

本章主要介绍路由器相关的内容,分为 3 节,主要内容包括路由器基本工作原理简介、静态路由工作原理和配置、OSPF 协议原理和配置。本章内容也是一个核心知识版块,学完之后可以掌握路由器配置和维护等操作。

5.1 路由器工作原理简介

交换机通常用于企业内部组网,路由器则更多地用在网络对外连接中,实际应用场景如图 5.1 所示。

交换机根据目标 MAC 地址来转发以太网帧,收到一个以太网帧之后提取目标 MAC,然后查 MAC 地址表,找到对应接口转发出去,这是交换机的工作过程。

而路由器则根据目标 IP 来转发报文,收到一个 IP 报文后,提取目标 IP,查表(路由表),找到对应接口转发出去。

路由表里面的内容比 MAC 地址表更加丰富,下面具体介绍路由表的具体信息,如图 5.2 所示,3 个路由器连在同一个网段里,当 R1 报文去往 10.1.1.0/24 网段时,除了需要知道出口是 G0/0/0 外,还得知下一跳是 R2,而不是 R3。

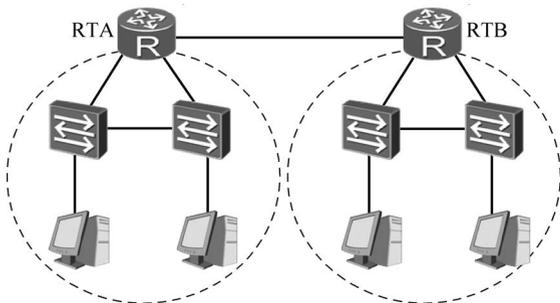


图 5.1 路由器和交换机的工作位置

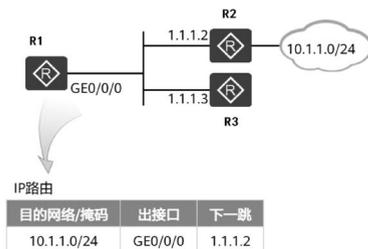


图 5.2 路由表信息

交换机的 MAC 地址表是动态学习的,收到 IP 报文或者 ARP 报文时提取报文的源 MAC 和入接口,更新到 MAC 地址表中,而路由器的路由表有 3 个来源,分别是直连、静态、



20min

动态。

直连路由来源如图 5.3 所示,路由器接口配置了 IP 地址和掩码之后,直接在路由表中添加一条路由,并标注路由来源是直连。如果接口处于 down 状态,则路由条目会被移除。

静态路由来源如图 5.4 所示,R1 上使用命令配置一条去往 30.1.1.0/24 网段的路由。路由器会添加一条路由,并标注路由来源为静态路由。

动态路由来源如图 5.5 所示,使用路由协议动态地学习路由条目并将学到的对应路由来源标注为 OSPF。

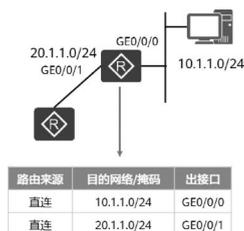


图 5.3 直连路由

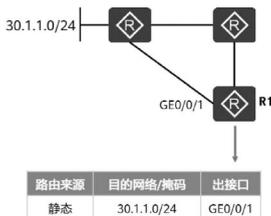


图 5.4 静态路由

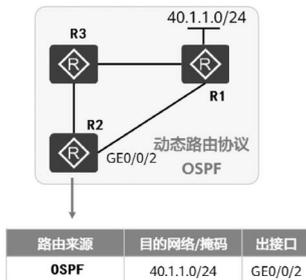


图 5.5 动态路由

如果路由器上配置了 OSPF,并配置了静态路由,则该怎样标注路由来源呢?例如 R2 上通过 OSPF 学习到了 40.1.1.0/24 网段,然后又配置了一条静态路由去往 40.1.1.0/24,此时路由将使用 OSPF 学习到的路由,该条路由的来源显示为 OSPF。

这是因为不同路由来源有不同的优先级,数值越低优先级越高,如图 5.6 所示,OSPF 的优先级高于静态路由,所以会被优先使用。

| 路由类型 | Direct | OSPF | Static | RIP |
|------|--------|------|--------|-----|
| 管理距离 | 10 | 10 | 60 | 100 |

图 5.6 路由优先级

当路由器学习到一个新条目时,处理过程如图 5.7 所示,先使用网段/掩码在自身路由表中查找,如果找到相同条目,则比较优先级,优先级高的条目加入路由表中,如果找不到相同条目,则直接放到路由表中。

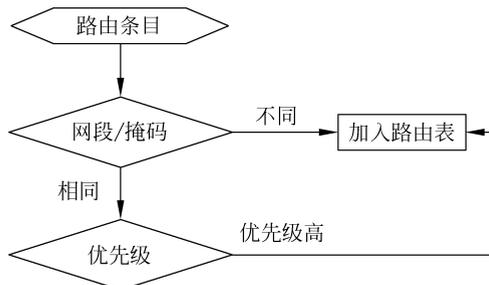


图 5.7 路由条目更新过程

路由器组成的网络中允许环路存在,如图 5.8 所示,RTA 通过 OSPF 学到两条路由去往 10.0.0.0/30 网段,但是开销不一样,一条开销为 20;另一条开销为 10,RTA 优先将开销小的路由条目放入路由表中,报文转发时使用开销最小的路径。

通过 `display ip routing-table` 命令可以查询路由表,为了方便说明,左边给每个条目做了编号,如图 5.9 所示。

(1) Destination/Mask: 目标网段和掩码,用来匹配 IP 报文里的目标 IP。

(2) Proto: 路由来源,有直连路由(Direct)、静态路由(Static)、动态路由(RIP、OSPF)。



图 5.8 路由开销

```
[Huawei]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public Destinations : 2          Routes : 2
Destination/Mask Proto Pre Cost Flags NextHop Interface
1 0.0.0.0/0      Static 60 0   D   120.0.0.2 Serial1/0/0
2 8.0.0.0/8      RIP    100 3   D   120.0.0.2 Serial1/0/0
3 8.0.0.0/8      OSPF   10  50  D   20.0.0.2 Ethernet2/0/0
4 10.1.1.0/30    OSPF   10  4   D   20.1.1.2 G0/0/0
5 11.0.0.0/8     Static 60 0   D   120.0.0.2 Serial2/0/0
6 20.0.0.0/8     Direct 0  0   D   20.0.0.1 Ethernet2/0/0
7 20.0.0.1/32    Direct 0  0   D   127.0.0.1 LoopBack0
```

图 5.9 路由表

(3) Pre: 路由优先级(Preference),和 Proto 有映射关系,直连路由的优先级为 0,通过 OSPF 学来的优先级是 10,通过 RIP 学来的优先级是 100。数值越小优先级越高,直连路由的优先级最高。

(4) Cost: 路径开销,从本路由器到达目标网段的总开销,跟路径上的带宽和跳数有关。

(5) Flags: 路由标识,通常是 D,指的是已经下发到 FIB(Forwarding Information Base),FIB 是路由器里面另外一张更详细的表,跟机器硬件实现有关,真正指导报文转发的是 FIB 表。

(6) NextHop: 下一跳的 IP 地址。

(7) Interface: 当前路由器的出接口。

路由器具体是如何使用路由表的呢?首先是最长匹配原则,如图 5.10 所示。RTA 收到一个去往 10.1.1.4 的 IP 报文,查路由表时里面有两个条目都能匹配,第 1 个条目匹配 2 字节,第 2 个条目匹配 3 字节。第 2 条匹配更精准,因此会优选 10.1.1.0/24 这个路由条目。

如果有多条路由的目标网段一样,则使优先级最高的路由生效,路由表中只能看到一条

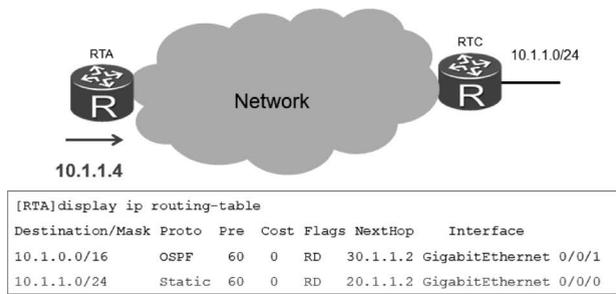


图 5.10 路由最长匹配

路由。如果目标网段一样,优先级也一样,则比较开销,使开销最小的路由生效。

如果目标网段、路由来源、开销(Cost)也一样,则该怎么办,如图 5.11 所示,RTA 去往 10.1.1.0 有两条路径都是通过 OSPF 学来的,开销也一样。

