



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

网络系统设计与管理

黄光球 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

网络系统设计与管埋

黄光球 编著



北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2018

内 容 提 要

本书以 Cisco 路由型网络为例,详细介绍了路由技术,包括:路由原理;IP 寻址问题,可变长度子网掩码(VLSM),路由归纳;路由信息协议(RIP);开放最短路径优先协议(OSPF);中间系统-中间系统协议(IS-IS);增强型内部网关路由协议(EIGRP)和边界网关协议(BGP)。并通过配置示例和验证输出,演示了故障排除技术。

本书为高等院校信息管理与信息系统专业、计算机科学技术专业、网络工程专业和通信工程专业的本科生教材,也可作为组建可扩展互联网络课程的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

网络系统设计与管理 / 黄光球编著. —北京:冶金工业出版社, 2018. 8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7860-5

I. ①网… II. ①黄… III. ①计算机网络—网络系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 202555 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 高 娜 刘晓飞 美术编辑 彭子赫 版式设计 禹 蕊

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7860-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2018 年 8 月第 1 版, 2018 年 8 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 19.25 印张; 464 千字; 293 页

47.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

为支持越来越多的协议和用户，互连网络正在高速增长，并且变得越来越复杂。本书讲述了如何设计、配置、维护和扩展一个路由型网络，主要介绍了典型的中到大型网络站点中局域网和广域网所连接的路由器的使用方法。

本书所采用的命令和配置示例基于 Cisco IOS 12.0 版本。学完本书的内容之后，对于给定的网络技术要求，例如通过地址集来简化子公司办公室的 IP 地址管理，读者将能够学会选择和配置恰当的服务；对于给定的组建一个包含链路状态型路由协议和路由再发布的可扩展路由型网络的技术要求，读者也能够学会采用适当的技术；对于给定的到一个 BGP 网络的单宿主或多宿主连接网络技术要求，读者将能够学会配置边缘路由器，以正确地连接到 BGP 网络云图；对于各种给定的多路由及多路由协议的网络技术要求，读者也将能够学会完成相应的、反映一个可扩展的网络案例设计。

本书共分为 9 章。

第 1 章介绍了路由基本原理，内容包括有类别路由和无类别路由、距离矢量和链路状态型路由协议在行为上的区别，与 IP 协议最常使用的且与内部路由协议密切相关的路由归纳问题；本章还讨论了 IP 地址的两个重要方面，包括 VLSM 和路由归纳。

第 2 章介绍了 RIP 协议，内容包括 RIP 报文格式、路由表格式、操作机制、距离矢量计算、路由表更新、寻址方法、拓扑结构变化下的路由收敛以及 RIP 的限制等内容。

第 3 章介绍了 OSPF 路由协议，内容包括 OSPF 术语及 OSPF 在广播型多路访问拓扑结构、点对点拓扑结构和非广播型多路访问（NBMA）拓扑结构中的操作。

第 4 章介绍了 OSPF 在多个区域中的使用、运行、配置和验证。

第 5 章介绍了 IS-IS 技术及其特性，以及 IS-IS 协议和基本的配置示例。

第 6 章介绍了 EIGRP 路由协议，所论述的主题包括 EIGRP 的特性、运行

模式以及对 VLSM 和路由归纳的支持。

第 7 章介绍了 BGP 路由协议，包括 BGP 术语及其运行基础。

第 8 章首先讨论了在扩展内部 BGP (IBGP) 时可能遇到的问题，然后介绍了各种解决方案，包括路由反射器、基于前缀列表的策略控制等。本章还探讨了实现多宿主连接的不同途径。

第 9 章介绍了控制路由更新信息的不同方法，讲解了通过路由再发布来连接采用了多种路由协议的网络。对协议间信息的控制可以通过使用过滤器、改变管理距离及配置度量值来实现。本章还讲解和配置了利用路由映像实现的策略路由。

本书主要面向将来要负责设计实施、管理维护不断增长的路由型网络的网络构建者、设计人员、工程师、网络经理和网络管理员。要想充分从本书中获益，读者应该具备以下知识：

(1) 对 OSI 参考模型有一定的了解。

(2) 对网络互连有基本了解，包括常用的网络术语、编号方案、拓扑结构、距离矢量型路由协议的操作，以及何时使用静态和缺省路由。

(3) 能够操作和配置 Cisco 路由器，包括显示和解释路由器的路由表，配置静态和缺省路由，HDLC 启用广域网串行连接，在接口和子接口上配置帧中继固定虚电路 (PVC)，配置 IP 标准访问控制列表和扩展访问控制列表，并通过比如 “show” 和 “debug” 命令等可用工具来验证路由器的配置。

