

路由协议是路由器软件中的重要组成部分。路由器为互联的网络之间选择最佳的通信路径都是通过这些路由协议来完成的。路由协议的作用还在于建立以及维护路由表。路由表用于对每个 IP 数据包选择输出端口或下一跳地址。

## 5.1 基本的 IPv4 静态路由配置

静态路由是在路由器中设置的固定的路由表，即由网络管理员指定的固定的传输路径。除非网络管理员干预，否则静态路由不会自动更改。所以，当网络的拓扑结构或链路的状态发生变化时，需要网络管理员手工修改路由表中的相关静态路由信息。默认情况下，静态路由信息是私有的，不会传递给其他路由器。

静态路由是一种特殊的路由，它由网络管理员手工配置而成。通过静态路由的配置可以建立一个互联的网络。但是，静态路由的缺点在于：当一个网络故障发生后，静态路由不会自动发生改变，因此需要网络管理员的介入。

当要指定数据包转发的路径时，需要配置静态路由。静态路由是由网络管理员手工配置的路由，这些路由明确指定了数据包从起点到目的地必须经过的路径。静态路由的特点如下：

(1) 它允许对路由的行为进行精确的控制。由于静态路由是手工配置的，网络管理员就可以通过静态路由来控制数据包在网络的流动。

(2) 静态路由减少了网络的流量。因为静态路由不需要路由器之间互相通信来学习路由，这一点在某些情况下是非常重要的。例如，使用按需拨号路由(DDR)时，必须使用静态路由，因为如果使用动态路由，路由更新会导致不停地进行拨号连接。

(3) 静态路由是单向的。也就是说，如果希望实现双方的通信，必须在通信双方都配置静态路由。

(4) 简化配置。有时网络的拓扑结构很简单，路径是显而易见的。此时就没有必要配置动态路由来浪费带宽和路由器的资源了。

(5) 静态路由缺乏灵活性。静态路由虽然能对数据包路径进行精确控制，但是又限制了灵活性。因为它是静态配置的，不能根据网络的变化而灵活改变，因此当网络拓扑结构更新时，如链路故障，网络管理员就必须重新配置该路由。

静态路由通常不适合大型和复杂的网络环境，原因包括两个方面：一是网络管理员很

难做到对大型和复杂的网络进行全面了解；二是当网络的拓扑结构和链路状态发生变化时，路由器中的静态路由信息需要大范围的修改，修改的难度和复杂度非常高，如果配置错误，还有可能导致路由环路。

静态路由有3种典型的应用。

- (1) 网络环境比较简单，网络管理员可以很清楚地了解其网络的拓扑结构。
- (2) 由于安全原因，希望隐藏网络的一部分。
- (3) 用于访问末节网络。

要配置IPv4静态路由，可以在全局配置模式下使用以下两条配置命令之一：

```
ip route 网络地址 子网掩码 下一跳地址
ip route 网络地址 子网掩码 送出接口名称
```

下面以图5-1所示的网络环境为例，介绍基本静态路由的配置方法。

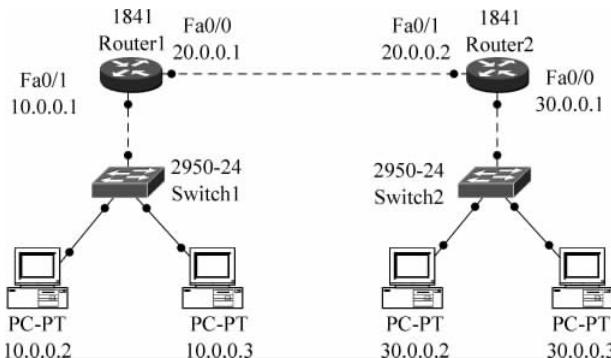


图5-1 基本静态路由配置的网络环境

在本例中，首先用交叉线将两个路由器连接起来，然后用直通线将交换机Switch1分别与路由器Router1和各计算机连接起来；并用直通线将交换机Switch2分别与路由器Router2和各计算机连接起来；并按图5-2中所示的地址配置好每个设备的IP地址。值得提醒的是，在本例中，需要将IP地址为10.0.0.2和10.0.0.3的计算机的网关指定为10.0.0.1；同时，还需要将IP地址为30.0.0.2和30.0.0.3的计算机的网关指定为30.0.0.1。

此时，从IP地址为10.0.0.2的计算机ping30.0.0.0/8网络中的设备，显然是不通的；反过来，从IP地址为30.0.0.3的计算机ping10.0.0.0/8网络中的设备，也是不通的。原因是路由器Router1并不知道应通过哪条路径将数据包从10.0.0.0/8网络转发到网络30.0.0.0/8；同样，路由器Router2也不知道应通过哪条路径将数据包从30.0.0.0/8网络转发到网络10.0.0.0/8。路由器会将不知道转发路径的数据包丢弃。因此，计算机无法ping通跨越路由器的另一个网络。因此，我们必须为路由器Router1人工指定一条到达网络30.0.0.0/8的静态路由，具体方法是在路由器Router1的全局配置模式下输入如图5-2所示的命令。

```
Router1(config)#
Router1(config)#ip route 30.0.0.0 255.0.0.0 20.0.0.2
Router1(config)#
```

图5-2 为Router1指定下一跳IP地址静态路由

以上这条命令的含义是告诉路由器 Router1, 对需要转发到网络 30.0.0.0/8 的所有数据包, 使用下一跳 IP 地址为 20.0.0.2 这一条路径送出去。

请读者牢记, 网络通信都是双向的。要实现双向通信, 还需要为路由器 Router2 指定一条到达网络 10.0.0.0/8 的静态路由。请在路由器 Router2 下输入如图 5-3 所示的命令。

```
Router2(config)#  
Router2(config)#ip route 10.0.0.0 255.0.0.0 20.0.0.1  
Router2(config)#[
```

