

第7章 内部网关路由选择协议

本章主题

- 技术概述
- 防止路由选择环路的机制
- IGRP 路径类型
- 基本的IGRP配置
- IGRP 不等成本负载均衡 (unequal-cost load balancing)
- IGRP 定时器配置
- 详细的故障查找方法

7.1 引言

内部网关路由选择协议 (IGRP) 是Cisco专有的距离向量路由选择协议, 它于1986年开发, 致力于解决RIP协议的限制。虽然RIP在小型同构网络上工作得相当好, 但它的跳数小 (16) 的特点严重限制了网络的大小下, 并且单一的度量 (跳数) 不能给复杂网络提供有弹性的路由选择。IGRP通过使网络跳数增加到 255跳和为满足当今复杂网络路由选择弹性提供而提供的多种度量 (链路可靠性、带宽、网络间延迟和负载), 解决了RIP的不足。

7.2 IGRP技术概述

7.2.1 路由选择环路

第一、二代距离向量路由选择协议如IGRP,都有一个问題, 路由器不知道网络的全局情况。路由器必须依靠相邻路由器来获取网络的可达信息。由于路由选择更新信息在网络上传播慢, 距离向量路由选择协议有一个慢收敛问題, 这个问題将导致不一致性产生。IGRP使用以下机制减少因网络上的不一致带来的路由选择环路的可能性: 水平分割、破坏逆转更新、保持计数器和触发更新。

7.2.2 水平分割

水平分割规则如下: 路由器不向路径到来的方向回传此路径。当打开路由器接口后, 路由器记录路径是从哪个接口来的, 并且不向此接口回传此路径。

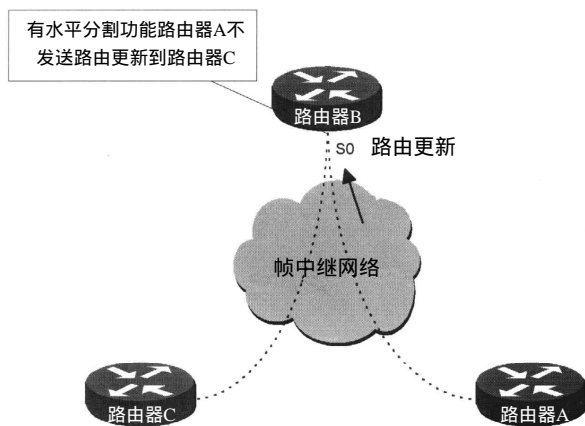


图7-1 水平分割

Cisco可以对每个接口打开或关闭水平分割功能。这个特点在 non broadcast mutiple access (NBMA)非广播多路访问 hub-and-spoke 环境下十分有用。在图 7-1 中路由器 B 通过帧中继连接路由器 A 和路由器 C，两个 PVC 都在路由器 B 的同一个物理接口终止。

在图 7-1 中，如果在路由器 B 的水平分割未被关闭，那么路由器 C 将收不到路由器 A 的路由选择信息（反之亦然）。用 no ip split-horizen 接口子命令关闭水平分割功能。

7.2.3 破坏逆转

水平分割是路由器用来防止把一个接口得来的路径又从此接口传回导致的问题的方案。水平分割方案忽略在更新过程中从一个路由器获取的路径又传回该路由器。有破坏逆转的水平分割的更新信息中包括这些路径，但把这些路径的度量设为 4294967295(无穷)。

当路由器看到路由选择度量增加，这表明出现了路由选择环路。路由器就发送破坏逆转更新信息用于把此路径删除和放入保持状态。在 Cisco 的 IGRP 实现中，如果路径度量增加了 1.1 倍或更多，则发送破坏逆转更新信息。

通过把跳数设为最大值并把这条路径告诉源路由器，有可能立刻解决路由选择环路。否则，不正确的路径将在路由表中驻留到超时为止。破坏逆转的缺点是它增加了路由更新的数据大小。

7.2.4 保持

保持定时器防止路由器在路径从路由表中删除后一定的时间内接受新的路由信息。它的思想是保证每个路由器都收到了路径不可达信息，而且没有路由器发出无效路径信息。例如在图 7-2 中，由于路由更新信息被延迟，路由器 B 向路由器 C 发出错误信息。使用保持计数器这种情况将不会发生，因为路由器 C 将在 280 秒内不接受通向网络 A 的新的路径信息。到那时路由器 B 将存储正确的路由选择信息。

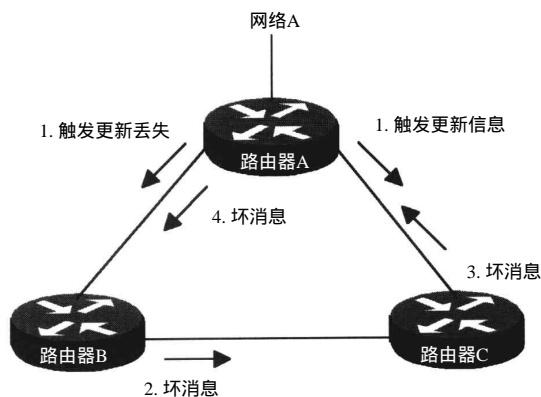


图7-2 路由选择环路

7.2.5 触发更新

触发更新想加速收敛时间。当某个路径的度量改变了，路由器立刻发出更新信息。触发更新的更新信息是立刻发出的，不管是否到达常规信息更新时间。

7.2.6 IGRP 路径

如图 7-3 所示，IGRP 发出三类路径信息：内部、系统、外部。内部路径是指连接同一路由器接口的子网间的路径。系统路径是指同一自治系统内网络间的路径。外部路径是指自治系统外网络间的路径。

