

实例讲解
实训强化
培养技能
面向就业

全国高等职业教育计算机类规划教材·实例与实训教程系列

交换机与路由器配置 项目式教程

◎ 殷玉明 主编 ◎ 束梅玲 副主编
◎ 林雁 主审



- ◆ 根据作者近十年企业网络从业经验精心组织教材内容
- ◆ 根据企业典型网络的组建划分多个学习任务，以任务的形式组织教学内容
- ◆ 由浅入深、系统化地介绍交换机、路由器的配置指令、配置过程和配置方法
- ◆ 注重知识的具体应用，对企业组网的需求，有针对性地介绍各种具体实现方法，给出详细实现步骤



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

全国高等职业教育计算机类规划教材·实例与实训教程系列

交换机与路由器配置 项目式教程

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本教材以任务的形式介绍了 Cisco 交换机和路由器的配置命令及其使用。任务 1 介绍了教材中涉及的网络基础知识,网络的层次结构、协议、数据的封装格式、IP 地址和数据通信的概念;任务 2 介绍了交换机的数据交换过程和 Cisco 交换机的基本配置命令;任务 3 介绍了基于端口的 VLAN 划分和 VTP 协议在企业网中的应用;任务 4 介绍了生成树协议在负载均衡以及加速收敛方面的应用;任务 5 介绍了 Cisco 交换机的操作系统恢复升级和密码恢复的方法;任务 6 介绍了路由器的基本配置命令;任务 7 介绍了三层交换机工作原理及使用三层交换机或路由器实现 VLAN 间通信;任务 8 介绍了 Cisco 路由器的操作系统恢复、升级及密码恢复的方法;任务 9 介绍了静态路由配置方法,用静态路由实现分支机构局域网互联、核心层与分布层互联、局域网与因特网互联;任务 10 介绍了使用动态路由协议 RIP、IGRP、OSPF、EIGRP 实现网络互联、不同自治系统之间的互联和路由热备份;任务 11 介绍了标准访问控制列表和扩展访问控制列表的应用;任务 12 介绍了网络地址转换技术在因特网接入、负载均衡以及地址重载方面的应用;任务 13 介绍了通过广域网进行局域网互联的实现方法,介绍了通过帧中继的静态、动态影射实现网络互联、通过 DDN 互联、通过 PSTN 和 ISDN 实现网络互联等;任务 14 介绍了企业网络的完整组建过程,包括 VLAN 规划、地址分配、设备配置。

本教材将 14 个任务分为 5 个模块,分别为网络基础知识模块、交换机应用模块、路由器应用模块、广域网应用模块和企业网组建模块。

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

交换机与路由器配置项目式教程/殷玉明主编. —北京:电子工业出版社, 2010.9
全国高等职业教育计算机类规划教材·实例与实训教程系列
ISBN 978-7-121-11730-5

I. ①交… II. ①殷… III. ①计算机网络—信息交换机—高等学校:技术学校—教材②计算机网络—路由器—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 170425 号

策划编辑:程超群

责任编辑:程超群

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:18 字数:456 千字

印 次:2010 年 9 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:30.00 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

计算机网络的广泛使用,对人们的生产和生活产生了极大的影响。各行各业网络的建设和维护,需要依靠大量掌握交换机和路由器配置方法的高技术人才。计算机网络教学已成为计算机及相关专业的重要课程,“配置交换机和路由器”课程也就成了计算机网络技术(工程)专业的核心课程。

传统的网络教材受教学条件的限制,比较注重理论知识的传授,学生到了工作岗位之后往往需要较长的时间才能具备网络产品的综合配置能力。因此,网络专业毕业生出现了市场有需求却不能胜任的局面。

本教材编写的目的就是为改革传统教材以理论知识传播为主的模式,采用以知识应用为主的编写模式,以便更好地适应高职高专院校以就业为导向的人才培养需求。本教材的内容既注重基本知识、基本原理,又密切联系实际,解决生产一线问题,突出对高职高专院校学生动手能力的培养;注意把握读者的已有知识背景,依据接受能力,循序渐进地组织教学内容。在内容的安排上以企业网络的组建过程为主线,以任务导向的形式,从不同角度采用不同的方法来解剖完整网络的组建过程。主要介绍了交换机和路由器的基本配置命令,基于端口的 VLAN 划分和 VTP 协议,基于生成树协议避免网络环路,多生成树协议实现负载均衡,交换机、路由器操作系统备份和升级、密码恢复, VLAN 间路由、静态路由、动态路由实现网络互联,访问控制列表,网络地址转换以及广域网技术应用。主要特点是任务导向、实用性强;由浅入深、层次分明;理论够用、注重实践。

