华为认证系列教程

HCIP-Datacom-Core Technology

数据通信高级工程师

实验手册

版本:1.0

华为技术有限公司

商标声明

 和其他华为商标均为华为技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受华为公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，华为公司对本文档内容不做任何明示或暗示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

华为技术有限公司

地址： 深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼 邮编：518129

网址： http://e.huawei.com

华为认证体系介绍

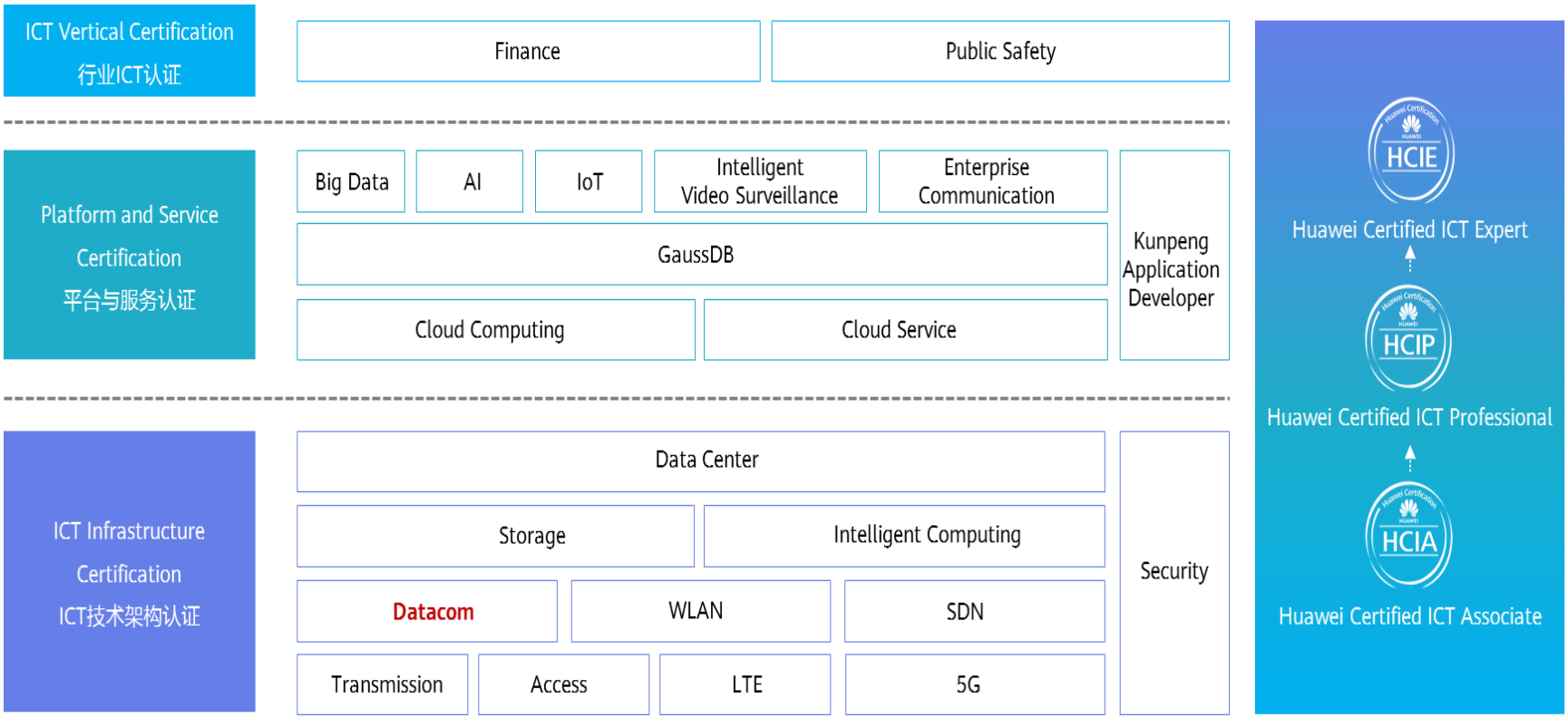
华为认证是华为公司基于“平台+生态”战略，围绕“云-管-端”协同的新ICT技术架构，打造的ICT技术架构认证、平台与服务认证、行业ICT认证三类认证，是业界唯一覆盖ICT（Information and Communications Technology 信息通信技术）全技术领域的认证体系。

根据ICT从业者的学习和进阶需求，华为认证分为工程师级别、高级工程师级别和专家级别三个认证等级。华为认证覆盖ICT全领域，符合ICT融合的技术趋势，致力于提供领先的人才培养体系和认证标准，培养数字化时代新型ICT人才，构建良性ICT人才生态。

HCIP-Datacom-Core Technology（Huawei Certified ICT Professional-Datacom-Core Technology ，华为认证网络通信工程师数据通信方向）主要面向华为公司办事处、代表处一线工程师，以及其他希望学习华为数通产品技术人士。HCIP-Datacom-Core Technology认证在内容上涵盖路由进阶、以太网交换进阶、大型WLAN组网、组播技术、IPv6技术、网络安全、网络可靠性、网络服务与管理、企业网络解决方案。

华为认证协助您打开行业之窗，开启改变之门，屹立在数通领域的潮头浪尖！

Huawei Certification



前 言

简介

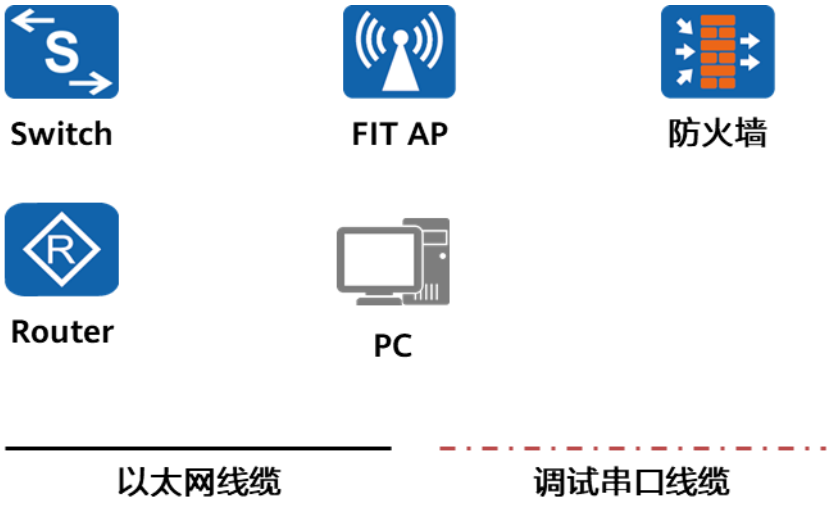
本书为 HCIP-Datacom-Core Technology 认证培训教程，适用于准备参加 HCIP-Datacom-Core Technology 考试的学员，或者希望了解路由进阶、以太网交换进阶、大型 WLAN 组网、组播技术、IPv6 技术、网络安全、网络可靠性、网络服务与管理等相关技术的读者。

读者知识背景

本课程为华为认证进阶课程，为了更好地掌握本书内容，阅读本书的读者应首先具备以下基本条件：

1. 具有基本的计算机操作能力
2. 参加过 HCIA-Datacom 培训
3. 通过 HCIA-Datacom 考试
4. 熟悉 TCP/IP 协议栈工作原理
5. 熟悉以太网交换机、路由器基本工作原理

本书常用图标



推荐实验环境

组网说明

本实验环境面向准备 HCIP-Datacom-Core Technology 考试的数通网络工程师。每套实验环境包括交换机 3 台（不支持 PoE），PoE 交换机 2 台，无线接入点（AP）2 台，路由器 5 台，防火墙 1 台。

设备介绍

为了满足 HCIP-Datacom-Core Technology 实验需要，建议每套实验环境采用以下配置：

设备名称、型号与版本的对应关系如下：

设备名称	设备型号	软件版本
交换机	CloudEngine S5731-H24T4XC	V200R020C10 或以上版本
PoE交换机	CloudEngine S5731-H24P4XC	V200R020C10 或以上版本
无线接入点	AirEngine 5761-11	V200R020C10 或以上版本
路由器	NetEngine AR6121E	V300R019 及以上版本
防火墙	USG6307E	V500R001C50 及以上版本

注：本书所有设备的端口信息、显示信息以及配置信息等全部按照推荐拓扑中的设备给出，不同的实验环境可能有所区别，学员需要自行去区别。

目录

1 OSPF 基础实验

1.1 OSPF 单区域

1.1.1 实验介绍

1.1.1.1 学习目标

- 实现单区域 OSPF 的配置
- 实现 OSPF 区域认证的配置
- 描述 OSPF 在多路访问网络中邻居关系建立的过程
- 实现对 OSPF 接口代价值进行修改
- 阐明 OSPF 中 Silent-interface 的配置方法
- 实现通过 **display** 命令查看 OSPF 各种状态

1.1.1.2 实验组网介绍

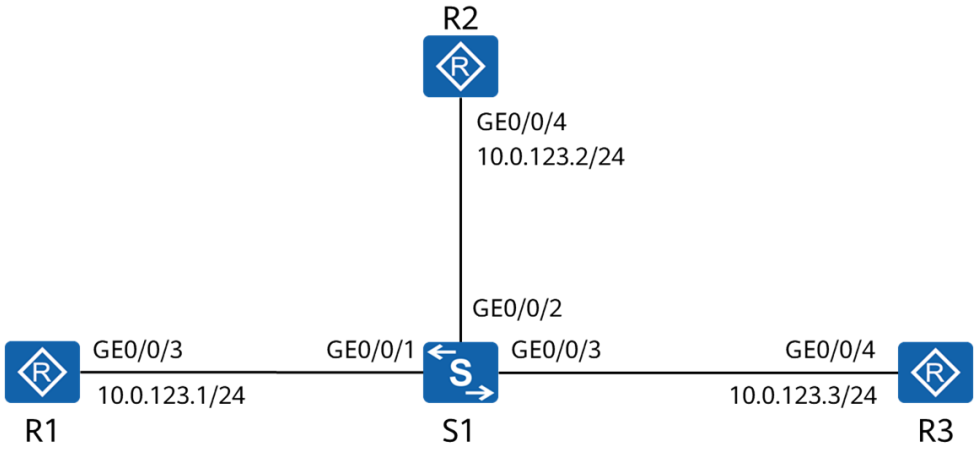


图1-1 OSPF 单区域

R1、R2、R3 之间通过交换机 S1 相连，其接口、IP 地址如图所示。R1、R2、R3 上均创建 Loopback0，IP 地址为 10.0.x.x/24，其中 x 为设备编号。

R1、R2、R3 所有接口都属于区域 0，在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。

1.1.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。现在公司的网络中有三台 AR 路由器，通过以太网实现相互的连通。在以太网这样的广播式多路访问网络上，可能存在安全隐患，所有你选择采用 OSPF 区域认证的方法来避免恶意的路由攻击。

1.1.2 实验任务

1.1.2.1 任务思路

1. 设备 IP 地址配置。
2. 在 R1、R2、R3 上配置 OSPF，手动指定 Router ID，并在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。
3. 配置完成后，在 R1、R2、R3 上检查 OSPF 邻居关系状态、OSPF 路由表，并检查 R1、R2、R3 环回口之间的连通性。
4. 手动关闭 R1、R2、R3 的互联接口，开启 debug 以观察 OSPF 邻居关系的建立过程，再同时开启互联接口，观察设备的 debug 输出。
5. 手动修改 R2 Loopback0 接口的网络类型，观察 OSPF 路由的掩码长度变化。
6. 手动修改 OSPF 接口的 Cost 值。
7. 分别将互联接口、Loopback0 接口配置为 OSPF Silent-Interface，观察现象的区别。

1.1.2.2 任务步骤

步骤 1　互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 GE0/0/3 接口、环回口 IP 地址

```
<R1>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[R1]interface GigabitEthernet 0/0/3
[R1-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.123.1 24
[R1-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R1]interface LoopBack 0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 24
[R1-LoopBack0] quit
```

#配置 R2 GE0/0/4 接口、环回口 IP 地址

```
<R2>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
```

```
[R2]interface GigabitEthernet 0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/4] ip address 10.0.123.2 24
[R2-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R2]interface LoopBack 0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 24
[R2-LoopBack0] quit
```

#配置 R3 GE0/0/4 接口、环回口 IP 地址

```
<R3>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[R3]interface GigabitEthernet 0/0/4
[R3-GigabitEthernet0/0/4] ip address 10.0.123.3 24
[R3-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R3]interface LoopBack 0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 24
[R3-LoopBack0] quit
```

#在 R1 上验证连通性

```
<R1>ping -c 1 10.0.123.2
  PING 10.0.123.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=2 ms

  --- 10.0.123.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 2/2/2 ms
<R1>ping -c 1 10.0.123.3
  PING 10.0.123.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=2 ms

  --- 10.0.123.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
round-trip min/avg/max = 2/2/2 ms
```

步骤 2 配置单区域 OSPF

#配置 R1、R2、R3 的 OSPF Router ID 为 Loopback0 接口地址，OSPF 进程号为 1

```
[R1]ospf 1 router-id 10.0.1.1
```

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
```

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
```

#在 R1、R2、R3 的互联接口、Loopback0 接口激活 OSPF

```
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1]area 0
```

```
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.123.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.1.1 0.0.0.0
```

```
[R2]ospf 1
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.123.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
```

```
[R3]ospf 1
[R3-ospf-1]area 0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.123.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
```

#为保证安全性，配置 OSPF 的区域认证，使用明文方式，密码配置为“huawei”

```
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1]area 0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] authentication-mode simple plain huawei
```

```
[R2]ospf 1
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] authentication-mode simple plain huawei
```

```
[R3]ospf 1
[R3-ospf-1]area 0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] authentication-mode simple plain huawei
```

步骤 3 检查 OSPF 配置结果

#检查 R1、R2、R3 上的 OSPF 邻居信息

```
<R1>display ospf peer

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
  Neighbors

Area 0.0.0.0 interface 10.0.123.1(GigabitEthernet0/0/3)'s neighbors
Router ID: 10.0.2.2             Address: 10.0.123.2
  State: Full  Mode:Nbr is  Master  Priority: 1
  DR: 10.0.123.1  BDR: 10.0.123.2  MTU: 0
  Dead timer due in 39  sec
  Retrans timer interval: 5
  Neighbor is up for 00:24:56
  Authentication Sequence: [ 0 ]

Router ID: 10.0.3.3             Address: 10.0.123.3
  State: Full  Mode:Nbr is  Slave  Priority: 1
  DR: 10.0.123.1  BDR: 10.0.123.2  MTU: 0
  Dead timer due in 38  sec
  Retrans timer interval: 5
  Neighbor is up for 00:24:32
```

```
    Authentication Sequence: [ 0 ]
```

从输出结果可知 R1 和 R2、R3 之间已经成功建立 OSPF 邻居关系。

```
<R2>display ospf peer

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
  Neighbors

Area 0.0.0.0 interface 10.0.123.2(GigabitEthernet0/0/4)'s neighbors
Router ID: 10.0.1.1             Address: 10.0.123.1
   State: Full   Mode:Nbr is   Slave   Priority: 1
   DR: 10.0.123.1   BDR: 10.0.123.2   MTU: 0
   Dead timer due in 34   sec
   Retrans timer interval: 0
   Neighbor is up for 00:27:10
   Authentication Sequence: [ 0 ]

Router ID: 10.0.3.3             Address: 10.0.123.3
   State: Full   Mode:Nbr is   Slave   Priority: 1
   DR: 10.0.123.1   BDR: 10.0.123.2   MTU: 0
   Dead timer due in 36   sec
   Retrans timer interval: 5
   Neighbor is up for 00:26:50
   Authentication Sequence: [ 0 ]
```

从输出结果可知 R2 和 R1、R3 之间已经成功建立 OSPF 邻居关系。

```
<R3>display ospf peer

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
  Neighbors

Area 0.0.0.0 interface 10.0.123.3(GigabitEthernet0/0/4)'s neighbors
Router ID: 10.0.1.1             Address: 10.0.123.1
   State: Full   Mode:Nbr is   Master   Priority: 1
   DR: 10.0.123.1   BDR: 10.0.123.2   MTU: 0
   Dead timer due in 31   sec
   Retrans timer interval: 0
   Neighbor is up for 00:28:06
   Authentication Sequence: [ 0 ]

Router ID: 10.0.2.2             Address: 10.0.123.2
   State: Full   Mode:Nbr is   Master   Priority: 1
   DR: 10.0.123.1   BDR: 10.0.123.2   MTU: 0
   Dead timer due in 34   sec
   Retrans timer interval: 5
   Neighbor is up for 00:28:09
   Authentication Sequence: [ 0 ]
```

从输出结果可知 R3 和 R1、R2 之间已经成功建立 OSPF 邻居关系。

#检查 R1、R2、R3 的 OSPF 路由表

```
[R1]display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
 10.0.1.1/32          0      Stub         10.0.1.1        10.0.1.1          0.0.0.0
 10.0.123.0/24        1      Transit      10.0.123.1      10.0.1.1          0.0.0.0
 10.0.2.2/32          1      Stub         10.0.123.2      10.0.2.2          0.0.0.0
 10.0.3.3/32          1      Stub         10.0.123.3      10.0.3.3          0.0.0.0

 Total Nets: 4
 Intra Area: 4   Inter Area: 0   ASE: 0   NSSA: 0
```

从输出结果可知 R1 已经成功学习到 R2、R3 的 Loopback0 接口路由。

```
[R2]display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
 10.0.2.2/32          0      Stub         10.0.2.2        10.0.2.2          0.0.0.0
 10.0.123.0/24        1      Transit      10.0.123.2      10.0.2.2          0.0.0.0
 10.0.1.1/32          1      Stub         10.0.123.1      10.0.1.1          0.0.0.0
 10.0.3.3/32          1      Stub         10.0.123.3      10.0.3.3          0.0.0.0

 Total Nets: 4
 Intra Area: 4   Inter Area: 0   ASE: 0   NSSA: 0
```

从输出结果可知 R2 已经成功学习到 R1、R3 的 Loopback0 接口路由。

```
[R3]display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 3.3.3.3
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
 10.0.3.3/32          0      Stub         10.0.3.3        10.0.3.3          0.0.0.0
 10.0.123.0/24        1      Transit      10.0.123.3      10.0.3.3          0.0.0.0
 10.0.1.1/32          1      Stub         10.0.123.1      10.0.1.1          0.0.0.0
 10.0.2.2/32          1      Stub         10.0.123.2      10.0.2.2          0.0.0.0

 Total Nets: 4
 Intra Area: 4   Inter Area: 0   ASE: 0   NSSA: 0
```

从输出结果可知 R3 已经成功学习到 R1、R2 的 Loopback0 接口路由。

#检查环回口之间的连通性

```
<R1>ping -c 1 -a 10.0.1.1 10.0.2.2
```

```
  PING 10.0.2.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.2.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.2.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms

<R1>ping -c 1 -a 10.0.1.1 10.0.3.3
  PING 10.0.3.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.3.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=60 ms

  --- 10.0.3.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 60/60/60 ms
```

R1 上以 Loopback0 接口地址为源测试与 R2、R3 的 Loopback0 接口之间的连通性。

#在 R1 上查看 OSPF LSDB

```
<R1>displayospflsdb

 OSPFProcess1 withRouter ID 10.0.1.1
  LinkState Database

            Area: 0.0.0.0
Type      LinkState ID    AdvRouter       Age  Len      Sequence    Metric
Router    10.0.3.3        10.0.3.3        468  48       80000005    0
Router    10.0.2.2        10.0.2.2        472  48       8000000B    0
Router    10.0.1.1        10.0.1.1        467  48       8000000D    0
Network   10.0.123.1       10.0.1.1        467  36       80000008    0
```

在这里一共可以看到 4 条 LSA，前 3 条为 Type-1 LSA，分别由 R1、R2 和 R3 产生，可以通过 AdvRouter 判断该 LSA 是由哪台路由器生成的。第四条为 Type-2 LSA，是由一个网段的 DR 产生的。在这里，R1 是 10.0.123.0/24 这个网段的 DR，所以该 Type-2 LSA 的 AdvRouter 为 10.0.1.1。

#查看 R1 产生的 Type-1 LSA

```
[R1]display ospf lsdb router self-originate

          OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
                      Area: 0.0.0.0
                Link State Database

  Type   : Router
  Ls id        : 10.0.1.1
  Adv rtr : 10.0.1.1
  Ls age   : 430
  Len   : 48
  Options :  E
```

```
  seq#  : 80000009
  chksum   : 0x8188
  Link count: 2
   * Link ID: 10.0.1.1
     Data     : 255.255.255.255
     Link Type: StubNet
     Metric : 0
     Priority : Medium
   * Link ID  : 10.0.123.1
     Data: 10.0.123.1
     Link Type: TransNet
     Metric  : 1
```

从输出中可以看到这条 LSA 一共描述了 2 个 Link，第一个 Link 描述了 Loopback 接口所在网段，Link Type 为 StubNet，Link ID 和 Data 分别是该 Stub 网段的 IP 地址和掩码。第二个 Link 描述了三台路由器的互联网段，Link Type 为 TransNet，可以看到 Link ID 为 DR 的接口地址：10.0.123.1，Data 为该网段上本地接口的 IP 地址：10.0.123.1。

#查看 R1 产生的 Type-2 LSA

```
[R1]display ospf lsdb network self-originate

            OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
                        Area: 0.0.0.0
                  Link State Database

  Type   : Network
  Ls id  : 10.0.123.1
  Adv rtr: 10.0.1.1
  Ls age   : 1662
  Len  : 36
  Options :  E
  seq#  : 80000005
  chksum   : 0x3d58
  Net mask : 255.255.255.0
  Priority: Low
      Attached Router      10.0.1.1
      Attached Router      10.0.2.2
      Attached Router      10.0.3.3
```

从输出信息可以看到 Type-2 LSA 中的 Attached Router 描述了 DR 所在网段的邻居信息。

步骤 4 观察 OSPF 邻居关系建立过程

之前查看 OSPF 邻居信息时可以看到 DR 为 10.0.123.1，这与根据 DR 选举原则进行预测的结果并不一致。在 OSPF 中，DR 的选举为非抢占，即网络中存在 DR 或 BDR 时，新进入网络的路由器不能抢占 DR 或 BDR 的角色。当在配置 OSPF 时对设备的配置顺序存在前后差距，就可能导致选举出的 DR 为先启动的设备。

为此可以关闭 R1、R2、R3 的互联接口，并使用 **debugging ospf 1 event** 观察 OSPF 邻居关系建立的具体过程，之后尽量同时重新打开 R1、R2、R3 的接口，通过 debug 输出信息查看 DR、BDR 的选举过程。

#关闭 R1、R2、R3 的互联接口

```
[R1] interface GigabitEthernet0/0/3
[R1-GigabitEthernet0/0/3] shutdown
```

```
[R2] interface GigabitEthernet0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/4] shutdown
```

```
[R3] interface GigabitEthernet0/0/4
[R3-GigabitEthernet0/0/4] shutdown
```

#打开 R1、R2、R3 的 debug 功能以及开启 debug ospf event

```
<R1>terminal debugging
Info: Current terminal debugging is on.
<R1>terminal monitor
<R1>debugging ospf 1 event
```

R2、R3 相同操作，不再重复。

#重新打开 R1、R2、R3 的互联接口

```
[R1] interface GigabitEthernet0/0/3
[R1-GigabitEthernet0/0/3] undo shutdown
```

```
[R2] interface GigabitEthernet0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/4] undo shutdown
```

```
[R2] interface GigabitEthernet0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/4] undo shutdown
```

#在 R3 上观察 debug 输出信息

```
May 22 2020 14:32:25-08:00 R3 %%01PHY/1/PHY(l)[20]:      GigabitEthernet0/0/4: change status to
up
May 22 2020 14:32:25-08:00 R3 %%01IFNET/4/LINK_STATE(l)[21]:The line protocol IP on the interface
GigabitEthernet0/0/4 has entered the UP state.
May 22 2020 14:32:25.650.5-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802c Line: 1281 Level: 0x20
  OSPF 1: Intf 10.0.123.3 Rcv InterfaceUp State Down -> Waiting.
May 22 2020 14:32:25.650.6-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802c Line: 1395 Level: 0x20
  OSPF 1 Send Hello Interface Up on 10.0.123.3
```

May 22 2020 14:32:29-08:00 R3 DS/4/DATASYNC_CFGCHANGE:OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.191.3.1 configurations have been changed. The current change number is 20, the change loop count is 0, and the maximum number of records is 4095.
May 22 2020 14:33:06-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[22]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.2, NeighborEvent=HelloReceived, NeighborPreviousState=Down, NeighborCurrentState=Init)
May 22 2020 14:33:06.320.2-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802d Line: 1119 Level: 0x20
OSPF 1: Nbr 10.0.123.2 Rcv HelloReceived State Down -> Init.
May 22 2020 14:33:08.390.1-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802c Line: 2061 Level: 0x20
OSPF 1 Send Hello Interface State Changed on 10.0.123.3
May 22 2020 14:33:08.390.2-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802c Line: 2072 Level: 0x20
OSPF 1: Intf 10.0.123.3 Rcv WaitTimer State Waiting -> DR.
May 22 2020 14:33:08-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[23]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.2, NeighborEvent=2WayReceived, NeighborPreviousState=Init, NeighborCurrentState=ExStart)
May 22 2020 14:33:08-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[24]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.2, NeighborEvent=NegotiationDone, NeighborPreviousState=ExStart, NeighborCurrentState=Exchange)
May 22 2020 14:33:08.480.1-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802d Line: 1715 Level: 0x20
OSPF 1: Nbr 10.0.123.2 Rcv 2WayReceived State Init -> ExStart.
May 22 2020 14:33:08.530.1-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802d Line: 1828 Level: 0x20
OSPF 1: Nbr 10.0.123.2 Rcv NegotiationDone State ExStart -> Exchange.
May 22 2020 14:33:08-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[25]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.2, NeighborEvent=ExchangeDone, NeighborPreviousState=Exchange, NeighborCurrentState=Loading)
May 22 2020 14:33:08-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[26]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.2, NeighborEvent=LoadingDone, NeighborPreviousState=Loading, NeighborCurrentState=Full)
May 22 2020 14:33:08.590.3-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802d Line: 1940 Level: 0x20
OSPF 1: Nbr 10.0.123.2 Rcv ExchangeDone State Exchange -> Loading.
May 22 2020 14:33:08.590.4-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802d Line: 2339 Level: 0x20
OSPF 1: Nbr 10.0.123.2 Rcv LoadingDone State Loading -> Full.
May 22 2020 14:33:10-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[27]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.1, NeighborEvent=HelloReceived, NeighborPreviousState=Down, NeighborCurrentState=Init)
May 22 2020 14:33:10-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[28]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.1, NeighborEvent=2WayReceived, NeighborPreviousState=Init, NeighborCurrentState=ExStart)
May 22 2020 14:33:10-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[29]:Neighbor changes event: neighbor status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.1, NeighborEvent=NegotiationDone, NeighborPreviousState=ExStart, NeighborCurrentState=Exchange)
May 22 2020 14:33:10.340.1-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802d Line: 1119 Level: 0x20
OSPF 1: Nbr 10.0.123.1 Rcv HelloReceived State Down -> Init.
May 22 2020 14:33:10.340.2-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
FileID: 0x7017802d Line: 1715 Level: 0x20
OSPF 1: Nbr 10.0.123.1 Rcv 2WayReceived State Init -> ExStart.
May 22 2020 14:33:10.420.1-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:

```
 FileID: 0x7017802d Line: 1828 Level: 0x20
  OSPF 1: Nbr 10.0.123.1 Rcv NegotiationDone State ExStart -> Exchange.
May 22 2020 14:33:10-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[30]:Neighbor changes event: neighbor
status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.1, NeighborEvent=ExchangeDone,
NeighborPreviousState=Exchange, NeighborCurrentState=Loading)
May 22 2020 14:33:10-08:00 R3 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[31]:Neighbor changes event: neighbor
status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.1, NeighborEvent=LoadingDone,
NeighborPreviousState=Loading, NeighborCurrentState=Full)
May 22 2020 14:33:10.460.3-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802d Line: 1940 Level: 0x20
  OSPF 1: Nbr 10.0.123.1 Rcv ExchangeDone State Exchange -> Loading.
May 22 2020 14:33:10.460.4-08:00 R3 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802d Line: 2339 Level: 0x20
  OSPF 1: Nbr 10.0.123.1 Rcv LoadingDone State Loading -> Full.
```

在几乎同时启动 OSPF 时，从输出信息中可以看到 R3 成为 DR。

#查看 R2 的 debug 输出信息

```
May 22 2020 14:32:29-08:00 R2 DS/4/DATASYNC_CFGCHANGE:OID 1.3.6.1.4.1.2011.5.25.191.3.1
configurations have been changed. The current change number is 15, the change loop count is 0, and
the maximum number of records is 4095.
May 22 2020 14:32:29-08:00 R2 %%01PHY/1/PHY(l)[18]:      GigabitEthernet0/0/4: change status to up
May 22 2020 14:32:29-08:00 R2 %%01IFNET/4/LINK_STATE(l)[19]:The line protocol IP on the interface
GigabitEthernet0/0/4 has entered the UP state.
May 22 2020 14:32:29.760.5-08:00 R2 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802c Line: 1281 Level: 0x20
  OSPF 1: Intf 10.0.123.2 Rcv InterfaceUp State Down -> Waiting.
May 22 2020 14:32:29.760.6-08:00 R2 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802c Line: 1395 Level: 0x20
  OSPF 1 Send Hello Interface Up on 10.0.123.2
May 22 2020 14:33:06.310.1-08:00 R2 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802c Line: 2061 Level: 0x20
  OSPF 1 Send Hello Interface State Changed on 10.0.123.2
May 22 2020 14:33:06.310.2-08:00 R2 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802c Line: 2072 Level: 0x20
  OSPF 1: Intf 10.0.123.2 Rcv WaitTimer State Waiting -> DR.
May 22 2020 14:33:08-08:00 R2 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[20]:Neighbor changes event: neighbor
status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.3, NeighborEvent=HelloReceived,
NeighborPreviousState=Down, NeighborCurrentState=Init)
May 22 2020 14:33:08-08:00 R2 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[21]:Neighbor changes event: neighbor
status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.3, NeighborEvent=2WayReceived,
NeighborPreviousState=Init, NeighborCurrentState=ExStart)
May 22 2020 14:33:08-08:00 R2 %%01OSPF/4/NBR_CHANGE_E(l)[22]:Neighbor changes event: neighbor
status changed. (ProcessId=1, NeighborAddress=10.0.123.3, NeighborEvent=NegotiationDone,
NeighborPreviousState=ExStart, NeighborCurrentState=Exchange)
May 22 2020 14:33:08.420.1-08:00 R2 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802d Line: 1119 Level: 0x20
  OSPF 1: Nbr 10.0.123.3 Rcv HelloReceived State Down -> Init.
May 22 2020 14:33:08.420.2-08:00 R2 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802d Line: 1715 Level: 0x20
  OSPF 1: Nbr 10.0.123.3 Rcv 2WayReceived State Init -> ExStart.
May 22 2020 14:33:08.420.3-08:00 R2 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x7017802c Line: 2501 Level: 0x20
  OSPF 1: Intf 10.0.123.2 Rcv NeighborChange State DR -> BackupDR.
```

从输出信息中可以看到 R2 成为了 BDR

步骤 5 配置 OSPF 接口的网络类型

#在 R1 上查看 OSPF 路由表中的 R2、R3 的 Loopback0 接口路由

```
<R1>display ospf routing 10.0.2.2

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1

 Destination : 10.0.2.2/32
 AdverRouter : 10.0.2.2                  Area         : 0.0.0.0
 Cost        : 1                          Type         : Stub
 NextHop     : 10.0.123.2                 Interface    : GigabitEthernet0/0/3
 Priority    : Medium                     Age          : 00h09m02s

<R1>display ospf routing 10.0.3.3

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1

 Destination : 10.0.3.3/32
 AdverRouter : 10.0.3.3                  Area         : 0.0.0.0
 Cost        : 1                          Type         : Stub
 NextHop     : 10.0.123.3                 Interface    : GigabitEthernet0/0/3
 Priority    : Medium                     Age          : 00h09m13s
```

可以看到 Loopback0 接口路由的掩码为 32 位，而不是实际的 24 位。

#以 R2 为例查看 OSPF 的 Type-1 LSA

```
<R2>display ospf lsdb router 10.0.2.2

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
            Area: 0.0.0.0
  Link State Database


  Type      : Router
  Ls id     : 10.0.2.2
  Adv rtr   : 10.0.2.2
  Ls age    : 1528
  Len       : 48
  Options   :  E
  seq#      : 80000020
  chksum    : 0x9653
  Link count: 2
   * Link ID: 10.0.2.2
     Data    : 255.255.255.255
     Link Type: StubNet
     Metric : 0
     Priority : Medium
   * Link ID: 10.0.123.3
     Data    : 10.0.123.2
     Link Type: TransNet
```

```
      Metric : 1
```

可以看到 R2 上关于 Loopback0 接口的 LSA 里已经将掩码设为 32 位，OSPF 将 Loopback 接口视为一个末梢网络，且该网络中只连接着一个节点，因此无论该接口实际配置的网络掩码是多少位，OSPF 在 Type-1 LSA 中描述这个接口时，都以主机（32 位网络掩码）的形式进行通告。

关于 OSPF 中 Loopback 接口详细解释可以查阅 RFC 2328 Section 9.1。

#修改 R2 Loopback0 接口的网络类型

```
[R2]interface LoopBack 0
[R2-LoopBack0] ospf network-type broadcast
```

将 Loopback 接口的网络类型修改为 Broadcast，OSPF 在发布这个接口的网络信息时，会使用接口真实掩码（本例中 R2 的 Loopback0 接口真实掩码长度为 24 位）进行发布。

#在 R1 上再次查看 OSPF 路由表中 R2 的 Loopback0 接口路由

```
<R1>display ospf routing 10.0.2.2

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1

 Destination : 10.0.2.0/24
 AdverRouter : 10.0.2.2                  Area         : 0.0.0.0
 Cost        : 1                           Type         : Stub
 NextHop     : 10.0.123.2                  Interface : GigabitEthernet0/0/3
 Priority    : Low                       Age          : 00h04m10s
```

从输出信息中可以看到路由的掩码已经变为 24 位。

步骤 6 修改 OSPF 接口的 Cost 值

#在 R1 上查看 OSPF 路由表中的 R3 Loopback0 接口路由

```
<R1>display ospf routing 10.0.3.3

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1

 Destination : 10.0.3.3/32
 AdverRouter : 10.0.3.3                  Area         : 0.0.0.0
 Cost        : 1                           Type         : Stub
 NextHop     : 10.0.123.3                  Interface : GigabitEthernet0/0/3
 Priority    : Medium                    Age          : 00h46m56s
```

从输出信息可以看到其 Cost 值为 1。

#修改 R1 的 GE0/0/3 接口 OSPF Cost 值为 20，修改 R3 的 GE0/0/4 接口 OSPF Cost 值为 10

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/3
[R1-GigabitEthernet0/0/3] ospf cost 20

[R3]interface GigabitEthernet0/0/4
[R3-GigabitEthernet0/0/4] ospf cost 10
```

#在 R1 上重新查看 OSPF 路由表中的 R2 Loopback0 接口路由

```
<R1>display ospf routing 10.0.2.2

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1

 Destination : 10.0.2.0/24
 AdverRouter : 10.0.2.2                  Area         : 0.0.0.0
 Cost        : 20                          Type         : Stub
 NextHop     : 10.0.123.2                  Interface : GigabitEthernet0/0/3
 Priority    : Low                       Age          : 00h04m19s
```

从输出信息可以看到其 Cost 值为 20。

#在 R3 上查看 OSPF 路由表中的 R1 Loopback0 接口路由

```
<R3>display ospf routing 10.0.1.1

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3

 Destination : 10.0.1.1/32
 AdverRouter : 10.0.1.1                  Area         : 0.0.0.0
 Cost        : 10                          Type         : Stub
 NextHop     : 10.0.123.1                  Interface : GigabitEthernet0/0/4
 Priority    : Medium                    Age          : 00h06m07s
```

从输出信息可以看到其 Cost 值为 10。

步骤 7 配置 OSPF 的 Silent-Interface

#将 R1 的 GE0/0/3 接口配置为 Silent-Iinterface

```
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1] silent-interface GigabitEthernet 0/0/3
```

#查看 R1 的 OSPF 邻居表

```
<R1>display ospf peer

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
```

配置互联接口为 Silent-Interface 之后，不再从该接口发送、接收 hello 报文，已经建立关系的邻居消失。

#查看 R1 的 OSPF 接口 GE0/0/3 的信息

```
<R1>display ospf interface GigabitEthernet 0/0/3

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
  Interfaces


 Interface: 10.0.123.1 (GigabitEthernet0/0/3)
```

```
Cost: 20         State: DR           Type: Broadcast      MTU: 1500
Priority: 1
Designated Router: 10.0.123.1
Backup Designated Router: 0.0.0.0
Timers: Hello 10 , Dead 40 , Poll   120 , Retransmit 5 , Transmit Delay 1
Silent interface, No hellos
```

从输出信息可以看到该接口被设置为 Silent-Interface，不再存在 hello 报文。

#删除 R1 上 Silent-Interface 配置

略

#将 R2、R3 的 Loopback0 配置为 Silent-Interface

```
[R2]ospf 1
[R2-ospf-1] silent-interface LoopBack 0
```

```
[R3]ospf 1
[R3-ospf-1] silent-interface LoopBack 0
```

#在 R1 上查看 OSPF 路由表

```
<R1>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
 10.0.1.1/32          0      Stub         10.0.1.1        10.0.1.1          0.0.0.0
 10.0.123.0/24        20     Transit      10.0.123.1      10.0.1.1          0.0.0.0
 10.0.2.0/24          20     Stub         10.0.123.2      10.0.2.2          0.0.0.0
 10.0.3.3/32          20     Stub         10.0.123.3      10.0.3.3          0.0.0.0

 Total Nets: 4
 Intra Area: 4   Inter Area: 0   ASE: 0   NSSA: 0
```

可以看到 R2、R3 Loopback0 接口路由依旧存在。

1.1.3 思考题

分析在实际的网络中，哪些接口可以配置为 Silent-Interface?

1.1.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/3
```

```
 ip address 10.0.123.1 255.255.255.0
 ospf cost 20
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
#
ospf 1 router-id 10.0.1.1
 area 0.0.0.0
  authentication-mode simple plain huawei
  network 10.0.123.1 0.0.0.0
  network 10.0.1.1 0.0.0.0
#
return
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 ip address 10.0.123.2 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 silent-interface LoopBack0
 area 0.0.0.0
  authentication-mode simple plain huawei
  network 10.0.123.2 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
#
return
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 ip address 10.0.123.3 255.255.255.0
 ospf cost 10
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.0
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 silent-interface LoopBack0
 area 0.0.0.0
  authentication-mode simple plain huawei
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.0.123.3 0.0.0.0
user-interface vty 16 20
#
Return
```

1.2 OSPF 多区域

1.2.1 实验介绍

1.2.1.1 学习目标

- 实现手动指定 OSPF Router ID
- 实现 OSPF 多区域配置
- 阐明 OSPF 区域之间路由汇总的配置方法
- 阐明 OSPF 参考带宽的配置方法
- 阐明 OSPF 引入外部路由的配置方法
- 阐明 OSPF 引入的外部路由时进行路由汇总的方法
- 阐明向 OSPF 引入缺省路由的方法
- 阐明对 OSPF 中各类路由优先级的修改方法

1.2.1.2 ·实验组网介绍

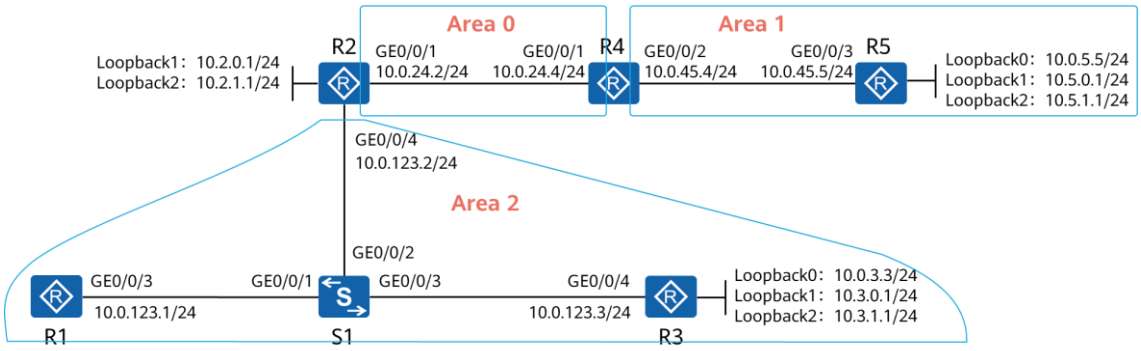


图1-2 OSPF 多区域

互联接口、IP 地址如上图所示，所有设备均创建 Loopback0，其 IP 地址为 10.0.x.x/24，其中 x 为设备编号。

R1、R3 的所有接口以及 R2 的 GE0/0/4 接口属于 OSPF 区域 2，R2、R4 的 Loopback0 接口及互联接口属于 OSPF 区域 0，R4、R5 的互联接口、R5 的 Loopback0、1、2 接口属于 OSPF 区域 1。

R2 上创建 Loopback1、2 接口用于模拟外部网段。

1.2.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。现在公司的网络中有五台 AR 路由器，其中 R2 和 R4 在公司总部，R1、R3、R5 在公司分部。由于网络规模较大，为了控制 LSA 的洪泛，你设计了多区域的 OSPF。

为了明确设备的 Router-ID，你配置设备使用固定的地址作为 Router ID。

为了使路由器进行路由转发时效率更高，你在区域的边界配置了自动汇总。

R1 路由器连接到 Internet，你需要配置一条缺省路由，引入到 OSPF 区域，以便于 OSPF 区域的所有路由器都知道如何访问 Internet。

同时 OSPF 路由信息中区分了内部路由和外部路由，你修改了 OSPF 路由信息的优先级信息，以避免潜在的风险。

OSPF 中特定路由信息的度量值是将到达目的网络经过的所有链路的代价值进行累加得到的。而链路的代价值是路由器将接口带宽与参考带宽进行对比得到。参考带宽值为 100Mbps，实际接口带宽可能为 1000Mbps，而度量值都是整数，所以快速以太网接口和千兆以太网接口的 OSPF 代价值均为 1。为了能够相互区分这些链路，你定义参考带宽值为 10Gbps。

1.2.2 实验任务

1.2.2.1 任务思路

1. 设备 IP 地址配置。
2. 按照规划配置 OSPF 区域。
3. 检查 OSPF 配置结果，检查 OSPF 邻居关系状态，在 ABR 上查看 OSPF LSDB。
4. 在 ABR、ASBR 上配置路由汇总，减少区域间、外部路由数量。
5. 修改 OSPF 的参考带宽值。
6. 在 OSPF 中引入缺省路由。
7. 修改 OSPF 域内、域间路由和域外路由的缺省路由优先级。

1.2.2.2 任务步骤

步骤 1 互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略。

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/3 接口、环回口 IP 地址

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/3
[R1-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.123.1 24
[R1-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R1]interface LoopBack 0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 24
[R1-LoopBack0] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/4、GE0/0/1 接口、环回口 IP 地址

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/4] ip address 10.0.123.2 24
```

```
[R2-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R2] interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.24.2 24
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R2]interface LoopBack 0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 24
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface LoopBack1
[R2-LoopBack1] ip address 10.2.0.1 255.255.255.0
[R2-LoopBack1] quit
[R2]interface LoopBack2
[R2-LoopBack2] ip address 10.2.1.1 255.255.255.0
[R2-LoopBack2] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/4 接口、环回口 IP 地址

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/4
[R3-GigabitEthernet0/0/4] ip address 10.0.123.3 24
[R3-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R3]interface LoopBack 0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 24
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface LoopBack 1
[R3-LoopBack1] ip address 10.3.0.1 24
[R3-LoopBack1] quit
[R3]interface LoopBack 2
[R3-LoopBack2] ip address 10.3.1.1 24
[R3-LoopBack2] quit
```

#配置 R4 的 GE0/0/1、GE0/0/2 接口以及环回口 IP 地址

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/1
[R4-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.24.4 24
[R4-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/2
[R4-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.45.4 24
[R4-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R4]interface LoopBack 0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 24
[R4-LoopBack0] quit
```

#配置 R5 的 GE0/0/3 接口、环回口 IP 地址

```
[R5]interface GigabitEthernet0/0/3
[R5-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.45.5 24
[R5-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R5]interface LoopBack 0
[R5-LoopBack0] ip address 10.0.5.5 24
[R5-LoopBack0] quit
[R5]interface LoopBack 1
[R5-LoopBack1] ip address 10.5.0.1 24
[R5-LoopBack1] quit
[R5]int LoopBack 2
[R5-LoopBack2] ip address 10.5.1.1 24
```

```
[R5-LoopBack2] quit
```

#在 R2 上检测与 R1、R3、R4 的互联地址连通性

```
<R2>ping -c 1 10.0.123.1
  PING 10.0.123.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=70 ms

  --- 10.0.123.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 70/70/70 ms

<R2>ping -c 1 10.0.123.3
  PING 10.0.123.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=110 ms

  --- 10.0.123.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 110/110/110 ms

<R2>ping -c 1 10.0.24.4
  PING 10.0.24.4: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.24.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=40 ms

  --- 10.0.24.4 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 40/40/40 ms
```

#在 R4 上检测与 R5 的互联地址连通性

```
<R4>ping -c 1 10.0.45.5
  PING 10.0.45.5: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.45.5: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms

  --- 10.0.45.5 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms
```

步骤 2 配置多区域 OSPF

#在 R1 上配置 OSPF，在 GE0/0/3 接口、Loopback0 接口激活 OSPF，同时修改 Loopback0 接口的网络类型为 Broadcast

```
[R1]ospf 1 router-id 10.0.1.1
[R1-ospf-1]area 2
```

```
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.123.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.1.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] quit
[R1-ospf-1]quit
[R1]interface LoopBack 0
[R1-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R1-LoopBack0] quit
```

#在 R2 上配置 OSPF，在 GE0/0/1、GE0/0/4、Loopback0 接口上激活 OSPF，同时修改 Loopback0 接口的网络类型为 Broadcast

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.24.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R2-ospf-1]area 2
[R2-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.123.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.2] quit
[R2-ospf-1]quit
[R2]interface LoopBack 0
[R2-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R2-LoopBack0] quit
```

#在 R3 上配置 OSPF，在 GE0/0/4、Loopback0、Loopback1、Loopback2 接口上激活 OSPF，同时修改 Loopback0、1、2 接口的网络类型为 Broadcast

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1]area 2
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.123.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.3.0.1 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.3.1.1 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] quit
[R3-ospf-1]quit
[R3]interface LoopBack 0
[R3-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface LoopBack 1
[R3-LoopBack1] ospf network-type broadcast
[R3-LoopBack1] quit
[R3]interface LoopBack 2
[R3-LoopBack2] ospf network-type broadcast
[R3-LoopBack2] quit
```

#在 R4 上配置 OSPF，在 GE0/0/2、GE0/0/1、Loopback0 接口上激活 OSPF，同时修改 Loopback0 接口的网络类型为 Broadcast

```
[R4]ospf 1 router-id 10.0.4.4
[R4-ospf-1]area 0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.24.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
```

```
[R4-ospf-1]area 1
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.0.45.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
[R4-ospf-1]quit
[R4]interface LoopBack 0
[R4-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R4-LoopBack0] quit
```

#在 R5 上配置 OSPF，在 GE0/0/3、Loopback0、Loopback1、Loopback2 接口上激活 OSPF，同时修改 Loopback0、1、2 接口的网络类型为 Broadcast

```
[R5]ospf 1 router-id 10.0.5.5
[R5-ospf-1]area 1
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.0.5.5 0.0.0.0
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.5.0.1 0.0.0.0
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.5.1.1 0.0.0.0
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.0.45.5 0.0.0.0
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
[R5-ospf-1]quit
[R5]interface LoopBack 0
[R5-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R5-LoopBack0] quit
[R5]interface LoopBack 1
[R5-LoopBack1] ospf network-type broadcast
[R5-LoopBack1] quit
[R5]interface LoopBack 2
[R5-LoopBack2] ospf network-type broadcast
[R5-LoopBack2] quit
```

步骤 3 检查 OSPF 配置结果

#在 R2 上检查 OSPF 邻居关系的概要信息

```
<R2>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Peer Statistic Information
 ----------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.4.4         Full
 0.0.0.2          GigabitEthernet0/0/4          10.0.1.1         Full
 0.0.0.2          GigabitEthernet0/0/4          10.0.3.3         Full
 ----------------------------------------------------------------------------
```

#在 R5 上检查邻居关系的概要信息和 OSPF 路由表

```
<R5>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.5.5
    Peer Statistic Information
 ----------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.1          GigabitEthernet0/0/3          10.0.4.4         Full
 ----------------------------------------------------------------------------
<R5>display ospf routing
```

```
 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.5.5
    Routing Tables

Routing for Network
Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter        Area
10.0.5.0/24          0      Stub         10.0.5.5        10.0.5.5         0.0.0.1
10.0.45.0/24         1      Transit      10.0.45.5       10.0.5.5         0.0.0.1
10.5.0.0/24          0      Stub         10.5.0.1        10.0.5.5         0.0.0.1
10.5.1.0/24          0      Stub         10.5.1.1        10.0.5.5         0.0.0.1
10.0.1.0/24          3      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1
10.0.2.0/24          2      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1
10.0.3.0/24          3      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1
10.0.4.0/24          1      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1
10.0.24.0/24         2      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1
10.0.123.0/24        3      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1
10.3.0.0/24          3      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1
10.3.1.0/24          3      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1

Total Nets: 12
Intra Area: 4    Inter Area: 8    ASE: 0    NSSA: 0
```

#在 R2 上查看 OSPF LSDB

```
<R2>display ospflsdb

 OSPFProcess1 withRouter ID 10.0.2.2
   Link State Database

            Area: 0.0.0.0
Type        LinkState ID     AdvRouter        Age  Len   Sequence   Metric
Router      10.0.4.4         10.0.4.4          54   48   8000000B        0
Router      10.0.2.2         10.0.2.2          54   48   80000008        0
Network     10.0.24.4        10.0.4.4          54   32   80000003        0
Sum-Net     10.3.1.0         10.0.2.2        1332   28   80000001        1
Sum-Net     10.3.0.0         10.0.2.2        1332   28   80000001        1
Sum-Net     10.5.1.0         10.0.4.4         259   28   80000002        1
Sum-Net     10.0.3.0         10.0.2.2        1332   28   80000001        1
Sum-Net     10.5.0.0         10.0.4.4         268   28   80000002        1
Sum-Net     10.0.1.0         10.0.2.2         244   28   80000001        1
Sum-Net     10.0.5.0         10.0.4.4         278   28   80000002        1
Sum-Net     10.0.45.0        10.0.4.4         500   28   80000002        1
Sum-Net     10.0.123.0       10.0.2.2          45   28   80000002        1

            Area: 0.0.0.2
Type        LinkState ID     AdvRouter        Age  Len   Sequence   Metric
Router      10.0.3.3         10.0.3.3         247   72   80000017        0
Router      10.0.2.2         10.0.2.2         247   36   80000008        1
Router      10.0.1.1         10.0.1.1         246   48   80000008        1
Network     10.0.123.3       10.0.3.3         247   36   80000006        0
Sum-Net     10.0.24.0        10.0.2.2          45   28   80000002        1
Sum-Net     10.5.1.0         10.0.2.2          45   28   80000002        2
Sum-Net     10.5.0.0         10.0.2.2          45   28   80000002        2
Sum-Net     10.0.2.0         10.0.2.2          45   28   80000002        0
Sum-Net     10.0.5.0         10.0.2.2          45   28   80000002        2
```

```
Sum-Net    10.0.4.0        10.0.2.2          45    28     80000002       1
Sum-Net    10.0.45.0       10.0.2.2          45    28     80000002       2
```

R2 作为 ABR，维护两个区域的 LSDB，分别用来描述区域 0 和区域 2 的路由。

步骤 4 配置 OSPF 区域间、外部路由汇总

#在 R2、R4 上查看 OSPF 路由表

```
<R2>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter        Area
 10.0.2.0/24          0      Stub         10.0.2.2        10.0.2.2         0.0.0.0
 10.0.24.0/24         1      Transit      10.0.24.2       10.0.2.2         0.0.0.0
 10.0.123.0/24        1      Transit      10.0.123.2      10.0.2.2         0.0.0.2
 10.0.1.0/24          1      Stub         10.0.123.1      10.0.1.1         0.0.0.2
 10.0.3.0/24          1      Stub         10.0.123.3      10.0.3.3         0.0.0.2
 10.0.4.0/24          1      Stub         10.0.24.4       10.0.4.4         0.0.0.0
 10.0.5.0/24          2      Inter-area   10.0.24.4       10.0.4.4         0.0.0.0
 10.0.45.0/24         2      Inter-area   10.0.24.4       10.0.4.4         0.0.0.0
 10.3.0.0/24          1      Stub         10.0.123.3      10.0.3.3         0.0.0.2
 10.3.1.0/24          1      Stub         10.0.123.3      10.0.3.3         0.0.0.2
 10.5.0.0/24          2      Inter-area   10.0.24.4       10.0.4.4         0.0.0.0
 10.5.1.0/24          2      Inter-area   10.0.24.4       10.0.4.4         0.0.0.0

 Total Nets: 12

<R4>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter        Area
 10.0.4.0/24          0      Stub         10.0.4.4        10.0.4.4         0.0.0.0
 10.0.24.0/24         1      Transit      10.0.24.4       10.0.4.4         0.0.0.0
 10.0.45.0/24         1      Transit      10.0.45.4       10.0.4.4         0.0.0.1
 10.0.1.0/24          2      Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2         0.0.0.0
 10.0.2.0/24          1      Stub         10.0.24.2       10.0.2.2         0.0.0.0
 10.0.3.0/24          2      Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2         0.0.0.0
 10.0.5.0/24          1      Stub         10.0.45.5       10.0.5.5         0.0.0.1
 10.0.123.0/24        2      Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2         0.0.0.0
 10.3.0.0/24          2      Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2         0.0.0.0
 10.3.1.0/24          2      Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2         0.0.0.0
 10.5.0.0/24          1      Stub         10.0.45.5       10.0.5.5         0.0.0.1
 10.5.1.0/24          1      Stub         10.0.45.5       10.0.5.5         0.0.0.1

 Total Nets: 12
 Intra Area: 7    Inter Area: 5    ASE: 0    NSSA: 0
```

R2 OSPF 路由表中的 R5 Loopback1、2 接口的 OSPF 区域间路由，R4 OSPF 路由表中的 R3 Loopback1、2 接口的 OSPF 区域间路由都可以进行区域间汇总，之后再向其他区域发送。一方面减少其他区域的路由条目，另外一方面还可以减少路由振荡的发生。

#R4 上对 R5 的 Loopback1、Loopback2 接口路由进行汇总

```
[R4]ospf 1
[R4-ospf-1]area 1
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] abr-summary 10.5.0.0 255.255.254.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
```

#在 R2 上查看 OSPF 路由表

```
<R2>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
 10.0.2.0/24          0      Stub         10.0.2.2        10.0.2.2          0.0.0.0
 10.0.24.0/24         1      Transit      10.0.24.2       10.0.2.2          0.0.0.0
 10.0.123.0/24        1      Transit      10.0.123.2      10.0.2.2          0.0.0.2
 10.0.1.0/24          1      Stub         10.0.123.1      10.0.1.1          0.0.0.2
 10.0.3.0/24          1      Stub         10.0.123.3      10.0.3.3          0.0.0.2
 10.0.4.0/24          1      Stub         10.0.24.4       10.0.4.4          0.0.0.0
 10.0.5.0/24          2      Inter-area    10.0.24.4       10.0.4.4          0.0.0.0
 10.0.45.0/24         2      Inter-area    10.0.24.4       10.0.4.4          0.0.0.0
 10.3.0.0/24          1      Stub         10.0.123.3      10.0.3.3          0.0.0.2
 10.3.1.0/24          1      Stub         10.0.123.3      10.0.3.3          0.0.0.2
 10.5.0.0/23          2      Inter-area    10.0.24.4       10.0.4.4          0.0.0.0

 Total Nets: 11
 Intra Area: 8    Inter Area: 3    ASE: 0    NSSA: 0
```

R5 上的 Loopback1、Loopback2 接口路由被汇总成了一条区域间路由。

#R2 上对 R3 的 Loopback1、Loopback2 接口路由进行汇总

```
[R2]ospf 1
[R2-ospf-1]area 2
[R2-ospf-1-area-0.0.0.2] abr-summary 10.3.0.0 255.255.254.0
```

#在 R4 上查看 OSPF 路由表

```
<R4>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
 10.0.4.0/24          0      Stub         10.0.4.4        10.0.4.4          0.0.0.0
```

```
10.0.24.0/24        1       Transit      10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0
10.0.45.0/24        1       Transit      10.0.45.4       10.0.4.4        0.0.0.1
10.0.1.0/24         2       Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.2.0/24         1       Stub         10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.3.0/24         2       Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.5.0/24         1       Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1
10.0.123.0/24       2       Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.3.0.0/23         2       Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.5.0.0/24         1       Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1
10.5.1.0/24         1       Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1

Total Nets: 11
Intra Area: 7   Inter Area: 4   ASE: 0   NSSA: 0
```