图 5-3 为 Router2 指定下一跳 IP 地址静态路由

同理, 以上这条命令的含义是告诉路由器 Router2 需要转发到网络 10.0.0.0/8 的所有数据包, 都可以通过下一跳 IP 地址为 20.0.0.1 的路径送出去。

此时, 可以通过命令 show ip route 来查看两个路由器的路由表, 结果如图 5-4 和图 5-5 所示。在这两个图中, 以字母 S 开头的一行信息就是配置成功的静态路由。

```
Router1#show ip route  
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mc  
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF  
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA exten  
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2  
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, i  
      * - candidate default, U - per-user static route, o  
      P - periodic downloaded static route  
  
Gateway of last resort is not set  
  
C    10.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/1  
C    20.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/0  
S    30.0.0.0/8 [1/0] via 20.0.0.2  
Router1#
```

图 5-4 配置静态路由后路由器 Router1 的路由表

```
Router2#show ip route  
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mc  
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF  
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA exten  
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2  
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, i  
      * - candidate default, U - per-user static route, o  
      P - periodic downloaded static route  
  
Gateway of last resort is not set  
  
S    10.0.0.0/8 [1/0] via 20.0.0.1  
C    20.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/0  
C    30.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/1  
Router2#
```

图 5-5 配置静态路由后的路由器 Router2 的路由表

此时, 网络 10.0.0.0/8 与网络 30.0.0.0/8 已经连通了。可以在路由器 Router1 用 ping 命令来测试网络的连通性, 测试结果如图 5-6 所示。

同样, 可以在路由器 Router2 用 ping 命令来测试网络的连通性, 测试结果如图 5-7 所示。

```
Router1#ping 30.0.0.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 30.0.0.1, timeout is 2 sec
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
```

图 5-6 用 ping 命令测试路由器 Router1 与网关的连通性

```
Router2#ping 10.0.0.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.1, timeout is 2 sec
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
```

图 5-7 路由器 Router2 连通性测试结果

配置静态路由时,除了以上介绍的用指定下一跳接口的 IP 地址的命令外,也可以用指定下一跳的送出接口名称的命令来实现。命令格式如下:

```
ip route 网络地址 子网掩码 送出接口名称
```

这里,我们仍以图 5-1 所示的网络环境为例,说明用指定送出接口名称的命令来配置静态路由的方法。对于路由器 Router1,具体配置命令如图 5-8 所示。

```
Router1(config)#
Router1(config)#ip route 30.0.0.0 255.0.0.0 Fa0/0
Router1(config)#

```

图 5-8 用送出接口名称为 Router1 指定静态路由

在图 5-8 所示的配置命令中,我们修改了最后一个参数,即用送出接口名称“Fa0/0”替代了图 5-2 中原来的“20.0.0.2”,实现了同样一条静态路由的配置。用命令 show ip route 查看路由器 Router1 的路由表,可以得到如图 5-9 所示的配置结果。

```
Router1#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mc
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA exte
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, i
      * - candidate default, U - per-user static route, o
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    10.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/1
C    20.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/0
S    30.0.0.0/8 [1/0] via 20.0.0.2
                                is directly connected, FastEthernet0/0
Router1#
```

图 5-9 用送出接口名称配置后的 Router1 路由表

此时,在路由器 Router1 同样用 ping 命令测试网络的连通性,也可以发现网络 10.0.0.0/8 与网络 30.0.0.0/8 已经连通了。测试结果如图 5-10 所示。

```
Router1#ping 30.0.0.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 30.0.0.1, timeout is 2 sec
!!!!
Success rate is 80 percent (4/5), round-trip min/avg/max =
Router1#
```

图 5-10 用送出接口名称配置后路由器 Router1 与网关的连通性测试

同理,对于路由器 Router2,用指定送出接口的名称“Fa0/1”来进行静态路由配置,具体命令如图 5-11 所示。

```
Router2(config)#
Router2(config)#ip route 10.0.0.0 255.0.0.0 Fa0/1
Router2(config)#

```

图 5-11 用送出接口名称为 Router2 指定静态路由

此时,用命令 show ip route 查看路由器 Router2 的路由表,也可以得到如图 5-12 所示的配置结果,表明配置成功。

```
Router2#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mc
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPFv2
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ly - LSP over IS-IS
      * - candidate default, U - per-user static route, o - outlet label
      p - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

S      10.0.0.0/8 [1/0] via 20.0.0.1
          is directly connected, FastEthernet0/0
C      20.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/0
C      30.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/1
Router2#
```

图 5-12 用送出接口名称配置后的路由器 Router2 的路由表

## 5.2 更复杂的 IPv4 静态路由配置

第 5.1 节已经介绍了只有两个路由器的网络环境下的最简单的静态路由的配置方法。但是,实际的互联网应用环境,不可能都像图 5-1 那么简单。下面进一步介绍对于更复杂的网络环境,如何进行 IPv4 静态路由配置。

在图 5-1 所示的网络环境基础上,本例增加了第 3 个路由器。各个网络设备的 IP 地址等网络参数如图 5-13 所示。其中,新增加的路由器 Router3 通过串行接口连接到路由器 Router2,并通过交换机分别连接到 IP 地址为 50.0.0.2 和 50.0.0.3 的计算机。