本教材适用于高职高专计算机网络技术(工程)专业和计算机类的其他相关专业的教学,也可以供从事计算机网络工程技术和网络管理的人员参考。建议课时不少于 60 学时。

《交换机与路由器配置项目式教程》由殷玉明担任主编,束梅玲担任副主编,全书由林雁担任主审。

本教材在编写过程中得到了各方面的大力支持,在此一并表示感谢。由于时间仓促和编者水平有限,教材中难免有疏漏和不妥之处,真诚希望读者批评指正。

编 者
2010 年 3 月

目 录

模块 1 网络基础知识	(1)
任务 1 认识计算机网络	(1)
1.1 从层次化角度认识计算机网络	(1)
1.2 分析数据在网络中的传输过程	(3)
1.3 分析不同协议封装格式	(4)
1.4 认识 IP 地址	(8)
1.5 区分数据通信的几个概念	(12)
练习题	(14)
任务 2 认识交换机	(16)
2.1 比较集线器、网桥和交换机	(16)
2.2 分析交换机数据交换过程	(18)
2.3 比较交换机三种数据交换方式	(19)
2.4 了解 Cisco 交换机	(19)
2.5 了解 Cisco 交换机的配置方法和命令	(22)
2.6 配置本地交换机	(39)
练习题	(43)
模块 2 交换机应用	(45)
任务 3 企业网络划分虚拟局域网 (VLAN)	(45)
3.1 了解虚拟局域网 (VLAN)	(45)
3.2 了解配置 VLAN 的命令	(47)
3.3 在企业网中划分 VLAN	(56)
3.4 虚拟终端远程配置交换机实训	(62)
3.5 单交换机 VLAN 配置实训	(65)
3.6 基于 VTP 协议的跨交换机 VLAN 配置实训	(69)
练习题	(72)
任务 4 解决交换机组网过程中的环路问题	(75)
4.1 了解生成树协议 (Spanning Tree Protocol, STP)	(76)
4.2 配置多实例生成树协议解决环路问题	(85)
4.3 生成树协议配置实训	(90)
练习题	(92)
任务 5 解决交换机常见问题	(94)
5.1 了解交换机文件的备份、恢复和升级方法	(94)
5.2 用 TFTP 协议备份和升级交换机操作系统	(96)
5.3 用 XMODEM 恢复交换机操作系统	(100)
5.4 了解交换机密码恢复思想	(103)
5.5 恢复交换机密码	(103)

模块 3 路由器应用	(105)
任务 6 认识路由器	(105)
6.1 了解路由器的工作原理	(106)
6.2 区分路由选择协议与路由转发协议	(108)
6.3 了解路由器选择原则	(110)
6.4 了解 Cisco 路由器基本配置方法和配置命令	(111)
6.5 配置路由器局域网口实现两个局域网互联	(114)
6.6 配置本地路由器	(115)
练习题	(118)
任务 7 解决 VLAN 之间的通信问题	(120)
7.1 使用路由器解决 VLAN 之间的通信问题	(120)
7.2 使用三层交换机解决 VLAN 之间的通信问题	(123)
7.3 单臂路由实训	(127)
7.4 三层交换机配置实训	(129)
练习题	(132)
任务 8 解决路由器常见问题	(133)
8.1 了解路由器文件的备份、恢复和升级方法	(133)
8.2 用 XMODEM 恢复路由器操作系统	(134)
8.3 用 TFTP 修复或升级路由器的 IOS	(136)
8.4 了解路由器密码恢复的思路	(137)
8.5 恢复路由器密码	(138)
任务 9 静态路由实现网络互联	(140)
9.1 认识静态路由	(140)
9.2 实现两个局域网互联	(143)
9.3 实现多分支机构局域网互联	(144)
9.4 实现分布层与核心层交换机之间的互联	(145)
9.5 实现企业局域网接入互联网	(147)
9.6 静态路由配置实训	(148)
练习题	(151)
任务 10 动态路由实现局域网互联	(153)
10.1 使用 RIP 协议实现网络互联	(153)
10.2 使用 IGRP 协议实现网络互联	(158)
10.3 使用 OSPF 协议实现网络互联	(160)
10.4 使用 EIGRP 协议实现网络互联	(167)
10.5 路由重分布实现不同自治系统之间的互联	(170)
10.6 实现路由热备份	(174)
10.7 RIP 路由配置实训	(178)
10.8 OSPF 路由配置实训	(181)
练习题	(184)

任务 11 用访问控制列表 (ACL) 限制计算机访问	(185)
11.1 了解访问控制列表 (ACL)	(185)
11.2 配置号码式访问控制列表 (ACL) 限制计算机访问	(189)
11.3 配置命名式访问控制列表 (ACL) 限制计算机访问	(195)
11.4 访问控制列表 (ACL) 配置实训	(196)
练习题	(201)
任务 12 网络地址转换解决地址重载问题	(202)
12.1 了解网络地址转换原理	(202)
12.2 NAT 实现使用私有地址的网络接入互联网	(209)
12.3 NAT 解决负载均衡、网络地址重载问题	(215)
12.4 网络地址转换配置实训	(220)
练习题	(226)
模块 4 广域网应用	(227)
任务 13 通过广域网实现局域网互联	(227)
13.1 通过帧中继 (Frame Relay) 网络实现局域网互联	(228)
13.2 通过 DDN 网络实现局域网互联	(234)
13.3 通过公用电话网 (PSTN) 实现局域网互联	(239)
13.4 通过 ISDN 实现互联	(243)
13.5 点对点协议配置实训	(246)
13.6 帧中继配置实训	(249)
帧中继配置实训一: 帧中继实现多分支机构局域网互联	(251)
帧中继配置实训二: 帧中继子接口点对点实现多分支机构局域网互联	(255)
练习题	(259)
模块 5 企业网组建	(260)
任务 14 组建多分支机构企业网络	(260)
14.1 企业网络架构描述	(260)
14.2 总部网络设备配置	(264)
参考文献	(276)

