

教育部信息安全特色专业建设项目

刘静 赖英旭 杨胜志 李健 编著

# 路由与交换技术

计算机科学与技术专业实践系列教材

清华大学出版社

计算机科学与技术专业实践系列教材

# 路由与交换技术

刘静 赖英旭 杨胜志 李健 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书突出模块化教学的特点,按照路由基础介绍——距离矢量路由协议——EIGRP 路由协议——OSPF 路由协议——虚拟局域网——虚拟局域网中继——生成树协议——单臂路由以及 VLAN 间路由的主线来组织内容。针对高校和运营商正在积极推动 IPv4 向 IPv6 的平滑演进,书中加入了对 IPv6 路由协议的介绍。本书面向课堂教学全过程设置教学内容,每章包括工作原理、特点、配置、验证、排错、本章小结和习题等环节,将讲解理论知识、训练操作技能、提高实践能力有机结合起来,强化了交换机和路由器操作技能的培养。

本书通俗易懂,注重可操作性和实用性,由多年从事计算机网络课程教学、具有丰富实践经验和动手能力的一线教师编写,可以作为高等院校的计算机专业和信息安全专业网络课程的教材,也可以作为计算机网络专业的培训教材以及自学教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

路由与交换技术/刘静等编著. —北京:清华大学出版社,2013.3

(计算机科学与技术专业实践系列教材)

ISBN 978-7-302-30876-8

I. ①路… II. ①刘… III. ①计算机网络—路由选择—高等学校—教材 ②计算机网络—信息交换机—高等学校—教材 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 291814 号

责任编辑:汪汉友

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15.5 字 数:389千字

版 次:2013年3月第1版 印 次:2013年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00元

# 前 言

计算机网络是现代信息社会的基础,人们的生产和生活越来越依赖于网络。随着互联网在全球的迅速普及,路由器、交换机等网络设备不仅作为各大中小企事业单位网络中的主要设备在使用,同时也进入到各类院校的实验室。

交换技术与路由技术是网络互连时的主要支撑技术,对于学生和网络专业从业人员来说,不仅要学习计算机网络方面的理论知识,更重要的是学习交换机、路由器等网络设备的配置以及这些技术在网络中的实际应用。

本书由北京工业大学一线教师和北京工业大学信息处的网络工程师共同编写,其中,北京工业大学教师从事大学本科计算机网络教学4年,网络工程工作5年;北京工业大学信息处的网络工程师有多年从事网络构建、维护和研发工作的经验。书中重点分析了路由技术和交换技术的工作原理、特点,并配有大量的配置、验证和排错案例,讲解实际的操作技能。

本书分为8章,具体内容如下:

第1章。路由基础介绍。介绍有关路由协议的重要基础知识。介绍子网划分、VLSM、CIDR和路由汇总。对直连网络、静态路由和动态路由协议进行了概述。还回顾了路由表的查找过程。

第2章。距离矢量路由协议。介绍距离矢量路由协议。讨论了协议所使用的算法,网络发现过程和路由表的维护。讨论了距离矢量路由协议RIPv1、RIPv2和RIPng,包括配置、验证和排错。

第3章。EIGRP路由协议。详细介绍Cisco公司专有的、高级距离矢量路由协议EIGRP。讨论了DUAL(扩散更新算法)并描述DUAL如何确定最佳路径和无环的备用路径。包括配置、验证和排错。对EIGRPv6协议进行了简介。

第4章。OSPF路由协议。介绍链路状态路由协议的概念和工作原理。讨论使用链路状态路由协议的优点。描述链路状态路由协议OSPF,讨论单区域OSPF运行过程,包括链路状态更新、邻接、DR/BDR选择过程。包括配置、验证和排错。

第5章。虚拟局域网。介绍VLAN的定义、类型和特点,还讨论了VLAN的配置、验证。

第6章。虚拟局域网中继。介绍VLAN中继协议。描述了VTP协议的概念和结构。详细讨论了VLAN中继协议和VTP协议的配置、验证和排错。

第7章。生成树协议。详细分析了IEEE 802.1d生成树协议。如何选举根桥、根端口、指定端口、非指定端口,端口状态的转换。介绍了快速生成树协议、多生成树协议和Cisco生成树协议。

第8章。单臂路由以及VLAN间路由。介绍路由重分布和VLAN间路由。描述VLAN间路由的3种方法,传统VLAN间路由、单臂路由和三层交换。

本书由北京工业大学的刘静、赖英旭、李健和杨胜志共同编写,全书由赖英旭和刘静统

稿,李健审定。

本书的研究和编写工作受到教育部和北京市“信息安全特色专业建设项目”资助。本书从各种论文、书刊、期刊以及互联网中引用了大量的资料,在文字的录入和整理中,得到了李健老师的帮助,在此一并表示衷心感谢。