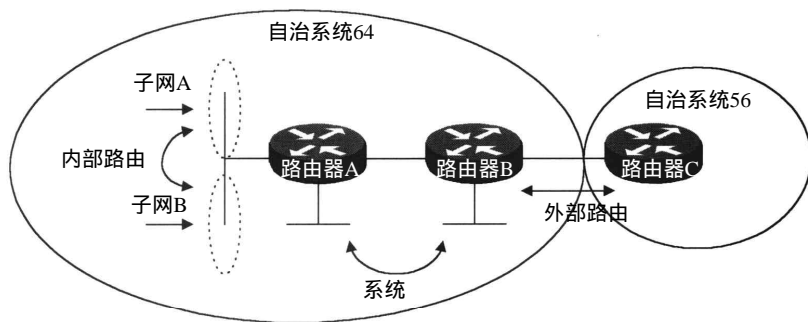


图7-3 IGRP路径类型

7.3 本章所讨论的命令

- **clear ip route**
- **debug ip igrp events**
- **debug ip igrp transaction**
- **neighbor (ip-address)**
- **network (network-number)**
- **router igrp (autonomous-system number)**
- **show ip route igrp**
- **show ip protocol**
- **timers basic**
- **traffic-share {balanced | min}**
- **variance (multiplier)**

命令的定义

- **clear ip route**: 这个执行命令用于从路由表中去除一条或多条路径。这个命令可以指定一条路径，也可以用 (*) 代表所有路径。
 - **debug ip igrp events**: 这个执行命令用于显示 IGRP 路由选择操作的信息和由路由器接收或发送的所有路由更新信息。
 - **debug ip igrp transaction**: 这个执行命令用于显示内部网关协议 (IGRP) 路径选择的事务处理信息。
 - **neighbor**: 这个路由器配置命令允许点到点 (非广播) 交换路由选择信息。省缺情况下，IGRP 的路由选择信息通过广播方式发出。这个相邻路由器命令使信息通过 Unicast 方式发给指定相邻路由器。
 - **network**: 这个路由器配置命令指定 IGRP 路由选择协议进程运行的一组网络。该命令发送 IGRP 更新信息到指定的接口。如果接口的网络不是特定的，那么在任何 IGRP 更新中将不通告。
 - **route igrp**: 这个全局配置命令打开路由器的 IGRP 路由选择处理进程。
- 使用的自治系统号是路由选择域标识符，不是 RFC 1930 定义真正的 ASN。
- **show ip route igrp**: 这个执行命令用于显示所有 IGRP 学到的路径。

- show ip protocol：这个执行命令用于显示活跃路由选择进程的当前状态。
- timers basic：这个路由器配置命令使用户能设置 IGRP 定时器。
- update（更新定时器）：更新定时器（以秒为单位）设置路由器发送更新信息的速度。默认值是 90 秒。
- invalid（无效定时器）：无效定时器（以秒为单位）设置路径被认为无效的时间间隔。如果某条路径在常规更新信息中不出现，就启动该定时器。默认值是 270 秒。
- hold-down（保持定时器）：保持定时器（以秒为单位）设置拒绝好的路由信息的间隔时间。它的思想是保证每个路由器都收到了路径不可达信息，而且没有路由器发出无效路径信息。默认值是 280 秒。
- flush（刷新定时器）：刷新定时器（以秒为单位）设置路径从路由表中删除必须等待的时间。默认值是 630 秒。
- traffic-share（信息量共享）：这个路由器配置命令控制当有几条到同一目的地而开销不同的路径时，如何在这几条路径中分布信息量。信息量可以按度量的比例分布或设置为只用最小开销路径。
- variance：这个路由器配置命令控制两条 IGRP 路径的负载平衡和让管理员在即使度量方法不相同的几条路径间进行负载平衡。省缺情况下，variance 数量设为 1（相等开销负载平衡）。variance 命令使你能够定义一条备用路径被使用之前性能坏的程度。例如，variance 设为 4，路由器将在最好路径和最坏路径性能相差 4 倍的路径中进行负载平衡。

7.4 IOS 需求

IGRP 首先出现在 IOS 10.0 版本中。

7.5 实验 23：基本 IGRP 配置

7.5.1 所需设备

本实验需要的设备如下：

- 1) 两个有一个以太网端口和一个串口的 Cisco 路由器；
- 2) 一个有两个串口的 Cisco 路由器；
- 3) Cisco 10.0 和更高版本；
- 4) 一台运行终端仿真程序的 PC；
- 5) 两根 Cisco DTE/DCE 交叉（crossover）电缆；
- 6) 一根 Cisco 扁平（rolled）电缆。

7.5.2 配置概述

这个配置将演示用 IGRP 进行基本的路由选择。如图 7-4 所示，路由器 A、路由器 B、路由器 C 用 IGRP 发送路由选择信息。

路由器 A、路由器 B、路由器 C 用交叉电缆连接。路由器 B 作为 DCE 给提供路由器 A 和路由器 C 时钟信号。IP 地址如图 7-4 配置。所有的路由器都将配置成有 IGRP 功能。它们将发送所有连网络的信息。

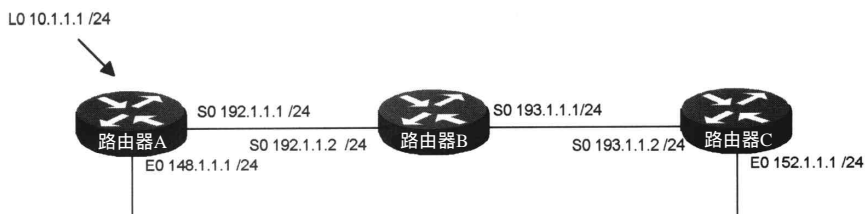


图7-4 基本IGRP

7.5.3 路由器配置

例子中的三个路由器的配置如下：

1. 路由器A

Current configuration:

```
!
version 11.2
no service udp-small-servers
no service tcp-small-servers
!
hostname RouterA
!
interface Loopback0←Defines a virtual interface that will be used as a test
                    point.
 ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
!
interface Ethernet0
 ip address 148.1.1.1 255.255.255.0
 no keepalive←Disables the keepalive on the Ethernet interface, allows the
               interface to stay up when it is not attached to a hub.
!
interface Serial0
 ip address 192.1.1.1 255.255.255.0
!
router IGRP 64←Enables the IGRP routing process on the router.
 network 10.0.0.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
                  updates. It also specifies what networks will be advertised.
 network 148.1.0.0
 network 192.1.1.0
!
no ip classless
!
!line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login
!
end
```

