

# 浙江大学实验报告

专业: 计算机科学与技术  
姓名: 吴同  
学号: 3170104848  
日期: 2019 年 11 月 9 日

课程名称: 计算机网络 指导老师: 张泉方 电子邮件: wutongcs@zju.edu.cn  
实验名称: 动态路由协议 BGP 配置 实验类型: 操作型 同组同学: 无

## 一、 实验目的

- 理解距离向量路由协议的工作原理
- 理解 BGP 协议的工作机制
- 掌握配置和调试 BGP 协议的方法

## 二、 实验内容

- 创建多种类型的网络，各自成为一个独立的 AS
- AS 内部路由器配置成启用 OSPF 路由协议
- 在同一个 AS 边界上的路由器启用 BGP 协议，形成邻居关系
- 在不同 AS 边界路由器上启用 BGP 协议，直连路由器之间建立邻居关系
- 观察各路由器上的路由表和 BGP 运行数据，并验证各 PC 能够相互 ping 通
- 断开某些链路，观察 BGP 事件和路由表变化
- 在 AS 边界路由器上配置路由聚合
- 在 AS 间进行多径负载均衡

## 三、 主要仪器设备

- PC 机（模拟器）
- 路由器（模拟器）
- 直联网络线、交叉网络线（模拟器）

## 四、操作方法与实验步骤

- 配置路由器各接口的 IP 地址，使直连的 2 个路由器能相互 ping 通。
- 在各 AS 边界路由器之间建立邻居关系。
- 在 AS 65003 内部的两头边界路由器（R3、R5）之间建立邻居关系。
- 在 AS 65003 内部启用 OSPF 路由协议，并启用重分发机制，让 OSPF 和 BGP 之间信息互通。
- 在 R8 上配置路由过滤，使得到达 PC3 子网的路由不经过 AS 65008。
- 给 PC1、PC3 配置 IPv4 地址。
- 给 R1、R2、R6 的 f0/1 接口，R1、R6 的 f2/0 接口以及 PC2、PC4、PC5 配置 IPv6 的地址。
- 在 R1 和 R2 之间建立隧道，使得配置了 IPv6 的主机之间能通过中间的 IPv4 网络相互通信。

## 五、实验数据记录和处理

- 设计每个 PC、路由器各接口的 IP 地址及掩码，标注在拓扑图上。

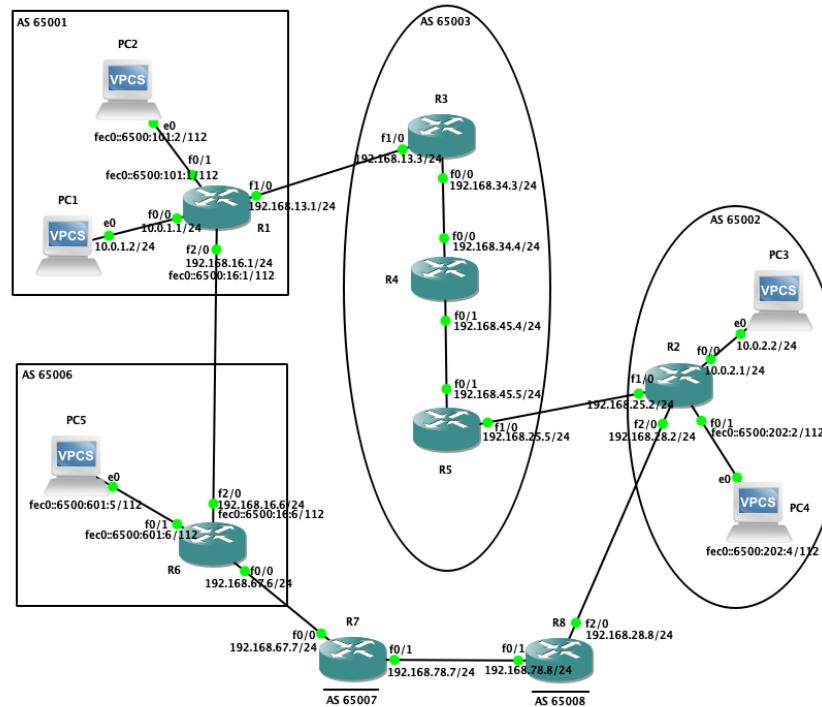


图 1: 实验拓扑图

- 分别在 R3、R4、R5 上配置回环端口、各物理接口的 IP 地址，激活 OSPF 动态路由协议，宣告直连网络。

R3 配置命令：

```
1 R3(config)#interface f0/0
2 R3(config-if)#ip address 192.168.34.3 255.255.255.0
3 R3(config-if)#no shutdown
4 R3(config-if)#interface f1/0
5 R3(config-if)#ip address 192.168.13.3 255.255.255.0
6 R3(config-if)#no shutdown
7 R3(config-if)#interface loopback 0
8 R3(config-if)#ip address 192.168.3.1 255.255.255.255
9 R3(config-if)#router ospf 48
10 R3(config-router)#network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
```

R4 配置命令：

```
1 R4(config)#interface f0/0
2 R4(config-if)#ip address 192.168.34.4 255.255.255.0
3 R4(config-if)#no shutdown
4 R4(config-if)#interface f0/1
5 R4(config-if)#ip address 192.168.45.4 255.255.255.0
6 R4(config-if)#no shutdown
7 R4(config-if)#interface loopback 0
8 R4(config-if)#ip address 192.168.4.1 255.255.255.255
9 R4(config-if)#router ospf 48
10 R4(config-router)#network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
```

R5 配置命令：

```
1 R5(config)#interface f0/1
2 R5(config-if)#ip address 192.168.45.5 255.255.255.0
3 R5(config-if)#no shutdown
4 R5(config-if)#interface f1/0
5 R5(config-if)#ip address 192.168.25.5 255.255.255.0
6 R5(config-if)#no shutdown
7 R5(config-if)#interface loopback 0
8 R5(config-if)#ip address 192.168.5.1 255.255.255.255
9 R5(config-if)#router ospf 48
10 R5(config-router)#network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
```

3. 查看 R3、R4、R5 的路由表，并在 R3 上用 ping 测试与 R5 的回环口之间的联通性。

```
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
0 192.168.45.0/24 [110/20] via 192.168.34.4, 00:01:44, FastEthernet0/0
0 192.168.25.0/24 [110/21] via 192.168.34.4, 00:01:44, FastEthernet0/0
    192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
        0      192.168.4.1 [110/11] via 192.168.34.4, 00:01:44, FastEthernet0/0
    192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
        0      192.168.5.1 [110/21] via 192.168.34.4, 00:01:44, FastEthernet0/0
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
    192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
        C      192.168.3.1 is directly connected, Loopback0
```

图 2: R3 的路由表

```
0 192.168.13.0/24 [110/11] via 192.168.34.3, 00:01:57, FastEthernet0/0
C 192.168.45.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
0 192.168.25.0/24 [110/11] via 192.168.45.5, 00:01:57, FastEthernet0/1
    192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
        C      192.168.4.1 is directly connected, Loopback0
    192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
        0      192.168.5.1 [110/11] via 192.168.45.5, 00:01:57, FastEthernet0/1
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
    192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
        0      192.168.3.1 [110/11] via 192.168.34.3, 00:01:58, FastEthernet0/0
```

图 3: R4 的路由表

```
0 192.168.13.0/24 [110/21] via 192.168.45.4, 00:02:01, FastEthernet0/1
C 192.168.45.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C 192.168.25.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
    192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
        0      192.168.4.1 [110/11] via 192.168.45.4, 00:02:01, FastEthernet0/1
    192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
        C      192.168.5.1 is directly connected, Loopback0
0 192.168.34.0/24 [110/20] via 192.168.45.4, 00:02:01, FastEthernet0/1
    192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
        0      192.168.3.1 [110/21] via 192.168.45.4, 00:02:02, FastEthernet0/1
```

图 4: R5 的路由表

```
[R3]ping 192.168.4.1 source loopback 0
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.4.1, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 192.168.3.1
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/26/44 ms
```

图 5: R3 能 ping 通 R5 的回环口

4. 启动 R3、R5 上的 BGP 协议，宣告直连网络，然后把对方增加为 AS 内部的邻居，IP-Address 为对方回环接口的 IP，AS-Number 设置为相同的 AS 号。

R3 配置命令：

```
1 R3(config)#router bgp 65003
2 R3(config-router)#network 192.168.34.0 mask 255.255.255.0
3 R3(config-router)#network 192.168.13.0 mask 255.255.255.0
4 R3(config-router)#neighbor 192.168.5.1 remote-as 65003
```

R5 配置命令：

```
1 R5(config)#router bgp 65003
2 R5(config-router)#network 192.168.45.0 mask 255.255.255.0
3 R5(config-router)#network 192.168.25.0 mask 255.255.255.0
4 R5(config-router)#neighbor 192.168.3.1 remote-as 65003
```

5. 分别在 R3、R5 上查看 BGP 邻居关系，标出 Link 类型和对方的 IP、连接状态。打开调试开关，查看错误原因。观察完毕关掉调试。

R3 的邻居关系：观察得知，邻居的 IP 是192.168.5.1，链路类型属于internal link，状态是Active，但现象是没有活动的 TCP 连接。

R5 的邻居关系：观察得知，邻居的 IP 是192.168.3.1，链路类型属于internal link，状态是Active，但现象是没有活动的 TCP 连接。

