

思 科 系 列 丛 书

路由技术 (IPv4版)

◎ 张国清 车 斌 编著

→ 深入解析IPv4路由协议，助力步入下一代网络

← 精讲理论，精做实验

→ 视频演示提升读者操作技能

← 奠定通向TCP/IP路由之路



含光盘1张
精彩演示每个实验



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

思科系列丛书

路由技术

(IPv4 版)

张国清 车 斌 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是一本详细介绍 IPv4 路由协议的专业图书，其内容包含 RIPv1、RIPv2、IGRP、EIGRP、OSPF 和集成 IS-IS。本书还详细介绍了路由协议重分布技术和高级路由信息调控技术。为了更好地帮助读者掌握路由技术，本书配有光盘，以增强其实用性和可读性。

本书既可供期望获得思科职业认证资格的人员、网络工程师、系统工程师、网络管理员及高层技术管理人员参考阅读，也可作为思科网络技术学院相关专业的教材和教辅用书，还可作为员工的技术培训教材使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

路由技术：IPv4 版 / 张国清，车斌编著. —北京：电子工业出版社，2012.9

（思科系列丛书）

ISBN 978-7-121-18103-0

I. ①路… II. ①张… ②车… III. ①计算机网络—路由选择—工程技术人员—资格考试—自学参考资料 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 201942 号

策划编辑：宋 梅

责任编辑：宋 梅

印 刷：北京天宇星印刷厂

装 订：三河市鹏成印业有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：18.75 字数：480 千字

印 次：2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：58.00 元（含光盘 1 张）

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

路由协议是数据在互联网上有路径可用的唯一保证。网络技术工程师必须对路由协议非常熟悉。而路由协议又非仅有一个，掌握多个路由协议原理并不是一件容易的事。多数工程技术人员学习路由协议的途径是阅读思科的各种认证书籍，由简到繁，由易到难逐步学习。思科的认证体系是分级别的，因此，路由协议的介绍也是在不同级别的认证教材中出现的。市场上缺少一本专门讨论各种路由协议的专业图书，本书则正是填补这个空白之作。

本书在写作上突出两点：一是理论和实践相结合，在详细讲述路由协议的重点、要点、难点的同时，使用完整的实验环境验证路由协议的运行状态；二是详细介绍路由器操作界面上的信息含义和路由协议的重要参数，例如，OSPF 链路状态数据库中的各项信息的含义。当读者理解了这些信息的含义后，在日后工作中，就能够非常熟练地应用和管理路由协议。本书在结构上根据技术的本质和各要点间的逻辑关系组织书中应该涵盖的内容，使其脉络清晰、知识连贯，从而使读者对路由技术有一个更系统、更清晰、更完整的理解。

参加过 CCIE 认证考试的人员应该都阅读过一本“名著”——《TCP/IP 路由》，这是引进的一本外版图书。这本书的内容在构思上贯穿了协议开发的思路，在较高的理论层面上讲解路由协议，如果对路由协议没有系统了解的话，阅读该书会感觉很吃力。本书可以作为《TCP/IP 路由》这本书的铺垫和弥补，如果读者先读本书，再读《TCP/IP 路由》则会感觉轻松得多。