2. 路由器B

```
!
version 11.0
service udp-small-servers
service tcp-small-servers
!
hostname RouterB
!
!
interface Serial0
 ip address 192.1.1.2 255.255.255.0
 no fair-queue
```

```

clockrate 500000←Acts as DCE providing clock
!
interface Serial1
 ip address 193.1.1.2 255.255.255.0
 clockrate 500000←Acts as DCE providing clock
!
router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.
network 192.1.1.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
updates. It also specifies what networks will be advertised.
  network 193.1.1.0
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login

```

3. 路由器C

```

!
version 11.1
service udp-small-servers
service tcp-small-servers
!
hostname RouterC
!
interface Ethernet0
 ip address 152.1.1.1 255.255.255.0
 no keepalive←Disables the keepalive on the Ethernet interface, allows the
interface to stay up when it is not attached to a hub.
!
!
interface Serial0
 ip address 193.1.1.1 255.255.255.0
!
!
router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.
network 152.1.0.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
updates. It also specifies what networks will be advertised.
  network 193.1.1.0
!
no ip classless
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login
!
end

```

7.5.4 监测配置

类似RIP，IGRP协议配置故障查找都比较简单。用show ip route 显示路由器A上的路由表。下面是这个命令的输出例子。注意到通过IGRP学到了两个网络：152.1.0.0和193.1.1.0。

```

RouterA#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default
       U - per-user static route, o - ODR

Gateway of last resort is not set

```

```

C      10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C      10.1.1.0 is directly connected, Loopback0
      148.1.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C      148.1.1.0 is directly connected, Ethernet0
I 152.1.0.0/16 [100/10576] via 192.1.1.2, 00:00:40, Serial0
C      192.1.1.0/24 is directly connected, Serial0
I 193.1.1.0/24 [100/10476] via 192.1.1.2, 00:00:40, Serial0

```

在路由器A, 用debug ip igrp transactions 命令监视传输的路由选择更新信息。下面是这个命令的输出例子。注意在串口 0 路由器A不发出从路由器B学到的网络信息 (152.1.0.0和193.1.1.0), 而在其他接口路由器A发出从路由器B学到的网络信息。这种情况表示水平分割在起作用。记住, 当打开水平分割功能时路由器将不会向路径带来的接口发出距离、路径信息。

```

RouterA#debug ip igrp transactions
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Ethernet0 (148.1.1.1)
      network 10.0.0.0, metric=501
      network 152.1.0.0, metric=10576
      network 192.1.1.0, metric=8476
      network 193.1.1.0, metric=10476
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Loopback0 (10.1.1.1)
      network 148.1.0.0, metric=1100
      network 152.1.0.0, metric=10576
      network 192.1.1.0, metric=8476
      network 193.1.1.0, metric=10476
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Serial0 (192.1.1.1)
      network 10.0.0.0, metric=501
      network 148.1.0.0, metric=1100

```

现在用no ip split horizons 接口配置命令关闭路由器A上的水平分割功能。

```

RouterA(config)#int s0
RouterA(config-if)#no ip split-horizon

```

在路由器A, 用debug ip igrp transacation 命令监视传输的路由选择更新信息。下面是这个命令的输出例子。注意所有的路径信息 (包括串口 0从路由器B学到的) 都发送到串口 0。

```

RouterA# debug ip igrp transactions
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Ethernet0 (148.1.1.1)
      network 10.0.0.0, metric=501
      network 152.1.0.0, metric=10576
      network 192.1.1.0, metric=8476
      network 193.1.1.0, metric=10476
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Loopback0 (10.1.1.1)
      network 148.1.0.0, metric=1100
      network 152.1.0.0, metric=10576
      network 192.1.1.0, metric=8476
      network 193.1.1.0, metric=10476
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Serial0 (192.1.1.1)
      network 10.0.0.0, metric=501
      network 148.1.0.0, metric=1100
      network 152.1.0.0, metric=10576
      network 192.1.1.0, metric=8476
      network 193.1.1.0, metric=10476

```

在路由器A, 用下列命令删除IGRP进程并添加一个使用自治系统56的新进程。

```

RouterA#configure terminal
RouterA(config)#no router igrp 64
RouterA(config)#router igrp 56
RouterA(config-router)#network 10.0.0.0
RouterA(config-router)# network 148.1.0.0
RouterA(config-router)# network 192.1.1.0

```

用show ip route命令显示路由器A上的IP路由选择信息表。下面是这个命令的输出例子。

注意到由于自治系统号各不相同，通过 IGRP 没有学到任何网络。自治系统号必须匹配，否则路由器将不会交换路由选择信息。

```
RouterA#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default
       U - per-user static route, o - ODR

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C      10.1.1.0 is directly connected, Loopback0
148.1.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C      148.1.1.0 is directly connected, Ethernet0
C      192.1.1.0/24 is directly connected, Serial0
```

7.6 实验24：被动接口配置

7.6.1 所需设备

本实验需要的设备如下：

- 1) 两台有一个以太网端口和一个串口的 Cisco 路由器；
- 2) 一台有两个串口的 Cisco 路由器；
- 3) Cisco 10.0 和更高版本；
- 4) 一台运行终端仿真程序的 PC；
- 5) 两根 Cisco DTE/DCE 交叉（crossover）电缆；
- 6) 一根 Cisco 扁平（rolled）电缆。

7.6.2 配置概述

这个配置将演示被动接口命令的使用，这些命令提供有 IGRP 功能的路由器在某个接口上只听不送路由选择更新信息的能力。这个路由器配置命令常用于当路由器配置命令配置多于它所需接口时。例如，在图 7-5 中，路由器 A 上有三类子网，10.1.1.0/24、10.1.2.0/24 和 10.1.3.0/24。由于 IGRP 是一个分类协议，当打开路由器的 IGRP 功能时，它作用于网络 10.0.0.0，这个网络包括这三个子网。被动接口命令使用户能在特定接口（子网）上关闭 IGRP 发送信息。