打开 debug 后的消息：错误原因是被对方拒绝连接，是因为 R3 默认使用了物理接口的 IP 地址作为源地址，而 R5 配置的邻居地址是 R3 的回环接口，因邻居地址不符被拒绝。

```
R3#show ip bgp neighbor
Flash card inserted in flash. Reading filesystem on the device...
Wait for the completion message before accessing device
Error reading flash

BGP neighbor is 192.168.5.1, remote AS 65003, internal link
  BGP version 4, remote router ID 0.0.0.0
  BGP state = Active
  Last read 00:01:49, last write 00:01:49, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
  Message statistics:
    InQ depth is 0
    OutQ depth is 0
      Sent          Rcvd
  Opens:          0          0
  Notifications: 0          0
  Updates:        0          0
  Keepalives:     0          0
  Route Refresh: 0          0
  Total:          0          0
  Default minimum time between advertisement runs is 0 seconds

  For address family: IPv4 Unicast
    BGP table version 3, neighbor version 0/0
    Output queue size : 0
    Index 1, Offset 0, Mask 0x2
    1 update-group member
      Sent          Rcvd
  Prefix activity:  ----  -----
  Prefixes Current: 0          0
  Prefixes Total:   0          0
  Implicit Withdraw: 0          0
  Explicit Withdraw: 0          0
  Used as bestpath: n/a        0
  Used as multipath: n/a        0

      Outbound      Inbound
  Local Policy Denied Prefixes:  -----  -----
  Total:                      0          0
  Number of NLRI's in the update sent: max 0, min 0

  Connections established 0; dropped 0
  Last reset never
  No active TCP connection
```

图 6: R3 的 BGP 邻居关系

```
R5#show ip bgp neighbor
Flash card inserted in flash. Reading filesystem on the device...
Wait for the completion message before accessing device
Error reading flash

BGP neighbor is 192.168.3.1, remote AS [65003], internal link
  BGP version 4, remote router ID 0.0.0.0
  BGP state = Active
  Last read 00:00:34, last write 00:00:34, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
  Message statistics:
    InQ depth is 0
    OutQ depth is 0
      Sent      Rcvd
  Opens:        0        0
  Notifications: 0        0
  Updates:      0        0
  Keepalives:   0        0
  Route Refresh: 0        0
  Total:        0        0
  Default minimum time between advertisement runs is 0 seconds

  For address family: IPv4 Unicast
    BGP table version 2, neighbor version 0/0
    Output queue size : 0
    Index 1, Offset 0, Mask 0x2
    1 update-group member
      Sent      Rcvd
  Prefix activity:  ----  -----
  Prefixes Current: 0        0
  Prefixes Total:   0        0
  Implicit Withdraw: 0        0
  Explicit Withdraw: 0        0
  Used as bestpath: n/a      0
  Used as multipath: n/a      0
      Outbound     Inbound
  Local Policy Denied Prefixes:  -----  -----
  Total:           0        0
  Number of NLRI's in the update sent: max 0, min 0

  Connections established 0; dropped 0
  Last reset never
  No active TCP connection
```

图 7: R5 的 BGP 邻居关系

```
R3#debug ip bgp
BGP debugging is on for address family: IPv4 Unicast
R3#
*Mar 1 00:29:11.603: BGP: 192.168.5.1 open active, local address 192.168.34.3
*Mar 1 00:29:11.667: BGP: 192.168.5.1 open failed: Connection refused by remote host, open active delayed 34962ms (35000ms max, 28% jitter)
```

图 8: 打开 debug 后的消息

6. 在 R3、R5 上设置 BGP 更新源为回环接口，等待一会儿，再次查看邻居关系，标记连接状态是否已建立 (ESTAB)。

R3 配置命令：

```
1 R3(config)#router bgp 65003
2 R3(config-router)#neighbor 192.168.5.1 update-source loopback 0
```

R5 配置命令：

```
1 R5(config)#router bgp 65003
2 R5(config-router)#neighbor 192.168.3.1 update-source loopback 0
```

R3 的邻居关系：观察得知，与 R5 的邻居关系已经建立，对方的连接端口是192.168.5.1。

R5 的邻居关系：观察得知，与 R3 的邻居关系已经建立，对方的连接端口是192.168.3.1。

```
R3#show ip bgp neighbor
BGP neighbor is 192.168.5.1, remote AS 65003, internal link
  BGP version 4, remote router ID 192.168.5.1
  BGP state = Established, up for 00:02:25
[Connection state is ESTAB, I/O status: 1, unread input bytes: 0
[Connection is ECN Disabled, Minimum incoming TTL 0, Outgoing TTL 255
[Local host: 192.168.3.1, Local port: 179
[Foreign host: 192.168.5.1, Foreign port: 49557
```

图 9: R3 的 BGP 邻居关系

```
R5#show ip bgp neighbor
BGP neighbor is 192.168.3.1, remote AS 65003, internal link
  BGP version 4, remote router ID 192.168.3.1
  BGP state = Established, up for 00:02:47
[Connection state is ESTAB, I/O status: 1, unread input bytes: 0
[Connection is ECN Disabled, Minimum incoming TTL 0, Outgoing TTL 255
[Local host: 192.168.5.1, Local port: 49557
[Foreign host: 192.168.3.1, Foreign port: 179
```

图 10: R5 的 BGP 邻居关系

## 7. 在 R3、R5 上查看 BGP 数据库，并查看路由表信息。

R3 的 BGP 数据库：观察得知，存在2条状态码 =r 的路由（表示没有成功写入路由表）。

R3 的路由表：观察得知，网络地址192.168.45.0/24、192.168.25.0/24在路由表中已存在比 BGP 优先级高的 OSPF 路由，所以 BGP 的路由信息没有成功写入。

R5 的 BGP 数据库：观察得知，存在2条状态码 =r 的路由（表示没有成功写入路由表）。

R5 的路由表：观察得知，网络地址192.168.13.0/24、192.168.34.0/24在路由表中已存在比 BGP 优先级高的 OSPF 路由，所以 BGP 的路由信息没有成功写入。

```
R3#show ip bgp
BGP table version is 9, local router ID is 192.168.3.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

      Network          Next Hop           Metric LocPrf Weight Path
*> 192.168.13.0    0.0.0.0            0        32768  i
r>i192.168.25.0   192.168.5.1        0       100     0 i
*> 192.168.34.0    0.0.0.0            0        32768  i
r>i192.168.45.0   192.168.5.1        0       100     0 i
```

图 11: R3 的 BGP 数据库

```

C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O 192.168.45.0/24 [110/20] via 192.168.34.4, 00:45:00, FastEthernet0/0
O 192.168.25.0/24 [110/21] via 192.168.34.4, 00:45:00, FastEthernet0/0
    192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O     192.168.4.1 [110/11] via 192.168.34.4, 00:45:00, FastEthernet0/0
    192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O     192.168.5.1 [110/21] via 192.168.34.4, 00:45:00, FastEthernet0/0
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
    192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
C     192.168.3.1 is directly connected, Loopback0

```

图 12: R3 的路由表

```

[R5]#show ip bgp
BGP table version is 8, local router ID is 192.168.5.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

      Network          Next Hop            Metric LocPrf Weight Path
r>i192.168.13.0    192.168.3.1        0       100      0 i
*-> 192.168.25.0   0.0.0.0           0         32768 i
r>i192.168.34.0    192.168.3.1        0       100      0 i
*> 192.168.45.0    0.0.0.0           0         32768 i

```

图 13: R5 的 BGP 数据库

```

O 192.168.13.0/24 [110/21] via 192.168.45.4, 00:45:52, FastEthernet0/1
C 192.168.45.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C 192.168.25.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
    192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O     192.168.4.1 [110/11] via 192.168.45.4, 00:45:52, FastEthernet0/1
    192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
C     192.168.5.1 is directly connected, Loopback0
O 192.168.34.0/24 [110/20] via 192.168.45.4, 00:45:52, FastEthernet0/1
    192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
O     192.168.3.1 [110/21] via 192.168.45.4, 00:45:53, FastEthernet0/1

```

图 14: R5 的路由表

8. 在 R1、R2、R6、R7、R8 上激活路由器互联的接口，配置 IP 地址，启用 BGP 协议，每个路由器使用不同的 AS 号，宣告所有直连网络，把直接连接的对方增加为 AS 间的邻居，IP-Address 为对方的 IP，AS-Number 设置为对方的 AS 号。

R1 配置命令：

```

1 R1(config)#interface f1/0
2 R1(config-if)#ip address 192.168.13.1 255.255.255.0
3 R1(config-if)#no shutdown
4 R1(config-if)#interface f2/0
5 R1(config-if)#ip address 192.168.16.1 255.255.255.0
6 R1(config-if)#no shutdown
7 R1(config-if)#router bgp 65001
8 R1(config-router)#network 192.168.13.0 mask 255.255.255.0
9 R1(config-router)#network 192.168.16.0 mask 255.255.255.0
10 R1(config-router)#neighbor 192.168.13.3 remote-as 65003

```

```
11 R1(config-router)#neighbor 192.168.16.6 remote-as 65006
```

R2 配置命令：

```
1 R2(config)#interface f1/0
2 R2(config-if)#ip address 192.168.25.2 255.255.255.0
3 R2(config-if)#no shutdown
4 R2(config-if)#interface f2/0
5 R2(config-if)#ip address 192.168.28.2 255.255.255.0
6 R2(config-if)#no shutdown
7 R2(config-if)#router bgp 65002
8 R2(config-router)#network 192.168.25.0 mask 255.255.255.0
9 R2(config-router)#network 192.168.28.0 mask 255.255.255.0
10 R2(config-router)#neighbor 192.168.25.5 remote-as 65003
11 R2(config-router)#neighbor 192.168.28.8 remote-as 65008
```

R6 配置命令：

```
1 R6(config)#interface f0/0
2 R6(config-if)#ip address 192.168.67.6 255.255.255.0
3 R6(config-if)#no shutdown
4 R6(config-if)#interface f2/0
5 R6(config-if)#ip address 192.168.16.6 255.255.255.0
6 R6(config-if)#no shutdown
7 R6(config-if)#router bgp 65006
8 R6(config-router)#network 192.168.67.0 mask 255.255.255.0
9 R6(config-router)#network 192.168.16.0 mask 255.255.255.0
10 R6(config-router)#neighbor 192.168.67.7 remote-as 65007
11 R6(config-router)#neighbor 192.168.16.1 remote-as 65001
```

R7 配置命令：

```
1 R7(config)#interface f0/0
2 R7(config-if)#ip address 192.168.67.7 255.255.255.0
3 R7(config-if)#no shutdown
4 R7(config-if)#interface f0/1
5 R7(config-if)#ip address 192.168.78.7 255.255.255.0
6 R7(config-if)#no shutdown
7 R7(config-if)#router bgp 65007
8 R7(config-router)#network 192.168.67.0 mask 255.255.255.0
9 R7(config-router)#network 192.168.78.0 mask 255.255.255.0
10 R7(config-router)#neighbor 192.168.67.6 remote-as 65006
11 R7(config-router)#neighbor 192.168.78.8 remote-as 65008
```