(4) 了解 TCP/IP 协议栈，能够配置 IP 地址。

本书配有一些比较有帮助的要素，如插图、配置示例等，以帮助读者学习和掌握可扩展路由型网络。本书中命令句法的表示习惯描述如下：

(1) 粗体字表示输入的命令和关键字；在实际例子中（而非句法中），粗体字表示用户的输入。

(2) 斜体字表示用户应输入具体值的参数。

(3) 方括号 [] 表示任选项。

(4) 大括号 { } 表示必选项。

(5) 竖线 “|” 用于分开待选的、互斥的选项。

(6) 方括号中的大括号 [{ }] 表示任选项中的必选项。

本书的出版得到了西安建筑科技大学重点教材项目的资助。本书在编著过程中参考了有关文献资料，在此向文献作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处，诚望读者批评指正。

编 者

2018 年 5 月

目 录

1 路由原理	1
1.1 路由基础知识	1
1.1.1 什么是路由	1
1.1.2 路由的前提条件	1
1.1.3 路由信息	2
1.1.4 管理距离	3
1.1.5 路由度量值	4
1.1.6 相邻关系	6
1.2 路由协议	8
1.2.1 有类别路由协议	8
1.2.2 无类别路由协议	10
1.2.3 距离矢量型路由协议原理	11
1.2.4 链路状态型路由协议原理	13
1.2.5 路由收敛	14
1.3 路由表分析	18
1.4 体系化寻址	19
1.4.1 规划一个 IP 地址划分体系	19
1.4.2 体系化寻址的优点	20
1.5 可变长度子网掩码 (VLSM)	20
1.5.1 VLSM 概述	20
1.5.2 计算 VLSM	21
1.5.3 VLSM 应用实例	22
1.6 路由归纳	23
1.6.1 路由归纳概述	23
1.6.2 在字节内的归结	24
1.6.3 基于 VLSM 设计的网络中的地址归纳	24
1.6.4 路由归纳的实施	25
1.6.5 Cisco 路由器中的路由归纳操作	25
1.6.6 地址不连续网络中的归纳路由	26
1.6.7 各种 IP 路由协议对路由归纳支持情况	27
1.7 本章小结	28
练习题	28

2 RIP 协议及其配置方法	32
2.1 RIP 报文格式	32
2.1.1 命令域	33
2.1.2 版本号域	33
2.2 RIP 路由表	34
2.3 操作机制	34
2.4 计算距离矢量	36
2.5 更新路由表	39
2.5.1 初始化表更新	39
2.5.2 标识无效路由	39
2.5.3 删除无效路由	40
2.6 寻址问题	40
2.7 拓扑结构变化与路由收敛	42
2.8 计值到无穷	44
2.8.1 横向隔离	47
2.8.2 带抑制逆转的横向隔离	48
2.8.3 触发更新	48
2.8.4 保持计时器	50
2.9 RIP 配置方法	50
2.10 RIP 的限制	53
2.11 本章小结	55
练习题	55
3 单区域 OSPF 协议及其配置方法	56
3.1 OSPF 概述	56
3.2 OSPF 术语	57
3.3 在广播型多路访问拓扑结构中的 OSPF 运行	59
3.3.1 指定路由器 (DR) 和备用指定路由器 (BDR)	61
3.3.2 OSPF 的启动	62
3.3.3 选择路由	64
3.3.4 维护路由信息	66
3.3.5 OSPF 收敛	68
3.4 在点对点拓扑结构中的 OSPF 运行	68
3.5 NBMA 拓扑结构中的 OSPF 运行	69
3.5.1 NBMA 网络	69
3.5.2 OSPF 的运行模式	70
3.5.3 子接口	71
3.5.4 NBMA 模式的相邻关系	71

