

# Internet应用

## 协议实例剖析与 服务器配置

林 腾 李国锋 许崇敬 赵 勇 编著



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

**Internet 应用**

# **协议实例剖析与服务器配置**

林腾 李国锋 许崇敬 赵勇 编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

Internet 应用协议实例剖析与服务器配置/林腾等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2004.5  
ISBN 7-115-12207-5

I. I... II. 林... III. ①因特网—通信协议②因特网—网络服务器—配置  
IV. ①TN915.04②TP393.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 025779 号

### 内 容 提 要

本书介绍了 Internet 基础协议和常用应用层协议, 并以 Linux 环境下的服务器软件为例介绍了各种常用 Internet 服务器的基本配置方法。本书的特点是将实例剖析作为介绍协议的重要辅助手段, 对基础协议及典型应用层协议均辅以完整的实例剖析; 在介绍服务器软件的配置时, 本书也特别注重服务功能与相应协议的结合。

本书适合作为计算机相关专业的 Internet 技术课程的教材或参考书, 也可作为从事 TCP/IP 应用开发或网络数据分析的技术人员的参考资料。

### Internet 应用协议实例剖析与服务器配置

◆ 编 著 林 腾 李国锋 许崇敬 赵 勇  
责任编辑 徐享华

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线 010-67129259  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
北京鸿佳印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15.25

字数: 362 千字

印数: 1-4 500 册

2004 年 5 月第 1 版

2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12207-5/TN · 2269

定价: 25.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

# 前 言

对 Internet 而言,应用是最终的目的,支撑应用的则是各分层的协议。目前与 Internet 相关的书籍,多数以纯应用为主,有的则以协议标准和协议理论为主,而将二者融合的书籍则极少,以致许多学习者认为协议是抽象的、难以实践的东西,尽管他们可能每天都在熟练地利用 Internet 进行工作、学习和娱乐。

本书在介绍协议标准的同时,辅以常用的网络应用实例,针对每个应用实例,详细剖析了相关协议在数据接收与发送中的具体体现。例如在介绍 HTTP 协议时,辅以一个“在 A 计算机上运行浏览器访问运行在 B 计算机上的 WWW 服务器”的实例,并详细分析了二者之间传输的每一个字节数据的含义,从而可使读者对协议的应用、实现有更为深刻的理解和认识。

本书除了通过应用实例来剖析协议,还介绍了协议细节在服务器配置中的体现,使读者能利用学到的协议知识来更好地配置相应的服务器。

“利用应用认识协议,利用协议配置应用”是本书将协议与应用融合的方法,也是本书的主要特色。

因为 Linux 在服务器领域的出色表现,本书的服务器配置部分全部采用 Linux 作为系统平台,而 Windows 在桌面应用的优势地位则是本书采用 Windows 为客户端系统平台的原因。

本书共分 10 章,每一章的主要内容如下所述。

第 1 章介绍了 Internet 上广泛使用的物理层至传输层的主要协议,重点介绍了以太网技术和 IP 网络及路由技术,并对 ARP 和 ICMP 进行了实例剖析。

第 2 章通过对应用层协议 RIP 进行实例剖析,讨论了链路层和网络层多播地址的使用。

第 3 章通过对应用层协议 DHCP 进行实例剖析,介绍了 Windows 系统下 DHCP 客户端的使用方法和 Linux 系统下 DHCP 服务器软件 dhcpd 的配置方法。

第 4 章通过实例剖析应用层协议 DNS,介绍了 Windows 系统下 DNS 客户端的使用方法和 Linux 系统下 DNS 服务器软件 bind 的配置方法。

第 5 章通过实例剖析应用层协议 TELNET,介绍了 Windows 系统下 TELNET 客户端的使用方法和 Linux 系统下 TELNET 服务器软件 in.telnetd 的配置方法。

第 6 章通过实例剖析应用层协议 HTTP,介绍了 Windows 系统下 WWW 浏览器的使用方法和 Linux 系统下 WWW 服务器软件 apache 的配置方法。

第 7 章通过实例剖析应用层协议 FTP,介绍了 Windows 系统下 FTP 客户端的使用方法和 Linux 系统下 FTP 服务器软件 wu-ftpd 的配置方法。

第 8 章通过实例剖析应用层协议 SMTP 和 POP3,介绍了 Windows 系统下邮件收发工具的使用方法和 Linux 系统下邮件服务器软件 sendmail 的配置方法。