R8 配置命令：

```
1 R8(config)#interface f0/1
2 R8(config-if)#ip address 192.168.78.8 255.255.255.0
3 R8(config-if)#no shutdown
4 R8(config-if)#interface f2/0
```

```

5   R8(config-if)#ip address 192.168.28.8 255.255.255.0
6   R8(config-if)#no shutdown
7   R8(config-if)#router bgp 65008
8   R8(config-router)#network 192.168.78.0 mask 255.255.255.0
9   R8(config-router)#network 192.168.28.0 mask 255.255.255.0
10  R8(config-router)#neighbor 192.168.78.7 remote-as 65007
11  R8(config-router)#neighbor 192.168.28.2 remote-as 65002

```

## 9. 在 R3、R5 上分配配置 R1、R2 为外部 BGP 邻居。

R3 配置命令：

```

1  R3(config)#router bgp 65003
2  R3(config-router)#neighbor 192.168.13.1 remote-as 65001

```

R5 配置命令：

```

1  R5(config)#router bgp 65003
2  R5(config-router)#neighbor 192.168.25.2 remote-as 65002

```

## 10. 在各路由器上查看邻居关系，标出 Link 类型和对方的 IP、连接状态。

R1 的邻居关系：R1 的两个邻居的 IP 分别为192.168.13.3、192.168.16.6，链路类型均为external link。

R2 的邻居关系：R2 的两个邻居的 IP 分别为192.168.25.5、192.168.28.8，链路类型均为external link。

R3 的邻居关系：R3 的 iGP 邻居的 IP 为192.168.5.1，eBGP 邻居的 IP 为192.168.13.1。

R5 的邻居关系：R3 的 iGP 邻居的 IP 为192.168.3.1，eBGP 邻居的 IP 为192.168.25.2。

R6 的邻居关系：R6 的两个邻居的 IP 分别为192.168.16.1、192.168.67.7，链路类型均为external link。

R7 的邻居关系：R7 的两个邻居的 IP 分别为192.168.67.6、192.168.78.8，链路类型均为external link。

R8 的邻居关系：R8 的两个邻居的 IP 分别为192.168.28.2、192.168.78.7，链路类型均为external link。

```

BGP neighbor is 192.168.13.3, remote AS 65003, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.3.1
BGP state = Established, up for 00:05:31
BGP neighbor is 192.168.16.6, remote AS 65006, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.67.6
[ BGP state = Established, up for 00:30:30

```

图 15: R1 的邻居关系

```

BGP neighbor is 192.168.25.5, remote AS 65003, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.5.1
BGP state = Established, up for 00:05:10
BGP neighbor is 192.168.28.8, remote AS 65008, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.78.8
BGP state = Established, up for 00:30:45

```

图 16: R2 的邻居关系

```
BGP neighbor is 192.168.5.1, remote AS 65003, internal link
BGP version 4, remote router ID 192.168.5.1
BGP state = Established, up for 01:42:04
BGP neighbor is 192.168.13.1, remote AS 65001, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.31.1
BGP state = Established, up for 00:30:19
```

图 17: R3 的邻居关系

```
BGP neighbor is 192.168.3.1, remote AS 65003, internal link
BGP version 4, remote router ID 192.168.3.1
BGP state = Established, up for 01:41:59
BGP neighbor is 192.168.25.2, remote AS 65002, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.28.2
BGP state = Established, up for 00:31:41
```

图 18: R5 的邻居关系

```
BGP neighbor is 192.168.16.1, remote AS 65001, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.31.1
BGP state = Established, up for 00:16:50
BGP neighbor is 192.168.67.7, remote AS 65007, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.78.7
BGP state = Established, up for 00:30:32
```

图 19: R6 的邻居关系

```
BGP neighbor is 192.168.67.6, remote AS 65006, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.67.6
BGP state = Established, up for 00:34:53
BGP neighbor is 192.168.78.8, remote AS 65008, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.78.8
BGP state = Established, up for 00:13:50
```

图 20: R7 的邻居关系

```
BGP neighbor is 192.168.28.2, remote AS 65002, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.28.2
BGP state = Established, up for 00:12:05
BGP neighbor is 192.168.78.7, remote AS 65007, external link
BGP version 4, remote router ID 192.168.78.7
BGP state = Established, up for 00:34:19
```

图 21: R8 的邻居关系

11. 在路由器 R1 查看 BGP 数据库，标出到达 R2-R5 间子网、R6-R7 间子网、R7-R8 间子网以及 R2-R8 间子网的最佳路由（标记为 > 的为最佳路由）、经过的 AS 路径。

到达 R2-R5 间子网的下一跳是 192.168.13.3，经过的 AS 路径为 65003；

到达 R6-R7 间子网的下一跳是192.168.16.6，经过的 AS 路径为65006；

到达 R7-R8 间子网的路由有2 条，其中最佳路由的下一跳是192.168.16.6，经过的 AS 路径最短，AS 号依次为65006、65007；

到达 R8-R2 间子网的路由有2 条，其中最佳路由的下一跳是192.168.13.3，经过的 AS 路径最短，AS 号依次为65003、65002。

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
* 192.168.13.0	192.168.13.3	0		0	65003 i
*> 0.0.0.0		0		32768	i
* 192.168.16.0	192.168.16.6	0		0	65006 i
*> 0.0.0.0		0		32768	i
*> 192.168.25.0	192.168.13.3			0	65003 i
*> 192.168.28.0	192.168.13.3			0	65003 65002 i
*	192.168.16.6			0	65006 65007 65008 i
*> 192.168.34.0	192.168.13.3	0		0	65003 i
*> 192.168.45.0	192.168.13.3			0	65003 i
*> 192.168.67.0	192.168.16.6	0		0	65006 i
*> 192.168.78.0	192.168.13.3			0	65003 65002 65008 i
*>	192.168.16.6			0	65006 65007 i

图 22: R1 的 BGP 数据库

## 12. 在路由器 R2 查看 BGP 数据库，标出到达 R1-R3 间子网、R1-R6 间子网、R6-R7 间子网以及 R7-R8 间子网的最佳路由、经过的 AS 路径。

到达 R1-R3 间子网的下一跳是192.168.25.5，经过的 AS 路径为65003；

到达 R7-R8 间子网的下一跳是192.168.28.8，经过的 AS 路径为65008；

到达 R1-R6 间子网的路由有2 条，其中最佳路由的下一跳是192.168.25.5，经过的 AS 路径最短，AS 号依次为65003、65001；

到达 R6-R7 间子网的路由有2 条，其中最佳路由的下一跳是192.168.28.8，经过的 AS 路径最短，AS 号依次为65008、65007。

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*> 192.168.13.0	192.168.25.5			0	65003 i
*> 192.168.16.0	192.168.25.5			0	65003 65001 i
*	192.168.28.8			0	65008 65007 65006 i
* 192.168.25.0	192.168.25.5	0		0	65003 i
*> 0.0.0.0		0		32768	i
* 192.168.28.0	192.168.28.8	0		0	65008 i
*> 0.0.0.0		0		32768	i
*> 192.168.34.0	192.168.25.5			0	65003 i
*> 192.168.45.0	192.168.25.5	0		0	65003 i
*> 192.168.67.0	192.168.25.5			0	65003 65001 65006 i
*> 192.168.28.8		0		0	65008 65007 i
*> 192.168.78.0	192.168.28.8	0		0	65008 i

图 23: R2 的 BGP 数据库

13. 在路由器 R1 上查看路由表，标出到达 R2-R5 间子网、R6-R7 间子网、R7-R8 间子网以及 R2-R8 间子网的路由。

```
B 192.168.28.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:49:33
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
B 192.168.45.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:50:03
B 192.168.25.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:50:03
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 00:58:20
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 01:00:52
B 192.168.34.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:50:03
C 192.168.16.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
```

图 24: R1 的路由表

14. 在路由器 R2 上查看路由表，标出到达 R1-R3 间子网、R1-R6 间子网、R6-R7 间子网以及 R7-R8 间子网的路由。

```
C 192.168.28.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
B 192.168.13.0/24 [20/0] via 192.168.25.5, 00:49:48
B 192.168.45.0/24 [20/0] via 192.168.25.5, 00:49:48
C 192.168.25.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.28.8, 00:56:30
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.28.8, 00:56:30
B 192.168.34.0/24 [20/0] via 192.168.25.5, 00:49:48
B 192.168.16.0/24 [20/0] via 192.168.25.5, 00:49:48
```

图 25: R2 的路由表

15. 在路由器 R6 查看 BGP 数据库，标出到达 R2-R5 间子网的最佳路由、经过的 AS 路径。然后在 R1 上关闭 R1-R3 互联端口，在 R6 上观察到达 R2-R5 间子网的最佳路由有无变化。

关闭 R1 上 R1-R3 互联端口前，到达 R2-R5 间子网的最佳路由的下一跳为192.168.16.1。

关闭 R1 上 R1-R3 互联端口后，到达 R2-R5 间子网的最佳路由的下一跳变为192.168.67.7。

```
R6#show ip bgp
BGP table version is 14, local router ID is 192.168.67.6
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

      Network          Next Hop           Metric LocPrf Weight Path
*> 192.168.13.0    192.168.16.1        0        0 65001 i
*  192.168.16.0    192.168.16.1        0        0 65001 i
*> 0.0.0.0          0.0.0.0          0        32768 i
*> 192.168.25.0    192.168.16.1        0        0 65001 65003 i
*  192.168.67.7    192.168.67.7        0        0 65007 65008 65002 i
*  192.168.28.0    192.168.16.1        0        0 65001 65003 65002 i
*> 192.168.67.7    192.168.67.7        0        0 65007 65008 i
*> 192.168.34.0    192.168.16.1        0        0 65001 65003 i
*  192.168.45.0    192.168.16.1        0        0 65001 65003 i
*  192.168.67.7    192.168.67.7        0        0 65007 65008 65002 65003 i
*  192.168.67.0    192.168.67.7        0        0 65007 i
*> 0.0.0.0          0.0.0.0          0        32768 i
*> 192.168.78.0    192.168.67.7        0        0 65007 i
```