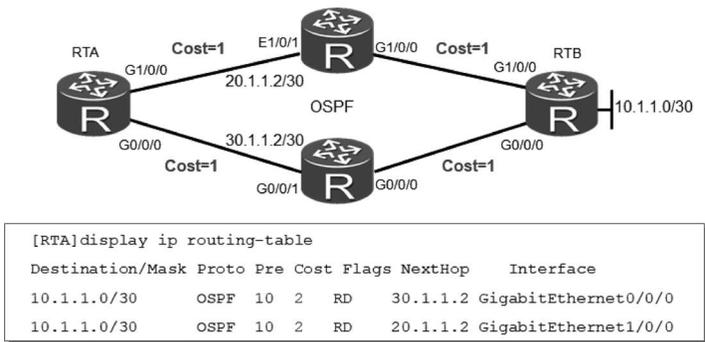


图 5.11 等价路由

此时两条路径同时生效,而且都会转发业务报文,形成等价路由,RTA 可以通过一定的规则来分配流量,例如根据目标 MAC 或者目标 IP,通过一定的算法算出一个值,然后决定流量采用上面的路径还是采用下面的路径。等价路由的两个条目都会出现在路由表里,如图 5.12 所示。

```

[RTB]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public Destinations : 13 Routes : 14
Destination/Mask Proto Pre Cost Flags NextHop Interface
.....
10.1.1.0/24 Static 60 0 RD 10.0.12.1 GigabitEthernet 0/0/0
10.1.1.0/24 Static 60 0 RD 20.0.12.1 GigabitEthernet 0/0/1
  
```

图 5.12 等价路由的路由表

总结一下路由器的转发规则,收到一个报文后,提取目标 IP,然后查找路由表:

- (1) 匹配目标网段和掩码,选择最长匹配的路由条目。
- (2) 如果有多条最长匹配一样的条目,则比较优先级,选择优先级最高的条目。

- (3) 如果有多条优先级一样的条目,则比较开销,选择开销最小的条目。
- (4) 如果有多条开销一样的条目,则形成等价路由,同时使它们生效。

5.2 静态路由工作原理与配置

路由表的路由来源可以分为 3 类,第一类是直连路由,第二类是静态路由,第三类是动态路由(OSPF、RIP),其中直连路由不需要配置,只要给路由器接口配置了 IP 地址就会自动添加一条直连路由,静态路由和动态路由需要配置才能学到,下面介绍静态路由的原理和配置。

静态路由是指由管理员手动配置和维护的路由,静态路由配置简单,并且无须像动态路由那样占用路由器的 CPU 资源来计算和分析路由更新。

静态路由的缺点在于,当网络拓扑发生变化时,静态路由不会自动适应拓扑的变化,而是需要管理员手动进行调整,在稍微复杂点的网络中维护不方便。

静态路由一般适用于结构简单的网络。在复杂网络环境中,一般会使用动态路由协议来生成动态路由。不过,即使是在复杂网络环境中,合理地配置一些静态路由也可以提高网络的性能。

主机 A 和主机 B 之间有两个路由器 RTA、RTB,主机 A 的 IP 地址是 192.168.1.2,主机 B 的 IP 地址是 192.168.2.2,如图 5.13 所示。

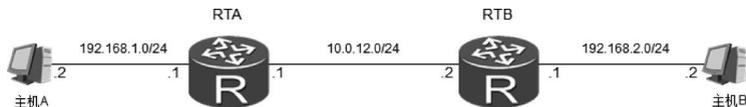


图 5.13 静态路由示例

各个主机和路由器配置好接口 IP 地址之后,查询路由器 B 的路由表,如图 5.14 所示,总共 6 条直连路由,其中第 1、第 2、第 5、第 6 条这 4 条直连路由在配置了接口 IP 地址之后自动学到(仔细观察掩码的区别),第 3 条和第 4 条路由默认就有,是本地环回地址。

```
[RTB]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public
  Destinations : 6          Routes : 6

Destination/Mask    Proto    Pre  Cost           Flags NextHop         Interface
-----
 10.0.12.0/24      Direct   0    0                D   10.0.12.2           Ethernet0/0/1
 10.0.12.2/32      Direct   0    0                D   127.0.0.1           Ethernet0/0/1
 127.0.0.0/8       Direct   0    0                D   127.0.0.1           InLoopBack0
 127.0.0.1/32      Direct   0    0                D   127.0.0.1           InLoopBack0
 192.168.2.0/24    Direct   0    0                D   192.168.2.1        Ethernet0/0/0
 192.168.2.1/32    Direct   0    0                D   127.0.0.1           Ethernet0/0/0
```

图 5.14 路由表状态

此时,主机 B ping 主机 A 的 IP 地址: 192.168.1.2,报文到达 RTB,查路由表时无法匹配任何条目,因此报文会被丢弃。为了让 RTB 能把报文交给 RTA,就必须给 RTB 添加个



34min

路由条目。

在路由器 B 上通过命令 `ip route-static` 来添加静态路由,这个命令有 3 个参数,第 1 个是目标网段,告诉路由器这是要去往哪里的;第 2 个是目标网段对应的掩码;第 3 个是下一跳 IP 地址,告诉路由器报文要转发给谁,填的是对方路由器的接口 IP,如图 5.15 所示。

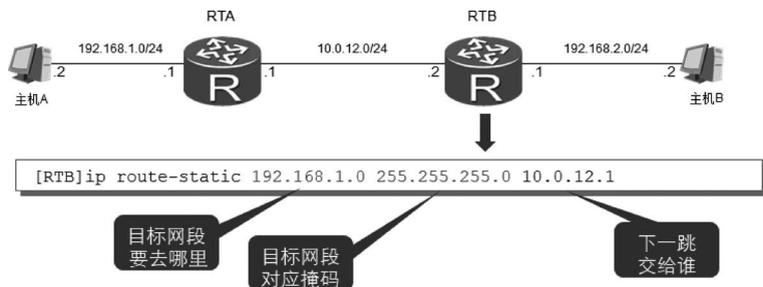


图 5.15 配置静态路由

配置了这条静态路由之后,RTB 就多了一个路由条目,如图 5.16 所示,倒数第 3 条就是手动配置的静态路由,Protocol 是 static,优先级为 60。

```
[RTB]ip route-static 192.168.1.0 255.255.255.0 10.0.12.1
[RTB]disp ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public
  Destinations : 7          Routes : 7

Destination/Mask    Proto    Pre    Cost    Flags NextHop         Interface
-----
10.0.12.0/24       Direct   0      0        D   10.0.12.2         Ethernet0/0/1
10.0.12.2/32       Direct   0      0        D   127.0.0.1         Ethernet0/0/1
127.0.0.0/8        Direct   0      0        D   127.0.0.1         InLoopBack0
127.0.0.1/32       Direct   0      0        D   127.0.0.1         InLoopBack0
192.168.1.0/24     Static   60     0        RD  10.0.12.1         Ethernet0/0/1
192.168.2.0/24     Direct   0      0        D   192.168.2.1       Ethernet0/0/0
192.168.2.1/32     Direct   0      0        D   127.0.0.1         Ethernet0/0/0
```

图 5.16 RTB 的路由表(1)

此时,主机 B 再 ping 主机 A 的 IP 地址: 192.168.1.2,RTB 收到该报文后,查路由表可以命中 192.168.1.0/24 这个条目,接着就发给 NextHop: 10.0.12.1,将报文转交给 RTA。

RTA 收到该报文后,也查自己的路由表,如图 5.17 所示,192.168.1.0/24 是 RTA 的直连路由,因此可以命中路由表,并将报文转交主机 A。

此时只配置了 RTB 的静态路由,主机 B ping 主机 A 并不能成功,因为 ping 命令其实包括了 ICMP 里面的 Echo Request 和 Echo Reply 两个方向的报文,主机 A 收到 Echo Request 之后还要回 Echo Reply 给主机 B,主机 B 收到 Echo Reply 才算成功。

在主机 A 回的报文里面,目标 IP 是主机 B 的 IP 地址: 192.168.2.2,该报文到达 RTA 时,RTA 查路由表无法匹配任何条目,报文被丢弃,同样地,为了让报文通过,还得在 RTA 上添加一个静态路由,如图 5.18 所示。

```
[RTA]disp ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public
      Destinations : 6          Routes : 6

Destination/Mask    Proto  Pre  Cost    Flags NextHop         Interface
-----
10.0.12.0/24       Direct  0    0        D  10.0.12.1       Ethernet0/0/1
10.0.12.1/32       Direct  0    0        D  127.0.0.1       Ethernet0/0/1
127.0.0.0/8        Direct  0    0        D  127.0.0.1       InLoopBack0
127.0.0.1/32       Direct  0    0        D  127.0.0.1       InLoopBack0
192.168.1.0/24     Direct  0    0        D  192.168.1.1    Ethernet0/0/0
192.168.1.1/32     Direct  0    0        D  127.0.0.1       Ethernet0/0/0
```

