

**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： | 汪辉 |
| 学 院： | 计算机学院 |
| 系： |  |
| 专 业： | 计算机科学与技术 |
| 学 号： | 3190105609 |
| 指导教师： | 陆系群 |

2021年 12月 8日

**浙江大学实验报告**

# 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。

# 实验内容

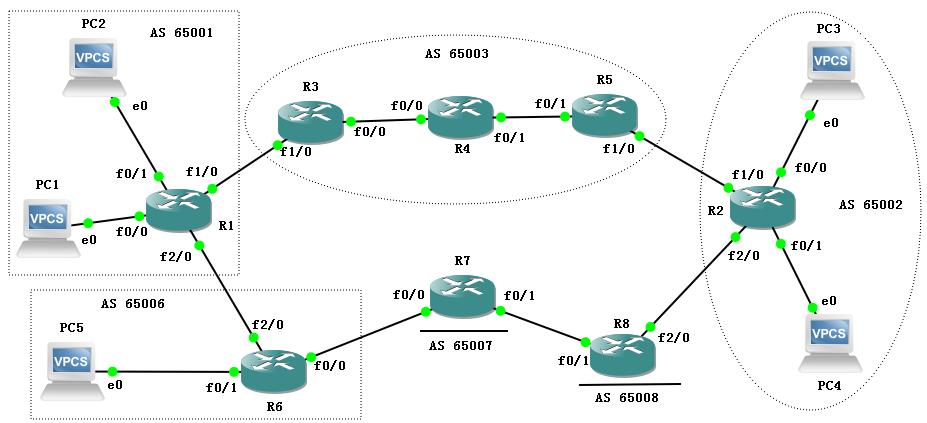
* 创建多种类型的网络，各自成为一个独立的AS
* AS内部路由器配置成启用OSPF路由协议
* 在同一个AS边界上的路由器启用BGP协议，形成邻居关系
* 在不同AS边界路由器上启用BGP协议，直连路由器之间建立邻居关系
* 观察各路由器上的路由表和BGP运行数据，并验证各PC能够相互Ping通
* 断开某些链路，观察BGP事件和路由表变化
* 在AS边界路由器上配置路由聚合
* 在AS间进行多径负载均衡

# 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》。

# 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f0/0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BGP）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-route)# maximum-paths 2

# 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，直接粘帖文字即可（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-----

1. 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 shut

R3(config)#interface f1/0

R3(config-if)# ip addr 192.168.13.3 255.255.255.0

R3(config-if)# no shut

R3(config)#interface loopback 0

R3(config-if)# ip addr 192.168.3.1 255.255.255.252

R3(config)# router ospf 9

R3(config-router)# network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0

R4配置命令：

R4(config)#interface f0/0

R4(config-if)# ip addr 192.168.34.4 255.255.255.0

R4(config-if)# no shut

R4(config)#interface f0/1

R4(config-if)# ip addr 192.168.45.4 255.255.255.0

R4(config-if)# no shut

R4(config)#interface loopback 0

R4(config-if)# ip addr 192.168.4.1 255.255.255.255

R4(config)# router ospf 9

R4(config-router)# network 192.168.0.0 0.0.255.255 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 shut

R5(config)#interface f1/0

R5(config-if)# ip addr 192.168.25.5 255.255.255.0

R5(config-if)# no shut

R5(config)#interface loopback 0

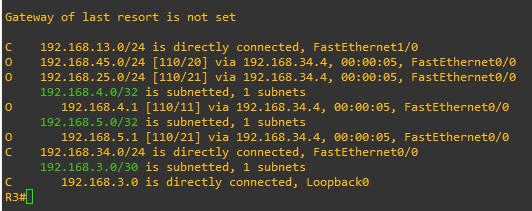
R5(config-if)# ip addr 192.168.5.1 255.255.255.255

R5(config)# router ospf 9

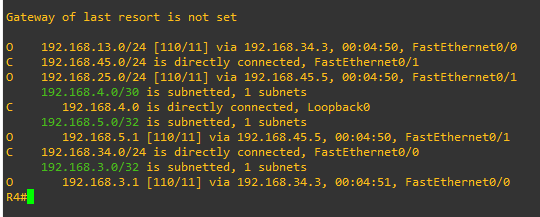
R5(config-router)# network 192.168.0.0 0.0.255.255 area 0

1. 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。

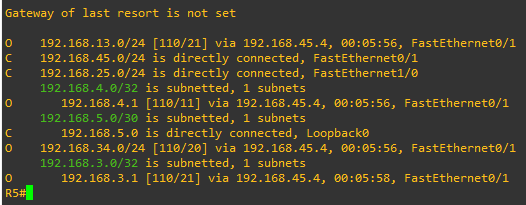
R3路由表：



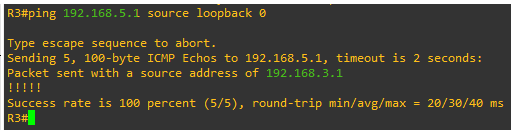
R4路由表：



R5路由表：



R3🡪R5的Ping结果：



1. 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(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

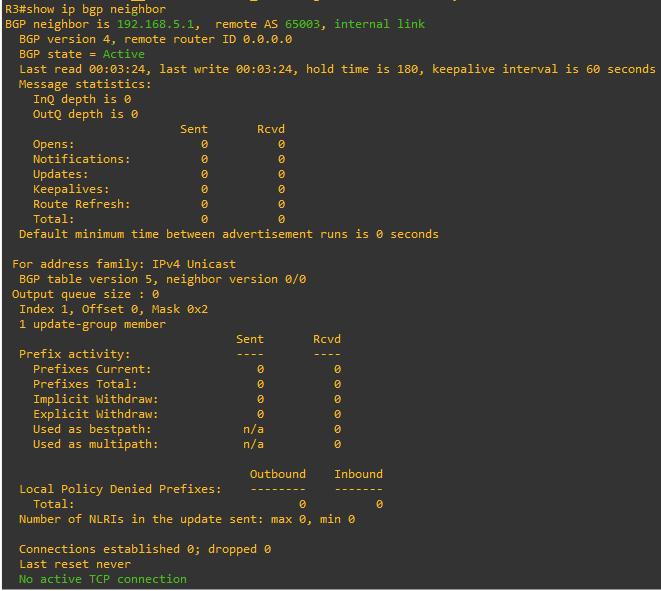
R5(config-router)#network 192.168.45.0 mask 255.255.255.0