图7-5 IGRP被动接口命令

IGRP 把网络条目从 10.1.1.0 改变到 10.0.0.0 的原因是 IGRP 被认为是一个分类的协议。这个术语表示识别你输入的 IP 网络地址类并假定适当的网络掩码。对像这样的 A 类网络地址，掩码是 255.0.0.0，产生 10.0.0.0（无论你最后输入的两个字节是什么）。网络语句告诉网络路由选择协议路由到网络地址与网络语句中网络地址匹配的指定的接口上。

在这个实验中，用户只想把 IGRP 路由更新信息发送到接口 L0(10.1.1.1) 和 E0(148.1.1.1)，所以接口 S0(192.1.1.1) 被设置成被动接口。

路由器 A、路由器 B 和路由器 C 用交叉电缆连接。路由器 B 作为 DCE 提供给路由器 A 和路由

器C时钟信号。IP地址分配如图 7-6。所有的路由器都将配置成有 IGRP功能的。路由器 B和路由器C将发送所连网络的信息。路由器 A的接口S0设置成被动接口，它不发出任何路由选择信息；但是，它还接收路由更新信息。

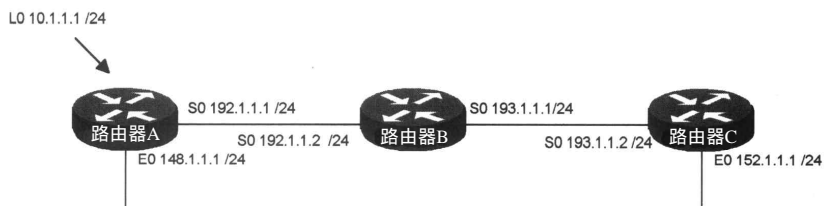


图7-6 IGRP被动接口配置

7.6.3 路由器配置

例子中的三个路由器的配置如下：

1. 路由器A

Current configuration:

```
!
version 11.2
no service udp-small-servers
no service tcp-small-servers
!
hostname RouterA
!
interface Loopback0←Defines a virtual interface that will be used as a test
                    point.
 ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
!
interface Ethernet0
 ip address 148.1.1.1 255.255.255.0
 no keepalive←Disables the keepalive on the Ethernet interface, allows the
               interface to stay up when it is not attached to a hub.
!
interface Serial0
 ip address 192.1.1.1 255.255.255.0
!
!
router IGRP 64←Enables the IGRP routing process on the router.
passive-interface Serial0←Disables the sending of IGRP updates on interface
                          Serial 0.
network 10.0.0.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
                  updates. It also specifies what networks will be advertised.
 network 148.1.0.0
 network 192.1.1.0
!
no ip classless
!
!line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login
!
end
```

2. 路由器B

```
!
version 11.0
service udp-small-servers
service tcp-small-servers
```

```

!
hostname RouterB
!
!
interface Serial0
 ip address 192.1.1.2 255.255.255.0
 no fair-queue
 clockrate 500000←Acts as DCE providing clock

!
interface Serial1
 ip address 193.1.1.2 255.255.255.0
 clockrate 500000←Acts as DCE providing clock
!
router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.
network 192.1.1.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
updates. It also specifies what networks will be advertised.
network 193.1.1.0
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login

```

3. 路由器C

```

!
version 11.1
service udp-small-servers
service tcp-small-servers
!
hostname RouterC
!
interface Ethernet0
 ip address 152.1.1.1 255.255.255.0
 no keepalive←Disables the keepalive on the Ethernet interface, allows the
interface to stay up when it is not attached to a hub.
!
!
interface Serial0
 ip address 193.1.1.1 255.255.255.0
!
!
router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.
network 152.1.0.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
updates. It also specifies what networks will be advertised.
network 193.1.1.0
!
no ip classless
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login
!
end

```

7.6.4 监测配置

用debug ip protocol 命令显示路由选择协议信息。注意到路由器 A 的串口是被动接口。

```

RouterA#show ip protocols
Routing Protocol is "igrp 64"
  Sending updates every 90 seconds, next due in 31 seconds
  Invalid after 270 seconds, hold down 280, flushed after 630

```

```

Outgoing update filter list for all interfaces is not set
Incoming update filter list for all interfaces is not set
Default networks flagged in outgoing updates
Default networks accepted from incoming updates
IGRP metric weight K1=1, K2=0, K3=1, K4=0, K5=0
IGRP maximum hopcount 100
IGRP maximum metric variance 1
Redistributing: igrp 64
Routing for Networks:
  10.0.0.0
  148.1.0.0
  192.1.1.0
Passive Interface(s):
  Serial0
Routing Information Sources:
  Gateway          Distance          Last Update
  192.1.1.2         100              00:00:48
Distance: (default is 100)

```

下面是在路由器 A，用 debug ip igmp 命令的输出例子。注意所有 IGRP 更新信息都仅仅发送到以太网接口 0 和回送接（loopback）口 0。也应注意到接口 S0 也在接收 IGRP 更新信息。

```

RouterA#debug ip igmp transactions

IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Ethernet0 (148.1.1.1)
  network 10.0.0.0, metric=501
  network 152.1.0.0, metric=10576
  network 192.1.1.0, metric=8476
  network 193.1.1.0, metric=10476
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Loopback0 (10.1.1.1)
  network 148.1.0.0, metric=1100
  network 152.1.0.0, metric=10576
  network 192.1.1.0, metric=8476
  network 193.1.1.0, metric=10476
IGRP: received update from 192.1.1.2 on Serial0
  network 152.1.0.0, metric 10576 (neighbor 8576)
  network 193.1.1.0, metric 10476 (neighbor 8476)

