

4 路由引入、路由控制和策略路由

4.1 路由引入中次优路由和路由环路问题及解决方案

4.1.1 项目背景

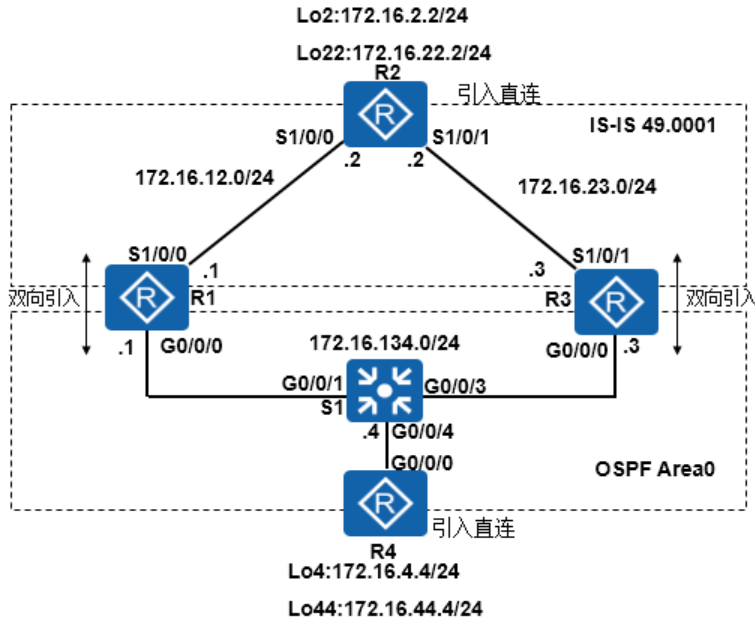
近年来，A 公司网络规模不断扩大，近期打算并购 B 公司，A 公司网络运行的是 OSPF 路由协议，B 公司网络运行的是 IS-IS 路由协议，为了确保资源共享、办公自动化和节省人力成本，需要将两个公司的网络合并，结果 IT 部门协商，两个公司都不打算重新规划和设计自己的网络，因此最后的解决方案是通过双点双向路由引入实现网络互通。赵同学正在 A 公司实习，为了提高实际工作的准确性和工作效率，避免路由环路和次优路由等问题的出现，项目经理安排他在实验室环境下针对次优路由和路由环路问题提出解决方案，并进行网络连通测试，为项目顺利实施和网络可靠运行奠定坚实的基础。赵同学用 4 台路由器模拟 A 公司和 B 公司的网络，通过两台边界路由器双向路由引入实现网络互通。

4.1.2 项目目的

通过本项目可以掌握如下知识点和技能点，同时积累项目经验。

- OSPF 路由协议配置及 OSPF 引入直连路由的配置方法。
- IS-IS 路由协议配置及 IS-IS 引入直连路由的配置方法。
- OSPF 和 IS-IS 路由双向引入的配置方法。
- 路由引入过程中次优路由和路由环路的分析方法。
- 定义路由策略的方法。
- 路由引入中调用路由策略的方法。
- 查看和调试路由协议引入的相关信息。

4.1.3 项目拓扑



4.1.4 项目规划

本项目的核心任务是完成路由引入部署及提出次优路由、路由环路解决方案，为保持项目的完整性，需完成前期准备工作。

4.1.4.1 项目前期准备工作

- 步骤 1 配置 IP 地址：完成 IP 地址规划，A 公司和 B 公司内部网络通过路由器 R2 和 R4 环回接口模拟。配置路由器接口的 IP 地址并测试所有直连链路的连通性。
- 步骤 2 配置 IS-IS：路由器 R1、R2 和 R3 上网络配置 IS-IS 路由协议，区域为 49.0001，R2 上引入直连路由。
- 步骤 3 配置 OSPF：路由器 R1、R3 和 R4 上配置 OSPF 路由协议，区域为 0，R4 上引入直连路由。

4.1.4.2 项目核心任务-完成路由引入

- 步骤 1 配置路由引入：在边界设备 R1 和 R3 上配置路由引入。
- 步骤 2 分析次优路由：在路由器 R3 上首先执行 OSPF 和 IS-IS 双向路由引入，在路由器 R1 的路由表中出现到达 R4 环回接口所在网络的次优路由。
- 步骤 3 分析路由环路：在路由器 R1 上也完成 OSPF 和 IS-IS 双向路由引入，在器 R1、R2 和 R3 路由器上中出现到达 R4 环回接口所在网络的路由环路。
- 步骤 4 解决路由环路和次优路由：在路由引入时使用路由策略和路由标记来解决次优路由、路由反馈和路由环路的方案扩展性非常好。

设备接口连接规划表和设备接口 IP 地址规划表如下。

表4-1 设备接口连接规划表

设备	接口	接口所在网段	对端设备及接口
R1	S1/0/0	172.16.12.0/24	R2 S1/0/0
	G0/0/0	172.16.134.0/24	S1 G0/0/1
R2	S1/0/0	172.16.12.0/24	R1 S1/0/0
	S1/0/1	172.16.23.0/24	R3 S1/0/1
R3	G0/0/0	172.16.134.0/24	S1 G0/0/3
	S1/0/1	172.16.23.0/24	R2 S1/0/1
R4	G0/0/0	172.16.134.0/24	S1 G0/0/4

表4-2 设备接口 IP 地址规划表

设备	接口	IP 地址	备注
R1	S1/0/0	172.16.12.1/24	
	G0/0/0	172.16.134.1/24	
R2	S1/0/0	172.16.12.2/24	
	S1/0/1	172.16.23.2/24	
	LoopBack2	172.16.2.2/24	模拟 B 公司内部网络主机
	LoopBack22	172.16.22.2/24	模拟 B 公司内部网络主机
R3	G0/0/0	172.16.134.3/24	
	S1/0/1	172.16.23.3/24	
R4	G0/0/0	172.16.134.4/24	
	LoopBack4	172.16.4.4/24	模拟 A 公司内部网络主机
	LoopBack44	172.16.44.4/24	模拟 A 公司内部网络主机

4.1.5 项目实施

4.1.5.1 项目准备工作

步骤 1 配置 IP 地址

完成 IP 地址规划，A 公司和 B 公司内部网络通过路由器 R2 和 R4 环回接口模拟。配置路由器接口的 IP 地址并测试所有直连链路的连通性。

● 配置路由器 R1

```
[R1]interface Serial1/0/0
[R1-Serial1/0/0]ip address 172.16.12.1 255.255.255.0
[R1-Serial1/0/0]quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/0
[R1-GigabitEthernet0/0/0]ip address 172.16.134.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/0]quit
```

● 配置路由器 R2

```
[R2]interface LoopBack2
```

```
[R2-LoopBack2]ip address 172.16.2.2 255.255.255.0
[R2-LoopBack2]quit
[R2]interface LoopBack22
[R2-LoopBack22]ip address 172.16.22.2 255.255.255.0
[R2-LoopBack22]quit
[R2]interface Serial1/0/0
[R2-Serial1/0/0]ip address 172.16.12.2 255.255.255.0
[R2-Serial1/0/0]quit
[R2]interface Serial1/0/1
[R2-Serial1/0/1]ip address 172.16.23.2 255.255.255.0
[R2-Serial1/0/1]quit
```

● 配置路由器 R3

```
[R3]interface Serial1/0/1
[R3-Serial1/0/1]ip address 172.16.23.3 255.255.255.0
[R3-Serial1/0/1]quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/0
[R3-GigabitEthernet0/0/0]ip address 172.16.134.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/0]quit
```