图 5.17 RTA 的路由表(2)

```
[RTA]ip route-static 192.168.2.0 255.255.255.0 10.0.12.2
[RTA]display ip routing-ta
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public
      Destinations : 7          Routes : 7

Destination/Mask    Proto  Pre  Cost    Flags NextHop         Interface
-----
10.0.12.0/24       Direct  0    0        D  10.0.12.1       Ethernet0/0/1
10.0.12.1/32       Direct  0    0        D  127.0.0.1       Ethernet0/0/1
127.0.0.0/8        Direct  0    0        D  127.0.0.1       InLoopBack0
127.0.0.1/32       Direct  0    0        D  127.0.0.1       InLoopBack0
192.168.1.0/24     Direct  0    0        D  192.168.1.1    Ethernet0/0/0
192.168.1.1/32     Direct  0    0        D  127.0.0.1       Ethernet0/0/0
192.168.2.0/24     Static  60   0        RD  10.0.12.2       Ethernet0/0/1
```

图 5.18 RTA 的路由表(3)

配置好 RTA、RTB 的静态路由之后,主机 B 就可以成功 ping 主机 A 了,如图 5.19 所示。

主机 A、主机 B 除了要配置 IP 地址、子网掩码之外,还要配置网关 IP,如图 5.20 所示。

```
PC>ping 192.168.1.2

Ping 192.168.1.2: 32 data bytes, Press Ctrl_C to break
From 192.168.1.2: bytes=32 seq=1 ttl=126 time=94 ms
From 192.168.1.2: bytes=32 seq=2 ttl=126 time=78 ms
From 192.168.1.2: bytes=32 seq=3 ttl=126 time=31 ms
From 192.168.1.2: bytes=32 seq=4 ttl=126 time=47 ms
From 192.168.1.2: bytes=32 seq=5 ttl=126 time=47 ms

--- 192.168.1.2 ping statistics ---
 5 packet(s) transmitted
 5 packet(s) received
 0.00% packet loss
 round-trip min/avg/max = 31/59/94 ms
```

图 5.19 主机 B 成功 ping 主机 A

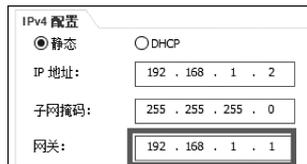


图 5.20 给主机配置网关 IP 地址

配置静态路由时需要记好 3 个参数分别填什么内容,另外在问题定位分析时牢记一个原则:由于路由器根据路由表来转发,当没有查到匹配的路由条目时就会丢弃报文,所以遇到业务不通时多分析一下路由表的状态,包括来回两个方向的路径。

静态路由除了有普通路由功能外,还有以下 3 种重要用途:负载分担、路由备份、默认路由。

负载分担如图 5.21 所示,RTA 和 RTB 之间有两条链路,可以让两条链路同时工作,以增加路由器之间的带宽。

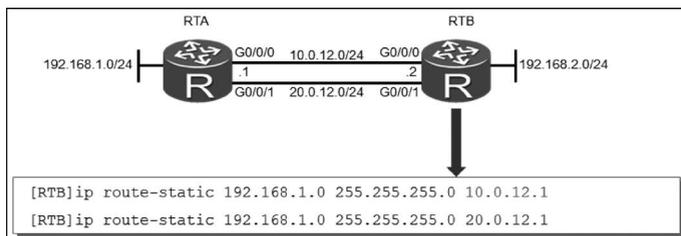


图 5.21 负载分担应用场景

在路由器 B 上配置两条静态路由，目标网段和掩码一样，但是下一跳不一样，配置之后查询 RTB 的路由表，如图 5.22 所示，第 2 条路由的 Destination/Mask 为空，表示和上面一条一样。在实际转发业务时，RTB 会根据一定的算法将流量分布到两条链路上。

```
[RTB]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public Destinations : 13 Routes : 14
Destination/Mask Proto Pre Cost Flags NextHop Interface
.....
192.168.1.0/24 Static 60 0 RD 10.0.12.1 GigabitEthernet 0/0/0
                  Static 60 0 RD 20.0.12.1 GigabitEthernet 0/0/1
```

图 5.22 等价路由条目

RTA 的配置和路由表状态和 RTB 类似。

路由备份如图 5.23 所示，RTA 和 RTB 之间有两条链路，可以让一条链路工作，让另外一条处于备份状态，如果工作链路发生故障，则备份链路马上进入工作状态。

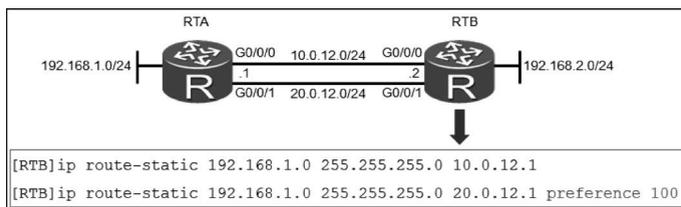


图 5.23 路由备份工作场景

RTB 配置了两条到达 192.168.1.0 网段的静态路由，目标网段和掩码一样，但是优先级不一样，静态路由的默认优先级是 60，可以通过参数 preference 修改优先级，例如第 2 条静态路由的优先级被修改成 100，选择最高优先级的那一条，如图 5.24 所示，路由表中只有一条路由生效。

```
[RTB]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public Destinations : 13 Routes : 14
Destination/Mask Proto Pre Cost Flags NextHop Interface
.....
192.168.1.0/24 Static 60 0 RD 10.0.12.1 GigabitEthernet0/0/0
```

图 5.24 RTB 的路由表

将主链路停掉,备份链路会马上进入工作状态,如图 5.25 所示。

```
[RTB]interface GigabitEthernet 0/0/0
[RTB-GigabitEthernet 0/0/0]shutdown
[RTB]display ip routing-table
-----
Routing Tables: Public  Destinations : 13      Routes : 14
Destination/Mask Proto Pre Cost Flags NextHop Interface
.....
192.168.1.0/24 Static 100 0 RD 20.0.12.1 GigabitEthernet 0/0/1
```

图 5.25 主备链路切换

默认路由,当路由器查路由表时,如果没有匹配的条目就会将报文丢弃,设备可以配置默认路由作为报文的转发路径。在路由表中,默认路由的目的网络地址为 0.0.0.0,掩码也为 0.0.0.0,如图 5.26 所示,RTA 配置一条缺省路由,任何在路由表里找不到匹配条目的报文都会被交给 RTB。

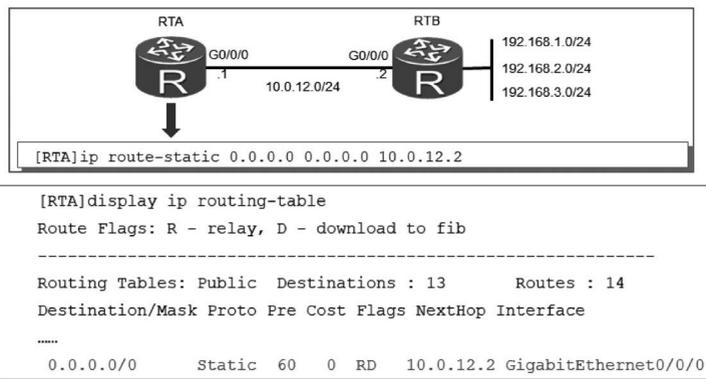


图 5.26 默认路由

在 3 个路由器的场景下配置静态路由,如图 5.27 所示。

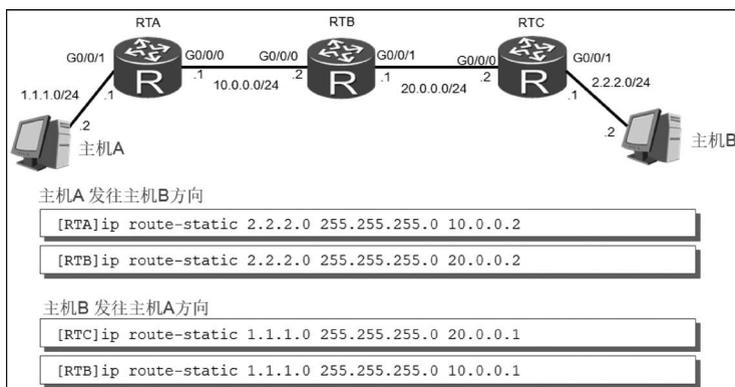


图 5.27 多路由器场景下配置静态路由

静态路由通常用于小型网络,当拓扑变化时不能动态调整,使用不灵活,除了路由功能外,静态路由还有几个特殊功能,分别为负载分担、路由备份、默认路由。



60min

5.3 OSPF 协议原理与配置

常用的路由协议有 3 种: RIP、OSPF、ISIS,其中 RIP 早期比较常用,但是有一些弊端,现在的网络基本不用 RIP,华为新版路由交换 HCIA 课程也将 RIP 去掉了。现在网络常用的协议是 OSPF 和 ISIS,其中 ISIS 协议在 HCIP 课程里介绍,HCIA 课程里只介绍 OSPF。