```

下面是在路由器 A 和路由器 C 上用 show ip route 的输出例子。注意到路由器 A 从路由器 C 学到所有的路径，而路由器 C 不从路由器 A 学任何路径。

```

RouterA#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default
       U - per-user static route, o - ODR

Gateway of last resort is not set

  10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       10.1.1.0 is directly connected, Loopback0
  148.1.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       148.1.1.0 is directly connected, Ethernet0
I       152.1.0.0/16 [100/10576] via 192.1.1.2, 00:00:29, Serial0
C       192.1.1.0/24 is directly connected, Serial0
I       193.1.1.0/24 [100/10476] via 192.1.1.2, 00:00:29, Serial0

```

```

RouterC#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default
       U - per-user static route, o - ODR

```

Gateway of last resort is not set

152.1.0.0/24 is subnetted, 1 subnets

C 152.1.1.0 is directly connected, Ethernet0

I 192.1.1.0/24 [100/10476] via 193.1.1.2, 00:00:13, Serial10←Route from RouterB

C 193.1.1.0/24 is directly connected, Serial10

7.7 实验25：IGRP 不等成本负载平衡

7.7.1 所需设备

本实验需要的设备如下：

- 1) 两台有一个以太网端口和一个串口的 Cisco 路由器；
- 2) 一台有两个串口的 Cisco 路由器；
- 3) Cisco 10.0 和更高版本；
- 4) 一台运行终端仿真程序的 PC；
- 5) 两根以太网电缆；
- 6) 一台以太网集线器；
- 7) 两根 Cisco DTE/DCE 交叉 (crossover) 电缆；
- 8) 一根 Cisco 扁平 (rolled) 电缆。

7.7.2 概述

IGRP 能配置成在到同一目的地有多达 4 个不相等开销路径上进行复杂平衡调度。这个特点叫做不相等开销复杂平衡调度，可以用 variance 命令设置。缺省时，路由器在 4 个相等开销路径上进行负载平衡。variance 命令使你能够定义一条备用路径能被使用和正被使用于负载平衡时性能坏的程度。

例如，如果一个路由器有两条到达网络 3.0.0.0 的路径，一条开销是 4，另一条开销是 8，默认值只用开销是 4 的那条路径传输分组到网络 3.0.0.0。然而如果 variance 设成 2，路由器将在两条路径上进行负载平衡调度。这种情况的发生是因为开销为 8 的路径在允许的变化之内，在本例中，开销 8 可能是最好路径的 2 倍 ($4 < \text{最好路径} \times 2 = 8$)。

7.7.3 配置概述

这个配置将用于演示 variance 命令的使用，这个命令使有 IGRP 功能的路由器在不相等开销

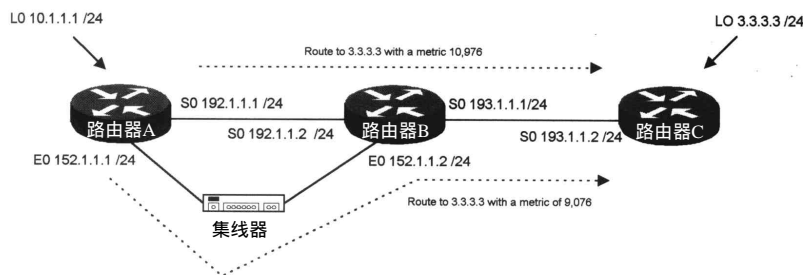


图7-7 IGRP 开销不相等负载平衡

的路径上进行负载平衡。variance命令将在路由器A上设置，所以使用通向网络3.0.0.0的两条路径。

路由器A、路由器B和路由器C用一条交叉电缆顺序连接，路由器A和路由器B同时也通过以太网集线器连接。路由器B将作为DCE向路由器A和路由器B提供时钟信号。IP地址如图7-7配置。所有路由器都配置成有IGRP功能。路由器A将配置成在到主机3.3.3.3的两条不相等开销路径上进行负载平衡调度。

7.7.4 路由器配置

例子中的三个路由器的配置如下：

1. 路由器A

```
Current configuration:
!
version 11.2
no service udp-small-servers
no service tcp-small-servers
!
hostname RouterA
!
interface Loopback0←Defines a virtual interface that will be used as a test
                        point.
    ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
!
interface Ethernet0
    ip address 152.1.1.1 255.255.255.0
    keepalive
!
interface Serial0
    ip address 192.1.1.1 255.255.255.0
!
!
router IGRP 64←Enables the IGRP routing process on the router.
variance 2
network 10.0.0.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
                        updates. It also specifies what networks will be advertised.
network 152.1.0.0
network 192.1.1.0
!
no ip classless
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
    login
!
end
```

2. 路由器B

```
!
version 11.0
service udp-small-servers
service tcp-small-servers
!
hostname RouterB
!
interface Ethernet0
    no ip address
ip address 152.1.1.2 255.255.255.0
!
interface Serial0
```

```

ip address 192.1.1.2 255.255.255.0
no fair-queue
clockrate 500000←Acts as DCE providing clock

!
interface Serial1
ip address 193.1.1.2 255.255.255.0
clockrate 500000←Acts as DCE providing clock
!
router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.
network 192.1.1.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
updates. It also specifies what networks will be advertised.
network 193.1.1.0
network 152.1.0.0

!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
login

```

3. 路由器C

```

!
version 11.1
service udp-small-servers
service tcp-small-servers
!
hostname RouterC
!
interface Loopback0
ip address 3.3.3.3 255.255.255.0
!
!
interface Serial0
ip address 193.1.1.1 255.255.255.0
!
!
router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.
network 193.1.1.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
updates. It also specifies what networks will be advertised.
network 3.0.0.0
!
no ip classless
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
login
!
end

```

7.7.5 监测配置

用show ip route 命令显示路由器A的路由选择表。注意到有两条通向网络3.0.0.0的路径：一条通过以太网接口，另一条通过串口。通过两条路径到达网络3.0.0.0的开销不相同，然而由于variance被设成2，只要第二条路径的开销不比第一条路径的开销的两倍还大，这条路径就会被使用。

