

计算机网络与分布计算系列规划教材

# 计算机网络设备教程

(第二版)

陈 明 编著



清华大学出版社

计算机网络与分布计算系列规划教材

# 计算机网络设备教程

(第二版)

陈 明 编著

清华大学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

本书介绍了常用的计算机网络设备,主要包括网络互联设备概述、调制解调器、网络接口卡、集线器、网桥、交换机、路由器、网关、网络存储系统、网络服务器、网络打印设备等。每章均附有小结和习题。

本书知识精练,重点突出,例题丰富,实用性强。适合作为高等院校的教材和科技人员的参考用书。

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

计算机网络设备教程/陈明编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2009.6

(计算机网络与分布计算系列规划教材)

ISBN 978-7-302-19351-7

I. 计… II. 陈… III. 计算机网络—高等学校—教材 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 010850 号

责任编辑:魏江江 王冰飞

责任校对:时翠兰

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

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)

印 刷 者:北京嘉实印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:16.5 字 数:408 千字

版 次:2009 年 6 月第 2 版 印 次:2009 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:031515-01

# 前言

计算机网络已成为人们获取和交流信息的十分重要的手段和信息资源共享的平台,正改变着人们的生活、学习和工作方式,对社会产生巨大的影响。计算机网络设备是计算机网络中重要的不可缺少的组成部分,在构建计算机网络时,要根据设备的性能价格比来选择网络设备,因此,学习网络设备,进而掌握设备的功能和详细的性能指标非常必要。本教材正是基于这一点出发而编写的,在本书中,较详细地介绍和描述了常用的网络设备性能、功能和使用方法,主要包括网络互联设备概述、调制解调器、网络接口卡、集线器、网桥、交换机、路由器、网关、网络存储系统、网络服务器和网络打印设备等。

在第1章中,主要内容为网络互联设备概述,主要介绍网络体系结构、网络互联的常用术语、网络互联设备简介。在第2章中,主要内容为调制解调器,主要介绍调制解调器的原理、用途及分类、调制解调器的功能、调制解调器的联网方式、线缆调制解调器简介、调制解调器的选择和Modem池等。在第3章中,主要内容为网卡,主要介绍网卡的功能与分类、网卡的总线类型、服务器网卡、主导型网卡产品和网卡的选型等。在第4章中,主要内容为集线器,主要介绍集线器功能、集线器工作原理、集线器的分类、集线器结构、集线器在组网中的应用和集线器选择等。在第5章中,主要内容为网桥,主要介绍网桥的功能、网桥协议结构、网桥的分类、网桥的路由和网桥的局限性等。在第6章中,主要内容为交换机,主要介绍网络交换技术概述、交换机功能及分类、以太网交换机、令牌环交换机、交换机性能的评定方法、交换机之间的连接、交换机与服务器之间的连接、新一代交换机展望和交换机的选择等。在第7章中,主要内容为路由器,主要介绍路由器的原理、路由器中的基本概念、路由器的功能与优点、路由器类型、路由选择、访问一个TCP/IP网络的协议、路由表与路由表的生成方法、路由算法、路由器的配置与调试和路由器发展趋势等。在第8章中,主要内容为网关,主要介绍网关的原理及应用、网关的分类、协议转换器和防火墙等。在第9章中,主要内容为网络存储系统,主要介绍SCSI接口总线、SCSI控制卡产品、独立磁盘冗余阵列、服务器数据备份系统和网络存储系统结构等。在第10章中,主要内容为服务器,主要介绍服务器概况、服务器的性能与分类、服务器的流行技术、系统集成技术中的服务器选型、服务器技术发展趋势和服务器应用实例等。在第11章中,主要内容为网络打印,主要介绍网络打印的基本概念、网络打印的操作、常用的网络打印机和网络打印机的选择等。