开放式最短路径优先(Open Shortest Path First,OSPF)具有收敛快、效率高、扩展性好等特点,目前得到广泛应用。

5.3.1 OSPF 基本概念

路由器 ID: 每个路由都有一个编号,也就是路由器 ID,如图 5.28 所示,路由器 ID 的格式与 IP 地址一样,可以手动指定路由器 ID,通过[RTA]ospf router-id 1.1.1.1 命令配置。

如果不指定,启动 OSPF 进程后,则会自动指定路由器 ID,优先使用环回 IP 地址,如果没有环回 IP,则取接口 IP 值最大的那个。

OSPF 开销: OSPF 基于接口带宽计算开销,计算公式为: 接口开销 = 带宽参考值 / 带宽。带宽参考值可以配置,默认为 100Mb/s。例如一条 100Mb/s 链路的开销: $100/100=1$; 一条 10Mb/s 链路的开销: $100/10=10$ 。带宽越大,开销越小。

可以指定具体链路的开销,也可以修改全局的带宽参考值,如图 5.29 所示,

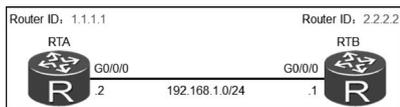


图 5.28 路由器 ID

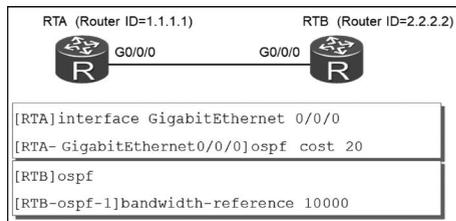


图 5.29 OSPF 开销配置

5.3.2 OSPF 基本工作原理

总共 4 个路由器,这 4 个路由器如何自动学习路由条目呢? 如图 5.30 所示,首先每个路由器会发送链路状态公告(Link State Advertisement,LSA),LSA 里面包含路由器的详细信息,例如 RTA 的 LSA 内容如下。

```

链路数量: 2
网段: 10.0.0.0      掩码: 255.0.0.0      网段开销: 10
网段: 20.0.0.0      掩码: 255.0.0.0      网段开销: 10
  
```

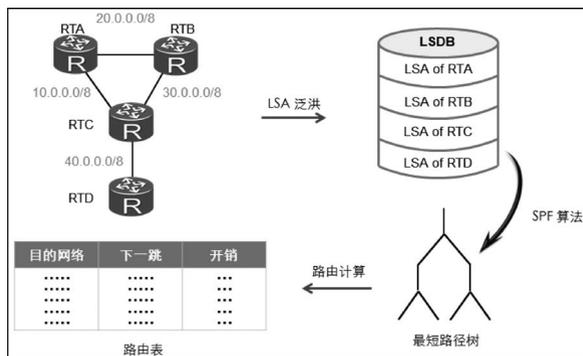


图 5.30 OSPF 计算过程

RTA 的 LSA 会发给 RTB 和 RTC,同时 RTC 还会透传给 RTD,最终 4 个路由器都有 RTA 的 LSA。同理,RTB、RTC、RTD 也会发送各自的 LSA,每个路由器会把收到的所有 LSA 放在自己的链路状态数据库(Link State Database,LSDB)里。

LSDB 稳定后,路由器使用最短路径优先(Shortest Path First,SPF)算法对 LSDB 进行计算,得出最短路径树。树根就是当前路由器,例如 RTC 计算最短路径树时,树根就是 RTC,然后计算去往各个路由器的最短路径。

得到最短路径树之后,路由器就可以算出路由表。

总结一下路由器计算路由表的大致过程:

- (1) 发出 LSA,并泛洪到各个路由器。
- (2) 收集 LSA,保存到 LSDB。
- (3) 使用 SPF 算法计算最短路径树。
- (4) 根据最短路径树计算路由表。

5.3.3 OSPF 基本工作流程

OSPF 基本工作流程如图 5.31 所示,RTA 和 RTB 连在同一个网段。

OSPF 的工作过程有以下几个步骤。

(1) 启动: 路由器上电,接口配置了 IP 地址,并且配置了 OSPF,此时会发出 Hello 报文探测邻居,Hello 报文用的目标 IP 是组播 IP 224.0.0.5。如果同一个网段里有多个路由器,则都可以收到这个 Hello 报文,如图 5.32 所示。

(2) 建立邻居: RTA 和 RTB 互相发 Hello 报文,Hello 报文里带有本路由器相关的信息,如图 5.33 所示,Hello 报文携带左边方框里面的信息,由于第 1 个 Hello 报文里面不知道邻居是谁,所以置空,收到对方 Hello 报文后,知道邻居是谁,因此第 2 个 Hello 报文里将邻居填进去,收到第 2 个 Hello 后,邻居才算建立成功。邻居建立完成后,开始发送 LSA,同步 LSDB 数据库。

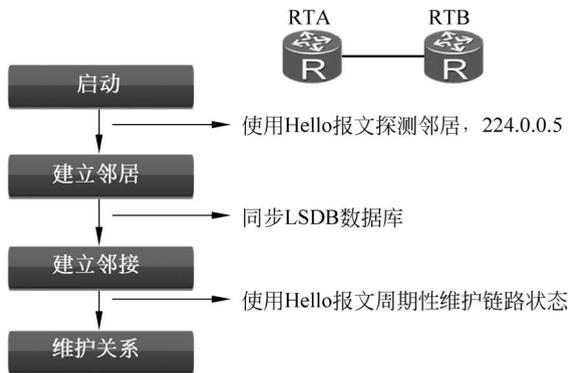


图 5.31 OSPF 基本工作流程

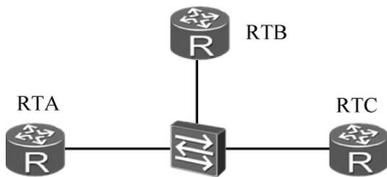


图 5.32 同网段多个路由器

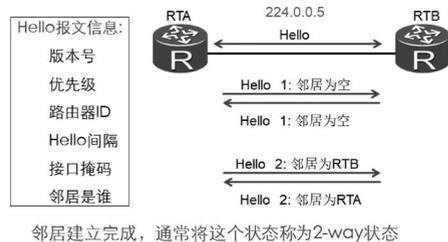


图 5.33 邻居建立过程

RTA 和 RTB 的信息必须匹配才能建立邻居, 否则会丢弃对方发送的 Hello 报文, 例如 RTA 用的版本号是 IPv4, RTB 用的版本号是 IPv6, 此时无法建立邻居。

(3) 建立邻接: 邻居建立完成后开始同步 LSDB, 同步过程如图 5.34 所示, 假设 RTA 新加入网络, 只有 RTA 的 LSA, 此时需要从 RTB 同步 LSDB。

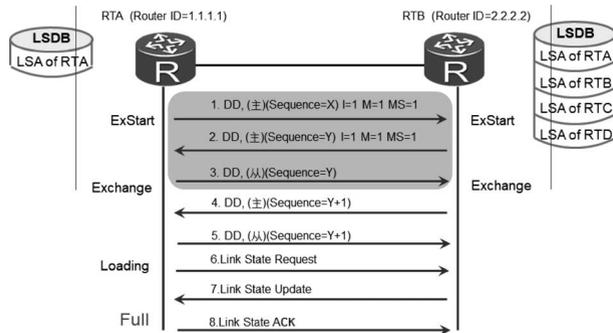


图 5.34 LSDB 同步过程

但是路由器自己并不知道缺哪条 LSA, RTA 和 RTB 都不知道对方有哪些 LSA, 此时 RTA 和 RTB 互相交互 LSDB 清单, 这个清单就是数据库摘要(Database Description, DD) 报文。