● 配置路由器 R4

```
[R4]interface GigabitEthernet0/0/0
[R4-GigabitEthernet0/0/0]ip address 172.16.134.4 255.255.255.0
[R4-GigabitEthernet0/0/0]quit
[R4]interface LoopBack4
[R4-LoopBack4]ip address 172.16.4.4 255.255.255.0
[R4-LoopBack4]quit
[R4]interface LoopBack44
[R4-LoopBack44]ip address 172.16.44.4 255.255.255.0
[R4-LoopBack44]quit
```

验证以上配置任务。

```
[R1]display ip interface brief | exclude unassigned
```

*down: administratively down

^down: standby

(l): loopback

(s): spoofing

The number of interface that is UP in Physical is 3

The number of interface that is DOWN in Physical is 3

The number of interface that is UP in Protocol is 3

The number of interface that is DOWN in Protocol is 3

Interface	IP Address/Mask	Physical	Protocol
GigabitEthernet0/0/0	172.16.134.1/24	up	up
Serial1/0/0	172.16.12.1/24	up	up

```
[R2]display ip interface brief | exclude unassigned
```

*down: administratively down

^down: standby

(l): loopback

(s): spoofing

The number of interface that is UP in Physical is 5

The number of interface that is DOWN in Physical is 3

The number of interface that is UP in Protocol is 5

The number of interface that is DOWN in Protocol is 3

Interface	IP Address/Mask	Physical	Protocol
LoopBack2	172.16.2.2/24	up	up(s)

LoopBack22	172.16.22.2/24	up	up(s)
Serial1/0/0	172.16.12.2/24	up	up
Serial1/0/1	172.16.23.2/24	up	up

[R3]**display ip interface brief | exclude unassigned**

*down: administratively down

^down: standby

(l): loopback

(s): spoofing

The number of interface that is UP in Physical is 3

The number of interface that is DOWN in Physical is 3

The number of interface that is UP in Protocol is 3

The number of interface that is DOWN in Protocol is 3

Interface	IP Address/Mask	Physical	Protocol
GigabitEthernet0/0/0	172.16.134.3/24	up	up
Serial1/0/1	172.16.23.3/24	up	up

[R4]**display ip interface brief | exclude unassigned**

*down: administratively down

^down: standby

(l): loopback

(s): spoofing

The number of interface that is UP in Physical is 4

The number of interface that is DOWN in Physical is 2

The number of interface that is UP in Protocol is 4

The number of interface that is DOWN in Protocol is 2

Interface	IP Address/Mask	Physical	Protocol
GigabitEthernet0/0/0	172.16.134.4/24	up	up
LoopBack4	172.16.4.4/24	up	up(s)
LoopBack44	172.16.44.4/24	up	up(s)

步骤 2 配置 IS-IS

路由器 R1、R2 和 R3 上网络配置 IS-IS 路由协议，区域为 49.0001，R2 上引入直连路由。

● 配置路由器 R1

```
[R1]isis 1
[R1-isis-1]cost-style wide
[R1-isis-1]network-entity 49.0001.1111.1111.1111.00
[R1]interface Serial1/0/0
[R1-Serial1/0/0]isis enable 1
```

● 配置路由器 R2

```
[R2]isis 1
[R2-isis-1]cost-style wide
[R2-isis-1]network-entity 49.0001.2222.2222.2222.00
[R2-isis-1]import-route direct
[R2]interface Serial1/0/0
[R2-Serial1/0/0]isis enable 1
[R2]interface Serial1/0/1
[R2-Serial1/0/1]isis enable 1
```

● 配置路由器 R3

```
[R3]isis 1
[R3-isis-1]cost-style wide
[R3-isis-1]network-entity 49.0001.3333.3333.3333.00
```

```
[R3]interface Serial1/0/1
[R3-Serial1/0/1]isis enable 1
```

验证以上配置任务。

```
[R1]display ip routing-table protocol isis
```

Route Flags: R - relay, D - download to fib

Public routing table : ISIS

Destinations : 5 Routes : 5

ISIS routing table status : <Active>

Destinations : 4 Routes : 4

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.2.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.12.2	Serial1/0/0
172.16.22.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.12.2	Serial1/0/0
172.16.23.0/24	ISIS-L1	15	20	D	172.16.12.2	Serial1/0/0
172.16.23.3/32	ISIS-L2	15	10	D	172.16.12.2	Serial1/0/0

ISIS routing table status : <Inactive>

Destinations : 1 Routes : 1

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.12.1/32	ISIS-L2	15	10		172.16.12.2	Serial1/0/0

```
[R3]display ip routing-table protocol isis
```

Route Flags: R - relay, D - download to fib

Public routing table : ISIS

Destinations : 5 Routes : 5

ISIS routing table status : <Active>

Destinations : 4 Routes : 4

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.2.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.2	Serial1/0/1
172.16.12.0/24	ISIS-L1	15	20	D	172.16.23.2	Serial1/0/1
172.16.12.1/32	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.2	Serial1/0/1
172.16.22.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.2	Serial1/0/1

ISIS routing table status : <Inactive>

Destinations : 1 Routes : 1

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.23.3/32	ISIS-L2	15	10		172.16.23.2	Serial1/0/1

步骤 3 配置 OSPF

路由器 R1、R3 和 R4 上配置 OSPF 路由协议,区域为 0, R4 上引入直连路由。

● 配置路由器 R1

```
[R1]ospf 1 router-id 1.1.1.1
```

```
[R1-ospf-1]bandwidth-reference 1000
```

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

```
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0]network 172.16.134.1 0.0.0.0
```

- 配置路由器 R2

```
[R3]ospf 1 router-id 3.3.3.3
```

```
[R3-ospf-1]bandwidth-reference 1000
```

```
[R3-ospf-1]area 0
```

```
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 172.16.134.3 0.0.0.0
```

- 配置路由器 R4

```
[R4]ospf 1 router-id 4.4.4.4
```

```
[R4-ospf-1]import-route direct cost 10
```

```
[R4-ospf-1]bandwidth-reference 1000
```

```
[R4-ospf-1]area 0
```

```
[R4-ospf-1-area-0.0.0.0]network 172.16.134.4 0.0.0.0
```

验证以上配置任务。

```
[R1]display ip routing-table protocol ospf
```

Route Flags: R - relay, D - download to fib

Public routing table : OSPF

Destinations : 2 Routes : 2

OSPF routing table status : <Active>

Destinations : 2 Routes : 2

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.4.0/24	O_ASE	150	10	D	172.16.134.4	GigabitEthernet0/0/0
172.16.44.0/24	O_ASE	150	10	D	172.16.134.4	GigabitEthernet0/0/0

OSPF routing table status : <Inactive>

Destinations : 0 Routes : 0

```
[R3]display ip routing-table protocol ospf
```

Route Flags: R - relay, D - download to fib

Public routing table : OSPF

Destinations : 2 Routes : 2

OSPF routing table status : <Active>

Destinations : 2 Routes : 2

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.4.0/24	O_ASE	150	10	D	172.16.134.4	GigabitEthernet0/0/0
172.16.44.0/24	O_ASE	150	10	D	172.16.134.4	GigabitEthernet0/0/0

OSPF routing table status : <Inactive>

Destinations : 0 Routes : 0

4.1.5.2 项目核心任务

步骤 1 配置路由引入

在路由器 R3 上首先执行 OSPF 和 IS-IS 双向路由引入。

```
[R3]ospf 1
```

```
[R3-ospf-1]import-route isis 1
[R3-ospf-1]quit
[R3]isis 1
[R3-isis-1]import-route ospf 1
[R3-isis-1]quit
```