3.6 单区域内的 OSPF 配置方法	73
3.6.1 OSPF 任选配置命令	75
3.6.2 在 NBMA 拓扑结构中配置 OSPF	76
3.7 验证 OSPF 的运行	79
3.8 综合配置实例	84
3.9 本章小结	87
练习题	87
4 多区域 OSPF 协议及其配置方法	90
4.1 多个 OSPF 区域	90
4.1.1 路由器的类型	91
4.1.2 LSA 类型	92
4.1.3 区域类型	94
4.2 多区域中的 OSPF 运行	96
4.2.1 扩散 LSU 到多个区域	97
4.2.2 虚拟链路	98
4.3 使用和配置 OSPF 的多区域组件	99
4.3.1 采用末节和完全末节区域	101
4.3.2 次末节区域 (NSSA)	105
4.3.3 多区域 NBMA 环境	108
4.3.4 支持路由归纳	108
4.3.5 配置虚拟链路	112
4.4 综合配置实例	114
4.5 本章小结	117
练习题	117
5 IS-IS 协议及其配置方法	118
5.1 OSI 协议和 IS-IS 路由协议概述	118
5.1.1 OSI 协议	118
5.1.2 OSI 网络层	120
5.1.3 集成 IS-IS	122
5.2 CLNS/CLNP 中的 IS-IS 运行	126
5.2.1 OSI 寻址	126
5.2.2 IS-IS 中如何标识系统	129
5.2.3 IS-IS PDU	130
5.2.4 链路状态数据库的同步	136
5.3 采用集成 IS-IS 进行 IP 和 OSI 路由	137
5.3.1 集成 IS-IS 中的 IP 网络	138
5.3.2 建立 IP 转发表	144

5.4 集成 IS-IS 路由器基础配置	146
5.4.1 集成 IS-IS 配置	146
5.4.2 CLNS 排错命令	150
5.4.3 集成 IS-IS 排错命令	152
5.5 集成 IS-IS 塑造 WAN 网络	158
5.5.1 IS-IS 中的 WAN 分类	158
5.5.2 NBMA WAN 中配置集成 IS-IS	159
5.5.3 检测不匹配接口	164
5.6 本章小结	165
练习题	165
6 EIGRP 协议及其配置方法	167
6.1 EIGRP 概述	167
6.1.1 EIGRP 的优点	168
6.1.2 EIGRP 术语	168
6.2 EIGRP 的操作	169
6.2.1 EIGRP 数据包	169
6.2.2 EIGRP 的可靠性	170
6.2.3 EIGRP 相邻关系	170
6.2.4 EIGRP 收敛	179
6.3 配置 EIGRP	180
6.3.1 配置 EIGRP 的步骤	180
6.3.2 路由归纳	180
6.3.3 EIGRP 负载均衡	182
6.3.4 EIGRP 和广域网链路	184
6.3.5 在可扩展的互联网络中使用 EIGRP	188
6.3.6 验证 EIGRP 的运行	193
6.4 综合配置实例	195
6.5 本章小结	199
练习题	199
7 BGP 协议及其配置方法	201
7.1 BGP 概述	201
7.1.1 自治系统 (AS)	201
7.1.2 BGP 的应用	202
7.1.3 与其他可扩展路由协议的比较	203
7.2 BGP 可以使用的场景	204
7.3 BGP 不能使用的场景	204
7.4 BGP 术语和概念	207

7.4.1 BGP 特性	207
7.4.2 在 IP 数据包内的 BGP	207
7.4.3 BGP 表	207
7.4.4 BGP 对等体或邻居	208
7.4.5 策略路由	208
7.4.6 BGP 属性	209
7.4.7 BGP 同步	215
7.5 BGP 的操作	217
7.5.1 BGP 消息类型	217
7.5.2 路由判定过程	218
7.5.3 CIDR 和聚合地址	219
7.6 配置 BGP	220
7.6.1 对等体组 (peer group)	220
7.6.2 基本 BGP 命令	222
7.6.3 基本 BGP 命令示例	224
7.6.4 改变下一跳属性	224
7.6.5 关闭 BGP 同步	225
7.6.6 在 BGP 表中创建一个归纳地址	225
7.6.7 复位 BGP	226
7.6.8 另一个 BGP 示例	227
7.7 验证 BGP	228
7.7.1 “show ip bgp” 命令的输出的示例	228
7.7.2 “show ip bgp summary” 命令的输出示例	229
7.7.3 “show ip bgp neighbors” 命令的输出示例	229
7.7.4 “debug ip bgp updates” 命令的输出示例	230
7.8 综合配置实例	231
7.8.1 路由器 A 的 BGP/RIP 配置示例	231
7.8.2 路由器 B 的 RIP 配置示例	232
7.8.3 在路由器 A 上 “show ip route” 命令的输出示例	233
7.8.4 在路由器 B 上 “show ip route” 命令的输出示例	234
7.9 本章小结	234
练习题	234
8 在可扩展网络中实施 BGP 协议	236
8.1 IBGP 的扩展性问题	236
8.2 路由反射器 (route reflector)	237
8.2.1 路由反射器的优点	237
8.2.2 路由反射器的术语	238
8.2.3 路由反射器的设计	238