第 9 章通过实例剖析应用层代理的基本原理和工作过程,重点介绍了 HTTP 代理的工作原理和 squid 代理服务服务器的配置。

第 10 章介绍常用网络配置和调试工具软件的使用。

本书第 1 章、第 2 章、第 9 章、第 10 章由林腾编写，第 3 章、第 4 章由李国锋编写，第 5 章、第 6 章由许崇敬编写，第 7 章、第 8 章由赵勇编写，全书由林腾统稿。衷心感谢韩作生老师在百忙中审阅本书并提出了大量宝贵意见，感谢陈燕女士给予的鼓励！

书中不妥和错误之处恳请读者批评指正。

作 者

2004 年 3 月 30 日

# 说 明

## 1. 术语约定

本书按照 Internet 相关文档的建议，把包（packet）作为对 TCP/IP 各层次的封装单位的通称，例如 ICMP 包、ARP 包、IP 包、UDP 包、TCP 包、HTTP 包等，只是把链路层的封装单位按照习惯仍然称为帧（frame）。

## 2. 本书相关的软件

本书中所有案例中使用的数据包都是在 Linux 环境下用 tcpdump 工具监听获得的。若读者欲在 Windows 系统中实践数据包的截获和分析，建议使用 netxray 或 sniffer。

作者认为，在 TCP/IP 相关的工作中，经常使用网络监听工具将协议文档的描述与协议的具体实现进行对比，非常有助于理解、使用协议。

## 3. 标准文档来源

RFC（Requests For Comments）是 Internet 协会提供的关于在 Internet 上使用的各种协议的标准文档和其他附属文档的名称前缀，例如 RFC791 文档是 IP 协议的标准文档，RFC793 是 TCP 协议的标准文档等。每一个文档一般都有 TXT、PDF、HTML 等多种格式供用户免费下载使用。

本书参考了 Internet 协会的大量 RFC 文档，这些文档都来自 [HTTP://www.faqs.org/rfc/](http://www.faqs.org/rfc/)。读者若想详细掌握和使用某种协议，必须认真阅读相关 RFC。本书在每一章中都把涉及到的协议的相关文档编号列举了出来，以方便读者查找。

## 4. 其他

IPv6 正在被广泛研究并将最终代替 IPv4，IPv6 使用 128bit 的 IP 地址而不是 IPv4 的 32bit 地址，将彻底解决 IP 地址不足的问题，另外在安全性和服务类型等方面都比 IPv4 有很大增强，但目前在大部分工程和教学中仍使用 IPv4，加之 IPv6 并没有对 TCP/IP 基本结构产生影响，因此作者决定在本书中仍然使用 IPv4。

本书中的所有案例都是基于“以太网”的，并不涉及像 Token Ring、FDDI 等局域网技术以及 X.25、Frame-Relay 等广域网连接技术，但这并不影响对 TCP/IP 各层协议的分析，而且目前以太网技术在整个 Internet 接入中处于绝对优势地位，因此以以太网为基础分析 TCP/IP 能满足大部分读者的需要。