图 26: R6 的 BGP 数据库

```
R6#show ip bgp
BGP table version is 19, local router ID is 192.168.67.6
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

      Network          Next Hop            Metric LocPrf Weight Path
*-> 192.168.13.0    192.168.67.7        0       0 65007 65008 65002 65003 i
*   192.168.16.0    192.168.16.1        0       0 65001 i
*>   0.0.0.0          0                 0       32768 i
*-> 192.168.25.0    192.168.67.7        0       0 65007 65008 65002 i
*> 192.168.28.0    192.168.67.7        0       0 65007 65008 i
*> 192.168.34.0    192.168.67.7        0       0 65007 65008 65002 65003 i
*> 192.168.45.0    192.168.67.7        0       0 65007 65008 65002 65003 i
*   192.168.67.0    192.168.67.7        0       0 65007 i
*>   0.0.0.0          0                 0       32768 i
*> 192.168.78.0    192.168.67.7        0       0 65007 i
```

图 27: 关闭端口后 R6 的 BGP 数据库

16. 重新激活 R1-R3 之间的端口，等待 R1 重新选择 R3 作为到达 R2-R8 间子网的最佳 BGP 路由，然后测试 R1 是否能 ping 通 R2-R8 互联端口，并跟踪 R1 到该子网的路由。

在路由器 R4 中断了。

```
R1#ping 192.168.28.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.28.2, timeout is 2 seconds:
UUUUU
Success rate is 0 percent (0/5)
```

图 28: R1 不能 ping 通 R2-R8 互联端口

```
R1#traceroute 192.168.28.2
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.28.2

 1 192.168.13.3 16 msec 20 msec 32 msec
 2 192.168.34.4 [AS 65003] 40 msec 28 msec 36 msec
 3 192.168.34.4 [AS 65003] !H !H !H
```

图 29: R1 跟踪路由的结果

17. 查看 R3 的 BGP 数据库和路由表，标记到达 R2-R8 间子网的 BGP 最佳路由。查看 R4 的路由表是否存在 R2-R8 间子网的路由信息。

R3 的 BGP 数据库：到达 R2-R8 间子网的最佳路由的下一跳 IP 地址是192.168.25.2。

R3 的路由表：观察得知，到达 R2-R8 间子网的下一跳 IP 地址192.168.25.2（属于 R2）是由 BGP 写入的。去往该地址的下一跳 IP 地址192.168.34.4（属于 R4）是由 OSPF 写入的。

R4 的路由表：观察得知，由于 R4 上缺少相应的路由，因此不能 ping 通。默认情况下，未启用同步功能，BGP 就不会考虑 AS 内部是否存在相关路由，导致路由黑洞。

```
R3#show ip bgp
BGP table version is 21, local router ID is 192.168.3.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

      Network          Next Hop            Metric LocPrf Weight Path
*  192.168.13.0    192.168.13.1        0          0 65001 i
*-> 0.0.0.0          0                  0          32768 i
*> 192.168.16.0    192.168.13.1        0          0 65001 i
r>i192.168.25.0   192.168.5.1        0          100     0 i
*>i192.168.28.0   192.168.25.2        0          100     0 65002 i
*> 192.168.34.0   0.0.0.0            0          32768 i
r>i192.168.45.0   192.168.5.1        0          100     0 i
*> 192.168.67.0   192.168.13.1        0          65001 65006 i
*  192.168.78.0   192.168.13.1        0          65001 65006 65007 i
*>i              192.168.25.2        0          100     0 65002 65008 i
```

图 30: R3 的 BGP 数据库

```
B 192.168.28.0/24 [200/0] via 192.168.25.2, 01:04:08
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O 192.168.45.0/24 [110/20] via 192.168.34.4, 03:06:36, FastEthernet0/0
O 192.168.25.0/24 [110/21] via 192.168.34.4, 03:06:36, FastEthernet0/0
B 192.168.78.0/24 [200/0] via 192.168.25.2, 01:04:08
192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.4.1 [110/11] via 192.168.34.4, 03:06:36, FastEthernet0/0
192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.5.1 [110/21] via 192.168.34.4, 03:06:38, FastEthernet0/0
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:04:46
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
B 192.168.16.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:04:46
192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
```

图 31: R3 的路由表

```
O 192.168.13.0/24 [110/11] via 192.168.34.3, 03:09:47, FastEthernet0/0
C 192.168.45.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
O 192.168.25.0/24 [110/11] via 192.168.45.5, 03:09:47, FastEthernet0/1
192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
C 192.168.4.1 is directly connected, Loopback0
192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.5.1 [110/11] via 192.168.45.5, 03:09:47, FastEthernet0/1
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.3.1 [110/11] via 192.168.34.3, 03:09:48, FastEthernet0/0
```

图 32: R4 的路由表

18. 打开 R3、R5 的 BGP 同步功能，等一会儿查看 R3、R1 到达 R2-R8 间子网的 BGP 最佳路由是否发生变化。用 ping 测试 R1 到达 R2-R8 互联端口的联通性，并跟踪路由。

R3 配置命令：

```
1 R3(config)#router bgp 65003
2 R3(config-router)#synchronization
```

R5 配置命令：

```

1 R5(config)#router bgp 65003
2 R5(config-router)#synchronization

```

R3 的 BGP 数据库：观察得知，到达 R2-R8 间子网的路由有2条，其中最佳路由的下一跳为192.168.13.1（属于 R1），因为同步功能打开后，BGP 判断 AS 内部缺少相应的路由，因此不选择本 AS 作为转发路径。

R3 的路由表：到达 R2-R8 间子网的下一跳 IP 为192.168.13.1，属于路由器R1。

R1 的 BGP 数据库：观察得知，到达 R2-R8 间子网的最佳路由的下一跳为192.168.16.6，属于路由器R6。由于使用了水平分裂方式，R3 并没有向 R1 报告关于这个子网的路由，因为 R3 选的下一跳是 R1。

ping 结果：R1 能 ping 通 R2-R8 互联端口。

路由跟踪结果：观察得知，依次经过了这些路由器：R6、R7、R8、R2。

```

R3#show ip bgp
BGP table version is 25, local router ID is 192.168.3.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

      Network          Next Hop            Metric LocPrf Weight Path
* 192.168.13.0    192.168.13.1        0          0 65001 i
*> 0.0.0.0          0.0.0.0           0          32768 i
* i192.168.16.0   192.168.25.2        0          100 65002 65008 65007 65006 i
*> 192.168.13.1   192.168.13.1        0          65001 i
r>i192.168.25.0  192.168.5.1         0          100 65001 65006 65007 65008 i
*> 192.168.28.0   192.168.13.1        0          65001 65006 65007 65008 i
* i 192.168.25.2  192.168.25.2        0          100 65002 i
*> 192.168.34.0   0.0.0.0           0          32768 i
* i192.168.45.0   192.168.5.1         0          100 65001 i
* i192.168.67.0   192.168.25.2        0          100 65002 65008 65007 i
*> 192.168.13.1   192.168.13.1        0          65001 65006 65007 i
*> 192.168.78.0   192.168.13.1        0          65001 65006 65007 i
* i 192.168.25.2  192.168.25.2        0          100 65002 65008 i

```

图 33: R3 的 BGP 数据库

```

B 192.168.28.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:03:28
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O 192.168.45.0/24 [110/20] via 192.168.34.4, 03:19:50, FastEthernet0/0
O 192.168.25.0/24 [110/21] via 192.168.34.4, 03:19:50, FastEthernet0/0
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:03:28
192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.4.1 [110/11] via 192.168.34.4, 03:19:50, FastEthernet0/0
192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.5.1 [110/21] via 192.168.34.4, 03:19:52, FastEthernet0/0
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:17:59
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
B 192.168.16.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:17:59
192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets

```

图 34: R3 的路由表

```
B 192.168.28.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 00:04:36
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
B 192.168.45.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 00:04:36
B 192.168.25.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:19:19
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 01:27:04
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 01:29:36
B 192.168.34.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:19:19
C 192.168.16.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
```

图 35: R1 的 BGP 数据库

```
[R1#ping 192.168.28.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.28.2, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 56/73/84 ms
```

图 36: R1 能 ping 通 R2-R8 互联端口

```
[R1#traceroute 192.168.28.2
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.28.2

1 192.168.16.6 32 msec 24 msec 28 msec
2 192.168.67.7 [AS 65006] 44 msec 60 msec 4 msec
3 192.168.78.8 [AS 65007] 76 msec 48 msec 64 msec
4 192.168.28.2 [AS 65008] 104 msec 76 msec 68 msec
```

图 37: R1 的路由跟踪结果

19. 在 R3、R5 的 OSPF 协议中启用 BGP 重分发功能，等一会儿，查看 R3、R5 的 OSPF 数据库，以及 R4 的路由表是否出现了 AS 外部的路由信息。

R3 配置命令：

```
1 R3(config)#router ospf 48
2 R3(config-router)#redistribute bgp 65003 subnets
```

R5 配置命令：

```
1 R5(config)#router ospf 48
2 R5(config-router)#redistribute bgp 65003 subnets
```