步骤 2 分析次优路由

在路由器 R3 上首先执行 OSPF 和 IS-IS 双向路由引入后，在路由器 R1 的路由表中，发现到目的网络 172.16.4.0 和 172.16.44.0 的下一跳地址是 172.16.12.2，也就是经过路由器 R2 和 R3 到达，而没有选择直接到 R4，即次优路由。

```
[R1]display ip routing-table protocol isis
```

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.4.0/24	ISIS-L2	15	20	D	172.16.12.2	Serial1/0/0
172.16.44.0/24	ISIS-L2	15	20	D	172.16.12.2	Serial1/0/0

由于 172.16.4.0 和 172.16.44.0 是通过在路由器 R4 引入直连进入 OSPF 的，所以是 OSPF ASE 路由，在路由器 R1 和 R3 上没有执行双向路由引入之前，路由 172.16.4.0 和 172.16.44.0 会以 O_ASE 代码出现在路由器 R1 和 R3 的路由表中，路由优先级为 150。在路由器 R3 上首先执行了 OSPF 和 IS-IS 双向路由引入，外部路由条目 172.16.4.0 和 172.16.44.0 进入 OSPF 进程，该条目通过 5 类 LSA 传递给路由器 R1，路由器 R1 通过比较路由优先级，发现从路由器 R2 收到该路由条目的优先级为 15，而从路由器 R4 收到的路由条目优先级为 150，所以路由器 R1 更新路由表，选择路由条目优先级低的路由安装进路由表，即下一跳指向路由器 R2，因而造成了次优路由。

可以用 traceroute 命令查看如何从路由器 R1 到达 172.16.4.4，信息如下。

```
[R1]tracert 172.16.4.4
tracert to 172.16.4.4(172.16.4.4), max hops: 30 ,packet length: 40,press CTRL_C to break
 1 172.16.12.2 90 ms 30 ms 30 ms
 2 172.16.23.3 50 ms 40 ms 30 ms
 3 172.16.134.4 80 ms 50 ms 80 ms
```

步骤 3 分析次优路由

在路由器 R1 上也完成 OSPF 和 IS-IS 双向路由引入，在器 R1、R2 和 R3 路由器上中出现到达 R4 环回接口所在网络的路由环路。

```
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1]import-route isis 1
[R1-ospf-1]quit
[R1]isis 1
[R1-isis-1]import-route ospf 1
[R1-isis-1]quit
```

接下来在路由器 R1、R2 和 R3 上查看路由表，只需要关注 172.16.4.0 和 172.16.44.0 两条路由。

```
[R1]display ip routing-table
```

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.4.0/24	ISIS-L2	15	20	D	172.16.12.2	Serial1/0/0
172.16.44.0/24	ISIS-L2	15	20	D	172.16.12.2	Serial1/0/0

```
[R2]display ip routing-table
```

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.4.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.3	Serial1/0/1
172.16.44.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.3	Serial1/0/1

```
[R3]display ip routing-table
```

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.4.0/24	O_ASE	150	1	D	172.16.134.1	GigabitEthernet0/0/0
172.16.44.0/24	O_ASE	150	1	D	172.16.134.1	GigabitEthernet0/0/0

以上输出关注 3 台路由器上路由条目 172.16.4.0 和 172.16.44.0 的下一跳，发现路由环路已经产生，可以用 `tracert` 命令在 R1 上查看。

```
[R1]tracert 172.16.4.4
```

```
tracert to 172.16.4.4(172.16.4.4), max hops: 30 ,packet length: 40,press CTRL_C to break
 1 172.16.12.2 70 ms 30 ms 20 ms
 2 172.16.23.3 60 ms 30 ms 40 ms
 3 172.16.134.1 50 ms 20 ms 20 ms
 4 172.16.12.2 70 ms 50 ms 40 ms
 5 172.16.23.3 50 ms 40 ms 40 ms
 6 172.16.134.1 70 ms 60 ms 60 ms
 7 172.16.12.2 60 ms 50 ms 70 ms
 8 172.16.23.3 60 ms 80 ms 70 ms
.....
28 172.16.12.2 220 ms 200 ms 220 ms
29 172.16.23.3 220 ms 220 ms 220 ms
30 172.16.134.1 200 ms 220 ms 220 ms
```

步骤 4 解决路由环路和次优路由

在路由引入时使用路由策略和路由标记来解决次优路由、路由反馈和路由环路的方案扩展性非常好。

首先通过修改路由优先级解决次优问题和路由反馈。

● 配置路由器 R1

```
[R1]ip ip-prefix 4 index 10 permit 172.16.4.0 24
[R1]ip ip-prefix 4 index 20 permit 172.16.44.0 24
[R1]route-policy PRE permit node 10
[R1-route-policy]if-match ip-prefix 4
[R1-route-policy]apply preference 160
[R1]route-policy PRE permit node 20
[R1]isis 1
[R1-route-policy]preference route-policy PRE
```

● 配置路由器 R3

```
[R3]ip ip-prefix 4 index 10 permit 172.16.4.0 24
[R3]ip ip-prefix 4 index 20 permit 172.16.44.0 24
[R3]route-policy PRE permit node 10
[R3-route-policy]if-match ip-prefix 4
[R3-route-policy]apply preference 160
[R3]route-policy PRE permit node 20
[R3]isis 1
[R3-route-policy]preference route-policy PRE
```

其次是用路由策略和路由标记解决路由环路问题。

● 配置路由器 R1

```
[R1]route-policy O2I deny node 10
[R1-route-policy]if-match tag 200
[R1]route-policy O2I permit node 20
[R1-route-policy]apply tag 100
[R1]route-policy I2O deny node 10
```

```
[R1-route-policy]if-match tag 40
[R1]route-policy I2O permit node 20
[R1-route-policy]apply tag 300
[R1]ospf 1
[R1-ospf-1]import-route isis 1 route-policy I2O
[R1]isis 1
[R1-isis-1]import-route ospf 1 route-policy O2I
```

● 配置路由器 R3

```
[R3]route-policy I2O deny node 10
[R3-route-policy]if-match tag 100
[R3]route-policy I2O permit node 20
[R3-route-policy]apply tag 200
[R3]route-policy O2I deny node 10
[R3-route-policy]if-match tag 300
[R3]route-policy O2I permit node 20
[R3-route-policy]apply tag 400
[R3]ospf 1
[R3-ospf-1]import-route isis 1 route-policy I2O
[R3]isis 1
[R3-isis-1]import-route ospf 1 route-policy O2I
```

4.1.6 项目验证

4.1.6.1 查看定义的路由策略

```
[R1]display route-policy
Route-policy : O2I
  deny : 10 (matched counts: 8)
    Match clauses :
      if-match tag 200
  permit : 20 (matched counts: 17)
    Apply clauses :
      apply tag 100
Route-policy : I2O
  deny : 10 (matched counts: 10)
    Match clauses :
      if-match tag 400
  permit : 20 (matched counts: 68)
    Apply clauses :
      apply tag 300
Route-policy : PRE
  permit : 10 (matched counts: 19)
    Match clauses :
      if-match ip-prefix 4
    Apply clauses :
      apply preference 160
  permit : 20 (matched counts: 36)
```