本书宗旨是：以东方思维模式谋篇，适合中国读者之口味；理论与实践紧密结合，弥补外版书籍之不足。

为了更好地帮助业界广大读者掌握路由技术，《路由技术》(IPv4 版)配有光盘，以增强其实用性和可读性。

本书由张国清和车斌编著，参加编写工作的还有栗君和张运欣。

欢迎读者对本书内容提出建议。

编著者微博：<http://weibo.com/gooltsing>

编著者信箱：gooltsing@sina.com

编著者

2012 年 8 月于北京

目 录

第 1 章 路由原理基础	1
1.1 路由概念	1
1.1.1 静态路由	3
1.1.2 动态路由	3
1.1.3 自治系统	4
1.1.4 路由协议	5
1.1.5 路由协议分类	5
1.1.6 路由度量	6
1.1.7 管理距离	8
1.2 路由表的形成	9
1.2.1 距离矢量型路由协议	9
1.2.2 路由环路的形式	11
1.2.3 避免环路的技术	13
1.2.4 链路状态型路由协议	15
1.3 本章小结	18
第 2 章 有类和无类路由协议	19
2.1 有类路由协议	19
2.1.1 有类路由协议的路由表	19
2.1.2 ip classless 指令	21
2.2 无类路由协议	21
2.3 RIPv1 协议	22
2.3.1 配置 RIPv1 协议	22
2.3.2 检查协议的运行状态	23
2.4 RIPv2	29
2.4.1 配置 RIPv2	29
2.4.2 RIPv2 的路由归纳	31
2.4.3 RIPv2 的验证	32
2.5 本章小结	34
第 3 章 配置 IGRP 协议	35
3.1 IGRP 协议概述	35
3.2 度量值的计算公式	35
3.3 配置 IGRP 路由协议	36
3.4 检查 IGRP 的运行	37

3.5 本章小结	40
第 4 章 EIGRP 路由协议	41
4.1 EIGRP 的特点	41
4.2 EIGRP 和 IGRP	41
4.3 EIGRP 协议使用的数据包	42
4.3.1 数据包类型	42
4.3.2 序号确认	43
4.3.3 超时重传	43
4.3.4 流控 (Flow Control)	44
4.4 EIGRP 协议的运行过程	44
4.5 扩散更新算法	45
4.5.1 EIGRP 术语	45
4.5.2 DUAL 的运行过程	47
4.6 配置 EIGRP	50
4.7 检查 EIGRP 运行的命令	51
4.8 路由总结	57
4.8.1 自动总结	57
4.8.2 手工总结	60
4.8.3 路由总结时的考虑	60
4.9 不等值路径负载均衡	63
4.10 默认路由	64
4.11 EIGRP 与低速链路	65
4.11.1 Bandwidth 对 EIGRP 的影响	65
4.11.2 NBMA 链路 with EIGRP	65
4.12 路由阻滞在活跃状态 (SIA)	69
4.12.1 SIA 的产生	69
4.12.2 SIA 重传计时器 (SIA-Retransmit Timer)	70
4.12.3 解除 SIA 的步骤和方案	70
4.13 本章小结	73
第 5 章 单区域 OSPF	74
5.1 OSPF 特性综述	74
5.2 OSPF 术语	74
5.3 广播型多路访问拓扑下的 OSPF 运行	76
5.3.1 数据报结构	77
5.3.2 Hello 数据包	77
5.3.3 选举指定路由器和备份指定路由器	78
5.3.4 OSPF 的启动过程	80

5.3.5	路由信息的维护	81
5.3.6	在广播型多路访问网络上配置 OSPF	83
5.4	点到点拓扑中的 OSPF 运行	98
5.5	在 NBMA 拓扑中的 OSPF	100
5.5.1	OSPF 在 NBMA 拓扑中的运行模式	101
5.5.2	在 NBMA 拓扑中配置 OSPF	103
5.6	本章小结	117
第 6 章	多区域 OSPF	119
6.1	划分区域的优点	119
6.2	区域的类型	120
6.3	路由器类型	120
6.4	LSA 类型	121
6.5	LSU 的传播	121
6.5.1	LSU 的传播过程	122
6.5.2	计算路由表的过程	122
6.6	虚链路	123
6.7	路由归纳	124
6.8	配置多区域 OSPF	124
6.8.1	标准区域配置	125
6.8.2	末节区域配置	133
6.8.3	完全末节区域配置	136
6.8.4	次末节区域配置	138
6.8.5	完全次末节区域配置	151
6.8.6	路由归纳配置	153
6.9	默认路由	158
6.10	OSPF 的认证	160
6.11	自定义 OSPF 参数	163
6.12	本章小结	164
第 7 章	集成 IS-IS 路由协议	165
7.1	TCP/IP 协议回顾	165
7.2	OSI 协议堆栈	167
7.3	ISO IS-IS 路由选择域	169
7.3.1	IS 类型	170
7.3.2	层次路由体系	170
7.4	集成 IS-IS 路由协议	170
7.4.1	集成 IS-IS 区域类型	170
7.4.2	集成 IS-IS 路由器类型	171