R3 上的 Loopback1、Loopback2 接口路由被汇总成了一条区域间路由。

#在 R2 上将 Loopback1、Loopback2 接口路由引入到 OSPF 中

```
[R2]ospf 1
[R2-ospf-1] import-route direct
```

#在 R4 上查看 OSPF 路由表

```
<R4>display ospfrouting

 OSPFProcess1 withRouter ID 10.0.4.4
    Routing Tables

Routing for Network
Destination          Cost  Type         NextHop         AdvRouter       Area
10.0.4.0/24          0     Stub         10.0.4.4        10.0.4.4        0.0.0.0
10.0.24.0/24         1     Transit      10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0
10.0.45.0/24         1     Transit      10.0.45.4       10.0.4.4        0.0.0.1
10.0.1.0/24          2     Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.2.0/24          1     Stub         10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.3.0/24          2     Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.5.0/24          1     Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1
10.0.123.0/24        2     Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.3.0.0/23          2     Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.5.0.0/24          1     Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1
10.5.1.0/24          1     Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1

Routing for ASEs
Destination          Cost      Type       Tag         NextHop         AdvRouter
10.2.0.0/24          1         Type2      1           10.0.24.2       10.0.2.2
10.2.1.0/24          1         Type2      1           10.0.24.2       10.0.2.2

Total Nets: 13
Intra Area: 7   Inter Area: 4   ASE:2   NSSA: 0
```

在 R4 的 OSPF 路由表中可以看到 R2 的 Loopback1、2 接口路由。

#在 R2 上执行外部路由汇总

```
[R2]ospf 1
```

```
[R2-ospf-1] asbr-summary 10.2.0.0 255.255.254.0
```

#再次在 R4 上查看 OSPF 路由表

```
<R4>display ospfrouting

  OSPFProcess 1 withRouter ID 10.0.4.4
     Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost  Type         NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.4.0/24          0     Stub         10.0.4.4        10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.24.0/24          1      Transit      10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.45.0/24          1      Transit      10.0.45.4       10.0.4.4        0.0.0.1
 10.0.1.0/24          2     Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.2.0/24          1     Stub         10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.3.0/24          2     Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.5.0/24          1     Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1
 10.0.123.0/24         2      Inter-area    10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.3.0.0/23          2     Inter-area   10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.5.0.0/24          1     Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1
 10.5.1.0/24          1     Stub         10.0.45.5       10.0.5.5        0.0.0.1

 Routing for ASEs
 Destination          Cost       Type         Tag          NextHop         AdvRouter
 10.2.0.0/23          2          Type2        1            10.0.24.2       10.0.2.2

 Total Nets: 12
 Intra Area: 7   Inter Area: 4   ASE:1   NSSA: 0
```

R2 上的 Loopback1、Loopback2 接口路由被汇总成了一条外部路由。

步骤 5 修改 OSPF 的参考带宽值

在实际网络可能使用了千兆甚至万兆以太网。但是由于 OSPF 的默认参考带宽值为 100Mbps，并且接口代价值仅为整数，所以 OSPF 无法在带宽上区分百兆以太网和千兆以太网。

在运行 OSPF 的多个区域内，OSPF 的参考带宽值必须一致，否则 OSPF 无法正常工作。

#修改所有路由器的 OSPF 参考带宽值为 10Gbps

```
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1] bandwidth-reference 10000
[R1-ospf-1] quit

[R2]ospf 1
[R2-ospf-1] bandwidth-reference 10000
[R2-ospf-1] quit

[R3]ospf 1
[R3-ospf-1] bandwidth-reference 10000
[R3-ospf-1] quit
```

```
[R4]ospf 1
[R4-ospf-1] bandwidth-reference 10000
[R4-ospf-1] quit

[R5]ospf 1
[R5-ospf-1] bandwidth-reference 10000
[R5-ospf-1] quit
```

#以 R2 为例查看 OSPF 路由表

```
[R2]display ospfrouting

  OSPFProcess 1  withRouter  ID  10.0.2.2
     Routing  Tables

 Routing  for Network
 Destination          Cost  Type         NextHop         AdvRouter        Area
 10.0.2.0/24          0     Stub         10.0.2.2        10.0.2.2         0.0.0.0
 10.0.24.0/24          10    Transit      10.0.24.2        10.0.2.2         0.0.0.0
 10.0.123.0/24         10    Transit      10.0.123.2       10.0.2.2         0.0.0.2
 10.0.1.0/24          10     Stub         10.0.123.1       10.0.1.1         0.0.0.2
 10.0.3.0/24          10     Stub         10.0.123.3       10.0.3.3         0.0.0.2
 10.0.4.0/24          10     Stub         10.0.24.4        10.0.4.4         0.0.0.0
 10.0.5.0/24          20     Inter-area    10.0.24.4        10.0.4.4         0.0.0.0
 10.0.45.0/24          20     Inter-area    10.0.24.4        10.0.4.4         0.0.0.0
 10.3.0.0/24          10     Stub         10.0.123.3       10.0.3.3         0.0.0.2
 10.3.1.0/24          10     Stub         10.0.123.3       10.0.3.3         0.0.0.2
 10.5.0.0/23          20     Inter-area    10.0.24.4        10.0.4.4         0.0.0.0

 Total Nets: 11
 Intra  Area: 8   Inter  Area: 3   ASE:0   NSSA: 0
```

可以看到路由的 Cost 值已经发生了变化。

步骤 6 OSPF 引入缺省路由

#使用 R1 的 Loopback0 接口模拟 Internet 接入，在 R1 上配置缺省路由，且出接口指定为 Loopback0

```
[R1]ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 LoopBack 0
```

#将缺省路由引入到 OSPF，指定外部路由类型为 1

```
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1] default-route-advertise always type 1
[R1-ospf-1] quit
```

#在 R2 上查看 OSPF 路由表

```
[R2]display ospf routing

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
     Routing Tables
```

```
Routing for Network
Destination        Cost   Type         NextHop         AdvRouter       Area
10.0.2.0/24        0      Stub         10.0.2.2        10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.24.0/24       10     Transit      10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.123.0/24      10     Transit      10.0.123.2      10.0.2.2        0.0.0.2
10.0.1.0/24        10     Stub         10.0.123.1      10.0.1.1        0.0.0.2
10.0.3.0/24        10     Stub         10.0.123.3      10.0.3.3        0.0.0.2
10.0.4.0/24        10     Stub         10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0
10.0.5.0/24        20     Inter-area    10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0
10.0.45.0/24       20     Inter-area    10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0
10.3.0.0/24        10     Stub         10.0.123.3      10.0.3.3        0.0.0.2
10.3.1.0/24        10     Stub         10.0.123.3      10.0.3.3        0.0.0.2
10.5.0.0/23        20     Inter-area    10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0

Routing for ASEs
Destination        Cost       Type       Tag        NextHop        AdvRouter
0.0.0.0/0          11         Type1      1          10.0.123.1     10.0.1.1

Total Nets: 12
Intra Area: 8   Inter Area: 3   ASE: 1   NSSA: 0
```

可以看到 R2 已经通过 Type-5 LSA 学习到默认路由，下一跳为 R1。

步骤 7 修改 OSPF 中两类路由的优先级

默认情况下，OSPF 区域内和区域之间的路由，优先级为 10。OSPF 外部路由，优先级为 150。

#修改 R1、R3 设备上的 OSPF 区域内和区域之间的路由优先级为 20，修改 OSPF 外部路由的优先级为 50

```
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1] preference 20
[R1-ospf-1] preference ase 50
[R1-ospf-1] quit

[R3]ospf 1
[R3-ospf-1] preference 20
[R3-ospf-1] preference ase 50
[R3-ospf-1] quit
```

本步骤的相关配置只是向读者介绍如何在 OSPF 中修改内、外部路由优先级，但是本步骤的操作在本实验中并不具备实际意义。

#在 R3 上查看 IP 路由表中的 OSPF 路由

```
<R3>display ip routing-table protocol ospf
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Public routing table : OSPF
         Destinations : 9        Routes : 9
```

```
OSPF  routing table status : <Active>
            Destinations : 9          Routes : 9

Destination/Mask      Proto      Pre  Cost         Flags  NextHop          Interface

         0.0.0.0/0    O_ASE   50     11           D    10.0.123.1       GigabitEthernet0/0/3
        10.0.1.0/24   OSPF      20     10           D    10.0.123.1       GigabitEthernet0/0/3
        10.0.2.0/24   OSPF      20     10           D    10.0.123.2       GigabitEthernet0/0/3
        10.0.4.0/24   OSPF      20     20           D    10.0.123.2       GigabitEthernet0/0/3
        10.0.5.0/24   OSPF      20     30           D    10.0.123.2       GigabitEthernet0/0/3
       10.0.24.0/24    OSPF      20     20           D    10.0.123.2       GigabitEthernet0/0/3
       10.0.45.0/24    OSPF      20     30           D    10.0.123.2       GigabitEthernet0/0/3
        10.2.0.0/23   O_ASE   50     2            D    10.0.123.2       GigabitEthernet0/0/3
        10.5.0.0/23   OSPF      20     30           D    10.0.123.2       GigabitEthernet0/0/3

OSPF  routing table status : <Inactive>
            Destinations : 0          Routes : 0
```

可以看到 OSPF 路由的优先级已经改变。

1.2.3 思考题

OSPF 引入外部路由时存在两种类型：类型 1 与类型 2，这两种不同的类型有什么区别?

1.2.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.123.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.1.1
 default-route-advertise always type 1
 preference 20
 preference ase 50
 bandwidth-reference 10000
 area 0.0.0.2
  network 10.0.1.1 0.0.0.0
  network 10.0.123.1 0.0.0.0
#
ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 LoopBack0
#
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
```

```
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.24.2 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 ip address 10.0.123.2 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
interface LoopBack1
 ip address 10.2.0.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack2
 ip address 10.2.1.1 255.255.255.0
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 asbr-summary 10.2.0.0 255.255.254.0
 import-route direct
 bandwidth-reference 10000
 area 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
  network 10.0.24.2 0.0.0.0
 area 0.0.0.2
  abr-summary 10.3.0.0 255.255.254.0
  network 10.0.123.2 0.0.0.0
#
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 ip address 10.0.123.3 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
interface LoopBack1
 ip address 10.3.0.1 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
interface LoopBack2
 ip address 10.3.1.1 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 preference 20
 preference ase 50
 bandwidth-reference 10000
 area 0.0.0.2
  network 10.0.123.3 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.3.0.1 0.0.0.0
  network 10.3.1.1 0.0.0.0
```

```
#
```

R4 设备配置

```
#
sysname R4
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.24.4 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.4.4
 bandwidth-reference 10000
 area 0.0.0.0
  network 10.0.24.4 0.0.0.0
  network 10.0.4.4 0.0.0.0
 area 0.0.0.1
  abr-summary 10.5.0.0 255.255.254.0
  network 10.0.45.4 0.0.0.0
#
```

R5 设备配置

```
#
sysname R5
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.5.5 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
interface LoopBack1
 ip address 10.5.0.1 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
interface LoopBack2
 ip address 10.5.1.1 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.5.5
 bandwidth-reference 10000
 area 0.0.0.0
 area 0.0.0.1
  network 10.0.5.5 0.0.0.0
  network 10.5.0.1 0.0.0.0
  network 10.5.1.1 0.0.0.0
  network 10.0.45.5 0.0.0.0
#
```

1.3 OSPF 的邻接关系和 LSA

1.3.1 实验介绍

1.3.1.1 学习目标

- 阐明在多路访问网络中接入多台路由器时的邻居关系建立过程
- 控制 OSPF DR 的选举
- 描述 5 种类型的 LSA 的内容，以及它们的作用

1.3.1.2 实验组网介绍

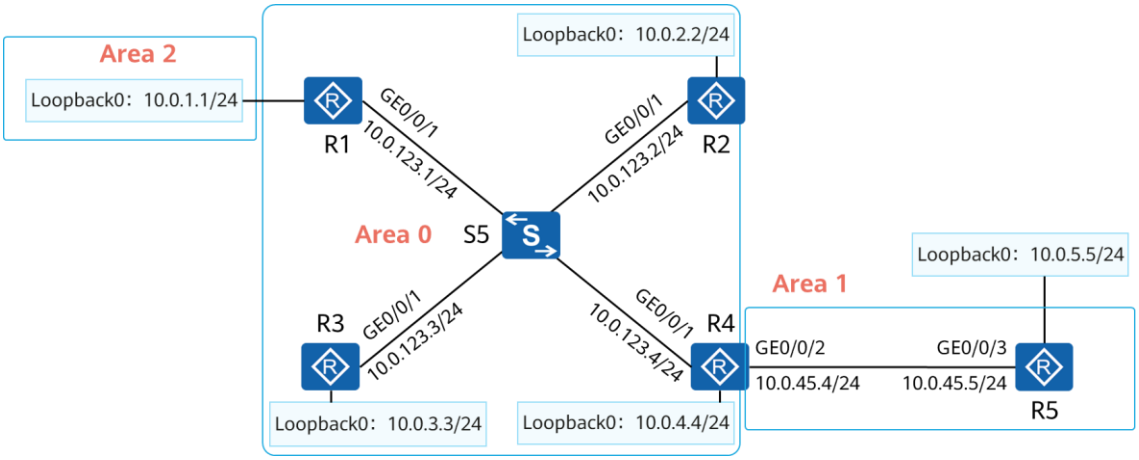


图1-3 OSPF 的邻接关系和 LSA

设备互联方式及 IP 地址规划如图所示，其中 R1 的 Loopback0 接口属于 OSPF 区域 2，R4 的 GE0/0/2 接口属于 OSPF 区域 1，R1、R2、R3、R4 的其他接口都属于 OSPF 区域 0。

R5 的 GE0/0/3 属于 OSPF 区域 1，R5 的 Loopback0 不属于 OSPF 域内。

1.3.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。现在公司的网络中有五台 AR 路由器，其中 R1、R2、R3 和 R4 在公司总部，通过以太网互联。R5 在公司分部，与公司总部的 R4 相连。由于网络规模较大，为了控制 LSA 的洪泛，你设计了多区域的 OSPF。

同时为了明确设备的 Router ID，你配置设备使用固定的地址作为 Router ID。

在 R1、R2、R3 与 R4 之间互联的网络上，需要干预 DR 与 BDR 的选举。实际使用中将 R3 定义为 DR、R2 定义为 BDR，R1、R4 定义为 DROther。

1.3.2 实验任务

1.3.2.1 任务思路

1. 设备 IP 地址配置。
2. 按照规划配置 OSPF 多区域。

3. 检查 OSPF 配置结果，检查 OSPF 邻居关系状态，检查 OSPF 路由表，检查 OSPF LSDB。
4. 手动修改接口的 DR 优先级，人工干预 OSPF DR、BDR 的选举结果。
5. 在 R5 上将直连路由引入到 OSPF 中，在 R1 上观察 Type-5 LSA。
6. 单独观察 Type-1 LSA、Type-2 LSA、Type-3 LSA、Type-4 LSA
7. R1 上通过 debug 观察 OSPF LSU、LSAck、LSR 报文。

1.3.2.2 任务步骤

步骤 1 互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/1、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.123.1 24
[R1-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R1]interface LoopBack 0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 24
[R1-LoopBack0] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/1、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.123.2 24
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R2]interface LoopBack 0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 24
[R2-LoopBack0] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/1、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.123.3 24
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R3]interface LoopBack 0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 24
[R3-LoopBack0] quit
```

#配置 R4 的 GE0/0/1、GE0/0/2、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/1
[R4-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.123.4 24
```

```
[R4-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R4] interface GigabitEthernet0/0/2
[R4-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.45.4 24
[R4-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R4]interface LoopBack 0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 24
[R4-LoopBack0] quit
```

#配置 R5 的 GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R5]interface GigabitEthernet0/0/3
[R5-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.45.5 24
[R5-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R5]interface LoopBack 0
[R5-LoopBack0] ip address 10.0.5.5 24
[R5-LoopBack0] quit
```

#在 R4 上检测互联地址连通性

```
<R4>ping -c 1 10.0.123.1
  PING 10.0.123.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=100 ms

  --- 10.0.123.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 100/100/100 ms

<R4>ping -c 1 10.0.123.2
  PING 10.0.123.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=110 ms

  --- 10.0.123.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 110/110/110 ms

<R4>ping -c 1 10.0.123.3
  PING 10.0.123.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=110 ms

  --- 10.0.123.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 110/110/110 ms

<R4>ping -c 1 10.0.45.5
  PING 10.0.45.5: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.45.5: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=60 ms

  --- 10.0.45.5 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
```

```
  1 packet(s) received
  0.00% packet loss
  round-trip min/avg/max = 60/60/60 ms
```

步骤 2 配置多区域 OSPF

按照规划配置多区域 OSPF，修改 Loopback0 接口的网络类型为 Broadcast。

#配置 R1

```
[R1]ospf 1 router-id 10.0.1.1
[R1-ospf-1]area 0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.123.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R1-ospf-1]area 2
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.1.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] quit
[R1-ospf-1]quit
[R1]interface LoopBack 0
[R1-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R1-LoopBack0] quit
```

#配置 R2

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.123.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R2-ospf-1]quit
[R2]interface LoopBack 0
[R2-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R2-LoopBack0] quit
```

#配置 R3

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1]area 0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.123.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R3-ospf-1]quit
[R3]interface LoopBack 0
[R3-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R3-LoopBack0] quit
```

#配置 R4

```
[R4]ospf 1 router-id 10.0.4.4
[R4-ospf-1]area 0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.123.4 0.0.0.0
```

```
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R4-ospf-1]area 1
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.0.45.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
[R4-ospf-1]quit
[R4]interface LoopBack 0
[R4-LoopBack0] ospf network-type broadcast
[R4-LoopBack0] quit
```

#配置 R5

```
[R5]ospf 1 router-id 10.0.5.5
[R5-ospf-1]area 1
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.0.45.5 0.0.0.0
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
[R5-ospf-1]quit
```

步骤 3 检查 OSPF 配置结果

#在 R4 上检查 OSPF 邻居的概要信息

```
[R4]display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Peer Statistic Information
--------------------------------------------------------------------------
Area Id          Interface                     Neighbor id      State
0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.1.1         Full
0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.2.2         Full
0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.3.3         2-Way
0.0.0.1          GigabitEthernet0/0/2          10.0.5.5         Full
--------------------------------------------------------------------------
```

R3、R4 之间只建立了邻居关系，而没有邻接关系。

#在 R4 上查看 OSPF 路由表

```
[R4]display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.4.0/24        0      Stub       10.0.4.4        10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.45.0/24       1      Transit    10.0.45.4       10.0.4.4        0.0.0.1
 10.0.123.0/24      1      Transit    10.0.123.4      10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.1.0/24        1      Inter-area  10.0.123.1      10.0.1.1        0.0.0.0
 10.0.2.0/24        1      Stub       10.0.123.2      10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.3.0/24        1      Stub       10.0.123.3      10.0.3.3        0.0.0.0

 Total Nets: 6
 Intra Area: 5   Inter Area: 1   ASE: 0   NSSA: 0
```

#在 R5 上查看 OSPF LSDB

```
[R5]display ospf lsdb

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.5.5
    Link State Database

             Area: 0.0.0.1
Type       LinkState ID    AdvRouter       Age Len   Sequence   Metric
Router     10.0.5.5        10.0.5.5        470  36   80000008   1
Router     10.0.4.4        10.0.4.4        1660 36   80000005   1
Network    10.0.45.4       10.0.4.4        1660 32   80000002   0
Sum-Net    10.0.3.0        10.0.4.4        1710 28   80000001   1
Sum-Net    10.0.2.0        10.0.4.4        1710 28   80000001   1
Sum-Net    10.0.1.0        10.0.4.4        1710 28   80000001   1
Sum-Net    10.0.4.0        10.0.4.4        1700 28   80000001   0
Sum-Net    10.0.123.0      10.0.4.4        1710 28   80000001   1
```

区域 1 中仅存在 2 台路由器，所以在 R5 的 LSDB 中，仅存在 2 条 Type-1 LSA，剩余的 5 条 Type-3 LSA 为 R4 向 R5 通告的区域间路由。

#在 R2 上查看 OSPF LSDB

```
[R2]display ospf lsdb

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Link State Database

             Area: 0.0.0.0
Type       LinkState ID    AdvRouter       Age  Len   Sequence   Metric
Router     10.0.3.3        10.0.3.3        256  48   8000000B   1
Router     10.0.4.4        10.0.4.4        211  48   8000000A   1
Router     10.0.2.2        10.0.2.2        268  48   8000000C   1
Router     10.0.1.1        10.0.1.1        270  36   8000000B   1
Network    10.0.123.1      10.0.1.1        270  40   80000007   0
Sum-Net    10.0.1.0        10.0.1.1        399  28   80000002   0
Sum-Net    10.0.45.0       10.0.4.4        265  28   80000002   1
```

在 R2 上除了 4 条 Type-1 LSA 以外，还有 1 条 Type-2 LSA。R2 的 GE 0/0/1 接口所连接的是一个广播型网络，该网络上的 DR 会产生 1 条 Type-2 LSA 来描述所有的邻居。在这里可以从 AdvRouter 字段得知生成这条 LSA 的路由器是 R1，符合 R1 是该网段 DR 的结果。

步骤 4 修改接口的 DR 优先级，影响 DR 选举

#修改 R4 的 GE0/0/1 接口的 DR 优先级为 255，确保 R4 成为 10.0.123.0/24 网段的 DR

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/1
[R4-GigabitEthernet0/0/1] ospf dr-priority 255
[R4-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

#修改 R3 的 GE0/0/1 接口的 DR 优先级为 254，确保 R3 成为 10.0.123.0/24 网段的 BDR

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] ospf dr-priority 254
```

```
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

#修改 R2 的 GE0/0/1 接口的 DR 优先级为 0，确保 R2 不参与选举

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] ospf dr-priority 0
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

#为重新选举 DR、BDR，关闭再重新打开 R1、R2、R3、R4 的 GE0/0/1 接口

```
[R1]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] shutdown

[R2]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] shutdown

[R3]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] shutdown

[R4]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R4-GigabitEthernet0/0/1] shutdown

[R1]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] undo shutdown
[R1-GigabitEthernet0/0/1] quit

[R2]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] undo shutdown
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit

[R3]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] undo shutdown
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit

[R4]interface GigabitEthernet 0/0/1
[R4-GigabitEthernet0/0/1] undo shutdown
[R4-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

为保证选举结果按照设置的优先级决定，尽量同时重新打开接口，否则可能会出现先打开接口的路由器成为 DR、BDR。

#在 R3 上查看 DR、BDR 选举结果

```
<R3>display ospf peer

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
  Neighbors

 Area 0.0.0.0 interface 10.0.123.3(GigabitEthernet0/0/1)'s neighbors
 Router ID: 10.0.1.1             Address: 10.0.123.1
   State: Full  Mode:Nbr is  Slave  Priority: 1
   DR: 10.0.123.4  BDR: 10.0.123.3  MTU: 0
   Dead timer due in 40  sec
   Retrans timer interval: 5
```

```
    Neighbor is up for 00:59:26
    Authentication Sequence: [ 0 ]

 Router ID: 10.0.2.2             Address: 10.0.123.2
    State: Full   Mode:Nbr is   Slave   Priority: 0
    DR: 10.0.123.4   BDR: 10.0.123.3   MTU: 0
    Dead timer due in 36   sec
    Retrans timer interval: 4
    Neighbor is up for 00:59:36
    Authentication Sequence: [ 0 ]

 Router ID: 10.0.4.4             Address: 10.0.123.4
    State: Full   Mode:Nbr is   Master   Priority: 255
    DR: 10.0.123.4   BDR: 10.0.123.3   MTU: 0
    Dead timer due in 34   sec
    Retrans timer interval: 0
    Neighbor is up for 00:59:53
    Authentication Sequence: [ 0 ]
```

此时 R4 为 DR、R3 为 BDR。

#在 R1 上查看 R1、R2 之间的邻居关系

```
<R1>display ospf peer brief

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
      Peer Statistic Information
 ----------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.2.2         2-Way
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.3.3         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.4.4         Full
 ----------------------------------------------------------------------------
```

R1、R2 都为 DRother，它们之间保持在 2-Way 状态，只建立了邻居关系，不存在邻接关系。

步骤 5 将直连路由引入 OSPF 中

#R5 上 Loopback0 接口不属于 OSPF 区域，将 Loopback0 接口路由引入到 OSPF 中

```
[R5]ospf 1
[R5-ospf-1] import-route direct
```

#在 R1 上查看引入的外部路由条目

```
<R1>display ospf routing

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
      Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.1.0/24        0      Stub       10.0.1.1        10.0.1.1        0.0.0.2
```

```
10.0.123.0/24        1       Transit      10.0.123.1      10.0.1.1        0.0.0.0
10.0.2.0/24          1       Stub         10.0.123.2      10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.3.0/24          1       Stub         10.0.123.3      10.0.3.3        0.0.0.0
10.0.4.0/24          1       Stub         10.0.123.4      10.0.4.4        0.0.0.0
10.0.45.0/24         2       Inter-area   10.0.123.4      10.0.4.4        0.0.0.0

Routing for ASEs
Destination          Cost      Type        Tag          NextHop         AdvRouter
10.0.5.0/24          1         Type2       1            10.0.123.4      10.0.5.5

Total Nets: 7
Intra Area: 5   Inter Area: 1   ASE: 1   NSSA: 0
```

Loopback0 接口路由已经成功被引入到 OSPF 中，以外部路由形式存在。

#在 R1 上查看 Type-5 LSA

```
<R1>display ospf lsdb ase

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
  Link State Database


  Type         : External
  Ls id        : 10.0.5.0
  Adv rtr      : 10.0.5.5
  Ls age       : 429
  Len          : 36
  Options      :  E
  seq#         : 80000001
  chksum       : 0xa904
  Net mask     : 255.255.255.0
  TOS 0  Metric: 1
  E type       : 2
  Forwarding Address : 0.0.0.0
  Tag          : 1
  Priority     : Low

  Type         : External
  Ls id        : 10.0.45.0
  Adv rtr      : 10.0.5.5
  Ls age       : 429
  Len          : 36
  Options      :  E
  seq#         : 80000001
  chksum       : 0xef95
  Net mask     : 255.255.255.0
  TOS 0  Metric: 1
  E type       : 2
  Forwarding Address : 0.0.0.0
  Tag          : 1
  Priority     : Low
```

可以看到 Type-5 LSA 存在 2 条，但是 R1 的路由表中 OSPF 外部路由只存在 1 条 10.0.5.0/24，这是因为关于 10.0.45.0/24 路由同时还存在区域间路由，且区域间路由的优先级高于 OSPF 外部路由。

#在 R1 上查看 Type-3 LSA（以下只展示了区域 0 中的 Type-3 LSA）

```
<R1>display ospf lsdb summary

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
              Area: 0.0.0.0
   Link State Database


   Type         : Sum-Net
   Ls id        : 10.0.1.0
   Adv rtr      : 10.0.1.1
   Ls age       : 1487
   Len          : 28
   Options      :  E
   seq#         : 80000003
   chksum       : 0x72d1
   Net mask     : 255.255.255.0
   Tos 0  metric: 0
   Priority     : Low

   Type         : Sum-Net
   Ls id        : 10.0.45.0
   Adv rtr      : 10.0.4.4
   Ls age       : 1506
   Len          : 28
   Options      :  E
   seq#         : 80000003
   chksum       : 0x6fa1
   Net mask     : 255.255.255.0
   Tos 0  metric: 1
   Priority     : Low
```

可以看到 Type-3 LSA 中同样存在 10.0.45.0/24，当 Type-3 LSA 和 Type-5 LSA 所描述的路由前缀及掩码相同时，OSPF 优选通过 Type-3 LSA 计算出的路由加载到路由表。

步骤 6 观察各种类型的 LSA

#在 R1 上查看 Type-1 LSA 10.0.1.1

```
<R1>display ospf lsdb router 10.0.1.1

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
              Area: 0.0.0.0
   Link State Database


   Type         : Router
   Ls id        : 10.0.1.1
```

```
  Adv rtr     : 10.0.1.1
  Ls age      : 202
  Len         : 36
  Options     :   ABR   E
  seq#        : 80000015
  chksum      : 0x31e4
  Link count: 1
   * Link ID: 10.0.123.4
       Data     : 10.0.123.1
       Link Type: TransNet
       Metric : 1
              Area: 0.0.0.2
   Link State Database


  Type        : Router
  Ls id       : 10.0.1.1
  Adv rtr     : 10.0.1.1
  Ls age      : 180
  Len         : 36
  Options     :   ABR   E
  seq#        : 80000005
  chksum      : 0x1615
  Link count: 1
   * Link ID: 10.0.1.0
       Data     : 255.255.255.0
       Link Type: StubNet
       Metric : 0
       Priority : Low
```

对于 Type-1 LSA 来说，Ls id 字段表示生成这条 LSA 的路由器 Router ID。

从输出信息中可以看到 R1 生成了 2 条 Type-1 LSA，1 条在区域 0 中泛洪，1 条在区域 2 中泛洪。

在区域 0 中 R1 与一个 transmit 类型的网段相连，可以看到其 Link ID 字段的值为该网段上的 DR 接口 IP 地址，Data 部分为本地与 DR 相连的接口 IP 地址。

在区域 2 中，R1 的 Loopback0 接口属于该区域，可以看到其 Link Type 为 StubNet，其 Link ID 值为该 StubNet 网段的 IP 地址，Data 部分为 StubNet 网段的网络掩码。

#在 R2 上查看 Type-2 LSA

```
<R2>display ospf lsdb network

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
              Area: 0.0.0.0
    Link State Database


  Type        : Network
  Ls id       : 10.0.123.4
  Adv rtr     : 10.0.4.4
  Ls age      : 817
  Len         : 40
```

```
Options    :   E
seq#       : 80000007
chksum     : 0x373d
Net mask   : 255.255.255.0
Priority   : Low
     Attached Router      10.0.4.4
     Attached Router      10.0.1.1
     Attached Router      10.0.2.2
     Attached Router      10.0.3.3
```

Type-2 LSA 由 DR 产生，从 Adv rtr 字段可以验证这一点（该 LSA 由 10.0.4.4 产生，即 DR 生成），对于 Type-2 LSA，其 Ls ID 字段值为该网段上 DR 的接口 IP 地址，Attached Router 为该网段上所有路由器的 Router ID。

#在 R1 上查看 Type-3 LSA 10.0.45.0

```
<R1>display ospf lsdb summary 10.0.45.0

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
            Area: 0.0.0.0
  Link State Database


 Type         : Sum-Net
 Ls id        : 10.0.45.0
 Adv rtr      : 10.0.4.4
 Ls age       : 1290
 Len          : 28
 Options    :   E
 seq#         : 80000004
 chksum       : 0x6da2
 Net mask   : 255.255.255.0
 Tos 0   metric: 1
 Priority   : Low
            Area: 0.0.0.2
  Link State Database


 Type         : Sum-Net
 Ls id        : 10.0.45.0
 Adv rtr      : 10.0.1.1
 Ls age       : 1250
 Len          : 28
 Options    :   E
 seq#         : 80000004
 chksum       : 0x9e76
 Net mask   : 255.255.255.0
 Tos 0   metric: 2
 Priority   : Low
```

Type-3 LSA 的 Ls ID 字段值为网络前缀，而 net mask 携带了网络掩码，在 R1 上可以看到 2 条 Type-3 LSA。一条在区域 0 内，从 adv rtr 可以判断出为 R4 产生，由 R4 从区域 1 向区域 0 中通告产生，另外一条在区域 2 中，从 adv rtr 可以判断出由 R1 自身产生，R1 作为连接区域 0 与区域 2 的 ABR，同样会产生一条 Type-3 LSA，用于向区域 2 通告。

#在 R1 上查看 Type-4 LSA

```
<R1>display ospf lsdb asbr 10.0.5.5

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
             Area: 0.0.0.0
  Link State Database


  Type       : Sum-Asbr
  Ls id      : 10.0.5.5
  Adv rtr    : 10.0.4.4
  Ls age     : 1257
  Len        : 28
  Options    :  E
  seq#       : 80000002
  chksum     : 0xea49
  Tos 0  metric: 1
             Area: 0.0.0.2
  Link State Database


  Type       : Sum-Asbr
  Ls id      : 10.0.5.5
  Adv rtr    : 10.0.1.1
  Ls age     : 1256
  Len        : 28
  Options    :  E
  seq#       : 80000002
  chksum     : 0x1c1d
  Tos 0  metric: 2
```

Type-4 LSA 用于描述如何到达 ASBR，从输出信息中可以看出 R1 上存在 2 条 Type-4 LSA，一条在区域 0 中，从 adv rtr 可知为 R4 产生，另外一条为 R1 自身产生，R1 作为连接区域 0 与区域 2 的 ABR，自身生成了一条 Type-4 LSA，其 Adv rtr 字段为自身 Router ID。

步骤 7 观察 LSR、LSU 和 LSAck

默认情况下，网络稳定运行，OSPF 路由器每 30 分钟更新一次。为了触发 OSPF 的查询和更新信息，取消在 R4 的 Loopback0 接口上激活 OSPF，在 R1 上观察 OSPF 报文。

#在 R1 上开启 **debugging ospf packet update、debugging ospf packet ack**

```
<R1>terminal debugging
Info: Current terminal debugging is on.
<R1>terminal monitor
Info: Current terminal monitor is on.
<R1>debugging ospf packet update
<R1>debugging ospf packet ack
```

#取消 R4 的 Loopback0 接口激活 OSPF 的配置

```
[R4]ospf 1
[R4-ospf-1]area 0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] undo network 10.0.4.4 0.0.0.0
```

#查看 R1 的 debug 输出信息

```
May 25 2020 20:27:47.210.1-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x70178024 Line: 2218 Level: 0x20
 OSPF 1: RECV Packet. Interface: GigabitEthernet0/0/1
May 25 2020 20:27:47.210.2-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Source Address: 10.0.123.4
May 25 2020 20:27:47.210.3-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Destination Address: 224.0.0.5
May 25 2020 20:27:47.210.4-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Ver# 2, Type: 4 (Link-State Update)
May 25 2020 20:27:47.210.5-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Length: 64, Router: 10.0.4.4
May 25 2020 20:27:47.210.6-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Area: 0.0.0.0, Chksum: 5451
May 25 2020 20:27:47.210.7-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   AuType: 00
May 25 2020 20:27:47.210.8-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Key(ascii): 0 0 0 0 0 0 0 0
May 25 2020 20:27:47.210.9-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   # LSAS: 1
May 25 2020 20:27:47.210.10-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 1
May 25 2020 20:27:47.210.11-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.4.4
May 25 2020 20:27:47.210.12-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 20:27:47.210.13-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LSA Age: 1
May 25 2020 20:27:47.210.14-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Options: ExRouting:ON
May 25 2020 20:27:47.210.15-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Length: 36, Seq# 80000017
May 25 2020 20:27:47.210.16-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     CheckSum: f014
May 25 2020 20:27:47.210.17-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     NtBit: 0   VBit: 0 EBit: 0 BBit: 1
May 25 2020 20:27:47.210.18-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     # Links: 1
May 25 2020 20:27:47.210.19-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LinkID: 10.0.123.4
May 25 2020 20:27:47.210.20-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:       LinkData: 10.0.123.4
May 25 2020 20:27:47.210.21-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:       LinkType: 2
May 25 2020 20:27:47.210.22-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:       TOS# 0 Metric 1
May 25 2020 20:27:47.210.23-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
May 25 2020 20:27:47.570.1-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x70178024 Line: 2218 Level: 0x20
 OSPF 1: RECV Packet. Interface: GigabitEthernet0/0/1
May 25 2020 20:27:47.570.2-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Source Address: 10.0.123.3
May 25 2020 20:27:47.570.3-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Destination Address: 224.0.0.5
May 25 2020 20:27:47.570.4-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Ver# 2, Type: 5 (Link-State Ack)
May 25 2020 20:27:47.570.5-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Length: 44, Router: 10.0.3.3
May 25 2020 20:27:47.570.6-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Area: 0.0.0.0, Chksum: 6271
May 25 2020 20:27:47.570.7-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   AuType: 00
May 25 2020 20:27:47.570.8-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Key(ascii): 0 0 0 0 0 0 0 0
May 25 2020 20:27:47.570.9-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   # LSA Headers: 1
May 25 2020 20:27:47.570.10-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 1
May 25 2020 20:27:47.570.11-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.4.4
May 25 2020 20:27:47.570.12-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 20:27:47.570.13-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LSA Age: 1
May 25 2020 20:27:47.570.14-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Options: ExRouting:ON
May 25 2020 20:27:47.570.15-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Length: 36, Seq# 80000017
May 25 2020 20:27:47.570.16-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     CheckSum: f014
May 25 2020 20:27:47.570.17-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
May 25 2020 20:27:47.990.1-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x70178025 Line: 4427 Level: 0x20
 OSPF 1: SEND Packet. Interface: GigabitEthernet0/0/1
May 25 2020 20:27:47.990.2-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Source Address: 10.0.123.1
May 25 2020 20:27:47.990.3-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Destination Address: 224.0.0.6
```

```
May 25 2020 20:27:47.990.4-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Ver# 2, Type: 5 (Link-State Ack)
May 25 2020 20:27:47.990.5-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Length: 44, Router: 10.0.1.1
May 25 2020 20:27:47.990.6-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Area: 0.0.0.0, Chksum: 6472
May 25 2020 20:27:47.990.7-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   AuType: 00
May 25 2020 20:27:47.990.8-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Key(ascii): 0 0 0 0 0 0 0 0
May 25 2020 20:27:47.990.9-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   # LSA Headers: 1
May 25 2020 20:27:47.990.10-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 1
May 25 2020 20:27:47.990.11-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.4.4
May 25 2020 20:27:47.990.12-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 20:27:47.990.13-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LSA Age: 2
May 25 2020 20:27:47.990.14-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Options: ExRouting:ON
May 25 2020 20:27:47.990.15-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Length: 36, Seq# 80000017
May 25 2020 20:27:47.990.16-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     CheckSum: f014
```

从输出信息中可以看到 3 个报文，第 1 个报文为：LSU，由 R4（DR）发送，目的地址 224.0.0.5，其中只包含 1 个网段，所以 Links 字段值为 1。

第二个报文 LSAck，由 R3（BDR）发送，目的地址 224.0.0.5。第 3 个报文同样为 LSAck，由 R1 发送，目的地址 224.0.0.6，该报文为 R1 发送给 DR、BDR。

#重新在 Loopback0 接口上激活 OSPF

```
[R4]ospf 1
[R4-ospf-1]area 0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
```

#在 R1 上查看 debug 输出

```
May 25 2020 20:39:26.150.1-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x70178024 Line: 2218 Level: 0x20
 OSPF 1: RECV Packet. Interface: GigabitEthernet0/0/1
May 25 2020 20:39:26.150.2-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Source Address: 10.0.123.4
May 25 2020 20:39:26.150.3-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Destination Address: 224.0.0.5
May 25 2020 20:39:26.150.4-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Ver# 2, Type: 4 (Link-State Update)
May 25 2020 20:39:26.150.5-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Length: 76, Router: 10.0.4.4
May 25 2020 20:39:26.150.6-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Area: 0.0.0.0, Chksum: c8cf
May 25 2020 20:39:26.150.7-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   AuType: 00
May 25 2020 20:39:26.150.8-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Key(ascii): 0 0 0 0 0 0 0 0
May 25 2020 20:39:26.150.9-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   # LSAS: 1
May 25 2020 20:39:26.150.10-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 1
May 25 2020 20:39:26.150.11-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.4.4
May 25 2020 20:39:26.150.12-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 20:39:26.150.13-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LSA Age: 2
May 25 2020 20:39:26.150.14-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Options: ExRouting:ON
May 25 2020 20:39:26.150.15-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Length: 48, Seq# 8000001b
May 25 2020 20:39:26.150.16-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     CheckSum: 6b77
May 25 2020 20:39:26.150.17-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     NtBit: 0   VBit: 0 EBit: 0 BBit: 1
May 25 2020 20:39:26.150.18-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     # Links: 2
May 25 2020 20:39:26.150.19-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LinkID: 10.0.123.4
May 25 2020 20:39:26.150.20-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:       LinkData: 10.0.123.4
May 25 2020 20:39:26.150.21-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:       LinkType: 2
May 25 2020 20:39:26.150.22-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:       TOS# 0 Metric 1
May 25 2020 20:39:26.150.23-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LinkID: 10.0.4.0
May 25 2020 20:39:26.150.24-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:       LinkData: 255.255.255.0
May 25 2020 20:39:26.150.25-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:       LinkType: 3
```

```
May 25 2020 20:39:26.150.26-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:          TOS# 0 Metric 0
May 25 2020 20:39:26.150.27-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
May 25 2020 20:39:26.580.1-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x70178024 Line: 2218 Level: 0x20
 OSPF 1: RECV Packet. Interface: GigabitEthernet0/0/1
May 25 2020 20:39:26.580.2-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Source Address: 10.0.123.3
May 25 2020 20:39:26.580.3-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Destination Address: 224.0.0.5
May 25 2020 20:39:26.580.4-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Ver# 2, Type: 5 (Link-State Ack)
May 25 2020 20:39:26.580.5-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Length: 44, Router: 10.0.3.3
May 25 2020 20:39:26.580.6-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Area: 0.0.0.0, Chksum: e6fd
May 25 2020 20:39:26.580.7-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   AuType: 00
May 25 2020 20:39:26.580.8-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Key(ascii): 0 0 0 0 0 0 0 0
May 25 2020 20:39:26.580.9-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   # LSA Headers: 1
May 25 2020 20:39:26.580.10-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:    LSA Type 1
May 25 2020 20:39:26.580.11-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      LS ID: 10.0.4.4
May 25 2020 20:39:26.580.12-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 20:39:26.580.13-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      LSA Age: 2
May 25 2020 20:39:26.580.14-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      Options: ExRouting:ON
May 25 2020 20:39:26.580.15-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      Length: 48, Seq# 8000001b
May 25 2020 20:39:26.580.16-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      CheckSum: 6b77
May 25 2020 20:39:26.580.17-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
May 25 2020 20:39:26.910.1-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x70178025 Line: 4427 Level: 0x20
 OSPF 1: SEND Packet. Interface: GigabitEthernet0/0/1
May 25 2020 20:39:26.910.2-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Source Address: 10.0.123.1
May 25 2020 20:39:26.910.3-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Destination Address: 224.0.0.6
May 25 2020 20:39:26.910.4-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Ver# 2, Type: 5 (Link-State Ack)
May 25 2020 20:39:26.910.5-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Length: 44, Router: 10.0.1.1
May 25 2020 20:39:26.910.6-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Area: 0.0.0.0, Chksum: e8fe
May 25 2020 20:39:26.910.7-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   AuType: 00
May 25 2020 20:39:26.910.8-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Key(ascii): 0 0 0 0 0 0 0 0
May 25 2020 20:39:26.910.9-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   # LSA Headers: 1
May 25 2020 20:39:26.910.10-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:    LSA Type 1
May 25 2020 20:39:26.910.11-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      LS ID: 10.0.4.4
May 25 2020 20:39:26.910.12-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 20:39:26.910.13-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      LSA Age: 3
May 25 2020 20:39:26.910.14-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      Options: ExRouting:ON
May 25 2020 20:39:26.910.15-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      Length: 48, Seq# 8000001b
May 25 2020 20:39:26.910.16-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:      CheckSum: 6b77
May 25 2020 20:39:26.910.17-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
```

首先第 1 个报文还是来自 R4（DR）的 LSU，其中 Links 字段值为 2，多了 1 个 Loopback0 接口路由，第 2、第 3 个报文和之前一致：BDR 回应的 LSAck 以及 R1 自身回应的 LSAck。

#在 R1 上开启 **debugging ospf packet request**，重置 OSPF 进程

```
<R1>debugging ospf packet request
<R1>reset ospf process 1
```

#观察 R1 的 debug 输出

```
FileID: 0x70178025 Line: 2886 Level: 0x20
 OSPF 1: SEND Packet. Interface: GigabitEthernet0/0/1
```

```
May 25 2020 21:18:01.400.2-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Source Address: 10.0.123.1
May 25 2020 21:18:01.400.3-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Destination Address: 10.0.123
.3
May 25 2020 21:18:01.400.4-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Ver# 2, Type: 3 (Link-State Req)
May 25 2020 21:18:01.400.5-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Length: 108, Router: 10.0.1.1
May 25 2020 21:18:01.400.6-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Area: 0.0.0.0, Chksum: e85a
May 25 2020 21:18:01.400.7-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   AuType: 00
May 25 2020 21:18:01.400.8-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Key(ascii): 0 0 0 0 0 0 0 0
May 25 2020 21:18:01.400.9-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   # Requesting LSAs: 7
May 25 2020 21:18:01.400.10-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 1
May 25 2020 21:18:01.400.11-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.1.1
May 25 2020 21:18:01.400.12-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.1.1
May 25 2020 21:18:01.400.13-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 1
May 25 2020 21:18:01.400.14-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.2.2
May 25 2020 21:18:01.400.15-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.2.2
May 25 2020 21:18:01.400.16-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 3
May 25 2020 21:18:01.400.17-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.45.0
May 25 2020 21:18:01.400.18-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 21:18:01.400.19-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 3
May 25 2020 21:18:01.400.20-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.1.0
May 25 2020 21:18:01.400.21-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.1.1
May 25 2020 21:18:01.400.22-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 4
May 25 2020 21:18:01.400.23-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.5.5
May 25 2020 21:18:01.400.24-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 21:18:01.400.25-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 5
May 25 2020 21:18:01.400.26-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.5.0
May 25 2020 21:18:01.400.27-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.5.5
May 25 2020 21:18:01.400.28-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 5
May 25 2020 21:18:01.400.29-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.45.0
May 25 2020 21:18:01.400.30-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.5.5
May 25 2020 21:18:01.400.31-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
May 25 2020 21:18:01.430.1-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
 FileID: 0x70178025 Line: 2886 Level: 0x20
 OSPF 1: SEND Packet. Interface: GigabitEthernet0/0/1
May 25 2020 21:18:01.430.2-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Source Address: 10.0.123.1
May 25 2020 21:18:01.430.3-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:
May 25 2020 21:18:01.430.4-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Ver# 2, Type: 3 (Link-State R
eq)
May 25 2020 21:18:01.430.5-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Length: 108, Router: 10.0.1.1
May 25 2020 21:18:01.430.6-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Area: 0.0.0.0, Chksum: e85a
May 25 2020 21:18:01.430.7-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   AuType: 00
May 25 2020 21:18:01.430.8-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   Key(ascii): 0 0 0 0 0 0 0 0
May 25 2020 21:18:01.430.9-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   # Requesting LSAs: 7
May 25 2020 21:18:01.430.10-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 1
May 25 2020 21:18:01.430.11-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.1.1
May 25 2020 21:18:01.430.12-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.1.1
May 25 2020 21:18:01.430.13-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 1
May 25 2020 21:18:01.430.14-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.2.2
May 25 2020 21:18:01.430.15-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.2.2
May 25 2020 21:18:01.430.16-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 3
May 25 2020 21:18:01.430.17-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.1.0
May 25 2020 21:18:01.430.18-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.1.1
May 25 2020 21:18:01.430.19-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 3
May 25 2020 21:18:01.430.20-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.45.0
May 25 2020 21:18:01.430.21-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.4.4
```

```
May 25 2020 21:18:01.430.22-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 4
May 25 2020 21:18:01.430.23-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.5.5
May 25 2020 21:18:01.430.24-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.4.4
May 25 2020 21:18:01.430.25-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 5
May 25 2020 21:18:01.430.26-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.5.0
May 25 2020 21:18:01.430.27-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.5.5
May 25 2020 21:18:01.430.28-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:   LSA Type 5
May 25 2020 21:18:01.430.29-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     LS ID: 10.0.45.0
May 25 2020 21:18:01.430.30-08:00 R1 RM/6/RMDEBUG:     Adv Rtr: 10.0.5.5
```

从输出可以看到 R1 向 R3（BDR）、R4（DR）发送了 LS Request。

1.3.3 思考题

Type-4 LSA 什么时候会存在，其作用是?

1.3.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.123.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.1.1
 area 0.0.0.0
  network 10.0.123.1 0.0.0.0
 area 0.0.0.2
  network 10.0.1.1 0.0.0.0
#
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.123.2 255.255.255.0
 ospf dr-priority 0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 area 0.0.0.0
  network 10.0.123.2 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
```

```
#
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.123.3 255.255.255.0
 ospf dr-priority 254
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 area 0.0.0.0
  network 10.0.123.3 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
#
```

R4 设备配置

```
#
sysname R4
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.123.4 255.255.255.0
 ospf dr-priority 255
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.4.4
 area 0.0.0.0
  network 10.0.123.4 0.0.0.0
  network 10.0.4.4 0.0.0.0
 area 0.0.0.1
  network 10.0.45.4 0.0.0.0
#
```

R5 设备配置

```
#
sysname R5
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
#
```

```
interface LoopBack0
 ip address 10.0.5.5 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.5.5
 import-route direct
 area 0.0.0.1
  network 10.0.45.5 0.0.0.0
#
```

1.4 OSPF Stub 区域与 NSSA 区域

1.4.1 实验介绍

1.4.1.1 学习目标

- 实现 OSPF Stub 区域的配置
- 实现 OSPF NSSA 区域的配置
- 描述 Type-7 LSA 的内容
- 描述 Type-7 LSA 与 Type-5 LSA 之间的转换过程

1.4.1.2 实验组网介绍

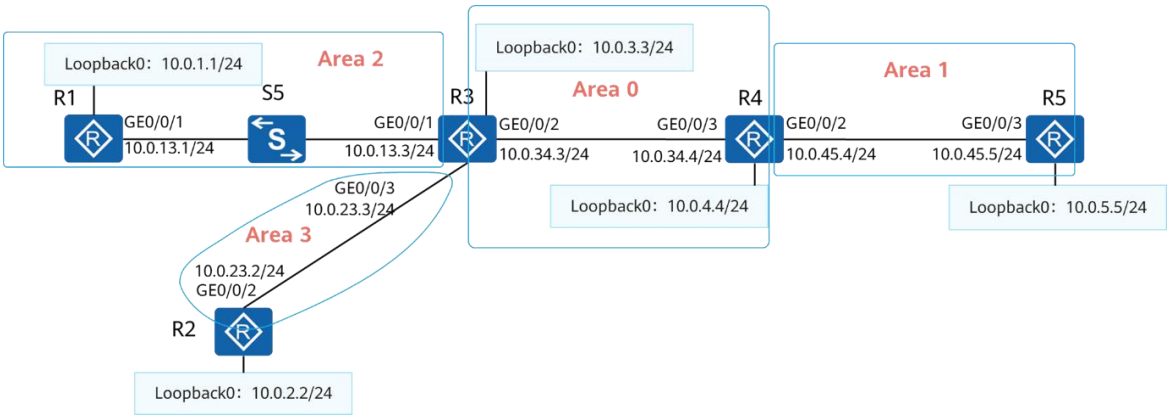


图1-4 OSPF Stub 区域与 NSSA 区域

设备互联方式及 IP 地址规划如图所示，OSPF 区域规划如下：

1. R1 与 R3 的互联接口、R1 的 Loopback0 接口属于 OSPF 区域 2。
2. R3 与 R4 的互联接口以及它们的 Loopback0 接口属于 OSPF 区域 0。
3. R4 与 R5 的互联接口属于 OSPF 区域 1，R5 的 Loopback0 接口不属于任何区域。
4. R2 与 R3 的互联接口属于 OSPF 区域 3，R2 的 Loopback0 接口不属于任何区域。

1.4.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。现在公司的网络中有五台 AR 路由器，其中 R2、R3 和 R4 在公司总部。R5 在公司分部，R1 在公司的另外一个分部。

为了减轻分部设备的压力，你设置区域 1 为 NSSA 区域、区域 2 为 Stub 区域。

同时为了明确设备的 Router ID，你配置设备使用固定的地址作为 Router ID。

1.4.2 实验任务

1.4.2.1 任务思路

1. 设备 IP 地址配置。
2. 按照规划配置 OSPF 区域。
3. 检查 OSPF 配置结果，检查 OSPF 邻居关系状态，检查 OSFP 路由表。
4. 在 R2、R5 上将外部路由引入到 OSPF 中。
5. 配置区域 2 为 Stub 区域，观察区域 2 内 OSPF 路由表、LSDB 的变化。
6. 配置区域 1 为 NSSA 区域，观察区域 1 内 OSPF 路由表、LSDB 的变化。
7. 查看 R4 的 OSPF 路由器身份，在 R4 上观察 Type-7 LSA 向 Type-5 LSA 的转换。

1.4.2.2 任务步骤

步骤 1 互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/1、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack0] quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.13.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/2、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.0
[R2-LoopBack0] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/1、GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R3]interface LoopBack0
```

```
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.0
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.13.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/3
[R3-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R4 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 255.255.255.0
[R4-LoopBack0] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/2
[R4-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R5 的 GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R5]interface LoopBack0
[R5-LoopBack0] ip address 10.0.5.5 255.255.255.0
[R5-LoopBack0] quit
[R5]interface GigabitEthernet0/0/3
[R5-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
[R5-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#在 R3、R5 上检查互联地址连通性

```
<R3>ping -c 1 10.0.13.1
  PING 10.0.13.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.13.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=40 ms

  --- 10.0.13.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 40/40/40 ms

<R3>ping -c 1 10.0.23.2
  PING 10.0.23.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.23.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=60 ms

  --- 10.0.23.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 60/60/60 ms
```

```
<R3>ping -c 1 10.0.34.4
  PING 10.0.34.4: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.34.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=60 ms

  --- 10.0.34.4 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 60/60/60 ms

<R5>ping -c 1 10.0.45.4
  PING 10.0.45.4: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.45.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=70 ms

  --- 10.0.45.4 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 70/70/70 ms
```

步骤 2 配置多区域 OSPF

按照规划配置 OSPF，手动指定 Loopback0 接口地址为 OSPF Router ID，修改 Loopback0 接口的网络类型为 Broadcast。

#配置 R1

```
[R1] ospf 1 router-id 10.0.1.1
[R1-ospf-1] area 0.0.0.2
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.1.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.13.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] quit
[R1-ospf-1] quit
[R1] interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ospf network-type broadcast
```

#配置 R2

```
[R2] ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1] area 0.0.0.3
[R2-ospf-1-area-0.0.0.3] network 10.0.23.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.3] quit
[R2-ospf-1] quit
[R2] interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ospf network-type broadcast
```

#配置 R3

```
[R3] ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1] area 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
```

```
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] area 0.0.0.2
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.0.13.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] area 0.0.0.3
[R3-ospf-1-area-0.0.0.3] network 10.0.23.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.3] quit
[R3-ospf-1] quit
[R3] interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ospf network-type broadcast
```

#配置 R4

```
[R4] ospf 1 router-id 10.0.4.4
[R4-ospf-1] area 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] area 0.0.0.1
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.0.45.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
[R4-ospf-1] quit
[R4] interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ospf network-type broadcast
```

#配置 R5

```
[R5] ospf 1 router-id 10.0.5.5
[R5-ospf-1] area 1
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.0.45.5 0.0.0.0
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
[R5-ospf-1] quit
[R5] interface LoopBack0
[R5-LoopBack0] ospf network-type broadcast
```

步骤 3 检查 OSPF 多区域配置

#在 R3 上检查 OSPF 邻居的概要信息

```
<R3>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
    Peer Statistic Information
 ----------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2          10.0.4.4         Full
 0.0.0.2          GigabitEthernet0/0/1          10.0.1.1         Full
 0.0.0.3          GigabitEthernet0/0/3          10.0.2.2         Full
 ----------------------------------------------------------------------------
```

#在 R5 上检查 OSPF 邻居的概要信息

```
<R5>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.5.5
```

```
    Peer Statistic Information
----------------------------------------------------------------------------
Area Id          Interface                       Neighbor id      State
0.0.0.1          GigabitEthernet0/0/3            10.0.4.4         Full
----------------------------------------------------------------------------
```

从输出信息可以判断出所有设备之间的 OSPF 邻居关系状态正常。

#在 R3 上查看 OSPF 路由表

```
<R3>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.3.0/24        0      Stub       10.0.3.3        10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.13.0/24       1      Transit    10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.23.0/24       1      Transit    10.0.23.3       10.0.3.3        0.0.0.3
 10.0.34.0/24       1      Transit    10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.1.0/24        1      Stub       10.0.13.1       10.0.1.1        0.0.0.2
 10.0.4.0/24        1      Stub       10.0.34.4       10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.45.0/24       2      Inter-area   10.0.34.4       10.0.4.4        0.0.0.0

 Total Nets: 7
 Intra Area: 6   Inter Area: 1   ASE: 0   NSSA: 0
```

除了未激活 OSPF 的 R2 Loopback0 接口、R5 Loopback0 接口，R3 已经学习到其余接口路由。

步骤 4 配置将外部路由引入到 OSPF 中

#将 R5 的 Loopback0 接口路由引入到 OSPF 中

```
[R5] ospf 1
[R5-ospf-1] import-route direct
```

#在 R2 上配置缺省路由，且指定出接口为 Loopback0 接口，并将该缺省路由引入到 OSPF 中，外部路由类型设置为 1，Cost 值设置为 20，不携带 always 参数

```
[R2] ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 LoopBack 0
[R2] ospf 1
[R2-ospf-1] default-route-advertise type 1 cost 20
```