R3 的 OSPF 数据库：观察得知，OSPF 从 BGP 中重分发了 AS 外部链路的信息，但是 R3-R1 的直连网络

**20. 192.168.13.0**

没有被本路由器重分发。

R5 的 OSPF 数据库：观察得知，OSPF 从 BGP 中重分发了 AS 外部链路的信息，但是 R5-R2 的直连网络

**21. 192.168.25.0**

没有被本路由器重分发。

R4 的路由表：观察得知，R4 上增加了 AS 外部的路由信息。此时，到达 R2-R8 间子网的下一跳为

**22. 192.168.45.5**

和

**23. 192.168.34.3**

(优先级相同)。因为重分发后，OSPF 将在 AS 内部传播 BGP 的外部路由信息。

R3#show ip ospf database						
OSPF Router with ID (192.168.3.1) (Process ID 48)						
Router Link States (Area 0)						
Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count	
192.168.3.1	192.168.3.1	1290	0x8000000B	0x0072AD	3	
192.168.4.1	192.168.4.1	1508	0x8000000B	0x006BEB	3	
192.168.5.1	192.168.5.1	1669	0x8000000A	0x00D223	3	
Net Link States (Area 0)						
Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum		
192.168.34.3	192.168.3.1	1290	0x80000009	0x004317		
192.168.45.4	192.168.4.1	1508	0x80000009	0x00CE7C		
Type-5 AS External Link States						
Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Tag	
192.168.13.0	192.168.5.1	351	0x80000001	0x00A7B8	65002	
192.168.16.0	192.168.3.1	349	0x80000001	0x00D795	65001	
192.168.16.0	192.168.5.1	351	0x80000001	0x0086D6	65002	
192.168.25.0	192.168.3.1	349	0x80000001	0x0074EF	65001	
192.168.28.0	192.168.3.1	349	0x80000001	0x00530E	65001	
192.168.28.0	192.168.5.1	353	0x80000001	0x00024F	65002	
192.168.67.0	192.168.3.1	351	0x80000001	0x00A495	65001	
192.168.67.0	192.168.5.1	354	0x80000001	0x0053D6	65002	
192.168.78.0	192.168.3.1	352	0x80000001	0x002B04	65001	
192.168.78.0	192.168.5.1	355	0x80000001	0x00D945	65002	

图 38: R3 的 OSPF 数据库

```
R5#show ip ospf database
OSPF Router with ID (192.168.5.1) (Process ID 48)

Router Link States (Area 0)
Link ID      ADV Router      Age      Seq#      Checksum Link count
192.168.3.1  192.168.3.1  1260     0x8000000B 0x0072AD 3
192.168.4.1  192.168.4.1  1477     0x8000000B 0x006BEB 3
192.168.5.1  192.168.5.1  1635     0x8000000A 0x00D223 3

Net Link States (Area 0)
Link ID      ADV Router      Age      Seq#      Checksum
192.168.34.3 192.168.3.1  1260     0x80000009 0x004317
192.168.45.4 192.168.4.1  1476     0x80000009 0x00CE7C

Type-5 AS External Link States
Link ID      ADV Router      Age      Seq#      Checksum Tag
192.168.13.0 192.168.5.1  317      0x80000001 0x00A7B8 65002
192.168.16.0 192.168.3.1  319      0x80000001 0x00D795 65001
192.168.16.0 192.168.5.1  317      0x80000001 0x0086D6 65002
192.168.25.0 192.168.3.1  319      0x80000001 0x0074EF 65001
192.168.28.0 192.168.3.1  319      0x80000001 0x00530E 65001
192.168.28.0 192.168.5.1  320      0x80000001 0x00024F 65002
192.168.67.0 192.168.3.1  322      0x80000001 0x00A495 65001
192.168.67.0 192.168.5.1  320      0x80000001 0x0053D6 65002
192.168.78.0 192.168.3.1  322      0x80000001 0x002B04 65001
192.168.78.0 192.168.5.1  321      0x80000001 0x00D945 65002
```

图 39: R5 的 OSPF 数据库

```
0 E2 192.168.28.0/24 [110/1] via 192.168.45.5, 00:06:09, FastEthernet0/1
[110/1] via 192.168.34.3, 00:06:09, FastEthernet0/0
0   192.168.13.0/24 [110/11] via 192.168.34.3, 01:02:03, FastEthernet0/0
C   192.168.45.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
0   192.168.25.0/24 [110/11] via 192.168.45.5, 01:02:03, FastEthernet0/1
0 E2 192.168.78.0/24 [110/1] via 192.168.45.5, 00:06:09, FastEthernet0/1
[110/1] via 192.168.34.3, 00:06:09, FastEthernet0/0
192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
C     192.168.4.1 is directly connected, Loopback0
192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
0     192.168.5.1 [110/11] via 192.168.45.5, 01:02:05, FastEthernet0/1
0 E2 192.168.67.0/24 [110/1] via 192.168.45.5, 00:06:11, FastEthernet0/1
[110/1] via 192.168.34.3, 00:06:11, FastEthernet0/0
C     192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
[0 E2 192.168.16.0/24 [110/1] via 192.168.45.5, 00:06:15, FastEthernet0/1
[110/1] via 192.168.34.3, 00:06:15, FastEthernet0/0
192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
0     192.168.3.1 [110/11] via 192.168.34.3, 01:02:08, FastEthernet0/0
```

图 40: R4 的路由表

24. 在 R3 上清除 BGP 信息，等待一段时间后，在 R1 上查看到达 R2-R8 间子网的最佳 BGP 路由，以及 R1 的路由表，并在 R1 上跟踪到达 R2-R8 间子网的路由。

R1 的 BGP 数据库：观察得知，到达 R2-R8 间子网的路由有2条，其中最佳路由的下一跳为192.168.13.3（属于路由器R3）。

R1 的路由表：到达 R2-R8 间子网的下一跳 IP 为192.168.13.3，属于路由器R3。

路由跟踪结果：观察得知，依次经过了这些路由器：R3、R4、R5、R2。

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
* 192.168.13.0	192.168.13.3	0	0	65003	i
*> 0.0.0.0		0		32768	i
* 192.168.16.0	192.168.16.6	0	0	65006	i
*> 0.0.0.0		0		32768	i
*> 192.168.25.0	192.168.13.3			0	65003 i
*> 192.168.28.0	192.168.13.3			0	65003 65002 i
*	192.168.16.6			0	65006 65007 65008 i
*> 192.168.34.0	192.168.13.3	0	0	65003 i	
*> 192.168.45.0	192.168.16.6			0	65006 65007 65008 65002 65003 i
*> 192.168.67.0	192.168.16.6	0	0	65006 i	
* 192.168.78.0	192.168.13.3			0	65003 65002 65008 i
*> 192.168.16.6				0	65006 65007 i

图 41: R1 的 BGP 数据库

```
B 192.168.28.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:01:17
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
B 192.168.45.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 00:12:12
B 192.168.25.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:01:17
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 03:01:37
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 03:04:09
B 192.168.34.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:01:17
C 192.168.16.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
```

图 42: R1 的路由表

```
R1#traceroute 192.168.28.2
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.28.2

1 192.168.13.3 12 msec 28 msec 28 msec
2 192.168.34.4 [AS 65003] 24 msec 48 msec 16 msec
3 192.168.45.5 [AS 65003] 100 msec 84 msec 96 msec
4 192.168.25.2 [AS 65003] 76 msec 72 msec 88 msec
```

图 43: 路由跟踪结果

25. 在 R3 上的 BGP 中启用 OSPF 路由重分发功能，然后查看 R3 的 BGP 数据库，标记新增的路由信息。等待一会，在 R8 上查看 AS 65003 的内部相关路由信息是否存在。

R3 配置命令：

```
1 R3(config)#router bgp 65003
2 R3(config-router)#redistribute ospf 48
```

R3 的 BGP 数据库：观察得知，新增的路由分别是：192.168.3.1、192.168.4.1、192.168.5.1。因为重分发后，BGP 将在 AS 之间传播 OSPF 的内部路由信息。

R8 的 BGP 数据库：观察得知，AS 65003 内部子网的路由有 7 条，其中到达 R3 的回环口的最佳路由的下一跳为192.168.28.2，到达 R4 的回环口的最佳路由的下一跳为192.168.78.7。

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*> 192.168.3.1/32	0.0.0.0	0		32768 ?	
*> 192.168.4.1/32	192.168.34.4	11		32768 ?	
*> 192.168.5.1/32	192.168.34.4	21		32768 ?	
* 192.168.13.0	192.168.13.1	0		0 65001 i	
*>	0.0.0.0	0		32768 i	
* i	192.168.25.2	0	100	0 65002 65008 65007 65006 65001 i	
*> 192.168.16.0	192.168.13.1	0		0 65001 i	
* i	192.168.25.2	0	100	0 65002 65008 65007 65006 i	
*> 192.168.25.0	192.168.34.4	21		32768 ?	
* i	192.168.5.1	0	100	0 i	
r>i192.168.28.0	192.168.25.2	0	100	0 65002 i	
*> 192.168.34.0	0.0.0.0	0		32768 i	
*> 192.168.45.0	192.168.34.4	20		32768 ?	
* i	192.168.5.1	0	100	0 i	
*> 192.168.67.0	192.168.13.1			0 65001 65006 i	
* i	192.168.25.2	0	100	0 65002 65008 65007 i	
r 192.168.78.0	192.168.13.1			0 65001 65006 65007 i	
r>i	192.168.25.2	0	100	0 65002 65008 i	

图 44: R3 的 BGP 数据库

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
*> 192.168.3.1/32	192.168.28.2			0 65002 65003 ?	
*	192.168.78.7			0 65007 65006 65001 65003 ?	
*> 192.168.4.1/32	192.168.78.7			0 65007 65006 65001 65003 ?	
*> 192.168.5.1/32	192.168.28.2			0 65002 65003 ?	
*	192.168.78.7			0 65007 65006 65001 65003 ?	
*> 192.168.13.0	192.168.78.7			0 65007 65006 65001 i	
*> 192.168.16.0	192.168.78.7			0 65007 65006 i	
*> 192.168.25.0	192.168.28.2	0		0 65002 i	
* 192.168.28.0	192.168.28.2	0		0 65002 i	
*>	0.0.0.0	0		32768 i	
*> 192.168.34.0	192.168.28.2			0 65002 65003 i	
*> 192.168.45.0	192.168.28.2			0 65002 65003 i	
*> 192.168.67.0	192.168.78.7	0		0 65007 i	
* 192.168.78.0	192.168.78.7	0		0 65007 i	
*>	0.0.0.0	0		32768 i	

图 45: R8 的 BGP 数据库

26. 激活 R1 上的 f0/0 端口，配置 IP 地址，宣告 BGP 直连网络。配置 PC1 的 IP 地址和默认网关。

R1 配置命令：

```

1   R1(config)#interface f0/0
2     R1(config-if)#ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
3     R1(config-if)#no shutdown
4     R1(config-if)#router bgp 65001
5     R1(config-router)#network 10.0.1.0 mask 255.255.255.0

