

# 静态路由选择的实现

## 3.1 用户需求

某高校最近兼并了两所学校,而这两所学校都建有自己的校园网。只有将这两个校区的校园网通过路由器连接到校本部的校园网,并在路由器上做静态路由配置,才能实现各校区校园网内部主机的相互通信,并且通过主校区连接到互联网。

## 3.2 相关知识

作为网络工程师,需要了解本任务所涉及的以下几方面知识。

### 3.2.1 路由器和网络层

路由器的主要用途是连接多个网络,并将数据包转发到自身的网络或其他网络。由于路由器的主要转发决定是根据第三层 IP 数据包(即根据目的 IP 地址)做出的,因此路由器被视为第三层设备,做出决定的过程称为路由。

路由器在第三层做出主要转发决定,但它也参与第一和第二层的过程。当路由器检查完数据包的 IP 地址,并通过查询路由表做出转发决定后,它可以将该数据包从相应接口朝着其目的地转发出去。路由器会将第三层 IP 数据包封装到对应送出接口的第二层数据链路帧的数据部分。帧的类型可以是以太网、HDLC 或其他第二层封装,即对应特定接口上所使用的封装类型。第二层帧会编码成第一层物理信号,这些信号用于表示物理链路上传输的位。

图 3.1 所示说明了路由器在网络中工作的层次。PC1 工作在 OSI 参考模型的所有 7 个层次,它会封装数据,并把帧作为编码后的比特流发送到默认网关 R1。

R1 在相应接口接收编码后的比特流。比特流经过解码后上传到第二层,在此由 R1 将帧解封。路由器会检查数据链路帧的目的地址,确定其是否与接收接口(包括广播地址或组播地址)匹配。如果与帧的数据部分匹配,则 IP 数据包将上传到第三层,在此由 R1 做出路由决定。然后,R1 将数据包重新封装到新的第二层数据链路帧中,并将它作为编码后的比特流从出站接口转发出去。

R2 收到比特流,然后重复上一过程。R2 将帧解封,再将帧的数据部分(IP 数据包)传递给第三层,在此 R2 做出路由决定。然后,R2 将数据包重新封装到新的第二层数据链路帧中,并将它作为编码后的比特流从出站接口转发出去。