本书在结构上呈积木状,便于读者有选择性的阅读。

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请批评指正。

陈 明  
2009年4月

# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 第 1 章 网络设备概述       | 1  |
| 1.1 网络体系结构         | 1  |
| 1.1.1 计算机网络的发展过程   | 1  |
| 1.1.2 计算机网络的体系结构   | 2  |
| 1.2 网络互联中的常用术语     | 11 |
| 1.3 网络互联设备简介       | 14 |
| 1.3.1 物理层互联设备      | 14 |
| 1.3.2 数据链路层互联设备    | 15 |
| 1.3.3 网络层互联设备——路由器 | 17 |
| 1.3.4 应用层互联设备——网关  | 18 |
| 小结                 | 19 |
| 习题 1               | 19 |
| 第 2 章 调制解调器        | 20 |
| 2.1 调制解调器的原理、用途及分类 | 20 |
| 2.1.1 调制解调器的原理     | 20 |
| 2.1.2 调制解调器的用途     | 21 |
| 2.1.3 调制解调器的分类     | 22 |
| 2.2 调制解调器的功能       | 23 |
| 2.3 调制解调器连网方式      | 23 |
| 2.4 线缆调制解调器        | 24 |
| 2.5 调制解调器的选择       | 24 |
| 2.6 Modem 池        | 26 |
| 2.6.1 Modem 池产品    | 26 |
| 2.6.2 典型应用         | 28 |
| 2.7 Modem 的发展及未来   | 29 |
| 小结                 | 32 |
| 习题 2               | 32 |
| 第 3 章 网络接口卡        | 33 |
| 3.1 网卡的功能与分类       | 33 |

|              |                                      |           |
|--------------|--------------------------------------|-----------|
| 3.1.1        | 网卡的功能 .....                          | 33        |
| 3.1.2        | 网卡的类别 .....                          | 36        |
| 3.2          | 网卡的总线类型 .....                        | 37        |
| 3.2.1        | ISA 总线网卡 .....                       | 37        |
| 3.2.2        | PCI 总线网卡 .....                       | 38        |
| 3.2.3        | PCMCIA 总线接口网卡 .....                  | 38        |
| 3.2.4        | All-in-One 型网卡 .....                 | 39        |
| 3.3          | 服务器网卡 .....                          | 39        |
| 3.3.1        | 服务器网卡的总线类型 .....                     | 39        |
| 3.3.2        | 服务器网卡性能评测 .....                      | 40        |
| 3.3.3        | 服务器网卡技术指标 .....                      | 40        |
| 3.3.4        | 服务器网卡的选择 .....                       | 41        |
| 3.4          | 主导型网卡产品 .....                        | 42        |
| 3.4.1        | 3Com EtherLink 10/100Mb/s 桌面网卡 ..... | 42        |
| 3.4.2        | Intel PRO/100S 服务器网卡 .....           | 43        |
| 3.4.3        | 3Com 千兆以太网服务器网卡 .....                | 43        |
| 3.4.4        | TP-Link TL-WN510G 无线网卡 .....         | 44        |
| 3.5          | 网卡的选型 .....                          | 46        |
| 3.5.1        | 网卡的线速度 .....                         | 46        |
| 3.5.2        | 网卡价格 .....                           | 46        |
| 3.5.3        | 网卡的选购 .....                          | 47        |
| 3.5.4        | 产品的担保和可靠性 .....                      | 47        |
| 3.5.5        | 产品的附加功能 .....                        | 48        |
| 3.5.6        | 网卡的网络管理 .....                        | 48        |
| 小结           | .....                                | 48        |
| 习题 3         | .....                                | 49        |
| <b>第 4 章</b> | <b>集线器 .....</b>                     | <b>50</b> |
| 4.1          | 集线器功能 .....                          | 50        |
| 4.2          | 集线器工作原理 .....                        | 51        |
| 4.2.1        | 以太网简介 .....                          | 51        |
| 4.2.2        | 集线器的工作原理 .....                       | 52        |
| 4.3          | 集线器的分类 .....                         | 53        |
| 4.3.1        | 基于类型的划分 .....                        | 53        |
| 4.3.2        | 基于发展过程的划分 .....                      | 58        |
| 4.4          | 集线器的结构 .....                         | 59        |
| 4.4.1        | 外部结构 .....                           | 59        |
| 4.4.2        | 内部结构 .....                           | 61        |
| 4.5          | 集线器在组网中的应用 .....                     | 62        |