下一步需要进行静态路由配置。由于在网络中并没有使用任何动态路由,因此网络管理员必须在每台路由器上为其指明所有非直连网络的静态路由。

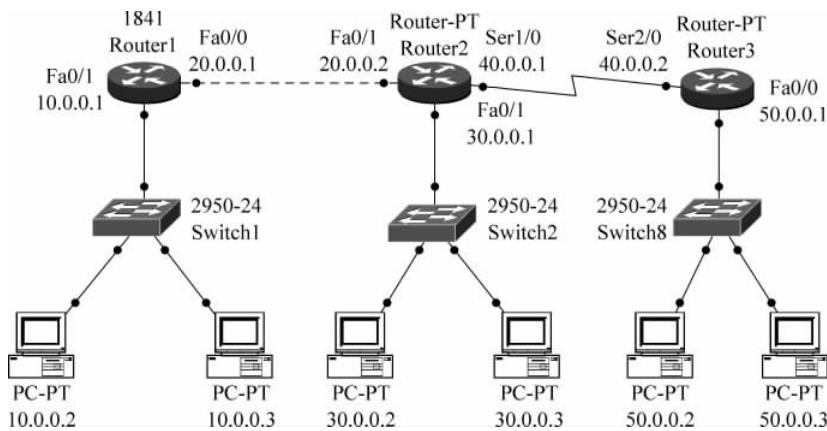


图 5-13 更复杂的静态路由配置网络环境

在图 5-13 所示的网络实验环境中,由于路由器 Router1 并没有与网络 30.0.0.0/8、40.0.0.0/8 和网络 50.0.0.0/8 直接连接,因此,网络管理员应当为路由器 Router1 逐一指定转发到网络 30.0.0.0/8、网络 40.0.0.0/8 和网络 50.0.0.0/8 的静态路由。具体的配置命令如图 5-14 所示。

```
Router1(config)#ip route 30.0.0.0 255.0.0.0 20.0.0.2
Router1(config)#ip route 40.0.0.0 255.0.0.0 20.0.0.2
Router1(config)#ip route 50.0.0.0 255.0.0.0 20.0.0.2
Router1(config)#

```

图 5-14 配置路由器 Router1 静态路由的命令

同理,由于路由器 Router2 并没有与网络 10.0.0.0/8 和网络 50.0.0.0/8 直接连接,所以网络管理员也同样要为路由器 Router2 各自指定一条转发到网络 10.0.0.0/8 和网络 50.0.0.0/8 的静态路由。具体的配置命令如图 5-15 所示。

```
Router2(config)#ip route 10.0.0.0 255.0.0.0 20.0.0.1
Router2(config)#ip route 50.0.0.0 255.0.0.0 40.0.0.2
Router2(config)#

```

图 5-15 配置路由器 Router2 静态路由的命令

由于路由器 Router3 也没有与网络 10.0.0.0/8、网络 20.0.0.0/8 和 30.0.0.0/8 直接连接,因此,网络管理员也应当为路由器 Router3 逐一指定转发到网络 10.0.0.0/8、网络 20.0.0.0/8 和网络 30.0.0.0/8 的静态路由。具体的配置命令如图 5-16 所示。

```
Router3(config)#ip route 10.0.0.0 255.0.0.0 40.0.0.1
Router3(config)#ip route 20.0.0.0 255.0.0.0 40.0.0.1
Router3(config)#ip route 30.0.0.0 255.0.0.0 40.0.0.1
Router3(config)#

```

图 5-16 配置路由器 Router3 静态路由的命令

此时,这 3 个路由器都已经配置完成了,我们同样可以分别用命令 `show ip route` 来查看这 3 个路由器的路由表,命令的执行结果依次如图 5-17~图 5-19 所示。在这 3 个图中,以字母 S 开头的行信息就是配置成功的静态路由。

```

Router1#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mc
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPFv2
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, l
      * - candidate default, U - per-user static route, o
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    10.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/1
C    20.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/0
S    30.0.0.0/8 [1/0] via 20.0.0.2
      is directly connected, FastEthernet0/0
S    40.0.0.0/8 [1/0] via 20.0.0.2
S    50.0.0.0/8 [1/0] via 20.0.0.2
Router1#

```

图 5-17 3 个路由器都配置成功后的路由器 Router1 的路由表

```

Router2#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mc
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPFv2
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, l
      * - candidate default, U - per-user static route, o
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

S    10.0.0.0/8 [1/0] via 20.0.0.1
C    20.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/1
C    30.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/0
C    40.0.0.0/8 is directly connected, Serial1/0
S    50.0.0.0/8 [1/0] via 40.0.0.2
Router2#

```

图 5-18 3 个路由器都配置成功后的路由器 Router2 的路由表

```

Router3#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mc
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPFv2
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, l
      * - candidate default, U - per-user static route, o
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

S    10.0.0.0/8 [1/0] via 40.0.0.1
S    20.0.0.0/8 [1/0] via 40.0.0.1
S    30.0.0.0/8 [1/0] via 40.0.0.1
C    40.0.0.0/8 is directly connected, Serial2/0
C    50.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/0
Router3#

```

图 5-19 3 个路由器都配置成功后的路由器 Router3 的路由表

图 5-17 表明,路由器 Router1 有 2 条直连路由(以字母 C 开头)和 3 条静态路由(以字母 S 开头)。

图 5-18 所示的路由表信息表明,路由器 Router2 有 3 条直连路由(以字母 C 开头)和 2 条静态路由(以字母 S 开头)。

同样,图 5-19 所示的路由表信息则表明,路由器 Router3 有 2 条直连路由(以字母 C 开头)和 3 条静态路由(以字母 S 开头)。

最后,我们可以逐一在每个路由器上用 ping 命令测试网络的连通性。这里,仅以路由器 Router1 为例来说明。在路由器 Router1 中用 ping 命令测试其与其他网络的计算机连通性,测试结果如图 5-20 所示,结果表明网络已经连接正常。

```
Router1#ping 30.0.0.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 30.0.0.2, timeout is 2 sec
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
Router1#ping 40.0.0.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 40.0.0.2, timeout is 2 sec
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
Router1#ping 50.0.0.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 50.0.0.2, timeout is 2 sec
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
Router1#
```