```

PC1 配置命令：

```

1   PC1> ip 10.0.1.2 255.255.255.0 10.0.1.1

```

27. 激活 R2 上的 f0/0 端口，配置 IP 地址，宣告 BGP 直连网络。配置 PC3 的 IP 地址和默认网关。测试 PC1-PC3 之间的连通性。

R2 配置命令：

```

1   R2(config)#interface f0/0

```

```
[PC1]> ping 10.0.2.2
10.0.2.2 icmp_seq=1 timeout
84 bytes from 10.0.2.2 icmp_seq=2 ttl=59 time=106.442 ms
84 bytes from 10.0.2.2 icmp_seq=3 ttl=59 time=99.133 ms
84 bytes from 10.0.2.2 icmp_seq=4 ttl=59 time=74.755 ms
84 bytes from 10.0.2.2 icmp_seq=5 ttl=59 time=83.187 ms
```

图 46: PC1 能 ping 通 PC3

```
2 R2(config-if)#ip address 10.0.2.1 255.255.255.0
3 R2(config-if)#no shutdown
4 R2(config-if)#router bgp 65002
5 R2(config-router)#network 10.0.2.0 mask 255.255.255.0
```

PC3 配置命令：

```
1 PC3> ip 10.0.2.2 255.255.255.0 10.0.2.1
```

## 28. 查看 R7 的 BGP 数据库中 PC3 所在子网的最佳路由。

R7 的 BGP 数据库：当前，到达 PC3 子网的最佳路由的下一跳是192.168.78.8。

```
R7#show ip bgp 10.0.2.0
BGP routing table entry for 10.0.2.0/24, version 19
Paths: (2 available, best #1, table Default-IP-Routing-Table)
Flag: 0x820
    Advertised to update-groups:
        1
        65008 65002
        192.168.78.8 from 192.168.78.8 (192.168.78.8)
            Origin IGP, localpref 100, valid, external, best
        65006 65001 65003 65002
            192.168.67.6 from 192.168.67.6 (192.168.67.6)
                Origin IGP, localpref 100, valid, external
```

图 47: R7 的 BGP 数据库

## 29. 在 R8 上创建访问列表，配置路由过滤，用于抑制向 R7 传播关于 PC3 子网的更新，等待一段时间后再次查看 R7、R8 的 BGP 数据库中 PC3 所在子网的最佳路由。

R8 配置命令：

```
1 R8(config)#access-list 1 deny 10.0.2.0 0.0.0.255
2 R8(config)#access-list 1 permit 0.0.0.0 255.255.255.255
3 R8(config)#router bgp 65008
4 R8(config-router)#neighbor 192.168.78.7 distribute-list 1 out
```

观察得知：R8 上到达 PC3 子网的最佳路由的下一跳是192.168.28.2，该路由被过滤，没有传递给 R7，因此，R7 上到达 PC3 子网的最佳路由的下一跳是192.168.67.6，数据不再经过 AS 65008 了。

```
R8#show access-lists
Standard IP access list 1
 10 deny  10.0.2.0, wildcard bits 0.0.0.255 (1 match)
 20 permit any (7 matches)
```

图 48: R8 生效的访问列表

```
R8#show ip bgp 10.0.2.0
BGP routing table entry for 10.0.2.0/24, version 9
Paths: (2 available, best #2, table Default-IP-Routing-Table)
Flag: 0x820
    Advertised to update-groups:
        1
        65007 65006 65001 65003 65002
            192.168.78.7 from 192.168.78.7 (192.168.78.7)
                Origin IGP, localpref 100, valid, external
        65002
            192.168.28.2 from 192.168.28.2 (192.168.28.2)
                Origin IGP, metric 0, localpref 100, valid, external, best
```

图 49: R8 的 BGP 数据库

```
R7#show ip bgp 10.0.2.0
BGP routing table entry for 10.0.2.0/24, version 20
Paths: (1 available, best #1, table Default-IP-Routing-Table)
Flag: 0x820
    Advertised to update-groups:
        1
        65006 65001 65003 65002
            192.168.67.6 from 192.168.67.6 (192.168.67.6)
                Origin IGP, localpref 100, valid, external, best
```

图 50: R7 的 BGP 数据库

30. 激活 R1 上的 f0/1 端口，配置 IPv6 的 site-local 地址；给 f2/0 口配置 IPv6 的 site-local 地址。  
查看 IPv6 接口，标记自动分配的 link-local 地址。

R1 配置命令：

```
1 R1(config)#interface f0/1
2 R1(config-if)#ipv6 address fec0::6500:101:1/112
3 R1(config-if)#no shutdown
4 R1(config-if)#interface f2/0
5 R1(config-if)#ipv6 address fec0::6500:16:1/112
```

查看 R1 的 IPv6 接口，观察得知：系统为 f0/1 端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C601:4FF:FEAD:1。系统为 f2/0 端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C601:4FF:FEAD:20。

```
FastEthernet0/1 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C601:4FF:FEAD:1
Global unicast address(es):
    FEC0::6500:101:1, subnet is FEC0::6500:101:0/112
Joined group address(es):
    FF02::1
    FF02::2
    FF02::1:FF01:1
    FF02::1:FFAD:1
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds

FastEthernet2/0 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C601:4FF:FEAD:20
Global unicast address(es):
    FEC0::6500:16:1, subnet is FEC0::6500:16:0/112
Joined group address(es):
    FF02::1
    FF02::2
    FF02::1:FF16:1
    FF02::1:FFAD:20
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds
```

图 51: R1 的 IPv6 接口

31. 给 R6 的 f2/0、f0/1 端口配置 IPv6 的 site-local 地址，查看 IPv6 接口，标记自动分配的 link-local 地址。在 R1 上分别测试到 R6 的 site-local 和 link-local 地址的连通性。

R6 配置命令：

```
1 R6(config)#interface f2/0
2 R6(config-if)#ipv6 address fec0::6500:16:6/112
3 R6(config-if)#interface f0/1
4 R6(config-if)#ipv6 address fec0::6500:601:6/112
5 R6(config-if)#no shutdown
```

查看 R1 的 IPv6 接口，观察得知：系统为 f0/1 端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C606:4FF:FEFA:1。系统为 f2/0 端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C606:4FF:FEFA:20。

```

FastEthernet0/1 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C606:4FF:FEFA:1
Global unicast address(es):
  FEC0::6500:601:6, subnet is FEC0::6500:601:0/112
Joined group address(es):
  FF02::1
  FF02::2
  FF02::1:FF01:6
  FF02::1:FFFA:1
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds

FastEthernet2/0 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C606:4FF:FEFA:20
Global unicast address(es):
  FEC0::6500:16:6, subnet is FEC0::6500:16:0/112
Joined group address(es):
  FF02::1
  FF02::2
  FF02::1:FF16:6
  FF02::1:FFFA:20
MTU is 1500 bytes
ICMP error messages limited to one every 100 milliseconds
ICMP redirects are enabled
ND DAD is enabled, number of DAD attempts: 1
ND reachable time is 30000 milliseconds

```

图 52: R6 的 IPv6 接口

ping 测试结果：

```

R1#ping fec0::6500:16:6
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to FEC0::6500:16:6, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 8/147/328 ms
R1#ping FE80::C606:4FF:FEFA:20
Output Interface: f2/0
% Invalid interface. Use full interface name without spaces (e.g. Serial0/1)
Output Interface: fastEthernet2/0
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to FE80::C606:4FF:FEFA:20, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of FE80::C601:4FF:FEAD:20
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 12/17/24 ms

```

图 53: R1 能 ping 通 R6 的 site-local 和 link-local 地址

32. 分别在 R1、R6 上启用 IPv6 单播路由，宣告直连网络，互相设置对方为 IPv6 邻居。然后查看 IPv6 单播邻居信息。

R1 配置命令：

```

1 R1(config)#ipv6 unicast-routing
2 R1(config)#router bgp 6500

```

```

3 R1(config-router)#address-family ipv6
4 R1(config-router-af)#network fec0::6500:101:0/112
5 R1(config-router-af)#network fec0::6500:16:0/112
6 R1(config-router-af)#neighbor fec0::6500:16:6 remote-as 65006
7 R1(config-router-af)#exit
8 R1(config-router)#exit

```

R6 配置命令：

```

1 R6(config)#ipv6 unicast-routing
2 R6(config)#router bgp 65006
3 R6(config-router)#address-family ipv6
4 R6(config-router-af)#network fec0::6500:601:0/112
5 R6(config-router-af)#network fec0::6500:16:0/112
6 R6(config-router-af)#neighbor fec0::6500:16:1 remote-as 65001
7 R6(config-router-af)#exit
8 R6(config-router)#exit

```

查看 R6 的 IPv6 的邻居信息：与 IPv6 地址FEC0::6500:16:1 的邻居状态关系已为 Established。

查看 R1 的 IPv6 的邻居信息：与 IPv6 地址FEC0::6500:16:6 的邻居状态关系已为 Established。

```

R6#show ip bgp ipv6 unicast neighbors
BGP neighbor is FEC0::6500:16:1, remote AS 65001, external link
  BGP version 4, remote router ID 192.168.16.1
  BGP state = Established, up for 00:02:18
  Last read 00:00:18, last write 00:00:18, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
  Neighbor capabilities:
    Route refresh: advertised and received(cold & new)
    Address family IPv6 Unicast: advertised and received

```

图 54: R6 的 IPv6 的邻居信息

```

R1#show ip bgp ipv6 unicast neighbors
BGP neighbor is FEC0::6500:16:6, remote AS 65006, external link
  BGP version 4, remote router ID 192.168.67.6
  BGP state = Established, up for 00:01:27
  Last read 00:00:26, last write 00:00:26, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
  Neighbor capabilities:
    Route refresh: advertised and received(cold & new)
    Address family IPv6 Unicast: advertised and received

```

图 55: R1 的 IPv6 的邻居信息

33. 给 PC2 配置 IPv6 的 site-local 地址。查看 IPv6 信息，标出链路本地地址及路由器的 MAC 地址。测试下与 R1 的连通性。

PC2 配置命令：

```

1 PC2> ip fec0::6500:101:2/112

```

查看 PC2 的 IPv6 配置，链路本地地址为：fe80::250:79ff:fe66:6801，路由器的 MAC 地址为：c4:01:04:ad:00:01。

```
[PC2> show ipv6

NAME          : PC2[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE    : fec0::6500:101:2/112
ROUTER LINK-LAYER : c4:01:04:ad:00:01
MAC           : 00:50:79:66:68:01
LPORT          : 10070
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:10071
MTU:           : 1500]
```