模块 1 网络基础知识

任务 1 认识计算机网络

计算机网络是将分布在不同地理位置上的具有独立功能的计算机由通信介质连接起来，通过通信协议进行通信，实现资源共享的系统。

通信协议是指通信双方共同遵循的规则或约定，由语法、语义和时序三个要素构成。语法规定数据结构和格式，语义规定做事的内容，时序规定做事的先后顺序。常用的网络协议有 NetBEUI (NetBIOS Extend User Interface) 协议和 TCP/IP 协议。NetBEUI 协议不能跨网段，而 TCP/IP 协议支持路由和跨平台工作。

两台计算机可以构成最小的计算机网络。按照网络的覆盖范围，可以将计算机网络分为局域网 (LAN)、城域网 (MAN) 和广域网 (WAN)。

典型的局域网是以太网，主要的网络设备是以太网交换机，实现短距离高速的数据传输，主要采用硬件交换技术。局域网一般为一个单位所建，并为一个单位所用。主流的局域网拓扑结构为星形结构。城域网也主要使用以太网技术，但所使用的以太网交换机比局域网交换机具有更高的性能。城域网由于不在一个单位范围内，需要考虑数据传输的安全性问题。广域网覆盖的范围更广，一般为公众提供服务，所以更关心网络的可靠性和安全性。典型的广域网有公用电话网 (PSTN)、综合业务数字网 (ISDN)、帧中继网 (FRI) 和数字数据网 (DDN) 等。广域网所使用的网络设备主要是各种广域网交换机，一般使用存储转发和分组交换技术，所采用的网络拓扑结构为网状结构。

计算机网络是相当复杂的系统，对网络的体系结构进行分层，可以将复杂的系统分成若干个局部问题来研究和处理。所谓网络体系结构，是指网络的层次结构和各层协议的结合。

1.1 从层次化角度认识计算机网络

计算机网络体系结构有两种分层模型：一种是 1983 年国际标准化组织 (ISO) 推出的开放系统互联 (OSI) 七层参考模型；另一种是 TCP/IP 的四层模型。两种分层模型的层次结构和对应关系如图 1.1 所示。

1. ISO/OSI 开放系统互联参考模型将网络分成七层

国际标准化组织的开放系统互联参考模型将网络体系结构分成七层，从高层到低层依次为应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层。

每一层都定义了各自所要完成的功能，上层利用下层的服 务完成本层的功能，层与层之间的联系通过层间接

应用层		应用层
表示层		
会话层		
传输层		传输层
网络层		互联层
数据链路层		网络接口层
物理层		

OSI体系结构的层次 TCP/IP体系结构的层次

图 1.1 网络体系结构的层次

口，即称为服务访问点。

每层有相应的通信协议。该通信协议是网络中不同节点的对等层实体之间的通信约定。只有对等层实体之间可以通信，不同层实体之间不能通信。实体是指完成各层特定功能的进程等。

应用层的功能是为网络用户提供使用网络的接口，为用户提供各种应用服务，如 Web 服务、文件传输服务、电子邮件服务、域名服务、网络管理服务等。

表示层主要实现数据的表示、数据格式的转换、数据的编码和解码、数据的加密和解密、数据的压缩和解压缩等。如果有必要，表示层会采用一种通用的数据表示格式在多种数据表示格式之间进行转换。

会话层主要完成不同计算机应用进程之间会话的建立、管理和终止以及数据传输等功能。

传输层负责数据端到端的可靠传输，进行传输差错校验和流量控制。向低层提出传输质量要求，向高层屏蔽具体的数据传输细节，透明地传输报文。

网络层主要解决数据包在不同物理网络之间的路由问题，为传输层提供面向连接的可靠的数据传输服务和无连接的不可靠的数据传输服务，包括逻辑编址、数据分组、拥塞控制、路径选择和数据转发。数据包采用逻辑地址寻址。

数据链路层是在相邻节点之间建立数据链路，以帧为单位组织数据，进行数据帧的差错校验，实现相邻节点之间的可靠数据传输，使有差错的物理线路变成无差错的数据链路。数据帧采用物理地址进行寻址。

物理层定义终端用户接口的机械、电气功能和规程特性，利用传输介质为数据链路层提供物理连接，进行数据传输速率处理和数据出错率监控，透明地传送比特流。

2. TCP/IP 模型将网络分成四层

开放系统互联参考模型定义了七层，定义比较复杂，效率也较低，实现困难，没有得到很好的实际应用，但它是一个很好的分析和研究网络体系的参考模型。

TCP/IP 模型分为四层：应用层、传输层、互联层和网络接口层。各层对应的协议如图 1.2 所示。

应用层	HTTP	Telnet	FTP	SMTP	DNS	SNMP	
传输层	TCP				UDP		
互联层	IP					IGMP	ICMP
	ARP						
网络接口层	Ethernet	Token Ring	Wireless LAN	Frame Relay	ATM		

图 1.2 TCP/IP 体系结构

TCP/IP 模型的互联层对应于开放系统互联七层参考模型网络层中的无连接、不可靠数据传输服务，互联层中使用 IP 地址寻址。网络接口层对应于七层参考模型的数据链路层和物理层。

网络中安装了 TCP/IP 协议的计算机包含全部四层，网络接口层的任务由安装在计算机上的网卡来完成。路由器和三层交换机包含互联层和网络接口层。

TCP/IP 体系结构在因特网中得到广泛应用，得到了大型网络公司的普遍支持，成为了计算机网络中的主要标准体系。

1.2 分析数据在网络中的传输过程

开放系统互联七层参考模型和 TCP/IP 的四层模型各有其优、缺点，前者过于复杂，后者网络接口层过于简单。我们这里使用两者结合的五层模型来分析数据的传输过程，如图 1.3 所示是两个局域网通过广域网互联，处于局域网的计算机 A 与处于远程局域网的计算机 B 之间的数据传输过程。