图 5-20 测试路由器 Router1 与各台计算机的连通性

### 5.3 汇总 IPv4 静态路由

汇总静态路由是一条可以用来表示多条静态路由的单独的路由。汇总静态路由通常是指具有相同的送出接口或下一跳 IP 地址的连续网络的集合。

#### 1. 用汇总静态路由简化路由表

较小的路由表可以使路由表查找过程更加有效率,因为需要搜索的路由条数更少。如果可以使用一条静态路由代替多条静态路由,就可以简化路由表。在许多情况下,一条汇总静态路由可以替代几十条、几百条,甚至几千条静态路由。

我们可以使用一个网络地址代表多个子网。例如,172.0.0.0/16、172.1.0.0/16、172.2.0.0/16、172.3.0.0/16、172.4.0.0/16、172.5.0.0/16、172.6.0.0/16……直到网络地址 172.255.0.0/16,所有这些地址都可以用一个汇总的网络地址 172.0.0.0/8 来表示。

#### 2. 汇总静态路由的条件

多条静态路由可以汇总成一条静态路由,前提是符合以下条件:

- (1) 多个目的网络地址可以汇总成一个网络地址。

(2) 多条静态路由都使用相同的下一跳 IP 地址和相同的送出接口。

以图 5-21 所示的网络环境为例,路由器 Router3 有 3 条静态路由。所有 3 条静态路由都通过相同的下一跳地址 192.168.1.1 和相同的送出接口 Ser2/0 转发数据包。

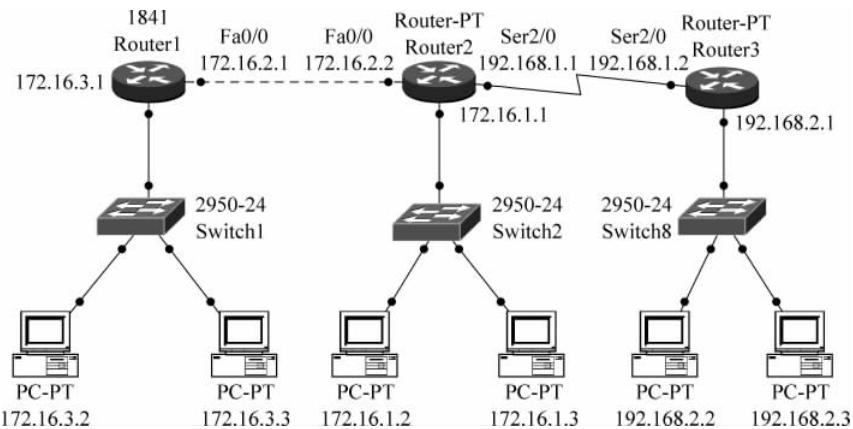


图 5-21 可以汇总静态路由的网络环境

路由器 Router3 的这 3 条静态路由原来是分别配置的,如图 5-22 所示。

```
Router3(config)#ip route 172.16.1.0 255.255.255.0 192.168.1.1
Router3(config)#ip route 172.16.2.0 255.255.255.0 192.168.1.1
Router3(config)#ip route 172.16.3.0 255.255.255.0 192.168.1.1
```

图 5-22 路由器 Router3 的 3 条静态路由

现在,我们将这 3 条静态路由汇总成一条静态路由,即将 172.16.1.0/24、172.16.2.0/24 和 172.16.3.0/24 这 3 个子网地址汇总成网络地址 172.16.0.0/22。因为这 3 条路由都使用相同的下一跳地址和相同的送出接口,所以我们可以将其简化为一条汇总的静态路由,网络地址为 172.16.0.0,子网掩码为 255.255.252.0。

在配置汇总静态路由之前,我们必须首先删除原来的 3 条静态路由,如图 5-23 所示。

```
Router3(config)#no ip route 172.16.1.0 255.255.255.0 192.168.1.1
Router3(config)#no ip route 172.16.2.0 255.255.255.0 192.168.1.1
Router3(config)#no ip route 172.16.3.0 255.255.255.0 192.168.1.1
```

图 5-23 删除当前路由器 Router3 的 3 条静态路由

这时可以用 show ip route 命令查看路由器 Router3 当前的路由表,如图 5-24 所示。

下一步,我们就可以配置汇总的静态路由,即仅用一条统一的汇总路由配置命令,就可以替代图 5-22 所示的 3 条静态路由,如图 5-25 所示。

此时,就可以用 show ip route 命令查看路由器 Router3 的汇总静态路由表,如图 5-26 所示。

在图 5-26 中,可以看到“S 172.16.0.0 [1/0] via 192.168.1.1”这一条汇总,表明已经配置成功。

通过这条汇总路由,数据包的目的 IP 地址仅需要与 172.16.0.0 网络地址最左侧的 22

```

Router3#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, I
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - I
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

C    192.168.1.0/24 is directly connected, Serial2/0
C    192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
Router3#

```

图 5-24 路由器 Router3 当前的路由表

```

Router3(config)#ip route 172.16.0.0 255.255.252.0 192.168.1.1
Router3(config)#

```

图 5-25 汇总路由配置命令

```

Router3#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, I
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - I
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

172.16.0.0/22 is subnetted, 1 subnets
S    172.16.0.0 [1/0] via 192.168.1.1
C    192.168.1.0/24 is directly connected, Serial2/0
C    192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
Router3#

```

图 5-26 路由器 Router3 的汇总静态路由表

位匹配。目的 IP 地址属于 172.16.1.0/24、172.16.2.0/24 和 172.16.3.0/24 网络的所有数据包都与这条汇总路由匹配。

同理，在图 5-21 所示的网络环境中，路由器 Router1 的两条静态路由 192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 也可以汇总成一条路由 192.168.0.0/22。具体的配置方法相似，这里，我们就不作详细介绍了，请读者自行练习。