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 TCP/IP 基础 .....           | 1  |
| 1.1 协议的层次结构 .....               | 1  |
| 1.1.1 ISO/OSI 协议模型 .....        | 1  |
| 1.1.2 Internet 协议模型 .....       | 3  |
| 1.2 以太网基础 .....                 | 4  |
| 1.2.1 以太网的设备 .....              | 4  |
| 1.2.2 以太网地址 (MAC 地址) .....      | 5  |
| 1.2.3 以太网帧结构 .....              | 7  |
| 1.2.4 用集线器 (HUB) 连接以太网 .....    | 8  |
| 1.2.5 载波监听/冲突检测 (CSMA/CD) ..... | 9  |
| 1.2.6 用交换机连接以太网 .....           | 9  |
| 1.2.7 冲突域与广播域 .....             | 10 |
| 1.2.8 虚拟局域网 (VLAN) .....        | 12 |
| 1.3 IP 地址与掩码 .....              | 13 |
| 1.3.1 IP 地址的结构与分类 .....         | 13 |
| 1.3.2 网络地址 .....                | 14 |
| 1.3.3 广播地址 .....                | 15 |
| 1.3.4 A 类 IP 地址 .....           | 16 |
| 1.3.5 B 类 IP 地址 .....           | 16 |
| 1.3.6 C 类 IP 地址 .....           | 17 |
| 1.3.7 多播 IP 地址 (D 类地址) .....    | 17 |
| 1.3.8 其他 IP 地址 .....            | 17 |
| 1.3.9 IP 地址与以太局域网 .....         | 18 |
| 1.3.10 掩码 (mask) .....          | 18 |
| 1.3.11 私有地址 .....               | 19 |
| 1.4 ARP 基础与实例剖析 .....           | 20 |
| 1.4.1 ARP 协议的作用 .....           | 20 |
| 1.4.2 ARP 包结构 .....             | 21 |
| 1.4.3 在以太网帧中封装 ARP 包 .....      | 21 |
| 1.4.4 ARP 协议的工作过程 .....         | 22 |
| 1.4.5 静态 ARP 项 .....            | 22 |
| 1.4.6 ARP 代理 .....              | 22 |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 1.4.7 实例剖析 .....                    | 24        |
| 1.5 IP 协议与路由 .....                  | 27        |
| 1.5.1 IP 包结构 .....                  | 27        |
| 1.5.2 在以太网帧中封装 IP 包 .....           | 28        |
| 1.5.3 路由器简介 .....                   | 29        |
| 1.5.4 一台路由器连接多个网络 .....             | 29        |
| 1.5.5 一台路由器连接基于不同类型的局域网技术的网络 .....  | 31        |
| 1.5.6 多台路由器连接多个网络 .....             | 32        |
| 1.5.7 路由协议 (Routing Protocol) ..... | 35        |
| 1.5.8 路由器的广域连接 .....                | 35        |
| 1.6 ICMP 基础与实例剖析 .....              | 36        |
| 1.6.1 ICMP 协议与 IP 协议的关系 .....       | 36        |
| 1.6.2 ICMP 回应请求包与 ICMP 回应包格式 .....  | 36        |
| 1.6.3 其他类型 ICMP 包 .....             | 37        |
| 1.6.4 在 IP 包中封装 ICMP 包 .....        | 37        |
| 1.6.5 实例剖析 .....                    | 38        |
| 1.6.6 校验和的计算 .....                  | 41        |
| 1.7 UDP 与 TCP 基础 .....              | 42        |
| 1.7.1 端口号 .....                     | 43        |
| 1.7.2 UDP 基础 .....                  | 44        |
| 1.7.3 在 IP 包中封装 UDP 包 .....         | 45        |
| 1.7.4 TCP 基础 .....                  | 45        |
| 1.7.5 在 IP 包中封装 TCP 包 .....         | 47        |
| 1.7.6 基于 UDP 和 TCP 的通信过程 .....      | 47        |
| <b>第 2 章 多播在 RIP 协议中的应用 .....</b>   | <b>51</b> |
| 2.1 RIP 协议基础 .....                  | 51        |
| 2.1.1 RIP 协议的作用 .....               | 51        |
| 2.1.2 RIP 包格式 .....                 | 51        |
| 2.2 与 RIP 协议相关的地址问题 .....           | 52        |
| 2.2.1 用广播方式发送 RIP 包 .....           | 52        |
| 2.2.2 用多播方式发送 RIP 包 .....           | 53        |
| 2.3 实例剖析 .....                      | 53        |
| 2.3.1 环境介绍 .....                    | 53        |
| 2.3.2 通信过程中的帧 .....                 | 55        |
| 2.3.3 帧剖析 .....                     | 55        |
| <b>第 3 章 DHCP 应用 .....</b>          | <b>59</b> |
| 3.1 DHCP 基础 .....                   | 59        |