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 4.5.1 集线器应用概述 .....     | 62        |
| 4.5.2 集线器在以太网中的应用 ..... | 62        |
| 4.6 集线器的选型 .....        | 63        |
| 4.6.1 传输带宽 .....        | 63        |
| 4.6.2 外形尺寸 .....        | 64        |
| 4.6.3 网络管理功能 .....      | 64        |
| 4.6.4 结构 .....          | 64        |
| 4.6.5 接口类型 .....        | 65        |
| 4.6.6 新的特征 .....        | 65        |
| 4.6.7 品牌和价格 .....       | 66        |
| 4.6.8 其他注意的问题 .....     | 66        |
| 小结 .....                | 66        |
| 习题 4 .....              | 66        |
| <b>第 5 章 网桥</b> .....   | <b>67</b> |
| 5.1 网桥的功能 .....         | 67        |
| 5.1.1 数据过滤和转发 .....     | 67        |
| 5.1.2 网桥的自学习能力 .....    | 68        |
| 5.1.3 连接广域网络 .....      | 69        |
| 5.1.4 设备管理 .....        | 69        |
| 5.2 网桥协议结构 .....        | 70        |
| 5.3 网桥的分类 .....         | 72        |
| 5.3.1 透明网桥 .....        | 73        |
| 5.3.2 源路由网桥 .....       | 74        |
| 5.3.3 转换网桥 .....        | 75        |
| 5.3.4 封装网桥 .....        | 75        |
| 5.3.5 网桥的广播 .....       | 76        |
| 5.3.6 MAC 网桥 .....      | 77        |
| 5.3.7 LLC 网桥 .....      | 77        |
| 5.4 网桥的路由 .....         | 78        |
| 5.4.1 固定路由 .....        | 78        |
| 5.4.2 生成树路由 .....       | 81        |
| 5.4.3 源路由 .....         | 82        |
| 5.5 网桥的局限性 .....        | 84        |
| 小结 .....                | 85        |
| 习题 5 .....              | 85        |
| <b>第 6 章 交换机</b> .....  | <b>86</b> |
| 6.1 网络交换技术概述 .....      | 87        |

|              |                    |            |
|--------------|--------------------|------------|
| 6.1.1        | 网络的过载              | 87         |
| 6.1.2        | 交换技术               | 87         |
| 6.2          | 交换机的功能及分类          | 88         |
| 6.2.1        | 交换机的功能             | 88         |
| 6.2.2        | 交换机的分类             | 89         |
| 6.3          | 以太网交换机             | 91         |
| 6.3.1        | 以太网交换机的结构          | 91         |
| 6.3.2        | 以太网交换机的工作原理        | 93         |
| 6.3.3        | 快速选择以太网交换机的方法      | 95         |
| 6.4          | 令牌环交换机             | 97         |
| 6.4.1        | 概述                 | 97         |
| 6.4.2        | 令牌环交换技术的应用         | 97         |
| 6.4.3        | 令牌环交换技术的性能         | 97         |
| 6.4.4        | 令牌环交换机的选购          | 97         |
| 6.5          | 交换机性能的评定方法         | 98         |
| 6.5.1        | 交换机应用中几个值得注意的问题    | 98         |
| 6.5.2        | 数字的内在因素            | 99         |
| 6.5.3        | 交换机的重要技术参数         | 100        |
| 6.6          | 交换机之间的连接           | 103        |
| 6.7          | 交换机与服务器之间的连接       | 104        |
| 6.8          | 新一代交换机前景展望         | 104        |
| 6.8.1        | 多层交换               | 104        |
| 6.8.2        | 光交换                | 104        |
| 6.8.3        | ATM 与 IP 结合        | 106        |
| 6.8.4        | MPLS 交换机           | 106        |
| 6.8.5        | 以太网交换机             | 106        |
| 6.8.6        | 核心交换机的 CrossBar 技术 | 107        |
| 6.9          | 交换机的选择             | 107        |
|              | 小结                 | 108        |
|              | 习题 6               | 108        |
| <b>第 7 章</b> | <b>路由器</b>         | <b>110</b> |
| 7.1          | 路由器的原理             | 110        |
| 7.1.1        | 原理与作用              | 111        |
| 7.1.2        | 路由器结构              | 111        |
| 7.2          | 路由器中的基本概念          | 112        |
| 7.2.1        | 路由表                | 112        |
| 7.2.2        | 端口地址               | 113        |
| 7.2.3        | 网段与端口              | 114        |