4.1.6.2 查看 IP 路由表

每台路由器的 IP 路由表中只关注 R2 和 R4 环回接口的路由，其他路由信息省略。

● 查看路由器 R1 IP 路由表

```
[R1]display ip routing-table
```

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.2.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.12.2	Serial1/0/0
172.16.4.0/24	O_ASE	150	10	D	172.16.134.4	GigabitEthernet0/0/0

172.16.22.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.12.2	Serial1/0/0
172.16.44.0/24	O_ASE	150	10	D	172.16.134.4	GigabitEthernet0/0/0

● 查看路由器 R2 IP 路由表

[R2]display ip routing-table protocol isis

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.4.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.3	Serial1/0/1
	ISIS-L2	15	10	D	172.16.12.1	Serial1/0/0
172.16.44.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.3	Serial1/0/1
	ISIS-L2	15	10	D	172.16.12.1	Serial1/0/0
172.16.134.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.3	Serial1/0/1
	ISIS-L2	15	10	D	172.16.12.1	Serial1/0/0

● 查看路由器 R3 IP 路由表

[R3]display ip routing-table

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.2.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.2	Serial1/0/1
172.16.4.0/24	O_ASE	150	10	D	172.16.134.4	GigabitEthernet0/0/0
172.16.22.0/24	ISIS-L2	15	10	D	172.16.23.2	Serial1/0/1
172.16.44.0/24	O_ASE	150	10	D	172.16.134.4	GigabitEthernet0/0/0

● 查看路由器 R4 IP 路由表

[R4]display ip routing-table protocol ospf

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
172.16.2.0/24	O_ASE	150	1	D	172.16.134.3	GigabitEthernet0/0/0
	O_ASE	150	1	D	172.16.134.1	GigabitEthernet0/0/0
172.16.22.0/24	O_ASE	150	1	D	172.16.134.3	GigabitEthernet0/0/0
	O_ASE	150	1	D	172.16.134.1	GigabitEthernet0/0/0

4.1.6.3 测试连通性

以路由器 R2 的环回接口为源地址测试到达 R4 环回接口的网络连通性。

```
<R2>ping -a 172.16.2.2 172.16.4.4
PING 172.16.4.4: 56 data bytes, press CTRL_C to break
  Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=254 time=90 ms
  Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=2 ttl=254 time=60 ms
  Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=3 ttl=254 time=50 ms
  Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=4 ttl=254 time=40 ms
  Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=5 ttl=254 time=70 ms

--- 172.16.4.4 ping statistics ---
  5 packet(s) transmitted
  5 packet(s) received
  0.00% packet loss
  round-trip min/avg/max = 40/62/90 ms

<R2>ping -a 172.16.22.2 172.16.44.4
PING 172.16.44.4: 56 data bytes, press CTRL_C to break
  Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=254 time=60 ms
  Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=2 ttl=254 time=50 ms
  Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=3 ttl=254 time=40 ms
  Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=4 ttl=254 time=40 ms
  Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=5 ttl=254 time=50 ms

--- 172.16.44.4 ping statistics ---
  5 packet(s) transmitted
  5 packet(s) received
  0.00% packet loss
```

round-trip min/avg/max = 40/48/60 ms

<R2>**ping -a 172.16.2.2 172.16.44.4**

PING 172.16.44.4: 56 data bytes, press CTRL_C to break

Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=254 time=60 ms

Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=2 ttl=254 time=60 ms

Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=3 ttl=254 time=50 ms

Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=4 ttl=254 time=50 ms

Reply from 172.16.44.4: bytes=56 Sequence=5 ttl=254 time=50 ms

--- 172.16.44.4 ping statistics ---

5 packet(s) transmitted

5 packet(s) received

0.00% packet loss

round-trip min/avg/max = 50/54/60 ms

<R2>**ping -a 172.16.22.2 172.16.4.4**

PING 172.16.4.4: 56 data bytes, press CTRL_C to break

Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=254 time=50 ms

Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=2 ttl=254 time=30 ms

Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=3 ttl=254 time=40 ms

Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=4 ttl=254 time=50 ms

Reply from 172.16.4.4: bytes=56 Sequence=5 ttl=254 time=50 ms

--- 172.16.4.4 ping statistics ---

5 packet(s) transmitted

5 packet(s) received

0.00% packet loss

round-trip min/avg/max = 30/44/50 ms

4.2 配置 BGP 属性控制企业网络接入运营商的选路

4.2.1 项目背景

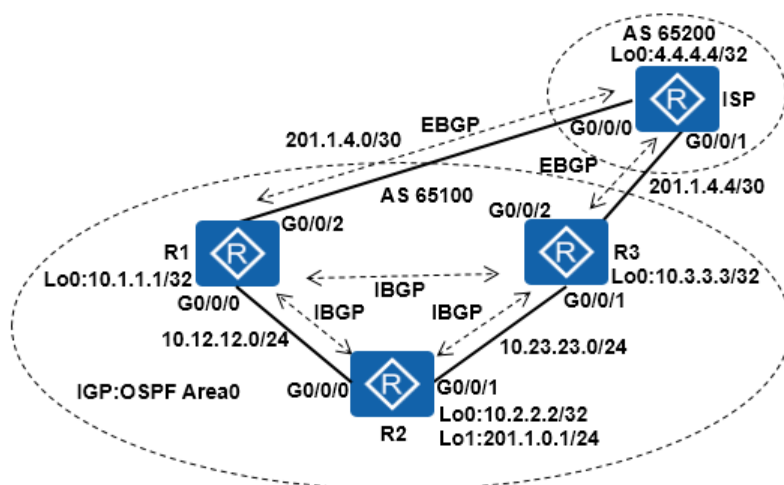
近年来，A 公司网络规模不断扩大，新的业务对互联网接入的速度和稳定性提出了更高的要求，公司计划升级网络为用户提供更好的服务品质和体验，为此向运营商 B 租用两条线路接入其网络，目的是优化公司网络资源利用率和增强网络安全性、稳定性和可靠性。正在该公司实习的李同学已经按照项目经理安排在实验室环境下完成配置 BGP 实现企业网络接入运营商项目，为项目实施和网络运行奠定坚实的基础。现在项目经理要求李同学在配置完成基本的 BGP 的基础上，在实验室环境下深入研究 BGP 通过属性控制路由选路，为将来优化企业网络资源奠定基础。李同学打算研究 Origin、AS-Path、Local_Pref、PrefVal 和 MED 属性。根据 BGP 路由判定的顺序（优先级别从低到高）设计案例，每个分解案例都是以较高的优先级别影响前面分解案例的 BGP 路由选路。通过修改 Origin、AS-Path、Local_Pref、PrefVal 属性来控制在 AS 65100 内路由器 R1、R2 和 R3 对路由器 ISP 上通告的 4.4.4.4/32 路由的选路。最后通过在路由器 R1 和 R3 上发布策略来控制从路由器 ISP 访问 AS 65100 的 201.1.0.0/24 网络选路。

4.2.2 项目目的

通过本项目可以掌握如下知识点和技能点，同时积累项目经验。

- 掌握 BGP 基本配置任务。
- 定义路由策略修改 BGP Origin 属性，并应用策略控制选路。
- 定义路由策略修改 BGP AS-Path 属性，并应用策略控制选路。
- 定义路由策略修改 BGP Local_Pref 属性，并应用策略控制选路。
- 定义路由策略配置 BGP PrefVal 属性，并应用策略控制选路。
- 定义路由策略修改 MED 属性，并应用策略控制选路。
- 深入理解 BGP 选路规则，通过路由器的 BGP 路由表观察 BGP 选路结果。