RTA 和 RTB 交互 DD 时有一个先后顺序, 路由器 ID 值大的先发送 DD, 小的后发

送,因此同步最开始需要确定主次,通过 DD 报文选出主次,此时 DD 里面并没有 LSDB 信息。

主次的选举见图 5.34 中的步骤 1、2、3,在步骤 1、2 中,RTA 和 RTB 互相发送一个 DD,该 DD 中都认为自己是主,DD 报文有一个 Sequence 编号,最开始是随机值,后面递增,后面还有 3 个标志位: I、M、MS。

I 表示 Initiate,置 1 表示这是第 1 个 DD 报文。

M 表示 More,置 1 表示后面还有 DD 报文。

MS 表示 Master,置 1 表示自己是主。

RTA 和 RTB 收到对方的 DD 之后,通过比较路由器 ID,RTA 发现 RTB 的 ID 值比较大,因此 RTB 是主,自己是从,所以 RTA 又将一个 DD 发送给了 RTB,告诉 RTB 自己是从,见步骤 3。

主从选好之后,开始交互 DD,RTB 是主,所以先发,见步骤 4、5,Sequence 都用主路由器的值,而且后面递增,所以是 $Y+1$ 。

RTA 和 RTB 收到对方 DD 之后,和自己的 LSDB 比较,RTA 发现缺了 RTB、RTC、RTD 的 LSA,所以向 RTB 请求这 3 条 LSA,见步骤 6,Link State Request 简称 LSR。

RTB 收到 LSR 后,将对应的 LSA 发送给 RTA,见步骤 7,Link State Update 简称 LSU。

RTA 收到 LSU 之后,还要发送一个 ACK,确认 LSU 已经收到,见步骤 8。

RTA 和 RTB 之间的 LSDB 同步完成后,进入 Full 状态,只有达到 Full 状态才是邻接关系。

(4) 维护关系: LSDB 同步完成后进入一个稳定状态,后面还会使用 Hello 报文来维护关系,RTA、RTB 周期性地将 Hello 报文发送给对方,例如每 10s 发一个,如果连续 3 个周期收不到对方的 Hello 报文,就可以判定对方出故障了,然后删除相应的路由条目。

5.3.4 DR 与 BDR

如果同一个网段里有多个路由器,则需要考虑同步效率的问题,如图 5.35 所示,同一个网段有 4 个路由器,两两之间同步总共需要 6 次,随着路由器数量的增加,同步次数增长很快,效率较低。

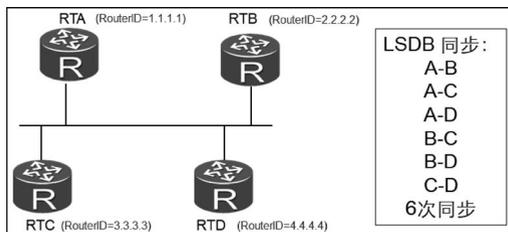


图 5.35 数据库同步次数

为了提高数据库同步的效率,需要在网段中选出一个同步中心,如图 5.36 所示,选 RTA 作为同步中心,其他路由器只跟 RTA 同步。此时同步次数可以减少到 3 次,大大提高了同步效率。RTA 通常称为指定路由器(Designated Router,DR)。

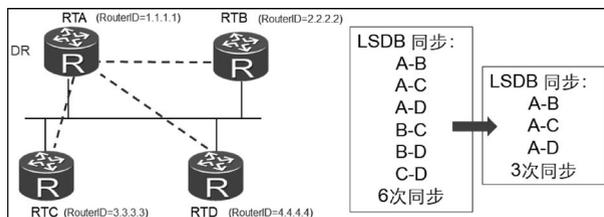


图 5.36 数据库同步中心

DR 通过路由器优先级选举,值越大,优先级越高,默认值为 1,如果优先级都一样,则比较路由器 ID,值最大的就是 DR,如图 5.37 所示。优先级可以配置,如果设置为 0,则不参加选举。DR 选举在邻居建立阶段完成,Hello 报文里带有当前路由器的优先级和路由器 ID。

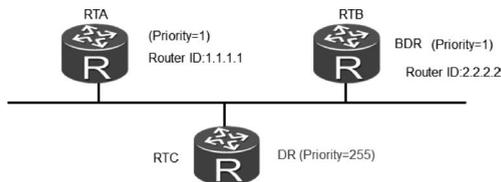


图 5.37 DR 选举

DR 是数据库同步中心,在选举 DR 的同时还会选举一个次优的路由器作为 DR 的备份,这个路由器称为 BDR(Backup DR,备份 DR),在图 5.37 中,RTC 的优先级最高,是 DR,RTA 和 RTB 的优先级一样,但是 RTB 的路由器 ID 比 RTA 大,因此 RTB 是 BDR。

如果 DR 发生故障,则 BDR 会自动成为 DR,网络中重新选举 BDR。

5.3.5 邻居和邻接的区别

成为邻居的条件是路由器达到 2-Way 状态,成为邻接的条件是数据库同步完成,如图 5.38 所示,RTA 有 3 个邻居,RTB 也有 3 个邻居,4 个路由器之间都是邻居关系。

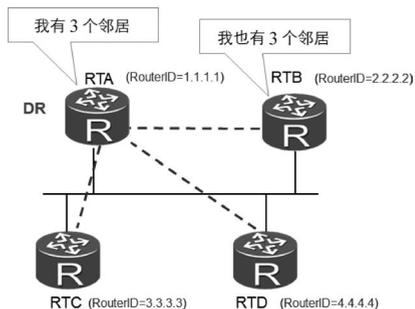


图 5.38 邻居和邻接

RTA 是 DR,与另外 3 个路由器同步数据库,RTA 与 RTB、RTC、RTD 都是邻接关系,但是 RTC 和 RTD 之间就没有直接进行数据库同步,因此 RTC 和 RTD 之间不是邻接关系。

有邻居关系的两个路由器,不一定有邻接关系,但是有邻接关系的两个路由器,一定是邻居(注意: BDR 也会与网络上所有的路由器建立邻接关系)。

OSPF 状态迁移如图 5.39 所示,可以长时间保持该状态。

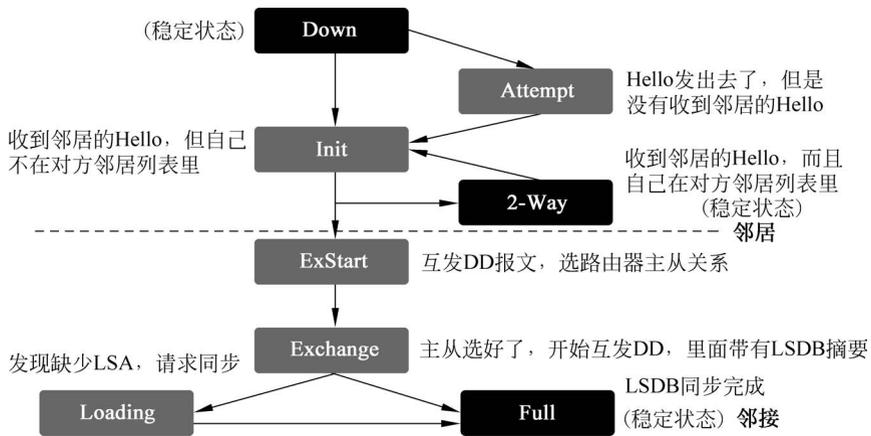


图 5.39 OSPF 状态迁移

5.3.6 OSPF 区域

OSPF 协议可以支持大型网络,在网络规模较大时会有以下问题:

- (1) LSDB 过大,占路由器内存。
- (2) LSDB 过大,计算路由时消耗太多 CPU。
- (3) 网络震荡问题,任何链路状态改变,全网路由器都需要更新 LSDB 并重新计算。

为了解决以上问题,OSPF 将网络划分为不同的区域,不同区域的路由器维护的 LSDB 不一样,如图 5.40 所示,总共有 4 个区域,分别是区域 0、1、2、3,其中区域 0 比较特殊,是骨干区域,其他区域是普通区域,OSPF 区域有以下规则:

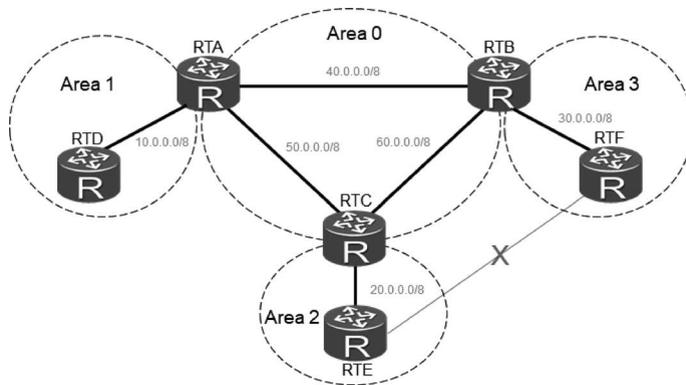


图 5.40 OSPF 区域

- (1) 普通区域必须连接到骨干区域上,图 5.40 中区域 1、2、3 都和区域 0 连接。
- (2) 普通区域不能直接互相发布路由,避免路由环路,例如 RTF 和 RTE 之间不能连在一起并在直连接口上运行 OSPF,见打叉部分连线,否则 OSPF 工作会异常。

