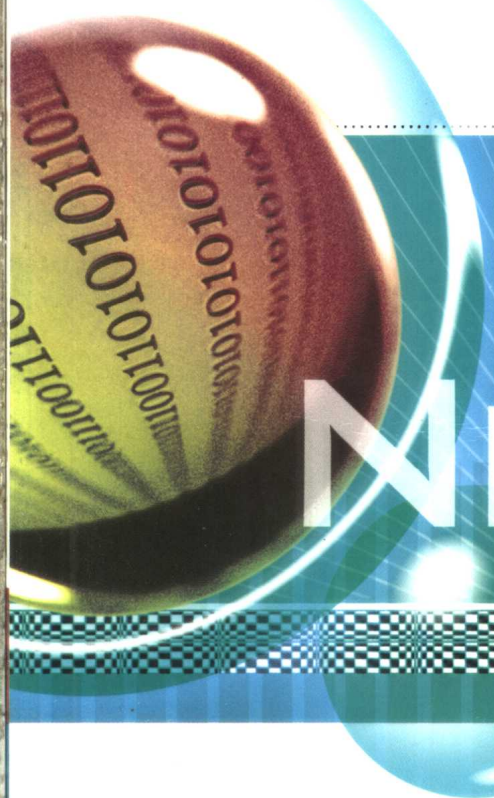


最新CCNP 认证之BSCI宝典

(考试号642-901)

◎ 张国清 编著 ◎

<http://www.phei.com.cn>



NETWORKS



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

最新 CCNP 认证之 BSCI 宝典

(考试号 642-901)

张国清 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书共分 10 章, 以 Cisco 公司公布的以获取 CCNP 证书的 BSCI 一书的考试大纲为基准, 全书内容包括: IPv4 地址规划及变长子网掩码、IPv6 地址、OSPF 路由协议、EIGRP 路由协议、集成 IS-IS 路由协议、BGP 路由协议、控制路由信息更新技术、策略路由技术, 以及组播与组播路由技术。

本书可作为高等院校和思科网络技术学院 CCNP 认证的教材使用, 既适合以获取 CCNP 和 CCDP 证书为目的的读者阅读, 也适合工程技术人员在工作中做参考资料。

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

最新 CCNP 认证之 BSCI 宝典: 考试号 642-901/ 张国清编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.7
ISBN 978 7-121-04723-7

I. 最… II. 张… III. 计算机网络—工程技术人员—资格考核—自学参考资料 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 107442 号

责任编辑: 宋 梅

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 26 字数: 665 千字

印 次: 2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 52.00 元

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 zltz@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

当今社会, 认证已经成为非常流行的事情了, 尤其是在 IT 业界工作的人士中, 很多人都同时拥有多个职业认证证书。职业认证证书已成为单位招贤纳士和个人寻找工作、获得升迁机会的重要依据, 其中计算机及通信业界的职业认证是众多认证中最著名的。几乎所有的著名厂商都推出了他们的认证体系, 例如, Cisco, Microsoft, IBM 和 HP 等。

思科公司是当今世界上最著名的网络互连设备的设计者和供应商, 该公司推出的职业认证证书在计算机及通信业界含金量最高, 是许多大中专毕业生和 IT 从业人员追求的目标。

随着社会的发展和进步, 互联网通信技术也不断地发展和更新, 新应用、新技术层出不穷。为了适应这种发展, 思科公司也不断地升级其职业认证所要求的技能, 以培养出能够管理以新型技术为主导的网络技术人员。2006 年 8 月, 思科公司再一次升级了其 CCNP 职业认证的课程内容。新的 CCNP 认证虽然仍然包含 4 门课程, 但内容上有了有了很大的变化。这 4 门课程分别是: 《Building Scalable Cisco Internetworks》, 简称 BSCI, 考试号为 642-901; 《Building Cisco Multilayer Switched Networks》, 简称 BCMSN, 考试号为 642-812; 《Implementing Secure Converged Wide Area Networks》, 简称 ISCW, 考试号为 642-825; 《Optimizing Converged Cisco Networks》, 简称 ONT, 考试号为 642-845。

本书就是获得 CCNP 证书所必考的 4 门课程之一, 它适合下列 3 类读者阅读:

第 1 类, 已经获得 CCNA 认证证书并希望继续获取 CCNP 认证证书的人员。本书内容完全覆盖考试号 642-901 所要求的知识点, 并对考试的难点和重点进行了详细的阐述。对于那些准备考取 CCNP 证书的读者来说, 本书是非常适合的备考教材, 因此本书也适合作为培训教材使用。如果读者能够对本书所讲内容真正理解并记忆, 就能顺利通过 642-901 的考试。

第 2 类, 已经获得 CCNP 认证但需要进一步提高的人员。多年的教学实践证明, 当前的教材和教学与实践结合得还不够紧密。虽然有许多人已经学完了相关课程, 甚至以优异的成绩考取了证书, 但实际上对某些理论和技术并不很清楚, 在实际工作中遇到问题时仍然显得无所适从。造成这种情况的原因有两个: 一个是教材中本来就没有讲清楚; 另一个是没有时间去深究问题, 因为尽快拿到证书是目的。更何况社会就业压力大, 竞争激烈, 在多一个证书就多一份就业机会的现实面前, 许多人仅仅是靠背考题获得了证书, 因此这种人也被称为“paper”。获得证书只是第一步, 目的是要拥有一份工作。当有了工作, 在需要解决实际问题时, 就需要再次查阅更详细、更深入、更具有实用性的书籍或资料。本书正好可以弥补这方面的不足, 加强了实操能力的培养。

第 3 类, 在职工程技术人员。在职工程技术人员的学习目的不同于大中专院校的学生, 也不同于初步接触计算机网络的人员, 这些人员主要以获取证书为目的, 增强就业的竞争力。工程技术人员的学习出发点立足于本职工作, 他们需要的是如何快速、准确地解决工作中遇到的实际问题。有些工作人员根据经验及经历, 掌握了许多实现案例和方法, 但是却不知道为什么这么做。如果有一本把理论和其在工作中的实践结合起来的书籍, 将对工作人员有很大的帮助, 使他们不仅知其然, 还能知其所以然, 提高工作能力。该书也考虑这方面的因素, 对常用参数的含义进行了解释, 以便工程人员可以随时查阅, 了解其真正的作用。

本书的内容完全覆盖 Cisco Press 出版的 BSCI 中所讲述的内容, 并在此基础上进行了适

当的扩充，其目的是为了把理论和实践结合起来，便于读者更好地理解；本书根据技术的本质及逻辑关系组织书稿的结构，使其脉络清晰，知识连贯；详细阐述了 BSCI 中的重点、要点和难点。本书的宗旨是：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；满足上述 3 类读者的需要。

本书共分 10 章，内容主线与 Cisco Press 发布的 BSCI 相同。

第 1 章（IP 地址详解）：介绍了 IPv4 地址、子网划分，VLSM 技术和 IPv6 地址。第 1 章是其他 9 章的基础，因此，建议读者要认真阅读，确保熟练掌握 VLSM 技术和 IPv6 地址。

第 2 章（单区域 OSPF）和第 3 章（多区域 OSPF）：分别讨论了单区域环境下的 OSPF 和多区域环境下的 OSPF。

第 4 章（支持 IPv6 的 OSPF）：讨论了 OSPFv3 的特点及如何在路由器上配置 OSPFv3 路由协议。

第 5 章（EIGRP 路由协议）：讨论了思科专有路由协议 EIGRP。

第 6 章（集成 IS-IS 路由协议）和第 7 章（配置集成 IS-IS 路由协议）：分别讨论了集成 IS-IS 协议的原理和实现。

第 8 章（边界网关协议）：讨论了 BGP 路由协议。

第 9 章（控制路由更新及策略路由）：是前几章所讲技术的综合实现，同时增加了新的技术。例如，路由图、前缀列表和策略路由技术，因此，需要在掌握了前 7 章所讲技术的前提下阅读。

第 10 章（组播路由技术）：讨论了组播特性及组播路由技术。

作者在编著本书时得到了好友曲晓松（CCIE#14412）的协助，他通读了本书稿并提出了很好的建议和修改意见。

感谢电子工业出版社为本书的出版发行所做的工作！

由于作者水平有限，书中难免会出现错误和纰漏，欢迎广大读者批评指正（tsing@btamail.net.cn）。<http://blog.sina.com.cn/zhangguoqingcisco>