应用程序 1 的数据送给了计算机 A 的应用层，应用层利用应用层协议格式来封装数据，给数据加一个应用层的协议头，封装后的数据称为应用层协议数据单元；应用层协议数据单元通过层间接口交给传输层，传输层利用 TCP（或 UDP）协议对应用层协议数据单元进行封装，也是在应用层协议数据单元前加上传输层的协议头，封装后的数据称为 TCP（或 UDP）报文，报文头中有源和目的端口号；报文通过层间接口交给互联层，互联层利用 IP 协议对报文进行分组、编号、封装，封装后的数据称为 IP 数据报（或报文分组），数据报头中有源和目标 IP 地址；IP 数据报通过层间接口交给数据链路层，数据链路层采用以太网协议（或其他局域网协议）等对 IP 数据进行封装，封装后的数据称为帧，数据链路层协议封装时会加帧头和帧尾，帧头中包含源和目标 MAC 地址（物理地址），帧尾中包含帧校验信息；数据帧以比特流的形式交给物理层后，从网卡接口进入局域网。

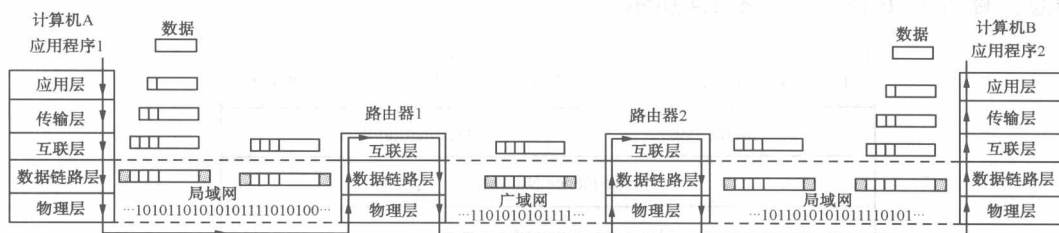


图 1.3 数据在网络中的传输过程

比特流经过局域网到达路由器 1 入口后，物理层会将比特流交给数据链路层，数据链路层会将比特流以以太网帧格式组织成帧，进行差错校验。然后去掉帧头和帧尾，剩下 IP 数据报交给互联层。根据数据报的目标 IP 地址选择路由后，数据报又被交给了数据链路层，数据链路层再用广域网协议（协议根据具体的广域网而不同）封装数据报，封装后的广域网数据帧被交给物理层，以比特流的形式从路由器出口进入广域网。

比特流经过广域网到达路由器 2 入口后，物理层会将比特流交给数据链路层，数据链路层会将比特流以广域网帧格式组织成帧，进行差错校验。然后去掉帧头和帧尾，剩下数据报交给互联层。根据数据报的目标 IP 地址选择路由后，数据报又被交给了数据链路层，数据链路层再用以太网协议封装数据报，封装后的以太网数据帧被交给物理层，以比特流的形式从路由器出口进入以太网。

比特流通过以太网到达目的计算机 B 后，物理层会将比特流交给数据链路层，数据链路层会以以太网帧格式组织成帧，进行差错校验。然后去掉帧头和帧尾，剩下数据报交给互联层。互联层确认目标 IP 是本机后，拆去 IP 封装，将报文交给传输层，传输层校验后，拆去本层封装，通过协议端口交给应用层，应用层处理后，拆去应用层封装，交给目标应用程序 2。

从数据在网络中的传输过程我们可以看出，服务是上下的，协议通信是水平的。上层利

用下层提供的服务，上下层协议不进行通信，只通过层间接口交换数据，两个相同层次的实体才会进行通信，通信需要遵循共同的协议。

网络中不同节点的相同层次的实体感觉不到数据的变化，好像是相同层实体之间直接交换数据。

网络层的数据报永远保持不变，而数据链路层的帧在每个节点都要拆封、封装，数据帧头和帧尾一直在改变。也就是说，源和目标 MAC 地址一直在变，而源和目标 IP 地址却保持不变。

1.3 分析不同协议封装格式

在 TCP/IP 模型中，传输层要使用 TCP 或 UDP 协议对应用层数据进行封装，然后交给互联层，再使用 IP 协议进行封装，而后再交给数据链路层，由数据链路层协议进行封装成帧。下面我们来简单了解 TCP 报头格式、IP 数据报格式和以太网数据帧的帧格式，我们主要关心格式中的端口、IP 地址和 MAC 地址。详细说明请参阅介绍 TCP/IP 协议的专门书籍。