R5(config-router)#network 192.168.25.0 mask 255.255.255.0

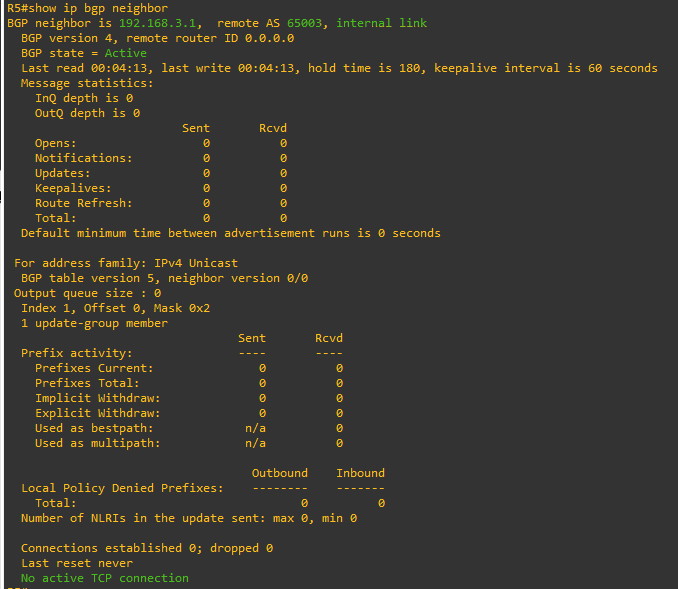
R5(config-router)#neighbor 192.168.3.1 remote-as 65003

1. 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）。

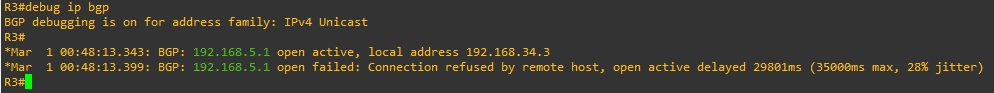
R3的邻居关系：观察得知，邻居的IP是 192.168.5.1 ，链路类型属于 internal link ，状态是 Active ，但现象是没有活动的TCP连接。



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。



1. 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

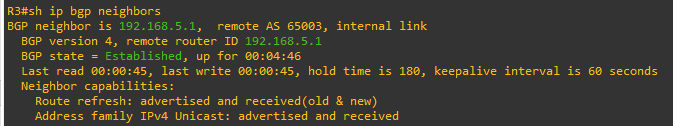
R3(config-router)#neighbor 192.168.5.1 update-source loopback 0

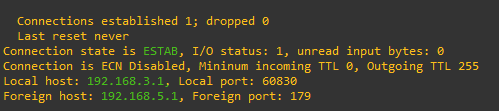
R5配置命令：

R5(config)#router bgp 65003

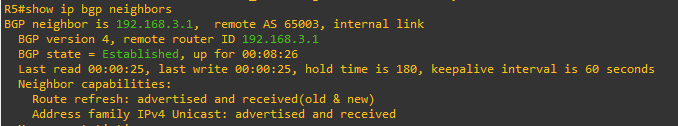
R5(config-router)#neighbor 192.168.3.1 update-source loopback 0

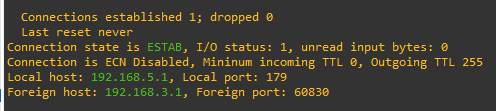
R3的邻居关系（选取关键信息进行截图）：观察得知，与R5的邻居关系已经建立，对方的连接端口是 192.168.5.1 。





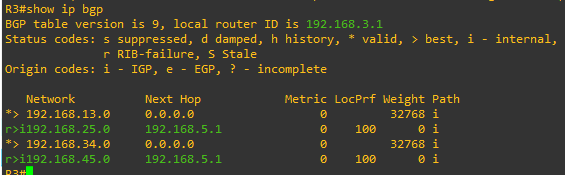
R5的邻居关系（选取关键信息进行截图）：观察得知，与R3的邻居关系已经建立，对方的连接端口是 192.168.3.1 。



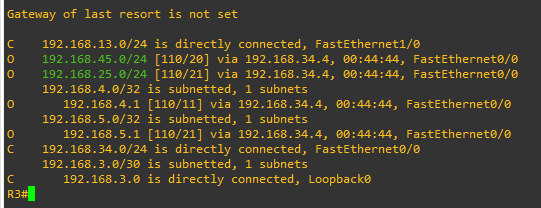


1. 在R3、R5上查看BGP数据库（命令：show ip bgp），并查看路由表信息。

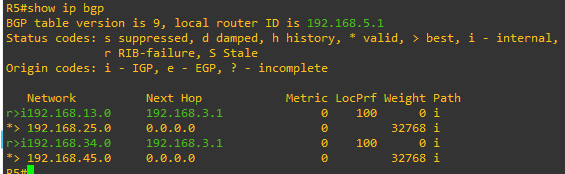
R3的BGP数据库（标出iBGP路由）：观察得知，存在 2 条状态码=r的路由（表示没有成功写入路由表）。



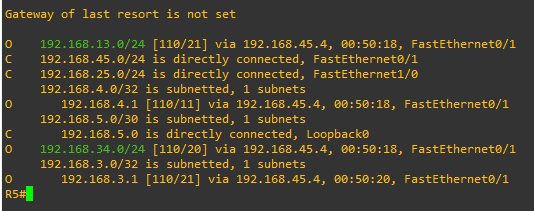
R3的路由表：观察得知，网络地址 192.168.45.0 、 192.168.25.0 在路由表中已存在比BGP优先级高的OSPF路由，所以BGP的路由信息没有成功写入。