8.2.4	路由反射器的设计示例	239
8.2.5	路由反射器的运行	239
8.2.6	路由反射器的设计技巧	240
8.2.7	路由反射器的配置	241
8.2.8	路由反射器配置的示例	242
8.2.9	验证路由反射器	242
8.3	策略控制列表和前缀列表 (prefix list)	243
8.3.1	发布列表	243
8.3.2	前缀列表的特性	245
8.3.3	用前缀列表进行过滤	246
8.3.4	配置前缀列表	246
8.3.5	前缀列表序号	249
8.3.6	前缀列表示例	249
8.3.7	验证前缀列表	250
8.3.8	验证前缀列表示例	250
8.4	多宿主连接 (multihoming)	251
8.4.1	多宿主连接的类型	251
8.4.2	所有 ISP 都只提供缺省路由的情况	251
8.4.3	所有 ISP 提供特定和缺省路由的情况	251
8.4.4	所有 ISP 提供全部路由的情况	254
8.4.5	配置权重 (weight) 和本地优先 (local preference) 属性	255
8.4.6	多宿主连接示例	255
8.5	通过 IGP 进行再发布	258
8.5.1	将网络发布到 BGP 中	258
8.5.2	从 BGP 发布到 IGP	259
8.6	本章小结	260
	练习题	260
9	优化路由更新的操作方法	261
9.1	在多种路由协议间进行再发布	261
9.1.1	什么是再发布	261
9.1.2	对再发布的考虑	262
9.2	配置再发布	264
9.2.1	再发布到 OSPF	265
9.2.2	再发布到 EIGRP 中	265
9.2.3	定义缺省的度量值	266
9.2.4	配置到边缘 (Edge) 协议的再发布	267
9.2.5	被动接口 (passive-interface) 命令	267
9.2.6	静态和缺省路由	267

9.3 控制路由更新的数据流量	273
9.3.1 应用路由过滤器	274
9.3.2 修改管理距离	278
9.3.3 使用“distance”命令的再发布示例	279
9.4 验证再发布的运行	284
9.5 采用路由映像的策略路由	284
9.5.1 策略路由	286
9.5.2 配置策略路由	287
9.5.3 策略路由示例	290
9.6 验证策略路由	291
9.7 本章小结	292
练习题	292
参考文献	294

本章介绍路由的原理。首先介绍有类别路由和无类别路由的概念，然后介绍距离矢量型和链路状态型路由协议在行为上的区别。本章还将讲述与 Internet 协议最常使用的且与内部路由协议密切相关的路由归纳问题。

在学习完本章之后，我们可以知道路由器转发数据包所需的关键信息，描述出有类别和无类别路由协议，比较距离矢量型和链路状态型路由协议的运行，并能描述出路由表中各个字段的用途。最后，当给出一个预先配置好的网络时，我们可以发现其拓扑结构，分析其路由表，并能通过可接受的故障排除技术来测试其网络连通性。

1.1 路由基础知识

1.1.1 什么是路由

路由（routing）是将文件从一个地方转发到另一个地方的一个中继过程。学习和维持网络拓扑结构知识的机制称为路由功能。把数据流从路由器（router）的输入接口经路由器传输到其输出接口的过程，称为交换。路由器必须同时具有路由和交换的功能才可以称为一台有效的中继设备。

1.1.2 路由的前提条件

为了进行路由，路由器必须知道下面三项内容：

（1）路由器必须确定它是否已激活了对一个协议组的支持。路由器在做路由决定时，它首先必须知道逻辑目的地网络地址，要想知道该目的地网络地址，使用该逻辑寻址方案的协议组必须要在路由器上启用，并处于活跃状态。

（2）路由器必须知道逻辑目的地网络。当路由器能理解该寻址方案后，它要做的决定是判断逻辑目的地网络在其当前路由表中是否有效存在，如果逻辑目的地网络在路由表中不存在，那么路由器将丢弃该数据包，并且生成一个出错消息来将这一事件通告给发送方。

（3）路由器必须知道哪个输出接口是到达目的地的最佳路径。如果目的地网络存在于路由表中，路由器需要做的最后一个决定是通过哪个输出接口转发这个数据包，路由表中只包含到任何给定逻辑目的地网络的最佳路径（一条或多条）。