1. 传输层 TCP 协议封装格式

TCP 协议对应用层数据进行封装时，就是在应用层协议数据单元前面加上 TCP 协议的控制信息，称为 TCP 报头，如图 1.4 所示。

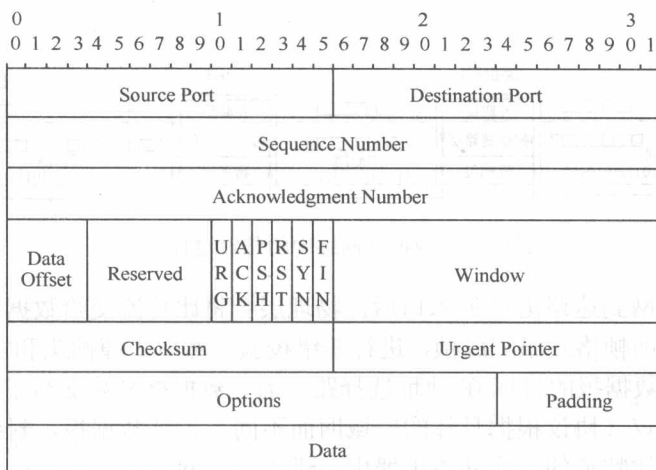


图 1.4 TCP 报文格式

报文由报头和数据两个部分组成：数据部分就是应用层的协议数据单元，报头由 20 个固定字节和 $4N$ (N 为正整数) 个字节的选项和填充项组成。

Source Port 是源端口，指明了发送端所使用的端口。端口是传输层向应用层提供服务的层间接口，编号用 16 位二进制数表示，最大值 65536；Destination Port 是目的端口，指明了接收端所使用的端口。报文到达目的主机的传输层后，就是根据目的端口来交给相应的应用程序的。

有些 TCP 端口是固定指派给一些应用程序的，称为著名端口。例如，FTP 为 21，WWW 为 80，Telnet 为 23，SMTP 为 25，POP3 为 110，DOMAIN 为 53。

同样，UDP 也有一些著名端口，如 DOMAIN 为 53，SNMP 为 161。

UDP 和 TCP 都是传输层协议，但它们的端口号是独立的，即使同样的端口编号，应用程序也不会搞错。

2. 互联层 IP 协议封装格式

IP 协议对来自传输层的报文进行分组封装，封装后的数据称为数据报。封装格式如图 1.5 所示。

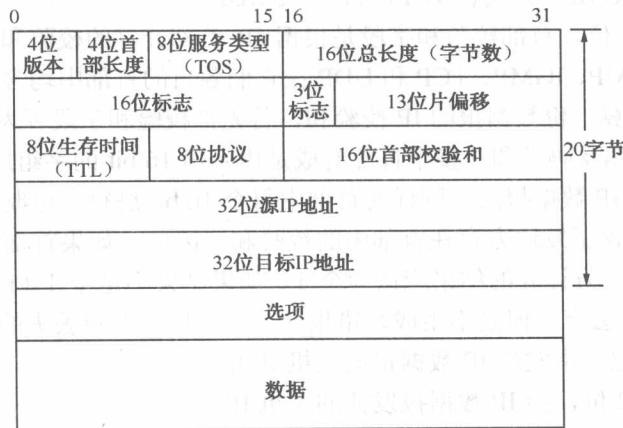


图 1.5 IP 数据报格式

版本：4 位，标志 IP 版本号。目前有 IPv4、IPv6。我们目前所用的 IP 协议基本都是 IPv4 版本。

首部长度：4 位，指的是首部（包括所有选项）所占 4 字节的数目。首部长度值最小为 5，即首部最小长度为 $4 \times 5 = 20$ 字节，最大长度为 $4 \times 15 = 60$ 字节。

服务类型：8 位。其中包含优先权：3 位，取值越大优先级越高；TOS：4 位，分别表示最小延时、最大吞吐量、最高可靠性、最小费用，如果 4 位 TOS 子字段均为 0，那么就意味着是一般服务；最后一位未使用。

总长度：16 位，指首部和数据之和的长度，以字节为单位。利用首部长度字段和总长度字段，就可以知道 IP 数据报中数据内容的起始位置和长度。由于该字段长 16 比特，所以 IP 数据报最长可达 65536 字节。

标志：16 位，唯一地标志主机发送的每一份数据报。通常每发送一份数据报，这个值就会加 1。IP 软件在存储器中维持一个计数器，每产生一个数据报，计数器就加 1，并将此值赋给标志字段。但这个“标志”并不是序号，因为 IP 是无连接服务，数据报不存在按序接收的问题。当数据报由于长度超过网络的 MTU（最大传输单元）而必须分片时，这个标志字段的值就被复制到所有的数据报的标志字段中。相同的标志字段的值使分片后的各数据报片最后能正确地重装成为原来的数据报，在分片和重组技术中将会用到。

标志：3 位，目前只有 2 位有意义。标志字段中的最低位记为 MF (More Fragment)。MF=1 即表示后面“还有分片”的数据报；MF=0 表示这已是若干数据报片中的最后一个。标志字段中间的一位记为 DF (Don't Fragment)，意思是“不能分片”。只有当 DF=0 时才允许分片。

片偏移：13 位，指较长的分组在分片后某片在原分组中的相对位置。也就是说，相对用户数据字段的起点，该片从何处开始。片偏移以 8 个字节为偏移单位。这就是说，每个分片的长度一定是 8 字节（64 位）的整数倍。

生存时间：8 位，生存时间字段常用到的英文缩写是 TTL (Time To Live)，表明数据报在网络中的寿命。由发出数据报的源点设置这个字段。其目的是防止无法交付的数据报无限制地在因特网中兜圈子而白白消耗网络资源。

协议：8 位，指出此数据报携带的是使用何种协议（上层协议）的数据，以便使目的主机的 IP 层知道应将数据部分上交给哪个进程处理。协议可包括 TCP、UDP、Telnet 等。如 1 代表 ICMP，2 代表 IGMP，3 代表 TCP，17 代表 UDP 等。

