

# 浙江大学

## 本科实验报告

课程名称:	计算机网络基础
实验名称:	动态路由协议 BGP 配置
姓 名:	蒋仕彪
学 院:	计算机学院
系:	求是科学班（计算机）1701
专 业:	计算机科学与技术
学 号:	3170102587
指导教师:	董玮

2020 年 5 月 7 日

# 浙江大学实验报告

## 一、实验目的

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

## 二、实验内容

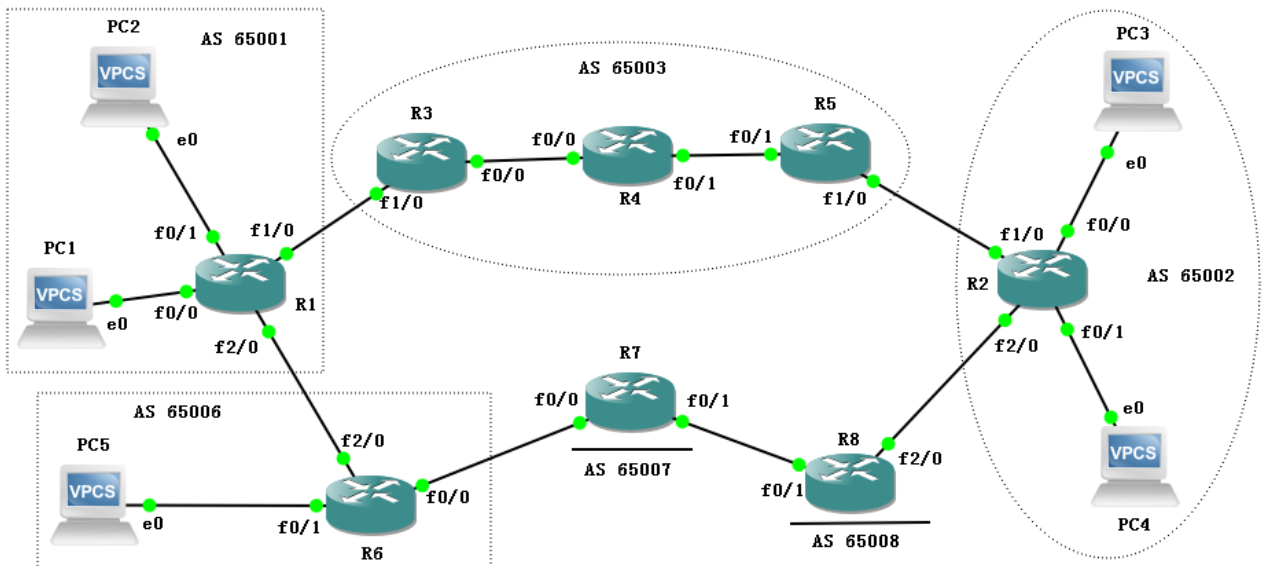
- 创建多种类型的网络，各自成为一个独立的 AS
- AS 内部路由器配置成启用 OSPF 路由协议
- 在同一个 AS 边界上的路由器启用 BGP 协议，形成邻居关系
- 在不同 AS 边界路由器上启用 BGP 协议，直连路由器之间建立邻居关系
- 观察各路由器上的路由表和 BGP 运行数据，并验证各 PC 能够相互 Ping 通
- 断开某些链路，观察 BGP 事件和路由表变化
- 在 AS 边界路由器上配置路由聚合
- 在 AS 间进行多径负载均衡

## 三、主要仪器设备

PC 机、路由器、Console 连接线、直联网络线、交叉网络线。如果物理设备不足，可以使用模拟软件，建议使用 GNS3 软件，详情请参考《使用 GNS3 软件模拟 IOS 指南》。

## 四、操作方法与实验步骤

按照下面的拓扑图连接路由器和 PC 机。每个自治系统 (AS) 均分配 1 个独立的 AS 号。其中，AS 65003 内部运行 OSPF 路由协议，R6、R7、R8 分别代表一个 AS。



实验主要步骤:

- 配置路由器各接口的 IP 地址 (除了 R1 的 f0/1、R2 的 f0/1 接口配置 IPv6 的地址外，其他均配置 IPv4 的地址)，使直连的 2 个路由器能相互 Ping 通，为方便记忆，建议使用 192.168.xy.x/24、192.168.xy.y/24 形式的地址，其中 x,y 分别是相连路由器的编号，例如可以设置 R1 连接 R3 的 f1/0 接口 IP 为 192.168.13.1，R3 连接 R1 的 f1/0 接口 IP 为 192.168.13.3，其他类推；

- 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，使用 10.0.x.y/24 的形式的私网地址，其中 x 为子网号，y 为主机地址；
- 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，使用 FEC0::x:y:z/112 形式的站点本地地址，其中 x、y 为子网号，z 为主机地址；
  - IPv6 的地址分配规则：FEC0::/10 前缀的地址是 IPv6 站点本地地址段（site-local），相当于 IPv4 的私网地址段；FE80::/10 前缀的地址是用于 IPv6 链路本地的地址段（link-local）。给接口配置 site-local 地址时会自动分配 link-local 地址，也可以手工配置 link-local 地址。由于同一个接口可以配置多个 IPv6 地址，为避免路由学习时产生多个 Next-hop，路由器只把 link-local 地址作为 Next-hop。路由器会自动通告 link-local 地址的前缀，PC 可以根据这些信息自动配置 link-local 地址，并发现路由。
- 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。

#### BGP 知识点：

- 64512-65534 之间的 AS 号属于私有 AS 号，不在互联网出现。
- 两个路由器都在同一个 AS，称为 iBGP 邻居，链路称为内部 link。iBGP 邻居之间的链路可以为非直连链路，数据需要通过其他路由器转发。
- 两个路由器分属于不同的 AS，称为 eBGP 邻居，链路称为外部 link。
- BGP 路由状态：\*表示有效路由，>表示最佳路由，i 表示内部路由，r 表示写入路由表时被拒绝，原因可能是路由表中已存在优先级更高的同样路由。比如 OSPF 属于内部网关路由协议，优先级比外部网关路由协议 BGP 高。
- 多个 AS 之间互相连接，从 R1 到 R2 存在多条 AS 间的路径，例如：
  - 65001->65003->65002
  - 65001->65006->65007->65009->65002
  - 65001->65006->65008->65009->65002

BGP 选择最佳路由的依据有很多，默认是选择经过最少 AS 数量的路径，不以接口速度带宽为标准。

- 路由器在发送 BGP 消息时，可能使用物理接口的 IP 地址作为源地址，这样会因为与对方配置的邻居地址不符，导致无法建立邻居关系。因此需要设置更新源为回环接口，可以避免这种情况发生。
- 同步功能是让 BGP 等待内部路由器（如 R4）学到了外部路由后才对外发布。重分发功能是把其他路由协议（如 OSPF）学习到的路由添加到自己数据库中（如 OSPF）。
- 路由聚合是将路由表中下一跳相同的多个网络合并成一个网络，这样可以减少路由表的大小，加速路由器转发处理速度。