|              |                           |            |
|--------------|---------------------------|------------|
| 7.3          | 路由器的功能 .....              | 115        |
| 7.3.1        | 路由选择 .....                | 115        |
| 7.3.2        | 数据转发 .....                | 115        |
| 7.3.3        | 分段和组装功能 .....             | 117        |
| 7.3.4        | 流量控制 .....                | 118        |
| 7.3.5        | 网络管理功能 .....              | 119        |
| 7.3.6        | 能支持多种协议的路由选择 .....        | 119        |
| 7.3.7        | 协议转换 .....                | 120        |
| 7.4          | 路由器类型 .....               | 120        |
| 7.4.1        | 模块化路由器 .....              | 120        |
| 7.4.2        | 单协议路由器 .....              | 120        |
| 7.4.3        | 多协议路由器 .....              | 121        |
| 7.5          | 路由选择 .....                | 123        |
| 7.5.1        | 路由选择策略 .....              | 123        |
| 7.5.2        | 外部路由选择协议 .....            | 126        |
| 7.5.3        | 内部路由选择协议 .....            | 131        |
| 7.6          | 访问一个 TCP/IP 网络的异步协议 ..... | 136        |
| 7.7          | 路由表与路由表的生成方法 .....        | 138        |
| 7.7.1        | 路由表 .....                 | 138        |
| 7.7.2        | 静态路由表及其生成方法 .....         | 141        |
| 7.7.3        | 动态路由表及其生成方法 .....         | 142        |
| 7.8          | 路由算法 .....                | 144        |
| 7.8.1        | 设计目标 .....                | 144        |
| 7.8.2        | 算法类型 .....                | 145        |
| 7.8.3        | 路由的度量 .....               | 147        |
| 7.9          | 路由器的配置与调试 .....           | 148        |
| 7.9.1        | 配置 .....                  | 148        |
| 7.9.2        | 综合调试 .....                | 150        |
| 7.10         | 路由器发展趋势 .....             | 151        |
| 7.10.1       | 速度更快 .....                | 151        |
| 7.10.2       | 技术含量更高 .....              | 153        |
| 7.10.3       | 具有智能化的管理 .....            | 154        |
| 7.10.4       | 光路由技术 .....               | 155        |
|              | 小结 .....                  | 155        |
|              | 习题 7 .....                | 155        |
| <b>第 8 章</b> | <b>网关 .....</b>           | <b>156</b> |
| 8.1          | 网关概述 .....                | 156        |
| 8.2          | 网关的分类 .....               | 157        |

|              |                             |            |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 8.3          | 协议转换器 .....                 | 162        |
| 8.4          | 防火墙 .....                   | 163        |
| 8.4.1        | 防火墙概述 .....                 | 163        |
| 8.4.2        | 防火墙的发展史 .....               | 164        |
| 8.4.3        | 防火墙的优缺点 .....               | 165        |
| 8.4.4        | 防火墙的设计 .....                | 166        |
| 8.4.5        | 防火墙安装策略 .....               | 167        |
| 8.4.6        | 透明接入技术 .....                | 169        |
| 8.4.7        | 防火墙安全与效能之间的平衡 .....         | 170        |
| 8.4.8        | 防火墙产品介绍 .....               | 171        |
| 8.4.9        | 防火墙软件 .....                 | 172        |
| 8.4.10       | 防火墙的选择 .....                | 173        |
| 8.4.11       | Internet 防火墙 .....          | 174        |
| 8.4.12       | 防火墙的分类 .....                | 176        |
| 8.4.13       | 防火墙的体系结构 .....              | 183        |
| 8.4.14       | 内部防火墙 .....                 | 188        |
| 8.4.15       | 防火墙新技术 .....                | 189        |
| 8.4.16       | 防火墙的发展趋势 .....              | 191        |
|              | 小结 .....                    | 193        |
|              | 习题 8 .....                  | 193        |
| <b>第 9 章</b> | <b>网络存储系统 .....</b>         | <b>194</b> |
| 9.1          | SCSI 接口总线 .....             | 194        |
| 9.1.1        | SCSI 概述 .....               | 194        |
| 9.1.2        | SCSI 的系统结构 .....            | 194        |
| 9.1.3        | SCSI 分类 .....               | 196        |
| 9.1.4        | SCSI 电缆、终结器和连接器 .....       | 198        |
| 9.1.5        | SCSI 的优缺点 .....             | 198        |
| 9.2          | SCSI 控制卡产品 .....            | 199        |
| 9.3          | 独立磁盘冗余阵列 .....              | 201        |
| 9.3.1        | RAID 概述 .....               | 201        |
| 9.3.2        | RAID 技术的实现方法及其级别 .....      | 203        |
| 9.3.3        | IDE 之 RAID 技术的多种实现及测试 ..... | 206        |
| 9.4          | 服务器数据备份系统 .....             | 207        |
| 9.4.1        | 服务器技术 .....                 | 207        |
| 9.4.2        | 数据备份的必要性 .....              | 210        |
| 9.4.3        | 网络数据备份的特点 .....             | 211        |
| 9.4.4        | 磁带机备份的主要技术 .....            | 211        |
| 9.4.5        | 服务器数据备份和恢复 .....            | 213        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 9.4.6 日常备份制度 .....         | 215 |
| 9.5 网络存储系统结构 .....         | 217 |
| 小结 .....                   | 223 |
| 习题 9 .....                 | 224 |
| <b>第 10 章 网络服务器</b> .....  | 225 |
| 10.1 服务器概述 .....           | 225 |
| 10.1.1 服务器的功能 .....        | 225 |
| 10.1.2 服务器与普通 PC 的区别 ..... | 225 |
| 10.2 服务器的性能与分类 .....       | 226 |
| 10.2.1 服务器的性能 .....        | 226 |
| 10.2.2 服务器的分类 .....        | 228 |
| 10.3 服务器的常用技术 .....        | 229 |
| 10.3.1 集群技术 .....          | 229 |
| 10.3.2 对称多处理技术 .....       | 230 |
| 10.3.3 分布式内存存取 .....       | 230 |
| 10.3.4 应急管理端口 .....        | 230 |
| 10.3.5 Intel 服务器控制 .....   | 230 |
| 10.3.6 I2C 总线技术 .....      | 231 |
| 10.3.7 多处理器通信和协调技术 .....   | 231 |
| 10.4 系统集成中的服务器选型 .....     | 231 |
| 10.5 服务器技术发展趋势 .....       | 239 |
| 小结 .....                   | 240 |
| 习题 10 .....                | 240 |
| <b>第 11 章 网络打印设备</b> ..... | 241 |
| 11.1 网络打印的基本概述 .....       | 241 |
| 11.2 网络打印的操作 .....         | 242 |
| 11.3 常用的网络打印机 .....        | 244 |
| 11.4 网络打印机的选择 .....        | 247 |
| 小结 .....                   | 250 |
| 习题 11 .....                | 250 |



