

# 高等院校计算机专业教程

# 全新宽带IP

# 网络技术教程

策划 / WISBOOK 海洋智慧图书

主编 / 王宝智 白成刚



海洋出版社

# 高等院校计算机专业教程 全新宽带IP 网络技术教程

策划 / WISBOOK 海洋智慧图书  
主编 / 王宝智 白成刚



海洋出版社

## 内 容 简 介

本书是专为高等院校计算机专业/通信专业高年级学生和研究生网络工程基础课用教材。

本书以在 Internet 中占主导地位的 IP 技术为中心,全面系统地阐述了用计算机网络分析问题和解决问题的思想方法,剖析了 IP 网络的体系结构,介绍了 IP 网络的重要协议、最新成果和新技术。

全书由 12 章、2 个附录构成。主要内容包括:计算机网络基本理论知识,IP 网络核心协议,域名解析,IP 路由选择算法,IP 路由协议,地址解析、局域网和广域网,ATM 技术,IP 经典 ATM 交换,宽带 IP 骨干网技术,IP 网络控制技术。附录 A 和附录 B 分别为 IPv6 和 ICMPv6 简介。

**本书特点:**注重知识之间的内在联系,结构严谨、主题鲜明;注重经典内容与最新成果的有机结合,基础知识和工程实际应用密切结合;语言通俗易懂,光盘中与本书配套的 PowerPoint 课件大大方便了课堂教学,使用性、指导性强。

**读者对象:**本书不仅是高等院校本科生专业课和研究生网络工程基础课程的首选教材,还可作为高等网络技术培训班学员和网络规划技术人员优秀的参考书。

**光盘内容:**与本书配套的 PowerPoint 教学课件。

## 图书在版编目(CIP)数据

全新宽带 IP 网络技术教程/王宝智,白成刚主编. —北京:海洋出版社,2003.11

ISBN 7-5027-5945-X

I.全… II.①王…②白… III. 计算机网络—教材 IV.TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 087613 号

总 策 划: WISBOOK

责任编辑:钱晓彬 黄梅琪

责任校对:肖新民

责任印制:肖新民 刘志恒

CD 制作者:海洋多媒体开发中心

CD 测试者:海洋多媒体开发中心

排 版:海洋计算机图书输出中心 永媛

出版发行:海洋出版社

地 址:北京市海淀区大慧寺路 8 号(716 房间) 字 100081

经 销:新华书店

发 行 部:(010) 62112880-878 62132549

(010) 62112880-875 62174379 (传真)

技术支持:(010) 62112880-825, 823

网 址:<http://www.wisbook.com>

承 印:北京时事印刷厂

版 次:2004 年 1 月第 1 版

2004 年 1 月北京第 1 次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:25

字 数:572 千字

印 数:1~5000 册

定 价:35.00 元(含 1CD)

本书如有印、装质量问题可与发行部调换

# 序

今天,高新技术的不断创新发展,正伴随着人类昂首走进 21 世纪的黎明。信息技术、航天技术、新材料技术、新能源技术、生物技术和海洋技术作为高新技术的基础正在创造人类社会的新文明。

当前,发达国家已经进入知识经济时代,知识经济在我国已初见端倪。知识经济离不开信息技术。信息技术的一个核心平台就是计算机及其互联网络。大家知道,计算机 CPU 的性能每 18 个月提高一个量级而价格减半,Internet 用户的数量每 6 个月翻一番。电子邮件、远程教育、电子商务、电子政务等计算机网络的新型应用已经悄然渗透到社会生活的细节末梢,与我们近在咫尺,息息相关。因此,学习计算机网络、使用计算机网络,已经成为 21 世纪社会成员的基本生存需要。

《全新宽带 IP 网络技术教程》一书就是在这个背景下编著的。这本书以在 Internet 中占主导地位的 IP 技术为例,阐述了计算机网络分析问题和解决问题的思想方法,剖析了 IP 网络的体系结构,分析了主要的协议成员,全面介绍了相关的新技术。网络专家王宝智主编的这本书,内容翔实、文笔直白,有材料,有分析,有真知灼见,不但是高等院校计算机专业/通信专业高年级学生和研究生网络工程基础课用教材,而且也可作为高级网络技术培训班教材,网络规划工程技术人员重要的参考书和广大计算机网络爱好者学习 IP 网络技术经典成果和新发展的好书。

吴川生

## 编者的话

从事计算机网络教学和研究 8 年时间，一直被一个问题困扰。这个问题是：如何让学生在课堂上学到计算机网络的核心内容，了解它的发展方向，进而具备在工作中应用计算机网络知识解决实际问题的能力。

目前高校中开设计算机网络课程的专业较多，主要包括计算机科学与技术(本科)、通信工程(本科)、网络工程(本科、研究生)，另外还有其他电子信息类的专业。这些本科专业对计算机网络教学的要求大同小异，都强调基本原理和技术。但是由于计算机网络的知识体系庞大复杂，更新速度快，要在一门课(40~50 学时)内完成这个要求是很不容易的，因此，值得认真研究教学内容的设置。

在 8 年的教学过程中，我们参考了近 50 本有关书籍。这些教材和专著各有特点，有的按层次结构组织内容；有的专门介绍协议；有的专门介绍 LAN 或 WAN 技术；有的专门介绍网络系统、程序开发；有的介绍网络安全，不一而足。比较适用的教材是用一章的篇幅介绍一个主题的这类教材。但是这类教材有罗列知识之嫌，不能用主线把知识模块串起来，不能让学生在一個大的主题的带领带着问题去学习。本人也出过几本这样的书，感觉教学效果不理想。