首部校验和：16 位。首部校验和字段是根据 IP 首部计算的校验和码。它不对首部后面的数据进行计算。ICMP、IGMP、TCP 和 UDP 在它们各自的首部中均含有同时覆盖首部和数据校验和码。为了计算一份数据报的 IP 校验和，首先把校验和字段置为 0，然后，对首部中每个 16 bit 进行二进制反码求和（整个首部看成是由一串 16 bit 的字组成），结果存在校验和字段中。当收到一份 IP 数据报后，同样对首部中每个 16 bit 进行二进制反码的求和。由于接收方在计算过程中包含了发送方存在首部中的校验和，因此，如果首部在传输过程中没有发生任何差错，那么接收方计算的结果应该为全 1。如果结果不是全 1（即校验和错误），那么收到的 IP 数据报就被丢弃。但是不生成差错报文，由上层去发现丢失的数据报并进行重传。

源 IP 地址：32 位，指发送 IP 数据报的主机 IP 地址。

目的 IP 地址：32 位，指 IP 数据报发往的主机 IP 地址。

3. 数据链路层协议封装格式

我们在这里了解几种常用数据链路层封装协议，注意各个协议规定的物理地址之间的区别。

(1) 以太网协议封装格式。

以太网帧格式主要有 DIX Ethernet V2 和 IEEE 802.3 以太网帧格式，Ethernet V2 帧格式是普遍使用的帧格式。

Ethernet V2 协议对网络层来的数据包按如图 1.6 所示格式进行封装。

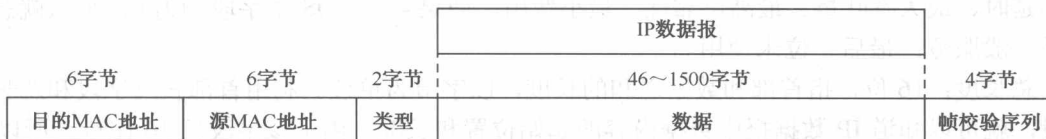


图 1.6 Ethernet V2 以太网帧格式

目的 MAC 地址是接收站的物理地址，由 48 位二进制数表示；源 MAC 地址是发送站的物理地址。

类型字段用于标识所携带数据的上层协议的类型，区分数据是 IP 数据、IPv6 数据、IPX 数据等，如 0X0800 代表 IP 数据，0X86DD 代表 IPv6 数据。

Ethernet V2 协议封装的以太网帧格式由 14 个字节的帧头、数据本身和 4 个字节的帧尾组成。帧长度最少为 64 个字节，最长为 1518 个字节。少于 64 个字节的以太网帧是无效帧。

当 Ethernet V2 帧由数据链路层交给物理层时，还要由硬件自动给帧在前面加上 8 个字节。其中，前 7 个字节为同步码，第 8 个字节为帧开始定界符。

(2) HDLC 协议的帧格式。

HDLC (High Level Data Link Control) 协议是一个面向位的同步高级数据链路控制协议，它是由国际标准化组织 (ISO) 根据 IBM 公司的 SDLC (Synchronous Data Link Control) 协议

扩展而成的。实现通信链路上一个主站与多个次站之间的数据通信。HDLC 协议将数据封装成帧，HDLC 帧格式如图 1.7 所示。

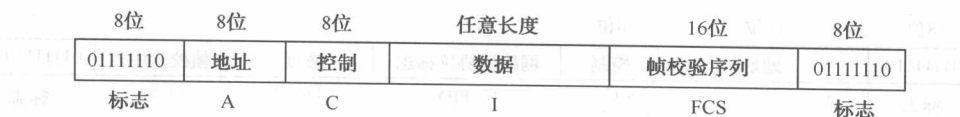


图 1.7 HDLC 帧格式

HDLC 有信息帧 (I 帧)、监控帧 (S 帧) 和无编号帧 (U 帧) 3 种不同类型的帧。信息帧用于传送有效信息或数据，通常简称为 I 帧。监控帧用于差错控制和流量控制，通常称为 S 帧。无编号帧用于提供对链路的建立、拆除以及多种控制功能，简称 U 帧。

HDLC 帧由标志、地址、控制、信息和帧校验序列等字段组成。

标志字段为 01111110，标志一个 HDLC 帧的开始和结束。

地址字段是 8 比特，用于标志接收或发送 HDLC 帧的地址。地址字段的内容取决于所采用的操作方式。在操作方式中，有主站、从站、组合站之分。每一个从站和组合站都被分配一个唯一的地址。命令帧中的地址字段携带的地址是对方站的地址，而响应帧中的地址字段所携带的地址是本站的地址。

控制字段是 8 比特，用来标明是数据帧、命令帧还是应答帧，标明所发送帧的序号和希望接收的帧的序号以及查询、结束标志等。

信息字段可以是任意的二进制比特串，长度未做限定，其上限由 FCS 字段或通信节点的缓冲容量来决定，目前国际上用得较多的是 1000~2000 比特，而下限可以是 0，即无信息字段。但是监控帧中不可有信息字段。

帧检验序列字段为 16 位 CRC 校验码，对两个标志字段之间的整个帧的内容进行校验。

(3) Cisco HDLC 协议的帧格式。

Cisco HDLC 协议是 Cisco 公司对 ISO 的 HDLC 协议的扩展，主要是增加了 16 比特的协议字段，用来标明所携带数据的上层协议的类型，如 0X0800 代表 IP 数据。帧格式如图 1.8 所示。

Address	Control	Protocol Code	Information	Frame Check Sequence (FCS)	Flag
8 bits	8 bits	16 bits	Variable length, 0 or more bits, in multiples of 8	16 bits	8 bits