让我们更仔细地看看这种情况。通向网络3.0.0.0的最佳路径是通过以太网接口，它的开

销是9076。通过串口的路径的开销是10976，这比18152低，所以这条路径被使用。

```
RouterA#show ip route
```

```
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
        E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
        i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, * - candidate default
        U - per-user static route, o - ODR
```

```
Gateway of last resort is not set
```

```
I    3.0.0.0/8 [100/9076] via 152.1.1.1, 00:00:04, Ethernet0
      [100/10976] via 192.1.1.2, 00:00:04, Serial0
10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C      10.1.1.0 is directly connected, Loopback0
      152.1.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C      152.1.1.0 is directly connected, Ethernet0
C      192.1.1.0/24 is directly connected, Serial0
I      193.1.1.0/24 [100/10476] via 192.1.1.2, 00:00:27, Serial0
      [100/8576] via 152.1.1.1, 00:00:27, Ethernet0
```

在路由器A上用命令show ip route 3.3.3.3显示通向主机3.3.3.3的路径。注意到两条路径都显示了，然而第一条路径旁有一个星号。这个星号代表下一个离开路由器 A去主机3.3.3.3的分组将使用这条路径。

```
RouterA#show ip route 3.3.3.3
Routing entry for 3.0.0.0/8
  Known via "igrp 64", distance 100, metric 9076
  Redistributing via igrp 64
  Advertised by igrp 64 (self originated)
  Last update from 192.1.1.2 on Serial0, 00:00:18 ago
  Routing Descriptor Blocks:
  * 152.1.1.1, from 152.1.1.1, 00:00:18 ago, via Ethernet0
    Route metric is 9076, traffic share count is 1
    Total delay is 26000 microseconds, minimum bandwidth is 1544 Kbit
    Reliability 255/255, minimum MTU 1500 bytes
    Loading 1/255, Hops 1
  192.1.1.2, from 192.1.1.2, 00:00:18 ago, via Serial0
    Route metric is 10976, traffic share count is 1
    Total delay is 45000 microseconds, minimum bandwidth is 1544 Kbit
    Reliability 255/255, minimum MTU 1500 bytes
    Loading 1/255, Hops 1
```

在路由器A上，ping主机3.3.3.3。

```
RouterA#ping 3.3.3.3
```

```
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 3.3.3.3, timeout is 2 seconds:
!!!!
```

现在，在路由器A上用命令show ip route 3.3.3.3显示到主机3.3.3.3的路径。注意到星号在第二条路径旁。因为路由器对通向网络 3.0.0.0的信息在这两条链路上进行负载平衡调度，这种情况发生。

```
RouterA#show ip route 3.3.3.3
Routing entry for 3.0.0.0/8
  Known via "igrp 64", distance 100, metric 9076
  Redistributing via igrp 64
  Advertised by igrp 64 (self originated)
  Last update from 192.1.1.2 on Serial0, 00:00:06 ago
  Routing Descriptor Blocks:
    152.1.1.1, from 152.1.1.1, 00:00:06 ago, via Ethernet0
```



```
Route metric is 9076, traffic share count is 1
Total delay is 26000 microseconds, minimum bandwidth is 1544 Kbit
Reliability 255/255, minimum MTU 1500 bytes
Loading 1/255, Hops 1
* 192.1.1.2, from 192.1.1.2, 00:00:07 ago, via Serial0
Route metric is 10976, traffic share count is 1
Total delay is 45000 microseconds, minimum bandwidth is 1544 Kbit
Reliability 255/255, minimum MTU 1500 bytes
Loading 1/255, Hops 1
```

用路由器配置命令 `no variance` 删除路由器 A 上的 `variance` 命令。

```
outerA#configure terminal
RouterA(config)#router igrp 64
RouterA(config-router)#no variance
```

在路由器 A 上用命令 `show ip route 3.3.3.3` 显示通向主机 3.3.3.3 的路径。注意到只有一条路径被使用（是度量最低的路径，不进行负载平衡调度）。

7.8 实验26：IGRP 定时器配置

7.8.1 所需设备

本实验需要的设备如下：

- 1) 两台有一个以太网端口和一个串口的 Cisco 路由器；
- 2) 一台有两个串口的 Cisco 路由器；
- 3) Cisco 10.0 和更高版本；
- 4) 一台运行终端仿真程序的 PC；
- 5) 两根 Cisco DTE/DCE 交叉（crossover）电缆；
- 6) 一根 Cisco 扁平(rolled)电缆。

7.8.2 配置概述

这个配置将演示使用简单的定时器命令设置四个可以配置的定时器（更新定时器、无效定时器、保持定时器、刷新定时器）。由于更新周期依赖于网络的拓扑结构，所以有必要改变更新定时器。更新定时器（以秒为单位）设置路由器发送更新信息的速度。例如，访问链路是 56KBPS 时，每 90 秒产生一个 IGRP 更新信息可能不能最有效地利用带宽。然而通过增加更新时间，同时也增加了网络的收敛时间。

其他三个 IGRP 定时器都依赖于更新定时器的值。无效定时器的值必须至少是更新定时器的三倍，保持定时器的值必须至少是更新定时器的三倍，刷新定时器的值至少是无效定时器和保持定时器的和。所以，如果更新定时器的值改变，那么无效定时器、保持定时器、刷新定时器的值也要相应改变。

每次一条路径被更新（这依赖于更新间隔），无效定时器就被重置。如果一条路径 270 秒仍未更新，就把它送入保持状态，即路由器用这条路径路由分组，但在它的路由选择更新信息中没有这条路径。又即路由器将不接受任何到这个目的地的路径信息直到保持定时器超时。这将在 630 秒后发生；在这种情况下，这条路径将从路由表中刷新。

注意 相邻路由器的更新间隔时间必须相同。

路由器A、路由器B和路由器C用交叉电缆串连。路由器B作为DCE提供给路由器A和路由器C时钟信号。IP地址如图7-8配置。所有的路由器都将配置成有IGRP功能的。路由器A、路由器B和路由器C将发送所有连接的网络信息。每个路由器的定时器的值如下：

