IP

命令	解释
全局配置模式	
anti-arpscan trust ip <ip-address> [<netmask>] **no anti-arpscan trust ip <ip-address> [<netmask>]**	设置 IP 的信任属性。

5) 配置自动恢复时间

命令	解释
全局配置模式	
anti-arpscan recovery enable **no anti-arpscan recovery enable**	启动或关闭自动恢复功能。
anti-arpscan recovery time <*seconds*> **no anti-arpscan recovery time**	设置自动恢复时间。

6) 显示和调试防 ARP 扫描相关信息

命令	解释
全局配置模式	
anti-arpscan log enable **no anti-arpscan log enable**	打开或关闭防 ARP 扫描的日志功能。
anti-arpscan trap enable [level1|level2] **no anti-arpscan trap enable [level1|level2]**	打开或关闭防 ARP 扫描的 SNMP Trap 功能。

anti-arpscan FFP max-num <num>	防 ARP 扫描功能可占用的 FFP 表项最大数量。
show **anti-arpscan [trust {ip | port | supertrust-port | iptrust-port} | prohibited {ip | port}]**	显示防 ARP 扫描的运行和配置情况。
show anti-arpscan ip-based attack-list [history]	显示防 ARP 扫描攻击源信息或历史攻击源信息
show anti-arpscan ip-based running-config	显示防 arp 扫描的当前配置
clear anti-arpscan speed-limit< IP Address>	手动清除对特定主机的 ARP 限速
clear anti-arpscan ip-isolate<IP Address>	手动清除对特定主机的 IP 业务隔离
clear anti-arpscan attack-list {ip < IP Address > | all }	手动清除对特定或所有主机的 ARP 限制
clear anti-arpscan attack-history-list {ip < IP Address > | all }	手动清除防 ARP 扫描的历史攻击源信息
特权用户配置模式	
debug anti-arpscan <port | ip> **no debug anti-arpscan <port | ip>**	打开或关闭防 ARP 扫描的调试开关。

7）配置超出阀值之后的动作。

命令	解释
全局配置模式	
anti-arpscan ip-based level2 action<isolate | discard-ARP>	超过二级阀值后的处理动作可配置为 IP 业务隔离和丢弃 ARP 报文不送 CPU。
anti-arpscan ip-based arp-to-cpu speed<pps> **no anti-arpscan ip-based arp-to-cpu speed**	配置一级阀值超限后 ARP 送 CPU 的速率。

4.7.3 防 ARP 扫描典型案例

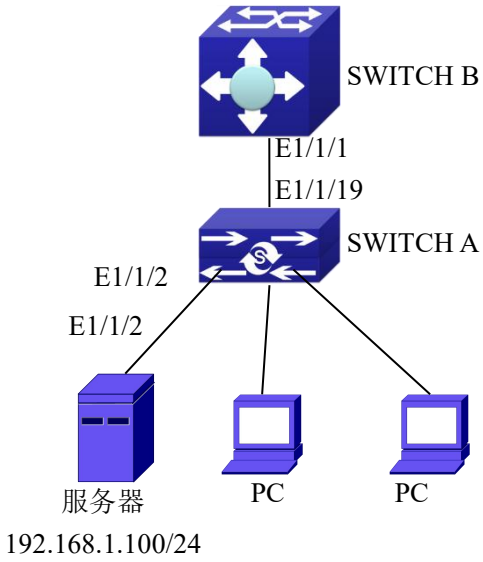


图 3-4 防 ARP 扫描典型配置案例

在上述网络拓扑图中，SWITCH B 的端口 e1/1/1 与 SWITCH A 的端口 e1/1/19 相连，SWITCH A 上的端口 e1/1/2 与文件服务器(IP 地址为 192.168.1.100/24)相连，其他端口都与普通 PC 相连。可通过下面的配置有效地防止 ARP 扫描，而又不影响系统的正常运行。

SWITCH A 配置任务序列：

SwitchA(config)#anti-arpscan enable

SwitchA(config)#anti-arpscan recovery time 3600

SwitchA(config)#anti-arpscan trust ip 192.168.1.100 255.255.255.0

SwitchA(config)#interface ethernet1/1/2

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/2)#anti-arpscan trust port

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/2)#exit

SwitchA(config)#interface ethernet1/1/19

SwitchA (Config-If-Ethernet1/1/19)#anti-arpscan trust supertrust-port

Switch A(Config-If-Ethernet1/1/19)#exit

SWITCH B 配置任务序列：

SwitchB(config)#anti-arpscan enable

SwitchB(config)#interface ethernet1/1/1

SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/1)#anti-arpscan trust port

SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/1)exit

4.7.4 防 ARP 扫描排错帮助

- 防ARP扫描默认是关闭的。打开防ARP扫描后，可以同时打开调试开关debug anti-arpscan来查看调试信息。

4.8 ARP 绑定

4.8.1 概述

4.8.1.1 ARP（地址解析协议）

简单地说，ARP （RFC-826）协议主要负责将局域网中的 IP 地址转换为对应的 48 位物理地址，即网卡的 MAC 地址，比如 IP 地址为 192.168.0.1 网卡 MAC 地址为 00-03-0F-FD-1D-2B。整个转换过程是一台主机先向目标主机发送包含 IP 地址信息的广播数据包，即 ARP 请求，然后目标主机向该主机发送一个含有 IP 地址和 MAC 地址数据包，通过 MAC 地址两个主机就可以实现数据传输了。

4.8.1.2 ARP 绑定

按照 ARP 协议的设计，为了减少网络上过多的 ARP 数据通信，一台主机，即使收到的 ARP 应答并非自己请求得到的，它也会将其插入到自己的 ARP 缓存表中，这样，就造成了“ARP 绑定”的可能。如果黑客想探听同一网络中两台主机之间的通信（即使是通过交换机相连），他会分别给这两台主机发送一个 ARP 应答包，让两台主机都“误”认为对方的 MAC 地址是第三方即黑客所在的主机，这样，双方看似“直接”的通信连接，实际上都是通过黑客所在的主机间接进行的。黑客一方面得到了想要的通信内容，另一方面，只需要更改数据包中的一些信息，成功地做好转发工作即可。在这种嗅探方式中，黑客所在主机是不需要设置网卡的混杂模式的，因为通信双方的数据包在物理上都是发送给黑客所在的中转主机的。

4.8.1.3 如何进行 ARP 绑定

由于现在网络上充斥着很多基于 ARP 协议的嗅探、监听及攻击行为，而且几乎所有的攻击行为都是基于 ARP 绑定来进行的，所以如何防止 ARP 绑定就显得十分重要。ARP 绑定首先是通过伪造合法 IP 进入正常的网络环境，向交换机发送大量的伪造的 ARP 申请报文，交换机在学习到这些报文后，可能会覆盖原来学习到的正确的 IP、MAC 地址的映射关系，将一些正确的 IP、MAC 地址映射关系修改成攻击报文设置的对应关系，导致交换机在转发报文时出错，从而影响整个网络的运行。或者交换机被恶意攻击者利用，利用错误的 ARP 表，截获交换机转发的报文或者对其它服务器、主机或者网络设备进行攻击。

在网络中防止基于 ARP 的攻击和绑定交换机的方法有两种：

一、关闭交换机的自动更新功能

关闭交换机的自动更新功能以后，当交换机收到 ARP 报文时，如果是新的 ARP 报文（交换机的 ARP 表中不存在该 IP 的表项），则正常学习，这样新的用户可以正常登录网络；如果该 ARP 报文对应的 IP 地址在交换机的 ARP 表中已经存在，则判断 ARP 报文中的 MAC 地址、收到 ARP 报文的端口和交换机 ARP 表中记录的是否相同，不相同则认为是欺骗报文

予以丢弃，相同则正常接收，相应的 ARP 表项老化定时器被重置。通过该机制可以防止合法的 ARP 表项被欺骗报文篡改，从而可以避免交换机遭受 ARP 绑定和攻击。

二、关闭交换机的自动学习功能

关闭交换机的自动学习功能以后，交换机不再接收 ARP 报文，适合静态配置 ARP 表项的场合。一方面可以配置静态 ARP 表项，另一方面可以将当前学习到的动态 ARP 表项转换为静态表项（可以减轻一一配置 ARP 静态表项所带来的繁重工作量。关闭交换机的自动学习功能时，如果动态表项不转换为静态表项，会正常老化掉）。在 ARP 表项均为静态配置的情况下，可以有效地避免 ARP 绑定。

4.8.2 ARP 绑定配置

配置 ARP 绑定配置序列如下:

1. 关闭 ARP 自动更新功能
2. 关闭 ARP 自动学习与更新功能
3. 将动态的 ARP 转化为静态 ARP 的功能

1. 关闭 ARP 自动更新功能

命令	解释
全局配置模式和接口配置模式	
ip arp-security updateprotect **no ip arp-security updateprotect**	关闭和启动 ARP 的自动更新功能。

2. 关闭 ARP 自动学习与更新功能

命令	解释
全局配置模式和接口配置模式	
ip arp-security learnprotect **no Ip arp-security learnprotect**	关闭和启动 ARP 的自动学习与更新功能。

3. 将动态的 ARP 转化为静态 ARP 的功能

命令	解释
全局配置模式和接口配置模式	
ip arp-security convert	将动态 ARP 转化静态。

4.8.3 ARP 绑定举例

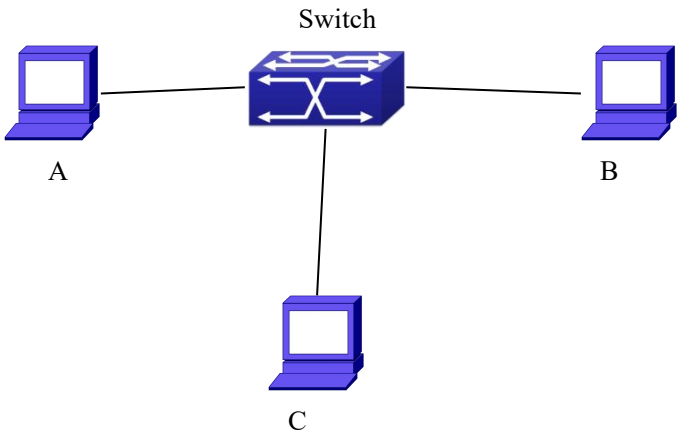


图 3-5 ARP 绑定

设备说明：

设备	配置	数量
switch	IP:192.168.2.4; IP:192.168.1.4; mac: 00-00-00-00-00-04	1
A	IP:192.168.2.1; mac: 00-00-00-00-00-01	1
B	IP:192.168.1.2; mac: 00-00-00-00-00-02	1
C	IP:192.168.2.3; mac: 00-00-00-00-00-03	若干

在上图中首先 B 与 C 正常通信。A 想要交换机将 B 发给 C 的报文转发给自己，所以需要交换机将从 B 来的报文发给 A。首先 A 先发送 ARP 应答包给交换机，格式如：192.168.2.3，00-00-00-00-00-01。就是将自己的 MAC 地址换上 C 的 IP，这样交换机在更新 ARP 表时就会将 B 发给 IP 地址：192.168.2.3 的数据报发到 00-00-00-00-00-01 的地址（A 地址）去了。

进一步将 A 也可以将收到的数据报中的源地址，目的地址更改下，让交换机将自己发的包给 C，这样 B 与 C 相互通信的数据在不知情的状况下就都可以被 A 接收。由于 ARP 表是定时更新的，所以 A 还有 1 个任务是持续不断的向交换机发送 ARP 应答包，刷新交换机的 ARP 表。

所以重要的是将 ARP 表保护起来，可以在环境稳定后配置禁止 ARP 学习的命令，然后将所有的动态 ARP 转换为静态的，这样已经学习到的 ARP 就不会被刷新，从而为用户提供保护。

Switch(config)#

Switch(Config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)#arp 192.168.2.1 00-00-00-00-00-01 interface eth 1/1/2

Switch(Config-If-Vlan1)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)#arp 192.168.1.2 00-00-00-00-00-02 interface eth 1/1/2

Switch(Config-If-Vlan2#interface vlan 3

Switch(Config-If-Vlan3)#arp 192.168.2.3 00-00-00-00-00-03 interface eth 1/1/2
Switch(Config-If-Vlan3)#exit
Switch(Config)#ip arp-security learnprotect
Switch(Config)#
Switch(config)#ip arp-security convert

如果环境经常变动，也可以开启禁止 ARP 更新的命令，这样一旦学习到的 ARP 属性，就不会被新的 ARP 应答包所更新，保护用户数据不会被“嗅探”。

Switch#config
Switch(config)#ip arp-security updateprotect

4.9 ARP GUARD

4.9.1 ARP GUARD 的介绍

ARP 协议的设计存在严重的安全漏洞，任何网络设备都可以发送 ARP 报文通告 IP 地址和 MAC 地址的映射关系。这就为 ARP 欺骗提供了可乘之机，攻击者发送 ARP REQUEST 报文或者 ARP REPLY 报文通告错误的 IP 地址和 MAC 地址映射关系，导致网络通讯故障。ARP 欺骗的危害主要表项为两种形式：1、PC4 发送 ARP 报文通告 PC2 的 IP 地址映射为自己的 MAC 地址，将导致本应该发送给 PC2 的 IP 报文全部发送到了 PC4，这样 PC4 就可以监听、截获 PC2 的报文；2、PC4 发送 ARP 报文通告 PC2 的 IP 地址映射为非法的 MAC 地址，将导致 PC2 无法接收到本应该发送给自己的报文。特别是如果攻击者假冒网关进行 ARP 欺骗，将导致整个网络瘫痪。

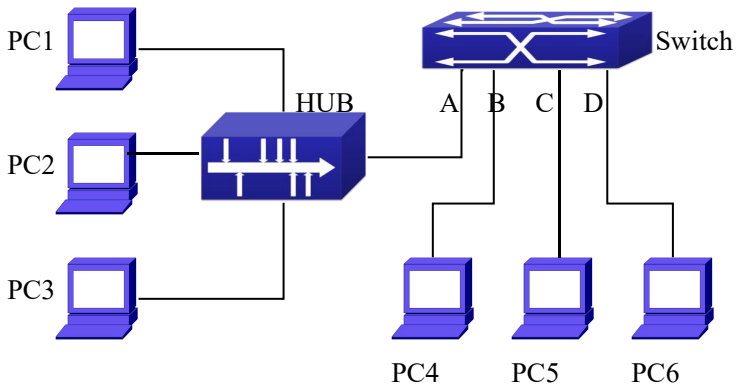


图 3-6 ARP GUARD 原理图

我们利用交换机的过滤表项保护重要网络设备的 ARP 表项不能被其它设备假冒。基本原理就是利用交换机的过滤表项，检测从端口输入的所有 ARP 报文，如果 ARP 报文的源 IP 地址是受到保护的 IP 地址，就直接丢弃报文，不再转发。

ARP GUARD 功能常用于保护网关不被攻击，如果要保护网络内的所有接入 PC 不受 ARP 欺骗攻击，需要在端口配置大量受保护的 ARP GUARD 地址，这将占用大量芯片 FFP 表项资源，可能会因此影响到其它应用功能，并不适合。此时推荐采用 FREE RESOURCE 相关接入方案，详细请参考相关文档。

4.9.2 ARP GUARD 配置任务序列

1. 配置受到保护的 IP 地址

命令	解释
端口配置模式	
arp-guard ip <addr> **no arp-guard ip <addr>**	配置/删除 ARP GUARD 地址。

4.10 Arp local proxy

4.10.1 Arp local proxy 功能简介

某种实际的应用环境中，为了防止 ARP 的欺骗，要求汇聚层的交换机实现 local arp proxy 功能，限制 ARP 报文在同一 vlan 内的转发，从而引导数据流量通过交换机进行 L3 转发。

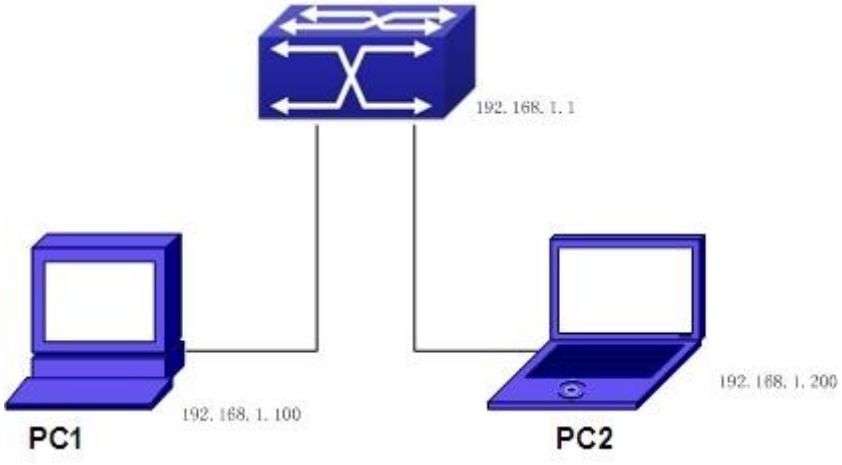


图 3-7 Arp local proxy 功能示意图

例如上图，PC1 要向 PC2 发送一个 IP 报文，整个的流程大致如下（省略了一些非 ARP 的细节）：

1. 由于 PC1 没有 PC2 的 ARP，因此 PC 发送 ARP REQUEST 并广播出去。
2. 交换机硬件收到 ARP 报文，依据新的 ARP 处理规则，芯片不会硬件转发该报文，

只是把 ARP REQUEST 送 CPU。

3. 在启动 local arp proxy 的情况下，交换机向 PC1 发送 arp reply 报文（填充自己的 mac 地址）。
4. PC1 收到该 arp reply 之后，创建 ARP，发送 ip 报文，封装的以太网头的目的 MAC 为交换机的 MAC。
5. 当交换机收到该 ip 报文之后，交换机查询路由表（创建路由缓存），并下发硬件表项。
6. 当交换机有 PC2 的 ARP 的情况下，直接封装以太网头部并发送报文（目的 MAC 为 PC2）。
7. 如果交换机没有 PC2 的 ARP，那么会请求 PC2 的 ARP，然后发送 ip 报文。

该功能通常需要和其他的安全功能配合使用，例如在汇聚交换机上配置 local arp proxy，而在下连的二层交换机上配置端口隔离功能，这样将会引导所有的 ip 流量通过汇聚交换机上进行三层转发，而由于端口隔离，ARP 报文不会在 vlan 内转发，其他 PC 也不会收到。

4.10.2 Arp local proxy 功能配置任务序列

1. 启动/关闭 arp local proxy 功能

1. 启动/关闭 arp local proxy 功能

命令	解释
VLAN 接口配置模式	
ip local proxy-arp **no ip local proxy-arp**	启动或者关闭 arp local proxy 功能。

4.10.3 Arp local proxy 功能典型案例

如下图所示，S1 为支持 arp local proxy 的中高端三层交换机，S2 为支持端口隔离的二层接入交换机。

为了安全的考虑，在 S2 上启动端口隔离功能，这样 S2 的所有下连端口彼此隔离，所有的 ARP 报文都能通过 S1 转发。如果再在 S1 上启动 arp local proxy，则在 S1 上的所有端口隔离 ARP，同时代理 ARP，从而引导 IP 流量经过 S1 进行 3 层转发，而不是原来的 2 层转发。

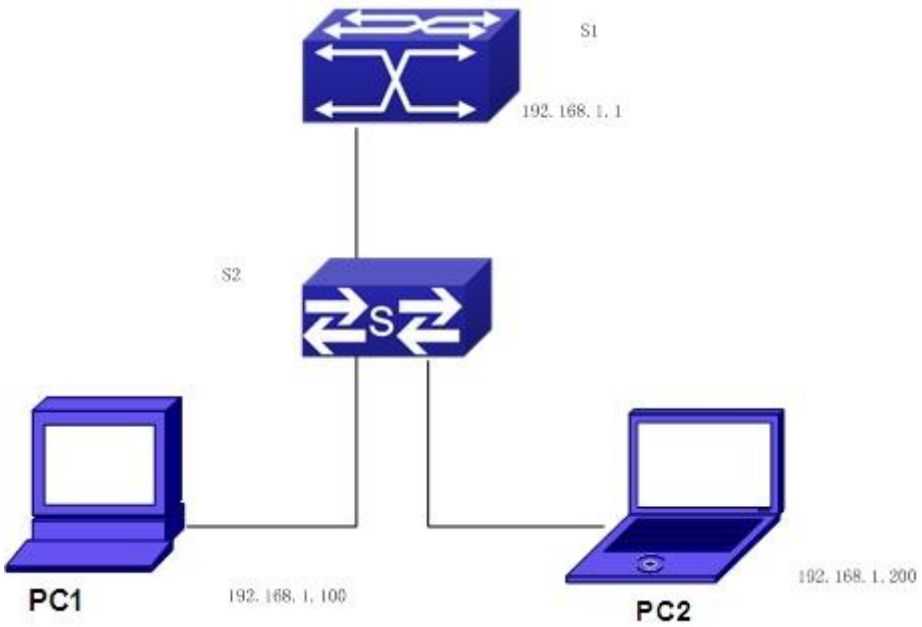


图 3-8 Arp local proxy 功能典型案例示意图

我们可以对 S1 进行如下配置：

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip address192.168.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)#ip local proxy-arp

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

4.10.4 Arp local proxy 功能排错帮助

arp local proxy 功能默认是关闭的，可以使用显示命令（show running-config）看目前的配置情况。在确认配置正确的情况下，打开 ARP 的 debug，可以看到是不是成功代理 ARP，并发送代理 ARP 报文。

在操作过程中，如果有操作错误，系统将会给出具体的错误提示信息。

4.11 免费 ARP 发送

4.11.1 免费 ARP 发送功能简介

主机发送以自己 IP 地址为目标 IP 地址的 ARP 请求，这种 ARP 请求称为免费 ARP（gratuitous ARP）。

交换机基于三层接口的免费 ARP 发送功能的整体思路是：在交换机的接口模式下配置该接口定时发送免费 ARP 报文；或者在交换机的全局配置模式下配置交换机系统中所有存

在的接口定时发送免费 ARP 报文。

在本系统中主要实现免费 ARP 的如下两个作用：

1. 减少局域网内主机向交换机网关发送 ARP 请求的次数。局域网内主机会每隔一段时间向交换机网关发送 ARP 请求，请求网关的 MAC 地址。如果交换机每隔一段时间向局域网内广播免费 ARP，这样局域网内主机就不用发送 ARP 请求了，从而减少了局域网内主机向网关发送 ARP 请求的次数。
2. 可以防止针对网关的 ARP 欺骗。交换机定时向局域网内主机广播免费 ARP，这样局域网内主机的 ARP 缓存会定时更新，所以在局域网内主机受到针对网关的 ARP 欺骗后，主机会在收到交换机的免费 ARP 后，更新其 ARP 缓存而得到正确网关 MAC 地址，这样就防止了针对网关的 ARP 欺骗。

4.11.2 免费 ARP 发送功能配置任务序列

1. 启动免费 ARP 发送功能和配置免费 ARP 报文的发送时间间隔
2. 显示免费 ARP 发送功能的配置信息

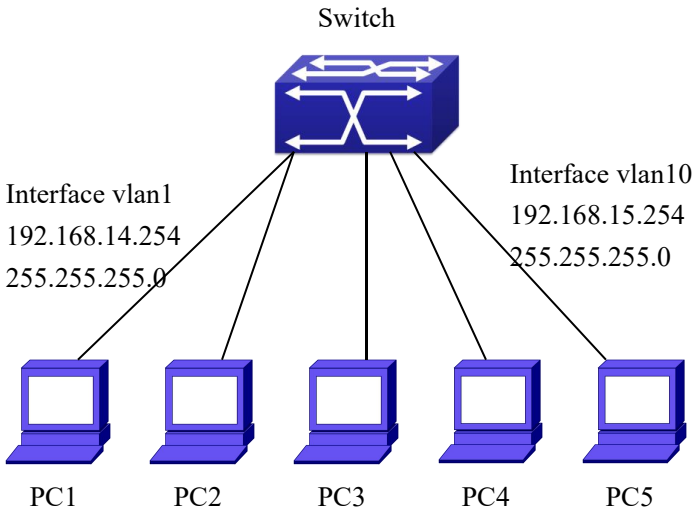
启动免费 ARP 发送功能和配置免费 ARP 报文的发送时间间隔

命令	解释
全局配置模式和接口配置模式	
ip gratuitous-arp <5-1200> **no ip gratuitous-arp**	使能免费 ARP 发送功能，并设置发送免费 ARP 报文的发送时间间隔。其中 no 操作取消使能免费 ARP 发送功能。

显示免费 ARP 发送功能的配置信息

命令	解释
特权和配置模式	
show ip gratuitous-arp [interface vlan <*1-4094*>]	显示免费 ARP 发送功能的配置信息。

4.11.3 免费 ARP 发送功能典型案例



3-9 免费 ARP 发送功能配置案例

在上述网络拓扑图中，Switch 系统中的 interface vlan 10（IP 地址为 192.168.15.254，子网掩码为：255.255.255.0）下连接有 3 台 PC 主机（PC3、PC4 和 PC5），interface vlan 1（IP 地址为：192.168.14.254，子网掩码为：255.255.255.0）下连接有两台 PC 主机（PC1 和 PC2）。可通过如下方法配置免费 ARP 发送功能：

1. 一次设置两个接口的免费 ARP 发送功能

```
Switch(config)#ip gratuitous-arp 300
Switch(config)#exit
```

2. 一次设计一个接口的免费 ARP 发送功能

```
Switch(config)#interface vlan 10
Switch(Config-if-Vlan10)#ip gratuitous-arp 300
Switch(Config-if-Vlan10)#exit
Switch(config)#exit
```

4.11.4 免费 ARP 发送功能排错帮助

免费 ARP 发送功能默认是关闭的。打开免费 ARP 发送功能后，可以打开调试开关 debug arp send 来查看交换机发送的 arp 报文信息。

在全局配置模式下使能免费 ARP 发送功能后，必须在全局配置模式才能取消使能免费

ARP 发送功能；在接口配置模式下使能免费 ARP 发送功能后，必须在接口配置模式下才能取消使能免费 ARP 发送功能。

4.12 Keepalive gateway

4.12.1 keepalive gateway 介绍

市场需要使用以太端口参与备份或者负载均衡，由于以太端口是广播式信道，在网关 down 的情况下由于检测不到物理信号的变化，所以以太端口无法 down 下来。该功能主要用在网关使用以太端口上连上一级网关形成点到点的网络拓扑的情况下，希望可以检测到上一级网关的连通性。

例如：路由器连接光端机，路由器到光端机的线路始终是 up 的，而 moden 与远端设备之间的线路不通的时候环境下，需要使用有效手段检测对端设备是否可达。目前，使用 ARP 机制来检测网关的连通性，通过定时的给网关发送 ARP 请求来探测网关的连通性，如果 ARP 解析失败，表明网关已经 down，这时 down 掉三层接口；继续定时的发送 ARP 请求，如果 ARP 解析成功，则 up 接口。

该功能只对三层交换机支持，二层交换机不支持。

4.12.2 keepalive gateway 功能配置任务序列

1． 开启或关闭 keepalive gateway 功能和配置发送 ARP 请求报文的间隔周期和判定探测失败的重试次数

2． 显示接口 keepalive gateway 运行情况和接口 ipv4 运行状态

1． 启动 keepalive gateway 功能和配置发送 ARP 请求报文的间隔周期和判定探测失败的重试次数

命令	解释
接口配置模式	
keepalive gateway <ip-address> [{<interval-seconds> | msec <interval-millisecond >} [retry-count]] **no keepalive gateway**	使能 keepalive gateway 功能，配置探测的网关 IP 地址、发送 ARP 请求报文的间隔周期和判定探测失败的重试次数；no 命令为关闭该功能。

2． 显示接口 keepalive gateway 运行情况和接口 ipv4 运行状态

命令	解释
特权和配置模式	
show keepalive gateway [*interface-name*]	显示指定接口的 keepalive 运行情况。如果不指定则显示所有接口的 keepalive 运行情况。

show ip interface [*interface-name*]	显示指定接口的 IPv4 运行状态。如果不指定则显示所有接口的 IPv4 运行状态。

4.12.3 keepalive gateway 举例

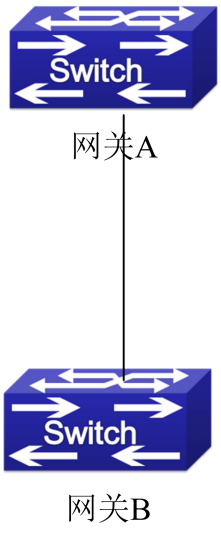


图 3-10 keepalive gateway 典型应用举例

在上述网络拓扑中，网关 A interface vlan10 接口地址为 1.1.1.1 255.255.255.0，网关 B interface vlan100 接口地址为 1.1.1.2 255.255.255.0，网关 B 支持 keepalive gate 功能，可通过如下方法配置网关 B 上的 keepalive gateway 功能：

1、 采用默认的发送 arp 间隔和判定探测失败重复次数（缺省发送 arp 探测报文周期为 10s，缺省判定探测失败重复次数为 5 次）

Switch(config)#interface vlan 100

Switch(config-if-vlan100)#keepalive gateway 1.1.1.1

Switch(config-if-vlan100)#exit

2、 手动配置发送 arp 间隔和判定探测失败重复次数

Switch(config)#interface vlan 100

Switch(config-if-vlan100)#keepalive gateway 1.1.1.1 3 3

Switch(config-if-vlan100)#exit

探测网关 A 是否可达，每隔 3 秒发送一次 ARP 探测，探测 3 次失败后认为网关 A 不可达。

4.12.4 keepalive gateway 排错帮助

当在使用 keepalive gateway 过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- ☞ 确认设备为三层交换机，二层交换机不支持该功能。
- ☞ 该种探测方法仅适用于点对点的拓扑模式。
- ☞ 该方法是探测的 IPv4 可达性。因此探测结果，只能影响接口的 IPv4 工作状态。当探测失败时，只能禁止接口上不再运行 IPv4 业务；但 IPv6 等其它业务不受该探测

的影响。

- ☞ 接口的物理状态仅受物理信号的控制，不受该探测功能的控制。
- ☞ 当判定网关不可达后，接口不能运行 IPv4 业务。因此所有同该接口相关的 IPv4 路由被删除，IPv4 路由协议不能在该接口上建立邻居。

4.13 动态 ARP 检测

4.13.1 动态 ARP 检测功能简介

动态 ARP 检测（Dynamic ARP Inspection，简称 DAI）是一种能够验证网络中 ARP 地址解析协议数据报文的安全特性。通过 DAI，网络管理员能够拦截、记录和丢弃具有无效 MAC 地址/IP 地址绑定的 ARP 数据包。

动态 ARP 检测是依据一个信任的数据库中合法的 IP 与 MAC 地址的对应条目来判断 ARP 数据包的合法性。这个数据库可以手工静态指定或者由 DHCP 监听动态学习建立。如果 ARP 数据包是在信任端口上接收到的，交换机不会做任何检测直接转发 ARP 数据包。如果是从非信任端口上接收到 ARP 数据包，交换机只会转发合法的数据包；对于非法的数据包，它将直接丢弃，同时记录这个违规行为。

注：这里的信任/非信任端口不是指 DHCP 监听的信任/非信任端口，而是动态 ARP 检测功能本身需要配置的两种端口角色。

4.13.2 动态 ARP 检测功能配置任务序列

1.开启基于 vlan 的动态 ARP 检测功能

命令	解释
全局配置模式	
ip arp inspection vlan <vlan-id> **no ip arp inspection vlan <vlan-id>**	开启基于 vlan 的动态 ARP 检测功能。其中 no 操作为取消基于 vlan 的动态 ARP 检测功能。

2.设置信任端口

命令	解释
端口模式	
ip arp inspection trust **no ip arp inspection trust**	设置动态 ARP 检测特性的信任端口。其中 no 操作为设置动态 ARP 检测的非信任端口。

3. 为非信任端口的 ARP 报文设置限速

命令	解释

端口模式	
ip arp inspection limit-rate <rate> **no ip arp inspection limit-rate <rate>**	设置非信任端口的 ARP 限速。其中 no 操作为取消为端口设置的 cpu 限速

4.13.3 动态 ARP 检测功能典型案例

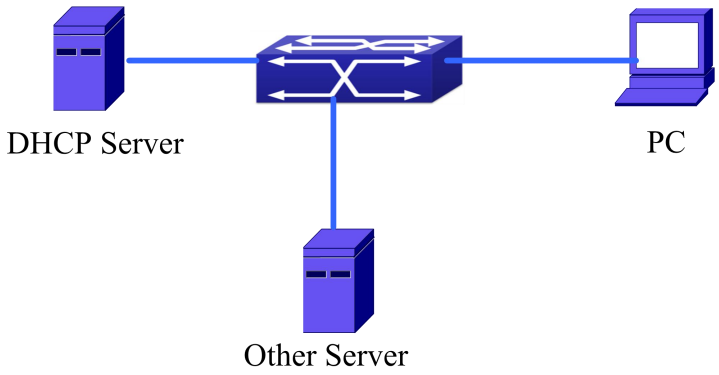


图 3-13 动态 ARP 检测功能典型案例

环境：DHCP 服务器和 PC 客户端都位于 vlan10

DHCP 服务器的 MAC 为 00-24-8c-01-05-90，需要静态分配 IP 地址 192.168.10.2，接在交换机的 e 1/1/1 口；特殊应用服务器（OtherServer）MAC 为 00-24-8c-01-05-80，需要静态分配 IP 地址 192.168.10.3，接在交换机的 e 1/1/2 口；客户端 PC 的 mac 为 00-24-8c-01-05-96，通过 DHCP 动态获取 IP 地址，接在交换机的 e 1/1/3 口；vlan 10 的三层接口为 192.168.10.1，MAC 为 00-03-0F-01-02-03.

交换机上配置如下：

```
ip arp inspection vlan 10
ip dhcp snooping enable
ip dhcp snooping vlan 10
!
Interface Ethernet1/1/1
  description connect DHCP Server
  switchport access vlan 10
  ip dhcp snooping trust
  ip arp inspection limit-rate 50
ip arp inspection trust
!
Interface Ethernet1/1/2
  description connect to Other Server
  switchport access vlan 10
  ip arp inspection limit-rate 50
```

```
!
Interface Ethernet1/1/3
 description connect to PC
 switchport access vlan 10
 ip arp inspection limit-rate 50
!
interface Vlan10
 ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
```

说明：本例中采用静态和动态两种方式相互结合来使用 DAI 功能。从 DAI 非信任端口进来的 ARP 报文都将传递给 DHCP 监听绑定表检查其是否合法。

客户端在动态获取 IP 地址后，可以修改为静态 IP 地址，但必须与动态获取的是同一个 IP 地址。如果修改为其他 IP 地址，将无法接入网络，并且交换机会发出检测到非法 ARP 的警告。

4.14 DHCP

4.14.1 DHCP 介绍

DHCP**[RFC2131]**是 Dynamic Host Configuration Protocol 动态主机配置协议的简写，它能从地址池中把 IP 地址动态分配给请求的主机，同时也能够提供其它网络配置参数，如缺省网关、DNS 服务器、域名和网络范围内主机映像文件的位置等。DHCP 是 BOOTP 协议功能的增强，与 BOOTP 相比，DHCP 是主流技术，它不仅能为无盘工作站提供引导信息，而且在大型的网络中可以大大减轻网络管理员跟踪记录手工分配 IP 地址的负担，同时也能减轻用户的配置任务和花费。DHCP 的另外一个优点是可以部分缓解 IP 地址紧张的状况，当某一 IP 地址的用户离开使用环境时，该 IP 地址还能再次分配给其他用户使用。

DHCP 是基于 Client－Server 模式的协议，DHCP 客户机向 DHCP 服务器索取网络地址及配置参数；服务器为客户机提供网络地址及配置参数；当 DHCP 客户机和 DHCP 服务器不在同一子网时，需要由 DHCP 中继为 DHCP 客户机和 DHCP 服务器传递 DHCP 报文。协议实现的过程如下：//

图 3-13 DHCP 协议交互过程

图解：

1. 首先 DHCP 客户机在本子网内广播 DHCPDISCOVER 包；
2. DHCP 服务器收到 DHCPDISCOVER 包后，给该 DHCP 客户机发送带有 IP 地址和其他网络参数的 DHCPOFFER 包；
3. DHCP 客户机对收到的 DHCPOFFER 包进行选择后，广播带有它要选择的 DHCP 服务器的信息的 DHCPREQUEST 包；
4. 被 DHCP 客户机选中的 DHCP 服务器向 DHCP 客户机发送 DHCPACK 包，DHCP 客户机得到 IP 地址和其他网络配置参数。

通过上面四个步骤，完成动态分配主机配置的协议过程。但如果 DHCP 服务器和 DHCP 客户机不在同一网络时，服务器是无法收到客户机发出的 DHCP 广播报文，因此服务器也不会给客户机发送任何 DHCP 报文，这时需要 DHCP 中继来转发这些 DHCP 报文，完成 DHCP 客户机和服务器之间的 DHCP 报文交互过程。

交换机实现了 DHCP 服务器和 DHCP 中继的功能。DHCP 服务器不但支持动态分配 IP 地址，还支持手工绑定 IP 地址（即为指定的硬件地址或者指定设备标识的网络设备分配一个固定的长期的 IP 地址）。动态分配 IP 地址和手工绑定 IP 地址的区别和联系是：1)采用动态方式获得的 IP 地址可以是不固定的；而采用手工绑定方式获得的 IP 地址是固定的；2)采用动态方式获得的 IP 地址租期与其地址池的租期一致，是有时间限制的；而采用手工绑定方式获得的 IP 地址的租期理论上是无限长时间，即没有时间限制；3)已经动态分配出去的地址，不允许再手工绑定；4)手工 DHCP 地址池可以继承相关网段的动态 DHCP 地址池的网络配置参数。

4.14.2 DHCP 服务器配置

DHCP 服务器配置任务序列如下：

1. 启动/关闭 DHCP 服务功能
2. 配置 DHCP 地址池
   （1）创建/删除 DHCP 地址池
   （2）配置动态 DHCP 地址池的参数
   （3）配置手工 DHCP 地址池的参数
3. 启动记录地址冲突的日志功能

1.启动/关闭 DHCP 服务功能

命令	解释
全局配置模式	
service dhcp **no service dhcp**	启动 DHCP 服务器或中继功能。本命令的 no 操作关闭 DHCP 服务器或中继功能。
ip dhcp disbale **no ip dhcp disable**	端口关闭 DHCP 相关的服务；本命令的 no 操作为打开 DHCP 相关的服务。

2.配置 DHCP 地址池

（1）创建/删除 DHCP 地址池

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp pool <*name*> **no ip dhcp pool <*name*>**	配置 DHCP 地址池。本命令的 no 操作删除 DHCP 地址池。

（2）配置动态 DHCP 地址池的参数

命令	解释
DHCP 地址池配置模式	
network-address <*network-number*> **[mask | prefix-length]** **no network-address**	配置地址池可分配的地址范围。本命令的 no 操作删除地址池可分配的地址。
default-router **[address1[address2[…address8]]]** **no default-router**	为 DHCP 客户机配置缺省网关。本命令的 no 操作删除缺省网关。
dns-server **[address1[address2[…address8]]]** **no dns-server**	为 DHCP 客户机配置 DNS 服务器。本命令的 no 操作删除配置的 DNS 服务器。
domain-name <*domain*> **no domain-name**	为 DHCP 客户机配置域名；本命令的 no 操作为删除域名。
netbios-name-server **[address1[address2[…address8]]]** **no netbios-name-server**	配置 Wins 服务器的地址。本命令的 no 操作删除服务器的地址。
netbios-node-type **{b-node|h-node|m-node|p-node|<*type-number*>}** **no netbios-node-type**	配置 DHCP 客户机的节点类型。本命令的 no 操作删除 DHCP 客户机的节点类型。

next-server [address1[address2[…address8]]] **no next-server [address1[address2[…address8]]]**	配置客户机导入文件存放的服务器地址。本命令的 no 操作删除客户机导入文件存放的服务器地址。
option <*code*> {ascii <*string*> | hex <*hex*> | ipaddress <*ipaddress*>} **no option <*code*>**	配置 option 所指定代码的网络参数的值。本命令的 no 操作删除 option 所指定代码的网络参数值。
lease { days [hours][minutes] | infinite } **no lease**	配置地址池中地址的租用期限。本命令的 no 操作删除地址池中地址的租用期限。
max-lease-time {[<*days*>] [<*hours*>] [<*minutes*>] | infinite } **no max-lease-time**	配置地址池中地址的最大租用期限；本命令的 no 操作为恢复缺省值。
全局配置模式	
ip dhcp excluded-address <*low-address*> [<*high-address*>] **no ip dhcp excluded-address <*low-address*> [<*high-address*>]**	排除地址池中的不用于动态分配的地址。本命令的 no 操作删除此操作。

（3）配置手工 DHCP 地址池的参数

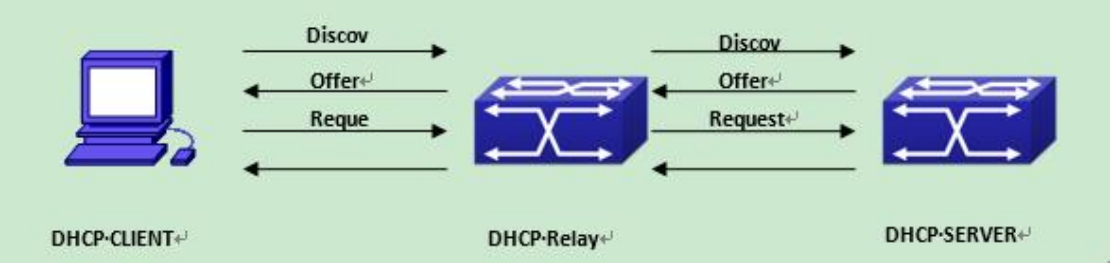
命令	解释
DHCP 地址池配置模式	
hardware-address <*hardware-address*> [{Ethernet | IEEE802|<*type-number*>}] **no hardware-address**	在手工分配地址时，指定/删除用户的硬件地址。
host <*address*> [<*mask*> | <*prefix-length*>] **no host**	在手工绑定地址时，配置/删除分配给指定客户机的用户的 IP 地址。
client-identifier <*unique-identifier*> **no client-identifier**	在手工绑定地址时，指定/删除用户的唯一标识。

3.启动记录地址冲突的日志功能

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp conflict logging **no ip dhcp conflict logging**	打开/关闭 DHCP 服务器检测地址冲突的日志功能。
特权用户配置模式	
clear ip dhcp conflict <*address* | *all*>	删除单条地址冲突的记录或全部地址的冲突记录。

4.14.3 DHCP 中继配置

当 DHCP 客户机和 DHCP 服务器不在同一个网段时，由 DHCP 中继传递 DHCP 报文。增加 DHCP 中继功能的好处是不必为每个网段都设置 DHCP 服务器，同一个 DHCP 服务器可以为很多个子网的客户机提供网络配置参数，既节约了成本又方便了管理。



//图 3-14 DHCP 中继

如上图所示，DHCP 客户机和 DHCP 服务器不在一个网络内，DHCP 客户机仍然遵循 DHCP 的四个步骤，但增加了 DHCP 中继的转发功能：

1. 首先广播 DHCPDISCOVER 报文，DHCP 中继接收到客户机广播的 DHCPDISCOVER 文后，在该报文的中继代理字段处加入自己的 IP 地址后转发给指定的 DHCP 服务器（有关 DHCP 帧格式可参看 RFC2131）；
2. DHCP 服务器接收到经过 DHCP 中继转发的 DHCPDISCOVER 后，带有网络配置参数的 DHCPOFFER 报文经过 DHCP 中继发送给 DHCP 客户机；
3. DHCP 客户机选中一个 DHCP 服务器，广播 DHCPREQUEST 报文，DHCP 中继处理该报文后转发给 DHCP 服务器；
4. DHCP 服务器收到 DHCPREQUEST 后，回应 DHCPACK 报文经过 DHCP 中继发送给 DHCP 客户机。

DHCP 中继配置任务序列如下：

1. 启动 DHCP 中继
2. 配置 DHCP 中继转发 DHCP 广播报文

1.启动 DHCP 中继

命令	解释
全局配置模式	
service dhcp **no service dhcp**	在启动 DHCP 服务器功能的同时也启动了 DHCP 中继功能。

2.配置 DHCP 中继转发 DHCP 广播报文

命令	解释
全局配置模式	
ip forward-protocol udp bootps **no ip forward-protocol udp bootps**	中继转发 UDP 端口号为 67 的 DHCP 广播报文。
接口配置模式	

ip helper-address <*ipaddress*> **no ip helper-address <*ipaddress*>**	指定 DHCP 中继转发的目标 IP 地址；本命令的 no 操作为取消该项配置。

4.14.4 DHCP 配置举例

案例 1：

为减轻网络管理员和用户的配置负担，现有某公司将交换机作为 DHCP 服务器。其 Admin VLAN 的 IP 地址为 10.16.1.2/24。其中公司局域网因为办公地点分成了 A 地、B 地两部分，A 地、B 地的网络配置如下表。

PoolA(network 10.16.1.0)		PoolB(network 10.16.2.0)	
设备	IP 地址	设备	IP 地址
缺省网关	10.16.1.200 10.16.1.201	缺省网关	10.16.2.200 10.16.2.201
DNS 服务器	10.16.1.202	DNS 服务器	10.16.2.202
Wins 服务器	10.16.1.209	WWW 服务器	10.16.2.209
Wins 的节点类型	H-node		
Lease	3 天	Lease	1 天

其中在 A 处，因为工作的需要，特地将一台 MAC 地址为 00-03-22-23-dc-ab 的机器分配固定的 IP 地址 10.16.1.210，命名为 management。

```
Switch(config)#service dhcp
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-if-Vlan-1)#ip address 10.16.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan-1)#exit
Switch(config)#ip dhcp pool A
Switch(dhcp-A-config)#network 10.16.1.0 24
Switch(dhcp-A-config)#lease 3
Switch(dhcp-A-config)#default-router 10.16.1.200 10.16.1.201
Switch(dhcp-A-config)#dns-server 10.16.1.202
Switch(dhcp-A-config)#netbios-name-server 10.16.1.209
Switch(dhcp-A-config)#netbios-node-type H-node
Switch(dhcp-A-config)#exit
Switch(config)#ip dhcp excluded-address 10.16.1.200 10.16.1.201
Switch(config)#ip dhcp pool B
Switch(dhcp-B-config)#network 10.16.2.0 24
Switch(dhcp-B-config)#lease 1
Switch(dhcp-B-config)#default-router 10.16.2.200 10.16.2.201
Switch(dhcp-B-config)#dns-server 10.16.2.202
Switch(dhcp-B-config)#option 72 ip 10.16.2.209
```

Switch(dhcp-config)#exit

Switch(config)#ip dhcp excluded-address 10.16.2.200 10.16.2.201

Switch(config)#ip dhcp pool A1

Switch(dhcp-A1-config)#host 10.16.1.210

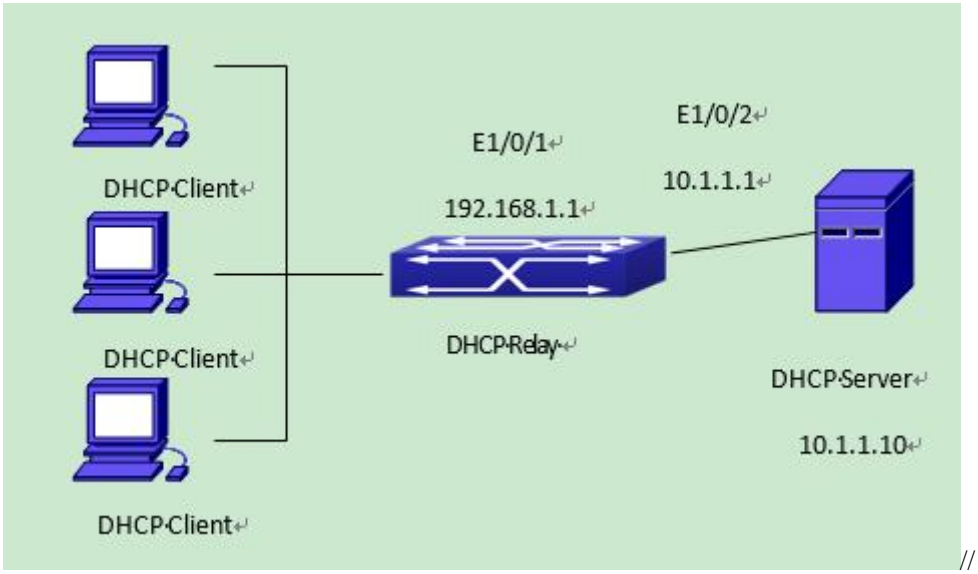
Switch(dhcp-A1-config)#hardware-address 00-03-22-33-dc-ab

Switch(dhcp-A1-config)#exit

使用提示：

当有 DHCP/BOOTP Client 连接在交换机的属于 VLAN1 端口时，该 Client 只能获取属于 10.16.1.0/24 网段的地址而不可能获取 10.16.2.0/24 网段的地址。因为 Client 发出的广播包经过交换机的 VLAN 接口转发后，申请的是与 VLAN 接口在一个网段的 IP 地址，交换机的 VLAN 接口的 IP 地址为 10.16.1.2/24，因此 Client 申请到的 IP 地址是 10.16.1.0/24 网段的。若 DHCP/BOOTP Client 希望申请到 10.16.2.0/24 网段的地址，该 Client 发出的广播包经由转发的网关必须是 10.16.2.0/24 网段的。若要从交换机获取 10.16.2.0/24 地址池的 IP 地址，则首先要保证该 Client 的网关到交换机的可达性。

案例 2：



//

图 3-15 DHCP Relay 配置

如图所示，配置 Switch 为 DHCP 中继。DHCP 服务器的地址为 10.1.1.10，则配置如下：

Switch(config)#service dhcp

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config- if-Vlan1)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0

Switch(Config- if-Vlan1)#exit

Switch(config)#vlan 2

Switch(Config-Vlan2)#exit

Switch(config)#interface Ethernet 1/1/2

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#switchport access vlan 2

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#exit

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan2)#exit

Switch(Config)#ip forward-protocol udp bootps

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip helper-address 10.1.1.10

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

注意：建议配置命令 **ip forward-protocol udp bootps** 和 **ip helper-address <*ipaddress*>** 结合使用。 **ip helper-address** 只能在三层端口下配置，不能直接在二层端口下配置。

4.14.5 DHCP 排错帮助

DHCP 客户机无法获得 IP 地址及其它网络参数，在确保 DHCP 客户机硬件、线缆等没有问题的前提下，检查可能存在的情况和建议的解决方法：

- 首先检查 DHCP 服务器是否已启动，若没有启动，建议启动相关的 DHCP 服务器；若 DHCP 客户机和服务器不在同一个物理网络中，检查中间负责转发 DHCP 报文的路由器是否具备 DHCP 中继功能。若中间路由器不具备 DHCP 中继功能，建议替换掉中间的路由器或更新版本，使其具备 DHCP 中继功能；
- 用户比较容易遇到的现象是 DHCP 客户机连接在交换机上，却获得不到 IP 地址。遇到这种情况请检测 DHCP Server 内是否有与交换机 VLAN 接口在一个网段的地址池，如没有则请添加该网段的地址池；
- 在 DHCP 服务中，动态分配 IP 地址与手工分配 IP 地址的地址池是互斥的，即如果在一个地址池执行命令 **network** 和命令 **host** 时，只能有一个生效；并且在手工地址池中一个地址池内只能配置一对 IP-MAC 的绑定，如果需要建立多对绑定，可以建立多个手工地址池，在每个地址池分别配置 IP-MAC 的绑定，否则在同一地址池内配置新的配置会覆盖旧的配置。

4.15 DHCP option 82

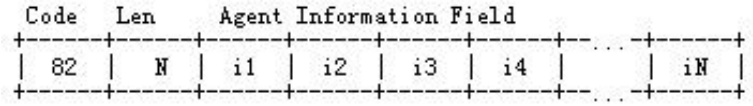
4.15.1 DHCP option 82 介绍

DHCP option 82 是 DHCP 报文中的中继代理信息选项（Relay Agent Information Option），其选项编号为 82。DHCP option 82 是为了增强 DHCP 服务器的安全性，改善 IP 地址配置策略而提出的一种机制。通过在网络接入设备上配置 DHCP 中继代理功能，中继代理把从客户端接收到的 DHCP 请求报文添加进 option 82 选项（其中包含了客户端的接入物理端口和接入设备标识等信息），然后再把该报文转发给 DHCP 服务器，支持 option 82 功能的 DHCP 服务器接收到报文后，根据预先配置策略和报文中 option 82 信息分配 IP 地址和其它配置信

息给客户端，同时 DHCP 服务器也可以依据 option 82 中的信息识别可能的 DHCP 攻击报文并作出防范。DHCP 中继代理收到服务器应答报文后，剥离其中的 option 82 选项并根据选项中的物理端口信息，把应答报文转交到网络接入设备的指定端口。DHCP option82 的应用对客户端是透明的。

4.15.1.1 DHCP option 82 报文结构

DHCP 报文可以由多个 option 字段组成，option 82 就是其中的一种 option，它必须在其它选项之后，option255 选项之前。其格式如下图所示：

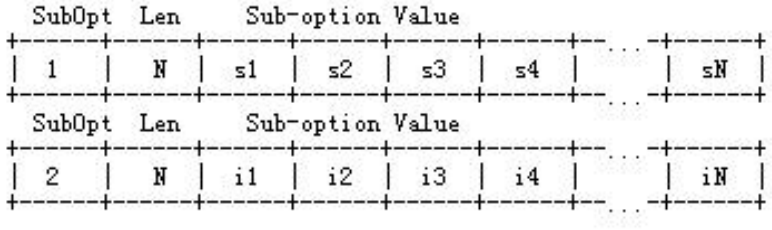


/

Code：表示中继代理信息选项的序号，RFC3046 定义为 82，option 82 即由此得名。

Len：为代理信息域（Agent Information Field）的字节个数，不包括 Code 和 Len 字段的两个字节。

option 82 可以由多个 sub-option 组成，每个 option 82 选项至少要有一个子选项，RFC3046 定义了以下两个子选项，其格式如下图所示：

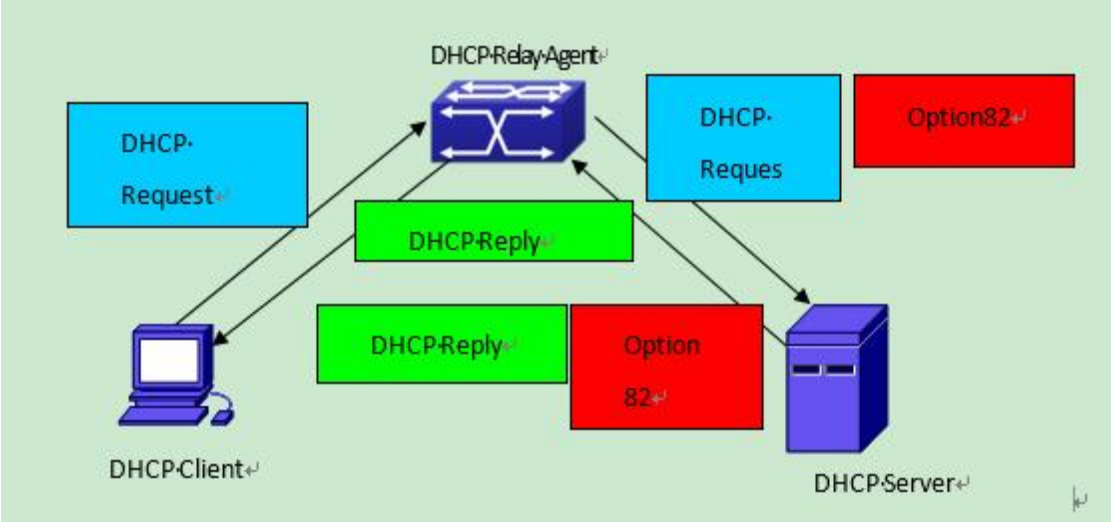


/

SubOpt：为子选项编号，其中代理电路 ID（即 Circuit ID）子选项编号为 1，代理远程 ID（即 Remote ID）子选项编号为 2。

Len：为 Sub-option Value 的字节个数，不包括 SubOpt 和 Len 字段的两个字节。

4.15.1.2 option 82 工作机制



//图 3-16 DHCP option 82 流程图

在 DHCP 中继代理支持 option 82 的情况下，DHCP 客户端通过 DHCP 中继从 DHCP 服务器获取 IP 地址同样要经历发现、提供、选择和确认四个阶段。这时 DHCP 协议按如下过程进行：

1）DHCP 客户端在初始化时广播发送请求报文，这时的请求报文并不包含 option 82 选项。

2）DHCP 中继代理将 option 82 选项添加到接收到的请求报文尾部后中继转发给 DHCP 服务器。option 82 选项的子选项 1(代理电路 ID)默认是 DHCP 客户端所连接的交换机的接口信息(VLan 名加物理端口名)，也可以由用户自己配置代理电路 ID，option 82 选项的子选项 2(代理远程 ID)是 DHCP 中继设备本身的 MAC 地址。

3）DHCP 服务器收到 DHCP 中继设备转发的 DHCP 请求报文后，根据报文中 option 选项所携带的信息和预定策略分配 IP 地址和其它信息给客户端，然后将带着 DHCP 配置信息以及 option 82 信息的应答报文发给 DHCP 中继代理。

4）DHCP 中继代理收到 DHCP 服务器的应答报文后将剥离报文中的 option 82 信息，然后将带有 DHCP 配置信息的报文转发给 DHCP 客户端。

4.15.2 DHCP option 82 的配置任务序列

与 DHCP option 82 相关的配置内容

1) 配置中继代理的 DHCP option 82 使能开关
2) 配置接口的 DHCP option 82 属性
3) 配置服务器的 DHCP option 82 使能开关
4) 配置中继代理的 DHCP option 82 默认格式
5) 配置分隔符
6) 配置 option82 的生成方式
7) DHCP option 82 的维护与诊断

1) 配置中继代理的 DHCP option 82 使能开关

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp relay information option **no ip dhcp relay information option**	设置本命令启用交换机中继代理的 option82 功能，本命令的 no 操作关闭交换机中继代理的 option82 功能。

2) 配置接口的 DHCP option 82 属性

命令	解释
接口配置模式	

ip dhcp relay information policy {drop | keep | replace} **no ip dhcp relay information policy**	本命令用于设置系统对于接收到的含有 option82 选项的 DHCP 请求报文的重转发策略，其中 drop 模式表示如果报文中含有 option82 选项，则系统丢弃该 DHCP 报文不作处理；keep 模式表示系统保持现有报文中的 option82 选项不变转发给服务器处理；replace 模式表示系统使用自己的 option82 选项替换现有报文中的 option82 选项，然后转发给服务器处理。本命令的 no 操作设置 option82 选项 DHCP 报文的重转发策略为 replace。
ip dhcp relay information option subscriber-id {standard | <circuit-id>} **no ip dhcp relay information option subscriber-id**	本命令用于设置从接口接收的 DHCP 请求报文添加 option 82 子选项 1(电路 ID 选项)的形式，**standard** 表示标准的 vlan 名加物理端口名形式，如“Vlan2+Ethernet1/1/12”，**<circuit-id>**为用户自己指定的 option 82 的 circuit-id 内容，它是一个长度小于 64 的字符串。本命令的 no 操作把添加 option 82 子选项 1(电路 ID 选项)的形式设置为 standard 形式。
全局配置模式	
ip dhcp relay information option remote-id {standard | <*remote-id*>} **no ip dhcp relay information option remote-id**	本命令用于设置从接口接收的 DHCP 请求报文添加 option 82 子选项 2(远程 ID 选项)的具体内容。本命令的 no 操作把添加 option 82 子选项 2(远程 ID 选项)的形式设置为 standard。

3) 配置服务器的 DHCP option 82 使能开关

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp server relay information enable **no ip dhcp server relay information enable**	本命令用于设置交换机 DHCP 服务器支持对 option82 选项的识别。本命令的 no 操作使服务器忽略处理 option 82 选项。

4) 配置中继代理的 DHCP option 82 默认格式

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp relay information option subscriber-id format {hex | acsii | vs-hp}	本命令设置交换机中继代理的 option82 功能 subscriber-id 默认格式。

ip dhcp relay information option remote-id format {default | vs-hp}	本命令设置交换机中继代理的 option82 功能 remote-id 默认格式。

5) 配置分隔符

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp relay information option delimiter [colon | dot | slash | space] **no ip dhcp relay information option delimiter**	配置用户在全局定义的用来生成 option82 子选项的各参数的分隔符，该命令的 no 形式恢复分隔符为默认值，即 slash。

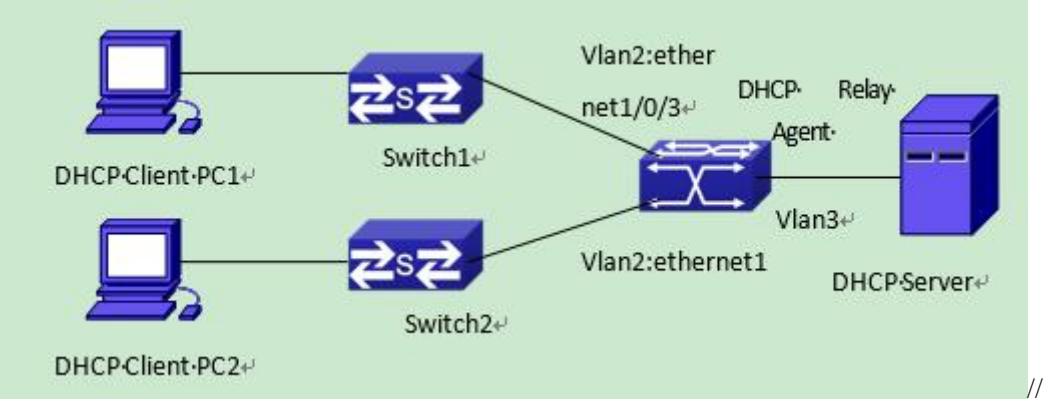
6) 配置 option82 的生成方式

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp relay information option self-defined remote-id {hostname | mac | string WORD} **no ip dhcp relay information option self-defined remote-id**	配置 option82 的生成方式，用户可以自定义用来生成 option82 子选项 remote-id 的参数（集）。
ip dhcp relay information option self-defined remote-id format [ascii | hex]	配置 relay option82 中 remote-id 的生成格式。
ip dhcp relay information option self-defined subscriber-id {vlan | port | id (switch-id (mac | hostname)| remote-mac)| string WORD } **no ip dhcp relay information option self-defined subscriber-id**	配置 option82 的生成方式，用户可以自定义用来生成 option82 子选项 circuit-id 的参数（集）。
ip dhcp relay information option self-defined subscriber-id format [ascii | hex]	配置 relay option82 中 circuit-id 的生成格式。

7) DHCP option 82 的维护与诊断

命令	解释
特权配置模式	
show ip dhcp relay information option	本命令显示系统 DHCP option 82 的状态信息，包括 option82 使能开关，接口重转发策略，接口电路 ID 模式，以及交换机 DHCP 服务器 option82 使能开关。
debug ip dhcp relay packet	使用本命令显示 DHCP 中继代理处理数据包的信息，包括 option 82 选项的添加和剥离动作信息。

4.15.3 DHCP option 82 应用举例



//图

3-17 DHCP option 82 典型应用案例

在上面应用案例中，二层交换机 Switch1 和 Switch2 都接在三层交换机 Switch3 上，Switch3 作为 DHCP 中继代理向 DHCP 服务器转交来自 DHCP 客户端的请求报文，并把服务器的应答报文转交给 DHCP 客户端，完成 DHCP 协议过程。在不启用 DHCP option 82 功能时，DHCP 服务器无法区分 DHCP 客户端是来自 Switch1 还是 Switch2 下连的网络，因此 Switch1 和 Switch2 连接的 PC 终端都从 DHCP 服务器中公用地址池中分配地址。启用 DHCP option 82 功能以后，由于 Switch3 在来自客户端的请求报文中附加了接入 Switch3 的端口信息，这时服务器可以区分客户端是来自 Switch1 还是 Switch2 的网络，因此可以为这两个网络分配互相隔离的地址空间，便于网络管理。

Switch3(MAC 地址为 00:03:0f:02:33:01)配置如下

Switch3(Config)#service dhcp

Switch3(Config)#ip dhcp relay information option

Switch3(Config)#ip forward-protocol udp bootps

Switch3(Config)#interface vlan 3

Switch3(Config-if-vlan3)#ip address 192.168.10.222 255.255.255.0

Switch3(Config-if-vlan2)#ip address 192.168.102.2 255.255.255.0

Switch3(Config-if-vlan2)#ip helper 192.168.10.88

Linux 的 ISC DHCP Server 支持 option 82 选项，其配置文件/etc/dhcpd.conf 为

ddns-update-style interim;

ignore client-updates;

class "Switch3Vlan2Class1" {

match if option agent.circuit-id = "Vlan2+Ethernet1/1/2" and option agent.remote-id=00:03:0f:02:33:01;

```
}

class "Switch3Vlan2Class2" {
match if option agent.circuit-id = "Vlan2+Ethernet1/1/3" and option agent.remote-id=00:03:0f:02:33:01;
}

subnet 192.168.102.0 netmask 255.255.255.0 {
option routers 192.168.102.2;
option subnet-mask 255.255.255.0;
option domain-name "example.com.cn";
option domain-name-servers 192.168.10.3;
authoritative;

pool {
range 192.168.102.21 192.168.102.50;
default-lease-time 86400; #24 Hours
max-lease-time 172800; #48 Hours
allow members of "Switch3Vlan2Class1";
}
pool {
range 192.168.102.51 192.168.102.80;
default-lease-time 43200; #12 Hours
max-lease-time 86400; #24 Hours
allow members of "Switch3Vlan2Class2";
}
}
```

这时 DHCP 服务器会为经 Switch3 中继来自 Switch1 的网络节点分配 192.168.102.21～192.168.102.50 之间的地址，为来自 Switch1 的网络节点分配 192.168.102.51～192.168.102.80 之间的地址。

4.15.4 DHCP option 82 排错帮助

- DHCP option 82 是作为 DHCP 中继代理的一个子功能模块实现的，在使用 option 82 功能之前，要确保 DHCP 中继代理正确配置。
- DHCP option 82 是 DHCP 中继代理和 DHCP 服务器共同配合完成 IP 地址分配任务，DHCP 服务器要针对中继代理的网络拓扑，正确设置分配策略，否则即使中继代理的 option 82 工作正常，地址分配也不会成功进行。在存在多种中继代理情况时，注意设置好接口 DHCP 请求报文的重转发策略。
- 对于 DHCP 中继代理的 option 82 功能实现，运行过程中可以使用 debug ip dhcp relay

packet 命令显示中继代理的数据包处理过程，包括添加 option 82 的具体内容，采取的重转发策略，中继代理剥离服务器的 option 82 内容等，这些信息有助于用户排错诊断。

- 对于 DHCP 服务器的 option 82 功能实现，运行过程中可以使用 debug ip dhcp server packet 命令显示服务器的数据包处理过程，包括显示识别出请求包的 option 82 信息，在应答包中返回的 option 82 信息。

4.16 DHCP Snooping

4.16.1 DHCP Snooping 介绍

DHCP Snooping 功能指交换机监测 DHCP CLIENT 通过 DHCP 协议获取 IP 的过程。它通过设置信任端口和非信任端口，来防止 DHCP 攻击及私设 DHCP SERVER。从信任端口接收的 DHCP 报文无需校验即可转发。典型的设置是将信任端口连接 DHCP SERVER 或者 DHCP RELAY 代理。非信任端口连接 DHCP CLIENT，交换机将转发从非信任端口接收的 DHCP 请求报文，不转发从非信任端口接收的 DHCP 回应报文。如果从非信任端口接收 DHCP 回应报文，除了发出告警信息外，并可根据设置对该端口执行相应的动作，比如 shutdown，下发 blackhole。如果启用了 DHCP Snooping 绑定功能，则交换机将会保存非信任端口下的 DHCP CLIENT 的绑定信息，每一条绑定信息包含该 DHCP CLIENT 的 MAC 地址、IP 地址、租期、VLAN 号和端口号，这些绑定信息存放于 DHCP Snooping 的绑定表中。利用绑定信息，DHCP Snooping 可以结合 dot1x，**arp** 等模块或独立实现用户的接入控制。

防伪装 DHCP Server：一旦交换机截获了从非信任端口收到的 DHCP Server 回应包（包括 DHCPOFFER, DHCPACK 和 DHCPNAK），将发出警告，并相应做出反应（shutdown 端口或下发 BlackHole）。

防 DHCP 过载攻击：要对信任端口和非信任端口做 DHCP 收包限速，防止过多的 DHCP 报文攻击 CPU。

记录 DHCP 绑定数据：DHCP SNOOPING 在转发 DHCP 报文的同时，记录 DHCP SERVER 分配的绑定数据，并可以把绑定数据上载到指定的服务器进行备份。这些绑定数据主要用于配置 dot1x userbased 端口的动态用户。有关 dot1x userbased 模式的用法请参考《dot1x 配置》的章节。

添加绑定 ARP： DHCP SNOOPING 捕获到绑定数据之后，可以根据绑定数据中的参数添加静态绑定 ARP，这样可以防止 ARP 欺骗。

添加信任用户：DHCP SNOOPING 捕获到绑定数据之后，可以根据绑定数据中的参数添加信任用户表项，这样这些用户就可以不经过 DOT1X 认证而访问所有资源。

自动恢复：交换机 shutdown 端口或者下发 blockhole 一段时间后，交换机应主动恢复该端口或源 Mac 的通讯，同时通过 syslog 发送信息到 Log Server。

LOG 功能：交换机检测发现异常收包时；或者自动恢复时，应自动发送 syslog 信息到 Log

Server。

私有报文的加密：交换机与内网安全管理系统 TrustView 之间使用私有报文进行通讯，用户允许配置版本 2 的私有报文进行加密处理。

添加认证 option82 功能： 与 dot1x dhcpoption82 认证方式配合使用，根据用户认证状态在 DHCP 报文中添加不同 option 82 内容。

4.16.2 DHCP Snooping 的配置任务序列

1. 启动 DHCP Snooping
2. 启动 DHCP Snooping 绑定功能
3. 启动 DHCP Snooping 绑定 ARP 功能
4. 启动 DHCP Snooping option82 功能
5. 配置私有报文版本号
6. 配置私有报文 DES 加密密钥
7. 配置 helper server 地址
8. 设置信任端口
9. 启动 DHCP Snooping 绑定 DOT1X 功能
10. 启动 DHCP Snooping 绑定 USER 功能
11. 添加静态表项功能
12. 设置防御动作
13. 设置 DHCP 报文速率限制
14. 打开调试开关
15. 设置 DHCP Snooping option82 属性

1. 启动 DHCP Snooping

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp snooping enable **no ip dhcp snooping enable**	开启或关闭 DHCP snooping 功能。

2. 启动 DHCP Snooping 绑定功能

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp snooping binding enable **no ip dhcp snooping binding enable**	开启或关闭 DHCP snooping 绑定功能。

3. 启动 DHCP Snooping option82 功能

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp snooping information enable **no ip dhcp snooping information enable**	开启或关闭 DHCP snooping option82 功能。

4. 配置私有报文版本号

命令	解释
全局配置模式	
ip user private packet version two **no ip user private packet version two**	配置或删除私有报文版本号。

5. 配置私有报文 DES 加密密钥

命令	解释
全局配置模式	
enable trustview key 0/7 <password> **no enable trustview key**	配置或删除私有报文 DES 加密密钥。

6. 配置 helper server 地址

命令	解释
全局配置模式	
ip user helper-address A.B.C.D [port <udpport>] source <ipAddr> (secondary|) **no ip user helper-address (secondary|)**	配置或删除 helper address 地址。

7. 启动 DHCP Snooping 绑定 ARP 功能

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp snooping binding arp **no ip dhcp snooping binding arp**	开启或关闭 DHCP snooping 绑定 ARP 功能。

8. 设置信任端口

命令	解释
端口配置模式	

ip dhcp snooping trust **no Ip dhcp snooping trust**	设置或删除端口的 DHCP snooping 信任属性。

9. 启动 DHCP SNOOPING 绑定 DOT1X 功能

命令	解释
端口配置模式	
ip dhcp snooping binding dot1x **no ip dhcp snooping binding dot1x**	开启或关闭 DHCP snooping 绑定 dot1x 功能。

10. 启动 DHCP SNOOPING 绑定 USER 功能

命令	解释
端口配置模式	
ip dhcp snooping binding user-control **no ip dhcp snooping binding user-control**	开启或关闭 DHCP snooping 绑定 user 功能。

11. 添加静态绑定信息

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp snooping binding user *<mac>* address *<ipAddr>* vlan ***<vid>*** **interface (ethernet|) *<ifname>*** **no ip dhcp snooping binding user <mac> interface (ethernet|) <ifname>**	添加/删除 DHCP snooping 静态绑定表项。

12. 设置防御动作

命令	解释
端口配置模式	
ip dhcp snooping action {shutdown|blackhole} [recovery <second>] **no ip dhcp snooping action**	设置或删除端口的 DHCP snooping 自动防御动作。

13. 设置数据转发速率限制

命令	解释

全局配置模式	
ip dhcp snooping limit-rate <pps> **no ip dhcp snooping limit-rate**	配置 DHCP snooping 报文转发速率。

14. 打开调试开关

命令	解释
特权配置模式	
debug ip dhcp snooping packet **debug ip dhcp snooping event** **debug ip dhcp snooping update** **debug ip dhcp snooping binding**	请参照系统排错章节。

15. 设置 DHCP Snooping option82 属性

16.

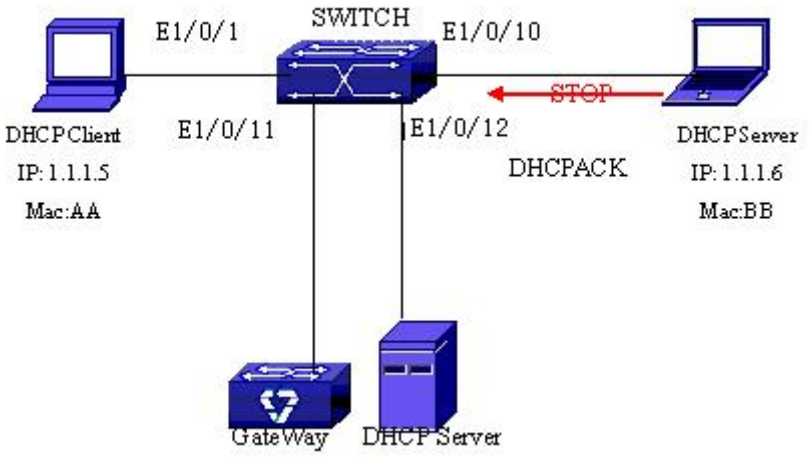
命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp snooping information option subscriber-id format {hex | acsii | vs-hp}	本命令设置 DHCP snooping option82 功能 subscriber-id 默认格式。
ip dhcp snooping information option remote-id {standard | <*remote-id*>} **no ip dhcp snooping information option remote-id**	本命令用于设置从端口接收的 DHCP 请求报文添加 option 82 子选项 2(远程 ID 选项)的具体内容。本命令的 no 操作把添加 option 82 子选项 2(远程 ID 选项)的形式设置为 standard。
ip dhcp snooping information option delimiter [colon | dot | slash | space] **no ip dhcp snooping information option delimiter**	配置用户在全局定义的用来生成 option82 子选项的各参数的分隔符，该命令的 no 形式恢复分隔符为默认值，即 slash。
ip dhcp snooping information option self-defined remote-id {hostname | mac | string WORD} **no ip dhcp snooping information option self-defined remote-id**	配置 option82 的生成方式，用户可以自定义用来生成 option82 子选项 remote-id 的参数（集）。
ip dhcp snooping information option self-defined remote-id format [ascii | hex]	配置 snooping option82 中 remote-id 的生成格式。

ip dhcp snooping information option self-defined subscriber-id {vlan | port | id (switch-id (mac | hostname)| remote-mac) | string WORD} **no ip dhcp snooping information option type self-defined subscriber-id**	配置 option82 的生成方式，用户可以自定义用来生成 option82 子选项 circuit-id 的参数（集）。
ip dhcp snooping information option self-defined subscriber-id format [ascii | hex]	配置 snooping option82 中 circuit-id 的生成格式。

命令	解释
全局配置模式	
ip dhcp snooping information option allow-untrusted (replace|) **no ip dhcp snooping information option allow-untrusted (replace|)**	本命令用于设置允许从 DHCP snooping 的非信任端口接收含有 option82 选项的 DHCP 报文，在设置参数 replace 时，允许替换 option82 选项；关闭此命令时，所有非信任端口将丢弃含有 option82 选项的 DHCP 报文。

17.

4.16.3 DHCP Snooping 典型应用



/

图 3-18 DHCP Snooping 防止非法 dhcp server 示意图

如上图，Mac-AA 设备为正常用户，连接在交换机非信任端口 1/1/1 上，其通过 DHCP Client 获得 IP 1.1.1.5；DHCP Server 和 GateWay 分别连接在 DCN 交换机的信任端口 1/1/11; 1/1/12 上；恶意用户 Mac-BB 连接在非信任端口 1/1/10 上，试图伪装 DHCP Server（发送 DHCPACK）。在交换机上设置 DHCP snooping 将能有效发现并阻止这种网络攻击。

配置序列为：

switch#

```
switch#config
switch(config)#ip dhcp snooping enable
switch(config)#interface ethernet 1/1/11
switch(Config-Ethernet1/1/11)#ip dhcp snooping trust
switch(Config-Ethernet1/1/11)#exit
switch(config)#interface ethernet 1/1/12
switch(Config-Ethernet1/1/12)#ip dhcp snooping trust
switch(Config-Ethernet1/1/12)#exit
switch(config)#interface ethernet 1/1/1-10
switch(Config-Port-Range)#ip dhcp snooping action shutdown
switch(Config-Port-Range)#
```

4.16.4 DHCP Snooping 排错帮助

4.16.4.1 监控和调试信息

可以使用 debug ip dhcp snooping 命令来监控调试信息。

4.16.4.2 DHCP Snooping 排错帮助

当在使用 DHCP Snooping 功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- 检查全局 DHCP Snooping 开关是否打开；
- 如果配置 DHCP Snooping, 而 DHCP 客户端没有获取 IP 时，请检查连接 dhcp server/relay 的端口是否已配置成信任端口。

4.17 DHCP option 60 和 option 43

4.17.1 DHCP option 60 和 option 43 介绍

DHCP 服务器解析来自 DHCP 客户端的 DHCP 报文，若报文中包含 option 60，则根据该 option 60 的内容以及 DHCP 服务器地址池中对 option 60 和 option 43 的配置来判断返回 option 43 给 DHCP 客户端。

在 DHCP 服务器地址池模式下配置相应的 option 60 和 option 43。

1. 地址池中同时配置了 option 60 和 option 43，若收到来自 DHCP 客户端的 DHCP 报文中可以解析到 option 60，与 DHCP 服务器地址池中的 option 60 比较，若匹配则返回该地址池中配置的 option 43 给 DHCP 客户端，若不匹配则不返回 option43 给 DHCP 客户端

2. 地址池中仅配置了 option 43 选项，则默认匹配任何内容的 option 60，若收到的来自 DHCP 客户端的 DHCP 报文中可以解析到 option 60，直接返回地址池中配置的 option 43 给 DHCP 客户端

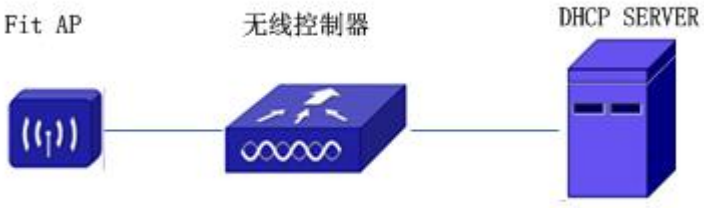
3. 地址池中仅配置了 option 60 选项，则不会返回 option 43 给 DHCP 客户端

4.17.2 DHCP option 60 和 option 43 配置任务序列

1. DHCP option 60 和 option 43 基本功能配置

命令	解释
地址池配置模式下	
option 60 ascii LINE	在 ip dhcp pool 模式下以 ascii 格式配置 option 60 字符串。
option 43 ascii LINE	在 ip dhcp pool 模式下以 ascii 格式配置 option 43 字符串。
option 60 hex WORD	在 ip dhcp pool 模式下以 hex 格式配置 option 60 字符串。
option 43 hex WORD	在 ip dhcp pool 模式下以 hex 格式配置 option 43 字符串。
option 60 ip A.B.C.D	在 ip dhcp pool 模式下以 IP 格式配置 option 60 字符串。
option 43 ip A.B.C.D	在 ip dhcp pool 模式下以 IP 格式配置 option 43 字符串。
no option 60	在地址池模式下删除配置的 option 60。
no option 43	在地址池模式下删除配置的 option 43。

4.17.3 DHCP option 60 和 option 43 举例



/

图 3-19 DHCP option 60 和 option 43 功能典型组网图

Fit AP 通过 DHCP server 获取 IP 地址、option 43 属性(此属性中携带无线控制器的 IP 地址信息)，然后向无线控制器发送单播发现请求。DHCP SERVER 通过配置匹配 fit ap 中的 option 60 选项来返回 option 43 属性给 FIT AP。DHCP option 43 携带的无线控制器地址为 192.168.10.5 和 192.168.10.6。

DHCP Server 配置

配置步骤：

配置 DHCP server

switch(config)#ip dhcp pool a

switch (dhcp-a-config)#option 60 ascii AP1000

switch (dhcp-a-config)#option 43 hex 0104C0A80A050104C0A80A06

4.17.4 DHCP option 60 和 option 43 排错帮助

当配置 DHCP option 60 和 option 43 功能出现问题时，请检查是否是如下原因：
是否开启 service dhcp 功能
地址池中若配置了 option 60，是否与报文中的 option 60 匹配

第 5 章 路由协议相关操作

5.1 路由协议概述

在 Internet 中，一台主机为了访问远端的另一台主机，必须通过一系列路由器或三层交换机选择一条合适的路径。

路由器或三层交换机都是通过 CPU 来计算路径，不同的是三层交换机将计算出来的路径添加到交换芯片中，由芯片进行线速转发；而路由器是将计算出来的路径保存在路由表和路由缓存区中，由 CPU 负责数据转发。可见，路由器和三层交换机都可以进行路径的选择，而三层交换机在数据转发上有比较强大的优势。下面简单描述一下三层交换机的路径选取的基本原理和方法。

在路径选取过程中，每台三层交换机只负责根据收到数据包的目的地址来选择一条合适的中间路径，然后将数据包传送给下一个三层交换机，直至路径上的最后一台三层交换机将数据包传送给目的主机。每台三层交换机所完成的将数据包传送到下一个三层交换机而选择的路径，就被称作路由。路由可以分为直连路由、静态路由和动态路由等几种。

直连路由是指到与该三层交换机直接相连网络的路径，三层交换机不用计算就可以获得。

静态路由是指人为指定的到某个网络或特定主机的路径，静态即不能随意更改。静态路由的优点是简单易配、稳定、限制非法的路由改变，便于实现负载分担，便于实现路由备份。但是，因为是人为设置，对于大型网络需要设置的路由过于庞大和复杂，因此不适用于中大型网络。

动态路由是指三层交换机根据启动的路由协议动态计算到某个网络或特定主机的路径。如果路径中下一跳三层交换机不可达，三层交换机能够自动丢弃通过该三层交换机的路径，选择通过其它三层交换机的路径。

动态路由协议一般分为两类：内部网关路由协议（IGP）和外部网关路由协议（EGP）。内部网关路由协议（IGP）是用来计算到某个自治系统内目的路由的协议。三层交换机支持的内部网关动态路由协议有 RIP 和 OSPF 路由协议，可以根据需要配置 RIP 和 OSPF 路由协议。三层交换机支持同时运行多个内部网关动态路由协议，也可以在某个动态路由协议中重新引入其它动态路由协议和静态路由从而将多个路由协议联系起来。

外部网关路由协议是用来在不同自治系统之间交换路由信息，比如 BGP 协议。目前，本公司三层交换机支持的外部网关路由协议有 BGP-4、BGP4+等。

5.1.1 路由表

如前所述，三层交换机主要用于建立当前三层交换机到达某个网络或特定主机的路由，并根据路由转发数据包。每台三层交换机都建立有一张路由表，记录着该三层交换机使用的所有路由。路由表中每条路由项都指明了数据包到某子网或主机应该通过三层交换机的哪个

物理端口发送，方可达到目的主机或到目的主机路径的下一台三层交换机。

路由表中包含下列一些主要的内容：

目的地址：用于标识 IP 数据包的目的地址或目的网络

网络掩码：与目的地址一起标识目的主机或三层交换机所在网段的网段地址。网络掩码由若干个连续的“1”构成，通常以点分十进制标识（一般为 1 到 4 个 255 组成的地址）。将目的地址和网络掩码“与”后，可以得到到目的主机或三层交换机所在网段的网络地址。例如，目的地址为 200.1.1.1，掩码为 255.255.255.0 的主机或三层交换机所在网段的网络地址为 200.1.1.0。

输出接口：指明 IP 数据包将从该三层交换机的哪个接口转发。

下一台三层交换机（下一跳）IP 地址：指明 IP 数据包将经由的下一台三层交换机。

路由项优先级：针对同一目的地，可能存在不同下一跳的若干条路由。这些路由可能是不同的动态路由协议发现的，也可能是人为配置的静态路由。优先级高的（数值小）将成为当前的最优路由。用户可以配置到同一目的地优先级不同的多条路由，三层交换机将按优先级顺序选取唯一的一条路由用于 IP 数据包转发。

为了不使路由表过于庞大，可以设置一条缺省路由。一旦查找路由表失败后，就选择缺省路由转发数据包。

三层交换机支持的各种路由协议及其发现路由的缺省优先级如下表表示：

路由协议或路由种类	优先级缺省值
直连路由	0
OSPF	110
静态路由（static）	1
RIP	120
OSPF ASE	150
IBGP	200
EBGP	20
未知路由	255

5.1.2 IP 路由策略

5.1.2.1 IP 路由策略介绍

路由器在发布与接收路由信息时，可能需要实施一些策略，以便对路由信息进行过滤，比如只接收或发布一部分满足给定条件的路由信息；一种路由协议（如 RIP） 可能需要引入（redistribute）其它的路由协议如（OSPF）发现的路由信息,从而丰富自己的路由知识；路由器在引入其它路由协议的路由信息时，可能需要只引入一部分满足条件的路由信息，并对所引入的路由信息的某些属性进行设置，以使其满足本协议的要求。

为实现路由策略，首先要定义将要实施路由策略的路由信息的特征，即定义一组匹配规则，可以以路由信息中的不同属性作为匹配依据进行设置，如目的地址、发布路由信息的路由器地址等。匹配规则可以预先设置好，然后再将它们应用于路由的发布接收和引入等过程的路由策略中。

在 DCNOS 中提供了 route-map、acl、as-path、community-list 和 ip-prefix 五种过滤器供路由协议引用，下面对各种过滤器逐个进行介绍：

1. route-map

用于匹配给定路由信息的某些属性，并在条件满足后对该路由信息的某些属性进行设置。

route-map 用于控制和改变路由信息，也可以控制路由之间的重新分配。一个 route-map 包含一系列 match 和 set 命令，match 命令指定需要满足的条件，set 命令则指明了当 match 条件匹配时要采取的相应动作。route-map 也用于控制不同路由进程之间的路由发布。route-map 还可用于策略路由，使报文选择不同的路径而非最短路径。

一组 match 和 set 子句组成一个节点，一个 route-map 可以由多个节点构成，每个节点是进行匹配测试的一个单元。节点间依据序列号 sequence-number 进行匹配。match 子句定义匹配规则，匹配对象是路由信息的一些属性。同一节点中的不同 match 子句是与的关系，只有满足节点内所有 match 子句指定的匹配条件，才能通过该节点的匹配测试。set 子句指定动作，也就是在通过节点的匹配测试后所执行的动作－对路由信息的一些属性进行设置。

一个 route-map 的不同节点间是“或”的关系，系统依次检查 route-map 的各个节点，如果通过了 route-map 的某一节点，就意味着通过该 route-map 的匹配测试，不进入下一个节点的测试。

2. 访问控制列表acl

ACL (Access Control Lists)是交换机实现的一种数据包过滤机制，通过允许或拒绝特定的数据包进出网络，交换机可以对网络访问进行控制，有效保证网络的安全运行。用户可以基于报文中的特定信息制定一组规则（rule），每条规则都描述了对匹配一定信息的数据包所采取的动作：允许通过（permit）或拒绝通过（deny）。用户可以把这些规则应用到特定交换机端口的入口或出口方向，这样特定端口上特定方向的数据流就必须依照指定的 ACL 规则进出交换机。请参考《ACL 配置》一章。

3. 前缀列表ip-prefix

前缀列表 ip-prefix 的作用类似于 acl，但比它更为灵活，且更易于为用户理解。ip-prefix 在应用于路由信息的过滤时，其匹配对象为路由信息的目的地址信息域。

一个 ip-prefix 由前缀列表名标识。每个前缀列表可以包含多个表项，每个表项可以独立指定一个网络前缀形式的匹配范围，并用一个 sequence-number 来标识，sequence-number 指明了在 ip-prefix 中进行匹配检查的顺序。

在匹配的过程中，交换机按升序依次检查由 sequence-number 标识的各个表项，只要有某一表项满足条件，就意味着通过该 ip-prefix 的过滤（不会进入下一个表项的测试）。

4. 自治系统路径信息访问列表as-path

自治系统路径信息访问列表 as-path 仅用于 BGP。BGP 的路由信息包中，包含有一自治系统路径域（在 BGP 交换路由信息的过程中，路由信息经过的自治系统路径会记录在这个域中）。as-path 就是针对自治系统路径域指定匹配条件。

as-path 的有关配置请用户参考 BGP 配置中的 ip as-path 命令。

5. 团体属性列表community-list

团体属性列表 community-list，仅用于 BGP。BGP 的路由信息包中包含一个 community 属性域，用来标识一个团体。community-list 就是针对团体属性域指定匹配条件。

community-list 有关的配置请用户参考 BGP 中的 ip community-list 命令。

5.1.2.2 IP 路由策略配置

IP 路由策略配置任务序列：

1、定义 route-map

2、定义 route-map 的 match 语句

3、定义 route-map 的 set 语句

4、定义地址前缀列表

1.定义 route-map

命令	解释
全局配置模式	
route-map <*map_name*> {deny | permit} <*sequence_num*> **no route-map <*map_name*> [{deny | permit} <*sequence_num*>]**	配置 route-map；本命令的 no 操作为删除 route-map。

2.定义 route-map 的 match 语句

命令	解释
route-map 配置模式	
match as-path <*list-name*> **no match as-path [<*list-name*>]**	匹配 BGP 路由经过的自制系统 AS 路径访问列表；本命令的 no 操作为删除匹配。
match community <*community-list-name* | ***community-list-num* > [exact-match]** **no match community [<*community-list-name* |** ***community-list-num* > [exact-match]]**	匹配一个团体属性访问列表；本命令的 no 操作为删除匹配。
match interface <*interface-name* > **no match interface [<*interface-name* >]**	按接口进行匹配；本命令的 no 操作为删除匹配。
match ip <address | next-hop> <*ip-acl-name* | *ip-acl-num* **| prefix-list *list-name*>** **no match ip <address | next-hop> [<*ip-acl-name* |** ***ip-acl-num* | prefix-list [*list-name*]>]**	对地址或下一跳进行匹配；本命令的 no 操作为删除匹配。
match metric <*metric-val* > **no match metric [<*metric-val* >]**	对路由度量值进行匹配；本命令的 no 操作为删除匹配。
match origin <egp | igp | incomplete > **no match origin [<egp | igp | incomplete >]**	对路由源进行匹配；本命令的 no 操作为删除匹配。

match route-type external <type-1 | type-2 > **no match route-type external [<type-1 | type-2 >]**	对路由类型进行匹配；本命令的 no 操作为删除匹配。
match tag <*tag-val* > **no match tag [<*tag-val* >]**	对路由 tag 进行匹配；本命令的 no 操作为删除匹配。

3.定义 route-map 的 set 语句

命令	解释
route-map 配置模式	
set aggregator as <*as-number*> <*ip_addr*> **no set aggregator as [<*as-number*> <*ip_addr*>]**	为 BGP 聚合者分配一个 AS 号；本命令的 no 操作为删除配置。
set as-path prepend <*as-num*> **no set as-path prepend [<*as-num*>]**	在 BGP 路由信息的 as-path 系列前加入指定的 AS 号；本命令的 no 操作为删除配置。
set atomic-aggregate **no set atomic-aggregate**	设置 BGP 原子聚合属性；本命令的 no 操作为删除配置。
set comm-list <*community-list-name* | *community-list-num* > delete **no set comm-list <*community-list-name* | *community-list-num* > delete**	删除 BGP 团体属性值；本命令的 no 操作为删除配置。
set community [*AA:NN*] [internet] [local-AS] [no-advertise] [no-export] [none] [additive] **no set community [*AA:NN*] [internet] [local-AS] [no-advertise] [no-export] [none] [additive]**	设置 BGP 团体属性值；本命令的 no 操作为删除配置。
set extcommunity <rt | soo> <*AA:NN*> **no set extcommunity <rt | soo> [<*AA:NN*>]**	设置 BGP 扩展团体属性；本命令的 no 操作为删除配置。
set ip next-hop <*ip_addr*> **no set ip next-hop [<*ip_addr*>]**	设置下一跳 IP 地址；本命令的 no 操作为删除配置。
set local-preference <*pre_val*> **no set local-preference [<*pre_val*>]**	设置本地优先级；本命令的 no 操作为删除配置。
set metric < *+/- metric_val* | *metric_val*> **no set metric [*+/- metric_val* | *metric_val*]**	设置路由度量值；本命令的 no 操作为删除配置。
set metric-type <type-1 | type-2> **no set metric-type [<type-1 | type-2>]**	设置 OSPF 度量类型；本命令的 no 操作为删除配置。

set origin <egp | igp | incomplete > **no set origin [<egp | igp | incomplete >]**	设置 BGP 路由源；本命令的 no 操作为删除配置。
set originator-id <*ip_addr*> **no set originator-id [<*ip_addr*>]**	设置路由起源者 ID；本命令的 no 操作为删除配置。
set tag <*tag_val*> **no set tag [<*tag_val*>]**	设置 OSPF 路由 tag 值；本命令的 no 操作为删除配置。
set vpnv4 next-hop <*ip_addr*> **no set vpnv4 next-hop [<*ip_addr*>]**	设置 BGP VPNv4 下一跳地址；本命令的 no 操作为删除配置。
set weight < *weight_val*> **no set weight [< *weight_val*>]**	设置 BGP 路由权重；本命令的 no 操作为删除配置。

4.定义地址前缀列表

命令	解释
全局配置模式	
ip prefix-list <*list_name*> description <*description*> **no ip prefix-list <*list_name*> description**	对前缀列表进行描述；本命令的 no 操作为删除配置。
ip prefix-list <*list_name*> [seq <*sequence_number*>] <deny | permit> < any | *ip_addr/mask_length* [ge *min_prefix_len*] [le *max_prefix_len*]> **no ip prefix-list <*list_name*> [seq <*sequence_number*>] [<deny | permit> < any | *ip_addr/mask_length* [ge *min_prefix_len*] [le *max_prefix_len*]>]**	配置前缀列表；本命令的 no 操作为删除配置。

5.1.2.3 配置案例

下图是由四台三层交换机组成的一个网络，本例子示范如何通过 route-map 进行 BGP 的 as_path 属性的设置。各三层交换机之间运行 BGP 协议。对 Switch3 而言，网络 192.68.11.0/24 可以通过两条路径得知，一是以 AS_PATH 1 经 IBGP 得知（经过 Switch4），二是以 AS_PATH 2 经 EBGP 得知（经过 Switch2）。BGP 优选最短路径，因此 AS_PATH 1 经 IBGP 的路径被优选。如果希望 BGP 优选路径 2，走 EBGP 路径，则可以将两个额外的 AS 路径号添加到从 Switch1 送到 Switch4 的 AS_PATH 信息中，以改变 Switch3 到达 192.68.11.0/24 的决策。

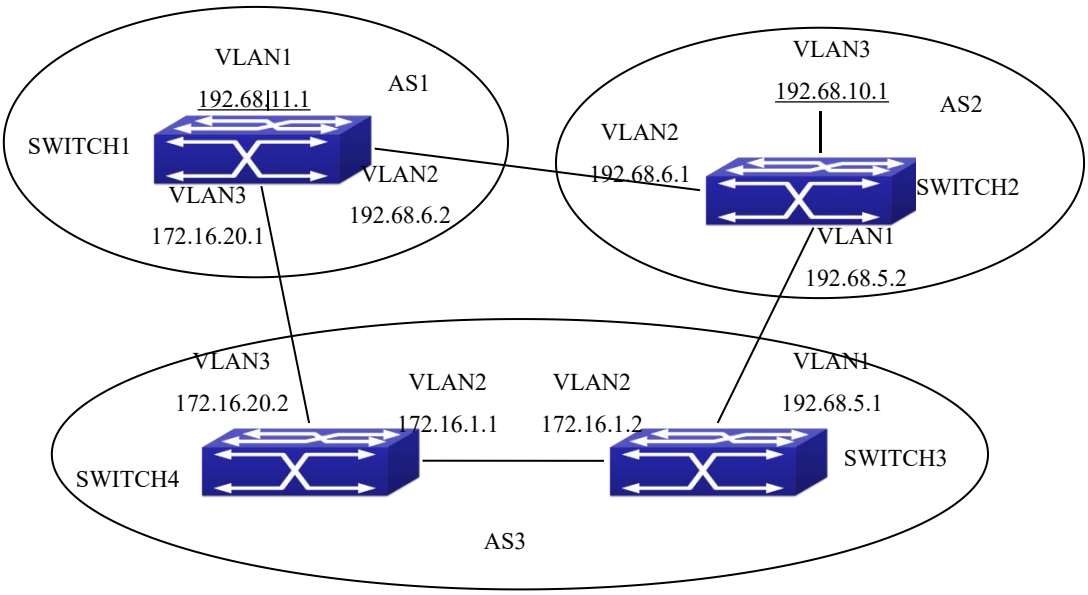


图 4-1 策略路由配置示意图

配置步骤：（此处仅列出 Switch1 的配置，其它交换机的配置省略）

三层交换机 Switch1 的配置

Switch1#config

Switch1(config)#router bgp 1

Switch1(config-router)#network 192.68.11.0 mask 255.255.255.0

Switch1(config-router)#neighbor 172.16.20.2 remote-as 3

Switch1(config-router)#neighbor 172.16.20.2 route-map AddAsNumbers out

Switch1(config-router)#neighbor 192.68.6.1 remote-as 2

Switch1(config-router)#exit

Switch1(config)#route-map AddAsNumbers permit 10

Switch1(config-route-map)#set as-path prepend 1 1

5.1.2.4 排错帮助

故障：路由协议运行正常的情况下无法实现路由信息学习

故障排除：检查如下几种错误

route-map 的各个节点中至少应该有一个节点的匹配模式是 permit 模式。当一个 route-map 用于路由信息过滤时，如果某路由信息没有通过任一节点的过滤，则认为该路由信息没有通过该 route-map 的过滤。当 route-map 的所有节点都是 deny 模式时，所有路由信息都不会通过该 route-map 的过滤。

地址前缀列表的各个表项中至少应该有一个表项的匹配模式是 permit 模式。deny 模式的表项可以先被定义，以快速的过滤掉不符合条件的路由信息。但如果所有表项都是 deny 模式，则任何路由都不会通过该地址前缀列表的过滤。可以在定义了多条 deny 模式的表项后定义一条 permit 0.0.0.0/0 le 32 的表项，以允许其它所有路由信息通过。如果不指定 less-equal 32 将只匹配缺省路由。

5.2 静态路由

5.2.1 静态路由介绍

如前所述，静态路由是指人为指定的到某个网络或特定主机的路径。静态路由的优点是简单易配、稳定、能够禁止非法的路由改变，同时便于实现负载分担和路由备份。但是，它也存在许多缺点。静态路由是静态的，一旦网络发生故障不能自动修改路由，必须人为参与配置，不适用于中大型网络。

静态路由主要应用于两种情况：1）对于稳固的网络，为减少路由选择和路由数据流的负载，可使用静态路由。例如，到 STUB 网络的路由可采用静态路由。2）为实现路由备份，可以使用静态路由（在备份线路配置静态路由，路由优先级低于主线路）。

静态路由与动态路由可以同时存在，三层交换机根据路由协议优先级的不同，选用优先级最高的路由。同时，在动态路由中也可以通过重新引入静态路由的方式（redistribute），将静态路由加入到动态路由中，并根据需要改变引入静态路由的优先级。

5.2.2 缺省路由介绍

缺省路由也是一种静态路由，它是在没有找到任何匹配路由时才使用的路由。在路由表中，缺省路由的表示形式为目的地址为 0.0.0.0，网络掩码也为 0.0.0.0 的路由。如果路由表中没有数据包所要到达的目的地，也没有缺省路由，则丢弃该数据包，并向源地址返回一个 ICMP 数据报指出此目的地址或网络的不可达。

5.2.3 静态路由配置

静态路由配置任务序列：

1. 静态路由配置
2. VRF 配置

1.静态路由配置

命令	解释
全局配置模式	
ip route {*<ip-prefix>* *<mask>* | *<ip-prefix>*/*<prefix-length>*} {*<gateway-address>* | *<gateway-interface>*} [*<distance>*] **no ip route {*<ip-prefix>* *<mask>* | *<ip-prefix>*/*<prefix-length>*} [*<gateway-address>* | *<gateway-interface>*] [*<distance>*]**	配置静态路由；本命令的 no 操作为删除静态路由。

2. **VRF 配置**

命令	解释
全局配置模式	
ip route vrf <name> {*<ip-prefix>* <mask>|<ip-prefix/<prefix-length>} {<gateway-address>|<gateway-interface>} [<distance>] **no ip route vrf <name> {<ip-prefix> <mask>|<ip-prefix/<prefix-length>} [<gateway-address>|<gateway-interface>] [<distance>]**	配置静态路由；本命令的 no 操作为删除静态路由。

5.2.4 配置案例

下图是由三台三层交换机组成的一个简单的网络，各三层交换机和 PC 机 IP 地址的网络掩码均为 255.255.255.0， Switch-1 与 Switch-3 之间都通过配置静态路由以使 PC1 和 PC3 之间进行通信，PC3 到 PC2 之间的通信通过在 Switch-3 上配置到 Switch-2 的静态路由来实现，PC2 到 PC3 之间的通信通过在 Switch-2 上配置缺省路由来实现。

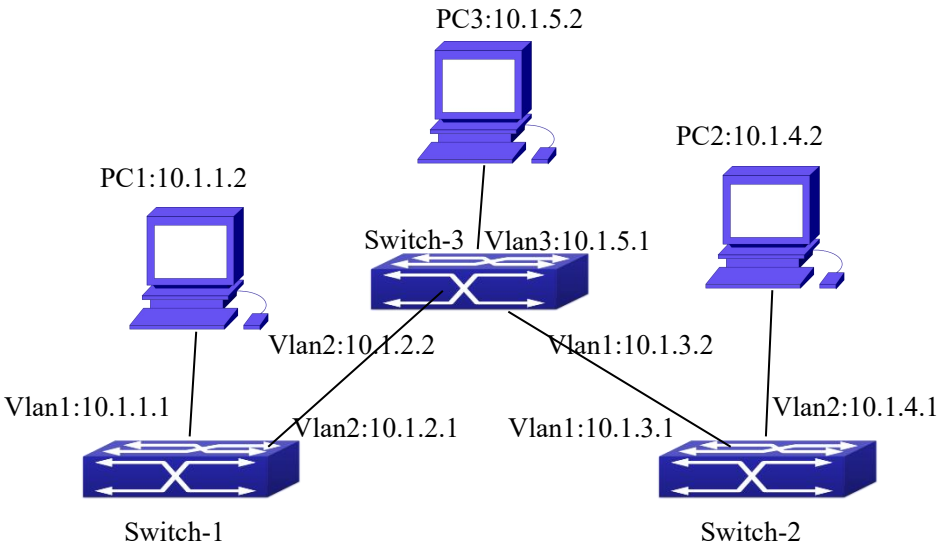


图 4-2 静态路由示意图

配置步骤：

三层交换机 Switch-1 的配置

Switch#config

Switch(config)#ip route 10.1.5.0 255.255.255.0 10.1.2.2

三层交换机 Switch-3 的配置

Switch#config

下一跳采用对端 IP 地址

Switch(config)#ip route 10.1.1.0 255.255.255.0 10.1.2.1

下一跳采用对端 IP 地址

Switch(config)#ip route 10.1.4.0 255.255.255.0 10.1.3.1

三层交换机 Switch-2 的配置

Switch#config

Switch(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 10.1.3.2

这样，PC1 与 PC3、PC2 与 PC3 之间都可以 PING 通。

5.3 RIP

5.3.1 RIP 介绍

RIP协议最早在ARPANET网络中使用，专门用于小型简单网络中。RIP协议是基于Bellman-Ford算法的距离向量路由协议。运行距离向量协议的网络设备定期向相邻设备发送两种信息：

- 到达目的网络所经过的跳数，即使用的度（metric），或者通过网络的数量。
- 下一跳是什么，或者达到目的网络要使用的方向（向量）。

距离向量三层交换机定期向相邻的三层交换机发送它们的整个路由选择表。三层交换机在从相邻三层交换机接收到的信息的基础之上建立自己的路由选择信息表。然后，将信息传递到它的相邻三层交换机。结果是路由选择表是在第二手信息的基础上建立的，距离代价超过15跳的路由将被视为不可达。

RIP协议是可选路由协议，它是基于UDP的协议，使用RIP的每个主机在UDP的520端口上发送和接收数据报。所有运行RIP协议的三层交换机，每隔30秒向所有邻居三层交换机发送路由表更新信息。如果180秒内没有收到来自对端的信息，那么认为该设备崩溃或相连的网络不可达。但到该三层交换机的路由还将在路由表中保持120秒，然后才被删除。

由于运行RIP协议的三层交换机使用第二手信息建立路由表，因此至少会遇到一个问题——无穷记数问题。对于一个运行RIP路由协议的网络，当某条RIP路由变为不可达，RIP三层交换机通常不会立刻发送路由更新报文，而是等待到达周期更新时间间隔（每30秒）时才发送有该路由信息的更新数据报。如果在没有收到更新报文之前，邻居向该三层交换机发送了一个包含邻居三层交换机自身路由表信息的数据报，那么会引起“无穷记数”现象，即出现到不可达三层交换机的路由选择度量固定递增的现象。这大大影响了路由选择、路由汇聚时间。

为了避免“无穷记数”现象，RIP 协议提供了“水平分割”和“触发更新”等机制来解决路由循环问题。“水平分割”的原理是避免向网关发送从该网关学习到的路由，它包括“简

单水平分割”——删除从邻居网关学习到的、将发送给该邻居网关的路由，和“逆向毒性水平分割”——不但在更新包中删除上述路由，而且将这些路由的代价设置为无穷。“触发更新”机制定义无论网关何时改变路由度量，都立即更新数据报并以广播形式发送出去，而不考虑 30 秒更新定时器的状态。

RIP 协议包含版本 1 和版本 2 两个版本：RFC1058 中介绍了 RIP-I 协议；RFC2453 中介绍了 RIP-II 协议，同时兼容 RFC1723 和 RFC1388。RIP-I 采用发送广播数据报的方式发送路由更新数据报，它不支持子网掩码和认证。RIP-I 的数据报中有一些域是不使用的，要求保证是全“0”，因此如果使用 RIP-I 应该进行全“0”域检查，如果这些域非“0”则丢弃此 RIP-I 数据报。RIP-II 版本比 RIP-I 版本完善，它采用发送组播数据报的方式发送路由更新数据报（组播地址为 224.0.0.9），它增加了子网掩码域和 RIP 验证域（支持简单明文密码和 MD5 密码验证），支持可变长子网掩码。RIP-II 使用了 RIP-I 中的部分全“0”域，因此无需进行全“0”域检查。三层交换机缺省情况下是组播发送 RIP-II 数据报，接收 RIP-I 和 RIP-II 数据报。

每个运行 RIP 协议的三层交换机都有一个路由数据库，数据库中包含了该三层交换机所有可达目的地的路由项，并以此建立路由表。当 RIP 三层交换机向其相邻设备发送路由更新数据报时，路由更新数据报中包含了该三层交换机依据路由数据库建立的整个路由表。因此，对于较大的网络系统，每台三层交换机需要传输和处理的路由数据量很大、负担重，从而大大影响网络性能。

同时，RIP 协议支持将其它路由协议发现的路由信息引入到路由表中。也可以在 PE 路由器上作为与 CE 交换路由信息的协议，支持 VPN 路由/转发实例。

RIP 协议运行过程描述如下：

1. 启动 RIP，以广播形式向其相邻三层交换机发送请求数据报，相邻设备收到请求数据报后，响应该请求，并回送包含本地路由信息的响应数据报。
2. 三层交换机接收到响应数据报后，修改本地路由表，同时向相邻设备发送触发更新数据报，广播路由更新信息。相邻三层交换机接收到触发更新数据报之后，向其相邻的三层交换机发送触发更新数据报。经过一连串触发更新报的广播之后，各三层交换机都得到并保持最新的路由信息。

同时，RIP 三层交换机每隔 30 秒向其相邻设备广播本地路由表。相邻设备在接收到数据报之后，对本地路由进行维护，选择出最佳路由并向其各自的设备广播更新信息，使更新的路由最终达到全局有效。另外，RIP 采用超时机制对过时的路由进行超时处理，即三层交换机在一定时间间隔内（invalid 定时器间隔）没有收到来自某邻居的周期更新数据报，则认为来自该三层交换机的路由为无效路由，然后该路由再在路由表中保留一定时间间隔（holddown 定时器间隔），最后删除该路由。

5.3.2 RIP 配置

RIP 配置任务序列：

1. 启动 RIP 协议（必须）

（1）启动 RIP 模块/关闭 RIP 模块

（2）配置运行 RIP 协议的网段

2. 配置 RIP 协议参数（可选）

（1）配置 RIP 发包机制

1）配置 RIP 数据报的定点发送

2）配置 RIP 接口广播

（2）配置 RIP 路由参数

1）配置引入路由（缺省路由权值、配置 RIP 中引入其它协议的路由）

2）配置接口的验证模式及密码

3）配置路由偏移

4）配置应用路由过滤

5）配置水平分割

（3）配置 RIP 协议其它参数

1）配置 RIP 路由管理距离

2）配置路由表中 RIP 路由的数目限制

3）配置 RIP 更新、超时、抑制等计时器时间

4）配置 RIP UDP 接收缓冲区大小

3. 配置 RIP-I/RIP-II 模式切换

（1）配置所有接口使用的 RIP 版本

（2）配置接口发送/接收的 RIP 版本

（3）配置接口是否发送/接收 RIP 数据报

4. 删除 RIP 路由表中的特定路由

7. 配置 RIP 的 VRF 地址族模式

（1）启动 RIP 模块/关闭 RIP 模块

（2）引用 VRF 地址族

1. 启动 RIP 协议

在 DCNOS 中运行 RIP 路由协议的基本配置很简单，通常只需打开 RIP 开关、并且配置运行 RIP 的网段，即按 RIP 缺省配置发送和接收 RIP 数据报。如果需要可以切换发送、接收 RIP 数据报的版本，允许/禁止发送、接收 RIP 数据报，参考 3。

命令	解释
全局配置模式	
router rip **no router rip**	打开 RIP 协议；本命令的 no 操作关闭 RIP 协议。
路由器与地址族配置模式	
network <*A.B.C.D/M* | *ifname* |*vlan*> **no network <*A.B.C.D/M* | *ifname* |*vlan*>**	设定运行 RIP 协议的网段；本命令的 no 操作为删除运行 RIP 协议的网段。

2. 配置 RIP 协议参数

（1）配置 RIP 发包机制

1）配置 RIP 数据报的定点发送

2）配置 RIP 接口广播

命令	解释
路由器配置模式	
neighbor <*A.B.C.D*> **no neighbor <*A.B.C.D*>**	指定需要定点发送的邻居路由器的 IP 地址；本命令的 no 操作取消指定的路由器。
passive-interface<*ifname*|*vlan*> **no passive-interface<*ifname*|*vlan*>**	指示 RIP 三层交换机在指定的接口上阻塞 RIP 广播，只能向配置了 neighbor 的三层交换机之间发送 RIP 数据包。本命令的 no 操作取消该功能。

（2）配置 RIP 路由参数

1）配置引入路由（缺省路由权值、配置 RIP 中引入其它协议的路由）

命令	解释
路由器配置模式	
default-metric <*value*> **no default-metric**	设定引入路由的缺省路由权值；本命令的 no 操作恢复缺省设置 1。
redistribute {kernel |connected| static| ospf| isis| bgp} [metric<value>] [route-map<word>] **no redistribute {kernel |connected| static| ospf| isis| bgp} [metric<value>] [route-map<word>]**	在 RIP 数据报中引入从其它路由协议引入的路由；本命令的 no 操作取消引入的相应协议的路由。
default-information originate **nodefault-information originate**	产生一条默认路由到 RIP 协议中；no 操作取消该特性。

2）配置接口的认证模式及密码

命令	解释
接口配置模式	
ip rip authentiaction mode { text| md5| sm3} **no ip rip authentication mode [text| md5| sm3]**	设置认证使用的类型；本命令的 no 操作设置为取消该认证操作。
ip rip authentication string <*text*> **no ip rip authentication string**	设置认证使用的密钥；本命令的 no 操作不使用密匙。

ip rip authentication key-chain <*name-of-chain*> **no ip rip authentication key-chain [<*name-of-chain*>]**	设置认证使用的密钥链，本命令的 no 操作不使用密匙链。
ip rip authentication cisco-compatible **no ip rip authentication cisco-compatible**	配置本命令后，在配置了明文认证或者 MD5 认证的情况下，可以接收 cisco 的 RIP 报文，no 命令恢复缺省配置。
全局模式	
key chain <*name-of-chain*> **no key chain < *name-of-chain* >**	进入 keychain 模式，并且配置一个 key chain;本命令的 no 操作删除该 key chain。
Keychain模式	
key <*keyid*> **no key <*keyid*>**	进入 keychain-key 模式，并且配置 key chain 中的一个 key;；本命令的 no 操作删除一个 key。
Keychain-key模式	
key-string <*text*> **no key-string <*text*>**	配置被 key 用的密码；本命令的 no 操作删除该密码。
accept-lifetime <*start-time*> {<*end-time*>| duration<*seconds*>| infinite} **no accept-lifetime**	配置 key chain 上的一个 key 接受为合法的时间；no 操作删除它。
send-lifetime <*start-time*> {<*end-time*>| duration<*seconds*>| infinite} **no send-lifetime**	配置 key chain 上的一个 key 可以发送的时间；no 操作删除 send-lifetime。

3）配置路由偏移

命令	解释
路由器配置模式	
offset-list <access-list-number |access-list-name> {in|out }<number >[<ifname>] **no offset-list <access-list-number |access-list-name> {in|out }<number >[<ifname>]**	设定接口发送和接收 RIP 数据报时给路由的度量一个偏移量;本命令的 no 操作移去偏移列表。

4）配置应用路由过滤

命令	解释
路由器配置模式	

distribute-list {< ***access-list-number*** **|*access-list-name* >|prefix<*prefix-list-name*>}{in|out} [<*ifname*>]** **no distribute-list {<** ***access-list-number*** **|*access-list-name* >|prefix<*prefix-list-name*>}{in|out} [<*ifname*>]**	配置应用访问列表和前缀列表来过滤路由。本命令的 no 操作配置不使用访问列表和前缀列表。

5）配置水平分割

命令	解释
接口配置模式	
ip rip split-horizon [poisoned] **no ip rip split-horizon**	配置接口发送数据报时进行水平分割操作，poisoned 表示带逆向毒化。No 操作取消水平分割操作

（3）配置 RIP 协议其它参数

1）配置 RIP 路由优先级

2）配置路由表中 RIP 路由的数目限制

3）配置 RIP 更新、超时、抑制等计时器时间

4）配置 RIP UDP 接收缓冲区大小

命令	解释
路由器配置模式	
distance <*number*> [<*A.B.C.D/M*>] [<*access-list-name*|*access-list-number* >] **no distance [<*A.B.C.D/M*>]**	指定 RIP 协议的路由管理距离；本命令的 no 操作恢复缺省值 120。
maximum-prefix <*maximum-prefix*>[<*threshold*>] **no maximum-prefix <*maximum-prefix* >** **no maximum-prefix**	配置路由表中 RIP 路由的最大条数；本命令的 no 操作取消对路由条数的限制。
timers basic <*update*> <*invalid*> <*garbage*> **no timers basic**	调整 RIP 计时器更新、期满、垃圾收集的时间；本命令的 no 操作回复缺省设置。
recv-buffer-size <*size*> **no recv-buffer-size**	本命令配置 RIP 的 UDP 接收缓冲区大小；no 操作恢复系统缺省值。

3. 配置 RIP-I/RIP-II 模式切换

（1）配置所有接口使用的 RIP 版本

命令	解释

RIP 协议配置模式	
version { 1 | 2 } **no version**	设置所有三层交换机接口发送/接收 RIP 数据报的版本；no 操作恢复缺省设置，即版本 2。

（2）配置接口发送/接收的 RIP 版本

（3）配置接口是否发送/接收 RIP 数据报

命令	解释
接口配置模式	
ip rip send version { 1 | 1-compatible | 2 } **no ip rip send version**	设置接口发送 RIP 数据报版本；本命令的 no 操作设置接口使用 version 命令设置的版本。
ip rip receive version {1 | 2 | } **no ip rip receive version**	设置接口接收 RIP 数据报版本；本命令的 no 操作设置接口使用 version 命令设置的版本。
ip rip receive-packet **no ip rip receive-packet**	设定在接口上接收 RIP 数据报；本命令的 no 操作关闭本接口的 RIP 数据报接收。
ip rip send-packet **no ip rip send-packet**	设定在接口上发送 RIP 数据报；本命令的 no 操作关闭本接口的 RIP 数据报发送。

4. 删除 RIP 路由表中的特定路由

命令	解释
特权配置模式	
clear ip rip route **{<*A.B.C.D/M*>|kernel|static|connected|rip|ospf|isis|bgp|all}**	本命令删除 RIP 路由表中的特定路由。

5. 配置 RIP 路由聚合

(1) 配置 IPv4 全局聚合路由

命令	解释
路由器配置模式	
ip rip aggregate-address A.B.C.D/M **no ip rip aggregate-address A.B.C.D/M**	配置或取消 IPv4 全局聚合路由。

(2) 配置 IPv4 接口聚合路由

命令	解释
接口配置模式	
ip rip aggregate-address A.B.C.D/M **no ip rip aggregate-address A.B.C.D/M**	配置或取消 IPv4 接口聚合路由。

(3) 显示 IPv4 聚合路由信息

命令	解释

特权模式和配置模式	
show ip rip aggregate	显示聚合路由信息。

6．配置 RIP 引入不同进程 OSPF 路由

（1）启动 RIP 引入不同进程 OSPF 路由功能

命令	解释
Router rip 配置模式	
redistribute ospf [<*process-id*>] [metric<*value*>] [route-map<*word*>] **no redistribute ospf [<*process-id*>]**	启动或者关闭 RIP 引入其他 OSPF 进程路由功能。

（2）显示和调试 RIP 引入不同进程 OSPF 路由功能相关信息

命令	解释
特权和配置模式	
show ip rip redistribute	显示 RIP 进程引入其它外部路由的配置信息。
特权模式	
debug rip redistribute message send **no debug rip redistribute message send** **debug rip redistribute route receive** **no debug rip redistribute route receive**	打开或关闭 RIP 引入其他 OSPF 进程路由的命令下发调试开关。 打开或关闭 RIP 进程收到 nsm 发来的路由信息的调试开关。

7. 配置 RIP 的 VRF 地址族模式

命令	解释
Router RIP 配置模式	
address-family ipv4 vrf <*vrf-name*> **no address-family ipv4 vrf <*vrf-name*>**	本命令为配置在PE路由器上的VRF配置RIP地址族。No操作删除配置的地址族。
地址族配置模式	
exit-address-family	本命令退出地址族模式。

5.3.3 RIP 案例

5.3.3.1 RIP 典型案例

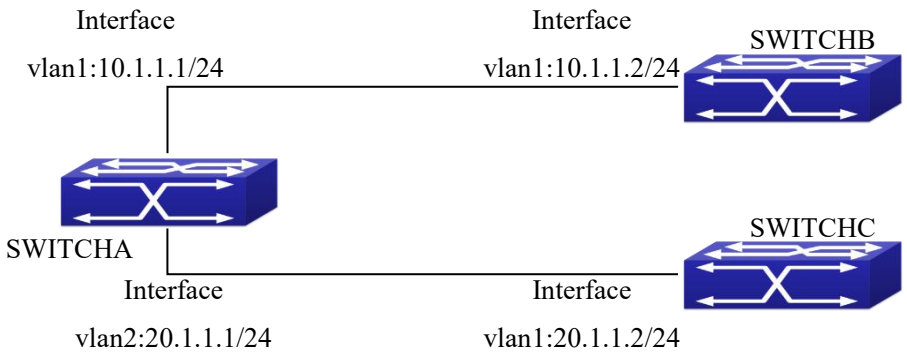


图 4-3 RIP 案例

图 3-1 为三台三层交换机组成的一个网络，三层交换机 SWITCHA 与三层交换机 SWITCHB 和三层交换机 SWITCHC 相连，三台三层交换机都运行 RIP 路由协议。设三层交换机 SWITCHA（interface vlan1：10.1.1.1，interface vlan2：20.1.1.1）只与三层交换机 SWITCHB（interface vlan1：10.1.1.2）交流三层交换机更新信息，而不向三层交换机 SWITCHC（interface vlan1：20.1.1.2）交流三层交换机更新信息。

三层交换机 SWITCHA、SWITCHB、SWITCHC 的配置分别如下：

a) 三层交换机 SwitchA：

配置 interface vlan1 的 IP 地址。

SwitchA#config

SwitchA(config)# interface vlan 1

SwitchA(Config-if-Vlan1)# ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

SwitchA (config-if-Vlan1)#

配置 interface vlan2 的 IP 地址

SwitchA (config)# vlan 2

SwitchA (Config-Vlan2)# switchport interface ethernet 1/1/2

Set the port Ethernet1/1/2 access vlan 2 successfully

SwitchA (Config-Vlan2)# exit

SwitchA (Config)# interface vlan 2

SwitchA (Config-if-Vlan2)# ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

启动 RIP 协议，配置 RIP 网段

SwitchA(config)#router rip

SwitchA(config-router)#network vlan 1

SwitchA(config-router)#network vlan 2

SwitchA(config-router)#exit

配置接口 interface vlan 2 不向交换机 SwitchC 发送 RIP 报文

SwitchA(config)#router rip

SwitchA(config-router)#passive-interface vlan 2

SwitchA(config-router)#exit

SwitchA (config) #

b) 三层交换机 SwitchB：

配置 interface vlan1 的 IP 地址。

SwitchB#config

SwitchB(config)# interface vlan 1

SwitchB(Config-if-Vlan1)# ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

SwitchB (Config-if-Vlan1)exit

启动 RIP 协议，配置 RIP 网段

SwitchB(config)#router rip

SwitchB(config-router)#network vlan 1

SwitchB(config-router)#exit

c) 三层交换机 SwitchC：

配置 interface vlan1 的 IP 地址。

SwitchC#config

SwitchC(config)# interface vlan 1

SwitchC(Config-if-Vlan1)# ip address 20.1.1.2 255.255.255.0

SwitchC (Config-if-Vlan1)#exit

启动 RIP 协议，配置 RIP 网段

SwitchC(config)#router rip

SwitchC(config-router)#network vlan 1

SwitchC(config-router)#exit

5.3.3.2 RIP VPN 典型案例

本产品不支持

5.3.3.3 RIP 路由聚合功能典型案例

如下图的应用环境：

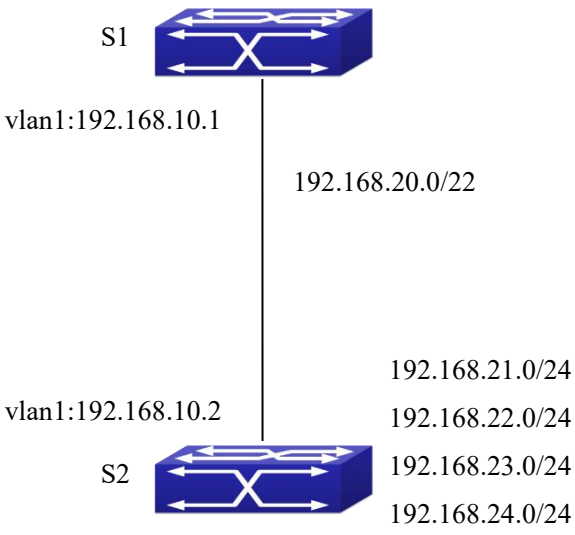


图 4-4 RIP 路由聚合典型应用环境

在上述网络拓扑图中，S2通过接口vlan1与S1相连，S2另外有四条子网路由，分别是：192.168.21.0/24，192.168.22.0/24，192.168.23.0/24，192.168.24.0/24。S2支持路由聚合，在S2的接口vlan1上配置聚合路由192.168.20.0/22后，通过vlan1给S1发送路由信息时，将四条子网路由聚合成一条聚合路由192.168.20.0/22，发送给S1，而不将子网发送给邻居。减小了S1的路由表规模，节省了内存。

S1配置序列：

S1(config)#router rip

S1(config-router) #network vlan 1

S2配置序列：

S2(config)#router rip

S2(config-router) #network vlan 1

S2(config-router) #exit

S2(config)#in vlan 1

S2(Config-if-Vlan1)# ip rip agg 192.168.20.0/22

5.3.4 RIP 排错帮助

在配置、使用 RIP 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 RIP 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后，先启动 RIP 协议（使用 router rip 命令）并且配置网段（使用 network 命令）再在相应接口配置 RIP 协议参数，如使用的是 RIP-I 还是 RIP-II 等；
- 接着，注意 RIP 协议的自身特点——RIP 三层交换机每隔 30 秒向它所有邻居三层交换机发送路由表更新信息，如果 180 秒内没有收到来自某三层交换机的信息，那么认为该三层交换机崩溃或相连的网络不可达，到该三层交换机的路由还将在路由表中保持 120 秒然后被删除。因此，如果删除某个 RIP 路由，需等待 300 秒后才能保证路由表中除去此路由项；
- 如果是在 PE 路由器上使用 RIP 协议与 CE 交换路由信息。首先应该创建相应的 VPN 路由/转发实例，将相关接口与之关联。然后进入 RIP 的地址族模式配置相应的参数如果仍无法解决 RIP 路由问题，那么请使用 debug rip 调试命令，然后将 3 分钟内的 debug 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

5.4 OSPF

5.4.1 OSPF 介绍

OSPF（Open Shortest Path First）协议即“开放最短路径优先协议”。它是一种基于链路状态的自治系统内部的动态路由协议，它通过三层交换机间交换链路状态信息来组成一个

链路状态数据库，然后基于这个数据库用最短路径优先算法生成路由表。

自治系统（AS）是一个自我管理的互连网络。在大型网络中，例如Internet，极大的互连网络被分解为自治系统。连接到Internet上的大型公司网络是独立的自治系统，因为Internet上的其他主机并不由它来管理，而且它和Internet三层交换机并不共享内部路由选择信息。

每个链路状态三层交换机可提供与其邻居三层交换机的拓扑结构的信息：

•三层交换机所连接的网段（链路）

•连接链路的状态

链路状态信息在网络上泛洪（flooding），目的是使所有的三层交换机可以接收到第一手信息。链路状态三层交换机并不会广播包含在它们的路由表内的所有信息，相反链路状态三层交换机将发送关于已经改动的链路状态信息。链路状态三层交换机将向它们的邻居发送呼叫信息建立邻接关系，然后在邻接三层交换机之间发送链路状态通告（LSA）。邻接三层交换机将LSA复制到它们的路由选择表中，并传递这些信息到网络的剩余部分。这个过程称为泛洪（flooding）。这样，实现了向网络发送第一手信息，为网络建立更新路由的准确映射。链路状态路由选择协议使用称为代价的方法（而不是使用跳）来选择路径。代价是自动或人工赋值的。根据链路状态协议的算法，代价可以计算数据包必须穿越的跳数目、链路带宽、链路上的当前负载，甚至可以由管理员加入的权重来评价。

1) 当一个链路状态三层交换机进入链路状态互连网络时，它发送一个呼叫数据包（HELLO）以了解其邻居，并建立邻接关系。

2) 邻居用关于它们所连接的链路以及相关的代价度的信息进行应答。

3) 起始的三层交换机用这个信息来建立它的路由选择表。

4) 然后，作为定期更新的一部分。三层交换机向它的邻接三层交换机发送链路状态数据包。这个LSA包括了那个三层交换机的链路及相关代价。

5) 每个邻接三层交换机复制该LSA数据包，并且将LSA传递到下一个邻居（即泛洪）。

6) 因为三层交换机并没有在向前泛洪LSA之前重新计算路由选择数据库，因此收敛时间大大减少了。

链路状态路由选择协议的一个主要优点就是不可能形成路由无穷记数，原因是链路状态协议独立建立它们自己的路由选择信息表的方式。另一个优点是，在链路状态互连网络中收敛非常快，原因是一旦路由选择拓扑出现变动，则更新在互连网络上迅速泛洪。这些优点又释放了三层交换机的资源，因为对不好的路由信息所花费的处理能力和带宽消耗都很少。

OSPF协议的特点：OSPF协议支持各种规模的网络，最多可以支持几百台三层交换机；路由拓扑结构变化后OSPF能够立即发送链路状态更新数据包，收敛迅速；OSPF根据收集到的链路状态采用最短路径算法计算路由，保证了无自环路由；OSPF将自治系统划分为多个域，减小了数据库尺寸、减少了占用网络带宽、降低了计算负担（根据三层交换机在自治系统中所处的位置可以划分为域内三层交换机、域边界三层交换机、自治系统边界三层交换机和骨干三层交换机）；OSPF支持负载分担，支持到同一目的地址的多条等价路由；OSPF支持4级路由机制（按域内路由、域间路由、第一类外部路由和第二类外部路由顺序分级处理路由）；OSPF协议支持IP子网、支持与其他路由协议的路由的引入、支持基于接口的报文验证；OSPF支持组播发送数据包。

每个OSPF三层交换机都维护着一份描述整个自治系统拓扑结构的数据库。每一台三层交换机都搜集本地状态的信息，如可用接口信息，可达邻居信息，然后通过使用链路状态通告（即向外发送链路状态信息），本三层交换机与其他OSPF三层交换机交换链路状态信息，从而形成描述整个自治系统的链路状态数据库。根据链路状态数据库，各三层交换机构建一棵以自己为根的最短路径树，这棵树给出了到自治系统中各节点的路由。如果存在两台或两台以上的三层交换机（即多路访问网络），该网络上要选出“指定三层交换机”和“备份指定三层交换机”，指定三层交换机负责将网络的链路状态播出去，引入这一概念，有助于减少在多路访问网络上各三层交换机之间的数据流量。

OSPF协议要求将自治系统的网络划分成区域来管理，即将自治系统划分为0域（骨干域）和非0域，区域间传送的路由信息被进一步抽象概括，从而减少了整个网络的实用带宽。OSPF使用4类不同的路由，按优先顺序来说分别是区域内路由、区域间路由、第一类外部路由和第二类外部路由。区域内和区域间路由描述的是自治系统内部的网络结构，而外部路由则描述了应该如何选择到自治系统以外的目的地。第一类外部路由对应于OSPF从其它内部路由协议所引入的信息，这些路由的开销和OSPF自身路由的开销具有可比性；第二类外部路由对应于OSPF从外部路由协议所引入的信息，它们的开销远大于OSPF自身的路由开销，所以在计算路由开销时，不考虑OSPF自身的路由开销。

OSPF的区域以Backbone（骨干区域）作为核心，该区域标识为0域，所有的其他区域都必须与0域在逻辑上相连，0域必须保证连续。为此，骨干区域上特别引入了虚连接的概念以保证即使在物理上分割的该区域仍然在逻辑上具有连通性。在同一区域内的所有三层交换机的配置要保持一致。

如上所述，LSA只能在邻接三层交换机之间进行传递，OSPF协议包括五类LSA：路由器LSA、网络LSA、到其它域所在网络的汇总LSA、到自治系统边界三层交换机的汇总LSA和自治系统外部LSA。它们也可分别叫做类型1LSA、类型2LSA、类型3LSA、类型4LSA和类型5LSA。路由器LSA由OSPF域内的每个三层交换机产生，并发送给域内所有其它邻接三层交换机；网络LSA是由多路访问网络所在OSPF域的指定三层交换机产生的（为减少多路访问网络上各三层交换机之间的数据流量，多路访问网络中需要选出“指定三层交换机”和“备份指定三层交换机”，由指定三层交换机负责将网络的链路状态播出去），并发送给域内所有其它邻接三层交换机；汇总LSA由OSPF域边界三层交换机产生，并在域边界三层交换机之间传送；自治系统外部LSA由自治系统外部边界三层交换机产生，并在整个自治系统内传递。

对于以外部链路状态通告为主的自治系统，为减少拓扑数据库的尺寸，OSPF允许将某些域配置成STUB域。类型4LSA（ASBR汇总LSA）和类型5LSA（AS外部LSA）等两种LSA不允许泛滥进入/通过STUB域。STUB域内必须使用缺省路由，STUB域的域边界三层交换机通过汇总类型3LSA来通告到STUB域的缺省路由；这些缺省路由只在STUB内泛滥，不泛滥到STUB域之外。每个STUB域对应一条缺省路由，STUB域到AS外部目的地的路由只依赖该域的缺省路由。

OSPF协议路由的简单计算过程如下：

- 每个支持 OSPF 协议的三层交换机都维护着一个描述整个自治系统拓扑结构的链路状态数据库（即 LS 数据库）。每个三层交换机根据自己周围的网络拓扑结构生成

一条链路状态通告（即路由器 LSA），通过相互之间发送链路状态更新包（LSU）将各自的 LSA 发送给网络中的其它三层交换机。这样，每台三层交换机都收到了其它三层交换机的 LSA，所有 LSA 在一起便形成了链路状态数据库。

- 由于一条 LSA 是对该三层交换机周围网络拓扑结构的描述，那么 LS 数据库则是对整个网络的拓扑结构的描述。三层交换机很容易根据 LS 数据库建立一张带权有向图，显然自治系统内的所有三层交换机都将得到一张相同的网络拓扑图。
- 每台三层交换机都使用最短路径 SPF 算法计算出一棵以自己为根的最短路径树，该树给出了到自治系统中各个节点的路由，外部路由信息为叶子节点，外部路由可根据广播它的三层交换机进行标记以记录关于自治系统的额外信息。由此可见，各个三层交换机得到的路由表是不同的。

OSPF 协议是 IETF 组织开发的，目前广泛使用的是 OSPFv2 版本是参照 RFC2328 中描述的内容实现的。

5.4.2 OSPF 配置

三层交换机的 OSPF 配置有自身的特点，简单说分两步：1、在全局使能 OSPF；2、配置接口所属的区域。配置任务序列如下：

5.4.2.1 启动 OSPF 协议（必须）

（1）启动/关闭 OSPF 协议（必须）

（2）配置运行 OSPF 三层交换机的 ID 号（可选）

（3）配置运行 OSPF 的网络范围（可选）

（4）配置接口所属的域（必须）

5.4.2.1.1 配置 OSPF 辅助参数（可选）

（1）配置 OSPF 发包机制参数

1）配置 OSPF 数据包的验证

2）配置 OSPF 接口为只收不发

3）配置接口发送数据包的代价

4）配置 OSPF 发包定时器参数（广播接口轮询发送 HELLO 数据包的定时器、邻接三层交换机失效定时器、接口传送 LSA 时延定时器、邻接三层交换机重传 LSA 定时器）

（2）配置 OSPF 引入路由参数

1）配置引入外部路由的缺省参数（缺省类型、缺省标记值、缺省代价值）

2）配置在 OSPF 中引入其它协议的路由

（3）配置 OSPF 引入其他 OSPF 进程路由功能

1) 启动 OSPF 引入其他 OSPF 进程路由功能

2) 显示相关配置信息

3）调试

（4）配置 OSPF 协议其它参数

1）配置 OSPF 路由协议优先级

2）配置 OSPF STUB 域及缺省路由的代价

3）配置 OSPF 虚链路

4）配置接口在选举指定三层交换机 DR 中的优先级

5）配置打开/关闭记录 OSPF 邻居状态变化日志功能

6）过滤 OSPF 计算得到的路由

1. 关闭 OSPF 协议

1. 启动 OSPF 协议

在三层交换机上运行 OSPF 路由协议的基本配置也很简单，通常只需打开 OSPF 开关、配置接口所在 OSPF 域即可，OSPF 协议的参数都使用缺省值。如需修改 OSPF 协议参数值，参看 2.配置 OSPF 辅助参数。

命令	解释
全局配置模式	
[no] router ospf [process *<id>*] [VRF Name]	启动 OSPF 协议进程，本命令的 no 操作关闭 OSPF 协议。（必须）
OSPF 协议配置模式	
router-id *<router_id>* **no router-id**	配置运行 OSPF 协议三层交换机的 ID 号；本命令的 no 操作取消三层交换机的 ID 号。缺省为选择某个接口的 IP 地址作为三层交换机 ID。（可选）
[no] network {*<network>* *<mask>* | *<network>/<prefix>*} area *<area_id>*	配置某个网段属于某个区域，本命令的 no 操作为取消该配置。（必须）

5.4.2.2 配置 OSPF 辅助参数

（1）配置 OSPF 发包机制参数

1）配置 OSPF 数据包的验证

2）配置 OSPF 接口为只收不发

3）配置接口发送数据包的代价

命令	解释
接口配置模式	
ip ospf authentication { message-digest | null}[md5|sm3] **no ip ospf authentication**	配置接口接受 OSPF 数据包所需要的验证方式本命令的 no 操作恢复为缺省值。

**ip ospf [<*ip-address*>] authentication-key <*0 LINE	7 WORD	LINE*>** **no ip ospf [<*ip-address*>] authentication**	指定接口上发送和接受 OSPF 报文所需要的验证密钥。本命令的 no 操作为取消验证密钥。
[no] passive-interface <*ifname*> [<ip-address>]	配置在特定接口上不发送 hello 分组，本命令的 no 操作取消该功能。
ip ospf cost <*cost*> **no ip ospf cost**	指定接口运行 OSPF 协议所需的代价；本命令的 no 操作恢复代价的缺省值。

4）配置 OSPF 发包定时器参数（广播接口轮询发送 HELLO 数据包的定时器、邻接三层交换机失效定时器、接口传送 LSA 时延定时器、邻接三层交换机重传 LSA 定时器）

命令	解释
接口配置模式	
ip ospf hello-interval <*time*> **no ip ospf hello-interval**	配置接口周期发送 HELLO 数据包的时间间隔；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
ip ospf dead-interval <*time* > **no ip ospf dead-interval**	配置认定相邻三层交换机失效的时间间隔；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
ip ospf transit-delay <*time*> **no ip ospf transit-delay**	设置在接口上传送链路状态广播的时延值；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
ip ospf retransmit <*time*> **no ip ospf retransmit**	配置接口与邻接三层交换机之间传送链路状态通告时的重传间隔；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

（2）配置 OSPF 引入路由参数

配置在 OSPF 中引入其它协议的路由

命令	解释
OSPF 协议配置模式	
**redistribute { bgp	connected	static	rip	isis	kernel} [metric-type { 1	2 }] [tag <*tag*>] [metric <*cost_value*>] [router-map <*WORD*>]** **no redistribute { bgp	connected	static	rip	isis kernel }[tag <*tag*>]**	引入其他协议发现路由和静态路由作为外部路由信息；本命令的 no 操作取消引入的外部路由信息。

（3）配置 OSPF 引入其他 OSPF 进程路由功能

1) 启动 OSPF 引入其他 OSPF 进程路由功能

命令	解释

Router ospf 配置模式	
redistribute ospf [<*process-id*>] [metric<*value*>] [metric-type {1|2}][route-map<*word*>] **no redistribute ospf [<*process-id*>] [metric<*value*>] [metric-type {1|2}][route-map<*word*>]**	启动或者关闭 OSPF 引入其他 OSPF 进程路由功能。

2) 显示相关配置信息

命令	解释
特权模式或者配置模式	
show ip ospf [<*process-id*>] redistribute	显示 ospf 进程引入其它外部路由的配置信息。

3) 调试

命令	解释
特权模式	
debug ospf redistribute message send **no debug ospf redistribute message send** **debug ospf redistribute route receive** **no debug ospf redistribute route receive**	打开或关闭 ospf 进程引入其他 ospf 进程路由的命令下发调试开关。 打开或关闭 ospf 进程收到 nsm 发来的路由信息的调试开关。

（4）配置 OSPF 协议其它参数

1）配置 OSPF spf 算法时间的计算

2）配置 OSPF 链路状态数据库中 LSA 的数目限制

3）配置 OSPF 各种区域参数

命令	解释
OSPF 协议配置模式	
timers spf <*interval*> **no timers spf**	配置 OSPF 的 SPF 定时器；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
overflow database {<*max-LSA*> [hard | soft] | external <*max-LSA*> <*recover time*>} **no overflow database [external < *max-LSA* > < *recover time* >]**	配置当前 OSPF 进程数据库中 LSA 的限制；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

area <id> {authentication [message-digest] | default-cost <*cost*> | filter-list {access | prefix} <*WORD*> {in | out} | nssa [default-information-originate | no-redistribution | no-summary | translator-role] | range <*range*> | stub [no-summary] | virtual-link <*neighbor*>} **no area <id> {authentication | default-cost | filter-list {access | prefix} <*WORD*> {in | out} | nssa [default-information-originate | no-redistribution | no-summary | translator-role] | range <*range*> | stub [no-summary] | virtual-link <*neighbor*>}**	配置 OSPF 区域下的参数（STUB 域，NSSA 域和虚链路）；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

4）配置接口在选举指定三层交换机 DR 中的优先级

命令	解释
接口配置模式	
ip ospf priority <*priority*> **no ip ospf priority**	配置接口在选举“指定三层交换机”时的优先级；本命令的 no 操作为恢复优先级缺省值。

5）配置打开/关闭记录 OSPF 邻居状态变化日志功能

命令	解释
OSPF 协议配置模式	
log-adjacency-changes detail **no log-adjacency-changes detail**	设置是否记录 ospf 邻居变化的日志信息。

6）过滤 OSPF 计算得到的路由

命令	解释
OSPF 协议配置模式	
filter-policy <*access-list-name*> **no filter-policy**	使用访问列表对 OSPF 计算得到的路由进行过滤。no 命令取消路由过滤。

5.4.2.3 关闭 OSPF 协议

命令	解释
全局配置模式	
no router ospf [process <*id*>]	关闭 OSPF 路由协议。

5.4.3 OSPF 案例

5.4.3.1 OSPF 典型案例

案例一：OSPF自治系统

以五台三层交换机为例组成一个OSPF自治系统，OSPF区域划分见下图。

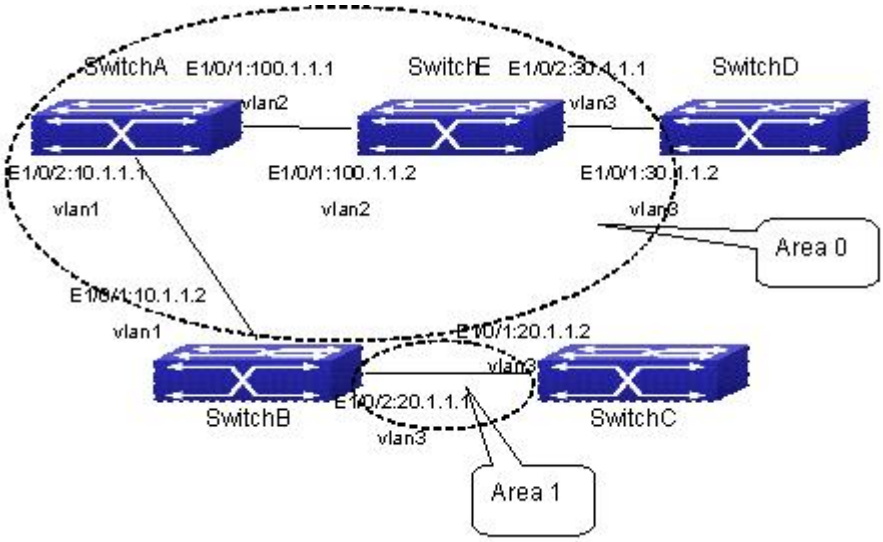


图 4-5 OSPF 自治系统网络拓扑示意图

三层交换机Switch1- Switch5的配置分别如下：

三层交换机Switch1：

配置接口vlan1的IP地址。

Switch1#config

Switch1(config)# interface vlan 1

Switch1(config-if-vlan1)# ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

Switch1(config-if-vlan1)#exit

配置接口vlan2的IP地址

Switch1(config)# interface vlan 2

Switch1(config-if-vlan2)# ip address 100.1.1.1 255.255.255.0

Switch1 (config-if-vlan2)#exit

启动OSPF协议，配置接口vlan1、vlan2所属域号

Switch1(config)#router ospf

Switch1(config-router)#network 10.1.1.0/24 area 0

Switch1(config-router)#network 100.1.1.0/24 area 0

Switch1(config-router)#exit

Switch1(config)#exit

Switch1#

三层交换机Switch2：

配置接口vlan1和vlan2的IP地址。

```
Switch2#config
Switch2(config)# interface vlan 1
Switch2(config-if-vlan1)# ip address 10.1.1.2 255.255.255.0
Switch2(config-if-vlan1)#no shutdown
Switch2(config-if-vlan1)#exit
Switch2(config)# interface vlan 3
Switch2(config-if-vlan3)# ip address 20.1.1.1 255.255.255.0
Switch2(config-if-vlan3)#no shutdown
Switch2(config-if-vlan3)#exit
```