#### BGP 相关命令：

- 在路由器 R1 上启用 BGP 协议，设置 AS 号，并宣告直连网络：
 

```
R1(config)# router bgp <AS-Number>
R1(config-router)# network x.x.x.x mask x.x.x.x
```
- 把对方增加为 AS 内部的邻居（AS-Number 设置为相同的 AS 号）
 

```
R1(config-router)# neighbor <IP-Address> remote-as <AS-Number>
```
- 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(config-router)# neighbor <IP-Address> remote-as <AS-Number>
```

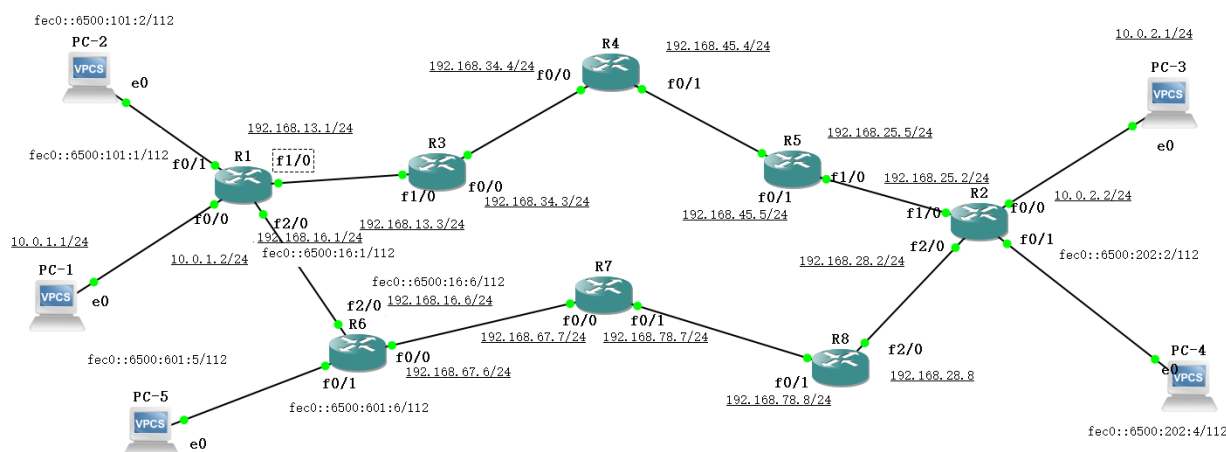
- 查看邻居关系：  
R1# show ip bgp neighbor
- 打开 bgp 调试：  
R1# debug ip bgp
- 查看 BGP 数据库：  
R1# show ip bgp
- 启用 BGP 同步功能：  
R1(config-router)# synchronization
- 设置 BGP 更新源为回环接口 (IP-Addr 设置为对方的回环口 IP)：  
R1(config-router)# neighbor <IP-Addr> update-source loopback 0
- 在 BGP 中启用路由重分发功能，从 OSPF 中重分发路由信息：  
R1(config)# router bgp <AS-Number>  
R1(config-router)# redistribute ospf <process-id>
- 在 OSPF 中启用重分发功能，从 BGP 中重分发路由信息：  
R1(config)# router ospf <process-id>  
R1(config-router)# redistribute bgp <AS-Number> subnets
- 聚合路由 (summary-only 参数的含义是只传递聚合后的路由，as-set 参数的含义是在传播网络时加上 AS 属性，避免出现循环路由)：  
R1(config-route)# aggregate-address <ip network> <subnet mask> summary-only as-set
- 设置允许多条路径：  
R1(config-router)# maximum-paths 2

## 五、实验数据记录和处理

以下实验记录需结合屏幕截图进行文字标注和描述，图片应大小合适、关键部分清晰可见（[本文档中的截图仅用于示例，请更换成你自己的](#)）。记录输入的命令时，直接粘贴文字即可（保留命令前面的提示符，如 **R1#**）。

1. 参考实验操作方法的说明, 设计好每个 PC、路由器各接口的 IP 地址及掩码 (除了 PC2、PC4、PC5 以及与之相连的路由器接口配置 IPv6 的地址外, 其他均配置 IPv4 的地址), 并标注在拓扑图上。

### 设计的拓扑图



## ----Part 1. 配置 iBGP-----

2. 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。其中进程 ID 请设置为学号的后 2 位（全 0 者往前取值）。

### R3 配置命令：

```
R3(config)#interface f0/0
R3(config-if)# ip addr 192.168.34.3 255.255.255.0
R3(config-if)# no shutdown
R3(config)#interface f1/0
R3(config-if)# ip addr 192.168.13.3 255.255.255.0
R3(config-if)# no shutdown
R3(config)#interface loopback 0
R3(config-if)# ip addr 192.168.3.1 255.255.255.255
R3(config)# router ospf 87
R3(config-router)# network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)# network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
R5(config-router)# network 192.168.13.0 0.0.0.255 area 0
```

### R4 配置命令：

```
R5(config)#interface f0/0
R5(config-if)# ip addr 192.168.34.4 255.255.255.0
R5(config-if)# no shutdown
R5(config)#interface f0/1
R5(config-if)# ip addr 192.168.45.4 255.255.255.0
R5(config-if)# no shutdown
R5(config)#interface loopback 0
R5(config-if)# ip addr 192.168.4.1 255.255.255.255
R5(config)# router ospf 87
R5(config-router)# network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 0
R5(config-router)# network 192.168.45.0 0.0.0.255 area 0
R5(config-router)# network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0
```

### R5 配置命令：

```
R5(config)#interface f0/1
R5(config-if)# ip addr 192.168.45.5 255.255.255.0
R5(config-if)# no shutdown
R5(config)#interface f1/0
R5(config-if)# ip addr 192.168.25.5 255.255.255.0
R5(config-if)# no shutdown
R5(config)#interface loopback 0
R5(config-if)# ip addr 192.168.5.1 255.255.255.255
R5(config)# router ospf 87
```

```
R5(config-router)# network 192.168.45.0 0.0.0.255 area 0
R5(config-router)# network 192.168.5.0 0.0.0.255 area 0
R5(config-router)# network 192.168.25.0 0.0.0.255 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（用回环口作为源地址，命令：  
ping <IP-addr> source loopback 0）之间的联通性。

R3 路由表：

```
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O 192.168.45.0/24 [110/20] via 192.168.34.4, 00:00:05, FastEthernet0/0
O 192.168.25.0/24 [110/21] via 192.168.34.4, 00:00:05, FastEthernet0/0
O 192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.4.1 [110/11] via 192.168.34.4, 00:00:05, FastEthernet0/0
O 192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.5.1 [110/21] via 192.168.34.4, 00:00:05, FastEthernet0/0
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O 192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
C 192.168.3.1 is directly connected, Loopback0
R3#
```

R4 路由表：

```
O 192.168.13.0/24 [110/11] via 192.168.34.3, 00:04:00, 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, 00:04:00, FastEthernet0/1
O 192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
C 192.168.4.1 is directly connected, Loopback0
O 192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.5.1 [110/11] via 192.168.45.5, 00:04:00, FastEthernet0/1
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O 192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.3.1 [110/11] via 192.168.34.3, 00:04:01, FastEthernet0/0
R4#
```

R5 路由表：

```
O 192.168.13.0/24 [110/21] via 192.168.45.4, 00:05:48, FastEthernet0/1
C 192.168.45.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C 192.168.25.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O 192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.4.1 [110/11] via 192.168.45.4, 00:05:48, FastEthernet0/1
O 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, 00:05:48, FastEthernet0/1
O 192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.3.1 [110/21] via 192.168.45.4, 00:05:50, FastEthernet0/1
R5#
```

R3→R5 的 Ping 结果：

```
R3#ping 192.168.5.1 source loopback 0
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.5.1, 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 = 20/48/80 ms
R3#
```

4. 启动 R3、R5 上的 BGP 协议（配置成同一个 AS），宣告直连网络，然后把对方增加为 AS 内部的邻居（命令：neighbor <IP-Address> remote-as <AS-Number>），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:

```
R3#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#router bgp 65003
R3(config-router)#network 192.168.34.0 mask 255.255.255.0
R3(config-router)#network 192.168.13.0 mask 255.255.255.0
R3(config-router)#neighbor 192.168.5.1 remote-as 65003
R3(config-router)#exit
R3(config)#exit
```