最后，可以使用 ping 命令测试网络的连通性，即分别使用 ping 命令测试与网络 172.16.1.0/24、172.16.2.0/24 和 172.16.3.0/24 的连接情况，测试结果如图 5-27 所示。

从图 5-27 中可以发现，从每个路由器发出的数据包都能够到达其目的地，并且返回路径也工作正常。

```

Router3#ping 172.16.1.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.1.1, timeout is 2 seconds
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 10/16,
Router3#ping 172.16.2.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.2.1, timeout is 2 seconds
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 40/40,
Router3#ping 172.16.3.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.3.1, timeout is 2 seconds
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 30/37,
Router3#

```

图 5-27 测试网络的连通性

## 5.4 IPv4 默认静态路由

当网络互联的规模很大时,采用静态路由或者动态路由,都难以实现对所有远程网络路由的穷尽。限制主要来自路由存储空间、路由更新维护成本、路由查收速度,以及对远程网络的拓扑结构不了解等,此时就需要配置默认静态路由。

这里,我们以图 5-28 所示的末节网络为例,来说明默认静态路由。

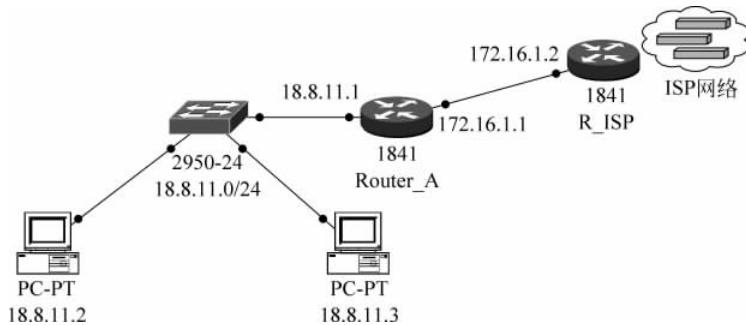


图 5-28 末节网络

只有一条路径可以到达的网络称为末节网络,也称为孤岛网络。在图 5-28 所示的末节网络环境中,网络服务商的路由器 R\_ISP 在为某企业网络 18.8.11.0/24 配置路由时,就需要使用默认静态路由。

作为企业网络的边界路由器 Router\_A,企业中所有计算机发送到 Internet 的数据包都需要通过路由器 Router\_A 转发,如果路由器 Router\_A 为 Internet 上百万个以上的目标网络都保存其路由信息,路由器 Router\_A 就会出现路由表“爆炸”,不仅需要大量的内存空间和路由更新维护的成本,路由器的性能也会急剧下降。

为了解决这个问题,引入了默认静态路由(Default Static Route)的概念。默认静态路由也称为默认路由。作为一种特殊的静态路由,默认静态路由配置命令中的网络地址和子网掩码都是 0.0.0.0。对于一个路由器来说,进行路由匹配查找时,首先要根据转发数据包的目标地址,在路由表中逐条进行查找,如果找不到任何明确的匹配项,默认静态路由指定的路由就是最后的选择,即当路由器从当前路由表中找不到数据包目标地址匹配的路由条目时,就把数据包送到默认静态路由指定的路由器下一跳 IP 地址或者送出接口。

在路由器 Router\_A 的全局配置模式下,输入如图 5-29 所示的命令,即可配置默认静态路由。

```
Router_A(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 172.16.1.2
Router_A(config)#[
```

图 5-29 默认静态路由配置命令

接着,可以使用 show ip route 命令查看路由表,结果如图 5-30 所示。

```
Router_A#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mc
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPFv2
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA extera
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, i
      * - candidate default, U - per-user static route, o
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 172.16.1.2 to network 0.0.0.0

C     18.0.0.0/8 is directly connected, FastEthernet0/1
C     172.16.0.0/16 is directly connected, FastEthernet0/0
S*   0.0.0.0/0 [1/0] via 172.16.1.2
Router_A#[
```

图 5-30 默认静态路由表

请注意图 5-30 中字母 S 旁边的星号(\*),星号表明这条静态路由是一条默认静态路由,其下一跳 IP 地址是 172.16.1.2。

默认静态路由配置的关键在于/0 子网掩码。路由表中的子网掩码决定着数据包的目的 IP 地址与路由表中的路由之间必须有多少位匹配。而/0 子网掩码表明只需要零位匹配,即不需要匹配。

默认静态路由在路由器配置时十分常用。这样,路由器就不需要存储通往 Internet 中所有网络的路由,而只用一条默认路由就可以代表不在路由表中的任何网络。

## 5.5 IPv4 浮动静态路由

当某一条静态路由出现故障时,原来所有需要通过这条路由的数据包都无法正常传输。此时,就只能由网络管理员重新配置静态路由来应对网络故障。这样,如果网络的规模很大、很复杂,则网络管理员的工作量将会很大。

那么,针对这种静态路由可能出现故障的情况,网络管理员有没有相应的解决方法呢?答案是配置浮动静态路由。配置浮动静态路由,是指同时在两个路由器之间配置两条甚至更多的备份网络链路。