编著者

2007 年 1 月

目 录

第 1 章 IP 地址详解	(1)
1.1 IP 地址的管理方案	(1)
1.2 变长子网掩码	(2)
1.3 路由归纳	(4)
1.3.1 路由归纳的方法	(5)
1.3.2 路由归纳时的考虑	(6)
1.4 帮助地址	(7)
1.4.1 服务器位置综述	(8)
1.4.2 配置帮助地址	(9)
1.5 IPv6 地址概述	(10)
1.5.1 IPv6 地址的表示方法	(11)
1.5.2 IPv6 前缀表示法	(12)
1.5.3 IPv6 地址类型	(12)
1.5.4 IPv6 包头	(17)
1.5.5 ICMPv6	(17)
1.5.6 邻居发现协议	(19)
1.5.7 移动 IPv6 地址	(20)
1.6 本章小结	(22)
第 2 章 单区域 OSPF	(23)
2.1 OSPF 特性综述	(23)
2.2 OSPF 术语	(23)
2.3 广播型多路访问拓扑下的 OSPF 运行	(25)
2.3.1 数据报结构	(26)
2.3.2 Hello 数据包	(26)
2.3.3 选举指定路由器和备份指定路由器	(27)
2.3.4 OSPF 的启动过程	(29)
2.3.5 路由信息的维护	(30)
2.3.6 在广播型多路访问网络上配置 OSPF	(32)
2.4 点到点拓扑中的 OSPF 运行	(48)
2.5 在 NBMA 拓扑中的 OSPF	(50)
2.5.1 OSPF 在 NBMA 拓扑中的运行模式	(51)
2.5.2 在 NBMA 拓扑中配置 OSPF	(53)
2.6 本章小结	(68)

第 3 章 多区域 OSPF	(70)
3.1 划分区域的优点	(70)
3.2 区域的类型	(71)
3.3 路由器类型	(71)
3.4 LSA 类型	(72)
3.5 LSU 的传播	(72)
3.5.1 LSU 的传播过程	(73)
3.5.2 计算路由表的过程	(73)
3.6 虚链路	(74)
3.7 路由归纳	(75)
3.8 配置多区域 OSPF	(75)
3.8.1 标准区域配置	(76)
3.8.2 末节区域配置	(84)
3.8.3 完全末节区域配置	(88)
3.8.4 路由归纳配置	(90)
3.9 默认路由	(95)
3.10 OSPF 的认证	(97)
3.11 自定义 OSPF 参数	(100)
3.12 本章小结	(101)
第 4 章 支持 IPv6 的 OSPF	(102)
4.1 OSPFv3 与 OSPFv2	(102)
4.1.1 OSPFv3 与 OSPEv2 的相似之处	(102)
4.1.2 OSPFv3 与 OSPEv2 的不同之处	(103)
4.2 数据包结构	(103)
4.3 Hello 数据包	(105)
4.4 IPv6 使用的 LSA 类型	(106)
4.4.1 LSA 的产生	(106)
4.4.2 LSA 类型	(106)
4.5 配置 OSPFv3	(107)
4.5.1 基本配置命令	(107)
4.5.2 检查 OSPFv3 的运行状态	(113)
4.5.3 NBMA 配置示例	(124)
4.5.4 路由总结	(128)
4.5.5 配置 OSPFv3 认证	(129)
4.6 本章小结	(130)