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

### R5 配置命令:

```
R5(config)# router bgp 65003
R5(config-router)# network 192.168.45.0 mask 255.255.255.0
R5(config-router)# network 192.168.25.0 mask 255.255.255.0
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 (命令: `show ip bgp neighbor`), 标出 Link 类型和对方的 IP、连接状态。如果没有活动的 TCP 连接, 打开调试开关 (命令: `debug ip bgp`), 查看错误原因。观察完毕关掉调试 (命令: `no debug ip bgp`)。

**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。

```
R3#show ip bgp neighbor
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 00:03:25, last write 00:03:25, 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 in the update sent: max 0, min 0

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

**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。

```
R5#show ip bgp neighbor
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 00:03:38, last write 00:03:38, hold time is 180, keepalive interval is 60 sec
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
--More--
*Mar  1 01:08:32.223: %SYS-5-CONFIG I: Configured from console by console
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 in the update sent: max 0, min 0

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

**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 loopback，因邻居地址不符被拒绝。

```
R3#debug ip bgp
BGP debugging is on for address family: IPv4 Unicast
R3#
*Mar  1 01:10:21.627: BGP: 192.168.5.1 open active, local address 192.168.34.3
*Mar  1 01:10:21.659: BGP: 192.168.5.1 open failed: Connection refused by remote host, open active delayed 26004ms (35000ms max, 28% jitter)
R3#
```

6. 在 R3、R5 上设置 BGP 更新源为回环接口（命令：`neighbor <IP-Addr> update-source loopback 0`），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：**

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

**R5 配置命令：**

```
R5(config)# router bgp 65003
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 179。



```

R3#show ip bgp neighbors
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 00:01:36
  Last read 00:00:35, last write 00:00:35, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
  Neighbor capabilities:
    Route refresh: never
    Connection state is ESTAB, I/O status: 1, unread input bytes: 0
    Connection is ECN Disabled, Mininum incoming TTL 0, Outgoing TTL 255
    Local host: 192.168.3.1, Local port: 19079
    Foreign host: 192.168.5.1 Foreign port: 179
  Enqueued packets for retransmit: 0, input: 0 mis-ordered: 0 (0 bytes)

```

R5 的邻居关系（选取关键信息进行截图）：观察得知，与 R3 的邻居关系已经建立，对方的连接端口是 19079。

```

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 00:03:37
  Last read 00:00:36, last write 00:00:36, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
  Neighbor capabilities:
    Route refresh: never
    Connection state is ESTAB, I/O status: 1, unread input bytes: 0
    Connection is ECN Disabled, Mininum incoming TTL 0, Outgoing TTL 255
    Local host: 192.168.5.1, Local port: 179
    Foreign host: 192.168.3.1 Foreign port: 19079

```

7. 在 R3、R5 上查看 BGP 数据库（命令：show ip bgp），并查看路由表信息。

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

```

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

```

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。

```

C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O 192.168.45.0/24 [110/20] via 192.168.34.4, 00:33:16, FastEthernet0/0
O 192.168.25.0/24 [110/21] via 192.168.34.4, 00:33:16, FastEthernet0/0
O 192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.4.1 [110/11] via 192.168.34.4, 00:33:16, FastEthernet0/0
O 192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.5.1 [110/21] via 192.168.34.4, 00:33:16, FastEthernet0/0
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O 192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
C 192.168.3.1 is directly connected, Loopback0

```

R5 的 BGP 数据库（标出 iBGP 路由）：

```

R5#show ip bgp
BGP table version is 9, 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

```

R5 的路由表（标出在 BGP 数据库中存在，但优先级更高的 OSPF 路由）：

```
O 192.168.13.0/24 [110/21] via 192.168.45.4, 00:36:18, 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, 00:36:18, 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, 00:36:18, FastEthernet0/1
  192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
O   192.168.3.1 [110/21] via 192.168.45.4, 00:36:19, FastEthernet0/1
```

## ----Part 2. 配置 eBGP-----

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（命令：neighbor <IP-Address> remote-as <AS-Number>），IP-Address 为对方的 IP，AS-Number 设置为对方的 AS 号。

R1 的配置命令：（截图仅供参考，请替换成文本形式的配置命令）

```
R1(config)#interface f1/0
R1(config-if)# ip addr 192.168.13.1 255.255.255.0
R1(config-if)# no shut
R1(config)#interface f2/0
R1(config-if)# ip addr 192.168.16.1 255.255.255.0
R1(config-if)# no shut
R1(config)# router bgp 65001
R1(config-router)# network 192.168.13.0 mask 255.255.255.0
R1(config-router)# network 192.168.16.0 mask 255.255.255.0
R1(config-router)# neighbor 192.168.13.3 remote-as 65003
R1(config-router)# neighbor 192.168.16.6 remote-as 65006
```

R2 的配置命令：

```
R2(config)#interface f1/0
R2(config-if)# ip addr 192.168.25.2 255.255.255.0
R2(config-if)# no shut
R2(config)#interface f2/0
R2(config-if)# ip addr 192.168.28.2 255.255.255.0
R2(config-if)# no shut
R2(config)# router bgp 65002
R2(config-router)# network 192.168.25.0 mask 255.255.255.0
R2(config-router)# network 192.168.28.0 mask 255.255.255.0
R2(config-router)# neighbor 192.168.25.5 remote-as 65003
R2(config-router)# neighbor 192.168.28.8 remote-as 65008
```

R6 的配置命令：

```

R6(config)#interface f0/0
R6(config-if)# ip addr 192.168.67.6 255.255.255.0
R6(config-if)# no shut
R6(config)#interface f2/0
R6(config-if)# ip addr 192.168.16.6 255.255.255.0
R6(config-if)# no shut
R6(config)# router bgp 65006
R6(config-router)# network 192.168.67.0 mask 255.255.255.0
R6(config-router)# network 192.168.16.0 mask 255.255.255.0
R6(config-router)# neighbor 192.168.67.7 remote-as 65007
R6(config-router)# neighbor 192.168.16.1 remote-as 65001

```

#### R7 的配置命令:

```

R7(config)#interface f0/0
R7(config-if)# ip addr 192.168.67.7 255.255.255.0
R7(config-if)# no shut
R7(config)#interface f0/1
R7(config-if)# ip addr 192.168.78.7 255.255.255.0
R7(config-if)# no shut
R7(config)# router bgp 65007
R7(config-router)# network 192.168.67.0 mask 255.255.255.0
R7(config-router)# network 192.168.78.0 mask 255.255.255.0
R7(config-router)# neighbor 192.168.67.6 remote-as 65006
R7(config-router)# neighbor 192.168.78.8 remote-as 65008

```

#### R8 的配置命令:

```

R8(config)#interface f0/1
R8(config-if)# ip addr 192.168.78.8 255.255.255.0
R8(config-if)# no shut
R8(config)#interface f2/0
R8(config-if)# ip addr 192.168.28.8 255.255.255.0
R8(config-if)# no shut
R8(config)# router bgp 65008
R8(config-router)# network 192.168.78.0 mask 255.255.255.0
R8(config-router)# network 192.168.28.0 mask 255.255.255.0
R8(config-router)# neighbor 192.168.78.7 remote-as 65007
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 的配置命令:

```

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

```

R5 的配置命令:

```
R5(config)# router bgp 65003
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 (找出关键信息进行截图)。