路由器 R3 再次重复这一过程,它将封装到数据链路帧中且编码成比特流的 IP 数据包转发到 PC2。

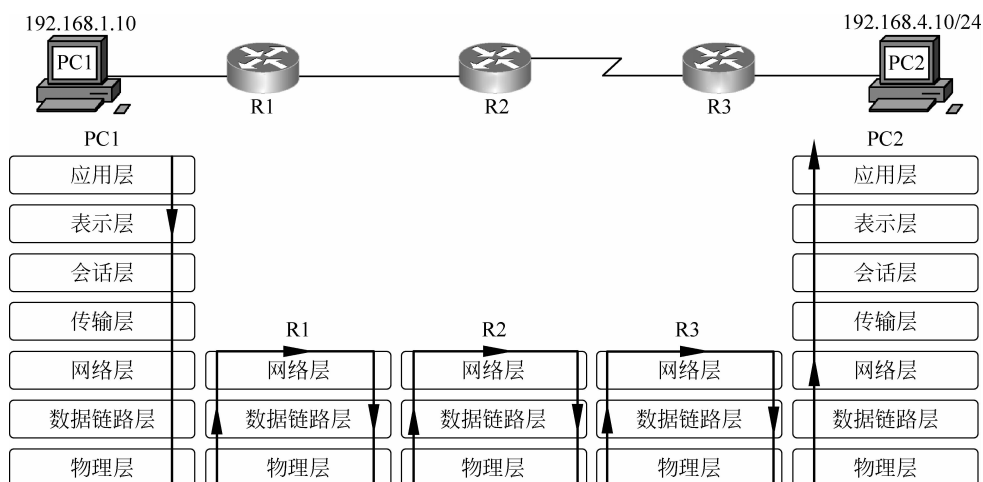


图 3.1 路由器和 OSI 模型

注：箭头指示数据在 OSI 各层的流向

在从源到目的地这一路径中，每个路由器都执行相同的过程，包括解封、搜索路由表、再次封装。

### 3.2.2 路由基础

网络层利用 IP 路由选择表将数据包从源网络发送至目的网络。路由器从一个接口接收数据包，然后根据它到达目的地的最佳路径将其转发到另外一个接口。

#### 1. 路由过程

路由是由路由器把数据从一个网络转发到另一个网络的过程。数据在网络上是以数据包为单元进行转发的。每个数据包都携带两个逻辑地址 (IP 地址)，一个是数据的源地址，另一个是数据要到达的目的地址，所以每个数据包都可以被独立地转发。下面以图 3.2 为例来解释路由的过程。

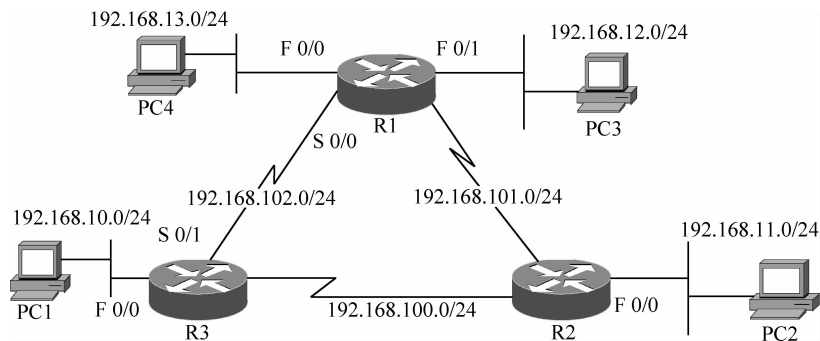


图 3.2 路由过程

在图 3.2 中，3 台路由器 R1、R2、R3 把 4 个网络连接起来，它们是 192.168.10.0/24、192.168.11.0/24、192.168.12.0/24、192.168.13.0/24，3 台路由器的互联又需要 3 个网络，它们是 192.168.100.0/24、192.168.101.0/24、192.168.102.0/24。

假设主机 PC1 向主机 PC3 发送数据,而主机 PC1 和主机 PC3 不在一个网络。主机 PC1 看不到这个图,它如何知道主机 PC3 在哪里呢? 主机 PC1 上配置了 IP 地址和子网掩码,知道自己的网络号是 192.168.10.0,它在把主机 PC3 的 IP 地址(主机 PC1 知道)与自己的掩码做“与”运算,可以得知主机 PC3 的网络号是 192.168.12.0。显然,两者不在同一个网络中。当主机 PC1 得知目的主机与自己不在同一个网络时,它只需将这个数据包送到距它最近的 R3 就可以了,这就像人们只需把信件投递到离自己最近的邮局一样。

在主机 PC1 中,除了配置 IP 地址与子网掩码外,还配置了另外一个参数——默认网关,其实就是路由器 R3 与主机 PC1 处于同一网络的接口(F 0/0)的地址。在主机 PC1 上设置默认网关的目的就是把去往不同于自己所处的网络的数据,发送到默认网关。只要找到了 F 0/0 接口,就等于找到了 R3。为了找到 R3 的 F 0/0 接口的 MAC 地址,主机 PC1 使用了地址解析协议(ARP),当获得了必要信息后,主机 PC1 就开始封装数据包。

- (1) 把 F 0/0 接口的 MAC 地址封装在数据链路层的目地址域。
- (2) 把自己的 MAC 地址封装在数据链路层的源地址域。
- (3) 把自己的 IP 地址封装在网络层的源地址域。
- (4) 把主机 PC3 的 IP 地址封装在网络层的目地址域。

然后,把数据发送出去。

当路由器 R3 收到主机 PC1 送来的数据包后,把数据包解开到第三层,读取数据包中的目的 IP 地址,然后查阅路由表决定如何处理数据。路由表是路由器工作时的向导,也是转发数据的依据。如果路由表中没有可用的路径,则路由器就会把该数据丢弃。路由表中记录有以下内容。

- (1) 已知的目标网络号(目的地网络)。
- (2) 到达目标网络的距离。
- (3) 到达目标网络应该经由自己哪一个接口。
- (4) 到达目标网络的下一台路由器的地址。