第 5 章 EIGRP 路由协议	(132)
5.1 EIGRP 的特点	(132)
5.2 EIGRP 和 IGRP	(132)
5.3 EIGRP 协议使用的数据包	(133)
5.4 EIGRP 协议的运行过程	(133)
5.5 扩散更新算法	(134)
5.5.1 EIGRP 术语	(134)
5.5.2 DUAL 的运行过程	(136)
5.6 配置 EIGRP	(139)
5.7 检查 EIGRP 运行的命令	(140)
5.8 路由总结	(146)
5.8.1 自动总结	(147)
5.8.2 手工总结	(150)
5.8.3 路由总结时的考虑	(150)
5.9 不等值路径负载均衡	(152)
5.10 默认路由	(154)
5.11 EIGRP 与低速链路	(154)
5.11.1 Bandwidth 对 EIGRP 的影响	(155)
5.11.2 NBMA 链路 with EIGRP	(155)
5.12 路由阻陷在活跃状态 (SIA)	(159)
5.12.1 SIA 的产生	(159)
5.12.2 解除 SIA 的步骤和方案	(160)
5.13 小结	(162)
第 6 章 集成 IS-IS 路由协议	(163)
6.1 TCP/IP 协议回顾	(163)
6.2 OSI 协议堆栈	(165)
6.3 ISO IS-IS 路由选择域	(167)
6.3.1 IS 类型	(167)
6.3.2 层次路由体系	(168)
6.4 集成 IS-IS 路由协议	(168)
6.4.1 集成 IS-IS 区域类型	(168)
6.4.2 集成 IS-IS 路由器类型	(168)
6.4.3 集成 IS-IS 路由选择域类型	(169)
6.5 ISO 地址规划	(170)
6.5.1 NSAP 地址结构	(170)
6.5.2 IS-IS NSAP 和 NET 地址	(172)
6.5.3 使用 NET 地址	(173)

6.6	IS-IS 协议原理综述	(174)
6.6.1	运行步骤和过程	(175)
6.6.2	网络类型	(176)
6.6.3	邻接类型	(177)
6.6.4	PDU 类型	(178)
6.7	邻接关系的建立	(179)
6.7.1	点到点链路上邻接关系的建立	(179)
6.7.2	LAN 上邻接关系的建立	(183)
6.8	LSP	(186)
6.8.1	L1 LSP	(186)
6.8.2	L1 LSP 携带的 TLV	(190)
6.8.3	L2 LSP	(195)
6.8.4	L2 LSP 携带的 TLV	(196)
6.9	序列码数据包	(201)
6.9.1	完全序列码数据包	(201)
6.9.2	部分序列码数据包	(203)
6.10	IS-IS 的度量	(204)
6.10.1	未扩展的 IS-IS 度量	(204)
6.10.2	扩展的 IS-IS 度量	(206)
6.11	本章小结	(208)
第 7 章	配置集成 IS-IS 路由协议	(209)
7.1	基本命令	(209)
7.2	单区域配置示例	(210)
7.2.1	配置集成 IS-IS 协议	(210)
7.2.2	检查 IS-IS 协议的运行	(213)
7.3	多区域配置示例	(223)
7.3.1	区域拆分	(224)
7.3.2	使用多进程配置多区域	(234)
7.4	默认路由	(242)
7.4.1	L1 默认路由	(242)
7.4.2	L2 默认路由	(243)
7.5	路由总结	(245)
7.6	由窄度量到宽度量	(248)
7.7	IP 路由泄漏	(249)
7.7.1	IP 路由泄漏的作用	(249)
7.7.2	配置 IP 路由泄漏	(250)
7.8	IS-IS 运行在 NBMA 网络中	(254)

7.8.1	多点链路	(254)
7.8.2	点到点链路	(256)
7.9	IS-IS 认证	(258)
7.10	管理 IS-IS 的命令	(259)
7.11	本章小结	(261)
第 8 章	边界网关协议	(262)
8.1	BGP 与 AS	(262)
8.2	使用 BGP 时的考虑	(263)
8.3	BGP 概述	(263)
8.4	BGP 消息类型	(265)
8.5	BGP 邻接状态	(266)
8.6	路径属性	(267)
8.6.1	属性分类	(267)
8.6.2	BGP 属性	(268)
8.7	BGP 同步规则	(274)
8.8	路由选择	(275)
8.8.1	不予考虑的路由	(276)
8.8.2	选择最佳路由	(276)
8.8.3	实现多路径支持	(277)
8.9	BGP 路由反射	(278)
8.9.1	Split Horizon	(278)
8.9.2	路由反射器	(279)
8.9.3	路由反射器术语	(279)
8.9.4	路由反射器的规划	(280)
8.9.5	路由反射规则	(280)
8.9.6	路由反射器设计技巧	(281)
8.10	配置 BGP 路由协议	(282)
8.10.1	基本配置命令	(282)
8.10.2	环回接口与 BGP 会话	(283)
8.10.3	通告路由	(284)
8.10.4	BGP 配置示例	(284)
8.10.5	更改下一跳属性值	(292)
8.10.6	BGP 同步分析	(293)
8.10.7	配置路由反射器	(307)
8.10.8	通告聚合路由	(309)
8.10.9	配置对等体组	(313)
8.10.10	应用团体属性	(315)