启动OSPF协议，配置接口vlan1和vlan3所属OSPF区域

```
Switch2(config)#router ospf
Switch2(config-router)# network 10.1.1.0/24 area 0
Switch2(config-router)# network 20.1.1.0/24 area 1
Switch2(config-router)#exit
Switch2(config)#exit
Switch2#
```

三层交换机Switch3：

配置接口vlan3的IP地址。

```
Switch3#config
Switch3(config)# interface vlan 3
Switch3(config-if-vlan1)# ip address 20.1.1.2 255.255.255.0
Switch3(config-if-vlan3)#no shutdown
Switch3(config-if-vlan3)#exit
```

启动OSPF协议，配置接口vlan3所属OSPF区域

```
Switch3(config)#router ospf
Switch3(config-router)# network 20.1.1.0/24 area 1
Switch3(config-router)#exit
Switch3(config)#exit
Switch3#
```

三层交换机Switch4：

配置接口vlan3的IP地址。

```
Switch4#config
Switch4(config)# interface vlan 3
Switch4(config-if-vlan3)# ip address30.1.1.2 255.255.255.0
Switch4(config-if-vlan3)#no shutdown
Switch4(config-if-vlan3)#exit
```

启动OSPF协议，配置接口vlan3所属OSPF区域

Switch4(config)#router ospf

Switch4(config-router)# network 30.1.1.0/24 area 0

Switch4(config-router)#exit

Switch4(config)#exit

Switch4#

三层交换机Switch5：

配置接口vlan2的IP地址。

Switch5#config

Switch5(config)# interface vlan 2

Switch5(config-if-vlan2)# ip address 100.1.1.2 255.255.255.0

Switch5(config-if-vlan2)#no shutdown

Switch5(config-if-vlan2)#exit

配置接口vlan3的IP地址

Switch5(config)# interface vlan 3

Switch5(config-if-vlan3)# ip address 30.1.1.1 255.255.255.0

Switch5(config-if-vlan3)#no shutdown

Switch5(config-if-vlan3)#exit

启动OSPF协议，配置接口vlan2和vlan3所属域号

Switch5(config)#router ospf

Switch5(config-router)# network 30.1.1.0/24 area 0

Switch5(config-router)# network 100.1.1.0/24 area 0

Switch5(config-router)#exit

Switch5(config)#exit

Switch5#

案例二：OSPF协议典型复杂拓扑

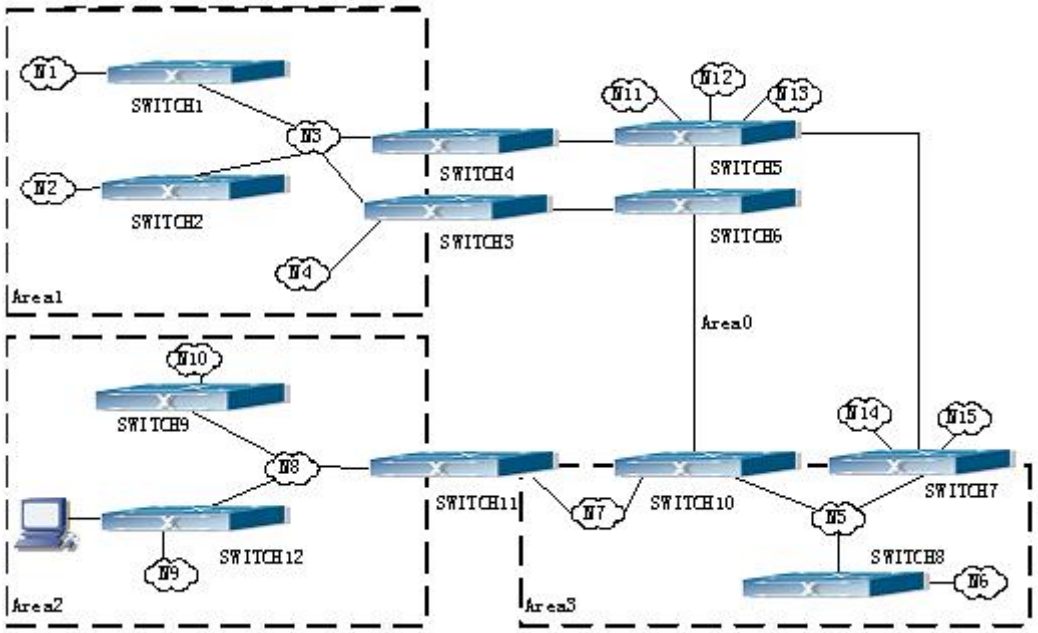


图 4-6 复杂典型 OSPF 自治系统

上图为一个典型复杂的OSPF自治系统网络拓扑。域1包括网络N1-N4和三层交换机Switch1-Switch4，域2包括N8-N10、主机H1与三层交换机Switch9，域3包括网络N5-N7和三层交换机Switch7、Switch8、Switch10和Switch11，且配置成网络N8-N10和主机H1使用一条汇总路由（即将域3定义为STUB域）。三层交换机Switch1、Switch2、Switch5、Switch6、Switch8、Switch9和Switch12是域内三层交换机，三层交换机Switch3、Switch4、Switch7、Switch10和Switch11是域边界三层交换机，三层交换机Switch5和Switch7是自治系统边界三层交换机。

就域1而言，三层交换机Switch1和Switch2是域内三层交换机，域边界三层交换机Switch3和Switch4负责向域1通告所有到该域外目的地的距离代价，同时Switch3和Switch4还必须向域1通告自治系统边界三层交换机Switch5和Switch7的位置，来自Switch5和Switch7的自治系统外部链路状态通告在整个自治系统内泛滥。当自治系统外部链路状态通告在域1内泛滥时，这些LSA被包含在域1数据库内，从而得到到网络N11-N15的路由。

另外，三层交换机Switch3和Switch4也必须向骨干域（即0域，所有非0域必须通过0域相连，不允许它们直接相连）汇总域1的拓扑结构，通告域1所包含的网络（即N1-N4）以及从Switch3和Switch4到这些网络的代价。由于骨干域要求必须是连通的，所以在骨干三层交换机Switch10和Switch11之间必须建立一条虚链接。域边界三层交换机之间通过骨干三层交换机来交换汇总信息，每一个域边界三层交换机监听来自其它域边界三层交换机的汇总信息。

虚链路不仅用于保证骨干域的连通性，还用于健壮骨干域。比如，骨干三层交换机Switch6和Switch10之间的链路如果被切断，这将导致骨干域不连续。通过在骨干三层交换机Switch7和Switch10之间建立一条虚链路，骨干域会变得更健壮一些。同时，Switch7和Switch10之间的虚链接提供了到域3和三层交换机Switch7的一条更短的路径。

以域1为例，假设三层交换机Switch1的接口vlan2的IP地址为10.1.1.1；三层交换机Switch2的接口VLAN2的IP地址为10.1.1.2；三层交换机Switch3的接口VLAN2的IP地址为10.1.1.3；三层交换机Switch4的接口VLAN2的IP地址为10.1.1.4。Switch1使用以太口VLAN1与网络N1相连，IP地址为20.1.1.1；Switch2使用以太口VLAN1与网络N2相连，IP地址为20.1.2.1；Switch3使用以太口VLAN3与网络N4相连，IP地址为20.1.3.1；都属于域1。Switch3使用以太网口VLAN1与三层交换机Switch6相连，IP地址为10.1.5.1；Switch4使用以太网口VLAN1与三层交换机Switch5相连，IP地址为10.1.6.1；都属于域0。域1内的三层交换机之间采用简单密钥认证，域1边界三层交换机与域0骨干三层交换机之间采用MD5密钥认证。

下面仅给出域1内各三层交换机的配置，其他域三层交换机的配置省略。Switch1、Switch2、Switch3和Switch4的配置分别如下：

1)Switch1：

配置接口vlan2的IP地址

Switch1#config

Switch1(config)# interface vlan 2

Switch1(config-If-Vlan2)# ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

Switch1(config-If-Vlan2)#exit

启动OSPF协议，配置接口vlan2所属域号

Switch1(config)#router ospf

Switch1(config-router)#network 10.1.1.0/24 area 1

Switch1(config-router)#exit

配置简单密钥认证

Switch1(config)#interface vlan 2

Switch1(config-If-Vlan2)#ip ospf authentication

Switch1(config-If-Vlan2)#ip ospf authentication-key test

Switch1(config-If-Vlan2)exit

配置接口vlan1的IP地址，配置所属域号

Switch1(config)# interface vlan 1

Switch1(config-If-Vlan1)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

Switch1(config-If-Vlan1)#exit

Switch1(config)#router ospf

Switch1(config-router)#network 20.1.1.0/24 area 1

Switch1(config-router)#exit

2)Switch2：

配置接口vlan2的IP地址

Switch2#config

Switch2(config)# interface vlan 2

Switch2(config-If-Vlan2)# ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

Switch2(config-If-Vlan2)#exit

启动OSPF协议，配置接口vlan2所属域号

Switch2(config)#router ospf

Switch2(config-router)#network 10.1.1.0/24 area 1

Switch2(config-router)#exit

Switch2(config)#interface vlan 2

配置简单密钥认证

Switch2(config)#interface vlan 2

Switch2(config-If-Vlan2)#ip ospf authentication

Switch2(config-If-Vlan2)#ip ospf authentication-key test

Switch2(config-If-Vlan2)#exit

配置接口vlan1的IP地址，配置所属域号

Switch2(config)# interface vlan 1

Switch2(config-If-Vlan1)#ip address 20.1.2.1 255.255.255.0

Switch2(config-If-Vlan1)#exit

Switch2(config)#router ospf

Switch2(config-router)#network 20.1.2.0/24 area 1

Switch2(config-router)#exit

Switch2(config)#exit

Switch2#

3)Switch3：

配置接口vlan2的IP地址

Switch3#config

Switch3(config)# interface vlan 2

Switch3(config-If-Vlan2)# ip address 10.1.1.3 255.255.255.0

Switch3(config-If-Vlan2)#exit

启动OSPF协议，配置接口vlan2所属域号

Switch3(config)#router ospf

Switch3(config-router)#network 10.1.1.0/24 area 1

Switch3(config-router)#exit

配置简单密钥认证

Switch3(config)#interface vlan 2

Switch3(config-If-Vlan2)#ip ospf authentication

Switch3(config-If-Vlan2)#ip ospf authentication-key test

Switch3(config-If-Vlan2)#exit

配置接口vlan3的IP地址，配置所属域号

Switch3(config)# interface vlan 3

Switch3(config-If-Vlan3)#ip address 20.1.3.1 255.255.255.0

Switch3(config-If-Vlan3)#exit

Switch3(config)#router ospf

Switch3(config-router)#network 20.1.3.0/24 area 1

Switch3(config-router)#exit

配置接口vlan1的IP地址，并配置接口所属域号

Switch3(config)# interface vlan 1

Switch3(config-If-Vlan1)#ip address 10.1.5.1 255.255.255.0

Switch3(config-If-Vlan1)#exit

Switch3(config)#router ospf

Switch3(config-router)#network 10.1.5.0/24 area 0

Switch3(config-router)#exit

配置MD5密钥认证

Switch3(config)#interface vlan 1

Switch3 (config-If-Vlan1)#ip ospf authentication message-digest

Switch3 (config-If-Vlan1)#ip ospf authentication-key test

Switch3 (config-If-Vlan1)#exit

Switch3(config)#exit

Switch3#

4)Switch4：

配置接口vlan2的IP地址

Switch4#config

Switch4(config)# interface vlan 2

Switch4(config-If-Vlan2)# ip address 10.1.1.4 255.255.255.0

Switch4(config-If-Vlan2)#exit

启动OSPF协议，配置接口vlan2所属域号

Switch4(config)#router ospf

Switch4(config-router)#network 10.1.1.0/24 area 1

Switch4(config-router)#exit

配置简单密钥认证

Switch4(config)#interface vlan 2

Switch4(config-If-Vlan2)#ip ospf authentication

Switch4(config-If-Vlan2)#ip ospf authentication-key test

Switch4(config-If-Vlan2)#exit

配置接口vlan1的IP地址，并配置接口所属域号

Switch4(config)# interface vlan 1

Switch4(config-If-Vlan1)# ip address 10.1.6.1 255.255.255.0

Switch4(config-If-Vlan1)exit

Switch4(config)#router ospf

Switch4(config-router)#network 10.1.6.0/24 area 0

Switch4(config-router)#exit

配置MD5密钥认证

Switch4(config)#interface vlan 1

Switch4(config-If-Vlan1)#ip ospf authentication message-digest

Switch4(config-If-Vlan1)#ip ospf authentication-key test

Switch4(config-If-Vlan1)exit

Switch4(config)#exit

Switch4#

案例三：OSPF引入其他OSPF进程路由功能

如下图所示，一台运行 OSPF 路由协议的交换机连接两个网络，网络 A 与网络 B，出于某种原因，要求网络 A 可以学到网络 B 的路由，但网络 B 不可以学到网络 A 的路由，根据需求，可配置在 interface vlan1 与 interface vlan2 上分别起 OSPF 的两个进程，同时配置 interface vlan1 所属的 OSPF 进程引入 interface vlan2 所属的 OSPF 进程的路由，但不能配置 interface vlan2 所属的 OSPF 进程引入 interface vlan1 所属的 OSPF 进程的路由。

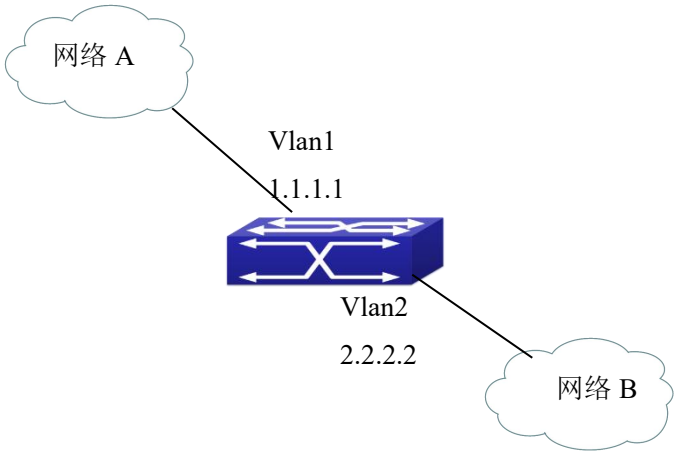


图 4-7 OSPF 引入其他 OSPF 进程路由功能案例

我们可以进行如下配置：

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan2)#exit

Switch(config)#router ospf 10

Switch(config-router)#network 2.2.2.0/24 area 1

Switch(config-router)#exit

Switch(config)#router ospf 20

Switch(config-router)#network 1.1.1.0/24 area 1

Switch(config-router)#redistribute ospf 10

Switch(config-router)#exit

5.4.3.2 OSPF VPN 典型案例

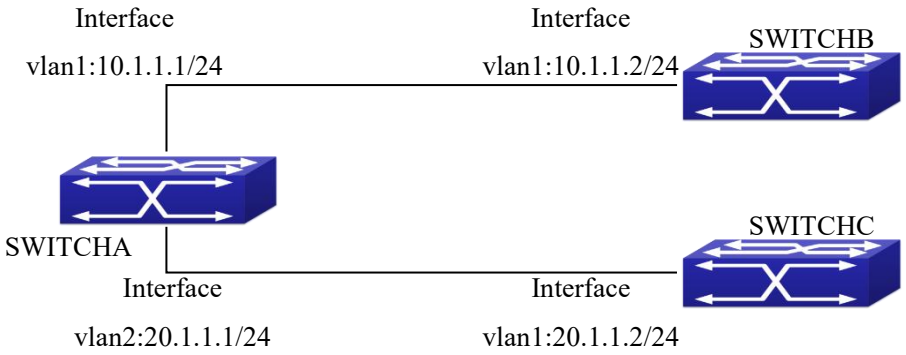


图 4-8 OSPF VPN 案例

上图为三台三层交换机组成的网络。交换机 SwitchA 充当 PE，交换机 SwitchB 和交换机 SwitchC 充当 CE1 与 CE2。PE 通过接口 vlan1 与 vlan2 分别与 CE1 和 CE2 相连。PE 与 CE 之间通过 OSPF 协议交换路由信息

a) 作为 PE 的三层交换机 SwitchA：

配置 VPN 路由/转发实例 vpnb 和 vpnc

SwitchA#config

SwitchA(config)#ip vrf vpnb

SwitchA(config-vrf)#

SwitchA(config-vrf)#exit

SwitchA#(config)

SwitchA(config)#ip vrf vpnc

SwitchA(config-vrf)#

SwitchA(config-vrf)#exit

配置接口 vlan1 与 vlan2 分别与 vpnb 和 vpnc 相关联，并且配置 IP 地址

SwitchA(config)#in vlan1

SwitchA(config-if-Vlan1)#ip vrf forwarding vpnb

SwitchA(config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

SwitchA(config-if-Vlan1)#exit

SwitchA(config)#in vlan2

SwitchA(config-if-Vlan2)#ip vrf forwarding vpnc

SwitchA(config-if-Vlan2)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

SwitchA(config-if-Vlan2)#exit

分别配置与 vpnb 和 vpnc 相关联的 OSPF 实例

SwitchA(config)#

SwitchA(config)#router ospf 100 vpnb

SwitchA(config-router)#network 10.1.1.0/24 area 0

SwitchA(config-router)#redistribute bgp

SwitchA(config-router)#exit

SwitchA(config)#router ospf 200 vpnc

SwitchA(config-router)#network 20.1.1.0/24 area 0

SwitchA(config-routerf)#redistribute bgp

b) CE1 三层交换机 SwitchB：

配置以太网口 E1/1/2 的 IP 地址。

SwitchB#config

SwitchB(config)# interface Vlan1

SwitchB(config-if-vlan1)# ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

SwitchB (config-if-vlan1)exit

启动 OSPF 协议，配置 OSPF 网段

SwitchB(config)#router ospf

SwitchB(config-router-rip)#network 10.1.1.0/24 area 0

SwitchB(config-router-rip)#exit

c) CE2 三层交换机 SwitchC：

配置以太网口 E1/1/2 的 IP 地址。

SwitchC#config

SwitchC(config)# interface Vlan1

SwitchC(config-if-vlan1)# ip address 20.1.1.2 255.255.255.0

SwitchC (config-if-vlan1)#exit

启动 OSPF 协议，配置 OSPF 网段

SwitchC(config)#router ospf

SwitchC(config-router)#network 20.1.1.0/24 area 0

SwitchC(config-router)#exit

5.4.4 OSPF 排错帮助

在配置、使用 OSPF 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 OSPF 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后在各接口上配置不同网段的 IP 地址；
- 然后，先启动 OSPF 协议（使用 router ospf 命令）再在相应接口配置所属 OSPF 域；
- 接着，注意 OSPF 协议的自身特点——OSPF 骨干域（0 域）必须保证是连续的；如果不连续，要使用虚链路（virtual link）来保证；所有非 0 域只能通过 0 域与其他非 0 域

相连，不允许非 0 域直接相连；边界三层交换机是指该三层交换机的一部分接口属于 0 域，而另外一部分接口属于非 0 域；对于广播网等多访问网，需要选举指定三层交换机 DR。

5.5 BGP

5.5.1 BGP 介绍

BGP（Border Gateway Protocol）是边界网关协议。它是一种自治系统（AS，autonomous system）间的动态路由发现协议。它的基本功能是在AS间自动交换无环路的路由信息。BGP通过交换带有自治系统编号的AS序列属性的路径可达信息，来选择最佳路由从而消除路由环路并实施用户配置的策略。通常在一个AS内部的交换机可以使用多种内部网关协议（IGP，Interior Gateway Protocol）来相互交换AS内部的路由信息，如RIP、OSPF都是IGP协议；而用外部网关协议（EGP，Exterior Gateway Protocol）来交换AS之间的路由信息，如BGP就是EGP中的一种。通常一个AS是建立在单一的管理部门之上的。BGP经常用于ISP之间或是跨国公司的各个分部之间的交换机上。

BGP从1989年就开始使用，它最早发布的三个版本分别是RFC1105（BGP-1）、RFC1163（BGP-2）和RFC1267（BGP-3），当前最流行的是使用的RFC1771（BGP-4）。本交换机目前支持BGP-4。

5.5.1.1 BGP-4 的特性

BGP-4适用于分布式结构并支持无类域间路由（CIDR，Classless InterDomain Routing）。BGP-4正迅速成为事实上的Internet外部路由协议标准，BGP-4特性如下：

- BGP是一种外部路由协议，与OSPF、RIP等的内部路由协议不同，BGP并不能发现和计算路由，但可以控制路由的传播和选择最好的路由。
- 通过在更新路由中携带AS路径信息可以彻底解决路由环路的问题。
- 使用TCP作为其传输层协议提高了协议的可靠性。端口号为179。
- BGP-4支持无类域间路由（CIDR，Classless InterDomain Routing），这是较BGP-3的一个重要改进。CIDR以一种全新的方法看待IP地址，不再区分A类网、B类网及C类网。例如一个非法的C类网络地址192.213.0.0 255.255.0.0 采用CIDR表示法192.213.0.0/16就成为一个合法的超级网络。其中/16表示网络号由从地址左端开始的16比特构成。CIDR的引入简化了路由聚合（Routes Aggregation）。路由聚合实际上是合并几个不同路由的过程，这样从通告几条路由变为通告一条路由，减化了路由表。
- 路由更新时BGP只发送增量路由，大大减少了BGP传播路由所占用的带宽，适用于在Internet上传播大量的路由信息。
- 由于政治上和经济上的原因，每个自治系统希望对路由进行过滤选择和控制，因此BGP-4提供了丰富的路由策略，它使得BGP便于扩展以支持因特网新的发展。

5.5.1.2 BGP-4 运行概述

不同于RIP和OSPF协议，BGP协议是面向连接的。BGP交换机之间要交换路由信息就一定需要建立连接后才能交换路由信息。BGP协议的运行是通过消息驱动的，其消息共可分为四类：

打开消息（Open Message）——是TCP连接建立后第一个发送的消息。它用于建立BGP同伴间的BGP连接关系。Open消息中的一些参数用于协商BGP邻居间的连接能否建立。

保持消息（Keepalive Message）——是用于检测连接有效性的消息。一般是周期发送用于保持BGP连接。若在holdtime时间内没有收到这个消息或者Update消息，则关闭BGP连接。

更新消息（Update Message）——是BGP系统中最重要的消息，用于在同伴之间交换路由信息。除了交换机交换更新的路由信息，也交换不可用的或是已经取消的路由信息。它由三部分构成：不可达路由（unreachable）、网络可达性信息（NLRI Network LayerReachability Information）、路径属性（Path Attributes）。

通告消息（Notification Message）——是错误通告消息。当一个BGP发言人收到这样的消息时要关闭与它的邻居的BGP连接。

BGP-4是面向连接的。BGP系统作为高层协议，运行在一个特定的网络设备上。当发现邻居后，就建立并维护一个TCP会话。建立了会话之后就要进行路由表的交换和同步。仅仅在系统初启时，通过发送整个BGP路由表交换路由信息。之后只有在有更新的路由信息时，才交换路由信息。此时只交换增量更新信息（update message）。BGP-4通过使用keepalive信息来周期性地维护链路和会话，即通过定期地接收和发送保活消息（keepalive）来检测相互之间的连接是否正常。

参与BGP会话的交换机称为BGP发言者（speaker）。它不断的接收或产生新路由信息，并将它通告（advertise）给其它的BGP发言者。当BGP发言者收到来自其它自治系统的新路由通告时，如果该路由比当前已知路由好，或者当前还没有可接受路由，那么它就把这个路由通告给自治系统内所有其它的BGP发言者。一个BGP发言者也将同它交换消息的其它的BGP发言者称为邻居（neighbor）或对等体（peer），若干相关的邻居可以构成对等体组（peer group）。BGP在交换机上以下列两种方式运行：

1、 IBGP：Internal BGP

2、 EBGP：External BGP

当BGP运行于同一AS内部时被称为IBGP。当BGP运行于不同自治系统之间时称为EBGP。通常，外部邻居彼此物理上相邻，而内部邻居则可以在同一AS的任何地方。它们之间的不同最终体现在BGP路由协议对路由信息的处理方式上。设备可以通过检查邻居交换机发送的打开消息中的AS号，来决定邻居的BGP交换机是作为外部邻居还是作为内部邻居。

IBGP在AS内部使用，它向该AS内的所有BGP邻居传递信息。IBGP在一个大的组织内交流AS路由信息。注意，AS内的交换机不必是物理介质上相邻，只要是交换机位于同一个AS内部，那么两者之间就可以互为邻居。因为BGP本身不能发现路由，因此需要其它的内部路由协议（如静态路由、直连路由、OSPF和RIP）的路由表中包含邻居的IP地址所在的网段。并用该路由进行BGP之间的信息交换。为了防止路由环路，一个BGP发言人从内部邻居收到路由通告时，不会将这些路由通告给其它内部邻居。

EBGP在AS之间使用，它向外部AS的BGP邻居传递路由信息。EBGP之间一般彼此物理上临近，即共享同一介质。因为EBGP之间要物理上相互临近，所以在两个AS之间的边界设

备通常就是EBGP。一个BGP发言人从外部邻居收到路由通告时，则将这些路由通告给其它内部邻居。

5.5.1.3 路由属性

BGP-4可以通过相关机制达到共享和查询内部IP路由表的目的，但它仍然拥有自己的路由表。在BGP路由表中，每一条路由都拥有：一个网络号（network number），所经过的AS列表信息（也被称为as路径），和一些路由属性（如origin ）。BGP-4使用的路由属性很复杂，该属性可以在进行路径选择时提供度量的依据。

5.5.1.4 BGP 的路由选择策略

当从多个邻居收到关于同一个路由的BGP通告时，经过路由过滤后需要考虑选择最优路由。这个过程叫做BGP的路由选择过程。BGP的路由选择过程只有下列条件满足时才会开始：

1. 交换机的路由必需是下一跳可达的。即在路由表中，有能够到达下一跳地址的路由。
2. BGP 必需和 IGP 同步（除非设置成了非同步，仅限于 IBGP）

BGP路由选择过程基于BGP的属性值。当有多条路由是指明同一个目的地时，BGP则要选择一条到达目的地的最佳路由。该决策过程如下：

1．优先选用具有最大权重（weight）的路由；

2. 如果权重相同，优选具有最大本地优先级（local preference）的路由；

3. 如果本地优先级相同，优选本地交换机始发的路由。

4. 如果本地优先级相同，并且没有本地交换机始发的路由，优选具有最短AS路径的路由；

5. 如果 AS 路径相同，优选具有最低 origin 类型的路由（IGP<EGP<INCOMPLETE）；

6. 如果origin类型相同，优选具有最低MED属性的路由，除非激活bgp always-compare-med命令，否则这种比较只在来自同一邻居AS的路由间进行。

7. 如果 MED 属性相同，EBGP 优于联盟外部，联盟外部优于 IBGP；

8. 如果所有前面的条件都相同，则判断这些路由的 NEXT_HOP 属性，在 IGP 路由表中到达其下一跳地址对应的路由 cost 最低的路由被优选

9. 如果至此仍然相同，则用BGP交换机ID（router ID）打破平衡。最优路由来自于交换机的BGP Router-ID 最小的那个。

5.5.2 BGP 配置

BGP 的配置任务分为基本配置任务和高级配置任务。BGP 的基本的配置任务包括：

1．启动 BGP 路由（必须）

2．配置 BGP 邻居（必须）

3．管理路由策略的改变

4．配置 BGP 权重

5．设置基于邻居的 BGP 路由过滤策略

6．设置 BGP 的下一跳

7．配置 EBGP 的多跳

8．配置 BGP 的会话标识

9．配置 BGP 的版本号

高级 BGP 配置任务包括：

1．使用路由映射（route-map）来更改路由

2．配置路由聚合

3．配置 bgp 认证 4．配置路由的团体属性过滤

5．设置 BGP 的联盟

6．设置路由反射器

7．设置对等体组

8．配置邻居和对等体组参数

9．调整 BGP 定时器

10．调整 BGP 的通告间隔

11．设置默认的本地优先级

12．允许发送缺省路由

13．设置 BGP 的 MED 值

14．配置 BGP 的路由重分配

15．配置 BGP 路由衰减

16．配置 BGP 能力协商

17．配置路由服务器

18．配置选路规则

19．配置 BGP 引入不同进程 OSPF 路由

（1）启动 BGP 引入不同进程 OSPF 路由功能

（2）显示和调试 BGP 引入不同进程 OSPF 路由功能相关信息

5.5.2.1 基本 BGP 配置任务

1. 启动 BGP 路由

命令	解释
全局配置模式	
router bgp *<as-id>* **no router bgp *<as-id>***	启动 BGP，该命令的 no 形式关闭 BGP 进程。
BGP 协议配置模式	
bgp asnotation asdot **no bgp asnotation asdot**	配置以分隔符（asdot）方式显示 AS 号和进行正则表达式匹配。

address-family ipv4 {unicast| multicast|vrf <*vrf-nam*>} **no address-family ipv4 {unicast| multicast|vrf <*vrf-nam*>}**	创建 BGP 协议 IPv4 并进入 BGP-VPN 实例视图。缺省情况下未创建任何 IPv4。
BGP ipv4 地址簇	
network <*ip-address/M*> **no network <*ip-address/M*>**	设置BGP要通告的网络，该命令的no 形式取消要通告的网络。

2. 配置 BGP 邻居

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} remote-as <*as-id*> **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} [remote-as <*as-id*>]**	指定一个 BGP 邻居，该命令的 no 操作删除邻居。

3．管理路由策略的改变

（1）配置硬重建

命令	解释
特权用户模式	
clear ip bgp {<*>|<*as-id*>| external|peer-group <*NAME*>|<*ip-address*>}	配置 BGP 硬重建。

（2）配置出站软重建

命令	解释
特权用户模式	
clear ip bgp {<*>|<*as-id*>| external|peer-group <NAME>|<*ip-address*>} soft out	配置 BGP 出站软重建。

（3）配置入站软重建

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor { <*ip-address*> | <*TAG*> } soft-reconfiguration inbound **no neighbor { <*ip-address*> | <*TAG*> } soft-reconfiguration inbound**	该命令可以存储从邻居或是对等体组发过来的路由信息，该命令的 no 形式取消路由信息的存储。

特权用户模式	
clear ip bgp {<*>|<*as-id*>| external|peer-group <*NAME*>|<*ip-address*>} soft in	配置 BGP 入站软重建。

4．配置 BGP 权重

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} weight <*weight*> **no neighbor {<ip-address> | <TAG>} weight <*weight*>**	配置 BGP 邻居的权重值，该命令的 no 形式恢复默认的权重值。

5．设置基于邻居的 BGP 路由过滤策略

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} distribute-list {<*1-199*>|<*1300-2699*>|<*WORD*>} {in|out} **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} distribute-list {<*1-199*>|<*1300-2699*>|<*WORD*>} {in|out}**	过滤邻居的路由更新信息，该命令的 no 形式取消路由过滤。

6．设置 BGP 的下一跳

1）设置下一跳为本交换机的地址

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} next-hop-self **no neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} next-hop-self**	发送路由时下一跳设置为自己的地址。该命令的 no 形式取消设置。

2）通过路由映射取消默认的下一跳

命令	解释
路由映射配置模式	
set ip next-hop <*ip-address*> **no set ip next-hop**	设置出去路由的下一跳属性，该命令的 no 形式取消该设置。

7．配置 EBGP 的多跳

如果外部邻居之间的连接不是直连的，那么可以使用下面的命令配置邻居的多跳。

命令	解释
BGP 协议配置模式	

neighbor {*<ip-address>*|*<TAG>*} ebgp-multihop [*<1-255>*] **no neighbor {*<ip-address>*|*<TAG>*} ebgp-multihop [*<1-255>*]**	配置允许同不直接相连网络上的交换机建立 EBGP 连接。该命令的 no 形式取消设置。

8．配置 BGP 的会话标识

命令	解释
BGP 协议配置模式	
bgp router-id *<ip-address>* **no bgp router-id**	配置 router-id 标识的值，该命令的 no 形将恢复默认值。

9．配置 BGP 的版本号

命令	解释
BGP 协议配置模式	
**neighbor {*<ip-address>*	*<TAG>*} version <value>** **no neighbor {*<ip-address>*	*<TAG>*} version**	设置 BGP 邻居使用的版本号 ，该命令的 no 形式恢复缺省设置。目前仅支持版本 4。

5.5.2.2 高级 BGP 配置任务

1．使用路由映射（route-map）来更改路由

命令	解释
BGP 地址簇配置模式	
**neighbor {*<ip-address>*	*<TAG>*} route-map *<map-name >* {in	out}** **no neighbor {*<ip-address>*	*<TAG>*} route-map *<map-name >* {in	out}**	将路由映射应用于入站或出站的路由。no 命令取消路由映射的设置。

2．配置路由聚合

命令	解释
BGP 协议配置模式	
aggregate-address *<ip-address/M>* [summary-only] [as-set] **no aggregate-address *<ip-address/M>* [summary-only] [as-set]**	在 BGP 路由表中建立一条聚合记录，该命令的 no 形式取消聚合记录。

3．设置 BGP 的认证

命令	解释
BGP 协议配置模式	

neighbor ***<ip-address>*** **password** ***<input 0|7>*** ***<password>*** **no neighbor** ***<ip-address>*** **password**	配置 BGP 邻居为 MD5 认证，该命令的 no 形式删除认证，0 为明文输入，7 为密文输入，缺省为明文输入。
neighbor ***<ip-address>*** **password key-id** ***<key-id>*** **algorithm-id** ***< algorithm-id >*** **algorithm-type [sm3|md5]** ***<input 0|7>*** ***<password>*** **no neighbor** ***<ip-address>*** **password**	采用 key-chain 方式配置 MD5 或 SM3 国密认证，该命令的 no 形式删除认证。

4．配置路由的团体属性过滤

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} send-community **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} send-community**	允许向 BGP 邻居发送的路由更新带有团体属性，该命令的 no 形式使向邻居发送的路由不带团体属性。

5．设置 BGP 的联盟

命令	解释
BGP 协议配置模式	
bgp confederation identifier *<as-id>* **no bgp confederation identifier *<as-id>***	配置一个 BGP 自治系统联盟标识，该命令的 no 形式删除 BGP 自治系统联盟标识。
bgp confederation peers *<as-id>* [*<as-id>*..] **no bgp confederation peers *<as-id>* [*<as-id>*..]**	配置属于自治系统联盟的 AS，该命令的 no 形式从自治系统联盟中删除 AS。

6．设置路由反射器

（1）设置路由反射器和它的客户端可以使用下面的命令：

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor *<ip-address>* route-reflector-client **no neighbor *<ip-address>* route-reflector-client**	配置当前的交换机做为路由反射器并且指明一个客户端，该命令的 no 形式删除一个客户端。

（2）如果簇内有多于一个路由反射器，设置簇 ID 的命令如下所示：

命令	解释
BGP 协议配置模式	

bgp cluster-id <*cluster-id*> **no bgp cluster-id**	配置簇 ID，该命令的 no 形式簇 ID 的设置。

（3）如果需要进行客户端到客户端的路由反射，那么可以用下面的命令：

命令	解释
BGP 协议配置模式	
bgp client-to-client reflection no bgp client-to-client reflection	配置允许客户端到客户端的路由反射，该命令的 no 形式禁止客户端到客户端的路由反射。

7．设置对等体组

（1）创建对等体组

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor <*TAG*> peer-group **no neighbor <*TAG*> peer-group**	创建对等体组，该命令的 no 形式删除对等体组。

（2）将邻居加入对等体组内

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor <*ip-address*> peer-group <*TAG*> **no neighbor <*ip-address*> peer-group <*TAG*>**	配置向对等体组内添加一个成员，该命令的 no 形式取消指定的成员。

8．配置邻居和对等体组参数

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} remote-as <*as-id*> **no neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} remote-as <*as-id*>**	指定一个 BGP 邻居，该命令的 no 操作删除邻居。
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} description <*LINE*> **no neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} description**	指定和 BGP 邻居的描述信息，该命令的 no 形式删除描述信息。
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} default-originate [route-map <*NAME*>] **no neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} default-originate [route-map <*NAME*>]**	允许发送缺省路由 0.0.0.0，该命令的 no 形式取消发送默认路由。
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} send-community **no neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>}**	设置向邻居发送路由的团体属性。

send-community	
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} timers *<keepalive>* *<holdtime>* **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} timers**	设置某个特定的邻居的 keepalive 和 holdtime 定时器时间，该命令的 no 形式恢复默认值。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} advertisement-interval *<seconds>* **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} advertisement-interval**	设置发送 BGP 路由信息之间的最小间隔，该命令的 no 形式恢复默认值。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} ebgp-multihop [*<1-255>*] **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} ebgp-multihop**	配置允许同不直接相连网络上的 EBGP 建立连接。该命令的 no 形式取消设置。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} weight <weight> **no neighbor { *<ip-address>* | *<TAG>* } weight**	配置 BGP 邻居的权重值，该命令的 no 形式恢复默认的权重值。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} distribute-list { *<access-list-number>* | *<name>* } { in | out } **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} distribute-list { *<access-list-number>* | *<name>* } { *in* | *out* }**	过滤邻居的路由更新信息，该命令的 no 形式取消路由过滤。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} route-reflector-client **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} route-reflector-client**	配置当前的交换机做为路由反射器并且指明一个客户端，该命令的 no 形式删除一个客户端。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} next-hop-self **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} next-hop-self**	发送路由时下一跳设置为自己的地址。该命令的 no 形式取消设置。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} version *<value>* **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} version**	指定和 BGP 邻居进行通信的 BGP 版本，该命令的 no 形式恢复默认设置。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} route-map *<map-name>* {in | out} **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} route-map *<map-name>* {in | out}**	将路由映射应用于入站或出站的路由。no 命令取消路由映射的设置。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} soft-reconfiguration inbound **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} soft-reconfiguration inbound**	该命令可以存储从邻居或是对等体组发过来的路由信息，该命令的 no 形式取消路由信息的存储。
neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} shutdown **no neighbor {*<ip-address>* | *<TAG>*} shutdown**	关闭 BGP 邻居或对等体组，该命令的 no 形式激活已经关闭的 BGP 邻居或对等体组。

9．调整 BGP 定时器

（1）设置所有邻居的 BGP 定时器。

命令	解释
BGP 协议配置模式	
timers bgp <*keepalive*> <*holdtime*> **no timers bgp**	设置所有邻居的 BGP 定时器，该命令的 no 形式恢复默认值。

（2）设置特定邻居的定时器值

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} timers <*keepalive*> <*holdtime*> **no neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} timers**	设置某个特定的邻居的 keepalve 和 holdtime 定时器时间。，该命令的 no 形式恢复默认值。

10．调整 BGP 的通告间隔

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} advertisement-interval <seconds> **no neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} advertisement-interval**	设置发送 BGP 路由更新信息之间的最小间隔，该命令的 no 形式恢复缺省设置。

11．设置默认的本地优先级

命令	解释
BGP 协议配置模式	
bgp default local-preference <*value*> **no bgp default local-preference**	改变默认的本地优先级，该命令的 no 形式恢复默认值。

12．允许发送缺省路由

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} default-originate **no neighbor {<*ip-address*> | <*TAG*>} default-originate**	允许发送缺省路由 0.0.0.0，该命令的 no 形式取消发送默认路由

13．设置 BGP 的 MED 值

（1）设置 MED 值

命令	解释
路由映射配置模式	
set metric <*metric-value*> **no set metric**	配置 metric 的值，该命令的 no 形式恢复默认值

（2）对来自不同 AS 的路径应用基于 MED 的路径选择

命令	解释
BGP 协议配置模式	
bgp always-compare-med **no bgp always-compare-med**	允许对来自不同 AS 的路径进行 MED 值的比较，该命令的 no 形式禁止对来自不同 AS 的路径进行 MED 值的比较。

14．配置 BGP 的路由重分配

命令	解释
BGP 协议配置模式	
redistribute {connected | static | rip | ospf} [metric <*metric*>] [route-map <*NAME*>] **no redistribute {connected | static | rip | ospf}**	将 IGP 路由重分配到 BGP。同时可以指定再分配的 metric、路由映射，该命令的 no 形式取消重分配。

15．配置 BGP 的路由衰减

命令	解释
BGP 协议配置模式	
bgp dampening [<*1-45*>] [<*1-20000*> <*1-20000*> <*1-255*>] [<*1-45*>] **no bgp dampening**	启动 BGP 路由衰减并使用设定的参数，其 no 形式停止路由衰减。

16．配置 BGP 的能力协商

命令	解释
BGP 协议配置模式	

neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} capability {dynamic | route-refresh} **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} capability {dynamic | route-refresh}** **neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} capability orf prefix-list {<*both*>|<*send*>|<*receive*>}** **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} capability orf prefix-list {<*both*>|<*send*>|<*receive*>}** **neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} dont-capability-negotiate** **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} dont-capability-negotiate** **neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} override-capability** **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} override-capability** **neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} strict-capability-match** **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} strict-capability-match**	BGP 提供能力协商机制，在建立连接时进行能力的匹配。目前支持的能力包括路由刷新、动态能力、出路由过滤（ORF）能力以及地址族支持协商的能力.使用这些命令来使能这些能力，其 NO 形式关闭这些能力。也可以通过命令来配置不进行能力协商，进行严格的能力协商或不管协商的结果。

17．配置路由服务器

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} route-server-client **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} route-server-client**	路由服务器可以在 EBGP 环境下集中配置 BGP 邻居，从而减少每个客户配置的对等体的个数，本命令配置本机为路由服务器并指定其服务的客户，其 NO 形式可删除客户。

18．配置选路规则

命令	解释
BGP 协议配置模式	

bgp always-compare-med **no bgp always-compare-med** **bgp bestpath as-path ignore** **no bgp bestpath as-path ignore** **bgp bestpath compare-confed-aspath** **no bgp bestpath compare-confed-aspath** **bgp bestpath compare-routerid** **no bgp bestpath compare-routerid** **bgp bestpath med {[confed] [missing-is-worst]}** **no bgp bestpath med {[confed] [missing-is-worst]}**	BGP 可以通过设置改变一些选路规则，从而达到改变最优选择的目的，可以通过这些命令使在 EBGP 环境下比较 MED，忽视 AS-PATH 的长度，比较联盟的 as-path 长度，比较路由器标识，比较联盟 MED 等规则，通过其 NO 形式恢复默认的选路规则。

19．配置 BGP 引入不同进程 OSPF 路由

（1）启动 BGP 引入不同进程 OSPF 路由功能

命令	解释
Router bgp 配置模式	
redistribute ospf [*<process-id>*] [route-map<*word*>] **no redistribute ospf [*<process-id>*]**	启动或者关闭 BGP 引入其他 OSPF 进程路由功能。

（2）显示和调试 BGP 引入不同进程 OSPF 路由功能相关信息

命令	解释
特权和配置模式	
show ip bgp redistribute	显示 BGP 进程引入其它外部路由的配置信息。
特权模式	
debug bgp redistribute message send **no debug bgp redistribute message send** **debug bgp redistribute route receive** **no debug bgp redistribute route receive**	打开或关闭 BGP 引入其他 OSPF 进程路由的命令下发调试开关。 打开或关闭 BGP 进程收到 nsm 发来的路由信息的调试开关。

5.5.3 BGP 典型案例

5.5.3.1 案例一：BGP 邻居配置

SwitchB、SwitchC和SwitchD位于AS200中，SwitchA位于AS100中。SwitchA和SwitchB共享一个相同的网络段11.0.0.0。而SwitchB和SwitchD彼此物理上不相邻。

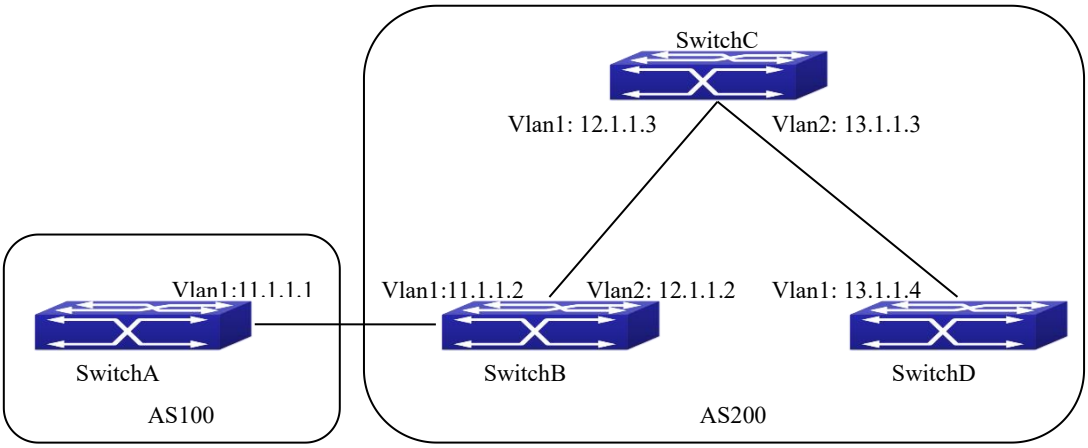


图 4-9 BGP 网络拓扑图

则SwitchA的配置如下：

SwitchA(config)#router bgp 100

SwitchA(config-router-bgp)#neighbor 11.1.1.2 remote-as 200

SwitchA(config-router-bgp)#exit

SwitchB的配置如下：

SwitchB(config)#router bgp 200

SwitchB(config-router-bgp)#neighbor 11.1.1.1 remote-as 100

SwitchB(config-router-bgp)#neighbor 12.1.1.3 remote-as 200

SwitchB(config-router-bgp)#neighbor 13.1.1.4 remote-as 200

SwitchB(config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast

SwitchB(config-bgp-ipv4)#network 11.0.0.0

SwitchB(config-bgp-ipv4)#network 12.0.0.0

SwitchB(config-bgp-ipv4)#network 13.0.0.0

SwitchB(config-bgp-ipv4)#exit

SwitchC的配置如下：

SwitchC(config)#router bgp 200

SwitchC(config-router-bgp)#neighbor 12.1.1.2 remote-as 200

SwitchC(config-router-bgp)#neighbor 13.1.1.4 remote-as 200

SwitchC(config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast

SwitchC(config-bgp-ipv4)#network 12.0.0.0

SwitchC(config-bgp-ipv4)#network 13.0.0.0

SwitchC(config-bgp-ipv4)#exit

RouteD的配置如下：

SwitchD(config)#router bgp 200

SwitchD(config-router-bgp)#neighbor 12.1.1.2 remote-as 200

SwitchD(config-router-bgp)#neighbor 13.1.1.3 remote-as 200

SwitchD(config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast

SwitchD(config-bgp-ipv4)#network 13.0.0.0

SwitchD(config-bgp-ipv4)#exit

此时SwitchB和SwitchA之间的连接是EBGP，和SwitchC、SwitchD之间的连接是IBGP。SwitchB和SwitchD之间不必物理上相连就可以进行BGP的连接，但前提是两个交换机必须有到达对方的路由。该路由可以通过静态路由或是IGP获得。

5.5.3.2 案例二：BGP 聚合配置

在这个例子中，设置路由聚合。首先使用redistribute命令将静态路由重分配到BGP路由表中：

SwitchB(config)#ip route 193.0.0.0/24 11.1.1.1

SwitchB(config)#router bgp 100

SwitchB(config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast

SwitchB(config-bgp-ipv4)#redistribute static

当路由表中至少有一条路由属于指定范围时，下面的配置就在BGP路由表中创建一个聚合路由。聚合路由将被认为来自本机产生的AS。而关于193.0.0.0的更具体的的路由信息也进行通告：

SwitchB(config#router bgp 100

SwitchB(config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast

SwitchB(config-bgp-ipv4)#aggregate 193.0.0.0/16

此时也可以将上面的aggregate命令改为下面的命令，则此时该交换机只通告聚合路由193.0.0.0，而禁止把更具体的路由通告给所有邻居：

SwitchB(config-bgp-ipv4)#aggregate 193.0.0.0/16 summary-only

5.5.3.3 案例三：配置 BGP 团体属性

下面的例子中，route map set-community用于到邻居16.1.1.6的出站更新。此时通过访问列表1的路由设置特殊的团体属性值"“1111"”，其它的路由进行正常通告。

Switch(config)#router bgp 100

Switch(config-router-bgp)#neighbor 16.1.1.6 remote-as 200

Switch(config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast

Switch(config-bgp-ipv4)#neighbor 16.1.1.6 route-map set-community out

Switch(config- bgp-ipv4)#exit

Switch(config)#route-map set-community permit 10

```
Switch(config-route-map)#match ip address 1
Switch(config-route-map)#set community 1111
Switch(config-route-map)#exit
Switch(config)#route-map set-community permit 20
Switch(config-route-map)#match ip address 2
Switch(config-route-map)#exit
Switch(config)#access-list 1 permit 11.1.0.0 0.0.255.255
Switch(config)#access-list 2 permit 0.0.0.0 255.255.255.255
Switch(config)#exit
Switch#clear ip bgp 16.1.1.6 soft out
```

下面的例子中，根据路由的团体属性值有选择性地设置来自邻居16.1.1.6的路由的MED和本地优先级值。所有同团体列表com1匹配的路由都设置MED为2000，团体列表com1允许团体值带有"“100 200 300" ”或 "“900 901"”的路由通过。同时该路由也可能具有其它团体属性。所有通过团体列表com2的路由都设置本地优先级值为500。而如果既不能通过”“com1”，”，也不能通过”“com2”“的团体列表的路由将被拒绝。

```
Switch(config)#router bgp 100
Switch(config-router-bgp)#neighbor 16.1.1.6 remote-as 200
Switch(config-router-bgp)#adddress-family ipv4 unicast
Switch(config-bgp-ipv4)#neighbor 16.1.1.6 route-map match-community in
Switch(config-bgp-ipv4)#exit
Switch(config)#route-map match-community permit 10
Switch(config-route-map)#match community com1
Switch(config-route-map)#set metric 2000
Switch(config-route-map)#exit
Switch(config)#route-map match-community permit 20
Switch(config-route-map)#match community com2
Switch(config-route-map)#set local-preference 500
Switch(config-route-map)#exit
Switch(config)#ip community-list com1 permit 100 200 300
Switch(config)#ip community-list com1 permit 900 901
Switch(config)#ip community-list com2 permit 88
Switch(config)#ip community-list com2 permit 90
Switch(config)#exit
Switch#clear ip bgp 16.1.1.6 soft out
```

5.5.3.4 案例四：BGP 联盟配置

下面是一个自治系统联盟的配置。如图所示，SWB、SWC 建立 IBGP 连接，属于自治系统 10；SWD 属于自治系统 20；SWB 与 SWD 建立自治系统联盟内部 EBGP 连接；AS10、

AS20 组成自治系统联盟，自治系统号为 AS200；SWA 属于自治系统 AS100，SWB 通过 SWA 与自治系统 200 建立 EBGP 连接。

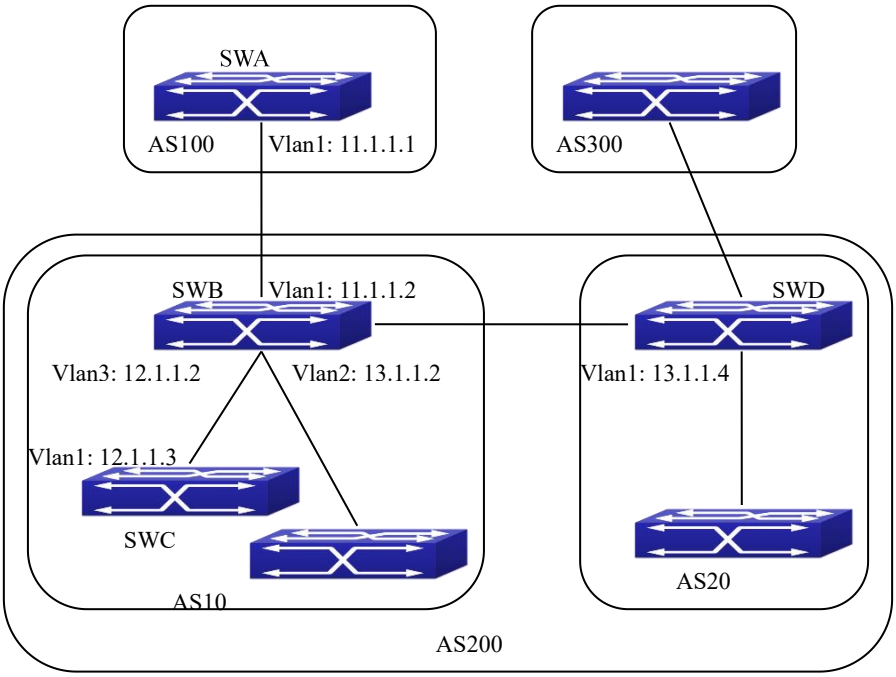


图 4-10 联盟配置拓扑图

配置如下：

SWA:

SWA(config)#router bgp 100

SWA(config-router-bgp)#neighbor 11.1.1.2 remote-as 200

SWB:

SWB(config)#router bgp 10

SWB(config-router-bgp)#bgp confederation identifier 200

SWB(config-router-bgp)#bgp confederation peers 20

SWB(config-router-bgp)#neighbor 12.1.1.3 remote-as 10

SWB(config-router-bgp)#neighbor 13.1.1.4 remote-as 20

SWB(config-router-bgp)#neighbor 11.1.1.1 remote-as 100

SWC:

SWC(config)#router bgp 10

SWC(config-router-bgp)#bgp confederation identifier 200

SWC(config-router-bgp)#bgp confederation peers 20

SWC(config-router-bgp)#neighbor 12.1.1.2 remote-as 10

SWD:

SWD(config)#router bgp 20

SWD(config-router-bgp)#bgp confederation identifier 200

SWD(config-router-bgp)#bgp confederation peers 10

SWD(config-router-bgp)#neighbor 13.1.1.2 remote-as 10

5.5.3.5 案例五：BGP 路由反射器配置

下面是一个路由反射器的配置，如图所示，SWA、SWB、SWC、SWD、SWE、SWF 和 SWG 建立 IBGP 连接，属于 AS100。SWC 和 AS200 建立 EBGP 连接。SWA 和 AS300 建立 EBGP 连接。SWC、SWD 和 SWG 作路由反射器。

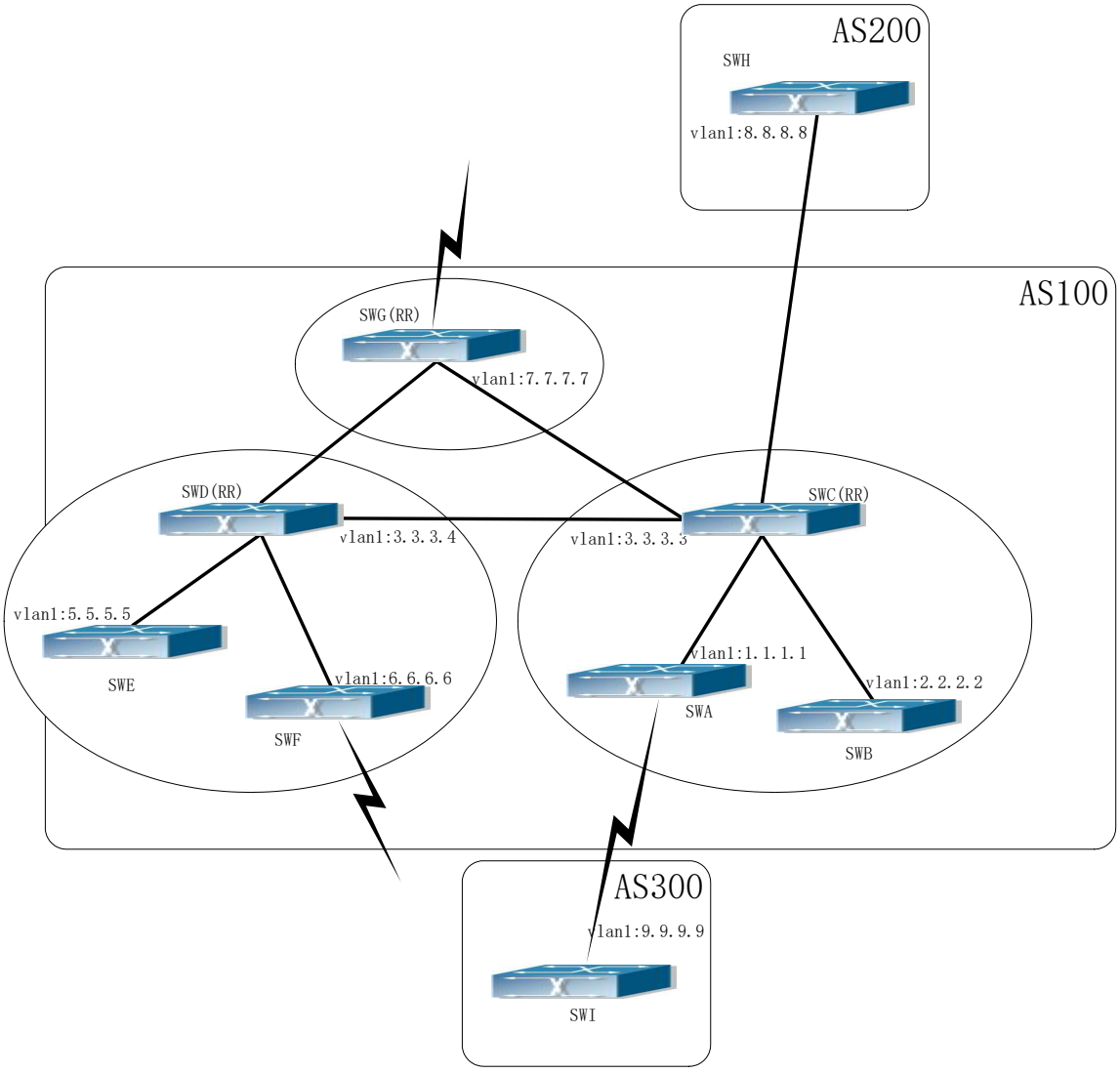


图 4-11 路由反射器拓扑图

配置如下：

SWC 的配置：

SWC(config)#router bgp 100

SWC(config-router-bgp)#neighbor 1.1.1.1 remote-as 100
SWC(config-router-bgp)#neighbor 2.2.2.2 remote-as 100
SWC(config-router-bgp)#neighbor 7.7.7.7 remote-as 100
SWC(config-router-bgp)#neighbor 3.3.3.4 remote-as 100
SWC(config-router-bgp)#neighbor 8.8.8.8 remote-as 200
SWC(config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast
SWC(config-bgp-ipv4)#neighbor 1.1.1.1 route-reflector-client
SWC(config-bgp-ipv4)#neighbor 2.2.2.2 route-reflector-client

SWD 的配置：
SWD(config)#router bgp 100
SWD(config-router-bgp)#neighbor 5.5.5.5 remote-as 100
SWD(config-router-bgp)#neighbor 6.6.6.6 remote-as 100
SWD(config-router-bgp)#neighbor 3.3.3.3 remote-as 100
SWD(config-router-bgp)#neighbor 7.7.7.7 remote-as 100
SWD(config-router-bgp) #address-family ipv4 unicast
SWD(config-bgp-ipv4)#neighbor 5.5.5.5 route-reflector-client
SWD(config-bgp-ipv4)#neighbor 6.6.6.6 route-reflector-client

SWA 的配置：
SWA(config)#router bgp 100
SWA(config-router-bgp)#neighbor 1.1.1.2 remote-as 100
SWA(config-router-bgp)#neighbor 9.9.9.9 remote-as 300

此时的 SWA 不需要和所有的 AS100 的交换机建立 IBGP 连接，就可以收到本 AS 内的其它交换机的 BGP 路由。

5.5.3.6 案例六：BGP 的 MED 设置

下面是一个 MED 的配置，如图所示，SWA 属于 AS100，SWB 属于 AS400，SWC 和 SWD 属于 AS300。

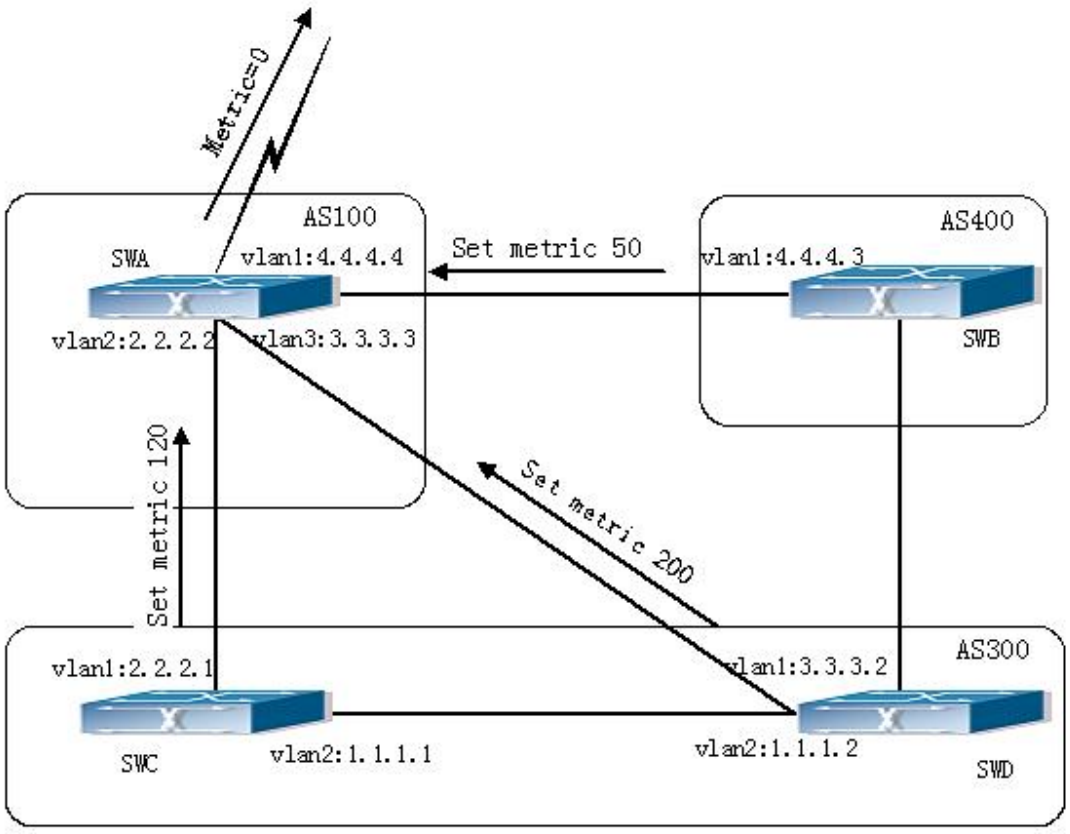


图 4-12 MED 配置拓扑图

SWA 的配置

SWA(config)#router bgp 100

SWA(config-router-bgp)#neighbor 2.2.2.1 remote-as 300

SWA(config-router-bgp)#neighbor 3.3.3.2 remote-as 300

SWA(config-router-bgp)#neighbor 4.4.4.3 remote-as 400

SWC 的配置

SWC(config)#router bgp 300

SWC (config-router-bgp)#neighbor 2.2.2.2 remote-as 100

SWC (config-router-bgp)#neighbor 1.1.1.2 remote-as 300

SWC (config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast

SWC (config-bgp-ipv4)#neighbor 2.2.2.2 route-map set-metric out

SWC (config-router-bgp)#exit

SWC (config)#route-map set-metric permit 10

SWC (Config-Router-RouteMap)#set metric 120

SWD 的配置

SWD (config)#router bgp 300

SWD (config-router-bgp)#neighbor 3.3.3.3 remote-as 100

SWD (config-router-bgp)#neighbor 1.1.1.1 remote-as 300

SWD (config-router-bgp)#address-family ipv4 unicast

SWD (config-router-bgp)#neighbor 3.3.3.3 route-map set-metric out

SWD (config-router-bgp)#exit

SWD (config)#route-map set-metric permit 10

SWD (Config-Router-RouteMap)#set metric 200

SWB 的配置

SWB (config)#router bgp 400

SWB (config-router-bgp)#neighbor 4.4.4.4 remote-as 100

SWB (config-router-bgp)#neighbor 4.4.4.4 route-map set-metric out

SWB (config-router-bgp)#exit

SWB (config)#route-map set-metric permit 10

SWB (Config-Router-RouteMap)#set metric 50

经过上面的配置以后，假设 SWB、SWC 和 SWD 都向 SWA 发送了一条路由 12.0.0.0。根据 BGP 路由策略的比较，假设在进行 metric 属性比较之前，从上述三个交换机发出的该条路由的所有属性都相同。此时，metric 值较小的将是更优路径。但交换机对 metric 属性的比较将只在来自同一 AS 的路由上进行比较。则此时对于 SWA 来说，通过 SWC 的路经优于通过 SWD 的路经。而由于此时 SWC 和 SWB 位于不同的 AS，所以 SWA 将不在两个交换机之间进行 metric 值。如果要使 metric 值的比较在不同的 AS 之间也进行那么需要用到“bgp always-compare-med”命令。如果配置了该命令，则对于 SWA 来说通过 SWB 的路经是最优的。此时可以在 SWA 上增加下面的配置命令：

SWA(config-router-bgp)# bgp always-compare-med

5.5.3.7 案例七：BGP VPN 典型案例

在 MPLS VPN 环境下，BGP 作为核心的路由传播工具和在边缘设备上产生 ILM 和 FTN 表项的重要工具，在 DCNOS 上，它和 LDP 协议一起，为 MPLS VPN 的应用提供了核心支持。在这里，LDP 工作在公网上，而在公网的非边缘路由器上，不需要运行 BGP 协议。

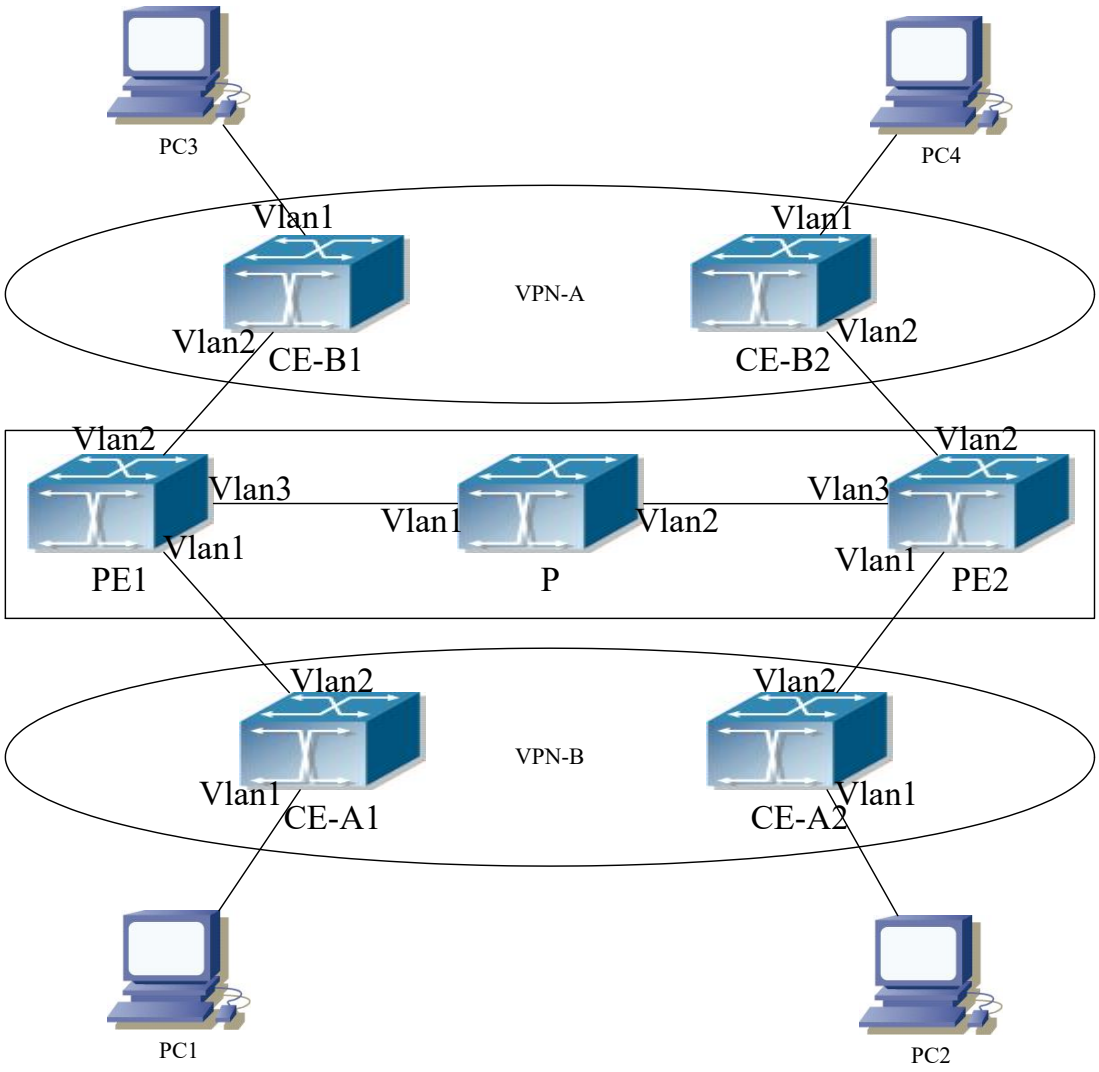


图 4-13 MPLS VPN 典型案例

如图是一个典型的 MPLS VPN 案例，其中 PE1、P、PE2 组成了公网区域，也就是使用 MPLS 交换的区域，CE-A1 与 CE-A2 组成了 VPN-A,CE-B1 与 CE-B2 组成了 VPN-B.两个 VPN 都通过公网的标签交换通信，他们互相不能通信。PE1 和 PE2 是运营商提供的边缘路由器，而 CE-A1、CE-A2、CE-B1、CE-B2 是用户端的接入交换机，PC1-PC4 表示了接入的用户。BGP 分别运行在公网区域和私网区域，其中在公网区域需要支持 VPN 路由，并且使用 LOOPBACK 接口进行连接。

各设备配置如下：

CE-A1 的配置：

CE-A1#config

CE-A1(config)#interface vlan 2

CE-A1(config-if-Vlan2)#ip address 192.168.101.2 255.255.255.0

CE-A1(config-if-Vlan2)#exit

CE-A1(config)#interface vlan 1

CE-A1(config-if-Vlan2)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

CE-A1(config-if-Vlan2)#exit

CE-A1(config)#router bgp 60101
CE-A1(config-router)#neighbor 192.168.101.1 remote-as 100
CE-A1(config-router)#exit

CE-A2 的配置：
CE-A2#config
CE-A2(config)#interface vlan 2
CE-A2(config-if-Vlan2)#ip address 192.168.102.2 255.255.255.0
CE-A2(config-if-Vlan2)#exit
CE-A2(config)#interface vlan 1
CE-A2(config-if-Vlan2)#ip address 10.1.2.1 255.255.255.0
CE-A2(config-if-Vlan2)#exit
CE-A2(config)#router bgp 60102
CE-A2(config-router)#neighbor 192.168.102.1 remote-as 100
CE-A2(config-router)#exit

CE-B1 的配置：
CE-B1#config
CE-B1(config)#interface vlan 2
CE-B1(config-if-Vlan2)#ip address 192.168.201.2 255.255.255.0
CE-B1(config-if-Vlan2)#exit
CE-B1(config)#interface vlan 1
CE-B1(config-if-Vlan2)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0
CE-B1(config-if-Vlan2)#exit
CE-B1(config)#router bgp 60201
CE-B1(config-router)#neighbor 192.168.201.1 remote-as 100
CE-B1(config-router)#exit

CE-B2 的配置：
CE-B2#config
CE-B2(config)#interface vlan 2
CE-B2(config-if-Vlan2)#ip address 192.168.202.2 255.255.255.0
CE-B2(config-if-Vlan2)#exit
CE-B2(config)#interface vlan 1
CE-B2(config-if-Vlan2)#ip address 20.1.2.1 255.255.255.0
CE-B2(config-if-Vlan2)#exit
CE-B2(config)#router bgp 60202
CE-B2(config-router)#neighbor 192.168.202.1 remote-as 100

CE-B2(config-router)#exit

PE1 的配置：

PE1#config
PE1(config)#ip vrf VRF-A
PE1(config-vrf)#rd 100:10
PE1(config-vrf)#route-target both 100:10
PE1(config-vrf)#exit
PE1(config)#ip vrf VRF-B
PE1(config-vrf)#rd 100:20
PE1(config-vrf)#route-target both 100:20
PE1(config-vrf)#exit
PE1(config)#interface vlan 1
PE1(config-if-Vlan1)#ip vrf forwarding VRF-A
PE1(config-if-Vlan1)#ip address 192.168.101.1 255.255.255.0
PE1(config-if-Vlan1)#exit
PE1(config)#interface vlan 2
PE1(config-if-Vlan2)#ip vrf forwarding VRF-B
PE1(config-if-Vlan2)#ip address 192.168.201.1 255.255.255.0
PE1(config-if-Vlan2)#exit
PE1(config)#interface vlan 3
PE1(config-if-Vlan3)#ip address 202.200.1.2 255.255.255.0
PE1(config-if-Vlan3)#label-switching
PE1(config-if-Vlan3)#exit
PE1(config)#interface loopback 1
PE1(Config-if-Loopback1)# ip address 200.200.1.1 255.255.255.255
PE1(config-if-Vlan3)#exit
PE1(config)#router bgp 100
PE1(config-router)#neighbor 200.200.1.2 remote-as 100
PE1(config-router)#neighbor 200.200.1.2 update-source 200.200.1.1
PE1(config-router)#address-family vpnv4 unicast
PE1(config-bgp-vpnv4)#neighbor 200.200.1.2 activate
PE1(config-bgp-vpnv4)#exit-address-family
PE1(config-router)#address-family ipv4 vrf VRF-A
PE1(config-bgp-vrf)# neighbor 192.168.101.2 remote-as 60101
PE1(config-bgp-vrf)#exit-address-family
PE1(config-router)#address-family ipv4 vrf VRF-B
PE1(config-bgp-vrf)# neighbor 192.168.201.2 remote-as 60201

PE1(config-bgp-vrf)#exit-address-family

PE2 的配置：

PE2#config
PE2(config)#ip vrf VRF-A
PE2(config-vrf)#rd 100:10
PE2(config-vrf)#route-target both 100:10
PE2(config-vrf)#exit
PE2(config)#ip vrf VRF-B
PE2(config-vrf)#rd 100:20
PE2(config-vrf)#route-target both 100:20
PE2(config-vrf)#exit
PE2(config)#interface vlan 1
PE2(config-if-Vlan1)#ip vrf forwarding VRF-A
PE2(config-if-Vlan1)#ip address 192.168.102.1 255.255.255.0
PE2(config-if-Vlan1)#exit
PE2(config)#interface vlan 2
PE2(config-if-Vlan2)#ip vrf forwarding VRF-B
PE2(config-if-Vlan2)#ip address 192.168.202.1 255.255.255.0
PE2(config-if-Vlan2)#exit
PE2(config)#interface vlan 3
PE2(config-if-Vlan3)#ip address 202.200.2.2 255.255.255.0
PE2(config-if-Vlan3)#label-switching
PE2(config-if-Vlan3)#exit
PE2(config)#interface loopback 1
PE2(Config-if-Loopback1)# ip address 200.200.1.2 255.255.255.255
PE2(config-if-Vlan3)#exit
PE2(config)#router bgp 100
PE2(config-router)#neighbor 200.200.1.1 remote-as 100
PE2(config-router)#address-family vpnv4 unicast
PE2(config-bgp-vpnv4)#neighbor 200.200.1.1 activate
PE2(config-bgp-vpnv4)#exit-address-family
PE2(config-router)#address-family ipv4 vrf VRF-A
PE2(config-bgp-ipv4)# neighbor 192.168.102.2 remote-as 60102
PE2(config-bgp-ipv4)#exit-address-family
PE2(config-router)#address-family ipv4 vrf VRF-B
PE2(config-bgp-ipv4)# neighbor 192.168.202.2 remote-as 60202
PE2(config-bgp-ipv4)#exit-address-family

上面的例子是一种比较典型的情况，如果需要 VRF 间可以通信，可以通过修改 route-target 的方式实现。如果两端的 BGP AS 号相同，还需要在 PE 上使用 neighbor <ip-addr> as-override 命令来避免 AS 号的重复。

这里只列出了 BGP 相关的配置，公网上运行的 LDP 协议的相关配置请参考 LDP 典型案例。

5.5.4 BGP 排错帮助

在配置、使用 BGP 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 BGP 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误。
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）。
- 然后，先启动 BGP 协议（使用 **router bgp** 命令），再配置相应的 IBGP 和 EBGP 邻居（使用 **neighbor remote-as** 命令）。
- 需注意 BGP 协议本身并不能发现路由，BGP 路由的产生需要引入其他的路由。只有引入了路由才能将这些路由通告到 IBGP 和 EBGP 邻居上。这些引入的路由包括直连路由、静态路由、IGP 路由（RIP 和 OSPF）。引入这些路由的方法可以通过 **network** 命令和 **redistribute（BGP）**命令。
- 对于 BGP 来说，IBGP 和 EBGP 的行为不同需要注意。
- 当配置完成后，可以使用 **show ip bgp summary** 命令察看邻居的连接情况，应确保所有的邻居都保持 BGP 连接状态。并使用 **show ip bgp** 命令察看 BGP 路由表，使用 **show ip route** 察看 IP 路由表。
- 如果仍无法解决 BGP 的路由问题，那么请使用 debug ip bgp 等调试命令，然后将 3 分钟内的 debug 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

5.6 IPv4 黑洞路由

5.6.1 黑洞路由介绍

黑洞路由实际是一种特殊的静态路由，顾名思义，就是目的地址为该网段的数据报文到达设备之后，将被丢弃。

5.6.2 IPv4 黑洞路由配置任务

1. 配置IPv4黑洞路由

1. 配置IPv4黑洞路由

命令	解释
全局配置模式	
ip route {<ip-prefix> <mask>|	配置静态黑洞路由。本命令的no操作为删除配置的黑洞路由。

<ip-prefix>|<prefix-length>} null0 [<distance>] no ip route {<ip-prefix> <mask>| <ip-prefix>|<prefix-length>} null0	

5.6.3 黑洞路由举例

IPv4黑洞路由功能。

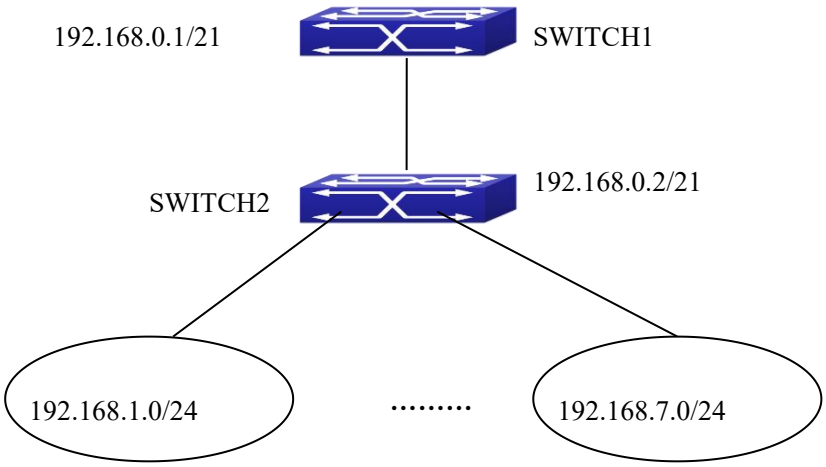


图 4-14 配置 IPv4 黑洞路由的示例图

如图所示，交换机SWITCH2配置了8个VLAN三层接口用于用户接入，分别是192.168.1.0/24～192.168.7.0/24，同时SWITCH2配置了一条缺省路由指向路由器SWITCH1，SWITCH1配置回程路由192.168.0.0/21指回到S。正常情况下这个网络不会出现问题，但是SWITCH2的一个三层接口down掉之后，例如到网段192.168.1.0/24的三层接口down掉了，有数据包发往某VLAN1时，但数据到达SWITCH2之后，没有到这个网段的路由，那么会根据缺省路由送到SWITCH1，SWITCH1在接受到 IP报文之后，查询路由表，匹配上直连路由，然后又送到SWITCH2，如此往复，就在SWITCH2和SWITCH1之间循环转发，形成路由环路。为了解决这个问题，可以在SWITCH2上配置一条“黑洞路由”：

ip route 192.168.0.0/21 null0 50

这时，当到SWITCH2收到interface vlan1报文之后，查询路由表，匹配上这条黑洞路由，那么会丢弃该报文，便不会在SWITCH2和SWITCH1上循环转发。

配置步骤如下：

Switch#config

Switch(config)#ip route 192.168.0.0/21 null0 50

5.6.4 黑洞路由排错帮助

在配置、使用黑洞路由功能时，可能会因为掩码长度不合适，以及管理距离不合适而造成无法正常使用。因此，用户应注意以下要点：

- 使用IPv6黑洞路由时，请首先确保全局启动了IPv6功能。
- 掩码长度最好比正常的路由的掩码长度长，这样可以确保当掩码长度长的正常路由有效的时候不干扰其工作。
- 当掩码长度与其他路由一样时，建议把黑洞路由的distance调的低一点。

如果使用检查都尝试仍无法解决的问题，那么请使用 show ip route database，以及 show ip route fib，show l3 等命令，然后将这些信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

5.7 GRE

5.7.1 GRE 隧道介绍

GRE(通用路由协议封装）是由 Cisco 和 Net-smiths 等公司于 1994 年提交给 IETF 的，标号为 RFC1701 和 RFC1702。目前有多数厂商的网络设备均支持 GRE 隧道协议。GRE 规定了如何用一种网络协议去封装另一种网络协议的方法。GRE 的隧道由两端的源 IP 地址和目的 IP 地址来定义，允许用户使用 IP 包封装 IP、IPX、AppleTalk 包，并支持全部的路由协议（如 RIP2、OSPF 等）。通过 GRE，用户可以利用公共 IP 网络连接 IPX 网络、AppleTalk 网络，还可以使用保留地址进行网络互连，或者对公网隐藏企业网的 IP 地址。GRE 只提供了数据包的封装，它并没有加密功能来防止网络侦听和攻击。所以在实际环境中它常和 IPsec 在一起使用，由 IPsec 提供用户数据的加密，从而给用户提供更好的安全性。

GRE 协议的主要用途有两个：企业内部协议封装和私有地址封装。在国内，由于企业网几乎全部采用的是 TCP/IP 协议，因此在中国建立隧道时没有对企业内部协议封装的市场需求。企业使用 GRE 的唯一理由应该是对内部地址的封装。我们交换机应用 GRE 主要是因为互联网协议的过渡(包括 IPv6 OVER IPv4 和 IPv4 OVER IPv6)。

本文工作根据 RFC1701、1702、2784 实现。

5.7.2 GRE 隧道基本配置

GRE 隧道配置任务序列如下：

1. 配置隧道模式
   1) 配置隧道模式为 GREv4 隧道
   2) 配置隧道模式为 GREv6 隧道
2. 配置 GRE 隧道的源地址和目的地址
   1) 配置 GRE 隧道的源地址为 IPv6 或者 IPv4 地址
   2) 配置 GRE 隧道的目的地址为 IPv6 或者 IPv4 地址

3. 配置 GRE 隧道接口地址
   1) 配置 GRE 隧道接口的 IPv4 地址
   2) 配置 GRE 隧道接口的 IPv6 地址
4. 配置静态路由的出接口是 GRE 隧道
   1) 配置 IPv4 静态路由的出接口是 GRE 隧道
   2) 配置 IPv6 静态路由的出接口是 GRE 隧道

1. 配置隧道模式

命令	解释
隧道接口配置模式	
tunnel mode gre ip no tunnel mode	配置隧道模式为 GREv4 隧道，数据报文 GRE 封装后是 IPv4 报文头，穿越 IPv4 网络。
tunnel mode gre ipv6 no tunnel mode	配置隧道模式为 GREv6 隧道，数据报文 GRE 封装后是 IPv6 报文头，穿越 IPv6 网络。

2．配置 GRE 隧道的源地址和目的地址

命令	解释
隧道接口配置模式	
tunnel source {<*ipv6-address*> | <*ipv4-address*>} no tunnel source	配置 GRE 隧道的源地址为 IPv6 或者 IPv4 地址。
tunnel destination {<*ipv6-address*> | <*ipv4-address*>} no tunnel destination	配置 GRE 隧道的目的地址为 IPv6 或者 IPv4 地址。

3．配置 GRE 隧道接口地址

命令	解释
隧道接口配置模式	
ip address <*ipv4-address*> <*mask*> no ip address <*ipv4-address*> <*mask*>	配置 GRE 隧道接口的 IPv4 地址。
ipv6 address <*ipv6-address/prefix*> no ipv6 address <*ipv6-address/prefix*>	配置 GRE 隧道接口的 IPv6 地址。

4. 配置静态路由的出接口是 GRE 隧道

命令	解释
全局配置模式	
ip route <*ipv4-address/mask*> tunnel <*ID*> no ip route <*ipv4-address/mask*> tunnel <*ID*>	配置 IPv4 静态路由的出接口是 GRE 隧道。
ipv6 route <*ipv6-address/prefix*> tunnel <*ID*> no ipv6 route <*ipv6-address/prefix*> tunnel <*ID*>	配置 IPv6 静态路由的出接口是 GRE 隧道。

5.7.3 GRE 隧道举例

GRE 隧道典型配置举例：

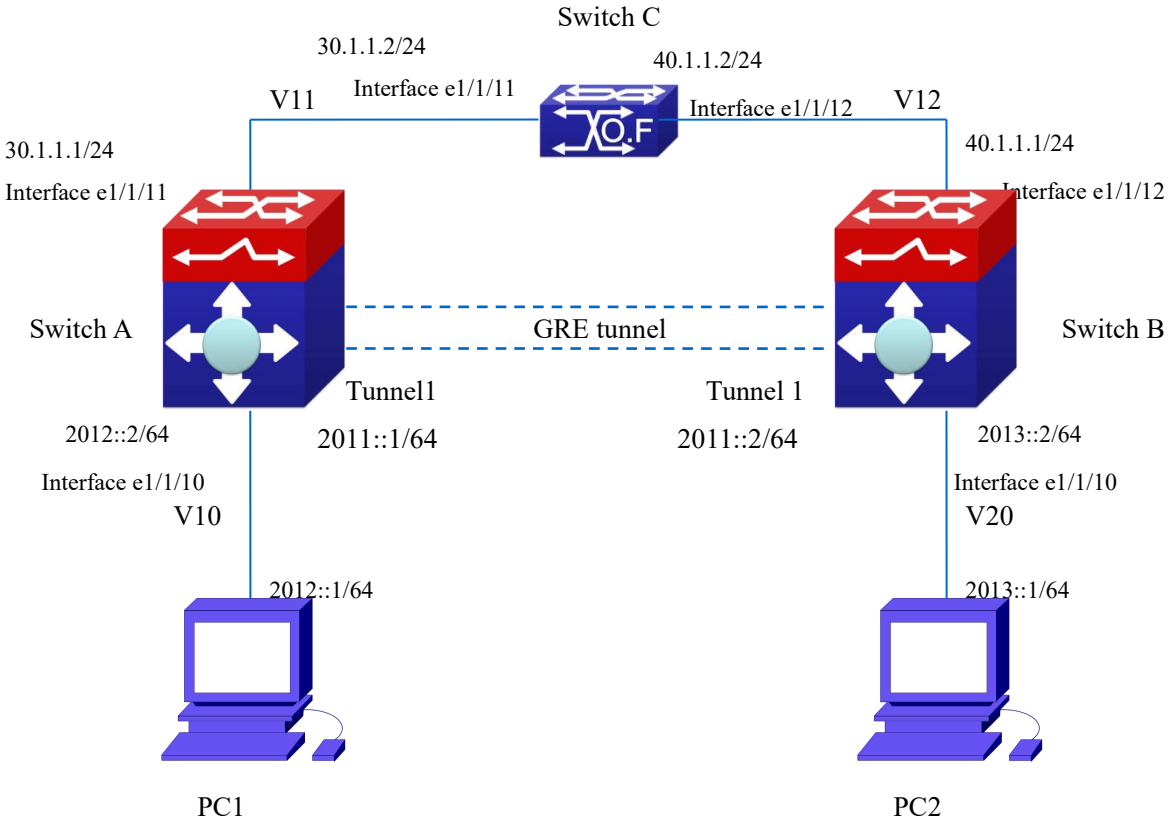


图 4-1 IPv6 over IPv4 GRE 隧道特性典型配置组网图

配置思路

- 配置 IPv4 网络，保证 IPv4 互通。
- 配置设备的隧道接口、连接 PC 的业务接口。
- 配置隧道参数，使能隧道接口。
- 使能 OSPF 路由协议使得 PC1 和 PC2 间数据通过隧道转发。

配置步骤

说明：本文的组网环境可能与您的实际环境存在差异。为了保证配置效果，请确认设备上现有配置和以下配置不冲突。

（1）设备 A 的配置：

1. 配置步骤

- 创建业务 VLAN 11 及其接口地址。

```
SwitchA(config)#vlan 11
SwitchA(config-vlan11)#switchport interface ethernet 1/1/11
SwitchA(config-vlan11)#exit
SwitchA(config)#interface vlan 11
SwitchA(config-if-vlan11)#ip address 30.1.1.1/24
```

- 配置从 SwitchA 到 SwitchB 上接口 Vlan11 的 IPv4 静态路由。

```
SwitchA(config)#ip route 40.1.1.1/24 30.1.1.2
```

- 配置隧道接口及类型和源端、目的端。当隧道起来以后，隧道的源和目的不允许修改，除非隧道源为三层接口时，只有在更改三层接口地址的时候允许更新隧道源

```
SwitchA(config)#interface tunnel 1
SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel source 30.1.1.1
SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel destination 40.1.1.1
SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel mode gre ip
SwitchA#show gre tunnel
name          mode          source          destination
Tunnel1       gre ip        30.1.1.1        40.1.1.1
```

可以看到 GRE 隧道已经配置成功。

- 配置隧道接口 IPv6 地址。对于隧道接口配置 IPv4/IPv6 地址只允许配置一个接口地址，该限制同样适用于其它模式的隧道，如配置隧道、6to4、isatap 等。

注意：配置 IPv4 地址的时候由于实现的原因必须要求隧道 active，存在配置保留后丢失 IPv4 地址配置的可能，这个和 IPv6 地址的配置逻辑不一致，IPv6 不要求隧道必须 active。

```
SwitchA (config-if-tunnel1)#ipv6 address 2011::1/64
```

- 配置业务 VLAN10 及其接口地址。

```
SwitchA(config)#vlan 10
SwitchA(config-vlan10)#switchport interface ethernet 1/1/10
SwitchA(config-vlan10)#exit
SwitchA(config)#interface vlan 10
SwitchA(config-if-vlan10)# ipv6 address 2012::2/64
SwitchA(config-if-vlan10)#exit
```

- 配置 OSPF 路由协议。

SwitchA(config)#router ospf

SwitchA(config-router)#router-id 1.1.1.1

SwitchA(config-router)#network 30.1.1.1/24 area 0

SwitchA(config-router)#exit

（2）设备 B 的配置：

1. 配置步骤

- 创建业务 VLAN 12 及其接口地址。

SwitchA(config)#vlan 12

SwitchA(config-vlan12)#switchport interface ethernet 1/1/12

SwitchA(config-vlan12)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 12

SwitchA(config-if-vlan12)#ip address 40.1.1.1/24

SwitchA(config-if-vlan12)#exit

SwitchA(config)#

- 配置从 SwitchB 到 SwitchA 上接口 Vlan12 的 IPv4 静态路由。

SwitchA(config)#ip route 30.1.1.1/24 40.1.1.2

- 配置隧道接口及类型和源端、目的端。

SwitchA(config)#interface tunnel 1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel source 40.1.1.1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel destination 30.1.1.1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel mode gre ip

SwitchA#show gre tunnel

name	mode	source	destination
Tunnel1	gre ip	40.1.1.1	30.1.1.1

可以看到 GRE 隧道已经配置成功。

- 配置隧道接口 IPv6 地址。接口地址一定要配，因为需要运行 OSPF 路由协议。

SwitchA (config-if-tunnel1)#ipv6 address 2011::2/64

- 配置业务 VLAN20 及其接口地址。

SwitchA(config)#vlan 20

SwitchA(config-vlan20)#switchport interface ethernet 1/1/10

SwitchA(config-vlan20)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 20

SwitchA(config-if-vlan20)# ipv6 address 2013::2/64

SwitchA(config-if-vlan20)#exit

SwitchA(config)#

- 配置 OSPF 路由协议。

SwitchA(config)#router ospf

SwitchA(config-router)#router-id 1.1.1.2

SwitchA(config-router)#network 40.1.1.0/24 area 0

SwitchA(config-router)#exit

SwitchA(config)#

（3）设备 C 的配置

1. 配置步骤

- 创建业务 VLAN 11 及其接口地址。

SwitchA(config)#vlan 11

SwitchA(config-vlan11)#switchport interface ethernet 1/1/11

SwitchA(config-vlan11)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 11

SwitchA(config-if-vlan11)#ip address 30.1.1.2/24

- 创建业务 VLAN 12 及其接口地址。

SwitchA(config)#vlan 12

SwitchA(config-vlan12)#switchport interface ethernet 1/1/12

SwitchA(config-vlan12)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 12

SwitchA(config-if-vlan12)#ip address 40.1.1.2/24

SwitchA(config-if-vlan12)#exit

（4）PC 的配置

- 配置 PC1 的网卡地址及默认网关。

PC1：网卡地址：2012::1/64，默认网关：2012::2

PC2：网卡地址：2013::1/64，默认网关：2013::2

5.7.4 GRE 隧道引用业务环回组举例

业务环回组功能简介：

若同一台设备存在多种业务单板混插的情况，需要通过业务环回功能来实现不同业务单板间的业务重定向。例如支持 GRE 隧道和不支持 GRE 隧道单板混插，此时就需要通过业务环回功能将不支持 GRE 隧道单板收到的 GRE 隧道数据环回到支持 GRE 隧道的单板上进行处理。业务环回组需要占用至少一个业务单板上的闲置端口，这些端口在加入环回组之前不能有任何配置。为了增加板间业务重定向的带宽，可以将多个端口加入到业务环回组中，这一组端口构成环回组，进行流量负载分担。

GRE 隧道引用业务环回组典型配置举例：

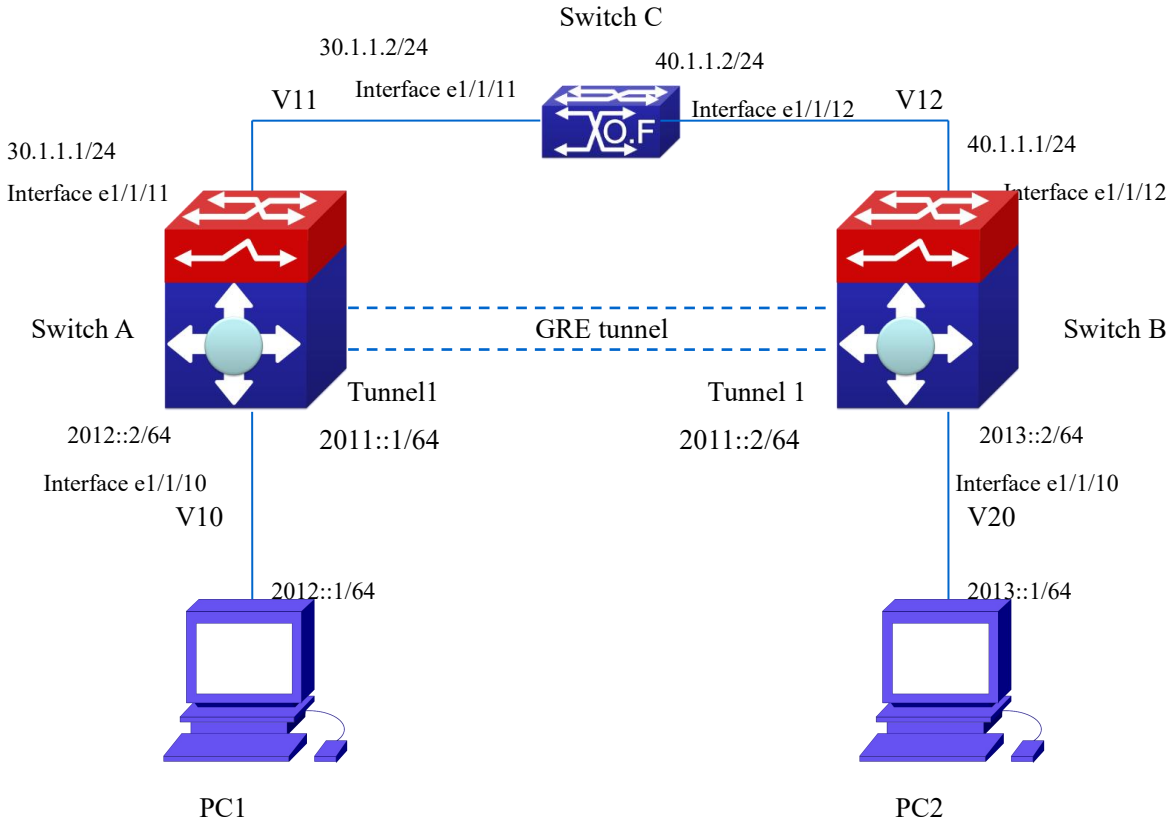


图 4-2 GRE 隧道引用业务环回组典型配置组网图

环回组组网图介绍

SwitchA 和 SwitchB 之间为 ipv4 网络，PC1 和 PC2 处在 IPv6 网络。如果 PC1 需要和远端的 PC2 通信，必须通过 GRE 隧道穿越 SwitchA 和 SwitchB 之间的 ipv4 网络。SwitchA 存在多种业务单板混插的情况：单板 1 不支持 GRE 隧道功能，单板 3 支持 GRE 隧道，因此单板 1 收到 PC1 发往 PC2 的数据需要通过业务环回组功能环回到单板 3 上进行处理

配置思路

- 配置 IPv4 网络，保证 IPv4 互通。
- 配置设备的隧道接口、连接 PC 的业务接口。
- 配置隧道参数，使能隧道接口。
- 配置环回组，把单板 3 上的闲置端口 1/1/12 加入此环回组并让隧道引用该环回组。
- 使能 OSPF 路由协议使得 PC1 和 PC2 间数据通过隧道转发。

配置步骤

说明：本文的组网环境可能与您的实际环境存在差异。为了保证配置效果，请确认设备上现有配置和以下配置不冲突。

（1）设备 A 的配置

1. 配置步骤

- 创建业务 VLAN 11 及其接口地址

SwitchA(config)#vlan 11

SwitchA(config-vlan11)#switchport interface ethernet 1/1/11

SwitchA(config-vlan11)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 11

SwitchA(config-if-vlan11)#ip address 30.1.1.1/24

- 配置从 SwitchA 到 SwitchB 上接口 Vlan11 的 IPv4 静态路由

SwitchA(config)#ip route 40.1.1.1/24 30.1.1.2

- 配置隧道接口及类型和源端、目的端

SwitchA(config)#interface tunnel 1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel source 30.1.1.1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel destination 40.1.1.1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel mode gre ip

SwitchA#show gre tunnel

name	mode	source	destination
Tunnel1	gre ipv6	30.1.1.1	40.1.1.1

可以看到 GRE 隧道已经配置成功。

- 配置隧道接口 IPv6 地址。接口地址一定要配，因为需要运行 ospf 路由协议

SwitchA (config-if-tunnel1)#ipv6 address 2011::1/64

- 配置业务 VLAN10 及其接口地址

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config-vlan10)#switchport interface ethernet 1/1/10

SwitchA(config-vlan10)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)# ipv6 address 2012::2/64

SwitchA(config-if-vlan10)#exit

- 配置环回组并让隧道引用该环回组

SwitchA (config)#loopback-group 1

SwitchA (config-if-ethernet1/1/12)#loopback-group 1

SwitchA (config-if-tunnel1)# loopback-group 1

- 配置 OSPF 路由协议

SwitchA(config)#router ospf

SwitchA(config-router)#router-id 1.1.1.1

SwitchA(config-router)#network 30.1.1.0/24 area 0

SwitchA(config-router)#exit

（2）设备 B 的配置

1. 配置步骤

- 创建业务 VLAN 12 及其接口地址

SwitchA(config)#vlan 12

SwitchA(config-vlan12)#switchport interface ethernet 1/1/12

SwitchA(config-vlan12)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 12

SwitchA(config-if-vlan11)#ip address 30.1.1.2/24

SwitchA(config-if-vlan12)#exit

SwitchA(config)#

- 配置从 SwitchB 到 SwitchA 上接口 Vlan12 的 IPv4 静态路由

SwitchA(config)#ip route 30.1.1.1/24 40.1.1.2

- 配置隧道接口及类型和源端、目的端

SwitchA(config)#interface tunnel 1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel source 40.1.1.1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel destination 30.1.1.1

SwitchA(config-if-tunnel1)# tunnel mode gre ip

SwitchA#show gre tunnel

name	mode	source	destination
Tunnel1	gre ipv6	40.1.1.1	30.1.1.1

可以看到 GRE 隧道已经配置成功。

- 配置隧道接口 IPv6 地址。接口地址一定要配，因为需要运行 ospf 路由协议

SwitchA (config-if-tunnel1)#ipv6 address 2011::2/64

- 配置业务 VLAN20 及其接口地址

SwitchA(config)#vlan 20

SwitchA(config-vlan20)#switchport interface ethernet 1/1/10

SwitchA(config-vlan20)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 20

SwitchA(config-if-vlan20)# ipv6 address 2013::2/64

SwitchA(config-if-vlan20)#exit

SwitchA(config)#

- 配置 OSPF 路由协议

SwitchA(config)#router ospf

SwitchA(config-router)#router-id 1.1.1.2

SwitchA(config-router)#network 40.1.1.0/24 area 0

SwitchA(config-router)#exit

SwitchA(config)#

（3） 设备 C 的配置

1. 配置步骤

- 创建业务 VLAN 11 及其接口地址

SwitchA(config)#vlan 11

SwitchA(config-vlan11)#switchport interface ethernet 1/1/11

SwitchA(config-vlan11)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 11

SwitchA(config-if-vlan11)#ip address 30.1.1.2/24

- 创建业务 VLAN 12 及其接口地址

SwitchA(config)#vlan 12

SwitchA(config-vlan12)#switchport interface ethernet 1/1/12

SwitchA(config-vlan12)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 12

SwitchA(config-if-vlan12)#ip address 40.1.1.2/24

SwitchA(config-if-vlan12)#exit

（4） PC 的配置

- 配置 PC1 的网卡地址及默认网关。

PC1：网卡地址：2012::1/64，默认网关：2012::2

PC2：网卡地址：2013::1/64，默认网关：2013::2

5.7.5 GRE 隧道排错帮助

当在使用 GRE 隧道过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- 检查配置，是否正确配置了隧道的源和目的地址，配置隧道模式（tunnel mode gre {ip | ipv6}）是否正确。
- 在交换机配置了隧道后，检查下一跳接口为 GRE 隧道接口的静态路由配置。
- 交换机之间的连线是否正常，可通过 debug gre {packet | event | all}观察交换机能否正确接收和处理相关的报文。

5.8 ECMP

5.8.1 ECMP 简介

ECMP（Equal-cost Multi-path Routing）等价多路径路由，在存在多条不同链路到达同一目的地址的网络环境中，如果使用传统的路由技术，发往该目的地址的数据包只能利用其中的一条链路，其它链路处于备份状态或无效状态，并且在动态路由环境下相互的切换需要一定时间，而等价多路径路由协议可以在这样的网络环境下同时使用多条链路，不仅实现了流量分担，增加了传输带宽，并且可以无时延无丢包地备份失效链路的数据传输。

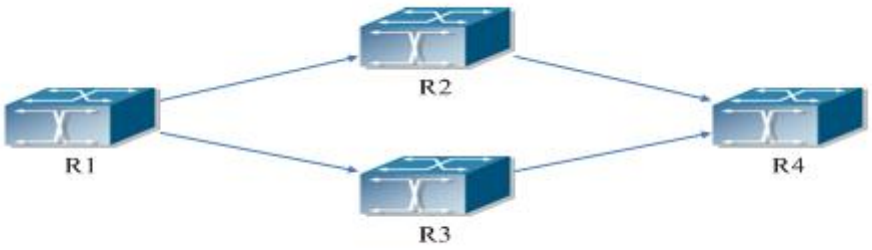


图 4-15 ECMP 的应用环境

如图所示，R1 到 R4 有两条路径可以选择，分别是 R1-R2-R4 和 R1-R3-R4，如果假设路由类型和代价开销相同，R1 到 R4 可以形成两条路由，目的地都是 R4，但是下一跳不相同，如果这两条路由都被选为最优，它们就形成了等价路由。

5.8.2 ECMP 配置任务序列

1. 配置等价路由的最大数目

1. 配置等价路由的最大数目

命令	解释
全局配置模式	
maximum-paths <*1-32*> **no maximum-paths**	配置等价路由的最大数目。

5.8.3 ECMP 典型案例

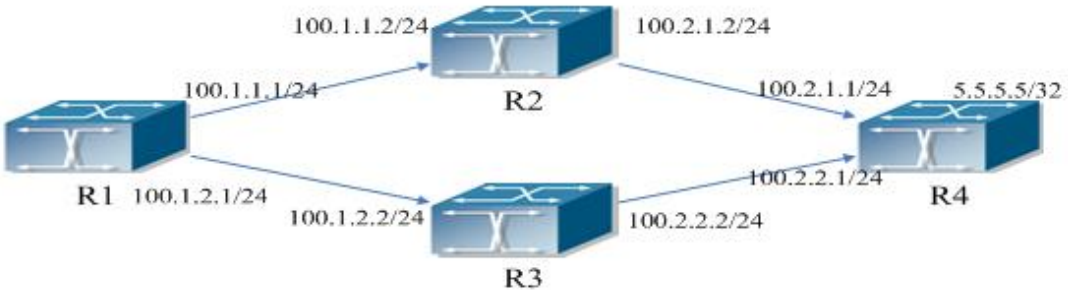


图 4-16 ECMP 的应用环境

如图所示，R1 与 R2、R3 连接的接口地址分别为 100.1.1.1/24、100.1.2.1/24。R2、R3 与 R1 连接的接口地址分别为 100.1.1.2/24、100.1.2.2/24。R4 与 R2、R3 连接的接口地址分别为 100.2.1.1/24、100.2.2.1/24。R2、R3 与 R4 连接的接口地址分别为 100.2.1.2/24、100.2.2.2/24，R4 的 loopback 地址为 5.5.5.5/32。

5.8.3.1 静态路由实现 ECMP

R1(config)#ip route 5.5.5.5/32 100.1.1.2

R1(config)#ip route 5.5.5.5/32 100.1.2.2

在 R1 上显示路由表如下：

R1(config)#show ip route

Codes: K - kernel, C - connected, S - static, R - RIP, B - BGP

O - OSPF, IA - OSPF inter area

N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2

E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2

i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area

* - candidate default

C 1.1.1.1/32 is directly connected, Loopback1 tag:0

S 5.5.5.5/32 [1/1] via 100.1.1.2, Vlan100 tag:0

[1/1] via 100.1.2.2, Vlan200 tag:0

C 100.1.1.0/24 is directly connected, Vlan100 tag:0

C 100.1.2.0/24 is directly connected, Vlan200 tag:0

C 127.0.0.0/8 is directly connected, Loopback tag:0

Total routes are : 6 item(s)

5.8.3.2 OSPF 实现 ECMP

R1 的配置

```
R1(config)#interface Vlan100
R1(Config-if-Vlan100)# ip address 100.1.1.1 255.255.255.0
R1(config)#interface Vlan200
R1(Config-if-Vlan200)# ip address 100.1.2.1 255.255.255.0
R1(config)#interface loopback 1
R1(Config-if-loopback1)# ip address 1.1.1.1 255.255.255.255
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)# ospf router-id 1.1.1.1
R1(config-router)# network 100.1.1.0/24 area 0
R1(config-router)# network 100.1.2.0/24 area 0
```

R2 的配置

```
R2(config)#interface Vlan100
R2(Config-if-Vlan100)# ip address 100.1.1.2 255.255.255.0
R2(config)#interface Vlan200
R2(Config-if-Vlan200)# ip address 100.2.1.2 255.255.255.0
R2(config)#interface loopback 1
R2(Config-if-loopback1)# ip address 2.2.2.2 255.255.255.255
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)# ospf router-id 2.2.2.2
R2(config-router)# network 100.1.1.0/24 area 0
R2(config-router)# network 100.2.1.0/24 area 0
```

R3 的配置

```
R3(config)#interface Vlan100
R3(Config-if-Vlan100)# ip address 100.1.2.2 255.255.255.0
R3(config)#interface Vlan200
R3(Config-if-Vlan200)# ip address 100.2.2.2 255.255.255.0
R3(config)#interface loopback 1
R3(Config-if-loopback1)# ip address 3.3.3.3 255.255.255.255
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)# ospf router-id 3.3.3.3
R3(config-router)# network 100.1.2.0/24 area 0
R3(config-router)# network 100.2.2.0/24 area 0
```

R4 的配置

```
R4(config)#interface Vlan100
R4(Config-if-Vlan100)# ip address 100.2.1.1 255.255.255.0
```

```
R4(config)#interface Vlan200
R4(Config-if-Vlan200)# ip address 100.2.2.1 255.255.255.0
R4(config)#interface loopback 1
R4(Config-if-loopback1)# ip address 5.5.5.5 255.255.255.255
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)# ospf router-id 4.4.4.4
R4(config-router)# network 100.2.1.0/24 area 0
R4(config-router)# network 100.2.2.0/24 area 0
```

在 R1 上显示路由表如下：

```
R1(config)#show ip route
Codes: K - kernel, C - connected, S - static, R - RIP, B - BGP
       O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default
C        1.1.1.1/32 is directly connected, Loopback1    tag:0
O        5.5.5.5/32 [110/3] via 100.1.1.2, Vlan100, 00:00:05    tag:0
                    [110/3] via 100.1.2.2, Vlan200, 00:00:05    tag:0
C        100.1.1.0/24 is directly connected, Vlan100    tag:0
C        100.1.2.0/24 is directly connected, Vlan200    tag:0
O        100.2.1.0/24 [110/2] via 100.1.1.2, Vlan100, 00:02:25    tag:0
O        100.2.2.0/24 [110/2] via 100.1.2.2, Vlan200, 00:02:25    tag:0
C        127.0.0.0/8 is directly connected, Loopback    tag:0
                                Total routes are : 8 item(s)
```

5.8.4 ECMP 排错帮助

在配置、使用 ECMP 时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 ECMP 未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

使用 ECMP 时，需要将交换机的负载分担模式设置为 **dst-src-ip** 或 **dst-src-mac-ip**，才能使报文被正确的负载分担。

5.9 BFD

5.9.1 BFD 介绍

BFD（Bidirectional Forwarding Detection，双向转发检测）是一套全网统一的检测机制，用于快速检测、监控网络中链路连通状况。为了提升现有网络性能，协议邻居之间必须能快速检测到通信故障，从而更快的建立起备用通道恢复通信。

BFD提供了一个通用的、标准化的、介质无关、协议无关的快速故障检测机制，可以为各上层协议如路由协议、MPLS 等统一地快速检测两台网络设备间双向转发路径的故障。BFD在两台网络设备上建立会话，用来监测两台网络设备间的双向转发路径，为上层协议服务。BFD本身并没有发现机制，而是靠被服务的上层协议通知其该与谁建立会话，会话建立后如果在检测时间内没有收到对端的BFD控制报文则认为发生故障，通知被服务的上层协议，上层协议进行相应的处理。

5.9.2 BFD 配置任务序列

1. BFD 基本功能配置
2. BFD 功能与 RIP（ng）协议联动配置
3. BFD 功能与静态路由（IPv6）协议联动配置
4. BFD 功能与 VRRP（v3）协议联动配置

1. BFD 基本功能配置

命令	解释
全局配置模式	
bfd mode{active | passive} **no bfd mode**	配置 BFD 会话建立前的工作模式，默认为 active 模式。本命令的 no 操作为恢复 active 模式。
接口配置模式	
bfd interval <*value1*> min_rx <*value2*> multiplier <*value3*> **no bfd interval**	配置 BFD 控制报文的最小发送时间间隔和会话检测系数。本命令的 no 操作为恢复检测系数为默认值。

2. BFD 功能与 RIP（ng）协议联动配置

命令	解释
接口配置模式	
rip bfd enable **no rip bfd enable**	在指定接口上配置 RIP 协议与 BFD 联动，no 命令操作为禁用

	已经配置的RIP协议与BFD进行联动功能。
ipv6 rip bfd enable **no ipv6 rip bfd enable**	在指定接口上配置 RIPng 协议与 BFD 联动；no 命令操作为禁用已经配置的 RIPng 协议与 BFD 进行联动功能。

3. BFD 功能与静态路由（IPv6）协议联动配置

命令	解释
全局配置模式	
ip route {vrf <name> <ipv4-address> | <ipv4-address>} mask <nexthop> bfd **no ip route {vrf <name> <ipv4-address> | <ipv4-address>} mask <nexthop> bfd**	配置静态路由与 BFD 进行联动。no 命令操作为取消配置静态路由与 BFD 进行联动。
ipv6 route {vrf <name> <ipv6-address> | <ipv6-address>} prefix <nexthop> bfd **no ipv6 route {vrf <name> <ipv6-address> | <ipv6-address>} prefix <nexthop> bfd**	配置 IPv6 静态路由与 BFD 进行联动。no 命令操作为取消配置 IPv6 静态路由与 BFD 进行联动。

4. BFD 功能与 VRRP（v3）协议联动配置

命令	解释
VRRP（v3）组配置模式	
bfd enable **no bfd enable**	启用 VRRP（v3）协议与 BFD 联动功能，在该组上启用 BFD 检测功能，no 命令操作为禁用 VRRP（v3）协议与 BFD 联动功能。

5.9.3 BFD 举例

5.9.3.1 BFD 与静态路由联动举例

案例：

在Switch A 上配置静态路由可以到达14.1.1.0/24网段路由，在Switch B上配置静态路由可以到达15.1.1.0/24网段路由，并都使能BFD检测功能；当Switch A 和Switch B 链路出现故障时BFD 能够快速感知。

图 4-17BFD 与静态路由联动

配置步骤如下：

配置 switch A：

Switch#config

Switch(config)#interface vlan 12

Switch(config-if-vlan12)#ip address 12.1.1.1 255.255.255.0

Switch(config)#interface vlan 15

Switch(config-if-vlan15)#ip address 15.1.1.1 255.255.255.0

Switch(config)#ip route 14.1.1.0 255.255.255.0 12.1.1.2 bfd

配置 switch B：

Switch#config

Switch(config)#interface vlan 12

Switch(config-if-vlan12)#ip address 12.1.1.2 255.255.255.0

Switch(config)#interface vlan 14

Switch(config-if-vlan15)#ip address 14.1.1.1 255.255.255.0

Switch(config)#ip route 15.1.1.0 255.255.255.0 12.1.1.1 bfd

Switch B 和二层交换机之间链路发生故障时，Switch A能够快速感知Switch B的变化。此时查看静态路由，路由处于Inactive 状态。

5.9.3.2 BFD 与 RIP 路由联动举例

案例：

Switch A、Switch B连接并运行RIP协议，在两台交换机上开启BFD功能。当Switch A和Switch B链路出现故障时BFD能够快速感知。

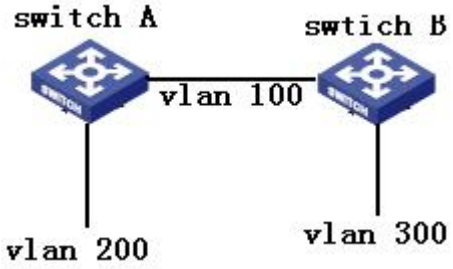


图 4-18 BFD 与 RIP 路由联动

配置步骤如下：

配置 switchA：

Switch#config

Switch(config)#bfd mode active

Switch(config)#interface vlan 100

Switch(config-if-vlan100)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

Switch(config)#interface vlan 200

Switch(config-if-vlan200)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

Switch(config)#router rip

Switch (config-router)#network vlan 100

Switch (config-router)#network vlan 200

Switch(config)#interface vlan 100

Switch(config-if-vlan100) #rip bfd enable

配置 switchB：

Switch#config

Switch(config)#bfd mode passive

Switch(config)#interface vlan 100

Switch(config-if-vlan100)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

Switch(config)#interface vlan 300

Switch(config-if-vlan300)#ip address 30.1.1.1 255.255.255.0

Switch(config)#router rip

Switch (config-router)#network vlan 100

Switch (config-router)#network vlan 300

Switch(config)#interface vlan 100

Switch(config-if-vlan100) #rip bfd enable

Switch A 和 Switch B 交换机之间链路发生故障时，BFD 可以快速感知链路故障。BFD 协议通知 RIP 协议删除学习到的路由。

5.9.3.3 BFD 与 VRRP 联动举例

案例：当Master出现故障时，只能依赖于Backup设置的超时时间来判断是否应该抢占，切换时间一般在3秒～4秒之间，无法达到秒级以下的切换速度。VRRP协议必须依赖一种可靠的链路检测机制来探测Master 的当前状态。Backup上的探测协议快速检测Master的运行状态，当Master状态出现故障时，Backup能够立即抢占成为Master，切换时间在100ms 以内。

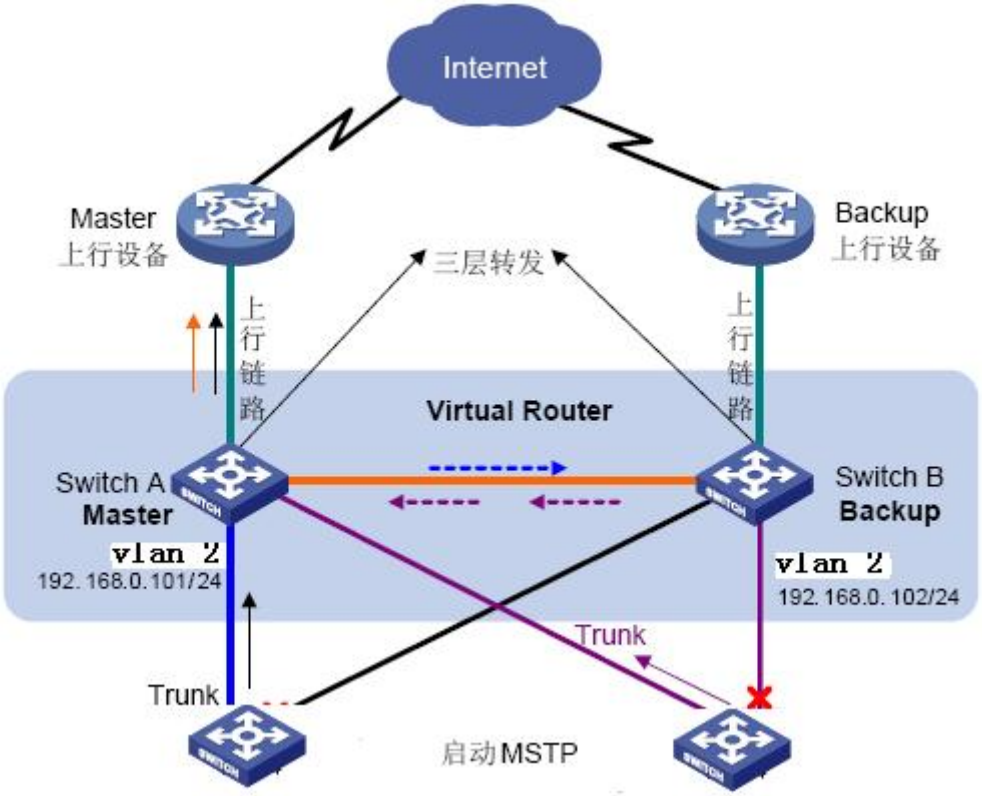


图 4-19 BFD 与 VRRP 联动

配置修改：

配置步骤如下：

配置三层交换机Switch A

Switch#config

Switch(config)#bfd mode active

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(config-ip-vlan2)#ip address 192.16.0.101 255.255.255.0

Switch(config)#router vrrp 1

Switch(config-router)#virtual-ip 192.168.0.10

Switch(config-router)#interface vlan 1

Switch(config-router)#enable

Switch(config-router)#bfd enable

配置三层交换机Switch B

Switch#config

Switch(config)#bfd mode passive

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(config-ip-vlan2)#ip address 192.16.0.102 255.255.255.0

Switch(config)#router vrrp 1

Switch(config-router)#virtual-ip 192.168.0.10

Switch(config-router)#interface vlan 1
Switch(config-router)#enable
Switch(config-router)#bfd enable

5.9.4 BFD 排错帮助

当配置 BFD 功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- 路由协议的邻居是否已经成功建立，如果路由协议的邻居没有建立成功此时BFD无法进行检测
- 与静态路由联动时配置的source-ip是否正确，如果两端配置的IP不能互通BFD无法进行检测
- 与VRRP协议联动时，VRRP组是否已经成功建立，如果VRRP组没有建立成功此时BFD无法进行检测

5.10 BGP GR

5.10.1 GR 简介

随着网络的发展，对于网络的可靠性也有了越来越高的要求，高可靠性技术（HA，High Availability）随之提出，即如何在路由器控制层面出现故障时仍然保证数据包能够正常转发，不影响网络的流量业务。

通常情况下，路由器故障后，其路由协议层面的邻居会检测到它们之间的邻居关系Down掉，然后过段时间再次Up，这个过程被称之为邻居关系震荡。这种邻居关系的震荡将最终导致路由震荡的出现，使得重启路由器在一段时间内出现路由黑洞或者导致邻居将数据业务从重启路由器处旁路，从而导致网络的可靠性大大降低。

为了实现交换机的高可靠性，需要上层的路由协议支持GR(Graceful Restart,优雅重启)的功能。使用路由协议的GR功能，可以在路由器的控制平面出现故障时，保证数据平面正常的包处理与转发。

GR功能的运用还能够减少路由震荡，减少控制平面资源消耗，提高网络稳定性。本文档所述的主要内容为BGP路由协议的优雅重启（GR），即使BGP协议的重启过程尽可能的不影响转发过程，使数据包能够以正确的路径转发出去。

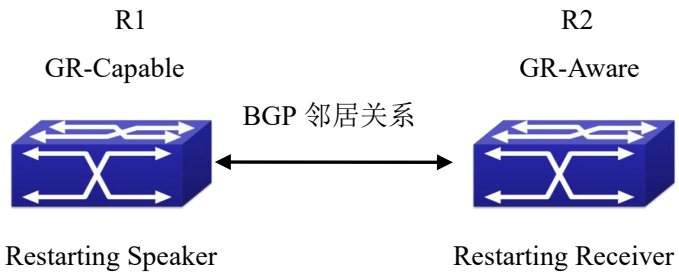


图 4-20 GR 的应用环境

BGP 路由协议的 GR 需要 GR-Capable 路由器与 GR-Aware 路由器协作完成，重启的路由器可以称为 Restarting Speaker（也可以叫做 GR-Restarter），而它的邻居都可以称为 Receiving Speaker（也可以叫做 GR-Helper）。Restarting Speaker 为 GR-Capable 路由器，Receiving Speaker 为 GR-Aware 路由器，这样才能协作完成 BGP 优雅重启的动作。假设路由器 R1、R2 建立 BGP 邻居关系，如图 13-1 所示，GR 的过程可以描述为：

对于 Restarting Speaker（GR-Restarter）来说：

1、 在初始建立 BGP 邻居时，R1、R2 通过 OPEN 消息协商 GR 能力。
2、 R1 重启发生，路由在接口板被保留，继续指导转发。
3、 R1 同邻居 R2 重新建立 TCP 连接，在 BGP OPEN 消息中将 Restart state 置为 1，表明该路由器刚刚发生了重启。同时，通知邻居 restart time 的值（应该小于 OPEN 消息中的 Holdtime 时间）。另外，还需要告诉邻居，重启路由器支持哪一类地址族的路由的 GR。
4、 R1 同邻居 R2 重新成功建立 BGP 邻居关系后，接收邻居发来的路由更新信息并处理，启动延期优选定时器。
5、 R1 推迟本地的 BGP 路由计算过程，直到收到所有 GR-Aware 的 BGP 邻居的路由更新结束标志 End-of-RIB 或者等到本地的延期优选定时器超时。
6、 执行路由计算，向各邻居发送路由更新；发送路由更新完毕后，向邻居发送 End-of-RIB 标志。

对于 Receiving Speaker（GR-Helper）来说：

1、 R2与R1初始建立BGP邻居关系的过程中，与重启路由器协商GR能力，记录路由器R1为支持GR-Capable的路由器。
2、 R1发生重启后，R2可能感知到和R1之间的TCP断掉，也可能在两者重新建立TCP连接前检测不到。如果没有检测到，执行4；否则，检测到执行3。
3、 将重启路由器R1发过来的路由保持住，并且打上stale老化标志。启动Restart Timer。
4、 中断旧的TCP连接，继续处理新的TCP连接，将重启路由器R1发过来的路由保持住，并且打上stale老化标志。启动Restart Timer。
5、 与重启路由器建立新的邻居关系，删除Restart Timer，启动Stale Path Timer。
6、 如果在建立新的邻居关系前，Restart Timer超时，或者收到新连接的OPEN消息中的Restart flag不为1，或者OPEN消息中不含有对应的AFI/SAFI地址族支持信息，则清除被保持的重启路由器的路由。
7、 向重启路由器发送路由信息更新，更新完毕，发送End-Of-RIB标志。

8、 如果Stale Path Timer超时，清除被保持的重启路由器的路由。

5.10.2 GR 配置任务序列

1. 配置是否支持 GR 能力
2. 配置特定邻居是否支持 GR 能力
3. 配置重启超时时间
4. 配置邻居的重启超时时间
5. 配置 BGP GR 保留废弃（STALE）路由超时时间
6. 配置 BGP GR 功能的优选延期超时时间

1. 配置是否支持 GR 能力

命令	解释
BGP 路由配置模式	
bgp graceful-restart **no bgp graceful-restart**	使能 BGP 支持 GR。

2. 配置特定邻居是否支持 GR 能力

命令	解释
BGP 协议单播地址族模式、VRF 地址族模式	
neighbor (A.B.C.D | X:X::X:X | WORD) capability graceful-restart **no neighbor (A.B.C.D | X:X::X:X | WORD) capability graceful-restart**	为邻居设置标记，在发送 OPEN 消息的时候携带 GR 的能力参数。

3. 配置重启超时时间

命令	解释
BGP 路由配置模式	

bgp graceful-restart restart-time <1-3600> **no bgp graceful-restart restart-time <1-3600>**	如果同时在 BGP 路由模式下和 BGP 邻居模式下配置该命令，以邻居模式下配置的命令为准。配置 BGP GR 的重启超时时间（Receiving Speaker 为发生重启的邻居启动一个重启超时定时器，使用 restart-time 为超时时间）。重启超时时间指定 Receiving Speaker 从发现邻居重启到收到邻居的 OPEN 消息最长的等待时间，如果超过这个时间 Receiving Speaker 没有收到邻居的 OPEN 消息，Receiving Speaker 可以删除为邻居保留的 SATLE 路由。

4. 配置邻居的重启超时时间

命令	解释
BGP 协议单播地址族模式、VRF 地址族模式	
neighbor (A.B.C.D | X:X::X:X | WORD) restart-time <1-3600> **no neighbor (A.B.C.D | X:X::X:X | WORD) restart-time <1-3600>**	配置邻居的重启超时时间，本命令 no 操作使该定时器恢复默认时间。

5. 配置 BGP GR 保留废弃（STALE）路由超时时间

命令	解释
BGP 路由配置模式	
bgp graceful-restart stale-path-time <1-3600> **no bgp graceful-restart stale-path-time <1-3600>**	BGP GR 功能的 stalepath-time 采用默认值 360s。stalepath-time 的默认值要比重启超时时间和优选延期超时时间要长的多，因为 Receiving Speaker 在从收到重启邻居的 OPEN 消息到收到该邻居的 EOR 这个时间段内不仅要完成向重启邻居发送初始路由更新的动作，还等待接收重启邻居的初始路由更新，直到接收完毕。

6. 配置 BGP GR 功能的优选延期超时时间

命令	解释
BGP 路由配置模式	

bgp selection-deferral-time <1-3600> **no bgp selection-deferral-time <1-3600>**	指定了 Restarting Speaker 从收到邻居的 OPEN 消息到收到所有邻居的 EOR 后开始路由优选计算的最长的等待时间，如果超过这个时间 Restarting Speaker 还没有收到所有邻居的 EOR，Restarting Speaker 可以开始路由的优选计算。

5.10.3 GR 典型案例

图 4-21 GR 的应用环境

如图 13-2 所示，R1 与 R2 建立 bgp 邻居关系。R1 与 R2 断开邻居关系，R2 上的 BGP 协议会进入 helper 模式，保留 R1 传递给 R2 的路由表项，同时启动重启超时定时器，在定时器时间内收到 R1 的 open 消息或者定时器超时，在 R2 上被标记为 stale 的路由被删除。当 R1 重新与 R2 建立邻居关系后，R1 启动优选定时器，等待 R2 发送 EOR 消息或者定时器超时，R1 优选路由。R2 在收到 R1 的 open 消息后，启动废弃路由定时器，在接受 R1 发送的 EOR 或定时器超时，R2 删除定时器并删除 stale 路由。

R1 配置 int vlan 12，ip address 12.1.1.1
R2 配置 int vlan 12，ip address 12.1.1.2
R1 配置如下
R1#config
R1(config)#vlan 12
R1(config-vlan12)#int vlan 12
R1(config-if-vlan12)#ip address 12.1.1.1 255.255.255.0
R1(config-if-vlan12)#exit
R1(config)#router bgp 1
R1(config-router)#neighbor 12.1.1.2 remote-as 2
R1(config-router)#neighbor 12.1.1.2 capability graceful-restart
R1(config-router)#bgp selection-deferral-time 120
R1(config-router)#bgp graceful-restart restart-time 60
R1(config-router)#bgp graceful-restart stale-path-time 180
R1(config-router)#exit

R2 配置如下

```
R2#config
R2(config)#vlan 12
R2(config-vlan12)#int vlan 12
R2(config-if-vlan12)#ip address 12.1.1.2 255.255.255.0
R2(config-if-vlan12)#exit
R2(config)#router bgp 2
R2(config-router)#neighbor 12.1.1.1 remote-as 1
R2(config-router)#neighbor 12.1.1.1 capability graceful-restart
R2(config-router)#bgp selection-deferral-time 120
R2(config-router)#bgp graceful-restart restart-time 60
R2(config-router)#bgp graceful-restart stale-path-time 180
R2(config-router)#exit
```

5.11 OSPF GR

5.11.1 OSPF GR 介绍

OSPF Graceful-Restart（简称 OSPF GR），即 OSPF 平滑重启，主要实现的功能是在路由协议重启或三层交换机发生主备切换时维持原有的数据转发正常，保证关键业务流量不中断，属于高可靠性（HA，High Availability）技术的一种。

目前，高端的三层交换机普遍采用了控制和转发分离的设计。负责路由协议计算的控制模块一般位于主控板上，而数据的转发则位于线卡，这样在主控板卡重启时，才有可能不影响线卡上的数据转发。因此，支持 GR 功能的设备，一般都是机架式设备，具有双主控板结构。

标准的 OSPF 协议（RFC2328）本身不支持 GR 技术，因此在由于各种原因出现主备切换或协议重启时，会造成网络流量中断和路由振荡。例如，在下图所示的拓扑环境中，S1 发生了主备倒换，S2 与 S1 之间的邻接关系将会丢失，这时 S2 会向 S3 和 S4 发送 Router-LSA，该 LSA 中将不包含 S1 与 S2 之间的链路。S3 和 S4 收到该 LSA 后会重新进行路由计算，计算出的转发路径不会包含 S1 与 S2 之间的链路。当 S1 完成主备倒换后，会重新与 S2 建立邻接关系，同步数据库，并导致 S2、S3、S4 需要重新进行路由计算。可见，当 S1 发生主备倒换会造成路由抖动，这对于一些性能要求较高的网络是不可接受的。

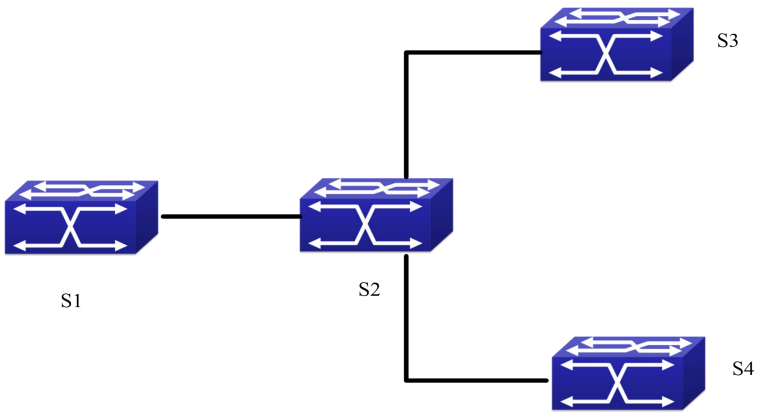


图 4-22 典型应用场景

RFC3623 中所描述 OSPF GR 就是针对以上情况提出的。它的基本思想是：如果在三层交换机主备倒换期间网络拓扑一直保持稳定，并且在这期间发生主备倒换的三层交换机可以保持它的转发表不变，那么该交换机的邻居可以维持与之的邻接关系不变，使得该交换机依然在转发路径上。因此如果 S1 与 S2 支持并启用了 GR 功能，那么在 S1 发生主备切换期间，S1 线卡会保持流量转发，S2 也将保持宣告与 S1 的邻居关系不变，同时 S3 及 S4 不会发现网络拓扑的变化，也不需要重新计算路由，这样就保证了 S1 主备切换期间的流量转发，避免路由振荡。

按照三层交换机在 GR 过程中的不同作用可以将其分为 GR restarter 和 GR helper。GR restarter 是发生主备切换或进行协议重启的三层交换机，而 GR helper 是协助 GR restarter 进行 GR 的三层交换机。上例中 S1 是 GR restarter，S2 是 GR helper。

基于 OSPF GR 以上特征，OSPF GR 主要有以下优点：

提高网络可靠性

减少路由振荡对网络的影响

减少对业务流量的影响，避免切换期间的丢包

5.11.2 OSPF GR 基本配置

OSPF GR 配置任务序列如下：

1. 使能 OSPF 进程的 GR 功能
2. 配置 OSPF GR restarter 的 grace-period（可选）
3. 配置 OSPF GR helper 的策略（可选）

1. 使能 OSPF 进程的 GR 功能

命令	解释
OSPF 协议配置模式	
capability restart graceful **no capability restart**	开启特定 OSPF 进程的 GR 功能(默认开启）。

2. 配置 OSPF GR restarter 的 grace-period（可选）

命令	解释
全局配置模式	
ospf graceful-restart grace-period <*integer*> **no ospf restart grace-period**	配置 GR restarter（进行主备切换或协议重启的交换机）的 grace period。本命令的 no 操作为恢复 restarter 的 grace period 为缺省值。

3. 配置 OSPF GR helper 的策略（可选）

命令	解释
全局配置模式	
ospf graceful-restart helper max-grace-period <*integer*> **no ospf graceful-restart helper**	GR helper 策略之一，配置 helper 支持的最大 grace period。本命令的 no 操作为删除所有配置的 helper 策略。
ospf graceful-restart helper never **no ospf graceful-restart helper**	GR helper 策略之一，配置交换机不能作为 OSPF GR helper 角色。本命令的 no 操作为删除所有配置的 helper 策略。

5.11.3 OSPF GR 举例

案例：

四台交换机 S1-S4（都是双主控结构，支持 OSPF GR 功能），均使能 OSPF，实现以下功能：

1. 上游交换机 S1 在主备切换时保持流量转发，下游 S2-S4 不会出现路由振荡，网络流量不断；

2. S1 需要在 120S 内完成主备切换及协议重启，否则 S2 将退出 GR，重新计算路由；

3. S1 不充当 OSPF GR Helper 角色（即当 S2 发生主备切换或 OSPF 协议重启时，S1 不会协助其进行 GR，而是重新计算路由）

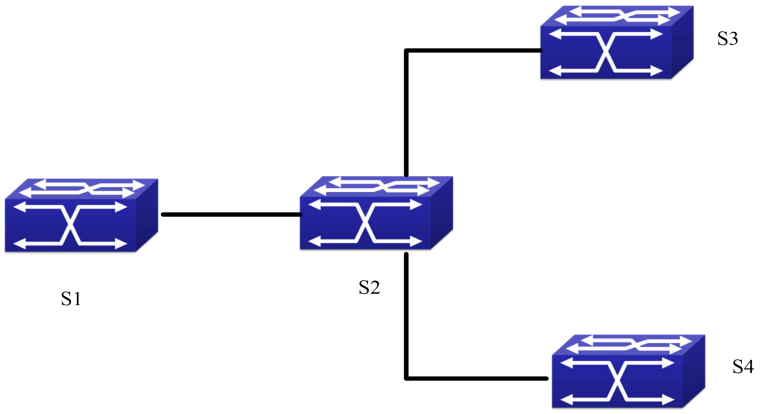


图 4-23 典型应用

配置步骤：交换机缺省已经使能 OSPF GR 功能，因此只需要配置 OSPF GR 的参数及 helper 策略即可。（下面只列出了与 OSPF GR 相关的配置，省略拓扑中 OSPF 的具体配置）

S1

S1(config)#ospf graceful-restart grace-period 120

S1(config)# ospf graceful-restart helper never

S2

S2(config)# ospf graceful-restart helper max-grace-period 120

5.11.4 OSPF GR 排错帮助

当在使用 OSPF GR 过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

GR restarter 交换机是否支持 OSPF GR 功能且是双主控结构，请确保没有关闭特定 OSPF 进程的 GR 功能

在 OSPF GR 过程中，是否出现网络拓扑变化，如果出现变化交换机有可能退出 GR，进行正常的 OSPF 重启

请确保 GR restarter 的所有邻居均支持 GR 功能

请尽量不要在交换机进行 GR 期间修改 OSPF 的相关配置

第 6 章 组播协议相关操作

6.1 组播

本章对IPv4组播协议的配置进行介绍。

6.1.1 组播简介

当信息（包括数据、语音和视频）传送的目的地是网络中的少数用户时，可以采用多种传送方式。可以采用单播（Unicast）的方式，即为每个用户单独建立一条数据传送通路；或者采用广播（Broadcast）的方式，把信息传送给网络中的所有用户，不管他们是否需要，都会接收到广播来的信息。例如，在一个网络上有200个用户需要接收相同的信息时，传统的解决方案是用单播方式把这一信息分别发送200次，以便确保需要数据的用户能够得到所需的数据；或者采用广播的方式，在整个网络范围内传送数据，需要这些数据的用户可直接在网络上获取。这两种方式都浪费了大量宝贵的带宽资源，而且广播方式也不利于信息的安全和保密。

IP组播技术的出现及时解决了这个问题。组播源仅发送一次信息，组播路由协议为组播数据包建立树型路由，被传递的信息在尽可能远的分叉路口才开始复制和分发，因此，信息能够被准确高效地传送到每个需要它的用户。

需要注意的是，组播源不一定需要加入组播组，它向某些组播组发送数据，自己不一定是该组的接收者。可以同时有多个源向一个组播组发送报文。网络中可能有不支持组播的路由器，组播路由器可以使用隧道方式将组播包封装在单播IP包中传送给相邻的组播路由器，相邻的组播路由器再将单播IP头剥掉，然后继续进行组播传输。从而避免对网络的结构进行较大的改动。组播的优势主要在于：

1) 提高效率：降低网络流量，减轻服务器和CPU负荷；
2) 优化性能：减少冗余流量；
3) 分布式应用：使多点应用成为可能。

6.1.2 组播地址

组播报文的目的地址使用D类IP地址， 范围是从224.0.0.0到239.255.255.255。D类地址不能出现在IP报文的源IP地址字段。单播数据传输过程中，一个数据包传输的路径是从源地址路由到目的地址，利用“逐跳”（hop-by-hop）的原理在IP网络中传输。然而在IP组播环境中，数据包的目的地址不是一个，而是一组，形成组地址。所有的信息接收者都加入到一个组内，并且一旦加入之后，流向组地址的数据立即开始向接收者传输，组中的所有成员都能接收到数据包。组播组中的成员是动态的，主机可以在任何时刻加入和离开组播组。

组播组可以是永久的也可以是临时的。组播组地址中，有一部分由官方分配的，称为永久组播组。永久组播组保持不变的是它的IP地址，组中的成员构成可以发生变化。永久组播组中成员的数量都可以是任意的，甚至可以为零。那些没有保留下来供永久组播组使用的IP

组播地址，可以被临时组播组利用。

224.0.0.0～224.0.0.255为预留的组播地址（永久组地址），地址224.0.0.0保留不做分配，其它地址供路由协议使用； 224.0.1.0～238.255.255.255为用户可用的组播地址（临时组地址），全网范围内有效；239.0.0.0～239.255.255.255为本地管理组播地址，仅在特定的本地范围内有效。常用的预留组播地址列表如下：

224.0.0.0 基准地址（保留）

224.0.0.1 所有主机的地址

224.0.0.2 所有组播路由器的地址

224.0.0.3 不分配

224.0.0.4 DVMRP 路由器

224.0.0.5 OSPF 路由器

224.0.0.6 OSPF DR

224.0.0.7 ST 路由器

224.0.0.8 ST 主机

224.0.0.9 RIP-2 路由器

224.0.0.10 IGRP 路由器

224.0.0.11 活动代理

224.0.0.12 DHCP 服务器/中继代理

224.0.0.13 所有PIM 路由器

224.0.0.14 RSVP 封装

224.0.0.15 所有CBT 路由器

224.0.0.16 指定SBM

224.0.0.17 所有SBMS

224.0.0.18 VRRP

224.0.0.22 IGMP

以太网传输单播IP报文的时候，目的MAC地址使用的是接收者的MAC地址。但是在传输组播报文时，传输目的不再是一个具体的接收者，而是一个成员不确定的组，所以使用的是组播MAC地址。组播MAC地址是和组播IP地址对应的。IANA（Internet Assigned Number Authority）规定，组播MAC地址的高25bit为0x01005e，MAC 地址的低23bit为组播IP地址的低23bit。

由于IP组播地址的后28位中只有23位被映射到MAC地址，这样就会有32个IP组播地址映射到同一MAC地址上。

6.1.3 IP 组播报文转发

在组播模型中，源主机向IP数据包目的地址字段内的组播组地址所表示的主机组传送信息。和单播模型不同的是，组播模型必须将组播数据包转发到多个外部接口上以便能传送到所有接收站点，因此组播转发过程比单播转发过程更加复杂。

为了保证组播信息包都是通过最短路径到达路由器，组播必须依靠单播路由表或者单独

提供给组播使用的单播路由表（如DVMRP路由），对组播信息包的接收接口进行一定的检查，这种检查机制就是大部分组播路由协议进行组播转发的基础——RPF（Reverse Path Forwarding，逆向路径转发）检查。组播路由器利用到达的组播数据包的源地址来查询单播路由表或者独立的组播路由表，以确定此数据包到达的入接口处于接收站点至源地址的最短路径上。如果使用的是有源树，这个源地址就是发送组播数据包的源主机的地址；如果使用的是共享树，该源地址就是共享树的根的地址。当组播数据包到达路由器时，如果RPF 检查通过，数据包则按照组播转发项进行转发，否则，数据包被丢弃。

6.1.4 IP 组播应用

IP组播技术有效地解决了单点发送多点接收的问题，实现了IP网络中点到多点的高效数据传送，能够大量节约网络带宽、降低网络负载。利用网络的组播特性可以方便地提供一些新的增值业务。在线直播、网络电视、远程教育、远程医疗、网络电台、实时视/音频会议等互联网的信息服务领域可以提供如下应用：

1) 多媒体、流媒体的应用；
2) 数据仓库、金融应用（股票）等；
3) 任何“点到多点”的数据发布应用。

在 IP 网络中多媒体业务日渐增多的情况下，组播有着巨大的市场潜力，组播业务也将逐渐得到推广和普及。

6.2 PIM-DM

6.2.1 PIM-DM 介绍

PIM-DM（Protocol Independent Multicast，Dense Mode，协议独立组播－密集模式）属于密集模式的组播路由协议，适用于小型网络，在这种网络环境下，组播组的成员相对比较密集。

PIM-DM 的工作过程可以概括为：邻居发现、扩散—剪枝过程、嫁接阶段。

1. 邻居发现

PIM-DM 路由器刚开始启动时，需要使用Hello报文来发现邻居。运行PIM-DM的各网络节点之间使用Hello报文保持联系。PIM-DM Hello报文是周期性发送的。

2. 扩散—剪枝过程（Flooding&Prune）

PIM-DM 假设网络上的所有主机都准备接收组播数据。当某组播源S开始向组播组G发送数据时，在路由器接收到组播报文后，首先根据单播路由表进行RPF检查，如果检查通过，路由器创建一个（S，G）表项，然后将组播报文向网络上所有下游PIM-DM节点转发（Flooding）。如果没有通过RPF检查，即组播报文是从错误的接口输入，则将该报文丢弃。经过这个过程，在PIM-DM组播域内，每个节点都会创建一个（S，G）表项。如果下游节点没有组播组成员，则向上游节点发剪枝（Prune）消息，通知上游节点不用再转发该组播组