路由器使用最近的路径转发数据,把数据交给路径中的下一台路由器,并不负责把数据送到最终目的地。

在图 3.2 中,R3 有两种选择,一种选择是把数据交给 R1,另一种选择是把数据交给 R2。经由哪一台路由器到达目标网络的距离近,R3 就把数据交给哪一台。在这里,假设经由 R1 比经由 R2 近。R3 决定把数据转发给 R1,而且需要从自己的 S 0/1 接口把数据送出。为了把数据送给 R1,R3 也需要得到 R1 的 S 0/0 接口的数据链路层地址。由于 R3 和 R1 之间是广域网链路,所以它不使用 ARP,根据不同的广域网链路类型使用的方法不同。当获取了 R1 接口 S 0/0 的数据链路层地址后,R3 重新封装数据。

- (1) 把 R1 的 S 0/0 接口的物理地址封装在数据链路层的目地址域中。
- (2) 把自己的 S 0/1 接口的物理地址封装在数据链路层的源地址域中。
- (3) 网络层的两个 IP 地址没有替换。

然后,把数据发送出去。

R1 收到 R3 的数据包后所做的工作跟前面 R3 所做的工作一样(查阅路由表)。不同的是在 R1 的路由表里有一条记录,表明它的 F 0/1 接口正好和数据声称到达的网络相连,也就是说主机 PC3 所在的网络 and 它的 F 0/1 接口所在的网络是同一个网络。R1 使用 ARP

获得主机 PC3 的 MAC 地址并把它封装在数据帧头内,然后把数据传送给主机 PC3。

至此,数据传递的一个单程完成了。

主机 PC3 回应给主机 PC1 的数据经过同样的处理过程到达目的地(主机 PC1),只不过是数据包中的目的地 IP 地址是主机 PC1 的地址,先经过 R1 再到达 R3,最后到达主机 PC1。

从上面的过程可以看出,为了能够转发数据,路由器必须对整个网络拓扑有清晰的了解,并把这些信息反映在路由表里,当网络拓扑结构发生变化时,路由器也需要及时在路由表里反映出这些变化,这样的工作被看做是路由器的路由功能。路由器还有一项独立于路由功能的工作就是交换/转发数据,即把数据从进入接口转移到外出接口。

## 2. 路由器的路由动作

路由器通常用来将数据包从一条数据链路传送到另外一条数据链路。这其中使用了两项功能,即寻径和转发。

(1) 寻径功能。寻径即判定到达目的地的最佳路径,由路由选择算法来实现。为了判定最佳路径,路由选择算法必须启动并维护包含路由信息的路由表。路由选择算法将收集到的不同信息填入路由表中,根据路由表可将目的网络与下一站的关系告诉路由器。路由器间互通信息进行路由更新,更新维护路由表使之正确反映网络的拓扑变化,并由路由器根据度量来决定最佳路径,这就是路由选择协议(Routing Protocol),如路由信息协议(RIP)、内部网关路由协议(IGRP)、增强内部网关路由协议(EIGRP)以及开放式最短路径优先(OSPF)等路由选择协议。

(2) 转发功能。转发即沿寻径好的最佳路径传送信息分组。路由器首先在路由表中查找,判明是否知道如何将分组发送到下一个站点(路由器或主机),如果路由器不知道如何发送分组,则通常将该分组丢弃;否则,就根据路由表里的相应表项将分组发送到下一个站点,如果目的网络直接与路由器相连,则路由器就把分组直接送到相应的接口上,这就是路由转发协议(Routed Protocol),如 IP 协议、IPX 协议等。