8.10.11 其他命令	(316)
8.11 多宿主	(317)
8.12 BGP 案例	(318)
8.13 本章小结	(327)
第 9 章 控制路由更新及策略路由	(329)
9.1 控制路由信息更新	(329)
9.1.1 被动接口	(329)
9.1.2 前缀列表	(332)
9.1.3 发布列表	(335)
9.1.4 路由图	(338)
9.1.5 路由再发布	(351)
9.2 策略路由	(363)
9.2.1 策略路由概念	(363)
9.2.2 基于路由图的策略路由	(364)
9.3 本章小结	(367)
第 10 章 组播路由技术	(369)
10.1 组播概述	(369)
10.1.1 单播数据流	(369)
10.1.2 广播数据流	(370)
10.1.3 组播数据流	(370)
10.1.4 组播特性	(371)
10.2 组播地址	(371)
10.2.1 组播的 3 层地址	(371)
10.2.2 组播的 2 层地址	(371)
10.3 路由器管理组播的协议	(372)
10.3.1 IGMPv1	(373)
10.3.2 IGMPv2	(374)
10.4 交换机管理组播的协议	(376)
10.5 组播数据流的路径选择	(378)
10.5.1 特定源分布树	(378)
10.5.2 共享分布树	(379)
10.6 控制组播数据流的传播范围	(379)
10.7 组播路由协议	(380)
10.7.1 密集模式路由协议	(380)
10.7.2 稀疏模式路由协议	(381)
10.8 配置组播路由协议	(382)
10.8.1 启用组播功能	(383)

10.8.2 启用组播接口	(383)
10.8.3 配置集合点	(383)
10.8.4 设置 TTL 门限值	(386)
10.8.5 把路由器加入组播组	(386)
10.8.6 设置 IGMP 版本	(386)
10.8.7 启用 CGMP	(386)
10.8.8 检验组播路由运行的命令	(387)
10.9 本章小结	(391)
附录 A 实现 IPv6 的方案	(393)
A.1 概述	(393)
A.2 通过 IPv4 隧道技术实现 IPv6	(393)
A.3 手工配置隧道示例	(394)
附录 B Cisco 认证体系	(398)
B.1 认证体系	(398)
B.2 应考科目及考试编号	(399)
参考文献	(401)

第1章 IP 地址详解

TCP/IP 协议在其网络层定义了逻辑地址,即著名的 IPv4 地址,用其在 Internet 中定位数据节点和主机的位置。该地址最初是在 1981 年定义的。一个 IP 地址的长度是 32 比特,分成两个部分:网络部分(地址)和主机部分(地址)。IP 地址也被划分了类别——A 类、B 类、C 类、D 类和 E 类。该分类方法的依据是第 1 个字节的十进制值(IP 地址中的每一个字节也称为 octet),所以该分类方法也称为“第 1 字节规则”。根据第 1 字节规则,这 5 类地址的范围分别如下所述。

A 类: 1~126 (0 和 127 是保留地址,分别代表“本网络”和本地环回地址)

B 类: 128~191

C 类: 192~223

D 类: 224~239

E 类: 240~255

在这 5 类地址中,A、B、C 类地址(被称为主类/主网地址)是人们最熟悉的,因为 Internet 中的设备地址都属于这 3 类。D 类地址用做组播(Multicast)地址。组播地址被广泛应用在电视会议和视频点播等服务中。另外,一些路由协议也使用组播地址进行路由信息的交流更新,如 OSPF 和 EIGRP 等。E 类地址用于实验。

【提示】

有关组播的详细内容请读者参阅 BCMSN 一书。

1.1 IP 地址的管理方案

从 IP 地址被定义并且应用在 Internet 上以来,Internet 以惊人的速度发展,这种令人难以置信的发展,迅速使 IP 地址面临两大挑战:

① IP 地址枯竭——只使用主类地址或者一个主网地址中只使用一个子网掩码进行子网划分很可能是不合适的。例如,一个点到点链路只需要两个地址,我们可能不得不为这个网络分配几十个甚至几百个地址。

② 路由条目数量急增和路由表的可管理性——Internet 的急速增长和 IP 地址的随意分配造成路由表中的路由条目大大增加,路由器不得不跟踪数万甚至更多的路由条目才能完成全球数据的转发,这给路由器和管理员都带来了负担。

为了解决这些问题,一方面,人们开发新一代 IP 地址——IPv6;另一方面,业界也提出了许多 RFC 使当前的地址方案得以继续使用。这些方案包括:

① 子网掩码——可以使一个网络地址扩展出更多的子网络地址[参见《CCNA(考试号 640-801)学习指南》一书]。

② 私有网络地址——保留一部分地址不在公网上使用, 这些地址可以在任何公司或组织内自行分配使用。

③ 网络地址转换 (Network Address Translation, NAT) —— 配合私有地址使用, 节约地址空间。当使用私有地址的用户需要把数据发送到 Internet 时, 使用 NAT 可以把私有地址翻译成公网地址 (参见《CCNA (考试号 640-801) 学习指南》一书)。

④ 路由归纳——用一个归纳的路由条目代表多个路由条目。

⑤ 无类别域间路由 (Classless Inter-Domain Routing) —— 将多个 C 类地址组合成更大的无类别 IP 地址块, 这些 C 类地址可以在路由表中被归纳, 技术上和路由归纳技术相同。

⑥ 可变长子网掩码 (Variable Length Subnet Mask, VLSM) —— 使得在一个主网中使用多个子网掩码, 并且能够对一个子网再进行子网划分。

1.2 变长子网掩码

利用 VLSM 技术可以在一个主类网络中使用多个子网掩码, 也可以对一个子网再进行子网划分。VLSM 技术使 IP 地址利用更有效。

当使用子网划分技术对一个主网进行子网划分时, 所得到的所有子网的掩码都是相同的, 也就是说, 在一个主类网络中只能使用一个掩码, 也不能对得到的这些子网再进行子网划分。例如, 如果对网络地址 172.172.0.0/16 进行子网划分, 不能在网络上同时使用 255.255.240.0 (掩码长度 20 位) 的掩码和 255.255.255.0 (掩码长度 24 位) 的掩码。如果使用 VLSM, 就可以对使用 20 位长度掩码的那些子网, 再使用 24 位长的掩码进一步子网划分, 以期得到更小地址空间的网络。VLSM 的另一优点是: 提高路由归纳的能力——可以把路由归纳到任意比特位。

下面的案例详细介绍了 VLSM 的计算方法。

【例 1】 某公司有 7 大部门, 每个部门又分数量不等的多个项目组。网络管理员使用地址 192.168.10.0/24 规划地址。

首先, 管理员在这个标准的 C 类主网中进行子网划分, 为每个部门分配一个子网。7 个部门需要 7 个子网, 只需从主机位中借 3 比特即可 ($2^3=8$), 掩码长度为 27 位 (255.255.255.224), 其二进制和十进制形式如下:

192. 168. 10. 0

11000000.10101000.00001010.00000000

所得的 8 个子网依次是:

192.168.10.0/27 11000000.10101000.00001010.00000000

192.168.10.32/27 11000000.10101000.00001010.00100000

192.168.10.64/27 11000000.10101000.00001010.01000000

192.168.10.96/27 11000000.10101000.00001010.01100000

192.168.10.128/27 11000000.10101000.00001010.10000000

192.168.10.160/27 11000000.10101000.00001010.10100000

192.168.10.192/27 11000000.10101000.00001010.11000000

192.168.10.224/27 11000000.10101000.00001010.11100000

网络管理员从中任意选取 7 个网络地址分配给 7 个部门使用（还剩余一个网络备用），每个网络中有可用主机地址 30 个（ 2^5-2 ）。

假设某个部门分到的网络地址是 192.168.10.192/27，它有 4 个项目组，那么，该地址需要再次进行子网划分，为每个项目组划分不同的网络地址。为了生成 4 个网络地址，只需要再借 2 位，掩码变成 29 位（255.255.255.248）即可，计算方法如下：