#在 R3 上查看引入的外部路由，并测试其连通性

```
<R3>display ospf routing 0.0.0.0

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3

 Destination : 0.0.0.0/0
 AdverRouter : 10.0.2.2                  Tag          : 1
```

```
Cost           : 21                        Type         : Type1
NextHop        : 10.0.23.2                 Interface    : GigabitEthernet0/0/3
Priority       : Low                       Age          : 00h01m15s

<R3>display ospf routing 10.0.5.5

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3

 Destination : 10.0.5.0/24
 AdverRouter : 10.0.5.5                   Tag          : 1
 Cost        : 1                           Type         : Type2
 NextHop     : 10.0.34.4                  Interface    : GigabitEthernet0/0/2
 Priority    : Low                        Age          : 00h05m20s

<R3>ping -c 1 10.0.5.5
  PING 10.0.5.5: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.5.5: bytes=56 Sequence=1 ttl=254 time=50 ms

  --- 10.0.5.5 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms

<R3>ping -c 1 10.0.2.2
  PING 10.0.2.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.2.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.2.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms
```

步骤 5 配置区域 2 为 Stub 区域

#在 R1 上查看 OSPF 路由表

```
<R1>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
   Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type        NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.1.0/24        0      Stub        10.0.1.1        10.0.1.1        0.0.0.2
 10.0.13.0/24       1      Transit     10.0.13.1       10.0.1.1        0.0.0.2
 10.0.3.0/24        1      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.4.0/24        2      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.23.0/24       2      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.34.0/24       2      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.45.0/24       3      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2

 Routing for ASEs
 Destination        Cost       Type       Tag          NextHop         AdvRouter
```

```
0.0.0.0/0          22          Type1       1           10.0.13.3       10.0.2.2
10.0.5.0/24        1           Type2       1           10.0.13.3       10.0.5.5

Total Nets: 9
Intra Area: 2  Inter Area: 5  ASE: 2  NSSA: 0
```

此时默认路由为 OSPF 外部路由。

#在 R1、R3 上配置区域 2 为 Stub 区域

```
[R1] ospf 1
[R1-ospf-1] area 0.0.0.2
[R1-ospf-1-area-0.0.0.2] stub

[R3] ospf 1
[R3-ospf-1] area 0.0.0.2
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] stub
```

#再次在 R1 上查看 OSPF 路由表

```
<R1>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type        NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.1.0/24        0      Stub        10.0.1.1        10.0.1.1        0.0.0.2
 10.0.13.0/24       1      Transit     10.0.13.1       10.0.1.1        0.0.0.2
 0.0.0.0/0          2      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.3.0/24        1      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.4.0/24        2      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.23.0/24       2      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.34.0/24       2      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2
 10.0.45.0/24       3      Inter-area  10.0.13.3       10.0.3.3        0.0.0.2

 Total Nets: 8
 Intra Area: 2  Inter Area: 6  ASE: 0  NSSA: 0
```

此时 R1 上不存在 OSPF 外部路由，原本的 OSPF 外部路由条目 0.0.0.0/0、10.0.5.0/24 被一条缺省的 OSPF 区域间路由所取代。

#查看 R1 的 OSPF LSDB

```
<R1>display ospflsdb

 OSPFProcess1 withRouter ID 10.0.1.1
  LinkState Database

             Area: 0.0.0.2
Type       LinkState ID     AdvRouter        Age   Len   Sequence   Metric
Router      10.0.3.3        10.0.3.3         628   36    80000004     1
Router      10.0.1.1        10.0.1.1         619   48    80000007     0
Network     10.0.13.1        10.0.1.1         619   32    80000002     0
```

```
Sum-Net    0.0.0.0          10.0.3.3          631   28     80000001       1
Sum-Net    10.0.34.0         10.0.3.3          631   28     80000001       1
Sum-Net    10.0.3.0         10.0.3.3          631   28     80000001       0
Sum-Net    10.0.4.0         10.0.3.3          631   28     80000001       1
Sum-Net    10.0.45.0         10.0.3.3          631   28     80000001       2
Sum-Net    10.0.23.0         10.0.3.3          631   28     80000001       1
```

R1 上此时不存在 Type-4 LSA、Type-5 LSA，去往 OSPF 域外通过 ABR 生成的 Type-3 LSA 所携带的缺省路由实现。同时此时前往其他区域的 Type-3 LSA 依旧存在。

以上验证了将一个区域配置为 Stub 区域以后，ABR 会阻断 Type-4 LSA、Type-5 LSA 向该区域发送，并通过 Type-3 LSA 向该区域内泛洪一条默认路由指向 ABR 自身。

#在 R3 上配置区域 2 为 Totally Stub 区域

```
[R3] ospf 1
[R3-ospf-1] area 0.0.0.2
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2] stub no-summary
```

#再次在 R1 上查看 OSPF 路由表、LSDB

```
<R1>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
 10.0.1.0/24          0      Stub         10.0.1.1        10.0.1.1          0.0.0.2
 10.0.13.0/24         1      Transit      10.0.13.1       10.0.1.1          0.0.0.2
 0.0.0.0/0            2      Inter-area   10.0.13.3       10.0.3.3          0.0.0.2

 Total Nets: 3
 Intra Area: 2   Inter Area: 1   ASE: 0   NSSA: 0

<R1>display ospflsdb

  OSPFProcess1 withRouter ID 10.0.1.1
   Link State Database

            Area: 0.0.0.2
Type        LinkState ID     AdvRouter        Age  Len    Sequence    Metric
Router      10.0.3.3         10.0.3.3         125  36     80000005       1
Router      10.0.1.1         10.0.1.1         121  48     8000000C       0
Network     10.0.13.1        10.0.1.1         121  32     80000002       0
Sum-Net     0.0.0.0          10.0.3.3         961  28     80000001       1
```

此时原本多条 OSPF 区域间路由只剩一条 0.0.0.0/0 缺省路由，LSDB 中 Type-3 LSA 只剩一条 0.0.0.0。

这就验证了 Totally Stub 区域中 ABR 会阻断了 Type-3 LSA、Type-4 LSA、Type-5 LSA，并生成一条 Type-3 LSA，通告一条指向自身的缺省路由。

步骤 6 配置区域 1 为 NSSA 区域

#查看 R4 的 OSPF 路由表

```
<R4>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Routing Tables

Routing for Network
Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
10.0.4.0/24          0      Stub         10.0.4.4        10.0.4.4          0.0.0.0
10.0.34.0/24         1      Transit      10.0.34.4       10.0.4.4          0.0.0.0
10.0.45.0/24         1      Transit      10.0.45.4       10.0.4.4          0.0.0.1
10.0.1.0/24          2      Inter-area   10.0.34.3       10.0.3.3          0.0.0.0
10.0.3.0/24          1      Stub         10.0.34.3       10.0.3.3          0.0.0.0
10.0.13.0/24         2      Inter-area   10.0.34.3       10.0.3.3          0.0.0.0
10.0.23.0/24         2      Inter-area   10.0.34.3       10.0.3.3          0.0.0.0

Routing for ASEs
Destination          Cost       Type       Tag          NextHop         AdvRouter
0.0.0.0/0            22         Type1      1            10.0.34.3       10.0.2.2
10.0.5.0/24          1          Type2      1            10.0.45.5       10.0.5.5

Total Nets: 9
Intra Area: 4   Inter Area: 3   ASE: 2   NSSA: 0
```

此时 R5 存在一条由 Type-5 LSA 描述的外部路由 10.0.5.0/24。

#查看 R5 的 OSPF 路由表

```
<R5>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.5.5
    Routing Tables

Routing for Network
Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter         Area
10.0.45.0/24         1      Transit      10.0.45.5       10.0.5.5          0.0.0.1
10.0.1.0/24          3      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4          0.0.0.1
10.0.3.0/24          2      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4          0.0.0.1
10.0.4.0/24          1      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4          0.0.0.1
10.0.13.0/24         3      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4          0.0.0.1
10.0.23.0/24         3      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4          0.0.0.1
10.0.34.0/24         2      Inter-area   10.0.45.4       10.0.4.4          0.0.0.1

Routing for ASEs
Destination          Cost       Type       Tag          NextHop         AdvRouter
0.0.0.0/0            23         Type1      1            10.0.45.4       10.0.2.2

Total Nets: 8
Intra Area: 1   Inter Area: 6   ASE: 1   NSSA: 0
```

在 R5 的 OSPF 路由表中出现的缺省路由是由 Type-5 LSA 所描述的，该 LSA 由 R2 产生。

#在 R4、R5 上配置区域 1 为 NSSA 区域

```
[R4]ospf 1
[R4-ospf-1] area 0.0.0.1
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1] nssa

[R5]ospf 1
[R5-ospf-1] area 0.0.0.1
[R5-ospf-1-area-0.0.0.1] nssa
```

#再次查看 R5 的 OSPF 路由表

```
<R5>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.5.5
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop        AdvRouter        Area
 10.0.45.0/24         1      Transit      10.0.45.5      10.0.5.5         0.0.0.1
 10.0.1.0/24          3      Inter-area   10.0.45.4      10.0.4.4         0.0.0.1
 10.0.3.0/24          2      Inter-area   10.0.45.4      10.0.4.4         0.0.0.1
 10.0.4.0/24          1      Inter-area   10.0.45.4      10.0.4.4         0.0.0.1
 10.0.13.0/24         3      Inter-area   10.0.45.4      10.0.4.4         0.0.0.1
 10.0.23.0/24         3      Inter-area   10.0.45.4      10.0.4.4         0.0.0.1
 10.0.34.0/24         2      Inter-area   10.0.45.4      10.0.4.4         0.0.0.1

 Routing for NSSAs
 Destination          Cost       Type       Tag          NextHop        AdvRouter
 0.0.0.0/0            1          Type2      1            10.0.45.4      10.0.4.4

 Total Nets: 8
 Intra Area: 1    Inter Area: 6    ASE: 0    NSSA: 1
```

此时不存在由 R2 发布的缺省路由，存在一条由 R4 发布的 Type-7 LSA 描述的 OSPF 缺省路由。

#查看 R5 LSDB

```
<R5>display ospflsdb

 OSPFProcess1 withRouter ID 10.0.5.5
   Link State Database

             Area: 0.0.0.1
Type         LinkState ID     AdvRouter          Age  Len   Sequence    Metric
Router       10.0.5.5         10.0.5.5           100  36    80000005    1
Router       10.0.4.4         10.0.4.4           105  36    80000005    1
Network      10.0.45.5        10.0.5.5           100  32    80000002    0
Sum-Net      10.0.34.0        10.0.4.4           151  28    80000001    1
Sum-Net      10.0.13.0        10.0.4.4           151  28    80000001    2
Sum-Net      10.0.3.0         10.0.4.4           151  28    80000001    1
Sum-Net      10.0.1.0         10.0.4.4           151  28    80000001    2
```

```
Sum-Net    10.0.4.0        10.0.4.4          151  28    80000001      0
Sum-Net    10.0.23.0       10.0.4.4          151  28    80000001      2
NSSA       10.0.5.0        10.0.5.5          143  36    80000001      1
NSSA       10.0.45.0       10.0.5.5          143  36    80000002      1
NSSA       0.0.0.0         10.0.4.4          151  36    80000001      1
```

此时不存在 Type-4 LSA、Type-5 LSA，外部路由以 Type-7 LSA（NSSA）的形式存在。

#查看 R4 的 OSPF 路由表

```
[R4]display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.4.0/24        0      Stub       10.0.4.4        10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.34.0/24       1      Transit    10.0.34.4       10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.45.0/24       1      Transit    10.0.45.4       10.0.4.4        0.0.0.1
 10.0.1.0/24        2      Inter-area 10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.3.0/24        1      Stub       10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.13.0/24       2      Inter-area 10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.23.0/24       2      Inter-area 10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0

 Routing for ASEs
 Destination        Cost       Type       Tag         NextHop         AdvRouter
 0.0.0.0/0          22         Type1      1           10.0.34.3       10.0.2.2

 Routing for NSSAs
 Destination        Cost       Type       Tag         NextHop         AdvRouter
 10.0.5.0/24        1          Type2      1           10.0.45.5       10.0.5.5

 Total Nets: 9
 Intra Area: 4   Inter Area: 3   ASE: 1   NSSA: 1
```

R5 所引入的外部路由 10.0.5.0/24 由 Type-7 LSA 所描述。

以上验证了 NSSA 区域阻断了外部的 Type-4 LSA、Type-5 LSA 进入，并且 ABR 会向区域内下发一条由 Type-7 LSA 描述的默认路由。ASBR 向 NSSA 区域内下发 Type-7 LSA 描述本区域中引入的外部路由。

步骤 7　观察 NSSA 对 OSPF 产生的影响

#在 R4 上查看 OSPF 概要信息

```
<R4>display ospf brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
  OSPF Protocol Information

 RouterID: 10.0.4.4          Border Router:   AREA   AS   NSSA
 Multi-VPN-Instance is not enabled
```

```
Global DS-TE Mode: Non-Standard IETF Mode
Spf-schedule-interval: max 10000ms, start 500ms, hold 1000ms
Default ASE parameters: Metric: 1 Tag: 1 Type: 2
Route Preference: 10
ASE Route Preference: 150
SPF Computation Count: 22
RFC 1583 Compatible
Retransmission limitation is disabled
Area Count: 2     Nssa Area Count: 1
ExChange/Loading Neighbors: 0

Area: 0.0.0.0               (MPLS TE not enabled)
Authtype: None     Area flag: Normal
SPF scheduled Count: 22
ExChange/Loading Neighbors: 0
Router ID conflict state: Normal

Interface: 10.0.4.4 (LoopBack0)
Cost: 0           State: DR           Type: Broadcast      MTU: 1500
Priority: 1
Designated Router: 10.0.4.4
Backup Designated Router: 0.0.0.0
Timers: Hello 10 , Dead 40 , Poll   120 , Retransmit 5 , Transmit Delay 1

Interface: 10.0.34.4 (GigabitEthernet0/0/3)
Cost: 1           State: BDR          Type: Broadcast      MTU: 1500
Priority: 1
Designated Router: 10.0.34.3
Backup Designated Router: 10.0.34.4
Timers: Hello 10 , Dead 40 , Poll   120 , Retransmit 5 , Transmit Delay 1

Area: 0.0.0.1               (MPLS TE not enabled)
Authtype: None     Area flag:     NSSA
SPF scheduled Count: 6
ExChange/Loading Neighbors: 0
NSSA Translator State: Elected
Router ID conflict state: Normal

Interface: 10.0.45.4 (GigabitEthernet0/0/2)
Cost: 1           State: BDR          Type: Broadcast      MTU: 1500
Priority: 1
Designated Router: 10.0.45.5
Backup Designated Router: 10.0.45.4
Timers: Hello 10 , Dead 40 , Poll   120 , Retransmit 5 , Transmit Delay 1
```

在 Border Router 字段可以看到 R4 此时的身份为：AREA　AS　NSSA，分别代表该路由器为 ABR、ASBR 以及存在接口属于 NSSA 区域。

#在 R4 上观察 Type-7 LSA 向 Type-5 LSA 转换的过程，以 10.0.5.0/24 为例观察路由信息的传递过程

```
<R4>display ospf lsdb nssa 10.0.5.0

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
             Area: 0.0.0.0
```

```
  Link State Database

            Area: 0.0.0.1
  Link State Database


  Type       : NSSA
  Ls id      : 10.0.5.0
  Adv rtr    : 10.0.5.5
  Ls age     : 587
  Len        : 36
  Options    :  NP
  seq#       : 80000001
  chksum     : 0x3336
  Net mask   : 255.255.255.0
  TOS 0  Metric: 1
  E type     : 2
  Forwarding Address : 10.0.45.5
  Tag        : 1
  Priority   : Low
```

首先查看描述 10.0.5.0/24 的 Type-7 LSA，其 options 字段为 NP，表示该 LSA 可以被 ABR 转化成一条 Type-5 LSA。

#在 R4 上查看生成的用于描述 10.0.5.0/24 的 Type-5 LSA

```
<R4>display ospf lsdb ase 10.0.5.0

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
  Link State Database


  Type       : External
  Ls id      : 10.0.5.0
  Adv rtr    : 10.0.4.4
  Ls age     : 753
  Len        : 36
  Options    :  E
  seq#       : 80000001
  chksum     : 0xb6bc
  Net mask   : 255.255.255.0
  TOS 0  Metric: 1
  E type     : 2
  Forwarding Address : 10.0.45.5
  Tag        : 1
  Priority   : Low
```

可以看到与 Type-7 LSA 相比，其 Ls id、net mask、FA 地址字段内容完全相同，adv rtr 字段值从 10.0.5.5 变为了 10.0.4.4，说明该 Type-5 LSA 由 R4 产生。

1.4.3 思考题

在什么场景下适合使用 NSSA 区域?

1.4.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.13.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.1.1
 area 0.0.0.2
  network 10.0.1.1 0.0.0.0
  network 10.0.13.1 0.0.0.0
  stub
#
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 default-route-advertise cost 20 type 1
 area 0.0.0.3
  network 10.0.23.2 0.0.0.0
#
ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 LoopBack0
#
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.13.3 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
#
```

```
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 area 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.0.34.3 0.0.0.0
 area 0.0.0.2
  network 10.0.13.3 0.0.0.0
  stub no-summary
 area 0.0.0.3
  network 10.0.23.3 0.0.0.0
#
```

R4 设备配置

```
#
sysname R4
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.4.4
 area 0.0.0.0
  network 10.0.4.4 0.0.0.0
  network 10.0.34.4 0.0.0.0
 area 0.0.0.1
  network 10.0.45.4 0.0.0.0
  nssa
#
```

R5 设备配置

```
#
sysname R5
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.5.5 255.255.255.0
 ospf network-type broadcast
#
ospf 1 router-id 10.0.5.5
 import-route direct
 area 0.0.0.1
  network 10.0.45.5 0.0.0.0
```

```
  nssa
#
```

2 IS-IS 基础实验

2.1 IS-IS 配置实验

2.1.1 实验介绍

2.1.1.1 学习目标

- 实现 IS-IS 协议基本配置
- 实现 IS-IS 协议 DIS 优先级修改
- 实现 IS-IS 协议网络类型修改
- 实现 IS-IS 协议外部路由引入
- 实现 IS-IS 接口 cost 修改
- 实现 IS-IS 路由渗透配置

2.1.1.2 实验组网介绍

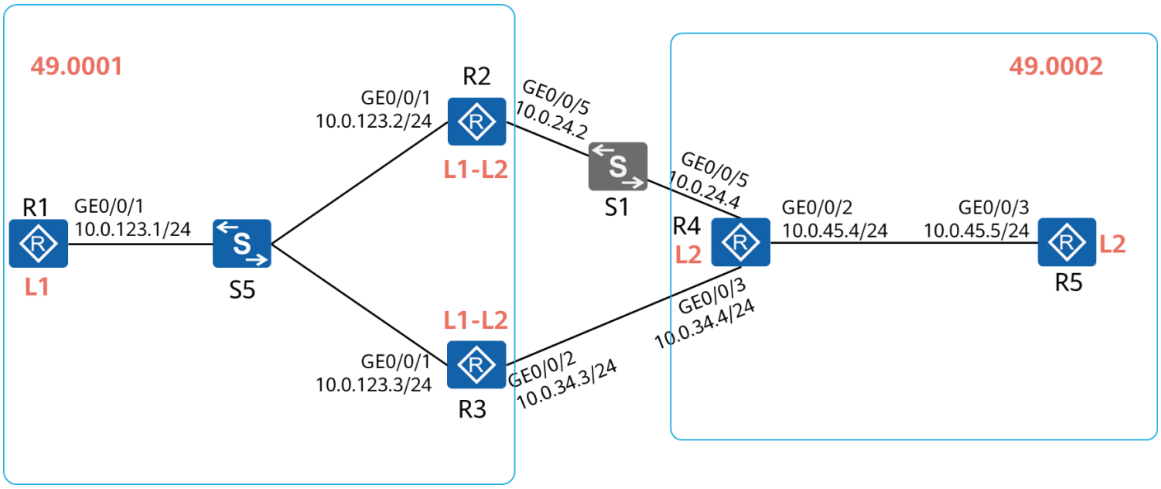


图2-1 IS-IS 实验拓扑

IP 地址、IS-IS 区域、IS-IS 路由器等级如图所示，其中 R1、R2、R3 属于 49.0001 区域，R4、R5 属于 49.0002 区域，所有路由器均创建 Loopback0 接口，其 IP 地址为 10.0.x.x/32，其中 x 为设备编号。

2.1.1.3 实验背景

某客户的网络使用 IS-IS 协议作为 IGP，R4 和 R5 运行在 49.0002 区域，都是 Level-2 路由器。R1、R2、R3 运行在 49.0001 区域，其中 R1 是 Level-1 路由器，R2 和 R3 作为 Level-1-2 路由器。R5 上引入了外部路由 192.168.1.0/24。

要求：R1 可以访问 R5 引入的外部路由；R1 的 GE0/0/1 接口作为 DIS；R1 与 R5 之间的双向流量要求沿着 R3、R4 这条路径转发，可以通过 cost 和路由渗透进行选路控制。

2.1.2 实验任务

2.1.2.1 任务思路

1. 设备 IP 地址配置。
2. 按照规划配置 IS-IS。
3. 检查 IS-IS 配置结果，分别在 R1、R4 检查 IS-IS 邻居信息。
4. 手动修改 R1 GE0/0/1 接口的 DIS 优先级，使其成为 DIS。
5. 在 R5 上创建 Loopback1，作为外部路由引入到 IS-IS 中，分别在 R4、R1 上观察 IS-IS 路由表，并测试 R1 与外部路由地址之间的连通性。
6. 手动在 R4 上修改 GE0/0/3 的 IS-IS Cost 值，使得 R4 优选下一跳为 R2 的路由前往 R1。
7. 在 R3 上配置 IS-IS 的路由渗透，使得 R1 从 R3 上学习到 L2 区域的明细路由，使得 R1 根据最长匹配原则，优选下一跳为 R3 的明细路由前往 L2 区域。

2.1.2.2 任务步骤

步骤 1　互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/1、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0] quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.123.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/1、GE0/0/5、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.123.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/5
[R2-GigabitEthernet0/0/5] ip address 10.0.24.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/5] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/1、GE0/0/2、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.123.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
```

#配置 R4 的 GE0/0/2、GE0/0/3、GE0/0/5、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
[R4-LoopBack0] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/2
[R4-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/5
[R4-GigabitEthernet0/0/5] ip address 10.0.24.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/5] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
```

```
[R4-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R5 的 GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R5]interface LoopBack0
[R5-LoopBack0] ip address 10.0.5.5 255.255.255.255
[R5-LoopBack0] quit
[R5]interface GigabitEthernet0/0/3
[R5-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
[R5-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#在 R1、R4 上检查互联地址连通性

```
<R1>ping -c 1 10.0.123.2
  PING 10.0.123.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=90 ms

  --- 10.0.123.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 90/90/90 ms

<R1>ping -c 1 10.0.123.3
  PING 10.0.123.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.123.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=140 ms

  --- 10.0.123.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 140/140/140 ms

<R4>ping -c 1 10.0.24.2
  PING 10.0.24.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.24.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=70 ms

  --- 10.0.24.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 70/70/70 ms

<R4>ping -c 1 10.0.34.3
  PING 10.0.34.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.34.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=60 ms

  --- 10.0.34.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 60/60/60 ms
```

```
<R4>ping -c 1 10.0.45.5
  PING 10.0.45.5: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.45.5: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.45.5 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms
```

步骤 2 配置 IS-IS 协议

按照拓扑设计逐台配置路由器的 IS-IS 进程，进程号使用 1，NET 使用设备编号，以 R1 为例：49.0001.0000.0000.0001.00。

#配置 R1

```
[R1]isis 1
[R1-isis-1] is-level level-1
[R1-isis-1] network-entity 49.0001.0000.0000.0001.00
[R1-isis-1] quit
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] isis enable 1
[R1-LoopBack0] quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] isis enable 1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

#配置 R2

```
[R2]isis 1
[R2-isis-1] network-entity 49.0001.0000.0000.0002.00
[R2-isis-1] quit
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] isis enable 1
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] isis enable 1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/5
[R2-GigabitEthernet0/0/5] isis enable 1
[R2-GigabitEthernet0/0/5] quit
```

#配置 R3

```
[R3]isis
[R3-isis-1] network-entity 49.0001.0000.0000.0003.00
[R3-isis-1] quit
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
```

```
[R3-LoopBack0] isis enable 1
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] isis enable 1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] isis enable 1
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
```

#配置 R4

```
[R4]isis 1
[R4-isis-1] is-level level-2
[R4-isis-1] network-entity 49.0002.0000.0000.0004.00
[R4-isis-1] quit
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] isis enable 1
[R4-LoopBack0] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/2
[R4-GigabitEthernet0/0/2] isis enable 1
[R4-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] isis enable 1
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/5
[R4-GigabitEthernet0/0/5] isis enable 1
[R4-GigabitEthernet0/0/5] quit
```

#配置 R5

```
[R5]isis 1
[R5-isis-1] is-level level-2
[R5-isis-1] network-entity 49.0002.0000.0000.0005.00
[R5-isis-1] quit
[R5]interface LoopBack0
[R5-LoopBack0] isis enable 1
[R5-LoopBack0] quit
[R5]interface GigabitEthernet0/0/3
[R5-GigabitEthernet0/0/3] isis enable 1
[R5-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#为保证安全性，配置 IS-IS 的接口认证，使用 MD5 方式，密码配置为“huawei”

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] isis authentication-mode md5 huawei
[R1-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] isis authentication-mode md5 huawei
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/5
[R2-GigabitEthernet0/0/5] isis authentication-mode md5 huawei
[R2-GigabitEthernet0/0/5] quit
```

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] isis authentication-mode md5 huawei
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] isis authentication-mode md5 huawei
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
```

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/2
[R4-GigabitEthernet0/0/2] isis authentication-mode md5 huawei
[R4-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] isis authentication-mode md5 huawei
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/5
[R4-GigabitEthernet0/0/5] isis authentication-mode md5 huawei
[R4-GigabitEthernet0/0/5] quit
```

```
[R5]interface GigabitEthernet0/0/3
[R5-GigabitEthernet0/0/3] isis authentication-mode md5 huawei
[R5-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

步骤 3 检查 IS-IS 配置结果

#在 R1、R4 查看 IS-IS 邻居

```
<R1>display isis peer

                    Peerinformation for ISIS(1)

  System Id       Interface          Circuit Id          State  HoldTime Type       PRI
------------------------------------------------------------------------------
0000.0000.0002  GE0/0/1            0000.0000.0002.01   Up     8s          L1         64
0000.0000.0003  GE0/0/1            0000.0000.0002.01   Up     29s         L1         64

Total  Peer(s):2
```

R1 已经成功地与 R2、R3 建立 IS-IS 邻居，并且是 L1 类型。

```
<R4>display isis peer

                    Peerinformation for ISIS(1)

  System Id       Interface          Circuit Id          State  HoldTime Type       PRI
------------------------------------------------------------------------------
0000.0000.0005  GE0/0/2            0000.0000.0004.01   Up     24s         L2         64
0000.0000.0003  GE0/0/3            0000.0000.0004.02   Up     27s         L2         64
0000.0000.0002  GE0/0/5            0000.0000.0004.03   Up     23s         L2         64

Total  Peer(s):3
```

R4 已经成功地与 R2、R3、R5 建立 IS-IS 邻居，并且是 L2 类型。

#在 L2 路由器 R4 上检查 IS-IS 路由表

```
<R4>display isis route

                         Route information for ISIS(1)
                         ----------------------------

                        ISIS(1) Level-2 Forwarding Table
                        --------------------------------

IPV4 Destination      IntCost      ExtCost    ExitInterface      NextHop          Flags
-------------------------------------------------------------------------------
10.0.24.0/24          10           NULL       GE0/0/5            Direct           D/-/L/-
10.0.3.3/32           10           NULL       GE0/0/3            10.0.34.3        A/-/-/-
10.0.2.2/32           10           NULL       GE0/0/5            10.0.24.2        A/-/-/-
10.0.5.5/32           10           NULL       GE0/0/2            10.0.45.5        A/-/-/-
10.0.123.0/24         20           NULL       GE0/0/3            10.0.34.3        A/-/-/-
                                                GE0/0/5            10.0.24.2
10.0.45.0/24          10           NULL       GE0/0/2            Direct           D/-/L/-
10.0.1.1/32           20           NULL       GE0/0/3            10.0.34.3        A/-/-/-
                                                GE0/0/5            10.0.24.2
10.0.4.4/32           0            NULL       Loop0              Direct           D/-/L/-
10.0.34.0/24          10           NULL       GE0/0/3            Direct           D/-/L/-
      Flags: D-Direct, A-Added to URT, L-Advertised in LSPs, S-IGP Shortcut, U-Up/Down Bit Set
```

从输出信息可以看到 L2 路由器 R4 已经学习到整网的路由，并且前往 10.0.123.0/24、10.0.1.1/32 的路由已经处于负载均衡的状态下。

步骤 4 修改 R1 GE0/0/1 接口的 DIS 优先级

R1、R2、R3 处于同一个广播网络中，它们会选举出一个 DIS，通过修改 DIS 优先级手动指定 R1 的 GE0/0/1 作为 DIS。

#在 R1 上查看 IS-IS 接口状态

```
<R1>display isis interface

                          Interface information for ISIS(1)
                          ---------------------------------
 Interface   Id       IPV4.State                IPV6.State      MTU   Type     DIS
 Loop0       001        Up                      Down            1500  L1/L2    --
 GE0/0/1     001        Up                      Down            1497  L1/L2    No/No
```

此时 R1 的 GE0/0/1 接口并不是 DIS。

#修改 R1 的 GE0/0/1 DIS 优先级

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] isis dis-priority 127
```

#在 R1 上查看 IS-IS 接口状态

```
<R1>display isis interface

                         Interface information for ISIS(1)
                         --------------------------------
Interface     Id          IPV4.State           IPV6.State       MTU   Type   DIS
Loop0      001            Up                 Down             1500   L1/L2    --
GE0/0/1    001            Up                   Down             1497   L1/L2   Yes/No
```

此时 R1 的 GE0/0/1 接口已经成为 DIS。

步骤 5 引入外部路由

#在 R5 上创建 Loopback1 接口，配置 IP 地址为 192.168.1.1，作为外部路由引入到 IS-IS 中

```
[R5]interface LoopBack 1
[R5-LoopBack1] ip address 192.168.1.1 32
[R5-LoopBack1] quit
[R5]isis 1
[R5-isis-1] import-route direct
[R5-isis-1] quit
```

#在 R5 上查看 IS-IS 路由表

```
<R5>display isis route

                          Route information for ISIS(1)
                          -----------------------------

                         ISIS(1) Level-2 Forwarding Table
                         --------------------------------

IPV4 Destination      IntCost       ExtCost    ExitInterface      NextHop          Flags
-------------------------------------------------------------------------------
10.0.24.0/24          20            NULL       GE0/0/3            10.0.45.4        A/-/-/-
10.0.3.3/32           20            NULL       GE0/0/3            10.0.45.4        A/-/-/-
10.0.2.2/32           20            NULL       GE0/0/3            10.0.45.4        A/-/-/-
10.0.5.5/32           0             NULL       Loop0              Direct           D/-/L/-
10.0.123.0/24         30            NULL       GE0/0/3            10.0.45.4        A/-/-/-
10.0.45.0/24          10            NULL       GE0/0/3            Direct           D/-/L/-
10.0.1.1/32           30            NULL       GE0/0/3            10.0.45.4        A/-/-/-
10.0.4.4/32           10            NULL       GE0/0/3            10.0.45.4        A/-/-/-
10.0.34.0/24          20            NULL       GE0/0/3            10.0.45.4        A/-/-/-
      Flags: D-Direct, A-Added to URT, L-Advertised in LSPs, S-IGP Shortcut, U-Up/Down Bit Set

                         ISIS(1) Level-2 Redistribute Table
                         ----------------------------------

 Type IPV4 Destination       IntCost      ExtCost Tag
-------------------------------------------------------------------------------
 D      192.168.1.1/32         0              0

           Type: D-Direct, I-ISIS, S-Static, O-OSPF, B-BGP, R-RIP, U-UNR
```

在 L2 的路由重发布表中可以看到引入的外部路由。

#在 R4 上查看 IS-IS 路由 192.168.1.1

```
<R4>display isis route 192.168.1.1

                         Route information for ISIS(1)
                         ------------------------------

                        ISIS(1) Level-2 Forwarding Table
                        --------------------------------

IPV4 Destination      IntCost      ExtCost ExitInterface      NextHop         Flags
-------------------------------------------------------------------------------
192.168.1.1/32        10           0       GE0/0/2            10.0.45.5       A/-/-/-
      Flags: D-Direct, A-Added to URT, L-Advertised in LSPs, S-IGP Shortcut,U-Up/Down Bit Set
```

R4 此时已经学习到 IS-IS 路由 192.168.1.1/32。

#在 R1 上查看 IS-IS 路由表

```
<R1>display isis route

                         Route information for ISIS(1)
                         ------------------------------

                        ISIS(1) Level-1 Forwarding Table
                        --------------------------------

IPV4 Destination      IntCost      ExtCost ExitInterface      NextHop         Flags
-------------------------------------------------------------------------------
0.0.0.0/0             10           NULL    GE0/0/1            10.0.123.3      A/-/-/-
                                           GE0/0/1            10.0.123.2
10.0.24.0/24          20           NULL    GE0/0/1            10.0.123.2      A/-/-/-
10.0.3.3/32           10           NULL    GE0/0/1            10.0.123.3      A/-/-/-
10.0.2.2/32           10           NULL    GE0/0/1            10.0.123.2      A/-/-/-
10.0.123.0/24         10           NULL    GE0/0/1            Direct          D/-/L/-
10.0.1.1/32           0            NULL    Loop0              Direct          D/-/L/-
10.0.34.0/24          20           NULL    GE0/0/1            10.0.123.3      A/-/-/-
      Flags: D-Direct, A-Added to URT, L-Advertised in LSPs, S-IGP Shortcut,U-Up/Down Bit Set
```

从输出信息无法看到路由 192.168.1.1/32，R1 作为 L1 路由器，默认情况下 L1-2 路由器不会向其传递 L2 路由，所以在 R1 上无法看到引入的外部路由 192.168.1.1/32，但 R1 上存在前往骨干区域的默认路由，并且为负载均衡状态。

#在 R1 上测试与 R5 的 Loopback1 接口的连通性

```
<R1>ping -c 1 192.168.1.1
  PING 192.168.1.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 192.168.1.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=253 time=90 ms

  --- 192.168.1.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 90/90/90 ms
```

R1 可以与 R5 的 Loopback1 接口正常通信。

步骤 6 修改 IS-IS 接口 Cost 值

R4 前往 R1 的流量此时通过 R2、R3 进行负载分担（之前的查看路由表时已经观察到），管理员希望手工控制 R4 前往 R1 的流量经过 R2，为此在 R4 上手动修改接口 Cost。

R4 上查看 IS-IS 路由 10.0.1.1/32

```
<R4>display isis route 10.0.1.1

                         Route information for ISIS(1)
                         ----------------------------

                        ISIS(1) Level-2 Forwarding Table
                        --------------------------------

IPV4 Destination      IntCost      ExtCost    ExitInterface      NextHop         Flags
-------------------------------------------------------------------------------
10.0.1.1/32           20           NULL       GE0/0/5            10.0.24.2       A/-/-/-
                                                GE0/0/3            10.0.34.3
      Flags: D-Direct, A-Added to URT, L-Advertised in LSPs, S-IGP Shortcut, U-Up/Down Bit Set
```

此时 R4 前往 R1 的 Loopback0 接口为负载分担，其下一跳分别为 10.0.24.2、10.0.34.3。

#修改 R4 的 GE0/0/3 接口其 IS-IS Cost 值

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] isis cost 15
```

#再次在 R4 上查看 IS-IS 路由 10.0.1.1/32

```
<R4>display isis route 10.0.1.1 32

                         Route information for ISIS(1)
                         ----------------------------

                        ISIS(1) Level-2 Forwarding Table
                        --------------------------------

IPV4 Destination      IntCost      ExtCost    ExitInterface      NextHop         Flags
-------------------------------------------------------------------------------
10.0.1.1/32           20           NULL       GE0/0/5            10.0.24.2       A/-/-/-
      Flags: D-Direct, A-Added to URT, L-Advertised in LSPs, S-IGP Shortcut,
                                     U-Up/Down Bit Set
```

此时 R4 前往 R1 的 Loopback0 接口只存在一个下一跳，即 10.0.24.2。

步骤 7 配置 IS-IS 路由渗透

由于缺省时 R1 并不知道到达 L2 区域的具体路由，仅仅通过 L1-2 路由器发布的缺省路由到达 L2 区域，因此当前 R1 只能选择 R2 及 R3 作为等价的下一跳设备到达 L2 区域。为了将 R1 发往 R5 的流量引导到 R3 进行转发，可以在 R3 上配置路由渗透，由其将到达 L2 区域的路由渗透到 L1 区域，使得 R1 能够通过 IS-IS 学习到相关路由。

#在 R1 的 IP 路由表中查看 R5 Loopback0 接口路由

```
<R1>display ip routing-table 10.0.5.5
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Routing Table : Public
Summary Count : 2
Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface

      0.0.0.0/0     ISIS-L1 15   10          D   10.0.123.3      GigabitEthernet0/0/1
                    ISIS-L1 15   10          D   10.0.123.2      GigabitEthernet0/0/1
```

可以看到此时 R1 去往 10.0.5.5 为通过 R2、R3 负载均衡。

#在 R3 上配置 IS-IS 路由渗透

```
[R3]isis 1
[R3-isis-1] import-route isis level-2 into level-1
[R3-isis-1] quit
```

#再次在 R1 的 IP 路由表中查看 R5 Loopback0 接口路由

```
<R1>display ip routing-table 10.0.5.5
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Routing Table : Public
Summary Count : 1
Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface

    10.0.5.5/32     ISIS-L1 15   30          D   10.0.123.3      GigabitEthernet0/0/1
```

可以看到此时 R1 去往 10.0.5.5 的路由下一跳为 10.0.123.3，即 R3，并且是明细路由而不是默认路由。

2.1.3 思考题

以太网接口上 IS-IS 能够成功建立邻居的条件有?

2.1.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
isis 1
```

```
 is-level level-1
 network-entity 49.0001.0000.0000.0001.00
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.123.1 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
 isis dis-priority 127
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
 isis enable 1
#
return
```

R2 设备配置

```
sysname R2
#
isis 1
 network-entity 49.0001.0000.0000.0002.00
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.123.2 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
#
interface GigabitEthernet0/0/5
 ip address 10.0.24.2 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
 isis enable 1
#
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
isis 1
 network-entity 49.0001.0000.0000.0003.00
 import-route isis level-2 into level-1
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.123.3 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
```

```
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
 isis enable 1
#
```

R4 设备配置

```
#
sysname R4
#
isis 1
 is-level level-2
 network-entity 49.0002.0000.0000.0004.00
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
 isis cost 15
#
interface GigabitEthernet0/0/5
 ip address 10.0.24.4 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
 isis enable 1
#
```

R5 设备配置

```
#
sysname R5
#
isis 1
 is-level level-2
 network-entity 49.0002.0000.0000.0005.00
 import-route direct
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.5.5 255.255.255.255
 isis enable 1
 isis authentication-mode md5 huawei
```

```
#
interface LoopBack1
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.255
#
```

3 BGP 实验

3.1 BGP 基础实验

3.1.1 实验介绍

3.1.1.1 学习目标

- 实现 IBGP 的配置
- 实现 EBGP 的配置
- 观察 BGP 的邻居表
- 实现 BGP 更新源的配置
- 实现 EBGP 多跳的配置
- 观察 IBGP 和 EBGP 中路由的下一跳的变化

3.1.1.2 实验组网介绍

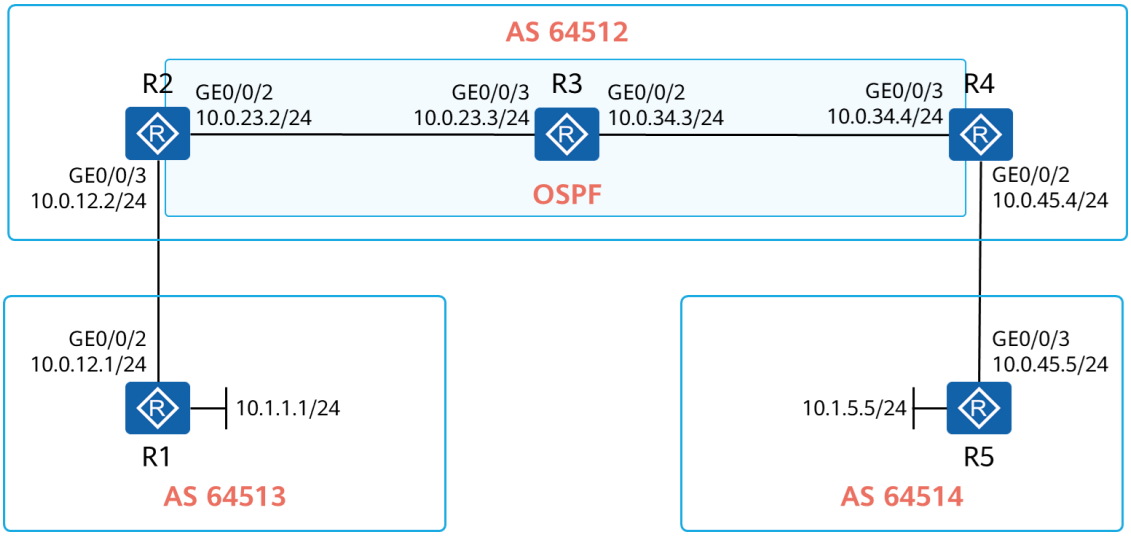


图3-1 BGP 基础实验

设备连接方式、IP 地址规划、BGP AS 号如图所示，所有设备均创建 Loopback0 接口，IP 地址为 10.0.x.x/32，其中 x 为设备编号，所有设备都使用 Loopback0 接口 IP 地址作为 BGP Router ID。R1、R5 上存在 Loopback1 模拟用户网段。

R2、R3、R4 之间运行 OSPF，在 R2、R3、R4 的互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。

3.1.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。公司的网络采用了 BGP 协议作为路由协议。公司的网络由多个自治系统组成，不同的分支机构使用了不同的 AS 号，现在你需要完成公司网络的搭建工作。在公司总部使用了 OSPF 作为 IGP，公司内部不同分支机构使用的是私有的 BGP AS 号。在完成网络搭建以后，你还需要观察 BGP 路由信息的传递。

3.1.2 实验任务

3.1.2.1 任务思路

1. 设备 IP 地址配置。
2. 配置 AS 64512 内的 OSPF。
3. 配置 AS 64512 内的全互联 IBGP 对等体关系。
4. 配置 AS 64512、AS 64513、AS 64514 之间的 EBGP 对等体关系。
5. 在 R1、R5 上将 Loopback1 接口路由发布到 BGP，在 R2、R4 上修改 BGP 下一跳地址。

3.1.2.2 任务步骤

步骤 1 互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/2、Loopback0、Loopback1 接口 IP 地址

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0] quit
[R1]interface LoopBack1
[R1-LoopBack1] ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack1] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/2、GE0/0/3、、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/2、GE0/0/3、、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/3
[R3-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R4 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/2
[R4-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
[R4-LoopBack0] quit
```

#配置 R5 的 GE0/0/3、Loopback0、Loopback1 接口 IP 地址

```
[R5]interface LoopBack0
[R5-LoopBack0] ip address 10.0.5.5 255.255.255.255
[R5-LoopBack0] quit
[R5]interface LoopBack1
[R5-LoopBack1] ip address 10.1.5.5 255.255.255.0
[R5-LoopBack1] quit
[R5]interface GigabitEthernet0/0/3
[R5-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
[R5-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#在 R2、R4 上检查 IP 地址连通性

```
<R2>ping -c 1 10.0.12.1
  PING 10.0.12.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms

  --- 10.0.12.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms

<R2>ping -c 1 10.0.23.3
  PING 10.0.23.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.23.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=20 ms

  --- 10.0.23.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 20/20/20 ms

<R4>ping -c 1 10.0.34.3
  PING 10.0.34.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.34.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.34.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms

<R4>ping -c 1 10.0.45.5
  PING 10.0.45.5: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.45.5: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=30 ms

  --- 10.0.45.5 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 30/30/30 ms
```

步骤 2 配置 AS 64512 的 OSPF

R2、R3、R4 使用 Loopback0 接口地址作为 Router ID。

#配置 R2，在 Loopback0、GE0/0/2 接口上激活 OSPF

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1] area 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R2-ospf-1] quit
```

#配置 R3，在 Loopback0、GE0/0/2、GE0/0/3 接口上激活 OSPF

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1] area 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R3-ospf-1] quit
```

#配置 R4，在 Loopback0、GE0/0/3 接口上激活 OSPF

```
[R4]ospf 1 router-id 10.0.4.4
[R4-ospf-1] area 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R4-ospf-1]quit
```

#在 R3 上查看 OSPF 邻居的概要信息

```
<R3>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
    Peer Statistic Information
 ----------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2          10.0.4.4         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/3          10.0.2.2         Full
 ----------------------------------------------------------------------------
```

R3 与 R2、R4 之间已经建立起 OSPF 邻居关系。

#在 R3 上查看 OSPF 路由表

```
<R3>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
    Routing Tables
```

```
Routing for Network
Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
10.0.3.3/32        0      Stub       10.0.3.3        10.0.3.3        0.0.0.0
10.0.23.0/24       1      Transit    10.0.23.3       10.0.3.3        0.0.0.0
10.0.34.0/24       1      Transit    10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0
10.0.2.2/32        1      Stub       10.0.23.2       10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.4.4/32        1      Stub       10.0.34.4       10.0.4.4        0.0.0.0

Total Nets: 5
Intra Area: 5   Inter Area: 0   ASE: 0   NSSA: 0
```

R3 已经学习到 R2、R4 的 Loopback0 接口路由。

步骤 3 配置 IBGP 对等体

在 R2、R3、R4 之间基于 Loopback0 接口建立全互联的 IBGP 对等体关系。

#R2 上配置 BGP

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] router-id 10.0.2.2
[R2-bgp] peer 10.0.3.3 as-number 64512
[R2-bgp] peer 10.0.3.3 connect-interface LoopBack0
[R2-bgp] peer 10.0.4.4 as-number 64512
[R2-bgp] peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
```

#R3 上配置 BGP

```
[R3]bgp 64512
[R3-bgp] router-id 10.0.3.3
[R3-bgp] peer 10.0.2.2 as-number 64512
[R3-bgp] peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
[R3-bgp] peer 10.0.4.4 as-number 64512
[R3-bgp] peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
```

#R4 上配置 BGP

```
[R4]bgp 64512
[R4-bgp] peer 10.0.2.2 as-number 64512
[R4-bgp] peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
[R4-bgp] peer 10.0.3.3 as-number 64512
[R4-bgp] peer 10.0.3.3 connect-interface LoopBack0
```

#分别在 R2、R3、R4 上检查 BGP 对等体状态

```
<R2>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64512
 Total number of peers : 2      Peers in established state : 2

  Peer            V          AS        MsgRcvd   MsgSent OutQ   Up/Down      State      PrefRcv
```

```
  10.0.3.3        4        64512        3        3        0        00:01:57       Established    0
  10.0.4.4        4        64512        3        4        0        00:01:56       Established    0

<R3>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.3.3
 Local AS number : 64512
 Total number of peers : 2      Peers in established state : 2

  Peer            V          AS        MsgRcvd    MsgSent OutQ    Up/Down       State       PrefRcv

  10.0.2.2        4        64512        3        3        0        00:02:23       Established    0
  10.0.4.4        4        64512        3        4        0        00:02:25       Established    0

<R4>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.4.4
 Local AS number : 64512
 Total number of peers : 2      Peers in established state : 2

  Peer            V          AS        MsgRcvd    MsgSent OutQ    Up/Down       State       PrefRcv

  10.0.2.2        4        64512        3        3        0        00:06:33       Established    0
  10.0.3.3        4        64512        3        4        0        00:06:38       Established    0
```

可以看到 R2、R3、R4 之间已经相互建立了全互联的 IBGP 对等体关系。

步骤 4 配置 EBGP 对等体

在 R1 与 R2、R4 与 R5 之间基于 Loopback0 接口建立 EBGP 对等体关系，为保证能够正常建立，在 R1、R2 上配置静态路由使 Loopback0 之间路由可达（R4、R5 同样操作）。

#在 R1、R2 上配置静态路由

```
[R1]ip route-static 10.0.2.2 32 10.0.12.2

[R2]ip route-static 10.0.1.1 32 10.0.12.1
```

#在 R4、R5 上配置静态路由

```
[R4]ip route-static 10.0.5.5 32 10.0.45.5

[R5]ip route-static 10.0.4.4 32 10.0.45.4
```

#检查环回口之间的连通性

```
<R1>ping -c 1 -a 10.0.1.1 10.0.2.2
  PING 10.0.2.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.2.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.2.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
```

```
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms

<R5>ping -c 1 -a 10.0.5.5 10.0.4.4
  PING 10.0.4.4: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.4.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.4.4 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms
```

#配置 R1、R2 之间的 EBGP 对等体

```
[R1]bgp 64513
[R1-bgp] router-id 10.0.1.1
[R1-bgp] peer 10.0.2.2 as-number 64512
[R1-bgp] peer 10.0.2.2 ebgp-max-hop 2
[R1-bgp] peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0

[R2]bgp 64512
[R2-bgp] peer 10.0.1.1 as-number 64513
[R2-bgp] peer 10.0.1.1 ebgp-max-hop 2
[R2-bgp] peer 10.0.1.1 connect-interface LoopBack0
```

默认情况下，EBGP 连接允许的最大跳数为 1，这导致 EBGP 对等体之间只能使用直连链路建立 EBGP 对等体关系，为使用环回口作为更新源需要手动修改 EBGP 连接允许的最大跳数。

#配置 R4、R5 之间的 EBGP 对等体

```
[R4]bgp 64512
[R4-bgp] peer 10.0.5.5 as-number 64514
[R4-bgp] peer 10.0.5.5 ebgp-max-hop 2
[R4-bgp] peer 10.0.5.5 connect-interface LoopBack0

[R5]bgp 64514
[R5-bgp] router-id 10.0.5.5
[R5-bgp] peer 10.0.4.4 as-number 64512
[R5-bgp] peer 10.0.4.4 ebgp-max-hop 2
[R5-bgp] peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
```

#在 R1、R5 上检查 EBGP 对等体状态

```
<R1>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.1.1
 Local AS number : 64513
 Total number of peers : 1      Peers in established state : 1

  Peer            V          AS       MsgRcvd   MsgSent   OutQ   Up/Down       State       PrefRcv

  10.0.2.2        4       64512             7        10      0      00:05:47      Established 0
```

```
<R5>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.5.5
 Local AS number : 64514
 Total number of peers : 1      Peers in established state : 1

  Peer            V          AS       MsgRcvd   MsgSent   OutQ   Up/Down       State       PrefRcv

  10.0.4.4        4       64512             7        10      0     00:03:25      Established       0
```

R1 与 R2、R4 与 R5 之间已经成功建立 EBGP 对等体关系。

步骤 5　在 BGP 中发布路由

在 R1、R5 上将 Loopback1 接口路由发布到 BGP

#在 R1、R5 上通过 network 命令发布路由

```
[R1]bgp 64513
[R1-bgp] network 10.1.1.1 24

[R5]bgp 64514
[R5-bgp] network 10.1.5.5 24
```

#在 R3 上查看 BGP 路由表

```
<R3>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.3.3
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history,   i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 2
      Network            NextHop        MED        LocPrf     PrefVal Path/Ogn

   i  10.1.1.0/24        10.0.1.1       0          100        0       64513i
   i  10.1.5.0/24        10.0.5.5       0          100        0       64514i
```

可以看到此时 R3 上已经学习到 R1、R5 上发布的 BGP 路由，但是都是非有效路由，这是因为它们的下一跳在 R3 上都不可达，为此可以在 R2、R4 上通过 **next-hop-local** 命令修改下一跳地址为 R2、R4 的更新源地址。

#在 R2、R4 上将路由的下一跳地址修改为自身

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] peer 10.0.3.3 next-hop-local
[R2-bgp] peer 10.0.4.4 next-hop-local

[R4]bgp 64512
[R4-bgp] peer 10.0.2.2 next-hop-local
[R4-bgp] peer 10.0.3.3 next-hop-local
```

#再次在 R3 上查看 BGP 路由表

```
<R3>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.3.3
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history,  i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 2
      Network            NextHop        MED        LocPrf     PrefVal Path/Ogn

 *>i  10.1.1.0/24        10.0.2.2        0          100          0       64513i
 *>i  10.1.5.0/24        10.0.4.4        0          100          0       64514i
```

此时两条 BGP 路由都变成了有效、最优的状态。

#在 R1、R5 上查看 BGP 路由表

```
<R1>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.1.1
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history,  i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 2
      Network            NextHop          MED          LocPrf     PrefVal Path/Ogn

 *>   10.1.1.0/24        0.0.0.0          0                         0         i
 *>   10.1.5.0/24        10.0.2.2                                   0      64512 64514i

<R5>display bgp  routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.5.5
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history,  i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 2
      Network            NextHop        MED          LocPrf     PrefVal Path/Ogn

 *>   10.1.1.0/24        10.0.4.4                                   0       64512 64513i
 *>   10.1.5.0/24        0.0.0.0          0                         0       i
```

R1、R5 之间相互学习到了对端 Loopback1 接口路由。

#测试 R1、R5 的 Loopback 1 之间的连通性

```
<R1>ping -c 1 -a 10.1.1.1 10.1.5.5
```

```
  PING 10.1.5.5: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.1.5.5: bytes=56 Sequence=1 ttl=252 time=130 ms

  --- 10.1.5.5 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 130/130/130 ms
```

3.1.3 思考题

相比较于基于物理接口地址，基于环回口地址建立 EBGP 对等体有什么优点?

3.1.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
#
bgp 64513
 router-id 10.0.1.1
 peer 10.0.2.2 as-number 64512
 peer 10.0.2.2 ebgp-max-hop 2
 peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  network 10.0.1.0 255.255.255.0
  network 10.1.1.0 255.255.255.0
  peer 10.0.2.2 enable
#
ip route-static 10.0.2.2 255.255.255.255 10.0.12.2
#
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
```

```
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
#
bgp 64512
 router-id 10.0.2.2
 peer 10.0.1.1 as-number 64513
 peer 10.0.1.1 ebgp-max-hop 2
 peer 10.0.1.1 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.3.3 as-number 64512
 peer 10.0.3.3 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.4.4 as-number 64512
 peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  peer 10.0.1.1 enable
  peer 10.0.3.3 enable
  peer 10.0.3.3 next-hop-local
  peer 10.0.4.4 enable
  peer 10.0.4.4 next-hop-local
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 area 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
  network 10.0.23.2 0.0.0.0
#
ip route-static 10.0.1.1 255.255.255.255 10.0.12.1
#
return
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
#
bgp 64512
 router-id 10.0.3.3
 peer 10.0.2.2 as-number 64512
 peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.4.4 as-number 64512
 peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
```

```
  peer 10.0.2.2 enable
  peer 10.0.4.4 enable
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 area 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.0.23.3 0.0.0.0
  network 10.0.34.3 0.0.0.0
#
return
```

R4 设备配置

```
#
sysname R4
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
#
bgp 64512
 router-id 10.0.4.4
 peer 10.0.2.2 as-number 64512
 peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.3.3 as-number 64512
 peer 10.0.3.3 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.5.5 as-number 64514
 peer 10.0.5.5 ebgp-max-hop 2
 peer 10.0.5.5 connect-interface LoopBack0
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  peer 10.0.2.2 enable
  peer 10.0.2.2 next-hop-local
  peer 10.0.3.3 enable
  peer 10.0.3.3 next-hop-local
  peer 10.0.5.5 enable
#
ospf 1 router-id 10.0.4.4
 area 0.0.0.0
  network 10.0.4.4 0.0.0.0
  network 10.0.34.4 0.0.0.0
#
ip route-static 10.0.5.5 255.255.255.255 10.0.45.5
#
return
```

R5 设备配置

```
#
```

```
sysname R5
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.5.5 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 10.1.5.5 255.255.255.0
#
bgp 64514
 router-id 10.0.5.5
 peer 10.0.4.4 as-number 64512
 peer 10.0.4.4 ebgp-max-hop 2
 peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  network 10.1.5.0 255.255.255.0
  peer 10.0.4.4 enable
#
ip route-static 10.0.4.4 255.255.255.255 10.0.45.4
#
Return
```

3.2 BGP 路由汇总

3.2.1 实验介绍

3.2.1.1 学习目标

- 实现对 **import-route** 命令引入的路由进行自动汇总
- 实现使用 **aggregate** 命令进行手动路由汇总
- 实现手动路由汇总时通过 AS-SET 参数防止路由环路