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| 3.1.1 DHCP 简介 .....                     | 59        |
| 3.1.2 DHCP 包结构 .....                    | 59        |
| 3.1.3 DHCP 选项 .....                     | 62        |
| 3.1.4 DHCP 工作过程 .....                   | 64        |
| 3.2 配置 DHCP 客户端 .....                   | 65        |
| 3.2.1 Windows98 系统的 DHCP 客户端的设置 .....   | 65        |
| 3.2.2 Windows2000 系统的 DHCP 客户端的设置 ..... | 67        |
| 3.3 配置 DHCP 服务器 .....                   | 68        |
| 3.3.1 DHCP 服务器软件的安装和启动 .....            | 68        |
| 3.3.2 DHCP 服务器的配置 .....                 | 68        |
| 3.4 实例剖析 .....                          | 69        |
| 3.4.1 环境介绍 .....                        | 69        |
| 3.4.2 通信过程中的以太帧 .....                   | 70        |
| 3.4.3 帧剖析 .....                         | 71        |
| <b>第 4 章 DNS 应用 .....</b>               | <b>81</b> |
| 4.1 DNS 简介 .....                        | 81        |
| 4.2 DNS 包格式 .....                       | 81        |
| 4.2.1 DNS 包的基本结构 .....                  | 81        |
| 4.2.2 DNS 头结构 .....                     | 82        |
| 4.2.3 问题记录的格式 .....                     | 83        |
| 4.2.4 回答记录的格式 .....                     | 83        |
| 4.3 DNS 客户端 .....                       | 84        |
| 4.3.1 DNS 客户端实现 .....                   | 84        |
| 4.3.2 DNS 客户端配置 .....                   | 85        |
| 4.4 DNS 服务器 .....                       | 86        |
| 4.4.1 DNS 服务器简介 .....                   | 86        |
| 4.4.2 DNS 服务器的分类 .....                  | 87        |
| 4.4.3 DNS 服务器的安装与启动 .....               | 87        |
| 4.4.4 DNS 服务器的配置 .....                  | 87        |
| 4.5 DNS 查询方式 .....                      | 94        |
| 4.5.1 反复式查询 .....                       | 94        |
| 4.5.2 递归式查询 .....                       | 95        |
| 4.6 实例剖析 .....                          | 95        |
| 4.6.1 环境介绍 .....                        | 95        |
| 4.6.2 通信过程中的帧 .....                     | 96        |
| 4.6.3 帧剖析 .....                         | 97        |
| 4.6.4 校验和的计算 .....                      | 100       |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第 5 章 TELNET 应用 .....           | 101 |
| 5.1 TELNET 协议基础 .....           | 101 |
| 5.2 网络虚拟终端 (NVT) .....          | 102 |
| 5.2.1 数据传输 .....                | 102 |
| 5.2.2 控制功能 .....                | 103 |
| 5.2.3 TELNET 同步信号 .....         | 103 |
| 5.2.4 NVT 打印机和键盘 .....          | 104 |
| 5.3 TELNET 命令 .....             | 106 |
| 5.4 TELNET 选项 .....             | 107 |
| 5.5 TELNET 客户端 .....            | 110 |
| 5.6 TELNET 服务器端 .....           | 112 |
| 5.6.1 in.telnetd 的安装与启动 .....   | 112 |
| 5.6.2 in.telnetd 的配置 .....      | 112 |
| 5.7 实例剖析 .....                  | 113 |
| 5.7.1 环境介绍 .....                | 113 |
| 5.7.2 通信过程中的帧 .....             | 114 |
| 5.7.3 帧剖析 .....                 | 117 |
| 第 6 章 WWW 应用 .....              | 119 |
| 6.1 WWW 简介 .....                | 119 |
| 6.2 HTTP 协议 .....               | 119 |
| 6.2.1 HTTP 协议概述 .....           | 119 |
| 6.2.2 HTTP 包的格式 .....           | 119 |
| 6.2.3 HTTP 协议的工作过程 .....        | 121 |
| 6.3 WWW 客户端 .....               | 122 |
| 6.4 WWW 服务器 .....               | 123 |
| 6.4.1 Apache 的获取和安装 .....       | 123 |
| 6.4.2 Apache 的启动和关闭 .....       | 123 |
| 6.4.3 Apache 的基本配置 .....        | 123 |
| 6.4.4 配置虚拟主机 .....              | 125 |
| 6.4.5 管理 log 文件 .....           | 125 |
| 6.4.6 用 Apache 建立动态网站 .....     | 126 |
| 6.4.7 使用 SSL 建立安全的 Web 站点 ..... | 127 |