4.2.3 项目拓扑



4.2.4 项目规划

本项目的核心任务是完成 BGP 路由选路控制，为保持项目的完整性，需完成前期准备工作。

4.2.4.1 项目前期准备工作

- 步骤 1 配置 IP 地址：公司内部网络设备之间及其环回接口使用私有地址，公司业务网段和与 ISP 设备互联的网络使用公网地址，业务网段在路由器 R2 和 ISP 上分别用与环回接口模拟。配置路由器接口的 IP 地址并测试所有直连链路的连通性。
- 步骤 2 配置 OSPF：内部网络路由器 R1、R2 和 R3 上配置 OSPF 路由协议，以便建立 IBGP 邻居时提供发送 BGP 报文源地址的连通性。
- 步骤 3 配置 BGP 基本功能：路由器 R1、R2 和 R3 建立全连接 IBGP 邻居关系。路由器 R1 和 R3 与 ISP 建立 EBGP 邻居关系。启动 BGP 进程,配置 BGP 路由器 ID,创建 IBGP 和 EBGP 对等体,指定 BGP 报文发送源地址，配置 IBGP 的 next-hop-local 和通告网络等。

4.2.4.2 项目核心任务

- 步骤 1 修改 BGP Origin 属性控制选路：在 ISP 路由器上对环回接口 0 的路由配置路由策略，修改 BGP 起源属性为 egp，将策略应用到对等体 201.1.4.1 的出方向，在路由器 R1、R2 和 R3 上查看 BGP 路由 4.4.4.4 的选路情况。
- 步骤 2 修改 BGP AS-Path 属性控制选路：在 ISP 路由器上对环回接口 0 的路由配置路由策略，修改 BGP AS-Path 属性，为该路由条目追加 AS 长度，将策略应用到对等体 201.1.4.5 的出方向，在路由器 R1、R2 和 R3 上查看 BGP 路由 4.4.4.4 的选路情况。
- 步骤 3 修改 BGP Local_Pref 属性控制选路：在路由器 R3 上针对 ISP 路由器环回接口 0 的路由配置路由策略，修改 Local_Pref 属性为 2000，将策略应用到对等体 201.1.4.6 的入方向，在路由器 R1、R2 和 R3 上查看 BGP 路由 4.4.4.4 的选路情况。
- 步骤 4 配置 BGP PrefVal 属性控制选路：在路由器 R1 上对 IBGP 对等体修改 PrefVal 属性为 200，对 EBGP 对等体修改 PrefVal 属性为 500,在路由器 R1、R2 和 R3 上查看 BGP 路由 4.4.4.4 的选路情况。
- 步骤 5 修改 MED 属性控制选路：在路由器 R1 和 R3 上针对 201.1.0.0 路由修改 MED 属性分别为 200 和 100，实现以 R2 环回接口 1 为源地址到达 ISP 的环回接口 0 的路径为 R2→R3→ISP→R3→R2，即对称路径。

设备接口连接规划表和设备接口 IP 地址规划表如下。

表4-3 设备接口连接规划表

设备	接口	接口所在网段	对端设备及接口
R1	G0/0/0	10.12.12.0/24	R2 G0/0/0
	G0/0/2	201.1.4.0/30	ISP G0/0/0
R2	G0/0/0	10.12.12.0/24	R1 G0/0/0
	G0/0/1	10.23.23.0/24	R3 G0/0/1
R3	G0/0/1	10.23.23.0/24	R2 G0/0/1

	G0/0/2	201.1.4.4/30	ISP G0/0/1
ISP	G0/0/0	201.1.4.0/30	R1 G0/0/2
	G0/0/1	201.1.4.4/30	R3 G0/0/2

表4-4 设备接口 IP 地址规划表

设备	接口	IP 地址	备注
R1	G0/0/0	10.12.12.1/24	
	G0/0/2	201.1.4.1/30	
	LoopBack0	10.1.1.1/32	建立 IBGP 邻居更新源地址
R2	G0/0/0	10.12.12.2/24	
	G0/0/1	10.23.23.2/24	
	LoopBack0	10.2.2.2/32	建立 IBGP 邻居更新源地址
	LoopBack10	201.1.0.1/24	模拟公司内部网络主机
R3	G0/0/1	10.23.23.3/24	
	G0/0/1	201.1.4.5/30	
	LoopBack0	10.3.3.3/32	建立 IBGP 邻居更新源地址
ISP	G0/0/0	201.1.4.2/30	
	G0/0/1	201.1.4.6/30	
	LoopBack0	4.4.4.4/24	模拟 ISP 主机

4.2.5 项目实施

4.2.5.1 项目准备工作

步骤 1 配置 IP 地址

公司内部网络设备之间及其环回接口使用私有地址，公司业务网段和与 ISP 设备互联的网络使用公网地址，业务网段在路由器 R2 和 ISP 上分别用与环回接口模拟。配置路由器接口的 IP 地址并测试所有直连链路的连通性。

● 配置路由器 R1

```
[R1]interface GigabitEthernet0/0/0
[R1-GigabitEthernet0/0/0]ip address 10.12.12.1 255.255.255.0
[R1-GigabitEthernet0/0/0]quit
[R1]interface GigabitEthernet0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2]ip address 201.1.4.1 255.255.255.252
[R1-GigabitEthernet0/0/2]quit
[R1]interface LoopBack0
[R1-LoopBack0]ip address 10.1.1.1 255.255.255.255
[R1-LoopBack0]quit
```

● 配置路由器 R2

```
[R2]interface GigabitEthernet0/0/0
[R2-GigabitEthernet0/0/0]ip address 10.12.12.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/0]quit
[R2]interface GigabitEthernet0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1]ip address 10.23.23.2 255.255.255.0
[R2-GigabitEthernet0/0/1]quit
```

```
[R2]interface LoopBack0
[R2-LoopBack0]ip address 10.2.2.2 255.255.255.255
[R2-LoopBack0]quit
[R2]interface LoopBack10
[R2-LoopBack10]ip address 201.1.0.1 255.255.255.0
[R2-LoopBack10]quit
[R2]interface LoopBack11
[R2-LoopBack11]ip address 201.1.1.1 255.255.255.0
[R2-LoopBack11]quit
[R2]interface LoopBack12
[R2-LoopBack12]ip address 201.1.2.1 255.255.255.0
[R2-LoopBack12]quit
[R2]interface LoopBack13
[R2-LoopBack13]ip address 201.1.3.1 255.255.255.0
[R2-LoopBack13]quit
```

● 配置路由器 R3

```
[R3]interface GigabitEthernet0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1]ip address 10.23.23.3 255.255.255.0
[R3-GigabitEthernet0/0/1]quit
[R3]interface GigabitEthernet0/0/2
[R3-GigabitEthernet0/0/2]ip address 201.1.4.5 255.255.255.252
[R3-GigabitEthernet0/0/2]quit
[R3]interface LoopBack0
[R3-LoopBack0]ip address 10.3.3.3 255.255.255.0
[R3-LoopBack0]quit
```

● 配置路由器 ISP

```
[ISP]interface GigabitEthernet0/0/0
[ISP-GigabitEthernet0/0/0]ip address 201.1.4.2 255.255.255.252
[ISP-GigabitEthernet0/0/0]quit
[ISP]interface GigabitEthernet0/0/1
[ISP-GigabitEthernet0/0/1]ip address 201.1.4.6 255.255.255.252
[ISP-GigabitEthernet0/0/1]quit
[ISP]interface LoopBack0
[ISP-LoopBack0]ip address 4.4.4.4 255.255.255.255
[ISP-LoopBack0]quit
```