在本书的编写过程中,参考了 Cisco 公司网络的技术资料和培训教材,汲取了很多宝贵经验,由于时间和水平有限,难免有误,恳请读者批评指正,使得本书得以改进和完善。

作 者

2012 年 9 月于北京

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>第 1 章 路由基础介绍</b> .....   | 1  |
| 1.1 子网和子网掩码 .....           | 1  |
| 1.1.1 划分子网.....             | 1  |
| 1.1.2 子网掩码.....             | 2  |
| 1.1.3 子网划分实例.....           | 3  |
| 1.2 VLSM .....              | 6  |
| 1.2.1 VLSM 介绍 .....         | 6  |
| 1.2.2 VLSM 计算 .....         | 7  |
| 1.2.3 VLSM 实例 .....         | 8  |
| 1.3 CIDR 和路由汇总 .....        | 10 |
| 1.3.1 CIDR .....            | 10 |
| 1.3.2 路由汇总 .....            | 11 |
| 1.4 路由协议概述.....             | 11 |
| 1.4.1 与路由协议相关的术语 .....      | 11 |
| 1.4.2 静态路由和直连路由 .....       | 15 |
| 1.4.3 动态路由协议介绍 .....        | 20 |
| 1.4.4 动态路由协议分类 .....        | 22 |
| 1.4.5 有类和无类路由协议 .....       | 23 |
| 1.4.6 路由协议特性 .....          | 27 |
| 1.4.7 路由表的查找过程 .....        | 29 |
| 本章小结 .....                  | 33 |
| 习题 1 .....                  | 34 |
| <b>第 2 章 距离矢量路由协议</b> ..... | 36 |
| 2.1 距离矢量路由协议介绍.....         | 37 |
| 2.1.1 路由表的建立 .....          | 38 |
| 2.1.2 路由表的更新 .....          | 38 |
| 2.1.3 路由环路及其形成的原因 .....     | 42 |
| 2.1.4 避免路由环路机制 .....        | 44 |
| 2.2 RIP 路由协议.....           | 49 |
| 2.2.1 RIPv1 的特征和消息格式 .....  | 49 |
| 2.2.2 RIPv1 协议的配置 .....     | 51 |

|              |                              |            |
|--------------|------------------------------|------------|
| 2.2.3        | RIPv2 的特征和消息格式 .....         | 57         |
| 2.2.4        | RIPv2 协议的配置 .....            | 61         |
| 2.2.5        | RIPng 的特征和消息格式 .....         | 72         |
| 2.2.6        | RIPng 协议的配置 .....            | 73         |
| 2.3          | RIPv1、RIPv2 和 RIPng 特性 ..... | 76         |
|              | 本章小结 .....                   | 77         |
|              | 习题 2 .....                   | 77         |
| <b>第 3 章</b> | <b>EIGRP 路由协议</b> .....      | <b>79</b>  |
| 3.1          | EIGRP 介绍 .....               | 79         |
| 3.1.1        | EIGRP 的特点 .....              | 79         |
| 3.1.2        | EIGRP 工作原理 .....             | 80         |
| 3.1.3        | 扩散更新算法 .....                 | 90         |
| 3.2          | EIGRP 配置 .....               | 98         |
| 3.2.1        | EIGRP 基本配置 .....             | 98         |
| 3.2.2        | EIGRP 路由汇总 .....             | 100        |
| 3.2.3        | 配置检查与排错 .....                | 105        |
| 3.2.4        | EIGRP 更多配置 .....             | 111        |
| 3.3          | EIGRPv6 .....                | 112        |
| 3.3.1        | 基本原理 .....                   | 112        |
| 3.3.2        | EIGRPv6 基本配置 .....           | 113        |
| 3.3.3        | EIGRPv6 配置实例 .....           | 116        |
|              | 本章小结 .....                   | 116        |
|              | 习题 3 .....                   | 117        |
| <b>第 4 章</b> | <b>OSPF 路由协议</b> .....       | <b>119</b> |
| 4.1          | 链路状态路由协议介绍 .....             | 119        |
| 4.1.1        | 链路状态路由信息交换 .....             | 119        |
| 4.1.2        | 链路状态路由协议算法 .....             | 124        |
| 4.1.3        | 链路状态路由协议实施 .....             | 126        |
| 4.2          | 单区域 OSPF .....               | 128        |
| 4.2.1        | OSPF 协议简介 .....              | 128        |
| 4.2.2        | 广播多路访问网络中的 OSPF .....        | 137        |
| 4.3          | 单区域 OSPF 配置 .....            | 141        |
| 4.3.1        | OSPF 基本配置 .....              | 141        |
| 4.3.2        | 自定义 OSPF 参数 .....            | 142        |
| 4.3.3        | 默认路由通告 .....                 | 145        |
| 4.3.4        | OSPF 认证 .....                | 147        |
| 4.3.5        | 配置检查与排错 .....                | 149        |