| 6.5 实例剖析 .....                  | 128 |
| 6.5.1 环境介绍 .....                | 128 |
| 6.5.2 通信过程中的帧 .....             | 128 |
| 6.5.3 帧剖析 .....                 | 131 |
| 6.5.4 校验和的计算 .....              | 147 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第7章 FTP应用 .....                 | 149 |
| 7.1 FTP协议基础 .....               | 149 |
| 7.1.1 FTP模型 .....               | 149 |
| 7.1.2 FTP与TELNET之间的关系 .....     | 150 |
| 7.1.3 数据表示 .....                | 150 |
| 7.1.4 数据结构 .....                | 150 |
| 7.1.5 FTP命令 .....               | 151 |
| 7.1.6 FTP应答 .....               | 155 |
| 7.1.7 FTP服务器的最小实现 .....         | 157 |
| 7.2 FTP客户端 .....                | 157 |
| 7.2.1 命令行FTP .....              | 157 |
| 7.2.2 CuteFtp .....             | 160 |
| 7.3 FTP服务器 .....                | 163 |
| 7.3.1 Wu-Ftpd的获取和安装 .....       | 163 |
| 7.3.2 Wu-Ftpd服务器的配置 .....       | 163 |
| 7.3.3 FTP服务的启动和关闭 .....         | 166 |
| 7.3.4 FTP服务器相关程序 .....          | 166 |
| 7.4 实例剖析 .....                  | 167 |
| 7.4.1 环境介绍 .....                | 167 |
| 7.4.2 通信过程中的帧 .....             | 168 |
| 7.4.3 帧剖析 .....                 | 175 |
| 第8章 MAIL应用 .....                | 177 |
| 8.1 MAIL系统的组成 .....             | 177 |
| 8.2 SMTP协议 .....                | 177 |
| 8.2.1 SMTP协议简介 .....            | 177 |
| 8.2.2 SMTP协议模型 .....            | 177 |
| 8.2.3 SMTP命令 .....              | 178 |
| 8.2.4 SMTP应答 .....              | 179 |
| 8.2.5 用telnet模拟SMTP协议实现过程 ..... | 179 |
| 8.3 POP协议 .....                 | 180 |
| 8.3.1 POP协议简介 .....             | 180 |
| 8.3.2 POP3命令 .....              | 180 |
| 8.3.3 POP3应答 .....              | 181 |
| 8.3.4 用telnet模拟POP3协议实现过程 ..... | 181 |
| 8.4 MAIL系统的客户端程序 .....          | 182 |
| 8.5 MAIL服务器 .....               | 187 |
| 8.5.1 sendmail的安装和启动 .....      | 187 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 8.5.2 sendmail 的配置 .....          | 187        |
| 8.6 实例剖析 .....                    | 190        |
| 8.6.1 环境介绍 .....                  | 190        |
| 8.6.2 通信过程的帧 (SMTP) .....         | 191        |
| 8.6.3 帧剖析 (SMTP) .....            | 196        |
| 8.6.4 通信过程的帧 (POP3) .....         | 197        |
| 8.6.5 帧剖析 (POP3) .....            | 202        |
| <b>第 9 章 PROXY 应用</b> .....       | <b>205</b> |
| 9.1 PROXY 简介 .....                | 205        |
| 9.2 PROXY 的客户端配置 .....            | 205        |
| 9.3 PROXY 服务器 .....               | 206        |
| 9.3.1 squid 代理服务器的安装和启动 .....     | 206        |
| 9.3.2 squid 代理服务器的配置 .....        | 207        |
| 9.4 实例剖析 .....                    | 208        |
| 9.4.1 环境介绍 .....                  | 208        |
| 9.4.2 通信过程中的帧 .....               | 209        |
| 9.4.3 帧剖析 .....                   | 214        |
| <b>第 10 章 常用网络调试软件的使用</b> .....   | <b>217</b> |
| 10.1 用 tcpdump 进行网络数据的采集和分析 ..... | 217        |
| 10.1.1 数据选择和过滤 .....              | 217        |
| 10.1.2 数据输入和输出 .....              | 217        |
| 10.2 用 NetXray 进行网络数据的采集和分析 ..... | 219        |
| 10.3 用 ifconfig 命令设置和查看网络接口 ..... | 221        |
| 10.3.1 查看接口信息 .....               | 221        |
| 10.3.2 设置接口 .....                 | 222        |
| 10.4 用 route 命令设置和查看路由信息 .....    | 223        |
| 10.4.1 查看路由信息 .....               | 224        |
| 10.4.2 设置路由 .....                 | 224        |
| 10.4.3 删除路由 .....                 | 225        |
| 10.5 用 ping 命令测试网络连通状态 .....      | 225        |
| 10.6 用 netstat 命令显示网络状态 .....     | 227        |
| 10.7 用 traceroute 命令显示经过的网关 ..... | 228        |
| 10.8 用 arp 命令操作 ARP 缓存 .....      | 229        |