数据。上游节点收到剪枝消息后，就将相应的接口从其组播转发表项（S，G）对应的输出接口列表中删除，这就建立了一个以源S为根的SPT（Shortest Path Tree，SPT）树。剪枝过程最先由叶子路由器发起。

3. RPF检查

PIM-DM采用RPF检查，利用现存的单播路由表构建一棵从数据源始发的组播转发树。当一个组播包到达时，路由器首先判断到达路径的正确性。如果到达接口是单播路由指示的通往组播源的接口，就认为这个组播包是从正确路径而来；否则，将组播包作为冗余报文丢弃。作为路径判断依据的单播路由信息可以来源于任何一种单播路由协议，如RIP、OSPF 等发现的路由信息，而不依赖于特定的单播路由协议。

4. Assert机制

如果处于一个LAN网段上的两台组播路由器A和B，各自有到组播源S的接收途径，它们在接收到组播源S发出的组播数据报文以后，都会向LAN上转发该组播报文，这时，下游节点组播路由器C就会收到两份相同的组播报文。路由器检测到这种情况后，需要通过Assert机制来选定一个唯一的转发者。通过发送Assert报文，选出一条最优的转发路径，如果两条或两条以上路径的优先级和开销相同，则选择IP地址大的节点作为该（S，G）项的上游邻居，由它负责该（S，G）组播报文的转发。

5. 嫁接（Graft）

当被剪枝的下游节点需要恢复到转发状态时，该节点使用嫁接报文通知上游节点恢复组播数据转发。

6．PIM-DM的状态刷新

为了减少PIM-DM周期性的扩散-剪枝，PIM-DM协议最新版本提供了一个选项（option），它将从组播源的第一跳路由器开始，周期性的向下面广播（S，G）状态刷新消息以完成状态刷新。当下游PIM路由器收到（S，G）状态刷新消息，它就将剪枝计时器复位，终止剪枝计时器超时，从而即保证了网络的时效性，避免了周期性的扩散-剪枝过程。

6.2.2 PIM-DM 配置任务序列

1、 启动 PIM-DM（必须）
2、 配置静态组播表项（可选）
3、 配置 PIM-DM 辅助参数（可选）
   a) 配置 PIM-DM hello 报文间隔时间
   b) 配置 state-refresh 报文间隔时间
   c) 配置边缘接口
   d) 配置管理边界
4、 关闭 PIM-DM 协议

1. 启动 PIM-DM 协议

在三层交换机上运行 PIM-DM 路由协议的基本配置很简单，需全局配置模式下打开 PIM 组播开关，然后在相应接口下打开 PIM-DM 开关即可。

命令	解释

全局配置模式	
ip pim multicast-routing **no ip pim multicast-routing**	使各个接口上的 PIM-DM 协议进入使能状态（但真正在接口上开始 PIM-DM 协议，还需下面的命令）。

然后在接口上打开 PIM-SM 开关

命令	解释
接口配置模式	
ip pim dense-mode	启动本接口 PIM-DM 协议。（必须）

2．配置静态组播表项

命令	解释
全局配置模式	
ip mroute *<A.B.C.D>* *<A.B.C.D>* *<ifname>* *<.ifname>* **no ip mroute *<A.B.C.D>* *<A.B.C.D>* [*<ifname>* *<.ifname>*]**	配置静态组播表项，其 no 命令删除静态组播表项或其出接口。

3. 配置 PIM-DM 辅助参数

a）配置 PIM-DM hello 报文间隔时间

命令	解释
接口配置模式	
ip pim hello-interval *<interval>* **no ip pim hello-interval**	配置接口 PIM-DM hello 报文间隔时间；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

b）配置 state-refresh 报文间隔时间

命令	解释
全局配置模式	
ip pim state-refresh origination-interval **no ip pim state-refresh origination-interval**	全局模式下配置 PIM-DM state-refresh 报文间隔时间；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

c）配置边缘接口

命令	解释
接口配置模式	
ip pim bsr-border **no ip pim bsr-border**	配置接口为 PIM-DM 边缘接口，边缘接口上，BSR 相关消息不向该接口发送也不从该接口接收，连接的网络被认为都是该接口的直连网络。本命令的 no 操作取消该配置。

d）配置管理边界

命令	解释
接口配置模式	
ip pim scope-border *<1-99>* | *<acl_name>* **no ip pim scope-border**	配置 PIM-DM 管理边界和使用的 ACL。组播数据不向 SCOPE-BORDER 扩散，默认的情形下，认为 239.0.0.0/8 的范围为管理组范围，若配置了 ACL，则 ACL permit 的范围为管理组范围。本命令的 no 操作取消该配置。

4. 关闭 PIM-DM 协议

命令	解释
接口配置模式	
no ip pim dense-mode	在接口上关闭 PIM-DM 协议。
全局配置模式	
no ip pim multicast-routing	全局关闭 PIM-DM 协议。

6.2.3 PIM-DM 典型案例

如下图，将 switchA，switchB 的以太网接口加入到相应的 VLAN 中，并在各 VLAN 接口上启动 PIM-DM 协议。如果 VLAN 内同时配置了 IGMP SNOOPING，则组播流量能精确到端口，而不在整个 VLAN 内泛洪。

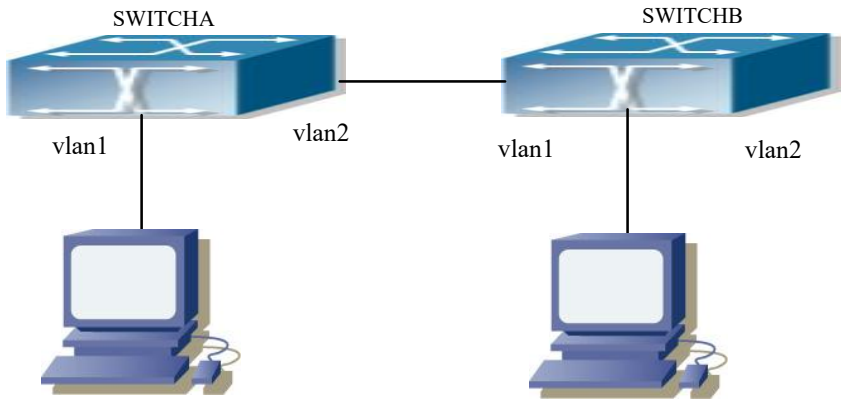


图 5-1 PIM-DM 典型环境

switchA 和switchB配置步骤如下：

(1) 配置SwitchA：

Switch (config)#ip pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)# ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)# ip pim dense-mode

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan2

Switch(Config-if-Vlan2)# ip address 12.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan2)# ip pim dense-mode

(2) 配置SwitchB：

Switch (config)#ip pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)# ip address 12.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)# ip pim dense-mode

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)# ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan2)# ip pim dense-mode

同时要注意配置好单播路由协议，确保网络中各设备之间能够在网络层互通，并且能够借助单播路由协议实现动态路由更新。

6.2.4 PIM-DM 排错帮助

在配置、使用 PIM-DM 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 PIM-DM 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误
- 保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）
- 保证全局配置模式下打开 PIM 协议(使用 ip pim multicast-routing)
- 在接口上启动 PIM-DM 协议（使用 ip pim dense-mode 命令）
- 组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性

如果使用检查仍无法解决 PIM-DM 的问题，那么请使用 debug pim 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

6.3 PIM-SM

6.3.1 PIM-SM 介绍

PIM-SM（Protocol Independent Multicast，Sparse Mode）即与协议无关组播-稀疏模式，属于稀疏模式的组播路由协议，主要用于组成员分布相对分散、范围较广、大规模的网络。与密集模式的扩散—剪枝不同，PIM-SM协议假定所有的主机都不需要接收组播数据包，只有主机明确指定需要时，PIM-SM路由器才向它转发组播数据包。

PIM-SM通过设置汇聚点RP（Rendezvous Point）和自举路由器BSR（Bootstrap Router），向所有PIM-SM路由器通告组播信息，并利用路由器的加入/剪枝信息，建立起基于RP的共享

树RPT（RP-rooted shared tree）。从而减少数据报文和控制报文占用的网络带宽，降低路由器的处理开销。组播数据沿着共享树流到该组播组成员所在的网段，当数据流量达到一定程度，组播数据流可以切换到基于源的最短路径树SPT，以减少网络延迟。PIM-SM不依赖于特定的单播路由协议，而是使用现存的单播路由表进行RPF检查。

6.3.1.1 PIM-SM 工作原理

PIM-SM的工作过程主要有：邻居发现、RP共享树（RPT）的生成、组播源注册、SPT切换等。其中，邻居发现机制与PIM-DM相同，这里不再介绍。

6.3.1.1.1 RP 共享树（RPT）的生成

当主机加入一个组播组G时，与该主机直接相连的叶子路由器通过IGMP报文了解到有组播组G的接收者，就为组播组G计算出对应的汇聚点RP，然后向朝着RP方向的上一级节点发送加入组播组的消息（join 消息）。从叶子路由器到RP之间途经的每个路由器都会在转发表中生成（*，G）表项，表示由任意源发出的，发送至组播组G的，都适用于该表项。当RP收到发往组播组G的报文后，报文就会沿着已经建立好的路径到达叶子路由器，进而到达主机。这样就生成了以RP为根的RPT。

6.3.1.1.2 组播源注册

当组播源S向组播组G发送了一个组播报文时，与其直接相连的PIM-SM组播路由器接收到该报文以后，就负责将该组播报文封装成注册报文，单播给对应的RP。如果一个网段上有多个PIM-SM组播路由器，这时候将由指定路由器DR（Designated Router）负责发送该组播报文。

6.3.1.1.3 SPT 切换

当组播路由器发现从RP发来的目的地址为G的组播报文的速率超过了阈值时，组播路由器就向朝着源S的上一级节点发送加入消息，导致RPT向SPT的切换。

6.3.1.2 PIM-SM 配置前准备工作

6.3.1.2.1 配置候选 RP

在PIM-SM网络中，可以存在多个RP（候选RP），每个候选RP（Candidate-RP，C-RP）负责转发目的地址在一定范围内的组播报文。配置多个候选RP可以实现RP负载分担。候选RP之间没有主次之分，所有的组播路由器收到BSR通告的候选RP消息后，根据相同的算法计算出与某一组播组对应的RP。

注意，一个RP可以为多个组播组服务，也可以为所有组播组服务。每个组播组在任意时刻，只能唯一地对应一个RP，不能同时对应多个RP。

6.3.1.2.2 配置 BSR

BSR 是PIM-SM 网络里的管理核心，它负责收集候选RP发来的信息，并把它们广播出去。

一个网络内部只能有一个BSR，但可以配置多个候选BSR（Candidate-BSR， C-BSR）。这样，一旦某个BSR发生故障后，能够切换到另外一个。C-BSR通过自动选举产生BSR。

6.3.2 PIM-SM 配置任务序列

1、 启动 PIM-SM（必须）
2、 配置静态组播表项（可选）
3、 配置 PIM-SM 辅助参数（可选）
（1）配置 PIM-SM 接口参数
1） 配置 PIM-SM hello 报文间隔时间
2） 配置 PIM-SM hello 报文 holdtime 时间
3） 配置 PIM-SM 邻居访问列表
4） 配置接口为 PIM-SM 边缘接口
5） 配置接口为 PIM-SM 管理边界
（2）配置 PIM-SM 全局参数
1）配置交换机作为候选 BSR
2）配置交换机作为候选 RP
3）配置静态 RP
4）配置内核组播路由缓存时间
4、 关闭 PIM-SM 协议

1. 启动 PIM-SM 协议

在三层交换机上运行 PIM-SM 路由协议的基本配置很简单，需全局配置模式下打开 PIM 组播开关，然后在相应接口下打开 PIM-SM 开关即可。

命令	解释
全局配置模式	
ip pim multicast-routing	使各个接口上的 PIM-SM 协议进入使能状态（但真正在接口上开始 PIM-SM 协议，还需下面的命令）。（必须）

然后在接口上打开 PIM-SM 开关

命令	解释
接口配置模式	
ip pim sparse-mode	启动本接口 PIM-SM 协议。（必须）

2．配置静态组播表项

命令	解释
全局配置模式	

ip mroute <*A.B.C.D*> <*A.B.C.D*> <*ifname*> <.*ifname*> **no ip mroute <*A.B.C.D*> <*A.B.C.D*> [<*ifname*> <.*ifname*>]**	配置静态组播表项，其 no 命令删除静态组播表项或其出接口。

3. 配置 PIM-SM 辅助参数

（1）配置 PIM-SM 接口参数

1）配置 PIM-SM hello 报文间隔时间

命令	解释
接口配置模式	
ip pim hello-interval < *interval*> **no ip pim hello-interval**	配置接口 PIM-SM hello 报文间隔时间；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

2）配置 PIM-SM hello 报文 holdtime 时间

命令	解释
接口配置模式	
ip pim hello-holdtime <*value*> **no ip pim hello-holdtime**	配置接口 PIM-SM hello 报文中的 holdtime 域的值；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

3）配置 PIM-SM 邻居访问列表

命令	解释
接口配置模式	
ip pim neighbor-filter {<*access-list-number*> } **no ip pim neighbor-filter {<*access-list-number*> }**	配置邻居访问列表。如果被列表过滤，如果已经同此邻居建立连接，则此连接马上被切断，如果没有建立连接，则这个连接不能建立。

4）配置边缘接口

命令	解释
接口配置模式	
ip pim bsr-border **no ip pim bsr-border**	配置接口为 PIM-DM 边缘接口，边缘接口上，BSR 相关消息不向该接口发送也不从该接口接收，连接的网络被认为都是该接口的直连网络。本命令的 no 操作取消该配置。

5）配置管理边界

命令	解释
接口配置模式	

ip pim scope-border <*1-99*> | <*acl_name*> **no ip pim scope-border**	配置 PIM-DM 管理边界和使用的 ACL。组播数据不向 SCOPE-BORDER 扩散，默认的情形下，认为 239.0.0.0/8 的范围为管理组范围，若配置了 ACL，则 ACL permit 的范围为管理组范围。acl_name 应当是 IPV4 标准 ACL 名。本命令的 no 操作取消该配置。

（2） 配置 PIM-SM 全局参数

1）配置交换机作为候选 BSR

命令	解释
全局配置模式	
ip pim bsr-candidate {vlan <*vlan-id*> | <*ifname*>} [<*mask-length*>] [<*priority*>] **no ip pim bsr-candidate**	该命令为全局候选 BSR 配置命令，用于配置 PIM-SM 候选 BSR 的信息，以用于同其它候选 BSR 竞争 BSR 路由器；本命令的 no 操作为取消候选 BSR 的配置。

2）配置交换机作为候选 RP

命令	解释
全局配置模式	
ip pim rp-candidate {vlan<vlan-id> | loopback<index> | <ifname>} [<A.B.C.D>] [<priority>] **no ip pim rp-candidate**	该命令为全局候选 RP 配置命令，用于配置 PIM-SM 候选 RP 的信息，以用于同其它候选 RP 竞争 RP 路由器；本命令的 no 操作为取消候选 RP 的配置。

3）配置静态 RP

命令	解释
全局配置模式	
ip pim rp-address <A.B.C.D> [<A.B.C.D/M>] **no ip pim rp-address <A.B.C.D> {<*all*> | <A.B.C.D/M>}**	该命令为全局或某个组播地址范围的组播组配置静态 RP，本命令的 no 操作为取消静态 RP 的配置。

4）配置内核组播路由缓存时间

命令	解释
全局配置模式	
ip multicast unresolved-cache aging-time <value> **no ip multicast unresolved-cache aging-time**	配置内核组播路由缓存时间；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

4．关闭 PIM-SM 协议

命令	解释
接口配置模式	
no ip pim sparse-mode | no ip pim multicast-routing (全局配置模式)	关闭 PIM-SM 协议。

6.3.3 PIM-SM 典型案例

如下图所示，将switchA，switchB，switchC，switchD的以太网接口加入到相应VLAN中，并在各VLAN接口上启动PIM-SM协议。如果VLAN内同时配置了IGMP SNOOPING，则组播流量能精确到端口，而不在整个VLAN内泛洪。

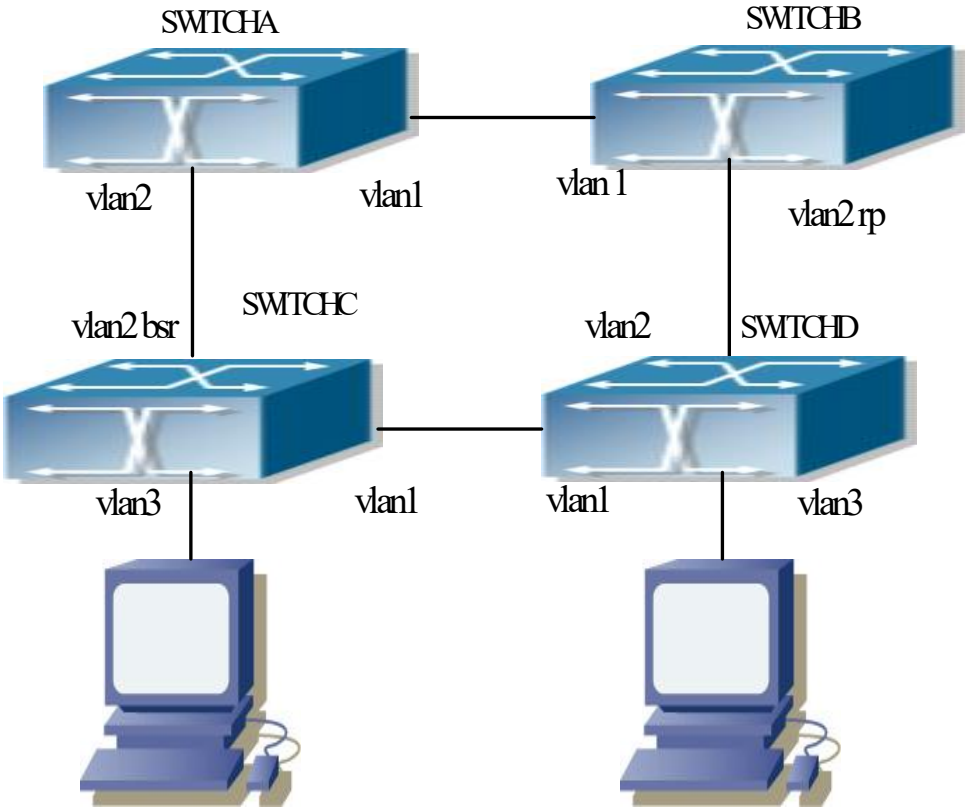


图 5-2 PIM-SM 典型环境

switchA 和 switchB，switchC，switchD 配置步骤如下：

(1) 配置 SwitchA：

Switch (config)#ip pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ip address 12.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan1)# ip pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ip address 13.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan2)# ip pim sparse-mode

(2) 配置 SwitchB：

Switch (config)#ip pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ip address 12.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan1)# ip pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ip address 24.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan2)# ip pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan2)# exit

Switch (config)# ip pim rp-candidate vlan2

(3) 配置 SwitchC：

Switch (config)#ip pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ip address 34.1.1.3 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan1)# ip pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ip address 13.1.1.3 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan2)# ip pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan2)#exit

Switch (config)#interface vlan 3

Switch(Config-If-Vlan3)# ip address 30.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan3)# ip pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan3)# exit

Switch (config)# ip pim bsr-candidate vlan2 30 10

(4) 配置 SwitchD：

Switch (config)#ip pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ip address 34.1.1.4 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan1)# ip pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ip address 24.1.1.4 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan2)# ip pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan2)#exit

Switch (config)#interface vlan 3

Switch(Config-If-Vlan3)# ip address 40.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan3)# ip pim sparse-mode

同时要注意配置好单播路由协议，确保网络中各设备之间能够在网络层互通，并且能够借助单播路由协议实现动态路由更新。

6.3.4 PIM-SM 排错帮助

在配置、使用 PIM-SM 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 PIM-SM 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误；
- 保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 保证全局配置模式下 PIM 协议打开（使用 ip pim multicast-routing）；
- 保证接口上配置 PIM-SM（使用 ip pim sparse-mode）；
- 组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性；
- PIM-SM 协议需要有 rp 和 bsr 的支持，所以首先使用 **show ip pim bsr-router**，看是否有 bsr 信息，如果不存在，则需要查看是否有通向 bsr 的单播路由；
- 使用 **show ip pim rp-hash** 命令查看 rp 信息是否正确，如果没有 rp 信息，也要检查单播路由。

如果使用检查仍无法解决PIM-SM的问题，那么请使用debug pim/ debug pim bsr等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

6.4 MSDP

6.4.1 MSDP 介绍

MSDP（Multicast Source Discovery Protocol，组播源发现协议）用来发现其它PIM-SM域内的组播源信息。配置了MSDP对等体的RP将其域内的活动组播源信息通过SA消息通告给它的所有MSDP对等体，这样，一个PIM-SM域内的组播源信息就会被传递到另一个PIM-SM域。在 MSDP 里使用的是域间信源树而不是共享树，而且要求域内组播路由协议必须是 PIM-SM。

- PIM-SM 协议中 RP 工作原理

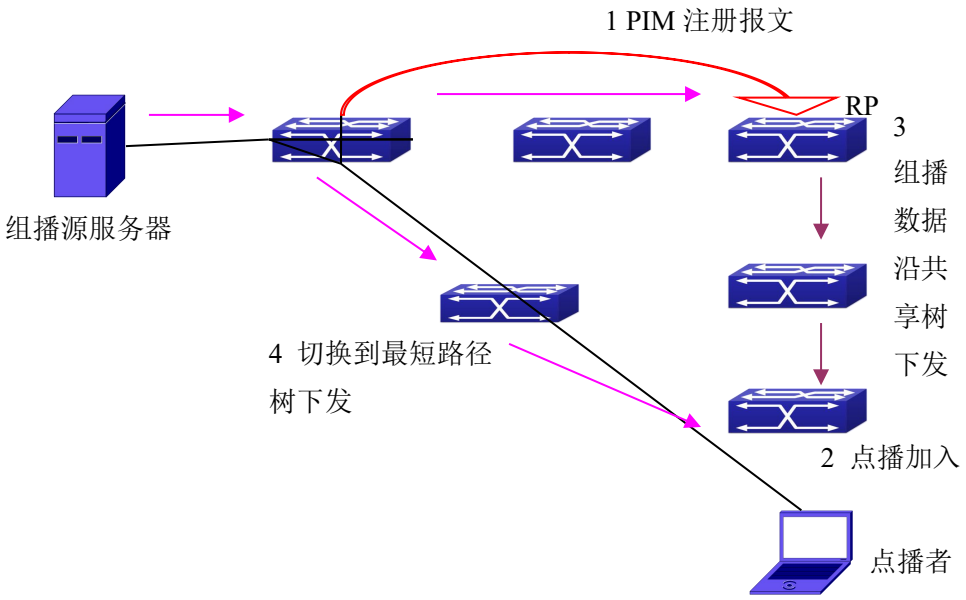


图 5-3 RP 工作原理

6.4.2 MSDP 配置任务简介

1. 配置MSDP基本功能
   1) 使能MSDP(必选)
   2) 创建MSDP对等体(必选)
   3) 配置Connect-Source接口
   4) 配置静态RPF对等体
   5) 配置Originator-RP
   6) 配置TTL阀值
2. 配置MSDP对等体参数
   1) 配置Connect-Source接口
   2) 配置MSDP对等体的描述信息
   3) 配置AS号
   4) 配置MSDP全连接组
   5) 配置缓存最大数目
3. 配置报文收发参数
   1) 配置SA报文创建过滤策略
   2) 配置SA报文接收和转发过滤规则
   3) 配置SA请求报文
   4) 配置SA-Request报文过滤策略
4. 配置SA-cache参数
   1) 配置SA报文缓存
   2) 配置缓存表项的存活时间

3) 配置缓存最大数目

6.4.3 配置 MSDP 基本功能

本节的所有命令都是在PIM-SM域内的RP上配置的，这些RP将成为MSDP对等体的一端。

6.4.3.1 配置准备

在配置MSDP基本功能之前，需完成以下任务：

- 配置任一单播路由协议，实现域内和域间网络层互通
- 配置PIM-SM基本功能，实现域内组播

在配置MSDP基本功能之前，需准备以下数据：

- MSDP对等体的IP地址
- 过滤策略列表

注意：MSDP不能和Any-cast RP一起使用，但是可以配置基于MSDP协议的Any-cast RP。

6.4.3.2 使能 MSDP

在配置 MSDP 各功能之前，必须先使能 MSDP。

1.启动 MSDP 功能

2.配置 MSDP

1.启动 MSDP 功能

命令	解释
全局配置模式	
router msdp **no router msdp**	启动 MSDP 功能。no 命令关闭全局 MSDP 功能。

2.配置 MSDP 辅助参数

命令	解释
MSDP 配置模式	
connect-source ***<interface-type>*** ***<interface-number>*** **no connect-source**	配置 MSDP Peer 的 Connect-Source 接口。 no 命令取消配置的 Connect-Source 接口。
default-rpf-peer **<peer-address> [rp-policy <acl-list-number>|<word>]** **no default-rpf-peer**	配置静态 RPF Peer。 no 命令取消配置的 RPF Peer。
originating-rp ***<interface-type>*** ***<interface-number>*** **no originating-rp**	配置 Originator-RP。 no 命令取消配置的 Originator-RP。
ttl-threshold <*ttl*> **no ttl-threshold**	配置 TTL 阀值。 no 命令取消配置的 TTL 阀值。

6.4.4 配置 MSDP 对等体

6.4.4.1 创建 MSDP Peer

命令	解释
MSDP 配置模式	
peer <*peer-address*> **no peer <*peer-address*>**	创建 MSDP Peer。 no 命令删除 MSDP Peer。

6.4.4.2 配置 MSDP 辅助参数

命令	解释
MSDP Peer 配置模式	
connect-source <*interface-type*> <*interface-number*> **no connect-source**	配置 MSDP Peer 的 Connect-Source 接口。 no 命令取消配置的 Connect-Source 接口。
description <*text*> **no description**	配置 MSDP 对等体的描述信息。 no 命令删除 MSDP 对等体的描述信息。
remote-as <*as-num*> **no remote-as <*as-num*>**	配置 MSDP Peer 的 AS 号。 no 命令取消配置 MSDP Peer 的 AS 号。
mesh-group <*name*> **no mesh-group <*name*>**	配置 MSDP Peer 加入指定全连接组。 no 命令取消配置 MSDP Peer 的全连接组成员身份。

6.4.5 配置报文收发

命令	解释
MSDP 配置模式	
redistribute [list <*acl-list-number* |*acl-name*>] **no redistribute**	配置 SA 报文创建过滤策略。 no 命令取消配置 SA 报文创建过滤策略。
MSDP 配置模式或 MSDP Peer 配置模式	
sa-filter （ in|out ） [list <*acl-number* | *acl-name*> | rp-list <*rp-acl-number* | *rp-acl-name*>] **no sa-filter （ in|out ） [[list <*acl-number* | *acl-name*> | rp-list <rp-acl-number | rp-acl-name>]**	配置 SA 报文接收和转发过滤规则。 no 命令取消配置的 SA 报文接收和转发过滤规则。
MSDP Peer 配置模式	
sa-request	配置发送 SA 请求报文。

no sa-request	no 命令取消发送 SA 请求报文。
MSDP 配置模式	
sa-request-filter [list <*access-list-number* | *access-list-name*>] **no sa-request-filter [list <*access-list-number* | *access-list-name*>]**	配置 SA-Request 报文过滤策略。 取消配置 SA-Request 报文过滤策略。

6.4.6 配置 SA-cache 参数

命令	解释
MSDP 配置模式	
cache-sa-state **no cache-sa-state**	使能 SA 报文缓存。 关闭 SA 报文缓存。
cache-sa-holdtime <*150-3600*> **no cache-sa-holdtime**	配置缓存表项的存活时间。 恢复缓存表项的默认的存活时间。
MSDP 配置模式或 MSDP Peer 配置模式	
cache-sa-maximum <*sa-limit*> **no cache-sa-maximum**	配置缓存最大数目。 恢复默认缓存最大数目。

6.4.7 MSDP 举例

案例 1：MSDP 功能。

组播配置：

1. 假设有组播服务器上提供组播地址 224.1.1.1 的节目，组播源开始发送数据包；
2. 连接组播源的指定路由器 DR（Designated Router）将组播源发出的数据封装在 Register 报文里，发给本域内的 RP（RP1）；
3. RP 将报文解封装，沿域内的共享树向下转发给域内的所有成员，域内成员可以选择是否切换到源树上；
4. 同时，域内 RP 作为源端 RP，将生成一个 SA（Source Active，活动源）消息，发送给 MSDP 对等体（RP2）。
5. 如果 MSDP 对等体所在的域里有组成员（RP3）， RP3 将 SA 消息中封装的组播数据沿共享树下发到组成员的同时，向组播源发送加入消息；即 RP 创建(S，G)表项，向源端 DR 逐跳发送(S，G)加入消息(Join Message)，从而跨越各 PIM-SM 域直接加入以该组播源为根的 SPT。

   如果某个 MSDP 对等体所在的域（RP2）里没有组成员，则 RP2 不会创建(S，G)表项，也不加入以该组播源为根的 SPT。
6. 当逆向转发路径建立起来之后，组播源发出的数据将直接发送到 RP3 上，RP 向共享树转发数据。此时，连接组成员的最后一跳路由器可以自行选择是否切换到 SPT 上。

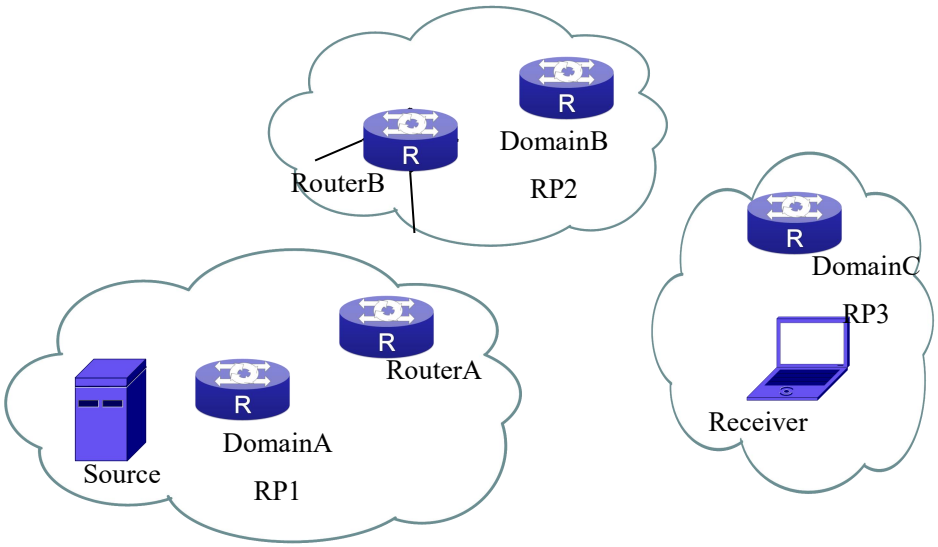


图 5-4 MSDP 对等体位置

配置步骤如下：

配置准备：

在每个路由器上启动单播路由协议和 PIM 协议，保证域内域间路由相通，域内组播正常。

假设 Doamin A 中的组播服务器 S 上提供组播地址 224.1.1.1 的节目，Domain C 有主机 R 点播该节目，没有使能 MSDP 之前点播不到该节目，完成以下配置之后，R 能收看 S 的节目。

Domain A 的 RP1:

Switch#config

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch(config)#router msdp

Switch(router-msdp)#peer 10.1.1.2

Domain A 的 Router A :

Switch#config

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)#ip address 20.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan2)#exit

Switch(config)#router msdp

Switch(router-msdp)#peer 10.1.1.1

Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 20.1.1.1

Domain B 的 Router B :

Switch#config
Switch(config)#interface vlan 2
Switch(Config-if-Vlan2)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan2)#exit
Switch(config)#interface vlan 3
Switch(Config-if-Vlan3)#ip address 30.1.1.1 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan3)#exit
Switch(config)#router msdp
Switch(router-msdp)#peer 20.1.1.2
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 30.1.1.2

Domain B 的 RP2:

Switch#config
Switch(config)#interface vlan 3
Switch(Config-if-Vlan3)#ip address 30.1.1.2 255.255.255.0
Switch(config)#interface vlan 4
Switch(Config-if-Vlan4)#ip address 40.1.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan4)#exit
Switch(config)#router msdp
Switch(router-msdp)#peer 30.1.1.1
Switch(config)#router msdp
Switch(router-msdp)#peer 40.1.1.1

Domain C 的 RP3:

Switch(config)#interface vlan 4
Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 40.1.1.1 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan1)#exit
Switch(config)#router msdp
Switch(router-msdp)#peer 40.1.1.2

案例 2：MSDP Mesh-Group 应用。

Mesh-Group 规则可以在全连接组中有效的减少 SA 消息的泛洪。通常把同一个域中全连接的所有 Peer，配置为一个 Mesh-Group，且所有组成员均使用相同的组名称。

如图，对同域中四个全连接的 Peer 配置了 Mesh-Group 规则后，从 SA 消息的转发情况可看出，SA 消息的泛洪情况得到了很好的解决。

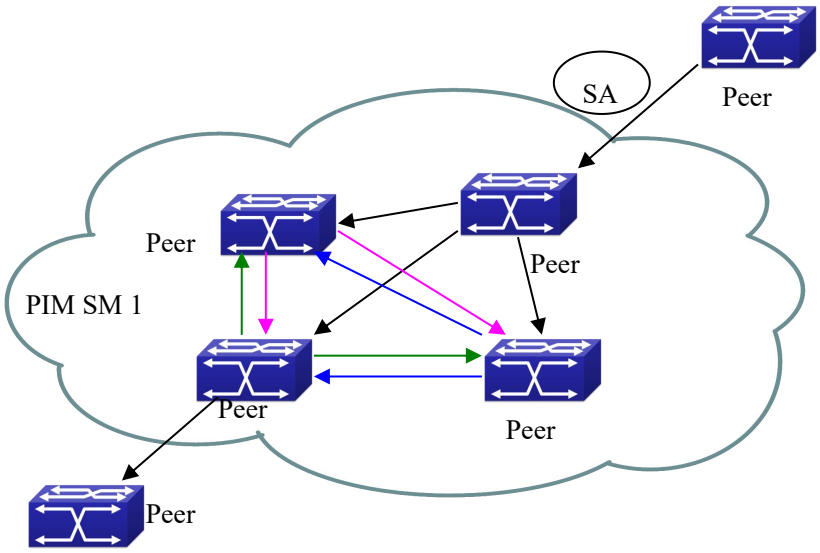
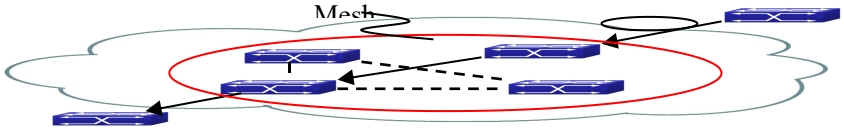


图 5-5 SA 消息泛洪



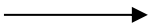


图 5-6 Mesh-Group 下控制 SA 消息泛洪

配置步骤如下：

Router A:

Switch#config

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan2)#exit
Switch(config)#interface vlan 3
Switch(Config-if-Vlan3)#ip address 30.1.1.1 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan3)#exit
Switch(config)#router msdp
Switch(router-msdp)#peer 10.1.1.2
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 20.1.1.4
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 30.1.1.3
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit

Router B :

Switch#config
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan1)#exit
Switch(config)#interface vlan 4
Switch(Config-if-Vlan4)#ip address 40.1.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan4)#exit
Switch(config)#interface vlan 6
Switch(Config-if-Vlan6)#ip address 60.1.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan6)#exit
Switch(config)#router msdp
Switch(router-msdp)#peer 10.1.1.1
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 40.1.1.4
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 60.1.1.3
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1

Router C :

Switch#config
Switch(config)#interface vlan 4

Switch(Config-if-Vlan4)#ip address 40.1.1.4 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan4)#exit
Switch(config)#interface vlan 5
Switch(Config-if-Vlan5)#ip address 50.1.1.4 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan5)#exit
Switch(config)#interface vlan 6
Switch(Config-if-Vlan6)#ip address 60.1.1.4 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan6)#exit
Switch(config)#router msdp
Switch(router-msdp)#peer 20.1.1.1
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 40.1.1.4
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 60.1.1.2
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1

Router D:
Switch#config
Switch(config)#interface vlan 2
Switch(Config-if-Vlan2)#ip address 20.1.1.4 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan2)#exit
Switch(config)#interface vlan 4
Switch(Config-if-Vlan1)#ip address 40.1.1.4 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan1)#exit
Switch(config)#interface vlan 5
Switch(Config-if-Vlan5)#ip address 50.1.1.4 255.255.255.0
Switch(Config-if-Vlan5)#exit
Switch(config)#router msdp
Switch(router-msdp)#peer 20.1.1.1
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 40.1.1.2
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1
Switch(msdp-peer)#exit
Switch(router-msdp)#peer 50.1.1.3
Switch(router-msdp)#mesh-group test-1

6.4.8 MSDP 排错帮助

在配置、使用 MSDP 功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 MSDP 未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误
- 保证各个 Peer 之间路由可达，即域内和域间网络层互通
- 保证各个域内的组播协议使用 PIM-SM，PIM-SM 配置正确并且运行正常
- 保证 MSDP 已经使能，配置的 Peer 使用的接口是 UP 的
- 使用 **show msdp gloabl** 命令查看 MSDP 配置信息是否正确

如果使用检查仍无法解决 MSDP 的问题，那么请使用 debug msdp 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

6.5 ANYCAST RP

6.5.1 ANYCAST RP 介绍

基于 PIM 协议的 Anycast RP 是一种为了让 RP 失效能够尽快恢复而提供冗余的技术，Anycast-RP 地址通常是配置在 loopback 接口上的地址。

Anycast RP 的核心思想是在整个网络上配置的 RP 地址，存在于多台组播路由器上（通常的情况是在各个提供 ANYCAST RP 的设备上都使用 LOOPBACK 接口，并配置 RP 地址在这个接口上，使用最长的掩码），而单播路由算法将决定了 PIM 路由器总是能找到离自己最近的 RP，因此对于比较大的网络提供了更短更快的找到 RP 的路径。而一旦正在使用的某一个 RP 失效，单播路由算法将保证 PIM 路由器很快找到新的 RP 路径，从而使组播服务迅速恢复。多个 RP 会出现新的问题，即如果组播源和接收者注册到不同的 RP，会导致有的接收者不能接收到组播源数据（注册报文显然只会青睐离自己的最近的 RP）。因此，为了在各 RP 间保持联络，Anycast RP 规定离组播源最近的 RP 在收到注册报文时应将源注册信息转发通知给其他 RP，保证所有 RP 上的加入者都可以找到该组播源。

基于 PIM 协议的 Anycast RP 具体实现方法是：在每个配置了 Anycast RP 的交换机上维护一份 ANYCAST RP 的列表，并使用另一个地址作为他们之间互相识别的标志，在一台 Anycast RP 设备收到注册消息后，以标志自己的地址作为源地址向其它 Anycast RP 设备发送注册消息，以达到让其它设备也知道本源的目的。

6.5.2 ANYCAST RP 配置任务

1.启动 ANYCAST RP v4 功能

2.配置 ANYCAST RP v4

1.启动 ANYCAST RP v4 功能

命令	解释
全局配置模式	
ip pim anycast-rp **no ip pim anycast-rp**	启动 ANYCAST RP 功能。（必须） no 操作关闭全局 ANYCAST RP 功能。

2.配置 ANYCAST RP v4

(1) 配置候选 RP

命令	解释
全局配置模式	
ip pim rp-candidate {vlan<*vlan-id*> | loopback<*index*> | <*ifname*>} [<*A.B.C.D*>] [<*priority*>] **no ip pim rp-candidate**	目前 PIM-SM 已允许配置 Loopback 接口作为候选 RP。（必须） 需要注意，ANYCAST RP 协议可以配置 Loopback 接口或普通三层 VLAN 接口作为候选 RP。为使网络中 PIM 路由器找到 RP 位置，应将候选 RP 接口添加到路由中。 no 操作取消本路由器候选 RP 配置。

(2) 配置 self-rp-address (本 RP 通信地址)

命令	解释
全局配置模式	
ip pim anycast-rp self-rp-address A.B.C.D **no ip pim anycast-rp self-rp-address**	在本路由器（作为 RP）上配置本路由器的 self-rp-address。该地址唯一标志本路由器，用于与其他 RPs 之间的通讯。 **self-rp-address** 具体作用有两个方面： 1 当本路由器（作为 RP）收到从 DR 单播过来的注册报文，需要将该注册报文向网络中其他 RP 转发，使得网络中所有 RP 获得源（S,G）状态。转发时，本路由器修改注册报文源地址为 self-rp-address。 2 当本路由器（作为 RP）收到从其他 RP 单播转发过来的注册报文，如注册报文目的地址为本路由器 self-rp-address，则建立（S,G）状态并反方向发送注册中止报文，注册中止报文目的地址即注册报文的源地址。 注意：self-rp-address 应为本路由器上某个三层接口地址，但在配置时我们允许此接口当前不存在。self-rp-address 是唯一的。

	no 操作取消本路由器（作为 RP）用于与其他 RP 通信的 self-rp-address。

(3) 配置 other-rp-address (其他 RP 通信地址)

命令	解释
全局配置模式	
ip pim anycast-rp ***<anycast-rp-addr>*** ***<other-rp-addr>*** **no ip pim anycast-rp** ***<anycast-rp-addr>*** ***<other-rp-addr>***	在本路由器（作为 RP）上配置 anycast-rp-addr 地址。该单播地址实际上就是在网络中多个 RP 上配置的 RP 地址，对应候选 RP 接口(或者 Loopback 接口)的地址。 **anycast-rp-addr** 具体作用有： 1 允许配置多个 anycast-rp-addr 地址，只有与当前配置的候选 RP 接口地址相同的 anycast-rp-addr 地址生效。此时对应该 anycast-rp-addr 地址的 other-rp-address 也才会生效。 2 配置时我们允许 anycast-rp-addr 对应的接口当前不存在。 在本路由器（作为 RP）上配置与本路由器通讯的其他 RP 的 other-rp-address。该单播地址标志其他 RP，用于与本地路由器之间的通讯。 **other-rp-address** 具体作用有两个方面： 1 当本路由器（作为 RP）收到从 DR 单播过来的注册报文，需要将该注册报文向网络中其他 RP 转发，使得网络中所有 RP 获得源（S，G）状态。转发时，本路由器修改注册报文目的地址为 other-rp-address。 2 对应一个 anycast-rp-addr 可以配置多个 other-rp-address，当收到 DR 单播过来的注册报文，依次向这些其他 RP 转发。 no 操作取消与本路由器通信的某个 other-rp-address。

6.5.3 ANYCAST RP 典型案例

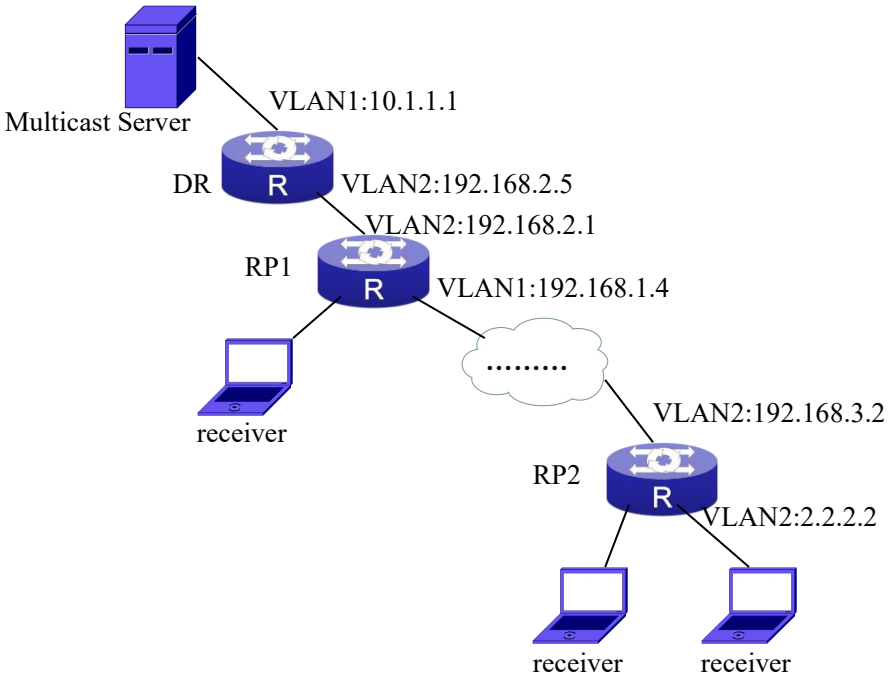


图 5-7 路由器 ANYCAST RP v4 功能

如图所示，整体网络环境为 PIM-SM，网络中提供了两台支持 ANYCAST RP 的路由器 RP1，RP2。组播源服务器发出的组播数据到达 DR 后，DR 依据单播路由算法向距离自己最近的 RP 单播发送组播源注册报文，此处为 RP1。在 RP1 收到来自 DR 的注册报文后，除了根据已加入自己的点播者向共享树下发，RP1 会在收到注册报文后将组播源注册信息转发通知给 RP2，保证所有 RP2 上的加入者都可以找到该组播源。由于在配置了 ANYCAST RP 的路由器 RP1 上维护了一份 ANYCAST RP 的列表，该列表保存了网络中所有其他 RP 的单播通讯地址，因此 RP1 收到注册消息后，以标志自己的 self-rp-address 地址作为源地址向 RP2 转发注册消息。本图中云层代表处于 RP1 和 RP2 之间运行 PIM-SM 的网络。

配置步骤如下：

RP1 配置：

Switch#config

Switch(config)#interface loopback 1

Switch(Config-if-Loopback1)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.255

Switch(Config-if-Loopback1)#exit

Switch(config)#ip pim rp-candidate loopback1

Switch(config)#ip pim bsr-candidate vlan 1

Switch(config)#ip pim multicast-routing

Switch(config)#ip pim anycast-rp

Switch(config)#ip pim anycast-rp self-rp-address 192.168.2.1

Switch(config)#ip pim anycast-rp 1.1.1.1 192.168.3.2

RP2 配置：

Switch#config

Switch(config)#interface loopback 1

Switch(Config-if-Loopback1)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.255

Switch(Config-if-Loopback1)#exit

Switch(config)#ip pim rp-candidate loopback1

Switch(config)#ip pim multicast-routing

Switch(config)#ip pim anycast-rp

Switch(config)#ip pim anycast-rp self-rp-address 192.168.3.2

Switch(config)#ip pim anycast-rp 1.1.1.1 192.168.2.1

6.5.4 ANYCAST RP 排错帮助

在配置、使用 ANYCAST RP 功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 ANYCAST RP 未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误
- 保证 PIM-SM 协议正确运行
- 保证全局配置模式下 ANYCAST RP 打开
- 保证全局配置模式下 self-rp-address 配置正确
- 保证全局配置模式下 other-rp-address 配置正确
- 保证各接口路由正确添加，包括作为 RP 的 loopback 接口也要正确加入路由
- 使用 show ip pim anycast rp status 命令查看 ANYCAST RP 配置信息是否正确

如果使用检查仍无法解决 ANYCAST RP 的问题，那么请使用 debug pim anycast-rp 调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

6.6 PIM-SSM

6.6.1 PIM-SSM 介绍

源指定组播(PIM-SSM)是一种区别于传统组播的新的业务模式，它使用组播组地址和组播源地址来同时标志一个组播会话。SSM保留了传统PIM-SM模式中的主机显示加入组播组的高效性，但是跳过了PIM-SM模式中的共享树和RP规程。SSM直接建立由(S,G)标志的spt树，其中G表示组播组的地址，S表示发向组播组G的特定组播源的地址。SSM的一个（S，G）对也被称为一个频道。SSM特别适用于点到多点的组播服务，如网络体育频道，网络新闻频道等业务。在缺省情况下，SSM组播组地址范围限制在IP地址范围：232.0.0.0-232.255.255.255内，但是可以根据需要对地址进行扩展。

PIM-DM的环境中也支持PIM-SSM。

6.6.2 PIM-SSM 配置任务序列

命令	解释
全局配置模式	
ip multicast ssm {default|range <access-list-number >} **no ip multicast ssm**	该命令配置 pim ssm 组播组地址范围；本命令的 no 操作删除配置的 pim ssm 组播组。

6.6.3 PIM-SSM 典型案例

如下图所示，将switchA，switchB，switchC，switchD的以太网接口加入到相应VLAN中，并在各VLAN接口上启动PIM-SM协议，或者PIM-DM协议，全局启动PIM-SSM。本例以PIM-SM协议为例。

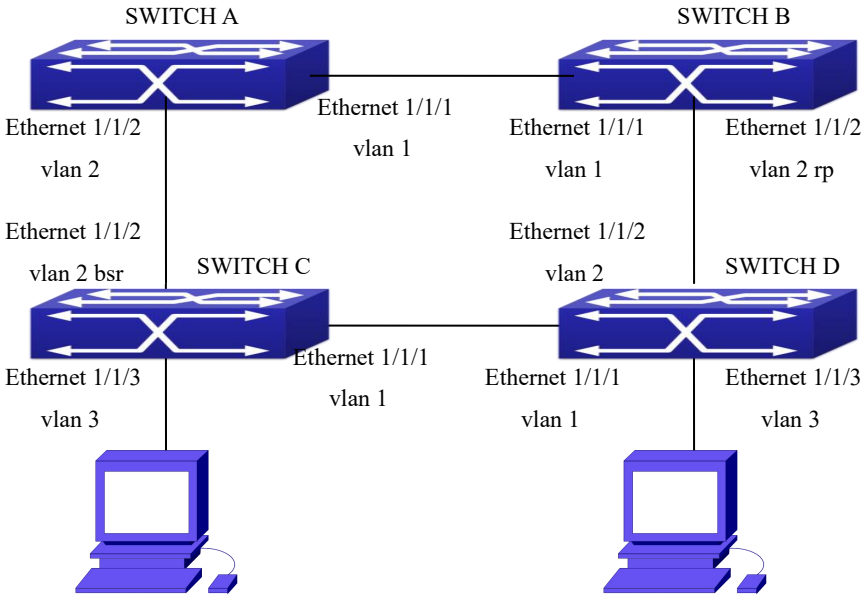


图 5-8 PIM-SSM 典型环境

switchA 和 switchB，switchC，switchD 配置步骤如下：

(1) 配置 switchA：

switch(config)#ip pim multicast-routing

switch(config)#interface vlan 1

switch(Config-If-Vlan1)#ip pim sparse-mode

switch(Config-If-Vlan1)#exit

switch(config)#interface vlan 2

switch(Config-If-Vlan2)#ip pim sparse-mode

switch(Config-If-Vlan2)#exit
switch(config)#access-list 1 permit 224.1.1.1 0.0.0.255
switch(config)#ip multicast ssm range 1
(2) 配置 switchB：
switch(config)#ip pim multicast-routing
switch(config)#interface vlan 1
switch(Config-If-Vlan1)#ip pim sparse-mode
switch(Config-If-Vlan1)#exit
switch(config)#interface vlan 2
switch(Config-If-Vlan2)#ip pim sparse-mode
switch(Config-If-Vlan2)#exit
switch(config)# ip pim rp-candidate vlan2
switch(config)#access-list 1 permit 224.1.1.1 0.0.0.255
switch(config)#ip multicast ssm range 1
(3) 配置 switchC：
switch(config)#ip pim multicast-routing
switch(config)#interface vlan 1
switch(Config-If-Vlan1)#ip pim sparse-mode
switch(Config-If-Vlan1)#exit
switch(config)#interface vlan 2
switch(Config-If-Vlan2)#ip pim sparse-mode
switch(Config-If-Vlan2)#exit
switch(config)#interface vlan 3
switch(Config-If-Vlan3)#ip pim sparse-mode
switch(Config-If-Vlan3)# exit
switch(config)#ip pim bsr-candidate vlan2 30 10
switch(config)#access-list 1 permit 224.1.1.1 0.0.0.255
switch(config)#ip multicast ssm range 1
(4) 配置 switchD：
switch(config)#ip pim multicast-routing
switch(config)#interface vlan 1
switch(Config-If-Vlan1)#ip pim sparse-mode
switch(Config-If-Vlan1)#exit
switch(config)#interface vlan 2
switch(Config-If-Vlan2)#ip pim sparse-mode
switch(Config-If-Vlan2)#exit
switch(config)#interface vlan 3
switch(Config-If-Vlan3)#ip pim sparse-mode

switch(Config-If-Vlan3)#exit

switch(config)#access-list 1 permit 224.1.1.1 0.0.0.255

switch(config)#ip multicast ssm range 1

6.6.4 PIM-SSM 排错帮助

在配置、使用 PIM-SSM 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 PIM-SSM 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误；
- 保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 保证全局配置模式下 PIM 协议打开（使用 ip pim multicast-routing）；
- 保证接口上配置 PIM-SM（使用 ip pim sparse-mode）；
- 保证全局模式下配置 SSM；
- 组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性。

如果使用检查仍无法解决问题，那么请使用debug pim event/debug pim packet等调试命令，然后将3 分钟内的DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

6.7 DVMRP

6.7.1 DVMRP 介绍

DVMRP（Distance Vector Multicast Routing Protocol）协议即“距离向量组播路由协议”。它是一种密集模式的组播路由协议，采用类似RIP方式的路由交换给每个源建立了一个转发广播树，然后通过动态的剪枝/嫁接给每个源建立起一个截断广播树，也就是到源的最短路径树。通过反向路径检查(RPF)来决定组播包是否应该被转发到下游。

DVMRP 的一些重要特性是：

1. 用于决定反向路径检查信息的路由交换以距离向量为基础（方式与 RIP 相似）
2. 路由交换更新周期性的发生（缺省为 60 秒）
3. TTL 上限＝32 跳（而 RIP 是 16）
4. 路由更新包括掩码，支持 CIDR

相对单播路由来说，组播路由是一种颠倒的路由（也就是，你所感兴趣的是信息包从哪里来而不是到哪里去），因此在DVMRP路由表中的信息是被用于确定是否在正确的接口收到一个输入的组播信息包。否则，为了防止组播循环将放弃该信息包。

把为了确定信息包到达正确的接口所进行的测试称为RPF检查。当有组播数据包到达某个接口，通过查找DVMRP路由表来决定到源网络的反向路径。如果数据包到达的接口是用于向源传送单播信息的接口，则逆向路径检查正确，数据包从所有下游接口转发出去。如果不是，则可能是出现了故障，丢弃该组播包。

因为不是所有的交换机都支持组播，DVMRP支持隧道组播通信，隧道是在被不支持组播路由的交换机隔开的DVMRP交换机之间发送组播数据报的一种方法。它充当两个

DVMRP交换机之间的虚拟网络。组播数据包被封装在单播数据包之内，直接发送到下一个支持组播的交换机。DVMRP协议平等对待隧道接口与一般的物理接口。

如果在一个多入口网络上连接了两个或两个以上的交换机，就可能会把一个数据包的多份拷贝发送到该子网上。因此必须指定一个指定的转发者，DVMRP在利用路由交换的机制来达到这一目的，当多入口网络上的两个交换机交换路由信息时，就会互相知道对方到源网络的路由度量，因此到源网路的度量最小的交换机成为该子网上的指定转发者，如果度量一致，则IP地址较低的获胜。

当交换机的某个接口配置了运行DVMRP协议以后，就在该接口上向其他的DVMRP交换机组播探寻（Probe）消息，用于发现邻居且互相探知对方的能力（Capbilities）。如果在邻居超时前一直没有收到该邻居的Probe消息，则认为该邻居丢失。

在DVMRP中，源网络路由选择信息用和RIP相同的基本方式交换。也就是说，路由报告消息定期（缺省为60秒）在DVMRP邻居之间发送。DVMRP路由选择表中的路由信息被用于建立源分布树，也就是决定通过哪一个邻居能够到达发送组播信息的源，到该邻居的接口被称为上游接口。路由报告包含源网络（用掩码）地址和用于路由尺度的跳数项。

为了转发能够正确的完成，每个DVMRP交换机都需要知道哪些下游交换机需要通过它从某个特定的源网络接收组播信息。当接收到某个特定的源发来的包后，DVMRP交换机首先从所有的下游接口，也就是在该接口上有其他的对该特定源表示了依赖性的DVMRP交换机，把该组播包广播出去。当接口上收到了某个下游交换机发送的剪枝（Prune）消息后，就把该交换机剪枝。DVMRP交换机使用毒性反转来通知某个特定源的上游交换机：“我是你的下游”。DVMRP交换机通过把它广播的某个特定源的路由度量加上无限（32）来回应到该源上游交换机来完成毒性反转。这意味着度量正确值为1到2*无限（32）-1或1到63，1到31意味着可以到达源网络，32意味着源网络不可达，33到63意味着产生该报告（Report）消息的交换机依赖上游路由器来接收特定源的组播信息。

6.7.2 配置任务序列

1、 全局启动和关闭 DVMRP（必须）
2、 配置在接口启动和关闭 DVMRP 协议（必须）
3、 配置 DVMRP 辅助参数（可选）

配置 DVMRP 接口参数

1）配置 DVMRP 接口上发送 report 报文的延迟和每次发送的报文数
2）配置 DVMRP 接口 metric 值
3）配置 DVMRP 是否与不能 Prune/Graft 的 DVMRP 路由器建立邻居

4、 配置 DVMRP 隧道

1. 全局启动 DVMRP 协议

在三层交换机上运行 DVMRP 路由协议的基本配置很简单，首先需在全局模式下打开 DVMRP 开关。

命令	解释
全局配置模式	

[no] ip dvmrp multicast-routing	全局启动 DVMRP 协议，本命令的 no 操作全局关闭 DVMRP 协议。（必须）

2. 在接口上启动 DVMRP 协议

在三层交换机上运行 DVMRP 路由协议的基本配置很简单，在全局启动 DVMRP 协议后，需在相应的接口下打开 DVMRP 开关。

命令	解释
接口配置模式	
ip dvmrp enable **no ip dvmrp**	在接口上启动 DVMRP 协议，本命令的 no 操作在接口上关闭 DVMRP 协议。

3. 配置 DVMRP 辅助参数

（1）配置 DVMRP 接口参数

1）配置 DVMRP 接口上发送 report 报文的延迟和每次发送的报文数

2）配置 DVMRP 接口 metric 值

3）配置 DVMRP 是否与不能 Prune/Graft 的 DVMRP 路由器建立邻居

命令	解释
接口配置模式	
ip dvmrp output-report-delay <*delay_val*> [<*burst_size*>] **no ip dvmrp output-report-delay**	配置接口上发送 DVMRP report 报文的延时以及每次发送所发送的报文数量，本命令的 no 操作恢复默认值。
ip dvmrp metric <*metric_val*> **no ip dvmrp metric**	配置接口 DVMRP report 报文度量值；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
ip dvmrp reject-non-pruners **no ip dvmrp reject-non-pruners**	配置接口上拒绝与 non pruning/grafting 的 DVMRP 路由器建立邻居关系，本命令的 no 操作恢复为可以建立邻居关系。

4. 配置 DVMRP 隧道

命令	解释
接口配置模式	
ip dvmrp tunnel <*index*> <*src-ip*> <*dst-ip*> **no ip dvmrp tunnel {<*index*>|<*src-ip*> <*dst-ip*>}**	本命令配置一条 DVMRP 隧道；本命令的 no 操作删除一条 DVMRP 隧道。

6.7.3 DVMRP 典型案例

如下图，将switchA 和switchB 的以太网接口加入到相应的VLAN中，并在各VLAN接口上启动DVMRP。

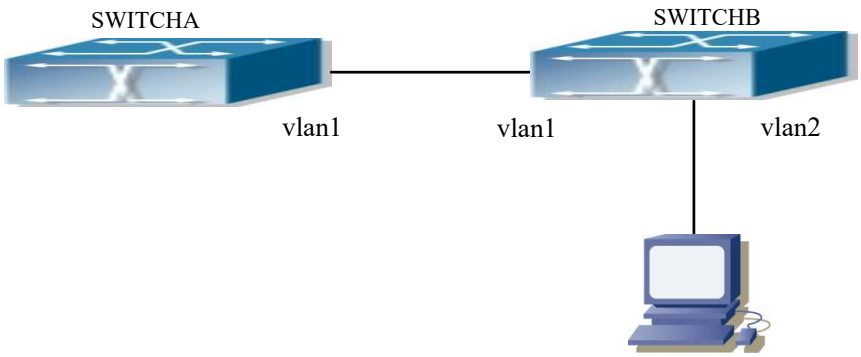


图 5-9 DVMRP 网络拓扑示意图

switchA 和switchB配置步骤如下：

(1) 配置SwitchA：

Switch (config)#ip dvmrp multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)# ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)# ip dvmrp enable

(2) 配置SwitchB：

Switch (config)#ip dvmrp multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)# ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan1)# ip dvmrp enable

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)# ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-if-Vlan2)# ip dvmrp enable

由于 DVMRP 自己不依赖单播路由协议，因此无需配置单播路由协议，这是与 PIM-DM 和 PIM-SM 所不同的。

6.7.4 DVMRP 排错帮助

在配置、使用 DVMRP 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 DVMRP 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 请检查接口是否已配置了正确的 IP 地址；
- 然后，在接口上启动 DVMRP 协议（使用 ip dvmrp enable 和 ip dvmrp multicast-routing 命令）；
- 组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性（DVMRP 使用自己的单播路由表，查看请使用 show ip dvmrp route 命令）。

如果仍无法解决 DVMRP 的问题，那么请使用 debug dvmrp 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

6.8 DCSCM

6.8.1 DCSCM 介绍

DCSCM（Destination Control and Source Control Multicast）技术主要包含三个方面，即组播信源可控、组播用户可控及面向服务优先级的策略组播。

受控组播技术的组播信源可控技术主要采取以下的方式进行：

1. 在边缘交换机上，如果配置的源受控组播，只有指定源发出的指定组的组播数据才能通过。
2. 对于处于 PIM-SM 核心地位的 RP 交换机，对于指定源及指定组以外的 REGISTER 信息，直接发送 REGISTER_STOP，而不允许建立表项。(该任务在 PIM-SM 模块中实现)。

受控组播技术的组播用户可控技术的实现基于对用户发出的 IGMP REPORT 报文的控制，因此进行控制的模块是 IGMP Snooping 和 IGMP 模块,其控制逻辑包括以下三种，即根据发送报文的 VLAN+MAC 地址进行控制，根据发送报文的 IP 地址进行控制和根据报文进入的端口进行控制。其中 IGMP Snooping 可以同时使用上述三种方式进行控制，而 IGMP 模块由于处于三层，仅针对发送报文的 IP 地址进行控制。

受控组播技术的面向服务优先级的策略组播采用下述的方式：对于限定范围的组播数据，在接入端就设置用户指定的优先级，使得数据在干道端口（TRUNK）上以更高的优先级发送，从而在整个网络上保证其以用户指定的优先级传送。

6.8.2 DCSCM 配置任务序列

1. 源受控的配置
2. 目的受控的配置
3. 组播策略的配置

1. 源受控的配置

源受控的配置分三个部分，首先是全局启动源受控，全局启动源受控的命令如下：

命令	解释
全局配置模式	

ip multicast source-control(必须) **no ip multicast source-control**	全局启动源控制，本命令的 no 操作全局关闭源控制。值得注意的是，全局启动源控制后，所有组播报文都默认丢弃。所有源控制配置都要在全局启动后才可以进行，而只有关闭所有已经配置的规则后，才可以全局关闭源控制。

其次是配置源控制的规则，它使用与 ACL 相同的方式配置，使用 5000－5099 的 ACL 号，每个规则号最多可配置 10 个规则，值得注意的是，这些规则是有顺序的，先配置的在最前面，一旦所配置的规则得到匹配，其后面的规则将不会起作用，所以全局允许的规则一定要配置在最后。其命令如下

命令	解释
全局配置模式	
access-list <5000-5099> {deny|permit} ip {{<source> <source-wildcard>}|{host-source <source-host-ip>}|any-source} {{<destination> <destination-wildcard>}|{host-destination <destination-host-ip>}|any-destination} **no access-list <5000-5099> {deny|permit} ip {{<source> <source-wildcard>}|{host-source <source-host-ip>}|any-source} {{<destination> <destination-wildcard>}|{host-destination <destination-host-ip>}|any-destination}**	用于配置源受控使用的规则，该规则只有应用到指定的端口上时才可以生效。使用其 NO 形式可以删除指定的规则。

最后是把配置的规则配置到指定的端口上。

注意：由于配置的规则要占据硬件的表项，配置过多的规则可能导致由于底层表项满而配置失败，因此建议用户尽可能使用简单的规则。配置命令如下

命令	解释
端口配置模式	
ip multicast source-control access-group <5000-5099> **no ip multicast source-control access-group <5000-5099>**	用于把源受控使用的规则配置到端口上，其 NO 形式取消该配置。

2. 目的受控的配置

目的受控的配置与源受控配置相似，也是分三个步骤。

首先要全局打开目的受控，由于目的受控要防止未获授权的用户接收到组播数据，因此配置全局目的受控后，交换机对收到的组播数据不再广播，因此，应当避免在启动了目的受控的交换机上同一 VLAN 内连接两台或以上的其它三层交换机。其配置命令如下

命令	解释
全局配置模式	
multicast destination-control(必须) **no multicast destination-control**	全局同时启动 IPv4 和 IPv6 目的受控组播，本命令的 no 操作全局关闭目的控制。所有其它的配置都只有在全局启动后才能生效。

其次是配置组播目的受控 profile 规则列表，使用 1—50 的 profile-id 号。

命令	解释
全局配置模式	
profile-id <1-50> {deny|permit} {{<source/M> }|{host-source <source-host-ip> (range <2-65535>|)}|any-source} {{<destination/M>}|{host-destination <destination-host-ip> (range <2-255>|)}|any-destination} **no profile-id <1-50>**	配置目的受控的 proflie 规则。其 no 操作用于删除该 profile 规则。

然后是配置目的控制规则，它与源控制相似，只是使用 6000－7999 的 ACL 号。

命令	解释
全局配置模式	

access-list <6000-7999> {{{add | delete} profile-id WORD} | {{deny|permit} (ip) {{<source/M> }|{host-source <source-host-ip> (range <2-65535>|)}|any-source} {{<destination/M>}|{host-destination <destination-host-ip> (range <2-255>|)}|any-destination}} **no access-list <6000-7999> {deny|permit} ip {{<source> <source-wildcard>}|{host-source <source-host-ip> {range <2-65535>|}}|any-source} {{<destination> <destination-wildcard>}|{host-destination <destination-host-ip> {range <2-255>|}}|any-destination}**	用于配置目的受控使用的规则，该规则只有应用到指定的源 IP 或 VLAN-MAC、端口上时才可以生效。使用其 NO 形式可以删除指定的规则。

最后要把该规则配置到指定的源 IP,源 VLAN MAC 或指定端口上。这里需要注意的是，由于上面所说的情况，只有在启动 IGMP-SNOOPING 的情况下才可以全面使用这些规则，而如果没有启动 IGMP-SNOOPING，则只有源 IP 的规则才能在 IGMP 协议使用。其配置命令如下：

命令	解释
端口配置模式	
ip multicast destination-control access-group <6000-7999> **no ip multicast destination-control access-group <6000-7999>**	用于把目的受控使用的规则配置到端口上，其 NO 形式取消该配置。
全局配置模式	
ip multicast destination-control <1-4094> <macaddr> access-group <6000-7999> **no ip multicast destination-control <1-4094> <macaddr> access-group <6000-7999>**	用于把目的受控使用的规则配置到指定的 VLAN-MAC 上，其 NO 形式取消该配置。
ip multicast destination-control <IPADDRESS/M> access-group <6000-7999> **no ip multicast destination-control <IPADDRESS/M> access-group <6000-7999>**	用于把目的受控使用的规则配置到指定的源 IP 地址/掩码上，其 NO 形式取消该配置。

3. 组播策略的配置

组播策略使用为指定的组播数据指定优先级的方式达到保证特定用户需求的效果，值得注意的是组播数据只有在干道端口上传输才能保证数据一直得到重点照顾。其配置很简单，只有一个命令，即为指定的组播设定优先级，命令如下：

命令	解释
全局配置模式	
[no] ip multicast policy <IPADDRESS/M> <IPADDRESS/M> cos <priority>	配置组播策略，为特定范围的源、组指定优先级，范围为<0-7>。

6.8.3 DCSCM 典型案例

1. 源受控

为了防止一台边缘交换机随意发布组播数据，我们在边缘交换机上配置，只有在端口 Ethernet1/1/5 的交换机才允许发送组播数据，且数据的组必须是 225.1.2.3。而上连端口 Ethernet1/1/10 可以不受限制的转发组播数据，则我们可以进行如下配置。

Switch (config)#access-list 5000 permit ip any host 225.1.2.3

Switch (config)#access-list 5001 permit ip any any

Switch (config)#ip multicast source-control

Switch (config)#interface ethernet1/1/5

Switch (Config-If-Ethernet1/1/5)#ip multicast source-control access-group 5000

Switch (config)#interface ethernet1/1/10

Switch (Config-If-Ethernet1/1/10)#ip multicast source-control access-group 5001

2. 目的受控

我们要限制地址在 10.0.0.0/8 网段的用户不能加入 238.0.0.0/8 的组，我们可以做如下配置：

首先在其所在的 VLAN(这里认为是 VLAN2)内要启动 IGMP Snooping。

Switch (config)#ip igmp snooping

Switch (config)#ip igmp snooping vlan 2

然后配置相关的目的控制访问列表，并配置指定的 IP 地址使用该访问列表。

Switch (config)#access-list 6000 deny ip any 238.0.0.0 0.255.255.255

Switch (config)#access-list 6000 permit ip any any

Switch (config)#multicast destination-control

Switch (config)#ip multicast destination-control 10.0.0.0/8 access-group 6000

这样，该网段的用户就只能加入 238.0.0.0/8 以外的组了。

或者可以按照下面添加 profile 列表的方式进行配置相关的目的控制访问列表。

Switch (config)#profile-id 1 deny ip any 238.0.0.0 0.255.255.255

Switch (config)#access-list 6000 add profile-id 1

Switch (config)#multicast destination-control

Switch (config)#ip multicast destination-control 10.0.0.0/8 access-group 6000

3. 组播策略

服务器 210.1.1.1 正在组 239.1.2.3 上发布重要的组播数据，我们可在其接入交换机上配置如下：

Switch(config)#ip multicast policy 210.1.1.1/32 239.1.2.3/32 cos 4

这样该组播流在通过本交换机的TRUNK端口通向其它交换机时，将拥有值为4的优先级（通常这已经比较高了，更高的可能是协议数据了，若设置更高的优先级，在该组播数据太多时，有可能造成交换机协议行为的不正常）。

6.8.4 DCSCM 排错帮助

DCSCM 模块本身作用与 ACL 相似，发生问题通常与不当的配置有关，请您详细阅读上面的说明，如果仍不能确定问题发生的原因，请把您的配置和希望达到的效果发送给本公司的售后服务人员。

6.9 IGMP

6.9.1 IGMP 介绍

IGMP（Internet Group Management Protocol，因特网组管理协议）是TCP/IP协议族中负责IP 组播成员管理的协议。它用来在IP 主机和与其直接相邻的组播交换机之间建立、维护组播组成员关系。IGMP 不包括组播交换机之间的组成员关系信息的传播与维护，这部分工作由各组播路由协议完成。所有参与组播的主机必须实现IGMP 协议。

参与IP 组播的主机可以在任意位置、任意时间、成员总数不受限制地加入或退出组播组。组播交换机不需要也不可能保存所有主机的成员关系，它只是通过IGMP 协议了解每个接口连接的网段上是否存在某个组播组的接收者，即组成员。而主机方只需要保存自己加入了哪些组播组。

IGMP 在主机与路由器之间是不对称的：主机需要响应组播交换机的IGMP查询报文，即，以成员资格报告报文响应；交换机周期性发送成员资格查询报文，然后根据收到的响应报文确定某个特定组在自己所在子网上是否有主机加入，并且当收到主机的退出组的报告时，发出特定组的查询（IGMP 版本2），以确定某个特定组是否已无成员存在。

到目前为止，IGMP 有三个版本：IGMP 版本1（由RFC1112 定义）、IGMP版本2（由RFC2236 定义）和IGMP 版本3（RFC3376定义）。

IGMP 版本2 对版本1 所做的改进主要有：

1. 共享网段上组播交换机的选举机制

共享网段即一个网段上有多个组播交换机的情况。在这种情况下，由于此网段下运行IGMP 的交换机都能从主机那里收到成员资格报告消息，因此，只需要一个交换机发送成员资格查询消息，这就需要一个交换机选举机制来确定一个交换机作为查询器。在IGMP 版本1 中，查询器的选择由组播路由协议决定；IGMP 版本2 对此做了改进，规定同一网段上有多个组播交换机时，具有最低IP 地址的组播交换机被选举出来充当查询器。

2. IGMP 版本2 增加了离开组机制

在IGMP 版本1 中，主机悄然离开组播组，不会给任何组播交换机发出任何通知。造成组播交换机只能依靠组播组响应超时来确定组播成员的离开。而在版本2 中，当一个主机决

定离开一个组播组时，如果它是对最近一条成员资格查询消息作出响应的主机，那么它就会发送一条离开组的消息。

3. IGMP 版本2 增加了对特定组的查询

在IGMP 版本1 中，组播交换机的一次查询，是针对该网段下的所有组播组。这种查询称为普通组查询。在IGMP 版本2 中，在普通组查询之外增加了特定组的查询，这种查询报文的目的IP 地址为该组播组的IP 地址，报文中的组地址域部分也为该组播组的IP 地址。这样就避免了属于其它组播组成员的主机发送响应报文。

4. IGMP 版本2 增加了最大响应时间字段

IGMP 版本2 增加最大响应时间字段，以动态地调整主机对组查询报文的响应时间。

版本3主要特点是允许主机选择接收或者拒绝特定的源，是SSM（Source-Specific Multicast）组播的基础。例如：当一个主机对于某个组G发出INCLUDE{10.1.1.1, 10.1.1.2}的报告时，意味着主机需要路由器转发组G中来自10.1.1.1和10.1.1.2的流量；当一个主机对组G发出EXCLUDE{192.168.1.1}的报告时，意味着主机需要组G的所有源发来的流量，除了192.168.1.1。这就和之前的IGMP有了很大的区别。

IGMP 版本3对IGMP 版本2所作的改进主要有：

1. 维护的状态为组和源列表，不仅仅是 IGMPv2 中的组。
2. 在 IGMPv3 状态中定义了与 IGMPv1 和 IGMPv2 的互操作。
3. IP 服务接口改变，从而允许特定的源列表。
4. 查询者在查询分组中包含其 Robustness Variable 和 Query Interval 以允许与非查询者的这些变量同步。
5. 查询消息中的 Max Response Time 有一个指数级的范围，最大值从 v2 的 25.5 秒增加到约 53 分钟，可用于有海量系统的链路。
6. 为增强健壮性，主机重传 State-Change 消息。
7. 定义了附加数据以适应将来的扩展。
8. 报告分组被发送到 224.0.0.22，用于协助二层交换机的 IGMP Snooping。
9. 报告分组可以包含多个组记录，允许使用少量分组报告完整的当前状态。
10. 主机不再进行抑止操作，简化了实现并且允许直接的成员资格跟踪。
11. 在查询消息中新的路由器方抑止处理（S 标志）修改了 IGMPv2 存在的健壮性问题。

6.9.2 配置任务序列

1、 启动 IGMP（必须）

2、 配置 IGMP 辅助参数（可选）

（1）配置 IGMP 组 group 参数

1）配置 IGMP 组过滤条件

2）配置 IGMP 加入组

3）配置 IGMP 加入静态组

（2）配置 IGMP 查询参数

1）配置 IGMP 发送查询报文的时间间隔

2）配置 IGMP 查询的最大反应时间

3）配置 IGMP 查询的超时时间

（3）配置 IGMP 版本

3、 关闭 IGMP 协议

1. 启动 IGMP 协议

在三层交换机上没有启动 IGMP 协议的专门命令，在相应接口下启动任何一种组播协议，则 IGMP 自动随之启动。

命令	解释
全局配置模式	
ip dvmrp multicast-routing | ip pim multicast-routing	启动全局组播协议，是启动 IGMP 协议的必要前提，相应命令的 no 操作关闭组播协议以及 IGMP 协议。（必须）

命令	解释
接口配置模式	
ip dvmrp enable | ip pim dense-mode | ip pim sparse-mode	启动 IGMP 协议，相应命令的 no 操作关闭 IGMP 协议。（必须）

2. 配置 IGMP 辅助参数

（1）配置 IGMP 组 group 参数

1）配置 IGMP 组过滤条件

2）配置 IGMP 加入组

3）配置 IGMP 加入静态组

命令	解释
接口配置模式	
ip igmp access-group {<*acl_num* | *acl_name*>} **no ip igmp access-group**	配置接口对 IGMP 组的过滤条件；本命令的 no 操作取消过滤条件。
ip igmp join-group <*A.B.C.D* > **no ip igmp join-group <*A.B.C.D* >**	配置接口加入某个 IGMP 组；本命令的 no 操作取消加入。
ip igmp static-group <*A.B.C.D* > **no ip igmp static -group <*A.B.C.D*>**	配置接口加入某个 IGMP 静态组；本命令的 no 操作取消加入。

（2）配置 IGMP 查询参数

1）配置 IGMP 发送查询报文的时间间隔

2）配置 IGMP 查询的最大响应时间

3）配置 IGMP 查询的超时时间

命令	解释
接口配置模式	

ip igmp query-interval <*time_val*> **no ip igmp query-interval**	配置周期发送 IGMP 查询消息的时间间隔；本命令的 no 操作恢复缺省值。
ip igmp query-max-response-time <*time_val*> **no ip igmp query-max-response-time**	配置接口对 IGMP 查询的最大反应时间；本命令的 no 操作恢复缺省值。
ip igmrp query-timeout <*time_val*> **no ip igmp query-timeout**	配置接口对 IGMP 查询的超时时间；本命令的 no 操作恢复缺省值。

（3）配置 IGMP 版本

命令	解释
全局配置模式	
ip igmp version <*version*> **no ip igmp version**	配置接口上 IGMP 版本；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

3. 关闭 IGMP 协议

命令	解释
接口配置模式	
no ip dvmrp enable | no ip pim dense-mode | no ip pim sparse-mode | no ip pim multicast-routing (全局配置模式)| no ip pim multicast-routing (全局配置模式)	关闭 IGMP 协议。

6.9.3 IGMP 典型案例

如下图，将switchA 和switchB 的以太网端口加入相应的VLAN，并在各VLAN接口上启动PIM-DM。

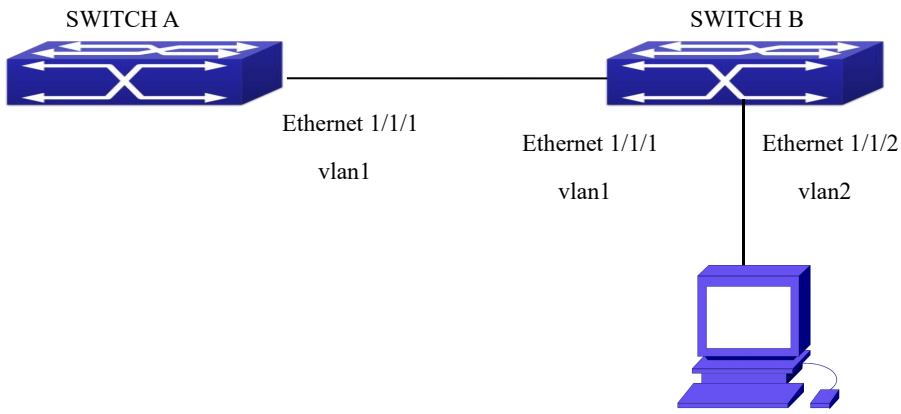


图 5-10 IGMP 网络拓扑示意图

switchA 和 switchB 配置步骤如下：

(1) 配置 SwitchA：

Switch(config)#ip pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)#ip address 12.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan1)#ip pim dense-mode

(2) 配置 SwitchB：

Switch(config)#ip pim multicast-routing

Switch(config)#interface vlan1

Switch(Config-If-Vlan1)#ip address 12.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan1)#ip pim dense-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch(config)#interface vlan2

Switch(Config-If-Vlan1)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

Switch(Config-If-Vlan2)#ip pim dense-mode

Switch(Config-If-Vlan2)#ip igmp version 3

6.9.4 IGMP 排错帮助

在配置、使用 IGMP 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 IGMP 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后，确保在接口上启动一种组播协议；
- 组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性。

6.10 IGMP Snooping

6.10.1 IGMP Snooping 介绍

IGMP（Internet Group Management Protocol）互联网组管理协议，用于实现IP的组播。IGMP被支持组播的网络设备（如路由器）用来进行主机资格查询，也被想加入某组播组的主机用来通知路由器接收某个组播地址的数据包，而这些都是通过IGMP消息交换来完成的。路由器首先利用一个可寻址到所有主机的组地址（即224.0.0.1）发送一条IGMP主机成员资格查询（IGMP Host Membership Query）消息。若一个主机希望加入某组播组，它就利用该组播组的组地址回应一条IGMP主机成员资格报告（IGMP Host Membership Report）消息。

IGMP Snooping 即 IGMP 侦听。交换机通过 IGMP Snooping 来限制组播流量的泛滥，只把组播流量转发给与组播设备相连的端口。交换机侦听组播路由器和主机之间的 IGMP 消息，根据侦听结果维护组播转发表，而交换机根据组播转发表来决定组播包的转发。

交换机实现了 IGMP Snooping 功能，并且支持 IGMP v3，这样，用户可以用交换机实现 IP 组播。

6.10.2 IGMP Snooping 配置任务

1.启动 IGMP Snooping 功能

2.配置 IGMP Snooping

1.启动 IGMP Snooping 功能

命令	解释
全局配置模式	
ip igmp snooping **no ip igmp snooping**	启动 IGMP Snooping 功能。no 操作关闭全局 IGMP snooping 功能。

2.配置 IGMP Snooping

命令	解释
全局配置模式	
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*>**	启动指定 VLAN 的 IGMP Snooping 功能。No 操作关闭指定 VLAN 上的 IGMP Snooping。
ip igmp snooping proxy **no ip igmp snooping proxy**	开启 IGMP Snooping 代理功能，本命令的 no 操作为关闭 IGMP Snooping 代理功能。
ip igmp snooping vlan <1-4094> interface (ethernet | port-channel|) IFNAME limit {group <1-65535>| source <1-65535>} strategy (replace | drop) **no ip igmp snooping vlan <1-4094> interface (ethernet | port-channel|) IFNAME limit group source strategy**	设置 IGMP Snooping 端口下可允许加入组的个数和每个组中源个数的最大值，及当达到上限值时的处理策略：包括替换和丢弃。no 操作设置为“无限制”。
ip igmp snooping vlan < *vlan-id* > limit {group <*g_limit*> | source <*s_limit*>} **no ip igmp snooping vlan < *vlan-id* > limit**	设置 IGMP snooping 可加入组的个数和每个组中源个数的最大值。no 操作恢复默认值。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> l2-general-querier **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> l2-general-querier**	将该 VLAN 设为二层普通查询者，每一个网段推荐配置一个二层普通查询者。no 操作取消二层普通查询者设置。
ip igmp snooping vlan <vlan-id> l2-general-querier-version <version>	该命令配置二层查询者发送普通查询的版本号。
ip igmp snooping vlan <vlan-id>	该命令配置二层查询者发送普通查询的源地

l2-general-querier-source <source>	址。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> mrouter-port interface <*interface –name*> **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> mrouter-port interface <*interface –name*>**	设置指定 VLAN 内的静态 mrouter 端口。no 操作取消 mrouter 端口设置。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> mrouter-port learnpim **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> mrouter-port learnpim**	打开指定 VLAN 根据 pim 报文学习 mrouter-port 的功能；本命令的 no 操作为关闭指定 VLAN 根据 pim 报文学习 mrouter-port 的功能。
ip igmp snooping vlan <vlan-id> mrouter-port flood **no ip igmp snooping vlan <vlan-id> mrouter-port flood**	使能未知组播流量向 mrouter 口泛洪；本命令的 no 操作为关闭未知组播流量向 mrouter 口泛洪。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> mrpt <*value*> **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> mrpt**	设置 mrouter 端口存活时间，no 操作恢复默认值。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> query-interval <*value*> **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> query-interval**	设置查询间隔，no 操作恢复默认值。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> immediately-leave **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> immediately-leave**	设置指定 VLAN 的 IGMP Snooping 具有快速离开组播组功能，no 操作取消 immediately-leave 设置。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> query-mrsp <*value*> **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> query-mrsp**	设置查询的最大响应时间，no 操作恢复默认值。
ip igmp snooping vlan <vlan-id> query-robustness <*value*> **no ip igmp snooping vlan <vlan-id> query-robustness**	设置查询鲁棒值，no 操作恢复默认值。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> suppression-query-time <*value*> **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> suppression-query-time**	设置抑制查询时间值，no 操作恢复默认值。
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> static-group <*A.B.C.D*> [source< *A.B.C.D*>] interface	设置静态组源，no 操作取消设置的静态组源。

[ethernet | port-channel] *<IFNAME>* **no ip igmp snooping vlan *<vlan-id>* static-group *<A.B.C.D>* [source< *A.B.C.D*>] interface [ethernet | port-channel] *<IFNAME>***	
ip igmp snooping vlan *<vlan-id>* report source-address *<A.B.C.D>* **no ip igmp snooping vlan *<vlan-id>* report source-address**	设置转发 IGMP 报文源地址，no 操作取消设置的报文源地址。
ip igmp snooping vlan <vlan-id> specific-query-mrsp <value> **no ip igmp snooping vlan <vlan-id> specific-query-mrspt**	配置特定组/源查询的最大响应时间值，no 操作恢复默认值。

6.10.3 IGMP Snooping 典型案例

案例 1：IGMP Snooping 功能。

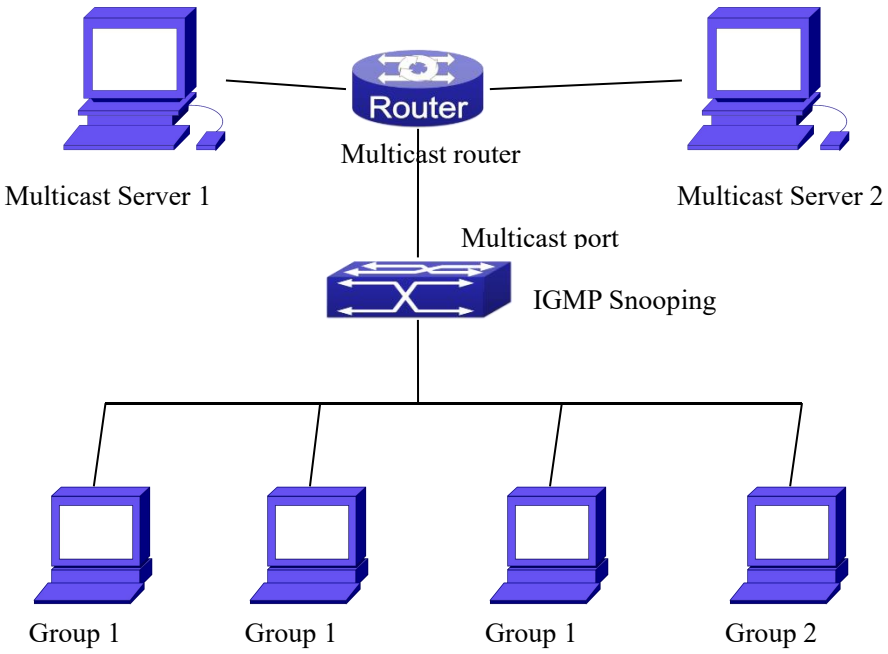


图 5-11 打开交换机 IGMP Snooping 功能图

如图所示，switch 上配置 VLAN 100 包含端口 1、2、6、10、12。四台主机分别连在端口 2、

6、10、12 上，组播路由器连在端口 1 上。端口 1 因为与组播路由器相连，会被识别为 MROUTER 端口。假设我们需要在 VLAN 100 上做 IGMP Snooping，缺省情况下，交换机的全局 IGMP Snooping 功能和各 VLAN 上的 IGMP Snooping 功能都不打开。因此，需要打开全局下的 IGMP Snooping 功能，同时在 VLAN 100 上打开 IGMP Snooping，还需要设置 VLAN 100 的端口 1 为 mrouter 端口。如果组播路由器启动了三层组播，则 VLAN 100 的端口 1 被自动识别为 mrouter 端口，不需手动配置。

配置步骤如下：

Switch#config

Switch(config)#ip igmp snooping

Switch(config)#ip igmp snooping vlan 100

Switch(config)#ip igmp snooping vlan 100 mrouter-port interface ethernet 1/1/1

组播配置：

假设有两个组播服务器 Multicast Server 1 和 Multicase Server 2，其中组播服务器 1 上提供节目 1，组播服务器 2 上提供节目 2。分别使用组地址 Group1 和 Group 2 四台主机上同时运行组播应用软件，连在端口 2、6、10 上的三台主机播放节目 1，连在端口 12 上的主机播放节目 2。

IGMP Snooping 侦听结果：

VLAN 100 上 IGMP Snooping 建立的组播表显示：其中端口 1、2、6、10 在（Multicasting Server 1， Group1）中，端口 1、12 在（Multicast Server 2，Group 2）中。

四台主机都能正常地收到自己感兴趣的节目，端口 2、6、10 不会收到节目 2 的流量，端口 12 不会收到节目 1 的流量。

“show mac-address-table multicast”命令可以查看 switch B 上的二层组播转发表。注意：224.0.0.1~224.0.0.255 范围内的地址为预留组播地址，所以与这类地址的 MAC 地址（01-00-5e-00-00-xx）相同的组播组地址不应该被使用，因为他们不会下发到二层组播转发表。

案例 2：IGMP L2-general-querier

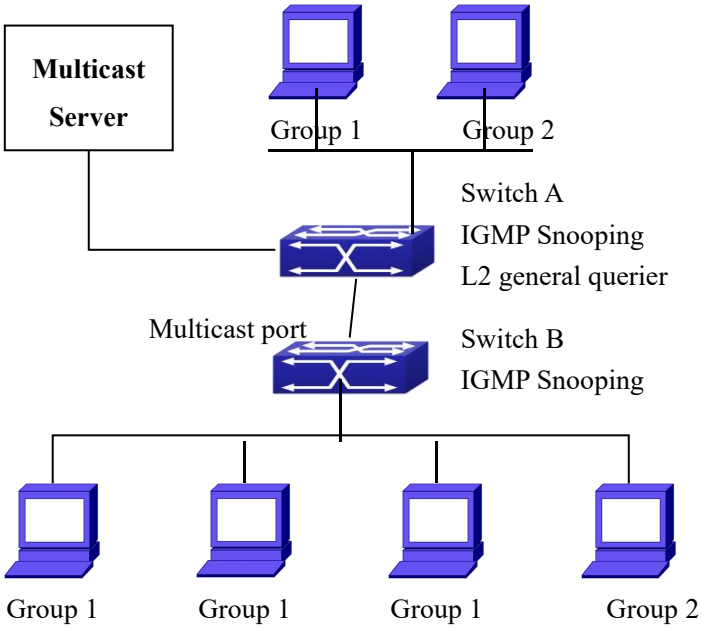


图 5-12 交换机作为 IGMP Querier 功能图

switch B 的配置与案例 1 中交换机相同，交换机 switch A 取代案例 1 中的 Multicast Router。假设其上配置 VLAN 60 包含端口 1、2、10、12。端口 1 连接组播服务器，端口 2 连接 switchB。为了定期发 Query，需要打开全局下的 IGMP Snooping 功能，同时需要执行 IGMP Snooping vlan 60 l2-general-querier，将 VLAN 60 设置成为二层普通查询者。

配置步骤如下：

SwitchA#config

SwitchA(config)#ip igmp snooping

SwitchA(config)#ip igmp snooping vlan 60

SwitchA(config)#ip igmp snooping vlan 60 l2-general-querier

SwitchB#config

SwitchB(config)#ip igmp snooping

SwitchB(config)#ip igmp snooping vlan 100

SwitchB(config)#ip igmp snooping vlan 100 mrouter interface ethernet 1/1/1

组播配置：

同案例 1。

IGMP Snooping 侦听结果：

与案例 1 相似。

案例 3： 与三层组播协议混合运行

我们将案例1中的SWITCH替换为ROUTER，配置与原SWITCH配置相同，组播配置与IGMP

snooping侦听结果与案例1相同。在ROUTER上全局启动三层组播(PIM-SM)，同时在VLAN 100上启动PIM SM。(与上层组播路由器使用相同PIM模式)

配置步骤如下：

switch#config

switch(config)#ip pim multicast-routing

switch(config)#interface vlan 100

swithc(config-if-vlan100)#ip pim sparse-mode

此时由于存在三层组播协议，IGMP snooping 不再下发表项，只负责以下几件事情：

- 删除二层组播表项
- 向三层提供端口查询函数，参数为 VLAN，S，G
- 当三层 IGMP 关闭时，重新下发二层组播表项

通过观察三层 IPMC 表项，发现三层组播出入表项仍然可以精确到端口，保证了 IGMP snooping 与三层组播协议的混合运行。

6.10.4 IGMP Snooping 排错帮助

在配置、使用 IGMP Snooping 功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 IGMP Snooping 未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误
- 保证全局配置模式下 IGMP Snooping 打开（使用 ip igmp snooping）
- 保证全局配置模式下 VLAN 上配置 IGMP Snooping（使用 ip igmp snooping vlan <vlan-id>）
- 确保同一网段内存在查询者，并确认是否存在 mrouter
- 使用 show ip igmp snooping vlan <vid>命令查看 IGMP Snooping 信息是否正确
- 如果使用检查仍无法解决 IGMP Snooping 的问题，那么请使用 debug igmp snooping 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心

6.11 IGMP Proxy

6.11.1 IGMP Proxy 介绍

IGMP/MLD proxy是在rfc4605中提出的一种简化的组播末端协议，其核心是在运行环境简单的组播协议末端，不运行复杂的PIM/DVMRP等组播路由协议，通过IGMP/MLD代理的方式与组播协议对话，从而简化在低端设备上的组播实现。

IGMP/MLD协议是用来在组播路由器和客户端间通信的协议，同时也存在组播路由器和

客户端两种协议行为，IGMP/MLD代理设备在配置上明确上游接口和下游接口，对于上游接口，协议运行HOST端协议，在下游接口，则运行ROUTER端协议，IGMP/MLD代理交换机把从下游收集的IGMP/MLD加入信息汇聚成HOST端状态，以IGMP/MLD客户端的身份发送加入、离开消息给上层的组播路由器，从而实现不需组播路由协议的简单组播成员关系。

IGMP proxy 功能与 PIM 及 DVMRP的功能是互斥的。

6.11.2 IGMP Proxy 配置任务

1. 启动 IGMP Proxy 功能
2. 在不同接口上打开 IGMP Proxy 的上游接口和下游接口开关
3. 配置 IGMP Proxy

1. 启动 IGMP Proxy 功能

命令	解释
全局配置模式	
ip igmp proxy **no ip igmp proxy**	启动 IGMP Proxy 功能。本命令的 no 操作关闭全局 IGMP Proxy 功能。

2. 在不同接口上打开 IGMP Proxy 的上游接口和下游接口开关

命令	解释
接口配置模式	
ip igmp proxy upstream **no ip igmp proxy upstream**	启动 IGMP Proxy 上游接口功能。本命令的 no 操作关闭 IGMP Proxy 上游接口功能。
ip igmp proxy downstream **no ip igmp proxy downstream**	启动 IGMP Proxy 下游接口功能。本命令的 no 操作关闭 IGMP Proxy 下游接口功能。

3. 配置 IGMP Proxy 辅助参数

命令	解释
全局配置模式	
ip igmp proxy limit {group <1-500>| source <1-500>} **no ip igmp proxy limit**	设置 IGMP Proxy 上游接口可加入组的个数和每个组中源个数的最大值。本命令的 no 操作恢复默认值。
ip igmp proxy unsolicited-report interval <1-5> **no ip igmp proxy unsolicited-report interval**	设置 IGMP Proxy 上游接口状态改变报告重传时间间隔。本命令的 no 操作恢复默认值。
ip igmp proxy unsolicited-report robustness <2-10> **no ip igmp proxy unsolicited-report robustness**	设置 IGMP Proxy 上游接口状态改变报告重传个数。本命令的 no 操作恢复默认值。

ip igmp proxy aggregate **no ip igmp proxy aggregate**	设置 IGMP Proxy 非查询者下游接口也可以作为下发表项的出接口。本命令的 no 操作恢复默认设置。
ip multicast ssm range <1-99> **ip multicast ssm default** **no ip mulitcast ssm**	设置 IGMP Proxy SSM 组播组地址范围；本命令的 no 操作删除配置的 igmp proxy ssm 组播组。
ip igmp proxy multicast-source **no ip igmp proxy multicast-source**	设置指定下游接口作为组播数据源接口；本命令的 no 操作取消该下游接口作为组播数据源接口。

6.11.3 IGMP Proxy 举例

案例 1：IGMP Proxy 功能。

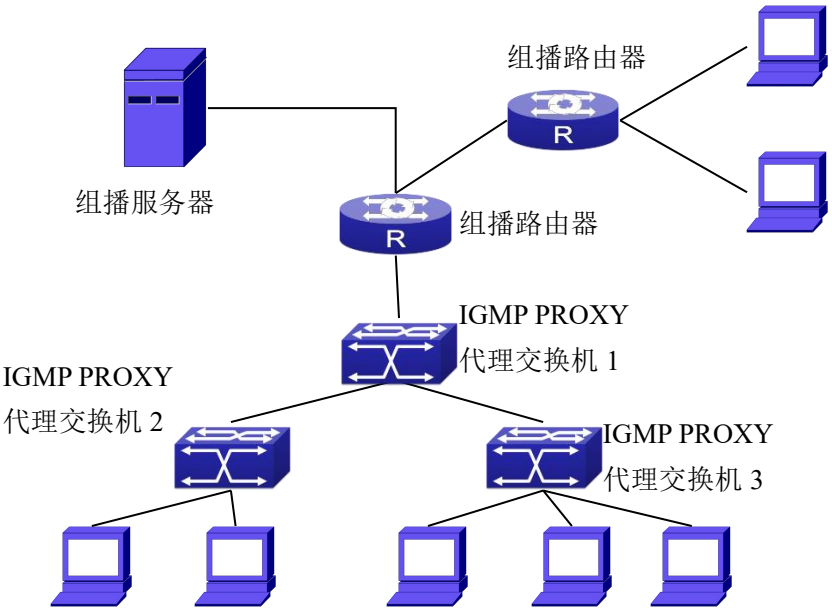


图 5-13 **打开交换机** IGMP Proxy **功能图**

如图所示，IGMP PROXY 代理交换机以树型拓扑存在于简单的网络环境中，组播流量沿着树枝从上游接口向下游扩散，而 igmp 组播成员报告沿着树枝从下游向上游汇聚，通知上游接口。三台 IGMP PROXY 代理交换机以树型拓扑组织，分别有一个接口与上层路由器相连，一个或多个下游接口或者直接跟主机相连，或者跟 IGMP PROXY 代理交换机的上游接口相连。

配置步骤如下：

Switch#config

Switch(config)#ip igmp proxy

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip igmp proxy upstream

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)#ip igmp proxy downstream

组播配置：

假设有组播服务器上提供组播地址 224.1.1.1 的节目，网络末端有主机点播该节目，igmp 组播成员报告通知 IGMP PROXY 代理交换机 2 和 3 的下游接口，IGMP PROXY 代理交换机 2 和 3 的上游接口汇聚该组播成员关系，再向 IGMP PROXY 代理交换机 1 点播，通知上层组播路由器。当有组播流量到达时，IGMP PROXY 代理交换机的上游接口将组播成员关系下发，组播流量按照 IGMP PROXY 下发的出接口转发。

案例 2：IGMP Proxy 下游接口组播数据源功能。

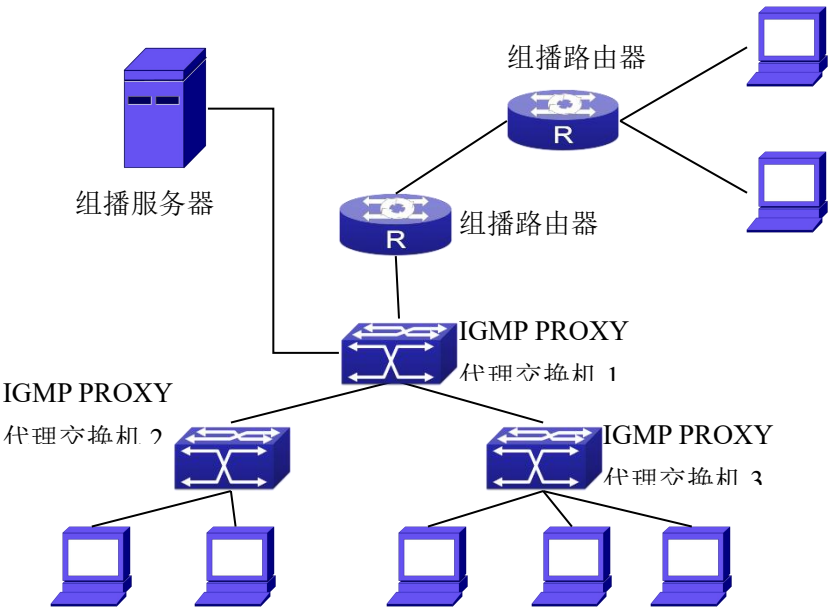


图 5-14 打开交换机 IGMP Prox 下游接口组播源功能图

如图所示，IGMP PROXY 代理交换机以树型拓扑存在于简单的网络环境中，组播源位于代理交换机 1 的下游，组播流量到达时，默认上游接口作为出接口，沿着树枝从下游接口向上游和其他下游接口扩散。三台 IGMP PROXY 代理交换机以树型拓扑组织，分别有一个接口与上层路由器相连，一个或多个下游接口或者直接跟主机相连，或者跟 IGMP PROXY 代理交换机的上游接口相连。

配置步骤如下：

IGMP PROXY 代理交换机 1 配置：

Switch#config

Switch(config)#ip igmp proxy

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip igmp proxy upstream

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)#ip igmp proxy downstream

Switch(Config-if-Vlan2)#ip igmp proxy multicast-source

组播路由器 1 配置：

Switch#config

Switch(config)#ip pim multicast

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)#ip pim sparse-mode

Switch(Config-if-Vlan1)#ip pim bsr-border

组播配置：

假设有组播服务器上提供组播地址 224.1.1.1 的节目，网络末端有主机点播该节目，igmp 组播成员报告通知 IGMP PROXY 代理交换机 2 和 3 的下游接口，IGMP PROXY 代理交换机 2 和 3 的上游接口汇聚该组播成员关系，再向 IGMP PROXY 代理交换机 1 点播，通知上层组播路由器。当有组播流量到达时，IGMP PROXY 代理交换机的上游接口将组播成员关系下发，下发接口中默认加入上游接口，组播流量按照 IGMP PROXY 下发的出接口转发。组播路由器收到代理服务器发出的组播流量，认为所有该接口接收的组播数据源均为直连，而确定 DR 和 ORIGINATOR 的身份，组播数据按照 PIM 协议继续转发。

6.11.4 IGMP Proxy 排错帮助

在配置、使用 IGMP Proxy 功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 IGMP Proxy 未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误；
- 保证全局配置模式下 IGMP Proxy 打开（使用 ip igmp proxy）；
- 保证接口配置模式下一个上游接口和至少一个下游接口（使用 ip igmp proxy upstream，ip igmp proxy downstream）；
- 使用 show ip igmp proxy 命令查看 IGMP Proxy 配置信息是否正确。

如果使用检查仍无法解决 IGMP Proxy 的问题，那么请使用 debug igmp proxy 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

6.12 组播 VLAN

6.12.1 组播 VLAN 介绍

基于当前的组播点播方式，当处于不同的VLAN 的用户点播时，每个VLAN 会在本VLAN 内复制一个组播流。这样的组播点播方式，浪费了大量的带宽。因此我们通过配置组播VLAN 的方式，将交换机的端口加入到组播VLAN 内，并在使能了IGMP Snooping /MLD Snooping功能以后，使不同VLAN 内的用户公用一个组播VLAN，组播流只是在一个组播VLAN 内进行传输，从而节省了带宽。由于组播VLAN 与用户VLAN 完全隔离，因此安全和带宽都得以保证。在配置了组播VLAN 以后就保证了组播信息流能够持续不断的发送到用户。

6.12.2 组播 VLAN 配置任务

1. 启动组播 VLAN 功能
2. 配置 IGMP Snooping
3. 配置 MLD Snooping

1.启动组播 VLAN 功能

命令	解释
VLAN 配置模式	
multicast-vlan **no multicast-vlan**	配置一个 VLAN 启动组播 VLAN 功能。no 操作关闭该 VLAN 的组播 VLAN 功能。
multicast-vlan association <*vlan-list*> **no multicast-vlan association <*vlan-list*>**	将一个组播 VLAN 与多个 VLAN 关联。No 操作删除组播 VLAN 的关联 VLAN。
multicast-vlan association interface (ethernet | port-channel|) IFNAME **no multicast-vlan association interface (ethernet | port-channel|) IFNAME**	将特定端口关联到组播 VLAN 上，这样关联到组播 VLAN 的端口上都能收到组播流量；no 命令取消关联端口关联关系。

2.配置 IGMP Snooping

命令	解释
全局配置模式	
ip igmp snooping vlan <*vlan-id*> **no ip igmp snooping vlan <*vlan-id*>**	启动组播 VLAN 的 IGMP Snooping 功能。No 操作关闭组播 VLAN 上的 IGMP Snooping。
ip igmp snooping **no ip igmp snooping**	启动 IGMP Snooping 功能。no 操作关闭全局 IGMP Snooping 功能。

3.配置 MLD Snooping

ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*>**	启动组播 VLAN 的 MLD Snooping 功能。No 操作关闭之组播 VLAN 上的 MLD Snooping。
ipv6 mld snooping **no ipv6 mld snooping**	启动 MLD Snooping 功能。no 操作关闭全局 MLD snooping 功能。

6.12.3 组播 VLAN 举例

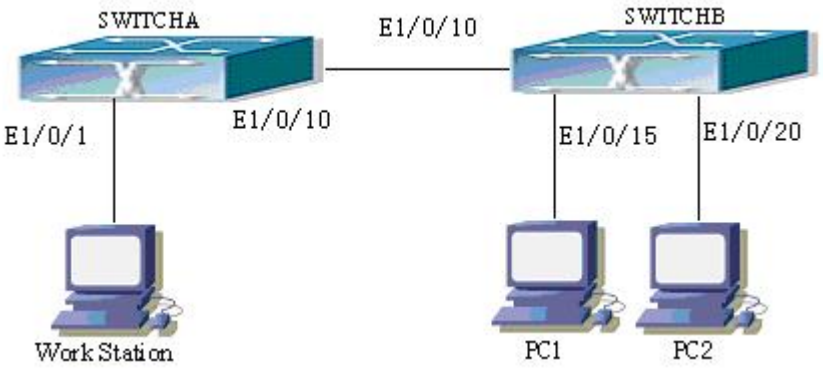


图 5-15 组播 VLAN 功能配置图

如图所示，组播服务器通过端口1/1/1与三层交换机switchA相连，端口1/1/1属于交换机的VLAN 10。三层交换机switchA通过端口1/1/10与二层交换机switchB相连，端口1/1/10配置为trunk模式。switchB上配置VLAN 100包含端口1/1/15，VLAN 101包含端口1/1/20。PC1和PC2分别连在端口1/1/15和1/1/20上。switchB通过端口1/1/10与交换机switchA相连，端口1/1/10配置为trunk模式。VLAN 20为组播VLAN。

通过配置组播VLAN，使PC1和PC2通过组播VLAN接收组播数据。

以下配置基于switchA的IP地址已经配置，并且设备连接正确的情况下进行配置。

配置步骤如下：

SwitchA#config

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(Config-vlan10)#switchport interface ethernet 1/1/1

SwitchA(Config-vlan10)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 10

SwitchA(Config-if-Vlan10)#ip pim dense-mode

SwitchA(Config-if-Vlan10)#exit

SwitchA(config)#vlan 20

SwitchA(config-vlan20)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 20

SwitchA(Config-if-Vlan20)#ip pim dense-mode

```
SwitchA(Config-if-Vlan20)#exit
SwitchA(config)#ip pim multicast
SwitchA(config)#interface ethernet 1/1/10
SwitchA(Config-If-Ethernet1/1/10)switchport mode trunk

SwitchB#config
SwitchB(config)#vlan 100
SwitchB(Config-vlan100)#switchport interface ethernet 1/1/15
SwitchB(Config-vlan100)exit
SwitchB(config)#vlan 101
SwitchB(Config-vlan101)#switchport interface ethernet 1/1/20
SwitchB(Config-vlan101)exit
SwitchB(config)#interface ethernet 1/1/10
SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/10)#switchport mode trunk
SwitchB(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit
SwitchB(config)#vlan 20
SwitchB(Config-vlan20)#multicast-vlan
SwitchB(Config-vlan20)#multicast-vlan association 100,101
SwitchB(Config-vlan20)#exit
SwitchB(config)#ip igmp snooping
SwitchB(config)#ip igmp snooping vlan 20
```

组播 VLAN 支持 IPV6 组播时，使用方法同 IPV4 原理相同，不同的只是与 MLD Snooping 配合使用，这里不再单独举例。

第 7 章 安全功能操作

7.1 ACL

7.1.1 ACL 介绍

ACL (Access Control Lists)是交换机实现的一种数据包过滤机制，通过允许或拒绝特定的数据包进入网络，交换机可以对网络访问进行控制，有效保证网络的安全运行。用户可以基于报文中的特定信息制定一组规则（rule），每条规则都描述了对匹配一定信息的数据包所采取的动作：允许通过（permit）或拒绝通过（deny）。用户可以把这些规则应用到特定交换机端口的入口，这样特定端口上特定方向的数据流就必须依照指定的 ACL 规则进入交换机。

7.1.1.1 Access-list

Access-list是一个有序的语句集，每一条语句对应一条特定的规则(rule)。每条rule包括了过滤信息及匹配此rule时应采取的动作。Rule包含的信息可以包括源MAC、目的MAC、源IP、目的IP、IP协议号、TCP端口、UDP端口等条件的有效组合。根据不同的标准，access-list可以有如下分类：

- 根据过滤信息：ip access-list，ipv6 access-list（三层以上信息），mac access-list（二层信息），mac-ip access-list（二层以上信息）。
- 根据配置的复杂程度：标准(standard)和扩展(extended)，扩展方式可以指定更加细致过滤信息。
- 根据命名方式：数字(numbered)和命名(named)。

对一条ACL的说明应当从这三个方面加以描述。

7.1.1.2 Access-group

当用户按照实际需要制定了一组access-list之后，就可以把他们分别应用到不同端口的入口方向上。access-group就是对特定的一条access-list与特定端口的绑定关系的描述。当您建立了一条access-group之后，流经此端口此方向的所有数据包都会试图匹配指定的access-list规则，以决定交换动作是允许(permit)或拒绝(deny)。另外还可以在端口加上对ACL规则统计计数器，以便统计符合ACL规则数据包的数量。

7.1.1.3 Access-list 动作及全局默认动作

Access-list动作及默认动作分为两种：允许通过(permit)或拒绝通过(deny)。具体有如下：

- 在一个access-list内，可以有多条规则（rule）。对数据包的过滤从第一条规则（rule）开始，直到匹配到一条规则（rule），其后的规则（rule）不再进行匹配。
  ☞全局默认动作只对端口入口方向的数据流量有效。

☞只有在包过滤功能打开且端口上没有绑定任何的 ACL 或不匹配任何绑定的 ACL 时才会匹配入口的全局的默认动作。

7.1.2 ACL 配置

ACL配置任务序列如下：

1. 配置 access-list
   (1) 配置数字标准 IP 访问列表
   (2) 配置数字扩展 IP 访问列表
   (3) 配置命名标准 IP 访问列表
      a) 创建一个命名标准 IP 访问列表
      b) 指定多条 permit 或 deny 规则表项
      c) 退出访问表配置模式
   (4) 配置命名扩展 IP 访问列表
      a) 创建一个命名扩展 IP 访问列表
      b) 指定多条 permit 或 deny 规则表项
      c) 退出访问表配置模式
   (5) 配置数字标准 MAC 访问列表
   (6) 配置数字扩展 MAC 访问列表
   (7) 配置命名扩展 MAC 访问列表
      a) 创建一个命名扩展 MAC 访问列表
      b) 指定多条 permit 或 deny 规则表项
      c) 退出 MAC 访问表配置模式
   (8) 配置数字扩展 MAC-IP 访问列表
   (9) 配置命名扩展 MAC-IP 访问列表
      a) 创建一个命名扩展 MAC-IP 访问列表
      b) 指定多条 permit 或 deny 规则表项
      c) 退出 MAC-IP 访问表配置模式
   (10) 配置数字标准 IPv6 访问列表
   (11) 配置数字扩展 IPv6 访问列表
   (12) 配置命名标准 IPv6 访问列表
      a) 创建一个命名标准 IPv6 访问列表
      b) 指定多条 permit 或 deny 规则表项
      c) 退出 IPv6 访问表配置模式
   (13) 配置命名扩展 IPv6 访问列表
      a) 创建一个命名扩展 IPv6 访问列表
      b) 指定多条 permit 或 deny 规则表项
      c) 退出 IPv6 访问表配置模式
2. 配置包过滤功能（1）全局打开包过滤功能

（2）全局配置 ACL deny 优先功能模块（可选）

3. 配置时间范围功能

（1）创建时间范围名称

（2）配置周期性时段

（3）配置绝对性时段

4. 将 accessl-list 绑定到特定端口的特定方向

5. 清空指定接口的包过滤统计信息

1. 配置 access-list

(1) 配置数字标准 IP 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
access-list <*num*> {deny | permit} {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} **no access-list <*num*>**	创建一条数字标准 IP 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项；本命令的 no 操作为删除一条数字标准 IP 访问列表。

(2) 配置数字扩展 IP 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
access-list <*num*> {deny | permit} icmp {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [<*icmp-type*> [<*icmp-code*>]] [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条 ICMP 数字扩展 IP 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。
access-list <*num*> {deny | permit} igmp {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [<*igmp-type*>] [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条 IGMP 数字扩展 IP 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。

access-list <*num*> {deny | permit} tcp {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} [s-port {<*sPort*> | range <*sPortMin*> <*sPortMax*>}] {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [d-port {<*dPort*> | range <*dPortMin*> <*dPortMax*>}] [ack+fin+psh+rst+urg+syn] [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条 TCP 数字扩展 IP 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。
access-list <*num*> {deny | permit} udp {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} [s-port {<*sPort*> | range <*sPortMin*> <*sPortMax*>}] {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [d-port {<*dPort*> | range <*dPortMin*> <*dPortMax*>}] [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条 UDP 数字扩展 IP 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。
access-list <*num*> {deny | permit} {eigrp | gre | igrp | ipinip | ip | ospf | < *protocol-num* >} {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条匹配其他特定 IP 协议或所有 IP 协议的数字扩展 IP 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。
no access-list <*num*>	删除一条数字扩展 IP 访问列表。

(3) 配置命名标准 IP 访问列表

a. 创建一个命名标准 IP 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
ip access-list standard <*name*> **no ip access-list standard <*name*>**	创建一条命名标准 IP 访问列表；本命令的 no 操作为删除此命名标准 IP 访问列表。

b. 指定多条 permit 或 deny 规则

命令	解释
命名标准 IP 访问列表配置模式	
[no] {deny | permit} {{<*sIpAddr*> <*sMask* >} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}}	创建一条命名标准 IP 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名标准 IP 访问规则（rule）。

c. 退出命名标准 IP 访问列表配置模式

命令	解释
命名标准 IP 访问列表配置模式	

exit	退出命名标准 IP 访问列表配置模式。

(4) 配置命名扩展 IP 访问列表

a. 创建一个命名扩展 IP 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
ip access-list extended <*name*> **no ip access-list extended <*name*>**	创建一条命名扩展 IP 访问列表；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IP 访问列表。

b. 指定多条 permit 或 deny 规则

命令	解释
命名扩展 IP 访问列表配置模式	
[no] {deny | permit} icmp {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [<*icmp-type*> [<*icmp-code*>]] [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条 icmp 命名扩展 IP 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IP 访问规则（rule）。
[no] {deny | permit} igmp {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [<*igmp-type*>] [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条 igmp 命名扩展 IP 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IP 访问规则（rule）。
[no] {deny | permit} tcp {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} [s-port {<*sPort*> | range <*sPortMin*> <*sPortMax*>}] {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [d-port {<*dPort*> | range <*dPortMin*> <*dPortMax*>}] [ack+fin+psh+rst+urg+syn] [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条 tcp 命名扩展 IP 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IP 访问规则（rule）。
[no] {deny | permit} udp {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} [s-port {<*sPort*> | range <*sPortMin*> <*sPortMax*>}] {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [d-port {<*dPort*> | range <*dPortMin*> <*dPortMax*>}] [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条 udp 命名扩展 IP 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IP 访问规则（rule）。

[no] {deny | permit} {eigrp | gre | igrp | ipinip | ip | ospf | < *protocol-num* >} {{<*sIpAddr*> <*sMask*>} | any-source | {host-source <*sIpAddr*>}} {{<*dIpAddr*> <*dMask*>} | any-destination | {host-destination <*dIpAddr*>}} [precedence <*prec*>] [tos <*tos*>][time-range<*time-range-name*>]	创建一条匹配其他特定 IP 协议或所有 IP 协议的数字扩展 IP 访问规则；如果此编号数字扩展访问列表不存在则创建此访问列表。

c. 退出命名扩展 IP 访问列表配置模式

命令	解释
命名扩展 IP 访问列表配置模式	
exit	退出命名扩展 IP 访问列表配置模式。

(5) 配置数字标准 MAC 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
access-list <*num*> {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} **no access-list <*num*>**	创建一条数字标准 mac 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项；本命令的 no 操作为删除一条数字标准 mac 访问列表。

(6) 配置数字扩展 MAC 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
access-list <*num*> {deny|permit} {any-source-mac| {host-source-mac<*host_smac*>}|{<*smac*><*smac-mask*>}}{any-destination-mac|{host-destination-mac <*host_dmac*>}|{<*dmac*><*dmac-mask*>}} {untagged | tagged}	创建一条数字扩展 mac 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项；本命令的 no 操作为删除一条数字扩展 mac 访问列表。

(7) 配置命名扩展 MAC 访问列表

a. 创建一个命名扩展 MAC 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
mac-access-list extended <*name*> **no mac-access-list extended <*name*>**	创建一条命名扩展 MAC 访问列表；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 MAC 访问列表。

b. 指定多条 permit 或 deny 规则表项

命令	解释
命名扩展 MAC 访问列表配置模式	
[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} [cos <*cos-val*> [<*cos-bitmask*>]] [vlanId <*vid-value*> [<*vid-mask*>]] [ethertype <*protocol*> [<*protocol-mask*>]] **[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} [ethertype <*protocol*> [<*protocol-mask*>]]** **[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac<*host_dmac*>} | {<*dmac*><*dmac-mask*>}} [vlanid <*vid-value*> [<*vid-mask*>] [ethertype <*protocol*> [<*protocol-mask*>]]]**	创建一条匹配普通 MAC 帧的命名扩展 MAC 访问规则(rule)；no 操作为删除此命名扩展 MAC 访问规则（rule）
[no]{deny|permit}{any-source-mac|{host-source-mac<*host_smac*>}|{<*smac*><*smac-mask*>}}{any-destination-mac|{host-destination-mac<*host_dmac*>}|{<*dmac*><*dmac-mask*>}} [untagged-eth2 [ethertype <*protocol*> [protocol-mask]]]	创建一条匹配 untagged 以太网 2 帧类型的命名扩展 MAC 访问规则(rule)； no 操作为删除此命名扩展 MAC 访问规则（rule）
[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} [untagged-802-3]	创建一条匹配 untagged 802.3 帧类型的命名扩展 MAC 访问规则(rule)；no 操作为删除此命名扩展 MAC 访问规则（rule）

[no]{deny|permit}{any-source-mac|{host-source-mac<*host_smac*>}|{<*smac*><*smac-mask*>}}{any-destination-mac|{host-destination-mac<*host_dmac*>}|{<*dmac*><*dmac-mask*>}}[tagged-eth2 [cos <*cos-val*> [<*cos-bitmask*>]] [vlanId <*vid-value*> [<*vid-mask*>]] [ethertype<*protocol*> [<*protocol-mask*>]]]	创建一条匹配 tagged 以太网 2 帧类型的命名扩展 MAC 访问规则(rule)；no 操作为删除此命名扩展 MAC 访问规则（rule）
[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} [tagged-802-3 [cos <*cos-val*> [<*cos-bitmask*>]] [vlanId <*vid-value*> [<*vid-mask*>]]]	创建一条匹配 tagged 802.3 帧类型的命名扩展 MAC 访问规则(rule)；no 操作为删除此命名扩展 MAC 访问规则（rule）

c. 退出 MAC 访问表配置模式

命令	解释
命名扩展 MAC 访问列表配置模式	
exit	退出命名扩展 MAC 访问列表配置模式

(8) 配置数字扩展 MAC-IP 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
access-list <*num*> {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac<*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*><*dmac-mask*>}} icmp {{<*source*> <*source-wildcard*>} | any-source | {host-source <*source-host-ip*>}} {{<*destination*> <*destination-wildcard*>} | any-destination | {host-destination <*destination-host-ip*>}} [<*icmp-type*> [<*icmp-code*>]] [precedence <*precedence*>] [tos <*tos*>] [time-range <*time-range-name*>]	创建一条 MAC-ICMP 数字扩展 mac-ip 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。
access-list <*num*> {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} igmp {{<*source*> <*source-wildcard*>} | any-source | {host-source <*source-host-ip*>}} {{<*destination*> <*destination-wildcard*>} | any-destination | {host-destination <*destination-host-ip*>}} [<*igmp-type*>] [precedence <*precedence*>] [tos <*tos*>] [time-range <*time-range-name*>]	创建一条 MAC-IGMP 数字扩展 mac-ip 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。

access-list <num> {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <host_smac>} | {<smac> <smac-mask>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <host_dmac>} | {<dmac> <dmac-mask>}} tcp {{<source> <source-wildcard>} | any-source | {host-source <source-host-ip>}} [s-port {*<port1>* | range *<sPortMin>* *<sPortMax>*}] {{<destination> <destination-wildcard>} | any-destination | {host-destination <destination-host-ip>}} [d-port {*<port3>* | range *<dPortMin>* *<dPortMax>*}] [ack+fin+psh+rst+urg+syn] [precedence <precedence>] [tos <tos>] [time-range *<time-range-name>*]	创建一条 MAC-TCP 数字扩展 mac-ip 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。
access-list *<num>* {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac *<host_smac>*} | {*<smac>* *<smac-mask>*}} {any-destination-mac | {host-destination-mac *<host_dmac>*} | {*<dmac>*<*dmac-mask*>}} udp {{*<source>* *<source-wildcard>*} | any-source | {host-source *<source-host-ip>*}} [s-port {*<port1>* | range *<sPortMin>* *<sPortMax>*}] {{*<destination>* *<destination-wildcard>*} | any-destination | {host-destination *<destination-host-ip>*}} [d-port {*<port3>* | range *<dPortMin>* *<dPortMax>*}] [precedence *<precedence>*] [tos *<tos>*] [time-range *<time-range-name>*]	创建一条 MAC-UDP 数字扩展 mac-ip 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。
access-list *<num>* {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac *<host_smac>*} | {*<smac>* *<smac-mask>*}} {any-destination-mac | {host-destination-mac *<host_dmac>*} | {*<dmac>*<*dmac-mask*>}} {eigrp | gre | igrp | ip | ipinip | ospf | {*<protocol-num>*}} {{*<source>* *<source-wildcard>*} | any-source | {host-source *<source-host-ip>*}} {{*<destination>* *<destination-wildcard>*} | any-destination | {host-destination *<destination-host-ip>*}} [precedence *<precedence>*] [tos *<tos>*] [time-range *<time-range-name>*]	创建一条匹配其他特定 MAC-IP 协议或所有 MAC-IP 协议的数字扩展 mac-ip 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项。
no access-list *<num>*	删除一条数字扩展 MAC-IP 访问列表。

(9) 配置命名扩展 MAC-IP 访问列表

a. 创建一个命名扩展 MAC-IP 访问列表

命令	解释
全局配置模式	

mac-ip-access-list extended <*name*> **no mac-ip-access-list extended <*name*>**	创建一条命名扩展 MAC-IP 访问列表；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 MAC-IP 访问列表。

b. 指定多条 permit 或 deny 规则表项

命令	解释
命名扩展 MAC-IP 访问列表配置模式	
[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} icmp {{<*source*> <*source-wildcard*>} | any-source | {host-source <*source-host-ip*>}} {{<*destination*> <*destination-wildcard*>} | any-destination | {host-destination <*destination-host-ip*>}} [<*icmp-type*> [<*icmp-code*>]] [precedence <*precedence*>] [tos <*tos*>] [time-range <*time-range-name*>]	创建一条 mac-icmp 命名扩展 MAC 访问规则（rule）；no 操作为删除此命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）。
[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} igmp {{<*source*> <*source-wildcard*>} | any-source | {host-source <*source-host-ip*>}} {{<*destination*> <*destination-wildcard*>} | any-destination | {host-destination <*destination-host-ip*>}} [<*igmp-type*>] [precedence <*precedence*>] [tos <*tos*>] [time-range <*time-range-name*>]	创建一条 mac-igmp 命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）；no 操作为删除此命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）。
[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <host_smac>} | {<smac> <smac-mask>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <host_dmac>} | {<dmac> <dmac-mask>}} tcp {{<source> <source-wildcard>} | any-source | {host-source <source-host-ip>}} [s-port {<*port1*> | range <*sPortMin*> <*sPortMax*>}] {{<destination> <destination-wildcard>} | any-destination | {host-destination <destination-host-ip>}} [d-port {<*port3*> | range <*dPortMin*> <*dPortMax*>}] [ack+fin+psh+rst+urg+syn] [precedence <precedence>] [tos <tos>] [time-range <*time-range-name*>]	创建一条 mac-tcp 命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）；no 操作为删除此命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）。

[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} udp {{<*source*> <*source-wildcard*>} | any-source | {host-source <*source-host-ip*>}} [s-port {<*port1*> | range <*sPortMin*> <*sPortMax*>}] {{<*destination*> <*destination-wildcard*>} | any-destination | {host-destination <*destination-host-ip*>}} [d-port {<*port3*> | range <*dPortMin*> <*dPortMax*>}] [precedence <*precedence*>] [tos <*tos*>] [time-range <*time-range-name*>]	创建一条 mac-udp 命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）；no 操作为删除此命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）。
[no] {deny | permit} {any-source-mac | {host-source-mac <*host_smac*>} | {<*smac*> <*smac-mask*>}} {any-destination-mac | {host-destination-mac <*host_dmac*>} | {<*dmac*> <*dmac-mask*>}} {eigrp | gre | igrp | ip | ipinip | ospf | {<*protocol-num*>}} {{<*source*> <*source-wildcard*>} | any-source | {host-source <*source-host-ip*>}} {{<*destination*> <*destination-wildcard*>} | any-destination | {host-destination <*destination-host-ip*>}} [precedence <*precedence*>] [tos <*tos*>] [time-range <*time-range-name*>]	创建一条 mac-ip 其他协议类型的命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）；no 操作为删除此命名扩展 MAC-IP 访问规则（rule）。

c. 退出 MAC-IP 访问表配置模式

命令	解释
命名扩展 MAC-IP 访问列表配置模式	
exit	退出命名扩展 MAC-IP 访问列表配置模式

(10) 配置数字标准 IPv6 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 access-list <*num*> {deny | permit} {{<*sIPv6Addr*> <*sPrefixlen*>} | any-source | {host-source <*sIpv6Addr*>}} **no ipv6 access-list <*num*>**	创建一条数字标准 IPv6 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项；本命令的 no 操作为删除一条数字标准 IPv6 访问列表。

(11) 配置数字扩展 IPv6 访问列表

命令	解释
全局配置模式	

ipv6 access-list <num-ext> {deny | permit} icmp {{<sIPv6Prefix/sPrefixlen>} | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}} {<dIPv6Prefix/dPrefixlen> | any-destination | {host-destination <dIPv6Addr>}} [<icmp-type> [<icmp-code>]] [dscp <dscp>] [flow-label <fl>][time-range<time-range-name>] **ipv6 access-list <num-ext> {deny | permit} tcp {{<sIPv6Prefix/<sPrefixlen>} | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}} [s-port {<sPort> | range <sPortMin> <sPortMax>}] {{<dIPv6Prefix/<dPrefixlen>} | any-destination | {host-destination <dIPv6Addr>}} [dPort {<dPort> | range <dPortMin> <dPortMax>}] [syn | ack | urg | rst | fin | psh] [dscp <dscp>] [flow-label <flowlabel>][time-range<time-range-name>]** **ipv6 access-list <num-ext> {deny | permit} udp {{<sIPv6Prefix/<sPrefixlen>} | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}} [s-port {<sPort> | range <sPortMin> <sPortMax>}] {{<dIPv6Prefix/<dPrefixlen>} | any-destination | {host-destination <dIPv6Addr>}} [dPort {<dPort> | range <dPortMin> <dPortMax>}] [dscp <dscp>] [flow-label <flowlabel>][time-range<time-range-name>]** **ipv6 access-list <num-ext> {deny |**	创建一条数字扩展 IPV6 访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项；本命令的 no 操作为删除一条数字标准 IP 访问列表。

(12) 配置命名标准 IPv6 访问列表

a) 创建一个命名标准 IPv6 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 access-list standard <name> **no ipv6 access-list standard <name>**	创建一条命名标准 IPv6 访问列表；本命令的 no 操作为删除此命名标准 IPv6 访问列表。

b) 指定多条 permit 或 deny 规则

命令	解释
命名标准 IPv6 访问列表配置模式	
[no] {deny | permit} {{<sIPv6Prefix/sPrefixlen>} | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}}	创建一条命名标准 IPv6 访问规则（rule）；本命令的no操作为删除此命名标准IPv6访问规则（rule）。

c) 退出命名标准 IPV6 访问列表配置模式

命令	解释
命名标准 IPv6 访问列表配置模式	
exit	退出命名标准 IPv6 访问列表配置模式。

(13) 配置命名扩展 IPv6 访问列表

a) 创建一个命名扩展 IPv6 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 access-list extended <name> **no ipv6 access-list extended <name>**	创建一条命名扩展 IPv6 访问列表；本命令的 no 操作为删除此命名扩展IPv6访问列表。

b) 指定多条 permit 或 deny 规则

命令	解释
命名扩展 IP 访问列表配置模式	
[no] {deny | permit} icmp {{<sIPv6Prefix/sPrefixlen>} | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}} {<dIPv6Prefix/dPrefixlen> | any-destination | {host-destination <dIPv6Addr>}} [<icmp-type> [<icmp-code>]] [dscp <dscp>] [flow-label <fl>][time-range<time-range-name>]	创建一条 icmp 命名扩展 IPv6 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IPv6 访问规则（rule）。

[no] {deny | permit} tcp {<sIPv6Prefix/sPrefixlen> | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}} [s-port {<sPort> | range <sPortMin> <sPortMax>}] {<dIPv6Prefix/dPrefixlen> | any-destination | {host-destination <dIPv6Addr>}} [d-port {<dPort> | range <dPortMin> <dPortMax>}] [syn | ack | urg | rst | fin | psh] [dscp <dscp>] [flow-label <fl>] [time-range<time-range-name>]	创建一条 tcp 命名扩展 IPv6 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IPv6 访问规则（rule）。
[no] {deny | permit} udp {<sIPv6Prefix/sPrefixlen> | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}} [s-port {<sPort> | range <sPortMin> <sPortMax>}] {<dIPv6Prefix/dPrefixlen> | any-destination | {host-destination <dIPv6Addr>}} [d-port {<dPort> | range <dPortMin> <dPortMax>}] [dscp <dscp>] [flow-label <fl>] [time-range<time-range-name>]	创建一条 udp 命名扩展 IPv6 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IPv6 访问规则（rule）。
[no] {deny | permit} <proto> {<sIPv6Prefix/sPrefixlen> | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}} {<dIPv6Prefix/dPrefixlen> | any-destination | {host-destination <dIPv6Addr>}} [dscp <dscp>] [flow-label <fl>] [time-range<time-range-name>]	创建一条匹配其他特定 IPv6 协议的数字扩展 IPv6 访问规则；如果此编号数字扩展访问列表不存在则创建此访问列表。
[no] {deny | permit} {<sIPv6Prefix/sPrefixlen> | any-source | {host-source <sIPv6Addr>}} {<dIPv6Prefix/dPrefixlen> | any-destination | {host-destination <dIPv6Addr>}} [dscp <dscp>] [flow-label <fl>] [time-range<time-range-name>]	创建一条命名扩展 IPv6 访问规则（rule）；本命令的 no 操作为删除此命名扩展 IPv6 访问规则（rule）。

c) 退出命名扩展 IPv6 访问列表配置模式

命令	解释
命名扩展 IPv6 访问列表配置模式	
exit	退出命名扩展 IPv6 访问列表配置模式。

2. 配置包过滤功能

（1）全局打开包过滤功能

命令	解释
全局配置模式	
firewall enable	全局打开包过滤功能。
firewall disable	全局关闭包过滤功能。

（2）配置 ACL **deny 优先功能**

本型号交换机不支持此命令。

3. 配置时间范围功能

（1）创建时间范围名称

命令	解释
全局配置模式	
time-range <*time_range_name*>	创建一个名为 ***time_range_name*** 的时间范围名
no time-range <*time_range_name*>	停止名为 ***time_range_name*** 的时间范围功能

（2）配置周期性时段

命令	解释
时间范围模式	
absolute-periodic {Monday | Tuesday | Wednesday | Thursday | Friday | Saturday | Sunday} <*start_time*> to {Monday | Tuesday | Wednesday | Thursday | Friday | Saturday | Sunday} <*end_time*>	配置一周内的各种不同要求的时间范围，每周都循环这个时间
periodic {{Monday+Tuesday+Wednesday+Thursday+Friday+Saturday+ Sunday} | daily | weekdays | weekend} <*start_time*> to <*end_time*>	
[no] absolute-periodic {Monday | Tuesday | Wednesday | Thursday | Friday | Saturday | Sunday} <*start_time*> to {Monday | Tuesday | Wednesday | Thursday | Friday | Saturday | Sunday} <*end_time*>	停止一周内的时间范围配置
[no] periodic {{Monday+Tuesday+Wednesday+Thursday+Friday+Saturday+ Sunday} | daily | weekdays | weekend} <*start_time*> to <*end_time*>	

（3）配置绝对性时段

命令	解释

全局配置模式	
absolute start <*start_time*> <*start_data*> [end <*end_time*> <*end_data*>]	创建一个绝对时间范围
[no] absolute start <*start_time*> <*start_data*> [end <*end_time*> <*end_data*>]	停止一个绝对时间范围功能

4. 将 accessl-list 绑定到特定端口的特定方向

命令	解释
物理接口配置模式/Vlan 接口模式	
{ip|ipv6|mac|mac-ip} access-group <*acl-name*> {in|out} [traffic-statistic] **no {ip|ipv6|mac|mac-ip} access-group <*acl-name*> {in|out}**	物理接口模式：在端口的入口或出口方向上应用一条 access-list； no 操作为删除绑定在端口上的 access-list。

5. 清空指定接口的包过滤统计信息

命令	解释
特权用户模式	
clear access-group (in | out) statistic interface { <*interface-name*> | ethernet <*interface-name*> }	在指定端口清除出口或入口方向包过滤统计信息。

7.1.3 ACL 举例

案例 1：

用户有如下配置需求：交换机的端口 10 连接 10.0.0.0/24 网段，管理员不希望用户使用 ftp。

配置更改：

1. 创建相应的 ACL
2. 配置包过滤功能
3. 绑定 ACL 到端口

配置步骤如下：

Switch(config)#access-list 110 deny tcp 10.0.0.0 0.0.0.255 any-destination d-port 21

Switch(config)#firewall enable

Switch(config)#interface ethernet1/1/10

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#ip access-group 110 in

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit

Switch(config)#exit

配置结果：

Switch#show firewall

Firewall Status: Enable.

Switch#show access-lists

access-list 110(used 1 time(s)) 1 rule(s)

access-list 110 deny tcp 10.0.0.0 0.0.0.255 any-destination d-port 21

Switch#show access-group interface ethernet 1/1/10

interface name:Ethernet1/1/10

IP Ingress access-list used is 110, traffic-statistics Disable.

案例 2：

用户有如下配置需求：交换机的端口 10 不允许转发源 MAC 地址是 00-12-11-23-XX-XX 的 802.3 的数据报文。

配置更改：

1、 创建相应的 MAC ACL

2、 配置包过滤功能

3、 绑定 ACL 到端口

配置步骤如下：

Switch(config)#access-list 1100 deny 00-12-11-23-00-00 00-00-00-00-ff-ff any-destination-mac untagged-802-3

Switch(config)# access-list 1100 deny 00-12-11-23-00-00 00-00-00-00-ff-ff any tagged-802

Switch(config)#firewall enable

Switch(config)#interface ethernet 1/1/10

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#mac access-group 1100 in

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit

Switch(config)#exit

配置结果：

Switch#show firewall

Firewall Status: Enable.

Switch #show access-lists

access-list 1100(used 1 time(s))

access-list 1100 deny 00-12-11-23-00-00 00-00-00-00-ff-ff

any-destination-mac

untagged-802-3

access-list 1100 deny 00-12-11-23-00-00 00-00-00-00-ff-ff

any-destination-mac

Switch #show access-group interface ethernet 1/1/10

interface name:Ethernet1/1/10

MAC Ingress access-list used is 1100,traffic-statistics Disable.

案例 3：

用户有如下配置需求：交换机的端口 10 连接的网段的 MAC 地址是 00-12-11-23-XX-XX，并且 IP 为 10.0.0.0/24 网段，管理员不希望用户使用 ftp，也不允许外网 ping 此网段的任何一台主机。

配置更改：

1. 创建相应的 ACL
2. 配置包过滤功能
3. 绑定 ACL 到端口

配置步骤如下：

Switch(config)#access-list 3110 deny 00-12-11-23-00-00 00-00-00-00-ff-ff any-destination-mac tcp 10.0.0.0 0.0.0.255 any-destination d-port 21

Switch(config)#access-list 3110 deny any-source-mac 00-12-11-23-00-00 00-00-00-00-ff-ff icmp any-source 10.0.0.0 0.0.0.255

Switch(config)#firewall enable

Switch(config)#interface ethernet 1/1/10

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#mac-ip access-group 3110 in

Switch(Config-Ethernet1/1/10)#exit

Switch(config)#exit

配置结果：

Switch#show firewall

Firewall Status: Enable.

Switch#show access-lists

access-list 3110(used 1 time(s))

access-list 3110 deny 00-12-11-23-00-00 00-00-00-00-ff-ff any-destination-mac

tcp 10.0.0.0 0.0.0.255 any-destination d-port 21

access-list 3110 deny any-source-mac 00-12-11-23-00-00 00-00-00-00-ff-ff icmp any-source 10.0.0.0 0.0.0.255

Switch#show access-group interface ethernet 1/1/10

interface name: Ethernet1/1/10

MAC-IP Ingress access-list used is 3110, traffic-statistics Disable.

案例 4：

用户有如下配置需求：交换机的 600 端口连接的网段是 IPV6，并且 IPV6 的地址为 2003：1：1：1：：0/64 网段，管理员不希望除了 2003：1：1：1：66：：0/80 网段用户访问外网。

配置更改：

1、 创建相应的 ACL

2、 配置包过滤功能

3、 绑定 ACL 到端口

配置步骤如下：

Switch(config)#ipv6 access-list 600 permit 2003:1:1:1:66::0/80 any-destination

Switch(config)#ipv6 access-list 600 deny 2003:1:1:1::0/64 any-destination

Switch(config)#firewall enable

Switch(config)#interface ethernet 1/1/10

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#ipv6 access-group 600 in

Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit

Switch(config)#exit

配置结果：

Switch#show firewall

Firewall Status: Enable.

Switch#show ipv6 access-lists

Ipv6 access-list 600(used 1 time(s))

ipv6 access-list 600 deny 2003:1:1:1::0/64 any-source

ipv6 access-list 600 permit 2003:1:1:1:66::0/80 any-source

Switch #show access-group interface ethernet 1/1/10

interface name:Ethernet1/1/10

IPv6 Ingress access-list used is 600, traffic-statistics Disable.

案例 5：

用户有以下配置需求：交换机的端口 1，2，5，7 属于 Vlan100，管理员不希望 IP 地址为 192.168.0.1 的设备接入到这几个端口。

配置更改：

1．创建相应的 ACL

2． 配置包过滤功能

3． 绑定 ACL 到端口

配置步骤如下：

Switch (config)#firewall enable

Switch (config)#vlan 100

Switch (Config-Vlan100)#switchport interface ethernet 1/1/1;2;5;7

Switch (Config-Vlan100)#exit

Switch (config)#access-list 1 deny host-source 192.168.0.1

Switch (config)#interface ethernet1/1/1;2;5;7

Switch (config-if-port-range)#ip access-group 1 in

Switch (Config-if-Vlan100)#exit

配置结果：

Switch (config)#show access-group interface vlan 100

Interface VLAN 100:

Ethernet1/1/1: IP Ingress access-list used is 1, traffic-statistics Disable.

Ethernet1/1/2: IP Ingress access-list used is 1, traffic-statistics Disable.

Ethernet1/1/5: IP Ingress access-list used is 1, traffic-statistics Disable.

Ethernet1/1/7: IP Ingress access-list used is 1, traffic-statistics Disable.

7.1.4 ACL 排错帮助

- 对 ACL 中的表项的检查是自上而下的，只要匹配一条表项，对此 ACL 的检查就马上结束。
- 端口特定方向上没有绑定 ACL 或没有任何 ACL 表项匹配时，才会使用默认规则。每个端口入口可以绑定一条 MAC-IP ACL，一条 IP ACL，一条 MAC ACL 和一条 IPV6 ACL（通过物理接口配置模式或 Vlan 接口配置模式）。
- 当同时绑定四条 ACL 且数据包同时匹配其中多条 ACL 时，优先关系从高到低如下，如果优先级相同，则先配置的优先级高：
  - 入口 IPv6 ACL
  - 入口 MAC-IP ACL
  - 入口 IP ACL
  - 入口 MAC ACL
- 端口可以成功绑定的 ACL 数目取决于已绑定的 ACL 的内容以及硬件资源限制。
- 如果 access-list 中包括过滤信息相同但动作矛盾的规则，则其无法绑定到端口并将有报错提示。例如同时配置 permit tcp any-source any-destination 及 deny tcp any-source any-destination。
- 可以配置 ACL 拒绝某些 ICMP 报文通过以防止“冲击波”等病毒。

☞如果物理接口的模式为 Trunk，则该端口只能通过物理接口配置模式配置 ACL。

☞在物理接口配置模式下绑定的 ACL 只能在物理接口配置模式下取消，在 Vlan 接口配置模

式下绑定的 ACL 只能在 Vlan 接口模式下取消。

☞物理接口加入/移出 Vlan 时（Trunk 口除外），该 Vlan 中配置的 ACL 将自动绑定/移除该物理接口；如果目的 Vlan 中配置的 ACL（通过 Vlan 接口配置模式配置）和该端口原有的 ACL 配置（通过物理接口配置模式配置）冲突，将导致端口移动失败。

☞Vlan 中无物理接口时（Trunk 口除外），将删除 ACL 在 Vlan 中的配置，以后如果再有物理端口移入 Vlan，将无 ACL 应用于该物理接口。端口模式转换：access->trunk，将取消通过 Vlan 接口配置模式绑定到该物理接口的 ACL；trunk->access,将 Vlan 1 接口配置的 ACL 绑定到该物理接口，如果绑定失败，端口模式转换将执行失败。

7.2 自定义 ACL

7.2.1 自定义 ACL 介绍

ACL (Access Control Lists)是交换机实现的一种数据包过滤机制，通过允许或拒绝特定的数据包进入网络，交换机可以对网络访问进行控制，有效保证网络的安全运行。用户可以基于报文中的特定信息制定一组规则（rule），每条规则都描述了对匹配一定信息的数据包所采取的动作：允许通过（permit）或拒绝通过（deny）。用户可以把这些规则应用到特定交换机端口的入口，这样特定端口上的数据流就必须依照指定的ACL规则进入交换机。

自定义 ACL 是指用户在配置 ACL 时可以配置若干个自定义 window 作为匹配字段。自定义 window 不明确指定匹配什么字段，而是指定一个在报文中的偏移量，无视它代表的字段含义，对该偏移位置开始固定字节长度的数据依据配置的 value 和 mask 进行匹配。

7.2.1.1 标准自定义 ACL 模板

标准自定义 ACL 共可以配置 8 个 window。每个 window 可以指定偏移量：<0-31>，单位为 2Bytes，即 0 代表偏移 0Bytes，1 代表偏移 2Bytes。偏移量是基于偏移起始位置进行偏移的。

在配置标准自定义 ACL 列表之前需要先配置一个标准自定义 ACL 的模板，用于配置好各个 window 的偏移量，这个模板是全局的，对所有标准自定义 ACL 列表生效。标准自定义 ACL 模板可以配置至多 8 个 window 的偏移量，未配置的 window 不可用，即如果有标准自定义 ACL 使用该 window 则无法成功配置下发。当模板中某个 window 配置好之后，如果配置了使用这个 window 的标准自定义 ACL 规则，则模板中这个 window 不能被修改，当未配置某个 window 的任何标准自定义 ACL 规则时可以重新配置、修改和删除模板中的这个 window。与其他功能（如 AM，ARP-GUARP，anti-arpscan 等）同时使用时，为保证其他功能正常，请减少使用的 window 模板数量，保持在 8 个或以下。

7.2.1.2 数字自定义 ACL

数字自定义 ACL 可以配置任意多个 ACL 表，每个 ACL 表中可以配置任意多条规则，下发表项数量取决于板卡型号，单条规则可以配置至多 4 个 window 的 value 与 mask，每个 window

长度为 2Bytes，自定义 ACL 列表的数字范围是<1200-1399>。

7.2.1.3 命名自定义 ACL

无

7.2.1.4 自定义 ACL 配置下发

无

7.2.1.5 特别说明

无

7.2.2 自定义 ACL 配置

自定义 ACL 配置的任务序列如下：

1. 配置偏移量模板
2. 配置数字标准自定义 acl 访问列表
3. 自定义 acl 规则绑定到端口
4. 自定义 acl 规则绑定到 vlan

1. **配置偏移量模板**

命令	解释
全局配置模式	
userdefined-access-list standard offset [window1 <offset>] [window2 <*offset*>] [window3 <offset>] [window4 <offset>/ no userdefined-access-list standard offset [window1] [window2] [window3] [window4]	创建标准自定义访问列表模板，如果已有此模板则修改模板对应的 window；本命令的 no 操作为删除标准自定义访问列表模板对应 window，如果未指定任何 window 则删除整个标准自定义访问列表模板。

2. 配置数字标准自定义 acl 访问列表

命令	解释
全局配置模式	
userdefined-access-list standard <num> {deny | permit} [packet-type ipv4 | ipv6 | l2-eth2 | l2-llc | l2-snap | mpls] [window1 <value> <mask>] /window2 <value> <mask>] [window3 <value> <mask>] [window4 <value> <mask>] no	创建一条数字自定义访问列表，如果已有此访问列表，则增加一条规则（rule）表项；本命令的 no 操作为删除一条自定义访问列表。

userdefined-access-list <*num*>	

3. 自定义 acl 规则绑定到端口

命令	解释
端口配置模式	
[no] userdefined access-group <num> in [traffic-statistic]	在指定端口的入口方向上应用一条 userdefined-access-list，本命令的 no 操作为删除绑定在端口上的 userdefined-access-list。

4. 自定义 acl 规则绑定到 vlan

命令	解释
全局配置模式	
[no] vacl ip access-group <num> in [traffic-statistic/ vlan <vlan-id>	在指定 vlan 的入口方向上应用一条 userdefined-access-list，本命令的 no 操作为删除绑定在 vlan 上的 userdefined-access-list。

7.2.3 自定义 ACL 举例

案例1：

用户有如下配置需求：交换机的端口1上不允许转发前两个字节为0x0003的数据报文。

配置更改：

1．根据情况创建自定义ACL模板

2．创建相应的自定义ACL

3．绑定ACL到端口

配置步骤如下：

Switch(config)#userdefined-access-list standard offset window1 0

Switch(config)#userdefined-access-list standard 1200 deny window1 0003 FFFF

Switch(config)#

Switch(config)#firewall enable

Switch(config)#interface ethernet 1/1

Switch(config-if-ethernet1/1)#userdefined access-group 1200 in

Switch(config)#exit

配置结果：

Switch #show access-lists

userdefined-access-list standard 1200(used 1 time(s)) 1 rule(s)

rule ID 1: deny window1 0003 ffff

Switch#show access-group interface ethernet 1/1

interface name:Ethernet1/1

Userdefined Ingress access-list used is 1200, traffic-statistics Disable.