图 1.8 Cisco HDLC 帧格式

Address 字段用来标明所携带的是单播包还是广播包。0X0F 代表单播包，0X8F 代表广播包。

Control 字段总是设置成全零，即 0X00。

FCS 字段为 CRC 校验字段。

Flag 字段为帧标志字段。

Cisco 路由器在串口上默认使用 Cisco HDLC 协议进行封装。

(4) 帧中继协议封装格式。

帧中继封装分为 IETF (互联网工程任务组) 封装和 Cisco 封装。Cisco 封装简化了 IETF 封装。我们这里只介绍对分配到网络层协议标志 (Network Level Protocol ID, NLPID) 的协

议数据进行 IETF 帧中继封装的格式。NLPID 由 ISO 和 CCITT 负责管理，数量有限，不可能为每个协议分配。IETF 帧格式如图 1.9 所示。

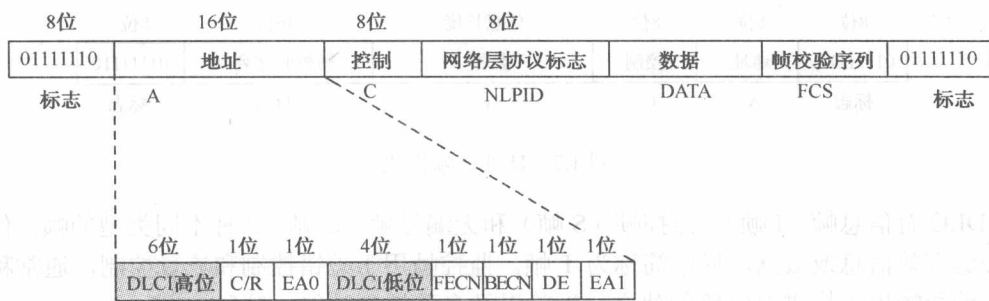


图 1.9 IETF 帧格式

地址字段的主要用途是区分同一通路上多个数据链路连接，以便实现帧的复用或分路。地址字段通常为 16 位，包含一个指明能够到达接收站的本地虚电路 DLCI 号。DLCI 号占 10 位，最大值 1023；C/R 为命令/应答指示；EA0、EA1 为地址字段扩展位；DE 为帧可丢弃位；FECN 为前向显式拥塞位；BECN 为后向显式拥塞位。

控制字段代表帧类型，IETF 帧的控制字段值为 0X03，为无编号帧。

网络层协议标志（NLPID）用来区分携带的不同网络层协议，如 IP、SNAP 等。没有分配 NLPID 的协议使用 0X80。没有分配 NLPID 的协议数据在进行封装时，还需要添加填充字段。

1.4 认识 IP 地址

以太网利用 MAC 地址（一种物理地址）来标识网络中的一个节点，两个以太网节点之间的通信需要知道对方的 MAC 地址来封装以太网数据帧。但是，以太网并不是唯一的物理网络，还有电话网、X.25 网、帧中继网等，这些物理网络使用不同的技术，物理地址的长度、格式和表示方式都不相同，在网络互联时，采用物理地址是不现实的。而 IP 协议作为一种网络互联协议在网络层上将各种物理网络地址统一为 IP 地址，采用统一的地址格式来屏蔽各种物理地址的差异，构成一个逻辑网络。

目前正在使用的 IP 协议版本是 1981 年 9 月制定的 IPv4。IPv4 规定 IP 地址用 32 位二进制数表示，由网络号和主机号两部分组成，用于标识连接到物理网络中的某个对象。一个对象连接到几个物理网络就需要几个 IP 地址。

IP 地址不同于以太网物理地址（MAC），IP 地址是一种层次结构的地址，地址结构中包含位置信息，在一个大型网络中可以很快定位。而 MAC 地址不包含位置信息，只是唯一标识网络中的一个站点。在一个大型网络中通过查找所有计算机的 MAC 地址来确定一台计算机是不可想象的。但 IP 地址不能代替 MAC 地址，IP 地址是网络层定义的逻辑地址，是三层地址。而 MAC 地址是数据链路层地址，是直接对应网络物理接口的二层地址。数据最终是要经过网络接口到达目标节点的。

根据 RFC791 的定义，IP 地址由 32 位二进制数组成（四个字节），如 11000000 00000001 00000001 00001001 是一个 IP 地址。通常用点分十进制记号法来表示。每 8 位二进制数（一

个字节) 转换成十进制数, 十进制数之间用圆点分隔。如前面的 IP 地址可表示为 192.1.1.9。

(1) IP 地址被分为五大类, 可根据网络规模选择不同类别。

为了给不同规模的网络地址分配提供灵活性, IP 地址的设计者将 IP 地址空间划分为五个不同的地址类别: A 类、B 类、C 类、D 类和 E 类, 如图 1.10 所示。