# 第 1 章 TCP/IP 基础

“TCP/IP”这个名称是由“TCP”和“IP”两个 Internet 关键协议名称构成的，通常并不只代表这两个协议，而是代表能够配合完成 Internet 通信的一系列协议，因此在许多文档中又称这一系列协议的集合为“TCP/IP 协议簇”。本章将介绍 Internet 协议的层次结构和 Internet 物理层至传输层各个层次上的典型协议。

## 1.1 协议的层次结构

为了使数据在网络上从源到达目的，网络通信的参与方必须遵循相同的规则，这套规则称为协议（protocol），它最终体现为在网络上传输的数据包的格式。协议往往分成几个层次进行定义，分层定义是为了使某一层协议的改变不影响其他层次的协议。本节将分别介绍 ISO/OSI 模型和 Internet 协议模型。

### 1.1.1 ISO/OSI 协议模型

国际标准化组织（ISO）为了规范协议层次的划分制定了开放系统互连（OSI，Open Systems Interconnection）模型，即 ISO/OSI 参考模型。此模型根据网络功能制定出 7 层网络协议结构，由低到高分别为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层，如图 1-1 所示。

在 ISO/OSI 参考模型中，每一层都依赖下层提供的服务，同时对自己的高层提供服务。

下面从低层向高层依次介绍每一层。

#### （1）物理层（physical layer）

简单地说，物理层协议对与基本物理信号传输有关的机械、电气等功能进行描述。若生产相互连接的两个设备的两个厂商都遵循相同物理层规范，则二者必定能被连接在一起，并能接收到对方发来的电、光或其他的物理信号，而且能正确地将这些物理信号理解为二进制的 0 和 1 序列。物理层只负责正确地接收和发送比特，并不关心这些比特的具体含义。在大部分计算机上都能够见到的异步串行接口所对应的 RS-232 规范就是典型的物理层协议的实例。

#### （2）数据链路层（data-link layer）

数据链路层简称链路层，它依赖物理层提供的比特传输能力把数据组织成为有边界的传输单位，称为“帧”。链路层把来自网络层的数据组织成“帧”，然后再通过物理层向外发送。当然，链路层也要负责从来自物理层的比特序列（或者字节序列）中区分出一个个的帧，并

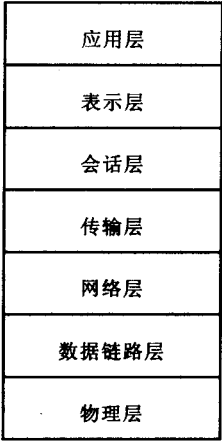


图 1-1 ISO/OSI 参考模型

将帧中的数据传递给网络层。为了将各个帧区分开来，需要在帧的头部和尾部附加一些特定的信息，这个过程称为“封装”，其相反的过程称为“解封装”。“封装”的概念不只在链路层中存在，在更高的各层协议中同样存在。所有层上的“封装”问题的共同特征是把来自高层的封装单位根据本层的需要附加上特定信息形成本层的封装单位，然后向低层传递，同时把来自低层的数据解封装后向高层传递。另外，链路层还可以有其他的诸如差错校验、流量控制等功能，但要理解整个协议体系，则首先应记住它和帧之间的密切关系，因为帧使无头无尾的比特序列变成容易控制的有界的单位。

### （3）网络层（network layer）

网络层解决如何标识通信各方和数据如何从源到达目的这个问题。网络层用特定的网络层地址来标识整个网络中的一个节点，并负责使来自传输层的应该到达某个网络层地址的数据能够被送达这个网络层地址所对应的网络节点，这就是本章后面部分将要涉及到的“路由”问题。网络层的封装单位称为“包”（本书将网络层及网络层以上各层的封装单位都称为“包”，见本书说明部分），“包”需要被进一步封装成链路层的帧然后才能通过物理层发送出去，而在接收方，包在链路层的帧中被解封装出来。最典型的网络层协议就是目前在 Internet 中使用的 IP 协议，它使用 IP 地址唯一地标识 Internet 中的一台主机，路由设备根据 IP 包中的目的 IP 地址将一个 IP 包一步步转发至目的主机。

### （4）传输层（transport layer）

依赖物理层、数据链路层和网络层，任意一个网络节点都能把任何信息传递到其他任意节点，而传输层在物理层、数据链路层和网络层提供的节点间的通信能力基础上进一步提供了面向应用的服务。传输层向上层提供屏蔽了传输细节的数据传输服务，将来自高层的数据进行分段并将来自低层的数据重组，对数据传输进行差错恢复和流量控制。通过对每个网络节点的多个进程进行标识，传输层可以实现对网络层的多路复用。

### （5）会话层（session layer）

会话层用于建立和管理不同主机的两个进程之间的对话。会话层可以管理对话，可允许对话在两个方向上同时进行，也可以强制对话同时只在一个方向上进行。在后一种情况下，会话层可以提供会话令牌来控制某时刻哪一方可以发送数据。会话层还可以提供同步服务，它可以在数据流中插入同步点，每当因网络出现故障而造成大量数据传输中断时，通过同步点机制可以使两个进程之间的数据传输不需要从头开始，而是从最后一个同步点开始继续传输。

### （6）表示层（presentation layer）

表示层协议规定对来自应用层的数据如何进行表达，例如采用什么样的文字编码、是否及如何进行压缩、是否及如何加密等。

不同的计算机采用不同的数据编码方法，如 ASCII 与 EBCDIC、反码与补码等，另外例如表达数字时的字节顺序、表达数据结构时的成员组织方法等在不同的系统环境下都有很大不同。为了通过网络在不同的计算机之间交换数据，需要制定一种标准的、抽象的编码标准；数据的发送方将用本机编码方法表示的数据转换成标准标码后才能进行发送，接收方收到数据后应该将用标准编码表示的数据转换成本地编码。按照 ISO/OSI 模型的要求，上述功能应该在表示层协议中进行规定。