7.2.4 自定义 ACL 排错帮助

自定义 acl 的配置排错方案依然可以按照普通 acl 的排错进行问题排查，在操作过程中，如果有操作错误，系统将会给出具体的错误提示信息。

7.3 802.1x

7.3.1 802.1x 介绍

802.lx协议起源于802.11协议，后者是IEEE的无线局域网协议，制订802.1x协议的初衷是为了解决无线局域网用户的接入认证问题。IEEE 802 LAN协议定义的局域网并不提供接入认证，只要用户能接入局域网控制设备（如LAN Switch），就可以访问局域网中的设备或资源。这在早期企业网有线LAN应用环境下并不存在明显的安全隐患。

随着移动办公及驻地网运营等应用的大规模发展，服务提供者需要对用户的接入进行控制和配置。尤其是WLAN的应用和LAN接入在电信网上大规模开展，有必要对端口加以控制以实现用户级的接入控制，802.lx就是IEEE LAN/WAN 委员会为了解决基于端口的网络接入控制（Port-Based Network Access Control）而定义的一个标准，该标准目前已经在无线局域网和以太网中被广泛应用。

“基于端口的网络接入控制”是指在局域网接入设备的端口这一级对所接入的用户设备进行认证和控制。连接在端口上的用户设备如果能通过认证，就可以访问局域网中的资源；如果不能通过认证，则无法访问局域网中的资源。

7.3.1.1 802.1x 认证体系结构

使用802.1x的系统为典型的Client/Server体系结构，包括三个实体，如下图所示，分别为：Supplicant system（客户端）、Authenticator system（接入控制单元）以及Authentication server system（认证服务器）。

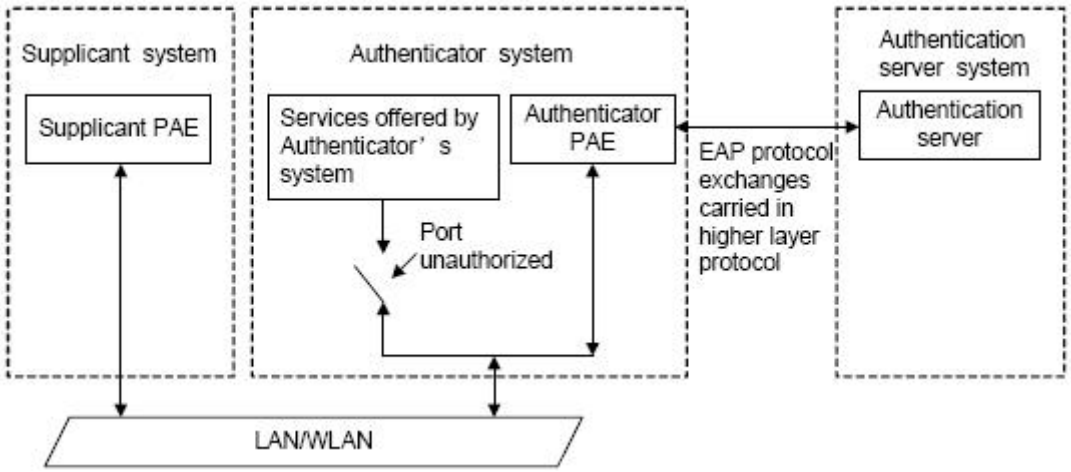


图 6-1 802.1x 认证体系结构

- 客户端是位于局域网段一端的一个实体，由该链路另一端的接入控制单元对其进行认证。客户端一般为一个用户终端设备，用户通过启动客户端软件发起802.1x认证。客户端必须支持EAPOL（Extensible Authentication Protocol over LAN，局域网上的可扩展认证协议）。
- 接入控制单元是位于局域网段一端的另一个实体，对所连接的客户端进行认证。接入控制单元通常为支持802.1x 协议的网络设备，它为客户端提供接入局域网的端口，该端口可以是物理端口，也可以是逻辑端口。
- 认证服务器是为接入控制单元提供认证服务的实体。认证服务器用于实现对用户进行认证、授权和计费，通常为RADIUS（Remote Authentication Dial-In User Service，远程认证拨号用户服务）服务器。该服务器可以存储有关用户的信息。包括用户名、密码以及其它参数，例如用户所属的VLAN、端口等。

三个实体涉及以下三个基本概念：端口 PAE、受控端口和受控方向。

1. PAE

PAE（Port Access Entity，端口访问实体）是 802.1x 认证机制中负责执行算法和协议操作的实体。

- 客户端PAE负责响应接入控制单元的认证请求，向接入控制单元提交用户的认证信息。客户端PAE也可以主动向接入控制单元发送认证请求和下线请求。
- 接入控制单元PAE利用认证服务器对需要接入局域网的客户端执行认证，并根据认证结果对受控端口的授权/非授权状态进行相应地控制。授权状态是指允许用户访问网络资源；非授权状态是指仅允许EAPOL报文收发，不允许用户访问网络资源。

2. 受控/非受控端口

接入控制单元为客户端提供接入局域网的端口，这个端口被划分为两个逻辑端口：受控端口和非受控端口。

- 非受控端口始终处于双向连通状态，主要用来传递EAPOL协议帧，保证客户端始终能够发出或接收认证报文。
- 受控端口在授权状态下处于双向连通状态，用于传递业务报文；在非授权状态下禁止从客户端接收任何报文。

- 受控端口和非受控端口是同一端口的两个部分；任何到达该端口的帧，在受控端口与非受控端口上均可见。

3. 受控方向

在非授权状态下，受控端口可以被设置成单向受控或双向受控。

- 实行双向受控时，禁止帧的发送和接收。
- 实行单向受控时，禁止从客户端接收帧，但允许向客户端发送帧。

说明：目前，本交换机只支持单向受控。

7.3.1.2 802.1x 工作机制

IEEE 802.1x 认证系统使用 EAP（Extensible Authentication Protocol，可扩展认证协议），来实现客户端、接入控制单元和认证服务器之间认证信息的交换。

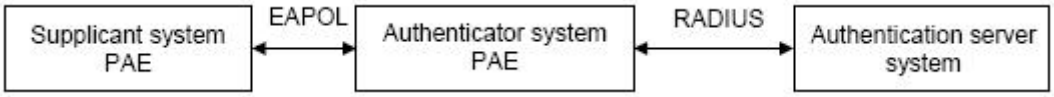


图 6-2 802.1x 认证工作机制

- 在客户端PAE与接入控制单元PAE之间，EAP协议报文使用EAPOL封装格式，直接承载于LAN环境中。
- 在接入控制单元PAE与RADIUS服务器之间，可以使用两种方式来交换信息。一种是EAP协议报文使用EAPOR（EAP over RADIUS）封装格式承载于RADIUS协议中；另一种是EAP协议报文由接入控制单元PAE进行终结，采用包含PAP（Password Authentication Protocol，密码验证协议）或CHAP（Challenge Handshake Authentication Protocol，质询握手验证协议）属性的报文与RADIUS服务器进行认证交互。
- 当用户完成认证后，认证服务器会把用户的相关信息传递给接入控制单元，接入控制单元PAE根据RADIUS服务器的认证结果（Accept 或Reject）决定受控端口的授权/非授权状态。

7.3.1.3 EAPOL 消息的封装

1. EAPOL 数据包的格式

EAPOL 是 802.1x 协议定义的一种报文封装格式，主要用于在客户端和接入控制单元之间传送 EAP 协议报文，以允许 EAP 协议报文在 LAN 上传送。在 IEEE 802/Ethernet LAN 环境中，EAPOL 数据包的格式如下图所示，EAPOL 数据包的起始位置是 MAC 帧的 Type/Length 域。

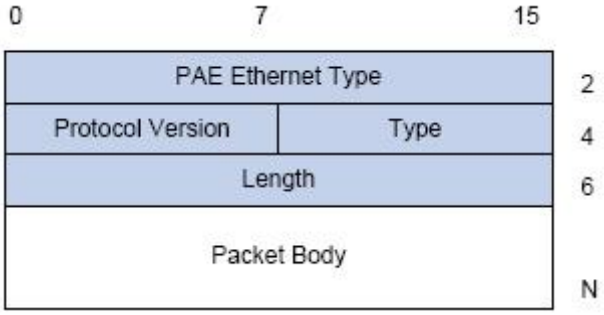


图 6-3 EAPOL 数据包格式

PAE Ethernet Type：表示协议类型，为 0x888E。

Protocol Version：表示 EAPOL 数据包的发送方所支持的协议版本号。

Type：表示 EAPOL 数据包类型，具体类型包括：

- EAP-Packet（值为0x00）：认证信息帧，用于承载EAP报文。该帧能够穿越（Pass through）接入控制单元，在客户端和认证服务器之间传递EAP报文。
- EAPOL-Start（值为0x01）：认证发起帧。
- EAPOL-Logoff（值为0x02）：退出请求帧。
- EAPOL-Key（值为0x03）：密钥信息帧。
- EAPOL-Encapsulated-ASF-Alert（值为0x04）：用于支持ASF（Alert Standard Forum）的Alerting 消息。该帧用于封装与网管相关信息，例如各种警告信息，由设备端终结。

Length：表示数据长度，也就是“Packet Body”字段的长度，单位为字节。如果为 0，则表示没有后面的数据域。

Packet Body：表示数据内容，根据不同的 Type 有不同的格式。

2. EAP 数据包的格式

当 EAPOL 数据包格式 Type 域为 EAP-Packet 时，Packet Body 为 EAP 数据包结构，如下图所示。

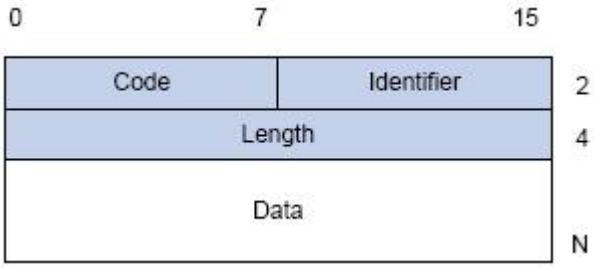


图 6-4 EAP 数据包格式

Code：指明 EAP 数据包的类型，共有 4 种：Request（1）、Response（2）、Success（3）、Failure（4）。

- Success 和Failure 类型的包没有Data域，相应的Length 域的值为4。
- Request和Response类型数据包的Data域的格式如下图所示。Type为EAP的认证类型，Type data的内容由类型决定。例如，Type值为1 时代表Identity，用来查询对方的身份；Type值为4 时，代表MD5-Challenge，类似于PPP CHAP协议，包含质询消息。

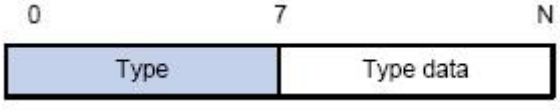


图 6-5 Request 和 Response 类型数据包的 Data 域的格式

Identifier：辅助进行 Request 和 Response 消息的匹配。

Length：EAP 数据包的长度，包含 Code、Identifier、Length 和 Data 域，单位为字节。

Data：EAP 数据包的内容，由 Code 类型决定。

7.3.1.4 EAP 属性的封装

RADIUS 为支持 EAP 认证增加了两个属性：EAP-Message（EAP 消息）和 Message-Authenticator（消息认证码）。RADIUS 协议的报文格式请参见“AAA-RADIUS-HWTACACS 操作”的 RADIUS 协议简介部分。

1. EAP-Message

如图所示，这个属性用来封装 EAP 数据包，类型代码为 79，String 域最长 253 字节，如果 EAP 数据包长度大于 253 字节，可以对其进行分片，依次封装在多个 EAP-Message 属性中。

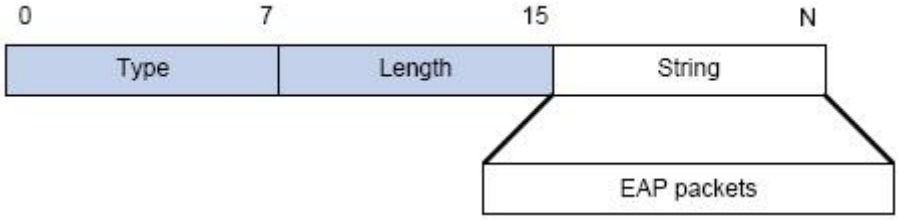


图 6-6 EAP-Message 属性封装

2. Message-Authenticator

如图所示，这个属性用于在使用 EAP、CHAP 等认证方法的过程中，避免接入请求包被窃听。在含有 EAP-Message 属性的数据包中，必须同时也包含 Message-Authenticator，否则该数据包会被认为无效而被丢弃。

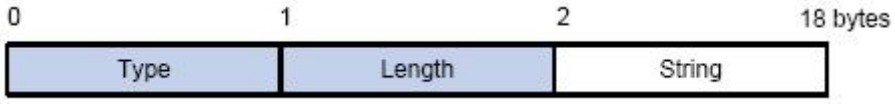


图 6-7 Message-Authenticator 属性

7.3.1.5 802.1x 认证方式

认证过程可以由客户端主动发起，也可以由设备端发起。一方面当设备端探测到有未经过认证的用户使用网络时，就会主动向客户端发送 EAP-Request/Identity 报文，发起认证；另一方面客户端可以通过客户端软件向设备端发送 EAPOL-Start 报文，发起认证。

802.1x 系统支持 EAP 中继方式和 EAP 终结方式与远端 RADIUS 服务器交互完成认证。以下对这两种认证方式的过程描述，都以客户端主动发起认证为例。

7.3.1.6 EAP 中继方式

这种方式是 IEEE 802.1x 标准规定的，将 EAP（扩展认证协议）承载在其它高层协议中，如 EAP over RADIUS，以便扩展认证协议报文穿越复杂的网络到达认证服务器。一般来说，EAP 中继方式需要 RADIUS 服务器支持 EAP 属性：EAP-Message 和 Message-Authenticator。

EAP 是一个通用的用来传输实际认证协议的认证框架，而不是一个特殊的认证机制。EAP 提供一些公共的功能，并且允许协商所希望的认证机制，这些机制被叫做 EAP 方法（Method）。EAP 的好处就是当一个新的认证协议发展出来的时候，基础的 EAP 机制不需要随着改变，在下图中给出了 EAP 认证方法协议栈。

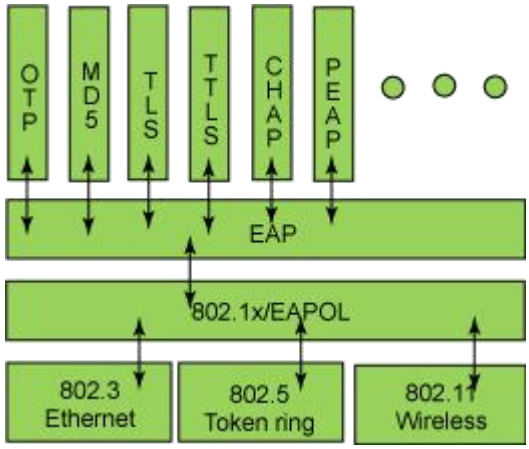


图 6-8 EAP 认证方法协议栈

现在已经开发出 50 种以上的 EAP 认证方法，而各种不同 EAP 认证方法间的差异在于认证机制与密钥管理的不同。其中比较常见的四种 EAP 认证方法包括：

2、 EAP-MD5

3、 **EAP-TLS**（Transport Layer Security，传输层安全）

4、 **EAP-TTLS**（Tunneled Transport Layer Security，隧道传输层安全）

5、 **PEAP**（Protected Extensible Authentication Protocol，受保护的扩展认证协议）

下面分别介绍这四种 EAP 认证方法。

注意：

1、 交换机作为穿越（Pass-through）接入控制单元，不检查具体 EAP 方法相关的内容，因而可以支持以上常见的 EAP 方法，并能够支持未来扩展的各种 EAP 认证方法。

2、 EAP 中继方式下，如果要采用 EAP-MD5、EAP-TLS、EAP-TTLS 或者 PEAP 这四种认证方法之一，需要保证在客户端和 RADIUS 服务器上选择一致的认证方法。

1. EAP-MD5 认证方法

EAP-MD5 是一个 IETF 开放标准，但提供最少的安全，MD5 Hash 函数容易受到字典攻击。

下面给出采用 EAP-MD5 认证方法的基本业务流程，如图所示。

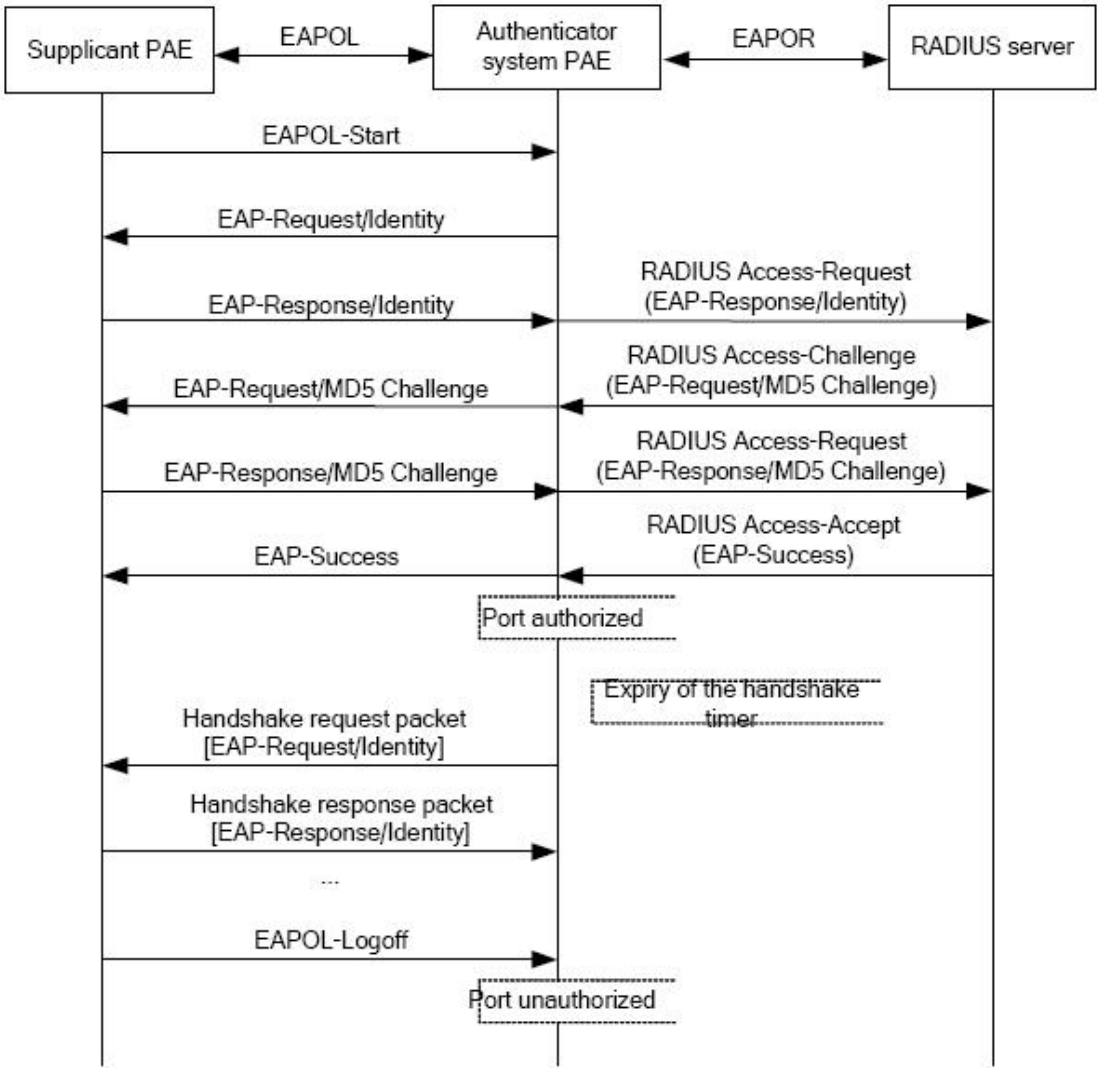


图 6-9 802.1x EAP-MD5 认证流程

2. EAP-TLS 认证方法

EAP-TLS 是由微软公司基于 EAP 和 TLS 协议而提出来的。它使用 PKI 来保护客户端与 Radius 认证服务器之间的身份认证以及生成动态的会话密钥，要求客户端和 Radius 认证服务器都要拥有数字证书以进行双向认证。它是无线局域网最早采纳的 EAP 认证方法。由于需要每一个用户都要拥有数字证书，因而在实际部署时由于维护困难而很少被使用，但它仍被认为是最安全的 EAP 标准之一，而且广泛地被无线局域网硬件和软件制造厂商所支持。

下面给出采用 EAP-TLS 认证方法的基本业务流程，如图所示。

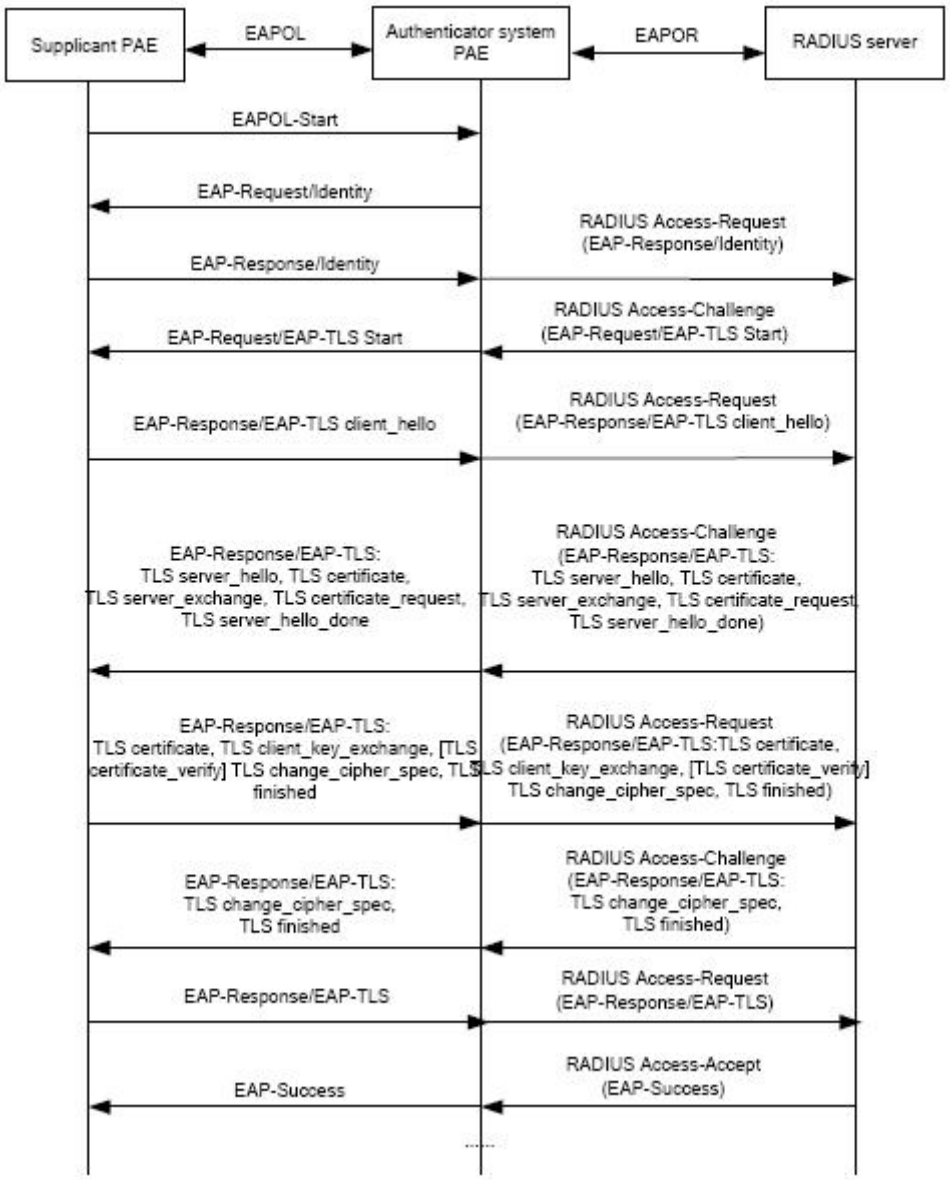


图 6-10 802.1x EAP-TLS 认证流程

3. EAP-TTLS 认证方法

EAP-TTLS 是由 Funk Software 和 Certicom 合作开发的。它可以提供 EAP-TLS 相同的认证强度，但不要求每个用户都要拥有数字证书，而只要求 Radius 认证服务器要拥有数字证书。用户身份的验证是通过密码来进行的，该密码是在利用认证服务器的证书所建立的一个安全的加密的隧道中传输。在 TTLS 隧道内部可以转发任意类型的认证请求，例如 EAP、PAP、MS-CHAPV2 等。

4. PEAP 认证方式

EAP-PEAP 是由 Cisco、微软和 RSA Security 联合提出的开放标准的建议。它早已被运用在产品中，而且提供很好的安全。它在协议设计和安全性方面与 EAP-TTLS 相似，只需要一份服务器端的 PKI 证书来建立一个安全的 TLS 隧道以保护用户认证。

下面给出采用 PEAP 认证方法的基本业务流程，如图所示。

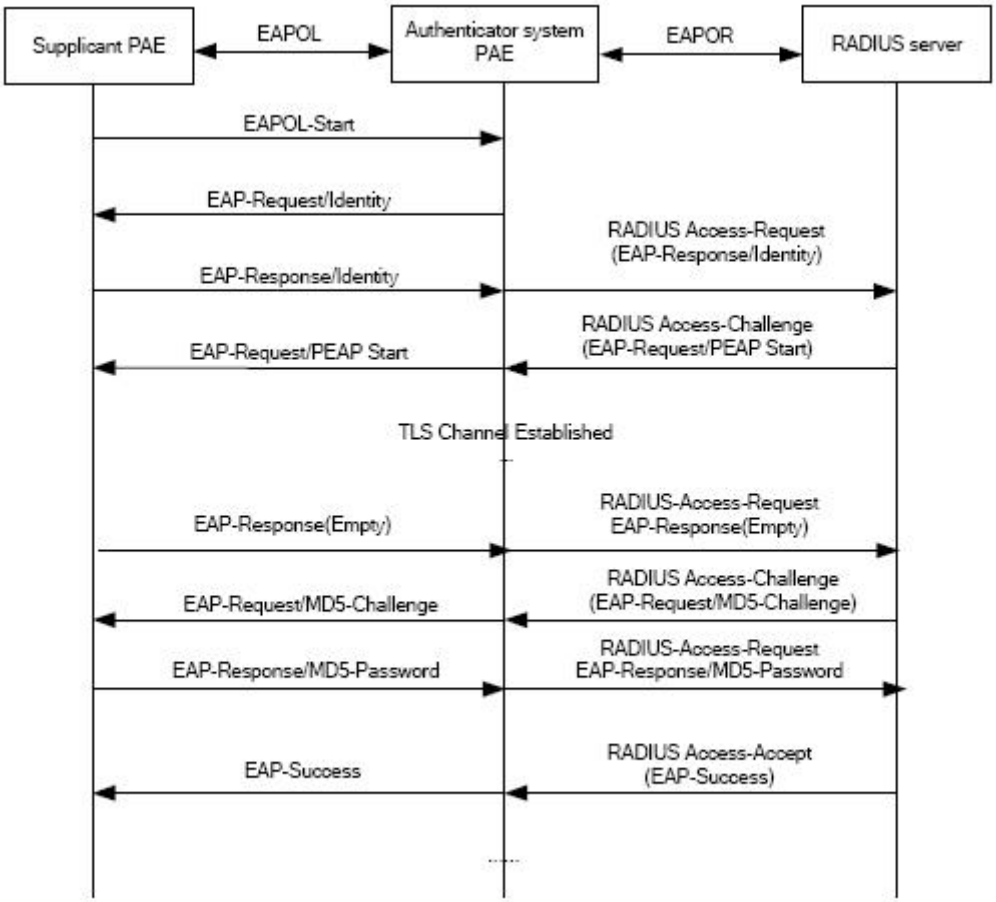


图 6-11 802.1x PEAP 认证流程

7.3.1.7 EAP 终结方式

这种方式将 EAP 报文在接入控制单元终结并映射到 RADIUS 报文中，利用标准 RADIUS 协议完成认证、授权和计费。基本业务流程如下图所示。

对于 EAP 终结方式，接入控制单元与 RADIUS 服务器之间可以采用 PAP 或者 CHAP 认证方法。以下以 CHAP 认证方法为例介绍基本业务流程，如图所示。

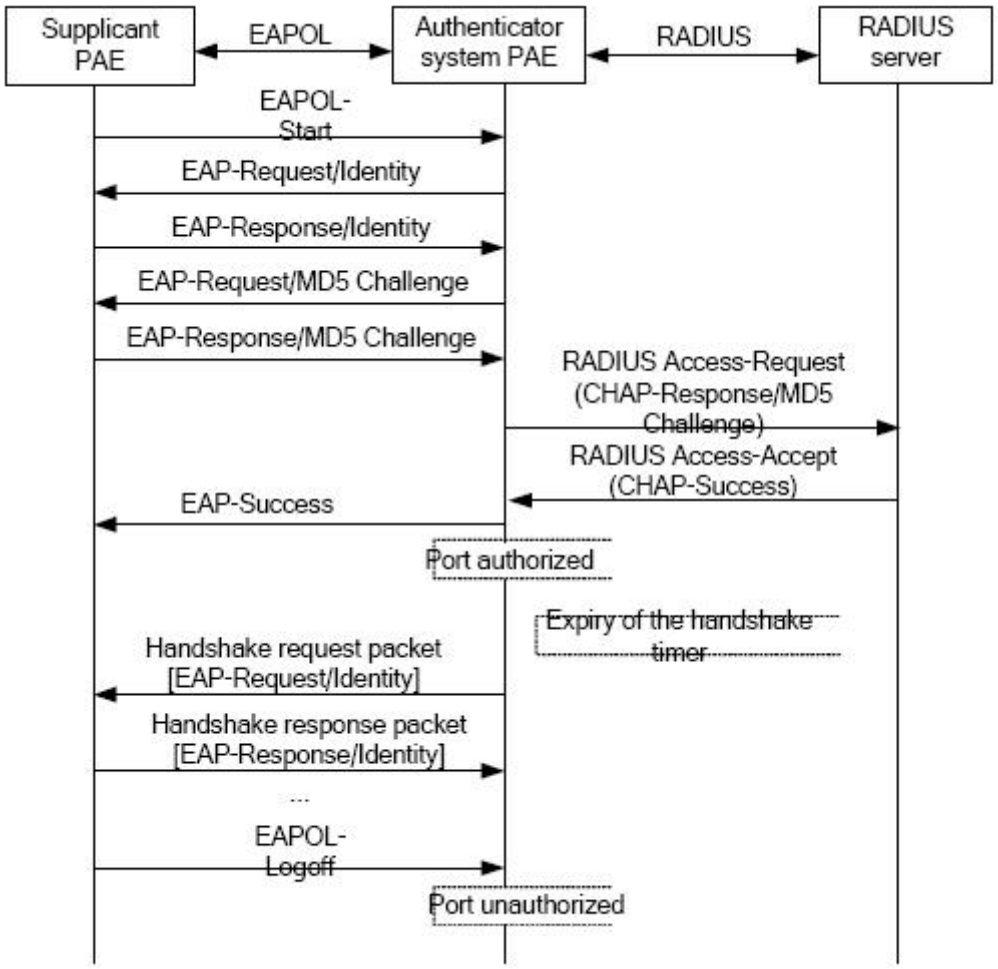


图 6-12 802.1x EAP 终结方式认证流程

EAP 终结方式与 EAP 中继方式的认证流程相比，不同之处在于用来对用户密码信息进行加密处理的随机加密字由设备端生成，之后接入控制单元会把用户名、随机加密字和客户端加密后的密码信息一起送给 RADIUS 服务器，进行相关的认证处理。

7.3.1.8 802.1x 的扩展和优化

设备在 802.1x 的 EAP 中继方式和 EAP 终结方式的实现中，不仅支持协议所规定的端口接入认证方式，还对其进行了扩展、优化：

1、 支持一个物理端口下挂接多个用户的应用场合；

2、 接入控制方式（即对用户的认证方式）可以采用基于端口、基于MAC和基于用户（IP地址+MAC地址+端口）三种方式：

- ◆ 当采用基于端口方式时，只要该端口下的第一个用户认证成功后，其它接入用户无须认证就可使用网络资源，但是当第一个用户下线后，其它用户也会被拒绝使用网络。
- ◆ 当采用基于MAC方式时，对于同一物理端口下的所有接入用户均需要单独认证，只有通过了认证的用户才能够接入网络，没有通过认证的用户不能接入网络。当某个用户下线时，也只有该用户无法使用网络。
- ◆ 当采用基于用户（IP地址+MAC地址+端口）方式时，它允许用户在认证之前就能够访问有限资源。对基于用户的接入控制方式，存在标准控制与高级控制

两种类型：基于用户的标准控制类型不对有限资源的访问进行限制，该端口下的所有用户在没有经过认证之前都可以访问有限资源，当认证通过后可以访问所有资源；但基于用户的高级控制类型会对有限资源的访问进行限制，在该端口下只有特定用户在没有经过认证之前能够访问有限资源，当这些用户认证通过后可以访问所有资源。

注意：当使用私有的客户端时，推荐采用基于用户的高级接入控制方式，采用这种方式可以有效地防止 ARP 欺骗。

交换机最大认证用户数可以达到 4000 人，推荐使用认证用户数不超过 2000 人。

7.3.1.9 VLAN 分配特性

1. Auto VLAN

Auto VLAN 特性可以使 RADIUS 服务器根据用户信息和用户接入设备信息来动态改变接入端口所属的 VLAN。当 802.1x 用户在服务器上通过认证时，RADIUS 服务器会把授权信息传送给设备端。如果 RADIUS 服务器上配置了下发 VLAN 功能，则在 Access-Accept 报文中应当含有以下属性：

- Tunnel-Type = VLAN (13)
- Tunnel-Medium-Type = 802 (6)
- Tunnel-Private-Group-ID = VLANID

这里的 VLANID 是指 VLAN 的 VID，取值范围为 1~4094。例如 Tunnel-Private-Group-ID = 30 表示 VLAN 30。

当交换机接收到下发的 Auto VLAN 信息后，当前 Access 端口离开用户配置的 VLAN 并加入 Auto VLAN 中。

Auto VLAN 并不改变端口的配置，也不影响端口的配置。但是，Auto VLAN 的优先级高于用户配置的 VLAN，即通过认证后起作用的 VLAN 是 Auto VLAN，用户配置的 VLAN 在用户下线后生效。

说明：目前 Auto VLAN 只能在基于端口的接入控制方式，以及链路类型为 Access 类型的端口上生效。

2. Guest VLAN

Guest VLAN 特性用来允许未认证用户访问某些特定资源。

用户认证端口在通过 802.1x 认证之前属于一个缺省 VLAN（即 Guest VLAN），用户访问该 VLAN 内的资源不需要认证，但此时不能够访问其他网络资源；认证成功后，端口离开 Guest VLAN，用户可以访问其他的网络资源。

用户在 Guest VLAN 中可以获取 802.1x 客户端软件，升级客户端，或执行其他一些应用升级程序（例如防病毒软件、操作系统补丁程序等）。如果因为没有专用的认证客户端或

者客户端版本过低等原因，导致在一定的时间内端口上无客户端认证成功，接入设备会把该端口加入到 Guest VLAN。

开启 802.1x 特性并正确配置 Guest VLAN 后，当设备从某一端口发送触发认证报文（EAP-Request/Identity）超过设定的最大次数而没有收到客户端的任何回应报文时，与 Auto VLAN 类似，该端口将被加入到 Guest VLAN 内。此时 Guest VLAN 中端口下的用户发起认证，如果认证失败，该端口将会仍然处在 Guest VLAN 内；如果认证成功，分为以下两种情况：

- 认证服务器下发一个 Auto VLAN，这时端口离开 Guest VLAN，加入下发的 Auto VLAN 中。用户下线后，端口会被重新划分到所配置的 GuestVlan 内。
- 认证服务器不下发 VLAN，这时端口离开 Guest VLAN，加入配置的 VLAN 中。用户下线后，端口会被重新划分到所配置的 GuestVlan 内。

7.3.2 802.1x 配置

802.1x 配置任务序列如下：

1. 使能交换机的 802.1x 功能
2. 接入控制单元的属性配置
3. 1) 配置端口的授权状态

2) 配置端口的接入控制方式：基于 MAC 地址还是基于端口

3) 配置交换机 802.1x 的扩展功能

3.与 Supplicant (用户接入设备)相关的属性配置（可选）

1.使能交换机的 802.1x 功能

命令	解释
全局配置模式	
dot1x enable **no dot1x enable**	使能交换机全局及端口的 802.1x 功能；本命令的 no 操作为关闭 802.1x 功能。
dot1x privateclient enable **no dot1x privateclient enable**	使能交换机强制客户端软件使用神州数码私有 802.1x 认证报文格式；本命令的 no 操作为关闭该功能，允许客户端软件使用标准 802.1x 认证报文格式。
dot1x user free-resource <*prefix*> <*mask*> **no dot1x user free-resource**	设置用户能够访问的有限资源；本命令的 no 操作为删除有限资源。
dot1x unicast enable **no dot1x unicast enable**	打开交换机全局 802.1x 单播透传功能；本命令的 no 操作关闭 802.1x 单播透传功能。

2.接入控制单元的属性配置

1) 配置端口的授权状态

命令	解释
端口配置模式	
dot1x port-control {auto | force-authorized | force-unauthorized } **no dot1x port-control**	设置端口的 802.1x 授权状态，本命令的 no 操作用来恢复缺省配置。

2) 配置端口的接入控制方式

命令	解释
端口配置模式	
dot1x port-method {macbased | portbased | userbased advanced} **no dot1x port-method**	设置端口的接入控制方式；本命令的 no 操作用来恢复缺省的接入控制方式。
dot1x max-user macbased <*number*> **no dot1x max-user macbased**	设置指定端口最多允许接入的用户数；本命令的 no 操作为恢复缺省的最多允许 1 个用户。
dot1x max-user userbased <*number*> **no dot1x max-user userbased**	设置指定端口最多允许接入的用户数，用于端口接入控制方式为 userbased 的情况；本命令的 no 操作为恢复缺省的最多允许 10 个用户。
dot1x guest-vlan <*vlanID*> **no dot1x guest-vlan**	设置指定端口的 guest vlan；本命令的 no 操作为删除 guest vlan。
dot1x portbased mode single-mode **no dot1x portbased mode single-mode**	配置基于 portBase 认证方式的单一用户模式；本命令的 no 操作为关闭该功能。

3) 配置交换机 802.1x 的扩展功能

命令	解释
全局配置模式	
dot1x macfilter enable **no dot1x macfilter enable**	打开交换机 802.1x 的地址过滤功能；本命令的 no 操作为关闭 802.1x 的地址过滤功能。
dot1x macbased port-down-flush **no dot1x macbased port-down-flush**	打开该命令，当基于 mac 进行 dot1x 认证的端口 down 时，删除该端口上已经认证通过的用户；本命令的 no 操作不对该情况下已认证用户进行下线操作。

dot1x accept-mac <*mac-address*> [interface <*interface-name*>port-channel <IFNAME>}] **no dot1x accept-mac <*mac-address*> [interface <*interface-name*>port-channel <IFNAME>}]**	添加 802.1x 的地址过滤表的表项；本命令的 no 操作为删除 802.1x 的地址过滤表的表项。
dot1x eapor enable **no dot1x eapor enable**	打开交换机 EAP 中继的认证方式；本命令的 no 操作为采用 EAP 本地终结的认证方式。

3. 与 Supplicant (用户接入设备)相关的属性配置

命令	解释
全局配置模式	
dot1x max-req <*count*> **no dot1x max-req**	设置交换机在没有收到 supplicant 回应而重新启动认证前，发送 EAP-request/MD5 帧的最大次数；本命令的 no 操作用来恢复缺省值。
dot1x re-authentication **no dot1x re-authentication**	设置允许对 supplicant 进行周期性重认证；本命令的 no 操作用来关闭该功能。
dot1x timeout quiet-period <*seconds*> **no dot1x timeout quiet-period**	设置在端口认证失败后保持静默状态的时间；本命令的 no 操作用来恢复缺省值。
dot1x timeout re-authperiod <*seconds*> **no dot1x timeout re-authperiod**	设置交换机对 supplicant 重新认证的时间间隔；本命令的 no 操作用来恢复缺省值。
dot1x timeout tx-period <*seconds*> **no dot1x timeout tx-period**	设置交换机对 supplicant 重发 EAP-request/identity 帧的时间间隔；本命令的 no 操作用来恢复缺省值。
dot1x re-authenticate [interface <*interface-name*>]	设置对所有端口或某个指定端口进行 802.1x 重认证（不须等待超时）。
dot1x authentication{local|radius}	开启本地认证或者 radius 认证

7.3.3 802.1x 应用举例

7.3.3.1 Guest Vlan 应用举例

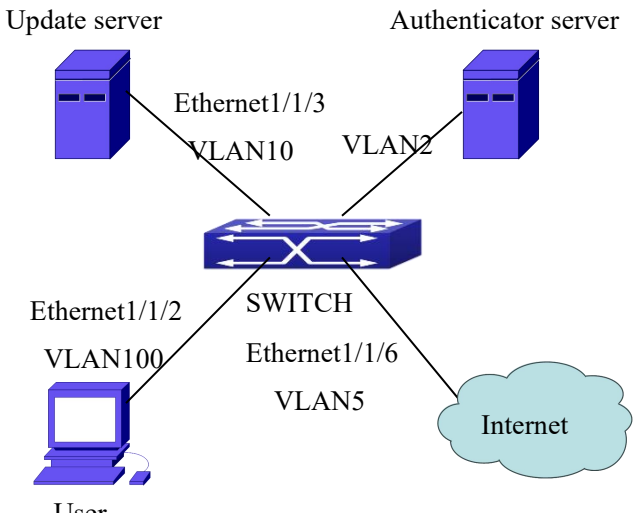


图 6-13：Guest VLAN 网络拓扑结构

如图 6-23 所示，1 台交换机通过 802.1x 认证接入网络，认证服务器为 RADIUS 服务器。User 接入交换机的端口 Ethetnet1/1/2 下，端口 Ethernet 1/1/2 在 VLAN100 内；认证服务器在 VLAN2 内；Update Server 是用于客户端软件下载和升级的服务器，在 VLAN10 内；交换机连接 Internet 网络的端口 Ethernet 1/1/6 在 VLAN5 内。

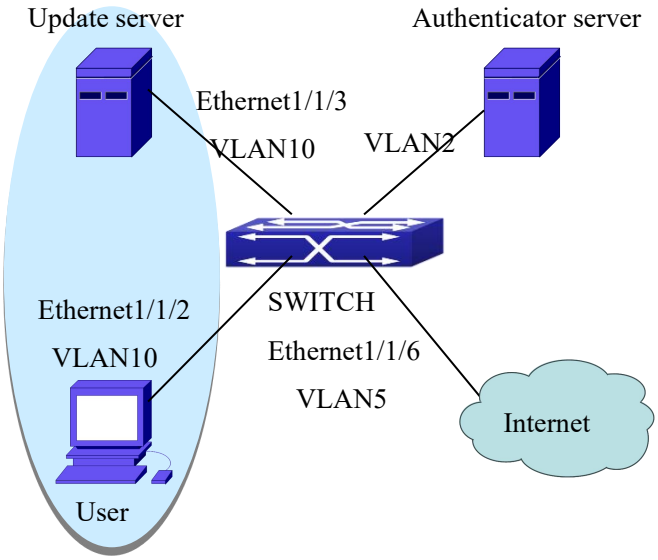


图 6-14：用户加入 Guest VLAN

如图 6-24 所示，在交换机端口 Ethernet1/1/2 上开启 802.1x 特性，并配置 VLAN10 为该端口 Guest VLAN，当用户没有认证或者认证失败时，端口 Ethernet1/1/2 被加入到 VLAN10 中，用户可以访问 Update Server。

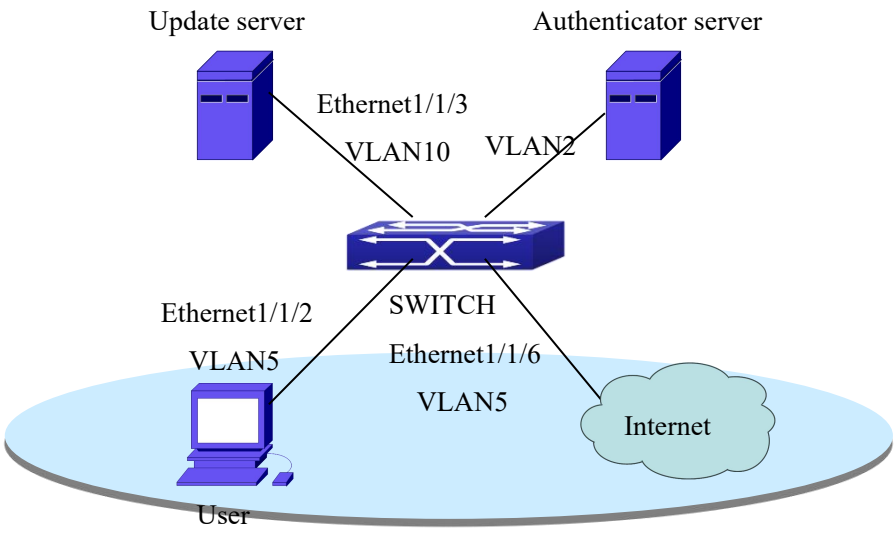


图 6-15：用户上线，VLAN 下发

如图 6-25 所示，当用户认证成功上线，认证服务器下发 VLAN5，此时，用户和端口 Ethernet1/1/6 都在 VLAN5 内，用户可以访问 Internet。

配置步骤如下：

配置 RADIUS 服务器。

Switch(config)#radius-server authentication host 10.1.1.3

Switch(config)#radius-server accounting host 10.1.1.3

Switch(config)#radius-server key test

Switch(config)#aaa enable

Switch(config)#aaa-accounting enable

创建 VLAN100。

Switch(config)#vlan 100

使能全局 802.1x 功能。

Switch(config)#dot1x enable

使能端口 Ethernet1/1/2 上的 802.1x 功能。

Switch(config)#interface ethernet 1/1/2

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#dot1x enable

配置端口的链路类型为 access 模式。

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#switch-port mode access

配置端口上接入控制方式为 portbased。

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#dot1x port-method portbased

配置端口上进行接入控制的模式为 auto。

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#dot1x port-control auto

配置端口 Guest VLAN 为 100。

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#dot1x guest-vlan 100

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#exit

通过命令 show running-config 或者 show **interface ethernet 1/1/2** 可以查看 Guest VLAN 配置情况。在没有用户上线、用户认证失败或用户成功下线等情况下发送触发认证报文（EAP-Request/Identity）超过设定的最大次数时，通过命令 **show vlan id 100** 可以查看端口配置的 Guest VLAN 是否生效。

7.3.3.2 802.1x 与 IPv4 Radius 应用举例

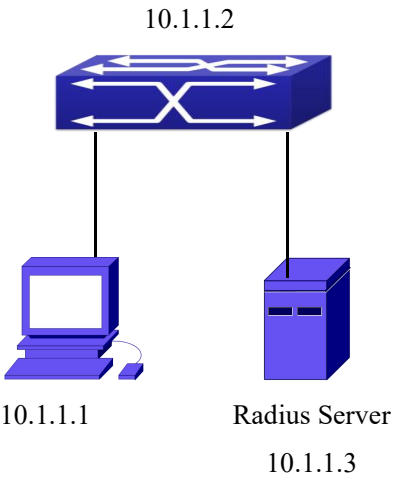


图 6-16 IEEE802.1x 配置举例拓扑图

计算机连接到交换机的端口 Ethernet1/1/2 上，端口 Ethernet1/1/2 开启 IEEE802.1x 认证功能，接入方式采用缺省的基于 MAC 地址认证方式。交换机的 IP 地址设置为 10.1.1.2，并将除端口 Ethernet1/1/2 以外的任意一个端口与 RADIUS 认证服务器相连接，RADIUS 认证服务器的 IP 地址设置为 10.1.1.3，认证、计费端口为缺省端口 1812 和端口 1813。计算机上安装 IEEE802.1x 认证客户端软件，并通过使用此软件来实现 IEEE802.1x 认证。

配置步骤如下：

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-vlan1)#exit

Switch(config)#radius-server authentication host 10.1.1.3

Switch(config)#radius-server accounting host 10.1.1.3

Switch(config)#radius-server key test

Switch(config)#aaa enable

Switch(config)#aaa-accounting enable

Switch(config)#dot1x enable

Switch(config)#interface ethernet 1/1/2

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#dot1x enable

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#dot1x port-control auto

Switch(Config-Ethernet1/1/2)#exit

7.3.3.3 802.1x 与 IPv6 Radius 应用举例

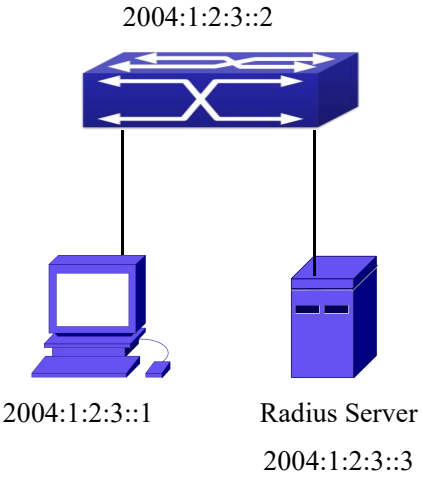


图 6-17 IPv6 Radius 配置举例拓扑图

计算机连接到交换机的端口 1/1/2 上，端口 1/1/2 开启 IEEE802.1x 认证功能，接入方式采用缺省的基于 MAC 地址认证方式。交换机的 IP 地址设置为 2004:1:2:3::2，并将除端口 1/1/2 以外的任意一个端口与 RADIUS 认证服务器相连接，RADIUS 认证服务器的 IP 地址设置为 2004:1:2:3::3，认证、计费端口为缺省端口 1812 和端口 1813。计算机上安装 IEEE802.1x 认证客户端软件，并通过使用此软件来实现 IEEE802.1x 认证。

配置步骤如下：

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-vlan1)#ipv6 address 2004:1:2:3::2/64

Switch(Config-if-vlan1)#exit

Switch(config)#radius-server authentication host 2004:1:2:3::3

Switch(config)#radius-server accounting host 2004:1:2:3::3

Switch(config)#radius-server key test

Switch(config)#aaa enable

Switch(config)#aaa-accounting enable

Switch(config)#dot1x enable

Switch(config)#interface ethernet 1/1/2

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#dot1x enable

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#dot1x port-control auto

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#exit

7.3.3.4 802.1x 与 autovlan 应用举例

为了将受限的网络资源与未认证用户隔离，通常将受限的网络资源和未认证的用户划分到不同的 VLAN。用户认证成功后，认证服务器将指定 VLAN 授权给用户。此时，设备会将用户所属的 VLAN 修改为授权的 VLAN，授权的 VLAN 并不改变接口的配置。但是，授权的 VLAN 优先级高于用户配置的 VLAN，即用户认证成功后生效的 VLAN 是授权的 VLAN，用户配置的 VLAN 在用户下线后生效。如下所示，认证成功后，用户 vlan 就设置成了 4000

Switch(config)#dot1x enable

Switch(config)#dot1x username admin2 password 0 admin2 dynamic-vlan 4000

Switch(config)#dot1x authentication local

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#switchport mode hybrid

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#switchport hybrid allowed vlan 2-4094 tag

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#switchport hybrid allowed vlan 1 untag

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#dot1x enable

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#dot1x max-user macbased 256

7.3.4 802.1x 排错帮助

用户在使用 802.1x 时，通常会遇到端口无法配置 802.1x；或者 802.1x 认证状态为 auto，用户运行 802.1x 的 supplicant 软件后，端口仍不能改变为认证通过状态的情况。可能的原因及解决建议如下：

- 如果出现端口无法配置 802.1x 的情况，请检查交换机的认证端口是否运行了端口 mac 绑定，或者端口已经配置为聚合端口。如果要打开端口的 802.1x 认证功能，则必须关闭该端口下的上述功能。
- 如果交换机配置正确，但认证仍无法通过，请检查交换机与 RADIUS 服务器，交换机与 802.1x 客户机之间是否相互连通；检查交换机端口 VLAN 的配置。
- 通过查看 RADIUS 服务器的事件日志，判断问题的起因。在事件日志中对登录不成功的不仅有记录还有不成功原因的提示。如事件日志显示 authenticator 的登录口令不对，则修改 radius-server key 参数；如果事件日志中显示没有该 authenticator，则需在 RADIUS 服务器中增加该 authenticator；如事件日志中提示没有该登录用户，说明用户的登录名和口令有误，输入正确的用户名和口令。

7.4 端口、VLAN 中 MAC、IP 数量限制

7.4.1 端口、VLAN 中 MAC、IP 数量限制功能简介

MAC 地址表是标识目的 MAC 地址与交换机端口之间映射关系的表，其 MAC 地址分为静态 MAC 地址和动态 MAC 地址。静态 MAC 地址由用户配置，具有最高优先级（不能被动态 MAC 地址覆盖）且永久生效；动态 MAC 地址由交换机在转发数据帧的过程中学习，且在有限时间内生效。当交换机接收到需要转发的数据帧时，首先学习数据帧的源 MAC 地址，与接收端口建立映射关系；然后根据目标 MAC 地址查询 MAC 地址表，如果命中相关表项，交换机将数据帧从相应端口转发；否则，交换机将数据帧在其所属 VLAN 内广播。

通常交换机支持静态配置和动态学习 MAC 地址的功能，每个端口可以静态配置和动态学习多个 MAC 地址，从而实现端口之间已知 MAC 地址数据流的转发。当 MAC 地址老化后，则进行广播处理。在我们目前的交换机中，端口上对 MAC 地址的数量没有限制，允许一个端口配置或者学习多个 MAC 地址，直到硬件表项填满为止。为了限制端口过量的 MAC 地址，我们需要限制端口的 MAC 地址数量。

对于每一个 INTERFACE VLAN 中的 IP 数量也没有限制，IP 数量限制也就是接口上用户数量的限制，也就是 ARP、ND 表项的限制，这些表项没有相关的配置命令可以控制下发的数量。为了提高产品的安全性能和可控性，我们需要将端口上的 MAC 地址的数量和每个 INTERFACE VLAN 中 ARP、ND 数量进行控制，端口只允许配置的最大数量的动态 MAC 地址存在。每一个 VLAN 上的用户数量不能超过配置允许的用户数量。

对 MAC、ARP 表项进行限制可以在一定程度上防止 DOS 攻击。当恶意用户频繁发动 MAC、ARP 欺骗时，很容易把交换机的 MAC、ARP 表项填满，从而导致 DOS 攻击的发生。对数量进行限制，可以预防 DOS 攻击的发生。

综上节所述，开发端口、VLAN 中的 MAC、IP 数量限制的功能具有重大意义。交换机将可以通过配置命令控制端口的 MAC 地址的数量，同时可以通过配置命令控制端口和 VLAN 中的 ARP、ND 表项的数量。

端口动态 MAC、IP 数量的限制：

1.动态 MAC 数量限制，对于交换机已经动态学习到的 MAC 地址，如果大于等于允许学习的最大动态 MAC 数量时，则关闭该端口的 MAC 学习功能，如果少于允许学习的最大动态 MAC 数量时，这时仍然可以继续学习。

2.动态 IP 数量限制，对于交换机已经动态学习到的 ARP、ND，如果大于等于允许学习的最大动态 ARP、ND 数量时，则可以关闭该端口的 ARP、ND 学习功能，如果少于允许学习的最大动态 ARP、ND 数量时，这时仍然可以继续学习。

接口 MAC、ARP、ND 数量的限制：

1.动态 MAC 数量限制，对于交换机 VLAN 中已经动态学习到的 MAC 地址，如果大于允许学习的最大动态 MAC 数量时，则可以关闭该 VLAN 中所有端口的 MAC 学习功能，如果少于允许学习的最大动态 MAC 数量时，这时 VLAN 中所有端口仍然可以继续学习。

（特殊端口除外）

2.动态 IP 数量限制，对于交换机已经动态学习到的 ARP、ND，如果大于等于允许学习的最大动态 ARP、ND 数量时，则该 VLAN 不会学习新的 ARP、ND，如果少于允许学习的最大动态 ARP、ND 数量时，这时仍然可以继续学习。

7.4.2 端口、VLAN 中 MAC、IP 数量限制功能配置任务序列

1) 启动端口上 MAC、IP 数量限制功能
2) 启动 VLAN 中 MAC、IP 数量限制功能
3) 启动全局的 MAC 数量限制功能
4) 配置端口违背模式
5) 显示和调试端口上 MAC、IP 数量限制相关信息

1) 启动端口上 MAC、IP 数量限制功能

命令	解释
端口配置模式	
switchport mac-address dynamic maximum <*value*> **no switchport mac-address dynamic maximum**	启动和关闭端口 MAC 数量限制功能
switchport arp dynamic maximum <value> ***no* switchport arp dynamic maximum**	启动和关闭端口 ARP 数量限制功能
switchport nd dynamic maximum <value> ***no* switchport nd dynamic maximum**	启动和关闭端口 ND 数量限制功能

2) 启动 VLAN 中 MAC、IP 数量限制功能

命令	解释
VLAN 配置模式	
vlan mac-address dynamic maximum <value> [port-group < 1-128 >] **no vlan mac-address dynamic maximum**	启动和关闭 VLAN 中 MAC 数量限制功能
接口配置模式	
ip arp dynamic maximum <value> **no ip arp dynamic maximum**	启动和关闭 VLAN 中 ARP 数量限制功能

ipv6 nd dynamic maximum <value> **no ipv6 nd dynamic maximum**	启动和关闭 VLAN 中 NEIGHBOR 数量限制功能

3) 启动全局的 MAC 数量限制功能

命令	解释
全局配置模式	
mac-address dynamic maximum <value> **no mac-address dynamic maximum**	启动和关闭全局 MAC 数量限制功能

4) 配置端口违背模式

命令	解释
端口配置模式	
switchport mac-address violation {protect | shutdown} [recovery <5-3600>] **no switchport mac-address violation**	设置端口违背模式；本命令的 no 操作为恢复违背模式为 protect。

5) 显示和调试端口上 MAC、IP 数量限制相关信息

命令	解释
特权配置模式	
show mac-address dynamic count {vlan <*vlan-id*> | interface ethernet <*portName*> }	显示相应端口、VLAN 中的动态 MAC 数量
show arp-dynamic count {vlan <*vlan-id*> | interface ethernet <*portName*> }	显示相应端口、VLAN 中的动态 ARP 数量
show nd-dynamic count {vlan <*vlan-id*> | interface ethernet <*portName*> }	显示相应端口、VLAN 中的动态 NEIGHBOR 数量
debug switchport mac count **no debug switchport mac count**	端口 MAC 数量限制时，各种调试信息
debug switchport arp count **no debug switchport arp count**	端口 ARP 数量限制时，各种调试信息
debug switchport nd count **no debug switchport nd count**	端口 NEIGHBOR 数量限制时，各种调试信息

debug vlan mac count **no debug vlan mac count**	VLAN 中 MAC 数量限制时，各种调试信息
debug ip arp count **no debug ip arp count**	VLAN 中 ARP 数量限制时，各种调试信息
debug ipv6 nd count **no debug ipv6 nd count**	VLAN 中 MAC 数量限制时，各种调试信息

7.4.3 端口、VLAN 中 MAC、IP 数量限制功能典型案例

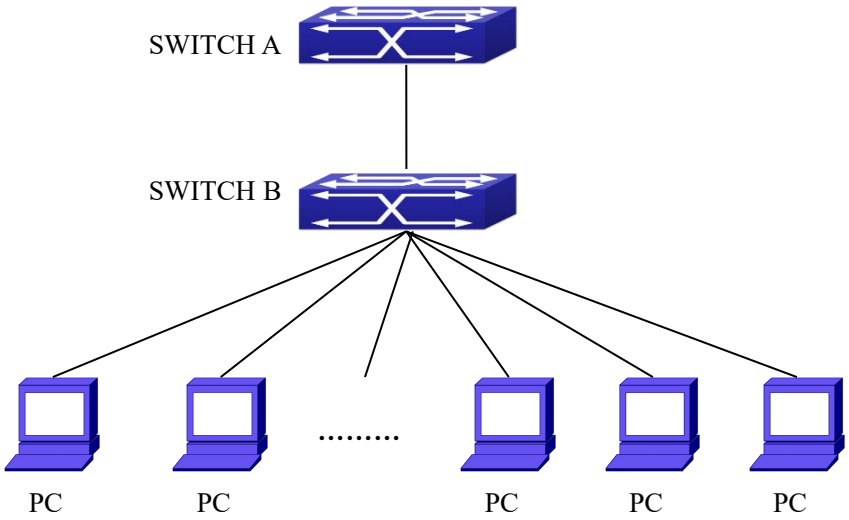


图 6-18 端口、VLAN 中 MAC、IP 数量限制典型配置案例

如上图所示的网络拓扑中，SWITCH B 下面链接很多 PC 用户，在没有启动端口 MAC、VLAN 中 IP 数量限制功能前，在系统硬件允许的情况下，SWITCH A，SWITCH B 可以得到所有 PC 的 MAC、ARP、ND 表项，对 MAC、ARP 表项进行限制可以在一定程度上防止 DOS 攻击。当恶意用户频繁发动 MAC、ARP 欺骗时，很容易把交换机的 MAC、ARP 表项填满，从而导致 DOS 攻击的发生。对 MAC、ARP、ND 表项数量进行限制，可以预防 DOS 攻击的发生。

设置 SWITCH A 端口 Ethernet1/1/1 上最大可以学习 20 个动态 MAC 地址、20 个动态 ARP 地址、10 个 NEIGHBOR 表项，VLAN 1 中允许 30 个动态 MAC 地址，30 个动态 ARP 地址、20 个 NEIGHBOR 表项 。

SWITCH A 配置任务序列：

Switch (config)#interface ethernet 1/1/1

Switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#switchport mac-address dynamic maximum 20

Switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#switchport arp dynamic maximum 20

Switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#switchport nd dynamic maximum 10

Switch (Config-if-Vlan1)#vlan mac-address dynamic maximum 30

7.4.4 端口、VLAN 中 MAC、IP 数量限制功能排错帮助

端口、VLAN 中 MAC、IP 数量限制功能默认情况下是关闭的，如果需要限制网络中接入的用户的数量可以打开该功能。如果出现端口无法配置 MAC 地址数量限制功能的情况，请检查交换机的端口是否运行了 Spanning-tree，dot1x，端口汇聚或者端口已经配置为 MAC 绑定端口。MAC 数量限制在端口上与这些配置是互斥的，如果该端口要打开 MAC 地址数量限制功能，就必须首先确认端口下的上述功能已经被关闭。

如果在正常配置下，启动了端口、VLAN 中 MAC、IP 数量限制功能后，可以使用 debug 各个相关限制的调试命令，查看数量限制的具体信息，以及数量限制功能是否正确，如果有什么问题可以将结果发送给技术服务中心。

7.5 AM

7.5.1 AM 功能简介

AM（Access Management－访问管理）是指当交换机收到 IP 报文或 ARP 报文时，它用收到报文的信息（源 IP 地址或者源 MAC-IP 地址）与配置硬件地址池相比较，如果在配置硬件地址池中找到与收到的报文相匹配的的信息（源 IP 地址或者源 MAC-IP 地址）则转发该报文，否则丢弃。之所以在基于源 IP 地址的访问管理上增加基于源 MAC-IP 的访问管理，是因为对主机而言，IP 地址是可变的。如果只有 IP 绑定，用户可以把主机 IP 地址改为转发 IP，从而使本主机发出的报文能够被交换机转发。而 MAC-IP 可以与主机唯一绑定，所以为了防止用户恶意修改主机 IP 地址来使本主机发出的报文能被交换机转发，MAC-IP 的绑定是必要的。

通过 AM 访问管理的端口绑定特性，网络管理员可以将合法用户的 IP（MAC-IP）地址绑定到指定的端口上。进行绑定操作后，只有指定 IP（MAC-IP）地址的用户发出的报文才能通过该端口转发，增强了用户对网络安全的监控。

7.5.2 AM 功能配置任务序列

1. 启动 AM 功能
2. 启动某端口的 AM 功能
3. 配置转发 IP
4. 配置转发 MAC-IP
5. 删除所有已配置的转发 IP 或 MAC-IP 或全部
6. 显示 AM 相关配置信息

1. 启动 AM 功能

命令	解释

全局配置模式	
am enable **no am enable**	全局启动或关闭 AM 功能。

2. 启动某端口的 AM 功能

命令	解释
端口配置模式	
am port **no am port**	启动/关闭端口的 AM 功能，端口 AM 功能启动后，默认禁止所有的 IP 报文与 ARP 报文转发。

3. 配置转发 IP

命令	解释
端口配置模式	
am ip-pool <ip-address> <num> **no am ip-pool <ip-address> <num>**	配置端口的转发 IP。

4. 配置转发 MAC-IP

命令	解释
端口配置模式	
am mac-ip-pool <mac-address> <ip-address> **no am mac-ip-pool <mac-address> <ip-address>**	配置端口的转发 MAC-IP。

5. 删除所有已配置的转发 IP 或 MAC-IP 或全部

命令	解释
全局配置模式	
no am all [ip-pool|mac-ip-pool]	删除全部用户配置的 MAC-IP 地址池或 IP 地址池或两个地址池都删除。

6. 显示 AM 相关配置信息

命令	解释
全局配置模式	
show am [interface <interface-name>]	显示全部或某一特定端口的 AM 配置信息。

7.5.3 AM 功能典型案例

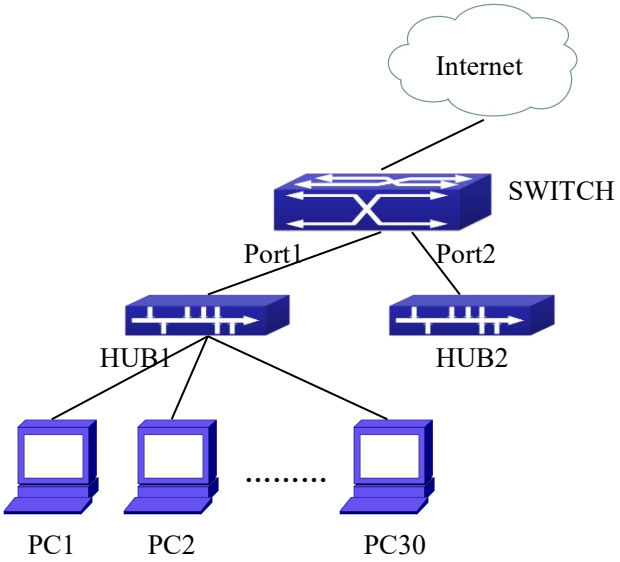


图 6-19 AM 功能典型配置案例

在上述网络拓扑图中，30 台 PC 通过 HUB1 汇集后与交换机的端口 1 相连，30 台 PC 的 IP 地址范围 100.10.10.1～100.10.10.30，出于安全考虑，系统管理员认为只有 IP 地址范围在 100.10.10.1～100.10.10.10 内的用户为合法用户，交换机只能对合法用户发来的数据包进行转发，对 IP 地址不在该范围内的用户发来的数据包，交换机不能转发，直接丢弃。

基于上述要求，在交换机上可做如下配置：

Switch(config)#am enable

Switch(config)#interface ethernet1/1/1

Switch(Config-If-Ethernet 1/1/1)#am port

Switch(Config-If-Ethernet 1/1/1)#am ip-pool 10.10.10.1 10

7.5.4 AM 功能排错帮助

AM 功能默认是关闭的，打开 AM 功能后，可以进行 AM 的相关配置。

可以使用 show am 来查看当前 AM 配置，包括 AM 是否打开，各个端口所配置的 AM 信息等，也可以使用 show am [interface <*interface-name*>] 来查看具体端口的 AM 配置信息。

在操作过程中，如果有操作错误，系统将会给出具体的错误提示信息。

7.6 安全特性

7.6.1 安全特性介绍

在介绍安全特性之前，先介绍一下 DoS 的概念。DoS 是 Denial of Service 的缩写，意为拒绝服务。DoS 攻击是网络上一种简单但很有效的破坏性攻击手段，服务器会由于不停顿地

处理攻击者的数据包，从而正常用户发送的数据包会被丢弃，得不到处理，从而造成了服务器的拒绝服务，更严重的会导致服务器敏感数据泄漏。

安全特性是指利用协议检查来防范 DoS 攻击等安全应用，协议检查允许用户基于给定条件丢弃满足条件的报文。安全特性为用户提供了若干种简单有效的防御 DoS 攻击的方法，并且不影响交换机的线性转发性能。

7.6.2 安全特性配置

7.6.2.1 防 IP Spoofing 功能配置任务序列

1.使能 IP Spoofing 功能

命令	解释
全局配置模式	
[no] dosattack-check srcip-equal-dstip enable	开启(关闭)检查 IP 源地址等于目的地址的功能。

7.6.2.2 防 TCP 非法标志攻击功能配置任务序列

1．使能 TCP 非法标志攻击功能

命令	解释
全局配置模式	
[no] dosattack-check tcp-flags enable	开启(关闭)检查 TCP 标志功能。

7.6.2.3 防端口欺骗功能配置任务序列

1．使能防端口欺骗功能

命令	解释
全局配置模式	
[no] dosattack-check srcport-equal-dstport enable	开启(关闭)防端口欺骗功能。

7.6.2.4 防 ICMP 碎片攻击功能配置任务序列

1．使能防 ICMP 碎片攻击功能

命令	解释
全局配置模式	

[no] dosattack-check icmp-attacking enable	开启防(关闭)ICMP 碎片攻击功能。

7.6.2.5 IPv4 非法目的 IP 检查功能配置任务序列

1．使能 IPv4 非法目的 IP 检查功能

命令	解释
全局配置模式	
invalid-dip-drop {enable|disable}	开启(关闭) IPv4 非法目的 IP 检查功能。非法目的 IP 包括 x.x.x.0 ， 127.x.x.x ，240.0.0.0~255.255.255.254。

7.6.3 安全特性举例

案例：

用户有如下配置需求：交换机不转发源 IP 地址等于目的 IP 地址的数据报，和源端口等于目的端口的数据报，且在 IPv4 网络内只允许使用默认选项的 ping 命令，即 ICMP request 报文不可分片，且净荷长度一般小于 100，开启 IPv4 非法目的 IP 检查功能。

配置步骤如下：

Switch(config)#dosattack-check srcip-equal-dstip enable

Switch(config)#dosattack-check srcport-equal-dstport enable

Switch(config)#dosattack-check icmp-attacking enable

Switch(config)#dosattack-check icmpV4-size 100

Switch(config)#invalid-dip-drop enable

7.7 TACACS+

7.7.1 TACACS+简介

TACACS+终端访问控制器访问控制协议是类似于radius协议的一个用于控制终端接入网络的协议。该协议同样提供Autentication(认证)，Authorrization(授权)，Accounting(记帐)三个独立的功能。与RADIUS 相比，TACACS+采用TCP协议作为传输层，并且对报文主体（除标准报文头）加密，因而具有更加可靠的传输和加密特性，更加适合于安全控制。

根据TACACS+(version 1.78)协议的特点。我们在交换机上提供了TACACS+的认证功能。用户在登录交换机后（例如telnet）可以利用TACACS+来进行用户名和密码的验证。

7.7.2 TACACS+配置

1. 配置 TACACS+认证密钥
2. 配置 TACACS+服务器
3. 配置 TACACS+认证超时时间
4. 配置 TACACS+ NAS-IP 地址

1. 配置 TACACS+认证密钥

命令	解释
全局配置模式	
tacacs-server **key {0 | 7} *<string>*** **no tacacs-server key**	设置 TACACS+服务器的密钥；本命令的 no 操作为删除 TACACS+服务器的密钥。

2. 配置 TACACS+ Server

命令	解释
全局配置模式	
tacacs-server **authentication host *<ip-address>* [port *<port-number>*] [timeout *<seconds>*] [key {0 | 7} *<string>*] [primary]** **no tacacs-server authentication host *<ip-address>***	设置 TACACS+服务器 IP 地址、监听端口号、认证服务器超时时间、密钥字符串；本命令的 no 操作为删除 TACACS+认证服务器。

3. 配置 TACACS+认证超时时间

命令	解释
全局配置模式	
tacacs-server timeout *<seconds>* **no tacacs-server timeout**	配置 TACACS+服务器认证超时时间；本命令的 no 操作为恢复缺省配置。

4. 配置 TACACS+ NAS-IP 地址

命令	解释
全局配置模式	
tacacs-server nas-ipv4 *<ip-address>* **no tacacs-server nas-ipv4**	设置交换设备发送 TACACS+报文的 IP 源地址。

7.7.3 TACACS+典型案例

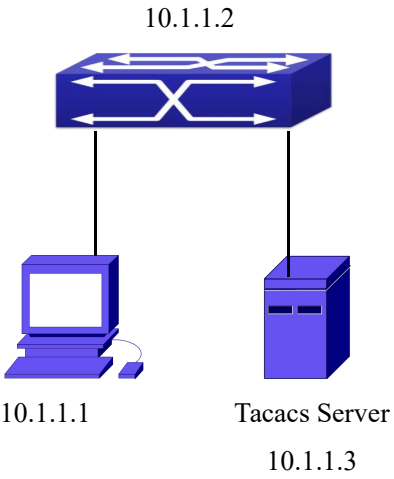


图 6-20 TACACS+配置示意图

计算机连接到交换机，交换机的 IP 地址设置为 10.1.1.2，并与一个 TACACS+认证服务器相连接，TACACS+认证服务器的 IP 地址设置为 10.1.1.3，认证端口为缺省端口 49。交换机的 telnet 登录认证方式设置为 tacacs local。计算机利用 telnet 登录交换机，交换机通过使用 TACACS+认证服务器实现对 telnet 用户的认证。

Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-if-vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0
Switch(Config-if-vlan1)#exit
Switch(config)#tacacs-server authentication host 10.1.1.3
Switch(config)#tacacs-server key test
Switch(config)#authentication line vty login tacacs

7.7.4 TACACS+排错帮助

在配置、使用 TACACS+协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 TACACS+认证失败。因此，用户应注意以下要点：

1.2.1首先应该保证到 TACACS+服务器的物理连接的正确无误；

1.2.2其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；

1.2.3再次，保证交换机配置的 TACACS+密钥同 TACACS+服务器上配置的密钥一致；

1.2.4然后，确保配置了正确的 TACACS+服务器。

7.8 RADIUS

7.8.1 RADIUS 简介

7.8.1.1 AAA 与 RADIUS 简介

AAA是Authentication，Authorization and Accounting（认证、授权和计费）的简称，它提供了网络安全管理的一致性框架，该框架通过认证、授权和计费三大功能满足了安全网络的访问控制需求：哪些用户可以访问网络设备，访问用户拥有哪些访问权限以及用户使用网络资源的统计计费。

RADIUS（Remote Authentication Dial-In User Service，远程认证拨号用户服务）是一种分布式的、客户端/服务器结构的信息交互协议。RADIUS客户端一般在网络设备上启用，与802.1x协议结合实现认证、授权和计费的所有主要功能，而RADIUS服务器负责维护用户认证、授权和计费信息数据库，通过RADIUS协议与客户端进行通信，完成用户认证和授权信息的下发以及计费信息的统计。RADIUS协议是实现AAA框架最常用的一种协议。

7.8.1.2 RADIUS 协议的报文结构

RADIUS 协议采用 UDP 报文来承载协议报文，报文格式如下：

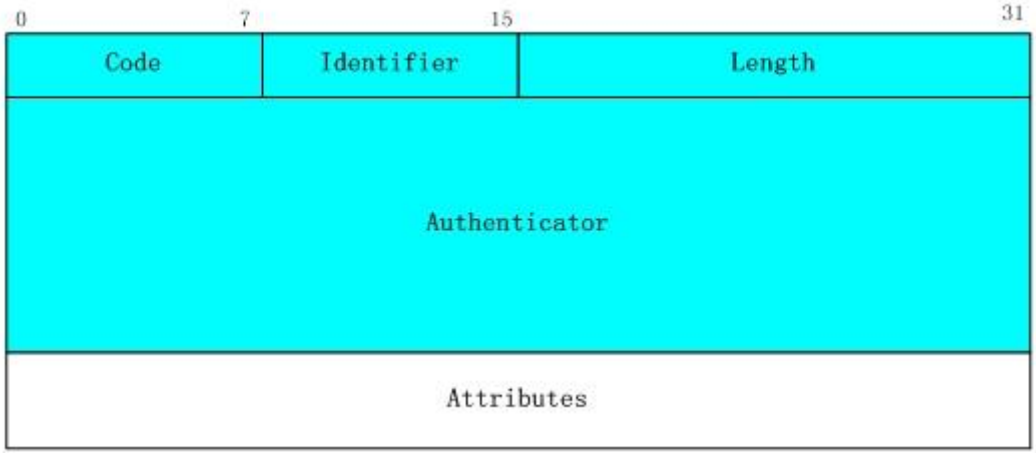


图 6-21 RADIUS 报文结构

Code 域（1 字节）：表示 RADIUS 报文的类型，取值如下，

1 Access-Request 认证请求报文

2 Access-Accept 认证接收报文

3 Access-Reject 认证拒绝报文

4 Accounting-Request 计费请求报文

5 Accounting-Response 计费回应报文

11 Access-Challenge 认证Challenge报文

Identifier 域（1 字节）：用作报文标识，用于匹配请求与应答报文。

Length 域(2 字节)：表示整个 RADIUS 报文的长度，包括 Code、Identifier、Length、Authenticator 和 Attributes 域。

Authenticator 域（16 字节）：用于验证 RADIUS 服务器回应的报文，还能用于密码隐藏算法。分为 Request Authenticator 和 Response Authenticator。

Attribute 域：用于携带指明的认证和授权以及计费等相关信息，提供请求和相应报文的详细配置信息。Attribute 域采用（Type、Length、Value）三元组的形式构造。

1.2.5Type 字段（1 字节），表示属性的类型值，如下表列举出常用属性。

属性	属性类型	属性	属性类型
1	User-Name	23	Framed-IPX-Network
2	User-Password	24	State
3	CHAP-Password	25	Class
4	NAS-IP-Address	26	Vendor-Specific
5	NAS-Port	27	Session-Timeout
6	Service-Type	28	Idle-Timeout
7	Framed-Protocol	29	Termination-Action
8	Framed-IP-Address	30	Called-Station-Id
9	Framed-IP-Netmask	31	Calling-Station-Id
10	Framed-Routing	32	NAS-Identifier
11	Filter-Id	33	Proxy-State
12	Framed-MTU	34	Login-LAT-Service
13	Framed-Compression	35	Login-LAT-Node
14	Login-IP-Host	36	Login-LAT-Group
15	Login-Service	37	Framed-AppleTalk-Link
16	Login-TCP-Port	38	Framed-AppleTalk-Network
17	(unassigned)	39	Framed-AppleTalk-Zone
18	Reply-Message	40-59	(reserved for accounting)
19	Callback-Number	60	CHAP-Challenge
20	Callback-Id	61	NAS-Port-Type
21	(unassigned)	62	Port-Limit
22	Framed-Route	63	Login-LAT-Port

1.2.6Length 字段（1 字节），表示属性长度（包括 Type、Length 和 Value 字段），单位为字节。

1.2.7Value 字段，表示属性的具体信息，其格式和内容由类型域和长度域决定。

7.8.2 RADIUS 配置

1. 使能交换机的 AAA 认证和计费功能
2. 配置 RADIUS 认证密钥
3. 配置 RADIUS 服务器
4. 配置 RADIUS 服务的参数
5. 配置 RADIUS NAS-IP 地址

1. 使能交换机的 AAA 认证和计费功能

命令	解释
全局配置模式	
aaa enable **no aaa enable**	使能交换机的 AAA 认证功能；本命令的 no 操作为关闭交换机的 AAA 认证功能。
aaa-accounting enable **no aaa-accounting enable**	使能交换机的计费功能；本命令的 no 操作为关闭交换机的计费功能。
aaa-accounting update {enable | disable}	打开或关闭计费更新功能。

2. 配置 RADIUS 认证密钥

命令	解释
全局配置模式	
radius-server key {0 | 7} <*string*> **no radius-server key**	设置 RADIUS 服务器的密钥；本命令的 no 操作为删除 RADIUS 服务器的密钥。

3. 配置 RADIUS Server

命令	解释
全局配置模式	
radius-server authentication host {<*ipv4-address*> | <*ipv6-address*>} [port <*port-number*>] [key *{0 | 7}* <string>] [primary] [access-mode {dot1x | telnet}] **no radius-server authentication host {<*ipv4-address*> | <*ipv6-address*>**	设置 RADIUS 认证服务器 IPv4 地址或者 IPv6 地址和监听端口号、加密密钥、是否为主用服务器以及使用模式；本命令的 no 操作为删除 RADIUS 服务器。

radius-server accounting host {<ipv4-address> | <ipv6-address>} [port <port-number>] [key {*0* | 7} <string>] [primary] **no radius-server accounting host {<ipv4-address> | <ipv6-address>}**	配置RADIUS计费服务器的IPv4或者IPv6地址和监听端口号、是否为主用服务器；本命令的 no 操作为删除 RADIUS 计费服务器。

4. 配置 RADIUS 服务参数

命令	解释
全局配置模式	
radius-server dead-time <*minutes*> **no radius-server dead-time**	配置 RADIUS 服务器 down 机后的恢复时间；本命令的 no 操作为恢复缺省配置。
radius-server retransmit <*retries*> **no radius-server retransmit**	配置 RADIUS 重传次数；本命令的 no 操作为恢复缺省配置。
radius-server timeout <*seconds*> **no radius-server timeout**	配置 RADIUS 服务器的超时定时器；本命令的 no 操作为恢复缺省配置。
radius-server accounting-interim-update timeout <*seconds*> **no radius-server accounting-interim-update timeout**	设置计费更新报文发送的时间间隔；本命令的 no 操作为恢复缺省配置。
radius-server attributes acl enable **no radius-server attributes acl enable**	认证时接受动态 acl 的下发

5. 配置 RADIUS NAS-IP 地址

命令	解释
全局配置模式	
radius nas-ipv4 <*ip-address*> **no radius nas-ipv4**	设置交换设备发送RADIUS报文的IP源地址。
radius nas-ipv6 <*ipv6-address*> **no radius nas-ipv6**	设置交换设备发送 RADIUS 报文的 IPv6 源地址。

7.8.3 RADIUS 典型案例

7.8.3.1 IPv4 Radius 应用举例

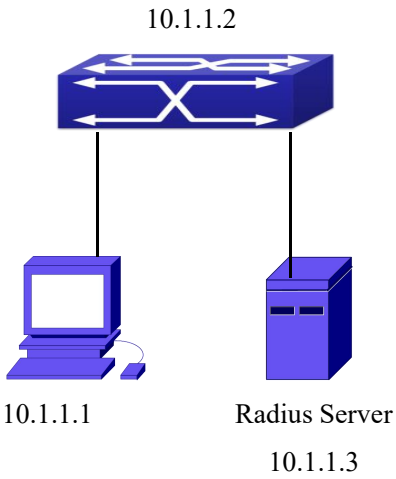


图 6-22 EEE802.1x 配置举例拓扑图

交换机的 IP 地址设置为 10.1.1.2，并将除端口 Ethernet1/1/2 以外的任意一个端口与 RADIUS 认证服务器相连接，RADIUS 认证服务器的 IP 地址设置为 10.1.1.3，认证、计费端口为缺省端口 1812 和端口 1813。

配置步骤如下：

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-vlan1)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

Switch(Config-if-vlan1)#exit

Switch(config)#radius-server authentication host 10.1.1.3

Switch(config)#radius-server accounting host 10.1.1.3

Switch(config)#radius-server key test

Switch(config)#aaa enable

Switch(config)#aaa-accounting enable

7.8.3.2 IPv6 Radius 应用举例

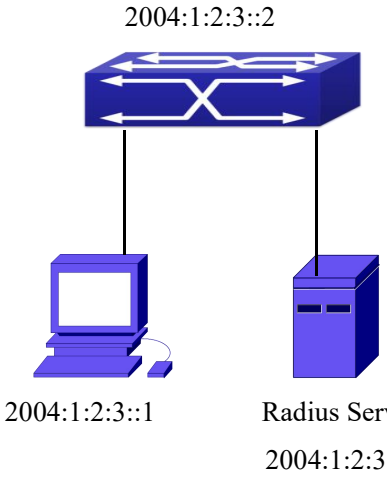


图 6-23 IPv6 Radius 配置举例拓扑图

交换机的 IP 地址设置为 2004:1:2:3::2，并将除端口 1/1/2 以外的任意一个端口与 RADIUS 认证服务器相连接，RADIUS 认证服务器的 IP 地址设置为 2004:1:2:3::3，认证、计费端口为缺省端口 1812 和端口 1813。

配置步骤如下：

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-vlan1)#ipv6 address 2004:1:2:3::2/64

Switch(Config-if-vlan1)#exit

Switch(config)#radius-server authentication host 2004:1:2:3::3

Switch(config)#radius-server accounting host 2004:1:2:3::3

Switch(config)#radius-server key test

Switch(config)#aaa enable

Switch(config)#aaa-accounting enable

7.8.4 RADIUS 排错帮助

在配置、使用 RADIUS 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 RADIUS 认证失败。因此，用户应注意以下要点：

1.2.8首先应该保证到 RADIUS 服务器的物理连接的正确无误；

1.2.9其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；

1.2.10 再次，保证交换机配置的 RADIUS 密钥同 RADIUS 服务器上配置的密钥一致；

1.2.11 然后，确保配置了正确的 RADIUS 服务器。

如果使用检查都尝试仍无法解决 RADIUS 认证的问题，那么请使用 debug aaa 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

7.9 SSL

7.9.1 SSL 简介

随着计算机网络技术向整个经济社会各层次延伸，整个社会表现对 Internet、Intranet、Extranet 等使用的更大的依赖性。随着企业间信息交互的不断增加，任何一种网络应用和增值服务的使用程度将取决于所使用网络的信息安全有无保障，网络安全已成为现代计算机网络应用的最大障碍，也是急需解决的难题之一。

由于 Web 上有时要传输重要或敏感的数据，因此 Netscape 公司在推出 Web 浏览器首版的同时，提出了安全通信协议 SSL（Secure Socket Layer），目前已有 2.0 和 3.0 版本。2.0 版本存在安全漏洞，现在已经不使用了，我们的交换机也不支持该版本。SSL 采用公开密钥技术。其目标是保证两个应用间通信的保密性和可靠性,可在服务器和客户机两端同时实现支持。目前，利用公开密钥技术的 SSL 协议，并已成为 Internet 上保密通讯的工业标准。现

行 Web 浏览器普遍将 HTTP 和 SSL 相结合，从而实现安全通信。

安全通信协议(SSL)是在 Internet 基础上提供的一种保证私密性的安全协议。它能使客户/服务器应用之间的通信不被攻击者窃听，并且始终对服务器进行认证，还可选择对客户进行认证。SSL 协议要求建立在可靠的传输层协议(例如：TCP)之上。SSL 协议的优势在于它是与应用层协议独立无关的。高层的应用层协议(例如：HTTP，FTP，TELNET……)能透明的建立于 SSL 协议之上。SSL 协议在应用层协议通信之前就已经完成加密算法、通信密钥的协商以及服务器认证工作。在此之后应用层协议所传送的数据都会被加密，从而保证通信的私密性。

通过以上叙述，SSL 协议提供的安全信道有以下三个特性：

- ☞ 私密性。因为在握手协议定义了会话密钥后，所有的消息都被加密。
- ☞ 确认性。因为尽管会话的客户端认证是可选的，但是服务器端始终是被认证的。
- ☞ 可靠性。因为传送的消息包括消息完整性检查(使用MAC)。

7.9.1.1 SSL 基本原理

SSL 采用的基本的策略在两个通信程序之间提供一条在其间传递任意应用数据的安全通道。从理论上讲，SSL 连接非常类似“保密的”TCP 连接。协议栈中的 SSL 位置正好位于应用层的下面，TCP 的上面。SSL 假定其下层的数据包发送机制是可靠的。写入网络的数据将依顺序发送给另一端的程序，不会出现丢包或重复发送的情况。从理论上讲，有许多传输协议都能提供此种服务，但在实际应用中，SSL 几乎只是在 TCP 上运行，它不能在 UDP 或直接在 IP 上运行。

当在交换机上运行 web 功能时，当客户端通过浏览器访问我们的 Web 时，我们可以使能 SSL 功能，客户和交换机之间的通信通过 SSL 连接进行，这样很好地提高了访问的安全性。

首先我们在交换机上启动 SSL 功能，用户在客户端通过 https 访问交换机时，交换机就会和客户端进行 SSL 握手连接，形成安全的 SSL 连接通道，在此之后应用层协议所传送的数据都会被加密，从而保证通信的私密性。

使用 SSL 的时，首先进行 SSL 握手的过程，服务器端必须提供证书功能，目前我们使用的证书不是权威机构颁发的正规证书，而是 linux 下自己生成的证书，可能浏览器不能识别。考虑到我们使用 SSL 的环境，使用正规的证书没有必要，我们只要保证用户和交换机之间安全进行通信就可以了。目前我们不要求客户端证书验证功能。在握手的过程中还要协商通信中使用的密钥和加密算法，在交换应用数据的时候使用。

SSL 握手的基本过程：

7.9.2 SSL 配置任务序列

1. 启动/关闭 SSL 功能
2. 配置/删除 SSL 使用的端口号
3. 配置/删除 SSL 使用的加密套件
4. SSL 功能的维护与诊断

1. 启动/关闭 SSL 功能

命令	解释
全局配置模式	
ip http secure-server **no ip http secure-server**	启动/关闭 SSL 功能。

2. 配置/删除 SSL 使用的端口号

命令	解释
全局配置模式	
ip http secure-port <*port-number*> **no ip http secure-port**	配置 SSL 使用的端口号，no 命令删除 SSL 使用的端口号。

3. 配置/删除 SSL 加密套件

命令	解释
全局配置模式	

ip http secure-ciphersuite { aes128-gcm-sha256| aes128-sha| aes128-sha256| aes256-sha| aes256-sha256| des-cbc3-sha| ecdhe-rsa-aes128-gcm-sha256| ecdhe-rsa-aes128-sha| ecdhe-rsa-aes256-sha}no ip http secure-ciphersuite	配置/删除 SSL 使用的加密套件。

4. SSL 功能的维护与诊断

命令	解释
特权模式或者配置模式	
show ip http secure-server status	显示配置的 SSL 信息。
debug ssl **no debug ssl**	打开/关闭 SSL 功能的 DEBUG 显示。

7.9.3 SSL 典型案例

当在交换机上运行 web 功能时，当客户端通过浏览器访问我们的 Web 时，我们可以使能 SSL 功能，客户和交换机之间的通信通过 SSL 连接进行，这样很好地提高了访问的安全性。

首先我们在交换机上启动 SSL 功能，用户在客户端通过 https 访问交换机时，交换机就会和客户端进行 SSL 握手连接，形成安全的 SSL 连接通道，在此之后应用层协议所传送的数据都会被加密，从而保证通信的私密性。

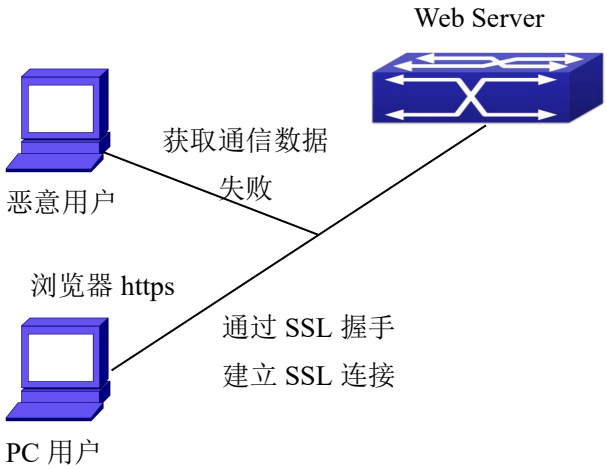


图 6-24 SSL 案例示意图

我们在交换机上进行如下配置：

Switch(config)#ip http secure-server

Switch(config)#ip http secure-port 1025

Switch(config)#ip http secure-ciphersuite rc4-128-sha

7.9.4 SSL 排错帮助

在配置、使用 SSL 功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 SSL 功能异常。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后，确保开启了 SSL 功能(使用 ip http secure-server 命令)；
- 如果配置了端口，不使用默认的端口号，注意输入网址的时候指明端口号；
- 如果先启动了 SSL 功能，再进行配置、取消端口号和加密套件操作时需要等到重启 SSL 功能后才生效；
- 使用 des-cbc-sha 加密套件时，必须 ie7.0 以上的浏览器才能支持；

如果尝试使用以上检查仍无法解决 SSL 的问题，那么请使用 debug ssl 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

7.10 VLAN-ACL

7.10.1 VLAN-ACL 功能简介

用户通过对 VLAN 配置 ACL 策略，从而实现对 VLAN 内所有端口的访问控制，VLAN-ACL 使用户能够更加方便地管理网络。用户只需在 VLAN 下配置 ACL 策略，相应的 ACL 动作就能在 VLAN 的所有成员端口生效，而无需在每个成员端口上单独配置。

当 VLAN ACL 与 Port ACL 同时配置时，即需要满足 deny 优先，当报文同时匹配 VLAN ACL 和端口 ACL 时，只要有一个动作是 drop，则结果就是 drop。

Egress ACL 可以在出口和入口方向实现对报文的过滤，符合特定规则的报文可以允许通过或者禁止通过。ACL 可以支持 IP ACL，MAC ACL，MAC-IP ACL，IPv6 ACL。在 VLAN 入口方向上可以同时配置四种 ACL；在 VLAN 出口方向上由于硬件只有四个资源，IP 和 MAC ACL 各占一个资源，MAC-IP 和 IPv6 ACL 各占两个资源，当硬件资源占满后则无法再配置，即一个 VLAN 在出口方向上不能同时配置四种 ACL，同时配置三种 ACL 时也只能是 IP、MAC 和 MAC-IP 类型同时配置或 IP、MAC 和 IPv6 类型同时配置，同时配置两种 ACL 时可以任意选取，没有限制。一种类型的 ACL 在 VLAN 上只能配置一条

7.10.2 VLAN-ACL 功能配置任务序列

1. 配置 IP 类型的 VLAN-ACL
2. 配置 MAC 类型的 VLAN-ACL
3. 配置 MAC-IP 类型的 VLAN-ACL
4. 配置 IPv6 类型的 VLAN-ACL
5. 显示 VLAN-ACL 的配置及统计信息
6. 清除 VLAN-ACL 的统计信息

1. 配置 IP 类型的 VLAN-ACL

命令	解释
全局配置模式	
vacl ip access-group {<1-299> | WORD} {in | out} [traffic-statistic] vlan WORD **no vacl ip access-group {<1-299> | WORD}{in | out} vlan WORD**	配置或删除 IP 类型的 VLAN-ACL。

2. 配置 MAC 类型的 VLAN-ACL

命令	解释
全局配置模式	
vacl mac access-group {<700-1199> | WORD} {in | out} [traffic-statistic] vlan WORD **no vacl mac access-group {<700-1199> | WORD} {in | out} vlan WORD**	配置或删除 MAC 类型的 VLAN-ACL。

3. 配置 MAC-IP 类型的 VLAN-ACL

命令	解释
全局配置模式	
vacl mac-ip access-group {<3100-3299> | WORD} {in | out} [traffic-statistic] vlan WORD **no vacl mac-ip access-group {<3100-3299> | WORD} {in | out} vlan WORD**	配置或删除 MAC-IP 类型的 VLAN-ACL。

4. 配置 IPv6 类型的 VLAN-ACL

命令	解释
全局配置模式	
vacl ipv6 access-group (<500-699> | WORD) {in | out} (traffic-statistic|) vlan WORD **no ipv6 access-group {<500-699> | WORD} {in | out} vlan WORD**	配置或删除 IPv6 类型的 VLAN-ACL。

5. 显示 VLAN-ACL 的配置及统计信息

命令	解释
特权配置模式	

show vacl [in | out] vlan [<*vlan-id*>]	显示 VACL 的配置及统计信息。

6. 清除 VLAN-ACL 的统计信息

命令	解释
特权配置模式	
clear vacl [in | out] statistic vlan [<*vlan-id*>]	清除 VACL 的统计信息。

7.10.3 VLAN-ACL 功能配置案例

某公司的网络配置如下，将不同部分划分到不同 VLAN，技术部为 Vlan1、财务部为 Vlan2，技术部门要求在每天的休息时间可以访问外网，而财务部出于安全性的考虑在任何时间段均不允许访问外部网络。则可以配置如下策略：

- 为技术部定制 ACL 策略 VACL_A，在休息时间可以访问外网，规则为 Permit，其他时间段均为 Deny，并应用策略到 Vlan1 上。
- 为财务部定制 ACL 策略 VACL_B，在任何时间均不允许访问外网，但可以不受限制的访问内网资源，并应用策略到 Vlan2 上。

组网环境如下：

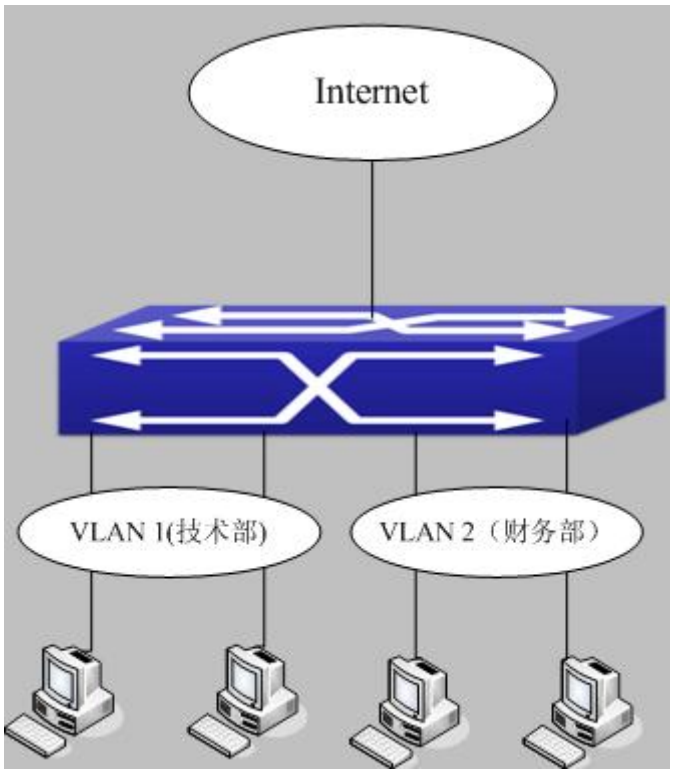


图 6-25 VLAN-ACL 配置案例

配置举例：

1) 先配置一个 timerange，有效时间为工作日的上班时间。

Switch(config)#time-range t1

Switch(config-time-range-t1)#periodic weekdays 9:00:00 to 12:00:00

Switch(config-time-range-t1)#periodic weekdays 13:00:00 to 18:00:00

2) 配置 IP 的扩展 acl_a，上班时间仅允许访问同一网段（如 192.168.0.255）内的主机。

Switch(config)# ip access-list extended vacl_a

Switch(config-ip-ext-nacl-vacl_a)# permit ip any-source 192.168.0.0 0.0.0.255 time-range t1

Switch(config-ip-ext-nacl-vacl_a)# deny ip any-source any-destination time-range t1

3) 配置 IP 的扩展 acl_b，任何时间仅允许访问同一网段（如 192.168.1.255）内的主机。

Switch(config)#ip access-list extended vacl_b

Switch(config-ip-ext-nacl-vacl_a)# permit ip any-source 192.168.1.0 0.0.0.255

Switch(config-ip-ext-nacl-vacl_a)# deny ip any-source any-destination

4) 将配置应用到 VLAN。

Switch(config)#vacl ip access-group vacl_a in vlan 1

Switch(config)#vacl ip access-group vacl_b in vlan 2

7.10.4 VLAN-ACL 排错帮助

- 当 VLAN ACL 与 Port ACL 同时配置时，即需要满足 deny 优先，当报文同时匹配 VLAN ACL 和端口 ACL 时，只要有一个动作是 drop，则结果就是 drop。
- 每一个不同类型的 ACL 在一个 VLAN 上仅能配置一个，如：基本的 IP ACL，在每个 VLAN 上仅能够应用一个。

7.11 PPPoE 中间代理

7.11.1 PPPoE Intermediate Agent 介绍

7.11.1.1 PPPoE 简介

PPPoE 协议，即 Point to Point Protocol over Ethernet，可以看出 PPPoE 协议是把 PPP 协议应用到 Ethernet 上的一种协议。PPP 协议是一种链路层协议，提供了一种点对点式的链路层通信方式。PPP 通常是住宅主机拨号链路中所选择的协议，例如链路是电话线拨号。把 PPP 协议应用到 Ethernet 上，即 PPPoE 协议可以使 Ethernet 上的多个主机通过一个或多个简单的桥接设备连接到一个远端的接入集中器上，如果这个远端的接入集中器是宽带接入服务器（BAS），便可以提供这些主机宽带接入和计费等功能。所以 PPPoE 协议经常被用作 Ethernet 上的宽带接入认证方式。

7.11.1.2 PPPoE IA 介绍

随着宽带接入技术的快速发展，宽带接入网络发展的越来越大，但是随着宽带接入网络的发展，安全问题逐渐变为公众焦点。在当前接入网络环境下，无论是客户还是接入设备和

网络都面临着威胁，尤其是那些来自用户端的威胁。传统以太网的用户不能被精确的识别，追踪以及定位，但是在一个开放的可管理的面向公众的网络，用户身份识别和定位是最基本的特征和要求，例如在提供用户账号登陆的应用时，这种方式能够有效的防止用户账号被盗用，而 PPPoE Intermediate Agent 正提供了这种功能。

PPPoE 协议的工作过程主要分为两个阶段，即发现阶段和会话阶段。发现阶段的作用是得到远端服务器的 Mac 地址，以便建立一个点对点的链接，并与服务器建立一个会话标识（SESSION ID），在会话阶段便用这个 SESSION ID 进行通信。由于 PPPoE Intermediate Agent 只与发现阶段相关，所以这里只对发现阶段做简要介绍。

PPPoE 协议发现阶段主要分为四步：

1. 主机（client）端发送 PADI 报文：PPPoE 发现阶段的第一步，由客户端首先以广播地址为目的地址，广播这个 PADI（PPPoE Active Discovery Initiation）报文，用以发现二层网络中的接入集中器，注意此消息有可能发送给网络中的多个接入集中器。
2. 接入集中器（server）端回应 PADO 报文：PPPoE 发现阶段的第二步，由服务器端根据接收到的 PADI 报文的源 Mac 地址，向主机端回应 PADO（PPPoE Active Discovery Offer）报文，该报文中会携带接入集中器名和服务名等信息。
3. 主机（client）端发送 PADR 报文：PPPoE 发现阶段的第三步，由客户端根据接收到的 PADO 报文，选择一个接入集中器作为将要进行会话的接入集中器，因为在第一步中的 PADI 消息可能发送给网络中的多个接入集中器，所以可能收到多个 PADO 报文，而从这多个接入集中器中进行选择的依据则是主机需要的服务等信息和 PADO 报文中所携带的服务等信息的匹配结果。当选择完接入集中器后便知道将要进行会话的另一端的 Mac 地址，便向其发送 PADR（PPPoE Active Discovery Request）报文，用于告诉接入集中器有主机进行会话请求。
4. 接入集中器（server）端回应 PADS 报文：PPPoE 发现阶段的第四步，由服务器端根据接收到的 PADR 报文，知道有主机端有会话请求，便创建一个 SESSION ID，并把这个 SESSION ID 通过 PADS（PPPoE Active Discovery Session-confirmation）报文发送给客户端。至此 PPPoE 发现阶段已经完成，因为客户端和服务器端都有了 SESSION ID 可以进入会话阶段了。

PPPoE 有一种特殊的报文，即 PADT（PPPoE Active Discovery Terminate）报文，它和上述四种报文具有相同的以太网协议号，即 0x8863，所以它也可以看作是发现阶段的一种报文，但是 PADT 报文可能在会话进行开始之后的任意时间内被发送，主要是用来终止一个 PPPoE 会话的。它可以由主机或接入集中器发送。

PPPoE Intermediate Agent，它提供了一种用户身份识别和定位的功能。其原理是，在 PPPoE 发现阶段，把从客户端主机发出的 PADI 和 PADR 消息，在经过网络接入设备时，打上该设备的接入链路的标识，这样在接入集中器（服务器端，通常是 BAS）上便可以精确的识别该用户的身份以及定位该用户的位置了。

如果直连的接入设备是 LAN Switch，则加入的信息包括：接入交换机的 Mac，Slot ID，Port Index，Vlan ID 等。本功能主要是依据 DSL Forum Technical Report 101，即 Migration to Ethernet-based DSL aggregation 来实现。

7.11.1.2.1 PPPoE Intermediate Agent 协议交互过程

PPPoE Intermediate Agent 的协议交互过程和 PPPoE 的协议交互过程类似，只是在与 Host 端直连的交换机（Intermediate Agent）上对 PADI 和 PADR 报文加入了接入链路标识而已。具体交互过程如下图所示。

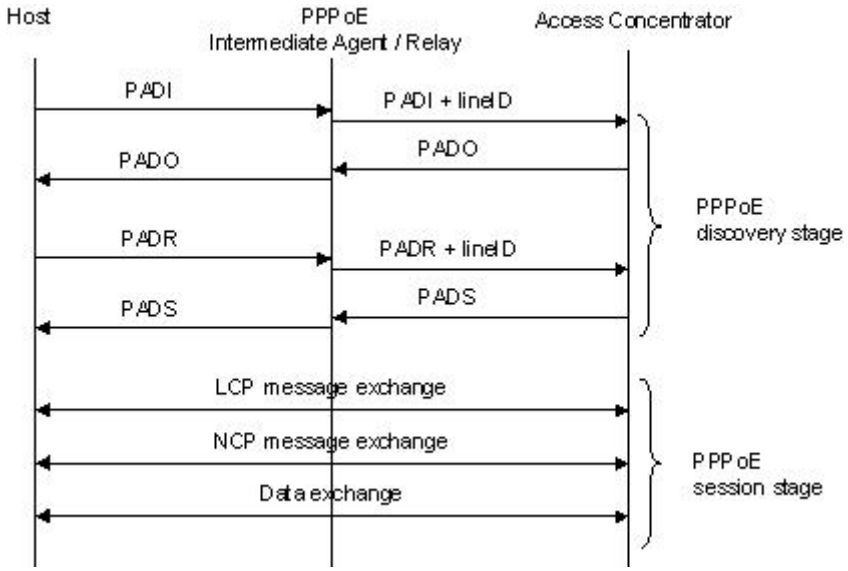


图 6-36 PPPoE IA 协议交互过程

7.11.1.2.2 PPPoE 报文格式

PPPoE 报文格式如下：

Ethernet II 帧结构

目的 MAC	源 MAC	类型域	PPPOE 数据	CRC 校验和

PPPOE 数据

版本	类型	代码	会话 ID	长度域	TLV 1	……	TLV N

TLV 结构

类型	长度	数据

其中各字段含义如下：

Ethernet II 帧的类型域(2byte)：协议规定 PPPoE 协议报文的类型域取值为 0x8863，仅包括 PPPoE 发现阶段的 5 种报文。会话阶段的报文类型域取值为 0x8864。

PPPoE 版本域(4bit)：指明当前 PPPoE 协议版本，规定当前版本必须设置为 0x1

PPPoE 类型域(4bit)：指明协议类型，规定当前版本必须设置为 0x1

PPPoE 代码域(1byte)：指明发送 PPPoE 的报文类型。0x09 代表 PADI 报文，0x07 代表 PADO 报文，0x19 代表 PADR 报文，0x65 代表 PADS 报文，0xa7 代表 PADT 报文。

PPPoE 会话 ID 域(2byte)：指明会话标识

PPPoE 长度域(2byte)：指明所有 TLV 长度和

TLV 类型域(2byte)：一个 TLV 结构代表一个 TAG，类型域则代表 TAG 类型，如下表所示

TLV 长度域(2byte)：指明该 TAG 的数据域的长度。

TLV 数据域(长度不定)：指明该 TAG 的传输的数据

标记类型	标记说明
0x0000	表示PPPOE报文数据域中一串标记的结束，为了保证版本的兼容性而保留，在有些报文中有应用。
0x0101	服务名，主要用来表明网络侧所能提供给用户的一些服务。
0x0102	访问集中器名，当用户侧接收到了AC的回应的PADO报文时，就可获从所携带的标记中获知访问集中器的名子，而且还可以据此来选择相应的访问集中器。
0x0103	主机唯一标识，类似于PPP数据报文中的标识域，主要是用来匹配发送和接收端的，因为对于广播式的网络中会同时存在很多个PPPOE的数据报文。
0x0104	AC-Cookies，主要被用来防止恶意性DOS功击。
0x0105	销售商的标识符。
0x0110	中继会话ID，对于PPPOE的数据报文也同样可以像DHCP报文一样被中断到另外的AC上终结，这个字段则是用来维护另一个连接的。
0x0201	服务名错误，当请求的服务名不被对端所接受时，会在响应的报文中携带这个标记。
0x0202	访问集中器名出错。
0x0203	一般性错误。

图 6-37 PPPoE 中 TAG 取值类型

7.11.1.2.3 PPPoE Intermediate Agent vendor tag 结构

下图是 PPPoE IA 最主要的功能，即 PPPoE IA 所要添加的链路标识的结构。

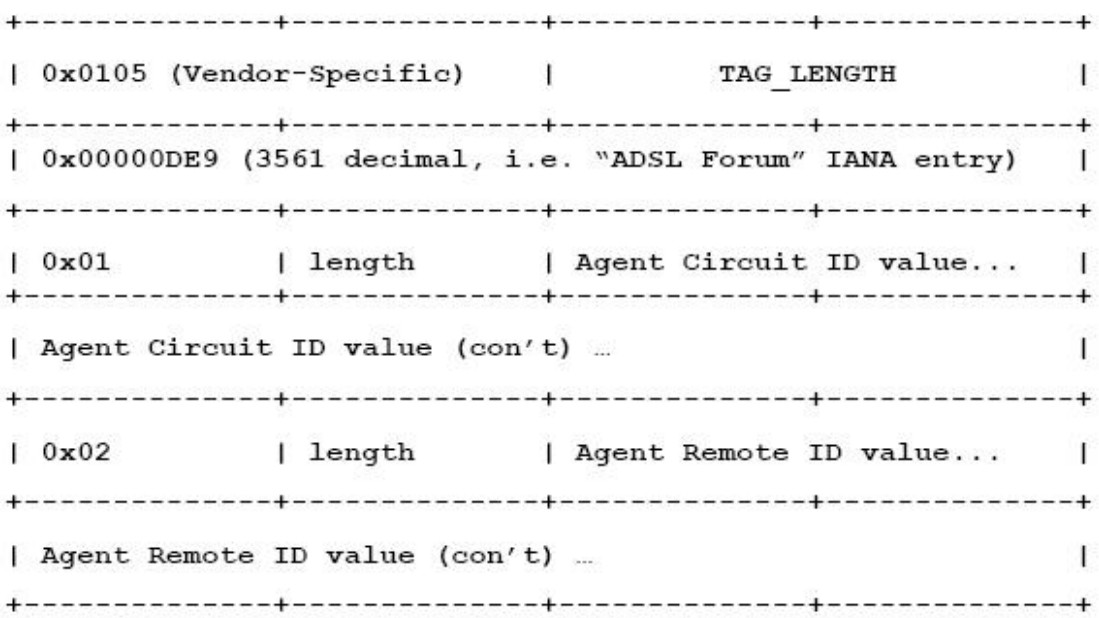


图 6-38 PPPoE IA - vendor tag（每行 4 个字节）

PPPoE IA 添加 tag 的 TLV 类型标识为 0x0105，TAG_LENGTH 是 vendor tag 的长度域；

0x00000DE9 为固定 4 个字节的“ADSL Forum” IANA entry；0x01 是 Agent Circuit ID 的类型域，length 是其长度域，和 Agent circuit ID value 域；0x02 是 Agent Remote ID 的类型域，length 是其长度域，和 Agent Remote ID value 域 。

PPPoE IA 提供一个默认生成的 circuit ID value，默认生成的 circuit ID 如图所示，其主要包括 5 个字段，其中 ANI（Access Node Identifier）是用户可以配置的，其长度小于 47 个字节；如果没有配置则系统默认为接入交换机的 Mac,占 6 个字节，后面的字段用空格符分隔，”eth”占 3 个字节，和后面的字段用空格符分隔，Slot ID 占 2 个字节，用分隔符”/”分隔且占 1 个字节，Port Index 占 3 个字节，用分隔符”:”分隔且占 1 个字节，Vlan ID 占 4 个字节，这里的所有字段均用 ASCII 码表示。用户也可以根据需要，为每个端口单独配置 circuit id。

ANI (n byte)	Space (1byte)	eth (3 byte)	Space (1byte)	Slot ID (2byte)	/ (1byte)	Port Index (3byte)	: (1byte)	Vlan ID (4byte)

图 6-39 Agent Circuit ID value

PPPoE IA 默认生成的 remote ID value 是接入交换机的 Mac。对于 remote ID value 用户也可以灵活配置，其长度小于 63 个字节。

7.11.1.2.4 PPPoE Intermediate Agent 的信任端口

PPPoE 发现阶段发送有五种报文，其中 PADI 和 PADR 是由客户端向服务器发送的报文，而 PADO 和 PADS 是由服务器向客户端发送的报文，PADT 报文既可以由服务器发送到客户端，也可以从客户端发送到服务器。

在 PPPoE IA 中，为了安全和减少通讯流量，把连接服务器方向的端口设置为信任端口，把连接客户端的端口设置为非信任端口。对于信任端口可以接收所有报文，对于非信任端口只能接收从客户端发往服务器的 PADI、PADR 和 PADT 报文。为了保证客户端的运行正确，必须把可以连接到服务器的端口设置成信任端口，并且每个接入设备中至少有一个信任端口。

由于 PPPoE IA vendor tag 不能存在于从服务器发往客户端的 PPPoE 报文中，所以这些报文中如果存在 PPPoE IA vendor tag，我们可以选择剥离这些 vendor tag 后转发出去。剥离功能必须在信任端口上配置，非信任端口上也可以开启 vendor tag 剥离功能，但是不起作用。

7.11.2 PPPoE Intermediate Agent 配置任务序列

1. 配置全局开启PPPoE Intermediate Agent

命令	解释
全局配置模式	
pppoe intermediate-agent **no pppoe intermediate-agent**	开启全局 PPPoE intermediate agent 功能。

pppoe intermediate-agent type tr-101 circuit-id access-node-id <string> **no pppoe intermediate-agent type tr-101 circuit-id access-node-id**	配置添加的 vendor tag 中 circuit ID 的 access node id 域的值。
pppoe intermediate-agent type tr-101 circuit-id identifier-string <string> option {sp | sv | pv | spv} delimiter <WORD> [delimiter <WORD>] **no pppoe intermediate-agent type tr-101 circuit-id identifier-string option delimiter**	配置添加的 vendor tag 标识中的 circuit-id。
pppoe intermediate-agent type self-defined remoteid {mac| vlan-mac| hostname| string WORD} **no pppoe intermediate-agent type self-defined remote-id**	配置自定义的 remote-id 形式。
pppoe intermediate-agent delimiter <WORD> **no pppoe intermediate-agent delimiter**	配置 circuit-id 和 remote-id 各个字段间的分隔符。
pppoe intermediate-agent format (circuit-id | remote-id) (hex | ascii) **no pppoe intermediate-agent format (circuit-id | remote-id)**	配置 circuit-id 和 remote-id 的表示形式。

7.11.3 PPPoE Intermediate Agent 典型应用

PPPoE IA 的典型应用场景如下：

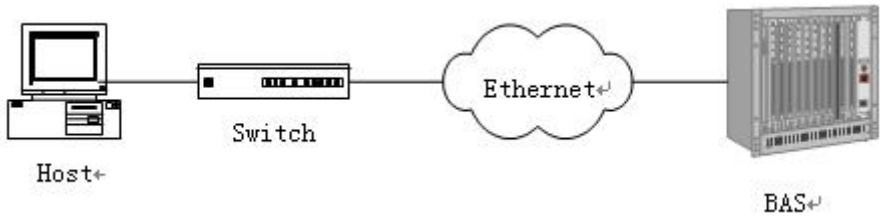


图 6-40 PPPoE IA 典型应用场景

其中 Host 主机和 BAS 服务器端都运行 PPPoE 协议，它们通过二层以太网相连，在与 Host 端直连的交换机开启 PPPoE Intermediate Agent 功能。

典型配置（1）如下：

第一步：在交换机(Switch)上开启全局 PPPoE IA 功能，交换机的 Mac 为 0a0b0c0d0e0f。

Switch (config)#pppoe intermediate-agent

第二步：配置连接服务器的端口 ethernet1/1/1 为 trust 端口，并且配置 vendor tag 剥离功能。

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#pppoe intermediate-agent trust

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#pppoe intermediate-agent vendor-tag strip

第三步：在 vlan 1 的端口 ethernet1/1/2 和 vlan 1234 的端口 ethernet1/1/3 上开启端口 PPPoE IA 功能。

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#pppoe intermediate-agent

Switch(config-if-ethernet1/1/3#pppoe intermediate-agent

第四步：配置 pppoe intermediate-agent access-node-id 为 abcd。

Switch (config)#pppoe intermediate-agent type tr-101 circuit-id access-node-id abcd

第五步：在端口 ethernet1/1/3 上配置 circuit id 为 aaaa，remote id 为 xyz。

Switch(config-if-ethernet1/1/3)#pppoe intermediate-agent circuit-id aaaa

Switch(config-if-ethernet1/1/3)#pppoe intermediate-agent remote-id xyz

对于端口 ethernet1/1/2 的 PPPoE 报文添加的 vendor tag 标识中 circuit-id value 为”abcd eth 01/102:0001”，remote-id value 为”0a0b0c0d0e0f”。

对于端口 ethernet1/1/3 的 PPPoE 报文添加的 vendor tag 标识中 circuit-id value 为”aaaa”，remote-id value 为”xyz”。

典型配置（2）如下：

第一步：在交换机(Switch)上开启全局 PPPoE IA 功能。交换机的 Mac 为 0a0b0c0d0e0f。

Switch(config)# pppoe intermediate-agent

第二步：配置连接服务器的端口 ethernet1/1/1 为 trust 端口，并且配置 vendor tag 剥离功能。

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#pppoe intermediate-agent trust

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#pppoe intermediate-agent vendor-tag strip

第三步：在 vlan 1 的端口 ethernet1/1/2 和 vlan 1234 的端口 ethernet1/1/3 上开启端口 PPPoE IA 功能。

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#pppoe intermediate-agent

Switch(config-if-ethernet1/1/3)#pppoe intermediate-agent

第四步：配置 pppoe intermediate-agent access-node-id 为 abcd

Switch(config)#pppoe intermediate-agent type tr-101 circuit-id access-node-id abcd

第五步：配置 pppoe intermediate-agent identifier-string 为”efgh”，组合模式为 spv，Slot ID 和 Port ID 的分隔符为”#”，Port ID 和 Vlan ID 的分隔符为”/”。

Switch(config)#pppoe intermediate-agent type tr-101 circuit-id identifier-string efgh option spv delimiter # delimiter /

第六步：在端口 ethernet1/1/2 上配置 circuit-id value 为 bbbb。

Switch (config-if-ethernet1/1/2)#pppoe intermediate-agent circuit-id bbbb

第七步：在端口 ethernet1/1/3 上配置 remote id 为 xyz。

Switch (config-if-ethernet1/1/3)#pppoe intermediate-agent remote-id xyz

对于端口 ethernet1/1/2 的 PPPoE 报文添加的 vendor tag 标识中 circuit-id value 为”bbbb”，

remote-id value 为”0a0b0c0d0e0f”。

对于端口 ethernet1/1/3 的 PPPoE 报文添加的 vendor tag 标识中 circuit-id value 为”efgh eth 01#003/1234”，remote-id value 为”xyz”。

7.11.4 PPPoE Intermediate Agent 排错帮助

- 如果要在交换机端口上运行 pppoe intermediate-agent，首先必须在全局打开 pppoe intermediate-agent 开关。在没有打开全局 pppoe intermediate-agent 开关之前，打开端口的 pppoe intermediate-agent 开关是无效的。
- 必须至少配置一个信任端口，并且该端口能连接到服务器。
- Vendor tag strip 功能必须在信任端口上配置。
- Circuit-id 的覆盖优先级顺序为：优先级最高的是端口配置 pppoe intermediate-agent circuit-id，优先级次高为 pppoe intermediate-agent identifier-string option delimiter，优先级最低为 pppoe intermediate-agent access-node-id。

7.12 QoS

7.12.1 QOS

7.12.1.1 QoS 介绍

QoS（Quality of Service，服务品质保证）是指一个网络能够利用各种各样的技术向选定的网络通信提供更好的服务的能力。QoS 是服务品质保证，提供稳定、可预测的数据传送服务，来满足使用程序的要求，QoS 不能产生新的带宽，而是根据应用的需求以及网络管理的设置来有效的管理网络带宽。

7.12.1.1.1 QoS 术语

QoS：Quality of Service 服务品质保证，提供稳定、可预测的数据传送服务，来满足使用程序的要求，QoS 不能产生新的带宽，而是根据使用程序的需求以及网络管理的设置来有效的管理网络带宽。

QoS 功能域：QoS Domain 支持 QoS 的设备组成的一个能够提供服务品质保证的网络拓扑，定义为 QoS 功能域。

CoS：Class of Service 服务级别，L2 802.1Q 帧携带的分类信息，在帧头的 Tag 字段中占 3bits，称为用户优先级，范围为 0～7。

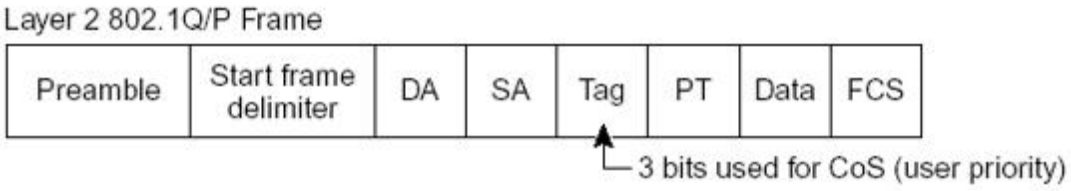


图 6-41 CoS 优先级

ToS：Type of Service 服务类型，L3 IPv4 包头携带的一个字节的字段，标记 IP 包的服务类型，ToS 字段内可以是 IP Precedence 值，也可以是 DSCP 值。

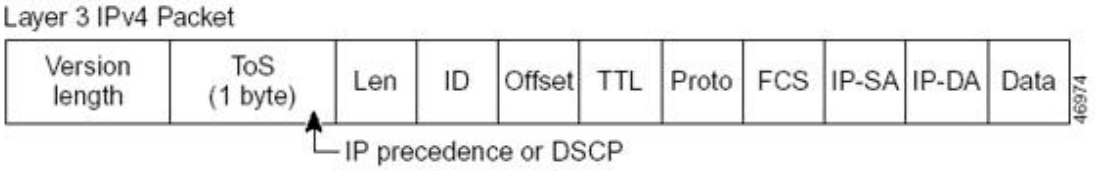


图 6-42 ToS 优先级

IP Precedence：IP 优先级，L3 IP 包头携带的分类信息，共占 3bits，范围为 0～7。

DSCP：Differentiated Services Code Point 差别化业务编码点，L3 IP 包头携带的分类信息，共占 6bits，范围为 0～63，向下兼容 IP Precedence。

MPLS TC*(EXP)*：

MPLS 报文中的一个字段，用来表明 MPLS 报文的服务等级，一共三个 bit，范围为 0－7。

Internal Priority：交换芯片内部优先级设置，支持范围和芯片相关，后续文档中简写为 Int-Prio 或者 IntP。

Drop Precedence：丢弃优先级，在交换芯片处理报文的时候，丢弃优先级大的报文将会被优先丢弃，三色算法取值范围为 0-2，双色算法取值范围 0-1，后续文档中简写为 Drop-Prec 或者 DP。

分类：QoS 的入口动作，根据数据包携带的分类信息和 ACLs，将数据包流量进行分类。

监管：QoS 的入口动作，制定监管策略，对分类后的数据包进行监管。

重写：QoS 的入口动作，根据制定的监管策略，对数据包进行通过、降级、丢包等操作。

排程： QoS 的出口动作，配置八条出口队列的 WRR（Weighted Round Robin）权重。

In-Profile：对于在 QoS 监管策略规定范围（带宽或突发值）内的流量，我们称它是 In- Profile 的。

Out-of-Profile： 对于超出 QoS 监管策略规定范围（带宽或突发值）的流量，我们称它是 Out-of-Profile 的。

7.12.1.1.2 QoS 实现

对于 L3 交换机软件 QoS 的实现，首先应该给出一个参考模型，而这个模型要求是通用的，成熟的。QoS 并不能产生新的带宽，但是它可以将现有的带宽资源做一个最佳的调整和

配置，完整的应用 QoS，可以对网络的数据传输做到完全的控管。下面将对 QoS 做一个尽量严格的描述：

IP 协议的数据传送规范，只针对发送端和接收端的地址和服务等作出规定，并且利用 OSI 四层以上的，如 TCP 协议等来确认数据包的传送正确无误，但是，IP 协议没有提供和保护传输数据包的带宽，而是以尽力而为（Best Effort）的方式来提供带宽服务。此种方式对于 Mail 以及 FTP 等服务尚可以接受，但是对于越来越多的多媒体业务数据和电子商务数据的传输，则无法满足这些应用需要的带宽和低延迟要求。

基于差别化服务的 QoS 在网络的入口指定每个数据包的优先级别，这些分类信息被携带在 L3 的 IP 包头或者 L2 的 802.1Q 帧头中。QoS 对于相同优先级别的数据包提供相同服务，而对不同级别的数据包则提供不同的操作。支持 QoS 的交换机或路由器可以根据数据包的分类信息，为其提供不同的带宽资源，并且可以根据配置的监管策略来重写这些数据包携带的分类信息甚至在带宽紧张的时候丢弃某些低级别的数据包。

如果在一个网络中，每一跳的设备都支持基于差别化服务的 QoS，那么就可以构建一个端到端的 QoS 解决方案。QoS 的配置是很灵活的，可以很复杂，也可以很简单，这一切都依赖于实际的网络拓扑和网络设备，以及对网络出入流量的分析。

7.12.1.1.3 QoS 基本模型

QoS 的基本模型分为四个部分：Classification（分类）、Policing（监管）、Mark（重写）和 Scheduling（排程），其中分类、监管和重写是顺序执行的 QoS 的入口行为，整形和排程是 QoS 的出口行为。

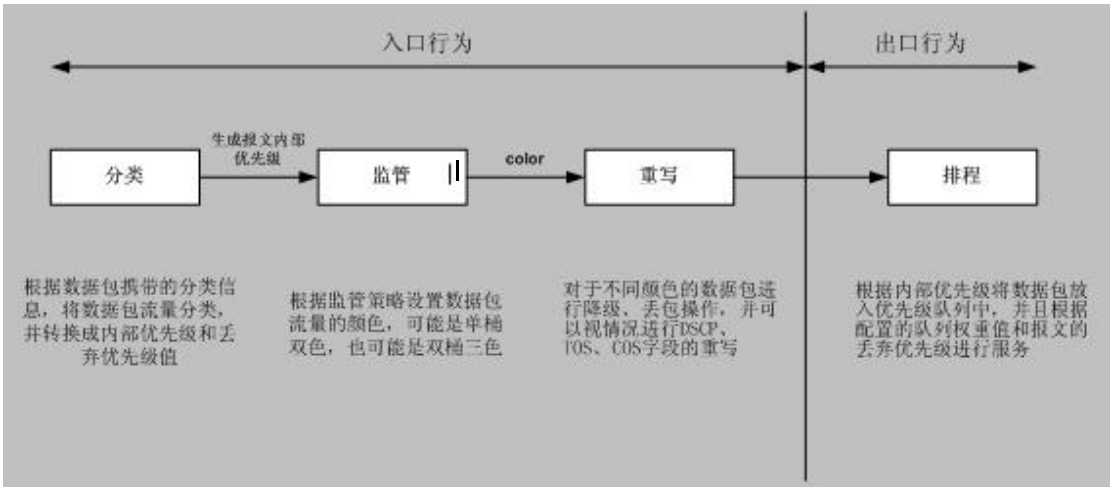


图 6-43 QoS 基本模型

分类：通过检查数据包的分类信息，来区别不同的流量，并且根据数据包的分类信息生成内部优先级和丢弃优先级。对于不同类型的数据包和不同的交换机配置，分类有不同的处理方式，由下面的流程图详细说明：

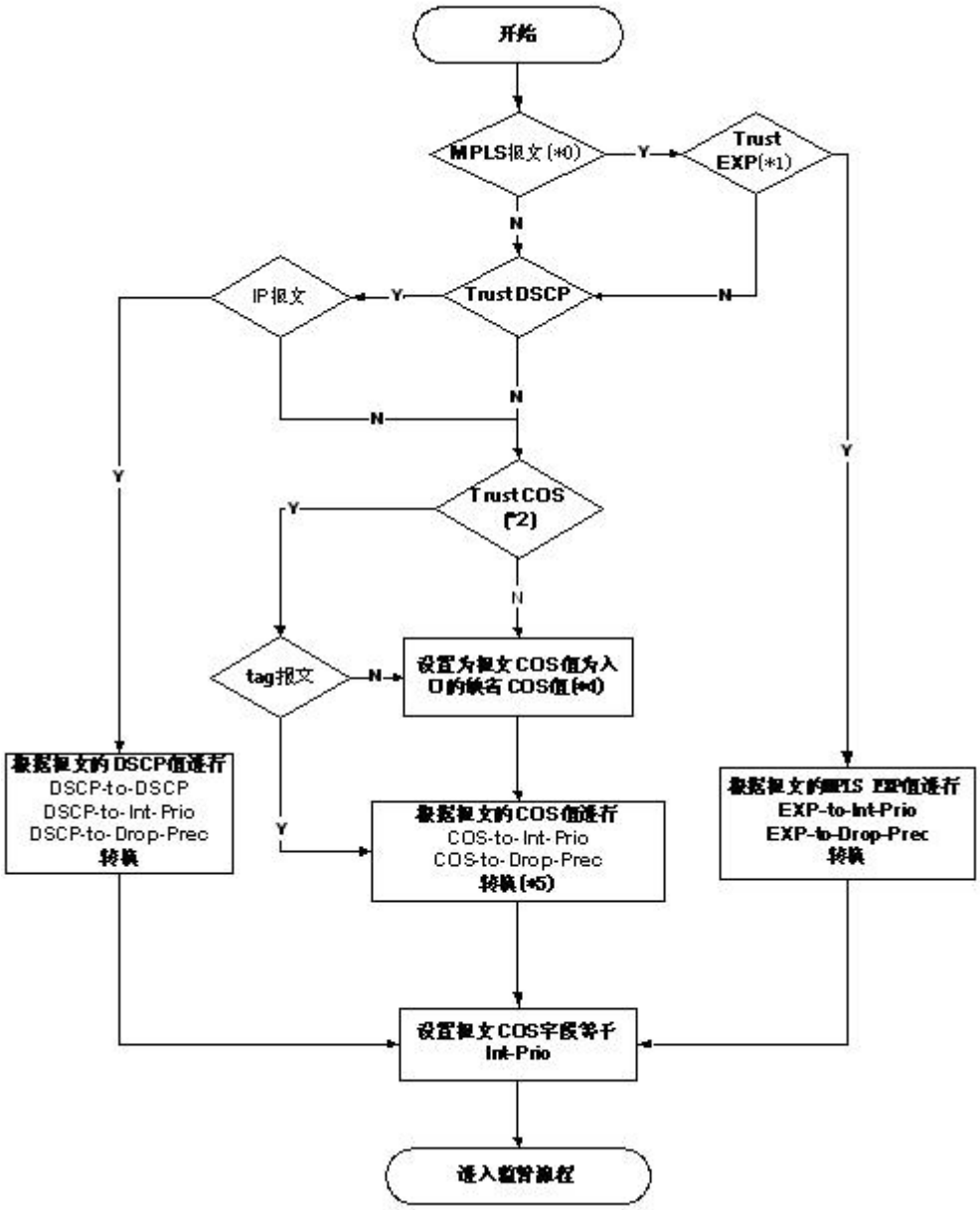


图 6-44 分类流程

监管和重写：在入口的流量经过分类，并且每个数据包都被分配了一个内部优先级和丢弃优先级值以后，就可以进行监管和重写。

监管行为可以基于流配置不同的监管策略，为分类后的流量分配带宽，带宽的分配策略可以是双桶双色，也可以是双桶三色。流量会被分配不同的颜色（color），对不同颜色的流量可以选择丢包、通过两种处理方式；对于通过处理方式的数据包，可以附加重写动作。重写行为即用一个新的优先级别较低的 DSCP 值来代替数据包原有的级别较高的 DSCP 值。监管和重写的具体行为，由下面的流程图详细说明：

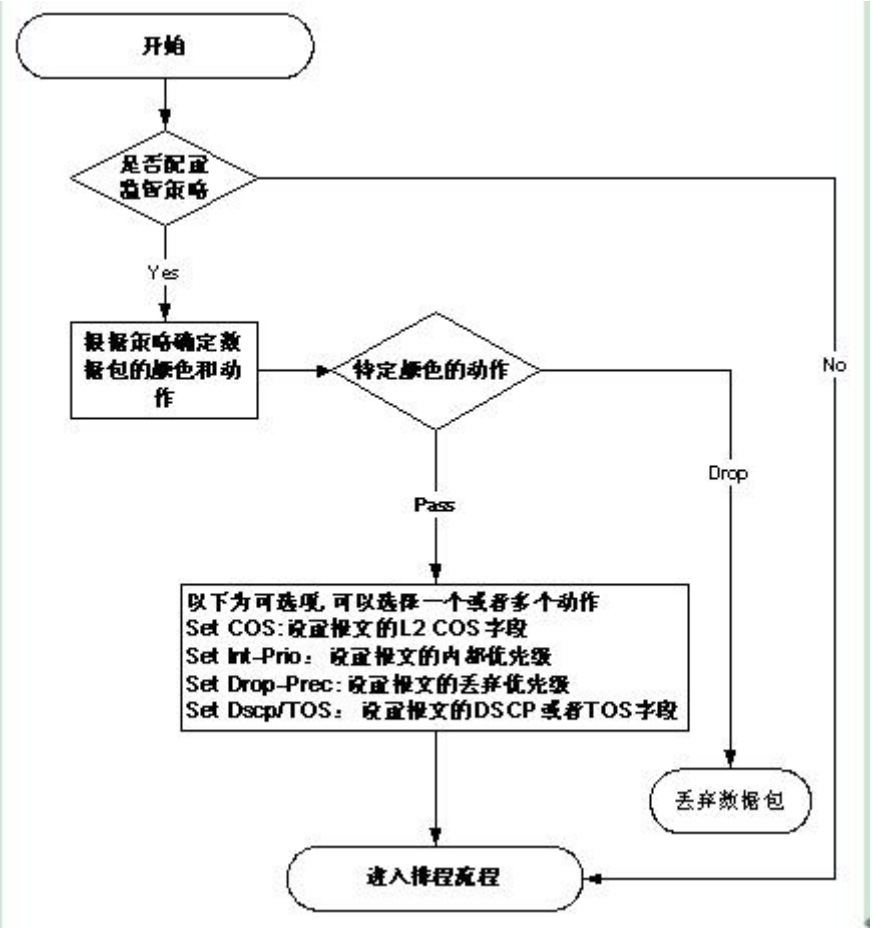


图 6-45 监管和重写流程

整形和排程：出口的数据包会都具有内部优先级值和丢弃优先级。整形行为根据数据包的内部优先级值将其分配到不同的优先级队列中，而排程行为根据配置的优先级队列权重和丢弃优先级来进行数据包转发服务。整形和排程的具体行为，由下面的流程图详细说明：

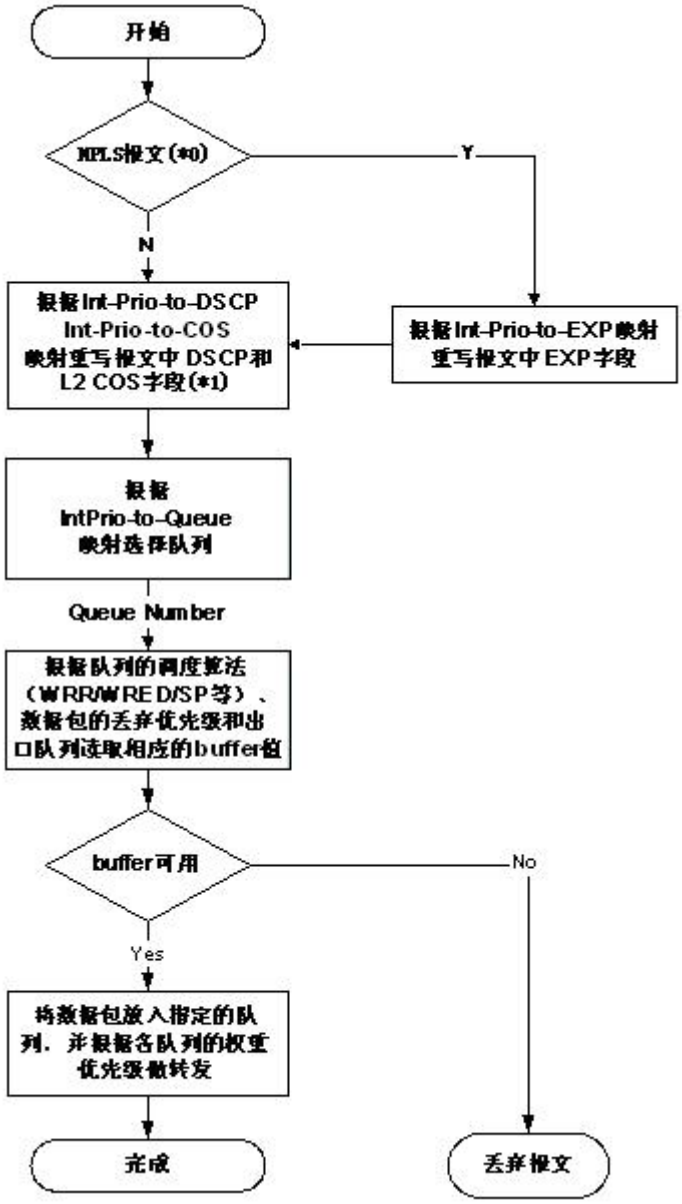


图 6-46 整形和排程流程

7.12.1.2 QoS 配置

QoS 配置任务序列如下：

配置分类表（classmap）

建立一个分类规则，可以按照 ACL、CoS、VLAN ID、IPV4 Precedent、DSCP、IPV6 FL 来分类。之后，对于不同类别的数据流采取不同的策略。

配置策略表（policymap）

对数据流进行分类之后，就可以建立一个策略表，之后就可以将其对应一个先前建立的 class-map，进入策略分类表模式，然后就可以对于不同的数据流采取不同的策略，如带宽限制、优先级降低、分配新的 DSCP 值等等。也可以定义一个集合策略，这个策略可以在同一个策略表内部被多个策略分类表使用。

将 QoS 应用到端口或 VLAN

配置端口的信任模式，或者绑定策略。策略只有绑定到具体的端口，才在此端口生效。策略也可以绑定到具体的 VLAN 上。

建议不要在 VLAN 和属于该 VLAN 的端口上同时使用 policy map。

配置端口队列调度算法

设定端口队列调度算法，如 sp，wrr，wdrr 等。

配置 QoS 映射关系

配置 cos 到 dp，dscp 到 dscp 或 intp 或 dp，intp 到 dscp 的映射关系。

1．配置分类表（classmap）

命令	解释
全局配置模式	
class-map <*class-map-name*> **no class-map <*class-map-name*>**	建立一个 class-map（分类表），并进入 class-map 模式；本命令的 no 操作为删除指定的 class-map。
match {access-group <acl-index-or-name> | ip dscp <dscp-list>| ip precedence <ip-precedence-list>| ipv6 access-group <acl-index-or-name> | ipv6 dscp <dscp-list> | ipv6 flowlabel <flowlabel-list> | vlan <vlan-list> | cos <*cos-list*> | exp <exp-list>} **no match {access-group | ip dscp | ip precedence | ipv6 access-group | ipv6 dscp | ipv6 flowlabel | vlan |cos | exp}**	设置分类表中的匹配标准，可以根据 ACL、CoS、VLAN ID、IPV4 Precedent、DSCP、IPV6 FL 优先级等对数据流进行分类；本命令的 no 操作为删除指定的匹配标准。

2. 配置策略表（policymap）

命令	解释
全局配置模式	
policy-map <policy-map-name> **no *policy-map* <policy-map-name>**	建立一个 policy-map（策略表），并进入 policy-map（策略表）模式；本命令的 no 操作为删除指定的 policy-map。
class <class-map-name> [insert-before <class-map-name>] **no class <class-map-name>**	建立一个 policy-map（策略表）之后，可以将其对应于一个 class（策略分类表），并进入策略分类表模式,之后就可以对不同的数据流采取不同的策略或者分配一个新的 DSCP 值；本命令的 no 操作为删除指定策略分类表。
set {ip dscp <*new-dscp*> | ip precedence	为分类后的流量分配一个新的 DSCP、