### 3.2.3 构建路由表

路由器的主要功能是将数据包转发到目的网络,即转发到数据包目的 IP 地址。为此,路由器需要搜索存储在路由表中的路由信息。

#### 1. 路由的种类

新的路由器中没有任何地址信息,路由表也是空的,需要在使用过程中获取。根据获得地址信息的方法不同,路由可分为直连路由、静态路由和动态路由 3 种。

(1) 直连路由。直连网络就是直连到路由器某一接口的网络。当路由器接口配置有 IP 地址和子网掩码时,此接口即成为该相连网络的主机。接口的网络地址和子网掩码以及接口类型和编号都将直接输入路由表,用于表示直连网络。路由器若要将数据包转发到某一主机(如 PC2),则该主机所在的网络应该是路由器的直连网络。生成直连路由的条件有两个,即接口配置了网络地址,并且这个接口物理链路是连通的,如图 3.3 所示。

(2) 静态路由。静态路由是由网络管理员手工配置路由器中的路由信息。当网络的拓扑结构或链路的状态发生变化时,网络管理员需要手工去修改路由表中相关的静态路由信息。

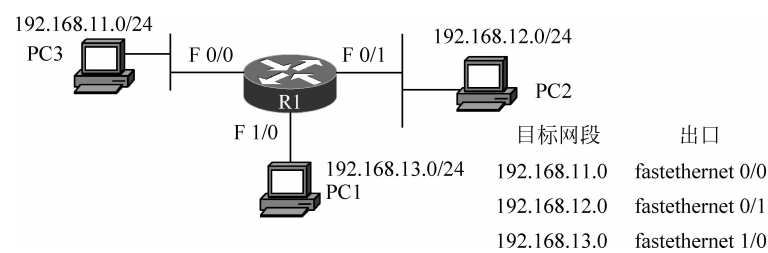


图 3.3 直连路由

(3) 动态路由。由路由器按指定的协议格式在网上广播和接收路由信息,通过路由器之间不断交换的路由信息动态地更新和确定路由表,并随时向附近的路由器广播,这种方式称为动态路由。动态路由通过检查其他路由器的信息,并根据开销、链接等情况自动决定每个包的路由途径。动态路由方式仅需要手工配置第一条或最初的极少量路由线路,其他的路由途径则由路由器自动配置。由于动态路由较具灵活性,使用配置简单,故成为目前主要的路由类型。

2. 路由表

路由表是保存在 RAM 中的数据文件,其中存储了与直连网络以及远程网络相关的信息。路由表包含网络与下一跳的关联信息。这些关联告知路由器要以最佳方式到达某一目的地,可以将数据包发送到特定路由器(即在到达最终目的地的途中的“下一跳”)。下一跳也可以关联到通向最终目的地的外发或送出接口。

使用 show ip route 命令可以显示路由器的路由表。在图 3.2 所示的网络中,查看路由表如下:

```
router# 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, ia-IS-IS inter area
       * -candidate default, U-per-user static route, o-ODR
       P-periodic downloaded static route
Gateway of last resort is not set
C    192.168.11.0/24 is directly connected, FastEthernet 0/0
C    192.168.12.0/24 is directly connected, FastEthernet 0/1
C    192.168.13.0/24 is directly connected, FastEthernet 1/0
router#
```

在上述显示的路由表中,可以分成以下两部分。

(1) Codes 部分。

- ① C-connected: 表示直接连接路由,路由器的某个接口设置/连接了某个网段之后,就会自动生成。
- ② S-static: 静态路由,由系统管理员通过手工设置后生成。
- ③ I-IGRP: IGRP 协议协商生成的路由。
- ④ R-RIP: RIP 协议协商生成的路由。

- ⑤ B-BGP: BGP 协议协商生成的路由。
- ⑥ D-EIGRP: EIGRP 协议协商生成的路由。
- ⑦ EX-EIGRP external: 扩展 EIGRP 协议协商生成的路由。
- ⑧ O-OSPF: OSPF 协议协商生成的路由。

.....