3.2.1.2 实验组网介绍

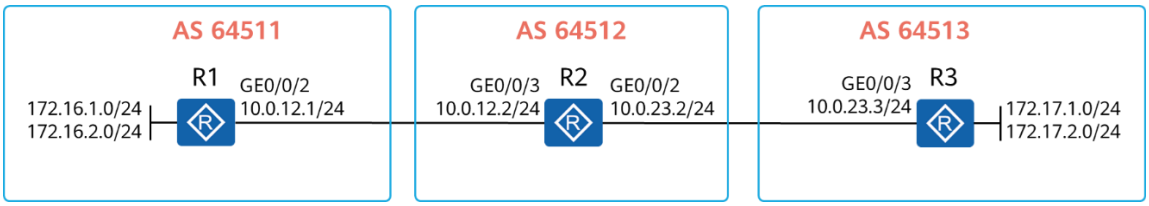


图3-2 BGP 路由汇总

BGP AS 号、互联地址如图所示，所有设备均创建 Loopback0 接口，IP 地址为 10.0.x.x/32，其中 x 为设备编号。

R1、R2、R3 使用 Loopback0 地址作为 BGP Router ID，基于直连接口建立 EBGP 对等体关系。

R1、R3 上存在 Loopback1、Loopback2 接口，用于模拟用户网段。

3.2.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。公司的网络采用了 BGP 协议作为路由协议。公司的网络由多个自治系统组成，不同的分支机构使用了不同的 AS 号。随着公司规模的扩大，路由器中已经有越来越多的路由，进行 BGP 的路由汇总迫在眉睫。你测试了几种进行路由汇总的方法，最终选择了合适的方式实现了路由汇总。

3.2.2 实验任务

3.2.2.1 任务思路

1. 设备 IP 地址配置。
2. 按照规划配置 R1、R2、R3 之间的 EBGP 对等体关系。
3. 在 R1 上将 Loopback1、Loopback2 接口路由发布到 BGP 中并进行自动汇总，在 R2 上观察 BGP 汇总路由的明细信息。
4. 在 R3 上将 Loopback1、Loopback2 接口路由发布到 BGP 中，在 R2 上执行手动汇总，观察 R2、R3 上的 BGP 汇总路由的明细信息。之后在 R2 上执行手动汇总并增加关键字 as-set，再次观察 R2 上的 BGP 汇总路由的明细信息。

3.2.2.2 任务步骤

步骤 1　互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/2、Loopback0、Loopback1、Loopback2 接口 IP 地址

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0] quit
[R1]interface LoopBack1
[R1-LoopBack1] ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack1] quit
[R1]interface LoopBack2
[R1-LoopBack1] ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack1] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/3、Loopback0、Loopback1、Loopback2 接口 IP 地址

```
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/3
[R3-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R3]interface LoopBack1
[R3-LoopBack1] ip address 172.17.1.1 255.255.255.0
[R3-LoopBack1] quit
[R3]interface LoopBack2
[R3-LoopBack1] ip address 172.17.2.1 255.255.255.0
[R3-LoopBack1] quit
```

#在 R2 上测试互联地址连通性

```
<R2>ping -c 1 10.0.12.1
  PING 10.0.12.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms

  --- 10.0.12.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms

<R2>ping -c 1 10.0.23.3
  PING 10.0.23.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.23.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=20 ms

  --- 10.0.23.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 20/20/20 ms
```

步骤 1 配置 EBGP 对等体

配置 R1 与 R2、R2 与 R3 之间基于直连接口建立 EBGP 对等体关系

#配置 R1

```
[R1]bgp 64511
[R1-bgp] router-id 10.0.1.1
[R1-bgp] peer 10.0.12.2 as-number 64512
```

#配置 R2

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] router-id 10.0.2.2
[R2-bgp] peer 10.0.12.1 as-number 64511
[R2-bgp] peer 10.0.23.3 as-number 64513
```

#配置 R3

```
[R3]bgp 64513
[R3-bgp] router-id 10.0.3.3
[R3-bgp] peer 10.0.23.2 as-number 64512
```

#在 R2 上查看 BGP 对等体状态

```
<R2>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64512
 Total number of peers : 2      Peers in established state : 2

  Peer            V          AS        MsgRcvd    MsgSent OutQ   Up/Down       State      PrefRcv

  10.0.12.1       4       64511              3          3    0     00:02:41      Established     0
  10.0.23.3       4       64513              3          4    0     00:01:20      Established     0
```

R1 与 R2、R2 与 R3 之间的 EBGP 对等体已经成功建立。

步骤 2 BGP 路由自动汇总

在 R1 上开启 BGP 路由自动汇总，将 Loopback1、Loopback2 接口路由发布到 BGP 中，并进行自动汇总。

#创建 IP 前缀列表 1，匹配 Loopback1、Loopback2 接口路由

```
[R1]ip ip-prefix 1 permit 172.16.0.0 16 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 Route-Policy hcip，并创建节点 10，在其中调用 IP 前缀列表 1

```
[R1]route-policy hcip permit node 10
[R1-route-policy] if-match ip-prefix 1
[R1-route-policy] quit
```

#将 Loopback1、Loopback2 接口路由发布到 BGP，并激活 BGP 路由自动汇总功能

```
[R1]bgp 64511
[R1-bgp] import-route direct route-policy hcip
[R1-bgp] summary automatic
Info: Automatic summarization is valid only for the routes imported through the import-route
command.
```

自动汇总只对通过 **import-route** 命令引入的路由生效。

#在 R1 上查看 BGP 路由表

```
<R1>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.1.1
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history,  i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 3
      Network            NextHop        MED        LocPrf     PrefVal Path/Ogn

 *>   172.16.0.0         127.0.0.1                             0       ?
 s>   172.16.1.0/24      0.0.0.0        0                      0       ?
 s>   172.16.2.0/24      0.0.0.0        0                      0       ?
```

Loopback1、Loopback2 接口路由已经发布到 BGP，由于 R1 激活了 BGP 路由自动汇总，因此 R1 会将这些路由汇总成 172.16.0.0/16，同时抑制所有的明细路由，通过明细路由前的“s”标记可以看出，该标记的含义为“suppressed”，表示被抑制，最终 R1 只对外通告汇总路由 172.16.0.0/16。

#在 R2 上查看 BGP 路由表

```
<R2>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.2.2
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history,  i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 1
      Network            NextHop          MED        LocPrf     PrefVal     Path/Ogn

 *>   172.16.0.0         10.0.12.1                               0           64511?
```

R2 上只能看到一条主类路由 172.16.0.0/16。

#在 R2 上查看 BGP 路由 172.16.0.0 的明细信息

```
<R2>display bgp routing-table 172.16.0.0

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64512
```

```
Paths:    1 available, 1 best, 1 select
BGP routing table entry information of 172.16.0.0/16:
From: 10.0.12.1 (10.0.1.1)
Route Duration: 01h09m27s
Direct Out-interface: GigabitEthernet0/0/3
Original nexthop: 10.0.12.1
Qos information : 0x0
AS-path 64511, origin incomplete, pref-val 0, valid, external, best, select, active, pre 255
Aggregator: AS 64511, Aggregator ID 10.0.1.1
Advertised to such 2 peers:
    10.0.12.1
    10.0.23.3
```

该路由的路径属性中存在 Aggregator 属性，其中携带了汇总路由生成设备所属的 AS 号以及其 Router ID。

步骤 3 BGP 路由手动汇总

在 R3 上将 Loopback1、Loopback2 接口路由发布到 BGP，在 R2 上通过 **aggregate** 命令执行手动汇总，并抑制明细路由的对外发布。

#创建 IP 前缀列表 1，匹配 Loopback1、Loopback2 接口路由

```
[R3]ip ip-prefix 1 permit 172.17.0.0 16 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 Route-Policy hcip，并创建节点 10，在其中调用 IP 前缀列表 1

```
[R3]route-policy hcip permit node 10
[R3-route-policy] if-match ip-prefix 1
[R3-route-policy] quit
```

#将 Loopback1、Loopback2 接口路由发布到 BGP

```
[R3]bgp 64513
[R3-bgp] import-route direct route-policy hcip
```

#查看 R2 的 BGP 路由表

```
<R2>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.2.2
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 3
      Network            NextHop        MED        LocPrf    PrefVal  Path/Ogn

 *>   172.16.0.0         10.0.12.1                             0        64511?
 *>   172.17.1.0/24      10.0.23.3      0                      0        64513?
 *>   172.17.2.0/24      10.0.23.3      0                      0        64513?
```

在 R2 的 BGP 路由表中已经存在 R3 通告的 BGP 路由 172.17.1.0/24、172.17.2.0/24。

#R2 上执行手动路由汇总，将 172.17.1.0/24、172.17.2.0/24 汇总成 172.17.0.0/22，并抑制明细路由的对外通告

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] aggregate 172.17.0.0 22 detail-suppressed
```

#查看 R2 的 BGP 路由表

```
<R2>display bgp routing-table

 BGP Local router ID  is 10.0.2.2
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
                     h - history,  i - internal, s - suppressed, S - Stale
                     Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 4
        Network            NextHop          MED        LocPrf     PrefVal  Path/Ogn

 *>   172.16.0.0           10.0.12.1                               0        64511?
 *>   172.17.0.0/22        127.0.0.1                               0        ?
 s>    172.17.1.0/24        10.0.23.3        0                     0        64513?
 s>    172.17.2.0/24        10.0.23.3        0                     0        64513?
```

此时在 R2 的 BGP 路由表中可以看到汇总后的路由。

#在 R2 上查看 BGP 路由 172.16.0.0/22 的明细信息

```
<R2>display bgp routing-table 172.17.0.0 22

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64512
 Paths:    1 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 172.17.0.0/22:
 Aggregated route.
 Route Duration: 00h02m44s
 Direct Out-interface: NULL0
 Original nexthop: 127.0.0.1
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin incomplete, pref-val 0, valid, local, best, select, active, pre 255
 Aggregator: AS 64512, Aggregator ID 10.0.2.2, Atomic-aggregate
 Advertised to such 2 peers:
     10.0.12.1
     10.0.23.3
```

从输出信息可以看到 AS_Path 值为 Nil，代表了 AS_Path 属性值为空，这意味着丢失了明细的 AS_Path 属性值，BGP 依赖 AS_Path 实现防环，因此 AS_Path 属性的丢失可能带来路由环路。从该条路由对外通告的对等体中可以看到 10.0.23.3（R3）。

#查看 R3 的 BGP 路由表

```
<R3>display bgp routing-table

BGP Local router ID is 10.0.3.3
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
              h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
              Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


Total Number of Routes: 4
     Network            NextHop          MED        LocPrf    PrefVal    Path/Ogn

*>   172.16.0.0         10.0.23.2                               0          64512 64511?
*>   172.17.0.0/22      10.0.23.2                               0          64512?
*>   172.17.1.0/24      0.0.0.0          0                      0          ?
*>   172.17.2.0/24      0.0.0.0          0                      0          ?
```

在 R3 的 BGP 路由表中可以看到汇总路由 172.17.0.0/22。

#为防止路由环路，在 R2 上执行手动汇总时增加 as-set 关键字

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] aggregate 172.17.0.0 255.255.252.0 detail-suppressed as-set
```

#再次在 R2 上查看 BGP 路由 172.17.0.0/22 的明细信息

```
[R2]display bgp routing-table 172.17.0.0 22

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64512
 Paths:    1 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 172.17.0.0/22:
 Aggregated route.
 Route Duration: 00h09m31s
 Direct Out-interface: NULL0
 Original nexthop: 127.0.0.1
 Qos information : 0x0
 AS-path 64513, origin incomplete, pref-val 0, valid, local, best, select, active, pre 255
 Aggregator: AS 64512, Aggregator ID 10.0.2.2, Atomic-aggregate
 Advertised to such 2 peers:
     10.0.12.1
     10.0.23.3
```

可以看到此时 AS_Path 属性值为 64513，此时该条路由依旧向 10.0.23.3（R3）通告。

#再次查看 R3 的 BGP 路由表

```
<R3>display bgp routing-table

BGP Local router ID is 10.0.3.3
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
              h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
              Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


Total Number of Routes: 4
```

```
      Network          NextHop        MED        LocPrf     PrefVal    Path/Ogn

 *>   172.16.0.0       10.0.23.2                                0        64512 64511?
 *>   172.17.1.0/24    0.0.0.0        0                         0        ?
 *>   172.17.2.0/24    0.0.0.0        0                         0        ?
```

R3 收到关于 172.17.0.0/22 的通告之后，在 AS_Path 中将看到自身的 AS 号（64153），将会忽略该路由通告。此时 R3 的 BGP 路由表中无法看到汇总路由 172.17.0.0/22，因此通过在手动路由汇总的配置中使用 as-set 关键字顺利地规避了路由环路的产生。

3.2.3 思考题

Aggregate 和 **Summary automatic** 产生的汇总路由在携带的路径属性上有什么不同?

3.2.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
#
interface NULL0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack2
 ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
#
bgp 64511
 router-id 10.0.1.1
 peer 10.0.12.2 as-number 64512
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  summary automatic
  import-route direct route-policy hcip
  peer 10.0.12.2 enable
#
route-policy hcip permit node 10
 if-match ip-prefix 1
#
ip ip-prefix 1 index 10 permit 172.16.0.0 16 greater-equal 24 less-equal 24
#
return
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
#
bgp 64512
 router-id 10.0.2.2
 peer 10.0.12.1 as-number 64511
 peer 10.0.23.3 as-number 64513
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  aggregate 172.17.0.0 255.255.252.0 as-set detail-suppressed
  peer 10.0.12.1 enable
  peer 10.0.23.3 enable
#
return
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 172.17.1.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack2
 ip address 172.17.2.1 255.255.255.0
#
bgp 64513
 router-id 10.0.3.3
 peer 10.0.23.2 as-number 64512
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  import-route direct route-policy hcip
  peer 10.0.23.2 enable
#
route-policy hcip permit node 10
 if-match ip-prefix 1
#
ip ip-prefix 1 index 10 permit 172.17.0.0 16 greater-equal 24 less-equal 24
#
```

```
return
```

3.3 BGP 路由反射器

3.3.1 实验介绍

3.3.1.1 学习目标

- 实现在 AS 内部署路由反射器
- 分析 BGP 路径属性 Orginator_ID 在路由反射器环境下如何实现路由防环
- 分析 BGP 路径属性 Cluster_List 在路由反射器环境下如何实现路由防环

3.3.1.2 实验组网介绍

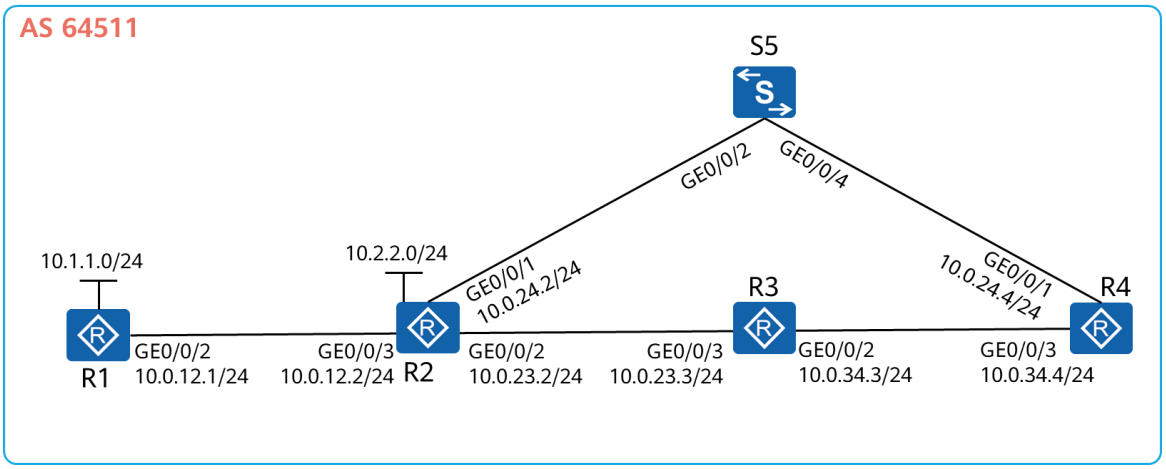


图3-3 BGP 路由反射器

R1、R2、R3、R4 都属于 AS64511，其连接方式、互联接口地址如图所示。每台设备均创建 Loopback0 接口，IP 地址为 10.0.x.x/32，其中 x 为设备编号。R1、R2 上的 Loopback1 地址分别为 10.1.1.1/24、10.2.2.2/24，用于模拟用户网段。

所有设备都使用 Loopback0 地址作为 BGP Router ID，R1 与 R2、R2 与 R3、R3 与 R4、R4 与 R2 之间基于直连接口建立 IBGP 对等体关系，其中 R1 为 R2 的路由反射器客户端，R2 为 R3 的路由反射器客户端，R3 为 R4 的路由反射器客户端。

3.3.1.3 实验背景

某公司的总部网络采用了 BGP 协议作为路由协议，总部的 4 台路由器之间建立 IBGP 对等体关系（非全互联），为了让 4 台路由器学习到完整的 BGP 路由，现需要在网络中部署 BGP 路由反射器。

3.3.2 实验任务

3.3.2.1 任务思路

1. 设备基础 IP 地址配置。
2. 配置 AS 内的 OSPF，在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。
3. 配置 AS 内基于直连接口建立 IBGP 对等体关系。
4. 配置路由反射器，将 R1 配置为 R2 的客户端、R2 配置为 R3 的客户端、R3 配置为 R4 的客户端。
5. 在 R2 上将 Loopback1 接口路由发布进 BGP，观察 Originator_ID 属性如何实现路由防环。
6. 在 R1 上将 Loopback1 接口路由发布进 BGP，观察 Cluster_List 属性如何实现路由防环。

3.3.2.2 任务步骤

步骤 1 互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/2、Loopback0、Loopback1 接口 IP 地址

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0] quit
[R1]interface LoopBack1
[R1-LoopBack1] ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack1] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/1、GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0、Loopback1 接口 IP 地址

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface LoopBack1
[R2-LoopBack1] ip address 10.2.2.2 255.255.255.0
[R2-LoopBack1] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.24.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
```

```
[R2-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/3
[R3-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R4 的 GE0/0/1、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
[R4-LoopBack0] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/1
[R4-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.24.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#在 R2、R3 上检测互联地址连通性

```
<R2>ping -c 1 10.0.12.1
  PING 10.0.12.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=40 ms

  --- 10.0.12.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 40/40/40 ms

<R2>ping -c 1 10.0.23.3
  PING 10.0.23.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.23.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=10 ms

  --- 10.0.23.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 10/10/10 ms

<R2>ping -c 1 10.0.24.4
  PING 10.0.24.4: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.24.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms
```

```
  --- 10.0.24.4 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms

<R3>ping -c 1 10.0.34.4
  PING 10.0.34.4: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.34.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=10 ms

  --- 10.0.34.4 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 10/10/10 ms
```

步骤 2 配置 AS64511 的 OSPF

R1、R2、R3、R4 使用 Loopback0 接口地址作为 Router ID，在各个设备的互联接口、Loopback0 接口激活 OSPF。

#配置 R1

```
[R1]ospf 1 router-id 10.0.1.1
[R1-ospf-1] area 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.1.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.12.1 0.0.0.0
```

#配置 R2

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.12.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.24.2 0.0.0.0
```

#配置 R3

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1]area 0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.3 0.0.0.0
```

#配置 R4

```
[R4]ospf 1 router-id 10.0.4.4
[R4-ospf-1]area 0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.24.4 0.0.0.0
```

```
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.4 0.0.0.0
```

#在 R2、R3 上检查 OSPF 邻居的概要信息

```
<R2>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Peer Statistic Information
----------------------------------------------------------------------------
Area Id          Interface                        Neighbor id      State
0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2             10.0.3.3         Full
0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/3             10.0.1.1         Full
0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1             10.0.4.4         Full
----------------------------------------------------------------------------
<R3>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
    Peer Statistic Information
----------------------------------------------------------------------------
Area Id          Interface                        Neighbor id      State
0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/3             10.0.2.2         Full
0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2             10.0.4.4         Full
----------------------------------------------------------------------------
```

从输出信息可以得 OSPF 邻居已经全部正常建立。

#在 R4 上查看 OSPF 路由表

```
<R4>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.4.4/32        0      Stub       10.0.4.4        10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.24.0/24       1      Transit    10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.34.0/24       1      Transit    10.0.34.4       10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.1.1/32        2      Stub       10.0.24.2       10.0.1.1        0.0.0.0
 10.0.2.2/32        1      Stub       10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.3.3/32        1      Stub       10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.12.0/24       2      Transit    10.0.24.2       10.0.1.1        0.0.0.0
 10.0.23.0/24       2      Transit    10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.23.0/24       2      Transit    10.0.34.3       10.0.2.2        0.0.0.0

 Total Nets: 9
 Intra Area: 9    Inter Area: 0    ASE: 0    NSSA: 0
```

从输出信息可以得知 R4 已经学习到了全网的路由。

步骤 3 配置 IBGP 对等体

配置 AS 内基于 Loopback0 接口建立 IBGP 对等体关系。

#配置 R1

```
[R1]bgp 64511
[R1-bgp] router-id 10.0.1.1
[R1-bgp] peer 10.0.12.2 as-number 64511
```

#配置 R2

```
[R2]bgp 64511
[R2-bgp] router-id 10.0.2.2
[R2-bgp] peer 10.0.12.1 as-number 64511
[R2-bgp] peer 10.0.23.3 as-number 64511
[R2-bgp] peer 10.0.24.4 as-number 64511
```

#配置 R3

```
[R3]bgp 64511
[R3-bgp] router-id 10.0.3.3
[R3-bgp] peer 10.0.23.2 as-number 64511
[R3-bgp] peer 10.0.34.4 as-number 64511
```

#配置 R4

```
[R4]bgp 64511
[R4-bgp] router-id 10.0.4.4
[R4-bgp] peer 10.0.24.2 as-number 64511
[R4-bgp] peer 10.0.34.3 as-number 64511
```

#在 R2、R3 上检查 IBGP 对等体状态

```
<R2>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64511
 Total number of peers : 3      Peers in established state : 3

  Peer            V          AS        MsgRcvd    MsgSent OutQ   Up/Down       State      PrefRcv

  10.0.12.1       4       64511              3          3    0     00:05:39      Established     0
  10.0.23.3       4       64511              3          4    0     00:05:23      Established     0
  10.0.24.4       4       64511              3          4    0     00:05:16      Established     0

<R3>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.3.3
 Local AS number : 64511
 Total number of peers : 2     Peers in established state : 2

  Peer            V          AS        MsgRcvd    MsgSent OutQ   Up/Down       State      PrefRcv

  10.0.23.2       4       64511              7          8    0     00:04:33      Established     0
  10.0.34.4       4       64511              8          9    0     00:04:32      Established     0
```

AS 内的 IBGP 对等体关系已经成功建立。

步骤 4 配置路由反射器

#R2 上将 R1 配置为路由反射器客户端

```
[R2]bgp 64511
[R2-bgp] peer 10.0.12.1 reflect-client
```

#R3 上将 R2 配置为路由反射器客户端

```
[R3]bgp 64511
[R3-bgp] peer 10.0.23.2 reflect-client
```

#R4 上将 R3 配置为路由反射器客户端

```
[R4]bgp 64511
[R4-bgp] peer 10.0.34.3 reflect-client
```

步骤 5 验证 Orginator_ID 实现路由防环

在本步骤中，我们将在 R2 上发布 BGP 路由 10.2.2.0/24，并观察该路由依次经路由反射器 R3、R4 反射后，被通告回 R2 从而引发潜在路由环路风险的情况。

缺省情况下，R2 发布 BGP 路由后，该路由将被 R2 直接通告给 R4，另一方面也会通过 R3 反射给 R4，此时 R4 将优选 R2 直接通告过来的路由，从而不会再将 R3 反射过来的路由再反射回给 R2。为此，我们需要在 R2 上部署路由策略，使 R2 不直接向 R4 通告 10.2.2.0/24 路由。

#配置路由策略

```
[R2]acl number 2000
[R2-acl-basic-2000] rule 5 permit
[R2-acl-basic-2000] quit

[R2]route-policy bgp deny node 10
[R2-route-policy] if-match acl 2000
```

#在 BGP 中调用路由策略

```
[R2]bgp 64511
[R2-bgp] peer 10.0.24.4 route-policy bgp export
```

#在 R2 上发布路由

```
[R2]bgp 64511
[R2-bgp] network 10.2.2.0 24
```

#R2 上查看 BGP 路由 10.2.2.0/24 的明细信息

```
<R2>display bgp routing-table 10.2.2.0 24
```

```
BGP local router ID : 10.0.2.2
Local AS number : 64511
Paths:    1 available, 1 best, 1 select
BGP routing table entry information of 10.2.2.0/24:
Network route.
From: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Route Duration: 00h00m36s
Direct Out-interface: LoopBack1
Original nexthop: 10.2.2.2
Qos information : 0x0
AS-path Nil, origin igp, MED 0, pref-val 0, valid, local, best, select, pre 0
Advertised to such 2 peers:
    10.0.23.3       #R3
    10.0.12.1       #R1
```

R2 将该条路由通告给了 R3、R1，但是并未通告给 R4。

#R3 上查看 BGP 路由 10.2.2.0/24 的明细信息

```
<R3>display bgp routing-table 10.2.2.0 24

BGP local router ID : 10.0.3.3
Local AS number : 64511
Paths:    1 available, 1 best, 1 select
BGP routing table entry information of 10.2.2.0/24:
RR-client route.
From: 10.0.23.2 (10.0.2.2)
Route Duration: 00h31m14s
Relay IP Nexthop: 0.0.0.0
Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
Original nexthop: 10.0.23.2
Qos information : 0x0
AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255
Advertised to such 1 peers:
    10.0.34.4
```

R3 将来自反射器客户端的 BGP 路由 10.2.2.0/24 反射给了 10.0.34.4（R4）。同时该 BGP 路由的 nexthop 为 10.0.23.2。

R4 上查看 BGP 路由 10.2.2.0/24 的明细信息

```
<R4>display bgp routing-table 10.2.2.0 24

BGP local router ID : 10.0.4.4
Local AS number : 64511
Paths:    1 available, 1 best, 1 select
BGP routing table entry information of 10.2.2.0/24:
RR-client route.
From: 10.0.34.3 (10.0.3.3)
Route Duration: 00h23m59s
Relay IP Nexthop: 10.0.24.2
Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/1
Original nexthop: 10.0.23.2
Qos information : 0x0
```

```
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255, IGP
cost 2
 Originator:    10.0.2.2
 Cluster list: 10.0.3.3
 Advertised to such 1 peers:
     10.0.24.2
```

该条路由来自反射器客户端 R3，原始路由经由 R3 反射，路由的 nexthop 地址并未改变，同时 R3 为其添加了 Orginator_ID 属性，值为 10.0.2.2。同时 R4 将该条路由反射给了 R2。

#再次在 R2 上查看 BGP 路由 10.2.2.0/24 的明细信息

```
<R2>display bgp routing-table 10.2.2.0 24

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64511
 Paths:     1 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 10.2.2.0/24:
 Network route.
 From: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
 Route Duration: 00h57m17s
 Direct Out-interface: LoopBack1
 Original nexthop: 10.2.2.2
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, pref-val 0, valid, local, best, select, pre 0
 Advertised to such 2 peers:
     10.0.23.3
     10.0.12.1
```

依旧只存在本地通告的 BGP 路由，没有 R4 通告的 BGP 路由。

#在 R2 上查看 BGP 对等体 10.0.24.4 的详细信息

```
<R2>display bgp peer 10.0.24.4 verbose

 BGP Peer is 10.0.24.4,    remote AS 64511
Type: IBGP link
BGP version 4, Remote router ID 10.0.4.4
Update-group ID: 2
BGP current state: Established, Up for 00h27m44s
BGP current event: RecvKeepalive
BGP last state: OpenConfirm
BGP Peer Up count: 2
Received total routes: 0
Received active routes total: 0
Advertised total routes: 0
Port:    Local - 179 Remote - 64495
Configured: Connect-retry Time: 32 sec
Configured: Active Hold Time: 180 sec Keepalive Time:60 sec
Received    : Active Hold Time: 180 sec
Negotiated: Active Hold Time: 180 sec Keepalive Time:60 sec
Peer optional capabilities:
Peer supports bgp multi-protocol extension
Peer supports bgp route refresh capability
Peer supports bgp 4-byte-as capability
```

```
Address family IPv4 Unicast: advertised and received
 Received: Total 30 messages
   Update messages   1
   Open messages     1
   KeepAlive messages    28
   Notification messages     0
   Refresh messages     0
 Sent: Total 30 messages
   Update messages   0
   Open messages     2
   KeepAlive messages    28
   Notification messages     0
   Refresh messages     0
 Authentication type configured: None
 Last keepalive received: 2020-06-02 14:12:02-08:00
 Minimum route advertisement interval is 15 seconds
 Optional capabilities:
 Route refresh capability has been enabled
 4-byte-as capability has been enabled
 Peer Preferred Value: 0
 Routing policy configured:
 No import update filter list
 No export update filter list
 No import prefix list
 No export prefix list
 No import route policy
 Export route policy is: bgp
 No import distribute policy
 No export distribute policy
```

从输出信息可以看到 R2 从 R4 收到了 1 个 Update 报文，未向 R4 发送 Update 报文（路由策略限制），但是本地 BGP 路由表中不存在由 R4 通告的 BGP 路由 10.2.2.0/24。

#在 R2 上触发入方向的软复位，让 R4 重新发送 Update 报文

```
<R2>refresh bgp 10.0.24.4 import
```

#再次查看 R2 上 Update 报文收发数量

```
<R2>display bgp peer 10.0.24.4 verbose | in Update
 Update-group ID: 2
 BGP current event: RecvUpdate
   Update messages   2
   Update messages   0
```

接收的 Update 报文数量增加，R2 从 R4 收到了 BGP 路由 10.2.2.0/24 的通告。

#再次查看 R2 上 BGP 路由 10.2.2.0/24 的明细信息

```
<R2>display bgp routing-table 10.2.2.0 24

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64511
 Paths:    1 available, 1 best, 1 select
```

```
BGP routing table entry information of 10.2.2.0/24:
Network route.
From: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Route Duration: 01h07m12s
Direct Out-interface: LoopBack1
Original nexthop: 10.2.2.2
Qos information : 0x0
AS-path Nil, origin igp, MED 0, pref-val 0, valid, local, best, select, pre 0
Advertised to such 2 peers:
    10.0.23.3
    10.0.12.1
```

依旧只有本地发布的 1 条 BGP 路由，R4 通告的 BGP 路由 Orginator_ID 属性值与本地的 Router ID 一致，R2 忽略了该路由通告。

步骤 6　验证 Cluster_List 实现路由防环

为了方便观察现象，取消 R2 上的 BGP 路由发布，在 R1 上将 Loopback1 接口路由发布到 BGP，观察 Cluster_List 如何防止环路。

#取消 R2 上的 BGP 路由发布

```
[R2]bgp 64511
[R2-bgp] undo network 10.2.2.0 255.255.255.0
```

#在 R1 上将 Loopback1 接口路由发布到 BGP

```
[R1]bgp 64511
[R1-bgp] network 10.1.1.0 24
```

#依次在 R1、R2、R3、R4 上查看 BGP 路由 10.1.1.0 /24 的明细信息

```
[R1]display bgp routing-table 10.1.1.0 24

 BGP local router ID : 10.0.1.1
 Local AS number : 64511
 Paths:    1 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 10.1.1.0/24:
 Network route.
 From: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
 Route Duration: 00h01m41s
 Direct Out-interface: LoopBack1
 Original nexthop: 10.1.1.1
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, pref-val 0, valid, local, best, select, pre 0
 Advertised to such 1 peers:
    10.0.12.2
```

R1 为 BGP 路由 10.1.1.0/24 的始发者，R1 将路由通告给了 R2（10.0.12.2）。

```
<R2>display bgp routing-table 10.1.1.0 24
```

```
 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64511
 Paths:    1 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 10.1.1.0/24:
 RR-client route.
 From: 10.0.12.1 (10.0.1.1)
 Route Duration: 00h02m03s
 Relay IP Nexthop: 0.0.0.0
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.12.1
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255
 Advertised to such 1 peers:
     10.0.23.3
```

来自路由反射器客户端 R1 的 BGP 路由 10.1.1.0/24，R2 将其反射给了 R3（10.0.23.3）。

```
<R3>display bgp routing-table 10.1.1.0 24

 BGP local router ID : 10.0.3.3
 Local AS number : 64511
 Paths:    1 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 10.1.1.0/24:
 RR-client route.
 From: 10.0.23.2 (10.0.2.2)
 Route Duration: 00h02m21s
 Relay IP Nexthop: 10.0.23.2
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.12.1
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255, IGP
cost 2
 Originator:   10.0.1.1
 Cluster list: 10.0.2.2
 Advertised to such 1 peers:
     10.0.34.4
```

来自路由反射器客户端 R2 的 BGP 路由 10.1.1.0/24，R2 反射时添加了 Cluster_List 属性，值为 10.0.2.2，R3 将该条路由反射给了 R4（10.0.34.4）。

```
<R4>display bgp routing-table 10.1.1.0 24

 BGP local router ID : 10.0.4.4
 Local AS number : 64511
 Paths:    1 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 10.1.1.0/24:
 RR-client route.
 From: 10.0.34.3 (10.0.3.3)
 Route Duration: 00h02m44s
 Relay IP Nexthop: 10.0.24.2
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/1
 Original nexthop: 10.0.12.1
 Qos information : 0x0
```

```
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255, IGP
cost 2
 Originator:    10.0.1.1
 Cluster list: 10.0.3.3, 10.0.2.2
 Advertised to such 1 peers:
     10.0.24.2
```

来自路由反射器客户端 R3 的 BGP 路由 10.1.1.0/24，R3 反射时添加了 Cluster_List 属性的值，当前值为 10.0.3.3，10.0.2.2，R4 将该条路由反射给了 R2（10.0.24.2）。

#再次查看 R2 的 BGP 路由表

```
<R2>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.2.2
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
                   h - history,   i - internal, s - suppressed, S - Stale
                   Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 1
      Network            NextHop        MED        LocPrf      PrefVal     Path/Ogn

*>i   10.1.1.0/24        10.0.12.1       0          100          0           i
```

R2 的 BGP 路由表中依旧只有一条来自 10.0.12.1 的 BGP 路由 10.1.1.0/24。

#在 R2 上查看 BGP 对等体 10.0.24.4 的详细信息

```
<R2>display bgp peer 10.0.24.4 verbose

 BGP Peer is 10.0.24.4,   remote AS 64511
Type: IBGP link
BGP version 4, Remote router ID 10.0.4.4
Update-group ID: 2
BGP current state: Established, Up for 00h29m13s
BGP current event: RecvKeepalive
BGP last state: OpenConfirm
BGP Peer Up count: 2
Received total routes: 0
Received active routes total: 0
Advertised total routes: 0
Port:   Local - 179 Remote - 64495
Configured: Connect-retry Time: 32 sec
Configured: Active Hold Time: 180 sec Keepalive Time:60 sec
Received   : Active Hold Time: 180 sec
Negotiated: Active Hold Time: 180 sec Keepalive Time:60 sec
Peer optional capabilities:
Peer supports bgp multi-protocol extension
Peer supports bgp route refresh capability
Peer supports bgp 4-byte-as capability
Address family IPv4 Unicast: advertised and received
 Received: Total 32 messages
   Update messages   1
   Open messages     1
```

```
  KeepAlive messages    30
  Notification messages    0
  Refresh messages    0
Sent: Total 32 messages
  Update messages   0
  Open messages     2
  KeepAlive messages    30
  Notification messages    0
  Refresh messages    0
Authentication type configured: None
Last keepalive received: 2020-06-02 14:14:03-08:00
Minimum route advertisement interval is 15 seconds
Optional capabilities:
Route refresh capability has been enabled
4-byte-as capability has been enabled
Peer Preferred Value: 0
Routing policy configured:
No import update filter list
No export update filter list
No import prefix list
No export prefix list
No import route policy
Export route policy is: bgp
No import distribute policy
No export distribute policy
```

R2 从 R4 收到了 1 个 Update 报文，未向 R4 发送 Update 报文（路由策略限制），但是本地 BGP 路由表中没有 R4 通告的 BGP 路由 10.1.1.0/24。

#在 R2 上触发入方向的软复位，让 R4 重新发送 Update 报文

```
<R2>refresh bgp 10.0.24.4 import
```

#再次查看 R2 上 Update 报文收发数量

```
<R2>display bgp peer 10.0.24.4 verbose | in Update
 Update-group ID: 2
 BGP current event: RecvUpdate
   Update messages   2
   Update messages   0
```

接收的 Update 报文数量增加，R2 从 R4 收到了 BGP 路由 10.1.1.0/24 的通告。

#再次查看 R2 上 BGP 路由 10.1.1.0 24 的明细信息

```
<R2>display bgp routing-table 10.1.1.0 24

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64511
 Paths:    1 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 10.1.1.0/24:
 RR-client route.
 From: 10.0.12.1 (10.0.1.1)
 Route Duration: 00h31m20s
```

```
Relay IP Nexthop: 0.0.0.0
Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
Original nexthop: 10.0.12.1
Qos information : 0x0
AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255
Advertised to such 1 peers:
    10.0.23.3
```

依旧只有来自 R1 通告的 1 条 BGP 路由，R4 通告的 BGP 路由其 Cluster_List 属性值中包含了 R2 的 Cluster-ID，R2 忽略了该路由通告。

3.3.3 思考题

BGP 将路由传递给 EBGP 对等体时是否携带 Originator_ID、Cluster_List 属性?

3.3.4 配置参考

R1 配置参考

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
#
bgp 64511
 router-id 10.0.1.1
 peer 10.0.12.2 as-number 64511
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  summary automatic
  network 10.1.1.0 255.255.255.0
  peer 10.0.12.2 enable
#
ospf 1 router-id 10.0.1.1
 area 0.0.0.0
  network 10.0.1.1 0.0.0.0
  network 10.0.12.1 0.0.0.0
#
#
return
```

R2 配置参考

```
<R2>display current-configuration
#
```

```
sysname R2
#
acl number 2000
 rule 5 permit
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.24.2 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 10.2.2.2 255.255.255.0
#
bgp 64511
 router-id 10.0.2.2
 peer 10.0.12.1 as-number 64511
 peer 10.0.23.3 as-number 64511
 peer 10.0.24.4 as-number 64511
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  peer 10.0.12.1 enable
  peer 10.0.12.1 reflect-client
  peer 10.0.23.3 enable
  peer 10.0.24.4 enable
  peer 10.0.24.4 route-policy bgp export
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 area 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
  network 10.0.12.2 0.0.0.0
  network 10.0.23.2 0.0.0.0
  network 10.0.24.2 0.0.0.0
#
route-policy bgp deny node 10
 if-match acl 2000
#
return
```

R3 配置参考

```
<R3>display current-configuration
#
sysname R3
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
#
```

```
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
#
bgp 64511
 router-id 10.0.3.3
 peer 10.0.23.2 as-number 64511
 peer 10.0.34.4 as-number 64511
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  peer 10.0.23.2 enable
  peer 10.0.23.2 reflect-client
  peer 10.0.34.4 enable
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 area 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.0.23.3 0.0.0.0
  network 10.0.34.3 0.0.0.0
#
return
```

R4 配置参考

```
<R4>display current-configuration
#
sysname R4
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.24.4 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
#
bgp 64511
 router-id 10.0.4.4
 peer 10.0.24.2 as-number 64511
 peer 10.0.34.3 as-number 64511
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  peer 10.0.24.2 enable
  peer 10.0.34.3 enable
  peer 10.0.34.3 reflect-client
#
ospf 1 router-id 10.0.4.4
 area 0.0.0.0
  network 10.0.4.4 0.0.0.0
  network 10.0.24.4 0.0.0.0
```

```
  network 10.0.34.4 0.0.0.0
#
return
```

3.4 BGP 路由优选

3.4.1 实验介绍

3.4.1.1 学习目标

- 实现通过修改 AS-Path 属性来影响路径选择
- 实现通过修改 Local_Preference 属性来影响路径选择
- 实现通过修改 MED 属性来影响路径选择
- 实现通过修改 preferred-value 属性来影响路径选择

3.4.1.2 实验组网介绍

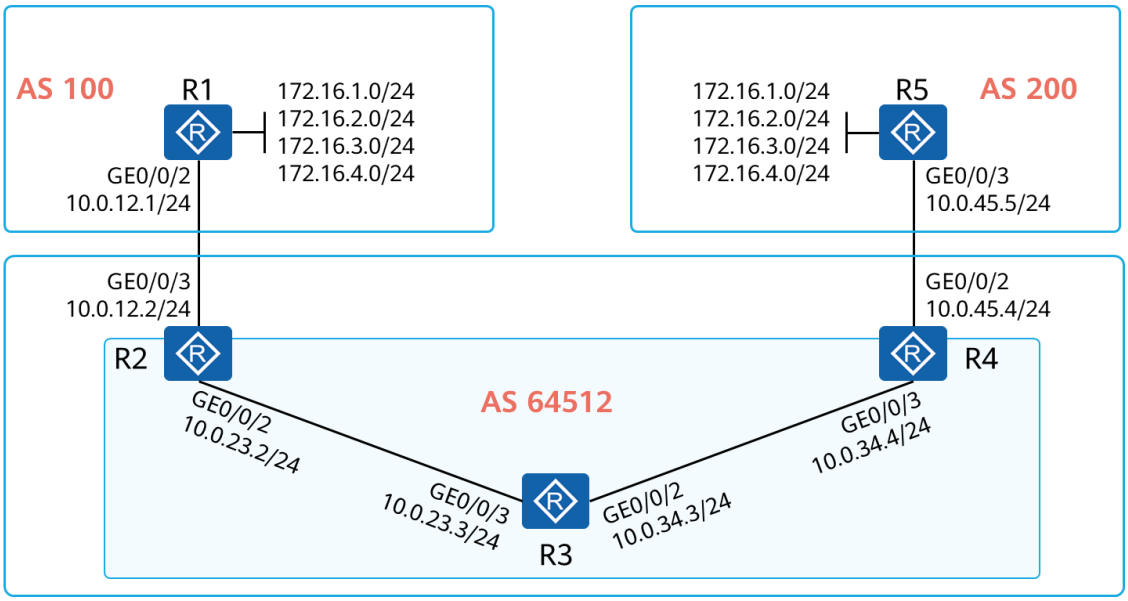


图3-4 BGP 路由优选

设备互联方式、互联接口地址如图所示，所有设备均创建 Loopback0 接口，IP 地址为 10.0.x.x/32，其中 x 为设备编号，所有设备都使用 Loopback0 地址作为 BGP Router ID。

R1 在 AS100，R5 在 AS200，R2、R3、R4 在 AS64512。AS64512 内运行 OSPF，在互联接口（不包括连接外部 AS 的接口）、Loopback0 接口上激活 OSPF。

EBGP 对等体关系基于直连接口建立，IBGP 对等体关系基于 Loopback0 接口建立。

R1、R5 上存在相同的网段 172.16.1.0/24、172.16.2.0/24、172.16.3.0/24、172.16.4.0/24，在 R1、R5 上将其发布到 BGP，以用于 BGP 路由优选。

3.4.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。公司的网络采用了 BGP 协议接入了两个服务运营商。公司自己采用了私有的 AS 号 64512，ISP1 的 AS 号为 100，ISP2 的 AS 号为 200。通过 AS100、AS200 都可以到达相同的网络，你通过改变 BGP 的各种属性达到了调整路由走向的目的。

3.4.2 实验任务

3.4.2.1 任务思路

1. 设备 IP 地址配置。
2. 配置 AS64512 内的 OSPF，在互联接口（不包含连接外部 AS 的接口）、Loopback0 接口上激活 OSPF。
3. 按照规划配置 BGP 对等体，在 R1、R5 上将路由发布到 BGP 中。
4. 在 R1 上通过路由策略修改 BGP 路由 172.16.1.0/24 的 AS_Path 属性值，使得 R3 优选 R5 发布的 BGP 路由 172.16.1.0/24。
5. 在 R4 上通过路由策略修改 BGP 路由 172.16.2.0/24 的 Local_Preference 属性值，使得 R3 优选 R4 通告的 BGP 路由 172.16.2.0/24。
6. 在 R2 上通过路由策略修改 BGP 路由 172.16.3.0/24 的 MED 属性值，使得 R3 优选 R5 发布的 BGP 路由 172.16.3.0/24。
7. 在 R3 上通过路由策略修改 BGP 路由 172.16.4.0/24 的 preferred-value 属性值，使得 R3 优选 R4 通告的 BGP 路由 172.16.4.0/24。

3.4.2.2 任务步骤

步骤 1 互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/2、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0] quit
```

#在 R1 上创建多个环回口，用于发布到 BGP 中

```
[R1]interface LoopBack1
```

```
[R1-LoopBack1] ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack1] quit
[R1]interface LoopBack2
[R1-LoopBack2] ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack2] quit
[R1]interface LoopBack3
[R1-LoopBack3] ip address 172.16.3.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack3] quit
[R1]interface LoopBack4
[R1-LoopBack4] ip address 172.16.4.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack4] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/3
[R3-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R4 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/2
[R4-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
[R4-LoopBack0] quit
```

#配置 R5 的 GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R5]interface LoopBack0
[R5-LoopBack0] ip address 10.0.5.5 255.255.255.255
[R5-LoopBack0] quit
[R5]interface GigabitEthernet0/0/3
```

```
[R5-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
[R5-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#在 R5 上创建多个环回口，用于发布到 BGP 中

```
[R5]interface LoopBack1
[R5-LoopBack1] ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
[R5-LoopBack1] quit
[R5]interface LoopBack2
[R5-LoopBack2] ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
[R5-LoopBack2] quit
[R5]interface LoopBack3
[R5-LoopBack3] ip address 172.16.3.1 255.255.255.0
[R5-LoopBack3] quit
[R5]interface LoopBack4
[R5-LoopBack4] ip address 172.16.4.1 255.255.255.0
[R5-LoopBack4] quit
```

#在 R2、R4 上检查 IP 地址连通性

```
<R2>ping -c 1 10.0.12.1
  PING 10.0.12.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms

  --- 10.0.12.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms

<R2>ping -c 1 10.0.23.3
  PING 10.0.23.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.23.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=20 ms

  --- 10.0.23.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 20/20/20 ms

<R4>ping -c 1 10.0.34.3
  PING 10.0.34.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.34.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.34.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms

<R4>ping -c 1 10.0.45.5
  PING 10.0.45.5: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.45.5: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=30 ms

  --- 10.0.45.5 ping statistics ---
```

```
  1 packet(s) transmitted
  1 packet(s) received
  0.00% packet loss
  round-trip min/avg/max = 30/30/30 ms
```

步骤 2 配置 AS 64512 的 OSPF

R2、R3、R4 使用 Loopback0 接口地址作为 Router ID，在互联接口（不包含连接外部 AS 的接口）、Loopback0 接口上激活 OSPF。

#配置 R2，在 Loopback0、GE0/0/2 接口上激活 OSPF

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1] area 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R2-ospf-1] quit
```

#配置 R3，在 Loopback0、GE0/0/2、GE0/0/3 接口上激活 OSPF

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1] area 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R3-ospf-1] quit
```

#配置 R4，在 Loopback0、GE0/0/3 接口上激活 OSPF

```
[R4]ospf 1 router-id 10.0.4.4
[R4-ospf-1] area 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R4-ospf-1] quit
```

#在 R3 上查看 OSPF 邻居的概要信息

```
<R3>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
    Peer Statistic Information
 --------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2          10.0.4.4         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/3          10.0.2.2         Full
 --------------------------------------------------------------------------
```

从输出信息可以看到 R3 与 R2、R4 之间已经建立起邻居关系。

#在 R3 上查看 OSPF 路由表

```
<R3>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.3.3/32        0      Stub       10.0.3.3        10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.23.0/24       1      Transit    10.0.23.3       10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.34.0/24       1      Transit    10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.2.2/32        1      Stub       10.0.23.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.4.4/32        1      Stub       10.0.34.4       10.0.4.4        0.0.0.0

 Total Nets: 5
 Intra Area: 5   Inter Area: 0   ASE: 0   NSSA: 0
```

R3 已经学习到 R2、R4 的 Loopback0 接口路由。

步骤 3 配置 BGP 对等体

配置 AS 内、AS 之间的对等体关系，AS 内部使用环回口地址建立 IBGP 对等体关系，AS 之间使用互联接口地址建立 EBGP 对等体关系。

#配置 R1

```
[R1]bgp 100
[R1-bgp] router-id 10.0.1.1
[R1-bgp] peer 10.0.12.2 as 64512
```

#配置 R2

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] router-id 10.0.2.2
[R2-bgp] peer 10.0.3.3 as-number 64512
[R2-bgp] peer 10.0.3.3 connect-interface LoopBack0
[R2-bgp] peer 10.0.3.3 next-hop-local
[R2-bgp] peer 10.0.12.1 as-number 100
```

由于未在 AS 之间互联接口上激活 OSPF，在 R2 上需要设置向 IBGP 对等体 R3 通告路由时，把下一跳属性设为自身的更新源地址。

#配置 R3

```
[R3]bgp 64512
[R3-bgp] router-id 10.0.3.3
[R3-bgp] peer 10.0.2.2 as-number 64512
[R3-bgp] peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
[R3-bgp] peer 10.0.4.4 as-number 64512
[R3-bgp] peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
```

#配置 R4

```
[R4]bgp 64512
[R4-bgp] router-id 10.0.4.4
[R4-bgp] peer 10.0.3.3 as-number 64512
[R4-bgp] peer 10.0.3.3 connect-interface LoopBack0
[R4-bgp] peer 10.0.3.3 next-hop-local
[R4-bgp] peer 10.0.45.5 as-number 200
```

由于未在 AS 之间互联接口上激活 OSPF，在 R4 上需要设置向 IBGP 对等体 R3 通告路由时，把下一跳属性设为自身的更新源地址。

#配置 R5

```
[R5]bgp 200
[R5-bgp] router-id 10.0.5.5
[R5-bgp] peer 10.0.45.4 as 64512
```

#在 R2、R4 上检查 BGP 对等体状态

```
<R2>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64512
 Total number of peers : 2       Peers in established state : 2

  Peer            V          AS       MsgRcvd   MsgSent   OutQ   Up/Down       State       PrefRcv

  10.0.3.3        4       64512            27        30      0     00:03:49    Established       0
  10.0.12.1       4         100            11        11      0     00:03:54    Established       0
```

```
<R4>display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.4.4
 Local AS number : 64512
 Total number of peers : 2       Peers in established state : 2

  Peer            V          AS       MsgRcvd   MsgSent   OutQ   Up/Down       State       PrefRcv

  10.0.3.3        4       64512            39        33      0     00:03:39    Established       0
  10.0.45.5       4         200             4         6      0     00:02:54    Established       0
```

BGP 对等体关系全部已经建立成功。

#在 R1、R5 上将 Loopback1、Loopback2、Loopback3、Loopback4 接口路由发布到 BGP 中

```
[R1]bgp 100
[R1-bgp] network 172.16.1.0 24
[R1-bgp] network 172.16.2.0 24
[R1-bgp] network 172.16.3.0 24
[R1-bgp] network 172.16.4.0 24

[R5]bgp 200
```

```
[R5-bgp] network 172.16.1.0 24
[R5-bgp] network 172.16.2.0 24
[R5-bgp] network 172.16.3.0 24
[R5-bgp] network 172.16.4.0 24
```

#在 R3 上查看 BGP 路由表，检查 BGP 路由是否成功学习

```
<R3>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.3.3
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 8
      Network            NextHop        MED        LocPrf     PrefVal Path/Ogn

 *>i  172.16.1.0/24      10.0.2.2         0          100          0      100i
 *i                      10.0.4.4         0          100          0      200i
 *>i  172.16.2.0/24      10.0.2.2         0          100          0      100i
 *i                      10.0.4.4         0          100          0      200i
 *>i  172.16.3.0/24      10.0.2.2         0          100          0      100i
 *i                      10.0.4.4         0          100          0      200i
 *>i  172.16.4.0/24      10.0.2.2         0          100          0      100i
 *i                      10.0.4.4         0          100          0      200i
```

R3 已经成功学习 R1、R5 发布的路由，此时所有路由都优选由 R2 通告的。

步骤 4 修改 AS_Path 属性

在 R1 上通过路由策略修改 BGP 路由 172.16.1.0/24 的 AS_Path 属性值，使得 R3 优选 R5 发布的 BGP 路由 172.16.1.0/24。

#创建 IP 前缀列表 1，匹配 Loopback1 接口路由

```
[R1]ip ip-prefix 1 permit 172.16.1.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 Route-Policy hcip，并创建节点 10，在其中调用 IP 前缀列表 1，修改 AS_Path 属性值

```
[R1]route-policy hcip permit node 10
[R1-route-policy] if-match ip-prefix 1
[R1-route-policy] apply as-path 300 400 additive
[R1-route-policy] quit
[R1]route-policy hcip permit node 20
```

注意创建一个空节点，对于另外 3 条 BGP 路由不执行任何操作。

#对向 BGP 对等体 R2 通告的 BGP 路由应用 Route-Policy

```
[R1]bgp 100
[R1-bgp] peer 10.0.12.2 route-policy hcip export
```

#在 R1 上触发出方向的软复位，刷新对外通告的 BGP 路由

```
<R1>refresh bgp all export
```

#在 R3 上查看 BGP 路由 172.16.1.0/24 的明细信息

```
<R3>display bgp routing-table 172.16.1.0 24

 BGP local router ID : 10.0.3.3
 Local AS number : 64512
 Paths:    2 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 172.16.1.0/24:
 From: 10.0.4.4 (10.0.4.4)
 Route Duration: 00h46m54s
 Relay IP Nexthop: 10.0.34.4
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/2
 Original nexthop: 10.0.4.4
 Qos information : 0x0
 AS-path 200, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255, IGP
cost 1
 Not advertised to any peer yet

 BGP routing table entry information of 172.16.1.0/24:
 From: 10.0.2.2 (10.0.2.2)
 Route Duration: 00h04m54s
 Relay IP Nexthop: 10.0.23.2
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.2.2
 Qos information : 0x0
 AS-path 100 300 400, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, pre 255, IGP cost 1,
not preferred for AS-Path
 Not advertised to any peer yet
```

此时 R3 优选 R4 通告的 BGP 路由 172.16.1.0/24，R2 通告的未被优选的原因是 AS_Path 长度。

步骤 5 修改 Local_Preference 属性

在 R4 上通过路由策略修改 BGP 路由 172.16.2.0/24 的 Local_Preference 属性值，使得 R3 优选 R4 通告的 BGP 路由 172.16.2.0/24。

#创建 IP 前缀列表 1，匹配 BGP 路由 172.16.2.0/24

```
[R4]ip ip-prefix 1 permit 172.16.2.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 Route-Policy hcip，并创建节点 10，在其中调用 IP 前缀列表 1，修改 Local_Preference 属性值

```
[R4]route-policy hcip permit node 10
[R4-route-policy] if-match ip-prefix 1
[R4-route-policy] apply local-preference 200
```

```
[R4-route-policy] quit
[R4]route-policy hcip permit node 20
```

注意创建一个空节点，对于另外 3 条 BGP 路由不执行任何操作。

#对向 BGP 对等体 R3 通告的 BGP 路由应用 Route-Policy

```
[R4]bgp 64512
[R4-bgp] peer 10.0.3.3 route-policy hcip export
```

#在 R4 上触发出方向的软复位，刷新对外通告的 BGP 路由

```
<R4>refresh bgp all export
```

#在 R3 上查看 BGP 路由 172.16.2.0/24 的明细信息

```
<R3>display bgp routing-table 172.16.2.0 24

 BGP local router ID : 10.0.3.3
 Local AS number : 64512
 Paths:    2 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 172.16.2.0/24:
 From: 10.0.4.4 (10.0.4.4)
 Route Duration: 00h01m00s
 Relay IP Nexthop: 10.0.34.4
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/2
 Original nexthop: 10.0.4.4
 Qos information : 0x0
 AS-path 200, origin igp, MED 0, localpref 200, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255, IGP
cost 1
 Not advertised to any peer yet

 BGP routing table entry information of 172.16.2.0/24:
 From: 10.0.2.2 (10.0.2.2)
 Route Duration: 00h07m09s
 Relay IP Nexthop: 10.0.23.2
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.2.2
 Qos information : 0x0
 AS-path 100, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, pre 255, IGP cost 1, not
preferred for Local_Pref
 Not advertised to any peer yet
```

此时 R3 优选 R4 通告的 BGP 路由 172.16.2.0/24，R2 通告的 BGP 路由其 Local_Preference 值为 100，小于 R3 通告的 BGP 路由 Local_Preference 值 200，因此 R2 通告的 BGP 路由未被优选。

步骤 6 修改 MED 属性

在 R2 上通过路由策略修改 BGP 路由 172.16.3.0/24 的 MED 属性值，使得 R3 优选 R5 发布的 BGP 路由 172.16.3.0/24。

#创建 IP 前缀列表 1，匹配 BGP 路由 172.16.3.0/24

```
[R2]ip ip-prefix 1 permit 172.16.3.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 Route-Policy hcip，并创建节点 10，在其中调用 IP 前缀列表 1，修改 MED 属性值

```
[R2]route-policy hcip permit node 10
[R2-route-policy] if-match ip-prefix 1
[R2-route-policy] apply cost 200
[R2-route-policy] quit
[R2]route-policy hcip permit node 20
```

注意创建一个空节点，对于另外 3 条 BGP 路由不执行任何操作。

#对来自 BGP 对等体 R1 的 BGP 路由应用 Route-Policy

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] peer 10.0.12.1 route-policy hcip import
```

#在 R2 上触发入方向的软复位，刷新接收到的 BGP 路由