<new-precedence>|internal priority <new-inp>| drop precedence <new-dp> |cos <new-cos>} **no set {ip dscp | ip precedence|internal priority | drop *precedence* |*cos* }**	CoS 和 IP Precedence 值等；本命令的 no 操作为取消分配新的值。
单桶模式： **policy <bits_per_second> <normal_burst_bytes> ({conform-action ACTION | *exceed-action* ACTION})** ***双桶模式：*** **policy <bits_per_second> <normal_burst_bytes> [pir <peak_rate_*bps*>] | <*maximum*_burst_bytes> [{conform-action ACTION | exceed-action ACTION | violate-action ACTION }]** **ACTION 定义：** **drop | transmit | set-dscp-transmit <dscp_value> | set-prec-transmit <ip_precedence_value>** **no policy**	为分类后的流量配置一个策略，支持三色 color 的非聚合 Policy 命令，根据配置参数解析出令牌桶的工作模式，是单速单桶、单速双桶还是双速双桶，并且给不同颜色报文设置相应动作。no 命令删除模式配置。单桶模式只有特定的交换机支持。
policy aggregate <aggregate-policy-name> ***no* policy aggregate <aggregate-policy-name>**	为分类后的流量应用一个聚合策略；本命令的 no 为删除指定的聚合策略。
accounting **no accounting**	为分类后的流量设置统计功能。 在策略分类表配置模式下将功能开启后，会对策略分类表中的流量增加统计功能，单桶模式，报文经过 policy 时仅会有绿色和红色两种颜色，打印统计信息时 in-profile 表示绿色，out-profile 表示红色；双桶模式下，会有三种颜色的报文，in-profile 表示绿色，out-profile 表示红色和黄色。
策略分类表配置模式	
drop **no drop** **transmit**	对分类后的流量可以选择丢弃、通过动作；本命令的 no 操作为取消分配的动作。

no transmit	

3．将 QoS 应用到端口或 VLAN 接口

命令	解释
接口配置模式	
mls qos trust {cos | dscp} **no mls qos trust {cos | dscp}**	配置交换机端口信任状态；本命令的 no 操作为禁止交换机端口的当前信任状态。
mls qos cos {<*default-cos*> } **no mls qos cos**	配置交换机端口的缺省 CoS 值；本命令的 no 操作为恢复缺省情况。
service-policy input <policy-map-name> ***no* service-policy input {<policy-map-name>}**	在端口上应用一个策略表；本命令的 no 操作为删除应用到交换机端口的某个指定策略表或删除该端口入方向应用的所有策略表。目前在出口不支持出口策略表。
全局配置模式	
service-policy input <policy-map-name> *vlan* <vlan-list> **no service-policy input {<policy-map-name>} vlan <vlan-list>**	在交换机 VLAN 接口上应用一个策略表；本命令的 no 操作为删除应用到交换机 VLAN 接口的某个指定策略表或删除该 vlan 接口入方向应用的所有策略表。
mls qos trust exp **no mls qos trust exp**	配置交换机全局信任 exp；本命令的 no 操作为禁止交换机全局信任 exp。

4．配置端口队列调度算法和权重

命令	解释
端口配置模式	
mls qos queue algorithm *{*sp | wrr | wdrr} **no mls qos queue *algorithm***	端口配置队列调度算法。端口缺省队列调度算法为 wrr。
mls qos queue wrr *weight* <weight0..weight7> **no mls qos queue wrr weight**	基于端口配置队列权重。缺省队列权重为 1 2 3 4 5 6 7 8。
mls qos queue wdrr *weight* <weight0..weight7> **no mls qos queue wdrr weight**	基于端口配置队列权重。缺省队列权重为 10 20 40 80 160 320 640 1280。
mls qos queue <queue-id> bandwidth <minimum-bandwidth>	基于端口配置带宽保证值。

<maximum-bandwidth> **no mls qos queue <queue-id> bandwidth**	

5．配置 QoS 映射关系

命令	解释
全局配置模式	
mls qos map (cos-dp <dp1 … dp8> | cos-intp <IntPrio1 … IntPrio8> | dscp-dp <in-dscp list> to <dp> | dscp-dscp <in-dscp list> to <out-dscp> |dscp-intp <in-dscp list> to <intp> | exp-dp <dp1 … dp8> | exp-intp <IntPrio1 … IntPrio8>) **no *mls* qos *map (cos-dp* | *cos-intp* | *dscp-dp* | *dscp-dscp* | *dscp-intp* | *exp-dp* | *exp-intp*)**	设置 QoS 的优先级映射， no 命令恢复缺省映射值。

6．清除特定端口或者 VLAN 的 Accounting 数据

命令	解释
特权配置模式	
clear mls qos statistics /interface <interface-name> | vlan <vlan-id>]	清除特定端口或者 vlan Policy Map 的 Accounting 数据，如果不带参数，清除所有的 Policy Map 的 Accounting 数据。

7．显示 QoS 的配置信息

命令	解释
特权配置模式	
show mls qos maps [cos-dp | cos-intp | dscp-dp | dscp-dscp | dscp-intp | exp-dp | exp-intp]	显示 QoS 全局映射相关配置内容。
show class-map [<class-map-name>/	显示 QoS 的分类表信息。
show policy-map [<policy-map-name>/	显示 QoS 的策略表信息。
show mls qos {interface { <IFNAME> | ethernet <interface-name> | port-channel <IFNAME> [policy | queuing] | vlan <*vlan-id*>}	显示 QoS 在交换机端口上的配置信息。

7.12.1.3 QoS 举例

案例 1：

启动 QoS 功能，将端口 ethernet 1/1/1 出口队列的权重改为 1:1:2:2:4:4:8:8，配置成信任 cos

模式，但是不改变报文里的 DSCP 值，并且将此端口的默认 cos 值设为 5。

配置步骤如下：

```
Switch#config
Switch(config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(Config-If-Ethernet1/1/1)# mls qos queue wrr weight 1 1 2 2 4 4 8 8
Switch(Config-If-Ethernet1/1/1)#mls qos cos 5
```

配置结果：

全局启动了 QoS 功能，端口 ethernet 1/1/1 出口带宽的比例依次为 1:1:2:2:4:4:8:8。当从 ethernet 1/1/1 进来的报文带 cos 值时，根据 cos 值到出口队列的映射关系，cos 值 0－7 分别对应出口队列 1，2，3，4，5，6，7，8，放到不同的优先队列，如果进来的报文不带 cos 值，则将其 cos 值设为 5，根据对应关系，放入优先级队列 6。所有经过的报文不改变其携带的 DSCP 值。

案例 2：

在端口 ethernet1/1/2 上，将属于网段 192.168.1.0 内的报文带宽限制为 10M 比特/秒，突发值设为 4M 字节，超过带宽的该网段内的报文一律丢弃。

配置步骤如下：

```
Switch#config
Switch(config)#access-list 1 permit 192.168.1.0 0.0.0.255

Switch(config)#class-map c1
Switch(Config-ClassMap-c1)#match access-group 1
Switch(Config-ClassMap)# exit
Switch(config)#policy-map p1
Switch(Config-PolicyMap-p1)#class c1
Switch(Config-PolicyMap-p1-Class-c1)#policy 10000 4000 exceed-action drop
Switch(Config-PolicyMap-p1-Class-c1)#exit
Switch(Config-PolicyMap-p1)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/2
Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#service-policy input p1
```

配置结果：

先设置一个 ACL：1，匹配网段 192.168.1.0。全局启动 QoS 功能，创建一个 class-map：c1，在 class-map 中匹配 ACL1，再创建一个 policy-map：p1，在 P1 中引用 c1，设置对应的 policy

来限制带宽和峰值。然后在端口 ethernet 1/1/2 应用此 policy-map。设置后，网段 192.168.1.0 内的报文带宽在端口 ethernet 1/1/2 上被限制为 10M 比特/秒，突发值为 4M 字节，超过带宽的该网段内的报文一律丢弃。

案例 3：

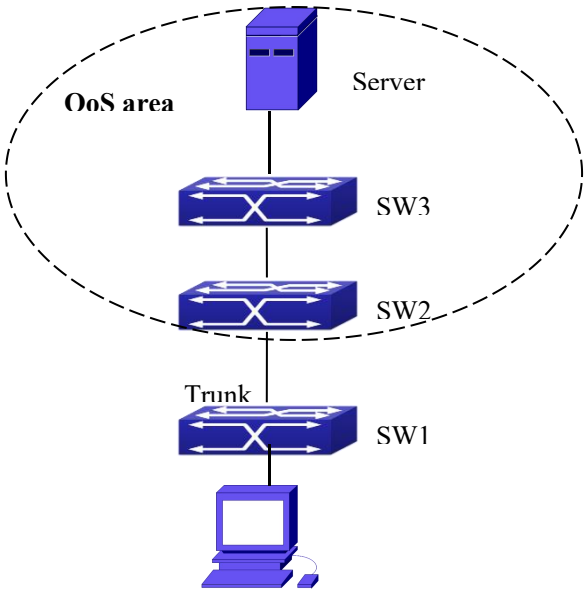


图 6-47 QoS 典型拓扑

如图，虚线框内组成一个 QoS 域，SW1 将不同的流量分类，分配不同的 IP 优先级，如在端口 ethernet 1/1/1 上将属于网段 192.168.1.0 内的报文的 IP 优先级设为 5，与 SW2 相连的端口为 trunk 口。在 SW2 上，将与 SW1 相连的端口 ethernet 1/1/1，设置信任 cos。这样在 QoS 域的内部，不同优先级的报文就走不同的队列，分配不同的带宽。

配置步骤如下：

交换机 1 上的 QoS 配置：

Switch#config

Switch(config)#access-list 1 permit 192.168.1.0 0.0.0.255

Switch(config)#class-map c1

Switch(Config-ClassMap-c1)#match access-group 1

Switch(Config-ClassMap-c1)# exit

Switch(config)#policy-map p1

Switch(Config-PolicyMap-p1)#class c1

Switch(Config-PolicyMap-p1-Class-c1)#set ip precedence 5

Switch(Config-PolicyMap-p1-Class-c1)#exit

Switch(Config-PolicyMap-p1)#exit

Switch(config)#interface ethernet 1/1/1

Switch(Config-If-Ethernet1/1/1)#service-policy input p1

交换机 2 上的 QoS 配置：

Switch#config

Switch(config)#interface ethernet 1/1/1

7.12.1.4 QoS 排错帮助

- trust COS 和 exp 配置可以和其他的 trust 一起生效，也可以和 Policy Map 一起使用。
- trust dscp 配置可以和其他的 trust 一起生效，也可以和 Policy Map 一起使用。本配置对 IPv4 和 IPv6 报文都生效。
- Trust EXP、Trust DSCP 和 Trust COS 可以同时配置，他们之间的优先级如下：EXP>DSCP>COS
- 如果配置了动态 vlan（mac vlan/voice vlan/ip subnet vlan/protocol vlan），报文的 COS 值等于动态 vlan 的 COS 值。
- 目前策略表只支持绑定到入口，对出口不支持。
- 目前建议不要在 vlan 和属于该 vlan 的端口上同时使用 policy map。

7.12.2 PBR

7.12.2.1 PBR 介绍

PBR（Policy-Based Routing，策略路由）是根据 IP 包的源地址、目的地址、IP 优先级、TOS 值、IP 协议、源端口号、目的端口号等信息来策略性的指定数据包转发的下一跳的一种方法。

7.12.2.2 PBR 配置

1. 配置一个 class-map（分类表）
2. 设置分类表中的匹配标准
3. 配置一个 policy-map（策略表）
4. 配置一个策略表对应一个 class（分类表）
5. 配置下一跳 IPv4 地址
6. 配置端口捆绑策略表
7. 配置 VLAN 捆绑策略表

1. 配置一个 class-map（分类表）

命令	解释
全局配置模式	

class-map <*class-map-name*> **no class-map <*class-map-name*>**	建立或删除一个 class-map（分类表）。

2. 设置分类表中的匹配标准

命令	解释
class-map（分类表）配置模式	
match ip {access-group <*acl-index-or-name*>} **no match ip {access-group }**	设置分类表中的匹配标准。

3. 配置一个 policy-map（策略表）

命令	解释
全局配置模式	
policy-map <*policy-map-name*> **no policy-map <*policy-map-name*>**	建立或删除一个 policy-map（策略表）。

4. 配置一个策略表对应一个 class（分类表）

命令	解释
策略表配置模式	
class <*class-map-name*> **no class <*class-map-name*>**	对应一个 class（分类表），并进入策略分类表模式。

5. 配置下一跳 IPv4 地址

命令	解释
策略分类表配置模式	
set ipv4 [default] nexthop [vrf <vrf>] <*nexthop-ip*> **no set ipv4 nexthop**	为分类后的流量设置下一跳 IP；本命令的 no 操作为取消分配新的值。

6. 配置端口捆绑策略表

命令	解释
端口配置模式	
service-policy {input <*policy-map-name*> | output <*policy-map-name*>} **no service-policy {input <*policy-map-name*> | output <*policy-map-name*>}**	在具体端口上应用策略表；每个端口在每个方向上只能应用一个策略表。目前在出口不支持出口策略表。

7.配置 VLAN 捆绑策略表

命令	解释
全局配置模式	
service-policy input <*policy-map-name*> vlan <*vlan-list*> **no service-policy input <*policy-map-name*> vlan <*vlan-list* >**	在具体 VLAN 上绑定策略表。本命令的 no 操作为删除应用到交换机 VLAN 接口的某个指定策略表。

7.12.2.3 PBR 举例

案例：

在端口 ethernet 1/1/1 上，设置源 IP 为 192.168.1.0/24 网段内的报文进行策略路由，其下一跳为 218.31.1.119。同时，该网络的内网 IP 是在 192.168.0.0/16 范围。为了保证内网正常通信，对于源 IP 为 192.168.1.0/24，目的 IP 为内网 IP192.168.0.0/16 范围内的报文不进行策略路由，本设备 192.168.1.0/24 段的接口地址为 192.168.1.1。

配置步骤如下：

Switch#config
Switch(config)#ip access-list extended a1
Switch(Config-IP-Ext-Nacl-a1)# permit ip 192.168.1.0 0.0.0.255 192.168.0.0 0.0.255.255
Switch(Config-IP-Ext-Nacl-a1)#exit
Switch(config)#ip access-list extended a2
Switch(Config-IP-Ext-Nacl-a1)# permit ip 192.168.1.0 0.0.0.255 any-destination
Switch(Config-IP-Ext-Nacl-a1)#exit
Switch(config)#mls qos
Switch(config)#class-map c1
Switch(Config-ClassMap-c1)#match access-group a1
Switch(Config-ClassMap-c1)# exit
Switch(config)#class-map c2
Switch(Config-ClassMap-c2)#match access-group a2
Switch(Config-ClassMap-c2)# exit
Switch(config)#policy-map p1
Switch(Config-PolicyMap-p1)#class c1
Switch(Config-PolicyMap-p1-Class-c1)#set ip nexthop 192.168.1.1
Switch(Config-PolicyMap-p1-Class-c1)#exit
Switch(Config-PolicyMap-p1)#class c2
Switch(Config-PolicyMap-p1-Class-c2)#set ip nexthop 218.31.1.119
Switch(Config-PolicyMap-p1-Class-c2)#exit

Switch(config)#interface ethernet 1/1/1

Switch(Config-If-Ethernet1/1/1)#service-policy input p1

配置结果：

先设置两个包含两个项的 ACL a1、a2，a1 匹配源 IP 网段 192.168.1.0/24 和目的地 IP 网段 192.168.0.0/16，a2 匹配源 IP 网段 192.168.1.0/24。全局启动 QoS 功能，创建两个 class-map：c1 和 c2，在 class-map c1 中匹配 ACL a1，class-map c2 中匹配 ACL a2。再创建一个 policy-map：p1，在 P1 中引用 c1，设置本设备 192.168.1.0/24 段的接口地址为 192.168.1.1，设置下一跳 IP 为 218.31.1.119。然后在端口 ethernet 1/1/1 应用此 policy-map。设置后，端口 ethernet 1/1/1 上对于源 IP 为网段 192.168.1.0/24 的报文，除目的 IP 为网段 192.168.0.0/16 的报文进行正常的 L3 转发之外，其余的报文经 218.31.1.119 转发。

7.12.3 IPv6 PBR

7.12.3.1 PBR（基于策略的路由）功能介绍

基于策略的路由为网络管理者提供了比传统路由协议对报文的转发和存储更强的控制能力，传统上，路由器用从路由协议派生出来的路由表，根据目的地址进行报文的转发，基于策略的路由比传统路由强，使用更灵活，它使网络管理者不仅能够根据目的地址而且能够根据报文的大小，应用或 IP 源地址来选择转发路径。策略可以定义为通过多路由器的负载平衡或根据总流量在各线上进行转发的服务质量（QOS）。

PBR（Policy-Based Routing，策略路由）是根据 IP 包的源地址、目的地址、IP 优先级、TOS 值、IP 协议、源端口号、目的端口号等信息来策略性的指定数据包转发的下一跳的一种方法。

7.12.3.2 PBR 配置任务序列

1. 配置一个 class-map（分类表）
2. 设置分类表中的匹配标准
3. 配置一个 policy-map（策略表）
4. 配置一个策略表对应一个 class（分类表）
5. 配置下一跳 IPv6 地址
6. 配置端口捆绑策略表
7. 配置 VLAN 捆绑策略表

1. 配置一个 class-map（分类表）

命令	解释
全局配置模式	
class-map <*class-map-name*> **no class-map <*class-map-name*>**	建立或删除一个 class-map（分类表）。

2. 设置分类表中的匹配标准

命令	解释
class-map（分类表）配置模式	
match ipv6 {access-group <*acl-index-or-name*>} **no match ipv6 {access-group }**	设置分类表中的匹配标准。

3. 配置一个 policy-map（策略表）

命令	解释
全局配置模式	
policy-map <*policy-map-name*> **no policy-map <*policy-map-name*>**	建立或删除一个 policy-map（策略表）。

4. 配置一个策略表对应一个 class（分类表）

命令	解释
策略表配置模式	
class <*class-map-name*> **no class <*class-map-name*>**	对应一个 class（分类表），并进入策略分类表模式。

5. 配置下一跳 IPv6 地址

命令	解释
策略分类表配置模式	
set ipv6 [default] nexthop [vrf <*vrf*>] <*nexthop-ip*> **no set ipv6 nexthop**	为分类后的流量设置下一跳 IP；本命令的 no 操作为取消分配新的值。

6. 配置端口捆绑策略表

命令	解释
端口配置模式	
service-policy {input <*policy-map-name*> | output <*policy-map-name*>} **no service-policy {input <*policy-map-name*> | output <*policy-map-name*>}**	在具体端口上应用策略表；每个端口在每个方向上只能应用一个策略表。目前在出口不支持出口策略表。

7. 配置 VLAN 捆绑策略表

命令	解释

全局配置模式	
service-policy input <*policy-map-name*> vlan <*vlan-list*> **no service-policy input <*policy-map-name*> vlan < *vlan-list* >**	在具体 VLAN 上绑定策略表。本命令的 no 操作为删除应用到交换机 VLAN 接口的某个指定策略表。

7.12.3.3 PBR 举例

案例：

在端口 ethernet 1/1/1 上，本设备默认网关地址为 3000::1，设置源 IP 为 2000::/64 网段内的报文进行策略路由，其下一跳地址为 3100::2。

配置步骤如下：

```
Switch#config
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-if-Vlan1)#ipv6 address 2000::1/64
Switch(Config-if-Vlan1)#ipv6 neighbor 2000::2 00-00-00-00-00-01 interface Ethernet 1/1/1
Switch(config)#interface vlan 2
Switch(Config-if-Vlan2)#ipv6 address 3000::1/64
Switch(Config-if-Vlan2)#ipv6 neighbor 3000::2 00-00-00-00-00-02 interface Ethernet 1/1/2
Switch(config)#interface vlan 3
Switch(Config-if-Vlan3)#ipv6 address 3100::1/64
Switch(Config-if-Vlan3)#ipv6 neighbor 3100::2 00-00-00-00-00-03 interface Ethernet 1/1/5
Switch(config)# ipv6 access-list extended b1
Switch(Config-IPv6-Ext-Nacl-b1)# permit 2000::/64 any-destination
Switch(Config-IPv6-Ext-Nacl-b1)#exit
Switch(config)#class-map c1
Switch(config-ClassMap)#match ipv6 access-group b1
Switch(config-ClassMap)#exit
Switch(config)#policy-map p1
Switch(config-PolicyMap)#class c1
Switch(config-Policy-Class)#set ipv6 nexthop 3100::2
Switch(config--Policy-Class)#exit
Switch(config-PolicyMap)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(Config-Ethernet1/1/1)#service-policy input p1
```

配置结果：

先设置一个包含一个项的 ACL b1，匹配源 IP 网段 2000::/64（允许）。全局启动 QoS 功能，创建一个 class-map：c1，在 class-map 中匹配 ACL b1，再创建一个 policy-map：p1，在 p1 中引用 c1，设置下一跳 IP 为 3100::2。然后在端口 ethernet 1/1/1 应用此 policy-map。设置后，端口 ethernet 1/1/1 上对于源 IP 为网段 2000::/64 的报文经 3100::2 转发。

7.12.3.4 PBR 排错帮助

- 目前策略表只支持绑定到入口，对出口不支持。
- 受硬件资源限制，如果策略过于复杂，配置不上，会提示用户相关信息。

7.13 基于流的重定向

7.13.1 基于流的重定向介绍

基于流的重定向功能是指交换机把端口接收到的、符合特定条件（ACL 指定）的数据帧转发到另一个指定的端口；其中符合同一个特定的条件称为一类流，数据帧的入端口称为重定向源端口，指定的出端口称为重定向目的端口。通常基于流的重定向应用在两个方面：1.在重定向目的端口处连接一个协议分析仪（如 Sniffer）或者 RMON 监测仪，可以监视和管理网络，并且能诊断网络故障；2.为特定类型的数据帧指定转发策略。

交换机只能为同一个重定向源端口内的同一类流指定一个唯一的重定向目的端口，为同一个重定向源端口内的不同流指定一个不同的重定向目的端口；同一类流也可以应用到不同的源端口。

7.13.2 基于流的重定向配置任务序列

1. 基于流的重定向配置
2. 查看当前的基于流的重定向配置

1.基于流的重定向配置

命令	解释
物理接口配置模式	
access-group <*aclname*> redirect to interface [ethernet <*IFNAME*>|<*IFNAME*>] **no access-group <aclname> redirect**	为端口指定基于流的重定向；本命令的 no 操作为删除基于流的重定向

2.查看当前的基于流的重定向配置

命令	解释
全局配置模式/特权用户配置模式	
show flow-based-redirect {interface [ethernet	显示当前系统/端口中配置的

<IFNAME>|*<IFNAME>*] }	基于流的重定向信息

7.13.3 基于流的重定向举例

案例：

用户有如下的配置需求：将 1 端口收到的源 IP 为 192.168.1.111 的帧重定向到 6 端口，即从 1 端口收到的源 IP 为 192.168.1.111 的帧通过 6 端口转发出去。

配置修改：

1：配置一条 ACL，匹配条件：源 IP 为 192.168.1.111；

2：将基于该流的重定向应用到端口 1。

配置步骤如下：

Switch(config)#access-list 1 permit host 192.168.1.111

Switch(config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(Config-If-Ethernet1/1/1)# access-group 1 redirect to interface ethernet 1/1/6

7.13.4 基于流的重定向排错帮助

当配置基于流的重定向功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- 流的类型（ACL）只能为数字标准 IP 访问列表、数字扩展 IP 访问列表、命名标准 IP 访问列表、命名扩展 IP 访问列表、数字标准 IPv6 访问列表和命名标准 IPv6 访问列表；

☞ACL 中不能配置 Timerange 和 Portrange 参数，ACL 类型必须为 Permit。

☞基于流的重定向功能，其重定向目的端口必须为千兆口。

☞不能实现流的重定向的跨 Vlan 转发。

7.14 Egress QoS

7.14.1 Egress QoS 介绍

在传统的 IP 网络中，所有的报文都被无区别的等同对待，每个网络设备对所有的报文均采用先入先出的策略进行处理，它尽最大的努力（Best-Effort）将报文送到目的地，但对报文传送的可靠性、传送延迟等性能不提供任何保证。网络发展日新月异，随着 IP 网络上新应用的不断出现，对 IP 网络的服务质量也提出了新的要求。例如 VoIP 和视频等时延敏感业务对报文的传输时延提出了较高要求。如果报文传送延时太长，将是用户所不能接受的（相对而言，E-Mail 和 FTP 业务对时间延迟并不敏感）。为了支持具有不同服务需求的语音、视频以及数据等业务，要求网络能够区分出不同的通信，进而为之提供相应的服务。传统

IP 网络的尽力服务不可能识别和区分出网络中的各种通信类别，而具备通信类别的区分能力正是为不同的通信提供差异化服务的前提，所以说传统网络的尽力服务模式已不能满足应用的需要。QoS 技术的出现便致力于解决这个问题。

Egress Policymap 即出口 QoS 策略，Egress PolicyMap 可以在出口方向对报文进行 QoS 控制，通过利用各种各样的技术为选定的网络通信提供更好的服务的能力。Egress PolicyMap 包括 class-map、policy-map 两大部分，class-map 用于选定操作的数据包，policy-map 用于设定使用何种操作。目前仅部分设备支持 Egress QoS。

7.14.1.1 Egress QoS 术语

Egress QoS：在端口出方向实现 QoS 功能。

Inner_vid：双 TAG 的时候，靠近网络层头的 TAG 所带的 vlan id。

Outer_vid：双 TAG 的时候，靠近网络链路层包头的 TAG 所带的 vlan id。一个 TAG 就默认为 outer tag。

Outer_tpid：网络链路层包头的协议类型，表示 outer tag 的类型。

7.14.1.2 Egress QoS 基本模型

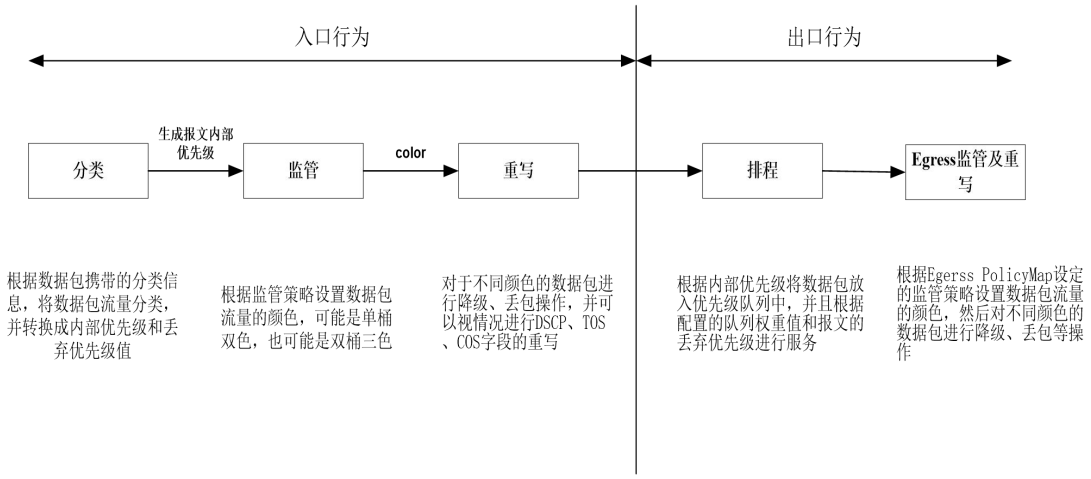


图 6-48 Egress QoS 基本魔性

Egress 监管及重写根据上游报文的特点（包括：CoS、DSCP 等域值），在报文出口之前，对报文进行最后一次 QoS 修改。

监管行为可以基于流配置不同的监管策略，为分类后的流量分配带宽，带宽的分配策略可以是双桶双色，也可以是双桶三色。流量会被分配不同的颜色（color），对不同颜色的流量可以选择丢包、通过两种处理方式；对于通过处理方式的数据包，可以附加重写动作。下面的流程图详细说明 Egress QoS 流程：

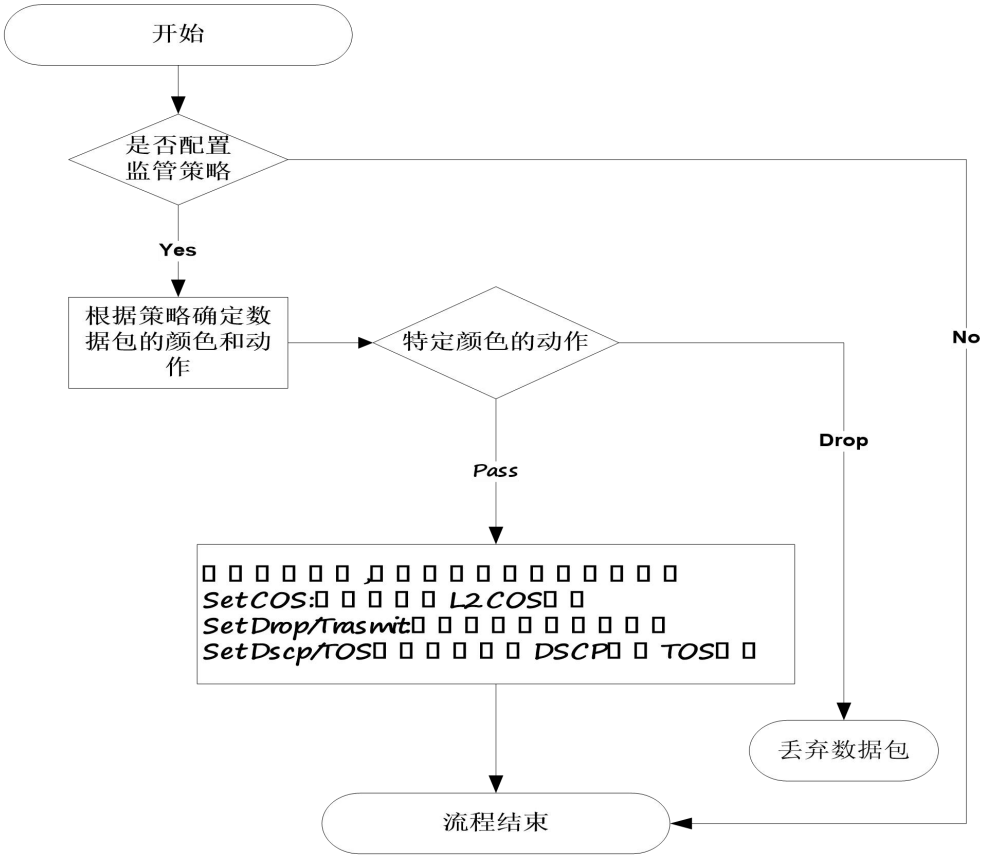


图 6-49 Egress QoS 流程

7.14.2 Egress QoS 配置

Egress QoS 配置任务序列如下：

配置分类表（classmap）

建立一个分类规则，可以按照 ACL、CoS、VLAN ID、IPv4 Precedent、DSCP、IPv6 DSCP 来分类。之后，对于不同类别的数据流采取不同的策略。

配置策略表（policymap）

对数据流进行分类之后，就可以建立一个策略表，之后就可以将其对应一个先前建立的 class-map，进入策略分类表模式，然后就可以对于不同的数据流采取不同的策略，如带宽限制、分配新的 DSCP 值等等。

将 Egress QoS 应用到端口或 VLAN

配置端口的信任模式，或者绑定策略。策略只有绑定到具体的端口，才在此端口生效。策略也可以绑定到具体的 VLAN 上。

1. 配置分类表（class-map）

命令	解释
全局配置模式	
class-map <*class-map-name*>	建立一个 class-map（分类表），并进入

no class-map <*class-map-name*>	class-map 模式；本命令的 no 操作为删除指定的 class-map。
match {access-group <*acl-index-or-name*> | ip dscp <*dscp-list*> | ip precedence <*ip-precedence-list*> | ipv6 dscp <*dscp-list*> | vlan <*vlan-list*> | cos <*cos-list*> | ipv6 access-group <*acl-index-or-name*>} **no match {access-group | ip dscp | ip precedence | ipv6 dscp | vlan | cos | ipv6 access-group}**	设置分类表中的匹配标准，可以根据 ACL、CoS、VLAN ID、IPv4 Precedence、DSCP、IPv6 DSCP 优先级等对数据流进行分类；本命令的 no 操作为删除指定的匹配标准。

2．配置策略表（policy-map）

命令	解释
全局配置模式	
policy-map <*policy-map-name*> **no policy-map <*policy-map-name*>**	建立一个 policy-map（策略表），并进入 policy-map（策略表）模式；本命令的 no 操作为删除指定的 policy-map。
class <*class-map-name*> [insert-before <*class-map-name*>] **no class <*class-map-name*>**	建立一个 policy-map（策略表）之后，可以将其对应于一个 class（策略分类表），并进入策略分类表模式，之后就可以对不同的数据流采取不同的策略或者分配一个新的 DSCP 值；本命令的 no 操作为删除指定策略分类表。
set {ip dscp <*new-dscp*> | ip precedence <*new-precedence*> | cos <*new-cos*> | c-vid <*new-c-vid*> | s-vid <*new-s-vid*> | s-tpid <*new-s-tpid*>} **no set {ip dscp | ip precedence | cos | c-vid | s-vid | s-tpid}**	为分类后的流量分配一个新的 DSCP、CoS 和 IP Precedence 值等；本命令的 no 操作为取消分配新的值。
单桶模式： **policy <*bits_per_second*> <*normal_burst_bytes*> ({conform-action ACTION} | exceed-action ACTION})** **双桶模式：** **policy <*bits_per_second*> <*normal_burst_bytes*> [pir <*peak_rate_bps*>] | <*maximum_burst_bytes*> [{conform-action ACTION | exceed-action**	为分类后的流量配置一个策略，支持三色 color 的非聚合 Policy 命令，根据配置参数解析出令牌桶的工作模式，是单速单桶、单速双桶还是双速双桶，并且给不同颜色报文设置相应动作。no 命令删除模式配置。单桶模式只有特定的交换机支持。

ACTION | violate-action ACTION}] **ACTION 定义：** **drop | transmit | set-dscp-transmit <*dscp_value*> |** **set-cos-transmit <*cos_value*>** **no policy**	
accounting **no accounting**	为分类后的流量设置统计功能。在策略分类表配置模式下将功能开启后，会对策略分类表中的流量增加统计功能，单桶模式，报文经过 policy 时仅会有绿色和红色两种颜色，打印统计信息时 in-profile 表示绿色，out-profile 表示红色；双桶模式下，会有三种颜色的报文，in-profile 表示绿色，out-profile 表示红色和黄色。

3．清除特定端口或者 VLAN 的 Accounting 数据

命令	解释
特权配置模式	
clear **mls qos statistics [interface <interface-name> | vlan <vlan-id>/**	清除特定端口或者 vlan Policy Map 的 Accounting 数据，如果不带参数，清除所有的 Policy Map 的 Accounting 数据。

4．显示 QoS 的配置信息

命令	解释
特权配置模式	
show mls qos {interface [<*interface-id*>] [policy | queuing] | vlan <*vlan-id*>}	显示 QoS 在交换机端口上的配置信息。
show class-map [<*class-map-name*>]	显示 QoS 的分类表信息。
show policy-map [<*policy-map-name*>]	显示 QoS 的策略表信息。

7.14.3 Egress QoS 举例

案例 1：

在端口 1 的出口方向，对于 dscp 值为 0 的报文，选取的动作为将该报文 cos 值改为 4。

创建一个分类表

Switch(config)#class-map c1

switch(config-classmap-c1)#match ip dscp 0

switch(config-classmap-c1)#exit

创建一个策略表

switch(config)#policy-map p1

switch(config-policymap-p1)#class c1

switch(config-policymap-p1class-c1)#set cos 4

switch(config-policymap-p1-class-c1)#exit

switch(config-policymap-p1)#exit

将策略绑定在端口

switch(config)#in e 1/1/1

switch(config-if-ethernet1/1/1)#service-policy input p1

案例 2：

在 vlan 10 的出方向，对于 ipv6 dscp 值为 7 的报文，选取的动作为将该报文 cos 值修改为 4。

创建一个分类表

switch(config)#class-map c1

switch(config-classmap-c1)#match ipv6 dscp 7

switch(config-classmap-c1)#exit

创建一个策略表

switch(config)#policy-map p1

switch(config-policymap-p1)#class c1

switch(config-policymap-p1-class-c1)#set cos 4

switch(config-policymap-p1-class-c1)#exit

switch(config-policymap-p1)#exit

将策略绑定在 vlan

switch(config)#service-policy input p1 vlan 10

7.14.4 Egress QoS 排错帮助

- 目前仅部分设备支持 Egress QoS，请确认当前设备支持该功能
- 如果配置的 policy 无法绑定到端口或 VLAN，请确认分类表中 match 的选项当前设备是否支持
- 如果终端打印提示资源不足，请确认有足够的资源下发当前配置的 policy
- 如果配置了 match acl 的 policy 无法绑定到端口或 VLAN，请确认 ACL 中存在规则并且包含有 permit 规则

7.15 灵活 QinQ

7.15.1 灵活 QinQ 功能介绍

7.15.1.1 QinQ 技术

Dot1q-tunnel 也称 QinQ（802.1Q-in-802.1Q），是对 802.1Q 的扩展，其核心思想是将用户私网 VLAN 标签（CVLAN tag）封装到公网 VLAN 标签（SPVLAN tag）上，报文带着两层 VLAN 标签穿越服务商的骨干网络，从而为用户提供一种较为简单的二层隧道。它简单而易于管理，仅仅通过静态配置即可实现，特别适用于小型的以三层交换机为骨干的企业网或小规模城域网。

QinQ 分为两种，基本 QinQ 和灵活 QinQ，两者优先级关系为：灵活 QinQ 优先级大于基本 QinQ。

7.15.1.2 基本 QinQ

基本 QinQ 是基于端口的：当端口上配置了 QinQ 后，不论从该端口收到的报文是否带 tag，设备都会为该报文打上本端口缺省的 VLAN tag。基本 QinQ 使用起来比较简单，但设置 VLAN tag 的方式欠缺灵活。

7.15.1.3 灵活 QinQ

灵活 QinQ 是基于数据流的：通过匹配具体的流来选择是否打上外层 VLAN Tag，打上何种外层 VLAN Tag：如根据用户 VLAN tag，MAC 地址，IPv4/IPv6 地址，IPv4/IPv6 协议，应用程序端口号等实施灵活 QinQ 特性。这样可以根据不同用户，不同业务等对报文进行外层 VLAN Tag 封装，对多种业务实施不同的承载方案。

7.15.2 灵活 QinQ 配置

灵活 QinQ 配置任务序列

灵活 QinQ 数据流的匹配采用 QOS 的 policy map 规则下发，配置序列如下：

1、创建分类表，对不同的数据流进行分类

2、创建灵活 QinQ 策略表，与分类表进行关联，并设置相应的操作

3、绑定灵活 QinQ 策略表到端口

1．配置分类表（classmap）

命令	解释
全局配置模式	
class-map <*class-map-name*> **no class-map <*class-map-name*>**	建立一个 class-map（分类表），并进入 class-map 模式；本命令的 no 操作为删除指定的 class-map。
match {access-group <*acl-index-or-name*> | ip	设置分类表中的匹配标准，可以根据

dscp <*dscp-list*>| ip precedence <*ip-precedence-list*> | ipv6 access-group <*acl-index-or-name*> | ipv6 dscp <*dscp-list*> | ipv6 flowlabel <flowlabel-list> | vlan <vlan-list> | cos <*cos-list*>} **no match {access-group | ip dscp | ip precedence | ipv6 access-group | ipv6 dscp | ipv6 flowlabel | vlan | cos}**	ACL、CoS、VLAN ID、IPV4 Precedent、DSCP 等对数据流进行分类；本命令的 no 操作为删除指定的匹配标准。

2. 配置灵活 QinQ 策略表（policymap）

命令	解释
全局配置模式	
policy-map <*policy-map-name*> **no policy-map <*policy-map-name*>**	建立一个 policy-map（策略表），并进入 policy-map（策略表）模式；本命令的 no 操作为删除指定的 policy-map。
class <*class-map-name*> [insert-before <class-map-name>] **no class <*class-map-name*>**	建立一个 policy-map（策略表）之后，可以将其对应于一个 class（策略分类表），并进入策略分类表模式，之后就可以对不同的数据流采取不同的策略或者分配一个新的 DSCP 值；本命令的 no 操作为删除指定策略分类表。
set s-vid <vid> **no set s-vid**	为分类后的流量增加外层 VLAN Tag；本命令的 no 操作为取消对 VLAN Tag 的操作。

3．绑定灵活 QinQ 策略表到端口

命令	解释
端口配置模式	
service-policy <*policy-map-name*> in **no service-policy <*policy-map-name*> in**	在端口上应用策略表；本命令的 no 操作为删除应用到交换机端口的某个指定策略表。

4．显示端口绑定的灵活 QinQ 策略表

命令	解释
特权配置模式	
show mls qos {interface [<interface-id>]	显示灵活 QinQ 在交换机端口上的配置信息。

7.15.3 灵活 QinQ 举例

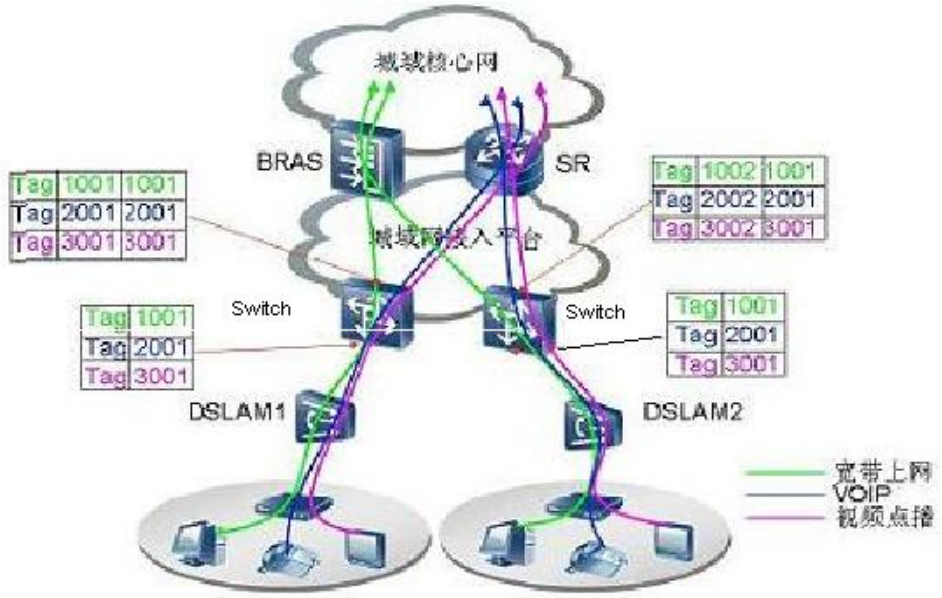


图 6-50 灵活 QinQ 应用拓扑

如上所示：比如 DSLAM1 下的用户甲，分配三个 VLAN，VLAN 标签值分别为 1001，2001，3001，VLAN1001 对应宽带上网，VLAN2001 对应 VOIP 业务，VLAN3001 对应 VOD 业务，在业务进入 Switch 交换机的下行端口后，下行端口启用灵活 QINQ 功能，根据用户 VLAN ID 分别打上不同的外层标签，如果用户数据外层标签为 1001，直接在外层增加一层标签 1001（该标签在公网唯一），业务进入 Switch 上的宽带上网 VLAN1001，数据分流到 BRAS 设备，如果标签为 2001，根据流规则，外层增加 VLAN TAG2001，业务分流到 SR 设备，同理，标签为 3001 的数据会增加一层外层标签 3001，然后分流到 SR。同理，在 DSLAM2 下的乙用户，其不同的业务可以分配不同的 VLAN 标签，注意，这里分配的 VLAN 标签可以和甲用户分配的标签相同，在进入 Switch 后根据内层标签增加一个外层标签，注意，外层标签和甲用户分配的不同，主要是为了区分 DSLAM 的位置，也是为了最终定位用户。

配置步骤如下：

假如 DSLAM1 流量业务进入 Switch 交换机下行端口为端口 1，此 Switch 配置如下：

Switch(config)#class-map c1

Switch(config-classmap-c1)#match vlan 1001

Switch(config-classmap-c1)#exit

Switch(config)#class-map c2

Switch(config-classmap-c2)#match vlan 2001

Switch(config-classmap-c2)#exit

Switch(config)#class-map c3

Switch(config-classmap-c3)#match vlan 3001

Switch(config-classmap-c3)#exit

Switch(config)#policy-map p1
Switch(config-policymap-p1)#class c1
Switch(config-policymap-p1-class-c1)#set **s-vid** 1001
Switch(config-policymap-p1)#class c2
Switch(config-policymap-p1-class-c2)#set **s-vid** 2001
Switch(config-policymap-p1)#class c3
Switch(config-policymap-p1-class-c3)#set **s-vid** 3001
Switch(config-policymap-p1-class-c3)#exit
Switch(config-policymap-p1)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-if-ethernet1/1/1)#service-policy p1 in

DSLAM2 流量业务进入 Switch 交换机下行端口为端口 1，此 Switch 配置如下：

Switch(config)#class-map c1
Switch(config-classmap-c1)#match vlan 1001
Switch(config-classmap-c1)#exit
Switch(config)#class-map c2
Switch(config-classmap-c2)#match vlan 2001
Switch(config-classmap-c2)#exit
Switch(config)#class-map c3
Switch(config-classmap-c3)#match vlan 3001
Switch(config-classmap-c3)#exit
Switch(config)#policy-map p1
Switch(config-policymap-p1)#class c1
Switch(config-policymap-p1-class-c1)#set **s-vid** 1002
Switch(config-policymap-p1)#class c2
Switch(config-policymap-p1-class-c2)#set **s-vid** 2002
Switch(config-policymap-p1)#class c3
Switch(config-policymap-p1-class-c3)#set **s-vid** 3002
Switch(config-policymap-p1-class-c3)#exit
Switch(config-policymap-p1)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-if-ethernet1/1/1)#service-policy p1 in

7.15.4 灵活 QinQ 排错帮助

- 如果配置的灵活 QinQ 策略无法绑定到端口，请确认灵活 QinQ 支持所配置的分类表和策略表动作
- 如果配置的灵活 QinQ 策略无法绑定到端口，如果分类表匹配的是 ACL 规则，请确认

ACL 中包含有 permit 规则

- 如果配置的灵活 QinQ 策略无法绑定到端口，请确认交换机中存在足够的 TCAM 资源下发绑定

7.16 Captive Portal 认证

7.16.1 Captive Portal 认证配置

7.16.1.1 Captive Portal 认证介绍

认证功能是为管理和控制使用网络资源的用户的一种方法。认证功能将客户端的认证信息按照一定的原则存储在认证服务器中，当用户需要使用网络资源时，captive portal 功能将用户的网络请求重定向到认证服务器上，这时需要用户提供被允许的用户名和密码等信息，由认证服务器对用户提供的信息进行判断，以决定是否允许该用户使用网络资源。交换机在认证功能中主要起着传递用户和认证服务器之间通信的作用。通过在交换机上进行配置使得客户端可以与认证服务器进行连接和沟通，并且在认证服务器对客户端信息判断完成后将认证结果和相应处理推向用户。认证功能是建立在重定向功能基础之上的。

重定向功能是一种将原请求重新连接到设定好的地点后再进行后续操作的功能。该功能是在交换机接收到客户端的请求后，将客户端的请求转到一个已经设定好的地址上，之后的操作由客户端和重定向之后的地址进行操作，以此完成某些特定的功能和操作。该操作可以实现达到管理和监控用户的目的。客户端被重定向 portal 认证界面，需要用户填写用户名和密码，只有当该用户名和密码通过认证后才允许用户使用网络资源。Portal 认证方式可以实现对不同类型用户的不同控制策略。

多 portal server 功能是为不同的 CP configuration 配置不同的外置 portal server 的一种方法。绑定在不同 CP configuration 下的端口配置了不同 portal server 之后就可以各自通过自身绑定的 portal server 来推出重定向页面。最多可以配置 10 台外置 portal 服务器。每个 cp configuration 可以绑定一台 portal 服务器。

7.16.1.2 Captive Portal 认证配置

认证功能配置任务序列如下：

1. 打开或关闭 captive portal 认证功能
2. 配置 captive portal 重定向功能
   1）设置或删除 portal 服务器名称
   2）配置用户例程
   3）配置重定向地址
   4）配置重定向 url 头部
   5）设置或删除 radius 服务器名称
   6）配置绑定或者解除 portal 服务器
   7）配置 url 携带 ac-name 参数

8）配置 url 携带 ssid 参数

9）配置 url 携带 nas-ip 参数

3. 配置 AAA 功能

1）打开使能或禁止 AAA 功能

2）配置 RADIUS 认证服务器组名称

4. 配置 RADIUS 认证服务器

1）配置 RADIUS 服务器密钥

2）配置 RADIUS 认证服务器地址

5. 将 portal 规则绑定到端口下

1. 打开或关闭 captive portal 认证功能

命令	解释
Captive portal 配置模式	
enable **disable**	全局打开或关闭 captive portal 功能。

2. 配置 captive portal 重定向功能

命令	解释
Captive Portal 配置模式	
external portal-server server-name <*name*> {ipv4 | ipv6} <*ipaddr*> [port <0-*65535*>] **no external portal-server {ipv4 | ipv6}server-name <*name*>**	配置或删除外置 portal 服务器。
nas-ip4 <A.B.C.D>	配置 nas-ip 地址
configuration <*cp-id*> **no configuration <*cp-id*>**	配置与删除不同类型用户的 portal 例程。该例程可以配置 10 种不同的例程。
Captive Portal Instance 配置模式	
redirect url-head <word> **no redirect url-head**	配置重定向 url 头部分，包括传输协议、主机名、端口和 path 等几个部分。本命令的 no 形式为删除重定向 url 头部分的配置。
radius-auth-server <*server-name*> **no radius-auth-server**	设置或删除 radius 认证服务器名称。
portal-server {ipv4 | ipv6} <*name*> **no portal-server {ipv4 | ipv6}**	绑定或解除绑定 portal 服务器名称。

enable **disable**	打开或关闭某个 portal 例程。
ac-name <word> **no ac-name**	配置重定向 url 中的参数 acname 的值。本命令的 no 形式为删除重定向 url 中的参数 acname 值的配置。
redirect attribute ssid name <word> **no redirect attribute ssid name**	配置在重定向 url 中携带的 ssid 参数名称。本命令的 no 形式为恢复重定向 url 中携带的 ssid 参数名称为默认值。
redirect attribute nas-ip enable **no redirect attribute nas-ip enable**	使能重定向 url 中携带 nas-ip 参数功能。本命令的 no 形式为关闭重定向 url 中携带 nas-ip 参数的功能。
redirect attribute nas-ip name <word> **no redirect attribute nas-ip name**	配置在重定向 url 中携带的 nas-ip 参数的名称。本命令的 no 形式为恢复重定向 url 中携带的 nas-ip 参数的名称为默认值。

3．配置 AAA 功能

命令	解释
全局配置模式	
aaa enable **no aaa enable**	使能或禁止 AAA 功能
aaa group server radius <*word*> **no aaa group server radius <*word*>**	设置或删除设置 AAA 功能的 RADIUS 名称。

4. 配置 RADIUS 认证服务器

命令	解释
全局配置模式	
radius-server key <*word*> **no radius-server key**	设置或删除 RADIUS 服务器密钥。
radius-server authentication host <*A.B.C.D*> **no radius-server authentication host <*A.B.C.D*>**	配置或删除 RADIUS 认证服务器地址。

5. 开启/关闭端口 portal 功能

命令	解释

config 配置模式	
端口模式	
portal enable configuration <id> **no portal enable**	开启端口 portal 认证功能，指定端口绑定的实例号。本命令的 no 形式为关闭端口 portal 认证功能。（必选）

7.16.1.3 Captive Portal 认证举例

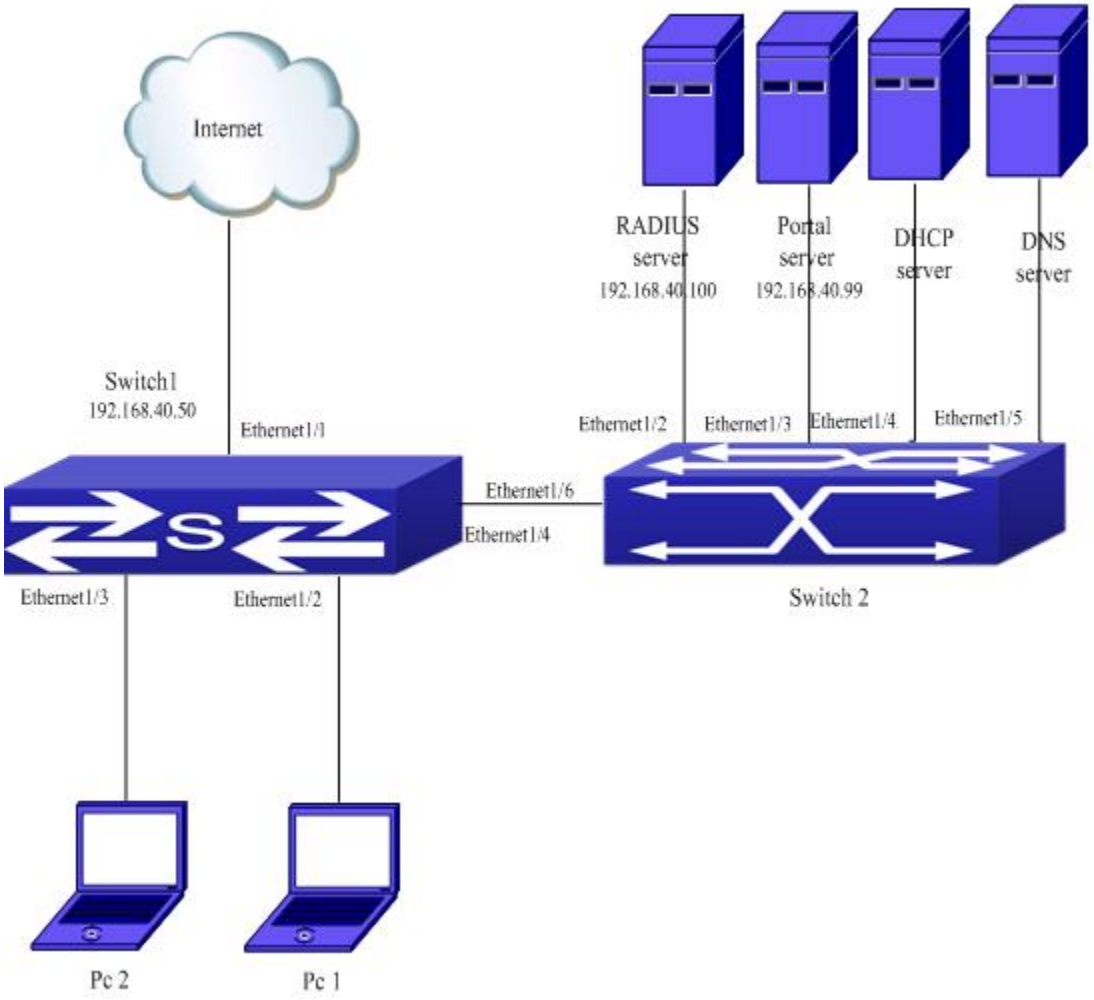


图 6-30 认证功能配置

如图所示，pc1 为终端用户，上面有 http 浏览器，但没有任何 802.1x 认证客户端，pc1 想要通过 portal 认证上网。

交换机是 Switch1 为接入设备，上面配置了计费服务器的地址为 RADIUS 服务器的 IP 和端口，打开了计费功能。其中 Ethernet1/2 和 pc1 相连，端口打开了 portal 认证功能，配置了重定向的地址为 portal 服务器的 IP 和端口，因此端口 Ethernet1/2 禁止所有的流量，只放

行 dhcp/dns/arp 报文通过。

交换机 Switch2 为汇聚交换机，Ethernet1/2 与后台 radius 服务器互通，Ethernet1/3 与 portal 服务器互通。Radius 服务器的地址为 192.168.40.100，portal 服务器的地址为 192.168.40.99。Ethernet1/4 连接的是 DHCP 服务器，Ethernet1/5 连接的是 DNS 服务器。Ethernet1/6 为 trunk 口，与 Switch 1 的 trunk 口 Ethernet1/4 相连。

配置 radius 服务器：

```
switch (config)#radius-server key 0 test
switch (config)#aaa group server radius radius_aaa_1
switch (config-sg-radius)# server 192.168.40.100
```

portal 全局开启认证功能相关的配置如下：

```
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(config-if-vlan1)#ip address 192.168.40.50 255.255.255.0
Switch(config)#free-resource 1 destination ipv4 192.168.40.99/32
```

portal实例下Portal功能、配置Portal Server服务器等信息：

```
Switch (config)#captive-portal
Switch (config-cp)#enable
Switch(config-cp)# nas-ipv4 192.168.40.50
Switch(config-cp)# external portal-server server-name abc ipv4 192.168.40.99
Switch (config-cp)# configuration 1
Switch (config-cp-instance)#name helix4
Switch (config-cp-instance)#radius-auth-server abc99
Switch (config-cp-instance)# redirect attribute nas-ip enable
Switch (config-cp-instance)#redirect attribute nas-ip name kk
Switch (config-cp-instance)#ac-name helix4
Switch (config-cp-instance)#redirect url-head http://192.168.40.99/a70.htm
Switch (config-cp-instance) # portal-server ipv4 abc
```

端口上开启 portal 功能

```
Switch (config)# interface ethernet1/2
Switch (config-if-ethernet1/2)#portal enable configuration 1
```

7.16.1.4 Captive Portal 认证排错帮助

当在使用重定向功能和 Captive Portal 功能过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- ☞ 是否启动了 captive portal 功能以及是否打开了 portal 的 configuration 开关，这两项都应当打开，否则 captive portal 功能不能正常使用，客户端也不能重定向到指定页面。
- ☞ AAA 模块的认证服务器名称与 captive portal 配置的认证服务器名称相同。

☞ pc 和交换机相连的端口上是否打开了 portal 认证功能。

7.16.2 计费功能配置

7.16.2.1 计费功能介绍

计费功能是为对网络中的用户使用网络资源进行监控和计费的功能。客户端在未通过 captive portal 认证功能之前是无法访问网络资源的，只有通过了 portal 认证才能访问网络资源，可以定义用户的会话时长以控制用户使用网络资源的时间和流量等信息。

7.16.2.2 计费功能配置

计费功能配置任务序列如下：

1. 配置 RADIUS 计费服务器

1）设置或删除计费服务器地址

2. 配置 AAA 计费功能

1）打开或关闭计费服务功能

3. 配置 captive portal 计费功能

1）阻塞或解除阻塞 portal 功能

2）设置或删除 captive portal 配置名称

3）打开或关闭 captive portal 计费功能

4）配置或删除 captive portal 计费服务器名称

5）配置或删除 captive portal 会话时长

1. 配置 RADIUS 计费服务器

命令	解释
全局配置模式	
radius-server accounting host <*A.B.C.D*> **no radius-server accounting host <*A.B.C.D*>**	设置或删除计费服务器地址。

2. 配置 AAA 计费功能

命令	解释
全局配置模式	
aaa-accounting enable **no aaa-accounting**	打开或关闭计费服务功能。

3. 配置 captive portal 计费功能

命令	解释

Captive portal 配置模式	
block **no block**	阻塞或解除阻塞 portal 功能
name <*word*> **no name**	设置或删除 captive portal 配置名称。
radius accounting **no aaa-accounting**	打开或关闭 captive portal 计费服务功能。
radius-acct-server <*word*> **no radius-acct-server**	配置或删除 captive portal 计费服务器名称。
session-timeout <*0-86400*> **session-timeout**	配置或删除 captive portal 会话时长。

7.16.2.3 计费功能举例

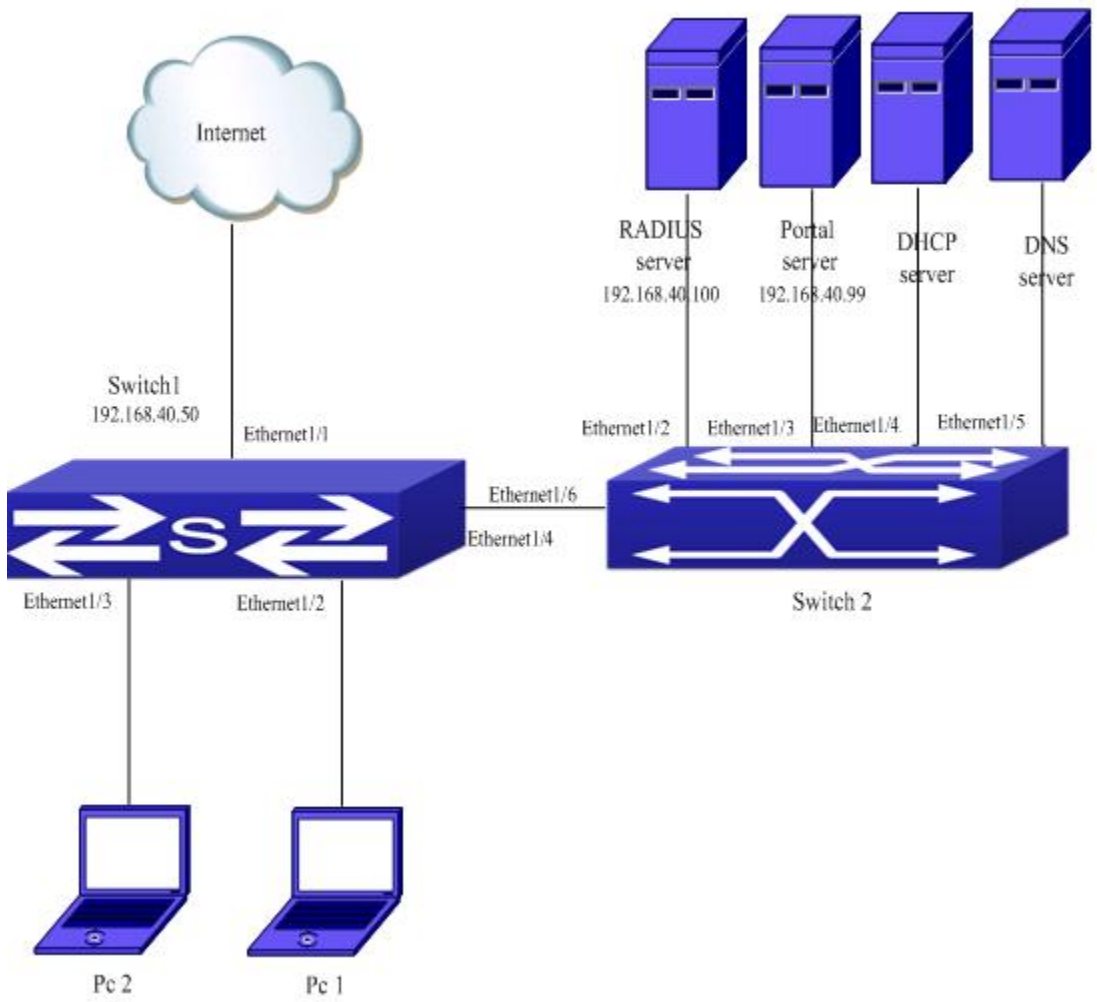


图 6-31 计费功能配置图

1. 在 switch1 上配置 AAA 计费功能

Switch1 的 AAA 配置：

switch 1(config)# aaa enable

switch 1(config)# aaa-accounting enable

switch 1(config)# radius-server accounting host 192.168.40.100

switch1 (config)#radius-server key 0 test

switch1 (config)#aaa group server radius abc99

switch (config-sg-radius)# server 192.168.40.100

2. 在 switch1 上配置 captive portal 计费功能

Switch 1(config)#captive-portal

Switch 1(config-cp)#enable

Switch1 (config-cp)# configuration 1

Switch1 (config-cp-instance)#radius accounting

Switch1 (config-cp-instance)# radius-acct-server abc99

7.16.2.4 计费功能排错帮助

当在使用计费功能过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- 是否启动了 captive portal 功能以及是否打开了 portal 的 configuration 开关，这两项都应当 enable，否则 captive portal 功能不能正常使用。
- AAA 模块的认证服务器名称与 captive portal 配置的认证服务器名称相同。

7.16.3 Free-resource 功能配置

7.16.3.1 Free-resource 功能介绍

Free-resource 功能是 captive portal 模块中实现访问免费资源规则的方法，通过配置 free-resource 规则，可以让某些特定的客户端不通过 portal 认证就可以直接访问特定的网络资源。

7.16.3.2 Free-resource 功能配置

1. 配置 free-resource 规则

命令	解释
config 配置模式	
free-resource destination {ipv4 A.B.C.D/M |ipv6 X:X:X:X/M} **[no] free-resource destination {ipv4 A.B.C.D/M |ipv6 X:X:X:X/M}**	配置或删除 free-resource 规则。

7.16.3.3 Free-resource 功能举例

案例：

搭建环境如下图所示， IP 为客户端 client1 所在的地址段，目的 IP 为客户端想要访问的资源的地址段，指定 RADIUS Server 1 为认证服务器，客户端 client1 和 clint2 可以访问该免费资源 3.1.1.0/24，不会被重定向到认证服务器上，直接就可以成功访问。

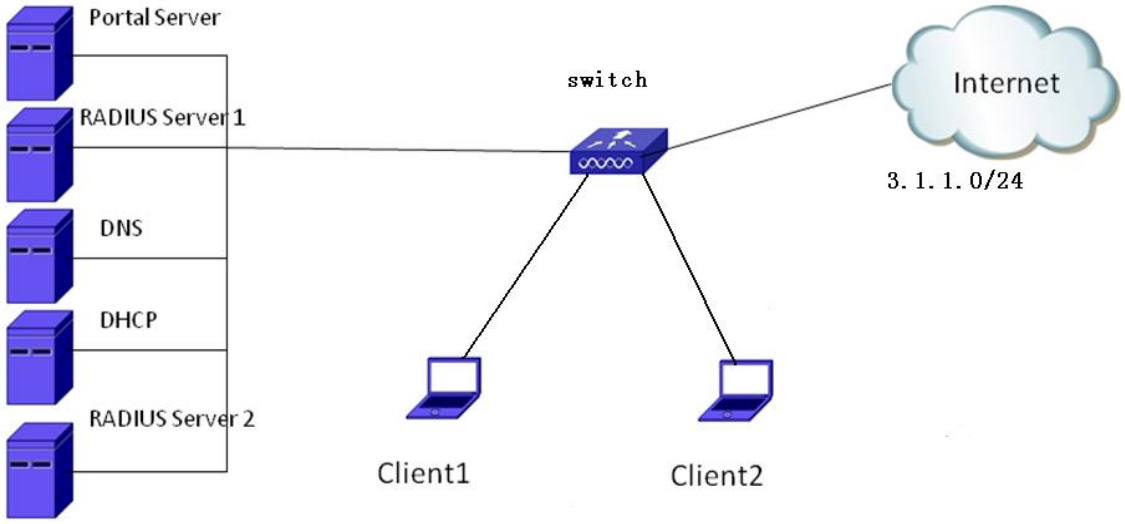


图 6-32 多 portal server 功能配置

配置免费资源步骤：

Switch1 (config-)# free-resource destination ipv4 3.1.1.0/24

7.16.3.4 Free-resource 功能排错帮助

当在使用重定向功能过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- 是否正确启动了 captive portal 功能以及是否打开了 portal 的 configuration 开关，这两项都应当打开，否则多 portal server 功能不能正常使用，客户端也不能重定向到指定页面。
- Client 和交换机互连的端口是否开启了 portal 规则。

7.16.4 认证白名单功能配置

7.16.4.1 认证白名单功能介绍

认证白名单功能是为对网络中某些特殊的用户使用的，管理员可以设置一些用户使其连接到网络之后不需要通过认证即可使用网络资源，但是管理员需要获得该类用户的 mac 地址才能使用该功能，同时具有该权限的用户所使用的网络资源不需要不给计费，因此该类用户的权限属于高级用户类型。

7.16.4.2 认证白名单功能配置

配置具有认证白名单功能权限的用户的 mac

命令	解释
config 配置模式	

free mac < MACADD><MACMASK> **no free mac < MACADD><MACMASK>**	设置或删除可以免认证的 mac 地址。

7.16.4.3 认证白名单功能举例

如图所示，client1 和 client2 为终端用户，和交换机相连的端口开启了 portal 认证，但是这两个用户为高级用户，不需要认证，就可以正常访问资源。

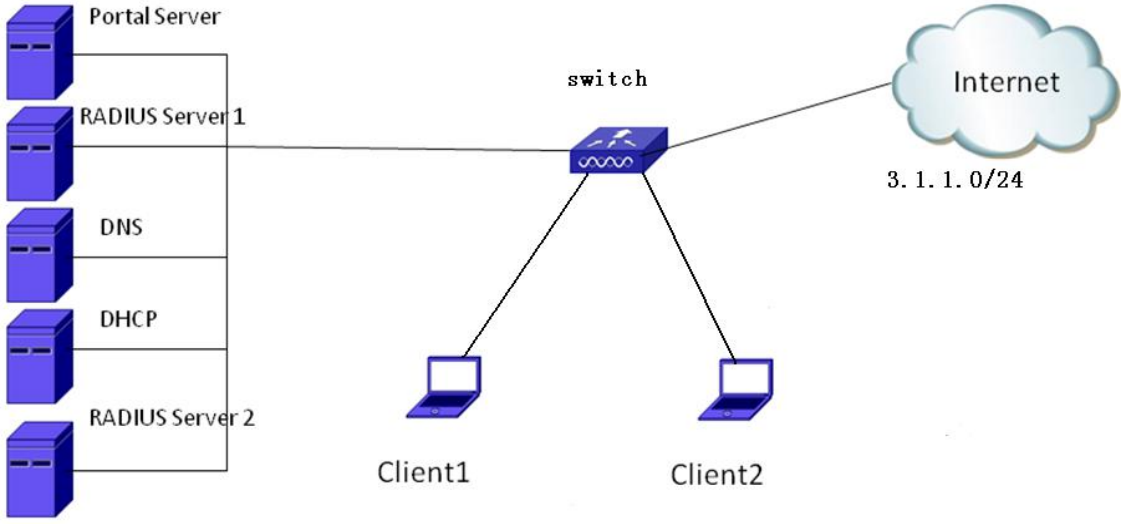


图 6-33 认证白名单功能配置图

配置步骤：

为 pc1 和 pc2 配置免 portal 认证白功能

Switch1 (config)#free-mac 68-74-7f-29-76-04 ff-ff-ff-ff-ff-ff

Switch1 (config)#free-mac 00-03-0f-11-11-11 ff-ff-ff-ff-ff-ff

7.16.4.4 认证白名单功能排错帮助

当在使用认证白名单过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- 配置的 free mac 是否和 client 的 mac 相匹配；
- Client 和交换机互连的端口是否开启了 portal 规则。

7.16.5 认证成功后页面自动推送（暂不支持）

7.16.5.1 认证成功后页面自动推送介绍

认证成功后页面自动推送功能就是在用户通过认证后，能够重新打开用户所需要访问的网页。根据实际情况可以配置用户认证成功后自动推送认证前访问页面，或者自动推送指定的网页。

7.16.5.2 认证成功后页面自动推送配置

认证成功后页面自动推送功能配置序列：

1. 打开或关闭 captive portal 认证功能
2. 配置认证成功后页面自动推送功能

1. 打开或关闭 captive portal 认证功能

命令	解释
Captive portal 配置模式	
enable **disable**	全局打开或关闭交换机的captive portal功能。

2. 配置认证成功后页面自动推送功能

命令	解释
Captive portal instance 配置模式	
redirect attribute url-after-login enable **no redirect attribute url-after-login enable**	使能重定向 url 中携带认证成功后推送 url 地址的功能。本命令的 no 形式为关闭重定向 url 中携带认证陈宫后推送 url 地址的功能。
redirect attribute url-after-login name <name> **no redirect attribute url-after-login name**	配置在重定向 url 中携带认证成功后推送 url 地址的属性值名称。本命令的 no 形式为恢复重定向 url 中携带认证成功后推送 url 地址的属性值名称为默认值。
redirect attribute url-after-login encode {plain-text|base64}	配置对重定向 url 中携带的认证成功后推送 url 地址的编码方式。
redirect attribute url-after-login value <url-value> **no redirect attribute url-after-login value**	配置用户认证成功后弹出的指定页面的 url 地址。本命令的 no 形式为删除用户认证成功后弹出的指定页面的 url 地址。

7.16.5.3 认证成功后页面自动推送举例

案例：

在 configuration 1 中配置认证成功后页面自动推送功能，认证成功后自动推送页面 http://www.test.com。

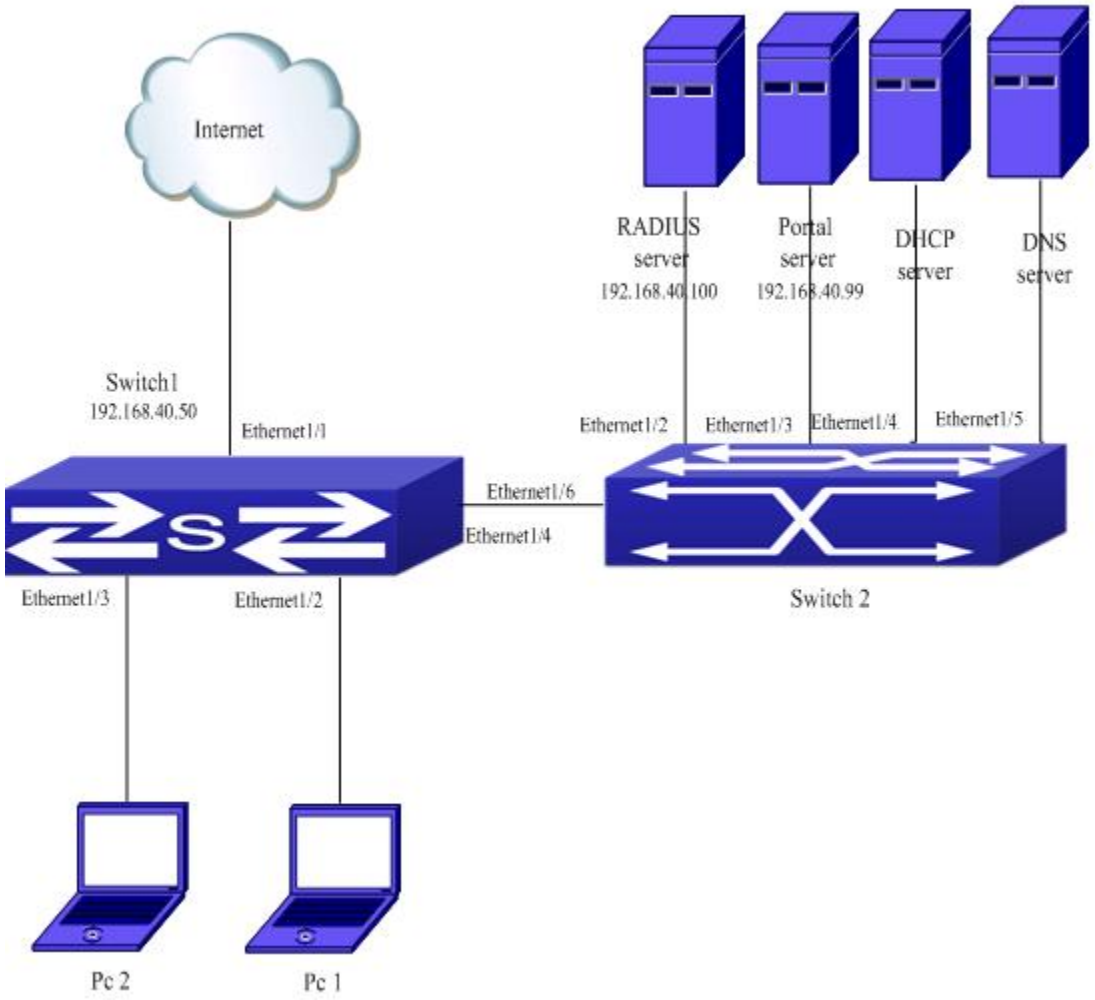


图 6-34 认证成功后页面自动推送功能配置

配置步骤：

为 siwitch1 配置 portal 服务器信息

switch1 (config-cp)#enable

switch1 (config-cp)#configuration 1

switch1 (config-cp-instance)#enable

switch1 (config-cp-instance)# redirect attribute url-after-login enable

switch1 (config-cp-instance)# redirect attribute url-after-login encode plain-text

switch1 (config-cp-instance)# redirect attribute url-after-login name ad

switch1 (config-cp-instance)# redirect attribute url-after-login value http://www.test.com

7.16.5.4 认证成功后页面自动推送排错帮助

当在使用认证成功后页面自动推送功能过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- ☞ 是否正确配置了 captive portal 的认证功能。认证成功后页面自动推送功能需要 captive portal 功能正常的情况下才能生效。
- ☞ 若配置了命令 redirect attribute url-after-login value，则认证通过后页面自动推送配置的

页面地址，若没有配置该命令则推送的页面为用户认证前访问的页面。

☞ 客户端认证前访问的页面或命令指定的推送页面是否存在，若不存在页面推送后也无法访问。

7.16.6 http-redirect-filter

7.16.6.1 http-redirect-filter 介绍

http-redirect-filter 为 portal 认证的 HTTP 重定向指定 IP 或域名，只有匹配了这个 IP 或域名的 HTTP 报文才做重定向处理。

此功能与 Captive Portal 功能结合使用，即在开启了 Captive Portal 接入认证的情况下，实现对用户的访问进行过滤。

7.16.6.2 http-redirect-filter 配置

http-redirect-filter 功能配置序列：

1. 配置 http-redirect-filter 规则
2. 配置 http-redirect-filter 规则到 cp instance 中

1. 配置 http-redirect-filterr 规则

命令	解释
captive portal 模式	
http-redirect-filter <1-32> (ip A.B.C.D| domain WORD) **no http-redirect-filter (<1-32>|all)**	配置 http-redirect-filter 规则。本命令的 no 形式为删除规则。

2. 配置 http-redirect-filterr 规则到 cp instance 中

命令	解释
captive portal 模式	
http-redirect-filter <1-32> **no http-redirect-filter (<1-32>|all)**	绑定 http-redirect-filter 规则到 captive portal configuration 下。本命令的 no 形式为解除 captive portal configuration 下 http-redirect-filter 的绑定。

7.16.6.3 http-redirect-filter 举例

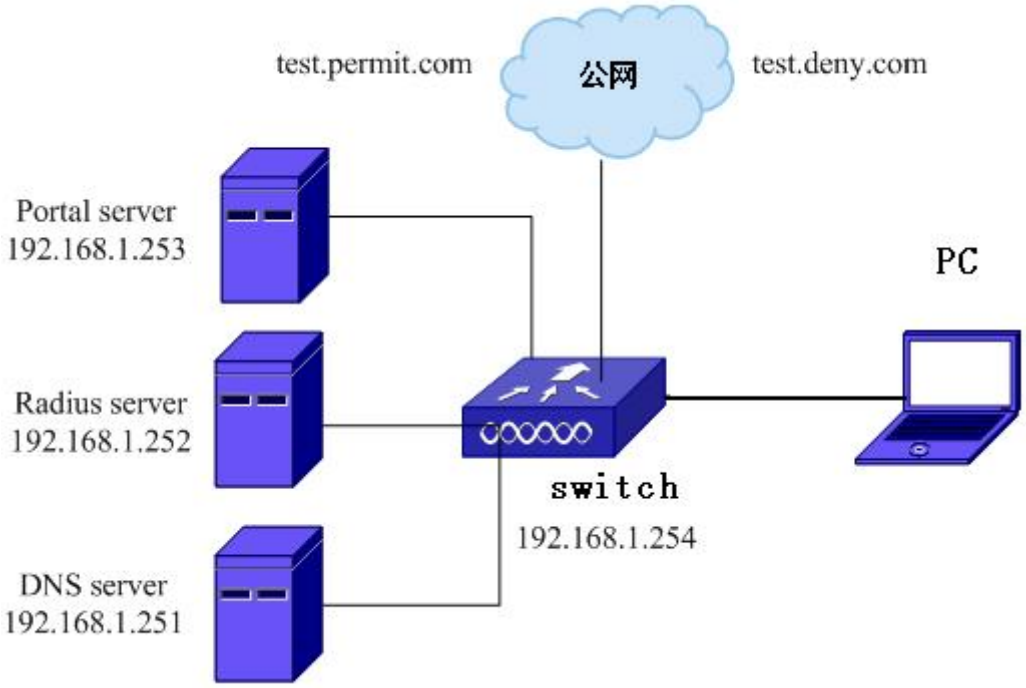


图 6-35 http-redirect-filter **功能典型案例**

如上图所示的拓扑，client 在通过 portal 认证前想要访问公网地址“test.permit.com”需要配置 url 白名单，client 认证通过后需要禁止访问公网地址“test.deny.com”需要配置 url 黑名单。

按照以下步骤进行配置：

1. 全局模式下配置 RADIUS server 相关的认证密钥，认证服务器，计费服务器，aaa 模式等信息：

switch (config)#radius-server key 0 test

switch (config)#radius-server authentication host 192.168.1.252

switch (config)#radius-server accounting host 192.168.1.252

switch (config)#aaa-accounting enable

switch (config)#aaa enable

switch (config)#aaa group server radius radius_aaa_1

switch config-sg-radius)# server 192.168.1.252

switch(config)#interface vlan 192

switch(config-if-vlan1)#ip address 192.16.1.254 255.255.255.0

switch(config)#free-resource 1 destination ipv4 192.168.1.252/32

2. portal 实例下 Portal 功能、配置 Portal Server 服务器等信息：

Switch (config)#captive-portal

Switch (config-cp)#enable

Switch(config-cp)# nas-ipv4 192.168.1.254

Switch(config-cp)# external portal-server server-name abc ipv4 192.168.1.253

Switch (config-cp)# configuration 1

```
Switch (config-cp-instance)#enable
Switch (config-cp-instance)#name helix4
Switch (config-cp-instance)#radius accounting
Switch (config-cp-instance)#radius-acct-server abc99
Switch (config-cp-instance)#radius-auth-server abc99
Switch (config-cp-instance)#redirect attribute nas-ip enable
Switch (config-cp-instance)#ac-name helix4
Switch (config-cp-instance)#redirect url-head http://192.168.1.253/a70.htm
Switch (config-cp-instance)#portal-server ipv4 abc
```

3. 配置 http-redirect-filter 规则：

```
Switch (config)#captive-portal
Switch (config-cp)# http-redirect-filter 1 domain test.permit.com
Switch (config-cp)#configuration 1
Switch (config-cp-instance)# http-redirect-filter 1
```

4. 端口上开启 portal 功能：

```
Switch (config)# interface ethernet1/2
Switch (config-if-ethernet1/2)#portal enable configuration 1
```

通过配置，可以看出在 client 认证通过前只有访问“test.permit.com”，才能正常重定向认证，访问其它地址，则不能重定向。

7.16.6.4 http-redirect-filter 排错帮助

在使用中，如果发现 http-redirect-filter 功能无法正常使用，可以采用下面的检查步骤：

- 查看配置的匹配的规则内容是否与访问的域名匹配；
- DNS server 的配置是否正确，能否正确解析出配置的域名；
- captive-portal configuration 下 http-redirect-filter 命令是否配置。

7.16.7 Portal 无感知

7.16.7.1 Portal 无感知介绍

MAC 认证具备“一次认证，多次使用”用户体验。如果开通了 MAC 快速认证，用户首次登陆 Portal 页面成功认证后，后续用户就可以用任意应用上网。

为了实现大量用户的 MAC 快速认证，必须使用外置的服务器来保存 MAC 绑定信息，并且能够动态的添加，而不是手动添加，这一新的实现方案被称为 MAC 快速认证方案，由于用户再次接入网络时不需要手动输入用户名和密码进行认证，因此也称为 Portal 无感知认证方案。

7.16.7.2 Portal 无感知配置

1. 开启/关闭 mac 快速认证功能

命令	解释
captive portal config 模式	
fast-mac-auth **no fast-mac-auth**	开启或关闭 mac 快速认证功能。

7.16.7.3 Portal 无感知举例

搭建环境如下图所示，其中包括以下几部分：

1、PC，用户通过交换机接入网络。

2、公共网，此部分可以没有，也可以是其他的交换机设备。

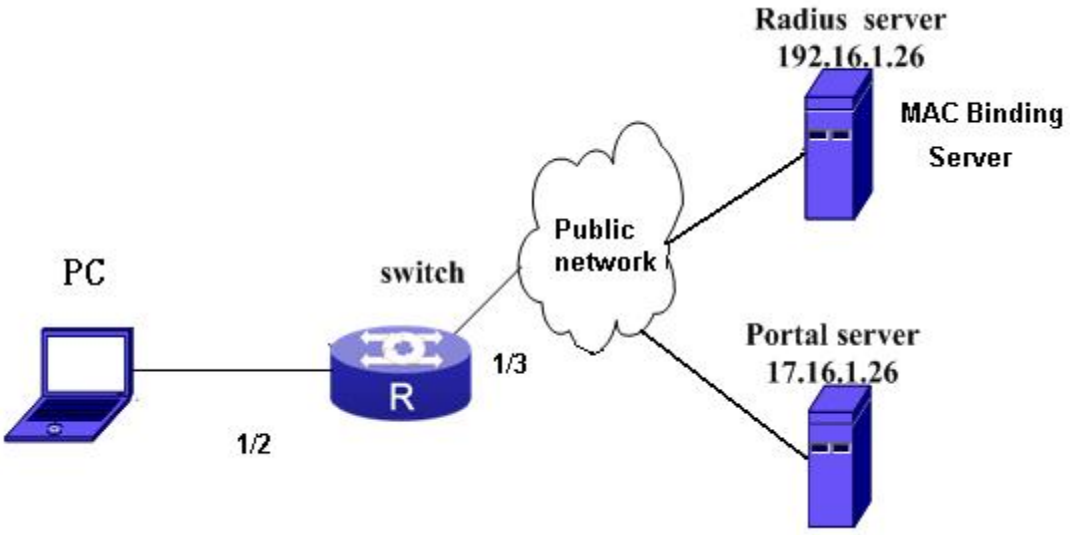
3、服务器，其中包括：

MAC 绑定服务器，用于保存曾经认证通过的终端 MAC 地址；

Radius 服务器，用于对用户进行 portal 认证和计费；

Portal 服务器，用于对用户进行 portal 认证时使用；

MAC 绑定服务器、Radius 服务器、portal 服务器可以是一台设备，MAC 绑定服务器是在 Radius 服务器上的扩展。



按照以下步骤进行配置：

1. 具体的配置如下：全局模式下配置 RADIUS server 相关的认证密钥，认证服务器，计费服务器，aaa 模式等信息：

switch (config)#radius-server key 0 test

switch (config)#radius-server authentication host 192.16.1.26

switch (config)#radius-server accounting host 192.16.1.26

switch (config)#aaa-accounting enable

switch (config)#aaa enable

switch (config)#aaa group server radius radius_aaa_1

switch config-sg-radius)# server 192.16.1.26

```
switch(config)#interface vlan 192
switch(config-if-vlan1)#ip address 192.16.1.50 255.255.255.0
switch(config)#free-resource 1 destination ipv4 192.16.1.26/32
```

2. portal 实例下 Portal 功能、配置 Portal Server 服务器等信息：

```
Switch (config)#captive-portal
Switch (config-cp)#enable
Switch(config-cp)# nas-ipv4 192.168.1.50
Switch(config-cp)# external portal-server server-name abc ipv4 172.16.1.26
Switch (config-cp)# configuration 1
Switch (config-cp-instance)#enable
Switch (config-cp-instance)#name helix4
Switch (config-cp-instance)#radius accounting
Switch (config-cp-instance)#radius-acct-server abc99
Switch (config-cp-instance)#radius-auth-server abc99
Switch (config-cp-instance)#redirect attribute nas-ip enable
Switch (config-cp-instance)#ac-name helix4
Switch (config-cp-instance)#redirect url-head http://172.16.1.26/a70.htm
Switch (config-cp-instance) # portal-server ipv4 abc
```

3. 配置 portal 无感知：

```
Switch (config-cp)#enable
Switch (config-cp)# configuration 1
Switch (config-cp-instance)#fast-mac-auth
```

4. 端口上开启 portal 功能：

```
Switch (config)# interface ethernet1/2
Switch (config-if-ethernet1/2)#portal enable configuration 1
```

用户第一次访问网络需要 portal 正常认证，之后即可以 portal 无感知认证。

7.16.7.4 Portal 无感知排错帮助

使用 Portal 无感知功能过程中如遇到问题，请检查是否是以下原因导致：

- ☞ 查看是否已开启 captive-portal 功能；
- ☞ 查看是否已开启 mac 快速认证功能；
- ☞ 配置完成 mac 快速认证功能后如果未生效查看是否向交换机下发了 app 表项。

7.16.8 Portal 逃生

在目前的 Portal 实际组网应用中，存在这样的一个风险，当接入设备与 Portal 服务器

的通信中断，会造成新用户无法上线，已经在线的 Portal 用户无法正常下线，接入设备和 Portal 服务器信息不一致引起的计费错误。这些现象会给网络运营商和使用者带来很大的不便。

针对上面的问题，portal 逃生功能提供了一个很好的解决方式，在 Portal 服务器或者 radius 服务器无法正常工作的情况下，让已经在线用户仍然可以正常使用网络，新用户仍然可以上线接入网络，因此 Portal 逃生又分 portal server 逃生和 radius server 逃生。

7.16.8.1 Portal Server 逃生功能

7.16.8.1.1 Portal Server 逃生介绍

Portal server 逃生功能的原理：交换机周期性探测 Portal 服务器，若探测成功则将服务器状态置为 UP，若探测失败 N 次（N 可配置）则将不可达则变成 Down 状态（逃生状态），取消网络的认证限制，允许 Portal 用户不需经过认证即可访问网络资源，并发送状态改变的 Trap 信息和日志。当探测到服务器可达时，恢复服务器状态为 Up 状态（认证状态），并重新开启网络认证限制，不允许未认证的用户访问网络，并发送状态恢复的日志和 Trap。

交换机探测 Portal 服务器状态的具体实现方式是探测 TCP 连接：交换机定期向 Portal 服务器的 portal 服务端口(默认 2000，可配置)发起 TCP 连接。若连接成功建立则表示此服务器的 portal 服务已开启，就认为一次探测成功且服务器可达（状态为 Up）；若连接失败则认为一次探测失败。

探测周期及最大探测失败次数：通过命令行可以配置每次探测之间的时间间隔，此间隔称为探测周期。最大探测失败次数是判断服务器不可达前所必须经历的连续探测失败次数。一次探测失败并不一定认为服务器不可达，而需要查看连续探测失败的次数是否达到配置的最大探测失败次数，若达到此值则认为服务器不可达，否则只是累加，当某次探测成功后，此值会自动清零。 探测周期及最大探测失败次数都可以通过命令进行配置。

服务器从可达状态变为不可达状态时触发如下三个操作，管理员可以通过配置选择：

- 发送 Trap：向网管服务器发送 Trap 信息。Trap 信息中记录了 Portal 服务器名以及该服务器状态改变前后的状态等信息。
- 发送日志：向日志服务器发送日志信息。日志信息中记录了 Portal 服务器名以及该服务器状态改变前后的状态等信息。
- Permit-all：也称为 Portal 逃生，表示在 Portal 服务器不可达（down）时，暂时取消 Portal 认证，允许所有 Portal 用户访问网络资源。

服务器从不可达状态变为可达状态时触发如下三个操作，其中发送 Trap 和发送日志可通过配置选择，关闭 Portal 逃生是系统强制执行的：

- 发送 Trap：向网管服务器发送 Trap 信息。Trap 信息中记录了 Portal 服务器名以及该服务器状态改变前后的状态等信息。
- 发送日志：向日志服务器发送日志信息。日志信息中记录了 Portal 服务器名以及该服务器状态改变前后的状态等信息。
- 关闭 Portal 逃生：Portal 服务器变为可达（up）时，恢复该 VAP 的 Portal 认证功能，新上线的用户必须通过 Portal 认证后才能访问网络资源。

注意：Portal 逃生目前只能实现新旧用户访问网络不受影响，至于用户无法正常下线，目前提供其他方式进行处理，如若 portal server 恢复 UP，接入设备将用户强制下线，保证用户下线处理正常。

7.16.8.1.2 Portal Server 逃生基本配置

Portal 逃生功能的基本配置序列：

1. 打开 Portal 逃生功能，并配置探测周期和最大失败次数。
2. 显示 Portal 服务器的当前连接状态。

1. 打开 Portal 逃生功能，并配置探测周期和最大失败次数

命令	解释
Captive Portal 全局配置模式	
portal-server-detect server-name <name> [interval <interval>] [retry <retries>][action {log | permit-all | trap }] **no portal-server-detect server-name <name>**	开启 Portal 逃生功能，并配置（可选）探测周期、最大失败次数和服务器状态发生变化时的操作。该命令的 NO 命令关闭 Portal 逃生功能。
portal-server-detect client-deauth **no portal-server-detect client-deauth**	开启此命令，则服务器状态从 down 转变为 up 后，所有用户强制下线。no 操作为关闭此命令，则配置 Portal 服务器探测状态从 down 转变为 up 后，不强制已经在线的用户下线。

2．显示 Portal 服务器的当前连接状态

命令	解释
特权模式	
show captive-portal ext-portal-server server-name <name> status	显示 Portal 逃生服务器的状态。

7.16.8.1.3 Portal Server 逃生配置举例

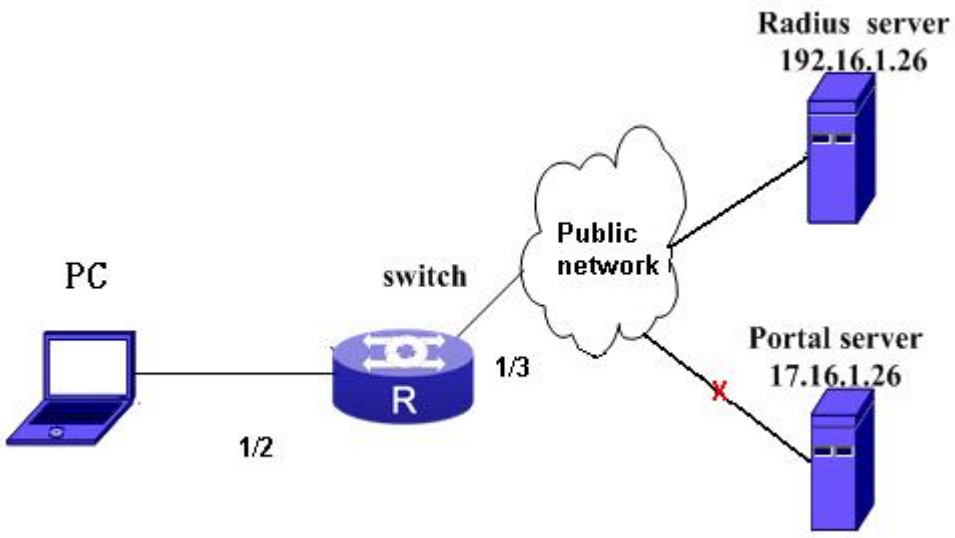


图 6-36 Portal Server 逃生功能典型案例

如上图所示的拓扑，在 Portal server 正常可达的情况下，客户端上线时可以进行正常的 Portal 认证后接入网络。当 portal server 由于本身宕机或者和交换机间的链路断开时，如果交换机没有没有开启 Portal 逃生功能，客户端将无法认证上线。如果交换机开启 Portal 逃生功能，交换机就能探测到 Portal server 已经不可用，就会启动 Portal 逃生，客户端不需要认证就可以访问网络。如果客户端在 Portal server 断开前就已经通过认证，也不会受到影响，仍然可以访问网络。

具体的配置如下：

10. 全局模式下配置 RADIUS server 相关的认证密钥，认证服务器，计费服务器，aaa 模式等信息：

```
switch (config)#radius-server key 0 test
switch (config)#radius-server authentication host 192.16.1.26
switch (config)#radius-server accounting host 192.16.1.26
switch (config)#aaa-accounting enable
switch (config)#aaa enable
switch (config)#aaa group server radius radius_aaa_1
switch config-sg-radius)# server 192.16.1.26
switch(config)#interface vlan 192
switch(config-if-vlan1)#ip address 192.16.1.50 255.255.255.0
switch(config)#free-resource 1 destination ipv4 192.16.1.26/32
```

11. portal 实例下 Portal 功能、配置 Portal Server 服务器等信息：

```
Switch (config)#captive-portal
Switch (config-cp)#enable
Switch(config-cp)# nas-ipv4 192.168.1.50
```

Switch(config-cp)# external portal-server server-name abc ipv4 172.16.1.26
Switch (config-cp)# configuration 1
Switch (config-cp-instance)#enable
Switch (config-cp-instance)#name helix4
Switch (config-cp-instance)#radius accounting
Switch (config-cp-instance)#radius-acct-server abc99
Switch (config-cp-instance)#radius-auth-server abc99
Switch (config-cp-instance)#redirect attribute nas-ip enable
Switch (config-cp-instance)#ac-name helix4
Switch (config-cp-instance)#redirect url-head http://172.16.1.26/a70.htm
Switch (config-cp-instance) # portal-server ipv4 abc

12. 配置 portal 逃生：
Switch (config-cp)#enable
Switch (config-cp)# portal-server-detect server-name abc interval 600 retry 2 action log permit-all trap

13. 端口上开启 portal 功能：
Switch (config)# interface ethernet1/2
Switch (config-if-ethernet1/2)#portal enable configuration 1

以上过程，Portal 服务器 abc 绑定到 CP instance，配置了对该服务器的探测功能，每次探测间隔时间为 600 秒，若连续二次探测均失败，则发送服务器不可达的 Trap 信息和日志信息，并打开 Portal 逃生功能，允许未认证用户访问网络。

7.16.8.1.4 Portal Server 逃生排错帮助

在使用中，如果发现 Portal 逃生功能不能生效，可以采用下面的检查步骤：

- show captive-portal ext-portal-server server-name <name> status 检查 Portal server 的 Detect Mode 是否为 enable，如果没有 enable，说明没有开启该 Portal server 的逃生功能，需要开启。
- 如果 Portal 逃生功能已经开启，检查 Detect Operational Status 的状态是否为 down，只有在服务器状态为 down 时，逃生功能才会启动。
- 如果 Portal 服务器的状态已经为 down，逃生功能仍然不生效，可能是设备出现了问题，需要联系售后工程师处理。

7.16.8.2 Radius Server 逃生功能

7.16.8.2.1 Radius Server 逃生介绍

打开 radius server 逃生功能以后，当所有的 radius 认证服务器不可达时，逃生功能生效，

此时 portal 认证客户端的流量放行。当探测到某个认证服务器重新可达时，删除对逃生客户端先前下发的流量放行规则表项。

7.16.8.2.2 Radius Server 逃生基本配置

Radius server 逃生功能的基本配置序列：

1. 打开 radius server 逃生功能
2. 配置对 radius server 进行可达性探测的周期

1. 打开 radius 逃生功能

命令	解释
全局配置模式	
radius-server escape {enable | disable }	开启 radius server 逃生功能。

2. 配置对 radius server 进行可达性探测的周期

命令	解释
全局配置模式	
radius-server escape detection-interval {default | <second>}	配置对 radius server 进行可达性探测的周期，默认为 180s。

7.16.8.2.3 Radius Server 逃生配置举例

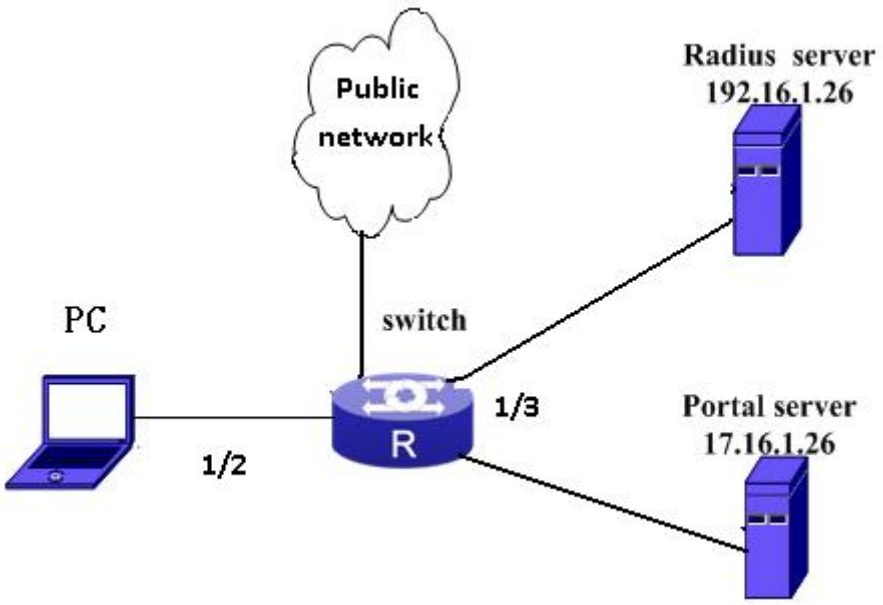


图 6-37 Radius server 逃生功能典型案例

具体的配置如下：

1 全局模式下配置 RADIUS server 相关的认证密钥，认证服务器，计费服务器，aaa 模式

等信息：

```
switch (config)#radius-server key 0 test
switch (config)#radius-server authentication host 192.16.1.26
switch (config)#radius-server accounting host 192.16.1.26
switch (config)#aaa-accounting enable
switch (config)#aaa enable
switch (config)#aaa group server radius radius_aaa_1
switch config-sg-radius)# server 192.16.1.26
switch(config)#interface vlan 192
switch(config-if-vlan1)#ip address 192.16.1.50 255.255.255.0
switch(config)#free-resource 1 destination ipv4 192.16.1.26/32
```

2 portal 实例下 Portal 功能、配置 Portal Server 服务器等信息：

```
Switch (config)#captive-portal
Switch (config-cp)#enable
Switch(config-cp)# nas-ipv4 192.168.1.50
Switch(config-cp)# external portal-server server-name abc ipv4 172.16.1.26
Switch (config-cp)# configuration 1
Switch (config-cp-instance)#enable
Switch (config-cp-instance)#name helix4
Switch (config-cp-instance)#radius accounting
Switch (config-cp-instance)#radius-acct-server abc99
Switch (config-cp-instance)#radius-auth-server abc99
Switch (config-cp-instance)#redirect attribute nas-ip enable
Switch (config-cp-instance)#ac-name helix4
Switch (config-cp-instance)#redirect url-head http://172.16.1.26/a70.htm
Switch (config-cp-instance) # portal-server ipv4 abc
```

3 配置 radius server 逃生：

```
Switch (config)# radius-server escape enable
Switch (config)# radius-server escape detection-interval 120
```

4 端口上开启 portal 功能：

```
Switch (config)# interface ethernet1/2
Switch (config-if-ethernet1/2)#portal enable configuration 1
```

以上过程每隔 120s 则对 radius server 进行周期性的可达性探测。

7.16.8.2.4 Radius Server 逃生排错帮助

在使用中，如果发现 radius server 逃生功能不生效，可以采用下面的检查步骤：

- ☞ 检查是否开启了 radius server 逃生功能；
- ☞ 如果开启了该功能，通过 show aaa config 获得 Retransmit 和 Time Out 这两项参数值，然后检查配置的 detection-interval 是否大于(Retransmit+1)*Time Out 所获得的值，如果小于，则逃生失败；
- ☞ 如果 show aaa config 显示 Is Server live by radius escape function =0 说明逃生中，但是功能不生效，则需要联系售后工程师处理。

7.17 MAB

7.17.1 MAB 介绍

在实际网络中存在的无法安装认证客户端的设备，比如打印机、PDA 设备等，由于它们无法安装客户端，所以无法进行 802.1x 认证。但它们又要访问网络中的资源，因此需要使用 MAB 认证，作为对 802.1x 认证的一个重要补充。

MAB 认证是一种基于 MAB 用户接入端口和 MAC 地址的网络接入认证方式，MAB 用户不需要安装任何认证客户端，认证设备在收到 MAB 用户发出的 ARP 报文后，根据 MAB 用户 MAC 地址发起认证，认证服务器存有 MAB 用户 MAC 对应的认证信息。认证通过后，放行匹配端口和源 MAC 的报文。认证过程中，不需要 MAB 用户手动输入认证用户名和密码。

目前 MAB 认证设备只支持 RADIUS 认证方式，认证设备对于认证用户名和密码选择的方式如下：使用 MAB 用户的 MAC 地址作为认证的用户名和密码，或者固定用户名和密码（即不论用户的 MAC 地址为何值，所有用户均使用在设备上预先配置的用户名和密码进行认证）。

7.17.2 MAB 基本配置

MAB 配置任务序列如下：

1. 开启 MAB 功能
   1) 开启全局的 MAB 功能
   2) 开启端口的 MAB 功能
2. 配置 MAB 认证用户名及密码
3. 配置 MAB 参数

1) 配置 MAB 认证的 guest-vlan
2) 配置 MAB 认证的端口绑定数目
3) 配置 MAB 认证的重认证时间
4) 配置 MAB 认证的下线检测时间
5) 配置 MAB 认证的其他参数

1. 开启 MAB 功能

命令	解释
全局配置模式	
mac-authentication-bypass enable **no mac-authentication-bypass enable**	打开 MAB 认证功能全局开关。
端口配置模式	
mac-authentication-bypass enable **no mac-authentication-bypass enable**	打开 MAB 认证功能端口开关。

2. 配置 MAB 认证用户名及密码

命令	解释
全局配置模式	
mac-authentication-bypass username-format { mac-address (groupsize (1|2|4|12) |) (separator WORD |) (lowercase | uppercase |) | {fixed username WORD password WORD}}	设置 MAB 认证功能的认证方式。

3. 配置 MAB 参数

命令	解释
端口配置模式	
mac-authentication-bypass guest-vlan <1-4094> **no mac-authentication-bypass guest-vlan**	设置 MAB 认证的 guest vlan，此命令只能在 hybrid 端口上使用，在 access 端口上使用无效。
mac-authentication-bypass binding-limit <1-100> **no mac-authentication-bypass binding-limit**	设置端口上允许建立的最大MAB绑定数目。
全局配置模式	

mac-authentication-bypass timeout reauth-period <1-3600> **no mac-authentication-bypass timeout reauth-period**	设置认证失败后，重新尝试认证的时间间隔。
**mac-authentication-bypass timeout offline-detect（0	<60-7200>）** **no mac-authentication-bypass timeout offline-detect**	设置下线检测时间间隔。
mac-authentication-bypass timeout quiet-period <1-60> **no mac-authentication-bypass timeout quiet-period**	设置 MAB 认证的静默时间。
mac-authentication-bypass timeout stale-period <0-60> **no mac-authentication-bypass timeout stale-period**	设置端口 down 后，延时删除绑定的时间。
mac-authentication-bypass timeout linkup-period <0-30> **no mac-authentication-bypass timeout linkup-period**	设置 MAB 绑定转变 vlan 时，为了重新获取 IP，down/up 的时间间隔。
authentication mab {radius|local} (none|) **no authentication mab**	配置 MAC 地址认证对登录用户的验证方式和验证选择优先级；该命令的 no 命令恢复缺省验证方式。

7.17.3 MAB 举例

案例：

MAB 认证功能典型应用场景如下图所示：

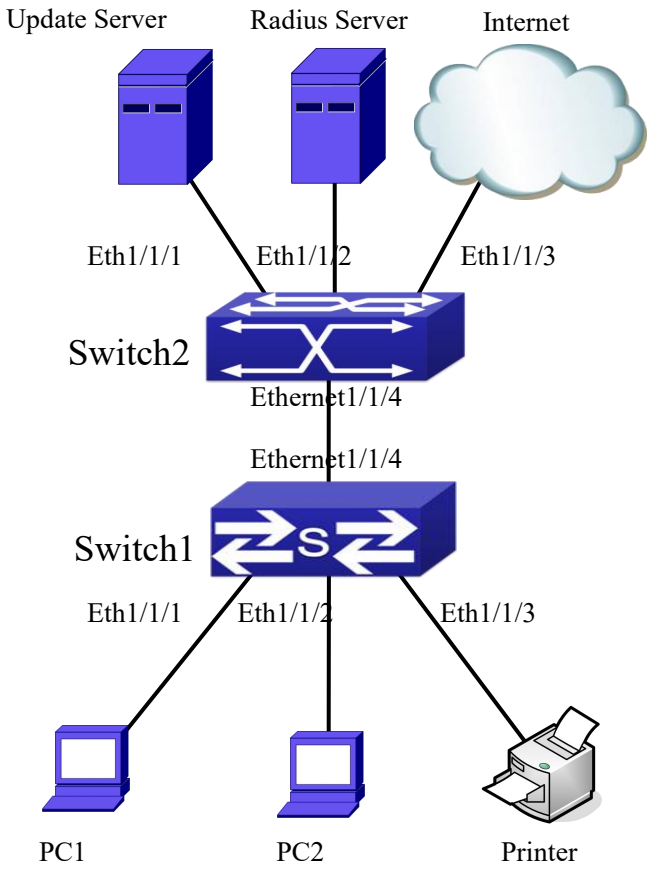


图 6-36 MAB 应用

Switch1 是一个二层的接入交换机，Switch2 是一个三层的汇聚交换机。

交换机 Switch1 中 Ethernet 1/1/1 是 access 端口，连接 PC1,端口打开了 802.1x port-based 功能，并在端口上配置了 guest vlan 为 vlan 8。

Ethernet 1/1/2 是 Hybrid 端口，连接的是 PC2，端口的 native vlan 为 vlan1，并在端口上配置了 guest vlan 为 vlan 8，端口以 untag 的方式加入 vlan1、vlan 8 和 vlan10，端口打开了 MAB 功能。

Ethernet 1/1/3 是 access 端口，连接的是打印机 printer，端口打开了 MAB 功能。

Ethernet 1/1/4 是 trunk 端口，连接三层交换机 Switch2.

交换机 Switch2 中 Ethernet 1/1/4 是 trunk 端口，连接二层交换机 Switch1.

Ethernet 1/1/1 是 access 端口，属于 vlan 8,连接的是一台更新服务器，用于客户端软件的下载和升级。

Ethernet 1/1/2 是 access 端口，属于 vlan 9，连接的是 radius 认证服务器，radius 认证服务器上配置了 auto vlan 为 vlan 10。

Ethernet 1/1/3 是 access 端口，属于 vlan 10，连接的是外部的 internet 资源。

为实现此应用，需按以下方式进行配置：

Switch1 的配置

(1)全局打开 802.1x 和 MAB 认证功能，配置 MAB 认证使用的用户名密码;配置 radius-server 的地址;

Switch(config)# dot1x enable

Switch(config)# mac-authentication-bypass enable

Switch(config)#mac-authentication-bypass username-format fixed username mabuser password mabpwd

Switch(config)#vlan 8-10

Switch(config)#interface vlan 9

Switch(config-if-vlan9)ip address 192.168.61.9 255.255.255.0

Switch(config-if-vlan9)exit

Switch(config)#radius-server authentication host 192.168.61.10

Switch(config)#radius-server accounting host 192.168.61.10

Switch(config)#radius-server key test

Switch(config)#aaa enable

Switch(config)#aaa-accounting enable

(2)打开各个端口的认证功能

Switch(config)#interface ethernet 1/1/1

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#dot1x enable

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#dot1x port-method portbased

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#dot1x guest-vlan 8

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#exit

Switch(config)#interface ethernet 1/1/2

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#switchport mode hybrid

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#switchport hybrid native vlan 1

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#switchport hybrid allowed vlan 1;8;10 untag

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#mac-authentication-bypass enable

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#mac-authentication-bypass enable guest-vlan 8

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#exit

Switch(config)#interface ethernet 1/1/3

Switch(config-if-ethernet1/1/3)#switchport mode access

Switch(config-if-ethernet1/1/3)#mac-authentication-bypass enable

Switch(config-if-ethernet1/1/3)#exit

Switch(config)#interface ethernet 1/1/4

Switch(config-if-ethernet1/1/4)#switchport mode trunk

7.17.4 MAB 排错帮助

- 当在使用 MAB 过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：
- 请确保交换机全局与端口已经打开 MAB 功能。
- 请确保交换机配置的 MAB 认证使用的用户名与密码正确。
- 请确保交换机的 radius-server 配置正确。 MAB 下线检测是通过查询动态 MAC 是否存在来完成的。如果绑定中的 MAC 地址存在于 MAC 地址表中则维持绑定，如果没有就删除绑定。这样，实际对于用户的无流量下线时间为 1-2 个 MAC 老化周期加上 0-1 个 MAB 下线检测时间。

第 8 章 可靠性操作

8.1 MSTP

8.1.1 MSTP 介绍

MSTP 是基于 STP 和 RSTP 的一种新的生成树协议。它运行在一个 Bridged-LAN 里的所有网桥上，负责为这个 Bridged-LAN（包括运行 MSTP、RSTP 和 STP 的网桥）计算出一个简单连通的树形活动拓扑(CIST)，为每个 MST 域（MSTP 域）计算出若干个各自独立的多重生成树实例（MSTI）。它应用 RSTP 的快速收敛特性，允许多个具有相同拓扑的 VLAN 映射到一个生成树实例上，而这个生成树拓扑同其它生成树实例相互独立。这种机制一方面用多重生成树实例为映射到它的 VLAN 的数据流量提供了独立的发送路径，实现不同实例间 VLAN 数据流量的负载分担；另一方面，若干个 VLAN 共享同一个拓扑实例（MSTI），同每个 VLAN 对应一个生成树（PVST）的实现方法相比，大大减少了每个网桥需要维持的生成树实例的数量，节约了 CPU 资源，降低了非业务带宽占用。

8.1.1.1 MSTP 域

由于多个 VLAN 可以映射到一个单一的生成树实例，IEEE 802.1s 委员会提出了 MST 域的概念，用来解决如何判断某个 VLAN 映射到哪个生成树实例的问题。

一个 MSTP 域由一个或若干个具有相同 MCID（MST Configuration Identification）的网桥和将网桥互连起来的局域网（域中的某个网桥是该局域网的指定桥，并且该局域网连接的网桥不是运行 STP 的网桥）组成。域中每个网桥维持相同的 MSTIs。

每个域中的网桥具有下述三个属性：

- 一个包含数字和字母的配置名字（Configuration Name）
- 一个配置修正级别（Revision Level）
- 网桥中 VLAN 向生成树实例映射的配置摘要（Configuration Digest）

以上三部分属性组成域的 MCID，只有这三部分属性完全相同，即 MCID 相同的网桥才被 MSTP 认为属于同一个 MST 域。

在整个 Bridged-LAN 的 CIST 中，MSTP 将 MST 域当做一个网桥对待，如下图所示：

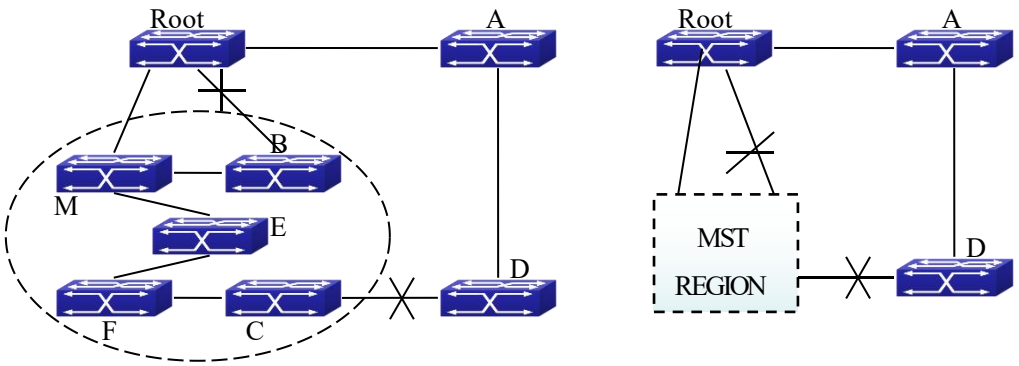


图 7-1 CIST 与 MST 域理解

对上图中的网络，如果网络中的网桥运行 STP 或 RSTP，应当 block（阻塞）网桥 M 和网桥 B 之间的一个端口。但是，如果图中虚线区域部分中的网桥运行 MSTP 并被配置在一个 MST 域中，由于 MSTP 将该域当做一个网桥对待，将会 block 网桥 B 上与根桥（Root）间的端口；同样，MSTP 会 block 网桥 D 上的某个端口。

8.1.1.1.1 MST 域内操作

在一个域内，IST 将域中所有的网桥连接起来。IST 在运行过程中，选出 CIST Regional Root 为它的根网桥，该网桥到 CIST Root 的路径代价和 BridgeID 最小。如果网络中只有一个域，该网桥就是整个网络的 CIST Root；如果 CIST Root 在该域外，则域边缘的某个网桥被选择为 CIST Regional Root。域中 CIST Regional Root 上的根端口是域中所有 MSTIs 的 Master Port。

当一个 MSTP 网桥初始化时，它发送 BPDU，声称自己是 CIST Regional Root，将到 CIST Root 和 CIST Regional Root 的路径代码设为 0。该网桥同时初始化所有 MSTIs，声称自己是所有 MSTIs 的根。如果该网桥收到更优的 CIST/MSTI 根信息（较小的路径代价，BridgeId 等），它就不再认为自己是 CIST 或相应 MSTI 的根。

在一个域中，只有 IST 发送和接收 BPDU。BPDU 中带有各个 MSTI 的信息。因为 MST BPDU 中包含了所有生成树实例的信息，大大减少了为支持多个生成树而需要处理的 BPDU 数量。

MST 域中的所有实例公用相同的协议定时器，但各个实例有各自独立的与拓扑相关的参数，如 Regional Root，根路径代价等。

8.1.1.1.2 MST 域间操作

当网络中存在多个 MST 域或 802.1D 网桥（运行 STP 的网桥）时，MSTP 通过 CST 维持域间或域同 802.1D 网桥间的连接。IST 将域中的网桥连接起来，作为一个虚拟的网桥同相邻的域或 802.1D 网桥连接。

MSTI 的作用范围仅局限于它所在的 MST 域中。一个域中的某个 MST 实例同其它域中的任何 MST 实例无关。域中的网桥通过边缘端口收到另外一个域发送来的 MST BPDU，它只处理数据中 CIST 的相关信息；而将其中的 MSTI 信息丢弃。

8.1.1.2 端口角色

MSTP 网桥为每一个运行 MSTP 的端口对应于每一个生成树分配一个端口角色。

- CIST 的端口角色有：Root Port，Designated Port，Alternate Port 和 Backup Port。
- 每个 MSTI 的端口角色除了上述角色外，还增加了一个新的角色：Master Port。

CIST 和每个 MSTI 的 Root Port，Designated Port，Alternate Port 和 Backup Port 等角色的指定同 RSTP 对应的角色指定相同。

8.1.1.3 MSTP 流量分担的实现

在一个 MST 域中，通过将 VLAN 映射到不同的生成树实例，形成不同的拓扑。各个拓扑实例（包括 IST 和 MSTIs）间相互独立，可以在网桥中配置每个实例各自对应的参数（如

网桥优先级（Bridge Priority）、端口代价（Port Cost）等），为网桥和端口指定相应的角色，从而形成拓扑实例中 VLAN 数据流量对应的各自路径，实现 VLAN 流量的分担。具体配置可参考下面 MSTP 举例部分。

8.1.2 MSTP 配置

MSTP 配置任务序列如下：

1. 启动 MSTP 并设置运行模式
2. 配置实例参数
3. 配置 MSTP 域参数
4. 配置 MSTP 的时间参数
5. 配置 MSTP 的快速迁移特性
6. 配置 MSTP 的格式
7. 配置端口的 spanning-tree 属性
8. 配置 MSTP 的认证字窥探属性
9. 配置 MSTP 的拓扑改变 FLUSH 模式

1.启动 MSTP 并设置运行模式

命令	解释
全局配置模式和端口配置模式	
spanning-tree **no spanning-tree**	启动和关闭 MSTP 协议。
全局配置模式	
spanning-tree mode {mstp | stp | rstp} **no spanning-tree mode**	设置 MSTP 的运行模式。
端口配置模式	
spanning-tree mcheck	强制端口迁移到 MSTP 模式下运行。

2.配置实例参数

命令	解释
全局配置模式	
spanning-tree mst <*instance-id*> priority <*bridge-priority*> **no spanning-tree mst <*instance-id*> priority**	设置交换机在指定实例的网桥优先级。
spanning-tree priority <*bridge-priority*> **no spanning-tree priority**	设置交换机的网桥优先级。
端口配置模式	
spanning-tree mst <*instance-id*> cost <*cost*> **no spanning-tree mst <*instance-id*> cost**	设置当前端口在指定实例的端口路径代价。

spanning-tree mst *<instance-id>* port-priority *<port-priority>* **no spanning-tree mst *<instance-id>* port-priority**	设置当前端口在指定实例的端口优先级。
spanning-tree mst *<instance-id>* rootguard **no spanning-tree mst *<instance-id>* rootguard**	设置当前端口在指定实例下是否进行根防护，设置根防护的端口不能转为根端口。
spanning-tree rootguard **no spanning-tree rootguard**	设置当前端口在实例 0 下是否进行根防护，设置根防护的端口不能转为根端口。
spanning-tree [mst <instance-id>] loopguard **no spanning-tree [mst <instance-id>] loopguard**	配置 spanning-tree 的指定实例上启动 loopguard 功能，本命令的 no 操作恢复为不在该实例下启动该功能。

3.配置 MSTP 域参数

命令	解释
全局配置模式	
spanning-tree mst configuration **no spanning-tree mst configuration**	进入 MSTP 域配置模式；本命令的 no 操作为恢复交换机的 MSTP 域参数的缺省值。
MSTP 域配置模式	
show	显示当前运行系统的信息。
instance *<instance-id>* vlan *<vlan-list>* **no instance *<instance-id>* [vlan *<vlan-list>*]**	创建 Instance 及配置 VLAN 与 Instance 的映射关系。
name *<name>* **no name**	配置 MSTP 域的名字。
revision-level *<level>* **no revision-level**	配置 MSTP 域的修正级别数值。
abort	退出 MSTP 域配置模式回到全局配置模式，不保存当前对 MSTP 域的配置。
exit	退出 MSTP 域配置模式回到全局配置模式，并保存当前对 MSTP 域的配置。
no	取消一个命令或设置初始值。

4.配置 MSTP 的时间参数

命令	解释

全局配置模式	
spanning-tree forward-time *<time>* **no spanning-tree forward-time**	设置交换机转发延时的时间值。
spanning-tree hello-time *<time>* **no spanning-tree hello-time**	设置交换机发送 BPDU 报文的 Hello 时间值。
spanning-tree maxage *<time>* **no spanning-tree maxage**	设置交换机 BPDU 信息的最大老化时间值。
spanning-tree max-hop *<hop-count>* **no spanning-tree max-hop**	设置 BPDU 支持在 MSTP 域中传输的最大跳数。

5.配置 MSTP 的快速迁移特性

命令	解释
端口配置模式	
spanning-tree link-type p2p {auto | force-true | force-false} **no spanning-tree link-type**	设置端口的链路类型。
spanning-tree portfast [bpdufilter | bpduguard] [recovery <30-3600>] **no spanning-tree portfast**	设置和取消端口为边缘端口,参数 bpdufilter 和 bpduguard 以及无参数分别表示收到 BPDU 丢弃、收到 BPDU 关闭端口和收到 BPDU 转为非边缘端口。

6.配置 MSTP 的格式

命令	解释
端口配置模式	
spanning-tree format standard **spanning-tree format privacy** **spanning-tree format auto** **no spanning-tree format**	设置端口的格式，standard 格式为遵守 IEEE 标准的格式，privacy 为私有的格式，auto 格式通过自动识别对端的格式决定自己的格式，是默认的格式。在收到对端的格式前使用默认的格式。

7. 配置端口的 spanning-tree 属性

命令	解释
端口配置模式	
spanning-tree cost *<cost>* **no spanning-tree cost**	设置端口路径代价。
spanning-tree port-priority *<port-priority>*	设置端口的优先级。

no spanning-tree port-priority	
spanning-tree rootguard **no spanning-tree rootguard**	设置端口为根端口。
全局配置模式	
spanning-tree transmit-hold-count <tx-hold-count-value> **no spanning-tree transmit-hold-count**	设置端口的最大发送速率。
spanning-tree cost-format {dot1d | dot1t}	修改路径开销值的表示方式。

8. 配置 MSTP 的认证字窥探属性

命令	解释
端口配置模式	
spanning-tree digest-snooping **no spanning-tree digest-snooping**	设置端口上使用对端的认证字，由于个别厂商使用不同于标准的密钥，为了与其在域内互通，在端口上配置了 digest-snooping 命令后，我们在收到对方报文后记录对方的认证字并使用记录的认证字发给对端，以解决与其在域内互通的要求。

9. 配置 MSTP 的拓扑改变 FLUSH 模式

命令	解释
全局配置模式	
spanning-tree tcflush {enable| disable| protect} **no spanning-tree tcflush**	设置传播拓扑改变消息时进行 FLUSH 的模式，协议要求是每次拓扑改变都 FLUSH，但在实际环境中，可能不需要也不希望有过多的刷新造成流量不稳定，因此允许根据实际环境设置不同的处理方式，disable 表示不因拓扑改变而刷新，protect 表示每 10 秒最多进行一次刷新，以避免拓扑改变攻击造成的过多刷新。全局的配置作用于所有没有单独配置的端口。本命令的 NO 形式恢复为缺省的 enable 模式，即按协议要求每次刷新。
端口配置模式	

spanning-tree tcflush {enable| disable| protect} **no spanning-tree tcflush**	上述命令的端口模式，端口上配置了刷新模式的，不受全局模式的影响。本命令的 NO 形式取消端口上模式的配置，即恢复为默认的使用全局的刷新模式。

8.1.3 MSTP 举例

MSTP 典型应用案例如下：

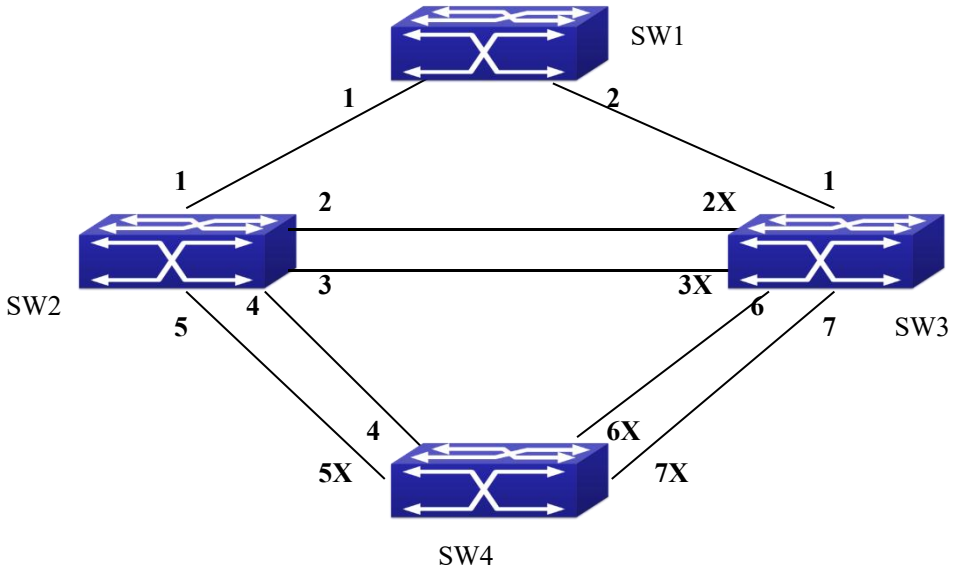


图 7-2 MSTP 典型配置举例

上图中，SW1-SW4 之间的连线如图所示，运行 MSTP 协议。缺省条件下，各交换机运行在 MSTP 模式下，它们的网桥优先级、端口优先级、端口路径代价都为缺省值（都相等）。各交换机的缺省配置如下：

网桥名称		SW1	SW2	SW3	SW4
网桥 MAC 地址		…00-00-01	…00-00-02	…00-00-03	…00-00-04
网桥优先级		32768	32768	32768	32768
端口优先级	端口 1	128	128	128	
	端口 2	128	128	128	
	端口 3		128	128	
	端口 4		128		128
	端口 5		128		128
	端口 6			128	128
	端口 7			128	128
端口	端口 1	200000	200000	200000	
	端口 2	200000	200000	200000	

路径代价	端口 3		200000	200000	
	端口 4		200000		200000
	端口 5		200000		200000
	端口 6			200000	200000
	端口 7			200000	200000

在缺省情况下，MSTP 会自动建立起一个以 SW1 为根网桥的拓扑（用蓝线标记），标记“×”的端口状态为 Discarding，其它端口状态为 Forwarding。

配置更改：

步骤一：配置端口到 vlan 的映射关系：

- 在交换机 SW2，SW3，SW4 上创建 vlan 20，30，40，50；
- 在交换机 SW2，SW3，SW4 配置端口 1-7 模式为 trunk。

步骤二：配置交换机 SW2，SW3，SW4 在同一个 MSTP 域内：

- 配置交换机 SW2，SW3，SW4 域名都为 mstp；
- 在交换机 SW2，SW3，SW4 上将 vlan 20 和 vlan 30 映射到实例 3 上；将 vlan 40 和 vlan 50 映射到实例 4 上。

步骤三：配置交换机 SW3 为实例 3 的根网桥；配置 SW4 交换机为实例 4 的根网桥：

- 在交换机 SW3 上配置实例 3 对应的网桥优先级为 0；
- 在交换机 SW4 上配置实例 4 对应的网桥优先级为 0。

配置步骤如下：

交换机 SW2：

```
SW2(config)#vlan 20
SW2(Config-Vlan20)#exit
SW2(config)#vlan 30
SW2(Config-Vlan30)#exit
SW2(config)#vlan 40
SW2(Config-Vlan40)#exit
SW2(config)#vlan 50
SW2(Config-Vlan50)#exit
SW2(config)#spanning-tree mst configuration
SW2(Config-Mstp-Region)#name mstp
SW2(Config-Mstp-Region)#instance 3 vlan 20;30
SW2(Config-Mstp-Region)#instance 4 vlan 40;50
SW2(Config-Mstp-Region)#exit
SW2(config)#interface ethernet 1/1/1-7
SW2(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
```

```
SW2(Config-If-Port-Range)#exit
SW2(config)#spanning-tree
```

交换机 SW3：

```
SW3(config)#vlan 20
SW3(Config-Vlan20)#exit
SW3(config)#vlan 30
SW3(Config-Vlan30)#exit
SW3(config)#vlan 40
SW3(Config-Vlan40)#exit
SW3(config)#vlan 50
SW3(Config-Vlan50)#exit
SW3(config)#spanning-tree mst configuration
SW3(Config-Mstp-Region)#name mstp
SW3(Config-Mstp-Region)#instance 3 vlan 20;30
SW3(Config-Mstp-Region)#instance 4 vlan 40;50
SW3(Config-Mstp-Region)#exit
SW3(config)#interface ethernet 1/1/1-7
SW3(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
SW3(Config-If-Port-Range)#exit
SW3(config)#spanning-tree
SW3(config)#spanning-tree mst 3 priority 0
```

交换机 SW4：

```
SW4(config)#vlan 20
SW4(Config-Vlan20)#exit
SW4(config)#vlan 30
SW4(Config-Vlan30)#exit
SW4(config)#vlan 40
SW4(Config-Vlan40)#exit
SW4(config)#vlan 50
SW4(Config-Vlan50)#exit
SW4(config)#spanning-tree mst configuration
SW4(Config-Mstp-Region)#name mstp
SW4(Config-Mstp-Region)#instance 3 vlan 20;30
SW4(Config-Mstp-Region)#instance 4 vlan 40;50
SW4(Config-Mstp-Region)#exit
SW4(config)#interface ethernet 1/1/1-7
```

SW4(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
SW4(Config-If-Port-Range)#exit
SW4(config)#spanning-tree
SW4(config)#spanning-tree mst 4 priority 0

在上述配置之后，整个网络的实例 CIST（实例 0）以 SW1 为根网桥，在 SW2，SW3，SW4 所在的 MSTP 域内，实例 0 的域根（region root）是 SW2，实例 3 的域根是 SW3；实例 4 的域根是 SW4。vlan 20 和 vlan 30 的流量沿着实例 3 的拓扑发送；vlan 40 和 vlan 50 的流量沿着实例 4 的拓扑的发送；其它 vlan 的流量沿实例 0 的拓扑发送。交换机 SW2 上的端口 1 是实例 3 和实例 4 的 Master Port。

MSTP 计算结果包括三个拓扑，实例 0，实例 3 和实例 4，分别如下所示（均用蓝线标记），标记“x”的端口状态为 Discarding，其它端口状态为 Forwarding。由于实例 3 和 4 只在 MSTP 域内有效，图中相关部分只显示其在 MSTP 域内的拓扑。

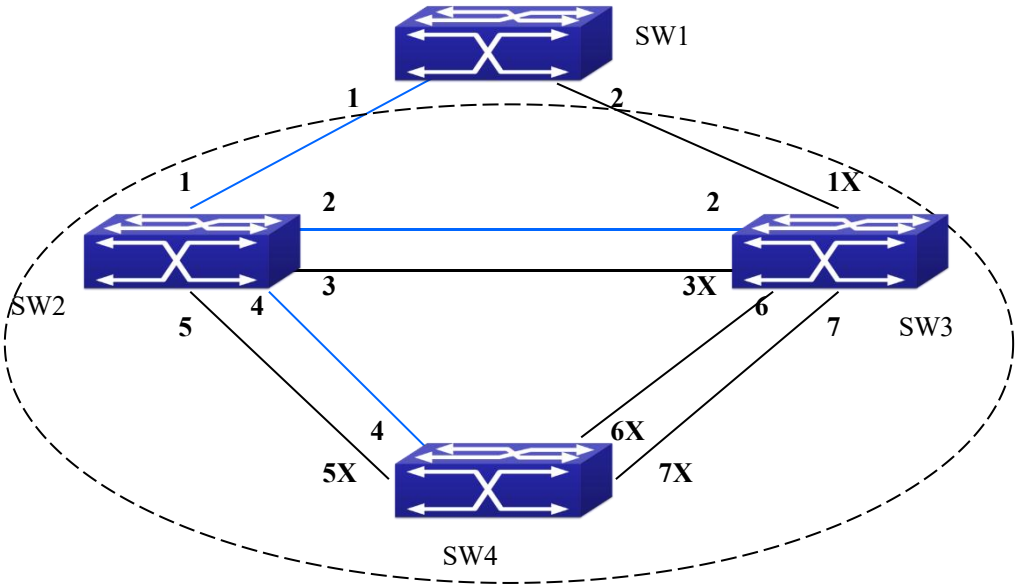


图 7-3 MSTP 变更后的实例 0 的拓扑

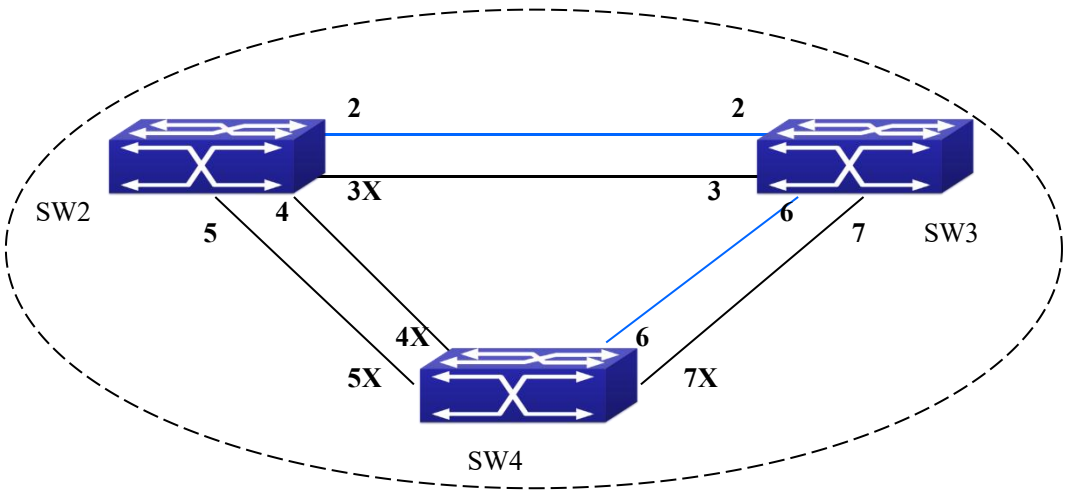


图 7-4 MSTP 变更后 MSTP 域内实例 3 的拓扑

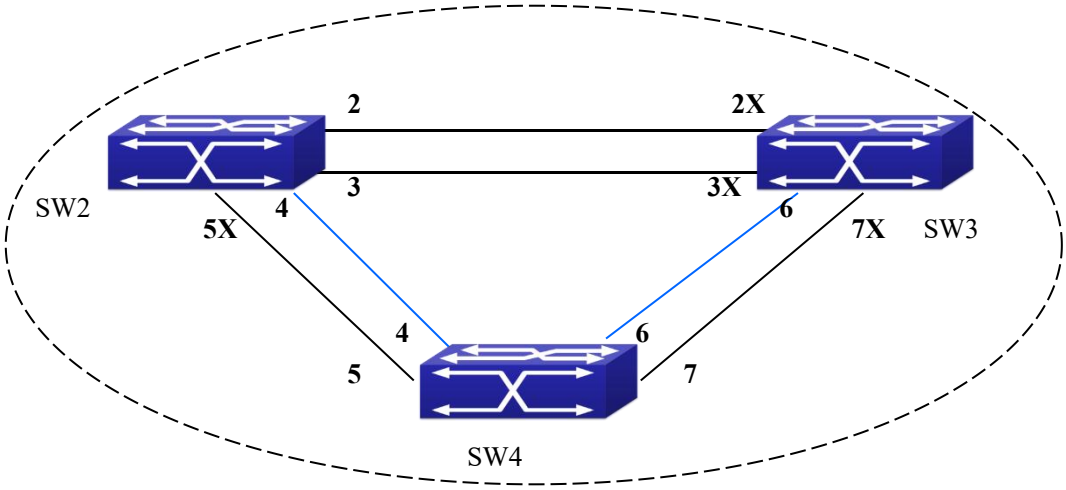


图 7-5 MSTP 变更后 MSTP 域内实例 4 的拓扑

8.1.4 MSTP 排错帮助

- 如果要在交换机端口上运行 MSTP，首先必须在全局打开 MSTP 开关。在没有打开全局 MSTP 开关之前，打开端口的 MSTP 开关是不允许的。
- MSTP 定时器参数之间是有相关性的，错误配置可能导致交换机不能正常工作。各定时器之间的关联关系为：2×(Bridge_Forward_Delay – 1.0 seconds) >= Bridge_Max_Age

  Bridge_Max_Age >= 2 ×(Bridge_Hello_Time + 1.0 seconds)
- 用户在修改 MSTP 参数时，应该清楚所产生的各个拓扑。除了全局的基于网桥的参数配置外，其它的是基于各个实例的配置，在配置时一定要注意配置参数对应的实例是否正确。

8.2 VRRP

8.2.1 VRRP 简介

VRRP（Virtual Router Redundancy Protocol，虚拟路由器冗余协议）是一种容错协议，其目的是利用备份机制来提高路由器（或三层以太网交换机）与外界连接的可靠性。它是为具有多播或广播能力的局域网（最明显的例子就是以太网）而设计的，由 IETF 提出，目前应用比较广泛。

通常，一个局域网内的所有主机都会设置一条缺省路由以指明缺省网关，主机发出的那些目的地址不在本网段的报文将通过该缺省路由发往缺省网关，从而实现了局域网内各主机与外部网络的通信。然而，当作为缺省网关的路由器与外部网络相连的通信链路出现故障后，

本网段内所有以该网关为缺省路由下一跳的各主机将被迫中断与外部网络的通信。

VRRP 就是为解决上述问题而提出的。VRRP 运行于局域网的多台路由器上，它将这几台路由器组织成一台“虚拟”路由器，或称为一个备份组。在这个备份组中，有一个活动路由器（被称为 Master）和一个或多个备份路由器（被称为 Backup）。活动路由器将实际承担这个“虚拟”路由器的工作任务（如负责转发各主机送给“虚拟”路由器的报文），而备份路由器则作为活动路由器的备份。

在运行的时候，这个“虚拟”路由器拥有自己的“虚拟”IP 地址，备份组内的路由器也有自己的 IP 地址。但是，由于 VRRP 只在路由器或以太网交换机上运行，所以对于该网段上的各主机来说，这个备份组是透明的，它们仅仅知道这个“虚拟”路由器的“虚拟”IP 地址，而并不知道 Master 以及 Backup 的实际 IP 地址，因此它们将把自己的缺省网关地址设置为该“虚拟”路由器的“虚拟”IP 地址。于是，本局域网内的各主机就通过这个“虚拟”路由器来与其它网络进行通信。而实际上，它们是通过 Master 在与其它网络进行通信。而一旦备份组内的 Master 发生故障，Backup 将会接替其工作，成为新的 Master，继续为本局域网内的各主机提供服务，从而保障本局域网内的各主机可以不间断与外部网络的通信。

我们可以总结一下：在 VRRP 备份组内，总有一台路由器或以太网交换机是活动路由器（Master），它完成“虚拟”路由器的工作；该备份组中其它的路由器或以太网交换机作为备份路由器（Backup，可以不只一台），随时监控 Master 的活动。当原有的 Master 出现故障时，各 Backup 将自动选举出一个新的 Master 来接替其工作，继续为网段内各主机提供路由服务。由于这个选举和接替阶段短暂而平滑，因此，网段内各主机仍然可以正常地使用虚拟路由器，实现不间断地与外界保持通信。

8.2.2 VRRP 配置

配置任务序列：

1. 创建/删除虚拟路由器（必须）
2. 配置 VRRP 虚拟 IP 和接口（必须）
3. 启动/关闭虚拟路由器（必须）
4. 配置 VRRP 辅助参数（可选）
   （1）配置 VRRP 抢占模式
   （2）配置 VRRP 优先级
   （3）配置 VRRP 定时器时间间隔
   （4）配置 VRRP 对接口的监控

1. 创建/删除虚拟路由器

命令	解释
全局配置模式	
router vrrp <*vrid*> **no router vrrp <*vrid*>**	创建/删除虚拟路由器。

2.配置 VRRP 虚拟 IP 和接口

命令	解释
VRRP 协议配置模式	
virtual-ip < *ip* > **no virtual-ip**	配置 VRRP 虚拟 IP，no 命令删除虚拟 IP。
interface {IFNAME | Vlan <*ID*>} **no interface**	配置 VRRP 接口，no 命令删除该接口。

3. 启动/关闭虚拟路由器

命令	解释
VRRP 协议配置模式	
enable	启动该虚拟路由器。
disable	关闭该虚拟路由器。

4. 配置 VRRP 辅助参数

（1）配置 VRRP 抢占模式

命令	解释
VRRP 协议配置模式	
preempt-mode {true| false}	配置 VRRP 的抢占模式。

（2）配置 VRRP 优先级

命令	解释
VRRP 协议配置模式	
priority < *priority* >	配置 VRRP 优先级。

（3）配置 VRRP 定时器时间间隔

命令	解释
VRRP 协议配置模式	
advertisement-interval <*time*>	配置 VRRP 定时器时间值(单位为秒)。

（4）配置 VRRP 对接口的监控

命令	解释
VRRP 协议配置模式	
circuit-failover {IFNAME | Vlan <*ID*>} **<*value_reduced*>** **no circuit-failover**	配置 VRRP 对接口的监控，no 命令删除对接口的监控。

8.2.3 VRRP 典型案例

如下图，SwitchA 和 SwitchB 为在同一组内互为备份的三层以太网交换机。

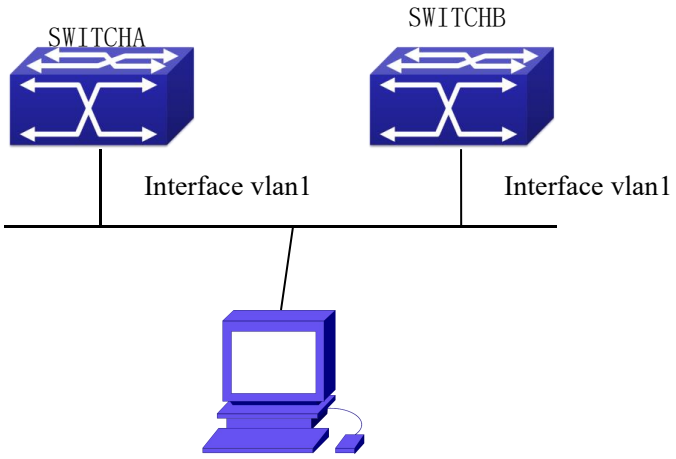


图 7-6 VRRP 网络拓扑示意图

SwitchA 的配置：

SwitchA(config)#interface vlan 1

SwitchA(Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

SwitchA(config)#router vrrp 1

SwitchA(config-router)#virtual-ip 10.1.1.5

SwitchA(config-router)#interface vlan 1

SwitchA(config-router)#enable

SwitchB 的配置：

SwitchB(config)#interface vlan 1

SwitchB (Config-if-Vlan1)#ip address 10.1.1.7 255.255.255.0

SwitchB (config)#router vrrp 1

SwitchB (config-router)#virtual-ip 10.1.1.5

SwitchB (config-router)#interface vlan 1

SwitchB (config-router)#enable

8.2.4 VRRP 排错帮助

在配置、使用 VRRP 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 VRRP 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后，确保在接口上已启动了 VRRP 协议；检查同一备份组内的不同路由器（或三层以太网交换机）认证是否相同；
- 检查同一备份组内的不同路由器（或三层以太网交换机）配置的 timer 时间是否相同；
- 检查虚拟 IP 地址是否和接口真实 IP 地址在同一网段内；
- 如果通过上述检查仍无法解决 VRRP 的问题，那么请使用 debug vrrp 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

8.3 MRPP

8.3.1 MRPP 简介

MRPP（Multi-layer ring protection protocol，多环路自动保护协议）是一个用于以太网环路保护的链路层协议。它在以太网环完整时能够防止数据环路引起的广播风暴，而当以太网环上一条链路断开时能迅速恢复环网上各个节点之间的通信通路。