(2) 路由表的实体。在这一部分的每一行,从左到右包含如下内容:路由的类型(Codes)、目的网段(网络地址)、优先级(由[AD,度量值(Metric)]组成)、下一跳 IP 地址(Next-hops)等。

① C: 指示路由信息的来源是直接相连网络、静态路由还是动态路由协议。C 表示直接相连网络。

② 192.168.11.0/24: 这是直接相连网络或远程网络的网络地址和子网掩码。在这里,路由表的 3 个条目,即 192.168.11.0/24、192.168.12.0/24 和 192.168.13.0/24 都是直接相连网络。

③ FastEthernet 0/0: 路由条目末尾的信息,表示送出接口或下一跳路由器的 IP 地址。在这里,FastEthernet 0/0、FastEthernet 0/1 和 FastEthernet 1/0 都是用于到达这些网络的送出接口。

当路由表包含远程网络的路由条目时,还会包含额外的信息,如路由度量(Metric)和管理距离(Administrative Distance,AD),在后面会继续介绍。

### 3.2.4 静态路由

#### 1. 静态路由的特点

静态路由是由网络管理员手工输入到路由器的,当网络拓扑发生变化而需要改变路由时,网络管理员就必须手工改变路由信息,不能动态反映网络拓扑。

静态路由不会占用路由器的 CPU、RAM 和线路的带宽。同时,静态路由也不会把网络的拓扑暴露出去。

通过配置静态路由,用户可以人为地指定对某一网络访问时所要经过的路径。通常,只能在网络路由相对简单、网络与网络之间只能通过一条路径路由的情况下使用静态路由。如从一个网络路由到末端网络,一般使用静态路由。末端网络是只能通过单条路由访问的网络。如图 3.4 所示,任何连接到 R1 的网络都只能通过一条路径到达其他目的地,无论其目的网络是与 R2 直连还是远离 R2。因此,网络 112.16.30.0 是一个末端网络,而 R1 是末端路由器。

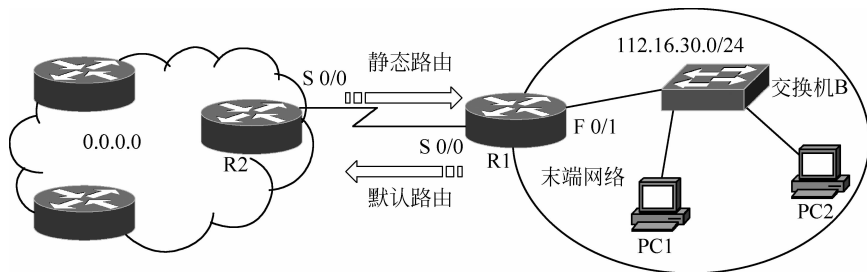


图 3.4 静态路由应用于末端网络

注：末端网络又称末接网络、边界网络、边缘网络、存根网络。

## 2. 静态路由的配置

(1) 在全局配置模式下，建立静态路由的命令格式为

```
router(config) # ip route destination-network network-mask {next-hop-address | interface}
```

其中：

① destination-network：所要到达的目标网络号或目标子网号。

② network-mask：目标网络的子网掩码。可对此子网掩码进行修改，以汇总一组网络。

③ next-hop-address：到达目标网络所经由的下一跳路由器的 IP 地址，即相邻路由器的接口地址。

④ interface：将数据包转发到目的网络时使用的送出接口（用于到达目标网络的本机出口）。

(2) 可以使用 no ip route 命令来删除静态路由。

(3) 可以使用 show ip route 命令来显示路由器中的路由表。

(4) 可以使用 show running-config 命令来检查静态路由。

### 3.2.5 汇总静态路由

在路由器的路由表中，可能会有一种针对目的网络或减少了的特定路由表项的一部分的相同网络的特殊路由，这种减少了的特定路由表项可以是汇总路由或默认路由。

#### 1. 汇总路由的概念

汇总路由是一条可以用来表示多条路由的单独路由。汇总路由一般是具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，前提是符合以下条件。

(1) 目的网络可以汇总成一个网络地址。

(2) 多条静态路由都使用相同的送出接口或下一跳 IP 地址，这称为路由汇总，有时也被称作路由总结。

#### 2. 汇总路由的优点

较小的路由表可以使路由表查找过程更加有效率，这是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，则可减小路由表。在许多情况中，一条静态路由可用于代表数十、数百甚至数千条路由。

可以使用一个网络地址代表多个子网，例如 10.0.0.0/16、10.1.0.0/16、10.2.0.0/16、10.3.0.0/16、10.4.0.0/16、10.5.0.0/16 一直到 10.255.0.0/16，所有这些网络都可以用一个网络地址代表：10.0.0.0/8。