图 56: PC2 的 IPv6 配置

```
[PC2> ping fec0::6500:101:1

fec0::6500:101:1 icmp6_seq=1 ttl=64 time=3.361 ms
fec0::6500:101:1 icmp6_seq=2 ttl=64 time=7.995 ms
fec0::6500:101:1 icmp6_seq=3 ttl=64 time=9.777 ms
fec0::6500:101:1 icmp6_seq=4 ttl=64 time=11.892 ms
fec0::6500:101:1 icmp6_seq=5 ttl=64 time=9.708 ms]
```

图 57: PC2 能 ping 通 R1

34. 给 PC5 配置 IPv6 地址。查看 IPv6 信息，标出链路本地地址及路由器的 MAC 地址。测试下与 R6 的连通性。

PC5 配置命令：

```
1 PC5> ip fec0::6500:601:5/112
```

查看 PC5 的 IPv6 配置，链路本地地址为:fe80::250:79ff:fe66:6804，路由器的 MAC 地址为:c4:06:04:fa:00:01。

```
[PC5> show ipv6

NAME          : PC5[1]
LINK-LOCAL SCOPE : fe80::250:79ff:fe66:6804/64
GLOBAL SCOPE    : fec0::6500:601:5/112
ROUTER LINK-LAYER : c4:06:04:fa:00:01
MAC           : 00:50:79:66:68:04
LPORT          : 10076
RHOST:PORT     : 127.0.0.1:10077
MTU:           : 1500]
```

图 58: PC5 的 IPv6 配置

```
[PC5> ping fec0::6500:601:6

fec0::6500:601:6 icmp6_seq=1 ttl=64 time=7.977 ms
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=2 ttl=64 time=8.476 ms
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=3 ttl=64 time=9.519 ms
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=4 ttl=64 time=8.894 ms
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=5 ttl=64 time=9.315 ms
```

图 59: PC5 能 ping 通 R6

## 35. 查看 R1 的 IPv6 路由表，标出 BGP 路由，并测试 PC2 到 PC5 的连通性。

```
R1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 7 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
      U - Per-user Static route
      I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
      O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
      ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
L   FE80::/10 [0/0]
    via ::, Null0
C   FEC0::6500:16:0/112 [0/0]
    via ::, FastEthernet2/0
L   FEC0::6500:16:1/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet2/0
C   FEC0::6500:101:0/112 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/1
L   FEC0::6500:101:1/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/1
B   FEC0::6500:601:0/112 [20/0]
    via FE80::C606:4FF:FEFA:20, FastEthernet2/0
L   FF00::/8 [0/0]
    via ::, Null0
```

图 60: R1 的 IPv6 路由表

```
[PC2> ping fec0::6500:601:5

fec0::6500:601:5 icmp6_seq=1 ttl=60 time=61.347 ms
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=2 ttl=60 time=41.790 ms
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=3 ttl=60 time=39.455 ms
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=4 ttl=60 time=42.865 ms
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=5 ttl=60 time=41.852 ms
```

图 61: PC2 能 ping 通 PC5

## 36. 激活 R2 上的 f0/1 端口，配置 IPv6 的 site-local 地址；启用 IPv6 单播路由。给 PC4 配置 IPv6 地址，并测试下 PC4 和 R2、PC2 的连通性。

R2 配置命令：

```

1 R2(config)#interface f0/1
2 R2(config-if)#ipv6 address fec0::6500:202:4/112
3 R2(config-if)#no shutdown
4 R2(config-if)#exit
5 R2(config)#ipv6 unicast-routing

```

PC4 配置命令：

```

1 PC4> ip fec0::6500:202:4/112

```

此时由于路由器R2 没有PC4 的IPv6 路由，无法 Ping 通。

```

[PC4> ping fec0::6500:202:4

fec0::6500:202:4 icmp_seq=1 ttl=64 time=0.001 ms
fec0::6500:202:4 icmp_seq=2 ttl=64 time=0.001 ms
fec0::6500:202:4 icmp_seq=3 ttl=64 time=0.001 ms
fec0::6500:202:4 icmp_seq=4 ttl=64 time=0.001 ms
fec0::6500:202:4 icmp_seq=5 ttl=64 time=0.001 ms

```

图 62: PC4 能 ping 通 R2

```

[PC4> ping fec0::6500:101:2

fec0::6500:101:2 icmp6_seq=1 timeout
fec0::6500:101:2 icmp6_seq=2 timeout
fec0::6500:101:2 icmp6_seq=3 timeout
fec0::6500:101:2 icmp6_seq=4 timeout
fec0::6500:101:2 icmp6_seq=5 timeout

```

图 63: PC4 不能 ping 通 PC2

37. 分别在 R1 和 R2 上创建 IPv6 隧道，设置隧道 IPv6 地址，设置隧道源接口，设置隧道的目标 IPv4 地址，设置隧道模式为手工配置。两路由器隧道的 IPv6 地址要在同一个子网，目标地址设置为对方的 IPv4 接口地址。隧道源接口必须使用配置了 IPv4 地址的接口。

R1 配置命令：

```

1 R1(config)#interface tunnel0
2 R1(config-if)#ipv6 address fec0::1020:10/112
3 R1(config-if)#tunnel source f1/0
4 R1(config-if)#tunnel destination 192.168.25.2
5 R1(config-if)#tunnel mode ipv6ip

```

R2 配置命令：

```

1 R2(config)#interface tunnel0
2 R2(config-if)#ipv6 address fec0::1020:20/112
3 R2(config-if)#tunnel source f1/0
4 R2(config-if)#tunnel destination 192.168.13.1
5 R2(config-if)#tunnel mode ipv6ip

```

38. 在 R1、R2 上为对方的 IPv6 子网设置静态路由，下一跳为隧道接口。然后在 PC2 上测试到 PC4 之间的连通性。

R1 配置命令：

```

1 R1(config)#ipv6 route fec0::6500:202:0/112 tunnel 0

```

R2 配置命令：

```

1 R2(config)#ipv6 route fec0::6500:101:0/112 tunnel 0

```

```

[PC2> ping fec0::6500:202:4

fec0::6500:202:4 icmp6_seq=1 ttl=63 time=59.639 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=2 ttl=63 time=59.188 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=3 ttl=63 time=60.263 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=4 ttl=63 time=60.078 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=5 ttl=63 time=74.924 ms

```

图 64: PC2 能 ping 通 PC4

39. 在 R2 上为 PC5 的子网设置静态路由，下一跳为隧道接口。然后在 PC5 上测试到 PC4 之间的连通性。如果不通，查看 R6 上的路由信息。

R2 配置命令：

```

1 R2(config)#ipv6 route fec0::6500:601:0/112 tunnel 0

```

PC5 ping PC4 的测试结果：观察得知，从路由器 R6 返回没有路由的错误。

```

[PC5> ping fec0::6500:202:4

*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=1 ttl=64 time=4.764 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=2 ttl=64 time=9.741 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=3 ttl=64 time=9.599 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=4 ttl=64 time=9.639 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=5 ttl=64 time=8.723 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)

```

图 65: PC5 ping PC4 的测试结果

R6 的 IPv6 路由表：观察得知，R6 上没有 fec0::6500:202:0/112 的路由。

```
R6#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 7 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
      U - Per-user Static route
      I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
      O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
      ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
L   FE80::/10 [0/0]
    via ::, Null0
C   FEC0::6500:16:0/112 [0/0]
    via ::, FastEthernet2/0
L   FEC0::6500:16:6/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet2/0
B   FEC0::6500:101:0/112 [20/0]
    via FE80::C601:4FF:FEAD:20, FastEthernet2/0
C   FEC0::6500:601:0/112 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/1
L   FEC0::6500:601:6/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/1
L   FF00::/8 [0/0]
    via ::, Null0
```

图 66: R6 的 IPv6 路由表

40. 在 R1 的 BGP 中重分发 IPv6 的静态路由，然后查看 R6 的 BGP 数据库，标记新出现的 R2 的 IPv6 网络路由。再次在 PC5 上测试到 PC4 之间的连通性。

R1 配置命令：

```
1 R1(config)#router bgp 65001
2 R1(config-router)#address-family ipv6
3 R1(config-router-af)#redistribute static
4 R1(config-router-af)#exit
5 R1(config-router)#exit
```

```
R6#show ip bgp ipv6 unicast
BGP table version is 7, local router ID is 192.168.67.6
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
              r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

      Network          Next Hop           Metric LocPrf Weight Path
*   FEC0::6500:16:0/112
                  FEC0::6500:16:1       0          0 65001 i
*>   ::                   0          32768 i
*>   FEC0::6500:101:0/112
                  FEC0::6500:16:1       0          0 65001 i
*>   FEC0::6500:202:0/112
                  FEC0::6500:16:1       0          0 65001 ?
*>   FEC0::6500:601:0/112
                  ::                   0          32768 i
```

图 67: R6 的 BGP 数据库

```
R6#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 8 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
      U - Per-user Static route
      I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
      O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
      ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
L   FE80::/10 [0/0]
    via ::, Null0
C   FEC0::6500:16:0/112 [0/0]
    via ::, FastEthernet2/0
L   FEC0::6500:16:6/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet2/0
B   FEC0::6500:101:0/112 [20/0]
    via FE80::C601:4FF:FEAD:20, FastEthernet2/0
B   FEC0::6500:202:0/112 [20/0]
    via FE80::C601:4FF:FEAD:20, FastEthernet2/0
C   FEC0::6500:601:0/112 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/1
L   FEC0::6500:601:6/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/1
L   FF00::/8 [0/0]
    via ::, Null0
```

图 68: R6 的路由表

```
[PC5> ping fec0::6500:202:4

fec0::6500:202:4 icmp6_seq=1 ttl=62 time=118.432 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=2 ttl=62 time=102.234 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=3 ttl=62 time=101.303 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=4 ttl=62 time=106.849 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=5 ttl=62 time=114.155 ms
```