(3) 不同区域通过路由器连接,例如 RTA,不同接口工作在不同区域。

不同区域的路由器维护的 LSDB 不一样,RTD 只需维护 RTD 和 RTA 的 LSA,但是 RTA 和 RTD 不一样,它有两个 LSDB,其中一个是区域 1 的 LSDB,里面有 RTD 和 RTA 的 LSA,另一个是区域 0 的 LSDB,里面有 RTA、RTB、RTC 的 LSA,其他路由器与此类似。

那么问题来了,RTD 没有 RTB 和 RTF 的 LSA,RTD 如何学习 30.0.0.0/8 网段路由呢?图 5.40 中 RTA、RTB、RTC 处在区域边界上,它们有一个特殊任务,需要对不同区域里面的网段进行概括并同步到彼此区域里面。

例如 RTB 会往区域 0 里面通告一个特殊的 LSA,在里面告诉 RTA 和 RTC,这里有 30.0.0.0/8 这个网段;RTA 也会往区域 1 里面通告一个类似的 LSA,告诉 RTD,这里有 30.0.0.0/8、40.0.0.0/8、50.0.0.0/8、60.0.0.0/8,同时还有 20.0.0.0/8,因为 RTC 也会通告 20.0.0.0/8。

这个特殊的 LSA 只是一个网段概括,RTD 只需了解到 RTA 有 30.0.0.0/8 这个网段就可以了,并不需要了解 RTB 和 RTF 的具体细节。

这样 RTD 既可以学习到全网的路由,又可以大大减少 LDSB 的条数。

OSPF 网络里不同路由器有不同的角色,如图 5.41 所示,不同角色的定义如下。

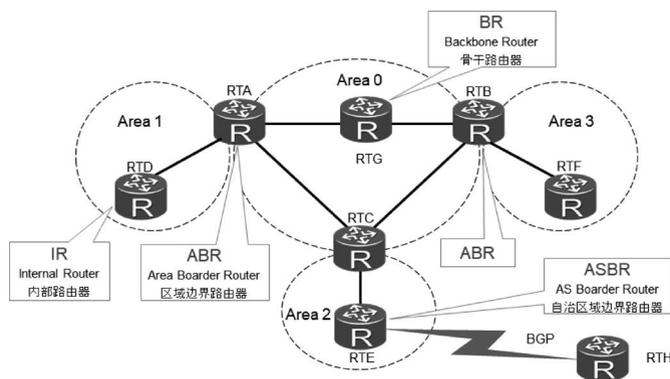


图 5.41 OSPF 路由器角色

- (1) IR: 完全处于普通区域的路由器,例如 RTD。
- (2) BR: 完全处于骨干区域的路由器,例如 RTG。
- (3) ABR: 处于两个区域之间,例如 RTA、RTB、RTC。
- (4) ASBR: 与外界互通的路由器,例如 RTE。

AS 指的是 Autonomous System,中文意思是自治系统,图 5.41 中 RTA、RTB、RTC、RTD、RTE、RTF、RTG 之间运行 OSPF,使用统一的路由协议互相学习路由信息,这组路由器就是一个 AS。

每个网络都需要和 Internet 互联,也就是说每个网络都需要有出口,和其他的 AS 连接,这个出口路由器负责往外面发布本 AS 的路由信息,同时也负责导入外面的路由信息,它是一个 AS 边界路由器。

5.3.7 OSPF 协议格式

OSPF 报文封装在 IP 报文里面,具体格式如图 5.42 所示,当 IP 头部 Protocol 字段的值为 89 时,表示里面封装的是 OSPF 报文。目标 IP 是一个组播 IP: 224.0.0.5。

因为 OSPF 报文不带接口号,因此它属于网络层协议,与 ICMP 协议处于同一个位置。

OSPF 报文格式里面又分两部分,一部分是公共头部;另一部分是具体报文内容,如图 5.43 所示,不管是哪种报文都带有一个公共头部。



图 5.42 OSPF 报文格式

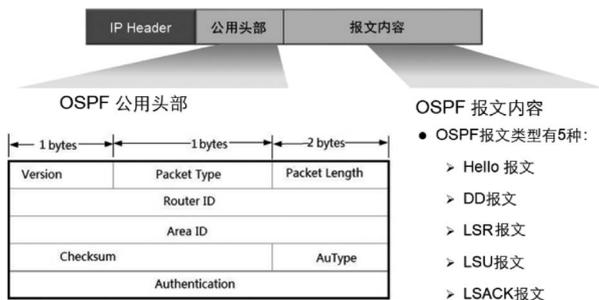


图 5.43 OSPF 报文体格式

其中 Version 用来标识这是 IPv4 还是 IPv6 协议; Packet Type 用来标识后面是什么报文,例如当 Packet Type=1 时,标识里面是 Hello 报文; Packet Length、Router ID、Area ID、Checksum 比较简单,此处就不介绍了。

AuType 指认证类型,OSPF 支持 3 种不同方式,即 0: 不认证; 1: 明文认证; 2: MD5 认证。如果需要认证,则最后 Authentication 字段填认证密钥。

认证指的是两个路由器之间的认证,双方配置必须一致才能成功建立邻居。

下面介绍 Hello 报文格式,如图 5.44 所示,该内容跟在公共头部的后面。

(1) Network Mask: 发送 Hello 报文的接口的网络掩码。

(2) Hello Interval: 发送 Hello 报文的时间间隔,单位为秒,默认为 10s。

(3) Options: 标识发送此报文的 OSPF 路由器所支持的可选功能,HCIA 课程不展开介绍。

(4) Router Priority: 发送 Hello 报文的接口的 Router Priority,用于选举 DR 和 BDR。

(5) Router Dead Interval: 失效时间。如果在此时间内未收到邻居发来的 Hello 报文,则认为邻居失效,单位为秒,通常为 4 倍 Hello Interval。

(6) Designated Router: 发送 Hello 报文的的路由器所选举出的 DR 的 IP 地址。如果设置为 0.0.0.0,则表示未选举 DR 路由器。

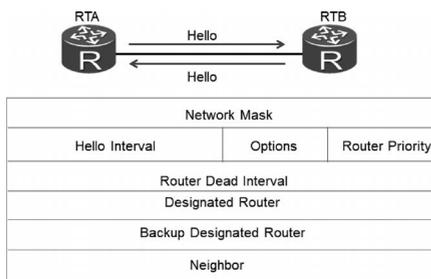


图 5.44 Hello 报文格式

(7) Backup Designated Router: 发送 Hello 报文的路由器所选举出的 BDR 的 IP 地址。如果设置为 0.0.0.0,则表示未选举 BDR。

(8) Neighbor: 邻居的 Router ID 列表,表示本路由器已经从这些邻居收到了合法的 Hello 报文。如果有多个邻居,则里面会填多个路由器 ID。

5.3.8 OSPF 配置

总共有 3 个路由器,RTA 在骨干区域 0,RTC 在普通区域 1,RTB 是 ABR,在区域 0 和区域 1 之间,如图 5.45 所示。

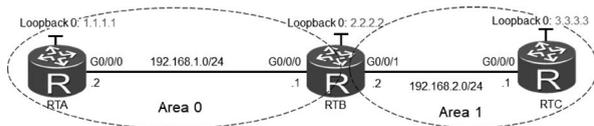


图 5.45 实验拓扑

RTA 的配置命令如图 5.46 所示,首先配置环回 IP 和接口 IP,然后配置路由器的 ID,使用命令 `ospf router-id 1.1.1.1`,通常使用环回地址作为路由器 ID,然后进入 Area 0,在里面宣告环回地址和接口地址对应的网段,注意,掩码用的是反掩码。

RTB 的配置命令如图 5.47 所示,配置步骤和 RTA 类似,不同点在于 RTB 有两个区域,将对应的网段宣告在对应的区域里面。

```
<Huawei>system-view
<Huawei>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[Huawei]interface loopback 0
[Huawei-LoopBack0]ip add 1.1.1.1 32
[Huawei-LoopBack0]interface g0/0/0
[Huawei-GigabitEthernet0/0/0]ip add 192.168.1.2 24
[Huawei-GigabitEthernet0/0/0]quit
[Huawei]ospf router-id 1.1.1.1
[Huawei-ospf-1]area 0
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.0]network 1.1.1.1 0.0.0.0
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.0]network 192.168.1.0 0.0.0.255
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[Huawei-ospf-1]quit
```