### 3. 第三代计算机网络——逐步走向标准化

第三代计算机网络出现在 20 世纪 70 年代。计算机网络开始实现将不同厂家生产的计算机互联成网。1977 年前后,国际标准化组织成立了一个专门机构,提出了一个各种计算机能够在世界范围内互联成网的标准框架,这就是著名的开放系统互连基本参考模型 OSI/RM。OSI 模型的提出,为计算机网络技术的发展开创了一个新纪元。现在的计算机网络是以 OSI 为标准进行工作的。

### 4. 第四代计算机网络——综合化和高速化

第四代计算机网络是在进入 20 世纪 90 年代后,随着数字通信的出现而产生的,其特点是综合化和高速化,即采用交换的数据传送方式将多种业务综合到一个网络中完成,如语音、数据、图像等以二进制代码的数字形式综合到一个网络中高速传送。

## 1.1.2 计算机网络的体系结构

尽管计算机网络的发展经过了 4 个不同的过程,但是,层次化的计算机网络体系结构这一思想一直得到了贯彻。即将一个计算机网络分为若干层,较高层次的系统只利用较低层次的系统提供的接口和功能,完全不需要了解低层实现该功能所采用的是什么算法和协议;同时,较低层次的系统也仅使用从高层系统传送来的参数,这就是层次之间的透明性。因为有了这种透明性,不同层次间的每个模块都可以用一个新的模块取代,只要新的模块与旧的模块具有相同的功能和接口,即使它们使用的算法和协议不一样也没有关系。

网络中的计算机与计算机或者计算机与终端之间传送信息和数据,必须在数据传输的顺序、数据的格式及信息内容等多个方面有一些约定或规则,这些约定或规则统称协议。

网络协议主要有三个组成部分:

- 语义。语义是对协议元素的含义进行的解释,不同类型的协议元素所规定的语义是不同的。例如,需要发出何种控制信息、完成何种动作及得到什么样的响应等。
- 语法。语法就是将若干个协议元素和数据组合在一起用来表达一个完整的内容所应遵循的格式,也就是对信息的数据结构进行的一种规定。例如,用户数据信息与控制信息的结构与格式等。
- 时序。时序是对事件实现顺序的详细说明。例如,在双方进行通信时,发送点发出一个数据报文,如果目标点正确收到,则向源点作出应答,报告接收正确;若接收到错误的信息,则要求源点重发一次。