- Update=5
- Invalid=15
- Holddown=15
- Flush=30

由于这些定时器，更新信息每5秒钟广播一次。若一条路径15秒钟没收到更新信息，则这条路径被声明为不可用（无效）。在接下来的15秒钟内（保持），任何接收的关于这个特殊网络的路由选择更新信息将被忽略。最后，从路由表刷新该路径。

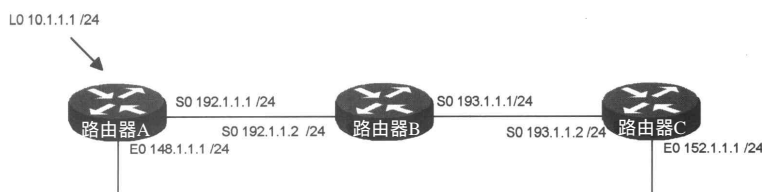


图7-8 IGRP 定时器配置

7.8.3 路由器配置

例子中的三个路由器的配置如下：

1. 路由器A

Current configuration:

```
!
version 11.2
no service udp-small-servers
no service tcp-small-servers
!
hostname RouterA
!
interface Loopback0<Defines a virtual interface that will be used as a test
point.
ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
!
interface Ethernet0
ip address 148.1.1.1 255.255.255.0

no keepalive<Disables the keepalive on the Ethernet interface, allows the
interface to stay up when it is not attached to a hub.
!
interface Serial0
ip address 192.1.1.1 255.255.255.0
!
!
router igrp 64<Enables the IGRP routing process on the router.
timers basic 5 15 15 30<Updates are broadcast every 5 seconds. If a router
is not heard from in 15 seconds, the route is
declared unusable. Further information is suppressed
for an additional 15 seconds. At the end of the
suppression period, the route is flushed from the
routing table.

network 10.0.0.0<Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
updates. It also specifies what networks will be advertised.
network 148.1.0.0
```

```
network 192.1.1.0
```

```
!
no ip classless
!
!line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
end
```

2. 路由器B

```
!
version 11.0
service udp-small-servers
service tcp-small-servers
!
hostname RouterB
!
!
interface Serial0
  ip address 192.1.1.2 255.255.255.0
  no fair-queue
  clockrate 500000←Acts as DCE providing clock
```

```
!
interface Serial1
  ip address 193.1.1.2 255.255.255.0
  clockrate 500000←Acts as DCE providing clock
!
```

router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.

timers basic 5 15 15 30←Updates are broadcast every 5 seconds. If a router is not heard from in 15 seconds, the route is declared unusable. Further information is suppressed for an additional 15 seconds. At the end of the suppression period, the route is flushed from the routing table.

network 192.1.1.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing updates. It also specifies what networks will be advertised.

```
network 193.1.1.0
```

```
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
```

3. 路由器C

```
!
version 11.1
service udp-small-servers
service tcp-small-servers
!
hostname RouterC
!
!
interface Ethernet0
  ip address 152.1.1.1 255.255.255.0
  no keepalive←Disables the keepalive on the Ethernet interface, allows the
                interface to stay up when it is not attached to a hub.
```

```
!
!
interface Serial0
  ip address 193.1.1.1 255.255.255.0
!
```

router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.

timers basic 5 15 15 30←Updates are broadcast every 5 seconds. If a router is not heard from in 15 seconds, the route is declared unusable. Further information is suppressed for an additional 15 seconds. At the end of the suppression period, the route is flushed from the routing table.

```

network 152.1.0.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
                  updates. It also specifies what networks will be advertised.
network 193.1.1.0
!
no ip classless
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
end

```

7.8.4 监测配置

下面是在路由器 A，用 Show ip protocols 命令的输出例子。注意定时器的值的改变。

```

RouterA#show ip protocols
Routing Protocol is "igrp 64"
  Sending updates every 5 seconds, next due in 1 seconds
  Invalid after 15 seconds, hold down 15, flushed after 30
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Default networks flagged in outgoing updates
  Default networks accepted from incoming updates
  IGRP metric weight K1=1, K2=0, K3=1, K4=0, K5=0
  IGRP maximum hopcount 100
  IGRP maximum metric variance 1
  Redistributing: igrp 64
  Routing for Networks:
    10.0.0.0
    148.1.0.0
    192.1.1.0
  Routing Information Sources:
    Gateway         Distance      Last Update
    192.1.1.2         100          00:01:14
  Distance: (default is 100)

```

7.9 实验27：配置单播IGRP 更新

7.9.1 所需设备

本实验需要的设备如下：

- 1) 一台有一个以太网端口的 Cisco 路由器；
- 2) Cisco 10.0和更高版本；
- 3) 一台运行终端仿真程序的 PC；
- 4) 一根Cisco 扁平(rolled)电缆。

IGRP的相邻路由器命令允许点到点（非广播）交换路由选择信息。这个命令可和被动接口路由器配置命令一起使用用于连接在同一局域网上的一部分路由器和访问服务器之间交换信息。

例如，在图 7-9 中，路由器 A 只想把路由选择更新信息送到同一以太网局域网上。由于 IGRP 是一个广播协议，默认情况下更新信息

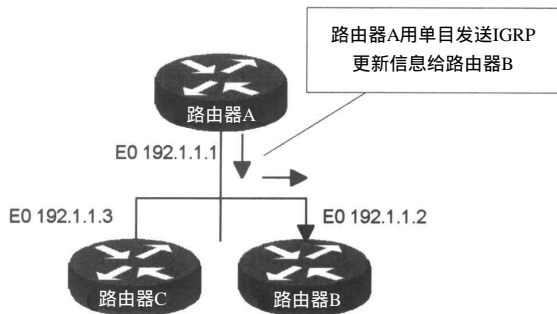


图7-9 IGRP UNICAST 更新信息

将送给以太网局域网上的任何一个设备，为防止这种情况发生，路由器 A 的以太网接口被配置成被动接口。然而在这个例子中还用到了一个邻居路由器配置命令。这个命令允许向指定的相邻路由器发送路由选择更新信息。为每个指定的相邻路由器产生一个路由选择更新信息。

7.9.2 路由器配置

路由器 A 的配置如下：

路由器 A

Building configuration...