MRPP协议功能上类似于STP协议。同STP协议相比，MRPP具有以下特点:

<1>MRPP专用于以太网环型拓扑环境

<2>收敛速度快，通常小于1秒。理想状况下可以达到100-50毫秒。

8.3.1.1 概念介绍

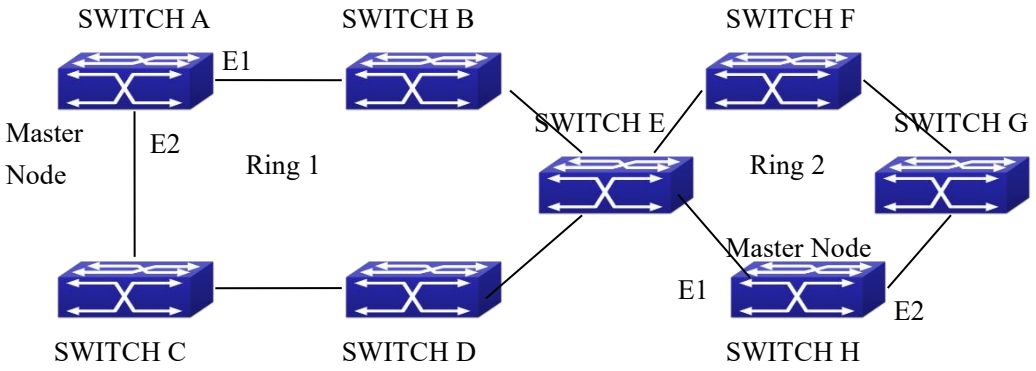


图 7-7 MRPP 示意图

1．控制VLAN

控制 VLAN 是一个虚拟的 VLAN，仅仅用来区分链路上传递的 MRPP 协议报文。为了避免引起同其它已经配置的 VLAN 的混淆，应尽量避免将控制 VLAN ID 配置为其它已经配置的 VLAN ID。不同的 MRPP 环上应该配置不同的控制 VLAN ID。

2．以太网环(MRPP环)

环形连接的以太网网络拓扑。

每个 MRPP 环有两种状态。

健康状态：整个环网物理链路是连通的

断裂状态：环网中一处或者多处物理链路断开

3．节点

以太网环网上每个交换机都称为一个节点。节点由如下角色：

主节点：每个环上有一个主节点，它是发起环路探测和进行环路预防的主要操作节点。

传输节点：每个环上除了主节点外的其他所有节点为传输节点。

节点角色由用户的配置决定。如图 3-1 所示，Switch A 是 Ring 1 的主节点，Switch B、Switch C，Switch D 和 Switch E 为 Ring 1 的传输节点。

4．主端口和副端口

主节点和传输节点分别有两个端口接入以太网环，其中一个为主端口，另一个为副端口。端口的角色由用户的配置决定。

主节点的主端口和副端口。

主节点的主端口用来发送环路健康检查报文（Hello），副端口用来接收主节点发出的 Hello 报文。当以太网环处在健康状态时，主节点的副端口在逻辑上阻塞其它数据，只允许 MRPP 的报文通过。当以太网环处在断裂状态时，主节点的副端口将解除阻塞状态，转发数据报文。

传输节点的主端口和副端口在功能上没有区别。

端口的角色由用户的配置决定。如图 3-1 所示，Switch A 的 E1 为主端口，E2 为副端口。

5．定时器

主节点在发送和接收 MRPP 协议报文时用到两个定时器：Hello 定时器和 Fail 定时器。

Hello 定时器：定义主节点主端口发送健康检测报文的时间间隔的定时器。

Fail 定时器：定义主节点副端口接收健康检测报文的超时时间的定时器。Fail 定时器的值必须大于或等于 Hello 定时器值的 3 倍。

8.3.1.2 MRPP 协议报文类型

报文类型	说明
Hello 报文（健康检查报文）	由主节点的主端口发起，对环路进行检测，如果主节点的副端口能够在配置的超时时间内接收到 Hello 报文，则说明环路正常
LINK-DOWN(链路 Down 事件报文)	传输节点在检测在端口发生 Down 事件后，立即向主节点发送 LINK-DOWN 报文，以通告主节点环路发生故障
LINK-DOWN-FLUSH-FDB 报文	主节点在检测到环路发生故障或者接收到 LINK-DOWN 报文后，打开阻塞的副端口，然后利用两个端口发送该报文，通知各传输节点更新自己的 MAC 地址表
LINK-UP-FLUSH-FDB 报文	由主节点在检测到环路发生故障恢复正常后，利用主端口发出的报文，通知各传输节点更新自己的 MAC 地址表

8.3.1.3 MRPP 协议运行机制

1．链路Down告警机制

当传输节点发现自己任何一个属于 MRPP 环的端口 Down 时，都会立刻发送链路 Down 报文给主节点。主节点收到链路 Down 报文后立刻解除其副端口的阻塞状态，并发送 LINK-DOWN-FLUSH-FDB 报文通知所有传输节点，使其更新各自的 MAC 地址转发表。

2．轮询机制

主节点的主端口根据配置的 Hello-timer,定时向其邻居发送 Hello 报文。如果环路是健康的，主节点的副端口将收到健康检测报文，主节点将保持副端口的阻塞状态。

如果环路是断裂的，主节点的副端口在超时定时器超时后也无法收到健康检测报文。主节点将解除副端口的阻塞状态，同时发送 LINK-DOWN-FLUSH-FDB 报文通知所有传输节点，使其更新各自的 MAC 地址转发表。

3．环路恢复

主节点在环路故障后，如果副端口收到了主节点发出的 Hello 报文，则证明环路已经恢复，这时主节点阻塞自己的副端口，并向其邻居发送 LINK-UP-FLUSH-FDB 报文。

传输节点上属于 MRPP 环的端口重新 UP 后，主节点可能在过了一段时间后才能发现环路恢复。这段时间对于正常的数据 VLAN 来说，网络有可能形成一个临时的环路，从而产生广播风暴。为了防止临时环路的产生，传输节点发现自己接入环网的端口重新 UP 后，立即将其临时阻塞（只允许控制 VLAN 的报文通过），只有收到主节点发送的 LINK-UP-FLUSH-FDB 报文之后，才解除该端口的阻塞状态。

8.3.2 MRPP 配置任务序列

1) 全局启动 MRPP
2) 配置 MRPP 环
3) 配置 MRPP 端口查询时间
4) 配置兼容模式
5) 显示和调试 MRPP 相关信息

1) 全局启动 MRPP

命令	解释
全局配置模式	
mrpp enable **no mrpp enable**	全局启动和关闭 MRPP。

2) 配置 MRPP 环

命令	解释

全局配置模式	
mrpp ring <*ring-id*> **no mrpp ring <*ring-id*>**	创建 MRPP 环，本命令的 NO 操作删除 MRPP 环及其配置。
MRPP 环配置模式	
control-vlan <*vid*> **no control-vlan**	配制控制 VLAN ID，本命令的 NO 操作删除配置的控制 VLAN ID。
node-mode {master | transit}	配置 MRPP 环的节点类型（主节点或者是副节点）。
hello-timer <*timer*> **no hello-timer**	配置 MRPP 环的主节点发送 Hello 报文定时器，本命令的 NO 操作恢复缺省的定时器值。
fail-timer <*timer*> **no fail-timer**	配置 MRPP 环的主节点接收 Hello 报文超时定时器，本命令的 NO 操作恢复缺省的定时器值。
enable **no enable**	使能 MRPP 环，本命令的 NO 操作关闭使能的 MRPP 环。
端口配置模式	
mrpp ring <*ring-id*> *primary-port* **no mrpp ring <*ring-id*> primary-port**	指定 MRPP 环的主端口。
mrpp ring <*ring-id*> secondary-port **no mrpp ring <*ring-id*> secondary-port**	指定 MRPP 环的副端口。

3) 配置 MRPP 端口查询时间

命令	解释
全局配置模式	
mrpp poll-time <20-2000>	配置 mrpp 端口状态查询时间间隔。

4) 配置兼容模式

命令	解释
全局配置模式	
mrpp errp compatible **no mrpp errp compatible**	使能 ERRP 的兼容模式，本命令的 no 操作关闭 ERRP 的兼容模式。
mrpp eaps compatible **no mrpp eaps compatible**	使能 EAPS 的兼容模式，本命令的 no 操作关闭 EAPS 的兼容模式。
errp domain <*domain-id*> **no errp domain <*domain-id*>**	创建 ERRP 域，本命令的 no 操作删除已经配置的 ERRP 域。

5) 显示和调试 MRPP 相关信息

命令	解释
特权配置模式	

debug mrpp **no debug mrpp**	打开 MRPP 模块的调试信息，本命令的 NO 操作关闭 MRPP 调试信息输出。
show mrpp [<*ring-id*>]	显示 MRPP 环的配置信息。
show mrpp statistics [<*ring-id*>]	显示 MRPP 环的接收数据包统计信息。
clear mrpp statistics [<*ring-id*>]	清除 MRPP 环的接收数据包统计信息。

8.3.3 MRPP 典型案例

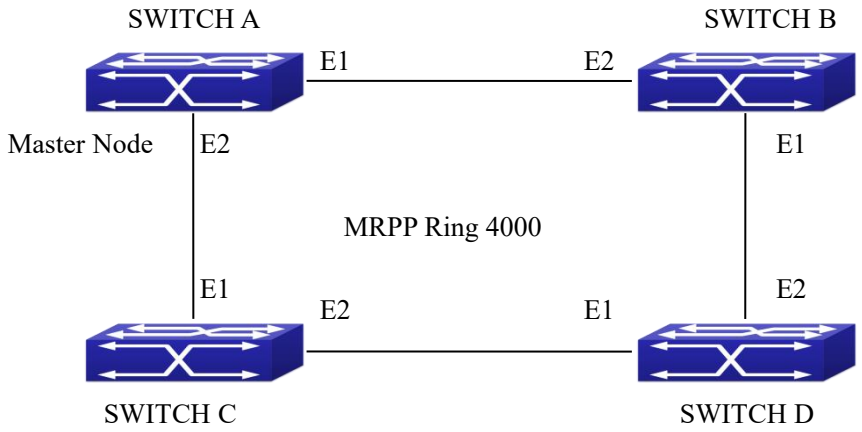


图 7-8 MRPP 典型配置案例

上面的拓扑是大多数情况下使用 MRPP 协议的情形。多个交换机组成一个单一的 MRPP 环，所有的交换机都只配置了一个 MRPP 环 4000，从而组成一个单一的 MRPP 环。

在上面的配置中，SWITCH A 配置为 MRPP 环 4000 的主节点，并且配置 E1/1/1 为主端口，E1/1/2 为副端口。其它交换机为 MRPP 环的副节点，分别配置了主端口和副端口。

为了避免环路，在使能整个 MRPP 环的各 MRPP 环时，应该暂时关闭其中主节点的一个端口，等到所有节点配置完成后，再打开该端口。

在关闭 MRPP 环时，需要确保该 MRPP 环没有环路。

SWITCH A 配置任务序列：

Switch(Config)#mrpp enable

Switch(Config)#mrpp ring 4000

Switch(mrpp-ring-4000)#control-vlan 4000

Switch(mrpp-ring-4000)#fail-timer 18

Switch(mrpp-ring-4000)#hello-timer 5

Switch(mrpp-ring-4000)#node-mode master

Switch(mrpp-ring-4000)#enable

Switch(mrpp-ring-4000)#exit

Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1

Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#mrpp ring 4000 primary-port

Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#interface ethernet 1/1/2

Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#mrpp ring 4000 secondary-port
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#exit
Switch(Config)#

SWITCH B 配置任务序列：
Switch(Config)#mrpp enable
Switch(Config)#mrpp ring 4000
Switch(mrpp-ring-4000)#control-vlan 4000
Switch(mrpp-ring-4000)#enable
Switch(mrpp-ring-4000)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#mrpp ring 4000 primary-port
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#interface ethernet 1/1/2
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#mrpp ring 4000 secondary-port
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#exit
Switch(Config)#

SWITCH C 配置任务序列：
Switch(Config)#mrpp enable
Switch(Config)#mrpp ring 4000
Switch(mrpp-ring-4000)#control-vlan 4000
Switch(mrpp-ring-4000)#enable
Switch(mrpp-ring-4000)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#mrpp ring 4000 primary-port
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#interface ethernet 1/1/2
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#mrpp ring 4000 secondary-port
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#exit
Switch(Config)#

SWITCH D 配置任务序列：
Switch(Config)#mrpp enable
Switch(Config)#mrpp ring 4000
Switch(mrpp-ring-4000)#control-vlan 4000
Switch(mrpp-ring-4000)#enable
Switch(mrpp-ring-4000)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#mrpp ring 4000 primary-port

Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#interface ethernet 1/1/2

Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#mrpp ring 4000 secondary-port

Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#exit

Switch(Config)#

8.3.4 MRPP 排错帮助

MRPP 协议的正常运行非常依赖于对 MRPP 环上各个交换机的正常配置，否则极有可能形成环路和广播风暴：

- 在配置 MRPP 环路时。最好先断开该环路，等待各个交换机配置完毕后再打开该环路。
- 在关闭 MRPP 环路上一个使能的交换机的 MRPP 环的时候，应确保该 MRPP 环所在的环路已经断开。
- 在 MRPP 环上出现广播风暴时，首先断开该环路，并确定环上的各个交换机 MRPP 环配置是否正确，如果配置正确，恢复该环路，然后观察环路是否正常。
- MRPP 环网的收敛时间和端口 up/down 的响应方式有关。若使用查询方式，在简单环网内，MRPP 收敛时间为几百毫秒；若使用中断 方式，收敛时间在 50 毫秒以内。
- 一般情况下，端口扫描配置为查询方式即可。中断方式仅适用于对性能要求较高的环境。相比于中断，查询方式的安全性更高。具体参考端口配置命令 port-scan-mode {interrupt | poll}。
- 如果在正常配置下，仍然形成了环路的广播风暴或者环路不通，请打开主节点的 MRPP 的调试功能，并且利用 show mrpp statistics 命令观察主节点和传输节点的状态和统计信息是否正常，并将结果发送给本公司技术服务中心。

8.4 ULPP

8.4.1 ULPP 简介

每个ULPP组包括两个上行链路端口，一个主端口(master)，另一个为副端口(slave)。这里的端口可以是物理端口，也可以是port channel。ULPP组成员端口有三种状态：Forwarding，Standby，Down。正常情况下，只有一个端口处于转发(Forwarding)状态，另一个端口阻塞，处于待命(Standby)状态。当主端口发生链路故障时，主端口变为Down状态，原来处于Standby状态的副端口切换到Forwarding状态。

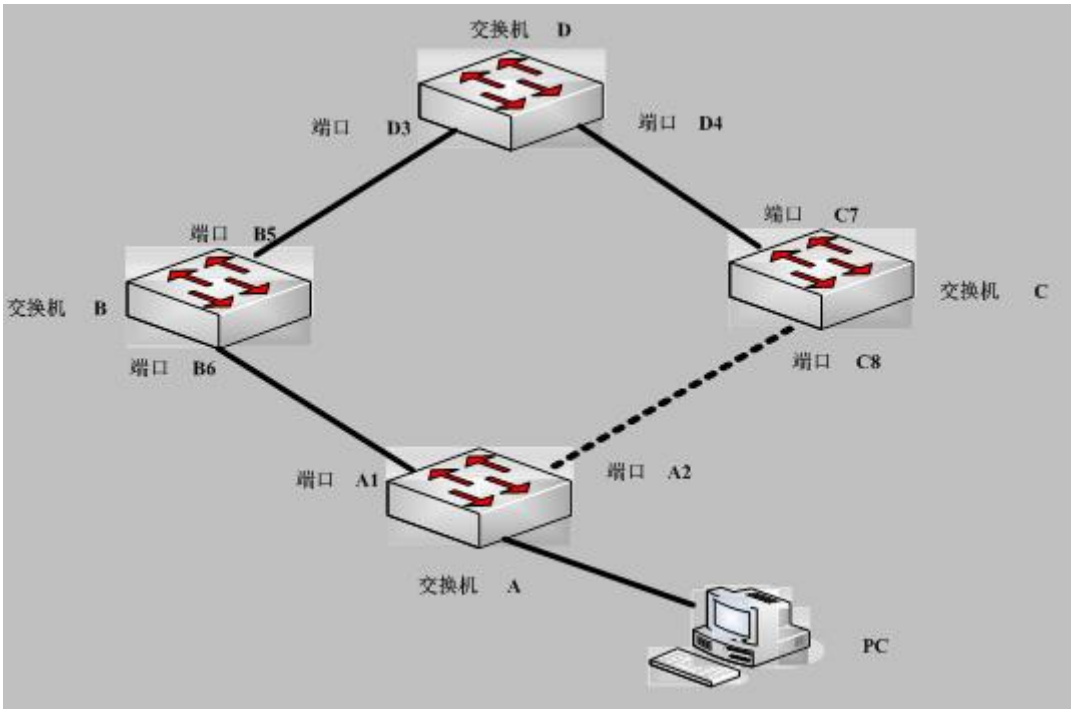


图 7-9 ULPP 使用场景

图 4-1 中使用了双上行组网，这是 ULPP 的典型应用场景。交换机 A 通过 B 和 C 双上行到 D，端口 A1 和 A2 为上行端口。交换机 A 上配置了 ULPP，其中端口 A1 设置为主端口，端口 A2 设置为副端口。当处于 Forwarding 状态的端口 A1 发生故障时，立即进行链路切换，端口 A2 进入 Forwarding 状态。此后，当主端口恢复时，如果没有配置抢占模式，则端口 A2 继续保持 Forwarding 状态，端口 A1 进入 Standby 状态。

通过开启抢占模式，使得主端口从故障恢复时可以对副端口进行抢占。为了避免异常故障导致的频繁链路切换，引入了抢占延时机制，主端口抢占副端口前需要等待一定的时间。为了保持流量的稳定，默认情况下主端口不进行抢占，而是进入 Standby 状态。

对 ULPP 配置时，需要通过 MSTP 实例的方式指定该 ULPP 组所保护的 VLAN，对保护 VLAN 之外的其它 VLAN，ULPP 不提供保护。

当发生链路切换时，网络中设备上原有的转发表项将不适用于新的拓扑。在图 4-1 所示拓扑中，交换机 A 上配置了 ULPP，作为主端口的端口 A1 处于 Forwarding 状态，此时交换机 D 会从端口 D3 上学习到 PC 的 MAC 地址。此后端口 A1 发生故障，流量切换到端口 A2 进行转发，此时如果有通过交换机 D 发往 PC 的数据，仍然会从端口 D3 进行转发，造成数据包的丢失。因此，链路切换时，配置了 ULPP 的设备需要通过切换变为 Forwarding 状态的端口发送 flush 报文，更新网络中其他设备的 MAC 地址表和 ARP 表。ULPP 分别使用两种 flush 报文对表项进行更新：MAC 地址更新报文和 ARP 删除报文。

为了充分利用带宽资源，ULPP 通过配置可以实现 VLAN 负载均衡。如图所示，交换机 A 上配置了两个 ULPP 组：组 1 中端口 A1 做为主端口，端口 A2 为副端口，组 2 中端口 A2 为主端口，端口 A1 为副端口，组 1 和组 2 保护的 VLAN 分别为 1-100 和 101-200。此时端口 A1 和端口 A2 同时处于转发状态，主端口和副端口互为备份，分别转发不同范围 VLAN 的报文。端口 A1 发生故障时，VLAN 1-200 的流量都会由端口 A2 进行转发。此后当端口 A1 恢复正常时，端口 2 继续转发 VLAN 101-200 的数据，VLAN 1-100 的数据切换到端口

A1 转发。

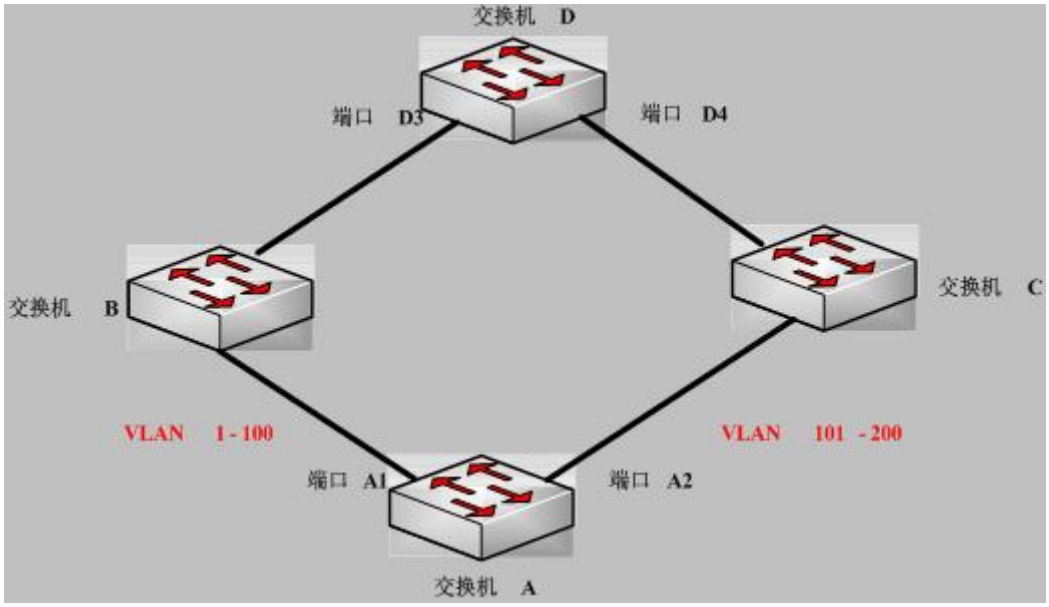


图 7-10 VLAN 负载均衡

8.4.2 ULPP 配置任务序列

1) 全局创建 ULPP 组
2) 配置 ULPP 组
3) 显示和调试 ULPP 相关信息

1) 全局创建 ULPP 组

命令	解释
全局配置模式	
ulpp group ***<integer>*** **no ulpp group** ***<integer>***	全局配置和删除 ULPP 组。

2) 配置 ULPP 组

命令	解释
ULPP 组配置模式	
preemption mode **no preemption mode**	配置 ULPP 组的抢占模式，no 操作为删除抢占模式。
preemption delay ***<integer>*** **no preemption delay**	配置抢占时延，no 操作恢复默认值 30s。
control vlan ***<integer>*** **no control vlan**	配置发送控制 VLAN，no 操作恢复发送控制 VLAN 的默认值 1。

protect vlan-reference-instance <*instance-list*> **no protect vlan-reference-instance <*instance-list*>**	配置保护 VLAN，no 操作为删除保护 VLAN。
flush enable mac **flush disable mac**	使能或者关闭 MAC 地址更新的 flush 报文的发送功能。
flush enable arp **flush disable arp**	使能或者关闭 ARP 删除的 flush 报文的发送功能。
flush enable mac-vlan **flush disable mac-vlan**	使能或关闭根据 vlan 删除动态单播 mac 的 flush 报文发送功能
description <*string*> **no description**	配置或者删除 ULPP 组描述。
端口配置模式	
ulpp control vlan <*vlan-list*> **no ulpp control vlan <*vlan-list*>**	配置接收控制 VLAN，no 操作恢复接收控制 VLAN 的默认值 1。
ulpp flush enable mac **ulpp flush disable mac**	使能或者关闭 MAC 地址更新的 flush 报文的接收功能。
ulpp flush enable arp **ulpp flush disable arp**	使能或者关闭 ARP 删除的 flush 报文的接收功能。
ulpp flush enable mac-vlan **ulpp flush disable mac-vlan**	使能或关闭 mac-vlan 类型的 flush 报文接收功能
ulpp group <*integer*> master **no ulpp group <*integer*> master**	配置或者删除 ULPP 组的主端口。
ulpp group <*integer*> slave **no ulpp group <*integer*> slave**	配置或者删除 ULPP 组的副端口。

3) 显示和调试 ULPP 相关信息

命令	解释
特权配置模式	
show ulpp group [group-id]	显示已配置的 ULPP 组的配置信息。
show ulpp flush counter interface {ethernet <IFNAME> | <IFNAME>}	显示 flush 报文统计信息。
show ulpp flush-receive-port	显示端口接收 flush 类型和 control vlan。
clear ulpp flush counter interface <*name*>	清除 flush 报文统计信息。
debug ulpp flush {send | receive} interface <*name*> **no debug ulpp flush {send | receive} interface <*name*>**	显示收发 flush 报文信息，no 操作为关闭显示收发 flush 报文信息。

debug ulpp flush content interface <*name*> **no debug ulpp flush content interface <*name*>**	显示接收到的 flush 报文内容，no 操作为关闭显示 flush 报文内容。
debug ulpp error **no debug ulpp error**	显示 ULPP 错误信息，no 操作为关闭显示 ULPP 错误信息。
debug ulpp event **no debug ulpp event**	显示 ULPP 事件信息，no 操作为关闭显示 ULPP 事件信息。

8.4.3 ULPP 典型案例

8.4.3.1 ULPP 典型案例 1

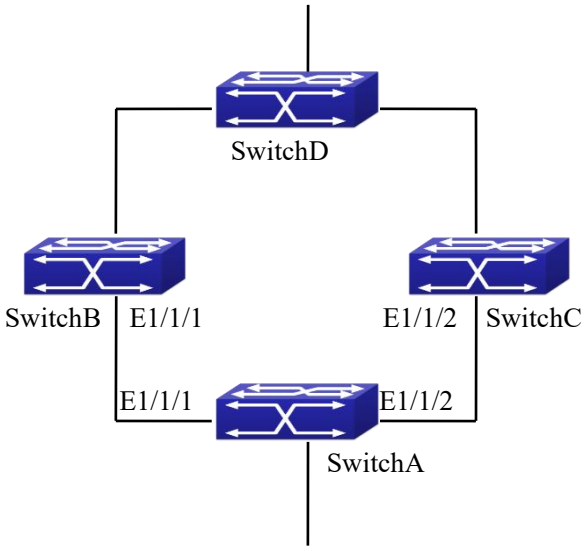


图 7-11 ULPP 典型配置案例 1

上面的拓扑是 ULPP 协议的典型应用环境。

SwitchA 有两条上行链路，分别连接 SwitchB 和 SwitchC，当不开启任何协议的时候，该拓扑成环。为了避免环路，可以在 SwitchA 上配置 ULPP 协议，配置 ULPP 组的主副端口，在主副端口都 up 的情况下，会将副端口置为 standby 状态，即不再转发数据报文，在主端口 down 掉的情况下，会将副端口置为 forwarding 状态，从而实现了链路的切换。SwitchB 和 SwitchC 上也可以开启接收 flush 报文的命令，用来配合 SwitchA 上的 ULPP 协议的运行，从而达到快速切换链路的目的，尽可能的减少了切换时延。

在配置 SwitchA 上的 ULPP 协议时，首先创建一个 ULPP 组，配置该组的保护 VLAN 为 vlan10，然后配置 interface Ethernet 1/1/1 为该 ULPP 组的主端口，interface Ethernet 1/1/2 为该 ULPP 组的副端口，控制 VLAN 为 10。在 SwitchB 和 SwitchC 上配置接收 ULPP 的 flush 报文。

SwitchA 配置任务序列：

Switch(Config)#vlan 10

Switch(Config-vlan10)#switchport interface ethernet 1/1/1; 1/1/2
Switch(Config-vlan10)#exit
Switch(Config)#spanning-tree mst configuration
Switch(Config-Mstp-Region)#instance 1 vlan 10
Switch(Config-Mstp-Region)#exit
Switch(Config)#ulpp group 1
Switch(ulpp-group-1)#protect vlan-reference-instance 1
Switch(ulpp-group-1)#control vlan 10
Switch(ulpp-group-1)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)# ulpp group 1 master
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#exit
Switch(Config)#interface Ethernet 1/1/2
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp group 1 slave
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#exit

SwitchB 配置任务序列：
Switch(Config)#vlan 10
Switch(Config-vlan10)#switchport interface ethernet 1/1/1
Switch(Config-vlan10)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)# ulpp flush enable mac
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)# ulpp flush enable arp
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)# ulpp control vlan 10

SwitchC 配置任务序列：
Switch(Config)#vlan 10
Switch(Config-vlan10)#switchport interface ethernet 1/1/2
Switch(Config-vlan10)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/2
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp flush enable mac
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp flush enable arp
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp control vlan 10

8.4.3.2 ULPP 典型案例 2

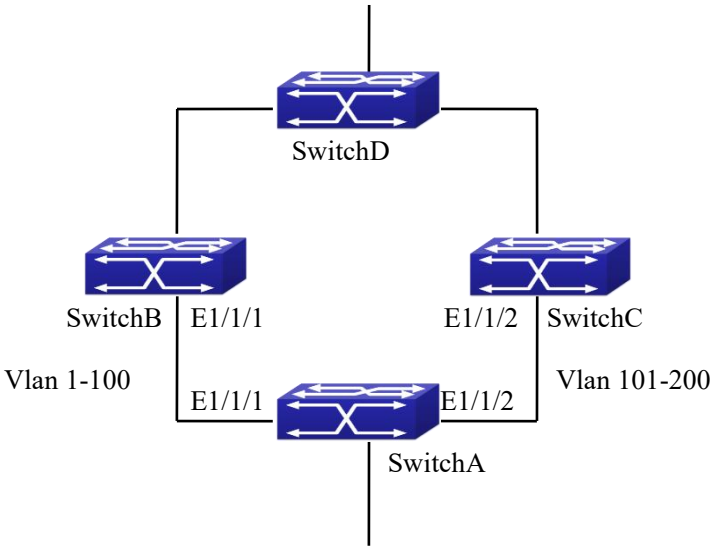


图 7-12 ULPP 典型配置案例 2

ULPP 可以通过配置来实现 VLAN 负载均衡。如图 4-4 所示，switchA 上配置了两个 ULPP 组：组 1 中端口 E1/1/1 做为主端口，端口 E1/1/2 为副端口，组 2 中端口 E1/1/2 为主端口，端口 E1/1/1 为副端口，组 1 和组 2 保护的 VLAN 分别为 1-100 和 101-200。此时端口 E1/1/1 和端口 E1/1/2 同时处于转发状态，主端口和副端口互为备份，分别转发不同范围 VLAN 的报文。端口 E1/1/1 发生故障时，VLAN 1-200 的流量都会由端口 E1/1/2 进行转发。此后当端口 E1/1/1 恢复正常时，端口 E1/1/2 继续转发 VLAN 101-200 的数据，VLAN 1-100 的数据切换到端口 E1/1/1 转发。

switchA 配置任务序列：

Switch(Config)#spanning-tree mst configuration
Switch(Config-Mstp-Region)#instance 1 vlan 1-100
Switch(Config-Mstp-Region)#instance 2 vlan 101-200
Switch(Config-Mstp-Region)#exit
Switch(Config)#ulpp group 1
Switch(ulpp-group-1)#protect vlan-reference-instance 1
Switch(ulpp-group-1)#preemption mode
Switch(ulpp-group-1)#exit
Switch(Config)#ulpp group 2
Switch(ulpp-group-2)#protect vlan-reference-instance 2
Switch(ulpp-group-2)#preemption mode
Switch(ulpp-group-2)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#switchport mode trunk
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#ulpp group 1 master
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#ulpp group 2 slave
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#exit

Switch(Config)#interface Ethernet 1/1/2
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#switchport mode trunk
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp group 1 slave
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp group 2 master
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#exit

switchB 配置任务序列：
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#switchport mode trunk
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)# ulpp flush enable mac
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)# ulpp flush enable arp

switchC 配置任务序列：
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/2
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# switchport mode trunk
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp flush enable mac
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp flush enable arp

8.4.4 ULPP 排错帮助

- 目前对于超过双上行的多上行，可以允许配置，但是会出现环路，所以不建议在超过双上行的链路上配置 ULPP。
- 如果在正常配置下，仍然形成了环路的广播风暴或者环路不通，请打开 ULPP 的调试功能，复制 3 分钟内的 debug 信息以及配置信息，并将结果发送给本公司技术服务中心。

8.5 ULSM

8.5.1 ULSM 简介

ULSM（Uplink State Monitor）用来进行端口状态同步。每个 ULSM 组由上行端口和下行端口组成，上行端口和下行端口都可以为多个。端口可以是物理端口，也可以是 port channel，但不能是 port channel 的成员端口，每个端口只能属于一个 ULSM 组。

上行端口是 ULSM 组中被监控的端口。当 ULSM 组中的所有上行端口都为 Down 或 ULSM 组不存在上行端口时，ULSM 组的状态为 Down。只要有一个上行端口为 Up，ULSM 组的状态就为 Up。

下行端口是 ULSM 组中的受控端口。下行端口的状态会随着 ULSM 组 Up/Down 状态而改变，并保持与 ULSM 组的状态一致。

ULSM 主要与 ULPP 配合使用，使得下游设备可以快速感知上游设备链路故障，并做出相应处理。在图 5-1 中所示环境中，交换机 A 上配置了 ULPP，此时通过端口 A1 转发流量，如果交换机 B 与交换机 D 间链路发生故障，由于交换机 A 无法感知上游链路的故障，继续从端口 A1 转发，从而造成流量的丢失。

可以通过在交换机 B 上配置 ULSM 解决上述问题。步骤为：将交换机 B 上的端口 B5 设置为 ULSM 组上行端口，端口 B6 设置为下行端口。当交换机 B 与交换机 D 间链路发生故障时，下行端口 B6 与 ULSM 组状态同步为 Down，从而引发配置了 ULPP 的交换机 A 发生链路切换，避免数据的丢失。

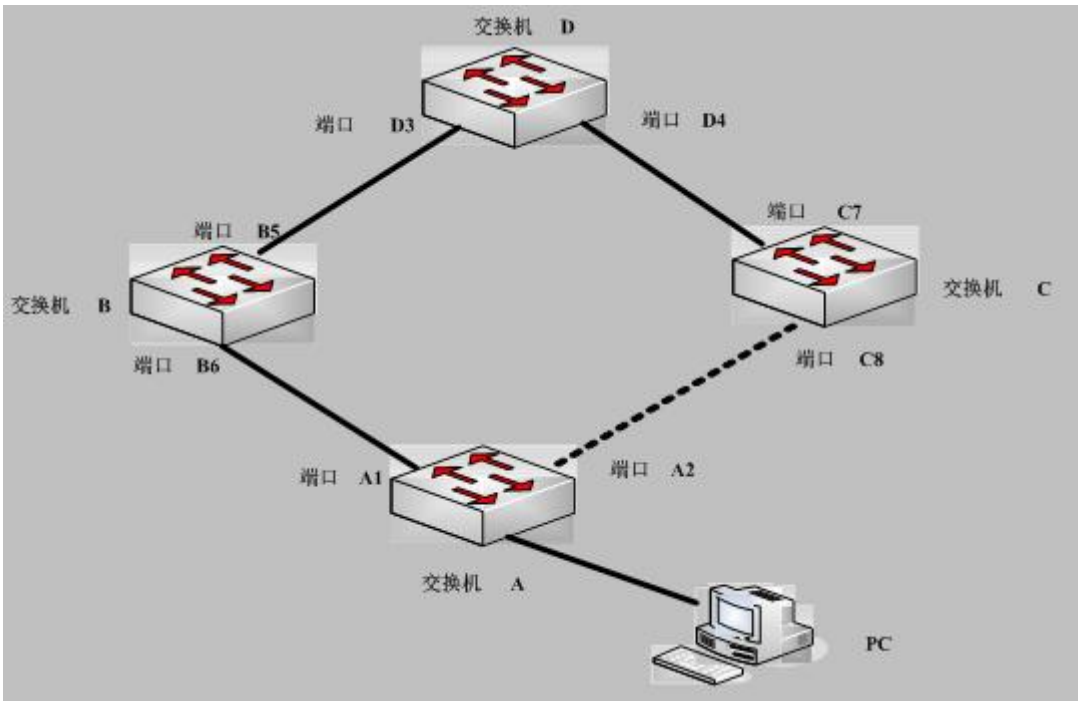


图 7-13 ULSM 使用场景

8.5.2 ULSM 配置任务序列

1) 全局创建 ULSM 组
2) 配置 ULSM 组
3) 显示和调试 ULSM 相关信息

1) 全局创建 ULSM 组

命令	解释
全局配置模式	
ulsm group ***<group-id>*** **no ulsm group** ***<group-id>***	全局配置和删除 ULSM 组。

2) 配置 ULSM 组

命令	解释

端口配置模式	
ulsm group <*group-id*> {uplink | downlink} **no ulsm group <*group-id*> {uplink | downlink}**	配置 ULSM 组的上行/下行端口，no 命令删除上行/下行端口。

3) 显示和调试 ULPP 相关信息

命令	解释
特权配置模式	
show ulsm group [group-id]	显示已配置的 ULSM 组的配置信息。
debug ulsm event **no debug ulsm event**	显示 ULSM 事件信息，no 操作关闭显示 ULSM 事件信息。

8.5.3 ULSM 典型案例

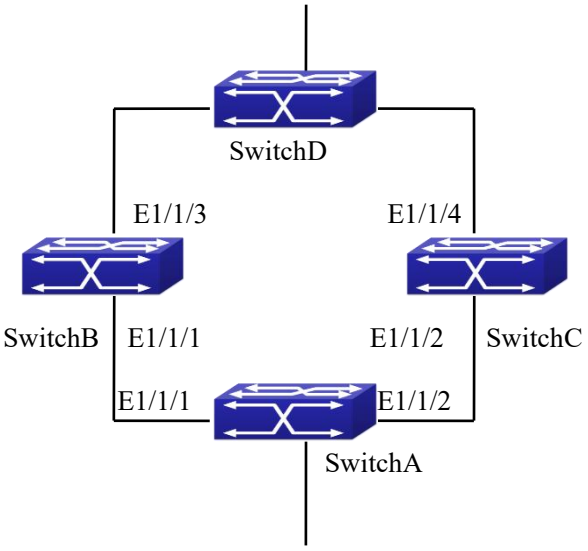


图 7-14 ULSM 典型配置案例

上面的拓扑是 ULSM 和 ULPP 协议配合使用的典型应用环境。

ULSM 本身是用来进行端口状态同步的，该功能单独使用并没有太大的意义，所以一般情况下是和 ULPP 协议结合使用的。在拓扑中，SwitchA 上开启 ULPP 协议，用来进行链路的切换，SwitchB 和 SwitchC 上开启 ULSM 协议，用来监听上行的链路是否 down，如果 down 掉，则 ULSM 会对下行端口执行 down 操作，从而使下行链路 down 掉，此时 ULPP 协议就相应的执行链路切换操作。

SwitchA 配置任务序列：

Switch(Config)#spanning-tree mst configuration

Switch(Config-Mstp-Region)#instance 1 vlan 1

Switch(Config-Mstp-Region)#exit

Switch(Config)#ulpp group 1

Switch(ulpp-group-1)#protect vlan-reference-instance 1
Switch(ulpp-group-1)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)# ulpp group 1 master
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#exit
Switch(Config)#interface Ethernet 1/1/2
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)# ulpp group 1 slave
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#exit

SwitchB 配置任务序列：
Switch(Config)#ulsm group 1
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/1
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#ulsm group 1 downlink
Switch(config-If-Ethernet1/1/1)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/3
Switch(config-If-Ethernet1/1/3)#ulsm group 1 uplink
Switch(config-If-Ethernet1/1/3)#exit

SwitchC 配置任务序列：
Switch(Config)#ulsm group 1
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/2
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#ulsm group 1 downlink
Switch(config-If-Ethernet1/1/2)#exit
Switch(Config)#interface ethernet 1/1/4
Switch(config-If-Ethernet1/1/4)#ulsm group 1 uplink
Switch(config-If-Ethernet1/1/4)#exit

8.5.4 ULSM 排错帮助

☞ 如果在正常配置下，下行端口没有响应上行端口的 down 事件，请打开 ULSM 的调试功能，复制 3 分钟内的 debug 信息以及配置信息，并将结果发送给本公司技术服务中心。

8.6 ERPS

8.6.1 ERPS 介绍

ERPS（Ethernet Ring Protection Switching）是 ITU-T 定义的一种二层防环协议，标准号为 ITU-T G.8032/Y1344，又称为 G.8032。G.8032 以太环网标准吸取了 EAPS、RPR、SDH、

STP 等众多环网保护技术的优点，优化了检测机制，可以检测双向/单向故障，支持多环、多域的结构，在实现 50ms 倒换的同时，支持主备、负荷分担多种工作方式，成为了以太环网技术最新的成熟标准。

ERPS 是一种用于环网保护的防环协议。协议包括：环路故障时链路切换，环路恢复时的通知，以及环路恢复后的链路倒换部分，但它不包括链路故障的发现部分。故障发现可使用 802.1ag 协议定义的 CCM 功能，也可以使用物理层链路故障检测机制。选用何种检测机制都可以，总原则是它必须是灵敏的，可在较短的时间内发现链路故障，并通知给 erps 模块，erps 要求的环路故障倒换时间是：在 16 个节点，链路长度在 1200km 以内，流量中断时间不超过 50ms，这对链路故障发现和环路保护协议倒换时间要求很高。

8.6.1.1 ERPS 术语

Ethernet ring：以太环，由许多环节点组成的一个封闭的物理环形网络，环上的每个节点有且只有两个端口连接本环形网络。

Ring protection link：RPL，一条环网上的链路，在环网健康时，为破除环路，被环网上的节点 block 的链路，本链路不能传输数据流量。

RPL owner node：RPL 拥有节点，环网上的连接 RPL 的节点，在环网健康时，负责阻塞环网上 RPL。同时，在环网恢复时，配置为 reversion 方式时，它还会发起链路倒换。

RPL neighbour node：RPL 邻节点，环网上的连接 RPL 的另一个节点，在环网健康时，负责阻塞环网上 RPL。

Interconnection node：交叉节点，当多个环交叉时，处于交叉位置的节点。在交叉节点，有一个或多个环可以通过交叉节点上的一个端口连接，但最多只有一个环可以通过交叉节点上的两个端口连接。通过一个端口连接的环是子环，通过两个端口连接的环是主环。

R-APS virtual channel： R-APS 虚通道 ，在子环通路外，两个交叉节点间使子环连通的链路，它的传输特性与子环外网络有关。

major-ring： 主环，连接交叉节点上两个端口的环。

sub-ring：子环，通过两个交叉节点与其它网络相连的环，子环本身不是一个环形网络，只有通过交叉节点与其它环相连时才组成一个环网。

ERP instance：ERP 实例，是多个保护 vlan 的集合，在这个实例中的 vlan，它们的报文传输经过相同的环网链路，每个 vlan 只能属于一个实例。

Revertive switch：可逆倒换， RPL 拥有节点在得知环网故障恢复后，恢复 RPL 的阻塞状态，使网络流量传输路径恢复到故障前的链路。

Non-revertive switch：不可逆倒换，RPL 拥有节点在得知环网故障恢复后，不阻塞 RPL，网络流量传输路径与故障发生时一致。

8.6.1.2 ERPS 功能介绍

8.6.1.2.1 故障倒换

下面以单环单条链路故障为例，说明 erps 协议的工作过程。如图 2-1 所示。

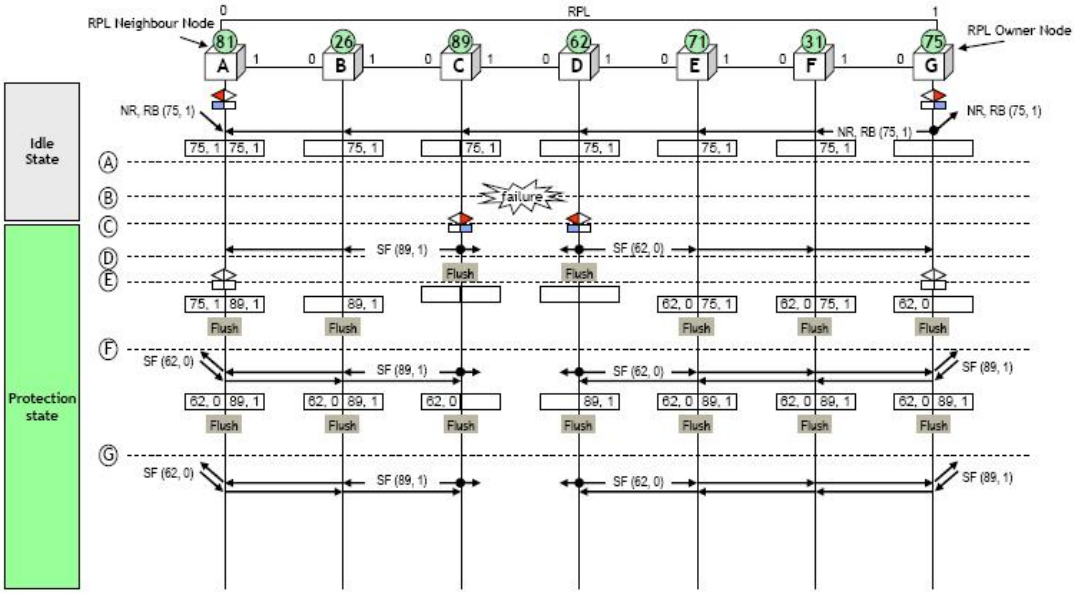


图 7-1 链路故障

故障倒换的步骤：

a) 环网状态正常，RPL 拥有节点 G 周期性地发送 R-APS（NR,RB）报文，本报文说明 RPL 链路处于阻塞状态，环网健康；

b) 节点 C 和 D 间的链路发生故障；

c) 节点 C 和 D 检测到故障，它们分别阻塞连接故障链路的端口，执行 flush FDB；

d) 同时，节点 C 和 D 分别通过连接到环网的端口周期性地发送故障通知报文 R-APS（SF）；

e) 所有收到 R-APS（SF）报文的节点执行 flush FDB，同时，RPL 拥有节点 G 和 RPL 邻节点 A 设置 RPL 连接端口为 forward，节点 G 停止发送 R-APS（NR,RB）报文；

f) 由于 RPL 链路解除阻塞，所有节点能收到两个 R-APS（SF）报文（节点 C 和节点 D 发送的），在收到新的 R-APS（SF）报文后，会再次执行 flush FDB；

g) 链路故障消息 R-APS（SF）在环网内一直传输；

8.6.1.2.2 故障恢复

当环链路的故障恢复时，环上节点有两种处理方式：一种是可逆倒换方式，即当故障链路恢复正常后，环网阻塞 RPL，恢复故障链路的转发状态，此时，数据报文的转发路径同环网前一次正常时一致。另一种是不可逆倒换方式，即当故障链路恢复正常后，此链路保持阻塞状态，数据报文继续按照当前的路径转发。

两种方式适用的环境有所不同，当阻塞 RPL 可使网络中的数据流量转发路径最优时，应使用可逆倒换方式；当网络中各链路路径代价差别不大，阻塞哪条路径对于报文转发都没有差别，为避免环路恢复导致数据流量二次中断，可采用不可逆倒换方式。

一、可逆倒换方式

下面以单环单条链路故障为例，说明可逆倒换方式的故障恢复过程。如图 2-2 所示。

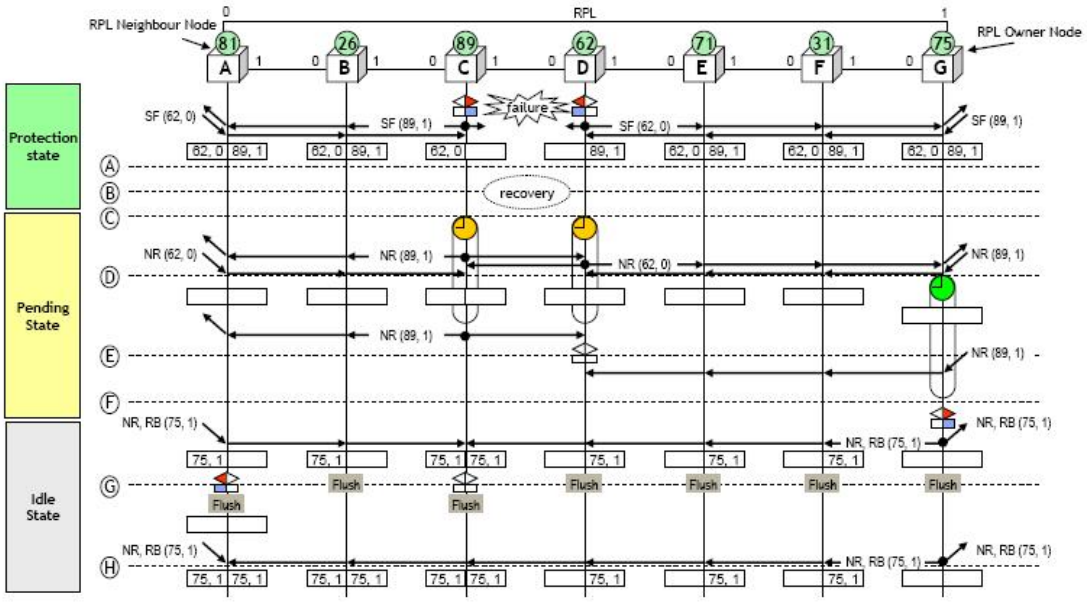


图 7-2 链路可逆倒换方式故障恢复

可逆倒换方式故障恢复的步骤：

a) 故障仍然存在，检测到故障的节点继续周期性地发送携带故障信息的 R-APS（SF）报文；

b) 链路上的故障恢复；

c) 节点 C 和 D 检测到故障恢复，它们启动 guard 定时器，同时在环网的端口上发送故障恢复报文 R-APS（NR）；

d) 当 RPL 拥有节点检查到 R-APS（NR）报文，它启动 WTR 计时器，同时清除本地记录的节点故障信息；

e) 节点 C 和 D 的定时器超时后，它们接收到对端发送的 R-APS（NR）报文，节点 D 认为节点 C 的优先级更高，因此，它停止发送携带本地信息的 R-APS（NR）报文，并解除端口的 block；

f) 当 RPL 拥有节点 G 的 WTR 定时器超时后，它阻塞连接 RPL 的端口，通过环网的端口发送 R-APS（NR, RB）报文，通知其它节点 RPL 链路已阻塞，同时，节点 G 执行 flush FDB；

g) 节点 C 收到 RPL 拥有节点发送的 R-APS（NR, RB）报文，它解除本地端口的阻塞，同时停止发送 NR 报文。RPL 邻节点 A 收到此报文，它阻塞连接 RPL 的端口。另外，所有节点收到 R-APS（NR, RB）报文后，执行 flush FDB。

二、不可逆倒换方式

下面以单环单条链路故障为例，说明不可逆倒换方式的故障恢复过程。如图 2-3 所示。

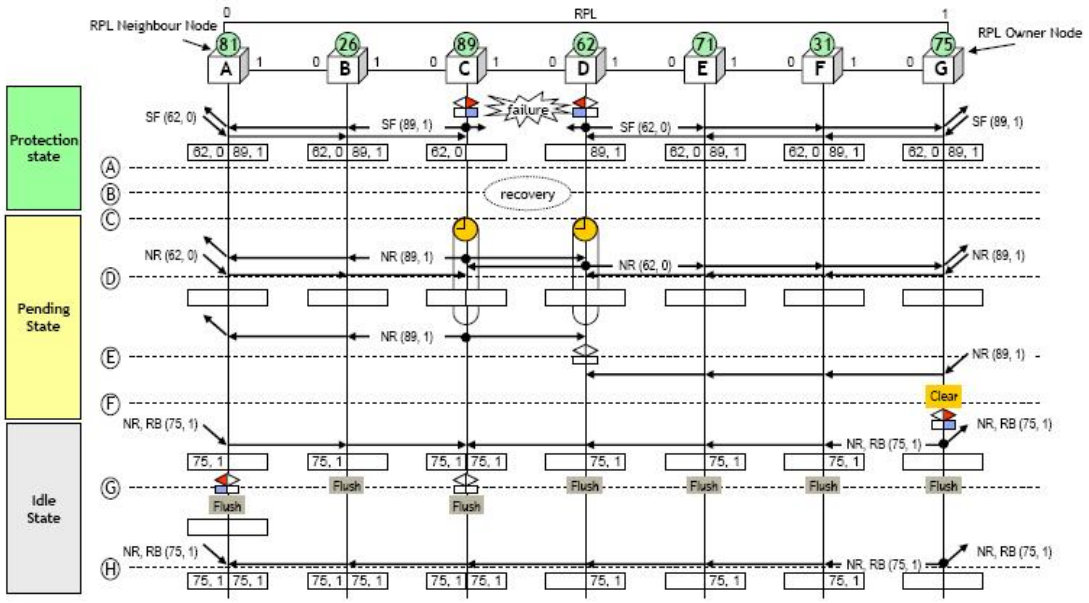


图 7-3 链路不可逆倒换方式故障恢复

不可逆倒换方式的故障恢复步骤：

a) 故障仍然存在，检测到故障的节点继续周期性地发送携带故障信息的 R-APS（SF）报文；

b) 链路上的故障恢复；

c) 节点 C 和 D 检测到故障恢复，它们启动 guard 定时器，同时在环网的端口上发送故障恢复报文 R-APS（NR）；

d) 当 RPL 拥有节点 G 检查到 R-APS（NR）报文，由于 G 配置了不可逆倒换方式（non-revertive），它清除本地记录的节点故障信息，但不启动 WTR 计时器；

e) 节点 C 和 D 的定时器超时后，它们接收到对端发送的 R-APS（NR）报文，节点 D 认为节点 C 的优先级更高，因此，它停止发送 R-APS（NR）报文，并解除本地端口的 block；

f) 若 RPL 拥有节点 G 执行 clear 命令，它恢复为可逆倒换方式（revertive），它会阻塞连接 RPL 的端口，通过环网的端口发送 R-APS 报文（NR, RB），通知其它节点 RPL 链路已阻塞，同时，执行 flush FDB；

g) 节点 C 收到 RPL 拥有节点发送的报文，它解除本地端口的阻塞，同时停止发送 R-APS（NR）报文；RPL 邻节点 A 收到此报文，它阻塞连接 RPL 的端口。另外，所有节点收到报文后，执行 flush FDB。

8.6.1.2.3 交叉环模型

erps 协议可支持交叉环的保护倒换。交叉环模型分两种：有虚通道的交叉环模型和无虚通道的交叉环模型。

一、有虚通道的交叉环

如图 2-4，三个环网相交，其中 ring 1 是主环，它由环节点 A,B,G,H 以及四个节点间的链路组成，ring 1 在健康状态时，阻塞节点 A,B 间的链路。ring 2 是另一个主环，它由环节点 C,D,E,F 以及四个节点间的链路组成，ring 2 在健康状态时，阻塞节点 C,D 间的链路。ring 3 是一个子环，它由节点 B,C,F,G 及 B-C 和 G-F 链路组成，ring 3 在健康状态时，

阻塞 B-C 链路。B-G 链路是 ring 1 和 ring 3 的交叉链路，属于 ring 1，C-F 链路是 ring 2 和 ring 3 的交叉链路，属于 ring 2。ring 1 和 ring 2 是一个闭合环网，ring 3 并不是一个环网。若将 ring 1 看成 ring 3 的交叉节点 B,G 间的链路（虚通道），ring 2 看成 ring 3 的交叉节点 C,F 间的链路（虚通道），那么 ring 3 也是一个环网。

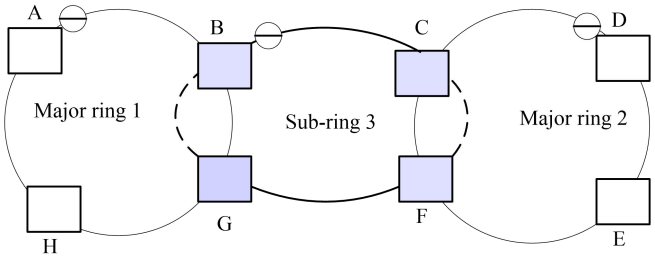


图 7-4 虚通道的交叉环拓扑

ring 1 和 ring 2 提供的 R-APS 虚通道将 ring 3 协议报文看成是数据报文，报文传输方式与数据报文相同，ring 3 节点 B 发送和接收节点 G 发送的 ring 3 erps 协议报文，同时，节点 G 发送和接收节点 B 发送的 ring 3 erps 协议报文。为了在 ring 1 和 ring 2 中将 ring 3 的 erps 报文与本主环内的 erps 报文区分，可以对每个环的协议报文传输使用不同的 control vlan。

当子环 ring 3 有拓扑变化时，需通知环 ring 1 和 ring 2，主环上的节点执行 flush FDB，主环 ring 1 和 ring 2 的拓扑变化不会影响子环 3，另外，环 ring 1 和 ring 2 的拓扑变化也不会相互影响。

二、无虚通道的交叉环

将上面的三个相交环网换一种方式理解，建模如图 2-5。其中 ring 1 是主环，它由环节点 A,B,G,H 以及四个节点间的链路组成，ring 1 在健康状态时，阻塞 A-B 链路。ring 2 是一个子环，它由环节点 C,D,E,F 以及 C-D,D-E,E-F 链路组成，ring 2 在健康状态时，阻塞 C-D 链路。ring 3 是另一个子环，它由节点 B,C,F,G 以及 B-C,C-F,F-G 链路组成， ring 3 在健康状态时，阻塞 B-C 链路。B-G 链路是 ring 1 和 ring 3 的交叉链路，属于 ring 1，C-F 链路是 ring 2 和 ring 3 间的交叉链路，属于 ring3。ring 1 是一个闭合的环网，ring 2 和 ring 3 不是环网。

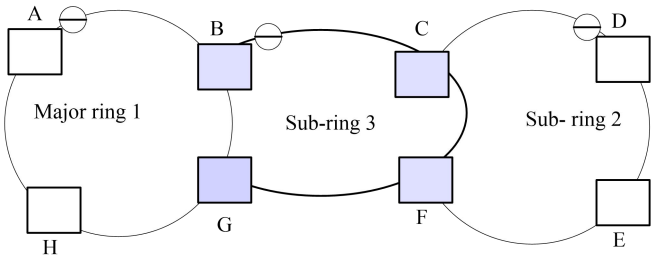


图 7-5 虚通道的交叉环拓扑

虽然 ring 2 和 ring 3 不是环网，但这两个子环的 erps 报文也需要能传输到所有的环上

节点，因此，若 B-C,C-D 间链路阻塞，阻塞链路应该也能够传输 erps 协议报文，阻塞链路的端点 B,C 和 C,D 应该也可以接收和发送 erps 协议报文。

当子环 ring 3 有拓扑变化时，需要通知主环 ring 1，主环上的节点执行 flush FDB 操作，对子环 ring 2 没有影响。当子环 ring 2 有拓扑变化时，会影响子环 ring3 和主环 ring1，环上节点需执行 flush FDB。然而，主环 ring 1 的拓扑变化不会影响子环 ring 2 和 ring 3。

8.6.1.3 ERPS 应用场景

ERPS 用于环形组网，位于汇聚层，汇聚环可完成业务的二层汇聚，同时接入上级三层网络进行业务处理。汇聚环运行 ERPS 协议，提供汇聚环的二层冗余保护倒换功能。

8.6.2 ERPS 配置

ERPS 配置任务序列如下：

1）创建实例，映射对应要保护的 vlan

2）创建 ERPS 环，并配置成员端口信息。其它为默认配置：支持 V2 版本、主环封闭类型、监控端口物理状态

3）配置 ERPS 环实例，并配置保护实例，端口角色，并选择性配置 ERPS 环实例名字、R-APS 等级、定时器等信息，最后配置控制 VLAN，选择端口配置成 RPL owner 和 RPL Neighbor

1. 创建 MSTP 实例

命令	解释
全局配置模式	
spanning-tree mst configuration **no spanning-tree mst configuration**	进入交换机的 MST 配置模式，在交换机的 MST 配置模式下，可配置交换机有关 MSTP 域的参数；本命令的 no 操作为恢复交换机的 MSTP 域参数的缺省值
MST 配置模式	
instance <instance value > vlan <vlan-list> **no instance [instance-value]**	设置配置实例，映射需要保护的 vlan；本命令的 no 操作为删除指定的实例。

2. 创建 ERPS 环，配置成员端口信息

命令	解释
全局配置模式	
erps ring <ring-name> **no erps ring <ring-name>**	创建 ERPS 环，并进入 ERPS 环配置模式；本命令的 no 操作为删除指定的 erps 环。
端口配置模式	

erps-ring <ring-name> port0 **erps-ring <ring-name> port1** **erps-ring <ring-name> port0** **erps-ring <ring-name> port1**	配置一个端口的为环节点 port0 或者 port1；本命令的 no 操作为删除端口环节点的 port0 或者 port1 属性。

3．配置 ERPS 环实例

命令	解释
全局配置模式	
erps ring <ring-name> **no erps ring <ring-name>**	创建 ERPS 环，并进入 ERPS 环配置模式；本命令的 no 操作为删除指定的 erps 环。
ERPS 环配置模式	
eprs-instance <instance-id> **no eprs-instance <instance-id>**	创建 ERPS 环上实例，并进入 ERPS 环实例配置模式；本命令的 no 操作为删除指定的环节点实例。
description <instance-name> **no description**	配置 ERPS 实例的描述字符串；本命令 no 操作为删除指定实例描述字符串
rpl {port0 | port1} {owner | neighbour} **no rpl {port0 | port1}**	配置 ERPS 环实例的成员端口为 RPL owner 或 RPL neighbour；本命令 no 操作为删除指定 owner 或者 neighbor 节点
raps-mel <level-value> **no raps-mel**	配置 R-APS channel 的 level，协议报文中的 MEL 字段用于检测当前报文是否能通过；本命令 no 操作为删除 R-APS channel 的 level
protected-instance <instance-list> **no protected-instance**	配置 ERPS 环实例的保护实例，本命令 no 操作为删除 ERPS 环实例的保护实例
wtr-timer <wtr-times> **no wtr-timer**	配置 WTR 定时器。WTR 定时器用来避免 RPL 拥有节点由于周期性（间断性）故障引起的频繁保护切换操作；本命令 no 操作为删除 wtr 定时器。
guard-timer <guard-times> **no guard-timer**	配置 Guard 定时器。Guard 定时器用于以太网环节点避免依据过时的 R-APS 报文作出错误处理，避免形成封闭环路；本命令 no 操作为删除 guard 定时器
holdoff –timer <holdoff-times> **no holdoff –timer**	配置 Holdoff 定时器。Holdoff 定时器用于以太网环节点阻塞故障上报时间；本命令 no 操作为删除 Holdoff 定时器。
control-vlan <vlan-id> **no control-vlan**	配置 R-APS channel 传输 R-APS 报文的控制 VLAN。在 ERPS 环实例中，该

	VLAN 只用来传递 ERPS 协议报文，不用来转发用户业务报文，从而提高了 ERPS 协议的安全性；本命令 no 操作为删除 Control Vlan。

4．显示 ERPS 的配置信息

命令	解释
全局配置模式	
show erps ring {<ring-name> | brief}	显示 ERPS 环信息。
show erps instance [ring <ring-name> [instance <instance-id>]]	显示 ERPS 环实例信息。
show erps status [ring <ring-name> [instance <instance-id>]]	显示 ERPS 环实例的状态信息。
show erps statistics [ring <ring-name> [instance <instance-id>]]	显示 ERPS 环实例的统计信息。

8.6.3 ERPS 举例

案例 1：

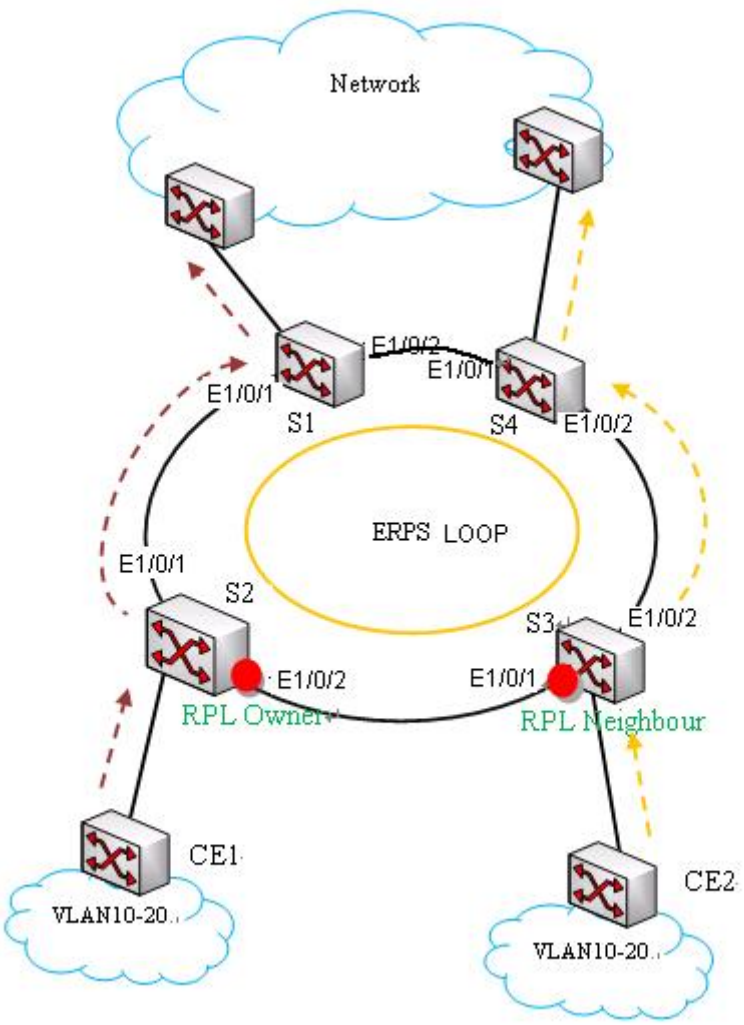


图 7-6 RPS 的配置应用

如上图所示是 ERPS 的配置应用的说明图，S1～S4 组成环形网，提供二层冗余保护倒换功能。为了防止 VLAN10 ～ VLAN20 内的报文产生环路，在组成环网的设备上部署 ERPS 协议。通过 CE1 接入的用户数据转发路径为 S2-S1，通过 CE2 接入的用户数据转发路径 S3-S4。为了实现以太网环路切换保护，可以按如下的步骤进行配置。

1. 配置思路

按照如下思路配置 ERPS 环路冗余保护：

创建 ERPS 环 maijor_ring1，并配置环成员端口；

配置 ERPS 环 maijor_ring1 上实例 1，并配置保护实例、成员端口角色、定时器和控制 VLAN。

2. 配置步骤

步骤 1 在 S1 ～ S4 上创建实例 2，映射 VLAN 2，10-20，VLAN2 用于传递协议报文， VLAN10-20 用于传递数据报文。

配置 S1。

S1#config

S1(config)#spanning-tree mst configuration

S1(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20

S1(Config-Mstp-Region)#exit

S1(config)#interface e1/1/1-2

S1(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk

S2、S3、S4 配置同 S1。

步骤 2 创建 ERPS 环，并配置成员端口信息。其它为默认配置：支持 V2 版本、主环封闭类型、监控端口物理状态。

配置 S1。

S1(config)#erps-ring maijor_ring1

S1(config-erps-ring)#exit

S1(config)# interface e1/1/1

S1(config-if-ethernet1/1/1)erps-ring maijor_ring1 port 0

S1(config-if-ethernet1/1/1)interface e1/1/2

S1(config-if-ethernet1/1/2)erps-ring maijor_ring1 port 1

S2、S3、S4 配置同 S1。

步骤 3 配置 ERPS 环实例，并配置保护实例，端口角色，并选择性配置 ERPS 环实例名字、R-APS 等级、定时器等信息，最后配置控制 VLAN。将 S2 的 e1/1/2 端口配置为 RPL Owner，S3 的 e1/1/1 端口配置为 RPL Neighbour。

配置 S1。

S1(config)# erps-ring maijor_ring1

S1(config-erps-ring)#erps-instance 1

S1(config-erps-ring-inst-1)#description instance1

S1(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3

S1(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2

S1(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8

S1(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100

S1(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5

S1(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2

S4 配置同 S1。

配置 S2。

S2(config)# erps-ring maijor_ring1

S2(config-erps-ring)#erps-instance 1

S2(config-erps-ring-inst-1)#description instance1

S2(config-erps-ring-inst-1)#rpl port 1 owner

S2(config-erps-ring-inst-1)#non-revertive

S2(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3

S2(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2

S2(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S2(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S2(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S2(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2

配置 S3。
S3(config)# erps-ring maijor_ring1
S3(config-erps-ring)#erps-instance 1
S3(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S3(config-erps-ring-inst-1)# rp0 port 1 neighbour
S3(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S3(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S3(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S3(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S3(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S3(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2

步骤 4 查看配置结果。上述配置成功后，以 S2 为例查看配置结果。

S2# show erps ring brief

Ring-ID	Description	Ring-topo	Port0	Port1	Version	Inst-Count
1	maijor_ring1	maijor-ring	1/1/1	1/1/2	V2	1

Switch#show erps instance
ERPS Ring maijor_ring1
Instance 1
Description：instance1
Protected Instance : 2 Revertive mode: revertive
RAPS MEL: 3 R-APS-Virtual-Channel：
Control Vlan : 2
Guard Timer (csec) : 100
Holdoff Timer (seconds) : 5
WTR Timer (min) : 8

Port	Role	Port-Status
port0	Common	Forwarding
port1	RPL Owner	Blocked

3. 配置文件

S1 的配置文件：

```
S1#config
S1(config)#erps-ring maijor_ring1
S1(config)#spanning-tree mst configuration
S1(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
S1(Config-Mstp-Region)#exit
S1(config)#interface e1/1/1-2
S1(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
S1(Config-If-Port-Range)#exit
S1(config)# interface e1/1/1
S1(config-if-ethernet1/1/1)erps-ring maijor_ring1 port 0
S1(config-if-ethernet1/1/1)interface e1/1/2
S1(config-if-ethernet1/1/2)erps-ring maijor_ring1 port 1
S1(config-if-ethernet1/1/2)exit
S1(config)#erps-ring maijor_ring1
S1(config-erps-ring)#erps-instance 1
S1(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S1(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S1(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S1(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S1(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S1(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S1(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

S2 的配置文件：

```
S2#config
S2(config)#erps-ring maijor_ring1
S2(config)#spanning-tree mst configuration
S2(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
S2(Config-Mstp-Region)#exit
S2(config)#interface e1/1/1-2
S2(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
S2(Config-If-Port-Range)#exit
S2(config)# interface e1/1/1
S2(config-if-ethernet1/1/1)erps-ring maijor_ring1 port 0
S2(config-if-ethernet1/1/1)interface e1/1/2
S2(config-if-ethernet1/1/2)erps-ring maijor_ring1 port 1
S2(config-if-ethernet1/1/2)exit
```

S2(config)#erps-ring maijor_ring1
S2(config-erps-ring)#erps-instance 1
S2(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S2(config-erps-ring-inst-1)#rpl port1 owner
S2(config-erps-ring-inst-1)#non-revertive
S2(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S2(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S2(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S2(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S2(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S2(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2

S3 的配置文件：
S3#config
S3(config)#erps-ring maijor_ring1
S3(config)#spanning-tree mst configuration
S3(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
S3(Config-Mstp-Region)#exit
S3(config)#interface e1/1/1-2
S3(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
S3(Config-If-Port-Range)#exit
S3(config)# interface e1/1/1
S3(config-if-ethernet1/1/1)erps-ring maijor_ring1 port 0
S3(config-if-ethernet1/1/1)interface e1/1/2
S3(config-if-ethernet1/1/2)erps-ring maijor_ring1 port 1
S3(config-if-ethernet1/1/2)exit
S3(config)#erps-ring maijor_ring1
S3(config-erps-ring)#erps-instance 1
S3(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S3(config-erps-ring-inst-1)#rpl port1 neighbour
S3(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S3(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S3(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S3(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S3(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S3(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2

S4 的配置文件：

```
S4#config
S4(config)#erps-ring maijor_ring1
S4(config)#spanning-tree mst configuration
S4(Config-Mstp-Region) instance 2 vlan 2;10-20
S4(Config-Mstp-Region)#exit
S4(config)#interface e1/1/1-2
S4(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
S4(Config-If-Port-Range)#exit
S4(config)# interface e1/1/1
S4(config-if-ethernet1/1/1)erps-ring maijor_ring1 port 0
S4(config-if-ethernet1/1/1)interface e1/1/2
S4(config-if-ethernet1/1/2)erps-ring maijor_ring1 port 1
S4(config-if-ethernet1/1/2)exit
S4(config)#erps-ring maijor_ring1
S4(config-erps-ring)#erps-instance 1
S4(config-erps-ring-inst-1)#description instance1
S4(config-erps-ring-inst-1)#raps-mel 3
S4(config-erps-ring-inst-1)#protected-instance 2
S4(config-erps-ring-inst-1)#wtr-timer 8
S4(config-erps-ring-inst-1)#guard-timer 100
S4(config-erps-ring-inst-1)#holdoff-timer 5
S4(config-erps-ring-inst-1)# control-vlan 2
```

8.6.4 ERPS 排错帮助

如果用户配置好的 ERPS 环无法实现以太网环路切换保护，在确保硬件、线缆等没有问题的前提下，检查可能存在的情况和建议的解决方法：

- 检查基本配置是否正确，ERPS 环路中的各个节点的配置的保护实例，control-vlan，wtr-timer，guard-timer，raps-mel 等等是否一致。
- 检查用户数据流量所在的 vlan 不要跟 control vlan 在同一个 vlan，在 ERPS 环实例中，control vlan 只用来传递 ERPS 协议报文，不用来转发用户业务报文，从而提高了 ERPS 协议的安全性。由用户保证配置唯一性。该 VLAN 在发送 R-APS 报文时作为 vlan tag。实例中所有节点的保护 VLAN 配置必须一致。
- 建议用户配置的 ERPS 节点上的端口 trunk 口，保证数据报文所在的 vlan 和 control vlan 在配置的保护实例中，ERPS 只保护处于保护实例中的各种数据和协议报文。例如：交换机启动某个协议（CFM ，EFM，三层接口）导致交换机往外面发送的协议报文，这时候如果发送（协议）报文的 Vlan ID 不在保护实例中，那么拓扑中会出现环路。
- 若配置端口状态检测方式为 fastlink，则硬件需支持 fastlink 功能，即硬中断通知端

口状态变化，同时关闭交换机上 mac 软学习功能。

- 若配置为与 CFM 联动，需要硬件支持 CC 功能，且能达到 3.3ms 的 ccm 发包能力

第 9 章 维护及调试操作

9.1 维护和调试

当用户配置交换机时，需要查看各项配置是否配置正确，交换机是否符合期望，工作正常；或者当网络出现了故障，用户需要诊断故障，交换机为此提供了 ping、telnet、show、debug 等多种调试命令，帮助用户查看系统配置、运行状态，找到故障原因。

9.1.1 Ping

Ping 命令主要用于交换机向远端设备发 ICMP 请求包，检测交换机与远端设备之间是否可达。Ping 命令各选项及参数意义请参考命令手册 Ping 命令章节。

9.1.2 Ping6

Ping6 命令主要用于交换机向远端设备发 ICMPv6 请求包，检测交换机与远端设备之间是否可达。Ping6 命令各选项及参数意义请参考命令手册 Ping6 命令章节。

9.1.3 Traceroute

Traceroute 命令用于测试数据包从发送设备到目的地设备所经过的网关，检测网络是否可达，定位网络故障所在。

Traceroute 命令的执行过程是：首先向目的地址发送一个 TTL 为 1 的数据包，如果第一跳发送回一个 ICMP 错误消息以指明该数据包不能被发送（因为 TTL 超时），则继续向该地址发送 TTL 为 2 的数据包，同样第二跳也可能返回 TTL 超时，于是这个过程不断进行，直到数据包到达目的地。执行这些过程的目的是记录每一个 ICMP TTL 超时消息的源地址，以提供一个 IP 数据包到达目的地所经历的路径。

Traceroute 命令各选项及参数意义请参考命令手册 traceroute 命令章节。

9.1.4 Traceroute6

Traceroute6 功能用于测试数据包从发送设备到目的设备所经过的网关，检测网络是否可达，定位网络故障所在。IPv6 下 Traceroute6 的原理和 IPv4 下的 Traceroute 原理上是一样的，它利用 ICMPv6 及 IPv6 header 的跳限制字段。首先，Traceroute6 送出一个 HOPLIMIT 是 1 的 IPv6 datagram（包括源地址，目的地址和包发出的时间标签）到目的地，当路径上的第一个路由器（router）收到这个 datagram 时，它将 HOPLIMIT 减 1。此时，HOPLIMIT 变为 0 了，所以该路由器会将此 datagram 丢掉，并送回一个「ICMPv6 time exceeded」消息（包括发 IPv6 包的源地址，IPv6 包的所有内容及路由器的 IPv6 地址），Traceroute6 收到这个消息后，便知道这个路由器存在于这个路径上，接着 Traceroute6 再送出另一个 HOPLIMIT 是 2 的 datagram，发现第 2 个路由器……，Traceroute6 每次将送出的 datagram 的 HOPLIMIT

加 1 来发现另一个路由器，这个重复的动作一直持续到某个 datagram 抵达目的地。

Traceroute6 命令各选项及参数意义请参考命令手册 traceroute6 命令章节。

9.1.5 Show

show 命令用来显示交换机的系统信息、端口信息、协议运行情况等。本部分介绍交换机的显示系统信息的 show 命令，其它的 show 命令会在相关章节有介绍。

命令	解释
特权用户配置模式	
show debugging	显示调试开关的状态。
show flash	显示保存在 flash 中的文件及大小。
show history	显示用户最近输入的历史命令。
show history all-users [detail]	显示所有用户最近输入的历史命令，可以使用 clear history all-users 命令清除系统保存的所有用户命令记录，系统保存的最大命令记录数可以通过 history all-users max-length 命令设置。
show memory usage	显示内存卡使用情况。
show running-config	显示当前运行状态下生效的交换机参数配置。
show running-config current-mode	显示当前模式下的配置。
show startup-config	显示当前运行状态下写在 Flash Memory 中的交换机参数配置，通常也是交换机下次上电启动时所用的配置文件。
show switchport interface [ethernet <interface-list>]	显示交换机端口的 VLAN 端口模式和所属 VLAN 号及交换机的 Trunk 端口信息。
show tcp **show tcp ipv6**	显示当前与交换机建立的 TCP 连接情况。
show udp **show udp ipv6**	显示当前与交换机建立的 UDP 连接情况。
show telnet login	显示当前与交换机建立起 Telnet 连接的 Telnet 客户端的信息。
show tech-support	显示交换机运行的信息和各任务的状态，技术支持人员利用该命令，诊断交换机的运行是否正常。
show version	显示交换机版本信息。
show temperature	显示交换机 CPU 的温度
show fan	显示交换机风扇情况。

9.1.6 Debug

交换机支持的每一项协议都有相应的 debug 命令，用户可以通过查看 debug 命令的显示信息诊断网络故障。在以后的章节中会陆续介绍到相应协议的 debug 命令。

9.2 Logging

交换机支持将用户在 console，telnet 或 ssh 终端执行的命令记录到日志系统 info-center 中。

命令	描述
全局配置模式	
logging executed-commands {enable | disable}	打开或关闭记录用户执行命令的日志开关
特权配置模式	
show logging executed-commands state	显示用于记录用户执行命令的日志开关状态

9.3 定时重启交换机

9.3.1 定时重启交换机简介

定时重启交换机是在不关闭电源的情况下，经过指定的时间以后，重新启动交换机。本功能一般用于版本升级。当升级完版本以后，可以不立刻重启交换机，而是指定经过一段时间以后再重启交换机。

9.3.2 定时重启交换机任务序列

1. 定时热启动交换机

命令	解释
特权用户配置模式	
reload after {[<*HH:MM:SS*>] [days <*days*>]}	定时热启动交换机。
reload cancel	取消定时热启动交换机。

9.4 CPU 收发报文调试

9.4.1 CPU 收发报文简介

CPU 收发报文调试命令用于对各种送往交换机 cpu 的报文的诊断调试，这部分命令的使用必须在厂商技术人员的指导下使用。

9.4.2 CPU 收发报文任务序列

命令	解释
全局配置模式	
cpu-rx-ratelimit total <*packets*> **no cpu-rx-ratelimit total**	设置 cpu 接收报文总限速值，本命令的 no 操作为恢复 cpu 接收报文总限速为默认值。
cpu-rx-ratelimit protocol <*protocol-type*> <*packets*> **no cpu-rx-ratelimit protocol [<*protocol- type*>]**	设置协议报文每秒允许送 CPU 的个数，本命令的 no 操作为恢复协议报文每秒允许送 CPU 的个数为默认值。
clear cpu-rx-stat protocol [<*protocol-type*>]	将某类型协议报文的收包统计清 0。
特权模式	
show cpu-rx protocol [<*protocol-type*>]	显示某板卡的指定类型报文的接收信息。
debug driver {receive|send} [interface {<*interface-name*> |all}] [protocol {<*protocol-type*> |discard |all}] [detail]	打开指定端口指定类型报文驱动接收或发送信息的显示。
no debug driver {receive |send}	关闭驱动收发包信息的显示。

命令	解释
特权模式	
protocol filter {protocol-type} **no Protocol filter {protocol-type}**	开启/关闭针对具名协议报文的处理,目前该具名协议包括 **{arp|bgp|dhcp|dhcpv6|hsrp|http|igmp|ip|ldp|mpls|ospf|pim|rip|snmp|telnet|vrrp}**

9.5 info-center

9.5.1 信息中心介绍

9.5.1.1 基本概念

信息中心是输出系统信息（以下称之为信息源）的一套机制。

用户需要针对输出方向进行配置，并设置对应的输出方向使能和匹配信息条件就可以输出期望的日志信息，配置过程简单灵活。

9.5.1.2 信息源

信息源分为八个等级（severity）如表 1-1：

表 1-1

等级编号	等级名称	说明
1	emergencies	致命错误
2	alerts	需立即纠正的错误
3	critical	关键错误
4	errors	需关注但不关键的错误
5	warnings	警告，可能存在某种差错
6	notifications	需注意的信息
7	informational	一般提示信息
8	debugging	调试信息

9.5.1.3 输出方向

目前支持 16 个输出方向，如表 1-2：

表 1-2

输出方向	说明
console	控制台
monitor	Telnet 终端
loghost <1-8>	日志主机
trapbuffer	告警缓冲
logbuffer	日志缓冲
logfile <1-4>	日志文件

几个输出方向的设置相互独立，但首先需要开启信息中心，设置才会生效。

9.5.1.4 信息源信息的格式

信息源信息的格式如下：

<priority>timestamp sysname module/level/digest:content

对应的中文格式为：
<优先级>时间戳 主机名 模块名/信息级别/信息摘要:信息文本

以上格式中的尖括号（< >）、空格、斜杠（/）、冒号（:）在配置了日志前缀（日志前缀可以参考后续的命令说明）时是必须的；其中尖括号只在输出方向为日志主机时有效。

输出到日志主机的日志格式的例子如下：
<188>Sep 28 15:33:46:235 2005 MyDevice SHELL/5/LOGIN: Console login from con0

不带前缀的日志格式的例子如下：
Console login from con0

下面对每一个字段做详细说明。
1） 优先级

优先级的计算按如下公式：facility*8+severity-1。

facility（工具名称）可选为local0~local7，默认为local7。值为16~23。

severity（信息级别）的取值范围为1～8，信息级别具体含义请参见表1-1。

优先级与时间戳之间没有任何字符。优先级只有在信息发送到日志主机上时才有效。

值得一提的是facililty的由来。facility是信息向日志主机输出特有的一个属性，对于其他输出方向无意义。其值local0~local7来源于早期syslog协议为UNIX日志主机定义的日志类型。全部类型如下：

表1-3

facility	code
kernel messages	0
user-level messages	1
mail system	2
system daemons	3
security/authorization messages (note 1)	4
messages generated internally by syslogd	5
line printer subsystem	6
network news subsystem	7
UUCP subsystem	8
clock daemon (note 2)	9
security/authorization	10

messages (note 1)	
FTP daemon	11
NTP subsystem	12
log audit (note 1)	13
log alert (note 1)	14
clock daemon (note 2)	15
local use 0 (local0)	16
local use 1 (local1)	17
local use 2 (local2)	18
local use 3 (local3)	19
local use 4 (local4)	20
local use 5 (local5)	21
local use 6 (local6)	22
local use 7 (local7)	23

可以看到，为用户预留的就只有local0~local7，值为16~23。

2) 时间戳

时间戳记录了系统信息产生的时间，方便用户察看和定位系统事件。时间戳与主机名之间以一个空格隔开。

date 模式

mmm + space + dd + space + hh + colon +mm + colon + ss + colon + sss+ space+ yyyy

mmm = Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec

表示月份

dd = 1~31，表示每月第几天，其中如果值为 1~9 时，要在前面加 0 后加入 information text，比如 1 要转化为“01”，下同。

hh = 0 ~ 23, 表示小时

mm = 0 ~ 59 表示分钟

ss = 0 ~ 59 表示秒

sss = 0 ~ 999 表示毫秒

yyyy = 1970 ~ 9999 表示年

3) 主机名

主机名是本机的系统名。

主机名与模块名之间以一个空格隔开。

4) 模块名

该字段表示产生信息的功能模块的名称。

模块名与信息级别之间以一个斜杠（/）隔开。

5) 信息级别（severity）

系统信息分为三类：日志、调试和告警。按照紧急程度的不同，每类信息都分为八个等

级,详见章节1.2信息源。系统信息的信息级别值越小，紧急程度越高。

系统进行信息过滤时采用的规则是：禁止信息级别大于所设置阈值的信息输出。

当设置信息级别的取值为 1 时，系统只会输出emergencies信息；

当设置信息级别的取值为 8 时，系统将输出所有级别的信息。

信息级别与信息摘要之间以一个斜杠（/）隔开。

6) 信息摘要

信息摘要是一个不超过 32 个字符的字符串，表示该信息的内容大意。

信息摘要与信息文本之间以一个冒号（:）隔开。

7) 信息文本

信息文本表示了该条系统信息的具体内容。

9.5.2 信息中心功能配置任务序列

1. 设置信息中心全局使能
2. 设置信息中心输出方向使能
3. 设置日志信息前缀开关
4. 设置日志信息匹配条件
5. 配置日志主机的IP和等级
6. 配置日志文件的条数和存取路径
7. 配置记录用户操作命令
8. 删除logbuffer或trapbuffer记录的日志
9. 查看支持存放文件的区域
10. 配置一键收集

1. 设置信息中心全局使能

命令	描述
全局配置模式	
info-center enable	设置信息中心全局使能
no info-center enable	设置信息中心全局去使能

2. 设置信息中心输出方向使能

命令	描述
全局配置模式	
info-center (console | logbuffer | monitor | trapbuffer) output-enable **info-center (logfile <1-4> | loghost <1-8>) output-enable (member <1-4> |)**	设置信息中心输出方向使能
no info-center (console | logbuffer | monitor | trapbuffer)	设置信息中心输出方向去使

output-enable **no info-center (logfile <1-4> | loghost <1-8>) output-enable (member <1-4> |)**	能

3. 设置日志信息前缀开关

命令	描述
全局配置模式	
info-center (console | logbuffer | monitor | trapbuffer) prefix (on|off) **info-center (logfile <1-4> | loghost <1-8>) prefix (on|off) (member <1-4> |)**	设置日志信息携带前缀开关

4. 设置日志信息匹配条件

命令	描述
全局配置模式	
info-center (console | logbuffer | monitor | trapbuffer) match level (emergencies | alerts | critical | errors | warnings | notifications | informational | debugging) (exact |) (keyword WORD |) **info-center (logfile <1-4> | loghost <1-8>) match level (emergencies | alerts | critical | errors | warnings | notifications | informational | debugging) (exact |) (keyword WORD |) (member <1-4> |)**	设置日志信息匹配条件
no info-center (console | logbuffer | monitor | trapbuffer) match **no info-center (logfile <1-4> | loghost <1-8>) match (member <1-4> |)**	删除日志信息匹配条件

5. 配置日志主机的 IP 和等级

命令	描述
全局配置模式	
info-center loghost <1-8> config (A.B.C.D | X:X::X:X) facility (local0|local1|local2|local3|local4|local5|local6|local7) (member <1-16> |)	配置日志主机的 IP 和等级
no info-center loghost <1-8> config (member <1-4> |)	删除日志主机的 IP 和等级

6. 配置日志文件的条数和存取路径

命令	描述
全局配置模式	
info-center logfile <1-4> config count <1-40960> (flash|usb) WORD (member <1-4> |)	配置日志文件的条数和存取路径
no info-center logfile <1-4> config (member <1-4> |)	删除日志文件的条数和存取路径

7. 配置记录用户操作命令

命令	描述
全局配置模式	
info-center (logbuffer | logfile <1-4> | loghost <1-8>) record-cmd	配置记录用户操作命令
no info-center (logbuffer | logfile <1-4> | loghost <1-8>) record-cmd	删除记录用户操作命令

8. 删除 logbuffer 或 trapbuffer 记录的日志

命令	描述
全局配置模式	
info-center clear trapbuffer	删除 trapbuffer 记录的日志
info-center clear logbuffer (member <1-4> |)	删除 logbuffer 记录的日志

9. 查看支持存放文件的区域

命令	描述
全局配置模式	
info-center list all disk	查看支持存放文件的区域

10. 配置一键收集

命令	描述
全局配置模式	
info-center save all (((flash|usb|nandflash) WORD)|)	配置一键收集

9.5.3 信息中心配置举例

9.5.3.1 console 输出日志

举例 1：配置 console 允许输出带前缀的级别为 debugging 及以上的日志。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center console output-enable

Switch(config)#info-center console prefix on

Switch(config)#info-center console match level debugging

9.5.3.2 monitor 输出日志

举例 2：配置 monitor 允许输出不带前缀的级别为 warnings 的日志。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center monitor output-enable

Switch(config)#info-center monitor prefix off

Switch(config)#info-center monitor match level warnings exact

9.5.3.3 logbuffer 输出日志

举例 3：配置 logbuffer 允许输出带前缀的级别为 debugging 及以上并且匹配正则表达式 DEVSM 的日志。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center logbuffer output-enable

Switch(config)#info-center logbuffer prefix on

Switch(config)#info-center logbuffer match level debugging keyword DEVSM

9.5.3.4 trapbuffer 输出日志

举例 4：配置 trapbuffer 允许输出带前缀的级别为 warnings 并且匹配正则表达式 DEVSM 的日志。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center trapbuffer output-enable

Switch(config)#info-center trapbuffer prefix on

Switch(config)#info-center trapbuffer match level warnings exact keyword DEVSM

9.5.3.5 loghost 输出日志

举例 5：配置 member 1 上的 loghost 1 允许输出带前缀的级别为 debugging 及以上的日志，并且 loghost 1 的 IP 为 192.168.1.11，facility 为 local0。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center loghost 1 output-enable member 1

Switch(config)#info-center loghost 1 prefix on member 1

Switch(config)#info-center loghost 1 match level debugging member 1

Switch(config)#info-center loghost 1 config 192.168.1.11 facility local0 member 1

9.5.3.6 logfile 输出日志

举例 6：配置 member 1 上的 logfile 1 允许输出带前缀的级别为 debugging 及以上的日志，并且 logfile 1 存储路径为/mnt/flash/file1.log，最大支持 2000 条日志。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center logfile 1 output-enable member 1

Switch(config)#info-center logfile 1 prefix on member 1

Switch(config)#info-center logfile 1 match level debugging member 1

Switch(config)#info-center logfile 1 config count 2000 flash file1.log member 1

9.5.3.7 记录用户操作命令

举例 7：配置 logbuffer 允许记录用户操作命令。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center logbuffer output-enable

Switch(config)#info-center logbuffer record-cmd

9.5.3.8 删除 logbuffer 或 trapbuffer 记录的日志

举例 8：删除 logbuffer 或 trapbuffer 记录的日志。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center clear logbuffer member 1

Switch(config)#info-center clear trapbuffer

9.5.3.9 查看支持存放文件的区域

举例 9：查看支持存放文件的区域。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center list all disk

flash:

usb:

nandflash:

9.5.3.10 一键收集

举例 10：配置一键收集。

配置步骤如下：

Switch(config)#info-center list all disk

*****Now saving Master card(member 1)*****

Now saving infocenter all configuration, please wait..

Now saving infocenter logbuffer content, please wait..

Now saving infocenter trapbuffer content, please wait..

*****Master card(member 1) saving finished!*****

*****Now saving Slave card(member 2)*****

Now saving infocenter logbuffer content, please wait..

*****Slave card(member 2) saving finished!*****

9.5.4 信息中心功能排错帮助

- 配置日志信息的匹配级别对于之后产生的日志有效，之前已经保存的日志信息不变。
- disk 的容量是有限的，当 disk 中的日志达到配置的最大条数时，新的日志信息会替换旧的日志。
- 信息中心全局使能是默认开启的，使用 show info-center config 命令可以显示信息中心当前所有配置。

9.6 镜像

9.6.1 镜像介绍

镜像功能包括端口镜像功能，CPU 镜像功能，流镜像功能以及 VLAN 镜像。

端口镜像功能是指交换机把某一个端口接收或发送的数据帧完全相同的复制给另一个端口；其中被复制的端口称为镜像源端口，复制的端口称为镜像目的端口，通常在镜像目的端口处连接一个协议分析仪（如 Sniffer）或者 RMON 监测仪，可以监视和管理网络，并且能诊断网络故障。

CPU 镜像功能是指交换机把 CPU 接收或发送的数据帧完全复制给镜像目的端口。

流镜像功能是指交换机把端口的指定规则的接收的数据帧完全复制给镜像目的端口，其中指定规则只有为 permit 时流镜像才能生效。

目前能设置 4 个镜像 session，镜像源端口和目的端口没有使用上的限制，可以是 1 个也可以是多个，多个源端口可以在相同的 VLAN，也可以在不同 VLAN。目的端口和源端口可以在不同的 VLAN，镜像源为 VLAN 时也可以配置多个 VLAN 同时镜像。

9.6.2 镜像配置任务序列

1. 指定镜像目的端口
2. 指定镜像源（端口、CPU、VLAN）
3. 指定流镜像源

1. 指定镜像目的端口

命令	解释
全局配置模式	
monitor session <*session*> destination interface <*interface-number*> **no monitor session <*session*> destination interface <*interface-number*>**	指定镜像目的端口；本命令的 no 操作为删除镜像目的端口。

2. 指定镜像源（端口、CPU）

命令	解释
全局配置模式	
monitor session <*session*> source {interface <*interface-list*> | cpu [member <*memberid*>] } {rx | tx | both} **no monitor session <*session*> source {interface <*interface-list*> | cpu [member <*memberid*>] <rx | tx | both>}** **}**	指定镜像源端口或者 CPU；本命令的 no 操作为删除镜像源端口或 CPU。

3. 指定流镜像源

命令	解释
全局配置模式	
monitor session <*session*> source {interface <*interface-list*>} access-group <*num*> {rx|tx|both} **no monitor session <*session*> source {interface <*interface-list*>} access-group <*num*>**	指定流镜像源端口及应用规则；本命令的 no 操作为删除流镜像源端口。

9.6.3 镜像举例

案例 1：

用户有如下的配置需求：为了在 1 端口监测 7 端口接收的数据帧和 9 端口发出的数据帧，

同时还要监测 CPU 接收和发出的数据帧，端口 15 的符合规则 120（源 IP 为 1.2.3.4,目的 IP 为 5.6.7.8）的入口的数据帧，同时在端口 2 和端口 3 监测 VLAN100-110 的数据帧，通过配置镜像来达到这个目的。

配置修改：
1：配置 1 端口为该镜像的镜像目的；
2：配置 7 端口的入口方向和 9 端口的出口方向为镜像源；
3：配置 cpu 为镜像源；
4：配置规则 120；
5：配置端口 15 的入口绑定规则 120。

配置步骤如下：

```
Switch(config)#monitor session 1 destination interface ethernet 1/1/1
Switch(config)#monitor session 1 source interface ethernet 1/1/7 rx
Switch(config)#monitor session 1 source interface ethernet 1/1/9 tx
Switch(config)#monitor session 1 source cpu
Switch(config)#access-list 120 permit tcp 1.2.3.4 0.0.0.255 5.6.7.8 0.0.0.255
Switch(config)#monitor session 1 source interface ethernet 1/1/15 access-list 120 rx
Switch(config)#monitor session 5 destination interface ethernet 1/1/2-3
Switch(config)#monitor session 5 source vlan 100-110 both
```

9.6.4 镜像排错帮助

当配置镜像功能出现问题时，请检查是否是如下原因：
- ☞ 镜像目的端口是端口聚合组成员；如果是，请修改端口聚合组。
- ☞ 镜像目的端口的吞吐量小于镜像源端口吞吐量的总和，目的端口无法完全复制源端口的流量；请减少源端口的个数或复制单向的流量，或者选择吞吐量更大的端口作为目的端口。镜像目的端口不能划入 Isolate vlan，否则将影响跨 VLAN 镜像。

☞在发未知单播、广播、组播数据时，出口镜像暂且不支持多 session，建议只配置一个 session。

9.7 RSPAN

9.7.1 RSPAN 简介

端口镜像功能是指交换机把某一个端口接收或发送的数据帧完全相同的复制给另一个

端口。其中被复制的端口称为镜像源端口，复制到的端口称为镜像目的端口。镜像功能的出现，给网管人员诊断网络故障带了很大的方便。但美中不足的是，它只局限于镜像源端口和镜像目的端口处于同一交换机的情况。

RSPAN（remote switched port analyzer，远程交换端口分析），即远程端口镜像，突破了镜像源和目的端口必须处于同一交换机的限制，使镜像源端口和镜像目的端口可以在不同的网络设备上，从而方便网管人员对远程交换机设备进行管理。在远程镜像的 vlan 上不能进行业务流的传输。

实现了 RSPAN 功能的交换机分为三种：

1. 源交换机：被监测的端口所在的交换机，负责将需要镜像的流量在 Remote VLAN 上做二层转发，转发给中间交换机或目的交换机。

2. 中间交换机：网络中处于源交换机和目的交换机之间的交换机，把镜像流量传输给下一个中间交换机或目的交换机。如果源交换机与目的交换机直接相连，则不存在中间交换机。

3. 目的交换机：远程镜像目的端口所在的交换机，将从 Remote VLAN 接收到的镜像流量通过镜像目的端口转发给监控设备。

在配置源交换机的 rspan 镜像时可以采用反射端口或直接镜像到目的端口的方式。在目的交换机端将 RSPAN vlan 上的数据发送到 RSPAN 目的端口。我们采用一般模式和高级模式两种，其中一般作为默认方法，适合一般用户。高级模式，适合高级用户。

1.高级模式特性：RSPAN vlan 的数据重定向到 RSPAN 目的端口需要 RSPAN 链路的中间和目的设备支持流的重定向的功能。

2.一般模式特性：RSPAN 目的端口划入 RSPAN vlan，这样 RSPAN 的数据直接广播到目的端口。目的端口局限于 RSPAN vlan，源端口不能配置广播抑制。需要小心配置各个 Trunk 端口，防止 RSPAN 数据向其他网络转发。由于采用一般方式，占用资源最少、配置简单。

注：默认采用一般模式。采用一般模式时，如果镜像的报文的 MAC 地址是保留地址则无法广播

机架式交换机支持最多 4 个镜像目的端口，每个板卡上允许设置一个镜像 session 的源或者目的端口，对于盒式交换机目前只能设置一个镜像 session。镜像源端口则没有使用上的限制，可以是 1 个也可以是多个，多个源端口可以在相同的 VLAN，也可以在不同 VLAN。目的端口和源端口可以在不同的 VLAN。

在使用 RSPAN 功能之前，要先创建专属的 RSPAN vlan，用于转发 RSPAN 数据报文不能在这个 vlan 上承载业务。由于默认情况下所有的端口都属于缺省 vlan，在标记 RSPAN vlan 时禁止将缺省 vlan、动态 vlan、私有 vlan、组播 vlan、配置了三层接口的 vlan 等特殊 vlan 配置为 RSPAN vlan。目的端口与 Monitor 相连，该端口必须为 access 端口且属于 RSPAN vlan。反射端口必须属于 RSPAN vlan，可以为 RSPAN vlan 的 access 口，或者为 trunk 口。端口被配置为 RSPAN 的反射端口之后自动失去与对端的连接并禁止在反射端口上做 loopback 相关的配置，同时其他的业务数据也将无法转发，所以反射端口要求必须是专用的端口。需要通过配置保证 Remote VLAN 从源交换机到目的交换机的二层互通性。

需要注意的问题：

1.在源交换机、中间交换机和目的交换机的 RSPAN vlan 上都不能起三层接口，否则镜像后的报文有可能被丢弃而无法到达目的端口。

2.在源交换机和中间交换机的 RSPAN 数据传输链路中，交换机输出方向的 Trunk 端口的 native vlan 不能设置为 RSPAN vlan，否则 RSPAN tag 在没有到达目的交换机时就会被剥离掉，从而导致 RSPAN 失败。

3.在源交换机采用反射端口的镜像方式时，不能把镜像的源端口以 access 或者是 trunk 的方式配置为 RSPAN VLAN 的成员端口。采用反射端口做跨板的 cpu tx 方向镜像时，反射端口必须配置为 trunk 端口允许 RSPAN VLAN 的数据通过，并且其 native vlan 不能配置为 RSPAN VLAN。

4.在使用远程镜像时需注意链路的带宽要满足业务流和镜像流量的需要。

名词解释：

RSPAN(remote switched port analyzer)：远程交换端口分析。

RSPAN vlan：专用于 RSPAN 的一个特殊 vlan。

RSPAN Tag：RSPAN 数据在 MTP 上被打上的一个 Vlan Tag。

反射端口：从 RSPAN 源端口到本地目的端口的本地镜像。但这个本地目的端口不直接与中间交换机相连，我们把这个端口叫做反射端口。

9.7.2 RSPAN 配置任务序列

1. 配置 rspan vlan
2. 指定镜像源端口（cpu）
3. 指定镜像目的端口
4. 配置反射端口
5. 配置镜像组的 remote vlan

1. 配置 RSPAN vlan

命令	解释
Vlan 配置模式	
remote-span **no remote-span**	将当前 vlan 配置为 rspan vlan；no 操作为删除 rspan vlan。

2. 指定镜像源端口(CPU)

命令	解释
全局配置模式	

monitor session <*session*> source {interface <*interface-list*> | cpu [slot <*slotnum*>]} {rx| tx| both} **no monitor session <*session*> source {interface <*interface-list*> | cpu [slot <*slotnum*>]}**	指定镜像源端口；本命令的 no 操作为删除镜像源端口。

3. 指定镜像目的端口

命令	解释
全局配置模式	
monitor session <*session*> destination interface <*interface-number*> **no monitor session <*session*> destination interface <*interface-number*>**	指定镜像目的端口；本命令的 no 操作为删除镜像目的端口。

4. 配置反射端口

命令	解释
全局配置模式	
monitor session <*session*> reflector-port <*interface-number*> **no monitor session <*session*> reflector-port**	将端口配置为反射端口，使用 no 命令删除反射端口。

5. 配置镜像组的 remote vlan

命令	解释
全局配置模式	
monitor session <*session*> remote vlan <*vid*> **no monitor session <*session*> remote vlan**	配置镜像组的 remote valn，no 操作为删除镜像组的 remote vlan。

9.7.3 RSPAN 典型案例

在没有 RSPAN 之前，网络管理人员需要带着笔记本电脑跑到各个交换机处，将电脑连接到交换机上，才能检测网络的状况，非常不方便。

而有了 RSPAN 功能之后，管理员只需要在网管中心通过 Telnet 做一些简单的配置，就能检测到任何一台交换机（当然，这台交换机需要支持 RSPAN 功能）的运行状况。大大方便了网管人员的管理工作。下图是 RSPAN 功能的一种应用：

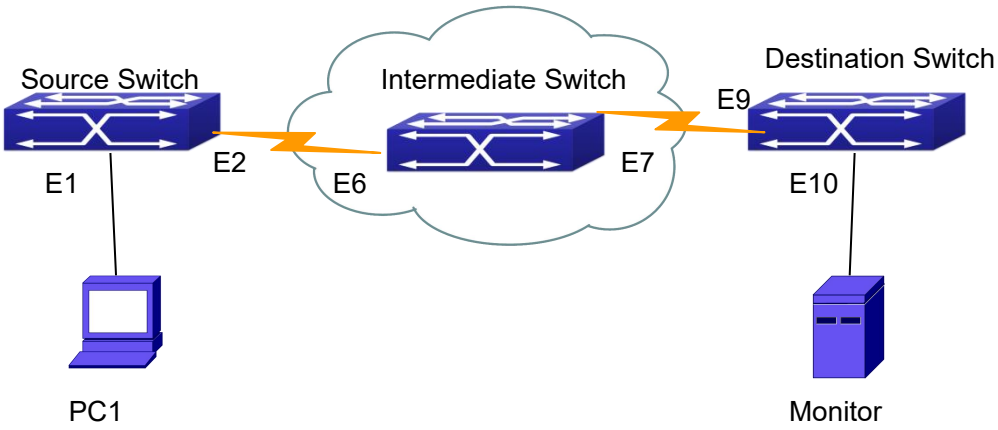


图 8-1 RSPAN 应用示意图

可以采用两种方案：方案一无反射端口，方案二有反射端口：方案一只能固定一个端口与中间交换机连接，方案二源与中间交换机连接端口不固定，比较灵活；

两种方案的比较：方案一虽说只能固定一个接口与中间交换机连接，但是它省去了一个反射端口，端口利用率高。方案二通过反射端口，可以将数据报文通过回环在 RSPAN vlan 中广播，灵活的与中间交换机通信。

以下是采用一般模式转发时各个交换机的配置：

方案一：

源交换机：

interface ethernet 1/1/1 为源端口。

interface ethernet 1/1/2 为目的端口，与中间交换机相连。

RSPAN vlan 为 5。

```
Switch(config)#vlan 5
Switch(Config-Vlan5)#remote-span
Switch(Config-Vlan5)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/2
Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#switchport mode trunk
Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#exit
Switch(config)#monitor session 1 source interface ethernet1/1/1 rx
Switch(config)#monitor session 1 destination interface ethernet1/1/2
Switch(config)#monitor session 1 remote vlan 5
```

中间交换机：

interface ethernet1/1/6 为源端口，与源交换机相连。

interface ethernet1/1/7 为目的端口，与目的交换机相连，该端口的 native vlan 不能设置为 RSPAN vlan，否则镜像后的数据可能无法在目的交换机上正确传输。

RSPAN vlan 为 5。

```
Switch(config)#vlan 5
Switch(Config-Vlan5)#remote-span
Switch(Config-Vlan5)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/6-7
Switch(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
Switch(Config-If-Port-Range)#exit
```

目的交换机：

interface ethernet1/1/9 为源端口，与源交换机相连。

interface ethernet1/1/10 为目的端口，与 Monitor 相连，该端口必须为 access 端口且属于 RSPAN vlan。

RSPAN vlan 为 5。

```
Switch(config)#vlan 5
Switch(Config-Vlan5)#remote-span
Switch(Config-Vlan5)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/9
Switch(Config-If-Ethernet1/1/9)#switchport mode trunk
Switch(Config-If-Ethernet1/1/9)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/10
Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#switchport access vlan 5
Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit
```

方案二：

源交换机：

interface ethernet 1/1/1 为源端口。

interface ethernet 1/1/2 为 trunk 端口，与中间交换机相连，该端口的 native vlan 不能为 RSPAN vlan。

interface ethernet 1/1/3 为反射端口，也是本地镜像目的端口，反射端口必须属于 RSPAN vlan，可以为 RSPAN vlan 的 access 口，或者为 trunk 口。

RSPAN vlan 为 5。

```
Switch(config)#vlan 5
Switch(Config-Vlan5)#remote-span
Switch(Config-Vlan5)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/2
Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#switchport mode trunk
Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#exit
```

Switch(config)#interface ethernet 1/1/3
Switch(Config-If-Ethernet1/1/3)#switchport mode trunk
Switch(Config-If-Ethernet1/1/3)#exit
Switch(config)#monitor session 1 source interface ethernet1/1/1 rx
Switch(config)#monitor session 1 reflector-port ethernet1/1/3
Switch(config)#monitor session 1 remote vlan 5

中间交换机：
interface ethernet1/1/6 为源端口，与源交换机相连。
interface ethernet1/1/7 为目的端口，与目的交换机相连，该端口的 native vlan 不能设置为 RSPAN vlan，否则镜像后的数据可能无法在目的交换机上正确传输。
RSPAN vlan 为 5。

Switch(config)#vlan 5
Switch(Config-Vlan5)#remote-span
Switch(Config-Vlan5)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/6-7
Switch(Config-If-Port-Range)#switchport mode trunk
Switch(Config-If-Port-Range)#exit

目的交换机：
interface ethernet1/1/9 为源端口，与源交换机相连。
interface ethernet1/1/10 为目的端口，与 Monitor 相连，该端口必须为 access 端口且属于 RSPAN vlan。
RSPAN vlan 为 5。
Switch(config)#vlan 5
Switch(Config-Vlan5)#remote-span
Switch(Config-Vlan5)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/9
Switch(Config-If-Ethernet11/1/9)#switchport mode trunk
Switch(Config-If-Ethernet1/1/9)#exit
Switch(config)#interface ethernet 1/1/10
Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#switchport access vlan 5
Switch(Config-If-Ethernet1/1/10)#exit

9.7.4 RSPAN 排错帮助

当配置 rspan 功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- 镜像目的端口是否是端口聚合组成员；如果是，请修改端口聚合组；
- 镜像目的端口的吞吐量小于镜像源端口吞吐量的总和，目的端口无法完全复制源端口的流量；请减少源端口的个数或复制单向的流量，或者选择吞吐量更大的端口作为目的端口。
- 在源交换机和中间交换机的RSPAN数据传输链路中，交换机输出方向的Trunk端口的native vlan是否设置为RSPAN vlan；如果是，请修改Trunk端口的native vlan。
- 配置RSPAN功能后，出口镜像的报文会加上vlan tag，导致反射端口上出现abort错误帧，此时需要修改交换机默认MTU值。

9.8 sFlow

9.8.1 sFlow 介绍

sFlow（RFC 3176）是基于标准网络导出协议，是由 InMon 公司开发出来的用于监控网络流量信息的协议。其主要操作是由被监视的交换机、路由器把被监控的数据通过采样、统计等操作发送到用于监控的用户端分析器，由分析器对收到的数据进行用户所要求的分析，从而达到监控网络的目的。

一个 sFlow 监控系统包括：sFlow 代理、中央数据收集器、和 sFlow 分析器。SFlow 代理利用采样技术从交换机设备抓取数据。sFlow 数据收集器用来格式化要转发采样的数据统计到 sFlow 分析器，sFlow 分析器对采样数据进行分析并根据分析结果作出相应的处理措施。这里我们的交换机实现的是 sFlow 系统中的代理和中央数据收集器部分。

我们当前实现了针对物理端口的数据采样和统计。

我们实现的采样数据类型针对 IPV4 报文类型、IPv6 报文类型进行处理。其它类型的扩展暂不支持。对于非 IPV4 和 IPv6 的报文，我们按照 RFC3176 的要求，采用统一的头（HEADER）模式，在分析其协议类型的基础上，复制报文的头信息。

InMon 公司发布的 sFlow 协议目前已经更新到了版本 5，大部分的 sFlow 分析软件已支持版本 5。版本 5 规定的采样报文的报文格式与版本 4 中规定的格式存在部分差异，我们的实现中已经兼容的该部分内容。

9.8.2 sFlow 配置任务序列

1.配置 sFlow Collector 地址

命令	解释
全局配置模式，端口配置模式	

sflow destination <*collector-address*> [<*collector-port*>] **no sflow destination**	配置 sFlow 分析软件所在主机的 IP 地址和端口号。对于端口来说，如果端口上有配置 IP 地址，则使用端口的配置，否则使用全局的配置。No 命令恢复为默认端口值，删除 IP 地址值。

2.配置 sFlow 代理地址

命令	解释
全局配置模式	
sflow agent-address <*collector-address*> **no sflow agent-address**	配置 sFlow 代理使用的源 IP 地址，no 命令删除该地址。

3.配置 sFlow 协议优先级

命令	解释
全局配置模式	
sflow priority <*priority-vlaue*> **no sflow priority**	配置 sFlow 从硬件收报文时的优先级，no 命令恢复为默认值。

4.配置 sFlow 复制报文数据头长度

命令	解释
端口配置模式	
sflow header-len <*length-vlaue*> **no sflow header-len**	配置 sFlow 在数据采样中复制的报文数据头的长度，no 命令恢复为默认值。

5.配置 sFlow 报文最大允许数据头长度

命令	解释
端口配置模式	
sflow data-len <*length-vlaue*> **no sflow data-len**	配置 sFlow 在报文中允许的最大数据长度，no 命令恢复为默认值。

6.配置 sFlow 硬件采样速率

命令	解释
端口配置模式	
sflow rate {input <*input-rate*> | output <*output-rate* >} **no sflow rate [input | output]**	配置 sFlow 在硬件采样时的采样速率。No 命令删除采样速率值。

7.配置 sFlow 统计采样间隔

命令	解释
端口配置模式	
sflow counter-interval <*interval-vlaue*> **no sflow counter-interval**	配置 sFlow 进行统计采样的最大间隔。No 命令删除统计采样间隔值。

8. 配置 sFlow 使用的分析器

命令	解释
全局配置模式	
sflow analyzer sflowtrend **no sflow analyzer sflowtrend**	配置 sFlow 使用的分析器。no 命令删除 sflow 的分析器。

9. 配置全局 sflow 版本

命令	解释
全局配置模式	
sflow version<*version*> **no sflow version**	配置全局 sFlow 版本，本命令的 no 操作恢复为缺省值。默认为版本 4。

9.8.3 sFlow 举例

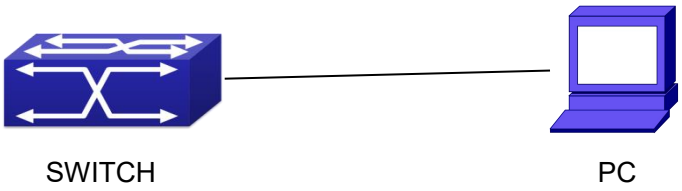


图 3- 1 sFlow 配置拓扑图

如图所示，SWITCH 上的端口 1/1/1 以及 1/1/2 上启动 sFlow 采样，假定 PC 上安装了 sFlow 分析器软件，PC 地址为 192.168.1.200，SWITCH 上与 PC 相连的三层接口的地址为 192.168.1.100，SWITCH 上配置了一个地址为 10.1.144.2 的 loopback 接口。以下是 sFlow 的配置

配置步骤如下：

switch#config

switch (config)#sflow agent-address 10.1.144.2

switch (config)#sflow destination 192.168.1.200

switch (config)#sflow priority 1

```
switch (config)#in e1/1/1
switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#sflow rate input 10000
switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#sflow rate output 10000
switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#sflow counter-interval 20
switch (Config-If-Ethernet1/1/1)#exit
switch (config)#in e1/1/2
switch (Config-If-Ethernet1/1/2)#sflow rate input 20000
switch (Config-If-Ethernet1/1/2)#sflow rate output 20000
switch (Config-If-Ethernet1/1/2)#sflow counter-interval 40
```

9.8.4 sFlow 排错帮助

在配置、使用 sFlow 功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 sFlow 未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误；
- 保证全局配置模式或者接口配置模式下所配置的 sFlow 分析器地址是可达的；
- 如果要求流采样，必须保证配置了接口下的采样速率；
- 如果要求统计采样，必须保证配置了接口下的统计采样间隔。
- 配置的 sFlow 版本是否与使用的 sFlow 分析软件版本一致

如果使用检查尝试仍无法解决，请联系本公司技术服务中心。

9.9 NQA

9.9.1 NQA 介绍

1. 概述

设备可以通过多种方式监测接口状态、链路状态、网络可达性和网络性能，如 NQA（Network Quality Analyzer，网络质量分析）、BFD（Bidirectional Forwarding Detection，双向转发检测）以及接口管理，这些负责监测接口状态、网络可达性等的模块，称为监测模块。

一般地，应用模块，比如 VRRP、静态路由、RIP、OSPF、BGP、GRE 隧道，可以直接与监测模块关联。将监测的结果直接上报给应用模块进行相应的处理。如果应用模块支持与多种监测模块关联，则由于不同监测模块通知给应用模块的监测结果形式各不相同，应用模块需要分别处理不同形式的监测结果。会加重应用模块的处理负担，导致业务不能快速恢复。

track 项目在应用模块和监测模块之间增加 Track 模块，主要功能是屏蔽不同监测模块的差异，为应用模块提供统一的接口，简化应用模块的处理。

2．track 联动工作原理介绍

track 联动功能由应用模块、Track 模块和监测模块三部分组成。联动功能是指通过建立联动项，实现应用模块、Track 模块和监测模块三者之间的联动，即由监测模块通过 Track 模块触发应用模块执行某种操作。监测模块负责对链路状态、网络性能等进行探测，并通过 Track 模块将探测结果通知给应用模块。应用模块感知到网络状态的变化后，及时进行相应的处理，从而避免通信的中断或服务质量的降低。

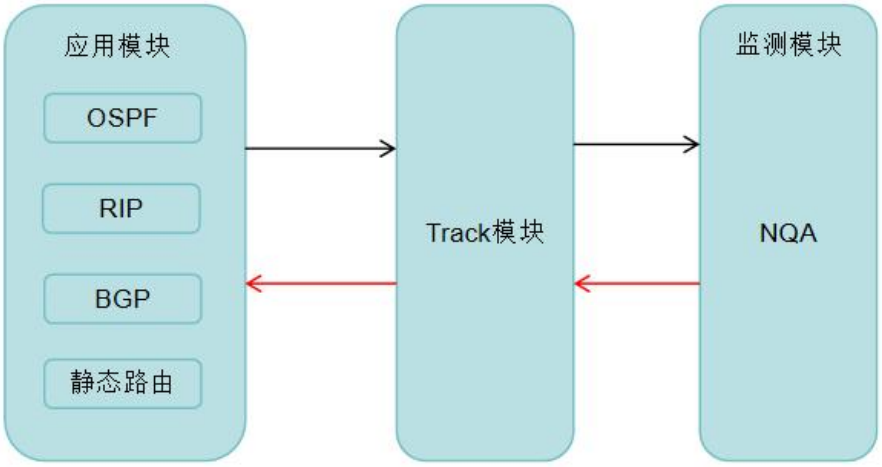


图 1-1 Track 联动功能示意框图

Track 联动功能的工作原理分为两部分：

- Track 模块与监测模块联动；
- Track 模块与应用模块联动；

Track 模块与应用模块和监测模块联动

用户可以通 CLI 进行 Track 模块和监测模块之间的联动关系的配置。与 Track 模块实现联动功能的监测模块包括：

- NQA（Network Quality Analyzer，网络质量分析）

用户可以通 CLI 进行 Track 模块和应用模块之间的联动关系的配置。与 Track 模块实现联动功能的应用模块包括：

- 静态路由；

- RIP（Router Infermation Protocol，路由信息协议）；
- OSPF(Open Shortest Path First, 开放最短路径优先协议)；
- BGP(Border Gateway Protocol,边界网关协议)；

3．需求概述

目前已经实现与 Track 联动的功能如下：

1） NQA 探测功能，主要包括：

※ ICMP-echo 探测功能；

※ ICMP-jitter 探测功能；

※ UDP-echo探测功能；

※ UDP-jitter 探测功能；

※ TCP探测功能；

※ DHCP探测功能；

2） 支持NQA与Track项关联；

3） 支持多监测方式同时与一个Track项关联；

4） 支持同一个监测方式与多个Track项关联；

5） 不支持一个Track项与多个应用实例关联，一个Track项仅能与一个应用实例关联；

6） 支持Track与静态路由进行联动；

7） 支持Track与RIP功能进行联动；

8） 支持Track与OSPF功能进行联动；

9) 支持Track与BGP功能进行联动。

9.9.2 NQA 配置

Track 的配置任务分为监测模块配置任务、应用模块配置任务和 track 关联配置任务。

监测模块配置任务包括：

1．使能 nqa 客户端功能
2．创建 nqa 探测组
3．开始 nqa 探测
4．配置 nqa 探测组描述符
5．配置 nqa 探测组探测周期
6．配置 nqa 探测组探测周期内探测次数

7．配置 nqa 探测组探测超时时间
8．配置 nqa 探测组探测报文长度
9．配置 nqa 探测组探测报文 ttl 值
10．配置 nqa 探测组探测报文 tos 值
11．配置 nqa 探测组探测失败百分比
12．配置 nqa 探测组探测结果历史记录最大条目数
13．配置 nqa 探测组探测阈值
14．开启 nqa 服务端功能
15．配置 nqa 服务端 tcp 监听端口号
16．配置 nqa 服务端 udp 监听端口号

track 关联配置任务包括：
1．配置 track 关联 nqa 探测组
2．配置 track 关联多个 nqa 探测组后的布尔关系

应用模块配置任务包括：
1．配置 track 与静态路由联动
2．配置 track 与 rip 联动
3．配置 track 与 ospf 联动
4．配置 track 与 bgp 联动

一．监测模块配置任务

1. 使能 nqa 客户端功能

命令	解释
全局配置模式	
nqa agent **no nqa agent**	使能 nqa 客户端功能，该命令的 no 形式关掉 nqa 客户端功能。

2. 创建 nqa 探测组

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> type icmp-echo **dest-ip *A.B.C.D* (src-ip *A.B.C.D* |)** **(nexthop-ip *A.B.C.D* |) (vrf *WORD* |)** **no nqa entry <1-64>**	配置 nqa 探测组探测类型为 icmp-echo，本命令的 no 操作为删除 nqa 探测组。

nqa entry <1-64> type icmp-jitter **dest-ip *A.B.C.D* (src-ip *A.B.C.D* |)** **(nexthop-ip *A.B.C.D* |) (vrf *WORD* |)** **no nqa entry <1-64>**	配置 nqa 探测组探测类型为 icmp-jitter，本命令的 no 操作为删除 nqa 探测组。
nqa entry <1-64> type udp-echo **dest-ip *A.B.C.D* dest-port <1-65535>** **(src-ip *A.B.C.D* |)** **(nexthop-ip *A.B.C.D* |) (vrf *WORD* |)** **no nqa entry <1-64>**	配置 nqa 探测组探测类型为 udp-echo，本命令的 no 操作为删除 nqa 探测组。
nqa entry <1-64> type udp-jitter **dest-ip *A.B.C.D* dest-port <1-65535>** **(src-ip *A.B.C.D* |)** **(nexthop-ip *A.B.C.D* |) (vrf *WORD* |)** **no nqa entry <1-64>**	配置 nqa 探测组探测类型为 udp-jitter，本命令的 no 操作为删除 nqa 探测组。
nqa entry <1-64> type tcp **dest-ip *A.B.C.D* dest-port <1-65535>** **(src-ip *A.B.C.D* |)** **(nexthop-ip *A.B.C.D* |) (vrf *WORD* |)** **no nqa entry <1-64>**	配置 nqa 探测组探测类型为 tcp，本命令的 no 操作为删除 nqa 探测组。
nqa entry <1-64> type dhcp **interface vlan <1-4094>** **no nqa entry <1-64>**	配置 nqa 探测组探测类型为 dhcp，本命令的 no 操作为删除 nqa 探测组。

3．开始 nqa 探测

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> start **(|forever|time-range *WORD*)** **no nqa entry <1-64> start**	配置 nqa 探测组开始探测，本命令的 no 操作为 nqa 探测组停止探测。

4．配置 nqa 探测组描述符

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> description *TEXT* **no nqa entry <1-64> description**	配置 nqa 探测组描述符。

5．配置 nqa 探测组探测周期

命令	解释

全局配置模式	
nqa entry <1-64> frequency <3-60> **no nqa entry <1-64> frequency**	配置 nqa 探测组探测周期，本命令的 no 操作为恢复探测周期为缺省值。

6．配置 nqa 探测组探测周期内探测次数

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> probe-count <1-5> **no nqa entry <1-64> probe-count**	配置 nqa 探测组探测周期内探测次数，本命令的 no 操作为恢复探测次数为缺省值。

7．配置 nqa 探测组探测超时时间

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> probe-timeout <1-5> **no nqa entry <1-64> probe-timeout**	配置 nqa 探测组探测超时时间，本命令的 no 操作为恢复探测超时时间为缺省值。

8．配置 nqa 探测组探测报文长度

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> datasize <1-8100> **no nqa entry <1-64> datasize**	配置 nqa 探测组探测报文长度，本命令的 no 操作为恢复探测报文长度为缺省值。

9．配置 nqa 探测组探测报文 ttl 值

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> ttl <1-255> **no nqa entry <1-64> ttl**	配置 nqa 探测组探测报文 ttl 值，本命令的 no 操作为恢复探测报文 ttl 值为缺省值。

10．配置 nqa 探测组探测报文 tos 值

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> tos <0-255> **no nqa entry <1-64> tos**	配置 nqa 探测组探测报文 tos 值，本命令的 no 操作为恢复探测报文 tos 值为缺省值。

11．配置 nqa 探测组探测失败百分比

命令	解释
全局配置模式	

nqa entry <1-64> fail-percent <1-100> **no nqa entry <1-64> fail-percent**	配置 nqa 探测组探测失败百分比，本命令的 no 操作为恢复探测失败百分比为缺省值。

12．配置 nqa 探测组探测结果历史记录最大条目数

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> records-result <1-10> **no nqa entry <1-64> records-result**	配置 nqa 探测组探测结果历史记录最大条目数，本命令的 no 操作为恢复探测结果历史记录最大条目数为缺省值。

13．配置 nqa 探测组探测阈值

命令	解释
全局配置模式	
nqa entry <1-64> **probe-threshold <50-5000>** **no nqa entry <1-64> probe-threshold**	配置 nqa 探测组探测阈值，本命令的 no 操作为恢复探测组探测阈值为缺省值。

14．开启 nqa 服务端功能

命令	解释
全局配置模式	
nqa server **no nqa server**	开启 nqa 服务端功能，本命令的 no 操作为关闭 nqa 服务端功能。

15．配置 nqa 服务端 tcp 监听端口号

命令	解释
全局配置模式	
nqa server tcp-port <1-65535> **(vrf *WORD* |)** **no nqa server tcp-port (vrf *WORD* |)**	配置 nqa 服务端 tcp 监听端口号，本命令的 no 操作为关闭服务端 tcp 监听。

16．配置 nqa 服务端 udp 监听端口号

命令	解释
全局配置模式	
nqa server udp-port <1-65535> **(vrf *WORD* |)** **no nqa server udp-port (vrf *WORD* |)**	配置 nqa 服务端 udp 监听端口号，本命令的 no 操作为关闭服务端 udp 监听。

二．track 关联配置任务

1．配置 track 关联 nqa 探测组

命令	解释
全局配置模式	
track <1-32> nqa <1-64> **no track <1-32> (nqa <1-64>|)**	配置 track 关联 nqa 探测组，本命令 no 操作为解除关联 nqa 探测组。

2．配置 track 关联多个 nqa 探测组后的布尔关系

命令	解释
全局配置模式	
track <1-32> list boolean (and|or) **no track <1-32> list boolean**	配置 track 关联多个 nqa 探测组后的布尔关系，本命令 no 操作为取消关联多个 nqa 探测组后的布尔关系。

三．应用模块配置任务

1．配置 track 与静态路由联动

命令	解释
全局配置模式	
ip route (*A.B.C.D A.B.C.D* | *A.B.C.D/M*) **　　*A.B.C.D* track <1-32>** **no ip route (*A.B.C.D A.B.C.D* | *A.B.C.D/M*)** **　　(*A.B.C.D*|) (track <1-32>|)**	配置 track 与静态路由联动，本命令 no 操作为取消 track 与静态路由联动。

2．配置 track 与 rip 联动

命令	解释
接口配置模式	
rip track <1-32> **no rip track <1-32>**	配置 track 与 rip 联动，本命令 no 操作为取消 track 与 rip 联动。

3．配置 track 与 ospf 联动

命令	解释
接口配置模式	
ip ospf track <1-32> **no ip ospf track <1-32>**	配置 track 与 ospf 联动，本命令 no 操作为取消 track 与 ospf 联动。

4．配置 track 与 bgp 联动

命令	解释
BGP 路由配置模式	

neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>} **track <1-32>** **no neighbor {<*ip-address*>|<*TAG*>}** **track <1-32>**	配置 track 与 bgp 联动，本命令 no 操作为取消 track 与 bgp 联动。

9.9.3 NQA 典型案例

9.9.3.1 案例一：NQA icmp-echo 探测

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type icmp-echo dest-ip 10.10.10.2

SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever

SwitchB 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

在 SwitchA 上通过 show nqa results 查看此时探测状态：

SwitchA(config)#show nqa entry 1 results

NQA entry(test probe-type, icmp-echo)

1, Test 1 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg/Sum RTT: 3/3/3/3

RTT Square Sum: 9

Start probe Time: 2023-12-14 20:26:26

Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, icmp-echo)

2, Test 2 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg/Sum RTT: 2/2/2/2

RTT Square Sum: 4

Start probe Time: 2023-12-14 20:26:29

Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, icmp-echo)

3, Test 3 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg/Sum RTT: 23/23/23/23

RTT Square Sum: 529

Start probe Time: 2023-12-14 20:26:32

Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, icmp-echo)

4, Test 4 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg/Sum RTT: 2/2/2/2

RTT Square Sum: 4

Start probe Time: 2023-12-14 20:26:36

Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, icmp-echo)

5, Test 5 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg/Sum RTT: 2/2/2/2

RTT Square Sum: 4

Start probe Time: 2023-12-14 20:26:39

Lost packet ratio: 0%

9.9.3.2 案例二：NQA icmp-jitter 探测

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type icmp-jitter dest-ip 10.10.10.2

SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever

SwitchB 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

在 SwitchA 上通过 show nqa results 查看此时探测状态：

SwitchA(config)#show nqa entry 1 results

NQA entry(test probe-type, icmp-jitter)

1, Test 35 result The test is finished.

Send operation times: 20 Receive response times: 20

Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/2/1/21

RTT Square Sum: 23

Start probe Time: 2023-12-14 20:32:11

Lost packet ratio: 0%

Jitter results:

Min/Max/Average jitter: 0ms/1ms/0ms

NQA entry(test probe-type, icmp-jitter)

2, Test 36 result The test is finished.

Send operation times: 20 Receive response times: 20

Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/2/1/21

RTT Square Sum: 23

```
    Start probe Time: 2023-12-14 20:32:51
    Lost packet ratio: 0%
  Jitter results:
    Min/Max/Average jitter: 0ms/1ms/0ms
----------------------------------------------------------------
NQA entry(test probe-type, icmp-jitter)
  3, Test 37 result     The test is finished.
    Send operation times: 20 Receive response times: 20
    Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/43/3/63
    RTT Square Sum: 1871
    Start probe Time: 2023-12-14 20:33:31
    Lost packet ratio: 0%
  Jitter results:
    Min/Max/Average jitter: 0ms/41ms/4ms
----------------------------------------------------------------
NQA entry(test probe-type, icmp-jitter)
  4, Test 38 result     The test is finished.
    Send operation times: 20 Receive response times: 20
    Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/2/1/21
    RTT Square Sum: 23
    Start probe Time: 2023-12-14 20:34:11
    Lost packet ratio: 0%
  Jitter results:
    Min/Max/Average jitter: 0ms/1ms/0ms
----------------------------------------------------------------
NQA entry(test probe-type, icmp-jitter)
  5, Test 39 result     The test is finished.
    Send operation times: 20 Receive response times: 20
    Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/26/3/72
    RTT Square Sum: 1376
    Start probe Time: 2023-12-14 20:34:51
    Lost packet ratio: 0%
  Jitter results:
    Min/Max/Average jitter: 0ms/25ms/2ms
----------------------------------------------------------------
```

9.9.3.3 案例三：NQA udp-echo 探测

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type udp-jitter dest-ip 10.10.10.2 dest-port 3500

SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever

SwitchB 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

SwitchB的NQA配置：

SwitchB(config)#nqa server

SwitchB(config)#nqa server udp-port 3500

在 SwitchA 上通过 show nqa results 查看此时探测状态：

SwitchA(config)#show nqa entry 1 results

NQA entry(test probe-type, udp-echo)

1, Test 63 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg/Sum RTT: 2/2/2/2

RTT Square Sum: 4

Start probe Time: 2023-12-14 20:38:49

Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, udp-echo)

2, Test 64 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg/Sum RTT: 16/16/16/16

RTT Square Sum: 256
Start probe Time: 2023-12-14 20:38:52
Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, udp-echo)
3, Test 65 result The test is finished.
Send operation times: 1 Receive response times: 1
Min/Max/Avg/Sum RTT: 22/22/22/22
RTT Square Sum: 484
Start probe Time: 2023-12-14 20:38:55
Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, udp-echo)
4, Test 66 result The test is finished.
Send operation times: 1 Receive response times: 1
Min/Max/Avg/Sum RTT: 9/9/9/9
RTT Square Sum: 81
Start probe Time: 2023-12-14 20:38:58
Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, udp-echo)
5, Test 67 result The test is finished.
Send operation times: 1 Receive response times: 1
Min/Max/Avg/Sum RTT: 2/2/2/2
RTT Square Sum: 4
Start probe Time: 2023-12-14 20:39:01
Lost packet ratio: 0%

9.9.3.4 案例四：NQA udp-jitter 探测

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

```
SwitchA(config)#vlan 10
SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1
SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10
SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10
SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0
```

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type udp-jitter dest-ip 10.10.10.2 dest-port 3500

SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever

SwitchB 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

SwitchB的NQA配置：

SwitchB(config)#nqa server

SwitchB(config)#nqa server udp-port 3500

在 SwitchA 上通过 show nqa results 查看此时探测状态：

SwitchA(config)#show nqa entry 1 results

NQA entry(test probe-type, udp-jitter)

1, Test 81 result The test is finished.

Send operation times: 20 Receive response times: 20

Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/2/1/21

RTT Square Sum: 23

Start probe Time: 2023-12-14 20:40:34

Lost packet ratio: 0%

Jitter results:

Min/Max/Average jitter: 0ms/1ms/0ms

NQA entry(test probe-type, udp-jitter)

2, Test 82 result The test is finished.

Send operation times: 20 Receive response times: 20

Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/2/1/21

RTT Square Sum: 23

Start probe Time: 2023-12-14 20:41:15

Lost packet ratio: 0%

Jitter results:

Min/Max/Average jitter: 0ms/1ms/0ms

NQA entry(test probe-type, udp-jitter)

3, Test 83 result The test is finished.

Send operation times: 20 Receive response times: 20

Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/2/1/21

RTT Square Sum: 23

Start probe Time: 2023-12-14 20:41:55

Lost packet ratio: 0%

Jitter results:

Min/Max/Average jitter: 0ms/1ms/0ms

NQA entry(test probe-type, udp-jitter)

4, Test 84 result The test is finished.

Send operation times: 20 Receive response times: 20

Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/29/2/49

RTT Square Sum: 863

Start probe Time: 2023-12-14 20:42:35

Lost packet ratio: 0%

Jitter results:

Min/Max/Average jitter: 0ms/27ms/1ms

NQA entry(test probe-type, udp-jitter)

5, Test 85 result The test is finished.

Send operation times: 20 Receive response times: 20

Min/Max/Avg/Sum RTT: 1/26/2/46

RTT Square Sum: 698

Start probe Time: 2023-12-14 20:43:15

Lost packet ratio: 0%

Jitter results:

Min/Max/Average jitter: 0ms/25ms/1ms

9.9.3.5 案例五：NQA tcp 探测

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10
SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

SwitchA的NQA配置：
SwitchA(config)#nqa agent
SwitchA(config)#nqa entry 1 type tcp dest-ip 10.10.10.2 dest-port 3500
SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever

SwitchB 的端口配置：
SwitchA(config)#vlan 10
SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1
SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10
SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10
SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

SwitchB的NQA配置：
SwitchB(config)#nqa server
SwitchB(config)#nqa server tcp-port 3500

在 SwitchA 上通过 show nqa results 查看此时探测状态：
SwitchA(config)#show nqa entry 1 results

NQA entry(test probe-type, tcp)
1, Test 18 result The test is finished.
Send operation times: 1 Receive response times: 1
Min/Max/Avg Completion Time: 2/2/2
Sum/Square Sum: 2/4
Start probe Time: 2023-12-18 09:17:06
Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, tcp)
2, Test 19 result The test is finished.
Send operation times: 1 Receive response times: 1
Min/Max/Avg Completion Time: 2/2/2
Sum/Square Sum: 2/4
Start probe Time: 2023-12-18 09:17:09
Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, tcp)

3, Test 20 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg Completion Time: 2/2/2

Sum/Square Sum: 2/4

Start probe Time: 2023-12-18 09:17:12

Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, tcp)

4, Test 21 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg Completion Time: 2/2/2

Sum/Square Sum: 2/4

Start probe Time: 2023-12-18 09:17:16

Lost packet ratio: 0%

NQA entry(test probe-type, tcp)

5, Test 22 result The test is finished.

Send operation times: 1 Receive response times: 1

Min/Max/Avg Completion Time: 2/2/2

Sum/Square Sum: 2/4

Start probe Time: 2023-12-18 09:17:19

Lost packet ratio: 0%

9.9.3.6 案例六：NQA dhcp 探测

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type dhcp interface vlan 10

SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever

SwitchB 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

SwitchB 的 dhcp server 配置：

SwitchB(config)#service dhcp

SwitchB(config)#ip dhcp pool 1

SwitchB(dhcp-1-config)# network-address 10.0.0.0 255.255.255.0

在 SwitchA 上通过 show nqa results 查看此时探测状态：

```
SwitchA(config)#show nqa entry 1 results
----------------------------------------------------------------
NQA entry(test probe-type, dhcp)
        1, Test 48 result      The test is finished.
          Send operation times: 1 Receive response times: 1
          Min/Max/Avg/Sum RTT: 0/0/0/0
          RTT Square Sum: 0
          Start probe Time: 2023-12-18 09:23:36
          Lost packet ratio: 0%
----------------------------------------------------------------
NQA entry(test probe-type, dhcp)
        2, Test 49 result      The test is finished.
          Send operation times: 1 Receive response times: 1
          Min/Max/Avg/Sum RTT: 0/0/0/0
          RTT Square Sum: 0
          Start probe Time: 2023-12-18 09:23:39
          Lost packet ratio: 0%
----------------------------------------------------------------
NQA entry(test probe-type, dhcp)
        3, Test 50 result      The test is finished.
          Send operation times: 1 Receive response times: 1
          Min/Max/Avg/Sum RTT: 0/0/0/0
          RTT Square Sum: 0
          Start probe Time: 2023-12-18 09:23:42
          Lost packet ratio: 0%
----------------------------------------------------------------
NQA entry(test probe-type, dhcp)
        4, Test 51 result      The test is finished.
          Send operation times: 1 Receive response times: 1
          Min/Max/Avg/Sum RTT: 0/0/0/0
          RTT Square Sum: 0
          Start probe Time: 2023-12-18 09:23:45
          Lost packet ratio: 0%
----------------------------------------------------------------
NQA entry(test probe-type, dhcp)
        5, Test 52 result      The test is finished.
          Send operation times: 1 Receive response times: 1
          Min/Max/Avg/Sum RTT: 0/0/0/0
```

RTT Square Sum: 0

Start probe Time: 2023-12-18 09:23:49

Lost packet ratio: 0%

9.9.3.7 案例七：Track 关联静态路由

Track关联静态路由，通过nqa探测出结果来控制静态路由是否生效，案例中配置nqa探测配置为icmp-echo探测

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type icmp-echo dest-ip 10.10.10.2

SwitchA的track配置：

SwitchA(config)#track 1 nqa 1

SwitchA的track关联静态路由配置：

SwitchA(config)#ip route 20.20.20.20/32 10.10.10.2 track 1

SwitchB 的端口配置：

SwitchB(config)#vlan 10

SwitchB(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchB(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchB(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchB(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

nqa 还未发起探测，查看当前 track 状态信息：

SwitchA(config)# show track 1 status

Track ID: 1

Notification delay: Positive 0, Negative 0 (in milliseconds)

Logical mode: Default

Remote-ip: 10.10.10.2 probe-status: positive
protocal: NQA 1 status: success

nqa 还未发起探测，查看当前静态路由信息：

```
SwitchA(config)#show ip route
Codes: K - kernel, C - connected, S - static, R - RIP, B - BGP
       O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default

C          10.1.1.0/24 is directly connected, Ethernet0    tag:0
C          10.10.10.0/24 is directly connected, Vlan10     tag:0
S          20.20.20.20/32 [1/0] via 10.10.10.2, Vlan10     tag:0
C          127.0.0.0/8 is directly connected, Loopback     tag:0
Total routes are : 4 item(s)
```

开启 nqa 探测：

```
SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever
```

当前探测结果正常，track 状态和静态路由状态不变；

shutdown SwitchB vlan 10 口，使得 nqa 探测失败；

查看当前 track 状态信息，发现探测状态已经是 negative，status 为 fail：

```
SwitchA(config)# show track 1 status
Track ID: 1
Notification delay: Positive 0, Negative 0 (in milliseconds)
Logical mode: Default
```

Remote-ip: 10.10.10.2 probe-status: negative
protocal: NQA 1 status: fail

查看当前静态路由信息，静态路由状态变成 inactive：

```
SwitchA(config)#show ip route database
Codes: K - kernel, C - connected, S - static, R - RIP, B - BGP
       O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
```

> - selected route, * - FIB route, p - stale info

C *> 10.1.1.0/24 is directly connected, Ethernet0 tag:0

C *> 10.10.10.0/24 is directly connected, Vlan10 tag:0

S 20.20.20.20/32 [1/0] via 10.10.10.2, Vlan10 inactive tag:0

C *> 127.0.0.0/8 is directly connected, Loopback tag:0

Total routes are : 4 item(s)

9.9.3.8 案例八：Track 关联 rip

Track关联rip，通过nqa探测出结果来控制rip下发的路由是否生效，案例中配置nqa探测配置为icmp-echo探测

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type icmp-echo dest-ip 10.10.10.2

SwitchA的track配置：

SwitchA(config)#track 1 nqa 1

SwitchA的track关联rip配置：

SwitchA(config)#router rip

SwitchA(config-router)#network 10.10.10.1/32

SwitchA(config-router)#quit

SwitchA(config)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#rip track 1

SwitchB 的端口配置：

SwitchB(config)#vlan 10

SwitchB(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchB(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchB(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchB(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

SwitchB 的 rip 配置：

SwitchA(config)#router rip

SwitchA(config-router)#network 10.10.10.2/32

SwitchA(config-router)#redistribute static

SwitchA(config-router)#quit

SwitchA(config)#ip route 33.33.33.33/32 null0

nqa 还未发起探测，查看当前 track 状态信息：

SwitchA(config)#show track all status

Track ID: 1

Notification delay: Positive 0, Negative 0 (in milliseconds)

Logical mode: Default

Remote-ip: * probe-status: positive

protocal: NQA 1 status: success

nqa 还未发起探测，查看当前 rip 路由信息：

SwitchA#show ip rip

Codes: R - RIP, K - Kernel, C - Connected, S - Static, O - OSPF, I - IS-IS,

B - BGP, a - aggregate, s - suppressed

	Network	Next Hop	Metric	From	If	Time	SuppIf
R	10.10.10.0/24		1		Vlan10		
R	33.33.33.33/32	10.10.10.2	2	10.10.10.2	Vlan10	02:54	

SwitchA#show ip route

Codes: K - kernel, C - connected, S - static, R - RIP, B - BGP

O - OSPF, IA - OSPF inter area

N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2

E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2

i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area

* - candidate default

C 10.1.1.0/24 is directly connected, Ethernet0 tag:0

C 10.10.10.0/24 is directly connected, Vlan10 tag:0

R 33.33.33.33/32 [120/2] via 10.10.10.2, Vlan10, 00:00:23 tag:0

C 127.0.0.0/8 is directly connected, Loopback tag:0

开启 nqa 探测：

SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever

当前探测结果正常，track 状态和 rip 路由状态不变；

shutdown SwitchB vlan 10 口，使得 nqa 探测失败；

查看当前 track 状态信息，发现探测状态已经是 negative，status 为 fail：

SwitchA(config)# show track 1 status

Track ID: 1

Notification delay: Positive 0, Negative 0 (in milliseconds)

Logical mode: Default

Remote-ip: * probe-status:negative

protocal: NQA 1 status: fail

查看当前静态路由信息，发现 rip 路由表中引入的路由 metric 变成了 16，并且 ip 路由表中的 rip 路由已经被删掉：

SwitchA(config)#show ip rip

Codes: R - RIP, K - Kernel, C - Connected, S - Static, O - OSPF, I - IS-IS,
B - BGP, a - aggregate, s - suppressed

	Network	Next Hop	Metric	From	If	Time	SuppIf
R	10.10.10.0/24		1		Vlan10		
R	33.33.33.33/32		16			01:59	

SwitchA(config)#show ip route

Codes: K - kernel, C - connected, S - static, R - RIP, B - BGP

O - OSPF, IA - OSPF inter area

N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2

E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2

i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area

* - candidate default

C 10.1.1.0/24 is directly connected, Ethernet0 tag:0

C 10.10.10.0/24 is directly connected, Vlan10 tag:0

C 127.0.0.0/8 is directly connected, Loopback tag:0

Total routes are : 3 item(s)

9.9.3.9 案例九：Track 关联 ospf

Track关联ospf，通过nqa探测出结果来控制ospf邻居的建立，案例中配置nqa探测为icmp-ehco探测.

SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type icmp-echo dest-ip 10.10.10.2

SwitchA的track配置：

SwitchA(config)#track 1 nqa 1

SwitchA的track关联ospf配置：

SwitchA(config)#router ospf 1

SwitchA(config-router)#network 10.10.10.1 0.0.0.0 area 0

SwitchA(config-router)#quit

SwitchA(config)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip ospf track 1

SwitchB 的端口配置：

SwitchB(config)#vlan 10

SwitchB(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchB(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchB(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchB(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

SwitchB 的 ospf 配置：

SwitchA(config)#router ospf 1

SwitchA(config-router)#network 10.10.10.2 0.0.0.0 area 0

nqa 还未发起探测，查看当前 track 状态信息：

SwitchA(config)#show track all status

Track ID: 1
Notification delay: Positive 0, Negative 0 (in milliseconds)
Logical mode: Default
Remote-ip: * probe-status: positive
protocal: NQA 1 status: success

nqa 还未发起探测，查看当前 ospf 邻居信息：
SwitchA#show ip ospf neighbor

OSPF process 1:

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface
200.0.0.1	1	Full/Backup	00:00:33	10.10.10.2	Vlan10

开启 nqa 探测：
SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever
当前探测结果正常，track 状态和 ospf 邻居状态不变；

shutdown SwitchB vlan 10 口，使得 nqa 探测失败；
查看当前 track 状态信息，发现探测状态已经是 negative，status 为 fail：
SwitchA(config)# show track 1 status
Track ID: 1
Notification delay: Positive 0, Negative 0 (in milliseconds)
Logical mode: Default
Remote-ip: * probe-status:negative
protocal: NQA 1 status: fail

查看当前 ospf 邻居信息，发现邻居已经 down 掉：
SwitchA(config)#show ip ospf neighbor

OSPF process 1:

Neighbor ID	Pri	State	Dead Time	Address	Interface

9.9.3.10 案例十：Track 关联 bgp

Track关联bgp，通过nqa探测出结果来控制bgp邻居的建立，这里nqa探测配置为icmp-echo探测
SwitchA(Ethernet1/0/1 vlan10)------(Ethernet1/0/1 vlan10)SwitchB

SwitchA 的端口配置：

SwitchA(config)#vlan 10

SwitchA(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchA(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchA(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.1 255.255.255.0

SwitchA的NQA配置：

SwitchA(config)#nqa agent

SwitchA(config)#nqa entry 1 type icmp-echo dest-ip 10.10.10.2

SwitchA的track配置：

SwitchA(config)#track 1 nqa 1

SwitchA的track关联bgp配置：

SwitchA(config)#router bgp 1

SwitchA(config-router)#neighbor 10.10.10.2 remote-as 1

SwitchA(config-router)#neighbor 10.10.10.2 track 1

SwitchB 的端口配置：

SwitchB(config)#vlan 10

SwitchB(config)#interface Ethernet1/0/1

SwitchB(config-if-ethernet1/0/1)#switchport access vlan 10

SwitchB(config-if-ethernet1/0/1)#interface vlan 10

SwitchB(config-if-vlan10)#ip address 10.10.10.2 255.255.255.0

SwitchB 的 bgp 配置：

SwitchA(config)#router bgp 1

SwitchA(config-router)#neighbor 10.10.10.1 remote-as 1

nqa 还未发起探测，查看当前 track 状态信息：

SwitchA(config)#show track all status

Track ID: 1

Notification delay: Positive 0, Negative 0 (in milliseconds)

Logical mode: Default

Remote-ip: * probe-status: positive

protocal: NQA 1 status: success

nqa 还未发起探测，查看当前 bgp 邻居信息：