R1 的邻居关系: R1 的两个邻居的 IP 分别为 192.168.13.3、192.168.67.6, 链路类型均为 external link。

```
R1#show ip bgp neighbors
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 00:00:14
  Last read 00:00:14, last write 00:00:14, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds

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 00:10:16
  Last read 00:00:16, last write 00:00:16, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

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

```
R2#show ip bgp neighbors
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 00:00:00
  Last read 00:00:00, last write 00:00:00, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds

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 00:10:45
  Last read 00:00:30, last write 00:00:30, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

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。

```
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 00:47:46
  Last read 00:00:45, last write 00:00:45, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds

BGP neighbor is 192.168.13.1, remote AS 65001, external link
  BGP version 4, remote router ID 192.168.16.1
  BGP state = Established, up for 00:08:59
  Last read 00:00:58, last write 00:00:58, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

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。

```
R5#show ip bgp neighbors
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 00:49:55
  Last read 00:00:54, last write 00:00:54, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds

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 00:04:21
  Last read 00:00:20, last write 00:00:20, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

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。

```
R6#show ip bgp neighbors
BGP neighbor is 192.168.16.1, remote AS 65001, external link
  BGP version 4, remote router ID 192.168.16.1
  BGP state = Established, up for 00:21:45
  Last read 00:00:45, last write 00:00:45, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

```
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 00:19:11
Last read 00:00:11, last write 00:00:11, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

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。

```
R7#show ip bgp neighbors
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 00:20:15
Last read 00:00:15, last write 00:00:15, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

```
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 00:17:46
Last read 00:00:47, last write 00:00:47, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

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。

```
R8#show ip bgp neighbors
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 00:19:45
Last read 00:00:44, last write 00:00:44, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

```
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 00:20:19
Last read 00:00:19, last write 00:00:19, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
```

11. 等待一会儿，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。

R1 的 BGP 数据库:

```
R1#show ip bgp
BGP table version is 13, local router ID is 192.168.16.1
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     192.168.13.3          0           0 65003 i
*>                0.0.0.0              0           0 32768 i
* 192.168.16.0     192.168.16.6          0           0 65006 i
*>                0.0.0.0              0           0 32768 i
*> 192.168.25.0     192.168.13.3          0           0 65003 i
*> 192.168.28.0     192.168.13.3          0           0 65003 65002 i
*                  192.168.16.6          0           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           0 65003 i
*> 192.168.67.0     192.168.16.6          0           0 65006 i
* 192.168.78.0     192.168.13.3          0           0 65003 65002 65008 i
*>                192.168.16.6          0           0 65006 65007 i
R1#
```

观察得知: 到达 R2-R5 间子网的下一跳是 192.168.13.3，经过的 AS 路径为 65001→65003；

到达 R6-R7 间子网的下一跳是 192.168.16.6，经过的 AS 路径为 65001→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 65001→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 65001→65003→65002。

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。

R2 的 BGP 数据库:

```
R2#show ip bgp
BGP table version is 15, local router ID is 192.168.28.2
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    192.168.25.5          0      65003 i
*> 192.168.16.0    192.168.25.5          0 65003 65001 i
*   192.168.28.8    192.168.28.8          0          65008 65007 65006 i
*   192.168.25.0    192.168.25.5          0      65003 i
*> 0.0.0.0         0.0.0.0                0         32768 i
*   192.168.28.0    192.168.28.8          0          65008 i
*> 0.0.0.0         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      65003 i
*   192.168.67.0    192.168.25.5          0 65003 65001 65006 i
*> 192.168.78.0    192.168.28.8          0      65008 65007 i
*> 192.168.78.0    192.168.28.8          0      65008 i
```

观察得知: 到达 R1-R3 间子网的下一跳是 192.168.25.5, 经过的 AS 路径为 65002→65003;

到达 R7-R8 间子网的下一跳是 192.168.28.8, 经过的 AS 路径为 65002→65008→65007;

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 65002→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 65002→65008→65007。

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, 是否与 BGP 数据库中的最佳路由一致。

R2 的路由表:

```
B 192.168.28.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:20:27
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
B 192.168.45.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:27:22
B 192.168.25.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:27:22
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 00:33:12
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 00:36:25
B 192.168.34.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:27:22
C 192.168.16.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
```

一致。

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, 是否与 BGP 数据库中的最佳路由一致。

R1 的路由表:

```
C 192.168.28.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
B 192.168.13.0/24 [20/0] via 192.168.25.5, 00:21:41
B 192.168.45.0/24 [20/0] via 192.168.25.5, 00:21:41
C 192.168.25.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.28.8, 00:31:55
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.28.8, 00:31:55
B 192.168.34.0/24 [20/0] via 192.168.25.5, 00:21:41
B 192.168.16.0/24 [20/0] via 192.168.25.5, 00:21:41
```

一致。

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 互联端口后（命令：`interface f1/0, shutdown`），在 R6 上观察到达 R2-R5 间子网的最佳路由有无变化。

R6 的 BGP 数据库（当前）：到达 R2-R5 间子网的最佳路由的下一跳为 192.168.16.1。

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		32768	i
*> 192.168.25.0	192.168.16.1			0	65001 65003 i
*	192.168.67.7			0	65007 65008 65002 i
* 192.168.28.0	192.168.16.1			0	65001 65003 65002 i
*>	192.168.67.7			0	65007 65008 i
*> 192.168.34.0	192.168.16.1			0	65001 65003 i
*> 192.168.45.0	192.168.16.1			0	65001 65003 i
* 192.168.67.0	192.168.67.7	0		0	65007 i
*>	0.0.0.0	0		32768	i
*> 192.168.78.0	192.168.67.7	0		0	65007 i

R6 的 BGP 数据库（断开连接后）：观察得知，到达 R2-R5 间子网的最佳路由的下一跳变为 192.168.67.7。

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

### ----Part 3. 路由重分发----

16. 重新激活 R1-R3 之间的端口（命令：`no shutdown`），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（命令：`traceroute ip-addr`，如果提前终止，可按 Ctrl+6）。

Ping 结果：

```
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)
```

路由跟踪结果：得到的现象是在路由器 192.168.34.4 中断了。

```
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 16 msec 16 msec
 2 192.168.34.4 [AS 65003] 20 msec 28 msec 36 msec
 3 192.168.34.4 [AS 65003] !H !H !H
R1#
```

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：**观察得知，到达 R2-R8 间子网的最佳路由的下一跳 IP 地址是 192.168.25.5。

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
* 192.168.13.0	192.168.13.1	0		0	65001 i
*>	0.0.0.0	0		32768	i
*> 192.168.16.0	192.168.13.1	0		0	65001 i
*> 192.168.25.0	192.168.5.1	0	100	0	i
*> 192.168.28.0	192.168.25.2	0	100	0	65002 i
*> 192.168.34.0	0.0.0.0	0		32768	i
*> 192.168.45.0	192.168.5.1	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

**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。

```
B 192.168.28.0/24 [200/0] via 192.168.25.2, 00:33:22
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O 192.168.45.0/24 [110/20] via 192.168.34.4, 01:43:38, FastEthernet0/0
O 192.168.25.0/24 [110/21] via 192.168.34.4, 01:43:38, FastEthernet0/0
B 192.168.78.0/24 [200/0] via 192.168.25.2, 00:33:22
  192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O   192.168.4.1 [110/11] via 192.168.34.4, 01:43:38, FastEthernet0/0
  192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O   192.168.5.1 [110/21] via 192.168.34.4, 01:43:40, FastEthernet0/0
B 192.168.67.0/24 [200/0] via 192.168.13.1, 00:07:37
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
B 192.168.16.0/24 [200/0] via 192.168.13.1, 00:07:37
  192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
C   192.168.3.1 is directly connected, Loopback0
R3#
```

**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。