|              |  |            |
|--------------|--|------------|
| 4.4          | 动态路由协议比较 .....                         | 153        |
| 4.5          | OSPFv3 .....                           | 154        |
| 4.5.1        | OSPFv3 与 OSPFv2 的相同之处 .....            | 154        |
| 4.5.2        | OSPFv3 与 OSPFv2 的不同之处 .....            | 154        |
| 4.5.3        | OSPFv3 数据包格式 .....                     | 155        |
| 4.5.4        | OSPFv3 的 LSA 概述 .....                  | 156        |
| 4.5.5        | OSPFv3 的基本配置 .....                     | 158        |
|              | 本章小结 .....                             | 159        |
|              | 习题 4 .....                             | 160        |
| <b>第 5 章</b> | <b>虚拟局域网 (VLAN)</b> .....              | <b>162</b> |
| 5.1          | VLAN 简介 .....                          | 162        |
| 5.1.1        | VLAN 的定义 .....                         | 162        |
| 5.1.2        | VLAN 的特点 .....                         | 164        |
| 5.1.3        | VLAN 的分类 .....                         | 165        |
| 5.2          | VLAN 的配置 .....                         | 166        |
| 5.2.1        | 创建 VLAN .....                          | 166        |
| 5.2.2        | 校验 VLAN .....                          | 168        |
| 5.2.3        | 删除 VLAN .....                          | 170        |
| 5.2.4        | 语音 VLAN 配置 .....                       | 171        |
| 5.2.5        | 管理 VLAN 配置 .....                       | 172        |
|              | 本章小结 .....                             | 173        |
|              | 习题 5 .....                             | 173        |
| <b>第 6 章</b> | <b>虚拟局域网中继</b> .....                   | <b>175</b> |
| 6.1          | 虚拟局域网中继技术 .....                        | 175        |
| 6.1.1        | 虚拟局域网中继技术的产生 .....                     | 175        |
| 6.1.2        | ISL 中继协议 .....                         | 176        |
| 6.1.3        | IEEE 802.1q 中继协议 .....                 | 177        |
| 6.1.4        | Native VLAN 和 IEEE 802.1q 中继 .....     | 178        |
| 6.1.5        | Native VLAN 配置与 IEEE 802.1q 中继配置 ..... | 179        |
| 6.1.6        | DTP 协议 .....                           | 182        |
| 6.1.7        | IEEE 802.1q 中继配置常见错误 .....             | 183        |
| 6.2          | Cisco VTP 协议 .....                     | 184        |
| 6.2.1        | VTP 协议概念 .....                         | 184        |
| 6.2.2        | VTP 协议结构 .....                         | 184        |
| 6.2.3        | VTP 工作模式 .....                         | 188        |
| 6.2.4        | VTP 修剪 .....                           | 189        |
| 6.2.5        | VTP 协议配置 .....                         | 190        |



|              |                                 |     |
|--------------|---------------------------------|-----|
| 6.2.6        | VTP 常见故障及解决方法 .....             | 195 |
|              | 本章小结 .....                      | 196 |
|              | 习题 6 .....                      | 196 |
| <b>第 7 章</b> | <b>生成树协议</b> .....              | 198 |
| 7.1          | 冗余拓扑 .....                      | 198 |
| 7.1.1        | 冗余交换拓扑 .....                    | 198 |
| 7.1.2        | 广播风暴 .....                      | 199 |
| 7.1.3        | 单播重复帧 .....                     | 200 |
| 7.1.4        | MAC 地址表不稳定 .....                | 200 |
| 7.2          | 生成树协议 .....                     | 200 |
| 7.2.1        | 生成树协议产生背景 .....                 | 200 |
| 7.2.2        | IEEE 802.1d 工作原理 .....          | 201 |
| 7.2.3        | 选举根桥、根端口、指定端口、非指定端口 .....       | 202 |
| 7.2.4        | 生成树端口状态 .....                   | 207 |
| 7.2.5        | 生成树拓扑变更 .....                   | 209 |
| 7.2.6        | 生成树协议配置 .....                   | 210 |
| 7.3          | 高级的 STP .....                   | 216 |
| 7.3.1        | 快速生成树协议 .....                   | 217 |
| 7.3.2        | 多生成树协议 .....                    | 220 |
| 7.3.3        | MSTP 配置 .....                   | 220 |
| 7.3.4        | Cisco 生成树协议 .....               | 223 |
|              | 本章小结 .....                      | 224 |
|              | 习题 7 .....                      | 225 |
| <b>第 8 章</b> | <b>单臂路由以及 VLAN 间路由</b> .....    | 227 |
| 8.1          | 路由重分布 .....                     | 227 |
| 8.1.1        | 重分布路由原则 .....                   | 227 |
| 8.1.2        | 重分布静态和直连路由 .....                | 228 |
| 8.2          | VLAN 间路由 .....                  | 229 |
| 8.2.1        | 传统 VLAN 间路由 .....               | 229 |
| 8.2.2        | 单臂路由 .....                      | 231 |
| 8.2.3        | 单臂路由配置 .....                    | 233 |
| 8.2.4        | 三层交换机 .....                     | 234 |
| 8.2.5        | 三层交换机和路由器在实现 VLAN 间路由上的差异 ..... | 235 |
| 8.2.6        | 三层交换机 VLAN 间路由 .....            | 236 |
|              | 本章小结 .....                      | 237 |
|              | 习题 8 .....                      | 237 |
| <b>参考文献</b>  | .....                           | 239 |