192.168.10.192/27 1 1000000.10101000.00001010.11000000

生成的 4 个网络分别是：

192.168.10.192/29 1 1000000.10101000.00001010.11000000

192.168.10.200/29 1 1000000.10101000.00001010.11001000

192.168.10.208/29 1 1000000.10101000.00001010.11010000

192.168.10.216/29 1 1000000.10101000.00001010.11011000

在以上 4 个网络中，各有 6 个可用 IP 地址（ 2^3-2 ）。

经过上述两次子网划分，在一个主网（192.168.10.0/24）内，使用了两个不同长度的掩码（分别是 27 位和 29 位）。当前地址的层次结构如下：

192.168.10.0/24  192.168.10.0/27

192.168.10.32/27

192.168.10.64/27

192.168.10.96/27

192.168.10.128/27

192.168.10.160/27

192.168.10.192/27  192.168.10.192/29

192.168.10.224/27 192.168.10.200/29

192.168.10.208/29

192.168.10.216/29

按照这样的计算方法，在 VLSM 中，掩码最长为 30 位，形成 2 个有效 IP 地址。在点到点链路中经常使用 30 位掩码，因为它只需要两个地址。

【注意】

在计算 VLSM 时，必须清楚哪个子网已经使用了，哪个子网还未被使用。只有未被使用的子网才能继续子网划分。

【例 2】 某公司的企业网络拓扑结构如图 1-1 所示。公司有处于不同地理位置的机构 4 个，分别是总部和 3 个分支机构。整个企业网络通过位于总部的路由器 HQ 和分别位于 3 个分支机构的路由器 A、B、C 互连而成。拓扑中显示有 8 个网络，网络管理员需要为这 8 个网络分配网络地址。网络管理员的分配方案如下：

第 1 步，网络管理员选择使用私有地址 172.16.0.0/16 的地址段为整个公司规划地址。

第 2 步，网络管理员进行第 1 次子网划分，向主机部分借了 8 比特，形成 24 位长的掩码，共形成 256 个子网。

第 3 步，网络管理员把 172.16.1.0/24 和 172.16.2.0/24 分配给总部的网络使用。

第 4 步, 网络管理员使用网络 172.16.14.0/24 进行再次子网划分 (即 VLSM), 把该网络的掩码再向后延长 3 比特, 形成 27 的掩码。这样, 共产生 $2^3=8$ 个子网, 用来分配给分支机构的网络使用。

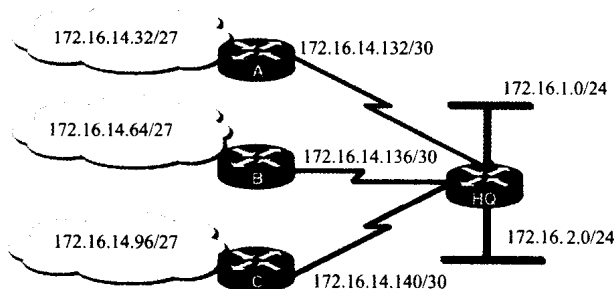


图 1-1 案例 2 使用的拓扑

第 5 步, 网络管理员选择 172.16.14.32/27, 172.16.14.64/27 和 172.16.14.96/27 分配给 3 个分支机构使用。

第 6 步, 网络管理员使用网络 172.16.14.128/27 进行再次划分, 为 3 个点到点链路规划地址。因为点到点链路只需要 2 个 IP 地址, 所以使用 30 位长的掩码。

第 7 步, 网络管理员把网络地址 172.16.14.132/30, 172.16.14.136/30 和 172.16.14.140/30 分配给 3 个点到点链路使用。

至此, 地址分配工作结束。多余的网络地址是考虑到网络未来扩展而为以后的网络保留的。

1.3 路由归纳

路由归纳, 也称为路由总结、路由聚合或超网 (Supernetting), 是在路由器的路由表中, 用一个归纳的网络地址 (也称为总结的网络地址) 代表一系列网络地址 (被归纳的网络地址) 的方法。在大型网络中, 存在着数量巨大的网络地址 (网络号), 每一个在路由协议看来可达的网络号在路由器的路由表中, 都至少有一个路由条目与之相应。因此, 路由器的路由表可能会很大, 为路由器查找路由增加了难度。另外, 一般不希望路由器在它的路由表中保存所有的具体路由, 所以, 使用路由归纳可以缩小路由表。