R5的BGP数据库（标出iBGP路由）：



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）：



----Part 2. 配置eBGP-----

1. 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 192.168.16.0 mask 255.255.255.0

R6(config-router)#network 192.168.67.0 mask 255.255.255.0

R6(config-router)#neighbor 192.168.16.1 remote-as 65001

R6(config-router)#neighbor 192.168.67.7 remote-as 65007

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 192.168.78.7 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)#int 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 65007

1. 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

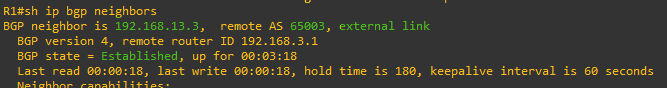
R5的配置命令：

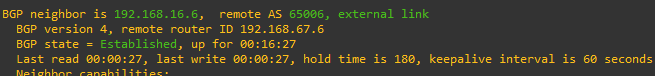
R5(config)#router bgp 65003

R5(config-router)#neighbor 192.168.25.2 remote-as 65002

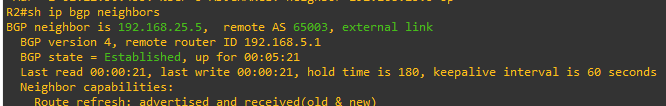
1. 在各路由器上查看邻居关系，标出Link类型和对方的IP、连接状态（找出关键信息进行截图）。

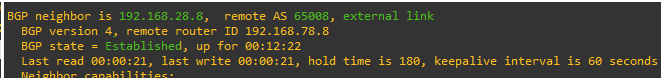
R1的邻居关系：R1的两个邻居的IP分别为 192.168.13.3 、 192.168.16.6 ，链路类型均为 external link 。



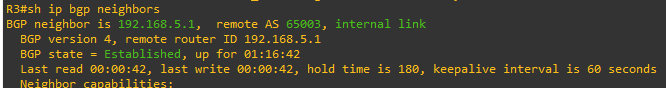


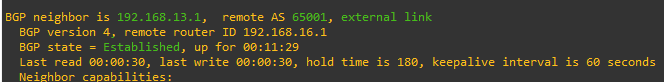
R2的邻居关系：R2邻居的IP分别为 192.168.25.5 、 192.168.28.8 ，链路类型均为 external link 。



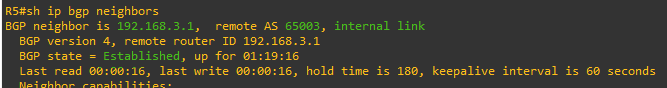


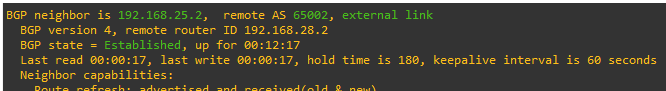
R3的邻居关系：R3的iGP邻居的IP为 192.168.5.1 ，eBGP邻居的IP为 192.168.13.1 。



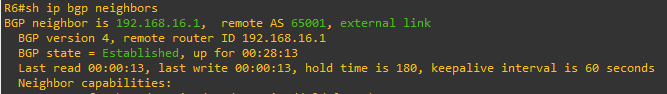


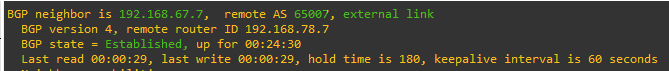
R5的邻居关系：R3的iGP邻居的IP为 192.168.3.1 ，eBGP邻居的IP为 192.168.25.2 。



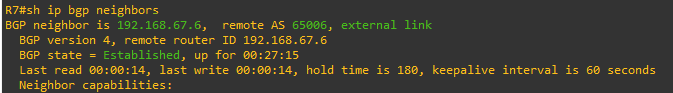


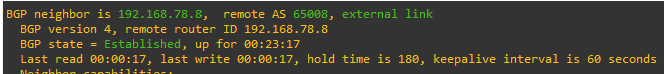
R6的邻居关系：R6的两个邻居的IP分别为 192.168.16.1 、 192.168.67.7 ，链路类型均为 external link 。



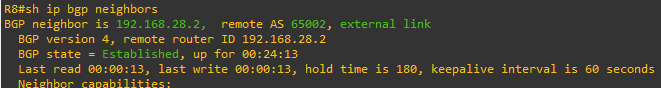


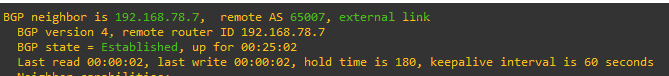
R7的邻居关系：R7的两个邻居的IP分别为 192.168.67.6 、 192.168.78.8 ，链路类型均为 external link 。





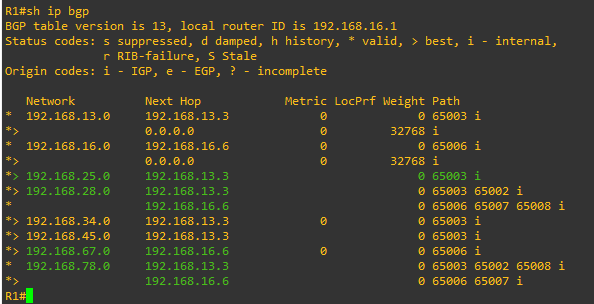
R8的邻居关系：R8的两个邻居的IP分别为 192.168.78.7 、 192.168.28.2 ，链路类型均为 external link 。





1. 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：



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 65003 ；

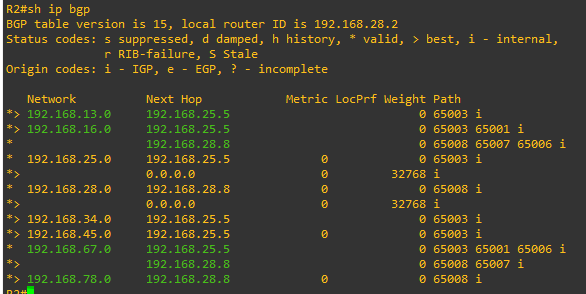
到达R6-R7间子网的下一跳是 192.168.16.6 ，经过的AS路径为 65006 ；