#### 3. 汇总路由

例如，在一台路由器 R3 上有 3 条静态路由。这 3 条路由都通过相同的 Serial 0/0/1 接口转发通信。R3 上的这 3 条静态路由分别如下：

```
ip route 172.16.1.0 255.255.255.0 Serial 0/0/1
ip route 172.16.2.0 255.255.255.0 Serial 0/0/1
ip route 172.16.3.0 255.255.255.0 Serial 0/0/1
```

如果可能,希望将所有这些路由汇总成一条静态路由。172.16.1.0/24、172.16.2.0/24 和 172.16.3.0/24 可以汇总成 172.16.0.0/22 网络。因为所有 3 条路由使用相同的送出接口,而且它们可以汇总成一个 172.16.0.0 255.255.252.0 网络,所以可以创建一条汇总路由。

创建汇总路由 172.16.0.0/22 的过程如下,如图 3.5 所示。

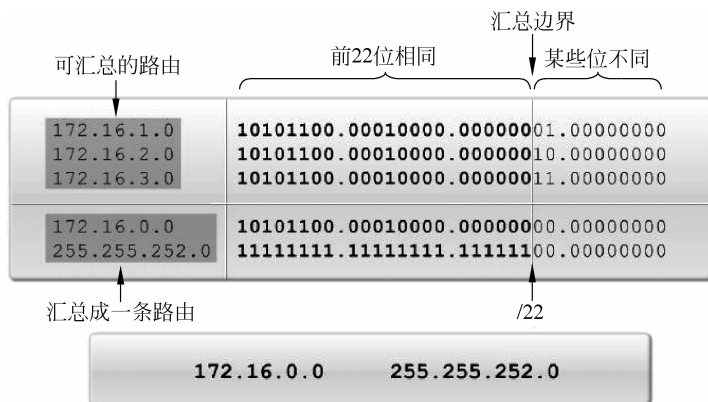


图 3.5 路由汇总

- (1) 以二进制格式写出想要汇总的网络。
- (2) 找出用于汇总的子网掩码,从最左侧的位开始。
- (3) 从左向右,找出所有连续匹配的位。
- (4) 当发现有位不匹配时,立即停止,当前所在的位即为汇总边界。
- (5) 现在,计算从最左侧开始的匹配位数,本例中为 22,该数字即为汇总路由的子网掩码,本例中为 /22 或 255.255.252.0。

- (6) 找出用于汇总的网络地址,方法是复制匹配的 22 位并在其后用 0 补足 32 位。

通过上述步骤,便可将 R3 上的 3 条静态路由汇总成一条静态路由,该路由使用汇总网络地址 172.16.0.0 255.255.252.0。

```
ip route 172.16.0.0 255.255.252.0 Serial 0/0/1
```

#### 4. 配置汇总路由

要使用汇总路由,必须首先删除当前的 3 条静态路由。

```
r3(config) # no ip route 172.16.1.0 255.255.255.0 serial 0/0/1
r3(config) # no ip route 172.16.2.0 255.255.255.0 serial 0/0/1
r3(config) # no ip route 172.16.3.0 255.255.255.0 serial 0/0/1
```

接下来,配置汇总静态路由。

```
r3(config) # ip route 172.16.0.0 255.255.252.0 serial 0/0/1
```

### 3.2.6 默认路由

#### 1. 默认路由的概念

默认路由是指路由器没有明确路由可用时所采纳的路由,或者叫最后的可用路由。当路由器不能用路由表中的一个更具体条目来匹配一个目的网络时,它就将使用默认路由,即“最后的可用路由”。实际上,路由器用默认路由来将数据包转发给另一台路由器,这台新的路由器要么有一条到目的地的路由,要么有自己到另一台路由器的默认路由;同时这台新的路由器依次要么有具体路由,要么有另一条默认路由,以此类推。最后,数据包应该被转发到真正有一条到目的地网络的路由器上。若没有默认路由,则目的地址在路由表中无匹配表项的包将被丢弃。