# 第 1 章 路由基础介绍

本章的主要内容包括：

- 子网划分 (Subnetting)、变长子网掩码 (VLSM)、无类别域间路由 (CIDR) 和路由汇总。
- 有类路由和无类路由。
- 路由协议相关概念和术语。

## 1.1 子网和子网掩码

### 1.1.1 划分子网

在今天看来, IPv4 地址的设计确实不够合理, 地址空间利用率有时很低并且已经耗竭, 在使用上也不够灵活。而且如果给每一个物理网络分配一个网络号会使路由表变得太大, 使得网络性能变坏。每一个路由器都从路由表中查出应怎样到达其他网络的下一跳路由器, 互联网中的网络数越多, 路由器的路由表的项目数也就越多。这样, 即使人们拥有足够多的 IP 地址资源可以给每一个物理网络分配一个网络号, 也会导致路由器的路由表中的项目数过多。这不仅会占用路由器更多的存储空间, 而且使查找路由时耗费更多的时间, 同时也使路由器之间定期交换的路由信息急剧增加, 因而使路由器和整个因特网的性能都下降。

为解决上述问题, 可以将网络进一步划分成独立的组成部分, 每个部分称为这个网络 (或者更高一级子网) 的子网 (Subnet), 这种做法叫做划分子网 (Subnetting) [RFC950], 又叫子网编址 (Subnet Addressing) 技术或子网寻径 (Subnet Routing)。划分子网以后, 每个子网看起来像一个独立的网络。而对于远程网络而言, 子网是透明的。每个子网可以对应一个地理范围或者区域, 也可以对应一种不同的物理介质。

#### 1. 划分子网的好处

(1) 改进系统性能, 克服简单局域网的技术条件限制。对于 A 类和 B 类的地址, 划分成多个子网后, 就把每个子网中的数据广播限制在同一子网中, 对其他用户不再造成干扰了。因为子网中的用户数少了许多, 这样在同一时间内, 广播传输的次数肯定也就小了, 广播所带来的负面影响也降低了, 相对来说就是提高网络的整体传输性能。

(2) 通过设置不同访问权限, 增强系统的安全保障。由于不同子网之间是不能直接通信的 (但可通过路由器或网关进行), 在网络安全形势不容乐观的今天, 网络越小, 安全性就相对越高, 因为入侵的途径少了。特别是对于财务和人事等企业的敏感部门, 可以专门针对这类子网部署更严格的安全策略, 阻止未授权用户访问它们。当然还是可以通过路由器把这些子网与其他网络连接起来, 以便通过它们访问其他用户, 也方便授权允许访问这些子网的用户访问它们。

(3) 便于网络的管理和运行维护,有利于故障的诊断和隔离。一个大的网络要查找故障点是相当困难的,如果把网络规模缩小了,查找的范围也就小了,维护起来也更方便了。

## 2. 如何来划分子网

IP 地址是由网络部分和主机部分组成的,划分子网的方法就是把一部分主机位拿出来作为“子网位”,或者叫做网络位向主机位“借位”。这使得 IP 地址的结构分为 3 个部分:网络位、子网位和主机位。例如,把一个 B 类网络地址的 16 位主机号分成 8 位子网号和 8 位主机号,如图 1-1 所示。

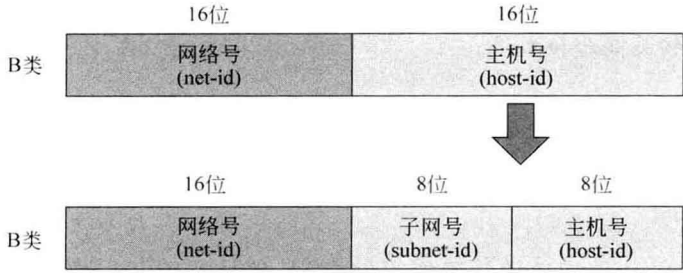


图 1-1 子网划分 IP 地址结构

引入子网概念后,网络位加上子网位才能全局唯一地标识一个网络。这样的结果是网络位多了,主机位少了,就达到了增加网络数量,减少一个网络内的主机数量,从而增加了广播域的个数,减少了广播。