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 。

1. 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：



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 65003 ；

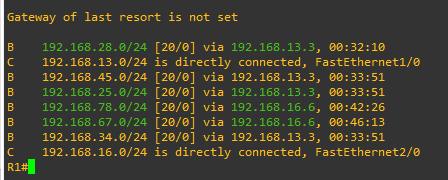
到达R7-R8间子网的下一跳是 192.168.28.8 ，经过的AS路径为 65008 ；

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 。

1. 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。

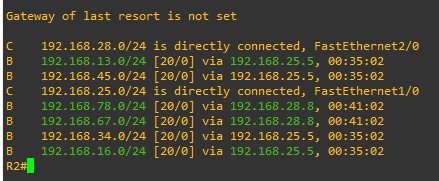
R1的路由表：



一致

1. 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。

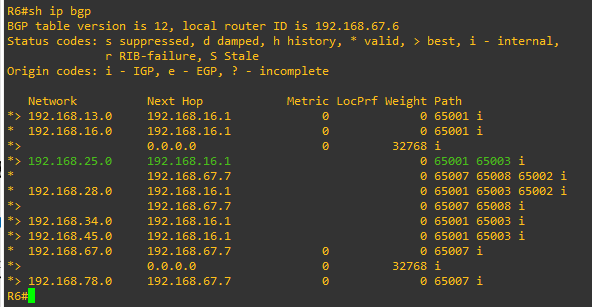
R2的路由表：



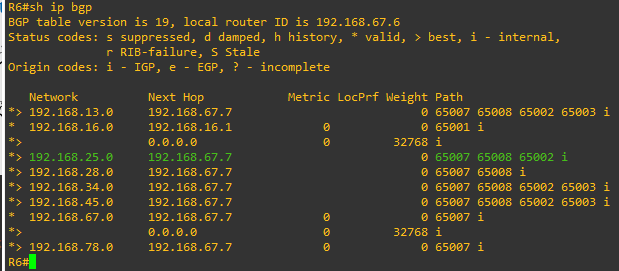
一致

1. 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 。



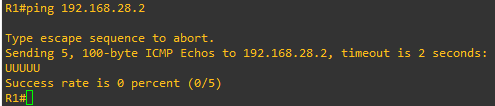
R6的BGP数据库（断开连接后）：观察得知，到达R2-R5间子网的最佳路由的下一跳变为 192.168.67.7 。



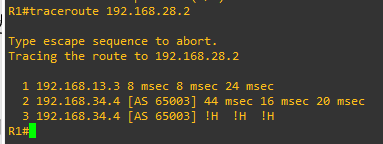
----Part 3. 路由重分发-----

1. 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：

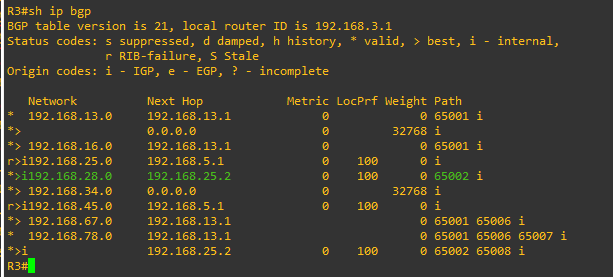


路由跟踪结果：得到的现象是在路由器 R4 中断了。

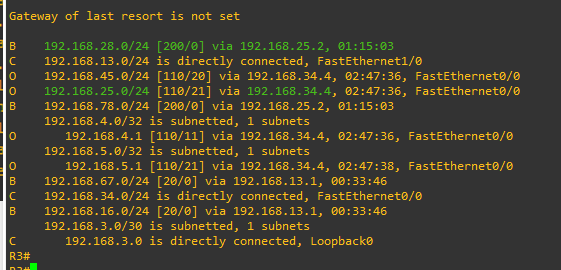


1. 查看R3的BGP数据库和路由表，标记到达R2-R8间子网的BGP最佳路由。查看R4的路由表是否存在R2-R8间子网的路由信息。

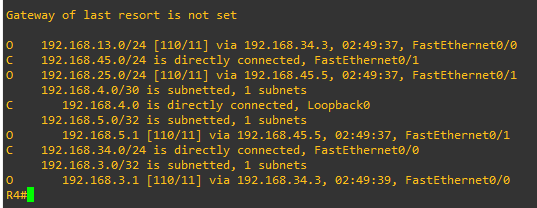
R3的BGP数据库：观察得知，到达R2-R8间子网的最佳路由的下一跳IP地址是 192.168.25.2 。