数据压缩及加密的方法有多种。表示层协议通过规定压缩方法可以缩短数据的传输时间，通过规定加密方法可以保护所传送的数据的安全。

### (7) 应用层 (application layer)

应用层是 ISO/OSI 模型中最靠近用户的一层，应用层协议直接面对用户的需求，例如与发送邮件相关的应用层协议可以规定诸如邮件地址的格式、邮件内容的段落表示、客户与服务进行交互的命令串等。

ISO/OSI 协议模型只是一个参考模型，实际的网络不一定要严格地按照这 7 个层次来制定协议，实际上目前也确实没有一个协议体系完全符合 ISO/OSI 模型，但所有的协议体系都可以与 ISO/OSI 模型之间建立近似的层次对应关系。

#### 1.1.2 Internet 协议模型

Internet 的协议分层结构如图 1-2 所示。

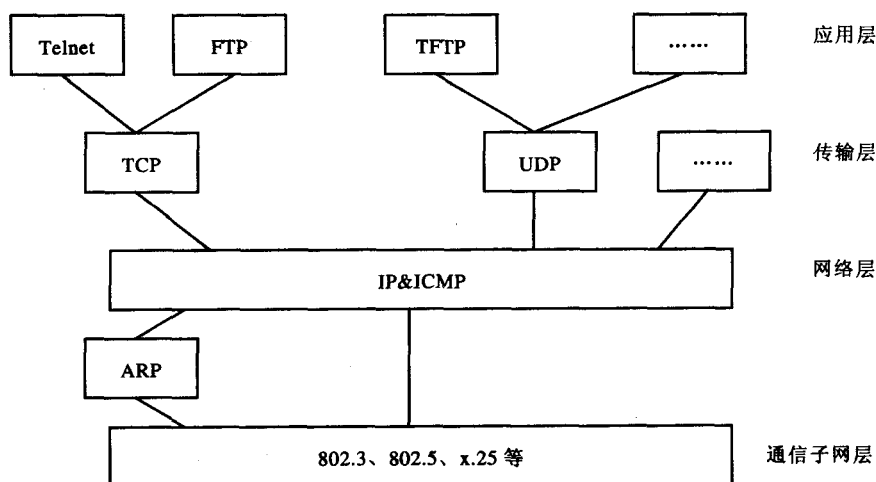


图 1-2 Internet 协议结构

从图 1-2 可以看出 Internet 协议体系由四层组成，由低到高分别是通信子网层、网络层、传输层和应用层。Internet 是成熟的网络，每一层都存在一些成熟的具体协议，本书后面各章节将对图 1-2 中的每一个层次分别进行介绍。

Internet 协议结构和 ISO/OSI 模型的近似的对应关系如图 1-3 所示。

Internet 协议体系的通信子网层功能一般由硬件和相应的驱动程序实现，例如以太网卡以及相应的网卡驱动程序实现了 802.3 通信子网规范。网络层和传输层功能由操作系统实现，形形色色的应用层协议则在具体的应用程序中实现。

| ISO/OSI | Internet |
|---------|----------|
| 应用层     | 应用层      |
| 表示层     |          |
| 会话层     |          |
| 传输层     | 传输层      |
| 网络层     | 网络层      |
| 数据链路层   | 通信子网层    |
| 物理层     |          |

图 1-3 Internet 协议结构和 ISO/OSI 模型的对应关系

## 1.2 以太网基础

以太网 (IEEE802.3) 是目前接入 Internet 最常用的局域网技术, 它属于 Internet 协议模型中的通信子网层。在 IEEE (电气和电子工程师协会) 的最初的 IEEE802.3 文档中定义了 10Mbit/s 以太网标准, 它采用载波监听和冲突检测 (CSMA / CD) 机制, 以半双工方式运行, 其中 10BaseT 是以 3 类或更高类别的双绞线为介质的以太网, 10Base2 和 10Base5 是以同轴电缆为介质的以太网, 10BaseFL 是以光纤为介质的以太网。IEEE802.3u 定义了 100Mbit/s 的快速以太网标准, 它可以用半双工的方式以 CSMA / CD 机制工作, 也可以使用全双工的方式。由于对以太网的后向兼容性, 在 20 世纪 90 年代的中后期, 快速以太网成为局域网中的主流技术, 其中 100BaseTX 是以 5 类双绞线为介质的快速以太网, 100BaseFX 是以光纤为介质的快速以太网。1998 年 6 月, IEEE 正式发布了吉比特以太网标准 IEEE 802.3z, 其中 1000Base SX 是以多模光纤为介质的吉比特以太网, 1000Base-LX 是以单模光纤为介质的吉比特以太网, 1000Base T 是以 5 类双绞线为介质的吉比特以太网。