由此可以看出,协议实质上是网络通信所使用的一种语言。网络协议对于计算机网络来说必不可少。不同结构的网络,不同厂家的网络产品,所使用的协议也不一样,但都遵循相同的协议标准,这样便于不同厂家的网络产品进行互联,这一点读者在掌握 1.3 节的相关内容后将会有个较深入的了解。一个功能完善的计算机网络需要制订一套复杂的协议集,对于这种协议集,最好的组织方式就是层次结构模型。通常将计算机网络层次结构模型与各层协议的集合定义为计算机网络体系结构。

网络体系结构描述计算机网络应设置的层次,并精确定义每层应提供的功能。至于到底如何实现功能,则不属于网络体系结构部分。也就是说,网络体系结构只是从功能上描述

计算机网络的结构,而不涉及每层硬件和软件的组成,也不涉及这些硬件或软件的实现问题。由此看来,网络体系结构是抽象的。但是,学习网络互联设备必须首先了解网络的体系结构,因为网络互联设备的功能、结构以及应用到的协议都与它所在的层次有关。

世界上第一个网络体系结构是1974年由IBM公司提出的“系统网络体系结构SNA”。之后,许多网络体系结构陆续提出。但它们都是属于厂家专用的,它们的体系结构都带有明显的差异性。所有这些体系结构都采用了分层技术,但它们层次的划分、功能的分配及采用的实现技术均不相同。随着信息技术的发展,不同结构的计算机网络互联已成为人们迫切需要解决的问题。为使不同计算机厂家的计算机能够互相通信,以便在更大范围内建立计算机网络,有必要建立一个国际范围的网络体系结构标准。在这个前提下,提出了开放系统互联参考模型。

网络体系结构层次的划分遵循下列原则:

- 网络中各节点都有相同的层次,相同的层次具有同样的功能。
- 同一节点内相邻层之间通过接口通信。
- 每一层使用下层提供的服务,并向其上层提供服务。
- 不同节点的同等层按照协议实现对等层之间的通信。

根据以上原则,国际标准化组织(International Organization for Standardization,ISO)于1981年正式提出了一个网络系统结构——七层参考模型,也就是开放系统互连模型(Open System Interconnection,OSI)。这个标准模型的建立,推动了网络通信的发展。

OSI参考模型将整个网络通信的功能划分为7个层次,如图1.1所示。由低到高分别是物理层(Physical),数据链路层(Data Link),网络层(Network),传输层(Transport),会话层(Session),表示层(Present),应用层(Application)。每层完成一定的功能,每层都直接为其上层提供服务,并且所有层次都互相支持。第四层到第七层主要负责解决互操作性,而第一层到第三层则用于创造两个网络设备间的物理连接,本书所介绍的互连设备一般工作在这三层。

|       |
|-------|
| 应用层   |
| 表示层   |
| 会话层   |
| 传输层   |
| 网络层   |
| 数据链路层 |
| 物理层   |

图1.1 OSI参考模型的7个层次划分示意图

## 1. 物理层

### 1) 物理层的定义与特点

物理层为建立、维护和释放数据链路实体之间的物理连接提供机械的、电气的、功能的和规程的特性规定。物理连接可以通过中继系统,允许进行全双工或半双工的比特流传输。物理层的数据服务单位是二进制比特,它可以通过同步或异步的方式进行传输。

从以上定义中可以看出物理层具有以下主要特点:

- 物理层的功能是负责在物理连接上传输二进制比特流。
- 物理层提供为建立、维护和释放物理连接所需要的机械、电气、功能以及规程的特性规定。

物理层负责在计算机之间传递二进制比特流,它为在物理媒体上传输的比特流建立规则,这一层定义电缆如何连接到网卡上,以及需要用何种传送技术在电缆上发送数据,同时

还定义了数据位的同步及检查。这一层表示了用户的软件与硬件之间的实际连接。它实际上与任何协议都不相干,但是它定义了数据链路层所使用的访问方法。

可见物理层是 OSI 参考模型的最低层,直接与传输数据流的物理介质相连接。物理层协议是各种网络设备互连时必须遵守的低层协议。物理层能够实现两个网络物理设备之间的比特流的透明传输,对其直接上层即数据链路层屏蔽物理传输介质,以便对高层协议有最大的透明性。