这里,我们以图 5-31 所示的网络环境来说明如何配置浮动静态路由。

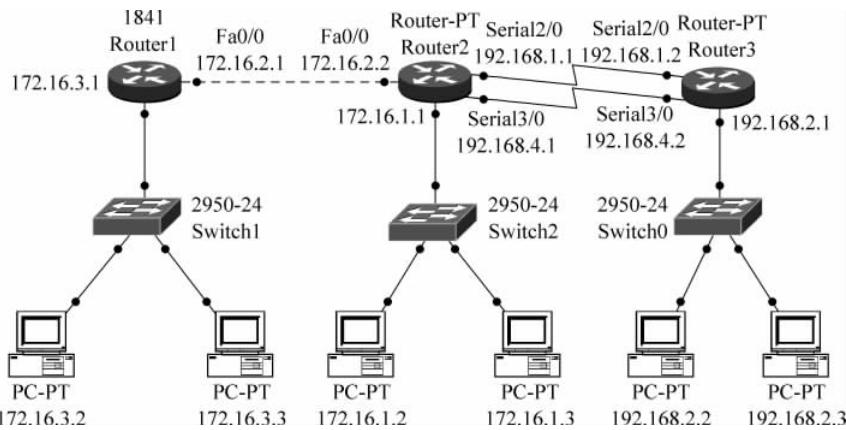


图 5-31 配置浮动静态路由的网络环境

在图 5-31 中,路由器 Router2 与路由器 Router3 之间连接了 2 条串行通信链路:一条是 192.168.1.0/24;另一条是 192.168.4.0/24。

配置浮动静态路由的命令格式是如下两条命令之一:

```
ip route 网络地址 子网掩码 下一跳地址 [管理距离]
ip route 网络地址 子网掩码 送出接口名称 [管理距离]
```

默认情况下,静态路由的管理距离为 1,如果想通过备份链路实现冗余的静态路由,只要以这条备份路径的下一跳地址,加上一个管理距离数值(1~255)来配置浮动路由即可。

在路由器 Router3 的全局配置模式下,可以使用如图 5-32 所示的命令为其配置浮动静态路由。在本例中,浮动路由是 192.168.4.1,管理距离为 10。

```
Router3(config)#ip route 172.16.0.0 255.255.0.0 192.168.1.1
Router3(config)#ip route 172.16.0.0 255.255.0.0 192.168.4.1 10
Router3(config)#[
```

图 5-32 配置浮动静态路由

配置后,用 show ip route 命令查看浮动静态路由的配置结果,则路由器 Router3 的路由表如图 5-33 所示。

```
Router3#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile,
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter-type
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - external
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

S    172.16.0.0/16 [1/0] via 192.168.1.1
C    192.168.1.0/24 is directly connected, Serial2/0
C    192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
C    192.168.4.0/24 is directly connected, Serial3/0
Router3#
```

图 5-33 查看浮动静态路由的配置结果

但是,在图 5-33 中,我们并没有找到刚才配置的浮动路由。这是为什么呢?原因很简单,这是因为我们配置的两条路径的管理距离值不一样,一条路径的管理距离值取默认值“1”,另一条路径的管理距离值设置为“10”,而管理距离值较小的路径被路由器作为优先选择的路由。所以,当前只有 192.168.1.1 这一条路由。

为了让浮动静态路由生效,用 shutdown 命令关闭路由器 Router3 的串行接口 Serial2/0,具体操作命令如图 5-34 所示。

```
Router3#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router3(config)#interface Serial2/0
Router3(config-if)#shutdown

%LINK-5-CHANGED: Interface Serial2/0, changed state to administrati
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial2/0, changed

Router3(config-if)#exit
Router3(config)#exit
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
Router3#
```

图 5-34 关闭路由器 Router3 的串行接口 Serial2/0

然后,再次通过命令 show ip route 查看路由表,结果如图 5-35 所示。

```
Router3#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter ar
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EG
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-I
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

S    172.16.0.0/16 [10/0] via 192.168.4.1
C    192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
C    192.168.4.0/24 is directly connected, Serial3/0
Router3#
```

图 5-35 配置浮动静态路由的结果

从图 5-35 中可以看到,这条管理距离设为“10”的浮动静态路由,终于浮现在我们的眼前。

## 5.6 负载均衡

在以上浮动静态路由的配置实例中,当路由器转发数据包时,是无法同时使用这两条链路的。仅当第一条链路不起作用时,第二条链路才会工作。换句话说,在以上的配置实例中,对于要前往目的地的数据包来说,即使两条链路都是完好的,也有一条链路没法正常使用。这显然是对链路资源的一种浪费。那么,能否物尽其用,让与路由器连接的两条链路同时工作呢?

答案是肯定的,其解决方法是负载均衡。其实,要实现负载均衡的方法很简单,就是将

转发到同一目标地址的两条链路的管理距离设置为相同的数值。这样,路由器就会使这两条链路同时生效,均衡地分担网络的数据流量。

例如,对于图 5-31 所示的网络环境,负载均衡的具体配置方法如图 5-36 所示。

```
Router3(config)#ip route 172.16.0.0 255.255.0.0 192.168.1.1 2
Router3(config)#ip route 172.16.0.0 255.255.0.0 192.168.4.1 2
Router3(config)#[
```

图 5-36 配置负载均衡的静态路由

在图 5-36 所示的实例中,我们将需要实现转发到目标地址 172.16.0.0 的两条路径的管理距离的数值都设置为“2”,从而实现了负载均衡。

配置完成后,可以使用命令 show ip route 来查看刚才配置好的路由表,结果如图 5-37 所示。

```
Router3#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile, B
      D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter ar
      N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type
      E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EG
      i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-I
      * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
      P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

S    172.16.0.0/16 [2/0] via 192.168.1.1
                  [2/0] via 192.168.4.1
C    192.168.1.0/24 is directly connected, Serial2/0
C    192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
C    192.168.4.0/24 is directly connected, Serial3/0
Router3#
```

图 5-37 配置负载均衡的静态路由的结果

从图 5-37 中可以看到,路由器 Router3 前往同一个目标网络 172.16.0.0/16 的路由,同时有两个下一跳地址(即 192.168.1.1 和 192.168.4.1)可供使用。这表明,当路由器转发前往同一目标网络的数据包时,就会同时使用这两个下一跳地址进行转发,即可以实现负载均衡。