```
O 192.168.13.0/24 [110/11] via 192.168.34.3, 01:45:16, 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, 01:45:16, 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, 01:45:16, 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, 01:45:18, FastEthernet0/0
R4#
```

18. 打开 R3、R5 的 BGP 同步功能（命令：[synchronization](#)），等一会儿查看 R3、R1 到达 R2-R8 间子网的路由是否发生变化。用 Ping 测试 R1 到达 R2-R8 互联端口的连通性，并跟踪路由。

**R3 的配置命令：**

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

**R5 的配置命令：**

```
R5(config)# router bgp 65003
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 s 不选择本 AS 作为转发路径。

```
Network      Next Hop      Metric LocPrf Weight Path
* 192.168.13.0 192.168.13.1    0         0 65001 i
*>
*> 0.0.0.0      0         32768 i
* 192.168.16.0 192.168.25.2    0      100    0 65002 65008 65007 65006 i
*>
*> 192.168.13.1 192.168.13.1    0         0 65001 i
*> 192.168.25.0 192.168.5.1     0      100    0 i
*> 192.168.28.0 192.168.13.1    0 65001 65006 65007 65008 i
* i 192.168.28.0 192.168.25.2    0      100    0 65002 i
*> 192.168.34.0 0.0.0.0         0         32768 i
* i 192.168.45.0 192.168.5.1     0      100    0 i
* i 192.168.67.0 192.168.25.2    0      100    0 65002 65008 65007 i
*>
*> 192.168.78.0 192.168.13.1    0 65001 65006 65007 i
* i 192.168.78.0 192.168.25.2    0      100    0 65002 65008 i
R3#
```

**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。

```
B 192.168.28.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:06:07
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
O 192.168.45.0/24 [110/20] via 192.168.34.4, 02:06:07, FastEthernet0/0
O 192.168.25.0/24 [110/21] via 192.168.34.4, 02:06:07, FastEthernet0/0
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:06:07
192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.4.1 [110/11] via 192.168.34.4, 02:06:07, FastEthernet0/0
192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O 192.168.5.1 [110/21] via 192.168.34.4, 02:06:09, FastEthernet0/0
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:30:06
C 192.168.34.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
B 192.168.16.0/24 [20/0] via 192.168.13.1, 00:30:06
192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
--More--
```

**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。

```
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
*> 192.168.28.0 192.168.16.6    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 65006 i
*> 192.168.78.0 192.168.16.6    0 65006 65007 i
R1#
```

**Ping 结果：**

```
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 = 76/92/108 ms
R1#
```

路由跟踪结果：观察得知，依次经过了这些路由器：192.168.16.6、192.168.67.7、192.168.78.8、192.168.28.2。

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

 0 192.168.16.6 24 msec 32 msec 8 msec
 1 192.168.67.7 [AS 65006] 44 msec 40 msec 32 msec
 2 192.168.78.8 [AS 65007] 64 msec 40 msec 60 msec
 3 192.168.28.2 [AS 65008] 96 msec 72 msec 76 msec
R1#
```

19. 在 R3、R5 的 OSPF 协议中启用 BGP 重分发功能（命令：`router ospf <pid>, redistribute bgp <AS-number> subnets`），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 的配置命令：

```
R3(config)# router ospf 87
R3(config-router)# redistribute bgp 65003 subnets
```

R5 的配置命令：

```
R5(config)# router ospf 87
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 192.168.13.0 没有被本路由器重分发。

```
R3#show ip ospf database

        OSPF Router with ID (192.168.3.1) (Process ID 87)

        Router Link States (Area 0)

Link ID        ADV Router    Age          Seq#          Checksum Link count
192.168.3.1    192.168.3.1    836         0x80000009   0x0076AB 3
192.168.4.1    192.168.4.1    1621        0x80000008   0x0071E8 3
192.168.5.1    192.168.5.1    783         0x80000008   0x00D621 3

        Net Link States (Area 0)

Link ID        ADV Router    Age          Seq#          Checksum
192.168.34.3   192.168.3.1    1786        0x80000005   0x004813
192.168.45.4   192.168.4.1    1621        0x80000005   0x00D678

        Type-5 AS External Link States

Link ID        ADV Router    Age          Seq#          Checksum Tag
192.168.16.0   192.168.3.1    835         0x80000001   0x00D795 65001
192.168.16.0   192.168.5.1    783         0x80000001   0x0086D6 65002
192.168.28.0   192.168.3.1    835         0x80000001   0x00530E 65001
192.168.28.0   192.168.5.1    783         0x80000001   0x00024F 65002
192.168.67.0   192.168.3.1    835         0x80000001   0x00A495 65001
192.168.67.0   192.168.5.1    784         0x80000001   0x0053D6 65002
192.168.78.0   192.168.3.1    837         0x80000001   0x002B04 65001
192.168.78.0   192.168.5.1    785         0x80000001   0x00D945 65002
```

**R5 的 OSPF 数据库:** 观察得知, OSPF 从 BGP 中重分发 AS 外部链路的信息, 但是 R5-R2 的直连网络 192.168.25.0

没有被本路由器重分发。

```
R5#show ip ospf database

      OSPF Router with ID (192.168.5.1) (Process ID 87)

      Router Link States (Area 0)

Link ID        ADV Router    Age         Seq#          Checksum Link count
192.168.3.1    192.168.3.1   971        0x80000009   0x0076AB 3
192.168.4.1    192.168.4.1   1754       0x80000008   0x0071E8 3
192.168.5.1    192.168.5.1   914        0x80000008   0x00D621 3

      Net Link States (Area 0)

Link ID        ADV Router    Age         Seq#          Checksum
192.168.34.3   192.168.3.1   1921       0x80000005   0x004813
192.168.45.4   192.168.4.1   1754       0x80000005   0x00D678

      Type-5 AS External Link States

Link ID        ADV Router    Age         Seq#          Checksum Tag
192.168.16.0   192.168.3.1   970        0x80000001   0x00D795 65001
192.168.16.0   192.168.5.1   914        0x80000001   0x0086D6 65002
192.168.28.0   192.168.3.1   970        0x80000001   0x00530E 65001
192.168.28.0   192.168.5.1   914        0x80000001   0x00024F 65002
192.168.67.0   192.168.3.1   970        0x80000001   0x00A495 65001
192.168.67.0   192.168.5.1   916        0x80000001   0x0053D6 65002
192.168.78.0   192.168.3.1   973        0x80000001   0x002804 65001
192.168.78.0   192.168.5.1   917        0x80000001   0x00D945 65002
```

**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 192.168.45.5 和 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。

```
0 E2 192.168.28.0/24 [110/1] via 192.168.45.5, 00:10:17, FastEthernet0/1
    [110/1] via 192.168.34.3, 00:10:17, FastEthernet0/0
O    192.168.13.0/24 [110/11] via 192.168.34.3, 00:10:17, 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, 00:10:17, FastEthernet0/1
0 E2 192.168.78.0/24 [110/1] via 192.168.45.5, 00:10:17, FastEthernet0/1
    [110/1] via 192.168.34.3, 00:10:17, FastEthernet0/0
C    192.168.4.0/32 is subnetted, 1 subnets
C    192.168.4.1 is directly connected, Loopback0
C    192.168.5.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    192.168.5.1 [110/11] via 192.168.45.5, 00:10:18, FastEthernet0/1
0 E2 192.168.67.0/24 [110/1] via 192.168.45.5, 00:10:18, FastEthernet0/1
    [110/1] via 192.168.34.3, 00:10:18, 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, 00:11:22, FastEthernet0/1
    [110/1] via 192.168.34.3, 00:11:22, FastEthernet0/0
C    192.168.3.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    192.168.3.1 [110/11] via 192.168.34.3, 00:11:22, FastEthernet0/0
R4#
```