## 2) 物理接口标准

在几种常用的物理层标准中,有些设备具有一定数据处理能力和数据发送、接收能力,这样的设备叫做数据终端设备(Data Terminal Equipment,DTE),而把介于 DTE 与传输介质之间的设备叫做数据通信设备(Data Communication Equipment,DCE)。DCE 处在 DTE 与传输介质之间,为它们提供信号变换和编码,并负责建立、维护和释放物理连接。DTE 可以是一台计算机,也可以是一台 I/O 设备。而 DCE 典型的设备是与电话线路连接的调制解调器。DCE 虽然处在通信环境中,但它和 DTE 均属于用户设施。

在物理层通信过程中,DCE 一方面要将 DTE 传送的数据,按比特流顺序逐位发往传输介质,同时也需要将传输介质接收到的比特流按顺序传送给 DTE。因此在 DTE 与 DCE 之间,既有数据信息的传输,也应有控制信息的传输,这就需要高度协调地工作,需要制订 DTE 与 DCE 的接口标准,这就是物理接口标准。

物理层标准与物理接口标准是不同的。OSI 参考模型中物理层标准化的工作要比数据链路层、网络层等高层进行得缓慢。其主要原因在于以下两点:第一是物理层涉及许多具体的物理设备、传输介质以及通信手段等,而它们又具有相当的复杂性;另一个更重要的原因是,在 ISO 提出 OSI 参考模型之前,许多属于物理层的模型和协议就已经提出,并在某些领域已形成相当的工业生产规模和广泛的应用。这些模型、协议没有严格遵循分层的方法与原则,也没有像 OSI 那样分为服务定义与协议的规则说明。在现实情况下,要把已有的物理层模型和协议统一到 OSI 物理层服务定义与协议说明的框架之下难度很大。关于物理层标准,目前已经提出了方案,但仍处于理论研究阶段。

物理接口标准定义了物理层与物理传输介质之间的边界与接口。最常用的物理接口标准是 EIA-232-D、EIA RS-449 与 CCITT X. 21。在物理接口协议中,描述了物理接口的 4 个特性,即机械特性、电气特性、功能特性与规程特性。

(1) 机械特性。物理层的机械特性规定了物理连接时所使用可接插器件的形状、尺寸、引脚的数量以及排列情况等。

(2) 电气特性。物理层的电气特性规定了在物理连接上传输二进制比特流时线路上信号电平高低、阻抗和阻抗匹配、传输速率以及距离限制等。早期的标准定义了物理连接边界点上的电气特性,而较新的标准定义了发送和接收器的电气特性,同时给出了互联电缆的有关规定。显然,新的标准更有利于发送和接收电路的集成化工作。

(3) 功能特性。物理层的功能特性规定了物理接口上各条信号线的功能和确切定义。物理接口信号线一般分为数据线、控制线、定时线和地线。

(4) 规程特性。物理层的特性定义了信号线进行二进制比特流传输的一组操作过程,包括各信号线的工作规则和时序。

不同物理接口标准在以上 4 个重要特性上都不尽相同。实际网络中比较广泛使用的物

理接口标准有 EIA-232-D、EIA RS-449 和 CCITT-X. 21。

## 2. 数据链路层

这是 OSI 模型中非常重要的一层,它把从物理层来的原始数据打包成帧,然后在计算机之间进行无差错的传递。帧是封装一定量数据的、具有严格逻辑性的,并且是高度结构化的包。数据链路层还支持主机的网络接口卡所用的驱动程序。后面将要介绍的网桥设备就处在这一层。

### 1) 数据链路层所提供的服务

数据链路层是 OSI 参考模型的第二层,它介于物理层与网络层之间。设立数据链路层的主要目的是将一条原始的、有差错的物理线路变为对网络层而言无差错的数据链路。为了实现这个目的,数据链路层必须执行链路管理、帧传输、流量控制、差错控制等功能。

在 OSI 参考模型中,数据链路层向网络层提供的基本服务包括:

- 链路管理工作,如建立、维护与释放数据链路。
- 帧的传输。
- 帧接收的顺序控制。
- 差错检测与控制。
- 数据流量控制。
- 在多点连接或多条数据链路连接的情况下,提供数据链路端口标识的识别,支持网络层实体建立网络连接。

### 2) 数据链路层协议

在 ISO 标准协议簇中,数据链路层采用了高级数据链路控制(High-level Data Link Control, HDLC)协议。数据链路服务定义了连接和无连接两种运行方式。从 HDLC 协议集中衍生出许多有影响的子集,如 CCITT(International Consultative Committee on Telecommunications and Telegraph)采用一个子集 SDLC LAPB 用做 X. 25 的数据链路层协议,而 LAPB(Link Access Procedure Balanced)的一个子集 HDLC LAPD 又作为综合业务数据网络(Integrated Services Digital Network, ISDN)的数据链路层协议。