图 5.46 RTA 的配置命令

```
<Huawei>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[Huawei]inter loopback 0
[Huawei-LoopBack0]ip add 2.2.2.2 32
[Huawei-LoopBack0]inter g0/0/0
[Huawei-GigabitEthernet0/0/0]ip add 192.168.1.1 24
[Huawei-GigabitEthernet0/0/0]inter g0/0/1
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1]ip add 192.168.2.2 24
[Huawei-GigabitEthernet0/0/1]quit
[Huawei]ospf router-id 2.2.2.2
[Huawei-ospf-1]area 0
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.0]network 2.2.2.2 0.0.0.0
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.0]network 192.168.1.0 0.0.0.255
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[Huawei-ospf-1]area 1
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.1]network 192.168.2.0 0.0.0.255
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.1]
```

图 5.47 RTB 的配置命令

RTC 的配置命令如图 5.48 所示,和 RTA 类似。

```
<Huawei>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[Huawei]inter loopback 0
[Huawei-LoopBack0]ip add 3.3.3.3 32
[Huawei-LoopBack0]inter g0/0/0
[Huawei-GigabitEthernet0/0/0]ip add 192.168.2.1 24
[Huawei-GigabitEthernet0/0/0]quit
[Huawei]ospf router-id 3.3.3.3
[Huawei-ospf-1]area 1
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.1]network 3.3.3.3 0.0.0.0
[Huawei-ospf-1-area-0.0.0.1]network 192.168.2.0 0.0.0.255
```

图 5.48 RTC 的配置命令

查看 RTA 的路由学习情况,如图 5.49 所示,方框内的路由都是通过 OSPF 学习来的,

其他路由是 RTA 的直连路由。

```
[Huawei]disp ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public
Destinations : 8      Routes : 8

Destination/Mask    Proto    Pre    Cost    Flags NextHop        Interface
-----
1.1.1.1/32         Direct  0      0        D    127.0.0.1      LoopBack0
2.2.2.2/32         OSPF    10     1        D    192.168.1.1    GigabitEthernet0/0/0
3.3.3.3/32         OSPF    10     2        D    192.168.1.1    GigabitEthernet0/0/0
127.0.0.0/8        Direct  0      0        D    127.0.0.1      InLoopBack0
127.0.0.1/32       Direct  0      0        D    127.0.0.1      InLoopBack0
192.168.1.0/24     Direct  0      0        D    192.168.1.2    GigabitEthernet0/0/0
192.168.1.2/32     Direct  0      0        D    127.0.0.1      GigabitEthernet0/0/0
192.168.2.0/24     OSPF    10     2        D    192.168.1.1    GigabitEthernet0/0/0
```

图 5.49 RTA 的路由表

查看 RTA 的 LSDB,如图 5.50 所示,RTA 只有一个 LSDB,方框内的两条 LSA 就是前面介绍的由 ABR 发出来的特殊 LSA,是一个网络摘要,不是路由器明细。

```
[Huawei]disp ospf lsdb

OSPF Process 1 with Router ID 1.1.1.1
Link State Database

Area: 0.0.0.0
Type    LinkState ID    AdvRouter    Age Len Sequence Metric
-----
Router  2.2.2.2          2.2.2.2      1012 48 80000005 0
Router  1.1.1.1          1.1.1.1      1008 48 80000006 0
Network 192.168.1.2     1.1.1.1      1008 32 80000002 0
Sum-Net 3.3.3.3          2.2.2.2      925 28 80000001 1
Sum-Net 192.168.2.0   2.2.2.2      1005 28 80000001 1
```

图 5.50 RTA 的 LSDB

查看 RTA 的邻居,如图 5.51 所示,本路由器的 ID 是 1.1.1.1,接口 192.168.1.2 的邻居是 2.2.2.2,LSDB 同步状态是 Full,优先级是默认值 1,DR 是 192.168.1.2。

```
[Huawei]display ospf peer

OSPF Process 1 with Router ID 1.1.1.1
Neighbors

Area 0.0.0.0 interface 192.168.1.2(GigabitEthernet0/0/0)'s neighbors
Router ID: 2.2.2.2      Address: 192.168.1.1
State: Full Mode:Nbr is Master Priority: 1
DR: 192.168.1.2 BDR: 192.168.1.1 MTU: 0
Dead timer due in 38 sec
Retrans timer interval: 5
Neighbor is up for 00:16:57
Authentication Sequence: [ 0 ]
```

图 5.51 RTA 的邻居信息

前面介绍过 DR 的选举过程,首先比较优先级,如果优先级一样就比较路由器 ID 值大小,按理说 RTB 的 ID 是 2.2.2.2,RTB 应该是 DR,为什么这里 RTA 是 DR 呢? 有一点需要注意的是 OSPF 的 DR 是非抢占式的,如果网络里有 DR 存在,则后加入的路由器的优先级再高也不会变成 DR,因为配置时先启动的是 RTA,所以 RTA 首先成为 DR。

RTB 和 RTC 的路由表、LSDB、邻居关系可以自己尝试,其中 RTB 是 ABR,它有两个 LSDB,如图 5.52 所示,一个是 Area 0 的;另一个是 Area 1 的。

```

<Huawei>sys
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[Huawei]display ospf lsdb

      OSPF Process 1 with Router ID 2.2.2.2
      Link State Database

          Area: 0.0.0.0
Type   LinkState ID   AdvRouter   Age  Len  Sequence  Metric
Router 2.2.2.2         2.2.2.2    376  48  80000006  0
Router 1.1.1.1         1.1.1.1    375  48  80000007  0
Network 192.168.1.2     1.1.1.1    375  32  80000003  0
Sum-Net 3.3.3.3         2.2.2.2    289  28  80000002  1
Sum-Net 192.168.2.0   2.2.2.2    368  28  80000002  1

          Area: 0.0.0.1
Type   LinkState ID   AdvRouter   Age  Len  Sequence  Metric
Router 2.2.2.2         2.2.2.2    282  36  80000006  1
Router 3.3.3.3         3.3.3.3    290  48  80000005  0
Network 192.168.2.2     2.2.2.2    282  32  80000003  0
Sum-Net 2.2.2.2         2.2.2.2    368  28  80000002  0
Sum-Net 1.1.1.1         2.2.2.2    368  28  80000002  1
Sum-Net 192.168.1.0   2.2.2.2    368  28  80000002  1

```

图 5.52 RTB 的 LSDB

5.3.9 项目案例：OSPF

A 公司使用 OSPF 组建公司路由网络,有 3 个区域,即区域 0、区域 1、区域 2,如图 5.53 所示。R1 与外网连接,R6 模拟外网,里面有一个环回地址 1.1.1.1 用于测试。两台 PC 使用 DHCP 分配 IP 地址,DHCP 服务器在 R4、R5 上面。

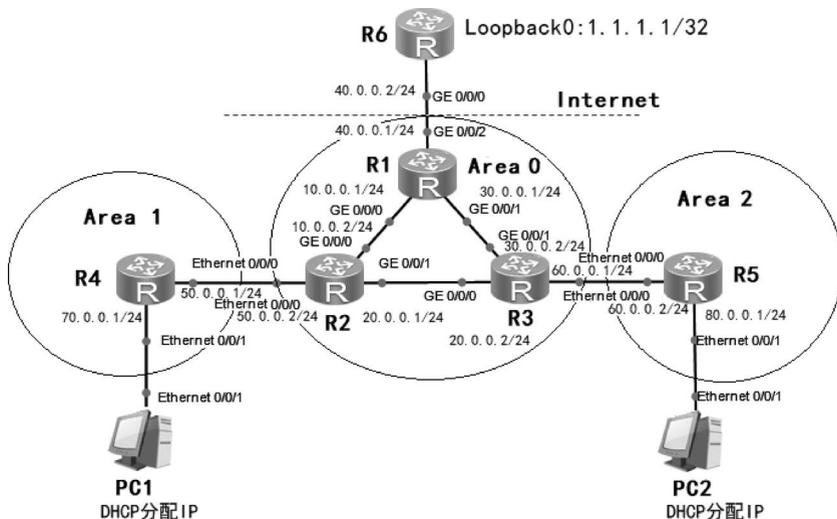


图 5.53 项目拓扑

要求：两台 PC 可以互相 ping 通,而且还可以访问通外网 IP 地址 1.1.1.1。

步骤 1：配置 PC,两台 PC 的配置一样,如图 5.54 所示,使用 DHCP 获得 IP 地址。

步骤 2：配置 R1,如图 5.55 所示,配置各接口 IP 地址,然后配置 OSPF。因为 R1 的 G0/0/2 连接外网,因此不能在此接口上使能 OSPF,这里使用静态路由学习去往 1.1.1.1