目前,划分子网已经成为规划 IP 地址不可或缺的方法,是设计网络时必须掌握的技术。企业用户通常采取以下两种方式规划子网的划分:

(1) 根据地理分布特点划分。这种划分方式易于组网技术的实现,因为楼群内可采用局域网技术构成子网;楼群间选择合适的传输媒体和互连设备使不同子网互连。还可节省经费。

(2) 根据网络应用特点划分。这种划分方式是将共享相同网络资源的主机划分为同一子网,减少子网间的网络传输流量,提高系统性能。另外还可将具有相同安全密级程度的主机划分为同一子网,保障系统的安全。

### 1.1.2 子网掩码

在有子网划分概念前,只要给出某个 IP 地址,就可以根据它的第一个字节的大小来确定它是哪一类的地址,从而确定网络位和主机位。引入划分子网概念后,只给出 IP 地址就不能准确地确定哪些位是网络位。为了保证所配置的子网地址可以工作,网络中的每台计算机都必须知道自己主机地址中的哪一部分是被用来表示子网地址的。这可以通过在每台计算机上指定一个子网掩码来完成。子网掩码是一个 32 位的值,通过它,接收 IP 数据包的一方可以从 IP 地址的主机号部分中区分出子网号地址。子网掩码中一系列连续的 1 决定了 IP 地址中有多少位用来表示网络号和子网号,一系列连续的 0 则代表了主机号的位数。

使用子网掩码的另一作用是为了便于查找路由表。在 RFC950 成为因特网的正式标准

后,规定所有的网络都必须使用子网掩码,同时在路由器的路由表中的每一个项目,除了要给出目的网络地址外,还必须同时给出该网络的子网掩码。路由器在和相邻路由器交换路由信息时,必须把自己所在网络(或子网)的子网掩码告诉相邻路由器。因此,在不划分子网时还要使用子网掩码。

如果一个网络不划分子网,那么该网络的子网掩码就是使用默认子网掩码。其中 A 类地址的默认子网掩码为 255.0.0.0;B 类地址的默认子网掩码为 255.255.0.0;C 类地址的默认子网掩码为 255.255.255.0。另外还有 D 类组播地址和 E 类的保留地址,但是这两类地址非常特殊,没有主机位和网络位,也就不存在子网划分问题。故在本文中子网划分只细讨论 A,B,C 三类网络地址。

不管网络有没有划分子网,将子网掩码和 IP 地址换算成二进制,按位进行逻辑“按位与”运算,得到 IP 地址的网络地址,剩下的部分就是主机地址,从而区分出任意 IP 地址中的网络地址和主机地址。例如:

```
IP 地址:      172.10.6.1      10101100.00001010.00000110.00000001
子网掩码:    255.255.252.0  11111111.11111111.11111100.00000000
网络地址:    172.10.4.0      10101100.00001010.00000100.00000000
```

子网掩码常用点分十进制表示,还可以用网络前缀(network-prefix)法表示子网掩码,即“/ <网络地址位数>”,也就是子网掩码中 1 的个数,与子网掩码相比,它的表达更简单,如 138.96.0.0/16 表示 B 类网络 138.96.0.0 的子网掩码为 255.255.0.0。

### 1.1.3 子网划分实例

随着“借位”的不同,划分的子网的个数、每个子网容纳的主机的个数都会不同。下面,以一个 B 类地址为例,说明可以有多少种子网划分的方法。在采用固定长度子网时,所划分的所有子网的子网掩码是相同的(这种设计方式被称为定长子网掩码 Fixed-Length Subnet Mask,FLSM),如表 1-1 所示。

表 1-1 B 类地址的子网划分选择(使用固定长度子网)

| 子网号的位数 | 子网掩码                  | 子网数  | 每个子网的主机数 |
|--------|-----------------------|------|----------|
| 2      | 255.255.192.0 (/18)   | 2    | 16 382   |
| 3      | 255.255.224.0 (/19)   | 6    | 8190     |
| 4      | 255.255.240.0 (/20)   | 14   | 4094     |
| 5      | 255.255.248.0 (/21)   | 30   | 2046     |
| 6      | 255.255.252.0 (/22)   | 62   | 1022     |
| 7      | 255.255.254.0 (/23)   | 126  | 510      |
| 8      | 255.255.255.0 (/24)   | 254  | 254      |
| 9      | 255.255.255.128 (/25) | 510  | 126      |
| 10     | 255.255.255.192 (/26) | 1022 | 62       |