```
SwitchA(config)#show ip bgp neighbors
BGP neighbor is 10.10.10.2, remote AS 1, local AS 1, internal link
  BGP version 4, remote router ID 200.0.0.1
  BGP state = Established, up for 00:01:24
  Last read 00:01:24, hold time is 240, keepalive interval is 60 seconds
  Neighbor capabilities:
    Route refresh: advertised and received (old and new)
    Four bytes AS: advertised and received
    Address family IPv4 Unicast: advertised and received
  Received 3 messages, 0 notifications, 0 in queue
  Sent 3 messages, 0 notifications, 0 in queue
  Route refresh request: received 0, sent 0
  Minimum time between advertisement runs is 5 seconds

 For address family: IPv4 Unicast
  BGP table version 1, neighbor version 1
  Index 1, Offset 0, Mask 0x2
  Community attribute sent to this neighbor (both)
  0 accepted prefixes
  0 announced prefixes

 Connections established 1; dropped 0
Local host: 10.10.10.1, Local port: 32769
Foreign host: 10.10.10.2, Foreign port: 179
Nexthop: 10.10.10.1
Nexthop global: fe80::2ae:4bff:fe12:7802
Nexthop local: ::
BGP connection: non shared network
Bind track entry id: 1
positive delay time: 0(ms)
negative delay time: 0(ms)
```

开启 nqa 探测：

```
SwitchA(config)#nqa entry 1 start forever
```

当前探测结果正常，track 状态和 bgp 邻居状态不变；

shutdown SwitchB vlan 10 口，使得 nqa 探测失败；

查看当前 track 状态信息，发现探测状态已经是 negative，status 为 fail：

SwitchA(config)# show track 1 status

Track ID: 1

Notification delay: Positive 0, Negative 0 (in milliseconds)

Logical mode: Default

Remote-ip: * probe-status:negative

protocal: NQA 1 status: fail

查看当前 bgp 邻居信息，发现邻居已经 down 掉：

SwitchA(config)#show ip bgp neighbors

BGP neighbor is 10.10.10.2, remote AS 1, local AS 1, internal link

BGP version 4, remote router ID 0.0.0.0

BGP state = Idle

Last read , hold time is 240, keepalive interval is 60 seconds

Received 0 messages, 0 notifications, 0 in queue

Sent 0 messages, 0 notifications, 0 in queue

Route refresh request: received 0, sent 0

Minimum time between advertisement runs is 5 seconds

For address family: IPv4 Unicast

BGP table version 1, neighbor version 0

Index 1, Offset 0, Mask 0x2

Community attribute sent to this neighbor (both)

0 accepted prefixes

0 announced prefixes

Connections established 1; dropped 1

Bind track entry id: 1

positive delay time: 0(ms)

negative delay time: 0(ms)

第 10 章 网络时间及域名管理操作

10.1 NTP

10.1.1 NTP 功能简介

NTP（Network Time Protocol，网络时间协议）是一个跨越广域网或局域网的复杂的同步时间协议，它通常可获得毫秒级的精度，用来在分布式时间服务器和客户端之间进行时间同步。RFC-1305 对 NTP 协议自动机在事件、状态、转变功能和行为方面给出了明确的说明。

NTP 的目标是对网络内所有具有时钟的设备进行时钟同步，使网络内所有设备的时钟基本保持一致，从而使设备能够提供基于统一时间的多种应用。

对于运行 NTP 的本地系统，既可以接受来自其他时钟源的同步，又可以作为时钟源同步其他时钟，并且可以通过交换 NTP 报文互相同步。

10.1.2 NTP 功能配置任务序列

1．启动 NTP 功能
2．配置 NTP 时间服务器的功能
3．配置 NTP 广播或组播 server 地址的最大个数
4．配置时钟区域
5．配置 NTP 访问控制列表
6．配置 NTP 验证
7．配置某接口为 NTP 广播/组播客户端接口
8．配置禁止某接口接收 NTP 报文
9．设置 ntp client 请求报文发包间隔
10．信息显示
11．调试

1．启动 NTP 功能

命令	解释
全局配置模式	
ntp enable **ntp disable**	全局启动或关闭 NTP 功能。

2．配置 NTP 时间服务器的功能

命令	解释

全局配置模式	
ntp server {*<ip-address>*|*<ipv6-address>*} **[version *<version_no>*] [key *<key-id>*]** **no ntp server {*<ip-address>*|*<ipv6-address>*}**	启用作为时钟源的指定时间服务器。

3．配置 NTP 广播或组播 server 地址的最大个数

命令	解释
全局配置模式	
ntp broadcast server count <number> **no ntp broadcast server count**	设置 NTP 广播或组播 server 地址的最大个数

4．配置时钟区域

命令	解释
全局配置模式	
clock timezone WORD {add | subtract} <0-23> [<0-59>] **no clock timezone WORD**	此命令在全局配置时区，no 操作命令为删除设置的时区。

5．配置 NTP 访问控制列表

命令	解释
全局配置模式	
ntp access-group server *<acl>* **no ntp access-group server *<acl>***	设置 NTP 服务的访问控制列表。

6．配置 NTP 验证

命令	解释
全局配置模式	
ntp authenticate **no ntp authenticate**	启用 NTP 身份验证功能。
ntp authentication-key *<key-id>* md5 *<value>* **no ntp authentication-key *<key-id>***	定义 NTP 身份验证的验证密钥。
ntp trusted-key *<key-id>* **no ntp trusted-key *<key-id>***	配置可信赖密钥。

7．配置某接口为 NTP 广播/组播客户端接口

命令	解释
vlan 配置模式	

ntp broadcast client **no ntp broadcast client**	配置指定端口来接收 NTP 广播包。
ntp multicast client **no ntp multicast client**	配置指定端口来接收 NTP 组播包。
ntp ipv6 multicast client **no ntp ipv6 multicast client**	配置指定端口来接收 IPv6 的 NTP 组播包。

8．配置禁止某接口接收 NTP 报文

命令	解释
vlan 配置模式	
ntp disable **no ntp disable**	关闭接口上的 NTP 功能。

9．设置 ntp client 请求报文发包间隔

命令	解释
全局配置模式	
ntp syn-interval <1-3600> **no ntp syn-interval**	设置 ntp client 请求报文发包间隔 1s-3600s。no 命令恢复默认值 64s。

10．信息显示

命令	解释
特权模式	
show ntp status	显示时间同步的具体状况。
show ntp session [<*ip-address*> | <*ipv6-address*>]	显示当前所有的或某个具体的 ntp 会话具体信息。

11．调试

命令	解释
特权模式	
debug ntp authentication **no debug ntp authentication**	打开 NTP 认证信息的调试开关。
debug ntp packets [send | receive] **no debug ntp packets [send | receive]**	打开 NTP 数据包信息的调试开关。
debug ntp adjust **no debug ntp adjust**	打开时间更新信息的调试开关。

debug ntp sync **no debug ntp sync**	打开时间同步信息的调试开关。
debug ntp events **no debug ntp events**	打开 NTP 事件信息的调试开关。

10.1.3 NTP 功能典型案例

在网络中一台客户端交换机需要与网络中的时间服务器同步时钟，网络中有两台时间服务器，一个作为主用，另一个作为备用，具体连接和配置如下（其中 SwitchA 与 SwitchB 为支持 NTP server 的交换机/路由器）：

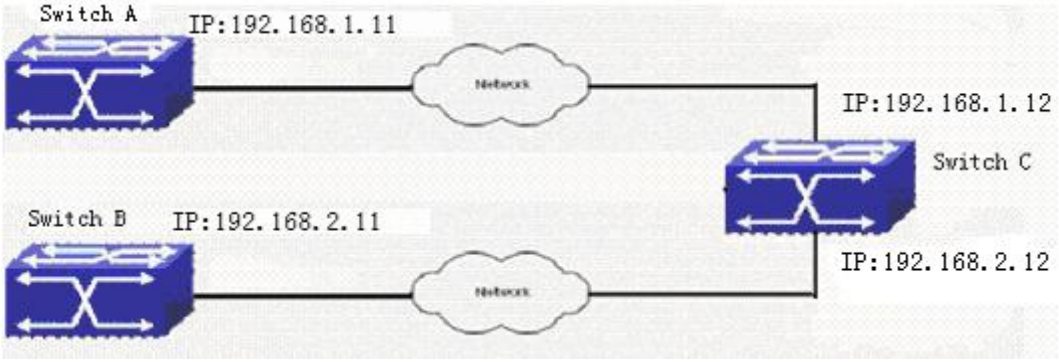


图 9-3 NTP 功能典型案例

Switch C 配置如下：(Switch A 与 Switch B 依据各厂家的实现可能配置命令有所不同，这里暂不说明，我们的交换机目前不支持 NTP Server 的功能)

Switch C：

Switch(config)#ntp enable

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)# ip address 192.168.1.12 255.255.255.0

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan1)# ip address 192.168.2.12 255.255.255.0

Switch(config)#ntp server 192.168.1.11

Switch(config)#ntp server 192.168.2.11

10.1.4 NTP 功能排错帮助

在操作过程中，如果有操作错误，系统将会给出具体的错误提示信息。

NTP 功能默认是关闭的，可以使用显示命令看目前的配置情况。在确认配置正确的情况下，可以使用 debug 各个相关功能的调试命令，查看过程中的具体信息，以及功能是否正确，也可以使用相关的 show 命令查看 NTP 目前的运行信息，如果有什么问题可以将结果发送给技术服务中心。

10.2 SNTP

10.2.1 SNTP 简介

NTP (the Network Time Protocol)协议广泛用于维持全球 Internet 中的计算机的时钟同步。NTP 协议除了可以估算封包在网络上的往返延迟外，还可独立地估算计算机时钟偏差，从而实现在网络上的高精准度计算机校时。在大多数地方，根据同步源的特性和网络路径，NTP 提供 1~50ms 的精度。

SNTP（Simple Network Time Protocol）是 NTP 协议的简化版本，除去了 NTP 复杂的算法。SNTP 用于那些不需要完整 NTP 实现复杂性的主机，它是 NTP 的一个子集。通常让局域网上的若干台主机通过因特网与其他的 NTP 主机同步时钟，接着再向局域网内其他客户端提供时间同步服务。下图描画了一个 NTP/SNTP 的应用网络结构，其中 SNTP 主要工作在二级服务器和各种终端之间，主要是由于这些场景时间精度要求不高，而 SNTP 本身可以提供的时间精度（1－50ms）一般可以满足这些服务的应用。

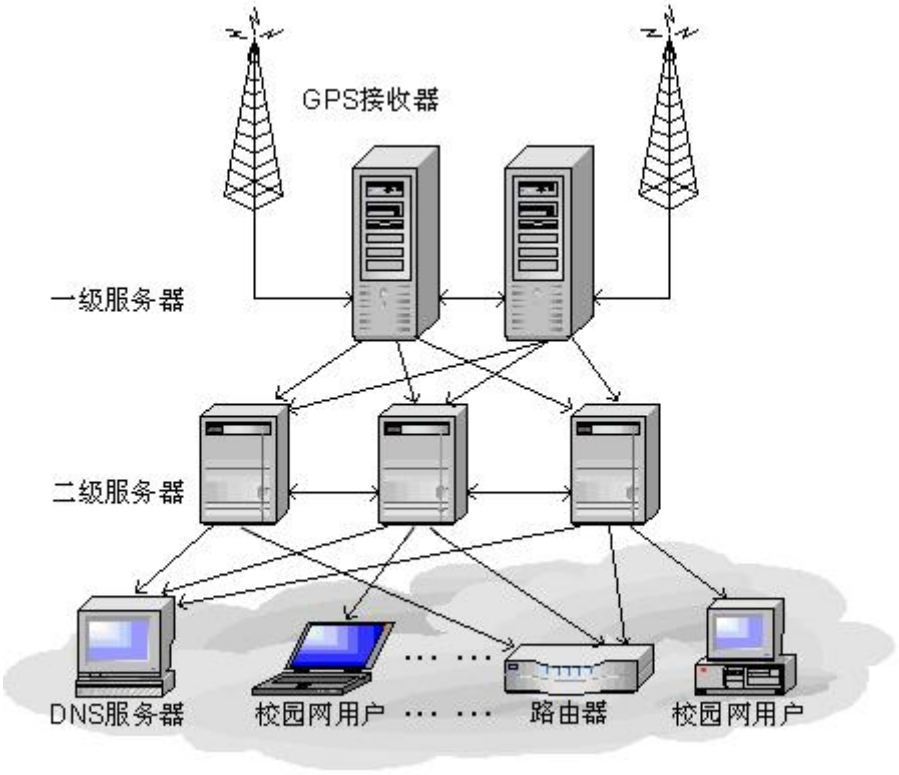


图 9-1 NTP/SNTP 工作场景

交换机实现了 SNTP 的客户端，支持 RFC2030 描述的 SNTP 客户端单播模式（unicast）的协议行为，不支持 SNTP 客户端组播模式（multicast）和任播模式（anycast），也不支持 SNTP 服务器端功能。

10.2.2 SNTP 典型配置举例

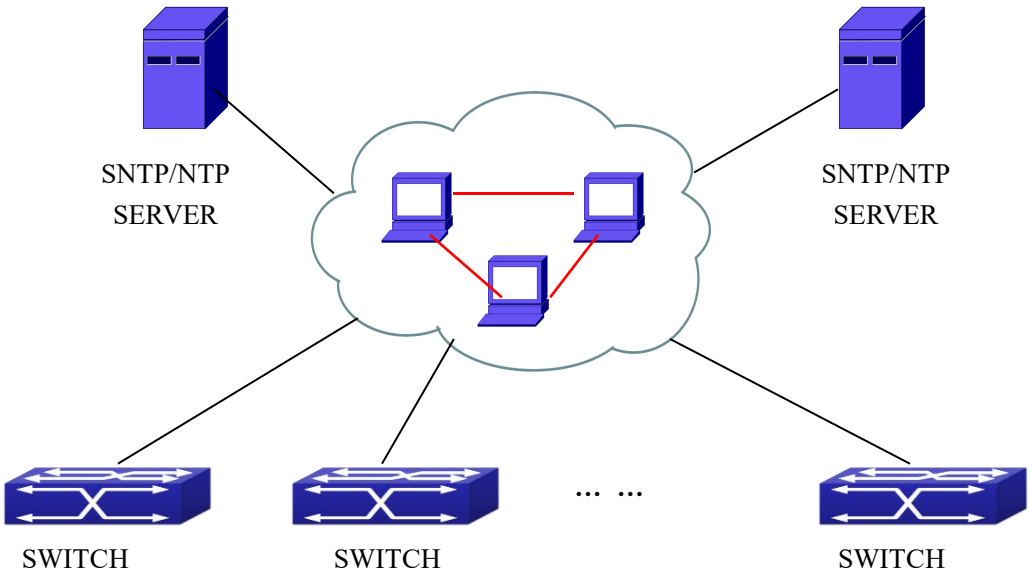


图 9-2 SNTP 典型配置

在自治系统域内的所有交换机需要进行时间同步，时间同步是通过两台冗余的 SNTP/NTP 服务器实现。为达到时间同步，当前网络必须正确配置，任意一台交换机和两台 SNTP/NTP 服务器间有可达的路由。设两个 SNTP/NTP Server 的 IP 地址分别配置为 10.1.1.1 和 20.1.1.1，并且已经开启 SNTP/NTP 服务器端功能（如 ntp master）则任意一台交换机配置如下：

Switch#config

Switch (config)#sntp server 10.1.1.1

10.3 DNSv4/v6

10.3.1 DNS 简介

DNS（域名系统，Domain Name System）是一种用于 TCP/IP 应用程序的分布式数据库，提供域名与 IPv4/IPv6 地址之间的转换。通过域名系统，用户进行某些应用时，可以直接使用便于记忆的、有意义的域名，而由网络中的域名解析服务器解析为正确的 IPv4/IPv6 地址。

域名解析分为静态域名解析和动态域名解析，二者在实际应用中相辅相成。在解析域名时，可以首先采用静态域名解析的方法，如果静态域名解析不成功，再采用动态域名解析的方法。可以将一些常用的域名放入静态域名解析表中，这样可以大大提高域名解析效率。静态域名解析是手工建立域名和 IPv4/IPv6 地址之间的对应关系。当用户使用域名进行某些应用时系统查找静态域名解析表，从中获取指定域名对应的 IPv4/IPv6 地址。动态域名解析是通过对域名服务器的查询完成的。当用户使用域名进行某些应用时，作为 DNS 客户端的交换机向域名服务器发出查询请求，域名服务器从自己的数据库中找出该域名对应的

IPv4/IPv6 地址并回送给交换机。如果判断不属于本域范围之内，就将请求交给上一级的域名解析服务器，直到完成解析为止。

DNS 分为“Client”和“Server”，“Client”扮演发问的角色，也就是问“Server”一个“Domain Name”，而“Server”必须要回答此“Domain Name”的真正 IPv4/IPv6 地址。而本地的 DNS 先会查自己的资料库，如果自己的资料库没有，则会往该 DNS 上所设置的 DNS 询问，依此得到答案之后，将收到的答案存起来，并回答客户。

DNS 服务器会根据不同的授权区(Zone)，记录所属该网域下的各名称资料，这个资料包括网域下的次网域名称及主机名称。在每一个名称服务器中都有一个快取缓存区(Cache)，这个快取缓存区的主要目的是将该名称服务器所查询出来的名称及相对的 IPv4/IPv6 地址记录在快取缓存区中，这样当下一次有另外一个客户端到该服务器上去查询相同的名称时，服务器就不用再到别的主机上去寻找，而直接可以从缓存区中找到该项名称记录资料，传回给客户端，加速客户端对名称查询的速度。例如：

DNS 客户端向指定的 DNS 服务器查询网际网路上某台主机名称，当 DNS 服务器在该资料记录找不到用户所指定的名称时，会转向该服务器的快取缓存区找寻是否有该资料，当快取缓存区也找不到时，会向最接近的名称服务器去要求帮忙找寻该名称的 IPv4/IPv6 地址，在另一台服务器上也有相同动作的查询，当查询到后会回复原本要求查询的服务器，该 DNS 服务器在接收到另一台 DNS 服务器查询的结果后，先将所查询到的主机名称及对应的地址记录到快取缓存区中，最后再将所查询到的结果回复给客户端。

10.3.2 DNSv4/v6 配置任务序列

1. 启动/关闭 DNS 功能
2. 配置/删除 DNS 服务器
3. 配置/删除域名后缀
4. 删除动态缓存中指定地址的域名表项
5. 执行 DNS 动态域名解析
6. 启动/关闭 DNS SERVER 功能
7. 配置交换机缓存客户信息的最大数量
8. 配置交换机缓存客户信息的最大超时时间
9. DNS 功能的维护与诊断

1. 启动/关闭 DNS 功能

命令	解释
全局配置模式	
ip domain-lookup **no ip domain-lookup**	启动/关闭 DNS 动态查询功能。

2. 配置/删除 DNS 服务器

命令	解释
全局配置模式	

dns-server {*<ip-address>* | *<ipv6-address>*} [priority *<value>*] **no dns-server {*<ip-address>* | *<ipv6-address>*}**	配置 DNS 服务器，no 命令删除 DNS 服务器。

3. 配置/删除域名后缀

命令	解释
全局配置模式	
ip domain-list *<WORD>* **no ip domain-list *<WORD>***	配置/删除域名后缀。

4. 删除动态缓存中指定地址的域名表项

命令	解释
特权模式	
clear dynamic-host {*<ip-address>* | *<ipv6-address>*|*all* }	删除动态缓存中指定地址的域名表项。

5. 执行 DNS 动态域名解析

命令	解释
全局配置模式	
dns lookup {ipv4|ipv6} *<hostname>*	执行 DNS 动态域名解析。

6. 启动/关闭 DNS SERVER 功能

命令	解释
全局配置模式	
[no] ip dns server	启动/关闭 DNS SERVER 功能。

7．配置交换机缓存客户信息的最大数量

命令	解释
全局配置模式	
[no] ip dns server queue maximum <1-5000>	配置交换机缓存客户信息的最大数量。

8. 配置交换机缓存客户信息的最大超时时间

命令	解释
全局配置模式	
[no] ip dns server queue timeout <1-100>	配置交换机缓存客户信息的最大超时时间。

9. DNS 功能的维护与诊断

命令	解释
特权模式或者配置模式	
show dns name-server	显示配置的 DNS 服务器信息。
show dns domain-list	显示配置的 DNS 域名后缀信息。
show dns hosts	显示交换机中解析到的动态域名信息。
show dns config	显示交换机中配置的 DNS 全局信息。
show dns client	显示交换机中维护的 DNS Client 信息。
[no] debug dns {all | packet [send | recv]| events|relay}	打开/关闭 DNS 功能的 DEBUG 显示。

10.3.3 DNS 典型案例

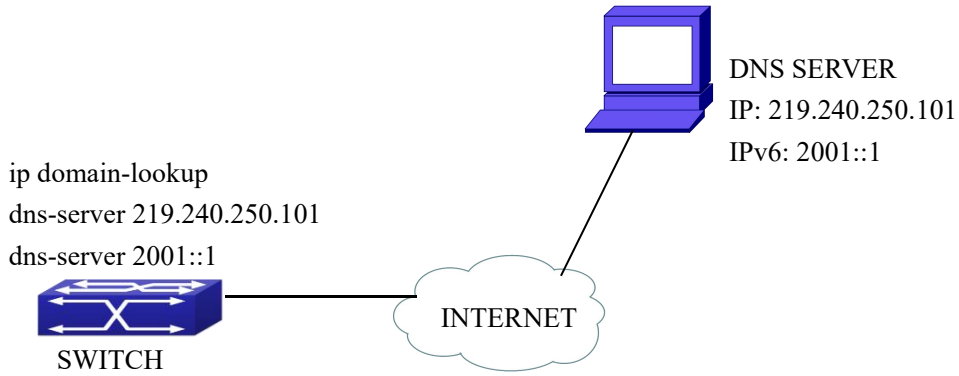


图 9-4 DNS CLIENT 典型环境

如上图所示，交换机通过网络连接到 DNS 服务器上，交换机如果想访问新浪网，它不用知道新浪网的 IPv4/IPv6 地址，只要记住新浪网的域名 www.sina.com.cn 就可以了，DNS 服务器会解析出该域名对应的 IPv4/IPv6 地址并告知交换机，从而交换机可以正常访问新浪网。交换机做为 DNS 客户端，基本操作过程如下：首先在交换机上启动 DNS 动态域名解析功能，配置 DNS 服务器地址，然后在各种应用工具中（例如 ping 等）就可以进行动态域名解析功能，获得域名对应的 IPv4/IPv6 地址。

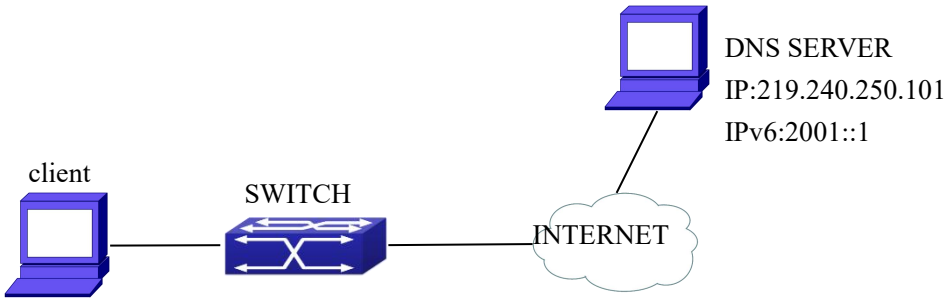


图 9-5 DNS SERVER 典型环境

如上图，是 DNS SERVER 的应用场景。在某些应用场景下，客户端 PC 不用知道真正的 DNS SERVER，它指向的 DNS SERVER 是交换机。交换机担当 DNS SERVER 的功能。交换机作为 DNS 服务器，基本操作过程：首先在交换机上启动全局 DNS SERVER 功能，配置真正的 DNS 服务器 IP 地址。交换机全局启动了 DNS SERVER 功能后，当交换机收到客户端 PC 的 DNS 请求后，会查询自己本地的 cache，如果本地有客户端需要的域名，就会直接答复客户端，如果没有则交换机会 relay 该客户端的请求到真正的 DNS 服务器，交换机收到 DNS SERVER 的 reply 后，回复给发送该请求的客户端，同时记录该域名的 IP 地址对应关系，提高下次查询的速度。

Switch 作为 DNS CLIENT 的配置：

Switch(config)#ip domain-lookup

Switch(config)#dns-server 219.240.250.101

Switch(config)#dns-server 2001::1

Switch#ping host www.sina.com.cn

Switch#traceroute host www.sina.com.cn

Switch#telnet host www.sina.com.cn

Switch 作为 DNS SERVER 的配置：

Switch(config)#ip domain-lookup

Switch(config)#dns-server 219.240.250.101

Switch(config)#dns-server 2001::1

Switch(config)#ip dns server

10.3.4 DNS 排错帮助

在配置、使用 DNS 功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 DNS 功能异常。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后，使用 DNS CLIENT 功能时确保开启了 DNS 动态查询功能（使用 ip domain-lookup 命令）。使用 DNS SERVER 功能时需要开启 DNS SERVER 功能（使用 ip dns server 命令）；
- 另外，确保配置了 DNS 服务器地址(使用 dns-server 命令)，并且交换机能够 Ping 通 DNS 服务器；

如果尝试使用以上检查仍无法解决 DNS 的问题，那么请使用 debug dns all 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给技术服务中心。

10.4 夏令时

10.4.1 夏令时介绍

夏令时，又称“日光节约时制”或“夏时制”，是一种为节约能源而人为规定地方时间的制度，在这一制度实行期间所采用的统一时间称为“夏令时间”。一般在天亮早的夏季人为将时间提前一小时，可以使人早起早睡，减少照明量，以充分利用光照资源，从而节约照明用电。各个采纳夏令时的国家具体规定不同。目前全世界有近 110 个国家每年要实行夏令时。（各时区多数位于其理想边界之西，导致实际上全年实施夏令时）。

绝大多数实行夏令时的国家，都是规定夏令时比标准时晚一个小时。例如，在夏令时的实施期间，标准时间的上午 10 点就成了夏令时的上午 11 点。

10.4.2 夏令时配置任务序列

1. 设置夏令时绝对或循环时间段

命令	解释
全局配置模式	
clock summer-time <*word*> absolute <*HH:MM*> <*YYYY.MM.DD*> <*HH:MM*> <*YYYY.MM.DD*> [<*offset*>] **no clock summer-time**	设置夏令时绝对时间段，只在设置年份的指定时间开始和结束夏令时。
clock summer-time <*word*> recurring <*HH:MM*> <*MM.DD*> <*HH:MM*> <*MM.DD*> [<*offset*>] **no clock summer-time**	设置夏令时循环时间段，每年时间到达夏令时起始点时开始夏令时，到达夏令时结束点时结束夏令时。
clock summer-time <*word*> recurring <*HH:MM*> <*week*> <*day*> <*month*> < *HH:MM* > <*week*> <*day*> <*month*> [<*offset*>] **no clock summer-time**	设置夏令时循环时间段，每年时间到达夏令时起始点时开始夏令时，到达夏令时结束点时结束夏令时。

10.4.3 夏令时举例

案例 1：

用户有如下的配置需求：在 2012 年 4 月 1 日 23:00 到 2012 年的 10 月 1 日 00:00 期间实行夏令时，时钟偏移量为 1 小时，并将该夏令时配置命名为 2012。

配置步骤如下：

Switch(config)# clock summer-time 2012 absolute 23:00 2012.4.1 00:00 2012.10.1

案例 2：
用户有如下的配置需求：每年 4 月第一个星期天 23:00 到这一年的 10 月最后一个星期日 00:00 期间实行夏令时，时钟偏移量为 2 小时，并将该夏令时配置命名为 time_travel。

配置步骤如下：

Switch(config)# clock summer-time time_travel recurring 23:00 first sat apr 00:00 last sun oct 120

10.4.4 夏令时排错帮助

当配置夏令时功能出现问题时，请检查是否是如下原因：

- 命令模式是否在全局模式。
- 系统时钟是否正确。

第 11 章 POE 操作

11.1 PoE

11.1.1 PoE 介绍

PoE（Power over Ethernet）即以太网供电，它是指在为一些基于 IP 的终端（如 IP 电话机、无线局域网接入点 AP、网络摄像头等）传输数据信号的同时，还能为此类设备提供直流供电的技术，这些接受直流电的设备称为受电设备（PD, Powered Device）。PoE 的可靠供电距离最长为 100 米。

IEEE 802.3af 标准是基于以太网供电系统 PoE 的新标准，它在 IEEE 802.3 的基础上增加了通过网线直接供电的相关标准，是现有以太网标准的扩展，也是第一个关于电源分配的国际标准。IEEE 802.3at 标准是 IEEE 802.3af 的升级版本，每端口可以最大输出 30W，以满足对功率要求更高的 PD 设备的供电要求。

PoE 过去一般运用于两种应用中：IP 电话和 802.11 无线网络。随着技术的发展，许多更实际的应用不断涌现，如视频监视、集成建筑物管理解决方案和远程视频服务亭等，都将受益于 PoE 的应用。随着这些乃至更多应用的相继面世，支持 PoE 的交换机也就显得尤为重要。

11.1.2 PoE 配置

PoE 的配置任务序列

1.全局使能或关闭 PoE 功能

2.全局设定最大输出功率

3.全局设定功率管理模式

4.全局设定非标准 PD 检测模式

5.全局使能或关闭允许上电瞬间高冲击电流

6.端口使能或关闭 PoE 功能

7.端口设定最大输出功率

8.端口设定供电优先级

9.设置端口下电时间段

1. 全局使能或关闭 PoE 功能

命令	解释
全局配置模式	
power inline enable **no power inline enable**	打开/关闭全局 PoE 供电。

2. 全局设定最大输出功率

命令	解释
全局配置模式	
power inline max <max-wattage> **no power inline max**	设定 PoE 电源的全局最大输出功率。

3. 全局设定功率管理模式

命令	解释
全局配置模式	
power inline police enable **no power inline police enable**	打开/关闭功率优先级管理策略模式。

4. 全局设定非标准 PD 检测模式

命令	解释
全局配置模式	

power inline legacy enable **no power inline legacy enable**	设定是否对非 IEEE 标准 PD 进行供电。

5. 修改端口的上电模式

命令	解释
端口配置模式	
power inline power-up mode(af|high-inrush| **pre-at|at|pre-bt|bt-type3|bt-type4)** **no power** inline **power-up mode**	修改端口的上电模式。

6. 端口使能或关闭 PoE 功能

命令	解释
端口配置模式	
power inline enable **no power inline enable**	打开/关闭端口 PoE 供电。

7. 端口设定最大输出功率

命令	解释
端口配置模式	
power inline max <max-wattage> **no power inline max**	设定端口最大输出功率。

8. 端口设定最大输出功率类型

命令	解释
端口配置模式	
power inline max-power-type <*class*|*user-defined*> **no power inline max-power-type**	设定端口最大输出功率类型是根据 PD class 分类还是根据用户自定义。

9. 端口设置供电优先级

命令	解释
端口配置模式	
power inline priority {critical | high | low}	设置端口供电优先级。

10. 设置端口下电时间段

命令	解释
端口配置模式	
power inline power-off time-range ***<time-range-name>*** **no power inline power-off time-range**	设置/取消 POE 端口下电时间段。

11.1.3 PoE 典型应用

组网需求

配置交换机最大输出功率为 370W，并假设其最大功率的缺省值可以满足需求。

Ethernet interface 1/0/2 接入 IP 电话。

Ethernet interface 1/0/4 接入无线 AP。

Ethernet interface 1/0/6 接入蓝牙 AP。

Ethernet interface 1/0/8 接入网络摄像头。

Ethernet interface 1/0/2 的 IP 电话优先级高，设其供电优先级为 critical，要求在新接入 PD 导致 PSE 功率过载时，停止对新接 PD 入供电（即采用 PD 功率管理的优先级策略）。

Ethernet interface 1/0/6 下接的 AP 设备的功率不能超过 9000 毫瓦。

组网图

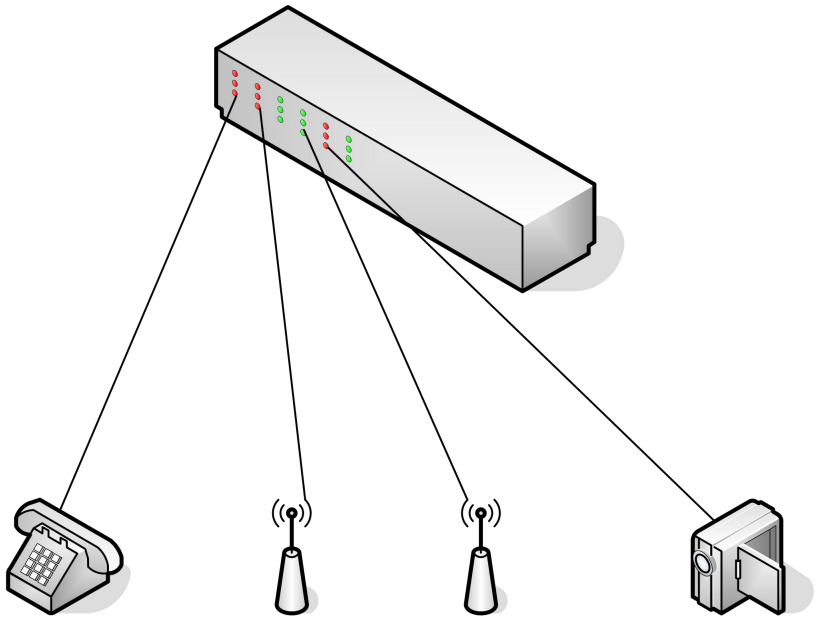


图 13-1

配置步骤

全局使能 PoE 功能：

Switch(Config)# power inline enable

全局配置最大功率为 370W：

Switch(Config)# power inline max 370

全局使能优先级功率管理策略：

Switch(Config)# power inline police enable

给 1/0/2 端口分配优先级为 critical：

Switch(Config-Ethernet1/0/2)# power inline priority critical

配置 1/0/6 的输出功率不能超过 9000mW：

Switch(Config-Ethernet1/0/6)# power inline max 9000

11.1.4 PoE 排错帮助

当在使用 PoE 过程中遇到问题，请检查是否是如下原因：

- 当全局显示 Power Remaining 的值不足 15W 时，由于电源保护机制，在先到先得模式下不再为新的 PD 供电，在优先级策略模式下也将会断开原有优先级低的设备。当 Power Remaining 的值大于 15W 时，如 16W，此时可以接入 15W 以下的设备正常供电，并不影响其它设备。这个 15W 的供电缓冲是为保护电源而设置的，使用时应该注意。
- 在显示端口供电状态时，可能出现 Power 大于 Max 的情况，这里涉及到一个显示功率和实际功率的问题，举例如下：

  端口设定功率：A，表示为 PoE 对外供电的实际功率

  读取显示功率：B，表示为此端口的总功率（总电流×总电压）

  设定损耗功率：C，表示为内部 Sensor 电阻，MosFet 等损耗的功率

  那么：B=A+C

  此时，当设置功率为 A=500mW 的时候，通过附表获取补偿电流 I=2.44mA（500mW/50V＝10mA，假定当前工作电压是 50V），加上补偿功率 C=50V×2.44mA＝122mA

  B=A+C=500+122=622mW。当读取功率为 622mW 的时候，才会断开 PD。

  附表：

最大工作电流（mA）	补偿电流（mA）
50	2.44
100	4.88
150	9.76
200	17.08
250	24.41
350	31.73

第 12 章 虚拟化操作

12.1 VSF

12.1.1 概述

12.1.1.1 VSF 简介

VSF 就是将多台设备通过 VSF 口连接起来形成一台虚拟的逻辑设备。用户对这台虚拟设备进行管理，来实现对虚拟设备中所有物理设备的管理。

传统的园区和数据中心网络是使用多层网络拓扑结构设计的，如图 1-1 所示。这些网络类型有以下缺点：

(1) 网络和服务器复杂，从而导致运营效率低、运营开支高。

(2) 无状态的网络级故障切换会延长应用恢复时间和业务中断时间。

(3) 使用率低下的资源降低了投资回报（ROI），提高了资本开支。

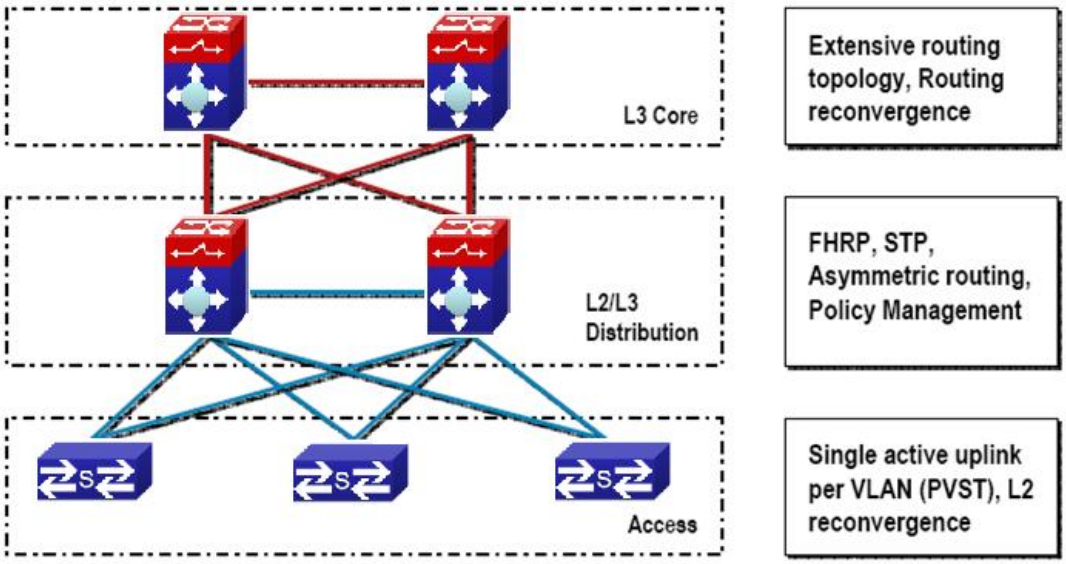


图 10-1 传统的企业网

为了解决这些问题，出现了 VSF 技术，，将多台支持 VSF 的设备组合为单一虚拟交换机。在 VSF 中，这两个交换机中的管理引擎的数据面板和交换阵列能同时激活。VSF 成员通过 VSF 链路（VSL）连接。VSL 在虚拟交换机成员之间使用标准万兆以太网连接（多达 4 条，以提供冗余性），如图 1-2。

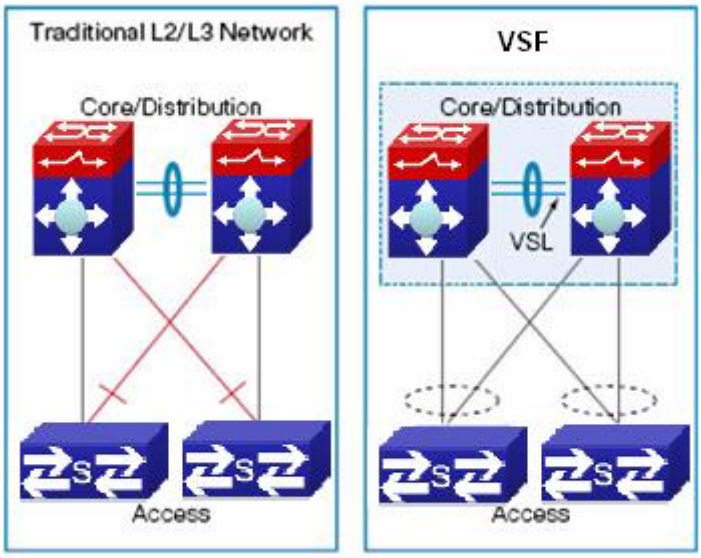


图 10-2 VSF 示意图

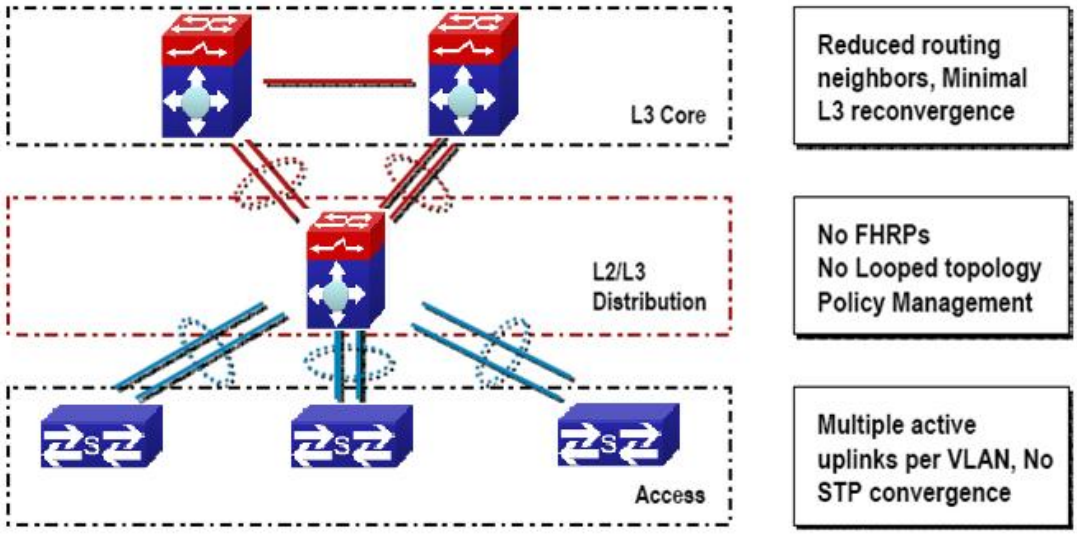


图 10-3 用虚拟化技术的企业网

与传统的 L2/L3 网络设计相比，VSF 提供了多项显著优势。大体说来，其优势可归纳为以下三个主要方面：

1. VSF 能够提高运营效率

单管理点，包括配置文件和单一网关 IP 地址（无需 HSRP/ VRRP/GLBP）

多台物理设备堆叠形成的一台逻辑设备创建了简单的无环路拓扑结构，不再依靠生成树协议（STP）

底层物理交换机经由标准万兆以太网接口相连，在位置方面提供了灵活的部署选项

2. VSF 能够优化不间断通信

机箱间状态化故障切换不会干扰需要使用网络状态信息的应用。凭借 VSF，在一个虚拟交换机成员发生故障时，不再需要进行 L2/L3 重收敛，能在较短时间内实现确定性虚拟交换机的恢复。port group 的模式要求必须使用 active 模式。

3. VSF 能够大大扩展系统带宽容量

在 VSF 交换机上激活所有可用的 L2 带宽，在扩大带宽的同时，还可以在 VSF 多个成员上进行精确的负载均衡。

12.1.1.2 基本概念

(1) 角色

VSF 中每台设备都称为成员设备。成员设备按照功能不同，分为两种角色：

Master：负责管理整个 VSF。

Standby Master：VSF 的备份成员，作为 Master 的备份设备运行，当 Master 故障时，系统由 Standby Master 自动接替原 Master 工作。

Slave：VSF 中除 Master 和 Standby Master 的成员设备。

Master、Standby Master 和 Slave 均由角色选举产生。一个 VSF 中同时只能存在一台 Master，一台 Standby Master，其它成员设备都是 Slave。

(2) VSF 端口

一种专用于 VSF 的逻辑接口，分为 vsf-port1 和 vsf-port2，需要和 VSF 物理端口绑定之后才能生效。

(3) VSF 物理端口

设备上可以用于 VSF 连接的物理端口。VSF 物理端口可能是 VSF 专用接口、以太网接口或者光口（设备上哪些端口可用作 VSF 物理端口与设备的型号有关，请以设备的实际情况为准）。通常情况下，以太网接口和光口负责向网络中转发业务报文，当它们与 VSF 端口绑定后就作为 VSF 物理端口，用于成员设备之间转发报文。可转发的报文包括 VSF 相关协商报文以及需要跨成员设备转发的业务报文。

(4) VSF 合并

两个 VSF 各自已经稳定运行，通过物理连接和必要的配置，形成一个 VSF，这个过程称为 VSF 合并（merge）。

图 10-4 VSF 合并

(5) VSF 分裂

一个 VSF 形成后，由于 VSF 链路故障，导致 VSF 中两相邻成员设备物理上不连通，一个 VSF 变成两个 VSF，这个过程称为 VSF 分裂（split）。

图 10-5 VSF 分裂

(6) 成员优先级

成员优先级是成员设备的一个属性，主要用于角色选举过程中确定成员设备的角色。优先级越高当选为 Master 的可能性越大。设备的缺省优先级均为 1，如果想让某台设备当选为 Master，则在组建 VSF 前，可以通过命令行手工提高该设备的成员优先级。

12.1.1.3 术语

VSF(Virtual Switching Framework):虚拟交换框架。

VSF Port: VSF 口，为一个 mode on 的 port-channel

VSF AM: VSF 中的活动主控卡

VSF SM: VSF 中的备份主控卡

VSF Slave: VSF 中的线卡, 运行 VSF 协议, 在机架交换机中指 Chassis AM，未被选为 VSF AM 或 VSF SM

VSF Member: VSF 中的成员设备

VSF Master Member: VSF 中的主成员设备

VSF Standby Master Member: VSF 中的备份主成员设备

VSF Slave Member: VSF 中的 slave 成员设备

HA(High Availability):高可靠性。

AM（Active Master）：活动主控，工作模式为 Master 且处于活动状态的交换机，一个盒式 vsf 组每一时刻只能有一个 AM。

SM（Standby Master）：备份主控，盒式 vsf 组中工作模式为 Master 且处于备份状态的交换机。

SSO(Stateful Switchover)：全状态主备倒换，同步协议应用层的数据，发生主备倒换，备份主控的协议应用模块能快速接管相应的功能，本模块的数据不丢失，但是路由协议的动态数据不同步。

NSF（None Stop Forwarding）：利用了数据层面控制层面处理的独立性，在控制层面发生故障的时候，数据层面依然能够正常转发数据。

NSF/SSO（Nonstop Forwarding with Stateful Switchover）：指在进行 SSO“主备倒换”的时候，数据的转发是不受影响的。

Syn process：HA 同步进程，负责活动主控或备份主控协议模块数据的收集或分发，负责活动主控和备份主控的数据同步通信。

GR(Graceful Restart)：优雅重启。为了实现不间断转发，需要路由协议做扩展以支持 GR 能力。

MAD: Multi-Active Detection，多 Active 检测。

12.1.1.4 VSF 典型应用

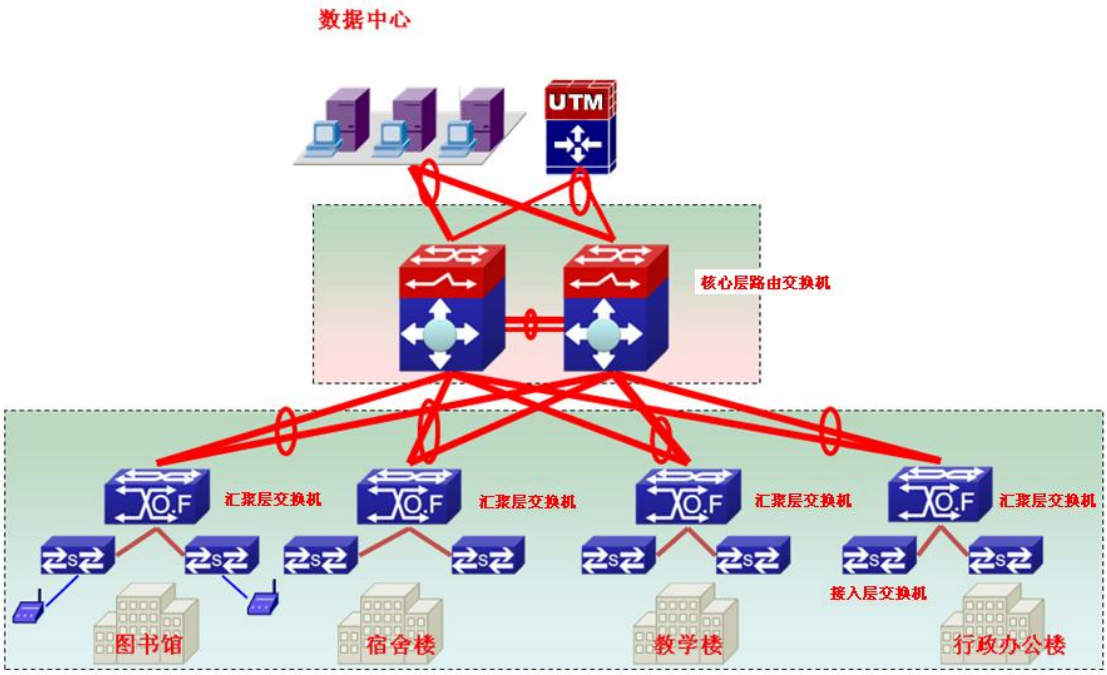


图 10-6 VSF 在校园网数据中心应用

图 1-6 为 VSF 在校园网中的应用，使用 VSF 后，汇聚层的多个设备成为了一个单一的逻辑设备，接入设备直接连接到虚拟设备。这个简化后的组网不再需要使用 MSTP、VRRP 协议，简化了网络配置。同时依靠跨设备的链路聚合（port group 的模式要求必须使用 active 模式），在成员出现故障时不再依赖 MSTP、VRRP 等协议的收敛，提高了可靠性。

12.1.1.5 LACP MAD

lacp mad 是基于 lacp 的动态聚合方式，vsf 的每个成员设备都至少有一个端口和中间设备连接。

注意：中间设备必须为我司支持 lacp 扩展功能的设备。

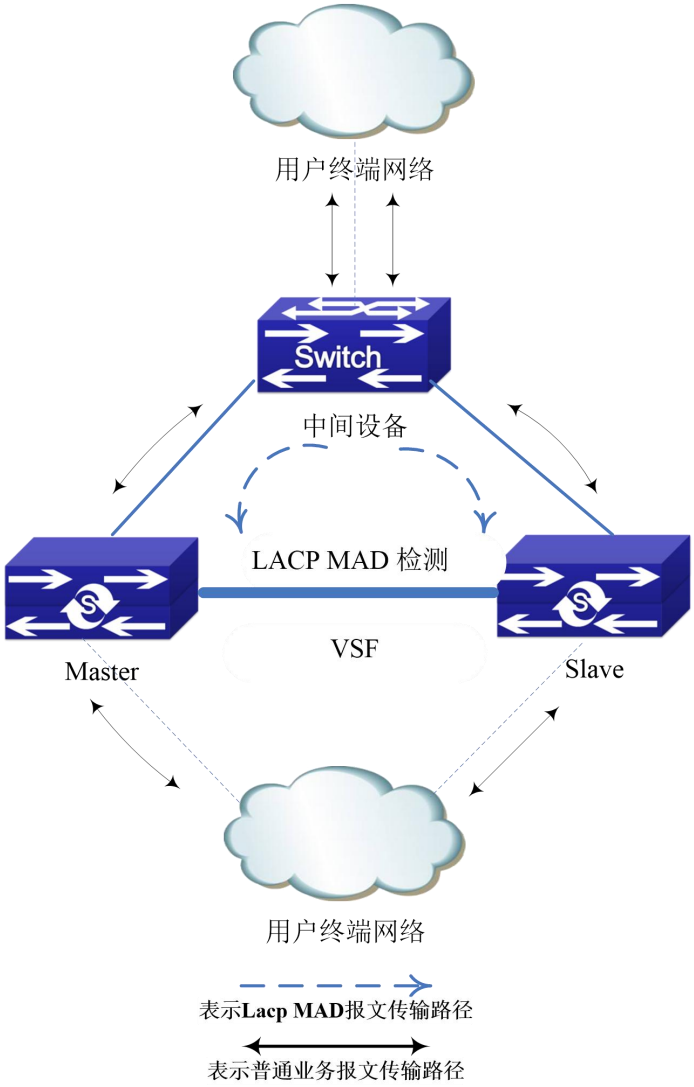


图 10-7 LACP MAD 检测

LACP MAD 检测是通过扩展 LACP 协议报文内容实现的，在 LACP 协议报文的扩展字段中定义一个新的 TLV（Type Length Value），该 TLV 用于交互 VSF 的 ActiveID。对于 VSF 系统来说，ActiveID 的值是唯一的，用 VSF 中 master 设备的成员编号来表示。使能 LACP MAD 检测后，成员设备通过 LACP 协议报文和其它成员设备交互 ActiveID 信息。

当 VSF 正常运行时，所有成员设备发送的 LACP 协议报文中的 ActiveID 值相同，没有发生多 Active 冲突；

当 VSF 分裂后会形成两个 vsf 时，不同 VSF 中的成员设备发送的 LACP 协议报文中的 ActiveID 值不同，从而检测到多 Active 冲突。

12.1.1.6 BFD MAD

Bfd mad 检测的拓扑搭建比 lacp 简单，但是一旦某个 vlan 被选定用于 bfd mad 检测，该 vlan 以及 vlan 中的端口都将作为 bfd mad 的专有 vlan 和端口，不能再配置使能其它的功能。

搭建方法：在 member1 上选定一个端口，在 member2 选定一个端口，在两者之间连一根线。

图 10-8 BFD MAD 检测

BFD MAD 检测是通过 BFD 协议来实现的。要使 BFD MAD 检测功能正常运行，除在三层接口下使能 BFD MAD 检测功能外，还需要在该接口上配置 MAD IP 地址。MAD IP 地址与普通 IP 地址不同的地方在于 MAD IP 地址与成员设备是绑定的，VSF 中的每个成员设备上都需要配置，且必须属于同一网段。

当 VSF 正常运行时，只有 master 上配置的 MAD IP 地址生效，配置的和 Slave 设备关联的 MAD IP 地址不生效，BFD 会话处于 down 状态；

当 VSF 分裂后形成两个 VSF 时，新形成的 vsf 上与此 member 关联的 mad ip 地址生效，通过 bfd mad 检测的连接线，两个 vsf 之间会建立起 bfd 会话，从而检测到多 Active 冲突。

12.1.2 VSF 相关配置

12.1.2.1 VSF 配置

VSF 配置任务序列：

1. 配置 VSF 成员编号（必选）
2. 配置 VSF 成员优先级（可选）
3. 配置 VSF 域（可选）
4. 配置逻辑 VSF 口
   (1) 配置逻辑 VSF 口
   (2) 将物理口与逻辑口绑定
5. 设备由独立运行模式转换到 VSF 运行模式
6. 配置 VSF 自动合并（可选）
7. 对 VSF 成员进行描述（可选）
8. 配置 VSF 链路 down 延迟上报功能（可选）
9. 配置 VSF 分裂后 VSF 组 MAC 地址保留时间（可选）
10. 设备由 VSF 运行模式转换到独立运行模式
11. 快速检测 VSF 链路状态变化

1. 配置 VSF 成员编号（必选）

命令	解释
全局配置模式	
vsf member <*member-id*> **no vsf member <*member-id*>**	配置或删除 VSF 成员编号

2. 配置 VSF 成员优先级和所在 VSF 域（可选）

命令	解释

全局配置模式	
vsf priority <*priority*> **no vsf priority**	配置或删除 VSF 成员优先级。
vsf domain <*domain-id*> **no vsf domain**	配置或删除 VSF 域，no 操作相当于恢复到默认域号 1。

3. 配置逻辑 VSF 口并与物理口进行绑定

命令	解释
全局配置模式	
vsf port-group <*port-number*> **no vsf port-group <*port-number*>**	配置或删除逻辑 VSF 口
VSF 口配置模式	
vsf port-group interface Ethernet <*interface-list*> **no vsf port-group interface Ethernet <*interface-list*>**	将物理口与逻辑 VSF 口进行绑定或删除绑定

4. 设备进行运行模式转换

命令	解释
全局配置模式	
switch convert mode (stand-alone | vsf)	设置设备由独立运行模式转换到 VSF 运行模式，或者由 VSF 运行模式转换到独立运行模式

5. 其他配置

命令	解释
全局配置模式	
vsf auto-merge enable **no vsf auto-merge enable**	使能 VSF 组自动合并功能，该命令的 no 命令去除自动合并功能。
vsf member <*member-id*> description <*text*> **no vsf member <*member-id*> description**	对 VSF 成员进行描述，此描述信息只写入 VSF 主控配置文件中。该命令的 no 命令为删除对应 VSF 成员的描述信息。
vsf link delay<*interval*> **no vsf link delay**	配置 VSF 链路 down 延迟上报功能，用于避免因端口链路层状态在短时间内频繁改变，导致 VSF 分裂、合并的频繁发生。该命令的 no 命令为将延迟上报时间值恢复为默认值。
vsf mac-address persistent <*timer* | *always*> **no vsf mac-address persistent**	配置 VSF 分裂后 VSF 组 MAC 地址保留时间。该命令的 no 命令为删除 VSF 组 MAC 地址保留时间的配置，即不保留。

vsf non-wait port-inactive **no vsf non-wait port-inactive**	快速检测 VSF 链路状态变化，用于需要快速发现 vsf 分裂的场景。该命令的 no 命令将恢复检测 VSF 链路状态为默认方式。

12.1.2.2 BFD MAD 配置

BFD MAD 配置任务序列：

1. 创建用于 BFD MAD 的 vlan
2. 将用于进行 BFD MAD 的端口加入到相应 vlan 中
3. 为 BFD MAD 三层接口配置 IP 地址
4. 使能 BFD MAD 功能

1. 创建用于 BFD MAD 的 vlan

命令	解释
全局配置模式	
vlan <*vlan-id*> **no vlan <*vlan-id*>**	配置或删除 vlan

2. 将用于进行 BFD MAD 的端口加入到相应 vlan 中

命令	解释
vlan 配置模式	
switchport interface ethernet <*port-num*> **no switchport interface ethernet <*port-num*>**	将端口加入或移出 vlan。

3. 为 BFD MAD 三层接口配置 IP 地址

命令	解释
全局配置模式	
Interface vlan <*vlan-id*>	进入 vlan 接口配置模式
接口配置模式	
vsf mad ip address <*ip-addr*> <*ip-mask*> member <*member-id*> **no vsf mad ip address <*ip-addr*> <*ip-mask*> member <*member-id*>**	配置或删除三层接口上用于 BFD MAD 的 IP 地址

4. 使能 BFD MAD 功能

命令	解释
接口配置模式	
vsf mad bfd <*enable* | *disable*>	使能或去使能 BFD MAD

12.1.3 VSF 典型案例

案例 1：

在独立运行模式下进行配置，令两台交换机形成 VSF，两台设备分的 VSF 成员编号分别为 1 和 2，为了让 vsf member2 成为 vsf master，配置 member 2 的成员优先级为 32，两台设备之间建立两个 vsf port-group，每个 vsf port-group 绑定一个万兆端口。

switch1 的 VSF 配置如下：

```
switch1#config
switch1(config)#vsf member 1
switch1(config)#vsf port-group 1
switch1(config-vsf-port1)#vsf port-group interface ethernet 1/1/1
switch1(config)#vsf port-group 2
switch1(config-vsf-port1)#vsf port-group interface ethernet 1/1/2
switch1(config)#exit
switch1(config)#switch convert mode vsf
```

switch2 的 VSF 配置如下：

```
switch2#config
switch1(config)#vsf member 2
switch1(config)#vsf priority 32
switch1(config)#vsf port-group 1
switch1(config-vsf-port1)#vsf port-group interface ethernet 2/1/1
switch1(config)#vsf port-group 2
switch1(config-vsf-port1)#vsf port-group interface ethernet 2/1/2
switch1(config)#exit
switch1(config)#switch convert mode vsf
```

案例 2：

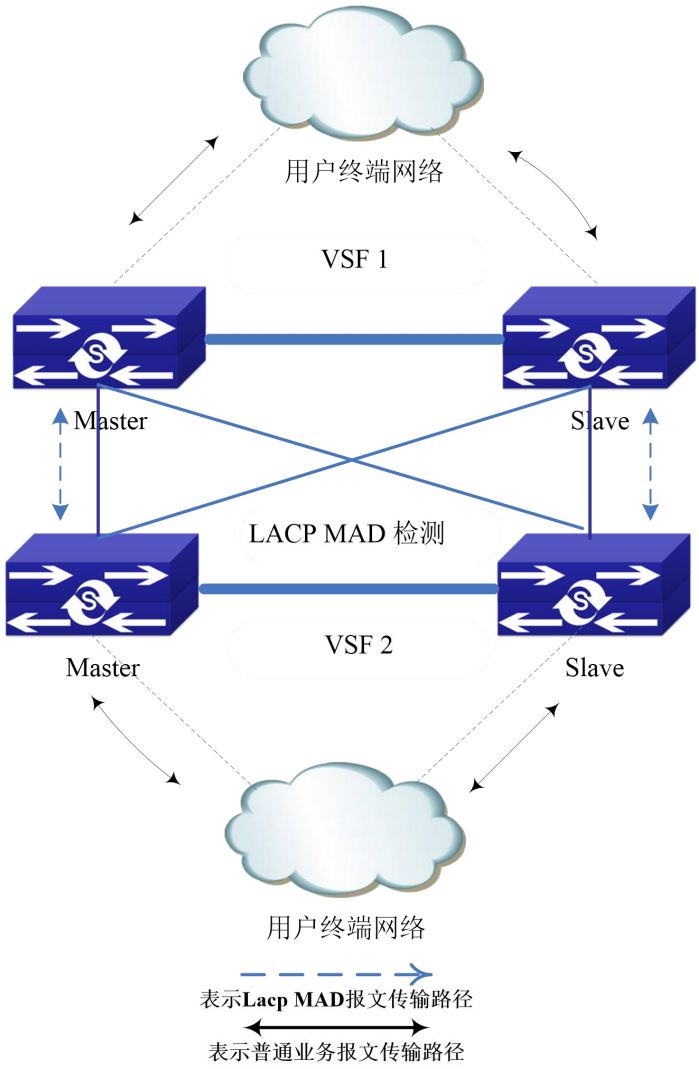


图 10-9 Lacp mad 检测典型拓扑

按上图所示典型拓扑，在两个 vsf 之间使用 lacp mad 检测功能，vsf1 与 vsf2 的角色既为被检测设备，也互为中间设备。配置和前面基本相同。建议用户在各个设备之间交叉连接，避免 vsf1 分裂后不能做中间设备继续检测 vsf2。

假设 vsf1 与 vsf2 使用的 lacp 端口都为 ethernet 1/1/1，ethernet 1/1/2，ethernet 2/1/1，ethernet 2/1/2。

vsf1 的配置如下：

Switch(config)#vsf domain 1

*配置 vsf 域号，可以配置成其它值，但是不能与 vsf2 相同。

Switch(config)#port-group 1

Switch(config)#interface ethernet 1/1/1

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#port-group 1 mode active

Switch(config)#interface ethernet 1/1/2

Switch(config-if-ethernet1/1/2)#port-group 1 mode active

Switch(config)#interface ethernet 2/1/1

Switch(config-if-ethernet2/1/1)#port-group 1 mode active

Switch(config)#interface ethernet 2/1/2

Switch(config-if-ethernet2/1/2)#port-group 1 mode active

Switch(config-if-ethernet2/1/2)#interface port-channel 1

Switch(config-if-port-channel1)#vsf mad lacp enable

vsf2 的配置如下：

Switch(config)#vsf domain 2

*配置 vsf 域号，可以配置成其它值，但是不能与 vsf1 相同。

其余配置和 vsf1 上的配置相同。

案例 3：

图 10-10 案例 3

如上图所示，假设用于 bfd mad 检测的端口为 ethernet1/1/1,ethernet2/1/1,vlan 为 3000。Mad ip 地址的配置以 192.168.1.1 网段为例。

switch 的 BFD MAD 配置如下：

Switch(config)#vlan 3000

Switch(config-vlan3000)#interface ethernet 1/1/1

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#switchport access vlan 3000

Switch(config-if-ethernet1/1/1)#interface ethernet 2/1/1

Switch(config-if-ethernet2/1/1)#switchport access vlan 3000

Switch(config-if-ethernet2/1/1)#interface vlan 3000

Switch(config-if-vlan3000)#vsf mad bfd enable

Switch(config-if-vlan3000)#vsf mad ip add 192.168.1.1 255.255.255.0 member 2

Switch(config-if-vlan3000)#vsf mad ip add 192.168.1.2 255.255.255.0 member 1

注意：此时整个 vsf 是一台设备，所以 BFD MAD 配置相当于只在一台设备上进行。

12.1.4 VSF 排错帮助

在进行 VSF 配置和使用过程中，出现命令行不可配置时，应注意如下事项：

- 是否处于正确的运行模式，有些命令行既可在独立运行模式下配置，又可在 VSF 运行模式下配置，而某些命令行只能最 VSF 运行模式下配置；

在 VSF 使用过程中不能形成 VSF，或出现其他异常时，应注意如下事项：

- 首先查看物理连接是否正确。目前机架式 VSF 组只支持万兆口与逻辑口的绑定，需要查看连接的万兆端口是否是绑定的端口；
- Vsf member id 是否冲突，member id 冲突时，两设备无法形成 vsf。

- Vsf domain 号是否相同，只有 vsf domain 号相同的设备才有可能形成 vsf。
- 与逻辑 VSF 口绑定的物理端口上建议没有任何配置，尤其是类似于速率双工、带宽限制、安全认证、ACL 等配置。

在 VSF 运行模式下进行配置时，应注意如下事项：

- VSF 运行模式下，VSF 相关配置可以在各个成员上分别配置，但在成员上所做的配置，无法在成员上单独进行保存，但可以在 vsf master 上执行 write，此时所有成员上关于 vsf 的个性配置，分别各自保存在本机的 vsf.cfg 中。
- VSF 运行模式下，部分命令，如 VSF 域编号、成员优先级、member id 等仍然能够进行配置或修改，配置后 show run 显示为最新配置值，但需要在保存并重启后方能生效。
- VSF 运行模式下，为保证故障收敛时间，port group 的模式要求必须使用 active 模式。

对于 LACP MAD，在配置和使用过程中，出现疑问或异常时，应注意如下事项：

- 创建聚合组时，被检测设备与中间设备的聚合组必须保持一致
- 被检测设备和中间设备端口不能以 on 模式加入到用于 LACP MAD 的聚合组，且至少有一方为 active 方式
- 当被检测设备和中间设备都是 vsf 时，两 vsf 的 domain id(vsf 域号)不能相同

对于 BFD MAD，在配置和使用过程中，出现疑问或异常时，应注意如下事项：

- bfd mad 功能不能在 interface vlan 1 下使能
- bfd mad 功能与防环功能互斥（比如 stp,mstp 等等），如果该 vsf 有配置防环功能，需要在用于做 bfd mad 检测的端口上都关闭防环功能，否则，可能导致检测失败。
- 如果该 vsf 上存在端口被配置成 trunk 口(包括 port-channel 口)，请确认用于 bfd mad 检测的 vlan 是否在该 trunk 内(trunk 口默认属于所有 vlan)，如果在，必须要在该端口下将用于 bfd mad 检测的 vlan 过滤掉，否则，可能导致出现环路。
- 如果该 vsf 上存在端口被配置成 hybrid 口，请确保该 hybrid 口不属于 bfd mad 检测的 vlan,否则，也可能导致出现环路.
- 在用于 bfd mad 检测的 vlan 接口以及该 vlan 中的所有端口，除了配置用于 bfd mad 检测的配置外，不能再配置其它配置。
- 如果不再使用 bfd mad 功能，除了将配置清除外，还要注意将用于 bfd mad 检测的连接线去掉。
- 如果 bfd mad 配置已经完成，后来又对其它端口，vlan 或者全局下的命令有修改，请确认以上几条是否满足。
- 建议用户选择一个在业务处理中基本不会用到的 vlan，作为 bfd mad 检测的专用 vlan。

第 13 章 数据中心操作

13.1 MC-LAG

13.1.1 MC-LAG 介绍

MC-LAG（Multichassis Link Aggregation Group）即跨设备链路聚合组，是一种实现跨设备链路聚合的机制，如图 1 所示，将两台接入交换机以同一个状态和被接入的设备进行链路聚合协商，从而把链路可靠性从单板级提高到了设备级，组成双活系统。

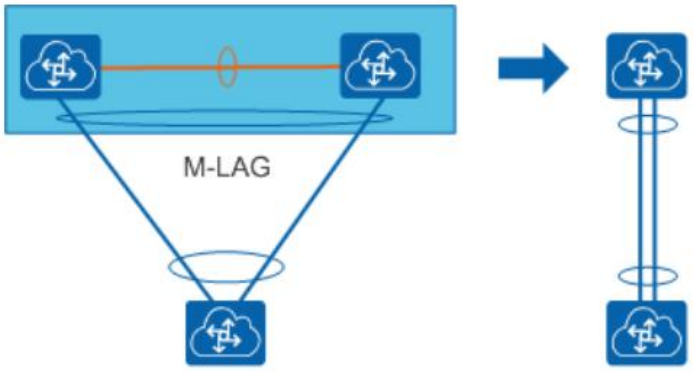


图 13-10 MC-LAG示意图

MC-LAG 是 LACP 的扩展协议，802.1ax 中并没有规定 MC-LAG 的内容，MC-LAG 依赖各厂家实现，属于私有协议。MC-LAG 兼容 LACP，两台 MC-LAG 交换机对外使用相同的 LACP 协议信息，表现的如同一台普通交换机。

13.1.2 典型应用

13.1.2.1 双归接入 IP 网络

服务器通过 MC-LAG 双归接入网络，服务器网关在 MC-LAG 设备上。服务器上行流量通过 LACP 均衡到两台接入设备，下行流量通过 ECMP 均衡到两台接入设备，通过本地转发到服务器。

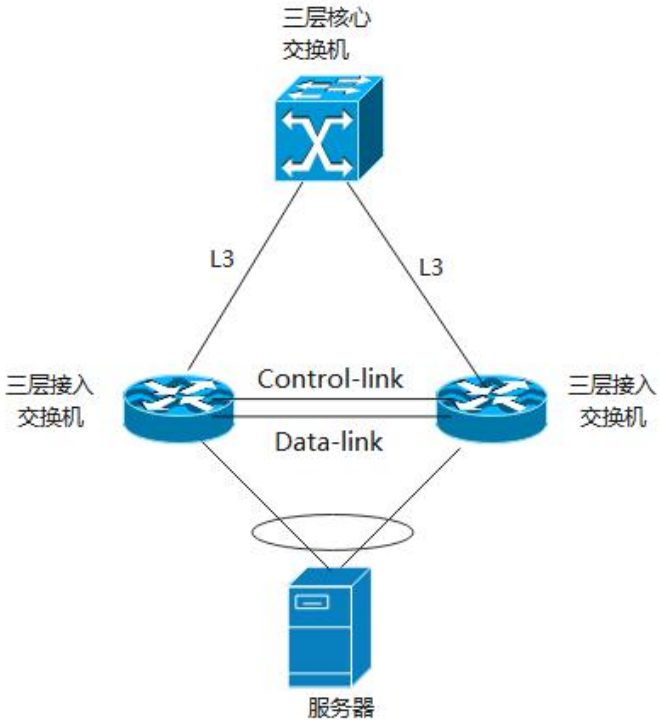


图 13-11 MC-LAG 接入 IP 网络

13.1.2.2 双归接入 VXLAN 网络

服务器通过 MC-LAG 双归接入 VXLAN 网络，服务器网关在核心设备上。服务器上行流量通过 LACP 均衡到两台接入设备，下行流量通过 ECMP 均衡到两台接入设备，通过本地转发到服务器。

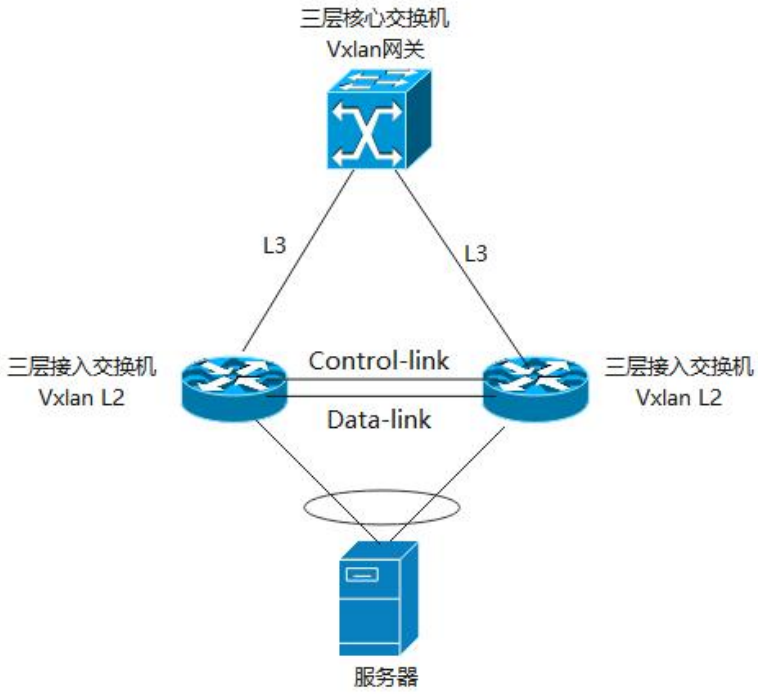


图 13-12 MC-LAG 接入 VXLAN 网络

13.1.3 MC-LAG 配置任务序列

MC-LAG 配置任务序列如下：

1. 配置 MC-LAG 数据链路端口
2. 配置 port-group 加入 MC-LAG 组
3. 配置 VEG 组
4. 进入 MC-LAG 配置模式
   (1) 配置 MC-LAG 域 id（必须）
   (2) 配置 MC-LAG 域优先级（可选）
   (3) 配置本机 MC-LAG 控制链路三层接口 ip 地址（必须）
   (4) 配置对端 MC-LAG 控制链路三层接口 ip 地址（必须）
   (5) 配置 VEG 组关联 MC-LAG（必须）
   (6) 使能 MC-LAG 功能（必须）
5. 配置网关接口
   (1) 配置网关接口 IP 和 MAC 地址
   (2) 配置网关接口绑定 VEG 组
6. 配置分布式网关 VTEP 的 MAC 地址（可选）

1.配置 MC-LAG 数据链路端口

命令	解释
端口配置模式、汇聚端口配置模式	
[no] switchport mclag data link	配置本机 MC-LAG 数据链路端口；no 命令用于取消本机数据链路端口配置。

2.配置 port-group 加入 MC-LAG 组

命令	解释
汇聚端口配置模式	
[no] mclag group	配置 port-group 加入 MC-LAG 组；no 命令用于配置离开 MC-LAG 组。

3.配置 VEG 组

命令	解释
全局配置模式	

[no] virtual-equipment-group <ID>	配置 VEG 组；no 命令用于取消配置的 VEG 组。

4.进入 MC-LAG 配置模式

命令	解释
全局配置模式	
[no] mclag	执行 mclag 后进入 MC-LAG 配置模式；no 命令删除 mclag 下的配置并退出 MC-LAG 配置模式。
MC-LAG 模式	
mclag domain-id <1-128> **no mclag domain-id**	配置 MC-LAG 域 id；no 命令用于删除域 id 配置。
MC-LAG 模式	
mclag priority <1-256> **no mclag priority**	配置 MC-LAG 域优先级；no 命令用于恢复默认的域优先级。
MC-LAG 模式	
mclag local-ip A.B.C.D **no mclag local-ip**	配置本机 MC-LAG 控制链路三层接口 ip 地址；no 命令用于取消本机 ip 地址配置。
MC-LAG 模式	
mclag peer-ip A.B.C.D **no mclag peer-ip**	配置对端 MC-LAG 控制链路三层接口 ip 地址；no 命令用于取消对端 ip 地址配置。
MC-LAG 模式	
[no] virtual-equipment-group <ID>	配置 VEG 组关联 MC-LAG；no 命令用于取消 VEG 组关联 MC-LAG。
MC-LAG 模式	
[no] mclag enable	使能 MC-LAG 功能；no 命令用于去使能 MC-LAG 功能。

5.配置网关接口

命令	解释
VLAN 接口模式、NVI 接口模式	
[no] ip address A.B.C.D A.B.C.D (secondary |) **[no] ipv6 address X:X::X:X/M** **mac-address XX-XX-XX-XX-XX-XX** **no mac-address**	配置网关接口的 IP 和 MAC 地址；no 命令用于删除网关接口的 IP 和 MAC 地址。
VLAN 接口模式、NVI 接口模式	

[no] virtual-equipment-group <ID>	配置网关接口绑定 VEG 组；no 命令用于取消网关接口绑定 VEG 组。

6.配置分布式网关 VTEP 的 MAC 地址（可选）

命令	解释
全局配置模式	
evpn nve mac-address FF-FF-FF-FF-FF-FF **no evpn nve mac-address**	配置分布式网关 VTEP 的 MAC 地址；no 命令用于取消配置 VTEP 的 MAC 地址。

13.1.4 MC-LAG 配置举例

13.1.4.1 双归接入 IP 网络

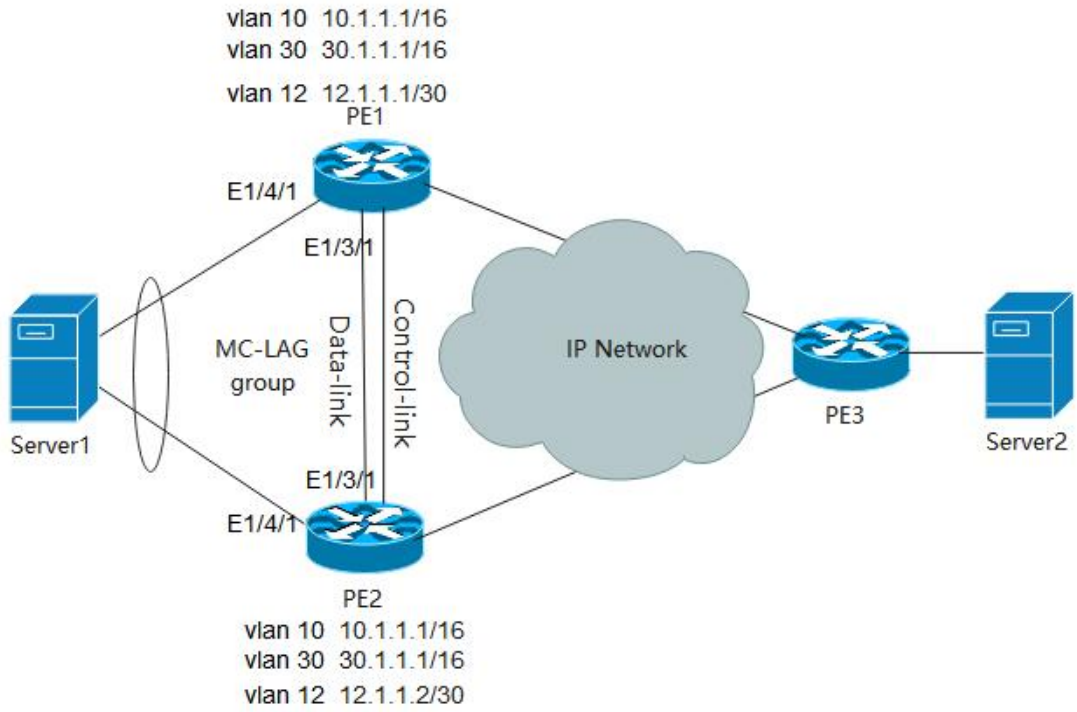


图 13-13 MC-LAG 接入 IP 网络配置举例

如图 4 所示，这里以 IP 网络为例，给出 MC-LAG 相关的配置，其他配置省略。

PE1 配置如下：

#配置 VEG 组

PE1(config)#virtual-equipment-group 1

#配置 MC-LAG 数据链路端口

PE1(config)#interface ethernet 1/3/1
PE1(config-if-ethernet1/3/1)#switchport mode trunk
PE1(config-if-ethernet1/3/1)#switchport trunk allowed vlan 10;30
PE1(config-if-ethernet1/3/1)#switchport mclag data link
#配置 port-group 加入 MC-LAG 组
PE1(config)#interface ethernet 1/4/1
PE1(config-if-ethernet1/4/1)#switchport mode trunk
PE1(config-if-ethernet1/4/1)#switchport trunk allowed vlan 10;30
PE1(config-if-ethernet1/4/1)#port-group 1 mode active
PE1(config)#interface port-channel 1
PE1(config-if-port-channel1)#mclag group
#进入 MC-LAG 配置模式
PE1(config)#mclag
PE1(config-mclag)#mclag domain-id 128
PE1(config-mclag)#mclag local-ip 12.1.1.1
PE1(config-mclag)#mclag peer-ip 12.1.1.2
PE1(config-mclag)#virtual-equipment-group 1
PE1(config-mclag)#mclag enable
#配置网关接口
PE1(config)#interface vlan 10
PE1(config-if-vlan10)#ip address 10.1.1.1 255.255.0.0
PE1(config-if-vlan10)#mac-address 00-00-10-00-00-10
PE1(config-if-vlan10)#virtual-equipment-group 1
PE1(config)#interface vlan 30
PE1(config-if-vlan30)#ip address 30.1.1.1 255.255.0.0
PE1(config-if-vlan30)#mac-address 00-00-30-00-00-30
PE1(config-if-vlan30)#virtual-equipment-group 1

PE2 配置如下：
#配置 VEG 组
PE2(config)#virtual-equipment-group 1
#配置 MC-LAG 数据链路端口
PE2(config)#interface ethernet 1/3/1
PE2(config-if-ethernet1/3/1)#switchport mode trunk
PE2(config-if-ethernet1/3/1)#switchport trunk allowed vlan 10;30
PE2(config-if-ethernet1/3/1)#switchport mclag data link
#配置 port-group 加入 MC-LAG 组
PE2(config)#interface ethernet 1/4/1

PE2(config-if-ethernet1/4/1)#switchport mode trunk

PE2(config-if-ethernet1/4/1)#switchport trunk allowed vlan 10;30

PE2(config-if-ethernet1/4/1)#port-group 1 mode active

PE2(config)#interface port-channel 1

PE2(config-if-port-channel1)#mclag group

#进入 MC-LAG 配置模式

PE2(config)#mclag

PE2(config-mclag)#mclag domain-id 128

PE2(config-mclag)#mclag local-ip 12.1.1.2

PE2(config-mclag)#mclag peer-ip 12.1.1.1

PE2(config-mclag)#virtual-equipment-group 1

PE2(config-mclag)#mclag enable

#配置网关接口

PE2(config)#interface vlan 10

PE2(config-if-vlan10)#ip address 10.1.1.1 255.255.0.0

PE2(config-if-vlan10)#mac-address 00-00-10-00-00-10

PE2(config-if-vlan10)#virtual-equipment-group 1

PE2(config)#interface vlan 30

PE2(config-if-vlan30)#ip address 30.1.1.1 255.255.0.0

PE2(config-if-vlan30)#mac-address 00-00-30-00-00-30

PE2(config-if-vlan30)#virtual-equipment-group 1

13.1.4.2 双归接入集中式 VXLAN 网络

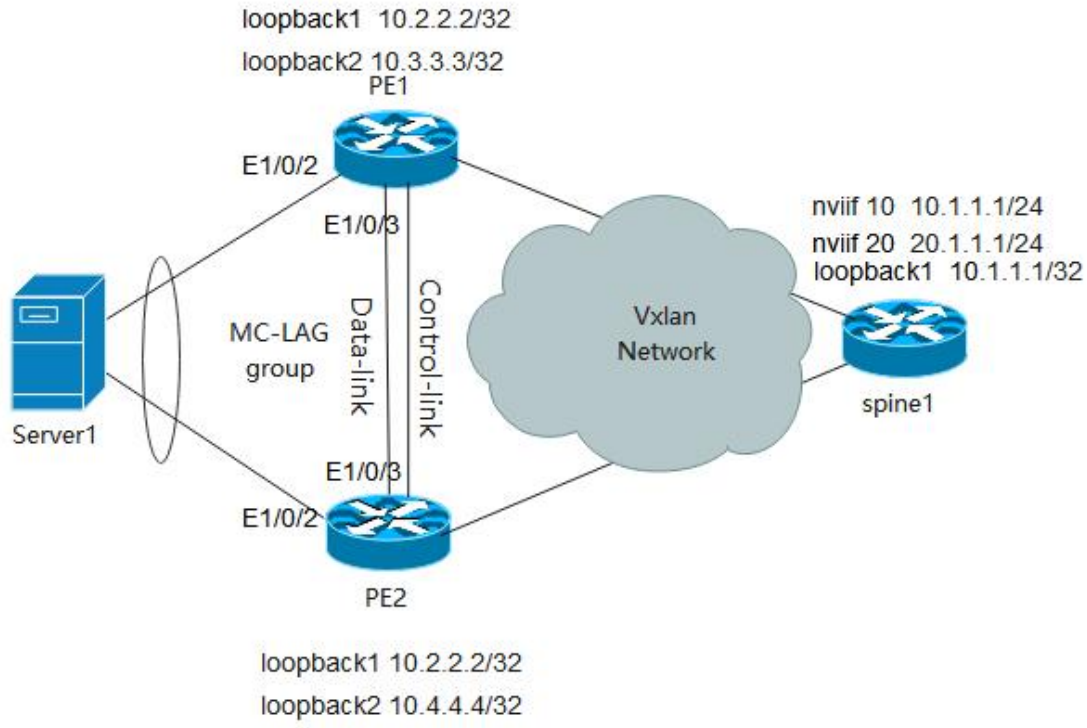


图 13-14 MC-LAG 接入集中式 VXLAN 网络配置举例

本配置只给出 PE1、PE2 和 Spine1 的 VXLAN 和 MC-LAG 相关配置，Underlay 网络的配置此处省略，保证 Underlay 网络各网段路由可达。

PE1 上配置：

#配置 VEG 组

```
PE1(config)#virtual-equipment-group 1
```

#配置 MC-LAG 域、control link 和 data link，关联 VEG 组

```
PE1(config)#mclag
PE1(config-mclag)#mclag enable
PE1(config-mclag)#mclag domain id 1
PE1(config-mclag)#mclag peer ip address 10.4.4.4
PE1(config-mclag)#mclag local ip address 10.3.3.3
PE1(config-mclag)#virtual-equipment-group 1

PE1(config)#interface ethernet 1/0/3
PE1(config-if-ethernet1/0/3)#switchport mode trunk
PE1(config-if-ethernet1/0/3)#switchport mclag data link
```

#配置 VXLAN nvi、nve

```
PE1(config)#nvi 10
PE1(config-nvi)#vxlan-id 10
PE1(config)#nvi 20
PE1(config-nvi)#vxlan-id 20

PE1(config)#interface nve 1
PE1(config-if-nve1)#nve mode vxlan
PE1(config-if-nve1)#source 10.2.2.2
PE1(config-if-nve1)#destination 10.1.1.1
PE1(config-if-nve1)#join nvi 10
PE1(config-if-nve1)#join nvi 20
PE1(config-if-nve1)#description to-Spine
```

#配置 MC-LAG 组、VXLAN 映射

```
PE1(config)#interface ethernet 1/0/2
PE1(config-if-ethernet1/0/2)#port-group 10 mode active
PE1(config)#interface port-channel 10
PE1(config-if-port-channel10)#xconnect nvi 10 mode vlan svid 10
PE1(config-if-port-channel10)#xconnect nvi 20 mode vlan svid 20
PE1(config-if-port-channel10)#mclag group
```

PE2 上配置：

#配置 VEG 组

PE2(config)#virtual-equipment-group 1

#配置 MC-LAG 域、control link 和 data link，关联 VEG 组

PE2(config)#mclag

PE2(config-mclag)#mclag enable

PE2(config-mclag)#mclag domain id 1

PE2(config-mclag)#mclag peer ip address 10.3.3.3

PE2(config-mclag)#mclag local ip address 10.4.4.4

PE2(config-mclag)#virtual-equipment-group 1

PE2(config)#interface ethernet 1/0/3

PE2(config-if-ethernet1/0/3)#switchport mode trunk

PE2(config-if-ethernet1/0/3)#switchport mclag data link

#配置 VXLAN nvi、nve

PE2(config)#nvi 10

PE2(config-nvi)#vxlan-id 10

PE2(config)#nvi 20

PE2(config-nvi)#vxlan-id 20

PE2(config)#interface nve 1

PE2(config-if-nve1)#nve mode vxlan

PE2(config-if-nve1)#source 10.2.2.2

PE2(config-if-nve1)#destination 10.1.1.1

PE2(config-if-nve1)#join nvi 10

PE2(config-if-nve1)#join nvi 20

PE2(config-if-nve1)#description to-Spine

#配置 MC-LAG 组、VXLAN 映射

PE2(config)#interface ethernet 1/0/2

PE2(config-if-ethernet1/0/2)#port-group 10 mode active

PE2(config)#interface port-channel 10

PE2(config-if-port-channel10)#xconnect nvi 10 mode vlan svid 10

PE2(config-if-port-channel10)#xconnect nvi 20 mode vlan svid 20

PE2(config-if-port-channel10)#mclag group

Spine1 上配置：

#配置 VXLAN nvi、nve、网关

```
Spine1(config)#nvi 10
Spine1(config-nvi)#vxlan-id 10
Spine1(config)#nvi 20
Spine1(config-nvi)#vxlan-id 20

Spine1(config)#interface nve 1
Spine1(config-if-nve1)#nve mode vxlan
Spine1(config-if-nve1)#source 10.1.1.1
Spine1(config-if-nve1)#destination 10.2.2.2
Spine1(config-if-nve1)#join nvi 10
Spine1(config-if-nve1)#join nvi 20

Spine1(config)#interface nvi-interface 10
Spine1(config-if-nvilf10)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
Spine1(config)#interface nvi-interface 20
Spine1(config-if-nvilf20)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0
```

13.1.4.3 双归接入分布式 VXLAN 网络

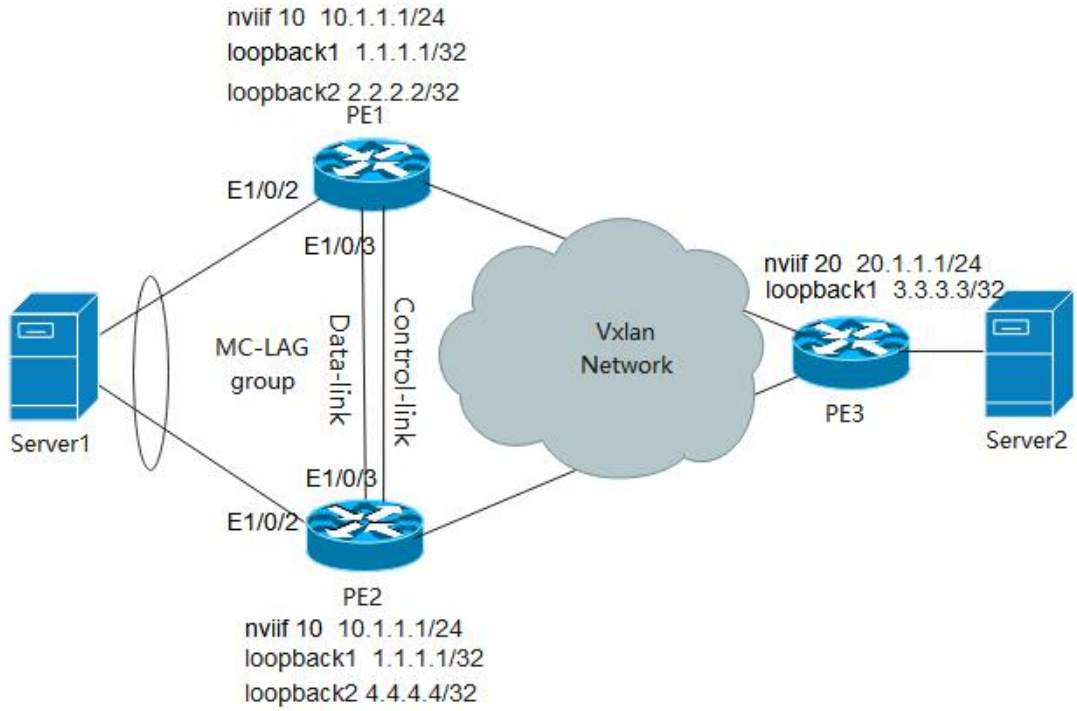


图 13-15 MC-LAG 接入分布式 VXLAN 网络配置举例

以 VXLAN 分布式网关场景为例，本配置只给出 PE1、PE2 和 PE3 的 VXLAN 和 MC-LAG 相关配置，Underlay 网络的配置此处省略，保证 Underlay 网络各网段路由可达。

PE1 配置如下：

#配置 VEG 组

PE1(config)#virtual-equipment-group 1

#配置 MC-LAG 域、control link 和 data link，关联 VEG 组

PE1(config)#mclag

PE1(config-mclag)#mclag enable

PE1(config-mclag)#mclag domain id 1

PE1(config-mclag)#mclag peer ip address 4.4.4.4

PE1(config-mclag)#mclag local ip address 2.2.2.2

PE1(config-mclag)# virtual-equipment-group 1

PE1(config)#interface ethernet 1/0/3

PE1(config-if-ethernet1/0/3)#switchport mode trunk

PE1(config-if-ethernet1/0/3)#switchport mclag data link

#配置 VXLAN 、EVPN、网关、VRF

PE1(config)#evpn nve source-address 1.1.1.1

PE1(config)#evpn nve mac-address 00-03-0f-22-22-22

PE1(config)#nvi 10

PE1(config-nvi)#vxlan-id 10

PE1(config-nvi)#evpn

PE1(config-nvi-evpn)#rd 1:1

PE1(config-nvi-evpn)#route-target both 100:100

PE1(config-nvi-evpn)#enable

PE1(config)#ip vrf vpn1

PE1(config-vrf)#rd 10:1

PE1(config-vrf)#route-target both 100:1

PE1(config-vrf)#l3-vni 1000

PE1(config)#interface nvi-interface 10

PE1(config-if-nvi-interface10)#ip vrf forwarding vpn1

PE1(config-if-nvi-interface10)#mac-address 00-00-33-33-99-99

PE1(config-if-nvi-interface10)#distributed-gateway enable

PE1(config-if-nvi-interface10)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

PE1(config-if-nvi-interface10)#virtual-equipment-group 1

#配置 BGP

PE1(config)#router bgp 100

PE1(config-router)#neighbor 3.3.3.3 remote-as 100

PE1(config-router)#neighbor 3.3.3.3 update-source 2.2.2.2

PE1(config-router)#neighbor 4.4.4.4 remote-as 100
PE1(config-router)#neighbor 4.4.4.4 update-source 2.2.2.2
PE1(config-router)#address-family l2vpn evpn
PE1(config-router-af)#neighbor 3.3.3.3 activate
PE1(config-router-af)#neighbor 4.4.4.4 activate
PE1(config-router-af)#exit-address-family
#配置 MC-LAG 组、VXLAN 映射
PE1(config)#interface ethernet 1/0/2
PE1(config-if-ethernet1/0/2)#port-group 10 mode active
PE1(config)#interface port-channel 10
PE1(config-if-port-channel10)#xconnect nvi 10 mode vlan svid 10
PE1(config-if-port-channel10)#mclag group

PE2 配置如下
#配置 VEG 组
PE2(config)#virtual-equipment-group 1
#配置 MC-LAG 域、control link 和 data link，关联 VEG 组
PE2(config)#mclag
PE2(config-mclag)#mclag enable
PE2(config-mclag)#mclag domain id 1
PE2(config-mclag)#mclag peer ip address 2.2.2.2
PE2(config-mclag)#mclag local ip address 4.4.4.4
PE2(config-mclag)#virtual-equipment-group 1

PE2(config)#interface ethernet 1/0/3
PE2(config-if-ethernet1/0/3)#switchport mode trunk
PE2(config-if-ethernet1/0/3)#switchport mclag data link
#配置 VXLAN 、EVPN、网关、VRF
PE2(config)#evpn nve source-address 1.1.1.1
PE2(config)#evpn nve mac-address 00-03-0f-22-22-22
PE2(config)#nvi 10
PE2(config-nvi)#vxlan-id 10
PE2(config-nvi)#evpn
PE2(config-nvi-evpn)#rd 1:1
PE2(config-nvi-evpn)#route-target both 100:100
PE2(config-nvi-evpn)#enable

PE2(config)#ip vrf vpn1

PE2(config-vrf)#rd 10:1
PE2(config-vrf)#route-target both 100:1
PE2(config-vrf)#l3-vni 1000

PE2(config)#interface nvi-interface 10
PE2(config-if-nvi-interface10)#ip vrf forwarding vpn1
PE2(config-if-nvi-interface10)#mac-address 00-00-33-33-99-99
PE2(config-if-nvi-interface10)#distributed-gateway enable
PE2(config-if-nvi-interface10)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
PE2(config-if-nvi-interface10)#virtual-equipment-group 1
#配置 BGP
PE2(config)#router bgp 100
PE2(config-router)#neighbor 3.3.3.3 remote-as 100
PE2(config-router)#neighbor 3.3.3.3 update-source 4.4.4.4
PE2(config-router)#neighbor 2.2.2.2 remote-as 100
PE2(config-router)#neighbor 2.2.2.2 update-source 4.4.4.4
PE2(config-router)#address-family l2vpn evpn
PE2(config-router-af)#neighbor 3.3.3.3 activate
PE2(config-router-af)#neighbor 2.2.2.2 activate
PE2(config-router-af)#exit-address-family
#配置 MC-LAG 组、VXLAN 映射
PE2(config)#interface ethernet 1/0/2
PE2(config-if-ethernet1/0/2)#port-group 10 mode active
PE2(config)#interface port-channel 10
PE2(config-if-port-channel10)#xconnect nvi 10 mode vlan svid 10
PE2(config-if-port-channel10)#mclag group

PE3 上配置：
PE3(config)#evpn nve source-address 3.3.3.3
PE3(config)#nvi 20
PE3(config-nvi)#vxlan-id 20
PE3(config-nvi)#evpn
PE3(config-nvi-evpn)#rd 2:1
PE3(config-nvi-evpn)#route-target both 100:100
PE3(config-nvi-evpn)#enable

PE3(config)#ip vrf vpn1
PE3(config-vrf)#rd 20:1

```
PE3(config-vrf)#route-target both 100:1
PE3(config-vrf)#l3-vni 1000

PE3(config)#interface nvi-interface 20
PE3(config-if-nvi-interface10)#ip vrf forwarding vpn1
PE3(config-if-nvi-interface10)#mac-address 00-00-33-44-99-99
PE3(config-if-nvi-interface10)#distributed-gateway enable
PE3(config-if-nvi-interface10)#ip address 20.1.1.1 255.255.255.0

#配置 BGP
PE3(config)#router bgp 100
PE3(config-router)#neighbor 4.4.4.4 remote-as 100
PE3(config-router)#neighbor 4.4.4.4 update-source 3.3.3.3
PE3(config-router)#neighbor 2.2.2.2 remote-as 100
PE3(config-router)#neighbor 2.2.2.2 update-source 3.3.3.3
PE3(config-router)#address-family l2vpn evpn
PE3(config-router-af)#neighbor 4.4.4.4 activate
PE3(config-router-af)#neighbor 2.2.2.2 activate
PE3(config-router-af)#exit-address-family
```

13.1.5 MC-LAG 排错帮助

在配置、使用 MC-LAG 时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 MC-LAG 不能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误。
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）。
- 然后，应该保证同一聚合组中的所有成员端口具有相同的协商参数。
- 在配置完成后，可以使用 show mclag 命令查看 MC-LAG 配置状态信息，使用 show mclag group 命令查看 MC-LAG 组配置状态信息。

第 14 章 IPV6 业务操作

14.1 DHCPv6

14.1.1 DHCPv6 简介

DHCPv6 是动态主机配置协议（DHCP）的 IPv6 版本，协议基本规范由 RFC3315 定义。DHCPv6 服务端可以向 DHCPv6 客户端分配 IPv6 地址以及 DNS 地址和域名等配置参数。相对于 IPv6 无状态地址自动配置协议，DHCPv6 属于一种有状态地址自动配置协议。在有状态地址配置过程中，DHCPv6 服务器分配一个完整的 IPv6 地址给主机，并提供 DNS 地址和域名等其他配置信息，这中间可能通过中继代理转交 DHCPv6 报文，而且最终服务器能把分配的 IPv6 地址和客户端的绑定关系记录在案，从而增强了网络的可管理性；DHCPv6 服务器也能提供无状态 DHCPv6 服务，即不分配 IPv6 地址，仅需向主机提供 DNS 地址和域名等其他配置信息，从而补足了 IPv6 无状态地址自动配置的缺陷；DHCPv6 协议还提供了 DHCPv6 前缀代理的扩展功能，上游路由器可以自动为下游路由器分派地址前缀，从而实现了层次化网络环境中 IPv6 地址的自动规划，解决互联网提供商（ISP）的 IPv6 网络部署问题。

DHCPv6 报文用于客户端、中继代理与服务器三者之间的通信，以完成 DHCPv6 的协议行为。DHCPv6 报文承载于 UDP 协议之上。DHCPv6 客户端使用 UDP 端口 547 向 DHCPv6 服务器或中继代理发送请求报文，DHCPv6 服务器和中继代理使用 UDP 端口 546 向 DHCPv6 客户端发送应答报文。DHCPv6 客户端使用所有 DHCP 中继代理和服务器多播地址(FF02::1:2)发送服务器发现(Solicit)或请求(Request)报文。协议实现的过程如下：

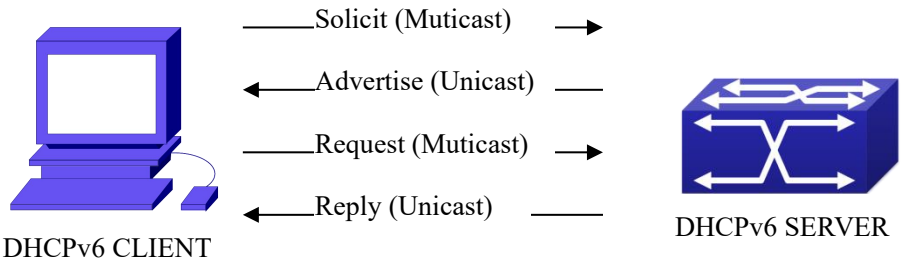


图 11-1 DHCPv6 协议交互过程

当 DHCPv6 客户端向位于同一链路的 DHCPv6 服务器请求分配 IPv6 地址以及其它配置参数时，客户端首先要定位和选择合适的服务器，然后才能向服务器请求分配地址和其它配置参数。

1. 在定位服务器时，客户端向所有 DHCP 中继代理和服务器多播地址 (FF02::1:2)发出 SOLICIT 消息希望发现合适的 DHCPv6 服务器。
2. 任何能够满足该请求的服务器都会发送一个 ADVERTISE 消息给客户端，其中包含可分配的配置信息以及服务器的身份标识(DUID)和该服务器的优先值信息。

3. 客户端可能接收到多个这样的通告消息，依据某种策略(如选择服务器优先值选项中优先值最高的服务器)选择其中一个服务器，然后向选定服务器发送 REQUEST 消息请求服务器分配通告的 IPv6 地址和其它配置参数。
4. 被选择的服务器回应以 REPLY 消息，其中包含确认的 IPv6 地址和其它配置参数，客户端收到 REPLY 消息提取地址和配置参数完成 DHCPv6 配置任务。

通过上面四个步骤，完成动态分配主机配置的协议过程。但如果 DHCPv6 服务器和 DHCPv6 客户机不相邻时，服务器是无法收到客户机发出的 DHCPv6 多播报文，因此服务器也不会给客户机发送任何 DHCPv6 报文，这时需要 DHCPv6 中继代理来转发这些 DHCPv6 报文，完成 DHCPv6 客户机和服务器之间的 DHCPv6 报文交互过程。

交换机实现了 DHCPv6 服务器、DHCPv6 中继的功能和 DHCPv6 前缀代理客户端功能。中继代理节点收到来自客户端的 DHCPv6 消息，重新封装成 Relay-forward 报文转发给 DHCPv6 服务器或下一个中继代理，服务器回应的 DHCPv6 消息被封装成 Relay-reply 报文交给 DHCPv6 中继代理节点，中继代理节点解除最外一层中继封装后再转发给 DHCPv6 客户端或下一个中继代理，从而完成客户端与服务器之间的通信。

DHCPv6 前缀代理(Prefix Delegation)机制中，上游网络路由器(PE)启动 DHCPv6 服务器，下游网络路由器(CPE)启动 DHCPv6 前缀代理客户端。此时下游网络路由器不需要再手工指定用户侧链路的 IPv6 地址前缀，它只需要向上游网络路由器提出前缀分配申请，上游网络路由器便可以分配合适的地址前缀给下游路由器。二者之间的报文交互与 DHCPv6 地址分配的过程类似。然后下游路由器把获得的前缀(一般前缀长度小于 64)进一步自动细分成 64 前缀长度的子网网段，把细分的地址前缀再通过路由公告(RA)至与主机直连的用户链路上，实现主机的地址自动配置，从而完成整个系统层次的地址布局。

14.1.2 DHCPv6 服务器配置

DHCPv6 服务器配置任务序列如下：

1. 启动/关闭 DHCPv6 服务
2. 配置 DHCPv6 地址池
   （1）创建/删除 DHCPv6 地址池
   （2）配置 DHCPv6 地址池的参数
3. 在接口上启动 DHCPv6 服务器功能

1.启动/关闭 DHCPv6 服务

命令	解释
全局配置模式	
service dhcpv6 **no service dhcpv6**	启动 DHCPv6 服务。

2.配置 DHCPv6 地址池

（1）创建/删除 DHCPv6 地址池

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 dhcp pool <*poolname*> **no ipv6 dhcp pool <*poolname*>**	配置 DHCPv6 地址池。

（2）配置 DHCPv6 地址池的参数

命令	解释
DHCPv6 地址池配置模式	
network-address ***<ipv6-pool-start-address>*** **{*<ipv6-pool-end-address>* | *<prefix-length>*} [eui-64]** **no network-address**	配置地址池可分配的 IPv6 地址范围。
dns-server <*ipv6-address*> **no dns-server <*ipv6-address*>**	为 DHCPv6 客户机配置 DNS 服务器地址。
domain-name <*domain-name*> **no domain-name <*domain-name*>**	为 DHCPv6 客户机配置域名。
excluded-address <*ipv6-address*> **no excluded-address <*ipv6-address*>**	排除地址池中不用于动态分配的 IPv6 地址。
lifetime {*<valid-time>* | infinity} {*<preferred-time>* | infinity} **no lifetime**	配置 DHCPv6 地址池动态分配地址或前缀的生存期。

3. 在接口上启动 DHCPv6 服务器功能

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 dhcp server <*poolname*> [preference<*value*>] [rapid-commit] [allow-hint] **no ipv6 dhcp server <*poolname*>**	在指定接口上启动 DHCPv6 服务器功能，并绑定使用的 DHCPv6 地址池。

14.1.3 DHCPv6 中继代理配置

DHCPv6 中继代理配置任务序列如下：

1. 启动/关闭 DHCPv6 服务
2. 在接口上配置 DHCPv6 中继代理

1.启动 DHCPv6 服务

命令	解释
全局配置模式	

service dhcpv6 **no service dhcpv6**	启动 DHCPv6 服务。

2.在接口上配置 DHCPv6 中继代理

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 dhcp relay destination {[<*ipv6-address*>] [interface {<*interface-name*> | vlan <*1-4096*>}]} **no ipv6 dhcp relay destination {[<*ipv6-address*>] [interface { <*interface-name*> | vlan <*1-4096*>}]}**	指定 DHCPv6 中继转发的目的地址；本命令的 no 操作为取消该项配置。

14.1.4 DHCPv6 前缀代理服务器端配置

DHCPv6 前缀代理服务器端配置任务序列如下：

1. 启动/关闭 DHCPv6 服务
2. 配置代理前缀池
3. 配置 DHCPv6 地址池
   （1） 创建/删除 DHCPv6 地址池
   （2） 配置 DHCPv6 地址池使用的代理前缀池
   （3） 配置静态代理前缀绑定
   （4） 配置 DHCPv6 地址池其它参数
4. 在接口上启动 DHCPv6 前缀代理服务器功能

1.启动/关闭 DHCPv6 服务

命令	解释
全局配置模式	
service dhcpv6 **no service dhcpv6**	启动 DHCPv6 服务。

2. 配置代理前缀池

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 local pool <poolname> <prefix/prefix-length> <assigned-length> **no ipv6 local pool <poolname>**	配置代理前缀池。

3.配置 DHCPv6 地址池

（1）创建/删除 DHCPv6 地址池

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 dhcp pool <*poolname*> **no ipv6 dhcp pool <*poolname*>**	配置 DHCPv6 地址池。

（2）配置 DHCPv6 地址池使用的代理前缀池

命令	解释
DHCPv6 地址池配置模式	
prefix-delegation pool <*poolname*> [lifetime {<*valid-time*> | infinity} {<*preferred-time*> | infinity}] **no *prefix-delegation pool* <poolname>**	指定 IDHCPv6 地址池使用的代理前缀池，从该前缀池中分配可用的前缀给客户端。

（3） 配置静态代理前缀绑定

命令	解释
DHCPv6 地址池配置模式	
prefix-delegation <*ipv6-prefix/prefix-length*> <*client-DUID*> [iaid <iaid>] [lifetime {<valid-time> | infinity} {<*preferred-time*> | infinity}] **no *prefix-delegation* <*ipv6-prefix*/prefix-length> <client-DUID> [iaid <*iaid*>]**	指定 IPv6 前缀与某个前缀请求客户端静态绑定。

（4） 配置 DHCPv6 地址池其他参数

命令	解释
DHCPv6 地址池配置模式	
dns-server <*ipv6-address*> **no dns-server <*ipv6-address*>**	为 DHCPv6 客户机配置 DNS 服务器地址。
domain-name <*domain-name*> **no domain-name <*domain-name*>**	为 DHCPv6 客户机配置域名。

4. 在接口上启动 DHCPv6 服务器功能

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 dhcp server <*poolname*> [preference <*value*>] [rapid-commit] [allow-hint] **no ipv6 dhcp server <*poolname*>**	在指定接口上启动 DHCPv6 服务器功能，并绑定使用的 DHCPv6 地址池。

14.1.5 DHCPv6 前缀代理客户端配置

DHCPv6 前缀代理客户端配置任务序列如下：

1. 启动/关闭 DHCPv6 服务
2. 在接口上启动 DHCPv6 前缀代理客户端功能

1.启动/关闭 DHCPv6 服务

命令	解释
全局配置模式	
service dhcpv6 **no service dhcpv6**	启动 DHCPv6 服务。

2. 在接口上启动 DHCPv6 前缀代理客户端功能

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 dhcp client pd <prefix-name> [rapid-commit] **no ipv6 dhcp client pd**	在指定接口上启动客户端前缀代理请求功能，获取的前缀与设置的通用前缀名关联。

14.1.6 DHCPv6 配置举例

案例 1：

在部署全 IPv6 校园网时，若使用专门的服务器进行 IPv6 地址的统一分配和管理，则可以使用路由交换设备的 DHCPv6 服务器功能进行 IPv6 地址分派。DHCPv6 服务器同时支持有状态与无状态 DHCPv6。

网络拓扑：

接入层使用二层接入设备 Switch1，连接宿舍楼栋的用户；一级汇聚层使用汇聚设备 Switch2 做 DHCPv6 中继代理；二级汇聚层使用汇聚设备 Switch3 做 DHCPv6 服务器，并与骨干网或更高的汇聚层设备相连；用户 PC 端一般装有 Windows Vista 操作系统，具有 DHCPv6 客户端。

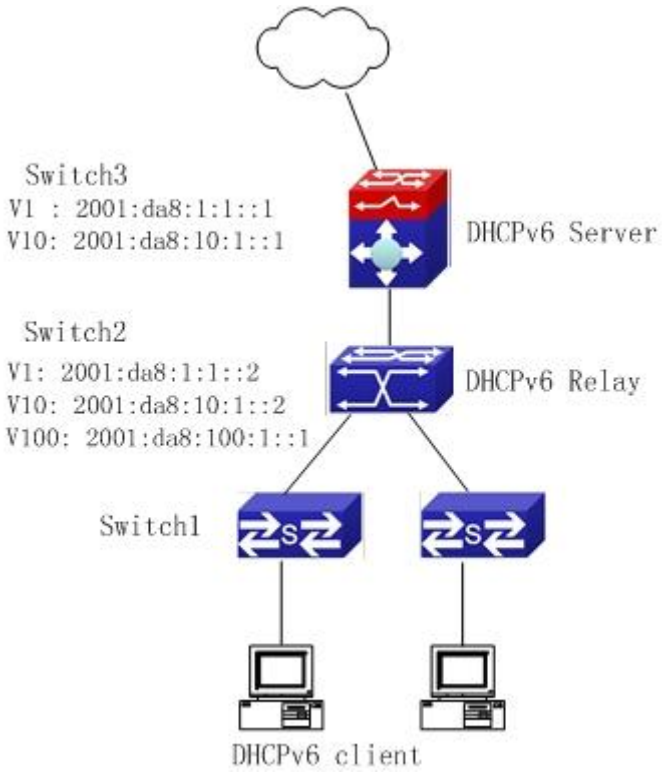


图 11-2 DHCPv6 配置举例示意图 1

使用提示：

Switch3 配置：

Switch3>enable

Switch3#config

Switch3(config)#service dhcpv6

Switch3(config)#ipv6 dhcp pool EastDormPool

Switch3(dhcpv6-EastDormPool-config)#network-address 2001:da8:100:1::1 2001:da8:100:1::100

Switch3(dhcpv6-EastDormPool-config)#excluded-address 2001:da8:100:1::1

Switch3(dhcpv6-EastDormPool-config)#dns-server 2001:da8::20

Switch3(dhcpv6-EastDormPool-config)#dns-server 2001:da8::21

Switch3(dhcpv6-EastDormPool-config)#domain-name dhcpv6.com

Switch3(dhcpv6-EastDormPool-config)#lifetime 1000 600

Switch3(dhcpv6-EastDormPool-config)#exit

Switch3(config)#interface vlan 1

Switch3(Config-if-Vlan1)#ipv6 address 2001:da8:1:1::1/64

Switch3(Config-if-Vlan1)#exit

Switch3(config)#interface vlan 10

Switch3(Config-if-Vlan10)#ipv6 address 2001:da8:10:1::1/64

Switch3(Config-if-Vlan10)#ipv6 dhcp server EastDormPool preference 80

Switch3(Config-if-Vlan10)#exit

Switch3(config)#

Switch2 配置：

```
Switch2>enable
Switch2#config
Switch2(config)#service dhcpv6
Switch2(config)#interface vlan 1
Switch2(Config-if-Vlan1)#ipv6 address 2001:da8:1:1::2/64
Switch2(Config-if-Vlan1)#exit
Switch2(config)#interface vlan 10
Switch2(Config-if-Vlan10)#ipv6 address 2001:da8:10:1::2/64
Switch2(Config-if-Vlan10)#exit
Switch2(config)#interface vlan 100
Switch2(Config-if-Vlan100)#ipv6 address 2001:da8:100:1::1/64
Switch2(Config-if-Vlan100)#no ipv6 nd suppress-ra
Switch2(Config-if-Vlan100)#ipv6 nd managed-config-flag
Switch2(Config-if-Vlan100)#ipv6 nd other-config-flag
Switch2(Config-if-Vlan100)#ipv6 dhcp relay destination 2001:da8:10:1::1
Switch2(Config-if-Vlan100)#exit
Switch2(config)#
```

案例 2：

运营商在部署层次化的 IPv6 网络时，不再需要为网络下游的路由交换设备手工配置 IPv6 地址，可以通过前缀代理机制，实现层次化 IPv6 网络的自动配置：

1. 配置上游路由交换设备为 DHCPv6 前缀代理服务器，维护一个保存已分配前缀与下游设备 DUID 关联信息的本地数据库；
2. 配置下游路由交换设备为前缀代理客户端，通过与前缀代理服务器进行类似 DHCPv6 地址分配相似的交互，获得长度小于 64 的 IPv6 地址前缀；
3. 获得前缀的下游接入设备与用户 PC 处于同一链路的接口通过路由公告(RA)告知接入用户所在链路的前缀信息，用户的 PC 机进一步通过无状态地址自动配置获取 IPv6 地址；同时，该接口配置无状态 DHCPv6 服务器，为 DHCPv6 client 提供 DNS、Domain name 信息。

网络拓扑：

下游路由交换设备使用接入设备 Switch1，与上游路由交换设备相连的接口配置前缀代理客户端，与用户 PC 处于同一链路的接口配置无状态 DHCPv6 服务器，为 PC 提供无状态信息（如 DNS、domain name 等），并开启无状态地址自动配置的路由公告；上游路由交换设备使用汇聚设备 Switch2，配置前缀代理服务器，开启有状态地址自动配置的路由公告；用户 PC 端一般装有 Windows Vista 操作系统，具有 DHCPv6 客户端。

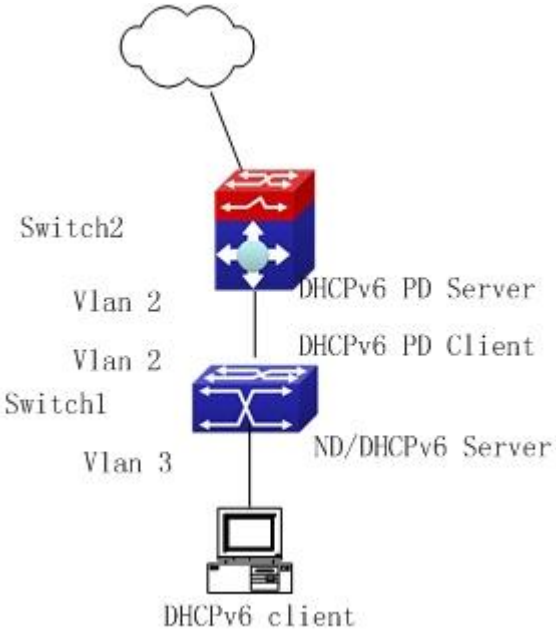


图 11-3 DHCPv6 配置举例示意图 2

使用提示：

Switch2 配置

Switch2>enable

Switch2#config

Switch2(config)#interface vlan 2

Switch2(Config-if-Vlan2)#ipv6 address 2001:da8:1100::1/64

Switch2(Config-if-Vlan2)#exit

Switch2(config)#service dhcpv6

Switch2(config)#ipv6 local pool client-prefix-pool 2001:da8:1800::/40 48

Switch2(config)#ipv6 dhcp pool dhcp-pool

Switch2(dhcpv6-dhcp-pool-config)#prefix-delegation pool client-prefix-pool 1800 600

Switch2(dhcpv6-dhcp-pool-config)#exit

Switch2(config)#interface vlan 2

Switch2(Config-if-Vlan2)#ipv6 dhcp server dhcp-pool

Switch2(Config-if-Vlan2)#exit

Switch1 配置

Switch1>enable

Switch1#config

Switch1(config)#service dhcpv6

Switch1(config)#interface vlan 2

Switch1(Config-if-Vlan2)#ipv6 dhcp client pd prefix-from-provider

Switch1(Config-if-Vlan2)#exit

Switch1(config)#interface vlan 3

```
Switch1(Config-if-Vlan3)#ipv6 address prefix-from-provider 0:0:0:1::1/64
Switch1(Config-if-Vlan3)#exit
Switch1(config)#ipv6 dhcp pool foo
Switch1(dhcpv6-foo-config)#dns-server 2001:4::1
Switch1(dhcpv6-foo-config)#domain-name www.ipv6.org
Switch1(dhcpv6-foo-config)#exit
Switch1(config)#interface vlan 3
Switch1(Config-if-Vlan3)#ipv6 dhcp server foo
Switch1(Config-if-Vlan3)#ipv6 nd other-config-flag
Switch1(Config-if-Vlan3)#no ipv6 nd suppress-ra
Switch1(Config-if-Vlan3)#exit
```

14.1.7 DHCPv6 排错帮助

DHCPv6 客户机无法获得 IPv6 地址及其它网络参数，在确保 DHCPv6 客户机硬件、线缆等没有问题的前提下，检查可能存在的情况和建议的解决方法：

- 首先检查全局 DHCPv6 服务是否已启动，若没有启动，请启动全局 DHCPv6 服务与相关接口上的 DHCPv6 功能；
- 若 DHCPv6 客户机和服务器不在同一个物理网络中，检查中间负责转发 DHCPv6 报文的路由器是否具备 DHCPv6 中继功能。若中间路由器不具备 DHCPv6 中继功能，建议替换掉中间的路由器或更新版本，使其具备 DHCPv6 中继功能；
- 用户比较容易遇到的现象是 DHCPv6 客户机连接在启动了 DHCPv6 服务器功能的交换机上，却获得不到 IPv6 地址。遇到这种情况请首先确定 DHCPv6 客户机是否直连在启动 DHCPv6 服务器的接口上，若是直连，则判断该接口 VLAN 的 IPv6 地址是否与本接口上启动的 DHCPv6 服务器地址池在同一个网段，如没有则请添加该网段至地址池；若不是直连，而且通过了其它启动了 DHCPv6 中继代理的三层交换机接入到 DHCPv6 服务器，则请判断 DHCPv6 客户机所在链路的交换机接口是否配置了 IPv6 地址，若没有配置 IPv6 地址，建议配置该接口 IPv6 地址。若该接口配置了地址，则进一步判断接口的 IPv6 地址是否在 DHCPv6 服务器地址池的网段之内，如没有则请添加该网段至地址池。

14.2 DHCPv6 option37，38

14.2.1 DHCPv6 option37，38 介绍

DHCPv6（Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6，支持 IPv6 的动态主机配置协议）是针对 IPv6 编址方案设计的，为主机分配 IPv6 前缀、IPv6 地址和其他网络配置参数的协议。

当 DHCPv6 客户端希望从位于不同链路的 DHCPv6 服务器请求地址和配置参数时，客户端需要通过 DHCPv6 中继代理才能与服务器进行通信。中继代理节点收到来自客户端的 DHCPv6 消息，重新封装成 Relay-forward 报文转发给不在同一链路的服务器，服务器回应

的 DHCPv6 消息被封装成 Relay-reply 报文交给 DHCPv6 中继代理节点，中继代理节点拆除中继封装还原成 DHCPv6 消息再转交给 DHCPv6 客户端，从而完成客户端与服务器之间的通信。

但 DHCPv6 中继代理使用上仍然存在一些问题，如：服务器如何给某些特定用户分配固定范围的 IP 地址？如何避免不法 DHCPv6 客户端伪造 DHCPv6 报文的客户端 MAC 地址字段发起 IP 地址耗尽攻击？如何避免不法 DHCPv6 客户端利用其它合法客户端 MAC 地址发起拒绝服务攻击？为此，IETF 提出了 rfc4649 和 rfc4580，即 DHCPv6 option 37 和 option 38 来解决这些问题。

DHCPv6 的 option 37 和 option 38 选项和 DHCP 中的 option 82 选项非常类似，当 DHCPv6 客户端经过 DHCPv6 中继代理发送请求报文到 DHCPv6 服务器时，若 DHCPv6 中继代理支持中继代理信息 option 37 和 option 38 选项，则由 DHCPv6 中继代理将 option 37 和 option 38 选项添加到请求报文中。对于服务器返回的应答报文，option 37 和 option 38 选项已经没有实际的意义，服务器的应答报文中剥离其中的 option 37 和 option 38 选项。因此 option 37 和 option 38 选项的应用对客户端是透明的。

DHCPv6 服务器借助 option 37 和 option 38 可以对 DHCPv6 客户端和 DHCPv6 中继设备的身份信息进行验证，并通过配置的分配策略灵活进行客户端的地址分配和管理，同时利用选项中包含的客户端信息可以有效预防上面的 DHCPv6 攻击，如伪造 DHCPv6 报文的客户端 MAC 地址字段发起的 IP 地址耗尽攻击。由于服务器这时可以识别多个请求报文来自同一个接入交换机端口，通过策略性限制分配地址个数可以防止地址耗尽。但 rfc4649 和 rfc4580 没有具体规定 DHCPv6 服务器如何使用 option 37 和 option 38 的信息，这可以由用户根据自己的需要灵活定制。

14.2.2 DHCPv6 option37，38 配置任务序列

1. DHCPv6 snooping option 基本功能配置
2. DHCPv6 relay option 基本功能配置
3. DHCPv6 server option 基本功能配置

1.DHCPv6 snooping option 基本功能配置

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 dhcp snooping remote-id option **no ipv6 dhcp snooping remote-id option**	设置本命令允许 DHCPv6 SNOOPING 支持 option 37 选项功能，本命令的 no 操作关闭 DHCPv6 SNOOPING 的 option 37 选项功能。
ipv6 dhcp snooping subscriber-id option **no ipv6 dhcp snooping subscriber-id option**	设置本命令允许 DHCPv6 SNOOPING 支持 option 38 选项功能，本命令的 no 操作关闭

	DHCPv6 SNOOPING 的 option 38 选项功能。
ipv6 dhcp snooping remote-id policy {drop | keep | replace} **no ipv6 dhcp snooping remote-id policy**	本命令用于设置系统对于接收到的含有 option 37 选项的 DHCPv6 报文的重转发策略，其中 drop 模式表示如果报文中含有 option 37 选项，则系统丢弃该 DHCPv6 报文不作处理；keep 模式表示系统保持现有报文中的 option 37 选项不变转发给服务器处理；replace 模式表示系统使用自己的 option 37 选项替换现有报文中的 option 37 选项，然后转发给服务器处理。本命令的 no 操作设置 option 37 选项 DHCPv6 报文的重转发策略为 replace。
ipv6 dhcp snooping subscriber-id policy {drop | keep | replace} **no ipv6 dhcp snooping subscriber-id policy**	本命令用于设置系统对于接收到的含有 option 38 选项的 DHCPv6 报文的重转发策略，其中 drop 模式表示如果报文中含有 option 38 选项，则系统丢弃该 DHCPv6 报文不作处理；keep 模式表示系统保持现有报文中的 option 38 选项不变转发给服务器处理；replace 模式表示系统使用自己的 option 38 选项替换现有报文中的 option 38 选项，然后转发给服务器处理。本命令的 no 操作设置 option 38 选项 DHCPv6 报文的重转发策略为 replace。
ipv6 dhcp snooping subscriber-id select (sp|sv|pv|spv) delimiter WORD (delimiter WORD |) **no ipv6 dhcp snooping subscriber-id select delimiter**	配置用户配置选项来生成 subscriber-id，no 命令恢复为最初的默认配置即 VLAN 名加端口名的形式。
端口配置模式	
ipv6 dhcp snooping remote-id <remote-id>	本命令用于设置在接收的

no ipv6 dhcp snooping remote-id	DHCPv6 请求报文中添加 option 37 选项的形式，<remote-id>为用户自定义的 option 37 中 remote-id 的内容，它是一个长度小于 128 的字符串。本命令的 no 操作恢复 option 37 中 remote-id 的内容为默认的 enterprise-number 和 vlan MAC 地址。
ipv6 dhcp snooping subscriber-id <subscriber-id> **no ipv6 dhcp snooping subscriber-id**	本命令用于设置在接收的 DHCPv6 请求报文中添加 option 38 选项的形式，<subscriber-id>为用户自定义的 option 38 中 subscriber-id 的内容，它是一个长度小于 128 的字符串。本命令的 no 操作恢复 option 38 中 subscriber-id 的内容为默认的 vlan 名加物理端口名形式，如“Vlan2+Ethernet1/1/2”。

2. DHCPv6 relay option 基本功配置

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 dhcp relay remote-id option **no ipv6 dhcp relay remote-id option**	设置本命令允许交换机中继支持 option 37 选项功能，本命令的 no 操作关闭交换机中继的 option 37 选项功能。
ipv6 dhcp relay subscriber-id option **no ipv6 dhcp relay subscriber-id option**	设置本命令允许交换机中继支持 option 38 选项功能，本命令的 no 操作关闭交换机中继的 option 38 选项功能。
ipv6 dhcp relay remote-id delimiter WORD **no ipv6 dhcp relay remote-id delimiter**	配置用户配置选项来生成 remote-id，no 命令恢复为最初的默认配置即 enterprise number 加 vlan MAC 形式。
ipv6 dhcp relay subscriber-id select (sp|sv|pv|spv) delimiter WORD (delimiter WORD |)	配置用户配置选项来生成 subscriber-id，no 命令恢复为最

no ipv6 dhcp relay subscriber-id select delimiter	初的默认配置即 vlan 名加端口名的形式。
三层接口配置模式	
ipv6 dhcp relay remote-id <remote-id> **no ipv6 dhcp relay remote-id**	本命令用于设置从接口接收的 DHCPv6 请求报文添加 option 37 选项的形式，<remote-id>为用户自定义的 option 37 的 remote-id 内容，它是一个长度小于 128 的字符串。本命令的 no 操作恢复 option 37 的 remote-id 选项的形式为默认的 enterprise-number 和 vlan MAC 地址。
ipv6 dhcp relay subscriber-id <subscriber-id> **no ipv6 dhcp relay subscriber-id**	本命令用于设置从接口接收的 DHCPv6 请求报文添加 option 38 选项的形式，<subscriber-id>为用户自定义的 option 38 的 subscriber-id 内容，它是一个长度小于 128 的字符串。本命令的 no 操作恢复 option 38 的 subscriber-id 选项的形式为默认的 vlan 名加物理端口名形式，如“Vlan2+Ethernet1/1/2”。

3. DHCPv6 server option 基本功能配置

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 dhcp server remote-id option **no ipv6 dhcp server remote-id option**	本命令用于设置 DHCPv6 服务器支持对 option 37 选项的识别。本命令的 no 操作使系统不支持 option 37 选项。
ipv6 dhcp server subscriber-id option **no ipv6 dhcp server subscriber-id option**	本命令用于设置 DHCPv6 服务器支持对 option 38 选项的识别。本命令的 no 操作使系统不支持 option 38 选项。
ipv6 dhcp use class **no ipv6 dhcp use class**	本命令用于设置 DHCPv6 服务器在进行地址分配时支持使用 DHCPv6 class，本命令的 no 操

	作使服务器在进行地址分配时不支持使用 DHCPv6 class，但是却并不删除已经配置的有关 DHCPv6 class 的信息。
ipv6 dhcp class <class-name> **no ipv6 dhcp class <class-name>**	本命令用于定义一个 DHCPv6 class 并进入 DHCPv6 class 配置模式，no 命令用于删除这个 DHCPv6 class。
接口配置模式	
ipv6 dhcp server select relay-forw **no ipv6 dhcp server select relay-forw**	本命令用于设置 DHCPv6 服务器支持对报文中存在多个 option 37 选项或者 option38 选项时对其进行选择，选择最里层 relay-forw 中的 option 37 选项和 option38 选项。本命令的 no 操作恢复默认设置，即选择原始报文中的 option 37 选项和 option38 选项。
IPv6 DHCP Class 配置模式	
{remote-id [*]<remote-id>[*] | subscriber-id [*]< subscriber-id>[*]} **no {remote-id [*]<remote-id>[*] | subscriber-id [*]< subscriber-id>[*]}**	本命令在 ipv6 dhcp class 配置模式下配置匹配该 class 的 option37 选项和 option38 选项。
DHCPv6 地址池配置模式	
class <class-name> **no class <class-name>**	本命令在 DHCPv6 地址池配置模式下将 class 关联到地址池中，并进入地址池中 class 的配置模式，用 no 命令删除这种关联
address range <start-ip> <end-ip> **no address range <start-ip> <end-ip>**	本命令在 DHCPv6 地址池配置模式下用来为 DHCPv6 服务器地址池中的一个 DHCPv6 class 设置一个地址范围，no 命令用来移除这个地址范围。不支持 prefix/plen 形式。

14.2.3 DHCPv6 option37，38 举例

14.2.3.1 DHCPv6 Snooping option37，38 举例

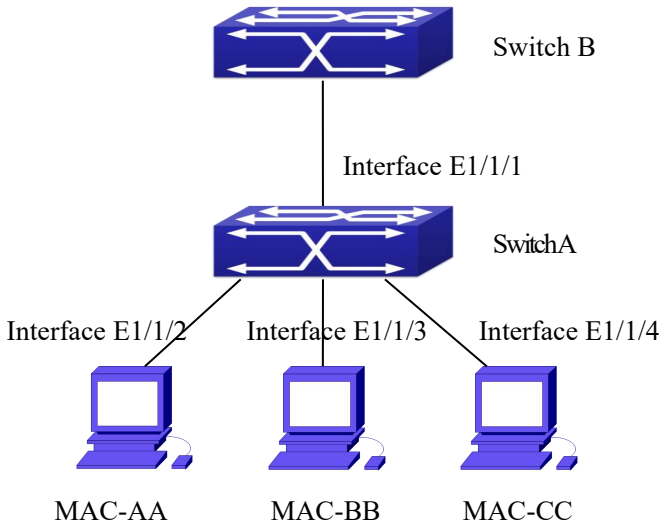


图 11-4 DHCPv6 Snooping option 示意图

如上图，Mac-AA、Mac-BB 和 Mac-CC 设备为正常用户，连接在交换机非信任端口 1/1/2、1/1/3 和 1/1/4 上，其通过 DHCPv6 Client 获得 IP 2010::2、2010::3 和 2010::4；DHCPv6 Server 连接在交换机的信任端口 1/1/1 上。配置 3 个地址分配策略(CLASS)，CLASS1 匹配 option 38，CLASS2 匹配 option 37，CLASS3 用于匹配 option 37 和 option 38。在地址池 EastDormPool 中，匹配 CLASS1 的请求将分配 2001:da8:100:1::2 到 2001:da8:100:1::30 的地址，匹配 CLASS2 的请求将分配 2001:da8:100:1::31 到 2001:da8:100:1::60 的地址，匹配 CLASS3 的请求将分配 2001:da8:100:1::61 到 2001:da8:100:1::100 的地址；在交换机 switch A 上开启 dhcpv6 snooping 功能同时配置 option 37、38 功能。

Switch A 配置：

SwitchA(config)#ipv6 dhcp snooping remote-id option

SwitchA(config)#ipv6 dhcp snooping subscriber-id option

SwitchA(config)#int e 1/1/1

SwitchA(config-if-ethernet1/1/1)#ipv6 dhcp snooping trust

SwitchA(config-if-ethernet1/1/1)#exit

SwitchA(config)#interface vlan 1

SwitchA(config-if-vlan1)#ipv6 address 2001:da8:100:1::1

SwitchA(config-if-vlan1)#exit

SwitchA(config)#interface ethernet 1/1/1-4

SwitchA(config-if-port-range)#switchport access vlan 1