```
<R2>refresh bgp all import
```

#在 R3 上配置允许比较来自不同 AS 的 BGP 路由的 MED 值

```
[R3]bgp 64512
[R3-bgp] compare-different-as-med
```

缺省情况下，不比较来自不同 AS 邻居的 BGP 的 MED 属性值。

#在 R3 上查看 BGP 路由 172.16.3.0/24 的明细信息

```
<R3>display bgp routing-table 172.16.3.0 24

 BGP local router ID : 10.0.3.3
 Local AS number : 64512
 Paths:    2 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 172.16.3.0/24:
 From: 10.0.4.4 (10.0.4.4)
 Route Duration: 00h14m27s
 Relay IP Nexthop: 10.0.34.4
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/2
 Original nexthop: 10.0.4.4
 Qos information : 0x0
 AS-path 200, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255, IGP
cost 1
 Not advertised to any peer yet

 BGP routing table entry information of 172.16.3.0/24:
 From: 10.0.2.2 (10.0.2.2)
 Route Duration: 00h03m00s
 Relay IP Nexthop: 10.0.23.2
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
```

```
Original nexthop: 10.0.2.2
Qos information : 0x0
AS-path 100, origin igp, MED 200, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, pre 255, IGP cost 1, not preferred for MED
Not advertised to any peer yet
```

R2 通告的 BGP 路由 172.16.3.0/24 其 MED 值为 200，而 R4 通告 BGP 路由 MED 值为 0，R3 优选 MED 值较小的 BGP 路由，因此 R2 通告的 BGP 路由未被优选。

步骤 7 修改 preferred-value 属性

在 R3 上通过路由策略修改 BGP 路由 172.16.4.0/24 的 preferred-value 属性值，使得 R3 优选 R4 通告的 BGP 路由 172.16.4.0/24。

#创建 IP 前缀列表 1，匹配 BGP 路由 172.16.4.0/24

```
[R3]ip ip-prefix 1 permit 172.16.4.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 Route-Policy hcip，并创建节点 10，在其中调用 IP 前缀列表 1，修改 preferred-value 属性值

```
[R3]route-policy hcip permit node 10
[R3-route-policy] if-match ip-prefix 1
[R3-route-policy] apply preferred-value 300
[R3-route-policy] quit
[R3]route-policy hcip permit node 20
```

注意创建一个空节点，对于另外 3 条 BGP 路由不执行任何操作。

#对来自 BGP 对等体 R4 的 BGP 路由应用 Route-Policy

```
[R3]bgp 64512
[R3-bgp] peer 10.0.4.4 route-policy hcip import
```

#在 R3 上触发入方向的软复位，刷新收到的 BGP 路由

```
<R3>refresh bgp all import
```

#在 R3 上查看 BGP 路由 172.16.4.0/24 的明细信息

```
<R3>display bgp routing-table 172.16.4.0 24

BGP local router ID : 10.0.3.3
Local AS number : 64512
Paths:    2 available, 1 best, 1 select
BGP routing table entry information of 172.16.4.0/24:
From: 10.0.4.4 (10.0.4.4)
Route Duration: 00h01m22s
Relay IP Nexthop: 10.0.34.4
Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/2
Original nexthop: 10.0.4.4
```

```
 Qos information : 0x0
 AS-path 200, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 300, valid, internal, best, select, active, pre 255,
IGP cost 1
 Not advertised to any peer yet

 BGP routing table entry information of 172.16.4.0/24:
 From: 10.0.2.2 (10.0.2.2)
 Route Duration: 00h00m04s
 Relay IP Nexthop: 10.0.23.2
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.2.2
 Qos information : 0x0
 AS-path 100, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, pre255, IGP cost 1, not
preferred for PreVal
 Not advertised to any peer yet
```

R4 通告的 BGP 路由 172.16.3.0/24 其 preferred-value 值为 300，而 R2 通告的 preferred-value 值为 0，R3 优选 preferred-value 值较大的 BGP 路由，因此 R3 优选 R4 通告的 BGP 路由。

#最后查看 R3 的 BGP 路由表

```
<R3>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.3.3
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 8
      Network            NextHop        MED        LocPrf     PrefVal Path/Ogn

 *>i  172.16.1.0/24      10.0.4.4       0          100        0       200i
 *i                      10.0.2.2       0          100        0       100 300 400i
 *>i  172.16.2.0/24      10.0.4.4       0          200        0       200i
 *i                      10.0.2.2       0          100        0       100i
 *>i  172.16.3.0/24      10.0.4.4       0          100        0       200i
 *i                      10.0.2.2       200        100        0       100i
 *>i  172.16.4.0/24      10.0.4.4       0          100        300     200i
 *i                      10.0.2.2       0          100        0       100i
```

此时所有路由都优选由 R4 通告的。

步骤 8（可选）验证本地始发的 BGP 路由优于从对等体学习的 BGP 路由

在 R2 上创建 Loopback1 接口，将 Loopback1 接口路由发布到 OSPF 中，之后在 R2、R3 上将该接口路由发布到 BGP 中，R3 的 BGP 路由表中将会存在两条关于 R2 Loopback1 接口的 BGP 路由。

#在 R2 上创建 Loopback1 接口，配置 IP 地址为 10.2.2.2/32

```
[R2]interface LoopBack1
```

```
[R2-LoopBack1] ip address 10.2.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack1] quit
```

#在 Loopback1 接口上激活 OSPF

```
[R2]ospf 1
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.2.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R2-ospf-1] quit
```

#在 R3 上查看 OSPF 路由 10.2.2.2/32

```
<R3>display ospf routing 10.2.2.2

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3

 Destination : 10.2.2.2/32
 AdverRouter : 10.0.2.2                  Area         : 0.0.0.0
 Cost        : 1                          Type         : Stub
 NextHop     : 10.0.23.2                  Interface : GigabitEthernet0/0/3
 Priority    : Medium                     Age          : 00h01m19s
```

R3 此时已经学习到 R2 的 Loopback1 接口路由。

#在 R2、R3 上将 Loopback1 接口路由发布到 BGP

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] network 10.2.2.2 32

[R3]bgp 64512
[R3-bgp] network 10.2.2.2 32
```

#在 R3 上查看 BGP 路由 10.2.2.2/32 的明细信息

```
<R3>display bgp routing-table 10.2.2.2 32

 BGP local router ID : 10.0.3.3
 Local AS number : 64512
 Paths:    2 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 10.2.2.2/32:
 Network route.
 From: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
 Route Duration: 00h00m21s
 Direct Out-interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.23.2
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin igp, MED 1, pref-val 0, valid, local, best, select, pre 10
 Advertised to such 2 peers:
     10.0.2.2
     10.0.4.4
 BGP routing table entry information of 10.2.2.2/32:
 From: 10.0.2.2 (10.0.2.2)
 Route Duration: 00h00m50s
```

```
 Relay IP Nexthop: 10.0.23.2
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.2.2
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, pre 255, IGP cost 1, not preferred for route type
 Not advertised to any peer yet
```

R3 上优选本地发布的 BGP 路由 10.2.2.2/32，而 R2 通告过来的 BGP 路由 10.2.2.2/32 未被优选的原因是：“not preferred for route type”，由于路由类型原因（本地始发优于从 BGP 对等体学习到）。

步骤 9（可选）修改 Origin 属性

在 R1、R5 上创建 Loopback5 接口，将接口路由发布到 BGP 中，验证 Origin 属性为 IGP 的 BGP 路由优于 Origin 属性为 Incomplete 的 BGP 路由。

#R1、R5 上创建 Loopback5，IP 地址为 172.16.5.1/24

```
[R1]interface LoopBack 5
[R1-LoopBack5] ip address 172.16.5.1 24
[R1-LoopBack5] quit

[R5]interface LoopBack 5
[R5-LoopBack5] ip address 172.16.5.1 24
[R5-LoopBack5] quit
```

#在 R1、R5 上将 Loopback5 接口路由发布到 BGP 中，通过 network 方式

```
[R1]bgp 100
[R1-bgp] network 172.16.5.0 24

[R5]bgp 200
[R5-bgp] network 172.16.5.0 24
```

#在 R3 上查看 BGP 路由表

```
<R3>display bgp routing-table

 BGP Local router ID is 10.0.3.3
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete


 Total Number of Routes: 12
      Network            NextHop          MED          LocPrf     PrefVal Path/Ogn

 *>   10.2.2.2/32        0.0.0.0          1                       0       i
 *i                      10.0.2.2         0            100        0       i
 *>i  172.16.1.0/24        10.0.4.4         0            100        0       200i
 *i                      10.0.2.2         0            100        0       100 300 40
```

```
0i
 *>i  172.16.2.0/24        10.0.4.4        0          200         0       200i
 * i                       10.0.2.2        0          100         0       100i
 *>i  172.16.3.0/24        10.0.4.4        0          100         0       200i
 * i                       10.0.2.2        200        100         0       100i
 *>i  172.16.4.0/24        10.0.4.4        0          100         300     200i
 * i                       10.0.2.2        0          100         0       100i
 *>i  172.16.5.0/24        10.0.2.2        0          100         0       100i
 * i                       10.0.4.4        0          100         0       200i
```

此时 R3 上优选 R2 通告（由 R1 发布）的 BGP 路由 172.16.5.0/24，此时 R2、R4 通告的 BGP 路由 Origin 属性值都为 IGP。

#在 R1 上取消将 Loopback5 接口路由发布到 BGP

```
[R1]bgp 100
[R1-bgp] undo network 172.16.5.0 24
```

#创建 IP 前缀列表 2，匹配 R1 Loopback5 接口路由 172.16.5.0/24

```
[R1]ip ip-prefix 2 permit 172.16.5.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 Route-Policy origin，并创建节点 10，在其中调用 IP 前缀列表 2

```
[R1]route-policy origin permit node 10
[R1-route-policy] if-match ip-prefix 2
[R1-route-policy] quit
```

#R1 上修改为使用 **import-route direct** 将直连路由发布到 BGP，调用 Route-Policy origin 限制只引入 Loopback5 接口路由

```
[R1]bgp 100
[R1-bgp] import-route direct route-policy origin
```

#在 R3 上查看 BGP 路由 172.16.5.0/24 的明细信息

```
<R3>display bgp routing-table 172.16.5.0 24

 BGP local router ID : 10.0.3.3
 Local AS number : 64512
 Paths:    2 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 172.16.5.0/24:
 From: 10.0.4.4 (10.0.4.4)
 Route Duration: 00h03m53s
 Relay IP Nexthop: 10.0.34.4
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/2
 Original nexthop: 10.0.4.4
 Qos information : 0x0
 AS-path 200, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, bes
t, select, active, pre 255, IGP cost 1
 Not advertised to any peer yet

 BGP routing table entry information of 172.16.5.0/24:
```

```
From: 10.0.2.2 (10.0.2.2)
Route Duration: 00h01m27s
Relay IP Nexthop: 10.0.23.2
Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
Original nexthop: 10.0.2.2
Qos information : 0x0
AS-path 100, origin incomplete, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, pre 255, IGP cost 1, not preferred for Origin
Not advertised to any peer yet
```

此时 R3 优选 R4 通告的 BGP 路由 172.16.5.0/24。

R2 通告（R1 发布）的 BGP 路由 172.16.5.0/24 此时 Origin 属性值为 incomplete（通过 import-route 方式发布到 BGP），由于 Origin 属性值原因，该条路由未被优选。

步骤 10（可选）验证 EBGP 路由的优先级高于 IBGP 路由

在 R1、R3 上创建 Loopback6 接口，将 Loopback6 接口路由发布到 BGP 中，在 R2 上观察优选结果。

#R1、R3 上创建 Loopback6 接口

```
[R1]interface LoopBack 6
[R1-LoopBack6] ip address 172.16.6.1 24
[R1-LoopBack6] quit

[R3]interface LoopBack 6
[R3-LoopBack6] ip address 172.16.6.1 24
[R3-LoopBack6] quit
```

#将 Loopback6 接口路由发布到 BGP

```
[R1]bgp 100
[R1-bgp] network 172.16.6.0 24

[R3]bgp 64512
[R3-bgp]network 172.16.6.0 24
```

#在 R2 上查看 BGP 路由 172.16.6.0/24 的明细信息

```
<R2>display bgp routing-table 172.16.6.0 24

BGP local router ID : 10.0.2.2
Local AS number : 64512
Paths:    2 available, 1 best, 1 select
BGP routing table entry information of 172.16.6.0/24:
From: 10.0.3.3 (10.0.3.3)
Route Duration: 00h03m13s
Relay IP Nexthop: 10.0.23.3
Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/2
Original nexthop: 10.0.3.3
Qos information : 0x0
```

```
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255, IGP
cost 1
 Advertised to such 1 peers:
     10.0.12.1
 BGP routing table entry information of 172.16.6.0/24:
 From: 10.0.12.1 (10.0.1.1)
 Route Duration: 00h03m13s
 Direct Out-interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.12.1
 Qos information : 0x0
 AS-path 100, origin igp, MED 0, pref-val 0, valid, external, pre 255, not preferred for AS-Path
 Not advertised to any peer yet
```

此时 R2 优选 R3 发布的 BGP 路由 172.16.6.0/24，未优选 R1 的原因是 AS-Path。

#在 R3 上通过路由策略为 BGP 路由 172.16.6.0/24 添加 AS-Path 属性值

```
[R3]ip ip-prefix 2 permit 172.16.6.0 24 greater-equal 24 less-equal 24

[R3]route-policy as_path permit node 10
[R3-route-policy] if-match ip-prefix 2
[R3-route-policy] apply as-path 300 additive
[R3-route-policy] quit
[R3]route-policy as_path permit node 20

[R3]bgp 64512
[R3-bgp] peer 10.0.2.2 route-policy as_path export
```

#在 R3 上触发出方向的软复位，刷新对外通告的 BGP 路由

```
<R3>refresh bgp all export
```

#再次在 R2 上查看 BGP 路由 172.16.6.0/24 的明细信息

```
<R2>display bgp routing-table 172.16.6.0 24

 BGP local router ID : 10.0.2.2
 Local AS number : 64512
 Paths:    2 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 172.16.6.0/24:
 From: 10.0.12.1 (10.0.1.1)
 Route Duration: 00h23m46s
 Direct Out-interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.12.1
 Qos information : 0x0
 AS-path 100, origin igp, MED 0, pref-val 0, valid, external, best, select, active, pre 255
 Advertised to such 1 peers:
     10.0.3.3
 BGP routing table entry information of 172.16.6.0/24:
 From: 10.0.3.3 (10.0.3.3)
 Route Duration: 00h00m29s
 Relay IP Nexthop: 10.0.23.3
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/2
 Original nexthop: 10.0.3.3
```

```
 Qos information : 0x0
 AS-path 300, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, pre 255, IGP cost 1, not preferred for peer type
 Not advertised to any peer yet
```

此时来自 R3 的 BGP 路由未被优选，原因为：“not preferred for peer type”，在其他条件相同的情况下 BGP 优选来自 EBGP 对等体的路由。

步骤 11（可选）验证 BGP 优选到 Nex_Hop 的 IGP 度量值最小的路由

R2、R4 之间基于环回口建立 IBGP 对等体关系，在 R2、R3 上建立 Loopback7 接口并将接口路由发布到 BGP 中，在 R4 上观察 BGP 路由优选情况。

#R2、R4 之间建立 IBGP 对等体关系

```
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] peer 10.0.4.4 as-number 64512
[R2-bgp] peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack 0

[R4]bgp 64512
[R4-bgp] peer 10.0.2.2 as-number 64512
[R4-bgp] peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
```

#检查 IBGP 对等体关系状态

```
[R4]display bgp peer

 BGP local router ID : 10.0.4.4
 Local AS number : 64512
 Total number of peers: 3      Peers in established state : 3

  Peer            V          AS  MsgRcvd  MsgSent  OutQ  Up/Down     State       PrefRcv

  10.0.2.2        4       64512        7        3     0  00:00:01  Established     7
  10.0.3.3        4       64512       37       36     0  00:31:57  Established     2
  10.0.45.5       4         200       38       36     0  00:31:58  Established     5
```

IBGP 对等体关系已经成功建立。

#R2、R3 上创建 Loopback7 接口，并将接口路由发布到 BGP

```
[R2]interface LoopBack 7
[R2-LoopBack7] ip address 172.16.7.1 24
[R2-LoopBack7] quit
[R2]bgp 64512
[R2-bgp] network 172.16.7.0 24

[R3]interface LoopBack 7
[R3-LoopBack7] ip address 172.16.7.1 24
[R3-LoopBack7] quit
[R3]bgp 64512
[R3-bgp] network 172.16.7.0 24
```

#在 R4 上查看 BGP 路由 172.16.7.0/24 的明细信息

```
[R4]dis bgp routing-table 172.16.7.0 24

 BGP local router ID : 10.0.4.4
 Local AS number : 64512
 Paths:    2 available, 1 best, 1 select
 BGP routing table entry information of 172.16.7.0/24:
 From: 10.0.3.3 (10.0.3.3)
 Route Duration: 00h10m48s
 Relay IP Nexthop: 10.0.34.3
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.3.3
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, best, select, active, pre 255, IGP
cost 1
 Advertised to such 1 peers:
     10.0.45.5
 BGP routing table entry information of 172.16.7.0/24:
 From: 10.0.2.2 (10.0.2.2)
 Route Duration: 00h11m00s
 Relay IP Nexthop: 10.0.34.3
 Relay IP Out-Interface: GigabitEthernet0/0/3
 Original nexthop: 10.0.2.2
 Qos information : 0x0
 AS-path Nil, origin igp, MED 0, localpref 100, pref-val 0, valid, internal, pre 255, IGP cost 2, not
preferred for IGP cost
 Not advertised to any peer yet
```

R4 优选 R3 发布的 BGP 路由，其 IGP cost 为 1，小于 R2 发布的 BGP 路由 IGP cost 2。

R2 发布的 BGP 路由未被优选的原因为 IGP cost。

3.4.3 思考题

思考可否使用路由策略将 AS-Path 属性里的某个 AS 删除?

3.4.4 配置参考

R1 配置参考

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
#
```

```
interface LoopBack2
 ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack3
 ip address 172.16.3.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack4
 ip address 172.16.4.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack5
 ip address 172.16.5.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack6
 ip address 172.16.6.1 255.255.255.0
#
bgp 100
 router-id 10.0.1.1
 peer 10.0.12.2 as-number 64512
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  network 172.16.1.0 255.255.255.0
  network 172.16.2.0 255.255.255.0
  network 172.16.3.0 255.255.255.0
  network 172.16.4.0 255.255.255.0
  network 172.16.6.0 255.255.255.0
  import-route direct route-policy origin
  peer 10.0.12.2 enable
  peer 10.0.12.2 route-policy hcip export
#
route-policy hcip permit node 10
 if-match ip-prefix 1
 apply as-path 300 400 additive
#
route-policy hcip permit node 20
#
route-policy origin permit node 10
 if-match ip-prefix 2
#
ip ip-prefix 1 index 10 permit 172.16.1.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
ip ip-prefix 2 index 10 permit 172.16.5.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
#
Return
```

R2 配置参考

```
#
sysname R2
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
```

```
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 10.2.2.2 255.255.255.255
#
interface LoopBack7
 ip address 172.16.7.1 255.255.255.0
#
bgp 64512
 router-id 10.0.2.2
 peer 10.0.3.3 as-number 64512
 peer 10.0.3.3 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.4.4 as-number 64512
 peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.12.1 as-number 100
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  network 10.2.2.2 255.255.255.255
  network 172.16.7.0 255.255.255.0
  peer 10.0.3.3 enable
  peer 10.0.3.3 next-hop-local
  peer 10.0.4.4 enable
  peer 10.0.12.1 enable
  peer 10.0.12.1 route-policy hcip import
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 area 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
  network 10.0.23.2 0.0.0.0
  network 10.2.2.2 0.0.0.0
#
route-policy hcip permit node 10
 if-match ip-prefix 1
 apply cost 200
#
route-policy hcip permit node 20
#
ip ip-prefix 1 index 10 permit 172.16.3.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
#
ip route-static 10.0.1.1 255.255.255.255 10.0.12.1
#
return
```

R3 配置参考

```
#
sysname R3
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
```

```
 ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
#
interface LoopBack6
 ip address 172.16.6.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack7
 ip address 172.16.7.1 255.255.255.0
#
bgp 64512
 router-id 10.0.3.3
 peer 10.0.2.2 as-number 64512
 peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.4.4 as-number 64512
 peer 10.0.4.4 connect-interface LoopBack0
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  compare-different-as-med
  network 10.2.2.2 255.255.255.255
  network 172.16.6.0 255.255.255.0
  network 172.16.7.0 255.255.255.0
  peer 10.0.2.2 enable
  peer 10.0.2.2 route-policy as_path export
  peer 10.0.4.4 enable
  peer 10.0.4.4 route-policy hcip import
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 area 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.0.23.3 0.0.0.0
  network 10.0.34.3 0.0.0.0
#
route-policy hcip permit node 10
 if-match ip-prefix 1
 apply preferred-value 300
#
route-policy hcip permit node 20
#
route-policy as_path permit node 10
 if-match ip-prefix 2
 apply as-path 300 additive
#
route-policy as_path permit node 20
#
ip ip-prefix 1 index 10 permit 172.16.4.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
ip ip-prefix 2 index 10 permit 172.16.6.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
#
return
```

R4 配置参考

```
#
```

```
sysname R4
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.45.4 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
#
bgp 64512
 router-id 10.0.4.4
 peer 10.0.2.2 as-number 64512
 peer 10.0.2.2 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.3.3 as-number 64512
 peer 10.0.3.3 connect-interface LoopBack0
 peer 10.0.45.5 as-number 200
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  peer 10.0.2.2 enable
  peer 10.0.3.3 enable
  peer 10.0.3.3 route-policy hcip export
  peer 10.0.3.3 next-hop-local
  peer 10.0.45.5 enable
#
ospf 1 router-id 10.0.4.4
 area 0.0.0.0
  network 10.0.4.4 0.0.0.0
  network 10.0.34.4 0.0.0.0
#
route-policy hcip permit node 10
 if-match ip-prefix 1
 apply local-preference 200
#
route-policy hcip permit node 20
#
ip ip-prefix 1 index 10 permit 172.16.2.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
#
ip route-static 10.0.5.5 255.255.255.255 10.0.45.5
#
return
```

R5 配置参考

```
#
sysname R5
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.45.5 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.5.5 255.255.255.255
#
```

```
interface LoopBack1
 ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack2
 ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack3
 ip address 172.16.3.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack4
 ip address 172.16.4.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack5
 ip address 172.16.5.1 255.255.255.0
#
bgp 200
 router-id 10.0.5.5
 peer 10.0.45.4 as-number 64512
 #
 ipv4-family unicast
  undo synchronization
  network 172.16.1.0 255.255.255.0
  network 172.16.2.0 255.255.255.0
  network 172.16.3.0 255.255.255.0
  network 172.16.4.0 255.255.255.0
  network 172.16.5.0 255.255.255.0
  peer 10.0.45.4 enable
#
ip route-static 10.0.4.4 255.255.255.255 10.0.45.4
#
return
```

4 路由策略与路由控制实验

4.1 路由引入与路由控制

4.1.1 实验介绍

4.1.1.1 学习目标

- 实现在引入路由时调用 Route-Policy 进行路由过滤
- 实现使用 Route-Policy 设置路由标记以及过滤带标记的路由
- 实现使用 Filter-Policy 对 OSPF 接收的路由进行过滤

4.1.1.2 实验组网介绍

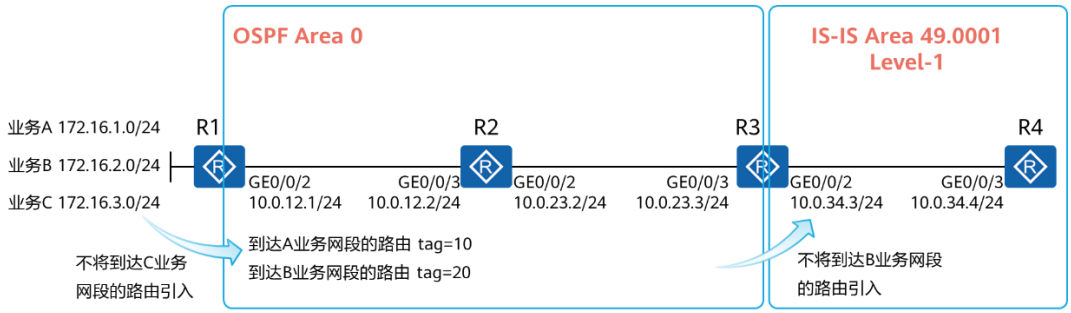


图4-1 路由引入与路由控制

设备互联方式、互联地址如图所示，所有设备均创建 Loopback0，其 IP 地址为 10.0.x.x/32，其中 x 为设备编号，R1、R2、R3 在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。

R3、R4 属于 IS-IS Area 49.0001，两者都是 Level-1 路由器，R3、R4 的系统 ID 采用 0000.0000.000x 格式，其中 x 为设备编号。

R1 上存在三个业务网段 A、B、C（使用 Loopback1、2、3 接口路由模拟），在 R1 上将直连路由引入到 OSPF，但是 OSPF 域内的路由器上不需要 C 业务的路由，为此在 R1 上引入直连路由时通过 Route-Policy 过滤引入的路由。

R2 上不需要 A 业务网段的路由，但是 R3 上需要 A、B 业务网段的路由，为此在 R2 上配置 Filter-Policy 对 OSPF 接收的路由进行过滤。

IS-IS 域内的路由器需要访问 A 业务，因此需要在 R3 上执行路由重分发，将 OSPF 路由引入到 IS-IS，但是 IS-IS 域内的路由器不需要访问 B 业务，为此在 R1 上引入直连路由时为 A、B 业务网段路由打上不同的路由标记，R3 上执行重分发时根据路由标记过滤 B 业务网段路由。

4.1.1.3 实验背景

公司网络中有两部分路由区域，一部分运行 OSPF，另外一部分运行 IS-IS，OSPF 区域的边界路由器连接了一些其他公司的业务网段，为了能够正常访问这几个业务网段，需要将业务网段路由引入到 OSPF 区域内，同时为了让 IS-IS 区域内也能够正常访问业务网段，需要将 OSPF 外部路由引入到 IS-IS。公司网络中不同部门对业务网段访问需求不同，为此需要部署路由策略、过滤策略限制路由的接收、发布。

4.1.2 实验任务

4.1.2.1 任务思路

1. 设备基础 IP 地址配置。
2. 配置 R1、R2、R3 之间的 OSPF，在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。在 R3、R4 之间配置 IS-IS。
3. 在 R1 上将直连路由引入到 OSPF 中，同时配置路由策略不引入 C 业务网段的路由，将 A、B 业务网段路由分别打上路由标记 10、20。
4. 在 R2 上配置 Filter-Policy 对接收的 OSPF 路由进行过滤，只接收 B 业务网段的路由。
5. 在 R3 上将 OSPF 路由引入到 IS-IS 中，通过 Route-Policy 匹配路由标记，只引入 A 业务网段的 OSPF 外部路由。

4.1.2.2 任务步骤

步骤 1　互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1 的 GE0/0/2、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
```

```
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0] quit
```

#在 R1 上创建多个环回口，用于模拟业务网段 A、B、C

```
[R1]interface LoopBack1
[R1-LoopBack1] ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack1] quit
[R1]interface LoopBack2
[R1-LoopBack2] ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack2] quit
[R1]interface LoopBack3
[R1-LoopBack3] ip address 172.16.3.1 255.255.255.0
[R1-LoopBack3] quit
```

#配置 R2 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R3 的 GE0/0/2、GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/3
[R3-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R4 的 GE0/0/3、Loopback0 接口 IP 地址

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
[R4-LoopBack0] quit
```

#在 R2、R4 上检查 IP 地址连通性

```
<R2>ping -c 1 10.0.12.1
  PING 10.0.12.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms

  --- 10.0.12.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms

<R2>ping -c 1 10.0.23.3
  PING 10.0.23.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.23.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=20 ms

  --- 10.0.23.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 20/20/20 ms

<R4>ping -c 1 10.0.34.3
  PING 10.0.34.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.34.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.34.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms
```

步骤 2 配置 OSPF、IS-IS

R1、R2、R3 使用 Loopback0 接口地址作为 Router ID，在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。

#配置 R1

```
[R1]ospf 1 router-id 10.0.1.1
[R1-ospf-1] area 0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.1.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.12.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R1-ospf-1] quit
```

#配置 R2

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1] area 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.12.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R2-ospf-1] quit
```

#配置 R3

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1] area 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R3-ospf-1] quit
```

#在 R2 上检查 OSPF 邻居的概要信息

```
<R2>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Peer Statistic Information
 ----------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2          10.0.3.3         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/3          10.0.1.1         Full
 ----------------------------------------------------------------------------
```

R1 与 R2、R2 与 R3 之间已经成功建立 OSPF 邻居。

R3、R4 上配置 IS-IS，区域为 49.0001，系统 ID 采用 0000.0000.000x 格式（x 为设备编号），两台设备都为 Level-1 路由器，在互联接口、R4 的 Loopback0 接口上激活 IS-IS。

#配置 R3

```
[R3]isis 1
[R3-isis-1] is-level level-1
[R3-isis-1] network-entity 49.0001.0000.0000.0003.00
[R3-isis-1] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] isis enable 1
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
```

#配置 R4

```
[R4]isis 1
[R4-isis-1] is-level level-1
[R4-isis-1] network-entity 49.0001.0000.0000.0004.00
[R4-isis-1] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] isis enable 1
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R4]interface LoopBack 0
[R4-LoopBack0] isis enable 1
[R4-LoopBack0] quit
```

#在 R3 上检查 IS-IS 邻居状态

```
<R3>display isis peer

                        Peer information for ISIS(1)

  System Id     Interface          Circuit Id         State HoldTime Type     PRI
------------------------------------------------------------------------------
0000.0000.0004  GE0/0/2            0000.0000.0001.01  Up    22s      L1       64

Total Peer(s): 1
```

步骤 3 在 R1 上引入直连路由

在 R1 上将直连路由引入到 OSPF 中，同时配置路由策略过滤 C 业务网段，将 A、B 业务网段路由分别打上路由标记 10、20。

#创建 IP 前缀列表 1，匹配 Loopback1 接口路由（A 业务网段）

```
[R1]ip ip-prefix 1 index 10 permit 172.16.1.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 IP 前缀列表 2，匹配 Loopback2 接口路由（B 业务网段）

```
[R1]ip ip-prefix 2 index 10 permit 172.16.2.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
```

#创建 Route-Policy hcip，并创建节点 10、20，分别调用 IP 前缀列表 1、2，打上路由标记

```
[R1]route-policy hcip permit node 10
[R1-route-policy] if-match ip-prefix 1
[R1-route-policy] apply tag 10
[R1-route-policy] quit
[R1]route-policy hcip permit node 20
[R1-route-policy] if-match ip-prefix 2
[R1-route-policy] apply tag 20
[R1-route-policy] quit
```

#在 R1 的 OSPF 中引入直连路由，调用 Route-Policy hcip

```
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1] import-route direct route-policy hcip
```

#在 R1 上查看 OSPF LSDB

```
[R1]display ospf lsdb

  OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
    Link State Database

                Area: 0.0.0.0
Type       LinkState ID    AdvRouter       Age  Len   Sequence   Metric
Router     10.0.3.3        10.0.3.3        1333 48    8000000C   1
Router     10.0.4.4        10.0.4.4        1639 48    80000006   1
Router     10.0.2.2        10.0.2.2        777  60    8000000D   1
```

```
Router      10.0.12.1       10.0.12.1       1373   48    80000006      1
Router      10.0.1.1        10.0.1.1        24     48    80000008      1
Network     10.0.23.3       10.0.3.3        1643   32    80000001      0
Network     10.0.12.2       10.0.2.2        777    32    80000002      0
Network     10.0.34.4       10.0.4.4        1639   32    80000002      0


   AS External Database
Type       LinkState ID     AdvRouter       Age  Len   Sequence      Metric
External   172.16.2.0       10.0.1.1        24   36    80000001      1
External   172.16.1.0       10.0.1.1        24   36    80000001      1
```

Loopback1、2 接口路由已经被成功引入 OSPF 中。

#在 R1 上查看 OSPF LSDB 中 AS-external LSA 172.16.1.0 的相关信息

```
[R1]display ospf lsdb ase 172.16.1.0

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
  Link State Database


  Type        : External
  Ls id       : 172.16.1.0
  Adv rtr     : 10.0.1.1
  Ls age      : 165
  Len         : 36
  Options     :  E
  seq#        : 80000001
  chksum      : 0xa954
  Net mask    : 255.255.255.0
  TOS 0  Metric: 1
  E type      : 2
  Forwarding Address : 0.0.0.0
  Tag         : 10
  Priority    : Low
```

外部路由 172.16.1.0/24 已经被打上 Tag 10。

#在 R1 上查看 OSPF LSDB 中 AS-external LSA 172.16.2.0 的相关信息

```
[R1]display ospf lsdb ase 172.16.2.0

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
  Link State Database


  Type        : External
  Ls id       : 172.16.2.0
  Adv rtr     : 10.0.1.1
  Ls age      : 355
  Len         : 36
  Options     :  E
  seq#        : 80000001
  chksum      : 0x539f
```

```
  Net mask   : 255.255.255.0
  TOS 0   Metric: 1
  E type      : 2
  Forwarding Address : 0.0.0.0
  Tag         : 20
  Priority   : Low
```

外部路由 172.16.2.0/24 已经被打上 Tag 20。

步骤 4 在 R2 上配置过滤策略

在 R2 上配置 Filter-Policy 对接收的 OSPF 路由进行过滤，只接收 B 业务网段的路由。

#查看配置 Filter-Policy 前的 OSPF 路由表

```
<R2>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination          Cost   Type         NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.2.2/32          0      Stub         10.0.2.2        10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.12.0/24         1      Transit      10.0.12.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.23.0/24         1      Transit      10.0.23.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.1.1/32          1      Stub         10.0.12.1       10.0.1.1        0.0.0.0
 10.0.3.3/32          1      Stub         10.0.23.3       10.0.3.3        0.0.0.0

 Routing for ASEs
 Destination          Cost       Type       Tag          NextHop         AdvRouter
 172.16.1.0/24        1          Type2      10           10.0.12.1       10.0.1.1
 172.16.2.0/24        1          Type2      20           10.0.12.1       10.0.1.1
```

#查看配置 Filter-Policy 前的 IP 路由表中的 OSPF 路由

```
<R2>display ip routing-table protocol ospf
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Public routing table : OSPF
         Destinations : 4        Routes : 4

OSPF routing table status : <Active>
         Destinations : 4        Routes : 4

Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface

        10.0.1.1/32  OSPF    10   1           D  10.0.12.1       GigabitEthernet0/0/3
        10.0.3.3/32  OSPF    10   1           D  10.0.23.3       GigabitEthernet0/0/2
     172.16.1.0/24   O_ASE   150  1           D  10.0.12.1       GigabitEthernet0/0/3
     172.16.2.0/24   O_ASE   150  1           D  10.0.12.1       GigabitEthernet0/0/3
```

在 OSPF 路由表以及 IP 路由表中都可以看到 OSPF 外部路由 172.16.1.0/24、172.16.2.0/24。

#配置基础 ACL

```
[R2]acl number 2000
[R2-acl-basic-2000] rule 5 deny source 172.16.1.0 0.0.0.255
[R2-acl-basic-2000] rule 10 permit
```

#在 OSPF 中部署入方向的 Filter-Policy，调用 ACL 2000

```
[R2]ospf 1
[R2-ospf-1] filter-policy 2000 import
```

#查看配置 Filter-Policy 后的 OSPF 路由表

```
<R2>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.2.2/32        0      Stub       10.0.2.2        10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.12.0/24       1      Transit    10.0.12.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.23.0/24       1      Transit    10.0.23.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.1.1/32        1      Stub       10.0.12.1       10.0.1.1        0.0.0.0
 10.0.3.3/32        1      Stub       10.0.23.3       10.0.3.3        0.0.0.0

 Routing for ASEs
 Destination        Cost       Type       Tag         NextHop         AdvRouter
 172.16.1.0/24      1          Type2      10          10.0.12.1       10.0.1.1
 172.16.2.0/24      1          Type2      20          10.0.12.1       10.0.1.1
```

#查看配置 Filter-Policy 后的 IP 路由表中的 OSPF 路由

```
<R2>display ip routing-tableprotocol ospf
Route Flags: R - relay,D - downloadtofib
------------------------------------------------------------------------------
Public routing table : OSPF
         Destinations : 4        Routes : 4

OSPF routing table status : <Active>
         Destinations : 4        Routes : 4

Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface

        10.0.1.1/32  OSPF    10   1           D  10.0.12.1       GigabitEthernet0/0/3
        10.0.3.3/32  OSPF    10   1           D  10.0.23.3       GigabitEthernet0/0/2
     172.16.2.0/24   O_ASE   150  1           D  10.0.12.1       GigabitEthernet0/0/3
```

在 IP 路由表中路由 172.16.2.0/24 已经不存在，但是在 OSPF 路由表中依旧存在。这验证了对于 OSPF，Filter-Policy 只是限制路由加入 IP 路由表，不影响本地的 LSDB 以及 LSA 的传递。

#在 R3 上查看 IP 路由表中的 OSPF 路由

```
<R3>display ip routing-table protocol ospf
```

```
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Public routing table : OSPF
         Destinations : 5        Routes : 5

OSPF routing table status : <Active>
         Destinations : 5        Routes : 5

Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface

        10.0.1.1/32  OSPF    10   2           D   10.0.23.2       GigabitEthernet0/0/3
        10.0.2.2/32  OSPF    10   1           D   10.0.23.2       GigabitEthernet0/0/3
       10.0.12.0/24  OSPF    10   2           D   10.0.23.2       GigabitEthernet0/0/3
      172.16.1.0/24  O_ASE   150  1           D   10.0.23.2       GigabitEthernet0/0/3
      172.16.2.0/24  O_ASE   150  1           D   10.0.23.2       GigabitEthernet0/0/3
```

R3 的 IP 路由表中 OSPF 外部路由 172.16.1.0/24、172.16.2.0/24 依旧存在。

步骤 5 在 R3 上将 OSPF 路由引入到 IS-IS

在 R3 上将 OSPF 路由引入到 IS-IS 中，通过 Route-Policy 匹配路由标记，只引入 A 业务网段的 OSPF 外部路由。

#创建 Route-Policy hcip

```
[R3]route-policy hcip permit node 10
[R3-route-policy] if-match tag 10
[R3-route-policy] quit
```

#在 IS-IS 中引入 OSPF 路由，调用 Route-Policy hcip 只引入 A 业务网段的 OSPF 外部路由

```
[R3]isis 1
[R3-isis-1] import-route ospf 1 level-1 route-policy hcip
```

#查看 R3 的 IS-IS 路由表

```
<R3>display isis route

                         Route information for ISIS(1)
                         -----------------------------

                        ISIS(1) Level-1 Forwarding Table
                        --------------------------------

IPV4 Destination      IntCost     ExtCost     ExitInterface       NextHop          Flags
------------------------------------------------------------------------------
10.0.4.4/32           10          NULL        GE0/0/2             10.0.34.4        A/-/-/-
10.0.34.0/24          10          NULL        GE0/0/2             Direct           D/-/L/-
      Flags: D-Direct, A-Added to URT, L-Advertised in LSPs, S-IGP Shortcut,
                                   U-Up/Down Bit Set
```

```
                         ISIS(1) Level-1 Redistribute Table
                         ----------------------------------

 Type IPV4 Destination       IntCost      ExtCost Tag
--------------------------------------------------------------------------------
 O    172.16.1.0/24          0            0

          Type: D-Direct, I-ISIS, S-Static, O-OSPF, B-BGP, R-RIP, U-UNR
```

Level-1 的路由重分发表中只有 172.16.1.0/24。

4.1.3 思考题

在距离矢量路由协议、链路状态路由协议中使用 Filter-Policy 有什么区别?

4.1.4 配置参考

R1 配置参考

```
#
sysname R1
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
#
interface LoopBack1
 ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack2
 ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
#
interface LoopBack3
 ip address 172.16.3.1 255.255.255.0
#
ospf 1 router-id 10.0.1.1
 import-route direct route-policy hcip
 area 0.0.0.0
  network 10.0.1.1 0.0.0.0
  network 10.0.12.1 0.0.0.0
#
route-policy hcip permit node 10
 if-match ip-prefix 1
 apply tag 10
#
route-policy hcip permit node 20
 if-match ip-prefix 2
 apply tag 20
#
ip ip-prefix 1 index 10 permit 172.16.1.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
ip ip-prefix 2 index 10 permit 172.16.2.0 24 greater-equal 24 less-equal 24
#
```

```
return
```

R2 配置参考

```
#
sysname R2
#
acl number 2000
 rule 5 deny source 172.16.1.0 0.0.0.255
 rule 10 permit
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 filter-policy 2000 import
 area 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
  network 10.0.23.2 0.0.0.0
  network 10.0.12.2 0.0.0.0
#
return
```

R3 配置参考

```
#
sysname R3
#
isis 1
 is-level level-1
 network-entity 49.0001.0000.0000.0003.00
 import-route ospf 1 level-1 route-policy hcip
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
 isis enable 1
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 area 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.0.23.3 0.0.0.0
#
route-policy hcip permit node 10
```

```
 if-match tag 10
#
return
```

R4 配置参考

```
#
sysname R4
#
isis 1
 is-level level-1
 network-entity 49.0001.0000.0000.0004.00
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
 isis enable 1
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
 isis enable 1
#
return
```

5 RSTP 与 MSTP 实验

5.1 RSTP、MSTP 基础配置

5.1.1 实验介绍

5.1.1.1 学习目标

- 实现手动修改桥优先级影响根桥选举
- 实现手动修改端口开销值控制根端口选举
- 实现手动修改端口优先级控制根端口选举
- 实现配置 MSTP 以达到不同 VLAN 间流量负载均衡

5.1.1.2 实验组网介绍

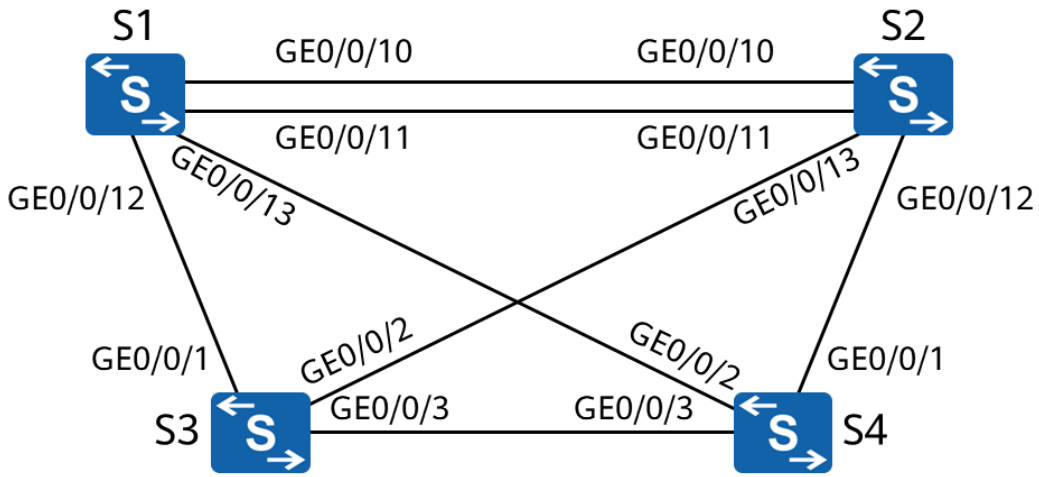


图5-1 RSTP、MSTP 基础配置

交换机连接方式如图所示，配置 RSTP、MSTP 打破二层环路，同时手动指定根桥、备份根桥。

5.1.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。公司的网络采用了备份网络，为避免环路问题，在网络中部署了RSTP。所有的 VLAN 共享一棵 STP 生成树，为了实现 VLAN 间数据流量的负载均衡，在网络中部署 MSTP。

5.1.2 实验任务

5.1.2.1 任务思路

1. 开启 STP，修改 STP 模式为 RSTP。
2. 手动指定 S1 为 RSTP 根桥、S2 为 RSTP 备份根桥。
3. 通过修改接口开销值，使得 S4 的 GE0/0/1 接口成为根端口。
4. 通过修改 S1 的 GE0/0/11 接口优先级，使得 S2 的 GE0/0/11 接口成为根端口。
5. 修改 STP 模式为 MSTP，创建 Instance1、2，指定 SW1 为 MSTI1 的根桥、MSTI2 的备份根桥，指定 SW2 为 MSTI2 的根桥、MSTI1 的备份根桥。

5.1.2.2 任务步骤

步骤 1　RSTP 基础配置

在 S1、S2、S3、S4 上开启 STP，并将 STP 模式切换为 RSTP

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#S1 上配置

```
[S1]stp enable
[S1]stp mode rstp
```

#S2 上配置

```
[S2]stp enable
[S2]stp mode rstp
```

#S3 上配置

```
[S3]stp enable
[S3]stp mode rstp
```

#S4 上配置

```
[S4]stp enable
[S4]stp mode rstp
```

#查看 STP 的状态和统计信息摘要

```
<S1>display  stp instance 0  brief
 MSTID   Port                        Role   STP State             Protection
   0     GigabitEthernet0/0/10         DESI   FORWARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/11         DESI   FORWARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/12         DESI   FORWARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/13         DESI   FORWARDING          NONE

[S2]display stp brief
 MSTID   Port                        Role    STP State             Protection
   0     GigabitEthernet0/0/10         ROOT   FORWARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/11         ALTE   DISCARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/12         ALTE   DISCARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/13         DESI    FORWARDING         NONE

[S3]display stp brief
 MSTID   Port                        Role     STP State           Protection
   0     GigabitEthernet0/0/1          ROOT    FORWARDING         NONE
   0     GigabitEthernet0/0/2          ALTE    DISCARDING         NONE
   0     GigabitEthernet0/0/3          ALTE    DISCARDING         NONE

[S4]display stp brief
 MSTID   Port                        Role    STP State             Protection
   0     GigabitEthernet0/0/1          DESI    FORWARDING         NONE
   0     GigabitEthernet0/0/2          ROOT   FORWARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/3          DESI    FORWARDING         NONE
```

S1 上所有接口都是指定端口，S1 为根桥交换机，实际实验中，由于交换机 MAC 地址的不可确定性，实际的实验结果可能与如上结果有差异。

#在 S1 上查 STP 的状态和统计信息，可以看到如下内容

```
<S1>display stp
-------[CIST Global Info][Mode RSTP]-------
CIST Bridge             :32768.4c1f-cc1d-61a8
Config Times            :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
Active Times            :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
CIST Root/ERPC          :32768.4c1f-cc1d-61a8 / 0
CIST RegRoot/IRPC       :32768.4c1f-cc1d-61a8 / 0
CIST RootPortId         :0.0
BPDU-Protection         :Disabled
TC or TCN received      :15
TC count per hello      :0
STP Converge Mode       :Normal
Time since last TC      :0 days 0h:11m:14s
Number of TC            :17
Last TC occurred        :GigabitEthernet0/0/13
```

S1 为根桥交换机。

步骤 2 根桥选举控制

配置 S1 为主根桥、S2 为备份根桥

#手动调整 STP 优先级，指定 S1 为主根桥、S2 为备份根桥

```
[S1]stp priority 4096

[S2]stp priority 8192
```

在另外两台交换机保持默认桥优先级（32768）的情况下，S1 拥有最小的桥优先级，S2 次之。

#在 S1 上查看 STP 的状态和统计信息，可以看到如下内容

```
[S1]display stp
-------[CIST Global Info][Mode RSTP]-------
CIST Bridge             :4096 .4c1f-cc1d-61a8
Config Times            :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
Active Times            :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
CIST Root/ERPC          :4096 .4c1f-cc1d-61a8 / 0
CIST RegRoot/IRPC       :4096 .4c1f-cc1d-61a8 / 0
CIST RootPortId         :0.0
BPDU-Protection         :Disabled
TC or TCN received      :75
TC count per hello      :0
STP Converge Mode       :Normal
Time since last TC      :0 days 0h:1m:16s
Number of TC            :45
Last TC occurred        :GigabitEthernet0/0/10
```

此时 S1 的桥优先级为 4096，并且此时 S1 依旧是根桥。

#取消 S1、S2 上手动调整桥优先级的配置，使用 **stp root** 命令指定根桥、备份根桥

```
[S1]undo stp priority
[S1]stp root primary

[S2]undo stp priority
[S2]stp root secondary
```

#S1、S2 上查看 STP 的状态和统计信息，可以看到如下内容

```
[S1]display stp
-------[CIST Global Info][Mode RSTP]-------
CIST Bridge             :0      .4c1f-cc1d-61a8
Config Times            :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
Active Times            :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
CIST Root/ERPC          :0      .4c1f-cc1d-61a8 / 0
CIST RegRoot/IRPC       :0      .4c1f-cc1d-61a8 / 0
CIST RootPortId         :0.0
BPDU-Protection         :Disabled
CIST Root Type          :Primary root
TC or TCN received      :85
```

```
TC count per hello    :0
STP Converge Mode     :Normal
Time since last TC    :0 days 0h:0m:9s
Number of TC          :51
Last TC occurred      :GigabitEthernet0/0/10

[S2]display stp
-------[CIST Global Info][Mode RSTP]-------
CIST Bridge           :4096 .4c1f-cc69-5bf7
Config Times          :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
Active Times          :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
CIST Root/ERPC        :0       .4c1f-cc1d-61a8 / 20000
CIST RegRoot/IRPC     :4096 .4c1f-cc69-5bf7 / 0
CIST RootPortId       :128.10
BPDU-Protection       :Disabled
CIST Root Type        :Secondary root
TC or TCN received    :213
TC count per hello    :0
STP Converge Mode     :Normal
Time since last TC    :0 days 0h:0m:35s
Number of TC          :44
Last TC occurred      :GigabitEthernet0/0/12
```

S1 的桥优先级为 0，而 S2 的桥优先级为 4096，此时 S1 为根桥，S2 为备份根桥。

步骤 3 修改接口开销值控制根端口选举

#在 S4 上查看 STP 的状态和统计信息摘要

```
[S4]display  stp brief
 MSTID   Port                        Role   STP State          Protection
   0     GigabitEthernet0/0/1          ALTE   DISCARDING       NONE
   0     GigabitEthernet0/0/2          ROOT   FORWARDING       NONE
   0     GigabitEthernet0/0/3          DESI   FORWARDING       NONE
```

S4 上 GE0/0/2 拥有更小的 RPC（根路径开销），从而成为根端口。

#在 S4 上查看 GE0/0/2 接口的 STP 的状态和统计信息

```
[S4]display stp interface GigabitEthernet 0/0/2
-------[CIST Global Info][Mode RSTP]-------
CIST Bridge           :32768.4c1f-cc49-4c7c
Config Times          :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
Active Times          :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s MaxHop 20
CIST Root/ERPC        :0       .4c1f-cc1d-61a8 / 20000
CIST RegRoot/IRPC     :32768.4c1f-cc49-4c7c / 0
CIST RootPortId       :128.2
BPDU-Protection       :Disabled
TC or TCN received    :98
TC count per hello    :0
STP Converge Mode     :Normal
Time since last TC    :0 days 0h:8m:35s
Number of TC          :47
Last TC occurred      :GigabitEthernet0/0/2
----[Port2(GigabitEthernet0/0/2)][FORWARDING]----
```

```
Port Protocol          :Enabled
Port Role              :Root Port
Port Priority          :128
Port Cost(Dot1T )      :Config=auto / Active=20000
Designated Bridge/Port     :0.4c1f-cc1d-61a8 / 128.13
Port Edged             :Config=default / Active=disabled
Point-to-point         :Config=auto / Active=true
Transit Limit          :147 packets/hello-time
Protection Type        :None
Port STP Mode          :RSTP
Port Protocol Type     :Config=auto / Active=dot1s
BPDU Encapsulation     :Config=stp / Active=stp
PortTimes              :Hello 2s MaxAge 20s FwDly 15s RemHop 0
TC or TCN send         :26
TC or TCN received     :40
BPDU Sent              :1747
            TCN: 0, Config: 0, RST: 1747, MST: 0
BPDU Received          :1048
            TCN: 0, Config: 0, RST: 1048, MST: 0
```

此时路径开销计算方法为 Dot1t，接口的 STP cost 值为 20000。

#修改 S4 的 GE0/0/2 接口的 STP cost 值为 40001

```
[S4]interface GigabitEthernet 0/0/2
[S4-GigabitEthernet0/0/2] stp cost 40001
```

#再次在 S4 上查看 STP 的状态和统计信息摘要

```
<S4>display  stp brief
 MSTID   Port                        Role    STP State           Protection
   0     GigabitEthernet0/0/1          ROOT  FORWARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/2          ALTE  DISCARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/3          ALTE  DISCARDING          NONE
```

此时 GE0/0/1 接口的 RPC 为 40000，小于 GE0/0/2 接口的 RPC 40001，S4 的 GE0/0/1 接口成为根端口。

步骤 4 修改接口优先级控制根端口选举

#在 S2 上查看 STP 的状态和统计信息摘要

```
[S2]display stp brief
 MSTID   Port                        Role    STP State           Protection
   0     GigabitEthernet0/0/10         ROOT  FORWARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/11         ALTE  DISCARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/12         DESI  FORWARDING          NONE
   0     GigabitEthernet0/0/13         DESI  FORWARDING          NONE
```

S2 上 GE0/0/10、GE0/0/11 接口收到的 BPDU 拥有相同的 RPC、网桥 ID、接口优先级，此时将会比较接收到的 BPDU 接口 ID 中的接口编号。

#在 S1、S2 上开启 LLDP，查看接口的互联关系

```
[S1]lldp enable

[S2]lldp enable

[S2]display lldp neighbor brief
Local Intf     Neighbor Dev              Neighbor Intf             Exptime
GE0/0/10       S1                        GE0/0/10                  102
GE0/0/11       S1                        GE0/0/11                  102
GE0/0/12       S4                        GE0/0/1                   108
GE0/0/13       S3                        GE0/0/2                   103
```

S2 的 GE0/0/10 接口对端为 S1 的 GE0/0/10 接口，S2 的 GE0/0/11 接口对端为 S1 的 GE0/0/11 接口，S2 的 GE0/0/10 接口接收到的 BPDU 拥有更小的接口编号，这是 GE0/0/10 成为根端口的原因。

#在 S1 上修改 GE0/0/11 的 STP 接口优先级，使其发送的 BPDU 优于 GE0/0/10 发送的 BPDU

```
[S1]interface GigabitEthernet 0/0/11
[S1-GigabitEthernet0/0/11] stp port priority 64
```

STP 接口优先级为 128，数值越小越优。

#再次查看 S2 上的 STP 状态和统计信息摘要

```
[S2]display stp brief
 MSTID   Port                        Role  STP State       Protection
   0     GigabitEthernet0/0/10       ROOT  FORWARDING      NONE
   0     GigabitEthernet0/0/11       ALTE  DISCARDING      NONE
   0     GigabitEthernet0/0/12       DESI  FORWARDING      NONE
   0     GigabitEthernet0/0/13       DESI  FORWARDING      NONE
```

此时 S2 的 GE0/0/10 接口成为根端口。

步骤 5 MSTP 基础配置

在所有交换机上创建 VLAN10、20、30、40、50、60、70、80，配置 MSTP 域 hcip，并创建两个新的实例：Instance 1、Instance 2，将 VLAN10、30、50、70 映射到 Instance 1，将 VLAN20、40、60、80 映射到 Instance 2，同时将 SW1 规划为 MSTI1 的主根桥、MSTI2 的备份根桥，将 SW2 规划为 MSTI2 的主根桥、MSTI1 的备份根桥。

#创建 VLAN

```
[S1]vlan batch 10 20 30 40 50 60 70 80

[S2]vlan batch 10 20 30 40 50 60 70 80

[S3]vlan batch 10 20 30 40 50 60 70 80

[S4]vlan batch 10 20 30 40 50 60 70 80
```

#将所有互联接口配置为 Trunk 接口，放通所有 VLAN

略

#修改 STP 模式为 MSTP

```
[S1]stp mode mstp

[S2]stp mode mstp

[S3]stp mode mstp

[S4]stp mode mstp
```

#配置 MSTP

```
[S1]stp region-configuration
[S1-mst-region] region-name hcip
[S1-mst-region] revision-level 1
[S1-mst-region] instance 1 vlan 10 30 50 70
[S1-mst-region] instance 2 vlan 20 40 60 80
[S1-mst-region] active region-configuration
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S1-mst-region] quit

[S2]stp region-configuration
[S2-mst-region] region-name hcip
[S2-mst-region] revision-level 1
[S2-mst-region] instance 1 vlan 10 30 50 70
[S2-mst-region] instance 2 vlan 20 40 60 80
[S2-mst-region] active region-configuration
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S2-mst-region] quit

[S3]stp region-configuration
[S3-mst-region] region-name hcip
[S3-mst-region] revision-level 1
[S3-mst-region] instance 1 vlan 10 30 50 70
[S3-mst-region] instance 2 vlan 20 40 60 80
[S3-mst-region] active region-configuration
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S3-mst-region] quit

[S4]stp region-configuration
[S4-mst-region] region-name hcip
[S4-mst-region] revision-level 1
[S4-mst-region] instance 1 vlan 10 30 50 70
[S4-mst-region] instance 2 vlan 20 40 60 80
[S4-mst-region] active region-configuration
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S4-mst-region] quit
```

#在 S1 检查 MSTP 实例和 VLAN 的映射关系

```
[S1]display stp region-configuration
 Oper configuration
   Format selector       :0
   Region name           :hcip
   Revision level        :1

   Instance     VLANs Mapped
      0         1 to 9, 11 to 19, 21 to 29, 31 to 39, 41 to 49, 51 to 59, 61 to
                69, 71 to 79, 81 to 4094
      1         10, 30, 50, 70
      2         20, 40, 60, 80
```

#配置 SW1 为 MSTI1 的根桥、MSTI2 的备份根桥

```
[S1]stp instance 1 root primary
[S1]stp instance 2 root secondary
```

#配置 SW2 为 MSTI2 的根桥、MSTI1 的备份根桥

```
[S2]stp instance 1 root secondary
[S2]stp instance 2 root primary
```

#在 S1 上查看 MSTI1 的状态和统计信息摘要

```
[S1]display stp instance 1 brief
 MSTID   Port                        Role  STP State       Protection
   1     GigabitEthernet0/0/10       DESI  FORWARDING      NONE
   1     GigabitEthernet0/0/11       DESI  FORWARDING      NONE
   1     GigabitEthernet0/0/12       DESI  FORWARDING      NONE
   1     GigabitEthernet0/0/13       DESI  FORWARDING      NONE
```

S1 上所有接口都是指定接口，S1 为 MSTI1 的根桥。

#在 S2 上查看 MSTI2 的状态和统计信息摘要

```
[S2]display stp instance 2 brief
 MSTID   Port                        Role  STP State       Protection
   2     GigabitEthernet0/0/10       DESI  FORWARDING      NONE
   2     GigabitEthernet0/0/11       DESI  FORWARDING      NONE
   2     GigabitEthernet0/0/12       DESI  FORWARDING      NONE
   2     GigabitEthernet0/0/13       DESI  FORWARDING      NONE
```

S2 上所有接口都是指定接口，S2 为 MSTI2 的根桥。

5.1.3 思考题

相比较于 STP，RTSP 优化了哪些内容?