IEEE 802 委员会为局域网定义了介质访问控制(Media Access Control, MAC)层、逻辑链路控制(Logical Link Control, LLC)层。对应 OSI 参考模型,介质访问控制层与逻辑链路控制层都是属于数据链路层的子层。

数据链路层协议分为两类:面向字符型与面向比特型。

早期的数据链路层协议多为面向字符型的。典型的协议标准有 ANSI X3. 28、ISO 1745 和 IBM 的(Binary Synchronous Communication, BSC)协议。面向字符型数据链路层协议的主要特点是利用已定义好的一组控制字符完成数据链路的控制功能。随着计算机通信的发展,面向字符型数据链路层协议逐渐暴露出其弱点,主要表现在通信线路利用率低,只适于停止等待协议与半双工方式,最不足的是,不同机器对字符的解释可能不同,从而使得数据传输变得不够透明,造成系统通信效率低下。

1974 年 IBM 公司推出了面向比特型的数据链路规程(Synchronous Data Link Control, SDLC);美国国家标准化协会(American National Standard Institute, ANSI)将 SDLC 修改为 ADCCP(Advanced Data Communications Control Protocol),并作为国家标

准;后来 ISO 又将修改后的 SDLC 称为高级数据链路控制(High-Level Data Link Control, HDLC),从此开始将它作为国际标准使用。

### 3) 帧的组成

数据链路层的数据传输单位是帧。在 OSI 中,帧被称为数据链路协议数据单元。帧由以下字段组成:

(1) 标志字段 F。帧首尾均有一个由固定比特序列 0111 1110 组成的帧标志字段,包含了帧起始与终止定界符。

为确保帧标志字段 F 在帧内的唯一性,在帧地址字段、控制字段、信息字段、帧检验字段中采用 0 比特插入和删除技术,即在遇到连续的 5 个比特 1 时,就在后面插入一个比特 0,这样就可以避免标志端与其他数据相混淆,所以这种成帧技术可以保证帧内数据传输的透明性。

(2) 地址字段 A。地址字段 A 的内容与结构有关。在非平衡结构中,帧地址字段总是写入从站地址;在平衡结构中,帧地址字段填入应答站地址,全 1 地址为广播地址。按照协议规定,地址字段可以按 8 比特的整数倍扩展。

(3) 控制字段 C。控制字段 C 是 HDLC 帧的关键字段,里面包含了一些重要信息,它表示了帧类型、帧编号、命令和控制信息。

(4) 数据信息字段 I。数据信息字段可以是任意的比特序列组合,为保证数据的透明性,必须采用前面说的 0 比特插入与删除的操作。信息字段长度通常不大于 256 字节。

(5) 帧校验字段(Frame Check Sequence, FCS)。该字段为帧校验序列,HDLC 采用 CRC(Cyclic Redundancy Check)循环冗余编码进行校验。

数据链路层的服务用户是网络层实体,它为网络层提供服务,同时又使用物理层所提供的服务。

## 3. 网络层

由于现有的各种通信子网事实上并不完全遵循 OSI 网络层服务定义,同时网络互联问题也为网络层协议的制订增加了很大的难度,所以网络层成为了 OSI 参考模型中最复杂的一层。

### 1) 网络层的主要功能

这一层定义网络操作系统通信所用的协议,可以为信息确定地址,把逻辑地址和名字向物理地址进行转化。网络层还要从源机器沿着网络到目标机器进行路由选择,并处理交通问题,例如交换、路由和对数据包阻塞的控制。本书第 7 章将要介绍的路由器处在这一层。

网络层与数据链路层不同,数据链路层协议负责的只是相邻两直接连接节点间的通信协议,它不能解决数据怎样经过通信子网中多个转接节点进行通信的问题。而网络层能为报文分组选择最佳路径,网络用户不必关心网络的拓扑构型与所使用的通信介质。

OSI 参考模型规定网络层的主要功能有以下三点:

(1) 路由选择。在点对点连接的通信子网中,信息从源节点出发,进入通信子网,经过若干个中继节点的存储转发,最后到达目的节点。通信子网中的路径是指从源节点到目的节点之间的一条通路,它可以表示为从源节点到目的节点之间的相邻节点及其链路的有序集合。一般在两个节点之间都会有多条路径选择。路由的功能就是指在通信子网中,源节