```
SwitchA(config-if-port-range)#exit
SwitchA(config)#
```

Switch B 配置：

```
SwitchB(config)#service dhcpv6
SwitchB(config)#ipv6 dhcp server remote-id option
SwitchB(config)#ipv6 dhcp server subscriber-id option
SwitchB(config)#ipv6 dhcp pool EastDormPool
SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)#network-address 2001:da8:100:1::2 2001:da8:100:1::1000
SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)#dns-server 2001::1
SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)#domain-name dhcpv6.com
SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)# excluded-address 2001:da8:100:1::2
SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)#exit
SwitchB(config)#
SwitchB(config)#ipv6 dhcp class CLASS1
SwitchB(dhcpv6-class-class1-config)#remote-id 00-03-0f-00-00-01 subscriber-id
vlan1+Ethernet1/1/1
SwitchB(dhcpv6-class-class1-config)#exit
SwitchB(config)#ipv6 dhcp class CLASS2
SwitchB(dhcpv6-class-class2-config)#remote-id 00-03-0f-00-00-01 subscriber-id
vlan1+Ethernet1/1/2
SwitchB(dhcpv6-class-class2-config)#exit
SwitchB(config)#ipv6 dhcp class CLASS3
SwitchB(dhcpv6-class-class3-config)#remote-id 00-03-0f-00-00-01 subscriber-id
vlan1+Ethernet1/1/3
SwitchB(dhcpv6-class-class3-config)#exit
SwitchB(config)#ipv6 dhcp pool EastDormPool
SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)#class CLASS1
SwitchB(dhcpv6-pool-eastdormpool-class-class1-config)#address range 2001:da8:100:1::3
2001:da8:100:1::30
SwitchB(dhcpv6-pool-eastdormpool-class-class1-config)#exit
SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)#class CLASS2
SwitchB(dhcpv6-pool-eastdormpool-class-class2-config)#address range 2001:da8:100:1::31
2001:da8:100:1::60
SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)#class CLASS3
SwitchB(dhcpv6-pool-eastdormpool-class-class3-config)#address range 2001:da8:100:1::61
2001:da8:100:1::100
SwitchB(dhcpv6-pool-eastdormpool-class-class3-config)#exit
```

SwitchB(dhcpv6-eastdormpool-config)#exit

SwitchB(config)#interface vlan 1

SwitchB(config-if-vlan1)#ipv6 address 2001:da8:100:1::2/64

SwitchB(config-if-vlan1)#ipv6 dhcp server EastDormPool

SwitchB(config-if-vlan1)#exit

SwitchB(config)#

14.2.3.2 DHCPv6 Relay option37，38 举例

案例 1：

在部署全 IPv6 校园网时，若使用专门的服务器进行 IPv6 地址的统一分配和管理，则可以使用路由交换设备的 DHCPv6 服务器功能进行 IPv6 地址分派。DHCPv6 服务器同时支持有状态与无状态 DHCPv6。

网络拓扑：

接入层使用二层接入设备 Switch1，连接宿舍楼栋的用户；一级汇聚层使用汇聚设备 Switch2 做 DHCPv6 中继代理；二级汇聚层使用汇聚设备 Switch3 做 DHCPv6 服务器，并与骨干网或更高的汇聚层设备相连；用户 PC 端一般装有 Windows Vista 操作系统，具有 DHCPv6 客户端。

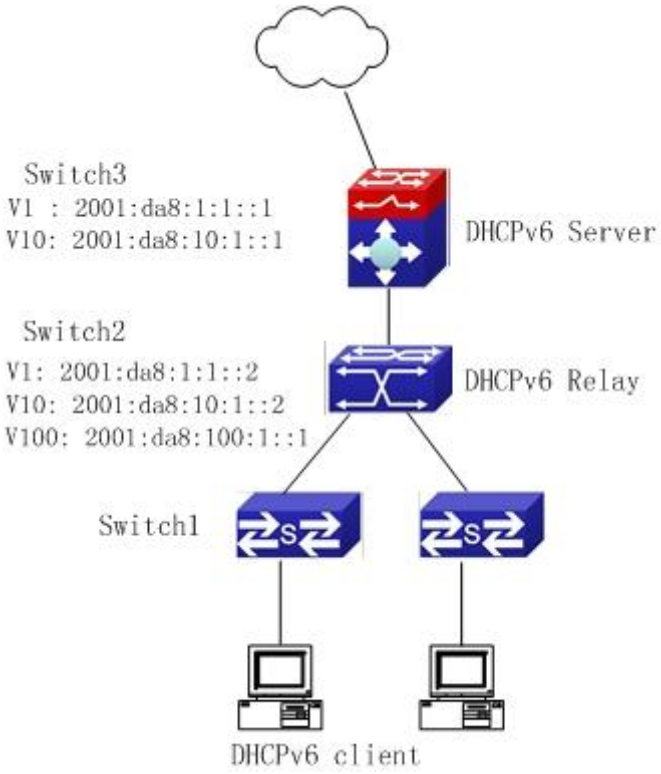


图 11-5 DHCPv6 relay option 示意图

Switch2 配置：

S2(config)#service dhcpv6

S2(config)#ipv6 dhcp relay remote-id option

S2(config)#ipv6 dhcp relay subscriber-id option

S2(config)#vlan 10

S2(config-vlan10)#int vlan 10

S2(config-if-vlan10)#ipv6 address 2001:da8:1:::2/64

S2(config-if-vlan10)#ipv6 dhcp relay destination 2001:da8:10:1::1

S2(config-if-vlan10)#exit

S2(config)#

14.2.4 DHCPv6 option37，38 排错帮助

- DHCPv6 客户端发送的请求报文是组播报文，只有本 VLAN 内的设备才能接收到，所以如果想让 DHCPv6 server 收到来自客户端的报文，必须让 DHCPv6 客户端与 DHCPv6 server 在同一个 VLAN 内，否则需要使用 DHCPv6 relay。
- Snooping option37,38 可以对已经含有 option37,38 的 dhcpv6 请求报文可以进行如下操作中的一个：用自己的 option37,38 替代报文中原来的 option37,38；丢弃该含有 option37,38 的报文；不添加也不丢弃，转发。所以，如果按照 option37,38 获取的地址不正确，或者获取不到地址，请检查第二台设备上 snooping option37,38 的策略配置。
- DHCPv6 server 默认从客户端发送的报文中获取 option37,38，如果没有，再从 relay 发送的报文中获取 option37,38。
- DHCPv6 server 只检查第一个 DHCPv6 relay 有没有添加 option37,38，不再检查后续的 relay 有没有添加 option37,38。即中继报文中只有最里层的 relay-forw 选项中的 option37,38 有效。

14.3 ND 绑定

14.3.1 概述

ND 是 IPV6 协议中的邻居发现协议，其工作原理同 ARP 类似，因此我们采取同 ARP 绑定相同的方法处理利用 ND 进行绑定和攻击的手段。

14.3.2 ND 绑定配置

配置 ND 绑定配置序列如下:

4. 关闭 ND 自动更新功能
5. 关闭 ND 自动学习与更新功能
6. 将动态的 ND 转化为静态 ND 的功能

1. 关闭 ND 自动更新功能

命令	解释
全局配置模式和接口配置模式	

ipv6 nd-security updateprotect **no ipv6 nd-security updateprotect**	关闭和启动 ND 的自动更新功能。

2. 关闭 ND 自动学习与更新功能

命令	解释
全局配置模式和接口配置模式	
ipv6 nd-security learnprotect **no ipv6 nd-security learnprotect**	关闭和启动 ND 的自动学习与更新功能。

3. 将动态的 ND 转化为静态 ND 的功能

命令	解释
全局配置模式和接口配置模式	
ipv6 nd-security convert	将动态 ND 转化静态。

14.3.3 ND 绑定举例

请参考 ARP 绑定举例。

14.4 RIPng

14.4.1 RIPng 介绍

RIP协议最早在ARPANET网络中上使用，专门用于小型简单网络中。RIPng协议是基于Bellman-Ford算法的距离向量路由协议，是用于IPv6的RIP协议。运行距离向量协议的网络设备定期向相邻设备发送两种信息：

- 到达目的网络所经过的跳数，即使用的度（metric），或者通过网络的数量。
- 下一跳是什么，或者达到目的网络要使用的方向（向量）。

距离向量三层交换机定期向相邻的三层交换机发送它们的整个路由选择表。三层交换机在从相邻三层交换机接收到的信息的基础之上建立自己的路由选择信息表。然后，将信息传递到它的相邻三层交换机。结果是路由选择表是在第二手信息的基础上建立的，距离代价超过15跳的路由将被视为不可达。

RIPng协议是可选路由协议，它是基于UDP的协议，使用RIPng的每个主机在UDP的521端口上发送和接收数据报。所有运行RIPng协议的三层交换机，每隔30秒向所有邻居三层交换机发送路由表更新信息。如果180秒内没有收到来自对端的信息，那么认为该设备崩溃或相连的网络不可达。但到该三层交换机的路由还将在路由表中保持120秒，然后才被删除。

由于运行RIPng协议的三层交换机使用第二手信息建立路由表，因此至少会遇到一个问题——无穷记数问题。对于一个运行RIPng路由协议的网络，当某条RIPng路由变为不可达，

RIPng三层交换机通常不会立刻发送路由更新报文，而是等待到达周期更新时间间隔（每30秒）时才发送有该路由信息的更新数据报。如果在没有收到更新报文之前，邻居向该三层交换机发送了一个包含邻居三层交换机自身路由表信息的数据报，那么会引起“无穷记数”现象，即出现到不可达三层交换机的路由选择度量固定递增的现象。这大大影响了路由选择、路由汇聚时间。

为了避免“无穷记数”现象，RIPng 协议提供了“水平分割”和“触发更新”等机制来解决路由循环问题。“水平分割”的原理是避免向网关发送从该网关学习到的路由，它包括“简单水平分割”——删除从邻居网关学习到的、将发送给该邻居网关的路由，和“逆向毒性水平分割”——不但在更新包中删除上述路由，而且将这些路由的代价设置为无穷。“触发更新”机制定义无论网关何时改变路由度量，都立即将更新数据报并以广播形式发送出去，而不等待达到 30 秒更新时间间隔。

RIPng 协议目前只有版本 1 一个版本：RFC2080 中介绍了 RIPng 协议。RIPng 采用发送组播数据报的方式发送路由更新数据报（组播地址为 FF02::9）。

每个运行 RIPng 协议的三层交换机都有一个路由数据库，数据库中包含了该三层交换机所有可达目的地的路由项，并以此建立路由表。当 RIPng 三层交换机向其相邻设备发送路由更新数据报时，路由更新数据报中包含了该三层交换机依据路由数据库建立的整个路由表。因此，对于较大的网络系统，每台三层交换机需要传输和处理的路由数据量很大、负担重，从而大大影响网络性能。

同时，RIPng 协议支持将其它 IPv6 路由协议发现的路由信息引入到路由表中。

RIPng 协议运行过程描述如下：

1. 启动 RIPng，以组播形式向其相邻三层交换机发送请求数据报，相邻设备收到请求数据报后，响应该请求，并回送包含本地路由信息的响应数据报。
2. 三层交换机接收到响应数据报后，修改本地路由表，同时向相邻设备发送触发更新数据报，广播路由更新信息。相邻三层交换机接收到触发更新数据报之后，向其相邻的三层交换机发送触发更新数据报。经过一连串触发更新报的广播之后，各三层交换机都得到并保持最新的路由信息。

同时，RIPng 三层交换机每隔 30 秒向其相邻设备广播本地路由表。相邻设备在接收到数据报之后，对本地路由进行维护，选择出最佳路由并向其各自的设备广播更新信息，使更新的路由最终达到全局有效。另外，RIPng 采用超时机制对过时的路由进行超时处理，即三层交换机在一定时间间隔内（invalid 定时器间隔）没有收到来自某邻居的周期更新数据报，则认为来自该三层交换机的路由为无效路由，然后该路由再在路由表中保留一定时间间隔（garbage collect 定时器间隔），最后删除该路由。

由于 IPv6 网络还在发展中，有时网络中存在不支持 IPv6 的网络环境，这就需要通过隧道进行 IPv6 的操作，所以我们的 RIPNG 支持在配置隧道上的配置和运行，以 IPV4 单播的方式穿过不支持 IPv6 的网络。

14.4.2 RIPng 配置

RIPng 配置任务序列：

1. 启动 RIPng 协议（必须）
   （1） 启动/关闭 RIPng 协议
   （2） 配置运行 RIPng 协议的网段
2. 配置 RIPng 协议参数（可选）
   （1） 配置 RIPng 发包机制
      1) 配置 RIPng 数据报的定点发送
   （2） 配置 RIPng 路由参数
      1) 配置引入路由（缺省路由权值、配置 RIPng 中引入其它协议的路由）
      2) 配置路由偏移
      3) 配置应用路由过滤
      4) 配置水平分割
3. 配置 RIPng 协议其它参数
   （1） 配置 RIPng 更新、超时、抑制等计时器时间
4. 删除 RIPng 路由表中的特定路由
5. 配置 RIPng 路由聚合
   （1） 配置 IPv6 路由器模式的聚合路由
   （2） 配置 IPv6 接口配置模式的聚合路由
   （3） 显示 IPv6 聚合路由信息
6. 配置 RIPng 引入不同进程 OSPFv3 路由
   （1） 启动 RIPng 引入不同进程 OSPFv3 路由功能
   （2） 显示和调试 RIPng 引入不同进程 OSPFv3 路由功能相关信息

1. 启动 RIPng 协议

在 DCNOS 中运行 RIPng 路由协议的基本配置很简单，通常只需打开 RIPng 开关、并且配置运行 RIPng 的接口，即按 RIPng 缺省配置发送和接收 RIPng 数据报。

命令	解释
全局配置模式	
[no] router IPv6 rip	打开 RIPng 协议；本命令的 no 操作关闭 RIPng 协议。
接口配置模式	
[no] IPv6 router rip	设定运行 RIPng 协议的接口；本命令的 no 操作为设定接口不运行 RIPng 协议。

2. 配置 RIPng 协议参数

（1）配置 RIPng 发包机制

1）配置 RIPng 数据报的定点发送

命令	解释
路由器配置模式	

[no] neighbor <*IPv6-address*> <*ifname*>	指定需要定点发送的邻居路由器的 IPv6 Link-local 地址和接口名；本命令的 no 操作取消指定的路由器。
[no] passive-interface <*ifname*>	指示 RIPng 三层交换机在指定的接口上阻塞 RIPng 组播，只能向配置了 neighbor 的三层交换机之间发送 RIPng 数据包；本命令的 no 操作取消该功能。

（2）配置 RIPng 路由参数

1）配置引入路由（缺省路由权值、配置 RIPng 中引入其它协议的路由）

命令	解释
路由器配置模式	
default-metric <*value*> **no default-metric**	设定引入路由的缺省路由权值；本命令的 no 操作恢复缺省设置 1。
[no]redistribute {kernel |connected| static| ospf| isis| bgp} [metric<*value*>] [route-map<*word*>]	在 RIPng 数据报中引入从其它路由协议引入的路由；本命令的 no 操作取消引入的相应协议的路由。
[no]default-information originate	产生一条默认路由到 RIPng 协议中；no 操作取消该特性。

2）配置路由偏移

命令	解释
路由器配置模式	
[no] offset-list <*access-list-number* |*access-list-name*> {in|out} <*number* > [<*ifname*>]	设定接口发送和接收 RIPng 数据报时给路由的度量一个偏移量；本命令的 no 操作移去偏移列表。

3）配置应用路由过滤和路由聚合

命令	解释
路由器配置模式	
[no] distribute-list {< *access-list-number* |*access-list-name* > | prefix<*prefix-list-name*>} {in|out} [<*ifname*>]	设定接口发送和接收 RIPng 数据报时过滤路由；本命令的 no 操作不配置路由过滤。
[no]aggregate-address <*IPv6-address*>	配置路由聚合，no 命令取消路由聚合。

4）配置水平分割

命令	解释
接口配置模式	
IPv6 rip split-horizon [poisoned]	配置接口发送数据报时进行水平分割操作，POISONED 表示带逆向毒化。
no IPv6 rip split-horizon	取消水平分割操作。

3． 配置 RIPng 协议其它参数

（1）配置 RIPng 更新、超时、抑制等计时器时间

命令	解释
路由器配置模式	
timers basic *<update>* *<invalid>* *<garbage>* **no timers basic**	调整 RIPng 计时器更新、期满、垃圾收集的时间；本命令的 no 操作回复缺省设置。

4. 删除 RIPng 路由表中的特定路由

命令	解释
特权配置模式	
clear IPv6 rip route {*<IPv6-address>*|kernel|static|connected|rip|ospf|isis|bgp|all}	本命令删除 RIPng 路由表中的特定路由。

5. 配置 RIPng 路由聚合

（1）配置 IPv6 全局聚合路由

命令	解释
路由器配置模式	
ipv6 rip aggregate-address X:X::X:X/M **no ipv6 rip aggregate-address X:X::X:X/M**	配置或取消 IPv6 全局聚合路由。

（2）配置 IPv6 接口聚合路由

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 rip aggregate-address X:X::X:X/M **no ipv6 rip aggregate-address X:X::X:X/M**	配置或取消 IPv6 接口聚合路由。

（3）显示 IPv6 聚合路由信息

命令	解释
特权模式和配置模式	
show ipv6 rip aggregate	显示 IPv6 聚合路由信息，如聚合的接口，度量，聚合的路由数，被聚合的次数。

6. 配置 RIPng 引入不同进程 OSPFv3 路由

（1）启动 RIPng 引入不同进程 OSPFv3 路由功能

命令	解释
Router ipv6 rip 配置模式	
redistribute ospf [<*process-tag*>] [metric<*value*>] [route-map <*word*>] **no redistribute ospf [<*process-tag*>]**	启动或者关闭 RIPng 引入其他 OSPFv3 进程路由功能。

（2）显示和调试 RIPng 引入不同进程 OSPFv3 路由功能相关信息

命令	解释
特权配置模式	
show ipv6 rip redistribute	显示 RIPng 进程引入其它外部路由的配置信息。
特权模式	
debug ipv6 rip redistribute message send **no debug ipv6 rip redistribute message send** **debug ipv6 rip redistribute route receive** **no debug ipv6 rip redistribute route receive**	打开或关闭RIPng引入其他OSPFv3进程路由的命令下发调试开关。 打开或关闭 RIPng 进程收到 nsm 发来的路由信息的调试开关。

14.4.3 RIPng 典型案例

1.1.1 RIPng 典型案例

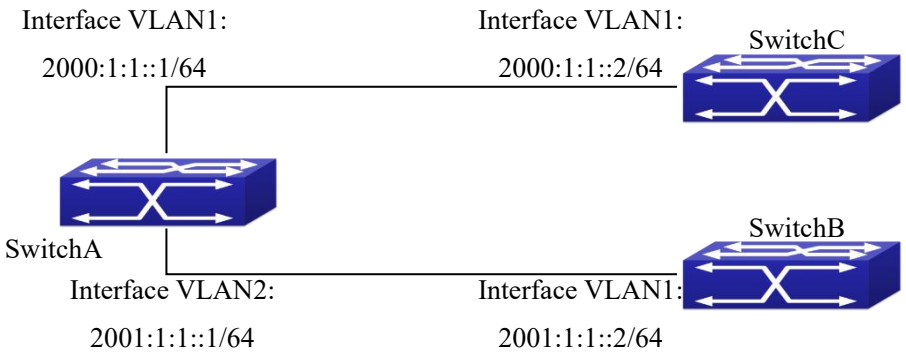


图 11-6 RIPng 案例

图 4-1 为三台三层交换机组成的一个网络，三层交换机 SwitchA 三层交换机 SwitchB 和三层交换机 SwitchC 分别通过以太网口 VLAN2 和 VLAN1 相连，三台三层交换机都运行 RIPng 路由协议。设三层交换机 SwitchA（VLAN1：2001:1:1::1/64，VLAN2：2001:1:1::1/64）只与三层交换机 SwitchB（VLAN1：2001:1:1::2/64）交流三层交换机更新信息，而不向三层交换机 SwitchC（VLAN1：2001:1:1::2/64）交流三层交换机更新信息。

三层交换机 SwitchA、SwitchB、SwitchC 的配置分别如下：

a) 三层交换机 SwitchA：

启动 RIPng 协议

SwitchA(config)#router IPv6 rip

SwitchA(config-router)#exit

配置以太网口 VLAN1 的 IPv6 地址和接口运行 RIPng

SwitchA#config

SwitchA(config)# interface Vlan1

SwitchA(config-if-Vlan1)# IPv6 address 2000:1:1::1/64

SwitchA(config-if-Vlan1)#IPv6 router rip

SwitchA(config-if-Vlan1)#exit

配置以太网口 VLAN2 的 IP 地址和接口运行 RIPng

SwitchA(config)# interface Vlan2

SwitchA(config-if-Vlan2)# IPv6 address 2001:1:1::1/64

SwitchA(config-if-Vlan2)#IPv6 router rip

SwitchA(config-if-Vlan2)#exit

配置接口 VLAN1 不向交换机 SwitchC 发送 RIPng 报文

SwitchA(config)#

SwitchA(config-router)#passive-interface Vlan1

SwitchA(config-router)#exit

b) 三层交换机 SwitchB：

启动 RIP 协议

SwitchB(config)#router IPv6 rip

SwitchB(config-router-rip)#exit

配置以太网口 VLAN1 的 IP 地址和接口运行 RIPng。

SwitchB#config

SwitchB(config)# interface Vlan1

SwitchB(config-if)# IPv6 address 2001:1:1::2/64

SwitchB(config-if)#IPv6 router rip

SwitchB(config-if)exit

c) 三层交换机 SwitchC：

启动 RIP 协议

SwitchC(config)#router IPv6 rip

SwitchC(config-router-rip)#exit

配置以太网口 VLAN1 的 IP 地址和接口运行 RIPng。

SwitchC#config

SwitchC(config)# interface Vlan1

SwitchC(config-if)# IPv6 address 2000:1:1::2/64

SwitchC(config-if)#IPv6 router rip

SwitchC(config-if)exit

1.1.2 RIPng 路由聚合功能典型案例

如下图的应用环境：

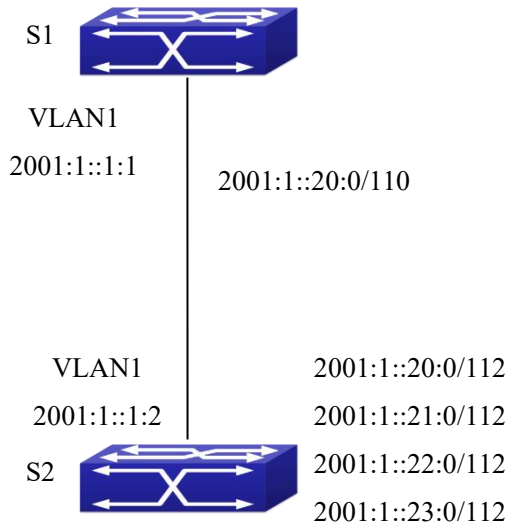


图 11-7 RIPng 路由聚合典型应用环境

在上述网络拓扑图中，S2通过接口vlan1与S1相连，S2另外有四条子网路由，分别是：2001:1::20:0/112，2001:1::21:0/112，2001:1::22:0/112，2001:1::23:0/112。S2支持路由聚合，在S2的接口vlan1上配置聚合路由2001:1::20:0/110后，通过vlan1给S1发送路由信息时，将四条子网路由聚合成一条聚合路由2001:1::20:0/110，发送给S1，而不将子网发送给邻居。减小了S1的路由表规模，节省了内存。

S1配置序列：

S1(config)#router ipv6 rip

S1(config)# interface Vlan1

S1(config-if-Vlan1)#IPv6 address 2001:1::1:1/112

S1(config-if-Vlan1)#IPv6 router rip

S2配置序列：

S2(config)#router ipv6 rip

S2(config)#interface vlan 1

S2(config-if-Vlan1)#IPv6 address 2001:1::1:2/112

S2(config-if-Vlan1)#IPv6 router rip

S2(Config-if-Vlan1)#ipv6 rip agg 2001:1::20:0/110

14.4.4 RIPng 排错帮助

在配置、使用 RIPng 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 RIPng 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误和 IP Forwarding 命令开启；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后，先启动 RIPng 协议（使用 router IPv6 rip 命令）并且配置接口（使用 IPv6 router rip 命令）再在相应接口配置 RIPng 协议参数；
- 接着，注意 RIPng 协议的自身特点——RIPng 三层交换机每隔 30 秒向它所有邻居三层交换机发送路由表更新信息，如果 180 秒内没有收到来自某三层交换机的信息，那么认为该三层交换机崩溃或相连的网络不可达，到该三层交换机的路由还将在路由表中保持 120 秒然后被删除。因此，如果删除某个 RIPng 路由，需等待 300 秒后才能保证 RIPng 数据库中除去此路由项。

如果仍无法解决 RIP 路由问题，那么请使用 debug IPv6 rip 调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

14.5 OSPFv3

14.5.1 OSPFv3 介绍

OSPFv3（Open Shortest Path First）协议即“开放最短路径优先协议”第三版，是OSPF协议的IPv6版本。它是一种基于链路状态的自治系统内部的动态路由协议，它通过路由器或三层交换机之间交换链路状态信息来组成一个链路状态数据库，然后基于这个数据库用最短路径优先算法生成路由表。

自治系统（AS）是一个自我管理的互连网络。在大型网络中，例如Internet，极大的互

连网络被分解为自治系统。连接到Internet上的大型公司网络是独立的自治系统，因为Internet上的其他主机并不由它来管理，而且它和Internet三层交换机并不共享内部路由选择信息。

每个链路状态三层交换机可提供与其邻居三层交换机的拓扑结构的信息：

•三层交换机所连接的网段（链路）

•连接链路的状态

链路状态信息在网络上泛洪（flooding），目的是使所有的三层交换机可以接收到第一手信息。链路状态三层交换机并不会广播包含在它们的路由表内的所有信息，相反链路状态三层交换机将发送关于已经改动的链路状态信息。链路状态三层交换机将向它们的邻居发送呼叫信息建立邻接关系，然后在邻接三层交换机之间发送链路状态通告（LSA）。邻接三层交换机将LSA复制到它们的路由选择表中，并传递这些信息到网络的剩余部分。这个过程称为泛洪（flooding）。这样，实现了向网络发送第一手信息，为网络建立更新路由的准确映射。链路状态路由选择协议使用称为代价的方法（而不是使用跳）来选择路径。代价是自动或人工赋值的。根据链路状态协议的算法，代价可以计算数据包必须穿越的跳数目、链路带宽、链路上的当前负载，甚至可以由管理员加入的权重来评价。

1) 当一个链路状态三层交换机进入链路状态互连网络时，它发送一个呼叫数据包（HELLO）以了解其邻居，并建立邻接关系。

2) 邻居用关于它们所连接的链路以及相关的代价度的信息进行应答。

3) 起始的三层交换机用这个信息来建立它的路由选择表。

4) 然后，作为定期更新的一部分。三层交换机向它的邻接三层交换机发送链路状态数据包。这个LSA包括了那个三层交换机的链路及相关代价。

5) 每个邻接三层交换机复制该LSA数据包，并且将LSA传递到下一个邻居（即泛洪）。

6) 因为三层交换机并没有在向前泛洪LSA之前重新计算路由选择数据库，因此收敛时间大大减少了。

链路状态路由选择协议的一个主要优点就是路由无穷记数不可能形成，原因是链路状态协议的路由器独立建立它们自己的路由选择信息表。另一个优点是，在链路状态互连网络中收敛非常快，原因是一旦路由选择拓扑出现变动，则更新在互连网络上迅速泛洪。这些优点又释放了三层交换机的资源，因为对不好的路由信息所花费的处理能力和带宽消耗都很少。

OSPFv3协议的特点：OSPFv3协议支持各种规模的网络，最多可以支持几百台三层交换机；路由拓扑结构变化后OSPFv3能够立即发送链路状态更新数据包，收敛迅速；OSPFv3根据收集到的链路状态采用最短路径算法计算路由，保证了无自环路由；OSPFv3将自治系统划分为多个域，减小了数据库尺寸、减少了占用网络带宽、降低了计算负担（根据三层交换机在自治系统中所处的位置可以划分为域内三层交换机、域边界三层交换机、自治系统边界三层交换机和骨干三层交换机）；OSPFv3支持负载分担，支持到同一目的地址的多条等价路由；OSPFv3支持4级路由机制（按域内路由、域间路由、第一类外部路由和第二类外部路由顺序分级处理路由）；OSPFv3协议支持IP子网、支持其他路由协议的路由的引入；OSPFv3支持组播发送数据包。

每个OSPFv3三层交换机都维护着一份描述整个自治系统拓扑结构的数据库。每一台三层交换机都搜集本地状态的信息，如可用接口信息，可达邻居信息，然后通过使用链路状态

通告（即向外发送链路状态信息），本三层交换机与其他OSPFv3三层交换机交换链路状态信息，从而形成描述整个自治系统的链路状态数据库。根据链路状态数据库，各三层交换机构建一棵以自己为根的最短路径树，这棵树给出了到自治系统中各节点的路由。如果存在两台或两台以上的三层交换机（即多路访问网络），该网络上要选出“指定三层交换机”和“备份指定三层交换机”，指定三层交换机负责将网络的链路状态播出去，引入这一概念，有助于减少在多路访问网络上各三层交换机之间的数据流量。

OSPFv3协议要求将自治系统的网络划分成区域来管理，即将自治系统划分为0域（骨干域）和非0域，区域间传送的路由信息被进一步抽象概括，从而减少了整个网络的实用带宽。OSPFv3使用4类不同的路由，按优先顺序来说分别是区域内路由、区域间路由、第一类外部路由和第二类外部路由。区域内和区域间路由描述的是自治系统内部的网络结构，而外部路由则描述了应该如何选择到自治系统以外的目的地。第一类外部路由对应于OSPFv3从其它内部路由协议所引入的信息，这些路由的开销和OSPFv3自身路由的开销具有可比性；第二类外部路由对应于OSPFv3从外部路由协议所引入的信息，它们的开销远大于OSPFv3自身的路由开销，所以在计算路由开销时，不考虑OSPFv3自身的路由开销。

OSPFv3的区域以Backbone（骨干区域）作为核心，该区域标识为0域，所有的其他区域都必须与0域在逻辑上相连，0域必须保证连续。为此，骨干区域上特别引入了虚连接的概念以保证即使在物理上分割的该区域仍然在逻辑上具有连通性。在同一区域内的所有三层交换机的配置要保持一致。

如上所述，LSA只能在邻接三层交换机之间进行传递，OSPFv3协议包括七类LSA：链路LSA、域内前缀LSA、路由器LSA、网络LSA、域间前缀LSA、域间路由器LSA和自治系统外部LSA。路由器LSA由OSPFv3域内的每个三层交换机产生，并发送给域内所有其它邻接三层交换机；网络LSA是由多路访问网络所在OSPFv3域的指定三层交换机产生的（为减少多路访问网络上各三层交换机之间的数据流量，多路访问网络中需要选出“指定三层交换机”和“备份指定三层交换机”，由指定三层交换机负责将网络的链路状态播出去），并发送给域内所有其它邻接三层交换机；域间前缀LSA和域间路由器LSA由OSPFv3域边界三层交换机产生，并在域边界三层交换机之间传送；自治系统外部LSA由自治系统外部边界三层交换机产生，并在整个自治系统内传递。链路LSA由链路上的三层交换机产生，并且发送给链路上的其它三层交换机。域内前缀LSA由域内每个链路上的指定路由器产生，并且泛洪到整个域内。

对于以外部链路状态通告为主的自治系统，为减少拓扑数据库的尺寸，OSPFv3允许将某些域配置成STUB域。路由器LSA、网络LSA、域间前缀LSA、链路LSA、域内前缀LSA允许被通告到STUB域。STUB域内必须使用缺省路由，STUB域的域边界三层交换机通过域间前缀LSA来通告到STUB域的缺省路由；这些缺省路由只在STUB内泛滥，不泛滥到STUB域之外。每个STUB域对应一条缺省路由，STUB域到AS外部目的地的路由只依赖该域的缺省路由。

OSPFv3协议路由的简单计算过程如下：

1） 每个支持 OSPFv3 协议的三层交换机都维护着一个描述整个自治系统拓扑结构的链路状态数据库（即 LS 数据库）。每个三层交换机根据自己周围的网络拓扑结构生

成一条链路状态通告（即路由器 LSA），通过相互之间发送链路状态更新包（LSU）将各自的 LSA 发送给网络中的其它三层交换机。这样，每台三层交换机都收到了其它三层交换机的 LSA，所有 LSA 在一起便形成了链路状态数据库。

2） 由于一条 LSA 是对该三层交换机周围网络拓扑结构的描述，那么 LS 数据库则是对整个网络的拓扑结构的描述。三层交换机很容易根据 LS 数据库建立一张带权有向图，显然自治系统内的所有三层交换机都将得到一张相同的网络拓扑图。

3） 每台三层交换机都使用最短路径优先 SPF 算法计算出一棵以自己为根的最短路径树，该树给出了到自治系统中各个节点的路由，外部路由信息为叶子节点，外部路由可根据广播它的三层交换机进行标记以记录关于自治系统的额外信息。由此可见，各个三层交换机得到的路由表是不同的。

OSPFv3协议是IETF组织开发的，目前使用的是OSPFv3版本是参照RFC2328和RFC2740中描述的内容实现的。

由于IPv6网络还在发展中，有时网络中存在不支持IPv6的网络环境，这就需要通过隧道进行IPv6的操作，所以我们的OSPFv3支持在配置隧道上的配置和运行，以IPv4单播的方式穿过不支持IPv6的网络。

14.5.2 OSPFv3 配置

OSPFv3 配置任务序列：

1. 启动 OSPFv3 协议（必须）
   （1） 启动/关闭 OSPFv3 协议（必须）
   （2） 配置运行 OSPFv3 的三层交换机的 router-id
   （3） 配置运行 OSPFv3 的网络范围（可选）
   （4） 在接口使能 OSPFv3（必须）
2. 配置 OSPFv3 辅助参数（可选）
   （1） 配置 OSPFv3 发包机制参数
      1) 配置 OSPFv3 接口为只收不发
      2) 配置接口发送数据包的代价
      3) 配置 OSPFv3 发包定时器参数（广播接口轮询发送 HELLO 数据包的定时器、邻接三层交换机失效定时器、接口传送 LSA 时延定时器、邻接三层交换机重传 LSA 定时器）
   （2） 配置 OSPFv3 引入路由参数
      1) 配置引入外部路由的缺省参数（缺省类型、缺省标记值、缺省代价值）
      2) 配置在 OSPFv3 中引入其它协议的路由
   （3） 配置 OSPFv3 引入其他 OSPFv3 进程路由功能
      1) 启动 OSPFv3 引入其他 OSPFv3 进程路由功能
      2) 显示相关配置信息
      3) 调试
   （4） 配置 OSPFv3 协议其它参数

1) 配置 OSPFv3 路由协议优先级
2) 配置 OSPFv3 STUB 域及缺省路由的代价
3) 配置 OSPFv3 虚链路
4) 配置接口在选举指定三层交换机 DR 中的优先级

3. 关闭 OSPFv3 协议

1. 启动 OSPFv3 协议

在三层交换机上运行 OSPFv3 路由协议的基本配置也很简单，通常只需打开 OSPFv3 开关、在接口使能 OSPFv3 即可，OSPFv3 协议的参数都使用缺省值。如需修改 OSPFv3 协议参数值，参看 2.配置 OSPFv3 辅助参数。

命令	解释
全局配置模式	
[no] router IPv6 ospf <*tag*>	本命令初始化 ospfv3 路由进程并且进入 ospfv3 模式配置 ospfv3 路由进程。no 操作终止相应的进程。（必须）
OSPFv3 协议配置模式	
router-id <*router_id*> **no router-id**	为 ospfv3 进程配置路由器 ID。no 操作恢复 ID 到 0.0.0.0（必需）。
[no] passive-interface<*ifname*>	将一个接口设置为只收不发；本命令的 no 操作取消配置。
接口配置模式	
[no] IPv6 router ospf {area <*area-id*> [instance-id <*instance-id*> | tag <*tag*> [instance-id <*instance-id*>]] | tag <*tag*> area <*area-id*> [instance-id <*instance-id*>]}	在接口上使能 ospfv3 路由；本命令的 no 操作取消此配置。

2. 配置 OSPFv3 辅助参数

（1）配置 OSPFv3 发包机制参数

1）配置 OSPF 接口为只收不发

2）配置接口发送数据包的代价

命令	解释
接口配置模式	
IPv6 ospf cost <*cost*> [instance-id <*id*>] **no IPv6 ospf cost [instance-id <*id*>]**	指定接口运行 OSPFv3 协议所需的代价；本命令的 no 操作恢复代价的缺省值。

3）配置 OSPFv3 发包定时器参数（广播接口轮询发送 HELLO 数据包的定时器、邻接三层交换机失效定时器、接口传送 LSA 时延定时器、邻接三层交换机重传 LSA 定时器）

命令	解释
接口配置模式	
IPv6 ospf hello-interval <*time*> [instance-id <*id*>] **no IPv6 ospf hello-interval [instance-id <*id*>]**	配置接口周期发送 HELLO 数据包的时间间隔；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
IPv6 ospf dead-interval <*time*> [instance-id <*id*>] **no IPv6 ospf dead-interval [instance-id <*id*>]**	配置认定相邻三层交换机失效的时间间隔；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
IPv6 ospf transit-delay <*time*> [instance-id <*id*>] **no IPv6 ospf transit-delay [instance-id <*id*>]**	设置在接口上传送链路状态广播的时延值；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
IPv6 ospf retransmit <*time*> [instance-id <*id*>] **no IPv6 ospf retransmit [instance-id <*id*>]**	配置接口与邻接三层交换机之间传送链路状态通告时的重传间隔；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

（2）配置 OSPFv3 引入路由参数

配置在 OSPFv3 中引入其它协议的路由

命令	解释
OSPF 协议配置模式	
[no]redistribute {kernel |connected| static| rip| isis| bgp} [metric<*value*>] [metric-type {1|2}][route-map<*word*>]	引入其他协议发现路由和静态路由作为外部路由信息；本命令的 no 操作取消引入的外部路由信息。

（3）配置 OSPFv3 引入其他 OSPFv3 进程路由功能

1) 启动 OSPFv3 引入其他 OSPFv3 进程路由功能

命令	解释
Router ipv6 ospf 配置模式	
redistribute ospf [<*process-id*>] [metric<*value*>] [metric-type {1|2}][route-map<*word*>] **no redistribute ospf [<*process-id*>] [metric<*value*>] [metric-type {1|2}] [route-map<*word*>]**	启动或者关闭 OSPFv3 引入其他 OSPFv3 进程路由功能。

2) 显示相关配置信息

命令	解释
特权模式或者配置模式	
show ipv6 ospf [<*process-id*>] redistribute	显示 OSPFv3 进程引入其它外部路由的配置信息。

3) 调试

命令	解释
特权模式	
debug ipv6 ospf redistribute message send **no debug ipv6 ospf redistribute message send** **debug ipv6 ospf redistribute route receive** **no debug ipv6 ospf redistribute route receive**	打开或关闭 OSPFv3 进程引入其他 OSPFv3 进程路由的命令下发调试开关。 打开或关闭 OSPFv3 进程收到 nsm 发来的路由信息的调试开关。

（4）配置 OSPFv3 协议其它参数

1）配置 OSPF v3 STUB 域及缺省路由的代价

2）配置 OSPFv3 虚链路

命令	解释
OSPFV3 协议配置模式	
timers spf <*spf-delay*> <*spf-holdtime*> **no timers spf**	配置 OSPFv3 的 SPF 定时器；本命令的 no 操作恢复为缺省值。
area <*id*> stub [no-summary] **no area <*id*> stub [no-summary]** **area <*id*> default-cost <*cost*>** **no area <*id*> default-cost** **area <*id*> virtual-link A.B.C.D [instance-id <*instance-id*> INTERVAL]** **no area <*id*> virtual-link A.B.C.D [|INTERVAL]**	配置 OSPFv3 区域下的参数（STUB 域，和虚链路）；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

4）配置接口在选举指定三层交换机 DR 中的优先级

命令	解释
接口配置模式	

IPv6 ospf priority <*priority*> [instance-id <*id*>] **no IPv6 ospf priority [instance-id <*id*>]**	配置接口在选举“指定三层交换机”时的优先级；本命令的 no 操作为恢复优先级缺省值。

3. 关闭 OSPFv3 协议

命令	解释
全局配置模式	
no router IPv6 ospf [<*tag*>]	关闭 OSPFv3 路由协议。

14.5.3 OSPFv3 案例

案例一：OSPFv3自治系统

以五台三层交换机为例组成一个OSPFv3自治系统，OSPF区域划分见下图：

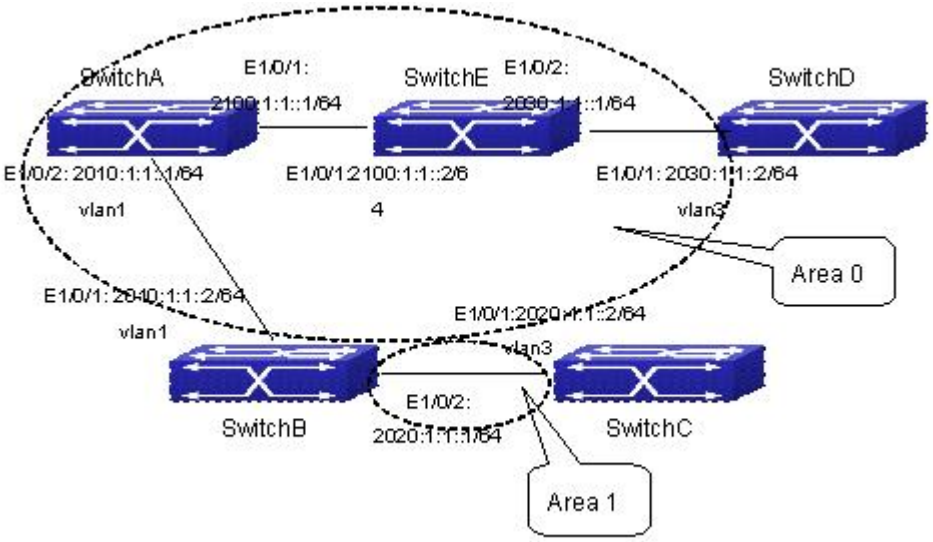


图 11-8 OSPFv3 自治系统网络拓扑示意图

三层交换机Switch1- Switch5的配置分别如下：

三层交换机Switch1：

启动OSPFv3协议，配置路由器ID

Switch1(config)#router IPv6 ospf

Switch1 (config-router)#router-id 192.168.2.1

配置接口vlan1的IPv6地址和所属的OSPFV3域

Switch1#config

Switch1(config)# interface vlan 1

Switch1(config-if-vlan1)# IPv6 address 2010:1:1::1/64

Switch1(config-if-vlan1)# IPv6 router ospf area 0

Switch1(config-if-vlan1)#exit

配置接口vlan2的IP地址和所属的OSPFV3域

Switch1(config)# interface vlan 2

Switch1(config-if-vlan2)# IPv6 address 2100:1:1::1/64

Switch1(config-if-vlan2)# IPv6 router ospf area 0

Switch1 (config-if-vlan2)#exit

Switch1(config)#exit

Switch1#

三层交换机Switch2：

启动OSPFv3协议，配置路由器ID

Switch2(config)#router IPv6 ospf

Switch2 (config-router)#router-id 192.168.2.2

配置接口vlan1和vlan2的IPv6地址及所属的OSPFV3域。

Switch2#config

Switch2(config)# interface vlan 1

Switch2(config-if-vlan1)# IPv6 address 2010:1:1::2/64

Switch2(config-if-vlan1)# IPv6 router ospf area 0

Switch2(config-if-vlan1)#exit

Switch2(config)# interface vlan 3

Switch2(config-if-vlan3)# IPv6 address 2020:1:1::1/64

Switch2(config-if-vlan3)# IPv6 router ospf area 1

Switch2(config-if-vlan3)#exit

Switch2(config)#exit

Switch2#

三层交换机Switch3：

启动OSPFv3协议，配置路由器ID

Switch3(config)#router IPv6 ospf

Switch3(config-router)#router-id 192.168.2.3

配置接口vlan3的IPv6地址及所属的OSPFV3域。

Switch3#config

Switch3(config)# interface vlan 3

Switch3(config-if-vlan3)# IPv6 address 2020:1:1::2/64

Switch3(config-if-vlan3)# IPv6 router ospf area 1

Switch3(config-if-vlan3)#exit

Switch3(config)#exit

Switch3#

三层交换机Switch4：

启动OSPFv3协议，配置路由器ID

Switch4(config)#router IPv6 ospf

Switch4(config-router)#router-id 192.168.2.4

配置接口vlan3的IPv6地址及所属的OSPFV3域。

Switch4#config

Switch4(config)# interface vlan 3

Switch4(config-if-vlan3)# IPv6 address 2030:1:1::2/64

Switch4(config-if-vlan3)# IPv6 router ospf area 0

Switch4(config-if-vlan3)#exit

Switch4(config)#exit

Switch4#

三层交换机Switch5：

启动OSPFv3协议，配置路由器ID

Switch5(config)#router IPv6 ospf

Switch5(config-router)#router-id 192.168.2.5

配置接口vlan2的IPv6地址及所属的OSPFV3域。

Switch5#config

Switch5(config)# interface vlan 2

Switch5(config-if-vlan2)# IPv6 address 2100:1:1::2/64

Switch5(config-if-vlan2)# IPv6 router ospf area 0

Switch5(config-if-vlan2)#exit

配置接口vlan3的IPv6地址及所属的OSPFV3域

Switch5(config)# interface vlan 3

Switch5(config-if-vlan3)# IPv6 address 2030:1:1::1/64

Switch5(config-if-vlan3)# IPv6 router ospf area 0

Switch5(config-if-vlan3)#exit

Switch5(config)#exit

Switch5#

14.5.4 OSPFv3 排错帮助

在配置、使用 OSPFv3 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 OSPFV3 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后在各接口上配置不同网段的 IPv6 地址；
- 然后，先启动 OSPFv3 协议（使用 router IPv6 ospf 命令）再在相应接口配置所属 OSPFV3 域；
- 接着，注意 OSPFv3 协议的自身特点——OSPFv3 骨干域（0 域）必须保证是连续的，如果不连续使用虚连接（virtual link）接来保证，所有非 0 域只能通过 0 域与其他非 0

域相连，不允许非 0 域直接相连；边界三层交换机是指该三层交换机的一部分接口属于 0 域，而另外一部分接口属于非 0 域；对于广播网等多访问网，需要选举指定三层交换机 DR；对于每个 ospfv3 进程必须配置不是 0.0.0.0 的路由器 ID。

14.6 MBGP4+

14.6.1 MBGP4+简介

MBGP4+是多协议 BGP(Multiprotocol Border Gateway Protocol)为 IPv6 进行的扩展，关于 BGP 协议的介绍请参看本手册的 BGP 协议部分。与 RIPng 和 OSPFv3 不同，由于 BGP 本身的灵活性，BGP 对 IPv6 没有单独的协议，而是在原有的 BGP 上进行了地址族的扩展，MBGP4+对 BGP 的扩展主要体现在：

a. 配置的邻居地址可以是 IPv6 地址；

b. 增加 IPv6 unicast 地址族的配置。

14.6.2 MBGP4+配置

MBGP4+配置任务序列：

1. 配置 IPv6 邻居
2. 配置使能 IPv6 地址族
3. 配置 MBGP4+引入不同进程 OSPFv3 路由
   (1) 启动 MBGP4+引入不同进程 OSPFv3 路由功能
   (2) 显示和调试 MBGP4+引入不同进程 OSPFv3 路由功能相关信息

1. 配置 IPv6 邻居

命令	解释
BGP 协议配置模式	
neighbor <X:X::X:X> remote-as <as-id>	配置 IPv6 邻居。

2. 配置使能 IPv6 地址族

命令	解释
BGP 协议配置模式	
address-family IPv6 unicast	进入 IPv6 单播地址族。
BGP 协议地址族配置模式	
neighbor <X:X::X:X> activate **no neighbor <X:X::X:X> activate**	配置 IPv6 邻居使能/不使能该地址族。
exit-address-family	退出地址族配置模式。

3. 配置 MBGP4+引入不同进程 OSPFv3 路由

（1）启动 MBGP4+引入不同进程 OSPFv3 路由功能

命令	解释
Router ipv6 bgp 配置模式	
redistribute ospf [<process-tag>] [route-map<word>] **no redistribute ospf [<process-tag>]**	启动或者关闭 MBGP4+引入其他 OSPFv3 进程路由功能。

（2）显示和调试 MBGP4+引入不同进程 OSPFv3 路由功能相关信息

命令	解释
特权和配置模式	
show ipv6 bgp redistribute	显示 bgp4+进程引入其它外部路由的配置信息。
特权模式	
debug ipv6 bgp redistribute message send **no debug ipv6 bgp redistribute message send** **debug ipv6 bgp redistribute route receive** **no debug ipv6 bgp redistribute route receive**	打开或关闭 MBGP4+引入其他 OSPFv3 进程路由的命令下发调试开关。 打开或关闭 MBGP4+进程收到 nsm 发来的路由信息的调试开关。

14.6.3 MBGP4+案例

SwitchB、SwitchC和SwitchD位于AS200中，SwitchA位于AS100中。SwitchA和SwitchB共享一个相同的网络段2001::/96。而SwitchB和SwitchD彼此物理上不相邻。

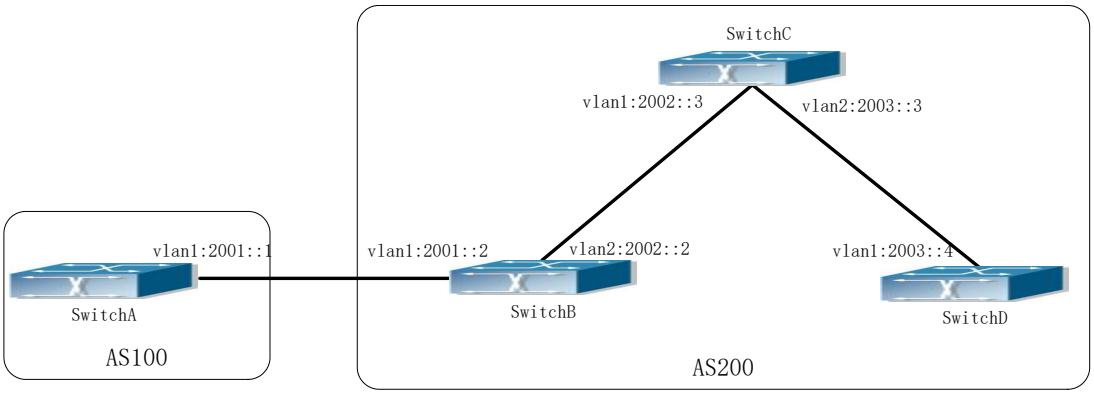


图 11-9 BGP 网络拓扑图

则SwitchA的配置如下：

SwitchA(config)#router bgp 100

SwitchA(config-router)#bgp router-id 1.1.1.1

SwitchA(config-router)#neighbor 2001::2 remote-as 200
SwitchA(config-router)#address-family IPv6 unicast
SwitchA(config-router-af)#neighbor 2001::2 activate
SwitchA(config-router-af)#exit-address-family
SwitchA(config-router)#exit
SwitchA(config)#

SwitchB的配置如下：
SwitchB(config)#router bgp 200
SwitchB(config-router)#bgp router-id 2.2.2.2
SwitchB(config-router)#neighbor 2001::1 remote-as 100
SwitchB(config-router)#neighbor 2002::3 remote-as 200
SwitchB(config-router)#neighbor 2003::4 remote-as 200
SwitchB(config-router)#address-family IPv6 unicast
SwitchB(config-router-af)#neighbor 2001::1 activate
SwitchB(config-router-af)#neighbor 2002::3 activate
SwitchB(config-router-af)#neighbor 2003::4 activate
SwitchB(config-router-af)#exit-address-family
SwitchB(config-router)#exit
SwitchB(config)#

SwitchC的配置如下：
SwitchC(config)#router bgp 200
SwitchB(config-router)#bgp router-id 2.2.2.2
SwitchC(config-router)#neighbor 2002::2 remote-as 200
SwitchC(config-router)#neighbor 2003::4 remote-as 200
SwitchC(config-router)#address-family IPv6 unicast
SwitchC(config-router-af)#neighbor 2002::2 activate
SwitchC(config-router-af)#neighbor 2003::4 activate
SwitchC(config-router-af)#exit-address-family
SwitchC(config-router)#exit

RouteD的配置如下：
SwitchD(config)#router bgp 200
SwitchB(config-router)#bgp router-id 2.2.2.2
SwitchD(config-router)#neighbor 2003::3 remote-as 200
SwitchD(config-router)#neighbor 2002::2 remote-as 200
SwitchD(config-router)#address-family IPv6 unicast

SwitchD(config-router-af)#neighbor 2002::2 activate
SwitchD(config-router-af)#neighbor 2003::3 activate
SwitchD(config-router-af)#exit-address-family
SwitchD(config-router)#exit
此时SwitchB和SwitchA之间的连接是EBGP，和SwitchC、SwitchD之间的连接是IBGP。SwitchB和SwitchD之间不必物理上相连就可以进行BGP的连接，但前提是两个交换机必须有到达对方的路由。该路由可以通过静态路由或是IGP获得。

14.6.4 MBGP4+排错帮助

同 7.4 节 BGP 排错帮助。

14.7 IPv6 黑洞路由

14.7.1 黑洞路由介绍

黑洞路由实际是一种特殊的静态路由，顾名思义，就是目的地址为该网段的数据报文到达设备之后，将被丢弃。

14.7.2 IPv6 黑洞路由配置任务

1. 启动IPv6功能
2. 配置IPv6黑洞路由

1. 启动IPv6功能

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 enable	在交换机上启动IPv6功能。

2. 配置IPv6黑洞路由

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 route <ipv6-prefix|prefix-length> null0 [<precedence>] no ipv6 route <ipv6-prefix|prefix-length> null0	配置IPv6静态黑洞路由。本命令的no操作为删除配置的IPv6黑洞路由。

14.7.3 黑洞路由举例

IPv6黑洞路由功能。

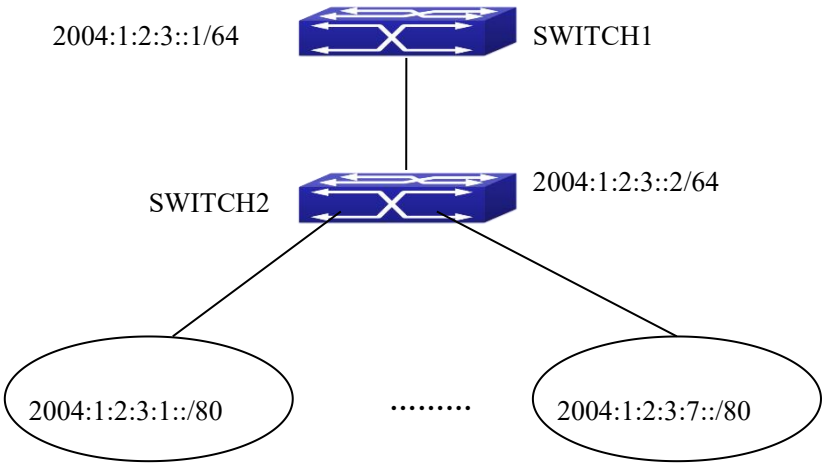


图 11-10 配置 IPv6 黑洞路由的示例图

如图所示，交换机 SWITCH2 配置了 8 个 VLAN 三层接口用于用户接入，分别是 2004:1:2:3:1/80～2004:1:2:3:7/80，同时 SWITCH2 配置了一条缺省路由指向路由器 SWITCH1，SWITCH1 配置回程路由 2004:1:2:3::/64 指回到 SWITCH2。正常情况下这个网络不会出现问题，但是 SWITCH2 的一个三层接口 down 掉之后，例如到网段 2004:1:2:3:1/80 的三层接口 down 掉了，有数据包发往某 VLAN1 时，但数据到达 SWITCH2 之后，没有到这个网段的路由，那么会根据缺省路由送到 SWITCH1，SWITCH1 在接受到 IP 报文之后，查询路由表，匹配上直连路由，然后又送到 SWITCH2，如此往复，就在 SWITCH2 和 SWITCH1 之间循环转发，形成路由环路。为了解决这个问题，可以在 SWITCH2 上配置一条“黑洞路由”：

ipv6 route 2004:1:2:3::/64 null0 50

这时，当到SWITCH2收到interface vlan1报文之后，查询路由表，匹配上这条黑洞路由，那么会丢弃该报文，便不会在SWITCH2和SWITCH1上循环转发。

配置步骤如下：

Switch#config

Switch(config)#ipv6 route 2004:1:2:3::/64 null0 50

14.7.4 黑洞路由排错帮助

在配置、使用黑洞路由功能时，可能会因为掩码长度不合适，以及管理距离不合适而造成无法正常使用。因此，用户应注意以下要点：

- 使用IPv6黑洞路由时，请首先确保全局启动了IPv6功能。
- 掩码长度最好比正常的路由的掩码长度长，这样可以确保当掩码长度长的正常路由有效的时候不干扰其工作。
- 当掩码长度与其他路由一样时，建议把黑洞路由的distance调的低一点。

如果使用检查都尝试仍无法解决的问题，那么请使用 show ip route database，以及 show ip route fib，show l3 等命令，然后将这些信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

14.8 IPv6 组播协议

14.8.1 PIM-DM6

14.8.1.1 PIM-DM6 介绍

PIM-DM6（Protocol Independent Multicast，Dense Mode，协议独立组播－密集模式）即与协议无关组播-密模式的IPv6版本，属于密集模式的组播路由协议，适用于小型网络，在这种网络环境下，组播组的成员相对比较密集。与用于IPv4版本的PIM-DM版本相比较，除了所使用的地址为IPv6地址以外，没有其它的区别。因此，在本章中对于PIM-DM和PIM-DM6不加区别，凡是使用PIM-DM而不加说明的都是指PIM-DM的IPv6版本。

由于IPv6网络还在发展中，有时网络中存在不支持IPv6组播的网络环境，这就需要通过隧道进行IPv6组播的操作，所以我们的PIM-DM6支持在配置隧道上的配置，以IPV4单播的方式穿过不支持IPv6组播的网络。

PIM-DM 的工作过程可以概括为：邻居发现、扩散—剪枝过程、嫁接阶段。

1. 邻居发现

PIM-DM 路由器刚开始启动时，需要使用Hello报文来发现邻居。运行PIM-DM的各网络节点之间使用Hello报文保持联系。PIM-DM Hello报文是周期性发送的。

2. 扩散—剪枝过程（Flooding&Prune）

PIM-DM 假设网络上的所有主机都准备接收组播数据。当某组播源S开始向组播组G发送数据时，在路由器接收到组播报文后，首先根据单播路由表进行RPF检查，如果检查通过，路由器创建一个（S，G）表项，然后将组播报文向网络上所有下游PIM-DM节点转发（Flooding）。如果没有通过RPF检查，即组播报文是从错误的接口输入，则将该报文丢弃。经过这个过程，在PIM-DM组播域内，每个节点都会创建一个（S，G）表项。如果下游节点没有组播组成员，则向上游节点发剪枝（Prune）消息，通知上游节点不用再转发该组播组数据。上游节点收到剪枝消息后，就将相应的接口从其组播转发表项（S，G）对应的输出接口列表中删除，这就建立了一个以源S为根的SPT（Shortest Path Tree，SPT）树。剪枝过程最先由叶子路由器发起。

3. RPF检查

PIM-DM采用RPF检查，利用现存的单播路由表构建一棵从数据源始发的组播转发树。当一个组播包到达时，路由器首先判断到达路径的正确性。如果到达接口是单播路由指示的通往组播源的接口，就认为这个组播包是从正确路径而来；否则，将组播包作为冗余报文丢弃。作为路径判断依据的单播路由信息可以来源于任何一种单播路由协议，如RIP、OSPF 等发现的路由信息，而不依赖于特定的单播路由协议。

4. Assert机制

如果处于一个LAN网段上的两台组播路由器A和B，各自有到组播源S的接收途径，它们在接收到组播源S发出的组播数据报文以后，都会向LAN上转发该组播报文，这时，下游节点组播路由器C就会收到两份相同的组播报文。路由器检测到这种情况后，需要通过Assert

机制来选定一个唯一的转发者。通过发送Assert报文，选出一条最优的转发路径，如果两条或两条以上路径的优先级和开销相同，则选择IP地址大的节点作为该（S，G）项的上游邻居，由它负责该（S，G）组播报文的转发。

5. 嫁接（Graft）

当被剪枝的下游节点需要恢复到转发状态时，该节点使用嫁接报文通知上游节点恢复组播数据转发。

6．PIM-DM6的状态刷新

为了减少PIM-DM6周期性的扩散-剪枝，PIM-DM6协议最新版本提供了一个选项（option），它将从组播源的第一跳路由器开始，周期性的向下面广播（S，G）状态刷新消息以完成状态刷新。当下游PIM路由器收到（S，G）状态刷新消息，它就将剪枝计时器复位，终止剪枝计时器超时，从而即保证了网络的时效性，避免了周期性的扩散-剪枝过程。

14.8.1.2 PIM-DM6 配置任务序列

1、 启动 PIM-DM（必须）
2、 配置静态组播表项（可选）
3、 配置 PIM-DM 辅助参数（可选）
(1) 配置 PIM-DM 接口参数
1) 配置 PIM-DM hello 报文间隔时间
2) 配置 PIM-DM state-refresh 报文间隔时间
3) 配置边缘接口
4) 配置管理边界
4、 关闭 PIM-DM 协议

1. 启动 PIM-DM 协议

在三层交换机上运行 PIM-DM 路由协议的基本配置很简单，需全局配置模式下打开 PIM 组播开关，然后在相应接口下打开 PIM-DM 开关即可。

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim multicast-routing	使各个接口上的 PIM-DM 协议进入使能状态（但真正在接口上开始 PIM-DM 协议，还需下面的命令）。

然后在接口上打开 PIM-SM 开关

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 pim dense-mode	启动本接口 PIM-DM 协议。（必须）

2．配置静态组播表项

命令	解释

全局配置模式	
ipv6 mroute *<X:X::X:X>* *<X:X::X:X>* *<ifname>* *<.ifname>* **no ipv6 mroute *<X:X::X:X>* *<X:X::X:X>* [*<ifname>* *<.ifname>*]**	配置静态组播表项，其 no 命令删除静态组播表项或其出接口。

3. 配置 PIM-DM 辅助参数

（1）配置 PIM-DM 接口参数

1）配置 PIM-DM hello 报文间隔时间

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 pim hello-interval *<interval>* **no ipv6 pim hello-interval**	配置接口 PIM-DM hello 报文间隔时间；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

2）配置 PIM-DM state-refresh 报文间隔时间

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 pim state-refresh origination-interval **no ipv6 pim state-refresh origination-interval**	配置接口 PIM-DM state-refresh 报文间隔时间；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

3）配置边缘接口

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 pim bsr-border **no ipv6 pim bsr-border**	配置接口为 PIM-DM6 边缘接口，边缘接口上，STATE REFRESH 相关消息不向该接口发送也不从该接口接收，连接的网络被认为都是该接口的直连网络。本命令的 no 操作取消该配置。

4）配置管理边界

命令	解释
接口配置模式	
**ipv6 pim scope-border *<500-599>*	*<acl_name>*** **no ipv6 pim scope-border**	配置 PIM-DM6 管理边界和使用的 ACL。组播数据不向 SCOPE-BORDER 扩散，默认的情形下，认为 ffx0::/13 的范围为管理组范围，若配置了 ACL，则 ACL permit 的范围为管理组范围。acl_name 应当是 IPV6 标准 ACL 名。本命令的 no 操作取消该配置。

4. 关闭 PIM-DM 协议

命令	解释
接口配置模式	
no ipv6 pim dense-mode	在接口上关闭 PIM-DM 协议。
全局配置模式	
no ipv6 pim multicast-routing	全局关闭 PIM-DM 协议。

14.8.1.3 PIM-DM6 典型案例

如下图，将SwitchA，switchB的以太网接口加入到相应的VLAN中，并在各VLAN接口上启动PIM-DM协议。如果VLAN内同时配置了IGMP SNOOPING，则组播流量能精确到端口，而不在整个VLAN内泛洪。

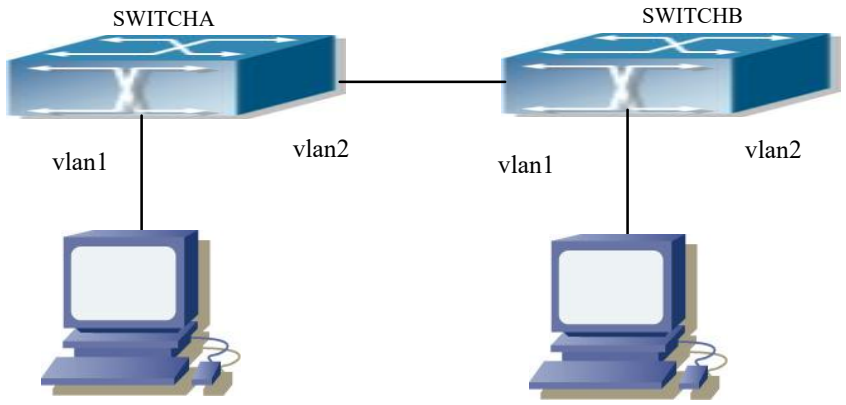


图 11-11 PIM-DM 典型环境

SwitchA 和SwitchB配置步骤如下：

(1) 配置SwitchA：

Switch (config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)# ipv6 address 2000:10:1:1::1/64

Switch(Config-if-Vlan1)# ipv6 pim dense-mode

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan2

Switch(Config-if-Vlan2)# ipv6 address 2000:12:1:1::1/64

Switch(Config-if-Vlan2)# ipv6 pim dense-mode

(2) 配置SwitchB：

Switch (config)#ip pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-if-Vlan1)# ipv6 address 2000:12:1:1::2/64

Switch(Config-if-Vlan1)# ipv6 pim dense-mode

Switch(Config-if-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-if-Vlan2)# ipv6 address 2000:20:1:1::1/64

Switch(Config-if-Vlan2)# ipv6 pim dense-mode

14.8.1.4 PIM-DM6 排错帮助

在配置、使用 PIM-DM 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 PIM-DM 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误；
- 保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 保证全局配置模式下打开 PIM 协议(使用 ipv6 pim multicast-routing)
- 在接口上启动 PIM-DM 协议（使用 ipv6 pim dense-mode 命令）。

组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性；如果使用检查仍无法解决 PIM-DM 的问题，那么请使用 debug ipv6 pim 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

14.8.2 PIM-SM6

14.8.2.1 PIM-SM6 介绍

PIM-SM6（Protocol Independent Multicast，Sparse Mode）即与协议无关组播-稀疏模式的IPv6版本，属于稀疏模式的组播路由协议，主要用于组成员分布相对分散、范围较广、大规模的网络。与用于IPv4版本的PIM-SM版本相比较，除了所使用的地址为IPv6地址以外，没有其它的区别。因此，在本章中对于PIM-SM和PIM-SM6不加区别，凡是使用PIM-SM而不加说明的都是指PIM-SM的IPv6版本。与密集模式的扩散—剪枝不同，PIM-SM协议假定所有的主机都不需要接收组播数据包，只有主机明确指定需要时，PIM-SM路由器才向它转发组播数据包。

PIM-SM通过设置汇聚点RP（Rendezvous Point）和自举路由器BSR（Bootstrap Router），向所有PIM-SM路由器通告组播信息，并利用路由器的加入/剪枝信息，建立起基于RP的共享树RPT（RP-rooted shared tree）。从而减少数据报文和控制报文占用的网络带宽，降低路由器的处理开销。组播数据沿着共享树流到该组播组成员所在的网段，当数据流量达到一定程度，组播数据流可以切换到基于源的最短路径树SPT，以减少网络延迟。PIM-SM不依赖于特定的单播路由协议，而是使用现存的单播路由表进行RPF检查。

由于IPv6网络还在发展中，有时网络中存在不支持IPv6组播的网络环境，这就需要通过隧道进行IPv6组播的操作，所以我们的PIM-SM6支持在配置隧道上的配置，以IPV4单播的方式穿过不支持IPv6组播的网络。

1. PIM-SM 工作原理

PIM-SM的工作过程主要有：邻居发现、RP共享树（RPT）的生成、组播源注册、SPT切换等。其中，邻居发现机制与PIM-DM相同，这里不再介绍。

(1) RP 共享树（RPT）的生成

当主机加入一个组播组G时，与该主机直接相连的叶子路由器通过IGMP报文了解到有组播组G的接收者，就为组播组G计算出对应的汇聚点RP，然后向朝着RP方向的上一级节点发送加入组播组的消息（join 消息）。从叶子路由器到RP之间途经的每个路由器都会在转发表中生成（*，G）表项，表示由任意源发出的，发送至组播组G的，都适用于该表项。当RP收到发往组播组G的报文后，报文就会沿着已经建立好的路径到达叶子路由器，进而到达主机。这样就生成了以RP为根的RPT。

(2) 组播源注册

当组播源S向组播组G发送了一个组播报文时，与其直接相连的PIM-SM组播路由器接收到该报文以后，就负责将该组播报文封装成注册报文，单播给对应的RP。如果一个网段上有多个PIM-SM组播路由器，这时候将由指定路由器DR（Designated Router）负责发送该组播报文。

(3) SPT 切换

当组播路由器发现从RP发来的目的地址为G的组播报文的速率超过了阈值时，组播路由器就向朝着源S的上一级节点发送加入消息，导致RPT向SPT的切换。

2. PIM-SM 配置前准备工作

(1) 配置候选 RP

在PIM-SM网络中，可以存在多个RP（候选RP），每个候选RP（Candidate-RP，C-RP）负责转发目的地址在一定范围内的组播报文。配置多个候选RP可以实现RP负载分担。候选RP之间没有主次之分，所有的组播路由器收到BSR通告的候选RP消息后，根据相同的算法计算出与某一组播组对应的RP。

注意，一个RP可以为多个组播组服务，也可以为所有组播组服务。每个组播组在任意时刻，只能唯一地对应一个RP，不能同时对应多个RP。

(2) 配置 BSR

BSR 是PIM-SM 网络里的管理核心，它负责收集候选RP发来的信息，并把它们广播出去。

一个网络内部只能有一个BSR，但可以配置多个候选BSR（Candidate-BSR， C-BSR）。这样，一旦某个BSR发生故障后，能够切换到另外一个。C-BSR通过自动选举产生BSR。

14.8.2.2 PIM-SM6 配置任务序列

1、 启动 PIM-SM（必须）
2、 配置静态组播表项（可选）
3、 配置 PIM-SM 辅助参数（可选）

（1） 配置 PIM-SM 接口参数
   1) 配置 PIM-SM hello 报文间隔时间
   2) 配置 PIM-SM hello 报文 holdtime 时间
   3) 配置 PIM-SM 邻居访问列表
   4) 配置接口为 PIM-SM6 边缘接口
   5) 配置接口为 PIM-SM6 管理边界

（2） 配置 PIM-SM 全局参数
   1) 配置交换机作为候选 BSR

2) 配置交换机作为候选 RP

3) 配置静态 RP

4) 配置内核组播路由缓存时间

4、 关闭 PIM-SM 协议

1. 启动 PIM-SM 协议

在三层交换机上运行 PIM-SM 路由协议的基本配置很简单，需全局配置模式下打开 PIM 组播开关，然后在相应接口下打开 PIM-SM 开关即可。

命令	解释
全局配置模式	
[no] ipv6 pim multicast-routing	使各个接口上的 PIM-SM 协议进入使能状态（但真正在接口上开始 PIM-SM 协议，还需下面的命令），本命令的 no 操作关闭所有接口上的 PIM-SM 协议。（必须）

然后在接口上打开 PIM-SM 开关

命令	解释
接口配置模式	
[no] ipv6 pim sparse-mode [passive]	启动本接口 PIM-SM 协议，本命令的 no 操作关闭本接口 PIM-SM 协议。（必须）

2. 配置静态组播表项

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 mroute *<X:X::X:X>* *<X:X::X:X>* *<ifname>* *<.ifname>* **no ipv6 mroute *<X:X::X:X>* *<X:X::X:X>* [*<ifname>* *<.ifname>*]**	配置静态组播表项，其 no 命令删除静态组播表项或其出接口。

3. 配置 PIM-SM 辅助参数

（1）配置 PIM-SM 接口参数

1）配置 PIM-SM hello 报文间隔时间

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 pim hello-interval < *interval*> **no ipv6 pim hello-interval**	配置接口 PIM-SM hello 报文间隔时间；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

2）配置 PIM-SM hello 报文 holdtime 时间

命令	解释

接口配置模式	
ipv6 pim hello-holdtime <*value*> **no ipv6 pim hello-holdtime**	配置接口 PIM-SM hello 报文中的 holdtime 域的值；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

3）配置 PIM-SM 邻居访问列表

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 pim neighbor-filter <*acess-list-name*> **no ipv6 pim neighbor-filter <*acess-list-name*>**	配置邻居访问列表。如果被列表过滤，如果已经同此邻居建立连接，则此连接马上被切断，如果没有建立连接，则这个连接不能建立。

4）配置边缘接口

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 pim bsr-border **no ipv6 pim bsr-border**	配置接口为 PIM-SM6 边缘接口，边缘接口上，BSR 相关消息不向该接口发送也不从该接口接收，连接的网络被认为都是该接口的直连网络。本命令的 no 操作取消该配置。

5）配置管理边界

命令	解释
接口配置模式	
**ipv6 pim scope-border <*500-599*>	<*acl_name*>** **no ipv6 pim scope-border**	配置 PIM-DM6 管理边界和使用的 ACL。组播数据不向 SCOPE-BORDER 扩散，默认的情形下，认为 ffx0::/13 的范围为管理组范围，若配置了 ACL，则 ACL permit 的范围为管理组范围。acl_name 应当是 IPV6 标准 ACL 名。本命令的 no 操作取消该配置。

（2）配置 PIM-SM 全局参数

1）配置交换机作为候选 BSR

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim bsr-candiate {vlan <*vlan_id*>|<*ifname*>|tunnel <*1-50*>} [*hash-mask-length*] [priority] **no ipv6 pim bsr-candidate{vlan <*vlan_id*>|<*ifname*>|tunnel <*1-50*>} [<*hash-mask-length*>] [<*priority*>]**	该命令为全局候选 BSR 配置命令，用于配置 PIM-SM 候选 BSR 的信息，以用于同其它候选 BSR 竞争 BSR 路由器；本命令的 no 操作为取消候选 BSR 的配置。

2）配置交换机作为候选 RP

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim rp-candidate {*vlan<vlan-id>* |*loopback<index>* |*<ifname>*} [*<group range>*] [*<priority>*] **no ipv6 pim rp-candiate**	该命令为全局候选 RP 配置命令，用于配置 PIM-SM 候选 RP 的信息，以用于同其它候选 RP 竞争 RP 路由器；本命令的 no 操作为取消候选 RP 的配置。

3）配置静态 RP

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim rp-address *<rp-address>* [*<group-range>*] **no ipv6 pim rp-address *<rp-address>* {all|*<group-range>*}**	该命令为全局或某个组播地址范围的组播组配置静态 RP，本命令的 no 操作为取消静态 RP 的配置。

4）配置内核组播路由缓存时间

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 multicast unresolved-cache aging-time <value> **no ipv6 multicast unresolved-cache aging-time**	配置内核组播路由缓存时间；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

4.关闭 PIM-SM 协议

命令	解释
接口配置模式	
no ipv6 pim sparse-mode	关闭 PIM-SM 协议。
全局配置模式	
no ipv6 pim multicast-routing	全局关闭 PIM-SM 协议。

14.8.2.3 PIM-SM6 典型案例

如下图所示，将switchA，switchB，switchC，switchD的以太网接口加入到相应VLAN中，并在各VLAN接口上启动PIM-SM协议。如果VLAN内同时配置了IGMP SNOOPING，则组播流量能精确到端口，而不在整个VLAN内泛洪。

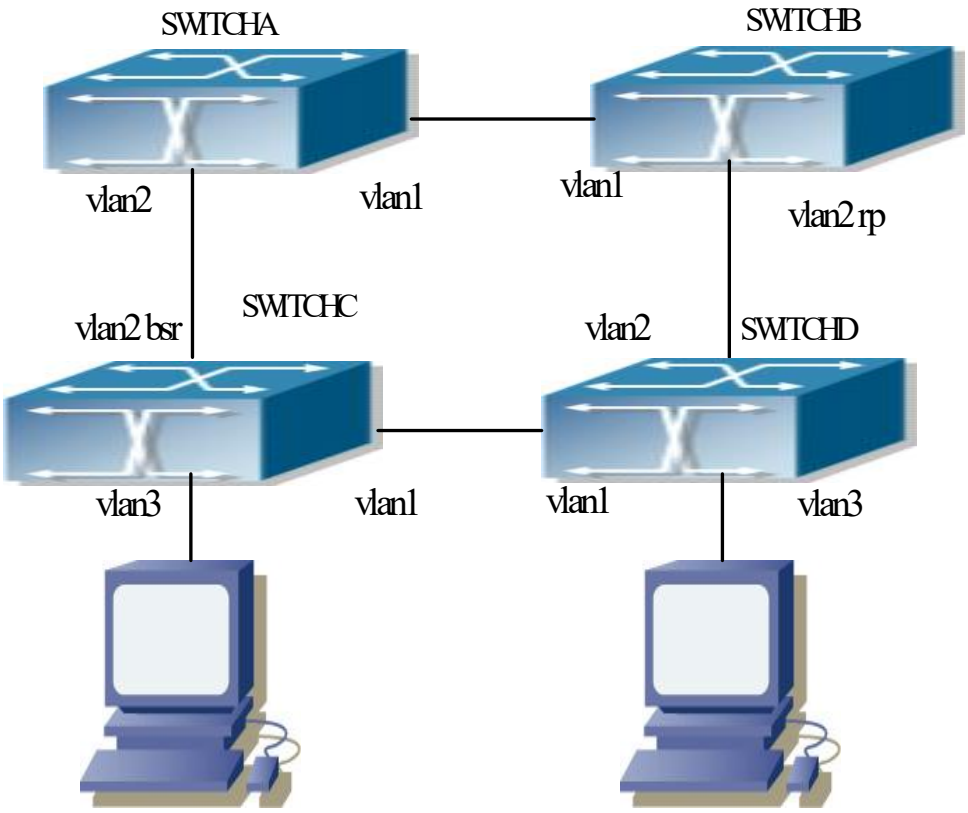


图 11-12 PIM-SM 典型环境

SwitchA 和 SwitchB，switchC，switchD 配置步骤如下：

(1) 配置 SwitchA：

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 address 2000:12:1:1::1/64

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 address 2000:13:1:1::1/64

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 pim sparse-mode

(2) 配置 SwitchB：

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 address 2000:12:1:1::2/64

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 address2000:24:1:1::2/64

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan2)# exit

Switch (config)# ipv6 pim rp-candidate vlan2

(3) 配置 SwitchC：

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 address 2000:34:1:1::3/64

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 address 2000:13:1:1::3/64

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan2)#exit

Switch (config)#interface vlan 3

Switch(Config-If-Vlan3)# ipv6 address 2000:30:1:1::1/64

Switch(Config-If-Vlan3)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan3)# exit

Switch (config)# ipv6 pim bsr-candidate vlan2 30 10

(4) 配置 SwitchD：

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch (config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 address 2000:34:1:1::4/64

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch (config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 address 2000:24:1:1::4/64

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan2)#exit

Switch (config)#interface vlan 3

Switch(Config-If-Vlan3)# ipv6 address 2000:40:1:1::1/64

Switch(Config-If-Vlan3)# ipv6 pim sparse-mode

14.8.2.4 PIM-SM6 排错帮助

在配置、使用 PIM-SM 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 PIM-SM 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；

- 组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性；
- PIM-SM 协议需要有 rp 和 bsr 的支持，所以首先使用 **show ipv6 pim bsr-router**，看是否有 bsr 信息，如果不存在，则需要查看是否有通向 bsr 的单播路由；
- 使用 **show ipv6 pim rp-hash** 命令查看 rp 信息是否正确，如果没有 rp 信息，也要检查单播路由。

如果使用检查仍无法解决 PIM-SM 的问题，那么请使用 debug ipv6 pim/ debug ipv6 pim bsr 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

14.8.3 ANYCAST RP v6

14.8.3.1 ANYCAST RP v6 介绍

基于 PIM 协议的 Anycast RP v6 是一种为了让 RP 失效能够尽快恢复而提供冗余的技术，Anycast-RP 地址通常是配置在 loopback 接口上的地址。

Anycast RP v6 的核心思想是在整个网络上配置的 RP 地址，存在于多台组播路由器上（通常的情况是在各个提供 ANYCAST RP 的设备上都使用 LOOPBACK 接口，并配置 RP 地址在这个接口上，使用最长的掩码），而单播路由算法将决定了 PIM 路由器总是能找到离自己最近的 RP，因此对于比较大的网络提供了更短更快的找到 RP 的路径。而一旦正在使用的某一个 RP 失效，单播路由算法将保证 PIM 路由器很快找到新的 RP 路径，从而使组播服务迅速恢复。多个 RP 会出现新的问题，即如果组播源和接收者注册到不同的 RP，会导致有的接收者不能接收到组播源数据（注册报文显然只会青睐离自己的最近的 RP）。因此，为了在各 RP 间保持联络，Anycast RP 规定离组播源最近的 RP 在收到注册报文时应将源注册信息转发通知给其他 RP，保证所有 RP 上的加入者都可以找到该组播源。

基于 PIM 协议的 Anycast RP 具体实现方法是：在每个配置了 Anycast RP 的交换机上维护一份 ANYCAST RP 的列表，并使用另一个地址作为他们之间互相识别的标志，在一台 Anycast RP 设备收到注册消息后，以标志自己的地址作为源地址向其它 Anycast RP 设备发送注册消息，以达到让其它设备也知道本源的目的。

14.8.3.2 ANYCAST RP v6 配置任务

1.启动 ANYCAST RP v6 功能

2.配置 ANYCAST RP v6

1.启动 ANYCAST RP v6 功能

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim anycast-rp **no ipv6 pim anycast-rp**	启动 ANYCAST RP 功能。（必须） no 操作关闭全局 ANYCAST RP 功能。

2.配置 ANYCAST RP v6

(1) 配置候选 RP

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim rp-candidate {vlan<*vlan-id*> | loopback<*index*> | <*ifname*>} [<*A:B::C:D*>] [<*priority*>] **no ipv6 pim rp-candidate**	目前 PIM6-SM 已允许配置 Loopback 接口作为候选 RP。（必须） 需要注意的是，ANYCAST RP 协议可以配置 Loopback 接口或普通三层 VLAN 接口作为候选 RP。为使网络中 PIM 路由器找到 RP 位置，应将候选 RP 接口加入到路由中。 no 操作取消本路由器候选 RP 配置。

(2) 配置 self-rp-address (本 RP 通信地址)

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim anycast-rp self-rp-address A:B::C:D **no ipv6 pim anycast-rp self-rp-address**	在本路由器（作为 RP）上配置本路由器的 self-rp-address。该地址唯一标志本路由器，用于与其他 RPs 之间的通讯。（必须） **self-rp-address** 具体作用有两个方面： 1 当本路由器（作为 RP）收到从 DR 单播过来的注册报文，需要将该注册报文向网络中其他 RP 转发，使得网络中所有 RP 获得源（S,G）状态。转发时，本路由器修改注册报文源地址为 self-rp-address。 2 当本路由器（作为 RP）收到从其他 RP 单播转发过来的注册报文，如注册报文目的地址为本路由器 self-rp-address，则建立（S,G）状态并反方向发送注册中止报文，注册中止报文目的地址即注册报文的源地址。 注意：self-rp-address 应为本路由器上某个三层接口地址，但在配置时我们允许此接口当前不存在。self-rp-address 是唯一的。 no 操作取消本路由器用于与其他 RP 通信的 self-rp-address。

(3) 配置 other-rp-address (其他 RP 通信地址)

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim anycast-rp <*anycast-rp-addr*>	在本路由器（作为 RP）上配置 anycast-rp-addr

<other-rp-addr> **no ipv6 pim anycast-rp** ***<anycast-rp-addr>*** ***<other-rp-addr>***	地址。该单播地址实际上就是在网络中多个 RP 上配置的 RP 地址，对应候选 RP 接口(或者 Loopback 接口)的地址。 **anycast-rp-addr** 具体作用有： 1 允许配置多个 anycast-rp-addr 地址，只有与当前配置的候选 RP 接口地址相同的 anycast-rp-addr 地址生效。此时对应该 anycast-rp-addr地址的 other-rp-address 也才会生效。 2 配置时我们允许 anycast-rp-addr 对应的接口当前不存在。 在本路由器（作为 RP）上配置与本路由器通讯的其他 RP 的 other-rp-address。该单播地址标志其他 RP，用于与本地路由器之间的通讯。 **other-rp-address** 具体作用有两个方面： 1 当本路由器（作为 RP）收到从 DR 单播过来的注册报文，需要将该注册报文向网络中其他 RP 转发，使得网络中所有 RP 获得源（S，G）状态。转发时，本路由器修改注册报文目的地址为 other-rp-address。 2 对应一个 anycast-rp-addr 可以配置多个 other-rp-address，当收到 DR 单播过来的注册报文，依次向这些其他 RP 转发。 no 操作取消与本路由器通信的某个 other-rp-address。

14.8.3.3 ANYCAST RP v6 典型案例

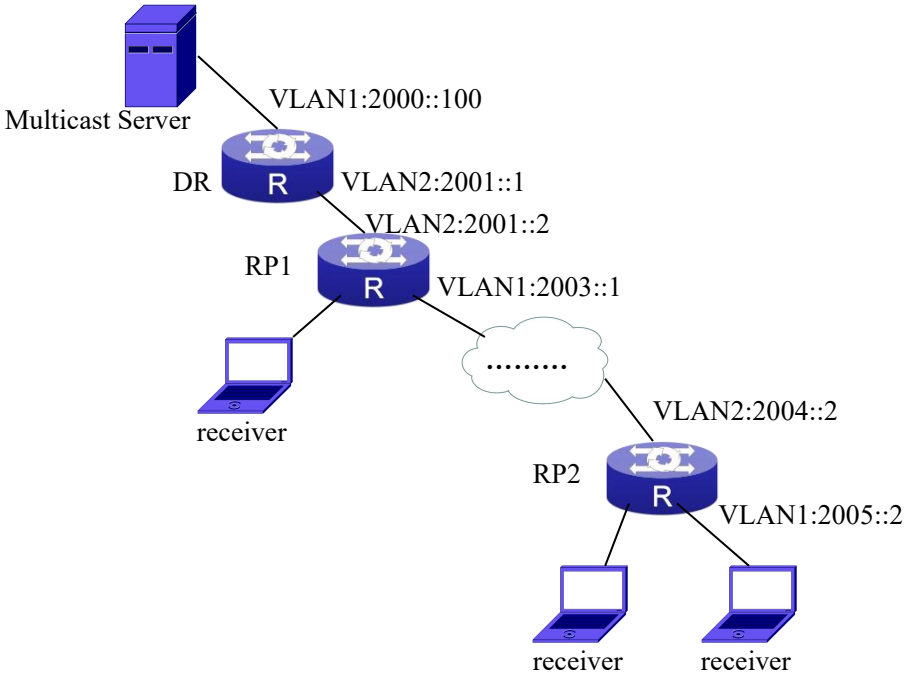


图 11-13 路由器 ANYCAST RP v6 功能

配置步骤如下：

RP1 配置：

Switch#config

Switch(config)#interface loopback 1

Switch(Config-if-Loopback1)#ipv6 address 2006::1/128

Switch(Config-if-Loopback1)#exit

Switch(config)#ipv6 pim rp-candidate loopback1

Switch(config)#ipv6 pim bsr-candidate vlan 1

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch(config)#ipv6 pim anycast-rp

Switch(config)#ipv6 pim anycast-rp self-rp-address 2003::1

Switch(config)#ipv6 pim anycast-rp 2006::1 2004::2

RP2 配置：

Switch#config

Switch(config)#interface loopback 1

Switch(Config-if-Loopback1)#ipv6 address 2006::1/128

Switch(Config-if-Loopback1)#exit

Switch(config)#ipv6 pim rp-candidate loopback1

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch(config)#ipv6 pim anycast-rp

Switch(config)#ipv6 pim anycast-rp self-rp-address 2004::2

Switch(config)#ipv6 pim anycast-rp 2006::1 2003::1

需要注意，为发布 loopback 接口路由，如使用 MBGP4+协议，可使用 network 命令；如使用 RIPng 协议，可使用 route 命令。

14.8.3.4 ANYCAST RP v6 排错帮助

在配置、使用 ANYCAST RP v6 功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 ANYCAST RP 未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误
- 保证 PIM-SM6 协议正确运行
- 保证全局配置模式下 ANYCAST RP 打开。
- 保证全局配置模式下 self-rp-address 配置正确
- 保证全局配置模式下 other-rp-address 配置正确
- 保证各接口路由正确添加，包括作为 RP 的 loopback 接口也要正确加入路由
- 使用 show ipv6 pim anycast rp status 命令查看 ANYCAST RP 配置信息是否正确

如果使用检查仍无法解决 ANYCAST RP 的问题，那么请使用 debug ipv6 pim anycast-rp 调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

14.8.4 PIM-SSM6

14.8.4.1 PIM-SSM6 介绍

源指定组播(PIM-SSM6)是一种区别于传统组播的新的业务模式，它使用组播组地址和组播源地址来同时标志一个组播会话。SSM保留了传统PIM-SM6模式中的主机显示加入组播组的高效性，但是跳过了PIM-SM6模式中的共享树和RP规程。SSM6直接建立由(S,G)标志的spt树，其中G表示组播组的地址，S表示发向组播组G的特定组播源的地址。SSM6的一个（S，G）对也被称为一个频道。SSM特别适用于点到多点的组播服务，如网络体育频道，网络新闻频道等业务。在缺省情况下，SSM6组播组地址范围限制在IPV6地址范围：ff3x::/32内，但是可以根据需要对地址进行扩展。

PIM-DM6的环境中也支持PIM-SSM6。

14.8.4.2 PIM-SSM6 配置任务序列

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim ssm {default|range <*access-list-number* >} **no ipv6 pim ssm**	该命令配置pim ssm 组播组地址范围；本命令的no 操作删除配置的pim ssm 组播组

14.8.4.3 PIM-SSM6 典型案例

如下图所示，将switchA，switchB，switchC，switchD的以太网接口加入到相应VLAN中，并在各VLAN接口上启动PIM-SM6协议，或者PIM-DM6协议，全局启动PIM-SSM6。本例以PIM-SM6协议为例。

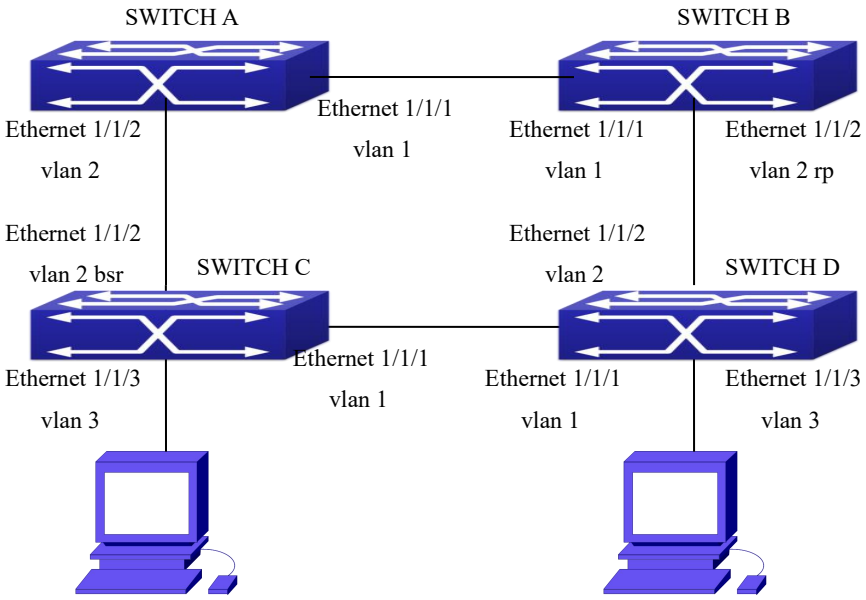


图 11-14 PIM-SSM 典型环境

switchA 和 switchB，switchC，switchD 配置步骤如下：

(1) 配置 switchA：

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 address 2000:12:1:1::1/64

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 address 2000:13:1:1::1/64

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan2)#exit

Switch(config)#ipv6 access-list 500 permit ff1e::1/64

Switch(config)#ip multicast ssm range 500

(2) 配置 switchB：

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

Switch(config)#interface vlan 1

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 address 2000:12:1:1::2/64

Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 pim sparse-mode

Switch(Config-If-Vlan1)#exit

Switch(config)#interface vlan 2

Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 address2000:24:1:1::2/64
Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan2)# exit
Switch(config)# ipv6 pim rp-candidate vlan2
Switch(config)#ipv6 access-list 500 permit ff1e::1/64
Switch(config)#ip multicast ssm range 500

(3) 配置 SwitchC：

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 address 2000:34:1:1::3/64
Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan1)#exit
Switch(config)#interface vlan 2
Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 address 2000:13:1:1::3/64
Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan2)#exit
Switch(config)#interface vlan 3
Switch(Config-If-Vlan3)# ipv6 address 2000:30:1:1::1/64
Switch(Config-If-Vlan3)# ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan3)# exit
Switch(config)# ipv6 pim bsr-candidate vlan2 30 10
Switch(config)#ipv6 access-list 500 permit ff1e::1/64
Switch(config)#ip multicast ssm range 500

(4) 配置 SwitchD：

Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 address 2000:34:1:1::4/64
Switch(Config-If-Vlan1)# ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan1)#exit
Switch(config)#interface vlan 2
Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 address 2000:24:1:1::4/64
Switch(Config-If-Vlan2)# ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan2)#exit
Switch(config)#interface vlan 3
Switch(Config-If-Vlan3)# ipv6 address 2000:40:1:1::1/64
Switch(Config-If-Vlan3)# ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan3)#exit
Switch(config)#ipv6 access-list 500 permit ff1e::1/64

Switch(config)#ip multicast ssm range 500

14.8.4.4 PIM-SSM6 排错帮助

在配置、使用 PIM-SSM6 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 PIM-SSM6 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误；
- 保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 保证全局配置模式下 PIM6 协议打开（使用 ipv6 pim multicast-routing）；
- 保证接口上配置 PIM-SM6（使用 ipv6 pim sparse-mode）；
- 保证全局模式下配置 SSM6；
- 组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性。

如果使用检查仍无法解决问题，那么请使用 debug ipv6 pim event/debug ipv6 pim packet 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

14.8.5 IPv6 DCSCM

14.8.5.1 IPv6 DCSCM 介绍

IPV6 DCSCM（Destination Control and Source Control Multicast）技术主要包含三个方面，即组播信源可控、组播用户可控及面向服务优先级的策略组播。

IPV6 DCSCM 的组播信源可控技术主要采取以下的方式进行：

1. 在边缘交换机上，如果配置的源受控组播，只有指定源发出的指定组的组播数据才能通过。
2. 对于处于 PIM-SM 核心地位的 RP 交换机，对于指定源及指定组以外的 REGISTER 信息，直接发送 REGISTER_STOP，而不允许建立表项。(该任务在 PIM-SM 模块中实现)。

IPV6 DCSCM 技术的组播用户可控技术的实现基于对用户发出的MLD report报文的控制，因此进行控制的模块是MLD snooping和MLD模块,其控制逻辑包括以下三种，即根据发送报文的VLAN+MAC地址进行控制，根据发送报文的IP地址进行控制和根据报文进入的端口进行控制。其中MLD snooping可以同时使用上述三种方式进行控制，而MLD模块由于处于三层，仅针对发送报文的IP地址进行控制。

IPV6 DCSCM 技术的面向服务优先级的策略组播采用下述的方式：对于限定范围的组播数据，在接入端就设置用户指定的优先级，使得数据在干道端口（TRUNK）上以更高的优先级发送，从而在整个网络上保证其以用户指定的优先级传送。

14.8.5.2 IPv6 DCSCM 配置任务序列

1. 源受控的配置
2. 目的受控的配置

3. 组播策略的配置

1. 源受控的配置

源受控的配置分三个部分，首先是全局启动源受控，全局启动源受控的命令如下：

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 multicast source-control(必须) **no ipv6 multicast source-control**	全局启动源控制，本命令的 no 操作全局关闭源控制。值得注意的是，全局启动源控制后，所有组播报文都默认丢弃。所有源控制配置都要在全局启动后才可以进行，而只有关闭所有已经配置的规则后，才可以全局关闭源控制。

其次是配置源控制的规则，它使用与 ACL 相同的方式配置，使用 8000－8099 的 ACL 号，每个规则号最多可配置 10 个规则，值得注意的是，这些规则是有顺序的，先配置的在最前面，一旦所配置的规则得到匹配，其后面的规则将不会起作用，所以全局允许的规则一定要配置在最后。其命令如下

命令	解释
全局配置模式	
**[no] ipv6 access-list *<8000-8099>* {deny|permit} {{*<source/M>*} |{host-source *<source-host-ip>*} |any-source} {{*<destination/M>* } |{host-destination *<destination-host-ip>*}| any-destination}	用于配置源受控使用的规则，该规则只有应用到指定的端口上时才可以生效。使用其 NO 形式可以删除指定的规则。

最后是把配置的规则配置到指定的端口上。

注意：由于配置的规则要占据硬件的表项，配置过多的规则可能导致由于底层表项满而配置失败，因此建议用户尽可能使用简单的规则。配置命令如下：

命令	解释
端口配置模式	
[no] ipv6 multicast source-control access-group *<8000-8099>*	用于把源受控使用的规则配置到端口上，其 NO 形式取消该配置。

2. 目的受控的配置

目的受控的配置与源受控配置相似，也是分三个步骤。

首先要全局打开目的受控，由于目的受控要防止未获授权的用户接收到组播数据，因此配置全局目的受控后，交换机对收到的组播数据不再广播，因此，应当避免在启动了目的受控的交换机上同一 VLAN 内连接两台或以上的其它三层交换机。其配置命令如下：

命令	解释
全局配置模式	

multicast destination-control(必须)	全局启动 IPV4 和 IPV6 目的控制，本命令的 no 操作全局关闭目的控制。所有其它的配置都只有在全局启动后才能生效。

其次是配置目的控制规则，它与源控制相似，只是使用 9000－10099 的 ACL 号。

命令	解释
全局配置模式	
[no] ipv6 access-list *<9000-10099>* {deny|permit} {{*<source/M>*}|{host-source *<source-host-ip>*}|any-source} {{*<destination/M>*}|{host-destination *<destination-host-ip>*}|any-destination}	用于配置源受控使用的规则，该规则只有应用到指定的源 IP 或 VLAN-MAC、端口上时才可以生效。使用其 NO 形式可以删除指定的规则

最后要把该规则配置到指定的源 IP,源 VLAN MAC 或指定端口上。这里需要注意的是，由于上面所说的情况，只有在启动 MLD-SNOOPING 的情况下才可以全面使用这些规则，而如果没有启动 MLD-SNOOPING，则只有源 IP 的规则才能在 MLD 协议使用。其配置命令如下：

命令	解释
端口配置模式	
[no] ipv6 multicast destination-control access-group *<9000-10099>*	用于把目的受控使用的规则配置到端口上，其 NO 形式取消该配置。
全局配置模式	
[no] ipv6 multicast destination-control *<1-4094>* *<macaddr>* access-group *<9000-10099>*	用于把目的受控使用的规则配置到指定的 VLAN-MAC 上，其 NO 形式取消该配置。
[no] ipv6 multicast destination-control *<IPADDRESS/M>* access-group *<9000-100999>*	用于把目的受控使用的规则配置到指定的源 IPv6 地址/掩码上，其 NO 形式取消该配置。

3． 组播策略的配置

组播策略使用为指定的组播数据指定优先级的方式达到保证特定用户需求的效果，值得注意的是组播数据只有在干道端口上传输才能保证数据一直得到重点照顾。其配置很简单，只有一个命令，即为指定的组播设定优先级，命令如下：

命令	解释
全局配置模式	
[no] ipv6 multicast policy *<IPADDRESS/M>* *<IPADDRESS/M>* cos *<priority>*	配置组播策略，为特定范围的源、组指定优先级，范围为<0-7>。

14.8.5.3 IPv6 DCSCM 典型案例

1. 源受控

为了防止一台边缘交换机随意发布组播数据，我们在边缘交换机上配置，只有在端口 Ethernet1/1/4 的交换机才允许发送组播数据，且数据的组必须是 ff1e::1。而上连端口 Ethernet1/1/25 可以不受限制的转发组播数据，则我们可以进行如下配置。

Switch(config)#ipv6 access-list 8000 permit any-source ff1e::1

Switch(config)#ipv6 access-list 8001 permit any any

Switch(config)#ipv6 multicast source-control

Switch(config)#interface Ethernet1/1/4

Switch(Config-If-Ethernet1/1/4)#ipv6 multicast source-control access-group 8000

Switch(config)#interface Ethernet1/1/25

Switch(Config-If-Ethernet1/1/25)#ipv6 multicast source-control access-group 8001

2. 目的受控

我们要限制地址在 fe80::203:fff:fe01:228a/64 网段的用户不能加入 ff1e::1/64 的组，我们可以做如下配置：

首先在其所在的 VLAN(这里认为是 VLAN2)内要启动 MLD snooping。

Switch(config)#ipv6 mld snooping

Switch(config)#ipv6 mld snooping vlan 2

然后配置相关的目的控制访问列表，并配置指定的 IPv6 地址使用该访问列表。

Switch(config)#ipv6 access-list 9000 deny any ff1e::1/64

Switch(config)#ipv6 access-list 9000 permit any any

Switch(config)#ipv6 multicast destination-control

Switch(config)#ipv6 multicast destination-control fe80::203:fff:fe01:228a/64 access-group 9000

这样，该网段的用户就只能加入 2ff1e::1/64 以外的组了。

3. 组播策略

服务器 2008::1 正在组 ff1e::1 上发布重要的组播数据，我们可在其接入交换机上配置如下：

Switch(config)#ipv6 multicast policy 2008::1/128 ff1e::1/128 cos 4

这样该组播流在通过本交换机的 TRUNK 端口通向其它交换机时，将拥有值为 4 的优先级（通常这已经比较高了，更高的可能是协议数据了，若设置更高的优先级，在该组播数据太多时，有可能造成交换机协议行为的不正常）。

14.8.5.4 IPv6 DCSCM 排错帮助

IPv6 DCSCM 模块本身作用与 ACL 相似，发生问题通常与不当的配置有关，请您详细阅读上面的说明。

14.8.6 MLD

14.8.6.1 MLD 介绍

MLD(Multicast Listener Discovery)是服务于IPv6组播的组播组成员（接受者）发现协议，类似于IPv4组播应用中的IGMP协议，其中MLD协议版本1类似于IGMP协议的版本2，MLD协议版本2类似于IGMP协议的版本3，我们目前实现了MLDv2。

参与IPv6 组播的主机可以在任意位置、任意时间、成员总数不受限制地加入或退出组播组。组播交换机不需要也不可能保存所有主机的成员关系，它只是通过MLD 协议了解每个接口连接的网段上是否存在某个组播组的接收者，即组成员。而主机方只需要保存自己加入了哪些组播组。

MLD 在主机与路由器之间是不对称的：主机需要响应组播交换机的MLD查询报文，即，以成员资格报告报文响应；交换机周期性发送成员资格查询报文，然后根据收到的响应报文确定某个特定组在自己所在子网上是否有主机加入，并且当收到主机的退出组的报告时，发出特定组的查询，以确定某个特定组是否已无成员存在。

MLD协议的协议报文可以分为三种类型，即Query，Report和Done（对应于IGMPv2的Leave）。与IGMPV2一样，其Query报文包括了普通查询和特定组查询两种。其普通查询使用所有主机的组播地址FF02::1作为目的地址，而组地址填充为0，其特定查询使用其组地址作为目的地址。MLD的组播地址使用130、131、132作为数据类型，分别表示上述的三种报文。其它的逻辑与IGMPv2也基本相同。

MLDv2增加了V2的report类型，其组播地址使用FF02::16,并使用143作为数据类型，其它逻辑与IGMPV3相同。

14.8.6.2 MLD 配置任务序列

1、 启动 MLD（必须）
2、 配置 MLD 辅助参数（可选）
（1）配置 MLD 组 group 参数
1）配置 MLD 组过滤条件
2）配置 MLD 加入组
3）配置 MLD 加入静态组
（2）配置 MLD 查询参数
1）配置 MLD 发送查询报文的时间间隔
2）配置 MLD 查询的最大反应时间
3）配置 MLD 查询的超时时间
（3）配置 MLD 版本
3、 关闭 MLD 协议

1. 启动 MLD 协议

在三层交换机上没有启动 MLD 协议的专门命令，在相应接口下启动任何一种 IPv6 组

播协议，则 MLD 自动随之启动。

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 pim multicast-routing	启动全局 IPv6 组播协议，是启动 MLD 协议的必要前提，相应命令的 no 操作关闭 ipv6 组播协议以及 MLD 协议。（必须）

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 pim dense-mode | ipv6 pim sparse-mode	启动 MLD 协议，相应命令的 no 操作关闭 MLD 协议。（必须）

2. 配置 MLD 辅助参数

（1）配置 MLD 组 group 参数

1）配置 MLD 组过滤条件

2）配置 MLD 加入组

3）配置 MLD 加入静态组

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 mld access-group <*acl_name*> **no ipv6 mld access-group**	配置接口对 MLD 组的过滤条件；本命令的 no 操作取消过滤条件。
ipv6 mld join-group <address> **no ipv6 mld join-group <address>** **ipv6 mld join-group <address> mode <*include*|*exclude*> source <*X:X::X:X*>** **no ipv6 mld join-group <X:X::X:X> source <.X:X::X:X>**	配置接口加入某个 MLD 组或组源；本命令的 no 操作取消加入。
ipv6 mld static-group <group_address> [source <source_address>] **no ipv6 mld static-group <group_address> [source <source_address>]**	配置接口加入某个 IGMP 静态组或组源；本命令的 no 操作取消加入。

（2）配置 MLD 查询参数

1）配置 MLD 发送查询报文的时间间隔

2）配置 MLD 查询的最大响应时间

3）配置 MLD 查询的超时时间

命令	解释
接口配置模式	
ipv6 mld query-interval <*time_val*> **no ipv6 mld query-interval**	配置周期发送 MLD 查询消息的时间间隔；本命令的 no 操作恢复缺省值。
ipv6 mld query-max-response-time <*time_val*> **no ipv6 mld query-max-response-time**	配置接口对 MLD 查询的最大反应时间；本命令的 no 操作恢复缺省值。
ipv6 mld query-timeout <*time_val*> **no ipv6 mld query-timeout**	配置接口对 MLD 查询的超时时间；本命令的 no 操作恢复缺省值。

（3）配置 MLD 版本

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 mld version <*version*> **no ipv6 mld version**	配置接口上 **MLD** 版本；本命令的 no 操作恢复为缺省值。

3. 关闭 MLD 协议

命令	解释
接口配置模式	
no ipv6 pim dense-mode | no ipv6 pim sparse-mode | no ipv6 pim multicast-routing (全局配置模式)	关闭 MLD 协议。

14.8.6.3 MLD 典型案例

如下图，将SwitchA 和SwitchB 的以太网端口加入相应的VLAN，并在各VLAN接口上启动PIM6。

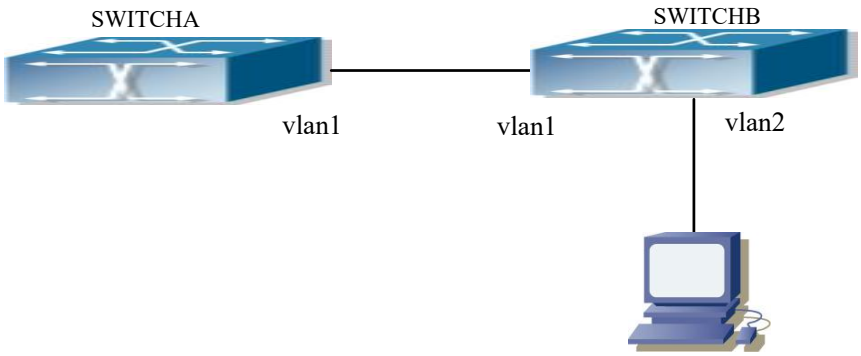


图 11-15 MLD 网络拓扑示意图

SwitchA 和 SwitchB 配置步骤如下：

(1) 配置 SwitchA：

```
Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing
Switch(config)#ipv6 pim rp-address 3FFE::1
Switch(config)#interface vlan 1
Switch(Config-If-Vlan1)#ipv6 address 3FFE::1/64
Switch(Config-If-Vlan1)#ipv6 pim sparse-mode
```

(2) 配置 SwitchB：

```
Switch(config)#ipv6 pim multicast-routing
Switch(config)#ipv6 pim rp-address 3FFE::1
Switch(config)#interface vlan1
Switch(Config-If-Vlan1)#ipv6 address 3FFE::2/64
Switch(Config-If-Vlan1)#ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan1)#exit
Switch(config)#interface vlan2
Switch(Config-If-Vlan2)#ipv6 address 3FFA::1/64
Switch(Config-If-Vlan2)#ipv6 pim sparse-mode
Switch(Config-If-Vlan2)#ipv6 mld query-timeout 150
```

14.8.6.4 MLD 排错帮助

在配置、使用 MLD 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 MLD 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show interface 命令）；
- 然后，确保在接口上启动一种组播协议；
- 注意保证同网段上各路由器定时器时间是一致的，通常我们建议您使用默认的设置；
- 组播协议需使用单播路由进行 RPF 检查，因此必须首先确保单播路由的正确性。

如果使用检查仍无法解决 MLD 的问题，那么请使用 debug ipv6 mld event/packet 等调试命令，然后将 3 分钟内的 DEBUG 信息拷贝下来，发送给本公司技术服务中心。

14.8.7 MLD Snooping

14.8.7.1 MLD Snooping 介绍

MLD（Multicast Listener Discovery）组播接听者发现协议，用于实现IPv6的组播。MLD被支持组播的网络设备（如路由器）用来进行组播接听者发现，也被想加入某组播组的接听者用来通知路由器接收某个组播地址的数据包，而这些都是通过MLD消息交换来完成的。

路由器首先利用一个可寻址到所有接听者的组播地址（即ff02::1）发送一条MLD组播接听者查询（Multicast listener Query）消息。若一个接听者希望加入某组播地址，它就利用该组播地址的地址回应一条MLD接听者报告（Multicast listener Report）消息。

MLD Snooping即MLD侦听。交换机通过MLD Snooping来限制组播流量的泛滥，只把组播流量转发给与组播设备相连的端口。交换机侦听组播路由器和接听者之间的MLD消息，根据侦听结果维护组播转发表，而交换机根据组播转发表来决定组播包的转发。

交换机实现了MLD Snooping功能，并且支持MLD v2，这样，用户可以用交换机实现IPv6组播。

14.8.7.2 MLD Snooping 配置任务

1.启动MLD Snooping功能

2.配置MLD Snooping

1.启动**MLD Snooping**功能

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 mld snooping **no ipv6 mld snooping**	启动全局MLD Snooping功能。no操作关闭全局MLD Snooping功能。

2.配置**MLD Snooping**

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*>**	启动指定VLAN的MLD Snooping功能。no操作关闭指定VLAN上的MLD Snooping。
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> limit {group <*g_limit*> | source <*s_limit*>} **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> limit**	设置MLD Snooping可加入组的个数和每个组中源个数的最大值。no操作恢复默认值。
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> l2-general-querier **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> l2-general-querier**	将该VLAN设为二层普通查询者，每一个网段推荐配置一个二层普通查询者。no操作取消二层普通查询者设置。
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> mrouter-port interface <*interface –name*> **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> mrouter-port interface <*interface –name*>**	设置指定VLAN内的静态mrouter端口。no操作取消mrouter端口设置。
ipv6 mld snooping vlan <vlan-id> mrouter-port flood **no ipv6 mld snooping vlan <vlan-id>**	使未知组播流量向mrouter口泛洪。no操作取消未知组播流量向mrouter口泛洪。

mrouter-port flood	
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> mrouter-port learnpim6 **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> mrouter-port learnpim6**	打开指定VLAN根据pimv6报文学习mrouter-port的功能；本命令的no操作为关闭指定VLAN根据pimv6报文学习mrouter-port的功能。
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> mrpt <*value*> **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> mrpt**	设置mrouter端口存活时间，no操作恢复默认值。
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> query-interval <*value*> **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> query-interval**	设置查询间隔，no操作恢复默认值。
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> immediate-leave **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> immediate-leave**	设置指定VLAN的MLD Snooping具有快速离开组播组功能，no操作取消immediate-leave设置。
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> query-mrsp <*value*> **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> query-mrsp**	设置查询的最大响应时间，no操作恢复默认值。
ipv6 mld snooping vlan <vlan-id> query-robustness <*value*> **no ipv6 mld snooping vlan <vlan-id> query-robustness**	设置查询鲁棒值，no操作恢复默认值。
ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> suppression-query-time <*value*> **no ipv6 mld snooping vlan <*vlan-id*> suppression-query-time**	设置抑制查询时间值，no操作恢复默认值。
ipv6 mld snooping vlan <vlan-id> static-group <X:X::X:X> [source <X:X::X:X>] interface [ethernet | port-channel] <IFNAME> **no ipv6 mld snooping vlan <vlan-id> static-group <X:X::X:X> [source <X:X::X:X>] interface [ethernet | port-channel] <IFNAME>**	设置静态组源，no 操作取消设置的静态组源

14.8.7.3 MLD Snooping 典型案例

案例1：MLD Snooping功能。

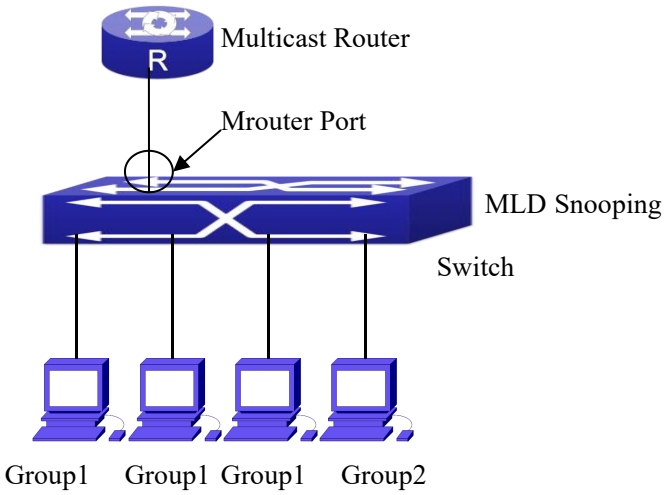


图 11-16 打开交换机 MLD Snooping 功能图

如图所示，switch上配置VLAN 100包含端口1、2、6、10、12。四台主机分别连在端口2、6、10、12上，组播路由器连在端口1上。假设我们需要在VLAN 100上配置MLD Snooping，缺省情况下，交换机的全局MLD Snooping功能和各VLAN上的MLD Snooping功能都不打开。因此，需要打开全局下的MLD Snooping功能，同时在VLAN 100上打开MLD Snooping，还需要设置VLAN 100的端口1为mrouter端口。

配置步骤如下：

switch#config

switch (config)#ipv6 mld snooping

switch (config)#ipv6 mld snooping vlan 100

switch (config)#ipv6 mld snooping vlan 100 mrouter-port interface ethernet 1/1/1

组播配置：

假设有两个组播服务器Multicast Server 1和Multicase Server 2，其中组播服务器1上提供节目1、节目2，组播服务器2上提供节目3，分别使用组地址Group1，Group2和Group 3。四台主机上同时运行组播应用软件，连在端口2、6上的两台主机播放节目1，连在端口10上的主机播放节目2，连在端口12上的主机播放节目3。

MLD Snooping侦听结果：

VLAN 100上MLD Snooping建立的组播表显示：其中端口1、2、6在（Multicasting Server 1， Group1）中，端口1、10在（Multicast Server 1, Group 2）中，端口1、12在（Multicast Server2, Group 3）中。

四台主机都能正常地收到自己感兴趣的节目，端口2、6不会收到节目2和节目3的流量，端口10不会收到节目1和节目3的流量，端口12不会收到节目1和节目2的流量。

案例2：MLD L2-general-querier

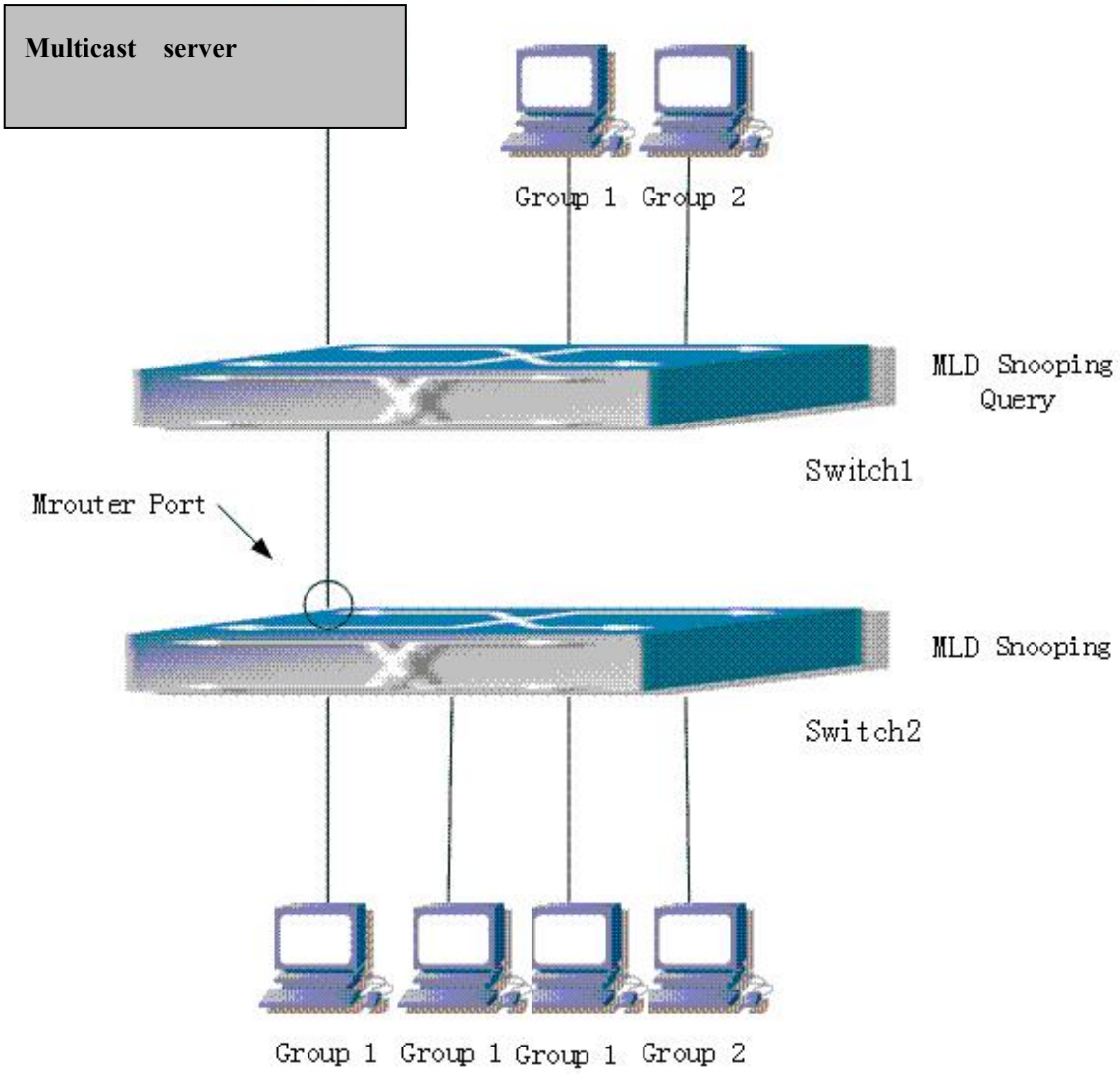


图 11-17 交换机作为 MLD Querier 功能图

switch B的配置与案例1中交换机相同，交换机switch 1取代案例1中的Multicast Router。假设其上配置VLAN 60包含端口1、2、10、12。端口1连接组播服务器，端口2连接switch2。为了定期发Query，需要打开全局下的MLD Snooping功能，同时需要执行mld snooping vlan 60 l2-general-querier，将VLAN 60设置成为二层普通查询者。

配置步骤如下：

switchA#config

switchA(config)#ipv6 mld snooping

switchA(config)#ipv6 mld snooping vlan 60

switchA(config)#ipv6 mld snooping vlan 60 l2-general-querier

switchB#config

switchB(config)#ipv6 mld snooping

switchB(config)#ipv6 mld snooping vlan 100

switchB(config)#ipv6 mld snooping vlan 100 mrouter interface ethernet 1/1/1

组播配置：

同案例1。

MLD Snooping侦听结果：

与案例1相似。

案例 3： 与三层组播协议混合运行

我们将案例 1 中的 SWITCH 替换为 ROUTER，配置与原 SWITCH 配置相同，组播配置与 MLD snooping 侦听结果与案例 1 相同。在 ROUTER 上全局启动 IPv6 三层组播(PIM-SM6)，同时在 VLAN 100 上启动 PIM SM6。(与上层组播路由器使用相同 PIM 模式)

配置步骤如下：

switch#config

switch(config)#ipv6 pim multicast-routing

switch(config)#interface vlan 100

swithc(config-if-vlan100)#ipv6 pim sparse-mode

此时由于存在三层组播协议，MLD Snooping 不再下发表项，只负责以下几件事情：

删除二层组播表项

向三层提供端口查询函数，参数为 VLAN，S，G

当三层 MLD 关闭时，重新下发二层组播表项

通过观察三层 IP6MC 表项，发现三层组播出入表项仍然可以精确到端口，保证了 MLD snooping 与三层组播协议的混合运行。

14.8.7.4 MLD Snooping 排错帮助

在配置、使用MLD Snooping功能时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致MLD Snooping未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 应该保证物理连接的正确无误
- 保证全局配置模式下MLD Snooping打开（使用ipv6 mld snooping）
- 保证全局配置模式下VLAN上配置MLD Snooping（使用ipv6 mld snooping vlan <vlan-id>）
- 确保同一网段内配置了一个VLAN作为二层普通查询者，或者确保配置了静态mrouter
- 使用**show ipv6 mld snooping vlan <vid>**命令查看MLD Snooping信息是否正确

14.9 IPv6 安全 RA

14.9.1 IPv6 安全 RA 简介

在 IPv6 网络中，一般的网络拓补结构是由路由器、二层交换机、IPv6 主机构成。通常路由器公告 RA，包括链路前缀、链路 MTU 等信息，IPv6 主机收到 RA 后，生成链路地址，并将默认路由指向发送 RA 的路由器，从而可以进行 IPv6 网络通信。如果恶意的 IPv6 主机发送 RA，使正常的 IPv6 用户将默认路由指向恶意的 IPv6 主机用户，那么就可截获别的用户信息，影响网络安全。同时正常的用户获得另外的地址，使自己无法链接网络。所以我们要实现安全 RA 功能，在交换机的端口通过命令配置拒绝接收恶意的 RA 报文，这样在一定程度上防止恶意 RA 的转发，可以避免影响网络的正常工作。

14.9.2 IPv6 安全 RA 配置任务序列

1．全局启动 IPv6 安全 RA
2．端口启动 IPv6 安全 RA
3．显示和调试 IPv6 安全 RA 相关信息

1．全局启动 IPv6 安全 RA

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 security-ra enable **no ipv6 security-ra enable**	全局模式启动和关闭 IPv6 安全 RA。

2．端口启动 IPv6 安全 RA

命令	解释
端口配置模式	
ipv6 security-ra enable **no ipv6 security-ra enable**	端口模式启动和关闭 IPv6 安全 RA。

3．显示和调试 IPv6 安全 RA 相关信息

命令	解释
特权配置模式	
debug ipv6 security-ra **no debug ipv6 security-ra**	打开 IPv6 安全 RA 模块的调试信息，本命令的 NO 操作关闭 IPv6 安全 RA 调试信息输出。
show ipv6 security-ra [interface ***<interface-list>*****]**	显示非信任端口和全局安全 RA 是否启动。

14.9.3 IPv6 安全 RA 典型案例

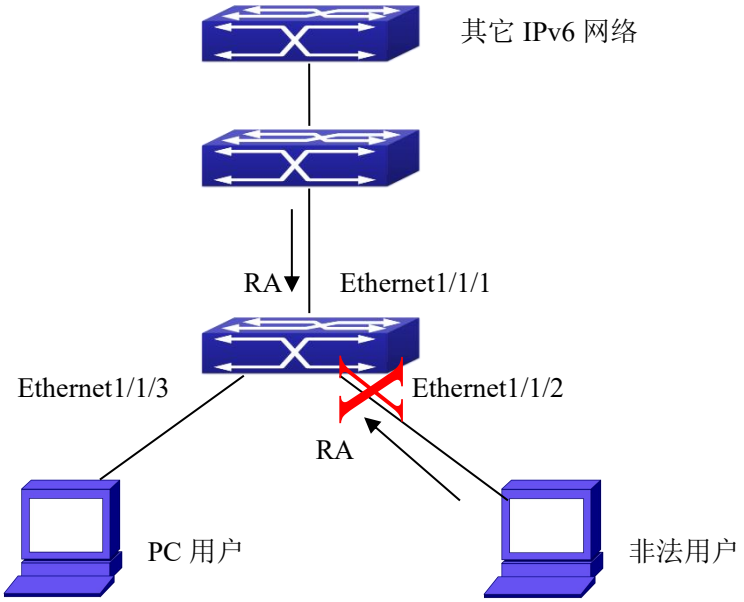


图 11-18 IPv6 安全 RA 案例示意图

说明：图中如果非法用户公告 RA，正常的 PC 用户将收到 RA，将默认路由指向恶意的 IPv6 主机用户，并改变自己的地址，自己将无法链接网络。我们要在交换机的 1/1/2 端口设置安全 RA，那么非法用户的 RA 报文将不会影响到正常的用户。

SWITCH 配置任务序列：

Switch#config

Switch(config)#ipv6 security-ra enable

Switch(Config-If-Ethernet1/1/2)#ipv6 security-ra enable

14.9.4 IPv6 安全 RA 排错帮助

IPv6 安全 RA 的功能非常简单，如果在配置 IPv6 安全 RA 后，发现功能与预期不符：

- 判断是否因为交换机是否正确配置。
- 判断是否因为交换机配置了与安全 RA 功能冲突的规则使 RA 报文转发。

14.10 SAVI

14.10.1 SAVI 介绍

SAVI(Source Address Validation Improvement)功能是一种提供节点源地址粒度级的安全验证方式，它通过监听相关协议报文(如 ND 协议，DHCPv6 协议)的交互过程，利用 CPS

(Control Packet Snooping)机制，提取节点可信任的信息(如端口，MAC 地址等信息)即锚信息，然后将节点源地址与锚信息进行绑定，并下发绑定信息对应的过滤规则，放行匹配过滤规则的报文，丢弃不匹配过滤规则的报文，从而达到对节点源地址合法性检测的目的。

按照协议报文类型，SAVI 功能主要包括：ND Snooping 功能，DHCPv6 Snooping 功能和 RA Snooping 功能；ND Snooping 功能主要探测 ND 协议报文，主要建立节点以无状态地址配置获取的 IPv6 地址的绑定；DHCPv6 Snooping 功能主要探测 DHCPv6 协议报文，主要建立节点以有状态地址自动配置过程获取的 IPv6 地址的绑定；RA Snooping 功能主要用于防止非法 节点冒充路由器发送伪造 RA 报文，以欺骗链路合法性节点的目的。

14.10.2 SAVI 配置

SAVI 的配置任务序列

1. 开启或关闭 SAVI 功能
2. 开启或关闭 SAVI 应用场景功能
3. 配置 SAVI 绑定功能
4. 配置 SAVI max-dad-delay 全局参数
5. 配置 SAVI max-dad-prepare-delay 全局参数
6. 配置 SAVI max-slaac-life 全局参数
7. 配置 SAVI 保护绑定的生存周期参数
8. 开启或关闭 SAVI 前缀检查功能
9. 配置链路 IPv6 地址前缀功能
10. 配置 IPv6 地址过滤表项数目参数
11. 配置 SAVI 冲突绑定检测模式
12. 开启或关闭端口用户验证功能
13. 开启或关闭端口 DHCPv6 报文信任功能
14. 开启或关闭端口 ND 报文信任功能
15. 配置绑定数目参数

1. 开启或关闭 SAVI 全局功能

命令	解释
全局配置模式	
savi enable **no savi enable**	打开全局 SAVI 功能；本命令的 no 操作为关闭全局 SAVI 功能。

2. 开启或关闭 SAVI 应用场景全局功能

命令	解释
全局配置模式	
savi ipv6 {dhcp-only | slaac-only | dhcp-slaac} enable **no savi ipv6 {dhcp-only | slaac-only | dhcp-slaac} enable**	使能 SAVI 应用场景功能；本命令的 no 操作为关闭 SAVI 应用场景功能。

3. 配置 SAVI 绑定功能

命令	解释
全局配置模式	
savi ipv6 check source binding ip <*ip-address*> mac <mac-address> interface <*if-name*> {type [slaac | dhcp] lifetime <*lifetime*> | type static} **no savi ipv6 check source binding ip <*ip-address*> interface <*if-name*>**	手工配置动态或静态绑定功能；本命令的 no 操作为删除手工配置的动态或静态绑定功能。该命令可在 savi enable，slaac-only enable， dhcp-only enable 和 dhcp-slaac enable 任何一个全局功能下进行配置。

4. 配置 SAVI max-dad-delay 全局参数

命令	解释
全局配置模式	
savi max-dad-delay <*max-dad-delay*> **no savi max-dad-delay**	配置 SAVI 绑定处于 DETECTION 状态最大生存周期，本命令 no 操作为恢复默认值。

5. 配置 SAVI max-dad-prepare-delay 全局参数

命令	解释
全局配置模式	
savi max-dad-prepare-delay <*max-dad-prepare-delay*> **no savi max-dad-prepare-delay**	配置 SAVI 绑定重新探测的最大生存周期，本命令 no 操作为恢复默认值。

6. 配置 SAVI max-slaac-life 全局参数

命令	解释
全局配置模式	
savi max-slaac-life <*max-slaac-life*> **no savi max-slaac-life**	配置 slaac 动态绑定处于 BOUND 状态的生存周期，no 命令为恢复默认值。

7. 配置 SAVI 保护绑定的生存周期参数

命令	解释
全局配置模式	
savi timeout bind-protect <*protect-time*> **no savi timeout bind-protect**	配置端口由 up 状态变成 down 状态后，对该端口绑定进行保护的生存周期；no 命令为恢复默认值。

8. 开启或关闭 SAVI 前缀检查功能

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 cps prefix check enable **no ipv6 cps prefix check enable**	使能 SAVI 地址前缀检查功能；本命令的 no 操作为关闭 SAVI 地址前缀检查功能。

9. 配置链路 IPv6 地址前缀功能

命令	解释
全局配置模式	
ipv6 cps prefix <*ip-address*> vlan <*vid*> **no ipv6 cps prefix <*ip-address*>**	手工配置一条 IPv6 地址链路前缀，本命令 no 操作为删除一条配置的 IPv6 地址链路前缀。

10. 配置 IPv6 地址过滤表项数目参数

命令	解释
全局配置模式	
savi ipv6 mac-binding-limit <*limit-num*> **no savi ipv6 mac-binding-limit**	配置同一 MAC 地址对应的 SAVI 动态绑定数目；no 操作为恢复默认值。注意：该配置绑定表项限制仅适用于动态绑定数目，而不限制静态绑定的数目。

11. 配置 SAVI 冲突绑定检测模式

命令	解释
全局配置模式	
savi check binding <*simple* | *probe*> mode **no savi check binding mode**	配置冲突绑定检查模式；no 命令为删除配置的冲突绑定的检查模式。

12. 开启或关闭端口用户验证功能

命令	解释
端口配置模式	
savi ipv6 check source [ip-address mac-address | ip-address | mac-address] **no savi ipv6 check source**	开启用户控制验证功能，本命令的 no 操作为关闭用户验证功能。

13. 开启或关闭端口 DHCPv6 报文信任功能

命令	解释
端口配置模式	
ipv6 dhcp snooping trust	开启端口 DHCPv6 报文信任功能，本命

no ipv6 dhcp snooping trust	令的 no 操作为关闭端口 DHCPv6 信任功能，端口由信任端口转变为非信任端口。

14. 开启或关闭端口 ND 报文信任功能

命令	解释
端口配置模式	
ipv6 nd snooping trust **no ipv6 nd snooping trust**	开启端口为 slaac turst 和 RA trust 功能，本命令的 no 操作为删除 slaac trust 和 RA trust 功能。

15. 配置绑定数目参数

命令	解释
端口配置模式	
savi ipv6 binding num <*limit-num*> **no savi ipv6 binding num**	配置端口的绑定数目，本命令的 no 操作为还原默认值。注意：该端口绑定数据限制仅包括动态绑定数目，不对静态绑定数目进行限制。

14.10.3 SAVI 典型应用

在实际工程应用中，SAVI 功能一般应用在接入层交换机中，对直连链路上的用户节点进行源地址合法性检测；SAVI 功能典型的应用场景主要有四种：DHCP-Only 场景、Slaac-Only 场景、DHCP-Slaac 场景和静态绑定场景。在具体的网络环境中，用户可根据实际需求选择对应的场景。在双栈网络中，SAVI 功能也可以和 IPv4 的 DHCP snooping 配合使用，同时实现 IPv4 和 IPv6 源地址验证。

SAVI 功能典型的应用网络拓扑环境

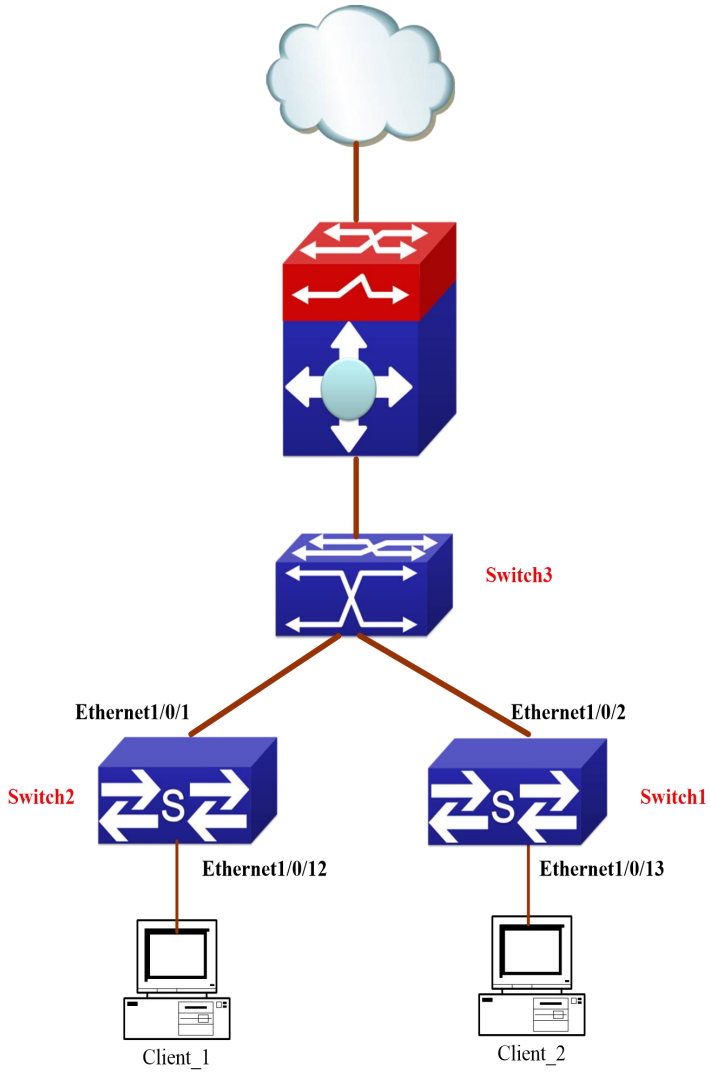


图 11-19 AVI 功能典型的应用网络拓扑环境

其中 Client_1 和 Client_2 代表两台不同用户的 PC 机，每台 PC 机都已安装 IPv6 协议，直连交换机 Swtich1 和 Swith2，直连端口分别为 Ethernet1/1/12，Ethernet1/1/13，并开启 SAVI 的源地址检查功能。Swtich1 和 Swith2 上联端口分别为 Ethernet1/1/1，Ethernet1/1/2，并开启 DHCP 报文信任和 ND 报文信任功能。汇聚交换机 Switch3 开启 DHCPv6 服务器功能和路由公告功能。

SAVI DHCP-SLAAC 组合场景配置步骤：

Switch1>enable

Switch1#config

Switch1(config)#savi enable

Switch1(config)#savi ipv6 dhcp-slaac enable

Switch1(config)#savi check binding probe mode

Switch1(config)#interface ethernet1/1/1

Switch1(config-if-ethernet1/1/1)#ipv6 dhcp snooping trust

```
Switch1(config-if-ethernet1/1/1)#ipv6 nd snooping trust
Switch1(config-if-ethernet1/1/1)#exit
Switch1(config)#interface ethernet1/1/12-20
Switch1(config-if-port-range)#savi ipv6 check source ip-address mac-address
Switch1(config-if-port-range)#savi ipv6 binding num 4
Switch1(config-if-port-range)#exit
Switch1(config)#exit
Switch1#write
```

14.10.4 SAVI 排错帮助

在确保 SAVI 客户机硬件、线缆等没有问题的前提下，检查可能存在的情况和建议的解决方法：

- 若交换机开启 SAVI 功能后，没有正确的过滤 IPv6 报文，首先检查交换机上 SAVI 全局功能是否已开启，若没有开启，首先开启 SAVI 全局功能；然后根据实际的应用场景，启用对应的 SAVI 场景全局功能，并同时开启端口验证功能；
- 若交换机开启 SAVI 功能后，客户端无法正确的获取上联 DHCPv6 服务器的分配的 IPv6 地址，首先检查开启交换机上联 DHCPv6 服务器的接口是否配置 DHCP 端口信任功能，若没有启用，启用 DHCP 端口信任功能；
- 若交换机开启 SAVI 功能后，无法建立新增用户节点的绑定，首先检查用户直连交换机端口是否配置端口绑定数目限制功能，是否绑定数目已达到最大值；若已超过端口最大绑定数目限制，建议配置较大的端口绑定数目限制；
- 若配置较大端口绑定数目限制后，仍无法建立新增用户节点的绑定，则应检查用户直连交换机端口是否配置同一 MAC 地址对应绑定数目限制功能，同一 MAC 地址对应的绑定数目是否已达到最大值；若已超过最大绑定数目限制，建议配置较大的绑定数目限制。

14.11 IPv6 VRRPv3

14.11.1 VRRPv3 简介

VRRPv3 是针对 IPv6 的虚拟路由冗余协议，它是基于 IPv4 环境下的 VRRP(VRRPv2)来设计的，下面对其进行简要介绍。

在基于 TCP/IP 协议的网络中，为了保证不直接物理连接的设备之间的通信，必须指定路由。目前常用的指定路由的方法有两种：一种是通过路由协议（比如：内部路由协议 RIP 和 OSPF）动态学习；另一种是静态配置。在每一个终端都运行动态路由协议是不现实的，大多客户端操作系统平台都不支持动态路由协议，即使支持也受到管理开销、收敛度、安全性等许多问题的限制。因此普遍采用对终端 IP 设备静态路由配置，一般是给终端设备指定一个或者多个默认网关(Default Gateway)。静态路由的方法简化了网络管理的复杂度和减轻了终端设备的通信开销，但是它仍然有一个缺点：如果作为默认网关的路由器损坏，所有使

用该网关为下一跳主机的通信必然要中断。即便配置了多个默认网关，如不重新启动终端设备，也不能切换到新的网关。采用虚拟路由冗余协议 (VRRP)可以很好的避免静态指定网关的缺陷。

在 VRRP 协议中，有两组重要的概念：VRRP 路由器和虚拟路由器，主控路由器(Master)和备份路由器(Backup)。VRRP 路由器是指运行 VRRP 的路由器，是物理实体；虚拟路由器是指 VRRP 协议创建的，是逻辑概念。一组 VRRP 路由器协同工作，共同构成一台虚拟路由器。该虚拟路由器对外表现为一个具有唯一固定 IP 地址和 MAC 地址的逻辑路由器。处于同一个 VRRP 组中的路由器具有两种互斥的角色：主控路由器和备份路由器，一个 VRRP 组中有且只有一台处于主控角色的路由器，可以有一个或者多个处于备份角色的路由器。VRRPv3 协议使用选择策略从路由器组中选出一台作为主控，负责 ND(Neighbor Discovery, 邻居发现)邻居请求消息(IPv4 为 ARP)回应和转发 IP 数据包，组中的其它路由器作为备份的角色处于待命状态。当由于某种原因主控路由器发生故障时，备份路由器能在几秒钟的时延后升级为主路由器。由于此切换非常迅速而且不用改变 IP 地址和 MAC 地址，故对终端使用者系统是透明的。

在 IPv6 环境下，局域网中的主机通常通过邻居发现协议(NDP)而学习到默认网关，这是基于定期接收路由器通告消息来实现的。IPv6 的邻居发现协议中存在一种叫做邻居不可达性检测(Neighbor Unreachability Detection)的机制，该机制通过向邻居节点发送单播的邻居请求消息来检测邻居节点是否失败。为了降低发送邻居请求消息的开销，邻居请求消息只被发送到那些正在发送流量的邻居节点，并且是在一段时间内没有路由器 UP 状态的指示以后才发送的。在邻居不可达性检测机制中，如果采用默认参数，需要花费大约 38 秒才能检测到某个路由器不可达，这种延迟对用户来说非常可观，并且可能引起某些传输协议超时。与 NDP 相比，VRRP 提供了快速的默认网关切换。在 VRRP 中，备份路由器能够在大约 3 秒(默认参数)的时间内接管失效的主控路由器，并且该过程不需要与主机进行任何交互，即对主机是透明的。

14.11.1.1 VRRPv3 报文结构

VRRPv3 具有自己的报文格式，VRRP 报文用来在备份组内交流路由器的优先级和 Master 的状态，VRRPv3 报文是封装在 IPv6 报文中来发送的，它们被发送到指定的 IPv6 组播地址。VRRPv3 的报文格式如图 1 所示。其中封装 VRRPv3 报文的 IPv6 报文中的源地址为报文出接口的 IPv6 链路本地地址，目的地址为 IPv6 组播地址(分配给 VRRPv3 的组播地址为 FF02:0:0:0:0:0:0:12)，跳数限制必须为 255，下一报头为 112(表示 VRRP 报文)。

VRRPv3 报文的各个域所代表的含义如下：

Version：VRRPv3 版本，值为 3；

Type：VRRP 报文类型，只有一种类型 ADVERTISEMENT，值为 1；

Virtual Rtr ID：虚拟路由器 ID；

Priority：优先级，取值范围为 0~255；

Count IPv6 Addr：VRRPv3 报文中包含的 IPv6 地址个数，最小值为 1；

Rsvd：保留域，值为 0；

Adver Int：VRRPv3 报文通告时间间隔，单位为厘秒；

Checksum：校验和，计算范围为整个 VRRPv3 报文和一个 IPv6 伪头(具体请参考 RFC2460)；

IPv6 Address(es)：一个或多个关联于虚拟路由器的 IPv6 地址，地址个数和“Count IPv6 Addr”相同，其中第一个地址必须为虚拟路由器的虚拟 IPv6 地址。

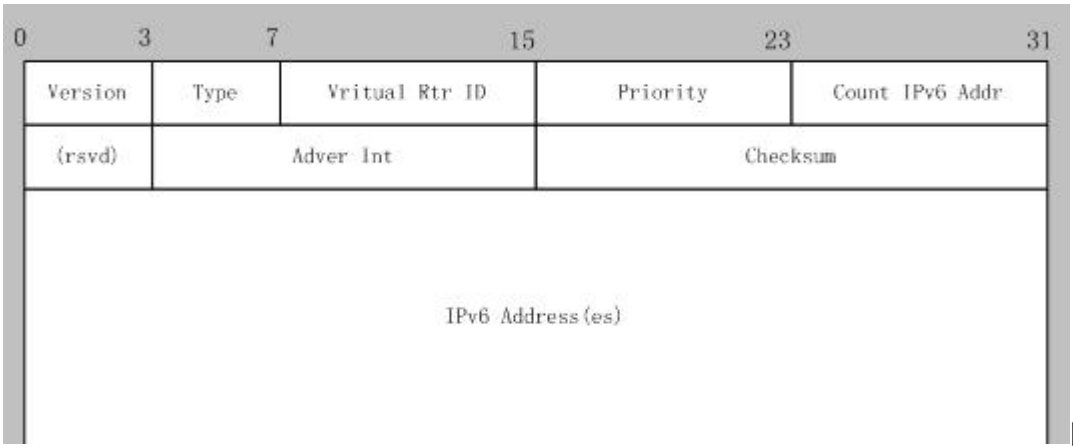


图 11-20 VRRPv3 报文

14.11.1.2 VRRPv3 工作原理

VRRPv3 的工作原理和 VRRPv2 的工作原理基本相同，主要是通过 VRRP 通告报文的交互来进行的，现简要描述如下。

一个 VRRP 路由器有唯一的标识：VRID，范围为 1-255。该路由器对外表现为唯一的虚拟 MAC 地址，VRRPv3 的虚拟 MAC 地址的格式为 00-00-5E-00-02-{VRID}(VRRPv2 的虚拟 MAC 地址格式为 00-00-5E-00-01-{VRID})。主控路由器负责对 ND 邻居请求(VRRPv2 为 ARP 请求)用该 MAC 地址做应答。这样，无论如何切换，保证给终端设备的是唯一一致的 IP 和 MAC 地址，减少了切换对终端设备的影响。

VRRP 控制报文只有一种：VRRP 通告(advertisement)。它使用 IP 组播数据包进行封装，组地址格式为 FF02:0:0:0:0:0:XXXX:XXXX。为了保持与 VRRPv2 中组地址(224.0.0.18)的一致性，VRRPv3 通告报文所使用的组播地址可以为 FF02:0:0:0:0:0:0:12，发布范围只限于同一局域网内。这保证了 VRID 在不同网络中可以重复使用。为了减少网络带宽消耗，只有主控路由器才可以周期性的发送 VRRP 通告报文。备份路由器在连续 3 个通告间隔内收不到 VRRP 通告或收到优先级为 0 的通告后启动新一轮的 VRRP 选举。

在 VRRP 路由器组中，按优先级选举主控路由器，VRRP 协议中优先级范围是 0-255。若 VRRP 路由器的 IP 地址和虚拟路由器的接口 IP 地址相同，则称该虚拟路由器作 VRRP 组中的 IP 地址所有者；IP 地址所有者自动具有最高优先级：255。优先级 0 一般用在 IP 地址所有者主动放弃主控者角色时使用。可配置的优先级范围为 1-254。优先级的配置原则可以依据链路的速度和成本、路由器性能和可靠性以及其它管理策略设定。主控路由器的选举中，高优先级的虚拟路由器获胜，因此，如果在 VRRP 组中有 IP 地址所有者，则它总是作为主控路由的角色出现。对于相同优先级的候选路由器，按照 IP 地址大小顺序选举(地址大者优先)。VRRP 还提供了优先级抢占策略，如果配置了该策略，高优先级的备份路由器便会剥夺当前低优先级的主控路由器而成为新的主控路由器。

为了避免 Ping 虚拟 IP 时返回物理 MAC 地址的错误，这里规定虚拟 IP 不能为接口的真实 IP。这样，所有参与备份组选举的接口默认都是 Backup。

14.11.2 VRRPv3 配置

14.11.2.1 配置任务序列

10. 创建/删除虚拟路由器（必须）
11. 配置 VRRPv3 的虚拟 IPv6 地址和接口（必须）
12. 启动/关闭虚拟路由器（必须）
13. 配置 VRRPv3 辅助参数（可选）

（1）配置 VRRPv3 抢占模式

（2）配置 VRRPv3 优先级

（3）配置 VRRPv3 通告时间间隔

（4）配置 VRRPv3 的监控接口

1. 创建/删除虚拟路由器

命令	解释
全局配置模式	
router ipv6 vrrp <*vrid*> **no router ipv6 vrrp <*vrid*>**	创建/删除 VRRPv3 虚拟路由器。

2.配置 VRRPv3 虚拟 IPv6 地址和接口

命令	解释
VRRPv3 协议配置模式	
virtual-ipv6 <*ipv6-address*> Interface {Vlan <*ID*> | *IFNAME* } **no virtual-ipv6 interface**	配置 VRRPv3 虚拟 IPv6 地址和接口，no 命令删除虚拟 IPv6 地址和接口。

3. 启动/关闭虚拟路由器

命令	解释
VRRPv3 协议配置模式	
enable	启动该虚拟路由器。
disable	关闭该虚拟路由器。

4. 配置 VRRPv3 辅助参数

（1）配置 VRRPv3 抢占模式

命令	解释
VRRPv3 协议配置模式	
preempt-mode {true| false}	配置 VRRPv3 的抢占模式。

（2）配置 VRRPv3 优先级

命令	解释

VRRPv3 协议配置模式	
priority < ***priority*** **>**	配置 VRRPv3 优先级。

（3）配置 VRRPv3 通告时间间隔

命令	解释
VRRPv3 协议配置模式	
advertisement-interval <time>	配置 VRRPv3 通告时间间隔(单位为厘秒)。

（4）配置 VRRPv3 的监控接口

命令	解释
VRRPv3 协议配置模式	
circuit-failover {vlan <*ID*>| *IFNAME*} <*value_reduced*> **no circuit-failover**	配置 VRRPv3 的监控接口，no 命令删除监控接口。

14.11.3 VRRPv3 典型案例

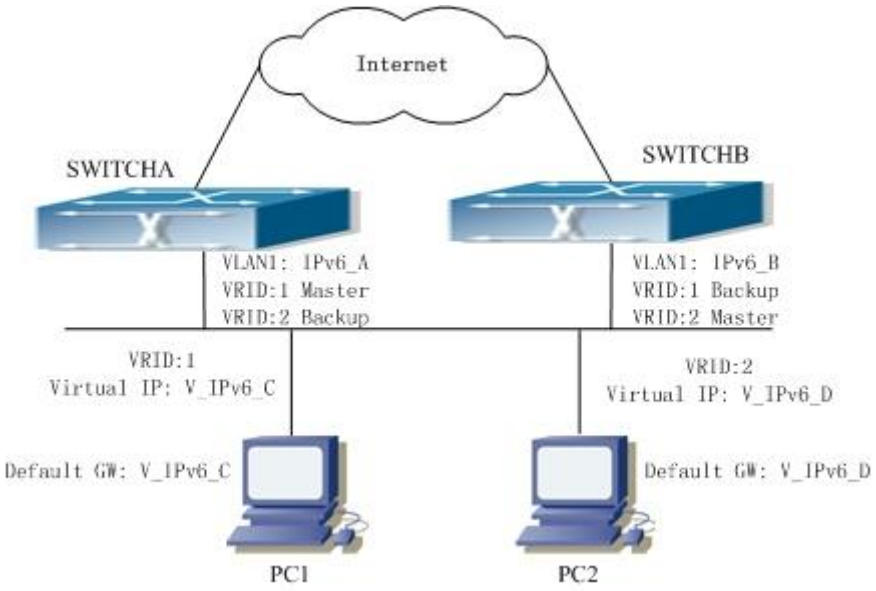


图 11-21 VRRPv3 **典型网络拓扑**

如图所示，其中交换机 A 和交换机 B 互为备份，交换机 A 为备份组 1 的 Master，同时是备份组 2 的 Backup，交换机 B 为备份组 2 的 Master，同时是备份组 1 的 Backup。交换机 A 和交换机 B 的 VLAN1 接口 IPv6 地址分别为“IPv6_A”和“IPv6_B”(IPv6_A 和 IPv6_B 建议为同一个网段)，备份组 1 和备份组 2 的虚拟 IPv6 地址分别为“V_IPv6_C”和“V_IPv6_D”，主机 1 和主机 2 的缺省 IPv6 网关地址分别配置为“V_IPv6_C”和“V_IPv6_D”(在实际应用当中，主机的 IPv6 网关地址通常是通过路由公告而自动学习到的，这样主机的 IPv6 下一跳地址就具有一定的随机性)。这样不仅实现了路由备份，还具有局域网内的流量分担功能。

SwitchA 的配置：

SwitchA(config)#interface vlan 1

```
SwitchA(config)#router ipv6 vrrp 1
SwitchA(config-router)#virtual-ipv6 fe80::2 interface vlan 1
SwitchA(config-router)#priority 150
SwitchA(config-router)#enable
SwitchA(config)#router ipv6 vrrp 2
SwitchA(config-router)#virtual-ipv6 fe80::3 interface vlan 1
SwitchA(config-router)#enable
```

SwitchB 的配置：

```
SwitchB(config)#interface vlan 1
SwitchB(config)#router ipv6 vrrp 2
SwitchB(config-router)#virtual-ipv6 fe80::3 interface vlan 1
SwitchB(config-router)#priority 150
SwitchB(config-router)#enable
SwitchB(config)#router ipv6 vrrp 1
SwitchB(config-router)#virtual-ipv6 fe80::2 interface vlan 1
SwitchB(config-router)#enable
```

14.11.4 VRRPv3 排错帮助

在配置、使用 VRRPv3 协议时，可能会由于物理连接、配置错误等原因导致 VRRPv3 协议未能正常运行。因此，用户应注意以下要点：

- 首先应该保证物理连接的正确无误；
- 其次，保证接口和链路协议是 UP（使用 show ipv6 interface 命令）；
- 然后，确保开启了 IPv6 转发功能(使用 ipv6 enable 命令)；
- 另外，确保在接口上已启动了 VRRPv3 协议；
- 检查同一备份组内的不同路由器（或三层以太网交换机）配置的 timer 时间是否相同；
- 检查同一备份组内的虚拟 IPv6 地址是否相同。