7.4.3	集成 IS-IS 路由选择域类型	171
7.5	ISO 地址规划	172
7.5.1	NSAP 地址结构	173
7.5.2	IS-IS NSAP 和 NET 地址	175
7.5.3	使用 NET 地址	176
7.6	IS-IS 协议原理综述	177
7.6.1	运行步骤和过程	177
7.6.2	网络类型	178
7.6.3	邻接类型	179
7.6.4	PDU 类型	180
7.7	邻接关系的建立	181
7.7.1	点到点链路上邻接关系的建立	181
7.7.2	LAN 上邻接关系的建立	185
7.8	LSP	188
7.8.1	L1 LSP	188
7.8.2	L1 LSP 携带的 TLV	192
7.8.3	L2 LSP	197
7.8.4	L2 LSP 携带的 TLV	198
7.9	序列码数据包	203
7.9.1	完全序列码数据包	204
7.9.2	部分序列码数据包	206
7.10	IS-IS 的度量	207
7.10.1	未扩展的 IS-IS 度量	207
7.10.2	扩展的 IS-IS 度量	208
7.11	本章小结	210
第 8 章	配置集成 IS-IS 路由协议	212
8.1	基本命令	212
8.2	单区域配置示例	213
8.2.1	配置集成 IS-IS 协议	213
8.2.2	检查 IS-IS 协议的运行	216
8.3	多区域配置示例	225
8.3.1	区域拆分	226
8.3.2	使用多进程配置多区域	236
8.4	默认路由	243
8.4.1	L1 默认路由	243
8.4.2	L2 默认路由	244
8.5	路由总结	246
8.6	由窄度量到宽度量	249

8.7	IP 路由泄漏	250
8.7.1	IP 路由泄漏的作用	250
8.7.2	配置 IP 路由泄漏	251
8.8	IS-IS 运行在 NBMA 网络中	255
8.8.1	多点链路	255
8.8.2	点到点链路	257
8.9	IS-IS 认证	258
8.10	管理 IS-IS 的命令	259
8.11	本章小结	261
第 9 章	控制路由信息更新及策略路由	262
9.1	控制路由信息更新	262
9.1.1	被动接口	262
9.1.2	前缀列表	265
9.1.3	发布列表	268
9.1.4	路由图	271
9.1.5	路由再发布	274
9.2	策略路由	286
9.2.1	策略路由的概念	286
9.2.2	基于路由图的策略路由	287
9.3	本章小结	290

第1章 路由原理基础

在一个陌生的环境里如果想到达某一个地点，可以有三种方法：第一种方法是请一位向导，只要把你要去的目的地说清楚了，一路上不用操心，向导自然会带你到达目的地。第二种方法是找一张相关的地图，按图索骥。第三种方法是朝着目的地的方向边走边问，根据被询问的人提供的信息选择一条最近的路径。无论使用哪种方法，目的是一样的，就是要找一条最近的路径到达目的地。

互联网中的数据传送就非常类似于这种情况。已知要到达的目的地，但不知道具体走哪一条路径最好，这时候可以让路由器确定一条最佳路径。

1.1 路由概念

路由是把数据从一个网络转发到另一个网络的过程，完成这个过程的设备就是路由器。数据在网络上以数据包为单元传送。每个数据包都携带两个逻辑地址（在互联网中这个逻辑地址就是 IP 地址），一个是数据的来源地地址，另一个是数据的目的地地址，所以每个数据包可以被独立地转发。以图 1-1 为例解释一下路由过程。

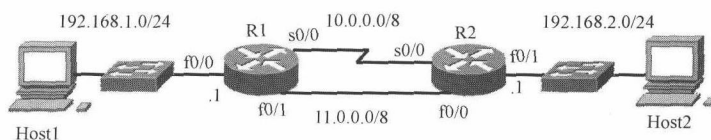


图 1-1 路由过程示意图

在图 1-1 中，2 台路由器 R1 和 R2 使用两条链路把 2 个网络连接起来，它们是 192.168.1.0/24 和 192.168.2.0/24。2 台路由器互连又占用 2 个网段号，它们是 10.0.0.0/8 和 11.0.0.0/8。