5.1.4 配置参考

S1 设备配置

```
sysname S1
```

```
#
vlan batch 10 20 30 40 50 60 70 80
#
lldp enable
#
stp instance 0 root primary
stp instance 1 root primary
stp instance 2 root secondary
#
stp region-configuration
 region-name hcip
 revision-level 1
 instance 1 vlan 10 30 50 70
 instance 2 vlan 20 40 60 80
 active region-configuration
#
interface GigabitEthernet0/0/10
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
interface GigabitEthernet0/0/11
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
 stp instance 0 port priority 64
#
interface GigabitEthernet0/0/12
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
interface GigabitEthernet0/0/13
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
return
```

S2 设备配置

```
sysname S2
#
vlan batch 10 20 30 40 50 60 70 80
#
lldp enable
#
stp instance 0 root secondary
stp instance 1 root secondary
stp instance 2 root primary
#
stp region-configuration
 region-name hcip
 revision-level 1
 instance 1 vlan 10 30 50 70
 instance 2 vlan 20 40 60 80
 active region-configuration
#
interface GigabitEthernet0/0/10
```

```
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
interface GigabitEthernet0/0/11
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
 stp instance 0 port priority 64
#
interface GigabitEthernet0/0/12
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
interface GigabitEthernet0/0/13
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
return
```

S3 设备配置

```
#
sysname S3
#
vlan batch 10 20 30 40 50 60 70 80
#
lldp enable
#
stp region-configuration
 region-name hcip
 revision-level 1
 instance 1 vlan 10 30 50 70
 instance 2 vlan 20 40 60 80
 active region-configuration
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
return
```

S4 设备配置

```
#
sysname S4
#
vlan batch 10 20 30 40 50 60 70 80
#
```

```
lldp enable
#
stp region-configuration
 region-name hcip
 revision-level 1
 instance 1 vlan 10 30 50 70
 instance 2 vlan 20 40 60 80
 active region-configuration
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
 stp instance 0 cost 40001
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30 40 50 60 70 80
#
return
```

6 组播实验

6.1 IGMP、IGMP Snooping 及 PIM-DM 协议

6.1.1 实验介绍

6.1.1.1 学习目标

- 实现开启路由的组播路由功能以转发组播流量
- 实现在交换机上开启 IGMP Snooping 并手动配置静态路由器端口、成员端口
- 实现通过 PIM-DM 转发组播流量
- 实现修改 IGP cost 值影响断言机制的选举结果

6.1.1.2 实验组网介绍

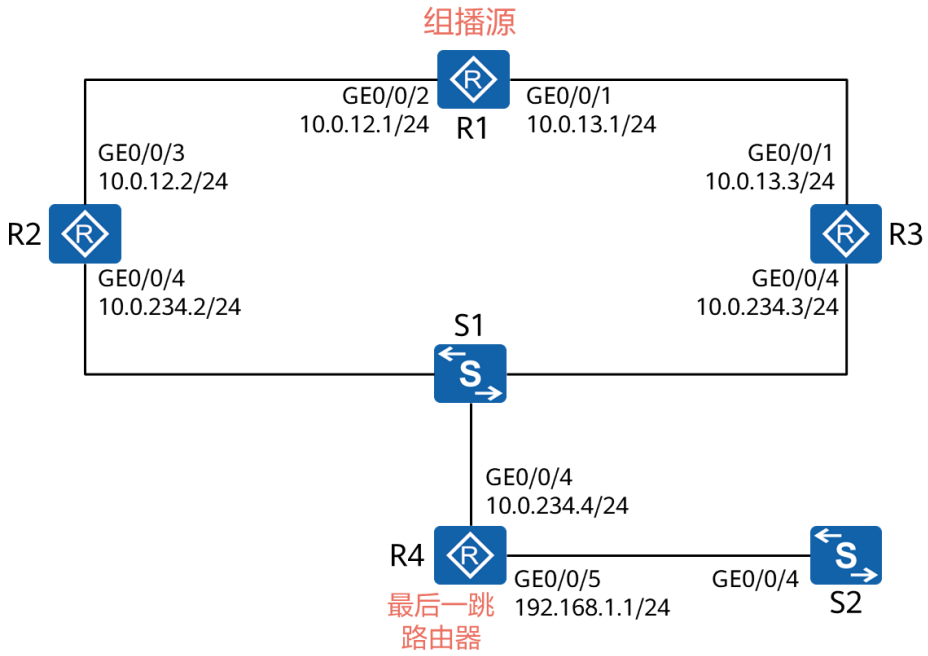


图6-1 IGMP、IGMP Snooping 及 PIM-DM 协议

设备连接方式如图所示，4 台路由器运行 OSPF，均创建 Loopback0，IP 地址为 10.0.x.x/32，x 为设备编号。

4 台路由器构成一个组播网络，R1 作为第一跳路由器连接组播源 239.0.0.12，R4 作为最后一跳路由器连接组播组 239.0.0.12 的接收者，为了能够让组播源的流量顺利被 R4 上的组播组成员接收，在每台路由器上均部署 PIM-DM，并在 R4 的 GE0/0/5 接口上激活 IGMPv2。

同时为了优化交换机 S2 上的组播流量转发行为，在 S2 上部署 IGMP Snooping 并手动指定其路由器接口、成员接口。

6.1.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。公司准备使用组播来进行一些业务的转发。在当前网络上，网络规模较小，你决定使用 PIM 的 DM 模式来实现组播路由信息的学习。为了提升网络的效率和安全性，你手动干扰了 PIM-DM 的断言机制选举结果。同时为了优化交换机对组播流量的转发行为，你在连接终端的交换机上开启了 IGMP Snooping。

6.1.2 实验任务

6.1.2.1 任务思路

1. 设备基础 IP 地址配置。
2. 配置 R1、R2、R3、R4 之间的 OSPF，在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。
3. 开启路由器的组播路由功能，部署 PIM-DM，在相应接口上开启 PIM-DM。
4. 在 R1 上模拟组播源发送组播数据，观察各个路由器的 PIM 路由表。
5. 修改 R3 的 GE0/0/1 接口 OSPF Cost 值，影响断言机制选举结果，之后再次查看 R2、R3 的 PIM 路由表。
6. 在 S2 上配置 IGMP Snooping，手动配置路由器端口、成员端口。

6.1.2.2 任务步骤

步骤 1　互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1

```
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0] quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.13.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

#配置 R2

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/4] ip address 10.0.234.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0] quit
```

#配置 R3

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.13.3 24
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/4
[R3-GigabitEthernet0/0/4] ip address 10.0.234.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R3]interface LoopBack 0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 32
[R3-LoopBack0] quit
```

#配置 R4

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/4
[R4-GigabitEthernet0/0/4] ip address 10.0.234.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/5
[R4-GigabitEthernet0/0/5] ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/5] quit
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
[R4-LoopBack0] quit
```

#在 R1、R4 上检测 IP 地址连通性

```
<R1>ping -c 1 10.0.12.2
  PING 10.0.12.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.12.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms

<R1>ping -c 1 10.0.13.3
  PING 10.0.13.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.13.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.13.3 ping statistics ---
```

```
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms

<R4>ping -c 1 10.0.234.2
  PING 10.0.234.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.234.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=70 ms

  --- 10.0.234.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 70/70/70 ms

<R4>ping -c 1 10.0.234.3
  PING 10.0.234.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.234.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms

  --- 10.0.234.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms
```

步骤 2 配置 OSPF

使用 Loopback0 接口地址作为 Router ID，在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。

#配置 R1

```
[R1]ospf 1 router-id 10.0.1.1
[R1-ospf-1] area 0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.1.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.12.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.13.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R1-ospf-1] quit
```

#配置 R2

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1] area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.12.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.234.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R2-ospf-1] quit
```

#配置 R3

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1] area 0
```

```
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.13.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.234.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R3-ospf-1] quit
```

#配置 R4

```
[R4]ospf 1 router-id 10.0.4.4
[R4-ospf-1]area 0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.234.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 192.168.1.1 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[R4-ospf-1] quit
```

#在 R1、R4 上检查 OSPF 邻居状态

```
<R1>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.1.1
    Peer Statistic Information
 --------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2          10.0.2.2         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.3.3         Full
 --------------------------------------------------------------------------

<R4>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Peer Statistic Information
 --------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/4          10.0.2.2         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/4          10.0.3.3         Full
 --------------------------------------------------------------------------
```

路由器之间的 OSPF 邻居已经全部正常建立。

#在 R4 上查看 OSPF 路由表

```
[R4]display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.4.4/32        0      Stub       10.0.4.4        10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.234.0/24      1      Transit    10.0.234.4      10.0.4.4        0.0.0.0
 192.168.1.0/24     1      Stub       192.168.1.1     10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.1.1/32        2      Stub       10.0.234.3      10.0.1.1        0.0.0.0
 10.0.1.1/32        2      Stub       10.0.234.2      10.0.1.1        0.0.0.0
```

```
10.0.2.2/32         1       Stub      10.0.234.2      10.0.2.2        0.0.0.0
10.0.3.3/32         1       Stub      10.0.234.3      10.0.3.3        0.0.0.0
10.0.12.0/24        2       Transit   10.0.234.2      10.0.1.1        0.0.0.0
10.0.13.0/24        2       Transit   10.0.234.3      10.0.1.1        0.0.0.0

Total Nets: 9
Intra Area: 9   Inter Area: 0   ASE: 0   NSSA: 0
```

R4 上已经学习到全网的 OSPF 路由。

步骤 3 部署 PIM-DM

在所有路由器上开启组播路由功能，在需要运行 PIM-DM 的接口下开启组播路由协议。

#开启组播路由功能

```
[R1]multicast routing-enable

[R2]multicast routing-enable

[R3]multicast routing-enable

[R4]multicast routing-enable
```

#在 R1 相应接口上开启 PIM-DM

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1] pim dm
[R1-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] pim dm
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
```

#在 R2 相应接口上开启 PIM-DM

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/4] pim dm
[R2-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] pim dm
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#在 R3 相应接口上开启 PIM-DM

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/4
[R3-GigabitEthernet0/0/4] pim dm
[R3-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] pim dm
[R3-GigabitEthernet0/0/1] quit
```

#在 R4 相应接口上开启 PIM-DM

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/4
[R4-GigabitEthernet0/0/4] pim dm
[R4-GigabitEthernet0/0/4] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/5
[R4-GigabitEthernet0/0/5] pim dm
[R4-GigabitEthernet0/0/5] quit
```

#在 R1、R4 上检查 PIM 邻居关系

```
[R1]display pim neighbor
 VPN-Instance: public net
 Total Number of Neighbors = 2

 Neighbor        Interface          Uptime      Expires    Dr-Priority  BFD-Session
 10.0.13.3       GE0/0/1            00:04:14    00:01:31     1            N
 10.0.12.2       GE0/0/2            00:04:50    00:01:26     1            N

[R4]display pim neighbor
 VPN-Instance: public net
 Total Number of Neighbors = 2

 Neighbor        Interface          Uptime      Expires    Dr-Priority  BFD-Session
 10.0.234.2      GE0/0/4            00:03:09    00:01:41     1            N
 10.0.234.3      GE0/0/4            00:03:08    00:01:19     1            N
```

R1 与 R2、R1 与 R3、R4 与 R2 及 R3 之间已经成功形成 PIM 邻居关系。

#在 R4 的 GE0/0/5 接口上开启 IGMP，并配置静态组播组模拟组播接收者

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/5
[R4-GigabitEthernet0/0/5] igmp enable
[R4-GigabitEthernet0/0/5] igmp static-group 239.0.0.12
```

#在 R4 上查看 IGMP 接口信息

```
[R4]display igmp interface GigabitEthernet 0/0/5
Interface information of VPN-Instance: public net
 GigabitEthernet0/0/5(192.168.1.1):
   IGMP is enabled
   Current IGMP version is 2
   IGMP state: up
   IGMP group policy: none
   IGMP limit: -
   Value of query interval for IGMP (negotiated): -
   Value of query interval for IGMP (configured): 60 s
   Value of other querier timeout for IGMP: 0 s
   Value of maximum query response time for IGMP: 10 s
   Querier for IGMP: 192.168.1.1 (this router)
```

默认 IGMP 版本为 V2，R4 为 IGMP 查询者。

步骤 4 观察 PIM 路由表

在 R1 上以 Loopback0 接口为源地址，向 239.0.0.12 发送 ICMP 数据包，模拟组播源，之后在 4 台路由器上查看 PIM 路由表。

#R1 上模拟组播源，发送组播流量

```
ping -a 10.0.1.1 -c 10 239.0.0.12
```

使用该命令实际上设备并不会对外发送组播流量，而是会触发 PIM-DM 的 State-Refresh 报文。

#PIM-DM State-Refresh 报文内容

```
Frame 45: 70 bytes on wire (560 bits), 70 bytes captured (560 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: HuaweiTe_0c:16:0a (54:89:98:0c:16:0a), Dst: IPv4mcast_0d (01:00:5e:00:00:0d)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.12.1, Dst: 224.0.0.13
Protocol Independent Multicast
    0010 .... = Version: 2
    .... 1001 = Type: State-Refresh (9)
    Reserved byte(s): 00
    Checksum: 0x8295 [correct]
    [Checksum Status: Good]
    PIM Options
        Group: 239.0.0.12/32
        Source: 10.0.1.1
        Originator: 10.0.12.1
        0... .... = RP Tree: False
        .000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = Metric Preference: 0
        Metric: 0
        Masklen: 32
        TTL: 255
        0... .... = Prune indicator: Not set
        .0.. .... = Prune now: Not set
        ..1. .... = Assert override: Set
        Interval: 60
```

State-Refresh 报文中会携带组播源地址（10.0.1.1），组播组地址（239.0.0.12），下游设备收到后会创建（S,G）表项，并继续向下游发送 State-Refresh 报文。

#在设备上查看 State-Refresh 报文发送情况

```
<R1>display pim control-message counters message-type state-refresh interface GigabitEthernet 0/0/2
 VPN-Instance: public net
 PIM control-message counters for interface: GigabitEthernet0/0/2
 Message Type       Received          Sent              Invalid           Filtered
 State-Refresh       0                 8                 0                 0
```

当已发送（sent）个数不为 0 时，再去查看下游的（S,G）表项，否则将无法看到内容。

PIM-SM 并无 State-Refresh 报文，因此无法使用该方式触发生成组播路由表。

#之后查看 4 台路由器的 PIM 路由表

```
<R1>display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 0 (*, G) entry; 1 (S, G) entry

 (10.0.1.1, 239.0.0.12)
      Protocol: pim-dm, Flag: LOC ACT
      UpTime: 00:04:19
      Upstream interface: LoopBack0
           Upstream neighbor: NULL
           RPF prime neighbor: NULL
      Downstream interface(s) information:
      Total number of downstreams: 1
           1: GigabitEthernet0/0/1
                Protocol: pim-dm, UpTime: 00:04:19, Expires: never
```

R1 上(S, G)表项的入接口为 Loopback0，因为组播源为设备直连，所以 PRF 邻居为 NULL。下游接口为 GE0/0/1，R1 将组播流量转发给 R3。

```
<R2>display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 0 (*, G) entry; 1 (S, G) entry

 (10.0.1.1, 239.0.0.12)
      Protocol: pim-dm, Flag:
      UpTime: 00:01:25
      Upstream interface: GigabitEthernet0/0/3
           Upstream neighbor: 10.0.12.1
           RPF prime neighbor: 10.0.12.1
      Downstream interface(s) information: None
```

R2 上并无下游接口。

```
<R3>display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 0 (*, G) entry; 1 (S, G) entry

 (10.0.1.1, 239.0.0.12)
      Protocol: pim-dm, Flag:
      UpTime: 00:02:55
      Upstream interface: GigabitEthernet0/0/1
           Upstream neighbor: 10.0.13.1
           RPF prime neighbor: 10.0.13.1
      Downstream interface(s) information:
      Total number of downstreams: 1
           1: GigabitEthernet0/0/4
                Protocol: pim-dm, UpTime: 00:02:55, Expires: never
```

R3 的下游接口为 GE0/0/4。

R2、R3 的下游接口与 R4 的上游接口在同一个网段，此时触发断言机制，R2、R3 通过各自的 GE0/0/4 接口发送断言报文进行选举，R2、R3 到达组播源的单播路由拥有相同的路由优先级、单播路由开销值，但是 R3 的 GE0/0/4 接口拥有更大的 IP 地址（10.0.234.3，大于

10.0.234.2），因此 R3 在断言选举中胜出，继续向 R4 转发组播流量，而 R2 不再从自己的 GE0/0/4 接口转发组播流量，这是 R2 的 PIM 路由表中没有下游接口的原因。

```
[R4]display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 1 (*, G) entry; 1 (S, G) entry

 (*, 239.0.0.12)
      Protocol: pim-dm, Flag: WC
      UpTime: 00:05:41
      Upstream interface: NULL
           Upstream neighbor: NULL
           RPF prime neighbor: NULL
      Downstream interface(s) information:
      Total number of downstreams: 1
           1: GigabitEthernet0/0/5
                Protocol: static, UpTime: 00:05:41, Expires: never

 (10.0.1.1, 239.0.0.12)
      Protocol: pim-dm, Flag:
      UpTime: 00:01:52
      Upstream interface: GigabitEthernet0/0/4
           Upstream neighbor: 10.0.234.2
           RPF prime neighbor: 10.0.234.2
      Downstream interface(s) information:
      Total number of downstreams: 1
           1: GigabitEthernet0/0/5
                Protocol: pim-dm, UpTime: 00:01:52, Expires:   -
```

R4 的上游邻居为 R3，自身为最后一跳路由器。

步骤 5 修改 IGP cost 值，影响断言选举结果

在 R3 上修改 GE0/0/1 接口的 OSPF cost 值，使得 R3 到达组播源地址的单播路由拥有更大的开销值，从而在断言选举中失败，让 R2 变为断言选举胜出者。

#在 R2、R3 上查看前往组播源地址 10.0.1.1 的路由开销值

```
<R2>display ip routing-table 10.0.1.1
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Routing Table : Public
Summary Count : 1
Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface

        10.0.1.1/32 OSPF    10   1           D   10.0.12.1       GigabitEthernet0/0/3

<R3>display ip routing-table 10.0.1.1
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Routing Table : Public
Summary Count : 1
```

```
Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface

        10.0.1.1/32 OSPF    10   1           D   10.0.13.1       GigabitEthernet0/0/1
```

R2、R3 前往 10.0.1.1 的路由开销值都为 1。

#修改 R3 上 GE0/0/1 接口的 OSPF cost

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1] ospf cost 2
```

#在 R3 上查看前往组播源地址 10.0.1.1 的路由开销值

```
<R3>display ip routing-table 10.0.1.1
Route Flags: R - relay, D - download to fib
------------------------------------------------------------------------------
Routing Table : Public
Summary Count : 2
Destination/Mask    Proto   Pre  Cost      Flags NextHop         Interface

        10.0.1.1/32 OSPF    10   2           D   10.0.13.1       GigabitEthernet0/0/1
                    OSPF    10   2           D   10.0.234.2      GigabitEthernet0/0/4
```

此时 R3 前往 10.0.1.1 的路由开销值为 2。

#为了更好地观察现象，修改 R2、R3 的 GE0/0/4 接口 Assert 状态的超时时间为 10s

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/4] pim holdtime assert 10

[R3]interface GigabitEthernet0/0/4
[R3-GigabitEthernet0/0/4] pim holdtime assert 10
```

#在 R1 上开启 **debugging pim join-prune receive**，观察剪枝过程

```
<R1>terminal debugging
<R1>terminal monitor
<R1>debugging pim join-prune receive
```

#在 R1 上重新触发组播流量

```
<R1>ping -a 10.0.1.1 -c 10 239.0.0.12
```

#重新查看 R2、R3 的 PIM 路由表

```
[R2]display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 0 (*, G) entry; 1 (S, G) entry

 (10.0.1.1, 239.0.0.12)
       Protocol: pim-dm, Flag:
       UpTime: 00:00:01
       Upstream interface: GigabitEthernet0/0/3
```

```
        Upstream neighbor: 10.0.12.1
        RPF prime neighbor: 10.0.12.1
    Downstream interface(s) information:
    Total number of downstreams: 1
        1: GigabitEthernet0/0/4
            Protocol: pim-dm, UpTime: 00:00:01, Expires: never

[R3]display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 0 (*, G) entry; 1 (S, G) entry

 (10.0.1.1, 239.0.0.12)
    Protocol: pim-dm, Flag:
    UpTime: 00:00:08
    Upstream interface: GigabitEthernet0/01
        Upstream neighbor: 10.0.234.2
        RPF prime neighbor: 10.0.234.2
    Downstream interface(s) information: None
```

此时 R3 上没有下游接口，R2 为断言选举胜出者。

#观察 R1 上的 debug 输出

```
Jul  2 2020 09:49:03.520.1-08:00 R1 PIM/7/JP:(public net): PIM ver 2 JP  receiving 10.0.13.3 ->
224.0.0.13 on GigabitEthernet0/0/1  (P012998)
Jul  2 2020 09:49:03.520.2-08:00 R1 PIM/7/JP:(public net): Upstream 10.0.13.1, Groups 1, Holdtime 180
(P013002)
Jul  2 2020 09:49:03.520.3-08:00 R1 PIM/7/JP:(public net): Group: 239.0.0.12/32 --- 0 join 1 prune
(P013011)
Jul  2 2020 09:49:03.520.4-08:00 R1 PIM/7/JP:(public net): Prune: 10.0.1.1/32  (P013021)
Jul  2 2020 09:49:05.790.1-08:00 R1 PIM/7/JP:(public net): PIM ver 2 JP  receiving 10.0.12.2 ->
224.0.0.13 on GigabitEthernet0/0/2  (P012933)
Jul  2 2020 09:49:05.790.2-08:00 R1 PIM/7/JP:(public net): Upstream 10.0.12.1, Groups 1, Holdtime 0
(P012939)
Jul  2 2020 09:49:05.790.3-08:00 R1 PIM/7/JP:(public net): Group: 239.0.0.12/32 --- 1 join 0 prune
(P012949)
Jul  2 2020 09:49:05.790.4-08:00 R1 PIM/7/JP:(public net): Join: 10.0.1.1/32  (P012959)
```

在 debug 中可以看到来自 R3 的 prune 报文，group 为 239.0.0.12，组播源为 10.0.1.1。

步骤 6 配置 IGMP Snooping

为了优化交换机 S2 对组播流量的转发行为，在 S2 上开启 IGMP Snooping，并手动配置路由器端口、成员端口。

#在全局、VLAN1 中开启 IGMP Snooping

```
[S2]igmp-snooping enable
[S2]vlan 1
[S2-vlan1] igmp-snooping enable
[S2-vlan1] quit
```

#手动配置 GE0/0/4 为路由器端口

```
[S2]interface GigabitEthernet0/0/4
[S2-GigabitEthernet0/0/4] igmp-snooping static-router-port vlan 1
```

#手动配置 GE0/0/10 为组播组 239.0.0.12 的成员端口

```
[S2]interface GigabitEthernet0/0/10
[S2-GigabitEthernet0/0/10] l2-multicast static-group group-address 239.0.0.12 vlan 1
[S2-GigabitEthernet0/0/10] quit
```

#查看 S2 的二层组播转发表

```
[S2]display l2-multicast forwarding-table vlan 1
VLAN ID : 1, Forwarding Mode : IP
--------------------------------------------------------------------------
                          (Source, Group)      Interface                Out-Vlan
--------------------------------------------------------------------------
                            Router-port        GigabitEthernet0/0/4       1
                          (*, 239.0.0.12)      GigabitEthernet0/0/4       1
                                               GigabitEthernet0/0/10      1
--------------------------------------------------------------------------
Total  Group(s) : 1
```

GE0/0/4 为路由器端口，GE0/0/10 为成员端口，注意该命令查看的结果需要存在 Up 状态的成员接口，需要在 GE0/0/10 上连接设备，使接口为 Up 状态。

6.1.3 思考题

PIM 的 DM 模式应用在大规模网络上，有哪些劣势?

6.1.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
multicast routing-enable
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.13.1 255.255.255.0
 pim dm
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
 pim dm
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
#
ospf 1 router-id 10.0.1.1
```

```
 area 0.0.0.0
  network 10.0.1.1 0.0.0.0
  network 10.0.12.1 0.0.0.0
  network 10.0.13.1 0.0.0.0
#
return
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
multicast routing-enable
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
 pim dm
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 ip address 10.0.234.2 255.255.255.0
 pim holdtime assert 10
 pim dm
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 area 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
  network 10.0.12.2 0.0.0.0
  network 10.0.234.2 0.0.0.0
#
return
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
multicast routing-enable
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.13.3 255.255.255.0
 pim dm
 ospf cost 2
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 ip address 10.0.234.3 255.255.255.0
 pim holdtime assert 10
 pim dm
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
```

```
 area 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.0.13.3 0.0.0.0
  network 10.0.234.3 0.0.0.0
#
return
```

R4 设备配置

```
#
sysname R4
#
multicast routing-enable
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 ip address 10.0.234.4 255.255.255.0
 pim dm
#
interface GigabitEthernet0/0/5
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
 igmp enable
 igmp static-group 239.0.0.12
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
#
ospf 1 router-id 10.0.4.4
 area 0.0.0.0
  network 10.0.234.4 0.0.0.0
  network 10.0.4.4 0.0.0.0
  network 192.168.1.1 0.0.0.0
#
return
```

S2 设备配置

```
#
sysname S2
#
igmp-snooping enable
#
vlan 1
 igmp-snooping enable
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 igmp-snooping static-router-port vlan 1
#
interface GigabitEthernet0/0/10
 l2-multicast static-group group-address 239.0.0.12 vlan 1
```

6.2 PIM SM、BSR、PIM SSM

6.2.1 实验介绍

6.2.1.1 学习目标

- 实现通过 PIM-SM 协议转发组播流量
- 实现通过配置 BSR 选举 RP
- 实现配置 PIM-SM SSM 转发组播流量
- 实现通过 **ping multicast** 命令发送组播流量

6.2.1.2 实验组网介绍

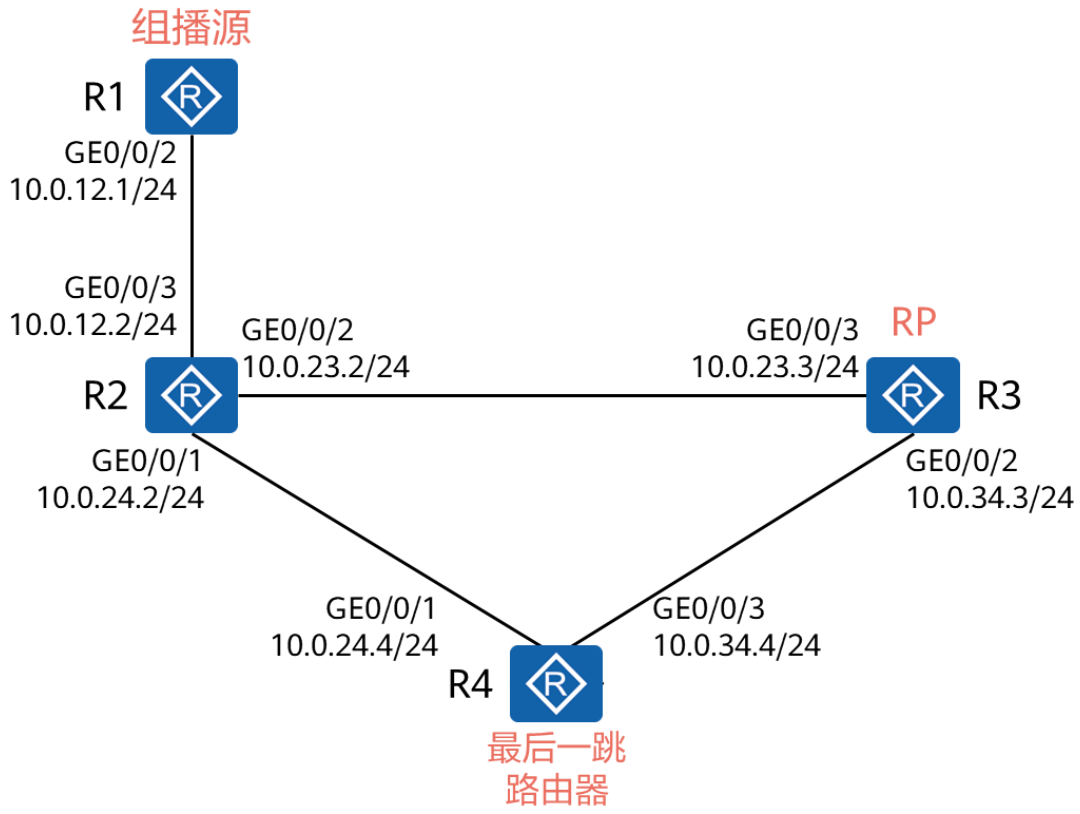


图6-2 PIM SM、BSR、PIM SSM

4 台路由器都运行 OSPF，所有设备均创建 Loopback0，IP 地址为 10.0.x.x/32，其中 x 为设备编号。R1 模拟组播组 239.0.0.12 的源，R4 上使用 GE0/0/0 接口模拟组播组 239.0.0.12 的接收者。

R3 被规划为该网络的 RP，采用 BSR 的方式选举 R3 为 RP。

6.2.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员。公司以前使用过 PIM 的 DM 模式来部署组播路由，但是后来发现随着组播应用的发展，组播用户分布越来越广，这时组播业务质量显示出一定程度的下降。为了提高组播的可靠性和工作效率，你决定使用 PIM 的 SM 模式来实现组播路由学习。

在 PIM 的 SM 模式中，你需要定义 RP，作为 SM 模式的共享树的树根。

6.2.2 实验任务

6.2.2.1 任务思路

1. 设备基础 IP 地址配置。
2. 配置 R1、R2、R3、R4 之间的 OSPF，在互联接口、Loopback0 接口上激活 OSPF。
3. 开启路由器的组播路由功能，部署 PIM-SM，在相应接口上开启 PIM-SM。
4. 部署 BSR，将 R2 的 Loopback0 接口配置为 BSR，R3 的 Loopback0 接口配置为 RP 。
5. 观察各个设备的 PIM-SM 路由表，使用 ping multicast 触发 RPT 向 SPT 切换，之后再次查看 PIM-SM 路由表。
6. 将 R4 的 GE0/0/0 接口 IGMP 模式切换为 Version 3，静态加入组播组 232.0.0.12，查看形成的 PIM-SM SSM 路由表。

6.2.2.2 任务步骤

步骤 1 互联接口、环回口 IP 地址配置

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#配置 R1

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0] ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0] quit
```

#配置 R2

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.24.2 255.255.255.0
```

```
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R3

```
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0] ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
[R3-LoopBack0] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/3
[R3-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#配置 R4

```
[R4]interface LoopBack0
[R4-LoopBack0] ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
[R4-LoopBack0]quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/1
[R4-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.24.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/1]quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/3]quit
```

#在 R2、R3 上检测互联地址连通性

```
<R2>ping -c 1 10.0.12.1
  PING 10.0.12.1: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=40 ms

  --- 10.0.12.1 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
round-trip min/avg/max = 40/40/40 ms

<R2>ping -c 1 10.0.23.3
  PING 10.0.23.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.23.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=10 ms

  --- 10.0.23.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 10/10/10 ms
```

```
<R2>ping -c 1 10.0.24.4
  PING 10.0.24.4: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.24.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms

  --- 10.0.24.4 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms

<R3>ping -c 1 10.0.34.4
  PING 10.0.34.4: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.34.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=10 ms

  --- 10.0.34.4 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
round-trip min/avg/max = 10/10/10 ms
```

步骤 2 配置 R1、R2、R3、R4 之间的 OSPF

R1、R2、R3、R4 使用 Loopback0 接口地址作为 Router ID，在各个设备的互联接口、Loopback0 接口激活 OSPF。

#配置 R1

```
[R1]ospf 1 router-id 10.0.1.1
[R1-ospf-1] area 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.1.1 0.0.0.0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.12.1 0.0.0.0
```

#配置 R2

```
[R2]ospf 1 router-id 10.0.2.2
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.12.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.24.2 0.0.0.0
```

#配置 R3

```
[R3]ospf 1 router-id 10.0.3.3
[R3-ospf-1]area 0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.23.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.3 0.0.0.0
```

#配置 R4

```
[R4]ospf 1 router-id 10.0.4.4
```

```
[R4-ospf-1]area 0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.4.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.24.4 0.0.0.0
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.0.34.4 0.0.0.0
```

#在 R2、R3 上检查 OSPF 邻居状态

```
<R2>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.2.2
    Peer Statistic Information
 --------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2          10.0.3.3         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/3          10.0.1.1         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/1          10.0.4.4         Full
 --------------------------------------------------------------------------
<R3>display ospf peer brief

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.3.3
    Peer Statistic Information
 --------------------------------------------------------------------------
 Area Id          Interface                     Neighbor id      State
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/3          10.0.2.2         Full
 0.0.0.0          GigabitEthernet0/0/2          10.0.4.4         Full
 --------------------------------------------------------------------------
```

从输出信息可以得知 OSPF 邻居已经全部正常建立。

#在 R4 上查看 OSPF 路由表

```
<R4>display ospf routing

 OSPF Process 1 with Router ID 10.0.4.4
    Routing Tables

 Routing for Network
 Destination        Cost   Type       NextHop         AdvRouter       Area
 10.0.4.4/32        0      Stub       10.0.4.4        10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.24.0/24       1      Transit    10.0.24.4       10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.34.0/24       1      Transit    10.0.34.4       10.0.4.4        0.0.0.0
 10.0.1.1/32        2      Stub       10.0.24.2       10.0.1.1        0.0.0.0
 10.0.2.2/32        1      Stub       10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.3.3/32        1      Stub       10.0.34.3       10.0.3.3        0.0.0.0
 10.0.12.0/24       2      Transit    10.0.24.2       10.0.1.1        0.0.0.0
 10.0.23.0/24       2      Transit    10.0.24.2       10.0.2.2        0.0.0.0
 10.0.23.0/24       2      Transit    10.0.34.3       10.0.2.2        0.0.0.0

 Total Nets: 9
 Intra Area: 9   Inter Area: 0   ASE: 0   NSSA: 0
```

从输出信息可以得知 R4 已经学习到了全网的路由。

步骤 3 部署 PIM-SM

在所有路由器上开启组播路由功能，在需要运行 PIM-SM 的接口下开启组播路由协议。

#开启组播路由功能

```
[R1]multicast routing-enable

[R2]multicast routing-enable

[R3]multicast routing-enable

[R4]multicast routing-enable
```

#在 R1 相应接口上开启 PIM-SM

```
[R1]interface LoopBack 0
[R1-LoopBack0] pim sm
[R1-LoopBack0] quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2] pim sm
[R1-GigabitEthernet0/0/2] quit
```

#在 R2 相应接口上开启 PIM-SM

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1] pim sm
[R2-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/2
[R2-GigabitEthernet0/0/2] pim sm
[R2-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/3
[R2-GigabitEthernet0/0/3] pim sm
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#在 R3 相应接口上开启 PIM-SM

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2] pim sm
[R3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/3
[R3-GigabitEthernet0/0/3] pim sm
[R3-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#在 R4 相应接口上开启 PIM-SM

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/1
[R4-GigabitEthernet0/0/1] pim sm
[R4-GigabitEthernet0/0/1] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/3
[R4-GigabitEthernet0/0/3] pim sm
[R4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[R4]interface GigabitEthernet0/0/0
```

```
[R4-GigabitEthernet0/0/0] pim sm
[R4-GigabitEthernet0/0/0] quit
```

#在 R2、R3 上检查 PIM 的邻居关系

```
<R2>display pim neighbor
 VPN-Instance: public net
 Total Number of Neighbors = 3

 Neighbor        Interface                Uptime    Expires    Dr-Priority  BFD-Session
 10.0.24.4       GE0/0/1                  00:08:19  00:01:26   1            N
 10.0.23.3       GE0/0/2                  00:09:09  00:01:37   1            N
 10.0.12.1       GE0/0/3                  00:10:07  00:01:42   1            N

<R3>display pim neighbor
 VPN-Instance: public net
 Total Number of Neighbors = 2

 Neighbor        Interface                Uptime    Expires    Dr-Priority  BFD-Session
 10.0.34.4       GE0/0/2                  00:08:35  00:01:39   1            N
 10.0.23.2       GE0/0/3                  00:09:25  00:01:21   1            N
```

路由器之间已经建立正确的 PIM 邻居关系。

步骤 4 部署 BSR

部署 BSR，通过调整优先级让 R3 成为 RP，R2 成为 BSR。

#配置 R2 的 Loopback0 接口为 BSR

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0] pim sm
[R2-LoopBack0] quit
[R2]pim
[R2-pim] c-bsr priority 100
[R2-pim] c-bsr LoopBack0
[R2-pim] quit
```

注意，需要在 Loopback0 接口上启用 PIM-SM。

#配置 R3 的 Loopback0 接口成为 RP，指定 RP 所服务的组播组为 239.0.0.12

```
[R3]interface LoopBack 0
[R3-LoopBack0] pim sm
[R3-LoopBack0] quit
[R3]acl 2000
[R3-acl-basic-2000] rule 1 permit source 239.0.0.12 0.0.0.0
[R3-acl-basic-2000] quit
[R3]pim
[R3-pim] c-rp LoopBack 0 group-policy 2000 priority 100
[R3-pim] quit
```

注意，需要在 Loopback0 接口上启用 PIM-SM。

#在 R4 上查看 BSR、RP 信息

```
<R4>display pim bsr-info
 VPN-Instance: public net
 Elected AdminScoped BSR Count: 0
 Elected BSR Address: 10.0.2.2
      Priority: 100
      Hash mask length: 30
      State: Accept Preferred
      Scope: Not scoped
      Uptime: 00:03:35
      Expires: 00:02:06
      C-RP Count: 1

<R4>display pim rp-info
 VPN-Instance: public net
 PIM-SM BSR RP Number:2
 Group/MaskLen: 224.0.0.0/4
      RP: 10.0.3.3
      Priority: 100
      Uptime: 00:04:15
      Expires: 00:02:15
 Group/MaskLen: 239.0.0.12/32
      RP: 10.0.3.3
      Priority: 100
      Uptime: 00:00:15
      Expires: 00:02:15
```

C-BSR、C-RP 只有一台，R2、R3 分别成为 BSR、RP，组播组 239.0.0.12 的 RP 为 10.0.3.3。

步骤 5 观察 PIM 路由表

在 R4 上使用 GE0/0/0 接口模拟组播组 239.0.0.12 的接收者，分别在 R3、R4 查看 PIM 路由表。之后修改 SPT 切换阈值，重新触发组播流量再次查看 PIM 路由表。

#在 R4 的 GE0/0/0 接口上开启 IGMP，并配置静态组播组模拟组播接收者

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/0
[R4-GigabitEthernet0/0/0] ip address 192.168.1.1 24
[R4-GigabitEthernet0/0/0] igmp enable
[R4-GigabitEthernet0/0/0] igmp static-group 239.0.0.12
```

注意接口需要配置 IP 地址，并且为 Up 状态。

#查看 R4 的 PIM 路由表

```
<R4>display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 1 (*, G) entry; 0 (S, G) entry

 (*, 239.0.0.12)
```

```
    RP: 10.0.3.3
    Protocol: pim-sm, Flag: WC EXT
    UpTime: 00:01:18
    Upstream interface: GigabitEthernet0/0/3
        Upstream neighbor: 10.0.34.3
        RPF prime neighbor: 10.0.34.3
    Downstream interface(s) information:
    Total number of downstreams: 1
        1: GigabitEthernet0/0/0
            Protocol: static, UpTime: 00:01:29, Expires: -
```

R4 上前往的 RP（10.0.3.3）的路由出接口为 GE0/0/3，因此 R4 将 GE0/0/3 接口指定为（*，239.0.0.12）的上游接口，从上游接口发送 PIM 加入报文。

#查看 R3 的 PIM 路由表

```
<R3>display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 1 (*, G) entry; 0 (S, G) entry

 (*, 239.0.0.12)
     RP: 10.0.3.3 (local)
     Protocol: pim-sm, Flag: WC
     UpTime: 00:08:05
     Upstream interface: Register
         Upstream neighbor: NULL
         RPF prime neighbor: NULL
     Downstream interface(s) information:
     Total number of downstreams: 1
         1: GigabitEthernet0/0/2
             Protocol: pim-sm, UpTime: 00:08:05, Expires: 00:03:25
```

R3 为 RP，无需向上游发送加入报文，到目前为止暂未有组播源向该 RP 注册，所以上游接口依旧为空。

#在 R1 上使用 **ping multicast** 命令模拟组播组 239.0.0.12 的组播源，发送组播数据

```
<R1>ping multicast -c 10 239.0.0.12
```

#等待网络稳定之后查看 R4 的 PIM 路由表

```
[R4]display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 1 (*, G) entry; 1 (S, G) entry

 (*, 239.0.0.12)
     RP: 10.0.3.3
     Protocol: pim-sm, Flag: WC EXT
     UpTime: 00:03:38
     Upstream interface: GigabitEthernet0/0/3
         Upstream neighbor: 10.0.34.3
         RPF prime neighbor: 10.0.34.3
     Downstream interface(s) information:
     Total number of downstreams: 1
```

```
        1: GigabitEthernet0/0/0
            Protocol: static, UpTime: 00:02:27, Expires: -

(10.0.1.1, 239.0.0.12)
    RP: 10.0.3.3
    Protocol: pim-sm, Flag: SPT ACT
    UpTime: 00:00:05
    Upstream interface: GigabitEthernet0/0/1
        Upstream neighbor: 10.0.24.2
        RPF prime neighbor: 10.0.24.2
    Downstream interface(s) information:
    Total number of downstreams: 1
        1: GigabitEthernet0/0/0
            Protocol: pim-sm, UpTime: 00:00:03, Expires: -
```

R4 上 Flag 为 ACT 的为（S,G）表项，代表真正指导转发的为（S,G）表项，同时上游接口不再是连接 R3 的 GE0/0/3，而是连接 R2 的 GE0/0/1，此时 RPT（共享树）已经切换成为 SPT（最短路径树）。

#在 R4 上修改 SPT 切换阈值

```
[R4]pim
[R4-pim] spt-switch-threshold infinity
```

修改为永不切换。

#在 R1 上使用 **ping multicast** 命令模拟组播组 239.0.0.12 的组播源，发送组播数据

```
<R1>ping multicast -c 10 239.0.0.12
```

#在 R4 上查看 PIM 路由表

```
<R4>display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 1 (*, G) entry; 1 (S, G) entry

 (*, 239.0.0.12)
     RP: 10.0.3.3
     Protocol: pim-sm, Flag: WC
     UpTime: 00:13:27
     Upstream interface: GigabitEthernet0/0/3
         Upstream neighbor: 10.0.34.3
         RPF prime neighbor: 10.0.34.3
     Downstream interface(s) information:
     Total number of downstreams: 1
         1: GigabitEthernet0/0/0
             Protocol: static, UpTime: 00:13:27, Expires: -

 (10.0.1.1, 239.0.0.12)
     RP: 10.0.3.3
     Protocol: pim-sm, Flag: ACT
     UpTime: 00:00:12
     Upstream interface: GigabitEthernet0/0/3
         Upstream neighbor: 10.0.34.3
```

```
        RPF prime neighbor: 10.0.34.3
    Downstream interface(s) information:
    Total number of downstreams: 1
        1: GigabitEthernet0/0/0
            Protocol: pim-sm, UpTime: 00:00:12, Expires: -
```

此时 R4 的上游接口依旧为 GE0/0/3，（S,G）表项的路径依旧为沿着 RP 到组播源，RPT 并未向 SPT 切换。

步骤 6 部署 PIM-SSM

将 R4 GE0/0/0 接口的 IGMP 版本修改为 Version 3，配置静态加入 SSM 组播组 232.0.0.12。

#修改 GE0/0/0 接口配置

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/0
[R4-GigabitEthernet0/0/0] igmp version 3
[R4-GigabitEthernet0/0/0] igmp static-group 232.0.0.12 source 10.0.1.1
```

注意，在默认配置下，SSM 组策略中的组播组地址范围为 232.0.0.0/8，如果配置的静态加入的组播组地址不在该范围内，则无法形成 PIM-SSM 表项。

#查看 R4 的 PIM 路由表

```
<R4>display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 1 (*, G) entry; 1 (S, G) entry
.....
.....
(10.0.1.1, 232.0.0.12)
        Protocol: pim-ssm, Flag: SG_RCVR
        UpTime: 00:01:58
        Upstream interface: GigabitEthernet0/0/1
            Upstream neighbor: 10.0.24.2
            RPF prime neighbor: 10.0.24.2
        Downstream interface(s) information:
        Total number of downstreams: 1
            1: GigabitEthernet0/0/0
                Protocol: static, UpTime: 00:01:58, Expires: -
```

在 R4 上可以看到，还未有流量触发，形成的表项已经是（S,G），并且协议为 PIM-SSM，上游为 R2。

#查看 R2 的 PIM 路由表

```
<R2>display pim routing-table
 VPN-Instance: public net
 Total 0 (*, G) entry; 2 (S, G) entries

...
...

 (10.0.1.1, 232.0.0.12)
```

```
    Protocol: pim-ssm, Flag:
    UpTime: 00:03:30
    Upstream interface: GigabitEthernet0/0/3
        Upstream neighbor: 10.0.12.1
        RPF prime neighbor: 10.0.12.1
    Downstream interface(s) information:
    Total number of downstreams: 1
        1: GigabitEthernet0/0/1
            Protocol: pim-ssm, UpTime: 00:03:30, Expires: 00:03:00
```

协议为 PIM-SSM，上游为 R1。

6.2.3 思考题

相比较于 PIM-DM，PIM-SM 的优点有哪些?

6.2.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
multicast routing-enable
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
 pim sm
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.1.1 255.255.255.255
 pim sm
#
ospf 1 router-id 10.0.1.1
 area 0.0.0.0
  network 10.0.1.1 0.0.0.0
  network 10.0.12.1 0.0.0.0
#
return
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
multicast routing-enable
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.24.2 255.255.255.0
 pim sm
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.23.2 255.255.255.0
 pim sm
```

```
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
 pim sm
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.2.2 255.255.255.255
 pim sm
#
ospf 1 router-id 10.0.2.2
 area 0.0.0.0
  network 10.0.2.2 0.0.0.0
  network 10.0.12.2 0.0.0.0
  network 10.0.23.2 0.0.0.0
  network 10.0.24.2 0.0.0.0
#
pim
 c-bsr priority 100
 c-bsr LoopBack0
#
return
```

R3 设备配置

```
#
sysname R3
#
multicast routing-enable
#
acl number 2000
 rule 1 permit source 239.0.0.12 0
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 ip address 10.0.34.3 255.255.255.0
 pim sm
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.23.3 255.255.255.0
 pim sm
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.3.3 255.255.255.255
 pim sm
#
ospf 1 router-id 10.0.3.3
 area 0.0.0.0
  network 10.0.3.3 0.0.0.0
  network 10.0.23.3 0.0.0.0
  network 10.0.34.3 0.0.0.0
#
pim
 c-rp LoopBack0 group-policy 2000 priority 100
#
return
```

R4 设备配置

```
#
sysname R4
#
multicast routing-enable
#
interface GigabitEthernet0/0/0
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
 pim sm
 igmp enable
 igmp version 3
 igmp static-group 239.0.0.12
 igmp static-group 232.0.0.12 source 10.0.1.1
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 ip address 10.0.24.4 255.255.255.0
 pim sm
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.34.4 255.255.255.0
 pim sm
#
interface LoopBack0
 ip address 10.0.4.4 255.255.255.255
#
ospf 1 router-id 10.0.4.4
 area 0.0.0.0
  network 10.0.4.4 0.0.0.0
  network 10.0.24.4 0.0.0.0
  network 10.0.34.4 0.0.0.0
#
pim
 spt-switch-threshold infinity
#
Return
```

7 防火墙技术实验

7.1 防火墙安全策略

7.1.1 实验介绍

7.1.1.1 学习目标

- 说明安全策略原理
- 实现通过命令行配置防火墙安全策略
- 实现观察 Server-map 理解 NAT ALG 工作原理

7.1.1.2 实验组网介绍

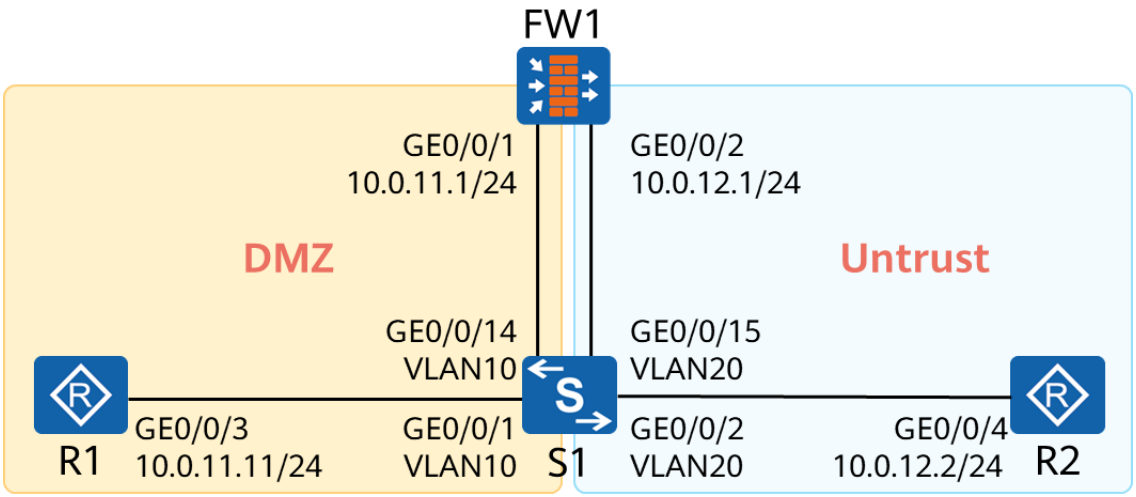


图7-1 防火墙安全策略

设备互联方式、IP 地址规划如图所示，R1、R2 通过交换机 S1 与防火墙进行三层通信，S1 上将连接 R1、R2 的接口分别划分到 VLAN10、20，将连接防火墙的接口 GE0/0/14、GE0/0/15 分别划分到 VLAN10、20。

R1 属于 DMZ（Demilitarized Zone，非军事化）区域、R2 属于 Untrust 区域，在 FW1 上配置源 NAT 使得 R1 以 FW1 的 GE0/0/2 接口地址访问 Untrust 区域，同时配置 NAT Server，使得 R2 可以通过 FW1 的 GE0/0/2 接口地址访问 R1 上开启的 FTP 服务。

在 FW1 上配置安全策略，限制 R1、R2 之间的访问：DMZ 区域的 R1 对 Untrust 区域的访问不受任何限制，但是 Untrust 区域只能主动访问 DMZ 区域中 R1 上的 FTP 服务。

7.1.1.3 实验背景

为了保护企业网络安全，作为企业网络管理员的你决定在企业网络边界部署一台防火墙，限制外部网络对企业内部网络的主动访问，同时作为出口设备，需要在防火墙上部署源 NAT（用于内部用户访问 Internet）、NAT Server（将内网服务器映射到公网）。

企业内部对外提供访问的服务为 FTP 服务，FTP 协议为多通道协议，对于多通道协议，除了部署安全策略之外，还需要借助 NAT ALG 才能实现经过防火墙 NAT 之后依旧能够正常通信。

7.1.2 实验任务

7.1.2.1 任务思路

1. 基础连通性配置。
2. 将接口加入到安全域，配置安全策略放通 local 区域到外部区域的访问。
3. 配置源 NAT、NAT Server。
4. 配置安全策略，限制 Untrust、DMZ 区域之间的访问。
5. 查看 FW1 上 Untrust、DMZ 区域之间访问流量生成的会话表项。

6. 在 R1 上开启 FTP 服务，R2 访问 R1 的 FTP 服务，并通过 **dir** 命令进行 FTP 数据通道的传输，查看 FW1 上的 Server-map 表项。

7.1.2.2 任务步骤

步骤 1 基础连通性配置

完成互联接口 IP 地址配置、交换机 VLAN 划分配置，在 R1、FW1 上配置默认路由。

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#交换机基础配置

```
[S1]vlan 10
[S1-vlan10] description DMZ
[S1-vlan10] quit
[S1]interface GigabitEthernet0/0/1
[S1-GigabitEthernet0/0/1] port link-type access
[S1-GigabitEthernet0/0/1] port default vlan 10
[S1-GigabitEthernet0/0/1] quit
[S1]interface GigabitEthernet0/0/14
[S1-GigabitEthernet0/0/14] port link-type access
[S1-GigabitEthernet0/0/14] port default vlan 10
[S1-GigabitEthernet0/0/14] quit

[S1]vlan 20
[S1-vlan20] description Untrust
[S1-vlan20] quit
[S1]interface GigabitEthernet0/0/2
[S1-GigabitEthernet0/0/2] port link-type access
[S1-GigabitEthernet0/0/2] port default vlan 20
[S1-GigabitEthernet0/0/2] quit
[S1]interface GigabitEthernet0/0/15
[S1-GigabitEthernet0/0/15] port link-type access
[S1-GigabitEthernet0/0/15] port default vlan 20
[S1-GigabitEthernet0/0/15] quit
```

#R1 配置

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/3
[R1-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.11.11 24
[R1-GigabitEthernet0/0/3] quit

[R1]ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 10.0.11.1
```

配置用于访问 Internet 的默认路由。

#R2 配置

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/4
[R2-GigabitEthernet0/0/3] ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/3] quit
```

#FW1 登录配置

```
Login authentication


Username:admin
Password:
The password needs to be changed. Change now? [Y/N]: Y
Please enter old password:
Please enter new password:
Please confirm new password:
```

防火墙的 Console 接口默认存在认证配置，默认账号密码为：admin/Admin@123，登录之后需要修改密码才可以正常登录。

#配置 FW1 接口 IP、默认路由

```
[FW1]interface GigabitEthernet0/0/1
[FW1-GigabitEthernet0/0/1] ip address 10.0.11.1 255.255.255.0
[FW1-GigabitEthernet0/0/1] quit
[FW1]interface GigabitEthernet0/0/2
[FW1-GigabitEthernet0/0/2] ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
[FW1-GigabitEthernet0/0/2] quit

[FW1]ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 10.0.12.2
```

#配置 FW1 接口允许通过 ping 报文

```
[FW1]interface GigabitEthernet0/0/1
[FW1-GigabitEthernet0/0/1] service-manage ping permit
[FW1-GigabitEthernet0/0/1] quit
[FW1]interface GigabitEthernet0/0/2
[FW1-GigabitEthernet0/0/2] service-manage ping permit
[FW1-GigabitEthernet0/0/2] quit
```

防火墙的接口缺省开启 service-manage，service-manage 在接口层面进行安全把控，它决定用户是否能通过该接口管理/访问防火墙（例如通过 ping、ssh、telnet、snmp 等方式）。GE0/0/0 接口是设备的网管接口，该接口缺省便配置了 service-manage ping permit、service-manage ssh permit 等命令，因此用户能够通过该接口管理防火墙。但是对于其他接口，缺省时防火墙禁止用户从该接口管理/访问自己，除非显式地配置 service-manage 命令。例如，如果希望允许用户 Ping GE1/0/1 接口，则需在 GE1/0/1 接口上配置 service-manage ping permit 命令，同理如果希望允许用户 SSH GE1/0/1 接口，则需配置 service-manage ssh permit。