20. 在 R3 上清除 BGP 信息 (命令: `clear ip bgp *`), 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#show ip bgp
BGP table version is 38, local router ID is 192.168.16.1
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
* 192.168.16.0    192.168.16.6           0         0 65006 i
*> 192.168.25.0    0.0.0.0                0         32768 i
*> 192.168.28.0    192.168.13.3           0         0 65003 i
* 192.168.28.0    192.168.16.6           0         0 65006 65007 65008 65002 i
*> 192.168.45.0    192.168.16.6           0         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         0 65003 65002 65008 i
*> 192.168.78.0    192.168.16.6           0         0 65006 65007 i
R1#

```

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。

```

Gateway of last resort is not set

B 192.168.28.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:01:20
C 192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
B 192.168.45.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 00:37:57
B 192.168.25.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:01:20
B 192.168.78.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 01:40:26
B 192.168.67.0/24 [20/0] via 192.168.16.6, 01:43:38
B 192.168.34.0/24 [20/0] via 192.168.13.3, 00:00:50
C 192.168.16.0/24 is directly connected, FastEthernet2/0
R1#

```

路由跟踪结果：观察得知，依次经过了这些路由器：192.168.13.3、192.168.34.4、192.168.45.5、192.168.25.2。

```

R1#traceroute 192.168.28.2

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.28.2

 1 192.168.13.3 24 msec 20 msec 12 msec
 2 192.168.34.4 [AS 65003] 40 msec 40 msec 44 msec
 3 192.168.45.5 [AS 65003] 76 msec 52 msec 52 msec
 4 192.168.25.2 [AS 65003] 60 msec 64 msec 64 msec
R1#

```

21. 在 R3 上的 BGP 中启用 OSPF 路由重分发功能（命令：`router bgp <AS-bnumber>, redistribute ospf <pid>`），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 的配置命令：

```

R3(config)# router bgp 65003
R3(config-router)# redistribute ospf 87

```

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。

```
R3#show ip bgp
BGP table version is 19, 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
*> 192.168.3.1/32	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	0.0.0.0	0		32768	i
*	192.168.13.1	0		0	65001 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
*> 192.168.28.0	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

--More--

**R8 的 BGP 数据库：**观察得知，AS 65003 内部子网的路由有 8 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。

```
R8#show ip bgp
BGP table version is 20, local router ID is 192.168.78.8
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
192.168.3.1/32	192.168.78.7			0	65007 65006 65001 65003 ?
*>	192.168.28.2			0	65002 65003 ?
*> 192.168.4.1/32	192.168.78.7			0	65007 65006 65001 65003 ?
*> 192.168.5.1/32	192.168.78.7			0	65007 65006 65001 65003 ?
*>	192.168.28.2			0	65002 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	192.168.78.7			0	65007 65006 65001 65003 i
*>	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

R8#

22. 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 的配置命令：**

```
R1(config)#interface f0/0
R1(config-if)# ip addr 10.0.1.2 255.255.255.0
R1(config-if)# no shutdown
R1(config)# router bgp 65001
R1(config-router)# network 10.0.1.0 mask 255.255.255.0
```

**PC1 的配置命令：**

```
PC1> ip 10.0.1.1 255.255.255.0 10.0.1.2
```

23. 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。

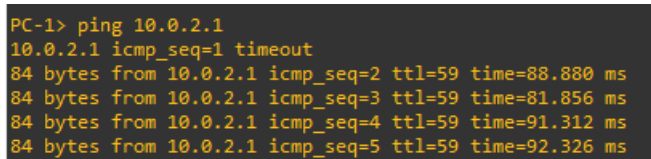
**R2 的配置命令：**

```
R2(config)#interface f0/0
R2(config-if)# ip addr 10.0.2.2 255.255.255.0
R2(config-if)# no shutdown
R2(config)# router bgp 65002
R2(config-router)# network 10.0.2.0 mask 255.255.255.0
```

**PC3 的配置命令：**

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

**Ping 结果截图：**

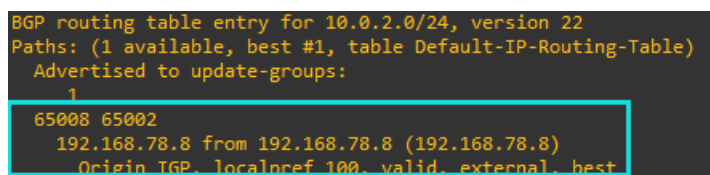


```
PC-1> ping 10.0.2.1
10.0.2.1 icmp_seq=1 timeout
84 bytes from 10.0.2.1 icmp_seq=2 ttl=59 time=88.880 ms
84 bytes from 10.0.2.1 icmp_seq=3 ttl=59 time=81.856 ms
84 bytes from 10.0.2.1 icmp_seq=4 ttl=59 time=91.312 ms
84 bytes from 10.0.2.1 icmp_seq=5 ttl=59 time=92.326 ms
```

#### ----Part 4. 路由过滤----

24. 查看 R7 的 BGP 数据库中 PC3 所在子网的最佳路由。

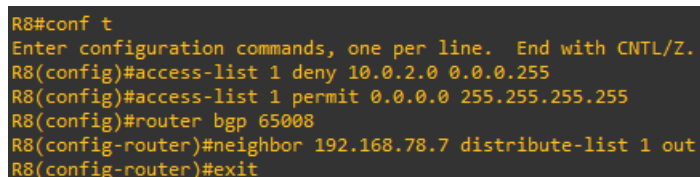
**R7 的 BGP 数据库：**当前，到达 PC3 子网的最佳路由的下一跳是 192.168.78.8。



```
BGP routing table entry for 10.0.2.0/24, version 22
Paths: (1 available, best #1, table Default-IP-Routing-Table)
Advised 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
```

25. 在 R8 上创建访问列表（命令：access-list <id> deny <subnet> <mask>），配置路由过滤（命令：neighbor <router id> distribute-list <access-list-id> out），用于抑制向 R7 传播关于 PC3 子网的更新（这样可以实现前往 PC3 子网的数据不经过 AS 65008），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（可以通过命令 clear ip bgp \*强制更新）。

**R8 的配置命令：**



```
R8#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R8(config)#access-list 1 deny 10.0.2.0 0.0.0.255
R8(config)#access-list 1 permit 0.0.0.0 255.255.255.255
R8(config)#router bgp 65008
R8(config-router)#neighbor 192.168.78.7 distribute-list 1 out
R8(config-router)#exit
```

**查看 R8 生效的访问列表：**（访问列表是有顺序的，前面优先。如需修改，请全部删除后重新按顺序添加）

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

R8 的 BGP 数据库:

```
R8#show ip bgp 10.0.2.0
BGP routing table entry for 10.0.2.0/24, version 22
Paths: (2 available, best #2, table Default-IP-Routing-Table)
  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
```

R7 的 BGP 数据库:

```
R7#show ip bgp 10.0.2.0
BGP routing table entry for 10.0.2.0/24, version 24
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
```

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 192.168.67.6s, 数据不再经过 AS 65008 了。

## ----Part 5. IPv6 双栈路由-----

26. 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 (命令: `show ipv6 interface`), 标记自动分配的 link-local 地址。

R1 的配置命令: (截图仅供参考, 请替换成文本形式)

```
R1(config)#int f0/1
R1(config-if)#ipv6 addr fec0::6500:101:1/112
R1(config-if)#no shut
R1(config-if)#exit
R1(config)#int f2/0
R1(config-if)#ipv6 addr fec0::6500:16:1/112
R1(config-if)#no shut
R1(config-if)#exit
```

查看 R1 的 IPv6 接口:

```

R1#show ipv6 int
FastEthernet0/1 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C601:6FF:FEE7:1
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:FFE7:1

```

```

IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C601:6FF:FEE7:20
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:FFE7:20

```

观察得知：系统为 f0/1 端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C601:6FF:FEE7:1。

系统为 f2/0 端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C601:6FF:FEE7:20。

27. 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 的配置命令：

```

R6(config)#interface f2/0
R6(config-if)# ipv6 addr fec0::6500:16:6/112
R6(config)#interface f0/1
R6(config-if)# ipv6 addr fec0::6500:601:6/112
R6(config-if)# no shutdown (激活端口)

```

查看 R6 的 IPv6 接口：

```

R6#show ip bgp
*Mar  1 04:13:27.206: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R6#show ipv6 int
FastEthernet0/1 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C606:7FF:FE5B: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:FF5B:1

FastEthernet2/0 is up, line protocol is up
IPv6 is enabled, link-local address is FE80::C606:7FF:FE5B: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:FF5B:20

```

观察得知：系统为 f0/1 端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C606:7FF:FE5B:1。

系统为 f2/0 端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C606:7FF:FE5B:20。



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 = 20/24/32 ms
R1#ping FE80::C606:7FF:FE5B:20
Output Interface: fastEthernet2/0
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to FE80::C606:7FF:FE5B:20, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of FE80::C601:6FF:FEE7:20
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 8/22/36 ms
```

28. 分别在 R1、R6 上启用 IPv6 单播路由 (命令: `ipv6 unicast-routing`), 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 (命令: `show ip bgp ipv6 unicast neighbors`)。

R1 的配置命令: (截图仅供参考, 请替换成本文形式)

```
R1(config)#ipv6 unicast-routing
R1(config)#router bgp 65001
R1(config-router)#address-family ipv6
R1(config-router-af)#network fec0::6500:101:0/112
R1(config-router-af)#network fec0::6500:16:0/112
R1(config-router-af)#neighbor fec0::6500:16:6 remote-as 65006
R1(config-router-af)#exit
R1(config-router)#exit
R1(config)#
```

R6 的配置命令:

```
R6(config)# ipv6 unicast-routing (启用 IPv6 单播路由)
R6(config)# router bgp 65006 (进入 BGP 配置)
R6(config-router)# address-family ipv6 (进入 IPv6 地址族配置模式)
R6(config-router-af)# network fec0::6500:16:0/112 (宣告直连网络)
R6(config-router-af)# network fec0::6500:601:0/112 (宣告直连网络)
R6(config-router-af)# neighbor fec0::6500:16:1 remote-as 65001 (设置邻居关系)
```

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。

```
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 00:06:17
Last read 00:00:16, last write 00:00:16, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
Neighbor capabilities:
  Route refresh: advertised and received(old & new)
  Address family IPv6 Unicast: advertised and received
```

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。

```
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 00:02:06
Last read 00:00:05, last write 00:00:05, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
Neighbor capabilities:
  Route refresh: advertised and received(old & new)
  Address family IPv6 Unicast: advertised and received
```

29. 给 PC2 配置 IPv6 的 site-local 地址（系统会自动配置链路本地的地址，并发现本地链路上的默认路由器，因此不需要配置默认路由器）。查看 IPv6 信息（命令：show ipv6），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 的配置命令：（截图仅供参考，请替换成文本形式）

```
PC-2> ip fec0::6500:101:2/112
```

```
PC1 : fec0::6500:101:2/112
```

查看 PC2 的 IPv6 配置：

```
PC-2> ip fec0::6500:101:2/112
PC1 : fec0::6500:101:2/112

PC-2> show ipv6

NAME                : PC-2[1]
LINK-LOCAL SCOPE    : fe80::250:79ff:fe66:6801/64
GLOBAL SCOPE        : fec0::6500:101:2/112
ROUTER LINK-LAYER   : c4:01:06:e7:00:01
MAC                 : 00:50:79:66:68:01
LPORT               : 10068
RHOST:PORT          : 127.0.0.1:10069
MTU                 : 1500
```

链路本地地址为： fe80::250:79ff:fe66:6801/64 ，路由器的 MAC 地址为： 00:50:79:66:68:01 。

PC2→R1 的 Ping 测试结果：

```
PC-2> ping fec0::6500:101:1

fec0::6500:101:1 icmp6_seq=1 ttl=64 time=5.479 ms
fec0::6500:101:1 icmp6_seq=2 ttl=64 time=9.924 ms
fec0::6500:101:1 icmp6_seq=3 ttl=64 time=8.983 ms
fec0::6500:101:1 icmp6_seq=4 ttl=64 time=9.953 ms
fec0::6500:101:1 icmp6_seq=5 ttl=64 time=10.108 ms
```

30. 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 的配置命令：

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

查看 PC5 的 IPv6 配置：

```
PC-5> show ipv6

NAME                : PC-5[1]
LINK-LOCAL SCOPE    : fe80::250:79ff:fe66:6804/64
GLOBAL SCOPE        : fec0::6500:601:5/112
ROUTER LINK-LAYER   : c4:06:07:5b:00:01
MAC                 : 00:50:79:66:68:04
LPORT               : 10076
RHOST:PORT          : 127.0.0.1:10077
MTU                 : 1500

PC-5> █
```

链路本地地址为： fe80::250:79ff:fe66:6804/64 ，路由器的 MAC 地址为： 00:50:79:66:68:04 。

PC5→R6 的 Ping 测试结果:

```
PC-5> ping fec0::6500:601:6
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=1 ttl=64 time=4.451 ms
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=2 ttl=64 time=9.599 ms
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=3 ttl=64 time=9.555 ms
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=4 ttl=64 time=9.566 ms
fec0::6500:601:6 icmp6_seq=5 ttl=64 time=9.622 ms
```

31. 查看 R1 的 IPv6 路由表 (命令: `show ipv6 route`), 标出 BGP 路由, 并测试 PC2 到 PC5 的连通性。

R1 的 IPv6 路由表:

```
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::C606:7FF:FE5B:20, FastEthernet2/0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
```

PC2→PC5 的 Ping 测试结果:

```
PC-2> ping fec0::6500:601:5
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=1 ttl=60 time=44.164 ms
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=2 ttl=60 time=40.220 ms
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=3 ttl=60 time=40.685 ms
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=4 ttl=60 time=41.172 ms
fec0::6500:601:5 icmp6_seq=5 ttl=60 time=40.213 ms
```

32. 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 的配置命令:

```
R2(config)#interface f0/1
R2(config-if)# ipv6 addr fec0::6500:202:2/112
R2(config-if)# no shut
R2(config)# ipv6 unicast-routing (启用 IPv6 单播路由)
```

PC4 的配置命令:

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

PC4→R2 的 Ping 测试结果:

```
PC-4> ping fec0::6500:202:2
fec0::6500:202:2 icmp6_seq=1 ttl=64 time=5.972 ms
fec0::6500:202:2 icmp6_seq=2 ttl=64 time=9.434 ms
fec0::6500:202:2 icmp6_seq=3 ttl=64 time=9.473 ms
fec0::6500:202:2 icmp6_seq=4 ttl=64 time=9.464 ms
fec0::6500:202:2 icmp6_seq=5 ttl=64 time=9.467 ms
```