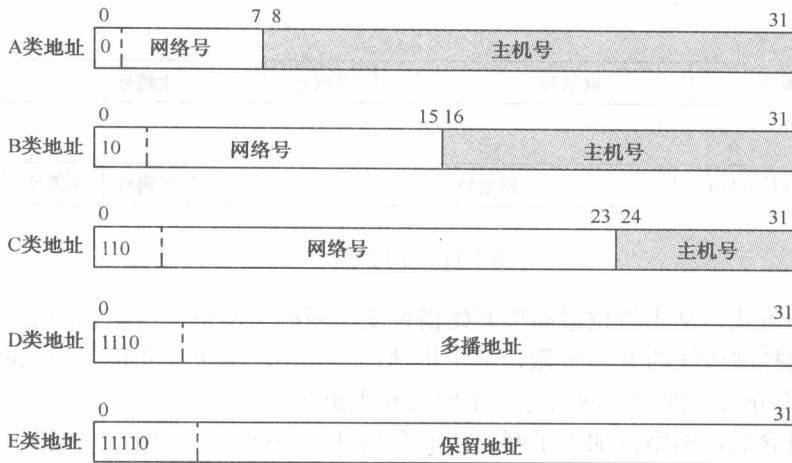


图 1.10 分类 IP 地址

各类地址所容纳的网络数和主机数如表 1.1 所示。

表 1.1 各类地址容纳的网络数和主机数

网络类型	第一字节十进制范围	二进制网络位	二进制主机位	最大主机数	使用的网络规模
A 类	0~127	8 位	24 位	16777214	大型网络
B 类	128~191	16 位	16 位	65534	中型网络
C 类	192~223	24 位	8 位	254	小型网络
D 类	224~239	组播地址			
E 类	240~255	保留试验使用			

其中 A、B、C 三类最为常用, A 类地址用第一个字节代表网络地址, 后三个字节代表节点地址。B 类地址用前两个字节代表网络地址, 后两个字节表示节点地址。C 类地址则用前三个字节表示网络地址, 第四个字节表示节点地址。

网络设备根据 IP 地址的第一个字节来确定网络类型。A 类网络第一个字节的第一个二进制位为 0; B 类网络第一个字节的前两个二进制位为 10; C 类网络第一个字节的前三位二进制位为 110。将第一个字节转换成十进制, 可见 A 类网络地址以 0~127 开头, B 类网络地址以 128~191 开头, C 类网络地址以 192~223 开头。以 224~239 开头的称为 D 类, 是组播地址; 以 239 以上开头的网络号被保留。

分类地址易于管理, 但浪费严重。即使只有 4 台计算机的局域网也要分配一个 C 类地址。而一个 C 类地址有可用地址 254 个, 剩余的 250 个 IP 地址, 其他网络不能用, 这就行成了浪费。

(2) 为避免浪费地址, 可借用主机位划分相同大小子网。

为了提高 IP 地址的使用效率, 出现了子网划分技术, 借用主机编号的 n 位, 将一个网络再划分成 2^n 个子网, 这样划分的子网大小一样, 如图 1.11 所示。

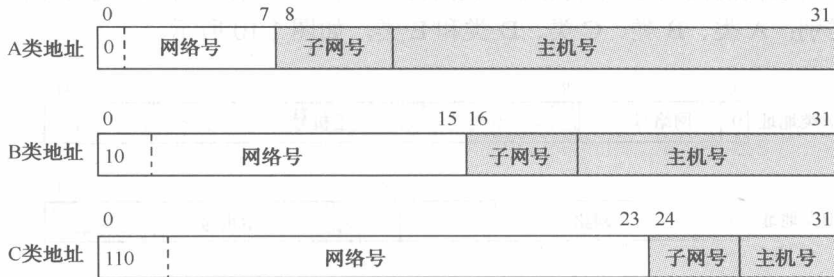


图 1.11 子网划分

采用借位的方式, 从主机位最高位开始借位变为新的子网位, 所剩余的部分则仍为主机位。为此, 必须打破传统的 8 位界限, 从主机地址空间中“借来”几位作为子网地址。这使得 IP 地址的结构分为三部分: 网络号、子网号和主机号。

引入子网概念后, 网络位加上子网位才能全局唯一地标志一个网络。把所有的网络位用 1 来标识, 主机位用 0 来标志, 就得到了子网掩码。如子网掩码 11111111 11111111 11111111 11000000 转换为十进制之后为: 255.255.255.192。同一网络中的不同子网用子网掩码来区分, 子网掩码 (mask) 是将 IP 地址中对应网络标志码的各位取 1, 对应主机标志码的各位取 0 而得到的。如果两台主机的 IP 地址和子网掩码的“与”的结果相同, 则这两台主机在同一个子网中。

引入子网掩码的概念后, A、B、C 三类网络默认的子网掩码分别为 255.0.0.0, 255.255.0.0, 255.255.255.0。

在作 IP 子网地址规划时分两步进行:

第一步, 确定需要的 IP 网段数;

第二步, 确定子网掩码。

首先, 确定 IP 网段数。在确定了 IP 网段数后, 再确定从主机地址空间中截取几位才能为每个网段创建一个子网络号。方法是计算这些位数的组合值。比如, 取两位, 有四种组合 (00、01、10、11), 取三位有八种组合 (000、001、010、011、100、101、110、111)。

如果我们有 4 个需要 25 个地址的网段, 可以用一个 C 类网络 (202.112.14.0) 来划分子网。需要截取主机地址的前 3 位作为子网络地址, 与之对应的子网掩码就是 255.255.255.224 (11111111.11111111.11111111.11100000)。这样可以将一个 C 类网络划分出 8 个子网, 如表 1.2 所示。需要 4 个网段只要使用表 1.2 中的 4 个子网就可以了。

表 1.2 借用 3 位主机位为 C 类网络 202.112.14.0 划分子网

网络号	子网号	主机号	子网号+主机号
202.112.14.	0	0~31	0~31
202.112.14.	1	0~31	32~63