步骤 2 配置 Local 域到其他区域的安全策略规则

将接口加入到安全域，同时创建一个安全策略规则 local_to：

1. 源、目 IP 不做任何限制
2. 目的安全域不限制
3. 服务不做任何限制
4. 源安全域为 Local
5. 动作为允许

#将接口加入到安全域中

```
[FW1]firewall zone dmz
[FW1-zone-dmz] description DMZ
[FW1-zone-dmz] add interface GigabitEthernet0/0/1
[FW1-zone-dmz] quit
[FW1]firewall zone untrust
[FW1-zone-untrust] description Untrust
[FW1-zone-untrust] add interface GigabitEthernet0/0/2
[FW1-zone-untrust] quit
```

#创建安全策略规则 local_to

```
[FW1]security-policy
[FW1-policy-security] rule name local_to
[FW1-policy-security-rule-local_to] source-zone local
[FW1-policy-security-rule-local_to] action permit
```

未配置源、目 IP，目的安全域，服务，默认情况下这些参数为 any。

#测试 FW1 与 R1、R2 接口 IP 地址的连通性

```
<FW1>ping -c 1 10.0.11.11
  PING 10.0.11.11: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.11.11: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=40 ms

  --- 10.0.11.11 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 40/40/40 ms

<FW1>ping -c 1 10.0.12.2
  PING 10.0.12.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=27 ms

  --- 10.0.12.2 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
round-trip min/avg/max = 27/27/27 ms
```

步骤 3 配置源 NAT、NAT Server

配置 NAPT 用于私网用户（R1）访问 Internet，配置 NAT Server 将 R1 的 FTP 服务映射到公网。

#配置 NAT 地址池，配置时开启允许端口地址转换，实现公网地址复用

```
[FW1]nat address-group 1
[FW1-address-group-1] mode pat
[FW1-address-group-1] section 0 10.0.12.1 10.0.12.1
[FW1-address-group-1] quit
```

#配置源 NAT 策略，实现私网指定网段访问 Internet 时自动进行源地址转换

```
[FW1]nat-policy
[FW1-policy-nat] rule name 1
[FW1-policy-nat-rule-1] source-zone dmz
[FW1-policy-nat-rule-1] destination-zone untrust
[FW1-policy-nat-rule-1] source-address 10.0.11.0 24
[FW1-policy-nat-rule-1] action source-nat address-group 1
[FW1-policy-nat-rule-1] quit
```

#配置 NAT Server 功能，创建静态映射，映射 R1 的 FTP 服务

```
[FW1]nat server policy_ftp protocol tcp global 10.0.12.1 ftp inside 10.0.11.11 ftp
```

#开启 FTP 协议的 NAT ALG 功能

```
[FW1]firewall zone dmz
[FW1-zone-dmz] detect ftp
[FW1-zone-dmz] quit
[FW1]firewall interzone dmz untrust
[FW1-interzone-dmz-untrust] detect ftp
[FW1-interzone-dmz-untrust] quit
```

步骤 4 配置 DMZ、Untrust 区域之间的安全策略规则

配置安全策略 DMZtoUntrust，源地址限制为 10.0.11.0/24，动作为允许；配置安全策略 Untrust_DMZ，只允许 R2 访问 R1 提供的 FTP 服务。

#创建安全策略规则 DMZtoUntrust

```
[FW1]security-policy
[FW1-policy-security] rule name DMZtoUntrust
[FW1-policy-security-rule-DMZtoUntrust] source-zone dmz
[FW1-policy-security-rule-DMZtoUntrust] destination-zone untrust
[FW1-policy-security-rule-DMZtoUntrust] source-address 10.0.11.0 24
[FW1-policy-security-rule-DMZtoUntrust] action permit
```

#创建安全策略规则 Untrust_DMZ

```
[FW1]security-policy
[FW1-policy-security-rule] rule name Untrust_DMZ
[FW1-policy-security-rule-Untrust_DMZ] source-zone untrust
[FW1-policy-security-rule-Untrust_DMZ] destination-zone dmz
[FW1-policy-security-rule-Untrust_DMZ] destination-address 10.0.11.11 24
[FW1-policy-security-rule-Untrust_DMZ] service ftp
[FW1-policy-security-rule-Untrust_DMZ] action permit
```

注意目的 IP 地址为映射的内部地址，安全策略对报文的处理在 NAT Server 修改报文的目的 IP 地址之后。

步骤 5 查看 FW1 会话

在 R1 上 ping R2，查看 FW1 会话的详细信息。

#测试 R1 访问 R2

```
<R1>ping -c 100 10.0.12.2
  PING 10.0.12.2: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.12.2: bytes=56 Sequence=1 ttl=254 time=60 ms
    Reply from 10.0.12.2: bytes=56 Sequence=2 ttl=254 time=60 ms
```

R1 能够经过 FW1 正常访问 R2，此时在 FW1 上查看相关会话的详细信息。

#查看 FW1 会话

```
<FW1>display firewall session table verbose destination global 10.0.12.2
2020-07-01 10:00:22.100
 Current Total Sessions : 1
 icmp  VPN: public --> public  ID: c487f0653c0805017ce5efc5e84
 Zone: dmz --> untrust  TTL: 00:00:20  Left: 00:00:20
 Recv Interface: GigabitEthernet0/0/1
 Interface: GigabitEthernet0/0/2  NextHop: 10.0.12.2  MAC: 5489-98c8-4a33
 <--packets: 80 bytes: 6,720 --> packets: 80 bytes: 6,720
 10.0.11.11:52651[10.0.12.1:2048] --> 10.0.12.2:2048 PolicyName: DMZtoUntrust
```

查看目的 global IP 为 10.0.12.2 的会话详细信息，在输出信息中可以看到该会话的安全域方向：从 dmz 到 untrust，该会话的老化时间（TTL）为 20s，接收到报文的接口为 GigabitEthernet0/0/1，发送报文的接口为 GigabitEthernet0/0/2，一共存在 80 个匹配中该会话的报文，一共 6270Byte。可以看到该会话匹配的安全策略规则名称为：DMZtoUntrust。

同时从会话中我们可以看到该报文进行了源地址转换，源 IP10.0.11.11 转换为了 10.0.12.1（FW1 的 GE0/0/2 接口地址）。

步骤 6 观察 NAT ALG 工作过程

在 R1 上开启 FTP 服务，R2 作为 FTP 客户端通过 FW1 映射出的地址登录 R1 的 FTP 服务，并执行命令 **dir** 查看文件列表，观察 FW1 的 ASPF 如何处理多通道协议。

#R1 上开启 FTP 服务

```
[R1]aaa
[R1-aaa] local-user ftp service-type ftp
[R1-aaa] local-user ftp password cipher ftp@123
[R1-aaa] local-user ftp privilege level 15
[R1-aaa] local-user ftp ftp-directory flash:
[R1-aaa] quit
[R1] ftp server permit interface all
[R1] ftp server enable
```

#R2 访问 R1 开启的 FTP 服务，注意是通过 FW1 上映射的地址进行访问

```
<R2>ftp 10.0.12.1
Trying 10.0.12.1 ...
Press CTRL+K to abort
Connected to 10.0.12.1.
220 FTP service ready.
User(10.0.12.1:(none)):ftp
331 Password required for ftp.
Enter password:
230 User logged in.
```

R2 可以成功通过 FW1 的 NAT Server 映射访问 R1 开启的 FTP 服务。

#查看 FW1 的会话表

```
<FW1>display firewall session table verbose protocol tcp destination-port global 21
2020-07-01 10:08:32.300
 Current Total Sessions : 1
 ftp  VPN: public --> public  ID: c487f0653c081382bee5efc6046
 Zone: untrust --> dmz  TTL: 00:20:00  Left: 00:19:54
 Recv Interface: GigabitEthernet1/0/2
 Interface: GigabitEthernet1/0/1  NextHop: 10.0.11.11  MAC: 5489-98d9-4e30
 <--packets: 11 bytes: 558 --> packets: 14 bytes: 598
 10.0.12.2:64505 +-> 10.0.12.1:21[10.0.11.11:21] PolicyName: Untrust_DMZ
 TCP State: established
```

可以看到 FTP 的控制通道已经建立。

#在 R2 上执行命令 **dir**

```
[ftp]dir
200 Port command okay.
150 Opening ASCII mode data connection for *.
drwxrwxrwx  1 noone  nogroup  0 Aug 07  2015 src
drwxrwxrwx  1 noone  nogroup  0 Jun 07 16:46 pmdata
drwxrwxrwx  1 noone  nogroup  0 Jun 07 16:46 dhcp
-rwxrwxrwx  1 noone  nogroup  603 Jun 07 18:12 private-data.txt
drwxrwxrwx  1 noone  nogroup  0 Jun 07 17:01 mplstpoam
-rwxrwxrwx  1 noone  nogroup  482 Jun 07 17:51 vrpcfg.zip
226 Transfer complete.
```

能够看到 R1 的文件列表，此时已经使用了 FTP 的传输通道。

#再次查看 FW1 的会话表

```
<FW1>display firewall session table
2020-07-01 10:14:10.310
 Current Total Sessions : 1
 ftp  VPN: public --> public  10.0.12.2:64505 +-> 10.0.12.1:21[10.0.11.11:21]
```

依旧只存在 FTP 控制通道会话，并无传输通道会话。

#查看 NAT ALG 生成的 Server-map 表项

```
<FW1>display firewall server-map
2020-07-01 10:15:24.830
 Current Total Server-map : 2
 Type: Nat Server,  ANY -> 10.0.12.1:21[10.0.11.11:21],  Zone:---,  protocol:tcp
 Vpn: public -> public
 Type: Nat Server Reverse,  10.0.11.11[10.0.12.1] -> ANY,  Zone:---,  protocol:tcp
 Vpn: public -> public,  counter: 1
```

FW1 上已经生成了 FTP 数据通道的 Server-map 表项。

注意在查看之前需要在 R2 上执行 **dir** 触发传输通道的流量。

7.1.3 思考题

在防火墙上放通 local 安全域到其他区域的目的是什么?

7.1.4 配置参考

R1 设备配置

```
#
sysname R1
#
FTP server enable
#
aaa
 authentication-scheme default
 authorization-scheme default
 accounting-scheme default
 domain default
 domain default_admin
 local-user ftp password cipher iA7kS$rR@T=H)H2[EInBK@O#
 local-user ftp privilege level 15
 local-user ftp ftp-directory flash:
 local-user ftp service-type ftp
 local-user admin password cipher BJB3#A}[;JZypQCee$t3@bJ#
 local-user admin service-type http
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 ip address 10.0.11.11 255.255.255.0
#
ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 10.0.11.1
```

```
#
return
```

R2 设备配置

```
#
sysname R2
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0
#
return
```

S1 设备配置

```
#
sysname S1
#
vlan batch 10 20
#
vlan 10
 description DMZ
vlan 20
description Untrust
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 port link-type access
 port default vlan 10
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 port link-type access
 port default vlan 20
#
interface GigabitEthernet0/0/14
 port link-type access
 port default vlan 10
#
interface GigabitEthernet0/0/15
 port link-type access
 port default vlan 20
#
return
```

FW1 设备配置

```
#
sysname FW1
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 undo shutdown
 ip address 10.0.11.1 255.255.255.0
 service-manage ping permit
#
interface GigabitEthernet0/0/2
```

```
 undo shutdown
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0
 service-manage ping permit
#
firewall zone local
 set priority 100
#
firewall zone untrust
 description Untrust
 set priority 5
 add interface GigabitEthernet0/0/2
#
firewall zone dmz
 description DMZ
 set priority 50
 add interface GigabitEthernet0/0/1
 detect ftp
#
firewall interzone dmz untrust
 detect ftp
#
ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 10.0.12.2
#
 nat server policy_ftp protocol tcp global 10.0.12.1 ftp inside 10.0.11.11 ftp
#
nat address-group 1 0
 mode pat
 route enable
 section 0 10.0.12.1 10.0.12.1
#
security-policy
 rule name local_to
  source-zone local
  action permit
 rule name DMZtoUntrust
  source-zone dmz
  destination-zone untrust
  source-address 10.0.11.0 mask 255.255.255.0
  action permit
 rule name Untrust_DMZ
  source-zone untrust
  destination-zone dmz
  destination-address 10.0.11.11 mask 255.255.255.255
  service ftp
  action permit
#
nat-policy
 rule name 1
  source-zone dmz
  destination-zone untrust
  source-address 10.0.11.0 mask 255.255.255.0
  action source-nat address-group 1
#
Return
```

8 VRRP 实验

8.1 VRRP 基础配置

8.1.1 实验介绍

8.1.1.1 学习目标

- 实现 VRRP 的部署

- 实现 VRRP 与 MSTP 的协同工作
- 实现 BFD 与 VRRP 的联动配置

8.1.1.2 实验组网介绍

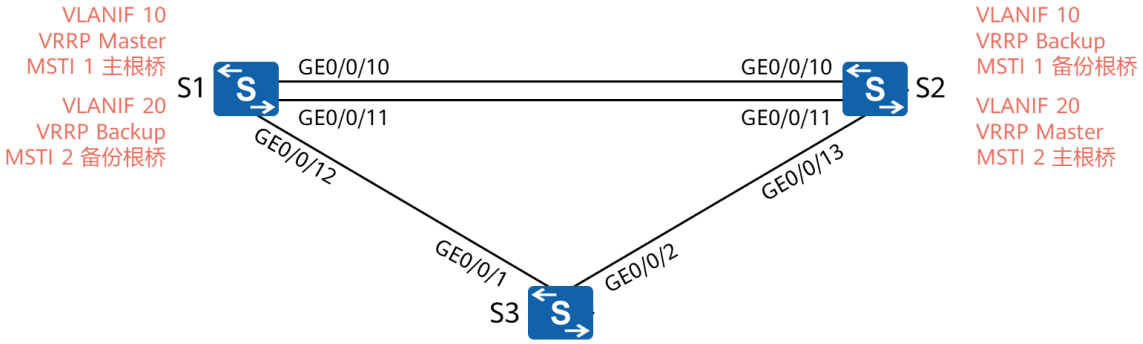


图8-1 VRRP 基础配置

设备连接方式如图所示，网络中存在 VLAN10、20，每个 VLAN 中部署一组 VRRP，使用与 VLAN ID 相同的数值作为 VRID，将 S1 配置为 VLAN10 的 VRRP Master，将 S2 配置为 VLAN20 的 VRRP Master。

同时在 S1、S2、S3 上部署 MSTP，创建 Instance 1、2，将 VLAN10 映射到 MSTI 1、VLAN20 映射到 MSTI 2，将 S1 配置为 MSTI 1 的主根桥、MSTI 2 的备份根桥，而将 S2 配置为 MSTI 1 的备份根桥、MSTI 2 的主根桥。

VLANIF 接口地址使用 10.0.x.y/24，其中 x 为 VRID 组号，y 为设备编号，VRIP 使用 10.0.x.254/24。

8.1.1.3 实验背景

为了实现网关冗余，作为网络管理员的你在两台汇聚交换机上部署了 VRRP，同时为了实现终端用户上行数据流量的负载分担，需要在每个 VLAN 中各部署一组 VRRP。为了防止环路，在交换网络中部署 MSTP，利用 MSTP 的负载分担结合 VRRP 进行协同工作。

8.1.2 实验任务

8.1.2.1 任务思路

1. 所有交换机上创建 VLAN，配置 MSTP，手动指定 S1 为 MSTI 1 的根桥、MSTI 2 的备份根桥，指定 S2 为 MSTI 1 的备份根桥、MSTI 2 的根桥。
2. 在 S1、S2 上创建 VLANIF10、20，部署 VRRP 组 10、20，手动调整 VRRP 优先级，使得 S1 成为 VRRP 组 10 的 Master 设备、S2 成为 VRRP 组 20 的 Master 设备。
3. 部署单跳检测的 BFD，检测 S1、S2 VLANIF 之间连通性，与 VRRP 进行联动，实现 VRRP 的快速切换。

8.1.2.2 任务步骤

步骤 1　MSTP 基础配置

在所有交换机上创建 VLAN10、20，配置 MSTP 域 hcip，并创建两个新的实例：Instance 1、Instance 2，将 VLAN10 映射到 Instance 1，将 VLAN20 映射到 Instance 2，同时将 SW1 规划为 MSTI1 的主根桥、MSTI2 的备份根桥，将 SW2 规划为 MSTI2 的主根桥、MSTI1 的备份根桥。

#设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#创建 VLAN

```
[S1]vlan batch 10 20

[S2]vlan batch 10 20

[S3]vlan batch 10 20
```

#将所有互联接口配置为 Trunk 接口，放通对应 VLAN

略

#修改 STP 模式为 MSTP

```
[S1]stp mode mstp

[S2]stp mode mstp

[S3]stp mode mstp
```

#配置 MSTP

```
[S1]stp region-configuration
[S1-mst-region] region-name hcip
[S1-mst-region] revision-level 1
[S1-mst-region] instance 1 vlan 10
[S1-mst-region] instance 2 vlan 20
[S1-mst-region] active region-configuration
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S1-mst-region] quit

[S2]stp region-configuration
[S2-mst-region] region-name hcip
[S2-mst-region] revision-level 1
[S2-mst-region] instance 1 vlan 10
[S2-mst-region] instance 2 vlan 20
[S2-mst-region] active region-configuration
```

```
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S2-mst-region] quit

[S3]stp region-configuration
[S3-mst-region] region-name hcip
[S3-mst-region] revision-level 1
[S3-mst-region] instance 1 vlan 10
[S3-mst-region] instance 2 vlan 20
[S3-mst-region] active region-configuration
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S3-mst-region] quit
```

#在 S1 检查 MSTP 实例和 VLAN 的映射关系

```
[S1]display stp region-configuration
 Oper configuration
    Format selector       :0
    Region name           :hcip
    Revision level        :1

    Instance     VLANs Mapped
        0        1 to 9, 11 to 19, 21 to 29, 31 to 39, 41 to 49, 51 to 59, 61 to
                 69, 71 to 79, 81 to 4094
        1        10,
        2        20
```

#配置 SW1 为 MSTI1 的根桥、MSTI2 的备份根桥

```
[S1]stp instance 1 root primary
[S1]stp instance 2 root secondary
```

#配置 SW2 为 MSTI2 的根桥、MSTI1 的备份根桥

```
[S2]stp instance 1 root secondary
[S2]stp instance 2 root primary
```

#在 S1 上查看 MSTI1 的状态和统计信息摘要

```
[S1]display stp instance 1 brief
 MSTID   Port                        Role  STP State             Protection
   1     GigabitEthernet0/0/10         DESI  FORWARDING          NONE
   1     GigabitEthernet0/0/11         DESI  FORWARDING          NONE
   1     GigabitEthernet0/0/12         DESI  FORWARDING          NONE
```

S1 上所有接口都是指定接口，S1 为 MSTI1 的根桥。

#在 S2 上查看 MSTI2 的状态和统计信息摘要

```
[S2]display stp instance 2 brief
 MSTID   Port                        Role  STP State             Protection
   2     GigabitEthernet0/0/10         DESI  FORWARDING          NONE
   2     GigabitEthernet0/0/11         DESI  FORWARDING          NONE
   2     GigabitEthernet0/0/13         DESI  FORWARDING          NONE
```

S2 上所有接口都是指定接口，S2 为 MSTI1 的根桥。

步骤 2 VRRP 基础配置

在 S1、S2 均创建 VLANIF 10、20，分别加入 VRRP 组 10、20，手动配置 VRRP 优先级，使得 S1 的 VLAN10 成为 VRRP Master、S2 的 VLAN20 成为 VRRP Master。

#创建 VLANIF

```
[S1]interface Vlanif10
[S1-Vlanif10] ip address 10.0.10.1 255.255.255.0
[S1-Vlanif10] quit
[S1]interface Vlanif20
[S1-Vlanif20] ip address 10.0.20.1 255.255.255.0
[S1-Vlanif20] quit

[S2]interface Vlanif10
[S2-Vlanif10] ip address 10.0.10.2 255.255.255.0
[S2-Vlanif10] quit
[S2]interface Vlanif20
[S2-Vlanif20] ip address 10.0.20.2 255.255.255.0
[S2-Vlanif20] quit
```

#S1 上配置 VRRP

```
[S1]interface Vlanif 10
[S1-Vlanif10] vrrp vrid 10 virtual-ip 10.0.10.254
[S1-Vlanif10] vrrp vrid 10 priority 120
[S1-Vlanif10] quit
[S1]interface Vlanif 20
[S1-Vlanif20] vrrp vrid 20 virtual-ip 10.0.20.254
[S1-Vlanif20] quit
```

配置 VLAN10 的 VRRP 优先级为 120，VLAN20 保持默认的 100。

#S2 上配置 VRRP

```
[S2]interface Vlanif10
[S2-Vlanif10] vrrp vrid 10 virtual-ip 10.0.10.254
[S2-Vlanif10] quit
[S2]interface Vlanif20
[S2-Vlanif20] vrrp vrid 20 virtual-ip 10.0.20.254
[S2-Vlanif20] vrrp vrid 20 priority 120
[S2-Vlanif20] quit
```

配置 VLAN20 的 VRRP 优先级为 120，VLAN10 保持默认的 100。

#查看 VRRP 组状态

```
<S1>display  vrrp brief
VRID  State          Interface                      Type       Virtual  IP
------------------------------------------------------------------------------
```

```
10      Master          Vlanif10                    Normal   10.0.10.254
20      Backup          Vlanif20                    Normal   10.0.20.254
------------------------------------------------------------------------
Total:2       Master:1       Backup:1       Non-active:0

[S2]display vrrp brief
VRID  State          Interface                   Type       Virtual  IP
------------------------------------------------------------------------
10      Backup          Vlanif10                    Normal   10.0.10.254
20      Master          Vlanif20                    Normal   10.0.20.254
------------------------------------------------------------------------
Total:2       Master:1       Backup:1       Non-active:0
```

VRRP 组状态与配置预期结果一致。

步骤 3 配置 VRRP 与 BFD 联动进行快速切换

在 S1、S2 上配置 BFD 单跳检测，检测 VLANIF 接口之间的连通性，将 VRRP 与 BFD 联动，当 BFD 会话状态 Down 时，增加 VRRP Backup 设备的优先级。

#在 S1 上配置 BFD 会话

```
[S1]bfd
[S1-bfd] quit
[S1]bfd vlanif10 bind peer-ip 10.0.10.2 interface Vlanif10
[S1-bfd-session-vlanif10] discriminator local 1
[S1-bfd-session-vlanif10] discriminator remote 2
[S1-bfd-session-vlanif10] min-tx-interval 100
[S1-bfd-session-vlanif10] min-rx-interval 100
[S1-bfd-session-vlanif10] commit
[S1-bfd-session-vlanif10] quit
[S1]bfd vlanif20 bind peer-ip 10.0.20.2 interface Vlanif20
[S1-bfd-session-vlanif20] discriminator local 11
[S1-bfd-session-vlanif20] discriminator remote 22
[S1-bfd-session-vlanif20] min-tx-interval 100
[S1-bfd-session-vlanif20] min-rx-interval 100
[S1-bfd-session-vlanif20] commit
[S1-bfd-session-vlanif20] quit
```

#在 S2 上配置 BFD 会话

```
[S2]bfd
[S2-bfd] quit
[S2]bfd vlanif10 bind peer-ip 10.0.10.1 interface Vlanif10
[S2-bfd-session-vlanif10] discriminator local 2
[S2-bfd-session-vlanif10] discriminator remote 1
[S2-bfd-session-vlanif10] min-tx-interval 100
[S2-bfd-session-vlanif10] min-rx-interval 100
[S2-bfd-session-vlanif10] commit
[S2-bfd-session-vlanif10] quit
[S2]bfd vlanif20 bind peer-ip 10.0.20.1 interface Vlanif20
[S2-bfd-session-vlanif20] discriminator local 22
[S2-bfd-session-vlanif20] discriminator remote 11
```

```
[S2-bfd-session-vlanif20] min-tx-interval 100
[S2-bfd-session-vlanif20] min-rx-interval 100
[S2-bfd-session-vlanif20] commit
[S2-bfd-session-vlanif20] quit
```

#检查 BFD 会话状态

```
[S1]display bfd session all
--------------------------------------------------------------------------------
Local Remote      PeerIpAddr      State     Type        InterfaceName
--------------------------------------------------------------------------------

1     2           10.0.10.2       Up        S_IP_IF     Vlanif10
11    22          10.0.20.2       Up        S_IP_IF     Vlanif20
--------------------------------------------------------------------------------
      Total UP/DOWN Session Number : 2/0

[S2]display bfd session all
--------------------------------------------------------------------------------
Local Remote      PeerIpAddr      State     Type        InterfaceName
--------------------------------------------------------------------------------

2     1           10.0.10.1       Up        S_IP_IF     Vlanif10
22    11          10.0.20.1       Up        S_IP_IF     Vlanif20
--------------------------------------------------------------------------------
      Total UP/DOWN Session Number : 2/0
```

此时 S1、S2 上 BFD 会话状态都为 Up。

#配置 VRRP 与 BFD 联动

```
[S1]interface Vlanif20
[S1-Vlanif20] vrrp vrid 20 track bfd-session 11 increased 30
[S1-Vlanif20] quit

[S2]interface Vlanif10
[S2-Vlanif10] vrrp vrid 10 track bfd-session 2 increased 30
[S2-Vlanif10] quit
```

注意，此处的 bfd-session 号为本地的 BFD discriminator，只需要在 Backup 状态的接口上配置联动，BFD 会话 Down 时增加本地的 VRRP 优先级。

#关闭 S1 上所有接口，模拟链路故障

```
[S1]interface GigabitEthernet0/0/10
[S1-GigabitEthernet0/0/10] shutdown
[S1-GigabitEthernet0/0/10] quit
[S1]interface GigabitEthernet0/0/11
[S1-GigabitEthernet0/0/11] shutdown
[S1-GigabitEthernet0/0/11] quit
[S1]interface GigabitEthernet0/0/12
[S1-GigabitEthernet0/0/12] shutdown
[S1-GigabitEthernet0/0/12] quit
```

#在 S2 上查看 BFD 会话状态

```
<S2>display bfd session all
```

```
--------------------------------------------------------------------------------
Local Remote      PeerIpAddr      State     Type          InterfaceName
--------------------------------------------------------------------------------

2     1           10.0.10.1       Down      S_IP_IF       Vlanif10
22    11          10.0.20.1       Down      S_IP_IF       Vlanif20
--------------------------------------------------------------------------------
      Total UP/DOWN Session Number : 0/2
```

此时两个 BFD 会话状态立马变为 Down。

#在 S2 上查看 VRRP 组状态

```
<S2>display vrrp brief
VRID  State        Interface                Type       Virtual IP
------------------------------------------------------------------
10    Master       Vlanif10                 Normal     10.0.10.254
20    Master       Vlanif20                 Normal     10.0.20.254
------------------------------------------------------------------
Total:2       Master:2       Backup:0       Non-active:0
```

VRRP 组 10、20 的 Master 此时都是 S2。

#在 S2 上查看 VRRP 组的状态和配置参数信息

```
[S2]display vrrp
  Vlanif10 | Virtual Router 10
    State : Master
    Virtual IP : 10.0.10.254
    Master IP : 10.0.10.2
    PriorityRun : 130
    PriorityConfig : 100
    MasterPriority : 130
    Preempt : YES     Delay Time : 0 s
    TimerRun : 1 s
    TimerConfig : 1 s
    Auth type : NONE
    Virtual MAC : 0000-5e00-010a
    Check TTL : YES
    Config type : normal-vrrp
    Track BFD : 2    Priority increased : 30
    BFD-session state : DOWN
    Create time : 2020-06-05 11:01:54 UTC-08:00
    Last change time : 2020-06-05 11:31:15 UTC-08:00

  Vlanif20 | Virtual Router 20
    State : Master
    Virtual IP : 10.0.20.254
    Master IP : 10.0.20.2
    PriorityRun : 120
    PriorityConfig : 120
    MasterPriority : 120
    Preempt : YES     Delay Time : 0 s
    TimerRun : 1 s
    TimerConfig : 1 s
```

```
    Auth type : NONE
    Virtual MAC : 0000-5e00-0114
    Check TTL : YES
    Config type : normal-vrrp
    Create time : 2020-06-05 11:01:54 UTC-08:00
    Last change time : 2020-06-05 11:01:55 UTC-08:00
```

VRRP 组 10 的优先级此时为 130，BFD 会话状态为 Down，BFD 将 VRRP 组 10 的优先级提升了 30。

8.1.3 思考题

在什么情况下，设备发送的 VRRP 报文中优先级为 255?

8.1.4 配置参考

S1 设备配置

```
#
sysname S1
#
vlan batch 10 20
#
stp instance 1 root primary
stp instance 2 root secondary
#
stp region-configuration
 region-name hcip
 revision-level 1
 instance 1 vlan 10
 instance 2 vlan 20
 active region-configuration
#
bfd
#
interface Vlanif10
 ip address 10.0.10.1 255.255.255.0
 vrrp vrid 10 virtual-ip 10.0.10.254
 vrrp vrid 10 priority 120
#
interface Vlanif20
 ip address 10.0.20.1 255.255.255.0
 vrrp vrid 20 virtual-ip 10.0.20.254
 vrrp vrid 20 track bfd-session 11 increased 30
#
interface GigabitEthernet0/0/10
 shutdown
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20
#
interface GigabitEthernet0/0/11
 shutdown
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20
```

```
#
interface GigabitEthernet0/0/12
 shutdown
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20
#
bfd vlanif10 bind peer-ip 10.0.10.2 interface Vlanif10
 discriminator local 1
 discriminator remote 2
 min-tx-interval 100
 min-rx-interval 100
 commit
#
bfd vlanif20 bind peer-ip 10.0.20.2 interface Vlanif20
 discriminator local 11
 discriminator remote 22
 min-tx-interval 100
 min-rx-interval 100
 commit
#
return
```

S2 设备配置

```
#
sysname S2
#
vlan batch 10 20
#
stp instance 1 root secondary
stp instance 2 root primary
#
stp region-configuration
 region-name hcip
 revision-level 1
 instance 1 vlan 10
 instance 2 vlan 20
 active region-configuration
#
bfd
#
interface Vlanif10
 ip address 10.0.10.2 255.255.255.0
 vrrp vrid 10 virtual-ip 10.0.10.254
 vrrp vrid 10 track bfd-session 2 increased 30
#
interface Vlanif20
 ip address 10.0.20.2 255.255.255.0
 vrrp vrid 20 virtual-ip 10.0.20.254
 vrrp vrid 20 priority 120
#
interface GigabitEthernet0/0/10
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20
#
```

```
interface GigabitEthernet0/0/11
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20
#
interface GigabitEthernet0/0/13
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20
#
bfd vlanif10 bind peer-ip 10.0.10.1 interface Vlanif10
 discriminator local 2
 discriminator remote 1
 min-tx-interval 100
 min-rx-interval 100
 commit
#
bfd vlanif20 bind peer-ip 10.0.20.1 interface Vlanif20
 discriminator local 22
 discriminator remote 11
 min-tx-interval 100
 min-rx-interval 100
 commit
#
return
```

S3 设备配置

```
#
sysname S3
#
vlan batch 10 20
#
stp region-configuration
 region-name hcip
 revision-level 1
 instance 1 vlan 10
 instance 2 vlan 20
 active region-configuration
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20
#
return
```

9 DHCP 实验

9.1 DHCP Relay 配置

9.1.1 实验介绍

9.1.1.1 学习目标

- 实现部署 DHCP Relay 让终端动态获取 IP 地址
- 实现 DHCP 静态地址绑定配置
- 分析 DHCP Relay 的 debug 信息

9.1.1.2 实验组网介绍

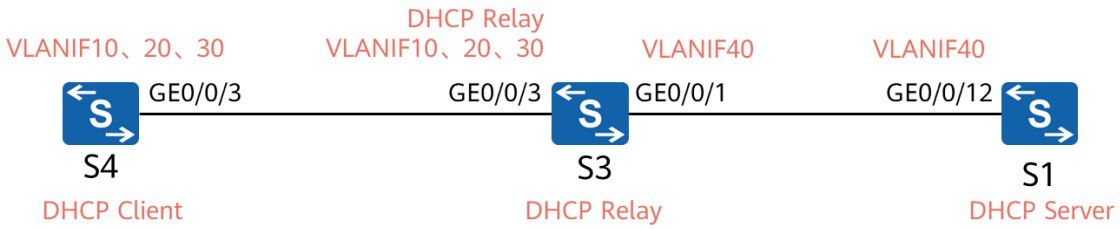


图9-1 DHCP Relay 配置

S4 上创建 VLANIF10、20、30 模拟 DHCP Client，S3 作为 DHCP Relay 设备，S1 作为 DHCP Server，在 S1 上创建全局地址池为 S4 的三个 VLANIF 分配地址。

S3、S4 之间的接口配置为 Trunk 模式，放通 VLAN10、20、30，S1、S3 之间的接口配置为 Access 模式，PVID 设置为 40。

9.1.1.3 实验背景

你是公司的网络管理员，由于公司网络主机数量较多，使用静态地址分配难以管理，因此需要架设 DHCP Server。

核心交换机 S1 做 DHCP Server，S4 为 DHCP Client，S3 作为各个网段的网关，由于 DHCP Discover 是广播报文不能穿越路由器，因此部署 DHCP Relay 将请求报文从 S3 发送到 S1。

同时针对特殊的 Client，如服务器、打印机等，要求 DHCP 分配固定的 IP 地址。

9.1.2 实验任务

9.1.2.1 任务思路

1. 在每台交换机上创建 VLAN，配置接口为对应的模式，放通相应的 VLAN。
2. 配置 DHCP Server，创建地址池为终端分配地址，同时创建静态分配地址。
3. 配置 DHCP Relay 设备，在接口下配置 DHCP Relay 所代理的 DHCP Server IP 地址。
4. 在 DHCP Client 上开启通过 DHCP 获取地址。
5. 通过 debug 观察 DHCP Relay 设备中继 DHCP 报文的过程。

9.1.2.2 任务步骤

步骤 1 基础配置

在三台交换机上创建相应的 VLAN、VLANIF，配置接口放通对应的 VLAN。VLANIF 地址为 10.0.x.y/24，其中 x 为 VLAN ID，y 为设备编号，S4 上的 VLANIF 暂不需要配置地址。

#创建 VLAN

```
[S1]vlan 40

[S3]vlan batch 10 20 30 40

[S4]vlan batch 10 20 30
```

#配置接口放通相应的 VLAN

```
[S4]interface GigabitEthernet0/0/3
[S4-GigabitEthernet0/0/3] port link-type trunk
[S4-GigabitEthernet0/0/3] port trunk allow-pass vlan 10 20 30
[S4-GigabitEthernet0/0/3] quit

[S3]interface GigabitEthernet0/0/1
[S3-GigabitEthernet0/0/1] port link-type access
[S3-GigabitEthernet0/0/1] port default vlan 40
[S3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[S3]interface GigabitEthernet0/0/3
[S3-GigabitEthernet0/0/3] port link-type trunk
[S3-GigabitEthernet0/0/3] port trunk allow-pass vlan 10 20 30
[S3-GigabitEthernet0/0/3] quit

[S1]interface GigabitEthernet0/0/12
[S1-GigabitEthernet0/0/12] port link-type access
[S1-GigabitEthernet0/0/12] port default vlan 40
[S1-GigabitEthernet0/0/12] quit
```

#VLANIF 配置

```
[S4]interface Vlanif 10
[S4-Vlanif10] quit
```

```
[S4]interface Vlanif 20
[S4-Vlanif20] quit
[S4]interface Vlanif 30
[S4-Vlanif30] quit

[S3]interface Vlanif 10
[S3-Vlanif10] ip address 10.0.10.3 24
[S3-Vlanif10] quit
[S3]interface Vlanif 20
[S3-Vlanif20] ip address 10.0.20.3 24
[S3-Vlanif20] quit
[S3]interface Vlanif 30
[S3-Vlanif30] ip address 10.0.30.3 24
[S3-Vlanif30] quit
[S3]interface Vlanif 40
[S3-Vlanif40] ip address 10.0.40.3 24
[S3-Vlanif40] quit

[S1]interface Vlanif 40
[S1-Vlanif40] ip address 10.0.40.1 24
[S1-Vlanif40] quit
```

#检查 S1、S3 之间的 VLANIF40 接口连通性

```
[S1]ping -c 1 10.0.40.3
  PING 10.0.40.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.40.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=60 ms

  --- 10.0.40.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 60/60/60 ms
```

DHCP Server 与 DHCP Relay 之间能够正常通信。

步骤 2 DHCP Server 配置

开启 DHCP 服务，配置全局地址池，同时为 S4 上的 VLANIF30 分配静态 IP 地址。

#开启 DHCP 服务

```
[S1]dhcp enable
```

#创建地址池 VLAN10，用于给 S4 的 VLANIF10 分配地址

```
[S1]ip pool vlan10
[S1-ip-pool-vlan10] gateway-list 10.0.10.3
[S1-ip-pool-vlan10] network 10.0.10.0 mask 255.255.255.0
[S1-ip-pool-vlan10] dns-list 10.0.10.3
[S1-ip-pool-vlan10] quit
```

#创建地址池 VLAN20，用于给 S4 的 VLANIF20 分配地址

```
[S1]ip pool vlan20
[S1-ip-pool-vlan20] gateway-list 10.0.20.3
[S1-ip-pool-vlan20] network 10.0.20.0 mask 255.255.255.0
[S1-ip-pool-vlan20] dns-list 10.0.20.3
[S1-ip-pool-vlan20] quit
```

#创建地址池 VLAN30，用于给 S4 的 VLANIF30 分配地址

```
[S1]ip pool vlan30
[S1-ip-pool-vlan30] gateway-list 10.0.30.3
[S1-ip-pool-vlan30] network 10.0.30.0 mask 255.255.255.0
[S1-ip-pool-vlan30] dns-list 10.0.30.3
[S1-ip-pool-vlan30] quit
```

#查看 S4 的 VLANIF30 的接口 MAC 地址

```
[S4]display interface Vlanif 30
Vlanif30 current state : UP
Line protocol current state : DOWN
Description:
Route Port,The Maximum Transmit Unit is 1500
Internet protocol processing : disabled
IP Sending Frames' Format is PKTFMT_ETHNT_2, Hardware address is 4c1f-cc49-4c7c
Current system time: 2020-06-05 16:51:20-08:00
      Input bandwidth utilization   : --
      Output bandwidth utilization : --
```

实际 MAC 地址以实验环境设备为准。

#在 S1 上为 S4 的 VLANIF30 配置静态地址分配

```
[S1]ip pool vlan30
[S1-ip-pool-vlan30] static-bind ip-address 10.0.30.2 mac-address 4c1f-cc49-4c7c
```

为其分配固定 IP 地址 10.0.30.2。

#在 VLANIF40 接口下使能 DHCP Server

```
[S1]interface Vlanif 40
[S1-Vlanif40] dhcp select global
```

#查看 IP 地址池配置情况

```
[S1]display ip pool name vlan10
  Pool-name         : vlan10
  Pool-No           : 0
  Lease             : 1 Days 0 Hours 0 Minutes
  Domain-name       : -
  DNS-server0       : 10.0.10.3
  NBNS-server0      : -
  Netbios-type      : -
  Position          : Local              Status              : Unlocked
```

```
  Gateway-0        : 10.0.10.3
  Mask             : 255.255.255.0
  VPN instance     : --
--------------------------------------------------------------------------------
          Start              End       Total   Used   Idle(Expired)   Conflict   Disable
--------------------------------------------------------------------------------
       10.0.10.1       10.0.10.254     253       0          253(0)          0          0
--------------------------------------------------------------------------------

[S1]display ip pool name vlan20
  Pool-name        : vlan20
  Pool-No          : 1
  Lease            : 1 Days 0 Hours 0 Minutes
  Domain-name      : -
  DNS-server0      : 10.0.20.3
  NBNS-server0     : -
  Netbios-type     : -
  Position         : Local             Status           : Unlocked
  Gateway-0        : 10.0.20.3
  Mask             : 255.255.255.0
  VPN instance     : --
--------------------------------------------------------------------------------
          Start              End       Total   Used   Idle(Expired)   Conflict   Disable
--------------------------------------------------------------------------------
       10.0.20.1       10.0.20.254     253       0          253(0)          0          0
--------------------------------------------------------------------------------

[S1]display ip pool name vlan30
  Pool-name        : vlan30
  Pool-No          : 2
  Lease            : 1 Days 0 Hours 0 Minutes
  Domain-name      : -
  DNS-server0      : 10.0.30.3
  NBNS-server0     : -
  Netbios-type     : -
  Position         : Local             Status           : Unlocked
  Gateway-0        : 10.0.30.3
  Mask             : 255.255.255.0
  VPN instance     : --
--------------------------------------------------------------------------------
          Start              End       Total   Used   Idle(Expired)   Conflict   Disable
--------------------------------------------------------------------------------
       10.0.30.1       10.0.30.254     253       1          252(0)          0          0
--------------------------------------------------------------------------------
```

地址池 vlan30 已经存在一个“Used”地址，该地址为静态分配的地址。

#配置前往用户网段的路由

```
[S1]ip route-static 10.0.10.0 24 10.0.40.3
[S1]ip route-static 10.0.20.0 24 10.0.40.3
[S1]ip route-static 10.0.30.0 24 10.0.40.3
```

DHCP Relay 设备接收到 DHCP Client 的 DHCP 报文之后，使用接口 IP 地址中继客户端的 DHCP 报文，因此需要保证接口 IP 与 DHCP Server 之间的连通性。

#检查 DHCP Server 与 DHCP Relay 接口之间的连通性

```
<S1>ping -c 1 10.0.10.3
  PING 10.0.10.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.10.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=50 ms

  --- 10.0.10.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 50/50/50 ms

<S1>ping -c 1 10.0.20.3
  PING 10.0.20.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.20.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=40 ms

  --- 10.0.20.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 40/40/40 ms

<S1>ping -c 1 10.0.30.3
  PING 10.0.30.3: 56  data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.0.30.3: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=30 ms

  --- 10.0.30.3 ping statistics ---
    1 packet(s) transmitted
    1 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 30/30/30 ms
```

步骤 3 DHCP Relay 配置

在 S3 上完成 DHCP Relay 相关配置

#开启 DHCP 服务

```
[S3]dhcp enable
```

#在接口上配置 DHCP Relay，指定 DHCP Server

```
[S3]interface Vlanif10
[S3-Vlanif10] dhcp select relay
[S3-Vlanif10] dhcp relay server-ip 10.0.40.1
[S3-Vlanif10] quit
[S3]interface Vlanif20
[S3-Vlanif20] dhcp select relay
[S3-Vlanif20] dhcp relay server-ip 10.0.40.1
[S3-Vlanif20] quit
[S3]interface Vlanif30
[S3-Vlanif30] dhcp select relay
```

```
[S3-Vlanif30] dhcp relay server-ip 10.0.40.1
[S3-Vlanif30] quit
```

#检查 DHCP Relay 配置结果

```
[S3]display dhcp relay all
 DHCP relay agent running information of interface Vlanif10 :
 Server IP address [01] : 10.0.40.1
 Gateway address in use : 10.0.10.3

 DHCP relay agent running information of interface Vlanif20 :
 Server IP address [01] : 10.0.40.1
 Gateway address in use : 10.0.20.3

 DHCP relay agent running information of interface Vlanif30 :
 Server IP address [01] : 10.0.40.1
 Gateway address in use : 10.0.30.3
```

步骤 4 DHCP Client 配置

在 S4 上配置 VLANIF10、20、30 接口通过 DHCP 获取 IP 地址

#开启 DHCP 服务

```
[S4]dhcp enable
```

#开启接口通过 DHCP 获取地址

```
[S4]interface Vlanif10
[S4-Vlanif10] ip address dhcp-alloc
[S4-Vlanif10] quit
[S4]interface Vlanif20
[S4-Vlanif20] ip address dhcp-alloc
[S4-Vlanif20] quit
[S4]interface Vlanif30
[S4-Vlanif30] ip address dhcp-alloc
[S4-Vlanif30] quit
```

#查看各个接口 IP 地址获取情况

```
<S4>display interface Vlanif 10
Vlanif10 current state : UP
Line protocol current state : UP
Last line protocol up time : 2020-06-05 17:37:57 UTC-08:00
Description:
Route Port,The Maximum Transmit Unit is 1500
Internet Address is allocated by DHCP, 10.0.10.254/24

[S4]display interface Vlanif 20
Vlanif20 current state : UP
Line protocol current state : UP
```

```
Last line protocol up time : 2020-06-05 17:41:23 UTC-08:00
Description:
Route Port,The Maximum Transmit Unit is 1500
Internet Address is allocated by DHCP, 10.0.20.254/24

[S4]display interface Vlanif 30
Vlanif30 current state : UP
Line protocol current state : UP
Last line protocol up time : 2020-06-05 17:43:22 UTC-08:00
Description:
Route Port,The Maximum Transmit Unit is 1500
Internet Address is allocated by DHCP, 10.0.30.2/24
```

接口已经通过 DHCP 获取到 IP 地址，并且 VLANIF30 的地址为静态分配的地址：10.0.30.2。

步骤 5 观察 DHCP Relay 过程

在 S3 上开启 **debugging dhcp relay info**、**debugging dhcp relay packet**，删除 S4 VLANIF30 下 DHCP 获取地址的配置，之后重新配置，观察 debug 输出信息。

#在 S3 上开启 debug

```
<S3>debugging dhcp relay info
<S3>debugging dhcp relay packet
<S3>terminal debugging
Info: Current terminal debugging is on.
<S3>terminal monitor
Info: Current terminal monitor is on.
```

#删除 S4 VLANIF30 接口下配置

```
[S4]interface Vlanif 30
[S4-Vlanif30] undo ip address dhcp-alloc
```

#S3 上 debug 输出信息

```
Jun  5 2020 18:41:41.510.1-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Receives DHCP RELEASE message from interface Vlanif30.
Jun  5 2020 18:41:41.510.2-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:srcip:10.0.30.2 dstip:10.0.40.1 vpnid:0
Jun  5 2020 18:41:41.510.3-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:msgtype:BOOT-REQUEST dhcp msgtype:DHCP RELEASE bflag:uc chaddr:4c1f-cc49-4c7c ciaddr:10.0.30.2 reqip:0.0.0.0 giaddr:0.0.0.0 serverid:10.0.40.1
Jun  5 2020 18:41:41.510.4-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:Select 10.0.30.3 as giaddr.
Jun  5 2020 18:41:41.510.5-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Relay DHCP RELEASE to server 10.0.40.1.
```

S3 从 VLANIF30 收到了 DHCP Release 报文，其源 IP 为 10.0.30.2，目的 IP 为 10.0.40.1，其中 giaddr 字段值为 0.0.0.0，S3 将该字段填充为 10.0.30.3 之后（VLANIF30 接口 IP）发送给了 DHCP Server。

#重新配置 S4 VLANIF30 接口下配置

```
[S4]interface Vlanif 30
[S4-Vlanif30] ip address dhcp-alloc
```

S3 上 debug 输出信息

```
Jun  5 2020 18:38:42.600.1-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Receives DHCP DISCOVER message from interface Vlanif30.
Jun  5 2020 18:38:42.600.2-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:srcip:0.0.0.0 dstip:255.255.255.255 vpnid:0
Jun  5 2020 18:38:42.600.3-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:msgtype:BOOT-REQUEST dhcp msgtype:DHCP DISCOVER bflag:uc chaddr:4c1f-cc49-4c7c ciaddr:0.0.0.0 reqip:0.0.0.0 giaddr:0.0.0.0 serverid:0.0.0.0
Jun  5 2020 18:38:42.600.4-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:Select 10.0.30.3 as giaddr.
Jun  5 2020 18:38:42.600.5-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Relay DHCP DISCOVER to server 10.0.40.1.
```

S3 收到来自 Client 的 DHCP Discover，源 IP 为 0.0.0.0，目的 IP 为 255.255.255.255，S3 填充 giaddr 字段值为 10.0.30.3 之后，将报文单播转发给了 DHCP Server 10.0.40.1，此时报文源 IP 为 10.0.30.3。

```
Jun  5 2020 18:38:42.610.1-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Receives DHCP OFFER message from interface Vlanif40.
Jun  5 2020 18:38:42.610.2-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:srcip:10.0.40.1 dstip:10.0.30.3 vpnid:0
Jun  5 2020 18:38:42.610.3-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:msgtype:BOOT-REPLY dhcp msgtype:DHCP OFFER bflag:uc chaddr:4c1f-cc49-4c7c ciaddr:0.0.0.0 reqip:0.0.0.0 giaddr:10.0.30.3 serverid:10.0.40.1
Jun  5 2020 18:38:42.610.4-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Unicast DHCP OFFER to client. (Chaddr=4c1f-cc49-4c7c, Ciaddr=10.0.30.2)
```

S3 收到来自 DHCP Server 的 DHCP Offer，源 IP 为 10.0.40.1，目的 IP 为 10.0.30.3，其中携带携带了 DHCP Server ID（DHCP Option 54），S3 之后将报文单播发送给 Client。

```
Jun  5 2020 18:38:42.650.1-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Receives DHCP REQUEST message from interface Vlanif30.
Jun  5 2020 18:38:42.650.2-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:srcip:0.0.0.0 dstip:255.255.255.255 vpnid:0
Jun  5 2020 18:38:42.650.3-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:msgtype:BOOT-REQUEST dhcp msgtype:DHCP REQUEST bflag:uc chaddr:4c1f-cc49-4c7c ciaddr:0.0.0.0 reqip:10.0.30.2 giaddr:0.0.0.0 serverid:10.0.40.1
Jun  5 2020 18:38:42.650.4-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:Select 10.0.30.3 as giaddr.
Jun  5 2020 18:38:42.650.5-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Relay DHCP REQUEST to server 10.0.40.1.
```

S3 收到来自 Client 的 DHCP Request，该 Request 为广播报文，S3 随后将报文转成单播发送给 DHCP Server。

```
Jun  5 2020 18:38:42.660.1-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Receives DHCP ACK message from interface Vlanif40.
Jun  5 2020 18:38:42.660.2-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:srcip:10.0.40.1 dstip:10.0.30.3 vpnid:0
```

```
Jun  5 2020 18:38:42.660.3-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-info]:msgtype:BOOT-REPLY dhcp msgtype:DHCP ACK bflag:uc chaddr:4c1f-cc49-4c7c ciaddr:0.0.0.0 reqip:0.0.0.0 giaddr:10.0.30.3 serverid:10.0.40.1
Jun  5 2020 18:38:42.660.4-08:00 S3 DHCP/7/DEBUG:[dhcpr-pkt]:Unicast DHCP ACK to client. (Chaddr=4c1f-cc49-4c7c, Ciaddr=10.0.30.2)
```

S3 收到来自 DHCP Server 的 DHCP ACK，源 IP 为 10.0.40.1，目的 IP 为 10.0.30.3，S3 之后将报文单播发送给 Client，至此整个 DHCP 新获取地址过程结束。

9.1.3 思考题

DHCP Server 收到来自 DHCP Relay 中继的 DHCP 报文之后，如何选择地址池?