续表

| 子网号的位数 | 子网掩码                  | 子网数    | 每个子网的主机数 |
|--------|-----------------------|--------|----------|
| 11     | 255.255.255.224 (/27) | 2046   | 30       |
| 12     | 255.255.255.240 (/28) | 4094   | 14       |
| 13     | 255.255.255.248 (/29) | 8190   | 6        |
| 14     | 255.255.255.252 (/30) | 16 382 | 2        |

在表 1-1 中,子网数是根据子网号(subnet-id)计算出来的。若子网号有  $n$  位,则共有  $2^n$  种可能的排列。除去全 0 和全 1 这两种情况,就得出表中的子网数。表 1-1 中的“子网号的位数”列中没有 0,1,15,16 这 4 种情况,因为在传统的 B 类网络中这没有意义。

这样可以总结出子网划分的公式:

(1) 划分子网个数为  $2^n - 2$ ,其中  $N$  是网络位向主机位所借的位数。

(2) 每个子网的主机数为  $2^m - 2$ ,其中  $M$  是借位后所剩的主机位数。

(3) 划分后的子网掩码:在原有子网掩码的基础上借了几个主机位,就添加几个 1。

RFC 1009 中规定划分子网时,子网号不能为全 0 或全 1(或称为全 0 或全 1 网段)。RFC 1009 保留全 0 与全 1 网段未用是因为在某些时候采用全 0 与全 1 网段会导致 IP 地址的二义性。例如,将标准 B 类网络 172.10.0.0 划分成 4 个子网,采用了子网掩码 255.255.192.0 (假设允许子网号全为 0 或 1)。

子网 1: 网络号为 172.10.0.0,IP 地址范围为 172.10.0.1-172.10.63.254,子网广播地址为 172.10.63.255。

子网 2: 网络号为 172.10.64.0,IP 地址范围为 172.10.64.1-172.10.127.254,子网广播地址为 172.10.127.255。

子网 3: 网络号为 172.10.128.0,IP 地址范围为 172.10.128.1-172.10.191.254,子网广播地址为 172.10.191.255。

子网 4: 网络号为 172.10.192.0,IP 地址范围为 172.10.192.1-172.10.255.254,子网广播地址为 172.10.255.255。

对于未划分子网的原主网络 172.10.0.0 来说,其网络号 172.10.0.0 和划分完子网后的第 1 个子网的网络号 172.10.0.0 是相同的。同样,对于原主网络 172.10.0.0 来说,其广播地址 172.10.255.255 和划分完子网后的第 4 个子网的广播地址 172.10.255.255 也是相同的。因此,RFC 1009 规定不能使用全 0 或全 1 的子网号,以免发生上面的 IP 地址二义性问题。

为了解决 IP 地址的二义性问题,可以规定 IP 地址不能单独使用,必须携带相应的子网掩码信息,如 172.10.0.0/16 是指未划分子网的原主网络 172.10.0.0,而 172.10.0.0/18 是指划分完子网后的第 1 个子网的网络号。

同理,172.10.255.255/16 是指对未划分子网的原主网络 172.10.0.0 的广播地址,而 172.10.255.255/18 是指对划分完子网后的第 4 个子网的广播地址。

所以,现在全 1 和全 0 的子网号可以使用。这样,既有效地利用了宝贵的 IP 地址空间、减少了浪费,又可以有效地避免 IP 地址的二义性问题。但是在使用时,一定要确定路

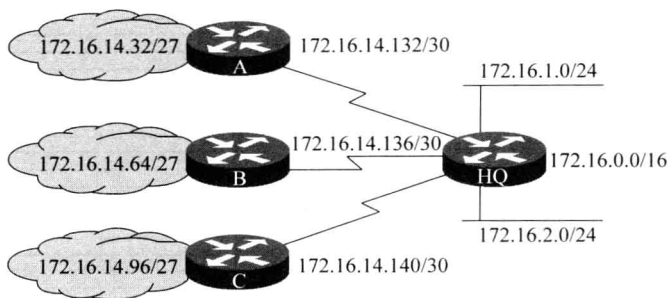


图 1-3 VLSM 的 IP 子网划分

被进一步划分的所有子网,包括 172.16.14.0/27~172.16.14.0/30 的所有子网。

与其他路由器的拓扑变化隔离。使用 VLSM 进行路由汇总的另一个好处是在复杂的,大范围的网络中,它可以与其他路由器的拓扑变化隔离。例如,当一个连接到 172.16.27.0/24 的网络有波动时(由于间歇性的接口失败而不断地连接和断开),汇总的路由不会改变。因此,网络外的路由器不需要因为波动而不断改变路由表。

### 1.2.2 VLSM 计算

利用 VLSM 进一步划分子网地址,可以拥有更多的网络地址,减少每个网络中的主机数。例如,如果将 172.16.32.0/20 划分为 172.16.32.0/26,就得到了  $16(2^6)$  个子网,并且每个网络可以有  $62(2^5 - 2)$  台主机,计算公式同子网划分的公式。