## 5.7 配置 IPv6 静态路由和默认路由

不论是 IPv4,还是 IPv6 的网络环境,都完整地支持静态路由。如上所述,静态路由是指由网络管理员手工配置的路由信息。但是,当网络的拓扑结构或链路的状态发生变化时,需要网络管理员人工修改路由表中的相关静态路由信息。静态路由信息在默认情况下是私有的,不会传递给其他路由器。

配置 IPv6 网络环境的静态路由的方法与 IPv4 网络环境的命令很相似,只要将原来命令中的字符串 IP 修改为相应的 IPv6 即可。

配置 IPv6 网络,首先要在路由器的全局配置模式下输入以下命令,启动 IPv6 的单播功能。

```
ipv6 unicast-routing
```

接着,指定一个需要配置的路由器接口,并给这个接口配置 IPv6 地址和子网掩码。命令格式如下。

```
interface 接口名称
ipv6 address 网络地址/子网掩码
```

最后,用以下命令激活接口。

```
no shutdown
```

路由器的 IPv6 地址配置完成后,就可以使用以下命令配置静态路由了。

```
ipv6 route 网络地址 子网掩码 下一跳地址/送出接口名称
```

下面以图 5-38 所示的 IPv6 网络环境为例,介绍 IPv6 的静态路由的配置方法。



图 5-38 IPv6 网络环境

首先,在路由器 Router1 的全局配置模式下,为快速以太网接口 FastEthernet0/0 配置 IPv6 地址,并激活接口,具体操作如图 5-39 所示。

```
Router1(config)#ipv6 unicast-routing
Router1(config)#interface FastEthernet0/0
Router1(config-if)#ipv6 address 2000:10::1/64
Router1(config-if)#no shutdown
Router1(config-if)#

```

图 5-39 路由器 Router1 的 IPv6 地址配置

接着,在路由器 Router2 的全局配置模式下,为快速以太网接口 FastEthernet0/0 配置 IPv6 地址,并激活接口,具体操作如图 5-40 所示。

```
Router2(config)#ipv6 unicast-routing
Router2(config)#interface FastEthernet0/0
Router2(config-if)#ipv6 address 2000:10::2/64
Router2(config-if)#no shutdown
Router2(config-if)#exit
Router2(config)#

```

图 5-40 路由器 Router2 的 IPv6 地址配置

然后,为路由器 Router2 配置 3 个环回接口地址,分别模拟 3 个不同的 IPv6 前缀,作为 IPv6 的目标网络,具体操作如图 5-41 所示。

此时,在路由器 Router1 上用 ping 命令测试与两个直连接口(即地址 2000:10::1 和地址 2000:10::2)的连通性,结果可以 ping 通。而 ping 路由器 Router2 的环回地址(即地址 2000:2::1),结果 ping 不通,因为我们仍未在路由器 Router1 上配置到达 3 个环回地址的静态路由。ping 命令的连通性测试结果如图 5-42 所示。

下一步,在路由器 Router1 上配置到达 3 个环回地址的静态路由,如图 5-43 所示。

```

Router2(config)#interface loopback 1
%LINK-5-CHANGED: Interface Loopback1, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback1,
Router2(config-if)#ipv6 address 2000:2::1/64
Router2(config-if)#exit
Router2(config)#interface loopback 2

%LINK-5-CHANGED: Interface Loopback2, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback2,
Router2(config-if)#ipv6 address 2000:3::1/64
Router2(config-if)#exit
Router2(config)#interface loopback 3

%LINK-5-CHANGED: Interface Loopback3, changed state to up
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback3,
Router2(config-if)#ipv6 address 2000:4::1/64
Router2(config-if)#exit

```

图 5-41 路由器 Router2 的 IPv6 环回地址配置

```

Router1#ping 2000:10::1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2000:10::1, timeout is 2
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
Router1#ping 2000:10::2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2000:10::2, timeout is 2
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max =
Router1#ping 2000:2::1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2000:2::1, timeout is 2
.....
Success rate is 0 percent (0/5)

Router1#

```

图 5-42 ping 命令的连通性测试结果

```

Router1(config)#ipv6 route 2000:2::/64 2000:10::2
Router1(config)#ipv6 route 2000:3::/64 2000:10::2
Router1(config)#ipv6 route 2000:4::/64 2000:10::2
Router1(config)#

```

图 5-43 配置到达 3 个环回地址的静态路由

当完成上述配置后,可以在路由器 Router1 上用 show ipv6 route 查看 IPv6 的路由表,结果如图 5-44 所示。

此时,在图 5-44 中可以清晰地看到 3 条被添加的静态路由。然后,在路由器 Router1 上再次测试与目标 IPv6 地址的连通性,应该成功连通,结果如图 5-45 所示。

下面为路由器 Router1 配置 IPv6 的默认静态路由。默认静态路由的 IPv6 地址为“::/0”,具体操作如图 5-46 所示。

```
Router1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 9 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - B
      U - Per-user Static route, M - MIPv6
      I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS
      O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, O
      ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
      D - EIGRP, EX - EIGRP external
S  2000:2::/64 [1/0]
  via ::, FastEthernet0/0
  via 2000:10::2
S  2000:3::/64 [1/0]
  via ::, FastEthernet0/0
  via 2000:10::2
S  2000:4::/64 [1/0]
  via ::, FastEthernet0/0
  via 2000:10::2
C  2000:10::/64 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
```

图 5-44 用 show ipv6 route 查看 IPv6 的路由表

```
Router1#ping 2000:2::1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2000:2::1, timeout is 2 s
!!!!!
Success rate is 60 percent (3/5), round-trip min/avg/max =
Router1#ping 2000:3::1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2000:3::1, timeout is 2 s
!!!!!
Success rate is 60 percent (3/5), round-trip min/avg/max =
```