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。



1. 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

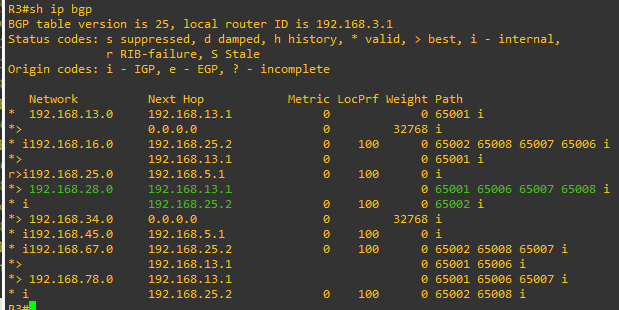
R3(config-router)#synchronization

R5的配置命令：

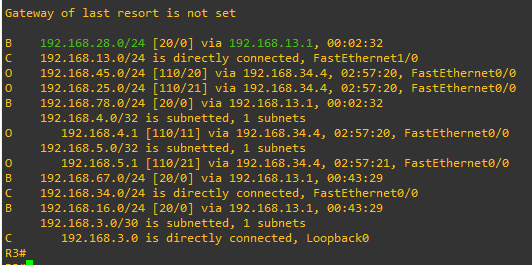
R5(config)#router bgp 65003

R5(config-router)#synchronization

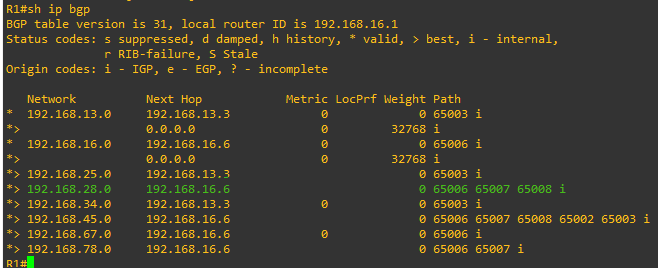
R3的BGP数据库：观察得知，到达R2-R8间子网的路由有 2 条，其中最佳路由的下一跳为 192.168.25.2 （属于R1），因为同步功能打开后，BGP判断AS内部缺少相应的路由，因此不选择本AS作为转发路径。



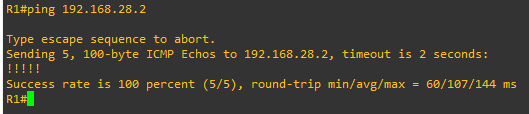
R3的路由表：到达R2-R8间子网的下一跳IP为 192.168.13.1 ，属于路由器 R1 。



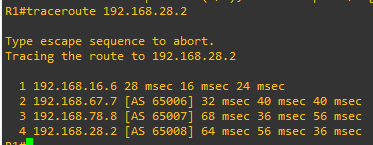
R1的BGP数据库：观察得知，到达R2-R8间子网的最佳路由的下一跳为 192.168.16.6 ，属于路由器 R6 。由于使用了水平分裂方式，R3并没有向R1报告关于这个子网的路由，因为R3选的下一跳是R1。



Ping结果：



路由跟踪结果：观察得知，依次经过了这些路由器： R6 、 R7 、 R8 、 R2 。



1. 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 9

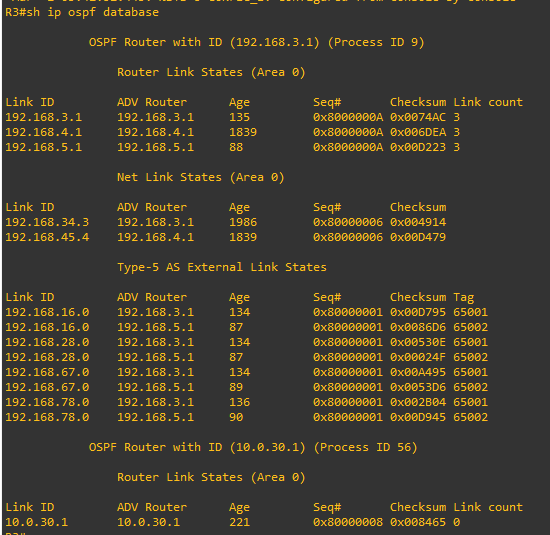
R3(config-router)#redistribute bgp 65003 subnets

R5的配置命令：

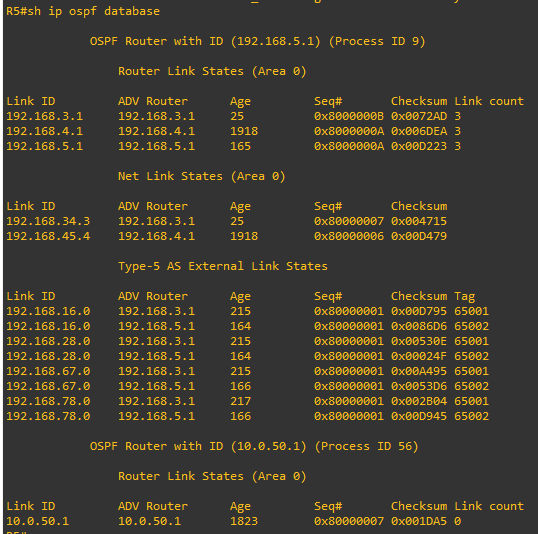
R5(config)#router ospf 9

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。

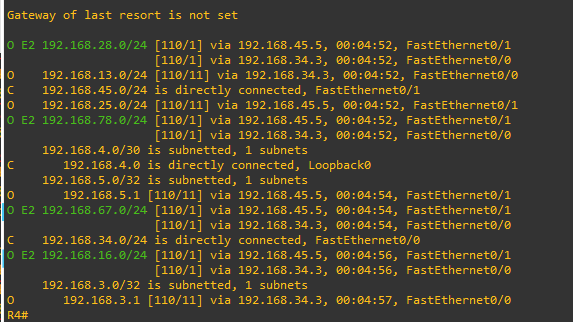


R5的OSPF数据库：观察得知，OSPF从BGP中重分发了AS外部链路的信息，但是R5-R2的直连网络 192.168.25.0 没有被本路由器重分发。



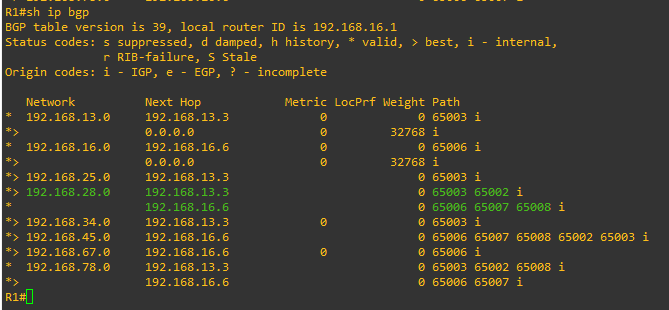
R4的路由表：观察得知， R4上增加了AS外部的路由信息。此时，到达R2-R8间子网的下一跳为 192.168.45.5

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。

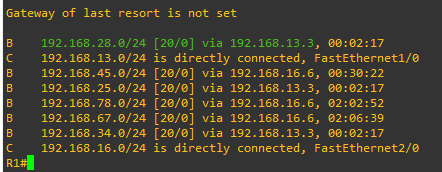


1. 在R3上清除BGP信息（命令：clear ip bgp \*），等待一段时间后，在R1上查看到达R2-R8间子网的最佳BGP路由，以及R1的路由表，并在R1上跟踪到达R2-R8间子网的路由。