对于在每台路由器的接口上使用不同长度的子网掩码,要快速并有效地创建 VLSM,需要了解如何将块尺寸和图表绘制联合起来创建 VLSM 的掩码。表 1-2 给出了在使用 C 类网络来创建 VLSM 时使用的块尺寸。例如,如果需要 25 个主机地址,那么所需要的块尺寸是 32。如果需要有 11 个主机地址,那么将使用的块尺寸是 16。

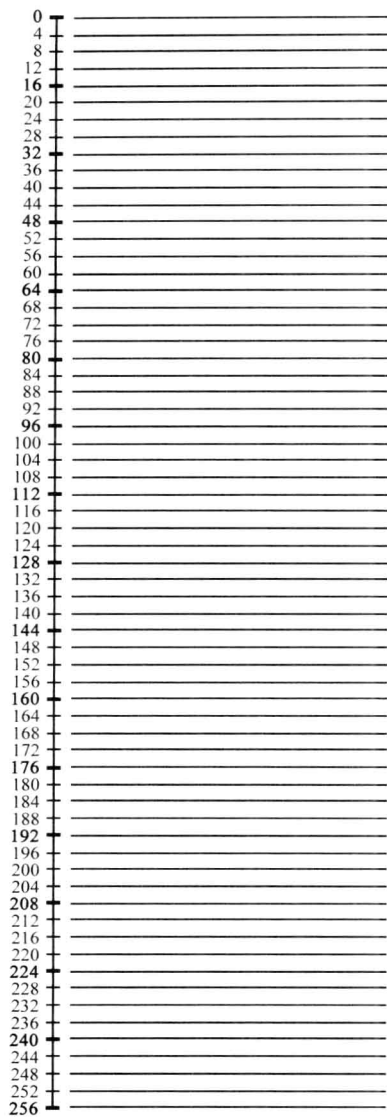
表 1-2 块尺寸

| 子网  | 掩码  | 主机数 | 块尺寸 |
|-----|-----|-----|-----|
| /25 | 128 | 126 | 128 |
| /26 | 192 | 62  | 64  |
| /27 | 224 | 30  | 32  |
| /28 | 240 | 14  | 16  |
| /29 | 248 | 6   | 8   |
| /30 | 252 | 2   | 4   |

下面的步骤是创建一个 VLSM 表。图 1-4 给出了用于创建 VLSM 网络的表。使用了这张表,就不会再因偶然的原因交叠网络区域。

**注意:** 计算时考虑了在网络设计中使用 0 子网。

| 子网  | 掩码  | 子网数 | 主机数 | 块尺寸 |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| /26 | 192 | 4   | 62  | 64  |
| /27 | 224 | 8   | 30  | 32  |
| /28 | 240 | 16  | 14  | 16  |
| /29 | 248 | 32  | 6   | 8   |
| /30 | 252 | 64  | 2   | 4   |



C类网络 192.168.10.0

| 网络 | 主机数 | 块尺寸 | 子网 | 掩码 |
|----|-----|-----|----|----|
| A  |     |     |    |    |
| B  |     |     |    |    |
| C  |     |     |    |    |
| D  |     |     |    |    |
| E  |     |     |    |    |
| F  |     |     |    |    |
| G  |     |     |    |    |
| H  |     |     |    |    |
| I  |     |     |    |    |
| J  |     |     |    |    |
| K  |     |     |    |    |
| L  |     |     |    |    |

图 1-4 VLSM 表

### 1.2.3 VLSM 实例

如图 1-5 所示,给出 C 类网络地址 192.168.10.0,使用 VLSM 根据主机的需求划分子网地址。

在图 1-5 中给出了一个带有 11 个子网的网络。根据各子网的主机数,那么需要使用 64 的块尺寸为两个,32 的为 1 个,16 的为 5 个,4 的为 3 个。将所需要子网的块尺寸填入图 1-6 中的 VLSM 表。

**注意:**在设计时最好的做法是从子网 0 开始按照块尺寸来进行计数,通常是从最大尺寸的块开始,并依次划分到最小。当然也可以从最小尺寸的块开始。在图 1-6 示例中,先添加了最大块尺寸 64,然后再添加大型为 32 和 16 的块,最后是 3 个大小为 4 的块。

由器所用的路由选择软件是否支持全 0 或全 1 的子网这种用法。在 Cisco 路由器上,默认为可以使用全 1 网段,全 0 子网在 Cisco IOS 12.0 之前的版本中,配置了 ip subnet-zero 命令后可以被使用,语法如例 1-1 所示;Cisco IOS 12.0 及之后的版本中,全 0 子网默认启用。