图 69: PC5 ping PC4 的测试结果

#### 41. 整理各路由器的当前运行配置，选择与本实验相关的内容记录在文本文件中。

##### R1.txt

```
1 R1#show running-config
2 !
3 hostname R1
4 !
5 interface Tunnel0
6 no ip address
7 ipv6 address FEC0::1020:10/112
8 tunnel source FastEthernet1/0
9 tunnel destination 192.168.25.2
10 tunnel mode ipv6ip
11 !
12 interface FastEthernet0/0
13 ip address 10.0.1.1 255.255.255.0
14 duplex auto
```

```
15 speed auto
16 !
17 interface FastEthernet1/0
18 ip address 192.168.13.1 255.255.255.0
19 duplex auto
20 speed auto
21 !
22 interface FastEthernet2/0
23 ip address 192.168.16.1 255.255.255.0
24 duplex auto
25 speed auto
26 ipv6 address FEC0::6500:16:1/112
27 !
28 router bgp 65001
29 no synchronization
30 bgp log-neighbor-changes
31 network 10.0.1.0 mask 255.255.255.0
32 network 192.168.13.0
33 network 192.168.16.0
34 neighbor 192.168.13.3 remote-as 65003
35 neighbor 192.168.16.6 remote-as 65006
36 neighbor FEC0::6500:16:6 remote-as 65006
37 no neighbor FEC0::6500:16:6 activate
38 no auto-summary
39 !
40 address-family ipv6
41 neighbor FEC0::6500:16:6 activate
42 network FEC0::6500:16:0/112
43 network FEC0::6500:101:0/112
44 redistribute static
45 no synchronization
46 exit-address-family
47 !
48 no cdp log mismatch duplex
49 ipv6 route FEC0::6500:202:0/112 Tunnel0
50 !
51 end
```

## R2.txt

```
1 R2#show running-config
2 !
3 hostname R2
4 !
5 interface Tunnel0
6 no ip address
7 ipv6 address FEC0::1020:20/112
8 tunnel source FastEthernet1/0
9 tunnel destination 192.168.13.1
10 tunnel mode ipv6ip
```

```
11 !
12 interface FastEthernet0/0
13 ip address 10.0.2.1 255.255.255.0
14 duplex auto
15 speed auto
16 !
17 interface FastEthernet1/0
18 ip address 192.168.25.2 255.255.255.0
19 duplex auto
20 speed auto
21 !
22 interface FastEthernet2/0
23 ip address 192.168.28.2 255.255.255.0
24 duplex auto
25 speed auto
26 !
27 router bgp 65002
28 no synchronization
29 bgp log-neighbor-changes
30 network 10.0.2.0 mask 255.255.255.0
31 network 192.168.25.0
32 network 192.168.28.0
33 neighbor 192.168.25.5 remote-as 65003
34 neighbor 192.168.28.8 remote-as 65008
35 no auto-summary
36 !
37 no cdp log mismatch duplex
38 ipv6 route FEC0::6500:101:0/112 Tunnel0
39 ipv6 route FEC0::6500:601:0/112 Tunnel0
40 !
41 end
```

### R3.txt

```
1 R3#show running-config
2 !
3 hostname R3
4 !
5 interface Loopback0
6 ip address 192.168.3.1 255.255.255.255
7 !
8 interface FastEthernet0/0
9 ip address 192.168.34.3 255.255.255.0
10 duplex auto
11 speed auto
12 !
13 interface FastEthernet1/0
14 ip address 192.168.13.3 255.255.255.0
15 duplex auto
16 speed auto
```

```
17 !
18 router ospf 48
19 log-adjacency-changes
20 redistribute bgp 65003 subnets
21 network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
22 !
23 router bgp 65003
24 synchronization
25 bgp log-neighbor-changes
26 network 192.168.13.0
27 network 192.168.34.0
28 redistribute ospf 48
29 neighbor 192.168.5.1 remote-as 65003
30 neighbor 192.168.5.1 update-source Loopback0
31 neighbor 192.168.13.1 remote-as 65001
32 no auto-summary
33 !
34 end
```

#### R4.txt

```
1 R4#show running-config
2 !
3 hostname R4
4 !
5 interface Loopback0
6 ip address 192.168.4.1 255.255.255.255
7 !
8 interface FastEthernet0/0
9 ip address 192.168.34.4 255.255.255.0
10 duplex auto
11 speed auto
12 !
13 router ospf 48
14 log-adjacency-changes
15 network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
16 !
17 end
```

#### R5.txt

```
1 R5#show running-config
2 !
3 hostname R5
4 !
5 interface Loopback0
6 ip address 192.168.5.1 255.255.255.255
7 !
8 interface FastEthernet0/1
9 ip address 192.168.45.5 255.255.255.0
```

```
10 duplex auto
11 speed auto
12 !
13 interface FastEthernet1/0
14 ip address 192.168.25.5 255.255.255.0
15 duplex auto
16 speed auto
17 !
18 router ospf 48
19 log-adjacency-changes
20 redistribute bgp 65003 subnets
21 network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0
22 !
23 router bgp 65003
24 synchronization
25 bgp log-neighbor-changes
26 network 192.168.25.0
27 network 192.168.45.0
28 neighbor 192.168.3.1 remote-as 65003
29 neighbor 192.168.3.1 update-source Loopback0
30 neighbor 192.168.25.2 remote-as 65002
31 no auto-summary
32 !
33 end
```

### R6.txt

```
1 R6#show running-config
2 !
3 hostname R6
4 !
5 interface FastEthernet0/0
6 ip address 192.168.67.6 255.255.255.0
7 duplex auto
8 speed auto
9 !
10 interface FastEthernet2/0
11 ip address 192.168.16.6 255.255.255.0
12 duplex auto
13 speed auto
14 ipv6 address FEC0::6500:16:6/112
15 !
16 router bgp 65006
17 no synchronization
18 bgp log-neighbor-changes
19 network 192.168.16.0
20 network 192.168.67.0
21 neighbor 192.168.16.1 remote-as 65001
22 neighbor 192.168.67.7 remote-as 65007
23 neighbor FEC0::6500:16:1 remote-as 65001
```

```
24 no neighbor FEC0::6500:16:1 activate
25 no auto-summary
26 !
27 address-family ipv6
28 neighbor FEC0::6500:16:1 activate
29 network FEC0::6500:16:0/112
30 network FEC0::6500:601:0/112
31 exit-address-family
32 !
33 end
```

### R7.txt

```
1 R7#show running-config
2 !
3 hostname R7
4 !
5 interface FastEthernet0/0
6 ip address 192.168.67.7 255.255.255.0
7 duplex auto
8 speed auto
9 !
10 interface FastEthernet0/1
11 ip address 192.168.78.7 255.255.255.0
12 duplex auto
13 speed auto
14 !
15 router bgp 65007
16 no synchronization
17 bgp log-neighbor-changes
18 network 192.168.67.0
19 network 192.168.78.0
20 neighbor 192.168.67.6 remote-as 65006
21 neighbor 192.168.78.8 remote-as 65008
22 no auto-summary
23 !
24 end
```

### R8.txt

```
1 R8#show running-config
2 !
3 hostname R8
4 !
5 interface FastEthernet0/1
6 ip address 192.168.78.8 255.255.255.0
7 duplex auto
8 speed auto
9 !
10 interface FastEthernet2/0
```

```
11 ip address 192.168.28.8 255.255.255.0
12 duplex auto
13 speed auto
14 !
15 router bgp 65008
16 no synchronization
17 bgp log-neighbor-changes
18 network 192.168.28.0
19 network 192.168.78.0
20 neighbor 192.168.28.2 remote-as 65002
21 neighbor 192.168.78.7 remote-as 65007
22 neighbor 192.168.78.7 distribute-list 1 out
23 no auto-summary
24 !
25 access-list 1 deny 10.0.0.2.0 0.0.0.255
26 access-list 1 permit any
27 no cdp log mismatch duplex
28 !
29 end
```

## 六、 实验结果与分析

1. 在 AS 内部两个 BGP 邻居是否一定要直接连接？如果不直接连接，它们之间是如何获得到达对方的路由的？需要和 OSPF 那样建立虚链路吗？

不一定。如果不在物理上直连，则使用回环接口。不需要建立虚链路。

2. 默认情况下，BGP 根据什么条件决定最佳路由？

选择通过的 AS 最少的。

3. 为什么未启用同步时，R1 选择 AS 65003 作为到达 R2 的转发路径时，R3 和 R5 的路由表都存在去往 R2 的路由，但实际却不能 ping 通？

未启用同步时，BGP 对外发布时，内部的 R4 尚未学到外部路由，导致路由黑洞的出现。

4. 为什么未启用路由重分发时，R4 没有外部网络的路由？

未启用路由重分发时，R4 不能将 BGP 协议学习到的路由加入到 OSPF 数据库中，所以 R4 没有外部网络的路由。

5. 为什么 PC 可以不设置 IPv6 的默认路由器？路由器可以吗？

PC 可以根据路由器的回执自动指派默认路由器。路由器不可以不设置。

**6. R1 和 R2 两边的 IPv6 网络是采用什么技术通过 IPv4 的网络进行通信的？R6 的 IPv6 网络又是如何实现与 R2 的 IPv6 网络通信的？**

隧道技术。

R1 的 BGP 中重分发 IPv6 的静态路由后，R6 可以学习 R1 广播出来的路由，通过指向 R1 来实现与 R2 的 IPv6 网络通信。

## 七、讨论与心得

这是计算机网络课程实验中最后一个使用 GNS3 模拟器的实验。通过前几次实验的积累，我已经对 Cisco 的 IOS 系统上的操作较为熟练，对于路由的理解也更加深入。本次实验的过程总体上比较顺利，用了较长时间的步骤是设置路由过滤前，R7 的 BGP 数据库中 10.0.2.0 的路由只有一个。我多次试验后，都无法出现两条路径。于是，我将已有的路径手动断掉再连上，出现了预期的结果。

过去我只听说过 IPv6，在本次实验中我亲自动手配置了 IPv6，并了解了 IPv6 实现兼容 IPv4 的技术，感到收获很大。