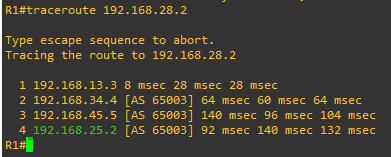
R1的BGP数据库：观察得知，到达R2-R8间子网的路由有 2 条，其中最佳路由的下一跳为 192.168.13.3 （属于路由器 R3 ）。



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 。



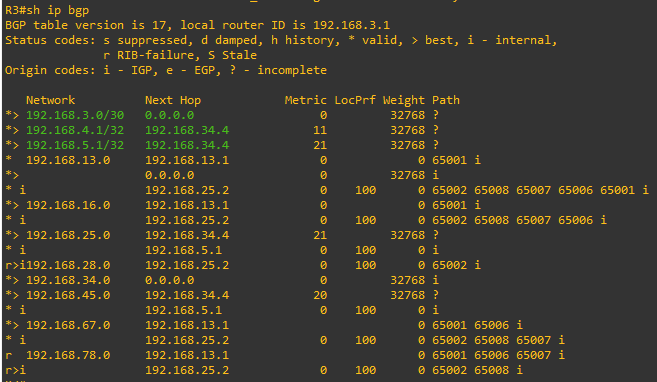
1. 在R3上的BGP中启用OSPF路由重分发功能（命令：router bgp <AS-bnumber>, redistribute ospf <pid>），然后查看R3的BGP数据库，标记新增的路由信息。等待一会，在R8上查看AS 65003的内部相关路由信息是否存在。

R3的配置命令：

R3(config)#router bgp 65003

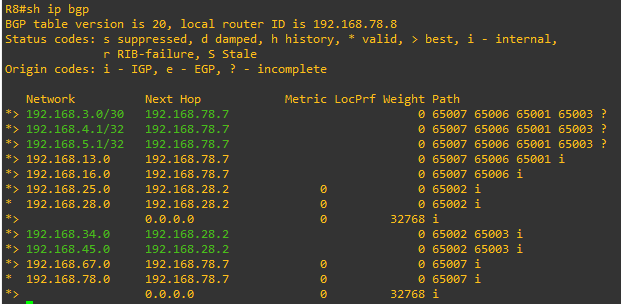
R3(config-router)#redistribute ospf 9

R3的BGP数据库：观察得知，新增的路由分别是： 192.168.3.0 、 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 6 条，其中到达R3的回环口的最佳路由的下一跳为

192.168.78.2 ，到达R4的回环口的最佳路由的下一跳为 192.168.78.7 。



1. 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)#int f0/0

R1(config-if)#ip addr 10.0.0.1 255.255.255.0

R1(config-if)#no shut

R1(config)#router bgp 65001

R1(config-router)#network 10.0.0.0 mask 255.255.255.0

PC1的配置命令：

PC1> ip 10.0.0.50 255.255.255.0 10.0.0.1

1. 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)#int f0/0

R2(config-if)#ip addr 10.0.2.1 255.255.255.0

R2(config-if)#no shut

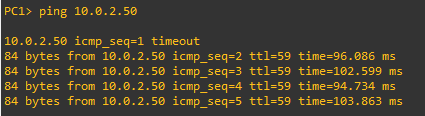
R2(config)#router bgp 65002

R2(config-router)#network 10.0.2.0 mask 255.255.255.0

PC3的配置命令：

PC3> ip 10.0.2.50 255.255.255.0 10.0.2.1

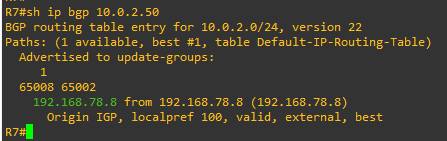
Ping结果截图：



**----Part 4. 路由过滤-----**

1. 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 。



1. 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：

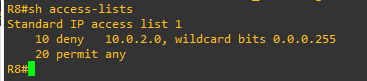
R8(config)#access-list 1 deny 10.0.2.0 0.0.0.255

R8(config)#access-list 1 permit 0.0.0.0 255.255.255.255

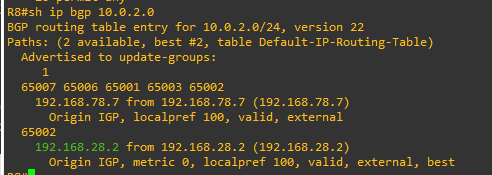
R8(config)#router bgp 65008

R8(config-router)#neighbor 192.168.78.7 distribute-list 1 out

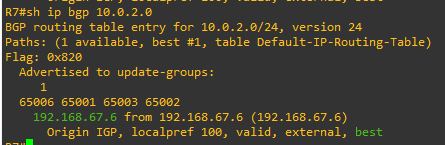
查看R8生效的访问列表：（访问列表是有顺序的，前面优先。如需修改，请全部删除后重新按顺序添加）