**例 1-1** 配置 ip subnet-zero 命令。

```
Router(config)#ip subnet-zero
```

需要注意的是,虽然命令 ip subnet-zero 允许使用全 0 网段,但对于一些有类路由协议(将在后面章节介绍),如 RIP、IGRP 在广播路由更新信息时,只发送网络地址信息而不发送相应的子网掩码信息,这时,仍然会出现 IP 地址的二义性问题。

在实际工程中,对网络的划分有着严格的要求,划分之前要明确至少需要多少个子网,每个子网至少有多少台主机。如图 1-2 所示,某公司根据业务的需要划分 3 个部门,要求每个部门有独立的网络,每个部门有 300 台主机。假定选择 172.10.0.0 这个 B 类网络进行划分。根据要求需要 3 个子网,每个子网的主机数不少于 300 台,因此向主机位借 7 位,即可满足这个案例的要求。

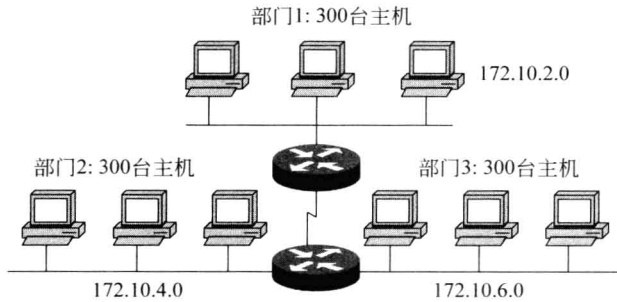


图 1-2 划分 IP 子网

具体划分方法如下。

对 172.10.0.0 这个 B 类网络进行划分,借 7 位表示子网,保留 9 位作为主机位,写成二进制格式如下:

|          |   |          |   |          |   |          |
|----------|---|----------|---|----------|---|----------|
| 172      | . | 10       | . | 0        | . | 0        |
| 10101100 | . | 00001010 | . | 00000000 | . | 00000000 |
| 网络位      |   | 子网位      |   | 主机位      |   |          |

把所借的 7 位排列组合如下:

```
00000000=0
00000010=2
00000100=4
00000110=6
:
11111100=252
11111110=254
```



一共可以划分为 128 个子网(包含全 0 和全 1 网段),写成十进制格式:

```
172.10.0.0
172.10.2.0
172.10.4.0
172.10.6.0
⋮
172.10.252.0
172.10.254.0
```

从中选出 3 个子网 172.10.2.0、172.10.4.0 和 172.10.6.0 分配给公司的 3 个部门即可。当然这个结果并不是唯一的,可以选择其他子网,也可以借用 5 个位用作子网位,还有其他的划分方法也可以满足该案例的要求,管理员可以根据实际情况选择方案。

## 1.2 VLSM

上面这个划分子网的例子中,3 个子网都使用了相同长度的子网掩码,因为各子网情况相同,而在一些情况下网络内部不同网段需要不同大小的子网,为了最大限度地节省地址,RFC 1009 指明了在一个划分子网的网络中可同时使用几个不同的子网掩码。使用变长子网掩码(Variable Length Subnet Mask, VLSM)可进一步提高 IP 地质资源的利用率。

### 1.2.1 VLSM 介绍

VLSM 提供了在一个主类(A 类、B 类、C 类)网络内包含多个子网掩码的能力,可以对一个子网再进行子网划分。也就是说在一个进行了子网划分的网络中,不同部分可以使用不同的子网掩码。这对于网络内部不同网段需要不同大小子网的情形来说很有效。RFC 1878 中定义了 VLSM。

在网络中,变长子网掩码用来支持多层次的子网 IP 地址。但只有使用了支持 VLSM 的路由协议才能应用这种策略。这些协议可以是 RIPv2,开放式最短路径优先路由选择协议(OSPF)和增强内部网关路由选择协议(EIGRP)等。

VLSM 有以下优点:

(1) IP 地址的使用更加有效。例如,考虑将网络 172.16.0.0/16 使用前缀长度 24 来划分子网,再将其中一个子网 172.16.14.0/24 用/27 的掩码进一步划分,如图 1-3 所示。这些子网的范围为 172.16.14.0/27~172.16.14.224/27。在图 1-3 中,这些小子网中的 172.16.14.128/27 又用掩码/30 进行划分,这样子网中只能存在两台主机,一般用于广域网连接。/30 的子网范围为 172.16.14.128/30~172.16.14.156/30。图 1-3 中,广域网连接使用 172.16.14.132/30、172.16.14.136/30 和 172.16.14.140/30。

(2) 应用路由汇总时,有更好的性能。VLSM 在地址规划时允许多层次,因此可以提供更好的路由汇总(在后面章节介绍)。例如,在图 1-3 中,子网 172.16.14.0/24 总结了 172.16.14.0