### 1.2.1 以太网设备

以太网设备可以粗略地分成 3 类: 传输介质、接口卡和汇接设备。

#### (1) 传输介质

传输介质包括同轴电缆、双绞线、光纤等。随着以太网技术的发展, 双绞线和光纤已经替代了早期的同轴电缆, 因此在本书中不讨论以同轴电缆为介质的网络。

关于线缆的分类和工程布线的标准有很多, 如 EIA/TIA-568A、EIA/TIA-568B 等。有关线缆的几何参数、设备级联的最大个数等工程布线的详细参数, 请参阅网络布线相关资料, 本书不作详细介绍。

#### (2) 接口卡

接口卡既包括常用的 ISA 或 PCI 以太网插卡或主板集成部件, 也包括路由器的以太网接口卡等部件, 在此后的各章节中将它们统称为“以太网卡”。以太网卡包含了 ISO/OSI 网络层次模型的物理层和链路层功能, 它既能借助相应传输介质进行基本物理信号的发送和接收, 又具有帧处理功能。

通常说一个设备是某某层设备, 是指此设备包含了 ISO/OSI 某某层及某某层下面各层的功能, 例如称一种设备是链路层设备就是指此设备包含了 ISO/OSI 链路层和物理层的功能, 比如以太网卡就是一种链路层设备。

#### (3) 汇接设备

汇接设备包括中继器、集线器、网桥、交换机等。

中继器是两端口物理层设备, 其基本功能是将其中一端口收到的信号整形放大后发向另一端口。

集线器 (HUB) 是多端口的中继器, 它是一种物理层设备, 基本功能是将某一端口收到的信号整形放大后发送到其他所有端口。

网桥是两端口链路层设备, 它除了能够完成物理层的信号收发功能外, 还能够根据帧中

的目的媒体访问控制 (MAC, Media Access Control) 地址决定是否将帧发向另一端口。

交换机是多端口的网桥,它是链路层设备,可以识别帧并能根据帧中的目的 MAC 地址将帧发向惟一应该发向的端口,而不是像集线器那样发送至所有端口。目前大多高端以太网交换机同时具有网络层功能,三层交换机、路由交换机等名称也已经相继出现,但它们的功能逻辑上是传统交换机和路由器的融合,因此本书后面各部分中出现的“交换机”如不特殊说明仍表示传统交换机。

目前的网络工程中一般不再使用中继器或网桥,而是大量地使用集线器和交换机,后面将对此进行详细介绍。

### 1.2.2 以太网地址 (MAC 地址)

以太网地址,通常又被称为硬件地址或物理地址,因其属于局域网技术的 MAC 子层的范畴,因此又被称为 MAC 地址。

以太网地址长度为 48bit,其构成如图 1-4 所示 (按照比特传输顺序排列)。



图 1-4 以太网地址构成

单播/多播位字段的含义如下:0 表示单播地址,1 表示多播地址。

每一个以太网卡中都固化有一个 MAC 地址,以太网卡中所固化的地址都是单播地址,例如 00:00:b4:91:8c:6a 为某一以太网卡所拥有的单播地址。单播地址用来惟一地标识一个以太网节点。

多播地址用于标识具有特定特征的多个以太网节点,例如:01-80-C2-00-00-00 用于表示所有的支持 Spanning tree (生成树) 的节点,01-00-5E-\*\*-\*\*-\*\*用于 Internet 多播 (需和 IP 多播地址配合使用),此处的 “\*” 的取值取决于与之配合使用的 IP 多播地址,关于 IP 多播详见 1.3 节。

前面提到的地址 01-80-C2-00-00-00 的首字节为 0x01,写成二进制数一般写作 00000001,但作为以太网地址中的一个字节读者应将其读作 10000000,因为实际在传输媒介中传递以太网地址时,01-80-C2-00-00-00 将按照 “10000000 00000001 01000011 00000000 00000000 00000000” 序列从左向右的顺序发送,也就是说在通信过程中,若在传输媒介中发送一个以太网地址,则 “单播/多播” 位是整个以太网地址中最先被发送的比特。这样做的优点是:接收方根据收到的地址中的首位比特值就能够立刻判断出这个地址是单播还是多播地址,并可以根据地址的这个属性做出相应的反应,例如决定是否接受此帧等。本书在第 2 章 “多播在 RIP 中的应用” 中将结合实例介绍多播地址的使用。

以太网卡可以设置为接收或不接收某种多播地址,许多功能简单的以太网卡只能设置为 “接收所有的多播帧” 或 “不接收任何多播帧”。

以太网地址 0xffffffff 被定义为广播地址,用于表示一个以太网广播域内的所有节点。“以太网广播域” 将在本章后面部分介绍。

厂商号部分的长度是 23bit,生产具有以太网地址的以太网设备的厂商 (例如生产以太网