Current configuration:

```
!
version 11.2
no service password-encryption
no service udp-small-servers
no service tcp-small-servers
!
hostname RouterA
!
interface Loopback0
 ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
!
interface Ethernet0
 ip address 192.1.1.1 255.255.255.0
 no keepalive←Disables the keepalive on the Ethernet interface, allows the
               interface to stay up when it is not attached to a hub.
!
!
router igrp 64←Enables the IGRP routing process on the router.
passive-interface Ethernet0←Disables the sending of IGRP updates on interface
                               Ethernet 0.

network 192.1.1.0←Specifies what interfaces will receive and send IGRP routing
updates. It also specifies what networks will be advertised.
network 1.1.1.1
neighbor 192.1.1.2←permits the point-to-point (nonbroadcast) exchange of
routing information.
!
no ip classless
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
 login
!
end
```

7.9.3 监测配置

下面是用 debug ip igrp events 命令的输出例子。注意到 IGRP 更新信息只从以太网接口 0 送到 Unicast (单播) 地址 192.1.1.2 和接口回送口上的广播地址 255.255.255.255。

```
RouterA#debug ip igrp events
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Loopback0 (10.1.1.1)
IGRP: Update contains 0 interior, 1 system, and 0 exterior routes.
IGRP: Total routes in update: 1
IGRP: sending update to 192.1.1.2 via Ethernet0 (192.1.1.1)
IGRP: Update contains 0 interior, 1 system, and 0 exterior routes.
```

7.10 IGRP 故障查找

Cisco IOS 提供许多用于路由选择协议故障查找的工具。下面给出一些帮助故障查找

IGRP的关键命令，并给每个命令配以输出例子。

debug ip igrp events 这个执行命令用于显示IGRP路由选择信息的汇总信息。这些信息包括每个路由选择信息的目的地和源，更新信息中包含路径的类型（系统、外部和内部）和每个路径更新信息中路径数。

```
RouterA#debug ip igrp events
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Ethernet0 (148.1.1.1)
IGRP: Update contains 0 interior, 2 system, and 0 exterior routes.
IGRP: Total routes in update: 2
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Loopback0 (10.1.1.1)
IGRP: Update contains 0 interior, 2 system, and 0 exterior routes.
IGRP: Total routes in update: 2
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Serial0 (192.1.1.1)
IGRP: Update contains 0 interior, 2 system, and 0 exterior routes.
IGRP: Total routes in update: 2
```

debug ip igrp transactions 这个执行命令用于显示IGRP路由选择事务的信息。这些信息包括每个路由选择更新信息的目的地和源、接收到和发出的路径，每条路径的度量。

```
RouterA#debug ip igrp transactions
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Ethernet0 (148.1.1.1)
      network 10.0.0.0, metric=501
      network 152.1.0.0, metric=10576
      network 192.1.1.0, metric=8476
      network 193.1.1.0, metric=10476
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Loopback0 (10.1.1.1)
      network 148.1.0.0, metric=1100
      network 152.1.0.0, metric=10576
      network 192.1.1.0, metric=8476
      network 193.1.1.0, metric=10476
IGRP: sending update to 255.255.255.255 via Serial0 (192.1.1.1)
      network 10.0.0.0, metric=501
      network 148.1.0.0, metric=1100
IGRP: received update from 192.1.1.2 on Serial0
      network 152.1.0.0, metric 10576 (neighbor 8576)
      network 193.1.1.0, metric 10476 (neighbor 8476)
```

debug ip routing这个执行命令用于显示路由表更新情况。输出显示哪条路径被加入或删除，对距离向量路由选择协议，还有哪条路径处于保持状态。

```
RouterA#debug ip routing
RT: add 148.1.1.0/24 via 0.0.0.0, connected metric [0/0]
RT: add 10.1.1.0/24 via 0.0.0.0, connected metric [0/0]
RT: add 192.1.1.0/24 via 0.0.0.0, connected metric [0/0]
```

debug ip protocol这个执行命令用于显示当前活跃路由选择协议进程的参数和状态。输出包括使用的路由选择协议、定时器信息、输入和输出过滤器信息、重分布（Redistributed）协议和协议作用于哪个网络。这个命令在查找发送错误路由更新信息的路由器时特别有用。

```
RouterA#show ip protocols
Routing Protocol is "igrp 64"
  Sending updates every 5 seconds, next due in 1 seconds
  Invalid after 15 seconds, hold down 15, flushed after 30
  Outgoing update filter list for all interfaces is not set
  Incoming update filter list for all interfaces is not set
  Default networks flagged in outgoing updates
  Default networks accepted from incoming updates
  IGRP metric weight K1=1, K2=0, K3=1, K4=0, K5=0
  IGRP maximum hopcount 100
  IGRP maximum metric variance 1
  Redistributing: igrp 64
  Routing for Networks:
    10.0.0.0
    148.1.0.0
    192.1.1.0
```

```
Routing Information Sources:
  Gateway         Distance      Last Update
  192.1.1.2        100           00:16:28
Distance: (default is 100)
```

show ip route igrp 这个执行命令用于快速显示所有通过 IGRP 学到的路径。这是一个检查路由器接收到更新信息的快速方法。

```
RouterA#show ip route igrp
I   152.1.0.0/16 [100/10576] via 192.1.1.2, 00:00:00, Serial0
I   193.1.1.0/24 [100/10476] via 192.1.1.2, 00:00:00, Serial0
```

7.11 结论

由于 IGRP 是距离向量协议，它也有与 RIP 同样的局限——慢收敛。然而，与 RIP 不同，IGRP 能用于大的网络。IGRP 的最大跳数为 255，这使它能在较大甚至是最大的网络上运行。由于 IGRP 用了 4 个度量（网络间的延迟、带宽、可靠性和负载）而不是 1 个度量（跳数）计算路径的可能性，即使在最复杂的网络上这种直觉的路径选择方法也能有最佳性能。