假如 Host1 向 Host2 发送数据。拓扑显示，Host1 和 Host2 不在同一个网络，数据要到达 Host2 有两条路可选，一条路由是由 R1 的 s0/0 接口和 R2 的 s0/0 接口互连所形成的链路；另一条路由是由 R1 的 f0/1 接口和 R2 的 f0/0 接口互连所形成的链路。

Host1 是看不到这个拓扑图的，它的首要任务是判断 Host2 是否与自己在同一个网段内。它的做法是：用自己的 IP 地址和子网掩码做“与”运算，计算出自己的网络号是 192.168.1.0；再用 Host2 的 IP 地址（这个地址 Host1 知道）和自己的掩码做“与”运算，计算出 Host2 的网络号是 192.168.2.0。然后比较这两个计算结果，结果相同表示在同一网段内，结果不同则表示两者不在同一个网络中。

不同网络之间的主机通信需要借助路由器完成。路由器就像是邮局，用户把数据送到路由器后，具体怎么“邮递”就是路由器的工作，用户不必操心。因此 Host1 只需将数据包送到距它最近的路由器（R1）即可，如同生活中人们只需把信件投递到最近的邮局一样。因此，

Host1 需要知道 R1 的位置。在 Host1 上除了配置了 IP 地址和掩码外，还配置了另外一个参数——默认网关地址，其实就是路由器 R1 与 Host1 处于同一个网络的接口——f0/0 的地址。在 Host1 上设置默认网关的目的就是把那些去往外网（不同于自己所在的网络）的数据发送给默认网关。为了找到 R1 的 f0/0 接口的 MAC 地址，Host1 使用了地址解析协议（ARP）。

获得了必要信息之后，Host1 开始封装数据：

- 把 f0/0 接口的 MAC 地址封装在数据链路层的目地址域。
- 把自己的 MAC 地址封装在数据链路层的源地址域。
- 把自己的 IP 地址封装在网络层的源地址域。
- 把 Host2 的 IP 地址封装在网络层的目地址域。

之后，把数据发送出去。

路由器 R1 收到 Host1 送来的数据后，把数据解开到第三层，读取数据包中的目的 IP 地址，然后查阅路由表决定如何转发数据。路由表是路由器转发数据的依据。如果路由表中没有任何可用的路径，路由器就会把该数据丢弃。路由表中记录有以下内容：

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

路由器使用最近的路径转发数据，而且只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。

对于本例来说，R1 有两种选择，一种选择是经由自己的 s0/0 接口把数据交给 R2；一种选择是经由自己的 f0/1 接口把数据交给 R2。选择路径的依据是：经由哪一条链路到达目标网络的距离近，路由器使用哪一条链路。这里假设经由 f0/1 接口的路径近。R1 经由 f0/1 接口把数据转发给 R2。

R2 收到 R1 的数据后所做的工作跟前面 R1 所做的工作一样，即查阅路由表。不同的是在自己的路由表里有一条记录，该记录表明它的 f0/1 接口正好和数据声称到达的网络相连，也就是说 Host2 和它的 f0/1 接口在同一个网络中。R2 使用 ARP 获得 Host2 的 MAC 地址之后开始封装数据：

- 把 Host2 的 MAC 地址封装在数据链路层的目地址域。
- 把自己 f0/1 接口的 MAC 地址封装在数据链路层的源地址域。
- 网络层的两个 IP 地址不变。

然后把数据传送给 Host2。

至此，数据传递的一个单程完成了。

Host2 回应给 Host1 的数据经过同样的处理过程到达目的地——Host1，只不过是数据包中的目的地 IP 地址是 Host1 的地址，先经过 R2 再经由 R1，最后到达 Host1。