默认路由一般处于整个网络的末端路由器上,这台路由器被称为默认网关,它负责所有的向外连接任务,默认路由也需要手工配置。

默认路由可以尽可能地将路由表的大小保持得很小,使路由器能够转发目的地为任何 Internet 主机的数据包,而不必为每个 Internet 网络都维护一个路由表条目。

默认路由可由管理员静态地输入或者通过路由选择协议动态选择。

#### 2. 默认路由的命令

默认路由通常有以下两种。

##### (1) 0.0.0.0 路由

创建一条到 0.0.0.0/0 的 IP 路由是配置默认路由的最简单的方法。在全局配置模式下,建立默认路由的命令格式如下:

```
router(config) # ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 {next-hop-ip | interface}
```

其中,next-hop-ip 为相邻路由器的相邻接口地址; interface 为本地物理接口号。

对于 Cisco IOS,网络 0.0.0.0/0 为最后的可用路由有特殊的意义。所有的目的地址都匹配这条路由,因为全为 0 的掩码不需要对在一个地址中的任何比特进行匹配。到 0.0.0.0/0 的路由经常被称为“4 个 0 路由”或“全零路由”。

在图 3.4 中,路由器 R1 除了与路由器 R2 相连外,不再与其他路由器相连,所以也可以为它赋予一条默认路由。假设路由器 R2 的 S 0/0 接口地址为 192.2.20.1/24。

```
router3(config) # ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.2.20.1
```

也就是说,只要没有在路由表里找到去特定目的地址的路径,则数据均被路由到地址为 192.2.20.1 的相邻路由器。

##### (2) default-network 路由

ip default-network 命令可以被用来标记一条到任何 IP 网络的路由,而不仅仅是 0.0.0.0/0,作为一条候选默认路由,其命令语法格式如下:

```
router(config) # ip default-network network
```

候选默认路由在路由表中是用星号来标注的,并且被认为是最后的网关。

## 3.3 方案设计

针对客户提出的要求,公司网络工程师计划通过同步串口线路将两个校区局域网连接到主校区的路由器上,然后再连接到互联网上(在这里用一台路由器和计算机来模拟互联网)。此时,分别对路由器的接口分配 IP 地址,并配置静态路由,这样对校园网内的各主机设置 IP 地址及网关就可以相互通信了。

## 3.4 项目实施

### 3.4.1 项目目标

通过本项目的实现,使学生掌握以下技能。

- (1) 能够配置路由器的名称、控制台口令、超级密码。
- (2) 能够配置路由器各接口的地址。
- (3) 能够配置路由器的静态路由、默认路由。

### 3.4.2 实训任务

在实训室或 Packet Trace 中构建图 3.6 所示的网络拓扑来模拟完成本项目,并完成如下配置任务。

- (1) 配置路由器的名称、控制台口令、超级密码。
- (2) 配置路由器各接口的地址。
- (3) 配置路由器的静态路由、默认路由。

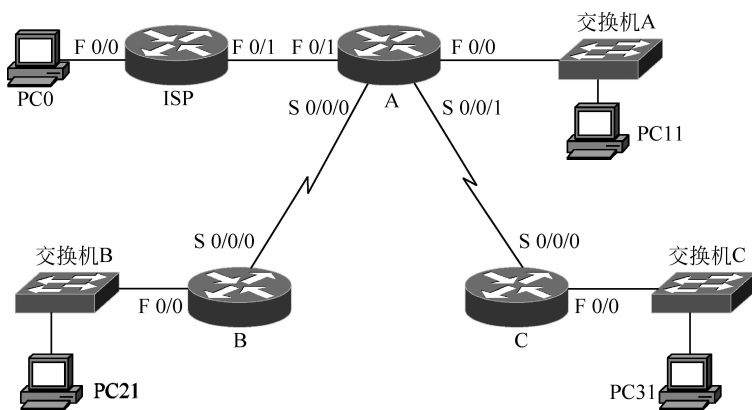


图 3.6 路由器静态路由

### 3.4.3 设备清单

为了构建图 3.6 所示的网络拓扑,需要如下网络设备。

- (1) Cisco 2811 路由器(4 台)。
- (2) Cisco Catalyst 2960 交换机(3 台)。