R8的BGP数据库：



R7的BGP数据库：



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。

**----Part 5. IPv6双栈路由-----**

1. 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

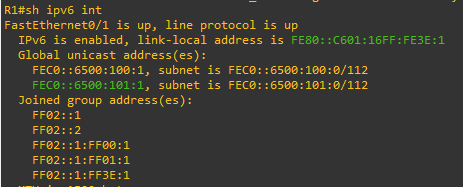
R1(config-if)#no shut

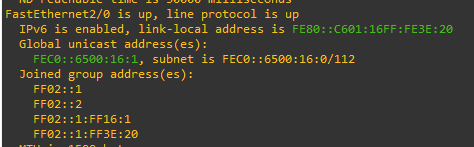
R1(config-if)#int f2/0

R1(config-if)#ipv6 addr fec0::6500:16:1/112

R1(config-if)#no shut

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::C601:16FF:FE3E:1 。

系统为f2/0端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C601:16FF:FE3E:20 。

1. 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)#int f2/0

R6(config-if)#ipv6 addr fec0::6500:16:6/112

R6(config-if)#no shut

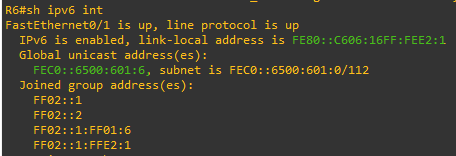
R6(config-if)#exit

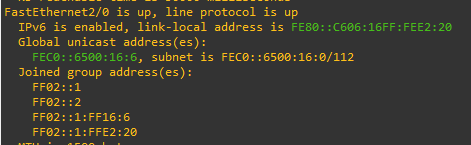
R6(config)#int f0/1

R6(config-if)#ipv6 addr fec0::6500:601:6/112

R6(config-if)#no shut（激活端口）

查看R6的IPv6接口：

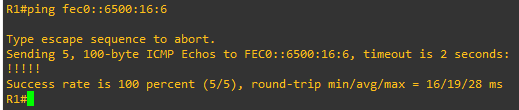


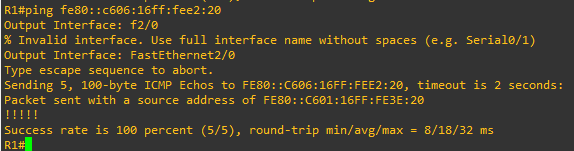


观察得知：系统为f0/1端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C606:16FF:FEE2:1 。

系统为f2/0端口自动分配的链路本地地址为 FE80::C606:16FF:FEE2:20 。

Ping测试结果：





1. 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，请替换成文本形式）

R1(config)#ipv6 unicast-routing（启用IPv6单播路由）

R1(config)#router bgp 65001（进入BGP配置）

R1(config-router)#address-family ipv6 （进入IPv6地址族配置模式）

R1(config-router-af)#network fec0::6500:16:0/112（宣告直连网络）

R1(config-router-af)#network fec0::6500:101:0/112（宣告直连网络）

R1(config-router-af)#neighbor fec0::6500:16:6 remote-as 65006（设置邻居关系）

R6的配置命令：

R6(config)#ipv6 unicast-routing

R6(config)#router bgp 65006

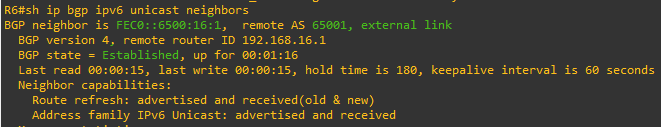
R6(config-router)#address-family ipv6

R6(config-router-af)#network fec0::6500:601:0/112

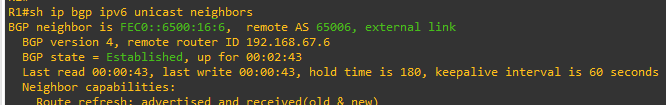
R6(config-router-af)#network fec0::6500:16:0/112

R6(config-router-af)#neighbor fec0::6500:16:1 remote-as 65001

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。

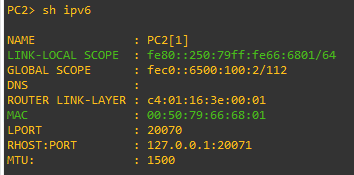


1. 给PC2配置IPv6的site-local地址（系统会自动配置链路本地的地址，并发现本地链路上的默认路由器，因此不需要配置默认路由器）。查看IPv6信息（命令：show ipv6），标出链路本地地址及路由器的MAC地址。测试下与R1的连通性。

PC2的配置命令：（截图仅供参考，请替换成文本形式）

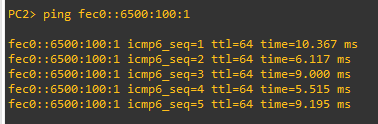
PC2> ip fec0::6500:100:2/112

查看PC2的IPv6配置：



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：

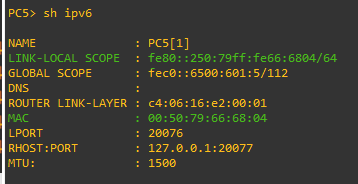


1. 给PC5配置IPv6地址。查看IPv6信息，标出链路本地地址及路由器的MAC地址。测试下与R6的连通性。

PC5的配置命令：

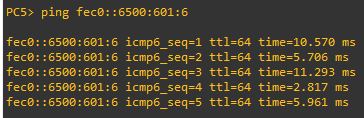
PC5> ip fec0::6500:601:5/112

查看PC5的IPv6配置：



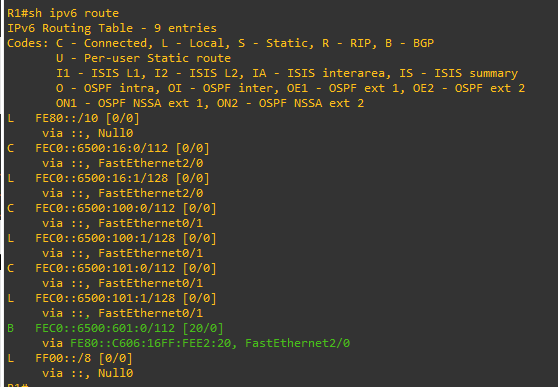
链路本地地址为： fe80::250:79ff:fe66:6804/64 ，路由器的MAC地址为： 00:50:79:66:68:04 。