从数据转发的过程看出，为了能够转发数据，路由器必须对整个网络拓扑有个清晰的了解，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，路由器也需要及时地在路由表里反映出这些变化，这个工作被看做路由器的路由计算功能。路由器还有一项独立于路由计算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的过程。路由器必须具备这两种功能。

1.1.1 静态路由

每一台路由器工作时都会有一个路由表，为路由器选路提供依据。路由表里的每一条记录（表项）代表一条路径信息。路由表里的表项可以是人为设置的，称为静态路由。静态路由不随网络拓扑的变化而变化，不论它所指示的路径是否存在，只要不人为地删除，它总是存在于路由表中。静态路由在某些情况下是很有用的，比如，它可以将一部分网络隐藏起来；另外，当网络只存在唯一的一条路径与其他网络互连时，使用静态路由是非常有效的。只有一个出口的网络被称为端网络（Stub Network），如图 1-2 所示。为 Stub 网络设置静态路由可以简化网络配置，避免动态路由产生的不必要的资源浪费，也可以将端网内的具体情况隐藏起来。静态路由最大的缺点是不灵活，不能随网络拓扑的变化而变化；优点是减少了很多不必要的路由器的系统资源开销。

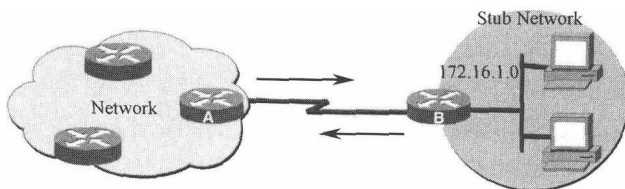


图 1-2 端网络

1.1.2 动态路由

所谓动态路由是指路由器依靠其运行的路由协议从邻居路由器那里动态学习到的路由。运行路由协议的路由器将自动接收网络中新的路由信息，实现路由信息的自动更新。当网络发生变化的时候，无须管理人员的干预，路由器会自动地更新路由表，保证正确转发数据。动态路由最大的优点是灵活，对网络拓扑结构变化的适应性好；不足之处是由于需要计算路由，增加了网络的开销和路由器系统资源。

下面以图 1-3 所示的拓扑为例，对比一下静态路由和动态路由。图中源主机为数据发送端，目标主机为数据接收端。图中的数字代表路径的距离。

如果使用静态路由，路由器 A 参考它的路由表，按照静态路由信息将数据包发送给路由器 B。路由器 B 使用相同的工作过程，将数据包传递给路由器 C。路由器 C 最终将数据包发送给目标主机。

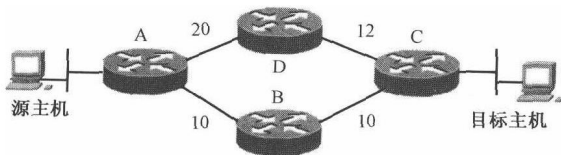


图 1-3 动态路由和静态路由的比较

如果位于路由器 A 和 B 之间的路径发生故障，使用静态路由的路由器 A 将无法把数据包传递给路由器 B。在路由器 A 通过手工重新配置经由路由器 D 发送数据之前，将无法实现

与目的主机的通信。

如果使用动态路由,情况则完全不同。动态路由比静态路由具有更大的自动性和灵活性。正常情况下,路由器 A 采纳经由路由器 B 的最佳路径(距离=20)转发数据,不采纳经由路由器 D 的路径(距离=32)转发数据。当路由器 A 发现通向路由器 B 的路径失败后,它可以自动发现经由路由器 D 到达目标的路径。当路由器 A 与 B 之间的链路恢复后,路由器 A 将再次选择经由路由器 B 的路径转发数据。

1.1.3 自治系统

互联网从无到有,从小到大发展到今天已经是一个庞大而又复杂的计算机网络了。在这个遍布全球的网络中,有数以万计的路由器在为转发数据而忙碌着,因此也为网络的管理提出了挑战。如果网络过大、路由器过多,再加上链路的速度较慢,那么路由信息的传播将花费很长时间。