9.1.4 配置参考

S1 设备配置

```
#
sysname S1
#
vlan batch 40
#
dhcp enable
#
ip pool vlan10
 gateway-list 10.0.10.3
 network 10.0.10.0 mask 255.255.255.0
 dns-list 10.0.10.3
#
ip pool vlan20
 gateway-list 10.0.20.3
 network 10.0.20.0 mask 255.255.255.0
 dns-list 10.0.20.3
#
ip pool vlan30
 gateway-list 10.0.30.3
 network 10.0.30.0 mask 255.255.255.0
 static-bind ip-address 10.0.30.2 mac-address 4c1f-cc49-4c7c
 dns-list 10.0.30.3
#
interface Vlanif40
 ip address 10.0.40.1 255.255.255.0
 dhcp select global
#
interface GigabitEthernet0/0/12
 port link-type access
 port default vlan 40
#
ip route-static 10.0.10.0 255.255.255.0 10.0.40.3
ip route-static 10.0.20.0 255.255.255.0 10.0.40.3
ip route-static 10.0.30.0 255.255.255.0 10.0.40.3
#
return
```

S3 设备配置

```
#
sysname S3
#
vlan batch 10 20 30 40
#
dhcp enable
#
interface Vlanif10
 ip address 10.0.10.3 255.255.255.0
 dhcp select relay
 dhcp relay server-ip 10.0.40.1
#
interface Vlanif20
 ip address 10.0.20.3 255.255.255.0
 dhcp select relay
 dhcp relay server-ip 10.0.40.1
#
interface Vlanif30
 ip address 10.0.30.3 255.255.255.0
 dhcp select relay
 dhcp relay server-ip 10.0.40.1
#
interface Vlanif40
 ip address 10.0.40.3 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 port link-type access
 port default vlan 40
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30
#
user-interface con 0
user-interface vty 0 4
#
return
```

S4 设备配置

```
#
sysname S4
#
vlan batch 10 20 30
#
dhcp enable
#
interface Vlanif10
 ip address dhcp-alloc
#
interface Vlanif20
 ip address dhcp-alloc
```

```
#
interface Vlanif30
 ip address dhcp-alloc
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 20 30
#
Return
```

10 WLAN 实验

10.1 大型 WLAN 组网 AC 间漫游

10.1.1 实验介绍

10.1.1.1 学习目标

- 实现通过配置漫游组实现 AC 间三层漫游
- 阐明各种 AP 上线的配置方法
- 阐明 WLAN 配置的基本流程

10.1.1.2 实验组网介绍

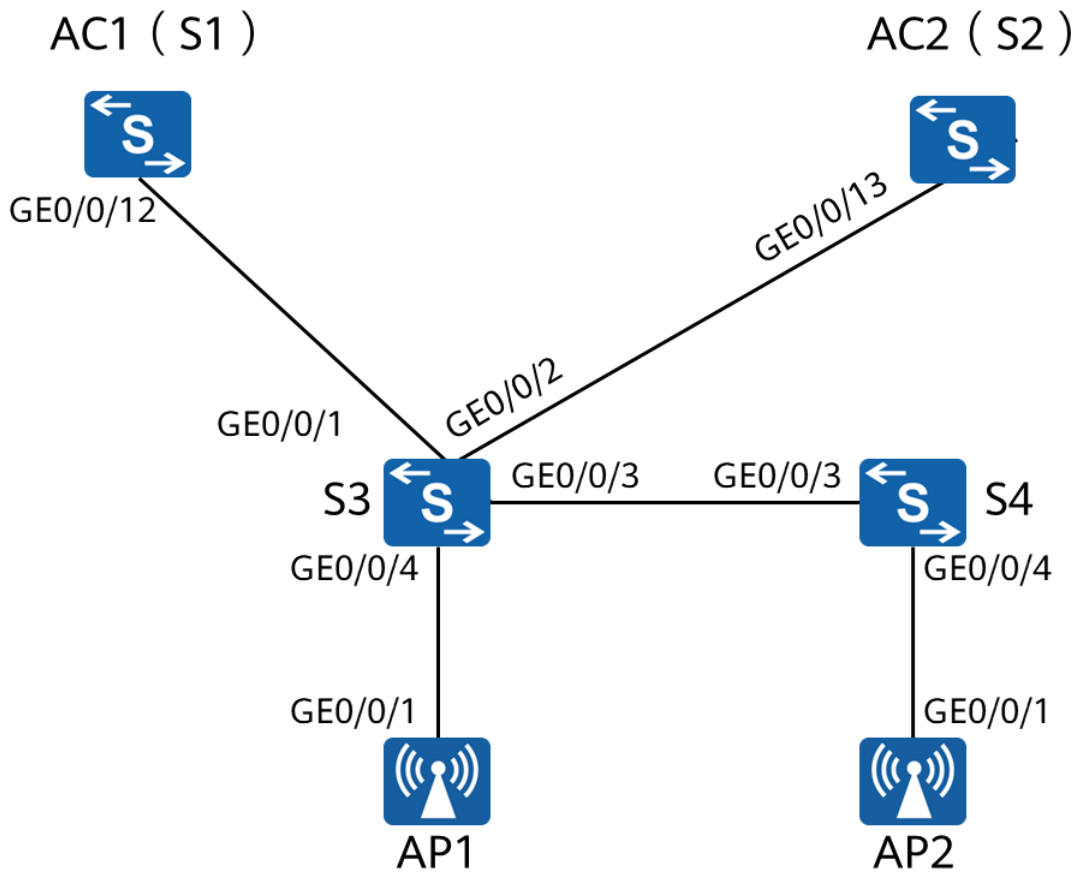


图10-1 WLAN 大型组网 AC 间漫游

设备连接方式如图所示，AP1 被 AC1 纳管，AP2 被 AC2 纳管，所有 AP 都采用直接转发模式。

S4 交换机二层透传 AP2 的管理、业务报文，S3 作为 AP 管理流量、业务流量的网关。

S3 开启 DHCP 服务为 AP1、AP2 分配管理地址、为无线终端分配业务地址，AP 通过 DHCP 报文中的 Option 43 获取 AC 地址。

10.1.1.3 实验背景

为满足扩大的无线终端接入需求，企业内部需新部署一批 AP，之前的 AC1 纳管 AP 数量已经到达了上限，为此需采购一台新的 AC（AC2），负责纳管新部署的 AP。同时为了保证用户的使用体验，需部署 AC 间漫游，使用户在不同 AC 纳管的 AP 覆盖区域之间移动时业务中断时间尽量可能较短。

10.1.1.4 数据规划

配置项	配置参数
AP 管理 VLAN	VLAN10、20

STA 业务 VLAN	VLAN11、21
DHCP 服务器	S3 作为 DHCP 服务器为 AP 分配 IP 地址
	S3 作为 DHCP 服务器为 STA 分配 IP 地址
AP 的 IP 地址池	10.0.10.0/24、10.0.20.0/24
STA 的 IP 地址池	10.0.11.0/24、10.0.21.0/24
AC 的源接口 IP 地址	VLANIF100（10.0.100.254）、VLANIF200（10.0.200.254）
AP 组	名称：ap-group1、ap-group2
	引用模板：VAP 模板 departX
域管理模板	名称：default
	国家码：中国（CN）
SSID 模板	名称：departX
	SSID 名称：roam
安全模板	名称：departX
	安全策略：WPA-WPA2+PSK+AES
	密码：huawei123
VAP 模板	名称：departX
	转发模式：直接转发
	业务 VLAN：VLAN11、21
	引用模板：SSID 模板 departX、安全模板 departX

表10-1 大型 WLAN 组网 AC 间漫游

DepartX 中的 X 代表 AC 编号，即 AC1 上为 depart1、AC2 上为 depart2。

10.1.2 实验任务

10.1.2.1 任务思路

1. 关闭本实验中未使用的接口，开启交换机的 POE 供电功能。
2. 配置有线侧相关功能：S3 作为 AP 管理流量、无线终端业务流量的网关，AC1、AC2 使用 VLANIF 与 S3 的 VLANIF 进行三层通信。
3. 配置 AC1 上的 WLAN 业务，让 AP1 上线。
4. 配置 AC2 上的 WLAN 业务，让 AP2 上线。
5. 在 AC1、AC2 上配置漫游组，实现 AC 间漫游。

10.1.2.2 任务步骤

步骤 1 设备基本配置

设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#开启 S3、S4 连接 AP 接口的 POE 供电功能

```
[S3]interface GigabitEthernet 0/0/4
[S3-GigabitEthernet0/0/4] poe enable

[S4]interface GigabitEthernet 0/0/4
[S4-GigabitEthernet0/0/4] poe enable
```

poe enable命令用来使能接口的PoE功能。当接口检测到接口下有受电（PD）设备时，会通过接口给接口下接的PD设备供电。缺省情况下，接口PoE功能处于使能状态。故此处执行此命令仅为示例，实际环境下可以不执行。

步骤 2 有线侧网络配置

按照规划配置交换机、AC 的有线侧网络配置

#分别在 S3、S4、AC1、AC2 上创建 VLAN，并将接口划分到对应的 VLAN

```
[S3]vlan batch 10 11 20 21 100 200
[S3]interface GigabitEthernet0/0/1
[S3-GigabitEthernet0/0/1] port link-type trunk
[S3-GigabitEthernet0/0/1] port trunk allow-pass vlan 100
[S3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[S3]interface GigabitEthernet0/0/2
[S3-GigabitEthernet0/0/2] port link-type trunk
```

```
[S3-GigabitEthernet0/0/2] port trunk allow-pass vlan 200
[S3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[S3]interface GigabitEthernet0/0/3
[S3-GigabitEthernet0/0/3] port link-type trunk
[S3-GigabitEthernet0/0/3] port trunk allow-pass vlan 20 to 21
[S3-GigabitEthernet0/0/3] quit
[S3]interface GigabitEthernet0/0/4
[S3-GigabitEthernet0/0/4] port link-type trunk
[S3-GigabitEthernet0/0/4] port trunk pvid vlan 10
[S3-GigabitEthernet0/0/4] port trunk allow-pass vlan 10 to 11
[S3-GigabitEthernet0/0/4] quit
```

S3 连接 AP 的接口 PVID 注意设置为 VLAN10，连接 S4 的接口需要放通 AP2 的业务 VLAN、管理 VLAN。

```
[S4]vlan batch 20 21
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S4]interface GigabitEthernet0/0/3
[S4-GigabitEthernet0/0/3] port link-type trunk
[S4-GigabitEthernet0/0/3] port trunk allow-pass vlan 20 to 21
[S4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[S4]interface GigabitEthernet0/0/4
[S4-GigabitEthernet0/0/4] port link-type trunk
[S4-GigabitEthernet0/0/4] port trunk pvid vlan 20
[S4-GigabitEthernet0/0/4] port trunk allow-pass vlan 20 to 21
[S4-GigabitEthernet0/0/4] quit
```

S4 连接 AP 的接口 PVID 注意设置为 VLAN20，上行接口透传管理 VLAN20、业务 VLAN21。

```
[AC1]vlan batch 100
[AC1]interface GigabitEthernet0/0/12
[AC1-GigabitEthernet0/0/12] port link-type trunk
[AC1-GigabitEthernet0/0/12] port trunk allow-pass vlan 100
[AC1-GigabitEthernet0/0/12] quit
```

AC1 使用 VLANIF100 作为 CAPWAP 源接口，接口放通 VLAN100 即可。

```
[AC2]vlan batch 200
[AC2]interface GigabitEthernet0/0/13
[AC2-GigabitEthernet0/0/13] port link-type trunk
[AC2-GigabitEthernet0/0/13] port trunk allow-pass vlan 200
[AC2-GigabitEthernet0/0/13] quit
```

AC2 使用 VLANIF200 作为 CAPWAP 源接口，接口放通 VLAN200 即可。

S3、AC1、AC2 上创建 VLANIF

```
[S3]interface Vlanif10
[S3-Vlanif10] description ap1_mgnt
[S3-Vlanif10] ip address 10.0.10.1 255.255.255.0
[S3-Vlanif10] quit
[S3]interface Vlanif11
[S3-Vlanif11] description ap1_service
[S3-Vlanif11] ip address 10.0.11.1 255.255.255.0
```

```
[S3-Vlanif11] quit
[S3]interface Vlanif20
[S3-Vlanif20] description ap2_mgnt
[S3-Vlanif20] ip address 10.0.20.1 255.255.255.0
[S3-Vlanif20] quit
[S3]interface Vlanif21
[S3-Vlanif21] description ap2_service
[S3-Vlanif21] ip address 10.0.21.1 255.255.255.0
[S3-Vlanif21] quit
[S3]interface Vlanif100
[S3-Vlanif100] description to_AC1
[S3-Vlanif100] ip address 10.0.100.1 255.255.255.0
[S3-Vlanif100] quit
[S3]interface Vlanif200
[S3-Vlanif200] description to_AC2
[S3-Vlanif200] ip address 10.0.200.1 255.255.255.0
[S3-Vlanif200] quit
```

S3 上 VLANIF10、20 分别作为 AP1、AP2 的管理 VLAN 网关，VLANIF11、21 作为 AP1、AP2 下终端的业务 VLAN 的网关，VLANIF100、200 用于和 AC1、AC2 进行三层通信。

```
[AC1]interface Vlanif100
[AC1-Vlanif100] description to_S3_CAPWAP
[AC1-Vlanif100] ip address 10.0.100.254 255.255.255.0
[AC1-Vlanif100] quit
```

AC1 的 VLANIF100 作为 CAPWAP 源接口

```
[AC2]interface Vlanif200
[AC2-Vlanif200] description to_S3_CAPWAP
[AC2-Vlanif200] ip address 10.0.200.254 255.255.255.0
[AC2-Vlanif200] quit
```

AC2 的 VLANIF200 作为 CAPWAP 源接口

#在 AC1、AC2 上配置前往 AP 管理网段的路由

```
[AC1]ip route-static 10.0.10.0 255.255.255.0 10.0.100.1

[AC2]ip route-static 10.0.20.0 255.255.255.0 10.0.200.1
```

为了让 AC 和获取到管理网段地址的 AP 进行正常通信，在 AC 上手动配置静态路由。

#在 S3 上配置 DHCP 服务

```
[S3]dhcp enable
```

开启 DHCP 服务

```
[S3]ip pool ap1
[S3-ip-pool-ap1] gateway-list 10.0.10.1
[S3-ip-pool-ap1] network 10.0.10.0 mask 255.255.255.0
[S3-ip-pool-ap1] option 43 sub-option 3 ascii 10.0.100.254
[S3-ip-pool-ap1] quit
```

```
[S3]ip pool ap2
[S3-ip-pool-ap2] gateway-list 10.0.20.1
[S3-ip-pool-ap2] network 10.0.20.0 mask 255.255.255.0
[S3-ip-pool-ap2] option 43 sub-option 3 ascii 10.0.200.254
[S3-ip-pool-ap2] quit
[S3]ip pool service_a
[S3-ip-pool-service_a] gateway-list 10.0.11.1
[S3-ip-pool-service_a] network 10.0.11.0 mask 255.255.255.0
[S3-ip-pool-service_a] dns-list 10.0.11.1
[S3-ip-pool-service_a] quit
[S3]ip pool service_b
[S3-ip-pool-service_b] gateway-list 10.0.21.1
[S3-ip-pool-service_b] network 10.0.21.0 mask 255.255.255.0
[S3-ip-pool-service_b] dns-list 10.0.21.1
[S3-ip-pool-service_b] quit
```

地址池 ap1、ap2 为 AP 分配管理地址，携带 Option43 指定 AC 地址，地址池 service_a、service_b 分别为 ap1、ap2 的无线终端分配地址，所有地址池的网关都设为 S3 的 VLANIF 接口地址。

```
[S3]interface Vlanif10
[S3-Vlanif10] dhcp select global
[S3-Vlanif10] quit
[S3]interface Vlanif11
[S3-Vlanif11] dhcp select global
[S3-Vlanif11] quit
[S3]interface Vlanif20
[S3-Vlanif20] dhcp select global
[S3-Vlanif20] quit
[S3]interface Vlanif21
[S3-Vlanif21] dhcp select global
[S3-Vlanif21] quit
```

接口下选择全局地址池

步骤 3 配置 AC1

在 AC1 上指定 VLANIF100 为 CAPWAP 源接口，创建 ap-group depart1，采用 MAC 地址认证的方式关联 AP，将 AP 命名为 ap1，关联到 ap-group depart1，配置参数模板关联到 VAP 模板，在 ap-group depart1 中调用 vap-profile depart1。

#指定 CAPWAP 源接口

```
[AC1]capwap source interface vlanif100
```

#创建名为 depart1 的 AP 组

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view] ap-group name depart1
[AC1-wlan-ap-group-depart1] quit
```

#创建域管理模板，在域管理模板下配置 AC 的国家码

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view] regulatory-domain-profile name default
[AC1-wlan-regulate-domain-default] country-code cn
Info: The current country code is same with the input country code.
[AC1-wlan-regulate-domain-default] quit
```

域管理模板提供对 AP 的国家码、调优信道集合和调优带宽等的配置。

缺省情况下，系统上存在名为 default 的域管理模板。故当前进入了默认存在的 default 模板。

国家码用来标识 AP 射频所在的国家，不同国家码规定了不同的 AP 射频特性，包括 AP 的发送功率、支持的信道等。配置国家码是为了使 AP 的射频特性符合不同国家或区域的法律法规要求。缺省情况下，设备的国家码标识为“CN”。

#在 AP 组下引用域管理模板

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view]ap-group name depart1
[AC1-wlan-ap-group- depart1]regulatory-domain-profile default
Warning: Modifying the country code will clear channel, power and antenna gain configurations of the radio and reset the AP. Continue?[Y/N]:y
[AC1-wlan-ap-group- depart1]quit
```

在 AP 组视图下，regulatory-domain-profile 命令用来将指定的域管理模板引用到 AP 或 AP 组。缺省情况下，AP 组下引用名为 default 的域管理模板，AP 下未引用域管理模板。缺省的域管理模板中国家码为中国，2.4G 调优信道包括 1、6、11，5G 调优信道集合包括 149、153、157、161、165 。故这一步和上一步的配置在实际操作时可以省略。

#添加 AP

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view] ap auth-mode mac-auth
[AC1-wlan-view] ap-id 0 ap-mac 00e0-fc6e-2890                    //AP 的 MAC 地址根据实际实验环境修改      [AC1-wlan-ap-0] ap-name ap1
[AC1-wlan-ap-0] ap-group depart1
```

AP 认证支持三种，默认是 MAC 认证，在 AC 上离线导入 AP，根据 AP 背后的 MAC 地址手工添加 AP，将 AP 命名为 ap1，加入到 ap-group depart1。

#配置参数模板

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view] security-profile name depart1
[AC1-wlan-sec-prof-depart1] security wpa2 psk pass-phrase huawei123 aes
[AC1-wlan-sec-prof- depart1] quit
[AC1-wlan-view] ssid-profile name depart1
[AC1-wlan-ssid-prof-depart1] ssid roam
[AC1-wlan-ssid-prof-depart1] quit
[AC1-wlan-view] vap-profile name depart1
[AC1-wlan-vap-prof-depart1] forward-mode direct-forward
[AC1-wlan-vap-prof-depart1] service-vlan vlan-id 11
```

```
[AC1-wlan-vap-prof-depart1] ssid-profile depart1
[AC1-wlan-vap-prof-depart1] security-profile depart1
[AC1-wlan-vap-prof-depart1] quit
[AC1-wlan-view] ap-group name depart1
[AC1-wlan-ap-group-depart1] vap-profile depart1 wlan 1 radio all
[AC1-wlan-ap-group-depart1] quit
```

配置 security-profile depart1，采用 WPA2-PSK 认证，配置预共享密钥为 huawei123。

配置 ssid-profile depart1，设置 SSID 为 roam。

配置 vap-profile，设置转发模式为直接转发，业务 VLAN 设置为 11，调用 ssid-profile depart1、security-profile depart1。

在 ap-group depart1 中调用 vap-profile depart1。

#检查 AP 上线状态

```
<AC1>display ap all
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment.done.
Total AP information:
nor : normal [1]
--------------------------------------------------------------------------------
ID  MAC            Name  Group   IP          Type            State  STA  Uptime
--------------------------------------------------------------------------------
0   00e0-fc6e-2890 ap1   depart1 10.0.10.254 AirEngine5761-11 nor    0    50S
--------------------------------------------------------------------------------
Total: 1
```

在等待一段时间之后查看 AP 的上线状态，状态为“nor”代表成功上线并正常工作，AP 获取到的管理地址为 10.0.10.254，此时并无终端连接。

步骤 4 配置 AC2

在 AC2 上指定 VLANIF200 为 CAPWAP 源接口，创建 ap-group depart2，采用 MAC 地址认证的方式关联 AP，将 AP 命名为 ap2，关联到 ap-group depart2，配置参数模板关联到 VAP 模板，在 ap-group depart2 中调用 vap-profile depart2。

#指定 CAPWAP 源接口

```
[AC2]capwap source interface vlanif200
```

#创建名为 depart2 的 AP 组

```
[AC2]wlan
[AC2-wlan-view] ap-group name depart2
[AC2-wlan-ap-group-depart2] quit
```

#创建域管理模板，在域管理模板下配置 AC 的国家码

```
[AC2]wlan
[AC2-wlan-view] regulatory-domain-profile name default
[AC2-wlan-regulate-domain-default] country-code cn
```

```
Info: The current country code is same with the input country code.
[AC2-wlan-regulate-domain-default] quit
```

#在 AP 组下引用域管理模板

```
[AC2]wlan
[AC2-wlan-view] ap-group name depart2
[AC2-wlan-ap-group- depart2] regulatory-domain-profile default
Warning: Modifying the country code will clear channel, power and antenna gain configurations of the
radio and reset the AP. Continue?[Y/N]:y
[AC2-wlan-ap-group- depart2] quit
```

#添加 AP

```
[AC2]wlan
[AC2-wlan-view] ap auth-mode mac-auth
[AC2-wlan-view] ap-id 0 ap-mac 00e0-fcde-1990                    //AP 的 MAC 地址根据实际实验环境修
改[AC2-wlan-ap-0] ap-name ap2
[AC2-wlan-ap-0] ap-group depart2
```

#配置参数模板

```
[AC2]wlan
[AC2-wlan-view] security-profile name depart2
[AC2-wlan-sec-prof-depart2] security wpa2 psk pass-phrase huawei123 aes
[AC2-wlan-sec-prof- depart2] quit
[AC2-wlan-view] ssid-profile name depart2
[AC2-wlan-ssid-prof-depart2] ssid roam
[AC2-wlan-ssid-prof-depart2] quit
[AC2-wlan-view] vap-profile name depart2
[AC2-wlan-vap-prof-depart2] forward-mode direct-forward
[AC2-wlan-vap-prof-depart2] service-vlan vlan-id 21
[AC2-wlan-vap-prof-depart2] ssid-profile depart2
[AC2-wlan-vap-prof-depart2] security-profile depart2
[AC2-wlan-vap-prof-depart2] quit
[AC2-wlan-view] ap-group name depart2
[AC2-wlan-ap-group-depart2] vap-profile depart2 wlan 1 radio all
[AC2-wlan-ap-group-depart2] quit
```

配置 security-profile depart2，采用 WPA2-PSK 认证，配置预共享密钥为 huawei123。

配置 ssid-profile depart2，设置 SSID 为 roam。

配置 vap-profile，设置转发模式为直接转发，业务 VLAN 设置为 21，调用 ssid-profile depart2、security-profile depart2。

在 ap-group depart2 中调用 vap-profile depart2。

#检查 AP 上线状态

```
<AC2>display ap all
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment.done.
Total AP information:
nor : normal [1]
```

```
--------------------------------------------------------------------------------
ID   MAC              Name   Group   IP              Type              State  STA   Uptime
--------------------------------------------------------------------------------
0    00e0-fcde-1990   ap2    depart2 10.0.20.254     AirEngine5761-11  nor    0     1M:13S
--------------------------------------------------------------------------------
Total: 1
```

在等待一段时间之后查看 AP 的上线状态，状态为“nor”代表成功上线并正常工作，AP 获取到的管理地址为 10.0.20.254，此时并无终端连接。

步骤 5 配置三层漫游

配置静态路由让 AC1、AC2 的 CAPWAP 源接口之间路由可达，在 AC1、AC2 上配置漫游组 mobility，采用不指定漫游组服务器的方式。

#配置静态路由

```
[AC1]ip route-static 10.0.200.0 255.255.255.0 10.0.100.1

[AC2]ip route-static 10.0.100.0 255.255.255.0 10.0.200.1
```

#配置 AC1

```
[AC1]wlan
[AC1 -wlan-view] mobility-group name mobility
[AC1-mc-mg-mobility] member ip-address 10.0.100.254
[AC1-mc-mg-mobility] member ip-address 10.0.200.254
```

在 AC1 上配置漫游组，漫游组名称为 mobility，并添加 AC1 和 AC2 作为漫游组成员。

#配置 AC2

```
[AC2]wlan
[AC2 -wlan-view] mobility-group name mobility
[AC2-mc-mg-mobility] member ip-address 10.0.100.254
[AC2-mc-mg-mobility] member ip-address 10.0.200.254
```

在 AC2 上配置漫游组，漫游组名称为 mobility，并添加 AC1 和 AC2 作为漫游组成员。

#检查漫游组状态

```
[AC1]display mobility-group name mobility
--------------------------------------------------------------------------------
State          IP address                      Description
--------------------------------------------------------------------------------

normal         10.0.100.254                    -
normal         10.0.200.254                    -
--------------------------------------------------------------------------------
Total: 2
```

漫游组成员 AC1、AC2 都为正常状态

#在 AC1 上查看无线终端信息

```
[AC1]display station ssid roam
Rf/WLAN: Radio ID/WLAN ID
Rx/Tx: link receive rate/link transmit rate(Mbps)
--------------------------------------------------------------------------------
STA MAC             AP ID Ap name   Rf/WLAN   Band   Type   Rx/Tx       RSSI   VLAN   IP address
--------------------------------------------------------------------------------
5489-986f-73ad          0       ap1       0/1       2.4G   -        -/-           -      11     10.0.11.254
--------------------------------------------------------------------------------
Total: 1 2.4G: 1 5G: 0
```

STA 在 AP1 的覆盖范围内搜索到 SSID 为“roam”的无线网络，输入密码“huawei123”并正常关联后，在 AC1 上执行命令 **display station ssid roam**，查看 STA 的接入信息，可以看到 STA 关联到了 AP1，STA 的 MAC 地址为“5489-986f-73ad”，之后将 STA 移动到 AP2 的覆盖范围内（此时保证依旧连接 AP1），关闭 AP1（将 AP1 下电），让 STA 漫游连接到 AP2 上。

#查看 AC 间漫游轨迹

```
<AC2>display station roam-track sta-mac 5489-986f-73ad
Access SSID:roam
Rx/Tx: link receive rate/link transmit rate(Mbps)
z: Zero Roam c:PMK Cache Roam r:802.11r Roam
-------------------------------------------------------------------
L2/L3              AC IP                  AP name              Radio ID
BSSID              TIME                   In Rx/Tx   RSSI      Out Rx/Tx   RSSI
-------------------------------------------------------------------
                   10.0.100.254           ap1                  1
00e0-fc6e-2890     2020/06/08 07:27:06    130/130    -44       130/130     -44
L3                 10.0.200.254           ap2                  1
00e0-fcde-1990     2020/06/08 07:27:24    130/6      -42       -/-
-------------------------------------------------------------------
Number of roam track: 1
```

可以看到 MAC 地址为 5489-986f-73ad 的无线终端已经从 AP1 漫游到 AP2，并且此时为 AC 之间漫游。

10.1.3 思考题

AC 间二层漫游与 AC 间三层漫游，在转发上有什么区别?

10.1.4 配置参考

S3 设备配置

```
#
sysname S3
#
vlan batch 10 to 11 20 to 21 100 200
#
```

```
dhcp enable
#
ip pool ap1
 gateway-list 10.0.10.1
 network 10.0.10.0 mask 255.255.255.0
 option 43 sub-option 3 ascii 10.0.100.254
#
ip pool ap2
 gateway-list 10.0.20.1
 network 10.0.20.0 mask 255.255.255.0
 option 43 sub-option 3 ascii 10.0.200.254
#
ip pool service_a
 gateway-list 10.0.11.1
 network 10.0.11.0 mask 255.255.255.0
 dns-list 10.0.11.1
#
ip pool service_b
 gateway-list 10.0.21.1
 network 10.0.21.0 mask 255.255.255.0
 dns-list 10.0.21.1
#
interface Vlanif10
 description ap1_mgnt
 ip address 10.0.10.1 255.255.255.0
 dhcp select global
#
interface Vlanif11
 description ap1_service
 ip address 10.0.11.1 255.255.255.0
 dhcp select global
#
interface Vlanif20
 description ap2_mgnt
 ip address 10.0.20.1 255.255.255.0
 dhcp select global
#
interface Vlanif21
 description ap2_service
 ip address 10.0.21.1 255.255.255.0
 dhcp select global
#
interface Vlanif100
 description to_AC1
 ip address 10.0.100.1 255.255.255.0
#
interface Vlanif200
 description to_AC2
 ip address 10.0.200.1 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 100
#
interface GigabitEthernet0/0/2
```

```
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 200
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 20 to 21
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 port link-type trunk
 port trunk pvid vlan 10
 port trunk allow-pass vlan 10 to 11
#
return
```

S4 设备配置

```
#
sysname S4
#
vlan batch 20 to 21
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 20 to 21
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 port link-type trunk
 port trunk pvid vlan 20
 port trunk allow-pass vlan 20 to 21
#
return
```

AC1 设备配置

```
#
 sysname AC1
#
vlan batch 100
#
interface Vlanif100
 description to_S3_CAPWAP
 ip address 10.0.100.254 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/12
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 100
#
ip route-static 10.0.10.0 255.255.255.0 10.0.100.1
ip route-static 10.0.200.0 255.255.255.0 10.0.100.1
#
capwap source interface vlanif100
#
wlan
```

```
 security-profile name depart1
  security wpa2 psk pass-phrase huawei123 aes
 aes
 ssid-profile name depart1
  ssid roam
 vap-profile name depart1
  service-vlan vlan-id 11
  ssid-profile depart1
  security-profile depart1
 regulatory-domain-profile name default
 mobility-group name mobility
  member ip-address 10.0.100.254
  member ip-address 10.0.200.254
 ap-group name depart1
  radio 0
   vap-profile depart1 wlan 1
  radio 1
   vap-profile depart1 wlan 1
  radio 2
   vap-profile depart1 wlan 1
ap-id 0 type-id 56 ap-mac 00e0-fc6e-2890 ap-sn 210235448310F30CF56D
  ap-name ap1
  ap-group depart1
 provision-ap
#
return
```

AC2 设备配置

```
#
 sysname AC2
#
vlan batch 200
#
interface Vlanif200
 description to_S3_CAPWAP
 ip address 10.0.200.254 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/13
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 200
#
ip route-static 10.0.20.0 255.255.255.0 10.0.200.1
ip route-static 10.0.100.0 255.255.255.0 10.0.200.1
#
capwap source interface vlanif200
#
wlan
 security-profile name depart2
  security wpa-wpa2 psk pass-phrase huawei123 aes
 ssid-profile name default
 ssid-profile name depart2
  ssid roam
 vap-profile name depart2
  service-vlan vlan-id 21
```

```
  ssid-profile depart2
  security-profile depart2
 regulatory-domain-profile name default
 mobility-group name mobility
  member ip-address 10.0.100.254
  member ip-address 10.0.200.254
 ap-group name depart2
  radio 0
   vap-profile depart2 wlan 1
  radio 1
   vap-profile depart2 wlan 1
  radio 2
   vap-profile depart2 wlan 1
 ap-id 0 type-id 56 ap-mac 00e0-fcde-1990 ap-sn 210235448310FA145341
  ap-name ap2
  ap-group depart2
 provision-ap
#
Return
```

10.2 双链路冷备配置

10.2.1 实验介绍

10.2.1.1 学习目标

- 实现双链路冷备的配置
- 实现通过双链路冷备提高 AC 的可靠性
- 阐明双链路冷备的技术原理
- 实现通过 DHCP Option 43 指定主、备 AC 地址

10.2.1.2 实验组网介绍

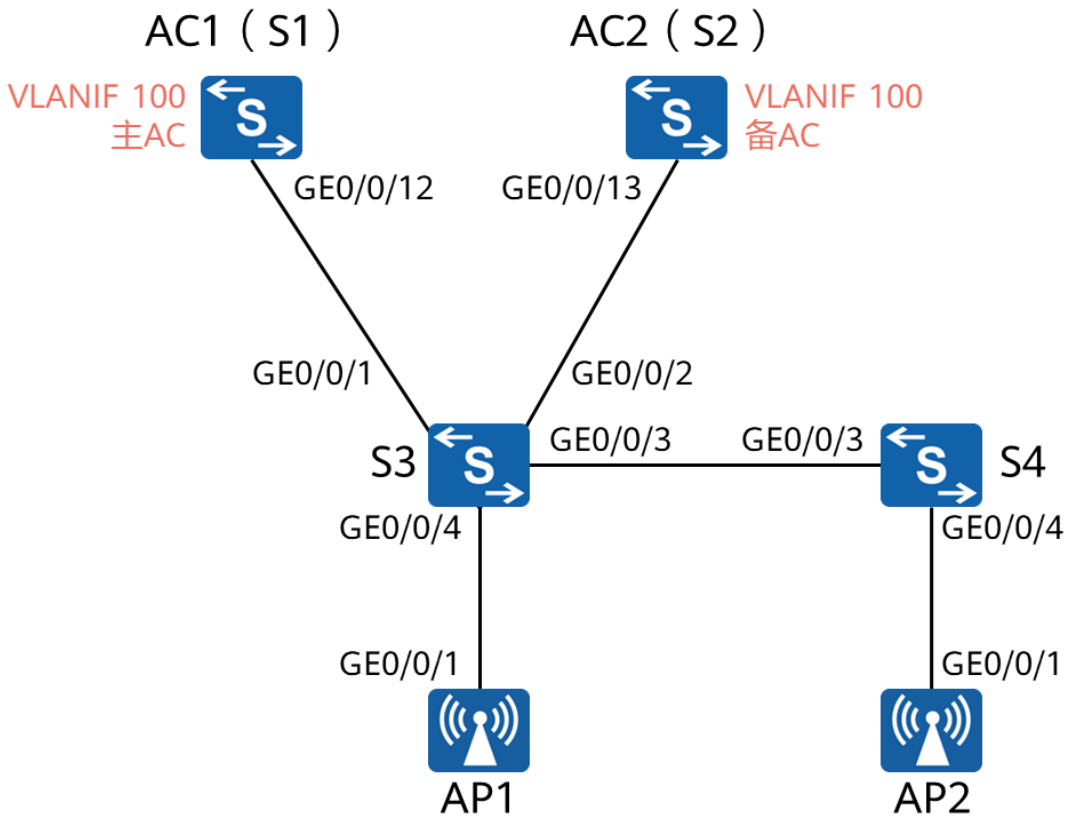


图10-2 双链路冷备配置

设备连接方式如图所示，AC1 为主 AC、AC2 为备 AC，AP 分别与主、备 AC 建立 CAPWAP 隧道，AP 与主、备 AC 之间定期交互 CAPWAP 报文检测链路状态，当 AP 检测到 AP 与主 AC 之间的链路发生故障时，AP 通知备 AC 启动主备倒换，备 AC 升为主 AC 控制 STA 的无线接入功能，提高 WLAN 网络可靠性。

S4 交换机二层透传 AP2 的报文，S3 作为 AP 管理地址、终端业务地址的网关。

S3 开启 DHCP 服务为 AP1、AP2 分配管理地址、为无线终端分配业务地址，AP 通过 DHCP 报文中的 Option 43 获取 AC 地址（AC1、AC2），所有 AP 都采用直接转发模式。

10.2.1.3 实验背景

企业内网无线终端数量越来越多，为了保证无线业务的稳定性，作为网络工程师的你决定新采购一台 AC，部署双链路冷备技术，与原有的 AC 进行主备备份，提高无线业务的可靠性。

10.2.1.4 数据规划

配置项	配置参数
AP 管理 VLAN	VLAN10
STA 业务 VLAN	VLAN11

DHCP 服务器	S3 作为 DHCP 服务器为 AP 分配 IP 地址
	S3 作为 DHCP 服务器为 STA 分配 IP 地址
AP 的 IP 地址池	10.0.10.0/24
STA 的 IP 地址池	10.0.11.0/24
AC 的源接口 IP 地址	10.0.100.1、10.0.100.2
AP 组	名称：depart
	引用模板：VAP 模板 depart
域管理模板	名称：default
	国家码：中国（CN）
SSID 模板	名称：depart
	SSID 名称：LB
安全模板	名称：depart
	安全策略：WPA-WPA2+PSK+AES
	密码：huawei123
VAP 模板	名称：depart
	转发模式：直接转发
	业务 VLAN：VLAN11
	引用模板：SSID 模板 depart、安全模板 depart
双链路冷备	AC1 优先级：0
	AC2 优先级：1

表10-2 双链路冷备数据规划表

10.2.2 实验任务

10.2.2.1 任务思路

1. 关闭本实验中未使用的接口，开启交换机的 POE 供电功能。
2. 配置有线侧相关功能：S3 作为 AP 管理流量、无线终端业务流量的网关，AC1、AC2 使用 VLANIF100 与 S3 的 VLANIF100 进行三层通信，使用 VLANIF100 接口作为 CAPWAP 源接口。
3. 配置 AC1、AC2 上的 WLAN 业务。
4. 配置双链路冷备，配置 AC1 的优先级为 0，AC2 的优先级为 1，使得 AC1 成为主 AC、AC2 成为备 AC。
5. 验证双链路冷备，关闭 AC1 的接口，查看 AC2 上 AP、Station 状态。

10.2.2.2 任务步骤

步骤 1 设备基本配置

设备命名

略

#关闭本实验中未使用的接口

略

#开启 S3、S4 连接 AP 接口的 POE 供电功能

```
[S3]interface GigabitEthernet 0/0/4
[S3-GigabitEthernet0/0/4] poe enable

[S4]interface GigabitEthernet 0/0/4
[S4-GigabitEthernet0/0/4] poe enable
```

poe enable 命令用来使能接口的 PoE 功能。当接口检测到接口下有受电（PD）设备时，会通过接口给接口下接的 PD 设备供电。缺省情况下，接口 PoE 功能处于使能状态。故此处执行此命令仅为示例，实际环境下可以不执行。

步骤 2 有线侧网络配置

按照规划配置交换机、AC 的有线侧网络配置

#分别在 S3、S4、AC1、AC2 上创建 VLAN，并将接口划分到对应的 VLAN

```
[S3]vlan batch 10 11 100
[S3]interface GigabitEthernet0/0/1
[S3-GigabitEthernet0/0/1] port link-type trunk
```

```
[S3-GigabitEthernet0/0/1] port trunk allow-pass vlan 100
[S3-GigabitEthernet0/0/1] quit
[S3]interface GigabitEthernet0/0/2
[S3-GigabitEthernet0/0/2] port link-type trunk
[S3-GigabitEthernet0/0/2] port trunk allow-pass vlan 100
[S3-GigabitEthernet0/0/2] quit
[S3]interface GigabitEthernet0/0/3
[S3-GigabitEthernet0/0/3] port link-type trunk
[S3-GigabitEthernet0/0/3] port trunk allow-pass vlan 10 to 11
[S3-GigabitEthernet0/0/3] quit
[S3]interface GigabitEthernet0/0/4
[S3-GigabitEthernet0/0/4] port link-type trunk
[S3-GigabitEthernet0/0/4] port trunk pvid vlan 10
[S3-GigabitEthernet0/0/4] port trunk allow-pass vlan 10 to 11
[S3-GigabitEthernet0/0/4] quit
```

S3 连接 AP1 的接口 PVID 注意设置为 VLAN10，连接 S4 的接口需要放通业务 VLAN、管理 VLAN，连接 AC 的接口放通 VLAN 100。

```
[S4]vlan batch 10 11
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[S4]interface GigabitEthernet0/0/3
[S4-GigabitEthernet0/0/3] port link-type trunk
[S4-GigabitEthernet0/0/3] port trunk allow-pass vlan 10 to 11
[S4-GigabitEthernet0/0/3] quit
[S4]interface GigabitEthernet0/0/4
[S4-GigabitEthernet0/0/4] port link-type trunk
[S4-GigabitEthernet0/0/4] port trunk pvid vlan 10
[S4-GigabitEthernet0/0/4] port trunk allow-pass vlan 10 to 11
[S4-GigabitEthernet0/0/4] quit
```

S4 连接 AP 的接口 PVID 注意设置为 VLAN10，上行接口透传管理 VLAN10、业务 VLAN11

```
[AC1]vlan batch 100
[AC1]interface GigabitEthernet0/0/12
[AC1-GigabitEthernet0/0/12] port link-type trunk
[AC1-GigabitEthernet0/0/12] port trunk allow-pass vlan 100
[AC1-GigabitEthernet0/0/12] quit
```

接口放通 VLAN100

```
[AC2]vlan batch 100
[AC2]interface GigabitEthernet0/0/13
[AC2-GigabitEthernet0/0/13] port link-type trunk
[AC2-GigabitEthernet0/0/13] port trunk allow-pass vlan 100
[AC2-GigabitEthernet0/0/13] quit
```

接口放通 VLAN100

S3、AC1、AC2 上创建 VLANIF

```
[S3]interface Vlanif10
[S3-Vlanif10] description ap_mgnt
[S3-Vlanif10] ip address 10.0.10.1 255.255.255.0
```

```
[S3-Vlanif10] quit
[S3]interface Vlanif11
[S3-Vlanif11] description ap_service
[S3-Vlanif11] ip address 10.0.11.1 255.255.255.0
[S3-Vlanif11] quit
[S3]interface Vlanif100
[S3-Vlanif100] description to_AC
[S3-Vlanif100] ip address 10.0.100.3 255.255.255.0
[S3-Vlanif100] quit
```

S3 上 VLANIF10 作为 AP1、AP2 的管理 VLAN 网关，VLANIF11 作为 AP1、AP2 下终端业务 VLAN 的网关，VLANIF100 用于和 AC1、AC2 进行三层通信。

```
[AC1]interface Vlanif100
[AC1-Vlanif100] description to_S3_CAPWAP
[AC1-Vlanif100] ip address 10.0.100.1 255.255.255.0
[AC1-Vlanif100] quit
[AC1] capwap source interface vlanif100
```

AC1 的 VLANIF100 作为 CAPWAP 源接口

```
[AC2]interface Vlanif100
[AC2-Vlanif100] description to_S3_CAPWAP
[AC2-Vlanif100] ip address 10.0.100.2 255.255.255.0
[AC2-Vlanif100] quit
[AC2] capwap source interface vlanif100
```

AC2 的 VLANIF100 作为 CAPWAP 源接口

#在 AC1、AC2 上配置前往 AP 管理网段的路由

```
[AC1]ip route-static 10.0.10.0 255.255.255.0 10.0.100.3

[AC2]ip route-static 10.0.10.0 255.255.255.0 10.0.100.3
```

为了让 AC 和获取到管理网段地址的 AP 进行 CAPWAP 通信，在 AC 上手动配置静态路由。

#在 S3 上配置 DHCP 服务

```
[S3]dhcp enable
```

开启 DHCP 服务

```
[S3]ip pool ap
[S3-ip-pool-ap] gateway-list 10.0.10.1
[S3-ip-pool-ap] network 10.0.10.0 mask 255.255.255.0
[S3-ip-pool-ap] option 43 sub-option 2 ip-address 10.0.100.1 10.0.100.2
[S3-ip-pool-ap] quit
[S3]ip pool service
[S3-ip-pool-service] gateway-list 10.0.11.1
[S3-ip-pool-service] network 10.0.11.0 mask 255.255.255.0
[S3-ip-pool-service] dns-list 10.0.11.1
[S3-ip-pool-service] quit
```

地址池 ap 为 AP 分配管理地址，携带 Option43 指定 AC 地址，注意采用 sub-option 2 同时指定主 AC、备 AC 地址。

地址池 service 为 ap1、ap2 的无线终端分配地址，所有地址池的网关都设为 S3 的 VLANIF 接口地址。

```
[S3]interface Vlanif10
[S3-Vlanif10] dhcp select global
[S3-Vlanif10] quit
[S3]interface Vlanif11
[S3-Vlanif11] dhcp select global
[S3-Vlanif11] quit
```

接口下选择全局地址池

步骤 3 配置 AC

创建 ap-group depart，采用 MAC 地址认证的方式关联 AP，将 AP 命名为 ap1、ap2，关联到 ap-group depart，配置参数模板关联到 VAP 模板。

AC1、AC2 上 WLAN 相关配置一致，此处以 AC1 为例，不再展示 AC2 的配置。

#创建名为 depart 的 AP 组

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view] ap-group name depart
[AC1-wlan-ap-group-depart] quit
```

#创建域管理模板，在域管理模板下配置 AC 的国家码

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view] regulatory-domain-profile name default
[AC1-wlan-regulate-domain-default] country-code cn
Info: The current country code is same with the input country code.
[AC1-wlan-regulate-domain-default] quit
```

域管理模板提供对 AP 的国家码、调优信道集合和调优带宽等的配置。

缺省情况下，系统上存在名为 default 的域管理模板。故当前进入了默认存在的 default 模板。

国家码用来标识 AP 射频所在的国家，不同国家码规定了不同的 AP 射频特性，包括 AP 的发送功率、支持的信道等。配置国家码是为了使 AP 的射频特性符合不同国家或区域的法律法规要求。缺省情况下，设备的国家码标识为“CN”。

#在 AP 组下引用域管理模板

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view]ap-group name depart
[AC1-wlan-ap-group- depart]regulatory-domain-profile default
Warning: Modifying the country code will clear channel, power and antenna gain configurations of the
radio and reset the AP. Continue?[Y/N]:y
```

```
[AC1-wlan-ap-group- depart]quit
```

在 AP 组视图下，regulatory-domain-profile 命令用来将指定的域管理模板引用到 AP 或 AP 组。缺省情况下，AP 组下引用名为 default 的域管理模板，AP 下未引用域管理模板。缺省的域管理模板中国家码为中国，2.4G 调优信道包括 1、6、11，5G 调优信道集合包括 149、153、157、161、165 。故这一步和上一步的配置在实际操作时可以省略。

#添加 AP

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view] ap auth-mode mac-auth
[AC1-wlan-view] ap-id 0 ap-mac 00e0-fc6e-2890              //AP 的 MAC 地址根据实际实验环境修改
[AC1-wlan-ap-0] ap-name ap1
[AC1-wlan-ap-0] ap-group depart
[AC1-wlan-ap-0] quit
[AC1-wlan-view] ap-id 1 ap-mac 00e0-fcde-1990              //AP 的 MAC 地址根据实际实验环境修改
[AC1-wlan-ap-1] ap-name ap2
[AC1-wlan-ap-1] ap-group depart
[AC1-wlan-ap-1] quit
```

AP 认证支持三种，默认是 MAC 认证，在 AC 上离线导入 AP，根据 AP 背后的 MAC 地址手工添加 AP，将 AP 命名为 ap1、ap2，加入到 ap-group depart。

#配置参数模板

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view] security-profile name depart
[AC1-wlan-sec-prof-depart] security wpa2 psk pass-phrase huawei123 aes
[AC1-wlan-sec-prof- depart] quit
[AC1-wlan-view] ssid-profile name depart
[AC1-wlan-ssid-prof-depart] ssid LB
[AC1-wlan-ssid-prof-depart] quit
[AC1-wlan-view] vap-profile name depart
[AC1-wlan-vap-prof-depart] forward-mode direct-forward
[AC1-wlan-vap-prof-depart] service-vlan vlan-id 11
[AC1-wlan-vap-prof-depart] ssid-profile depart
[AC1-wlan-vap-prof-depart] security-profile depart
[AC1-wlan-vap-prof-depart] quit
[AC1-wlan-view] ap-group name depart
[AC1-wlan-ap-group-depart] vap-profile depart wlan 1 radio all
[AC1-wlan-ap-group-depart] quit
```

配置 security-profile depart，采用 WPA2-PSK 认证，配置预共享密钥为 huawei123。

配置 ssid-profile depart，设置 SSID 为 LB。

配置 vap-profile，设置转发模式为直接转发，业务 VLAN 设置为 11，调用 ssid-profile depart、security-profile depart。

在 ap-group depart 中调用 vap-profile depart。

步骤 4 配置双链路冷备份

在主、备 AC 上为 AP 指定对方 AC 的 IP 地址，指定 AC1 的优先级为 0，AC2 的优先级为 1，使得 AC1 成为主 AC、AC2 成为备 AC。

#配置 AC1

```
[AC1]wlan
[AC1-wlan-view]ac protect protect-ac 10.0.100.2 priority 0
Warning: Operation successful. It will take effect after AP reset.
[AC1-wlan-view]undo ac protect restore disable
Info: Protect restore has already enabled.
[AC1-wlan-view]ac protect enable
Warning: This operation maybe cause AP reset, continue?[Y/N]:y
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment.done.
Info: Capwap echo interval has changed to default value 25, capwap echo times to 3.
```

缺省情况下，双链路备份功能未使能，执行命令 ac protect enable 会提示重启所有 AP。AP 重启后，双链路备份功能开始生效。

#配置 AC2

```
[AC2]wlan
[AC2-wlan-view]ac protect protect-ac 10.0.100.1 priority 1
Warning: Operation successful. It will take effect after AP reset.
[AC2-wlan-view]undo ac protect restore disable
Info: Protect restore has already enabled.
[AC2-wlan-view]ac protect enable
Warning: This operation maybe cause AP reset, continue?[Y/N]:y
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment.done.
Info: Capwap echo interval has changed to default value 25, capwap echo times to 3.
```

缺省情况下，双链路备份功能未使能，执行命令 ac protect enable 会提示重启所有 AP。AP 重启后，双链路备份功能开始生效。

步骤 5 结果验证

#在 AC1 上执行命令 **display ac protect**，查看 AC 上双链路信息和优先级

```
<AC1>display ac protect
------------------------------------------------------------
Protect state                : enable
Protect AC                    : 10.0.100.2
Priority                     : 0
Protect restore              : enable
Coldbackup kickoff station: disable
------------------------------------------------------------
```

对端为 10.0.100.2，本端优先级为 0。

#在 AC2 上执行命令 **display ac protect**，查看 AC 上双链路信息和优先级

```
<AC2>display ac protect
------------------------------------------------------------
Protect state                : enable
```

```
Protect AC                    : 10.0.100.1
Priority                      : 1
Protect restore               : enable
Coldbackup kickoff station: disable
--------------------------------------------------------------
```

对端为 10.0.100.1，本端优先级为 1。

#在 AC1、AC2 上检查 AP 上线状态

```
<AC1>display ap all
Info: This operation maytakea few seconds. Please waitfor a moment.done.
Total AP information:
nor : normal [2]
-------------------------------------------------------------------------------------
ID MAC Name Group IP Type State STA Uptime
-------------------------------------------------------------------------------------
0 00e0-fc6e-2890 ap1 depart 10.0.10.254 AirEngine5761-11 nor 0 12M:27S
1 00e0-fcde-1990 ap2 depart 10.0.10.253 AirEngine5761-11 nor 0 12M:29S
-------------------------------------------------------------------------------------
Total: 2

<AC2>disap all
Info: This operation maytakea few seconds. Please waitfor a moment.done.
Total AP information:
stdby: standby [2]
-------------------------------------------------------------------------------------
ID MAC Name Group IP Type State STA Uptime
-------------------------------------------------------------------------------------
0 00e0-fc6e-2890 ap1 depart 10.0.10.254 AirEngine5761-11 stdby 0 -
1 00e0-fcde-1990 ap2 depart 10.0.10.253 AirEngine5761-11 stdby 0 -
-------------------------------------------------------------------------------------
Total: 2
```

此时在 AC1 上 AP 的状态为 normal，而在 AC2 上为 standby，AP 分别与 AC1、AC2 建立了 CAPWAP 隧道。

#无线终端搜索 SSID 标识为“LB”的 WLAN 网络并上线，在 AC1、AC2 上查看 station 信息

```
<AC1>display station all
Rf/WLAN: Radio ID/WLAN ID
Rx/Tx: link receive rate/link transmit rate(Mbps)
-------------------------------------------------------------------------------------------
STA MAC AP ID Ap name Rf/WLAN Band Type Rx/Tx RSSI VLAN IP address
SSID
-------------------------------------------------------------------------------------------
5489-986f-73ad 0 ap1 0/1 2.4G - -/- - 11 10.0.11.254
LB
-------------------------------------------------------------------------------------------
Total: 1 2.4G: 1 5G: 0

<AC2>display station all
Rf/WLAN: Radio ID/WLAN ID
Rx/Tx: link receive rate/link transmit rate(Mbps)
-------------------------------------------------------------------------------------------
```

```
STA MAC          AP ID Ap name   Rf/WLAN   Band   Type   Rx/Tx       RSSI   VLAN   IP address   SSID
-------------------------------------------------------------------------------------------------
-------------------------------------------------------------------------------------------------
```

此时只有 AC1 上存在终端信息

#关闭 AC1 的接口，模拟 AC 故障

```
[AC1]interface GigabitEthernet 0/0/12
[AC1-GigabitEthernet0/0/12] shutdown
```

#等待 75s 之后在 AC2 上查看 AP 上线状态

```
<AC2>display ap all
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment.done.
Total AP information:
nor   : normal              [2]
-------------------------------------------------------------------------------
ID    MAC                Name Group   IP             Type                State STA Uptime
-------------------------------------------------------------------------------
0     00e0-fc6e-2890     ap1  depart  10.0.10.253    AirEngine5761-11    nor   0   2S
1     00e0-fcde-1990     ap2  depart  10.0.10.254    AirEngine5761-11    nor   0   2S
-------------------------------------------------------------------------------
Total: 2
```

CAPWAP 心跳检测的时间为 25s，3 次超时未回应判断对端故障，因此需要至少 75s 之后在备 AC 上才能看到 AP 状态变化。

AC2 上 AP 的状态从“standby”切换为了“normal”，但是此时并无终端上线。缺省情况下，对于认证方式为开放系统认证的 STA，当 AC 的主备状态切换时，STA 的连接不会被断开，不需要重新上线；对于其他认证方式的 STA，当 AC 的主备状态切换时，STA 的连接会被断开，需要重新上线。

此时需要在终端上重新连接无线网络“LB”。

#在 AC2 上查看终端信息

```
<AC2>display station all
Rf/WLAN: Radio ID/WLAN ID
Rx/Tx: link receive rate/link transmit rate(Mbps)
-------------------------------------------------------------------------------------------------
STA MAC            AP ID Ap name   Rf/WLAN   Band   Type   Rx/Tx       RSSI   VLAN IP address
SSID
-------------------------------------------------------------------------------------------------
5489-986f-73ad     0     ap1       0/1       2.4G   -      -/-         -      11   10.0.11.254
LB
-------------------------------------------------------------------------------------------------
Total: 1 2.4G: 1 5G: 0
```

此时 AC2 上可以看到无线终端

10.2.3 思考题

使用双链路冷备份的方式，AP 与 AC 之间建立的 CAPWAP 控制通道存在几条?

10.2.4 配置参考

S3 设备配置

```
#
sysname S3
#
vlan batch 10 to 11 100
#
dhcp enable
#
ip pool ap
 gateway-list 10.0.10.1
 network 10.0.10.0 mask 255.255.255.0
 option 43 sub-option 3 ascii 10.0.100.254
#
ip pool service
 gateway-list 10.0.11.1
 network 10.0.11.0 mask 255.255.255.0
 dns-list 10.0.11.1
#
interface Vlanif10
 description ap_mgnt
 ip address 10.0.10.1 255.255.255.0
 dhcp select global
#
interface Vlanif11
 description ap_service
 ip address 10.0.11.1 255.255.255.0
 dhcp select global
#
interface Vlanif100
 description to_AC
 ip address 10.0.100.3 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/1
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 100
#
interface GigabitEthernet0/0/2
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 100
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 to 11
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 port link-type trunk
 port trunk pvid vlan 10
 port trunk allow-pass vlan 10 to 11
```

```
#
return
```

S4 设备配置

```
#
sysname S4
#
vlan batch 10 to 11
#
#
interface GigabitEthernet0/0/3
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 10 to 11
#
interface GigabitEthernet0/0/4
 port link-type trunk
 port trunk pvid vlan 10
 port trunk allow-pass vlan 10 to 11
#
return
```

AC1 设备配置

```
#
 sysname AC1
#
vlan batch 100
#
interface Vlanif100
 description to_S3_CAPWAP
 ip address 10.0.100.1 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/12
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 100
#
ip route-static 10.0.10.0 255.255.255.0 10.0.100.3
#
capwap source interface vlanif100
#
wlan
 ac protect enable protect-ac 10.0.100.2
 traffic-profile name default
 security-profile name depart
  security wpa2 psk pass-phrase huawei123 aes
 ssid-profile name depart
  ssid LB
 vap-profile name depart
  service-vlan vlan-id 11
  ssid-profile depart
  security-profile depart
 regulatory-domain-profile name default
 ap-group name depart
  radio 0
```

```
    vap-profile depart wlan 1
  radio 1
    vap-profile depart wlan 1
  radio 2
    vap-profile depart wlan 1
 ap-group name default
 ap-group name ap-group1
 ap-id 0 type-id 56 ap-mac 00e0-fc6e-2890 ap-sn 210235448310F30CF56D
  ap-name ap1
  ap-group depart
 ap-id 1 type-id 56 ap-mac 00e0-fcde-1990 ap-sn 210235448310FA145341
  ap-name ap2
  ap-group depart
 provision-ap
#
Return
```

AC2 设备配置

```
#
 sysname AC2
#
vlan batch 100
#
interface Vlanif100
 description to_S3_CAPWAP
 ip address 10.0.100.2 255.255.255.0
#
interface GigabitEthernet0/0/13
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 100
#
ip route-static 10.0.10.0 255.255.255.0 10.0.100.3
#
capwap source interface vlanif100
#
wlan
 ac protect enable protect-ac 10.0.100.1 priority 1
 traffic-profile name default
 security-profile name depart
  security wpa2 psk pass-phrase huawei123 aes
 ssid-profile name depart
  ssid LB
 vap-profile name depart
  service-vlan vlan-id 11
  ssid-profile depart
  security-profile depart
 regulatory-domain-profile name default
 ap-group name depart
  radio 0
    vap-profile depart wlan 1
  radio 1
    vap-profile depart wlan 1
  radio 2
    vap-profile depart wlan 1
```

```
 ap-group name default
 ap-id 0 type-id 56 ap-mac 00e0-fc6e-2890 ap-sn 210235448310F30CF56D
  ap-name ap1
  ap-group depart
 ap-id 1 type-id 56 ap-mac 00e0-fcde-1990 ap-sn 210235448310FA145341
  ap-name ap2
  ap-group depart
 provision-ap
#
return
```

思考题参考答案

《OSPF 基础实验》参考答案

1. 无需建立 OSPF 邻居关系的接口可以配置为 Silent-interface 接口，减少接口开销，同时无需对外发送 OSPF 报文。
2. 类型 2 的路由在 OSPF 域内其开销值不会改变，保持引入 OSPF 时设置的开销值（默认为 1），而类型 1 的路由在 OSPF 域内其开销值会加上 OSPF 域内开销值（路由器到 ASBR 的开销）。
3. 在 ASBR 上将外部路由引入到 OSPF 时，除 ASBR 所在区域内会存在 Type-4 LSA，由 ABR 生成，用于计算到 ASBR 的路由。
4. 位于自治系统边缘的非骨干区域可以设置为 NSSA 区域，适用于既需要引入外部路由又要避免外部路由带来的资源消耗的场景。
5. 非骨干区域必须与骨干区域 0 相连接，并且因为 OSPF 防环机制的存在，如果区域 0 非连续，则会出现非骨干区域之间路由缺失的情况，导致无法通信。

《IS-IS 基础实验》参考答案

1. 必须同时满足这些条件：接口所属的路由器等级必须相同、接口的等级必须相同、设备的区域 ID 一致、接口的地址处于同一个网段。

《BGP 基础实验》参考答案

1. 相比较于物理接口，环回口状态稳定，可以借助于对等体之间路由冗余保证对等体关系的可靠性，而物理接口故障 BGP 会话会直接中断，即便对等体之间的 IP 连通性依旧正常。
2. **Summary automatic** 自动聚合产生的汇总路由只会携带 Aggregator 属性，没有 Atomic-aggregate 属性，而 **aggregate** 命令手动聚合产生的汇总路由会携带 Atomic-aggregate 属性。
3. 并不会携带，Originator_ID、Cluster_List 用于 AS 内存在 RR 的场景中防止环路，EBGP 对等体之间使用 AS_Path 进行防环，无需依赖这两个属性。
4. 路由策略可以实现该功能，但是强烈不推荐该操作，删除 AS_Path 属性里的某个 AS 可能会导致 AS 之间的路由环路。

《路由策略与路由控制实验》参考答案

1. 距离矢量协议是基于路由表生成路由的，Filter-Policy 会影响从邻居接收的路由和向邻居发布的路由，而链路状态路由协议是基于 LSDB 来生成路由的，且路由信息隐藏在链路状态 LSA 中，但 Filter-Policy 不能对发布和接收的 LSA 进行过滤，故 Filter-Policy 不影响链路状态通告或 LSDB 的完整性以及协议路由表，而只会影响本地路由表，且只有通过过滤的路由才被添加到路由表中，没有通过过滤的路由不会被添加进路由表。

《RSTP 与 MSTP 实验》参考答案

1. RSTP 对 STP 的改进：
   a) 通过端口角色的增补，简化了生成树协议的理解及部署；
   b) 端口状态的重新划分；
   c) 配置 BPDU 格式的改变，充分利用了 STP 协议报文中的 Flag 字段，明确了端口角色；
   d) 配置 BPDU 的处理发生变化；
   e) 使用 P/A 机制实现快速收敛；
   f) 增加保护功能

《组播实验》参考答案

1. PIM-DM 只适用于组播接受者较为密集的小型网络中，它采用粗犷的方式将组播流量先扩散到全网，不需要组播流量的分支通过协议报文将自己从 SPT 上剪除，这在接收者较为分散的大型网络中会导致大量的不必要组播流量、频繁地组播协议报文的交互，对链路带宽、设备资源造成不必要的浪费。
2. PIM-SM 采用“推”的模式，当存在组播接收者时才构建组播转发路径，设备资源消耗少、链路带宽开销较小。

《防火墙技术实验》参考答案

1. local 区域定义的是设备本身，包括设备的各接口本身，将接口加入到其他的安全域只是代表该接口下的网络属于该区域，该接口转发的流量属于加入的安全区域，但是以设备自身接口地址为源访问外部网络，此时源安全域还是 local。

《VRRP 实验》参考答案

1. 如果接口的实际 IP 地址与 VRRP 虚拟 IP 地址一致的话，VRRP 优先级就会是 255。

《DHCP 实验》参考答案

1. DHCP 服务器接收到 DHCP Relay 中继过来的 DHCP DISCOVER 报文后，选择与报文中 giaddr 字段为同一网段的地址池，并为客户端分配 IP 地址等参数。

《WLAN 实验》参考答案

1. 如果是二层漫游，漫游后 STA 依旧在原来的子网中，FAP/FAC 对二层漫游用户的报文转发同普通新上线用户没有区别，直接在 FAP/FAC 本地的网络转发，不需要通过 AC 间隧道转回到 HAP/HAC 中转。如果是三层漫游，用户漫游前后不在同一个子网中，为了支持用户漫游后仍能正常访问漫游前的网络，需要将用户流量通过隧道转发到原来的子网进行中转。

2. AP 与主 AC、备 AC 之间都会建立 CAPWAP 控制通道，所以存在 2 条控制隧道，但是并不是 2 条都会同时工作，AP 只会与主 AC 之间通过 CAPWAP 进行控制信息的交互。