PC4→PC2 的 Ping 测试结果: 此时由于路由器 R2 没有 FEC0::6500:101:2 的 IPv6 路由, 无法 Ping 通。

```
PC-4> ping fec0::6500:101:2
*fec0::6500:202:2 icmp6_seq=1 ttl=64 time=21.242 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:202:2 icmp6_seq=2 ttl=64 time=9.427 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:202:2 icmp6_seq=3 ttl=64 time=9.550 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:202:2 icmp6_seq=4 ttl=64 time=10.081 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:202:2 icmp6_seq=5 ttl=64 time=9.396 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
```

33. 分别在 R1 和 R2 上创建 IPv6 隧道 (命令: `interface Tunnel <id>`), 设置隧道 IPv6 地址 (命令: `ipv6 address <address>/mask_length`), 设置隧道源接口 (命令: `tunnel source <interface number>`), 设置隧道的目标 IPv4 地址 (命令: `tunnel destination <ipv4 address>`), 设置隧道模式为手工配置 (命令: `tunnel mode ipv6ip`)。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 的配置命令:

```
R1(config)#int Tunnel0
R1(config-if)#
*Mar 1 04:54:47.310: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel0, changed state to down
R1(config-if)#ipv6 addr fec0::1020:10/112
R1(config-if)#tunnel source f1/0
R1(config-if)#tunnel destination 192.168.25.2
R1(config-if)#t
*Mar 1 04:55:18.566: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel0, changed state to up
R1(config-if)#tunnel mode ipv6ip
R1(config-if)#exit
```

R2 的配置命令:

```
R2(config)#int Tunnel0
R2(config-if)#ipv6 addr fec0::1020:20/112
R2(config-if)#tunnele source f1/0
R2(config-if)#tunnel source f1/0
R2(config-if)#tunnel destination 192.168.13.1
R2(config-if)#tunnel
*Mar 1 04:57:54.014: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel0, changed state to up
R2(config-if)#tunnel mode ipv6ip
R2(config-if)#exit
```

34. 在 R1、R2 上为对方的 IPv6 子网设置静态路由 (命令: `ipv6 route <ipv6 network> Tunnel <id>`), 下一跳为隧道接口。然后在 PC2 上测试到 PC4 之间的连通性。

R1 的配置命令:

```
R2(config)#ipv6 route fec0::6500:202:0/112 tunnel 0
```

R2 的配置命令:

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

PC2→PC4 的 Ping 测试结果:

```
PC-2> ping fec0::6500:202:4

fec0::6500:202:4 icmp6_seq=1 ttl=60 time=123.543 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=2 ttl=60 time=103.260 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=3 ttl=60 time=92.801 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=4 ttl=60 time=92.792 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=5 ttl=60 time=103.700 ms
```

35. 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，思考下为什么。

R2 的配置命令:

```
R2(config)# ipv6 route fec0::6500:601:0/112 tunnel 0 (设置静态路由)
```

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

```
PC-5> ping fec0::6500:202:4

*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=1 ttl=64 time=16.931 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=2 ttl=64 time=9.179 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=3 ttl=64 time=8.998 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=4 ttl=64 time=8.992 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
*fec0::6500:601:6 icmp6_seq=5 ttl=64 time=8.987 ms (ICMP type:1, code:0, No route to destination)
```

R6 的 IPv6 路由表: 观察得知，R6 上没有 PC5 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::C601:6FF:FEE7:20, 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
```

36. 在 R1 的 BGP 中重分发 IPv6 的静态路由 (命令: `redistribute static`), 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 的配置命令:

```
R1(config)#router bgp 65001
R1(config-router)#address-family ipv6
```

```
R1(config-router-af)#redistribute static
R1(config-router-af)#exit
R1(config-router)#exit
```

R6 的 BGP 数据库:

```
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
```

R6 的路由表:

```
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::C601:6FF:FEE7:20, FastEthernet2/0
B   FEC0::6500:202:0/112 [20/0]
    via FE80::C601:6FF:FEE7:20, 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
```

PC5→PC4 的 Ping 测试结果:

```
PC-5> ping fec0::6500:202:4

fec0::6500:202:4 icmp6_seq=1 ttl=58 time=138.414 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=2 ttl=58 time=103.169 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=3 ttl=58 time=102.948 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=4 ttl=58 time=103.248 ms
fec0::6500:202:4 icmp6_seq=5 ttl=58 time=103.672 ms
```

37. 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, 每个设备一个文件, 分别命名为 R1.txt、R2.txt 等, 随实验报告一起打包上传。

## 六、 实验结果与分析

根据你观察到的实验数据和对实验原理的理解，分别解答以下问题：

- 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？

不一定要直接连接。

如果不直接连接,两个 BG 邻居之间的数据会通过中间路由转发。

不需要建立链路。

- 默认情况下，BGP 根据什么条件决定最佳路由？

在本实验中选择经过最少的 AS 数量的路径。

- 为什么未启用同步时，R1 选择 AS65003 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？

R4 上面没有 R2 的路由信息。

- 为什么未启用路由重分发时，R4 没有外部网络的路由？

因为 R4 只启用了内部网关协议 ospf, 没有启用 bgp 协议, 所以没有和 R3 和 R5 交换外部路由信息。

- 为什么 PC 可以不设置 IPv6 的默认路由器？路由器可以吗？

系统会自动配置链路本地的地址，并发现本地链路上的默认路由器，因此不需要配置默认路由器。路由器必须配置。

- 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。即 IPv6 隧道→IPv4 传播→IPv6 隧道。

通过路由器（配置了 IPv6 接口。）

## 七、 讨论、心得

在完成本实验后，你可能会有很多待解答的问题，你可以把它们记在这里，接下来的学习中，你也许会逐渐得到答案的，同时也可以让老师了解到你有哪些困惑，老师在课堂可以安排针对性地解惑。等到课程结束后，你再回头看看这些问题时你或许会有不同的见解：

通过实验，我对 OSPF、BGP、IPv6 等概念又熟悉了不少。

我对各个概念好像都理解了，但其实可能都是一知半解，毕竟学习的系统性还不太够。希望以后对所有知识都掌握透彻了还能来温故一下这个实验，估计我能收获更多的东西。

在实验过程中你可能会遇到的困难，并得到了宝贵的经验教训，请把它们记录下来，提供给其他人参考吧：

①有一个很坑的问题：我们在为接口配置 IP 或启用服务时，在 conf t 里配置完后，一定要 exit 出来（过一会会跳出一句已保存/已激活的消息）才能生效。

②接口配置完地址后一定要记得 no shutdown，步骤多了很容易忘记。

你对本实验安排有哪些更好的建议呢？欢迎献计献策：

①我十分不解的是，为什么每个实验的第一个步骤都要求搭完整个结构图并标注所有 IP 地址、接口地址。我猜教务组的想法是：后期做实验可以参照着这个图看，这样配地址的时候就提高效率了。但开始做实验的时候，看到要把所有 Routers 和 PCs 都配 IP 地址，感觉毫无头绪。而且有些地址配置的细节在后续的实验中才会用到，刚开始做的时候根本考虑不了那么多。所以实际做实验的时候，我都是先跳过第一个要求，一步步配置地址（不过连线可以先连好，毕竟连线一开始就固定了），做完整个实验后再贴回去。

所以我觉得，要不就在第一个步骤给出足够多的地址配置提示（使刚开始做实验的同学能直接理解要怎么配地址），要不干脆把它移到最后一个步骤去。

②实验流程设计得挺不错，但是步骤太长，做实验的时候太耗时了（我这次没遇到什么大错误，还是连续做了六七个小时才做完）。

对此我的建议是：稍微减少一些实验的步骤，特别是不要做一些重复的要求（比如 R3 已经截图分析过一遍了，R5 和 R3 又是对称的，R5 就不必再分析了）。