如图 1-4 所示,网络边缘上的某台路由器所连接的网络发生了故障,变得不可用了,这个变化的路由信息需要很长时间才能传播到网络对岸。当最远端的路由器知道该信息时也许故障早已排除,网络又恢复了正常。在这个过程中,当网络不可用时,远端的路由器认为依然可用;当网络可用时,远端的路由器认为不可用。实际上并没有反映出网络的真实情况,路由器也不能正确地路由数据。

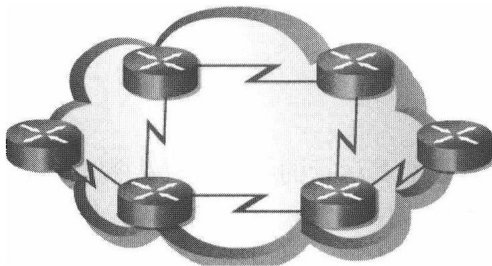


图 1-4 互联网模型

为解决管理上的问题,网络被分割成一个个便于管理的区域,如图 1-5 所示。该区域由一些路由器和它们互连的网络构成,有着统一的管理策略,对外表现出的是一个单一实体的属性,称为自治系统(Autonomous System)。每个自治系统有一个全局唯一的自治系统号,其范围是 1~65 535。

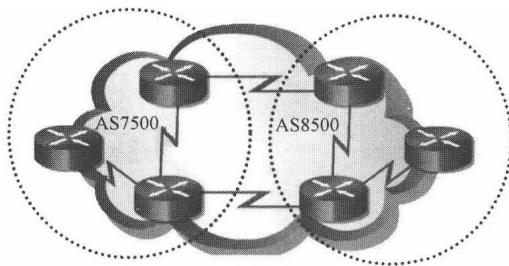


图 1-5 自治系统概念图

1.1.4 路由协议

从路由过程来看, 路由器并非把数据直接送达目的地, 而是把数据送给距目的地更近的一台路由器, 称为下一跳 (Next Hop) 路由器。但是路由器必须知道那些并非和它直连的网络, 即目的地, 并把它反映在路由表中。这要依靠路由协议 (Routing Protocol)。

路由协议是路由器之间用来交换路由信息的协议, 也是路由器计算路由和建立路由表的协议。路由器通过路由协议把和自己直接相连的网络信息通告给它的邻居, 并通过邻居通告给邻居的邻居, 如图 1-6 所示。

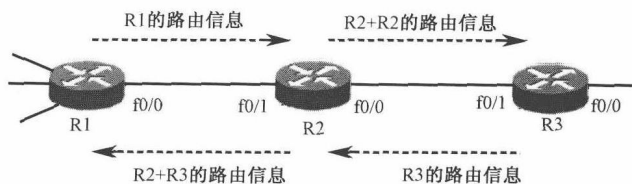


图 1-6 路由协议传播路由信息示意图

通过交换路由信息, 网络中的每一台路由器都学习到了非直连 (远程) 的网络, 并把学习到的网络号写在路由表里, 表示到达该网络的路径 / 路由。当网络拓扑发生变化时, 与发生变化的网络直接相连的路由器就会把这个变化信息通告给它的邻居, 进而使整个网络中的路由器都知道这个变化, 及时地调整自己的路由表, 使其反映出当时的网络状况。另外, 路由协议为路由器定义了一套规则来实现与邻居路由器的通信。例如, 一个路由协议规定了:

- 如何发送路由更新信息;
- 路由更新信息包含的内容;
- 何时发送路由更新信息;
- 如何确定路由更新信息的接收对象。

通过运行路由协议, 路由器最终得到的路由信息可以从路由表中反映出来。



提示

除了路由协议 (Routing Protocols) 外, 另一种协议是能够为用户数据提供足够的被路由信息, 比如逻辑地址, 这种协议称为可路由协议 (Routed Protocols)。用户数据要想被路由, 即能够穿越网络, 它必须被可路由协议封装。例如, IP 数据包能被路由, 因为 IP 协议是一个可被路由协议。