PC5🡪R6的Ping测试结果：

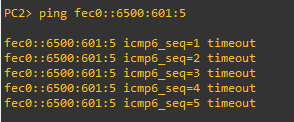


1. 查看R1的IPv6路由表（命令：show ipv6 route），标出BGP路由，并测试PC2到PC5的连通性。

R1的IPv6路由表：



PC2🡪PC5的Ping测试结果：



1. 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::6500:201:1/112

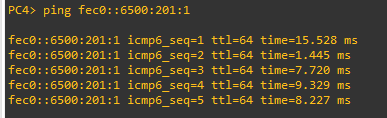
R2(config-if)#no shut

R2(config)#ipv6 unicast-routing（启用IPv6单播路由）

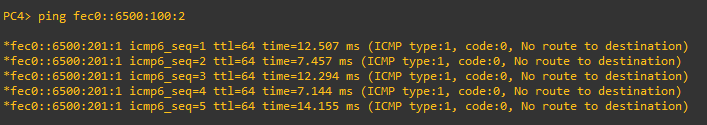
PC4的配置命令：

PC4> ip fec0::6500:201:4/112

PC4🡪R2的Ping测试结果：

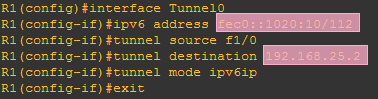


PC4🡪PC2的Ping测试结果：此时由于路由器 R2 没有 int f0/1 的IPv6路由，无法Ping通。



1. 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

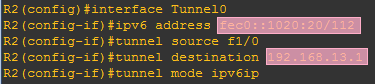
R1(config-if)#ipv6 addr fec0::1020:10/112

R1(config-if)#tunnel source f1/0

R1(config-if)#tunnel destination 192.168.25.2

R1(config-if)#tunnel mode ipv6ip

R2的配置命令：



R2(config)#int tunnel0

R2(config-if)#ipv6 addr fec0::1020:20/112

R2(config-if)#tunnel source f1/0

R2(config-if)#tunnel destination 192.168.13.1

R2(config-if)#tunnel mode ipv6ip

1. 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：

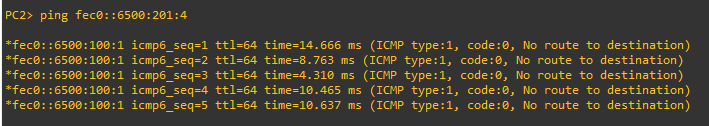


R1(config)#ipv6 route fec0::6500:201:0/112 tunnel 0

R2的配置命令：

R2(config)# ipv6 route fec0::6500:100:0/112 tunnel 0

PC2🡪PC4的Ping测试结果：

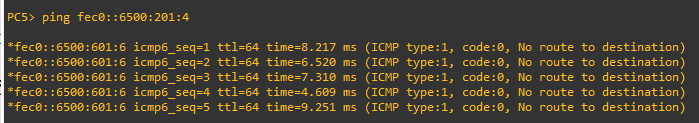


1. 在R2上为PC5的子网设置静态路由，下一跳为隧道接口。然后在PC5上测试到PC4之间的连通性。如果不通，查看R6上的路由信息，思考下为什么。

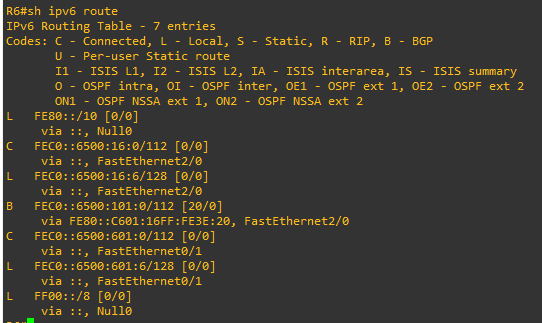
R2的配置命令：

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 R2 返回没有路由的错误。



R6的IPv6路由表：观察得知，R6上没有 R2 的路由。



1. 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。

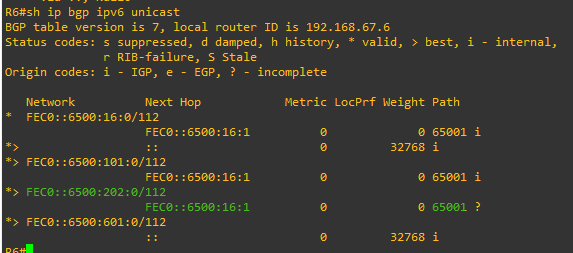
R1的配置命令：

R1(config)#router bgp 65001

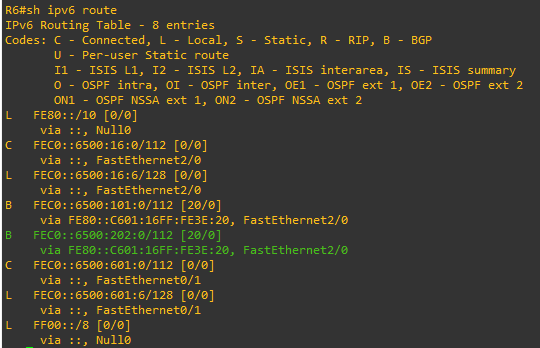
R1(config-router)#address-family ipv6

R1(config-router-af)#redistribute static

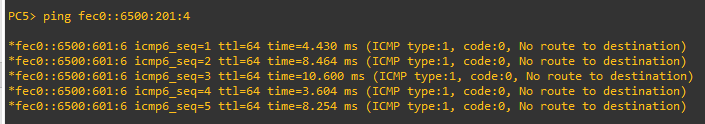
R6的BGP数据库：



R6的路由表：



PC5🡪PC4的Ping测试结果：



1. 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。

# 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，可直接通过内部IGP协议和TCP传出数据包。

* 默认情况下，BGP根据什么条件决定最佳路由？

最短自治系统的原理。

* 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？

BGP必须等待直到IGP在其自治系统成功传播，路由器收到iBGP发来的目的地信息，在发送给eBGP之前会尝试验证其是否可达。

* 为什么关未启用路由重分发时，R4没有外部网络的路由？

R3上启用了路由重分发。

* 为什么PC可以不设置IPv6的默认路由器？路由器可以吗？

PC的IPv6地址即包含了默认路由器接口。路由器必须设置才能确定下一跳接口。

* 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？

IPv6站点通过IPv4网络通信需要使用隧道技术。R6、R2也是通过IPv6隧道进行通信的。

# 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：

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：

你对本实验安排有哪些更好的建议呢？欢迎献计献策：