验证以上配置任务。

```
[R1]display ip interface brief | exclude unassigned
```

*down: administratively down

^down: standby

(l): loopback

(s): spoofing

The number of interface that is UP in Physical is 4

The number of interface that is DOWN in Physical is 1

The number of interface that is UP in Protocol is 4

The number of interface that is DOWN in Protocol is 1

Interface	IP Address/Mask	Physical	Protocol
GigabitEthernet0/0/0	10.12.12.1/24	up	up
GigabitEthernet0/0/2	201.1.4.1/30	up	up
LoopBack0	10.1.1.1/32	up	up

```
[R2]display ip interface brief | exclude unassigned
```

*down: administratively down

^down: standby

(l): loopback

(s): spoofing

The number of interface that is UP in Physical is 8

The number of interface that is DOWN in Physical is 1

The number of interface that is UP in Protocol is 8

The number of interface that is DOWN in Protocol is 1

Interface	IP Address/Mask	Physical	Protocol
GigabitEthernet0/0/0	10.12.12.2/24	up	up
GigabitEthernet0/0/1	10.23.23.2/24	up	up
LoopBack0	10.2.2.2/32	up	up(s)
LoopBack10	201.1.0.1/24	up	up(s)
LoopBack11	201.1.1.1/24	up	up(s)
LoopBack12	201.1.2.1/24	up	up(s)
LoopBack13	201.1.3.1/24	up	up(s)

[R3]display ip interface brief | exclude unassigned

*down: administratively down

^down: standby

(l): loopback

(s): spoofing

The number of interface that is UP in Physical is 4

The number of interface that is DOWN in Physical is 1

The number of interface that is UP in Protocol is 4

The number of interface that is DOWN in Protocol is 1

Interface	IP Address/Mask	Physical	Protocol
GigabitEthernet0/0/1	10.23.23.3/24	up	up
GigabitEthernet0/0/2	201.1.4.5/30	up	up
LoopBack0	10.3.3.3/24	up	up(s)

[ISP]display ip interface brief | exclude unassigned

*down: administratively down

^down: standby

(l): loopback

(s): spoofing

The number of interface that is UP in Physical is 4

The number of interface that is DOWN in Physical is 1

The number of interface that is UP in Protocol is 4

The number of interface that is DOWN in Protocol is 1

Interface	IP Address/Mask	Physical	Protocol
GigabitEthernet0/0/0	201.1.4.2/30	up	up
GigabitEthernet0/0/1	201.1.4.6/30	up	up
LoopBack0	4.4.4.4/32	up	up(s)

步骤 2 配置 OSPF

内部网络路由器 R1、R2 和 R3 上配置 OSPF 路由协议，以便建立 IBGP 邻居时提供发送 BGP 报文源地址的连通性。

● 配置路由器 R1

[R1]ospf 1 router-id 1.1.1.1

[R1-ospf-1]bandwidth-reference 1000

[R1-ospf-1]area 0

[R1-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.1.1.1 0.0.0.0

[R1-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.12.12.1 0.0.0.0

● 配置路由器 R2

```
[R2]ospf 1 router-id 2.2.2.2
[R2-ospf-1]bandwidth-reference 1000
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.2.2.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.12.12.2 0.0.0.0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.23.23.2 0.0.0.0
```

● 配置路由器 R3

```
[R3]ospf 1 router-id 3.3.3.3
[R3-ospf-1]bandwidth-reference 1000
[R3-ospf-1]area 0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.3.3.3 0.0.0.0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.23.23.3 0.0.0.0
```

验证以上配置任务。

```
[R1]display ip routing-table protocol ospf
Route Flags: R - relay, D - download to fib
```

Public routing table : OSPF

Destinations : 3 Routes : 3

OSPF routing table status : <Active>

Destinations : 3 Routes : 3

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.2.2.2/32	OSPF	10	1	D	10.12.12.2	GigabitEthernet0/0/0
10.3.3.3/32	OSPF	10	2	D	10.12.12.2	GigabitEthernet0/0/0
10.23.23.0/24	OSPF	10	2	D	10.12.12.2	GigabitEthernet0/0/0

OSPF routing table status : <Inactive>

Destinations : 0 Routes : 0

```
[R2]display ip routing-table protocol ospf
Route Flags: R - relay, D - download to fib
```

Public routing table : OSPF

Destinations : 2 Routes : 2

OSPF routing table status : <Active>

Destinations : 2 Routes : 2

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.1.1.1/32	OSPF	10	1	D	10.12.12.1	GigabitEthernet0/0/0
10.3.3.3/32	OSPF	10	1	D	10.23.23.3	GigabitEthernet0/0/1

OSPF routing table status : <Inactive>

Destinations : 0 Routes : 0

```
[R3]display ip routing-table protocol ospf
Route Flags: R - relay, D - download to fib
```

Public routing table : OSPF

Destinations : 3 Routes : 3

OSPF routing table status : <Active>

Destinations : 3 Routes : 3

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.1.1.1/32	OSPF	10	2	D	10.23.23.2	GigabitEthernet0/0/1
10.2.2.2/32	OSPF	10	1	D	10.23.23.2	GigabitEthernet0/0/1
10.12.12.0/24	OSPF	10	2	D	10.23.23.2	GigabitEthernet0/0/1
OSPF routing table status : <Inactive>						
Destinations : 0			Routes : 0			

步骤 3 配置基本 BGP

路由器 R1、R2 和 R3 建立全连接 IBGP 邻居关系。路由器 R1 和 R3 与 ISP 建立 EBGP 邻居关系。启动 BGP 进程,配置 BGP 路由器 ID,创建 IBGP 和 EBGP 对等体,指定 BGP 报文发送源地址,配置 IBGP 的 next-hop-local 和通告网络等。

● 配置路由 R1

```
[R1-bgp]router-id 1.1.1.1
[R1-bgp]peer 10.2.2.2 as-number 65100
[R1-bgp]peer 10.2.2.2 next-hop-local
[R1-bgp]peer 10.2.2.2 connect-interface LoopBack0
[R1-bgp]peer 10.3.3.3 as-number 65100
[R1-bgp]peer 10.3.3.3 connect-interface LoopBack0
[R1-bgp]peer 10.3.3.3 next-hop-local
[R1-bgp]peer 201.1.4.2 as-number 65200
```

● 配置路由器 R2

```
[R2]bgp 65100
[R2-bgp]router-id 2.2.2.2
[R2-bgp]peer 10.1.1.1 as-number 65100
[R2-bgp]peer 10.1.1.1 connect-interface LoopBack0
[R2-bgp]peer 10.3.3.3 as-number 65100
[R2-bgp]peer 10.3.3.3 connect-interface LoopBack0
[R2-bgp]network 201.1.0.0 24
```

● 配置路由器 R3

```
[R3]bgp 65100
[R3-bgp]router-id 3.3.3.3
[R3-bgp]peer 10.1.1.1 as-number 65100
[R3-bgp]peer 10.1.1.1 connect-interface LoopBack0
[R3-bgp]peer 10.1.1.1 next-hop-local
[R3-bgp]peer 10.2.2.2 as-number 65100
[R3-bgp]peer 10.2.2.2 connect-interface LoopBack0
[R3-bgp]peer 10.2.2.2 next-hop-local
[R3-bgp]peer 201.1.4.6 as-number 65200
```