路由归纳的另外一个优点是: 当被归纳的网络拓扑发生变化时, 只有总结路由条目的路由器不会受到网络拓扑变化的影响, 即增强网络的稳定性。如图 1-2 所示, 路由器 A 的路由表中有 3 条具体的路由, 它们分别是 172.17.21.0/24, 172.17.22.0/24 和 172.17.23.0/24。如果路由器 A 不使用路由归纳, 它将把这 3 条路由通告给路由器 B。如果这 3 个网络中的任意一个网络拓扑发生变化, 路由器 A 的路由表跟着变化, 路由器 A 也会把路由变化的信息通告给路由器 B, 路由器 B 的路由表也跟着变化。如果路由器 B 也没有进行路由归纳, 那么这种拓扑变化信息将会进一步向其他网络传播。网络越大越复杂, 这种变化对网络的影响越严重。

如果在路由器 A 上进行路由归纳, 把 3 个具体路由归纳为 1 个总结的路由条目 172.17.0.0/16 通告给路由器 B, 那么, 路由器 B 的路由表中只有 172.17.0.0/16 的路由条目, 并没有 3 个具体的路由条目, 当任意 1 个被总结的路由发生变化时, 路由器 B 的路由表都不会跟着变化。

【注意】

只要在路由器 A 的路由表中存在一条被总结的路由条目，路由器 A 就会向其邻居路由器通告总结路由。当所有被总结的路由都不存在时，总结路由才不被通告。

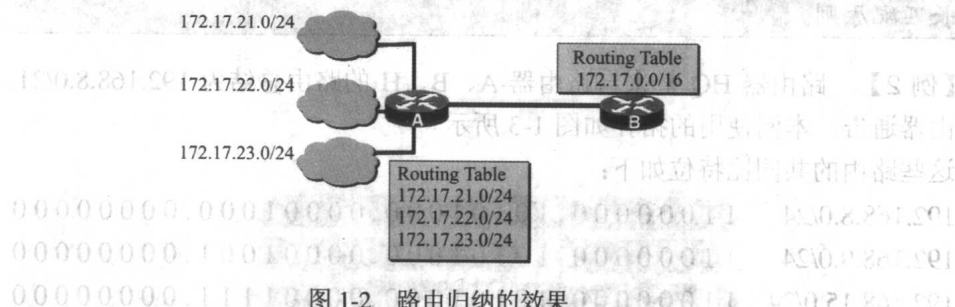


图 1-2 路由归纳的效果

1.3.1 路由归纳的方法

在当前使用子网地址的网络环境中，当网络地址数是以 2 的指数形式的连续区块时，路由归纳是最有效的。因为路由归纳必须在二进制边界上进行（2 的指数）。如果地址不是连续的或不是 2 的指数，可以将这些地址分组，然后对每个组进行总结。下面举例说明路由归纳的方法——寻找所有地址的最高共同比特位。

【例 1】 某个路由器的路由表中包含如下路由条目：

192.168.10.160/30
192.168.10.164/30
192.168.10.168/30
192.168.10.172/30
192.168.10.176/30
192.168.10.180/30
192.168.10.184/30
192.168.10.188/30

为了确定归纳路由，路由器需要确定以上所有地址的最高（最左边）共同比特位。这些地址的十进制、二进制形式对照如下：

192.168.10.160/30	11000000.10101000.00001010.10100000
192.168.10.164/30	11000000.10101000.00001010.10100100
192.168.10.168/30	11000000.10101000.00001010.10101000
192.168.10.172/30	11000000.10101000.00001010.10101100
192.168.10.176/30	11000000.10101000.00001010.10110000
192.168.10.180/30	11000000.10101000.00001010.10110100
192.168.10.184/30	11000000.10101000.00001010.10111000
192.168.10.188/30	11000000.10101000.00001010.10111100

可以看出，这些地址的共同比特位是前 27 比特。所以，路由器可以使用一条归纳路由