图 5-45 用 ping 命令测试连通性

```
Router1(config)#ipv6 route ::/0 2000:10::2
Router1(config)#
```

图 5-46 配置 IPv6 的默认静态路由

最后,可以用 show ipv6 route 查看路由表,结果如图 5-47 所示。从图 5-47 中可以看出,路由器 Router1 的默认路由已经配置成功。

```
Router1#show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 10 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - B
      U - Per-user Static route, M - MIPv6
      I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS
      O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, O
      ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
      D - EIGRP, EX - EIGRP external
S  ::/0 [1/0]
  via 2000:10::2
S  2000:2::/64 [1/0]
  via ::, FastEthernet0/0
S  2000:3::/64 [1/0]
  via ::, FastEthernet0/0
S  2000:4::/64 [1/0]
  via ::, FastEthernet0/0
C  2000:10::/64 [0/0]
```

图 5-47 路由器 Router1 的 IPv6 路由表

## 5.8 本章总结

静态路由是在路由器中设置的固定的路由表,即由网络管理员指定的固定的传输路径。除非网络管理员干预,否则静态路由不会自动更改。所以,当网络的拓扑结构或链路的状态发生变化时,需要网络管理员手工修改路由表中的相关静态路由信息。

静态路由配置可以在全局配置模式下输入以下两条配置命令之一:

```
ip route 网络地址 子网掩码 下一跳地址
ip route 网络地址 子网掩码 送出接口名称
```

请读者牢记,网络通信都是双向的。要实现双向通信,需要对通信双方的路由器分别指定静态路由。

静态路由配置完成后,可以分别在每个路由器上用命令 `show ip route` 来查看路由表,并用 `ping` 命令测试网络的连通性。

汇总静态路由是一条可以用来表示多条静态路由的单独的路由。汇总静态路由通常是有相同的送出接口或下一跳 IP 地址的连续网络的集合。

多条静态路由可以汇总成一条静态路由,前提是须符合以下条件:

- (1) 多个目的网络地址可以汇总成一个网络地址。
- (2) 多条静态路由都使用相同的下一跳 IP 地址或相同的送出接口。

作为一种特殊的静态路由,默认静态路由配置命令中的网络地址和子网掩码都是 0.0.0.0。对于一个路由器来说,进行路由匹配查找时,首先要根据转发数据包的目标地址,在路由表中逐条进行查找,如果找不到任何明确的匹配项,默认静态路由指定的路由就是最后的选择,即当路由器从当前路由表中找不到数据包目标地址匹配的路由条目时,就把数据包送到默认静态路由指定的路由器下一跳 IP 地址或者送出接口。

配置浮动静态路由,是指同时在两个路由器之间配置两条甚至更多的备份网络链路。

配置浮动静态路由的命令格式是如下两条命令之一:

```
ip route 网络地址 子网掩码 下一跳地址 [管理距离]
ip route 网络地址 子网掩码 送出接口名称 [管理距离]
```

负载均衡是指让连接在两个路由器之间配置两条甚至更多的备份网络链路同时工作。实现负载均衡的方法很简单,就是将两条转发到同一目标地址的多条链路的管理距离设置为相同的数值。

配置 IPv6 网络环境的静态路由的方法与 IPv4 网络环境的命令很相似,只要将原来命令中的字符串 IP 修改为相应的 IPv6 即可。

配置 IPv6 网络,首先需要在路由器的全局配置模式下输入以下命令,启动 IPv6 的单播功能。

```
ipv6 unicast-routing
```

接着,指定一个需要配置的路由器接口,并给这个接口配置 IPv6 地址和子网掩码。命令格式如下。

```
interface 接口名称
ipv6 address 网络地址/子网掩码
```

最后,用以下命令激活接口。

```
no shutdown
```

路由器的 IPv6 地址配置完成后,就可以使用以下命令配置静态路由了。

```
ipv6 route 网络地址 子网掩码 下一跳地址/送出接口名称
```

## 复习思考题

- 什么是静态路由?静态路由有什么特点?
- 配置 IPv4 静态路由的两种命令格式是什么?
- 如何查看 IPv4 路由表?
- 什么是汇总静态路由?如何实现汇总静态路由?
- 什么是默认静态路由?如何配置 IPv4 默认静态路由?
- 什么是浮动静态路由?如何配置 IPv4 浮动静态路由?
- 什么是负载均衡?如何实现负载均衡?
- 如何配置 IPv6 静态路由和默认路由?
- 如何查看 IPv6 路由表?
- 如何测试 IPv4 网络的连通性?
- 实训操作题 1:请按图 5-48 配置 3 个路由器的 IPv4 静态路由(负载均衡)。

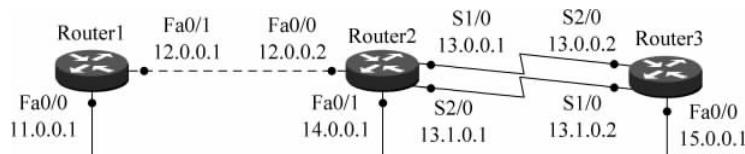


图 5-48 IPv4 静态路由(负载均衡)的网络环境

- 实训操作题 2:请按图 5-49 配置 3 个路由器的 IPv6 静态路由。

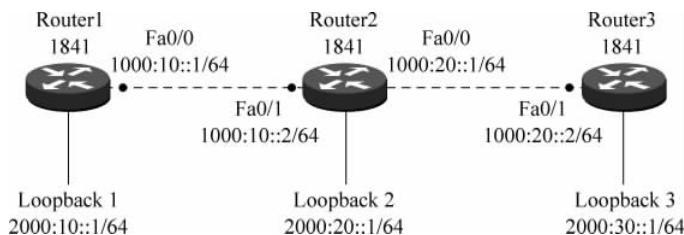


图 5-49 IPv6 静态路由的网络环境