路由协议通过度量值（metrics）来决定到达目的地的最佳路径。具有较小度量值的路径代表较优的路径；如果两条或更多条路径都有一个相同的小度量值，那么所有这些路径被平等地分享。通过多条路径分流数据流量到达目的地称为负载均衡（load balance）。

1.1.3 路由信息

执行路由操作所需要的信息包含在路由器的路由表中，路由表由一个或多个路由协议进程生成。路由表由若干个路由条目组成，每个条目指明以下内容（图 1-1）：

（1）路由生成机制。生成该路由所使用的机制，该机制可以是动态生成机制或手工生成机制。

（2）逻辑目的地地址。它可以是主网络地址，也可以是主网络中的一个子网络地址，在某些情况下，也可以是主机地址，如图 1-1 中的地址 173.16.8.0。

（3）管理距离。它是表示一种路由学习机制可信赖程度的一个尺度。

（4）度量值。它是度量一条路径的总开销。

（5）下一跳地址。在去往目的地的路径上的下一跳路由器的接口地址，如图 1-1 中的下一跳地址 172.16.8.1。

（6）新旧程度。路由信息的新旧程度，该域指明了信息自上次更新以来在路由表中已存在的时间。路由条目信息会被定期刷新以确保它是最新的信息，这与所使用的路由协议相关。

（7）输出接口。与要去往目的地网络相关联的路由器接口，如图 1-1 中的 E0 接口，这是数据包离开当前路由器并转发到下一个路由器所要经过的端口。

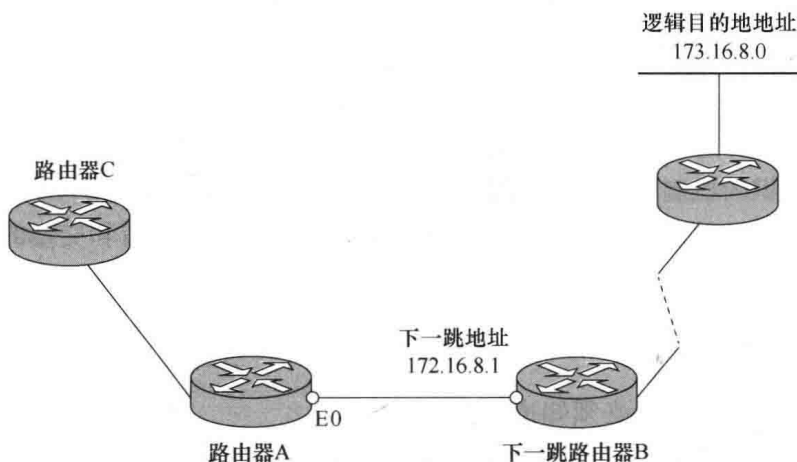


图 1-1 路由条目的含义

【例 1-1】路由表给出了去往各目的地网络的度量值和下一跳路由器，如图 1-2 所示。

RouterA#show ip router

```

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

```
Gateway of last resort is not set (缺省网关未设置)