● 配置路由器 ISP

```
[ISP]bgp 65200
[ISP-bgp]router-id 4.4.4.4
[ISP-bgp]peer 201.1.4.1 as-number 65100
[ISP-bgp]peer 201.1.4.5 as-number 65100
[ISP-bgp]network 4.4.4.4 255.255.255.255
```

验证以上配置任务。

● 查看路由器 R1 BGP 路由表

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

BGP Local router ID is 1.1.1.1
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	201.1.4.2	0		0	65200i
* i		10.3.3.3	0	100	0	65200i
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

● 查看路由器 R2 BGP 路由表

[R2]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 2.2.2.2
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>i	4.4.4.4/32	10.1.1.1	0	100	0	65200i
* i		10.3.3.3	0	100	0	65200i
*>	201.1.0.0	0.0.0.0	0		0	i

● 查看路由器 R3 BGP 路由表

[R3]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 3.3.3.3
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	201.1.4.6	0		0	65200i
* i		10.1.1.1	0	100	0	65200i
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

● 查看路由器 ISP BGP 路由表

[ISP]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 4.4.4.4
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	0.0.0.0	0		0	i

```
*> 201.1.0.0          201.1.4.1          0      65100i
*      201.1.4.5          0      65100i
```

4.2.5.2 项目核心任务

步骤 1 修改 BGP Origin 属性控制选路

在 ISP 路由器上对环回接口 0 的路由配置路由策略，修改 BGP 起源属性为 egp，将策略应用到对等体 201.1.4.1 的出方向，在路由器 R1、R2 和 R3 上查看 BGP 路由 4.4.4.4 的选路情况。

```
[ISP]ip ip-prefix 4 permit 4.4.4.4 32
[ISP]route-policy Origin permit node 10
[ISP-route-policy]if-match ip-prefix 4
[ISP-route-policy]apply origin egp 900
[ISP]route-policy Origin permit node 20
[ISP-route-policy]bgp 65200
[ISP-bgp]peer 201.1.4.1 route-policy Origin export
[ISP-bgp]quit
[ISP]quit
<ISP>reset bgp all
```

验证以上配置任务。

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

```
BGP Local router ID is 1.1.1.1
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
```

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>i	4.4.4.4/32	10.3.3.3	0	100	0	65200i
*		201.1.4.2	0		0	65200e
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

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

```
BGP Local router ID is 2.2.2.2
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
               Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
```

Total Number of Routes: 2

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>i	4.4.4.4/32	10.3.3.3	0	100	0	65200i
*>	201.1.0.0	0.0.0.0	0		0	i

```
[R3]display bgp routing-table
```

```
BGP Local router ID is 3.3.3.3
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
               h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
```

Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 2

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	201.1.4.6	0		0	65200i
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

以上输出表明路由器 R1 学到两条关于 4.4.4.4/32 的 BGP 路由，但是由于起源代码 i 优先于 e，所以从路由器 R3 学到的 BGP 路由为最优，而从邻居路由器 ISP 学到的路由不是最优（路由代码只为*，没有>），不能继续通告给路由器 R2 和 R3，所以路由器 R2 和 R3 只有一条关于 4.4.4.4/32 的路由。此时 R1 和 R2 通过 R3 到达 4.4.4.4。

步骤 2 修改 BGP AS-Path 属性控制选路

在 ISP 路由器上对环回接口 0 的路由配置路由策略，修改 BGP AS-Path 属性，为该路由条目追加 AS 长度，将策略应用到对等体 201.1.4.5 的出方向，在路由器 R1、R2 和 R3 上查看 BGP 路由 4.4.4.4 的选路情况。

```
[ISP]route-policy Aspath permit node 10
[ISP-route-policy]if-match ip-prefix 4
[ISP-route-policy]apply as-path 65300 65400 additive
[ISP]route-policy Aspath permit node 20
[ISP]bgp 65200
[ISP-bgp]peer 201.1.4.5 route-policy Aspath export
[ISP-bgp]quit
[ISP]quit
<ISP>reset bgp all
```

验证以上配置任务。

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

```
BGP Local router ID is 1.1.1.1
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
              h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
```

Total Number of Routes: 2

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	201.1.4.2	0		0	65200e
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

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

```
BGP Local router ID is 2.2.2.2
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
              h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
```

Total Number of Routes: 2

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>i	4.4.4.4/32	10.1.1.1	0	100	0	65200e

```
*> 201.1.0.0 0.0.0.0 0 0 i
```

[R3]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 3.3.3.3
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
 h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
 Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>i	4.4.4.4/32	10.1.1.1	0	100	0	65200e
*		201.1.4.6	0		0	65200 65300 65400i
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

以上输出表明路由器 R3 学到两条关于 4.4.4.4/32 的路由，但是由于下一跳为 10.1.1.1 的路由的 AS-Path 属性比下一跳为 201.1.4.6 的路由的 AS-Path 短，所以优选下一跳为 10.1.1.1 的路由，而下一跳为 201.1.4.6 的路由不是最优（路由代码为*，没有>），不能继续通告给路由器 R1 和 R2,所以路由器 R1 和 R2 只有一条 4.4.4.4/32 的 BGP 路由。此时 R2 和 R3 通过 R1 到达 4.4.4.4。同时也说明 BGP 在路由判定时 AS-Path 属性是优于 Origin 属性的。

步骤 3 修改 BGP Local_Pref 属性控制选路

在路由器 R3 上针对 ISP 路由器环回接口 0 的路由配置路由策略，修改 Local_Pref 属性为 2000，将策略应用到对等体 201.1.4.6 的入方向，在路由器 R1、R2 和 R3 上查看 BGP 路由 4.4.4.4 的选路情况。

```
[R3]ip ip-prefix 4 permit 4.4.4.4 32
[R3]route-policy LP permit node 10
[R3-route-policy]if-match ip-prefix 4
[R3-route-policy]apply local-preference 2000
[R3]route-policy LP permit node 20
[R3]bgp 65100
[R3-bgp]peer 201.1.4.6 route-policy LP import
[R3-bgp]quit
[R3]quit
<R3>reset bgp all
```

- 验证以上配置任务。

[R1]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 1.1.1.1
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
 h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
 Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>i	4.4.4.4/32	10.3.3.3	0	2000	0	65200 65300 65400i
*		201.1.4.2	0		0	65200e
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

[R2]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 2.2.2.2
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 2

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>i	4.4.4.4/32	10.3.3.3	0	2000	0	65200 65300 65400i
*>	201.1.0.0	0.0.0.0	0		0	i

[R3]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 3.3.3.3
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 2

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	201.1.4.6	0	2000	0	65200 65300 65400i
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

以上输出表明路由器 R1 学到两条关于 4.4.4.4/32 的 BGP 路由，但是由于下一跳为 10.3.3.3 的路由本地优先级的值比下一跳为 201.1.4.2 的路由的本地优先级的值高，所以优选下一跳为 10.3.3.3 的路由，而下一跳为 201.1.4.2 的路由不是最优，不能继续通告给路由器 R2 和 R3,所以路由器 R2 和 R3 只有一条关于 4.4.4.4/32 的 BGP 路由。此时 R1 和 R2 通过 R3 到达 4.4.4.4。同时也说明 BGP 在路由判定时本地优先级属性是优于 AS-Path 属性的。