1.1.5 路由协议分类

根据路由协议工作原理的不同, 路由协议分为距离矢量 (Distance Vector) 型路由协议、链路状态 (Link State) 型路由协议和综合 (Hybrid) 型路由协议。在 IP 协议集中, 典型的距离矢量路由协议有 RIP、RIPv2 和 IGRP; 典型的链路状态协议有 OSPF。Cisco 专有协议 EIGRP 协议属于综合型路由协议。

根据路由协议运行在自治系统内还是运行在自治系统之间, 路由协议又分为内部网关路由协议 (Interior Gateway routing Protocol, IGP) 和外部网关路由协议 (Exterior Gateway routing

Protocol, EGP)。IGP 和 EGP 之间的关系如图 1-7 所示。

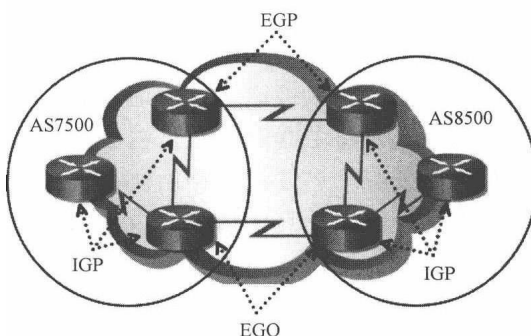


图 1-7 IGP 和 EGP 之间的关系

在 IP 协议集中, 属于 IGP 的有 RIP、RIPv2、IGRP、EIGRP 和 OSPF; 属于 EGP 的是 BGP (Border Gateway Protocol)。

1.1.6 路由度量

路由器在选择路径时, 会比较路径的优劣, 通俗来讲就是路径的距离。不同的路由协议由于它们的工作原理不同, 其判断路径优劣的标准也不同。RIP 协议的判断标准是计算到达目的地经由的路由器的数量, 跨越的路由器越多, 它认为路径越差。而其他路由协议可能不这么判定。

当路由器接收到来自邻居的路由信息后, 依据其正在运行的路由协议的判断路由优劣的方法 (实际就是不同的判断标准), 从中选择出到达目标网络的最佳路径信息, 并以此信息来更新路由表。每一种路由算法 (距离矢量法或链路状态法) 都使用自己的方法确定最佳路由。算法会为每条路径计算出一个数值, 叫做度量 (Metric) 值。度量值越小, 代表路径越好。

可以根据路径的单一特性计算度量值; 也可以将路径的几个特性结合起来计算出更复杂的度量值。路由器用于计算路径度量值的参数有:

- 带宽 (Bandwidth) —— 接口的数据传输能力, 单位是 bps。
- 延迟 (Delay) —— 数据包从发源地传递到目的地的传输时间 (准确地说, 应该是数据包经过路由器的累计时间)。
- 负载 (Load) —— 路由器或链路的实际流量。
- 可靠性 (Reliability) —— 网络链路的可信度 (通常指单位时间内链路的失效次数)。
- 跳数 (Hop Counts) —— 在到达目的地前数据包经过的路由器数量。
- 滴答 (Ticks) —— 使用 IBM PC 时钟的滴答 (约 55 毫秒) 计算的数据链路延迟。
- 成本 (Cost) —— 根据带宽计算的一个值, 可以由网络管理员指定。

对于特定的一种路由协议, 计算路由的度量并不一定全部使用这些参数, 有些使用一个, 有些使用多个。比如, RIP 只使用跳数作为路由的度量值; 而 IGRP 会用到接口的带宽和延迟。这些参数中的有些值可以使用 `show interface` 命令得到。

图 5-8 描述了路由器是如何通过比较度量值选择最佳路由的, 图中的路由器运行的是 RIP 协议。路由器 R1 接收到 R2 和 R3 向它通告的路由信息后, 通过比较 Metric 值选择了到