173.16.0.0/16 is subnetted, 2 subnets
I 173.16.8.0 [100/113755] via 172.16.8.1 00:00:12 E0
< output omitted >
```

图 1-2 路由条目的示例

对各元素的解释如表 1-1 所示。

表 1-1 路由条目各元素的解释

路由条目中的元素	描 述
I	这条路由是怎样生成的。在本例中，该路由是通过内部网关路由协议（IGRP）生成的
173.16.8.0	逻辑目的地网络/子网
100	IGRP 路由协议的管理距离（可信赖因子）
113755	度量值（可达性），这是 IGRP 的缺省值，它是对带宽和延迟的综合考虑
via 172.16.8.1	下一跳逻辑地址（下一台路由器）
00:00:12	自上次更新后该条目已存在的时间（以“时：分：秒”的格式表示）
E0	数据包离开当前路由器去往目的地地址将经过的输出接口

1.1.4 管理距离

路由进程（如 IP 协议进程）负责选择到任何目的地网络的最佳路径。因为在任何时候一台路由器上可以存在一种以上的路由学习机制，所以当从多个渠道学到去往同一目的地网络的路由时，就需要有一种在这些路由条目之间进行选择的方法。对于 Cisco 路由器中的 IP 路由协议，它采用管理距离来选择最可信的路由。

管理距离是用作标识路由条目可信程度的一个尺度。仅当路由器同时从一个以上的来源学到去往同一个目的地网络的路由时它才有用。小的管理距离要比大的好。一般来说，缺省管理距离的预先分配原则是：

- (1) 人工设置路由条目优先级高于动态学到的路由条目。
- (2) 度量值算法复杂的路由协议优先级高于度量值算法简单的路由协议。

表 1-2 所列的是一些路由协议的管理距离。

表 1-2 一些路由协议的管理距离

路 由 来 源	缺省管理距离
直连的接口	0
以当前路由器的一个接口为出口的静态路由	0
以下一跳路由器为出口的静态路由	1
EIGRP 的归纳路由（Summary Route）	5
外部 BGP（EBGP）	20
内部 EIGRP	90
IGRP	100

续表 1-2

路由来源	缺省管理距离
OSPF	110
IS-IS	115
RIP (v1 和 v2)	120
EGP	140
外部 EIGRP	170
内部 BGP (IBGP)	200
不知道	255

1.1.5 路由度量值

路由器用度量值这个参数来通告它到一个网络的成本。度量值的一些常见例子有：跳数（要通过几个路由器）、开销（基于带宽）和综合值（在度量值的计算中使用多个参数）。路由进程选择具有最小度量值的路径。

当存在多条具有相同最低度量值的路径时，路由器将在这些路径上启用负载均衡功能。对 IP 协议来说，Cisco 缺省地支持到同一目的地网络的 4 条相同度量值路径，通过使用“**maximum-paths**”路由器配置命令，可以在 Cisco 互联网络操作系统（IOS）中配置支持最多 6 条具有相同度量值的最优路径。

1.1.5.1 RIP 协议的路由度量值

路由信息协议（RIP）是采用跳数作为路由度量值，它等于到达目的地网络所必须经过的中间路由器的数量。在图 1-3 所示的网络拓扑结构图中，传统的 RIP 协议运行时可能让路由器 A 武断地选择去往目的地网络 178.168.20.0 的单条路径，且在路由表中只存在该条路径。

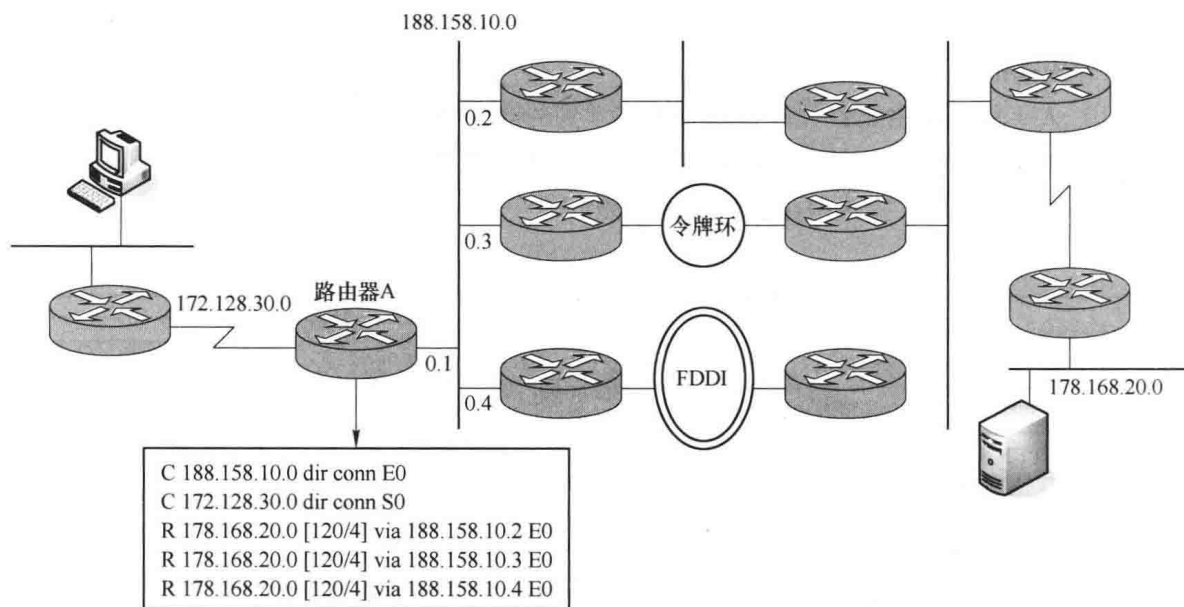


图 1-3 RIP 路由协议生成的路由表