步骤 4 配置 BGP PrefVal 属性控制选路

在路由器 R1 上对 IBGP 对等体修改 PrefVal 属性为 200，对 EBGP 对等体修改 PrefVal 属性为 500,在路由器 R1、R2 和 R3 上查看 BGP 路由 4.4.4.4 的选路情况。

```
[R1]bgp 65100
[R1-bgp]peer 10.2.2.2 preferred-value 200
[R1-bgp]peer 10.3.3.3 preferred-value 200
[R1-bgp]peer 201.1.4.2 preferred-value 500
```

- 验证以上配置任务。

[R1]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 1.1.1.1
Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	201.1.4.2	0		500	65200e
* i		10.3.3.3	0	2000	200	65200 65300 65400i

```
*>i 201.1.0.0          10.2.2.2          0          100          200          i
```

[R2]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 2.2.2.2
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
 h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
 Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>i	4.4.4.4/32	10.3.3.3	0	2000	0	65200 65300 65400i
* i	201.1.0.0	10.1.1.1	0	100	0	65200e
*>	201.1.0.0	0.0.0.0	0		0	i

[R3]display bgp routing-table

BGP Local router ID is 3.3.3.3
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
 h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
 Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	201.1.4.6	0	2000	0	65200 65300 65400i
* i	201.1.0.0	10.1.1.1	0	100	0	65200e
*>i	201.1.0.0	10.2.2.2	0	100	0	i

以上输出表明路由器 R1 学到两条关于 4.4.4.4/32 的 BGP 路由，但是由于下一跳为 201.1.4.2 的路由 PrefVal 属性比下一跳为 10.3.3.3 的路由的 PrefVal 值高，所以优选下一跳为 201.1.4.2 的路由。因为 PrefVal 属性只影响路由器 R1 自身选路，所以对于路由器 R2 和 R3 仍是通过本地优先级选路。此时 R2 通过 R3 到达 4.4.4.4。从路由器 R1 的选路说明 BGP 在路由判定时 PrefVal 属性是优于本地优先级属性的。

步骤 5 修改 MED 属性控制选路

在路由器 R1 和 R3 上针对 201.1.0.0 路由修改 MED 属性分别为 200 和 100，实现以 R2 环回接口 1 为源地地址到达 ISP 的环回接口 0 的路径为 R2→R3→ISP→R3→R2，即对称路径。

首先查看一下路由器 ISP 的 BGP 路由表。

```
<ISP>display bgp routing-table | include 65100
```

BGP Local router ID is 4.4.4.4
 Status codes: * - valid, > - best, d - damped,
 h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale
 Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	0.0.0.0	0		0	i
*>	201.1.0.0	201.1.4.1			0	65100i
*		201.1.4.5			0	65100i

以上 BGP 路由表表明 ISP 到达 201.1.0.0/24 网络优选下一跳是 201.1.4.1，即通过 R1 到达 201.1.0.0/24 网络，从步骤 8 的结果知道路由器 R2 到达 4.4.4.4 的下一跳为 10.3.3.3，即通过 R3 到达 4.4.4.4，通过对比发现这是非对称路径，即数据包到达和返回的路径不一致，现通过修改 MED 属性。

```
[R1]ip ip-prefix 201 permit 201.1.0.0 24
[R1]route-policy MED permit node 10
[R1-route-policy]if-match ip-prefix 201
[R1-route-policy]apply cost 200
[R1]route-policy MED permit node 20
[R1]bgp 65100
[R1-bgp]peer 201.1.4.2 route-policy MED export
[R1-bgp]quit
[R1]quit
<R1>reset bgp all
```

```
[R3]ip ip-prefix 201 permit 201.1.0.0 24
[R3]route-policy MED permit node 10
[R3-route-policy]if-match ip-prefix 201
[R3-route-policy]apply cost 100
[R3]route-policy MED permit node 20
[R3]bgp 65100
[R3-bgp]peer 201.1.4.6 route-policy MED export
[R3-bgp]quit
[R3]quit
<R3>reset bgp all
```

- 验证以上配置任务。

```
[ISP]display bgp routing-table
```

BGP Local router ID is 4.4.4.4

Status codes: * - valid, > - best, d - damped,

h - history, i - internal, s - suppressed, S - Stale

Origin : i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

Total Number of Routes: 3

	Network	NextHop	MED	LocPrf	PrefVal	Path/Ogn
*>	4.4.4.4/32	0.0.0.0	0		0	i
*>	201.1.0.0	201.1.4.5	100		0	65100i
*		201.1.4.1	200		0	65100i

- 以上输出表明路由器 ISP 学到的 201.1.0.0/24 路由携带了 MED 的值，而且优选 MED 值低的路径。

4.2.6 项目验证

4.2.6.1 查看路由策略

```
[R1]display route-policy
Route-policy : MED
  permit : 10 (matched counts: 10)
  Match clauses :
    if-match ip-prefix 201
  Apply clauses :
    apply cost 200
```

```
permit : 20 (matched counts: 3)
```

```
[R3]display route-policy
```

```
Route-policy : LP
```

```
permit : 10 (matched counts: 4)
```

```
Match clauses :
```

```
if-match ip-prefix 4
```

```
Apply clauses :
```

```
apply local-preference 2000
```

```
permit : 20 (matched counts: 0)
```

```
Route-policy : MED
```

```
permit : 10 (matched counts: 5)
```

```
Match clauses :
```

```
if-match ip-prefix 201
```

```
Apply clauses :
```

```
apply cost 100
```

```
permit : 20 (matched counts: 3)
```

```
permit : 120 (matched counts: 0)
```

```
[ISP]display route-policy
```

```
Route-policy : Origin
```

```
permit : 10 (matched counts: 5)
```

```
Match clauses :
```

```
if-match ip-prefix 4
```

```
Apply clauses :
```

```
apply origin egp 900
```

```
permit : 20 (matched counts: 6)
```

```
Route-policy : Aspath
```

```
permit : 10 (matched counts: 4)
```

```
Match clauses :
```

```
if-match ip-prefix 4
```

```
Apply clauses :
```

```
apply as-path 65300 65400 additive
```

```
permit : 20 (matched counts: 6)
```

4.2.6.2 查看 BGP 对等体应用的路由策略

```
[R1]display bgp peer verbose | include route policy | 4.4.4.4
```

```
BGP version 4, Remote router ID 4.4.4.4
```

```
Export route policy is: MED
```

```
[R3]display bgp peer verbose | include route policy | 4.4.4.4
```

```
BGP version 4, Remote router ID 4.4.4.4
```

```
Import route policy is: LP
```

```
Export route policy is: MED
```

```
[ISP]display bgp peer verbose | include route policy | 201
```

```
BGP Peer is 201.1.4.1, remote AS 65100
```

```
Export route policy is: Origin
```

```
BGP Peer is 201.1.4.5, remote AS 65100
```

```
Export route policy is: Aspath
```

4.2.6.3 测试往返对称路径

```
<R2>ping -a 201.1.0.1 -r -c 1 4.4.4.4
```

```
PING 4.4.4.4: 56 data bytes, press CTRL_C to break
```

```
Reply from 4.4.4.4: bytes=56 Sequence=1 ttl=254 time=80 ms
```

```
Record Route:
```

```
201.1.4.5
```

```
4.4.4.4
10.23.23.3
201.1.0.1
--- 4.4.4.4 ping statistics ---
  1 packet(s) transmitted
  1 packet(s) received
  0.00% packet loss
round-trip min/avg/max = 80/80/80 ms
```

- 以上输出表明数据包以 R2 环回接口 1 (201.1.0.1) 为源地地址到达 ISP 的环回接口 0 (4.4.4.4) 的路径为 R2→R3→ISP→R3→R2, 即对称路径。