达 20.0.0.0/8 网络的最佳路由是经由 R3。

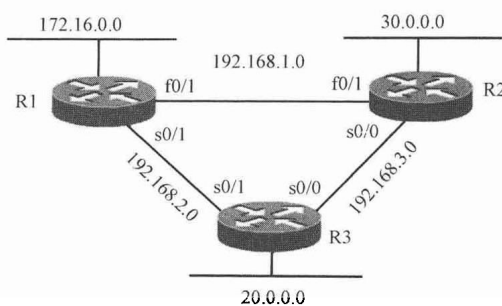


图 1-8 比较度量值选择最佳路径

下面是 R3 通告的路由信息：

```
r3#debug ip rip
```

```
RIP protocol debugging is on
```

1. 00:08:04: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial0/0 (192.168.3.2)
2. 00:08:04: RIP: build update entries
3. 00:08:04: network 20.0.0.0 metric 1
4. 00:08:04: network 172.16.0.0 metric 2
5. 00:08:04: network 192.168.2.0 metric 1
6. 00:08:04: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial0/1 (192.168.2.2)
7. 00:08:04: RIP: build update entries
8. 00:08:04: **network 20.0.0.0 metric 1**
9. 00:08:04: network 30.0.0.0 metric 2
10. 00:08:04: network 192.168.3.0 metric 1

```
r3#undebug all
```

第 1~5 行是通过它的 s0/0 接口向 R2 通告的路由信息。

第 6~10 行是通过它的 s0/1 接口向 R1 通告的路由信息，包含 3 条路由，分别是：

- 到达网络 20.0.0.0，metric=1；
- 到达网络 30.0.0.0，metric=2；
- 到达网络 192.168.3.0，metric=1。

这样 R1 就知道了如果经由 R3 到达上述 3 个网络它们的距离分别是多少。

再看 R2 通告的路由信息：

```
r2#debug ip rip
```

```
RIP protocol debugging is on
```

1. 00:35:01: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via Serial0/0 (192.168.3.1)
2. 00:35:01: RIP: build update entries
3. 00:35:01: network 30.0.0.0 metric 1
4. 00:35:01: network 172.16.0.0 metric 2
5. 00:35:01: network 192.168.1.0 metric 1
6. 00:35:01: RIP: sending v1 update to 255.255.255.255 via FastEthernet0/1 (192.168.1.2)
7. 00:35:01: RIP: build update entries


```
8. 00:35:01: network 20.0.0.0 metric 2
9. 00:35:01: network 30.0.0.0 metric 1
10. 00:35:01: network 192.168.3.0 metric 1
```

第6~10行是R2向R1通告的路由情况。可以看到，R2告诉R1如果经由它（R2）到达网络20.0.0.0，metric=2。

比较可知，R1应该选择经由R3到达目标网络的路径，因为经由R3的路由度量值比经由R2的路由度量值小。

再看R1的路由表（有关路由表的详细解释参考第2章，这里只做说明问题用），表明R1正是选择了这条路由：目标是20.0.0.0/8的数据需要经由192.168.2.2（R3）转发。Serial0/1代表数据的出口。

```
r1#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    172.16.0.0/16 is directly connected, FastEthernet0/0
R    20.0.0.0/8 [120/1] via 192.168.2.2, 00:00:02, Serial0/1
R    30.0.0.0/8 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:07, FastEthernet0/1
C    192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
C    192.168.2.0/24 is directly connected, Serial0/1
R    192.168.3.0/24 [120/1] via 192.168.1.2, 00:00:07, FastEthernet0/1
      [120/1] via 192.168.2.2, 00:00:02, Serial0/1
```

路由算法是动态路由的基础，不同的路由协议有不同的路由算法。当使用不同的路由协议时，会表现出对同一个网络的不同认识。当网络因为增长，重新配置或故障等原因造成拓扑结构变化时，网络拓扑信息必定发生变化。路由信息必须准确、稳定地反映新的拓扑结构，所以路由协议会再次计算新的路由。

1.1.7 管理距离

路由协议有多种，并且路由器上可能存在多种路由协议同时工作的情况。哪种路由协议通告的路由信息是最可靠的呢？管理距离（Administrative Distance）是路由器用来评价路由信息可信度的一个指标。每种路由协议都有一个默认的信任等级，等级值越小，协议的信任度越高。静态路由优于动态路由；算法复杂的路由协议优于算法简单的路由协议。表1-1列出了默认的管理距离。