的路由,同时将静态路由引入 OSPF 进程,使其他路由器学习到去往 1.1.1.1 的路由。



图 5.54 PC 配置

```
[Huawei]sysname R1
[R1]interface g0/0/0
[R1-GigabitEthernet0/0/0]ip add 10.0.0.1 24
[R1-GigabitEthernet0/0/0]interface g0/0/1
[R1-GigabitEthernet0/0/1]ip add 30.0.0.1 24
[R1-GigabitEthernet0/0/1]interface g0/0/2
[R1-GigabitEthernet0/0/2]ip add 40.0.0.1 24
[R1-GigabitEthernet0/0/2]quit
[R1]ospf
[R1-ospf-1]area 0
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.0.0.0 0.0.0.255
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0]network 30.0.0.0 0.0.0.255
[R1-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[R1-ospf-1]quit
[R1]ip route-static 1.1.1.1 32 40.0.0.2
[R1]ospf
[R1-ospf-1]import static
```

图 5.55 配置 R1

步骤 3: 配置 R2,如图 5.56 所示,配置各接口 IP 地址,然后配置 OSPF,不同接口属于不同区域,需要在对应区域里面宣告相应网段。

步骤 4: 配置 R3,如图 5.57 所示,配置各接口 IP 地址,然后配置 OSPF,不同接口属于不同区域,需要在对应区域里面宣告相应网段。

```
[Huawei]sysname R2
[R2]interface g0/0/0
[R2-GigabitEthernet0/0/0]ip add 10.0.0.2 24
[R2-GigabitEthernet0/0/0]interface g0/0/1
[R2-GigabitEthernet0/0/1]ip add 20.0.0.1 24
[R2-GigabitEthernet0/0/1]interface e0/0/0
[R2-Ethernet0/0/0]ip add 50.0.0.2 24
[R2-Ethernet0/0/0]quit
[R2]ospf
[R2-ospf-1]area 0
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.0.0.0 0.0.0.255
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 20.0.0.0 0.0.0.255
[R2-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[R2-ospf-1]area 1
[R2-ospf-1-area-0.0.0.1]network 50.0.0.0 0.0.0.255
```

图 5.56 配置 R2

```
[Huawei]sysname R3
[R3]interface g0/0/0
[R3-GigabitEthernet0/0/0]ip add 20.0.0.2 24
[R3-GigabitEthernet0/0/0]interface g0/0/1
[R3-GigabitEthernet0/0/1]ip add 30.0.0.2 24
[R3-GigabitEthernet0/0/1]interface e0/0/0
[R3-Ethernet0/0/0]ip add 60.0.0.1 24
[R3-Ethernet0/0/0]quit
[R3]ospf
[R3-ospf-1]area 0
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 20.0.0.0 0.0.0.255
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 30.0.0.0 0.0.0.255
[R3-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[R3-ospf-1]area 2
[R3-ospf-1-area-0.0.0.2]network 60.0.0.0 0.0.0.255
```

图 5.57 配置 R3

步骤 5: 配置 R4,如图 5.58 所示,配置各接口 IP 地址,然后在 Ethernet 0/0/1 接口上开启 DHCP 服务器,然后配置 OSPF,需要将 70.0.0.0/24 网段宣告到 OSPF,使其他路由器能学习到这个网段。

```
[Huawei]sysname R4
[R4]interface e0/0/0
[R4-Ethernet0/0/0]ip add 50.0.0.1 24
[R4-Ethernet0/0/0]interface e0/0/1
[R4-Ethernet0/0/1]ip add 70.0.0.1 24
[R4-Ethernet0/0/1]quit
[R4]dhcp enable
Info: The operation may take a few seconds. Please wait for a moment.done.
[R4]interface e0/0/1
[R4-Ethernet0/0/1]dhcp select interface
[R4-Ethernet0/0/1]quit
[R4]ospf
[R4-ospf-1]area 1
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1]network 50.0.0.0 0.0.0.255
[R4-ospf-1-area-0.0.0.1]network 70.0.0.0 0.0.0.255
```

图 5.58 配置 R4

步骤 6: 配置 R5,如图 5.59 所示,配置各接口 IP 地址,然后在 Ethernet 0/0/1 接口上开启 DHCP 服务器,然后配置 OSPF,需要将 70.0.0.0/24 网段宣告到 OSPF,使其他路由器能学习到这个网段。

步骤 7: 配置 R6,如图 5.60 所示,配置各接口 IP 地址,然后配置一条默认路由,下一跳指向 R1。

```
[Huawei]sysname R5
[R5]dhcp enable
Info: The operation may take a few seconds. Please wait for a moment,done.
[R5]interface e0/0/0
[R5-Ethernet0/0/0]ip add 60.0.0.2 24
[R5-Ethernet0/0/0]interface e0/0/1
[R5-Ethernet0/0/1]ip add 80.0.0.1 24
[R5-Ethernet0/0/1]dhcp select interface
[R5-Ethernet0/0/1]quit
[R5]ospf
[R5-ospf-1]area 2
[R5-ospf-1-area-0.0.0.2]network 60.0.0.0 0.0.0.255
[R5-ospf-1-area-0.0.0.2]network 80.0.0.0 0.0.0.255
```

图 5.59 配置 R5

```
[Huawei]sysname R6
[R6]interface g0/0/0
[R6-GigabitEthernet0/0/0]ip add 40.0.0.2 24
[R6-GigabitEthernet0/0/0]interface loopback0
[R6-LoopBack0]ip add 1.1.1.1 32
[R6-LoopBack0]quit
[R6]ip route-static 0.0.0.0 0 40.0.0.1
```

图 5.60 配置 R6

步骤 8: 验证实验结果,如图 5.61 所示,在 PC1 上使用 ipconfig 命令查询自己的 IP,经查询 IP 是 70.0.0.254,因为 DHCP 分配 IP 地址的时候是从高到低分配的,最高的 IP 地址就是 70.0.0.254。

```
PC1
基础配置 命令行 组播 UDP发包工具
Welcome to use PC Simulator!
PC>ipconfig
Link local IPv6 address..... fe80::5689:98ff:fe58:5670
IPv6 address..... :: / 128
IPv6 gateway..... ::
IPv4 address..... 70.0.0.254
Subnet mask..... 255.255.255.0
Gateway..... 70.0.0.1
Physical address..... 54-89-98-58-56-70
DNS server.....
PC>ping 80.0.0.254
Ping 80.0.0.254: 32 data bytes, Press Ctrl_C to break
From 80.0.0.254: bytes=32 seq=1 ttl=124 time=234 ms
From 80.0.0.254: bytes=32 seq=2 ttl=124 time=78 ms
From 80.0.0.254: bytes=32 seq=3 ttl=124 time=78 ms
From 80.0.0.254: bytes=32 seq=4 ttl=124 time=188 ms
From 80.0.0.254: bytes=32 seq=5 ttl=124 time=93 ms
--- 80.0.0.254 ping statistics ---
5 packet(s) transmitted
5 packet(s) received
0.00% packet loss
round-trip min/avg/max = 78/134/234 ms
PC>ping 1.1.1.1
Ping 1.1.1.1: 32 data bytes, Press Ctrl_C to break
From 1.1.1.1: bytes=32 seq=1 ttl=252 time=172 ms
From 1.1.1.1: bytes=32 seq=2 ttl=252 time=78 ms
From 1.1.1.1: bytes=32 seq=3 ttl=252 time=94 ms
From 1.1.1.1: bytes=32 seq=4 ttl=252 time=63 ms
From 1.1.1.1: bytes=32 seq=5 ttl=252 time=63 ms
```

图 5.61 结果验证

PC2 的 IP 地址也是由 DHCP 分配的,经查询 IP 是 80.0.0.254。从 PC1 可以 ping 通 PC2,也可以 ping 通外网 IP: 1.1.1.1。

5.3.10 小结

本章的内容非常重要,首先要掌握 OSPF 协议从头到尾的工作过程,还要清楚理解 DR 和 BDR 的作用和选举过程,以及邻居和邻接的区别。最后要理解为什么要分区域,还要理解区域的一些规则,以及分区域后如何学习全网路由。

OSPF 初学比较抽象,需要多做实验,多练习。