这本书是新的尝试。本书按照数据在计算机网络中的传输寻址过程 and 控制的线索组织内容，先给读者一个整体轮廓，然后再分析每一个步骤的细节。这样有利于读者既能深入进去，又能从总体上把握知识脉络。另外，本书还具有以下特点：

- 较全面地介绍了宽带 IP 网络的重要协议和新技术，读者从中能够领略 IP 网络的精髓。
- 比较了现行的 IPv4 协议与正在开发中的下一代 IPv6 协议的区别。
- 在第一章“绪论”中着重讨论读者应如何理解计算机网络参考模型。这个模型包含学习计算机网络的思想方法，因此必须首先尽量讲透。
- 注重知识之间的内在联系分析，使全书内容紧凑，主题鲜明。
- 以应用广泛的 IP 网络为原型，而非泛泛讨论计算机网络，突出了针对性和实用性。
- 注重经典内容与最新成果的有机结合。经典内容帮助读者打基础，新成果指导读者的工程实际。
- 语言简洁易懂，全书内容和写作风格适合本科生专业课和研究生网络工程基础课程教学。相当篇幅内容具有研究参考价值(第 4、5、10~12 章)和工程应用价值(第 8~11 章)。

本书由王宝智、白成刚主编，张万欣、徐晓良、王斌、邹红霞、程晓非、张炜、王永生编写。参加本书编著工作的人员还有曾瑞华、楼红耀、万波、韩胜利、滕文生、李青、滕新子、李琳、牛晓华、王荣、孙健、李东、宋蕾、刘伟、段小勇、段小宁、刘秀芹和马丽蓉，作者对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中不当之处恳请批评指正。技术支持邮箱：[w\\_bz@163.net](mailto:w_bz@163.net)。



# 目 录

|                              |    |                              |    |
|------------------------------|----|------------------------------|----|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....        | 1  |                              |    |
| 1.1 如何理解计算机网络参考模型 .....      | 1  | 3.1.1 域.....                 | 47 |
| 1.1.1 参考模型的功能模块 .....        | 1  | 3.1.2 域名.....                | 49 |
| 1.1.2 对参考模型的理解 .....         | 5  | 3.1.3 区.....                 | 50 |
| 1.2 计算机网络的构型 .....           | 8  | 3.2 名字服务器.....               | 50 |
| 1.2.1 局域网 .....              | 8  | 3.2.1 名字服务器种类.....           | 50 |
| 1.2.2 扩展式局域网 .....           | 9  | 3.2.2 名字服务器树 .....           | 51 |
| 1.2.3 路由器互联网 .....           | 9  | 3.3 域名解析算法.....              | 52 |
| 1.2.4 非 ATM 骨干广域网 .....      | 10 | 3.3.1 域名解析方式.....            | 52 |
| 1.2.5 ATM 骨干广域网.....         | 10 | 3.3.2 定位本地域名服务器 .....        | 52 |
| 1.2.6 第三层交换骨干广域网 .....       | 11 | 3.4 逆向域名解析 .....             | 54 |
| 1.3 数据传输方式 .....             | 12 | 3.5 域名解析报文 .....             | 54 |
| 1.3.1 第 2 层转发和第 3 层转发 .....  | 12 | 3.5.1 报文格式.....              | 54 |
| 1.3.2 单播、组播、广播和任播 .....      | 14 | 3.5.2 记录类型与结构 .....          | 56 |
| 1.4 网络寻址 .....               | 16 | 3.5.3 DNS 报文的传输 .....        | 58 |
| 1.4.1 寻址结构 .....             | 16 | 3.6 思考题.....                 | 58 |
| 1.4.2 MAC 地址与 IP 地址的关系.....  | 19 | <b>第 4 章 IP 路由选择算法</b> ..... | 59 |
| 1.4.3 寻址过程 .....             | 20 | 4.1 路由选择策略及算法 .....          | 59 |
| 1.5 数据传输控制概述 .....           | 21 | 4.1.1 路由选择策略 .....           | 59 |
| 1.6 思考题 .....                | 21 | 4.1.2 最短路径法 .....            | 59 |
| <b>第 2 章 IP 网络核心协议</b> ..... | 22 | 4.1.3 扩散法.....               | 62 |
| 2.1 IP 协议.....               | 22 | 4.1.4 基于流量的路由选择 .....        | 62 |
| 2.1.1 IP 地址.....             | 22 | 4.1.5 距离向量路由选择 .....         | 65 |
| 2.1.2 IP 分组格式.....           | 24 | 4.1.6 链路状态路由选择 .....         | 69 |
| 2.1.3 IP 分段封装.....           | 27 | 4.2 特殊的路由选择策略 .....          | 73 |
| 2.1.4 IP 功能模块.....           | 28 | 4.2.1 分级路由选择.....            | 73 |
| 2.1.5 IP 发送和接收数据流程.....      | 30 | 4.2.2 移动主机的路由选择 .....        | 74 |
| 2.1.6 IP 路由选择.....           | 33 | 4.2.3 广播路由选择.....            | 77 |
| 2.2 UDP 和 TCP .....          | 37 | 4.2.4 组播路由选择.....            | 79 |
| 2.2.1 进程通信 .....             | 38 | 4.3 思考题.....                 | 80 |
| 2.2.2 UDP .....              | 39 | <b>第 5 章 IP 路由协议</b> .....   | 81 |
| 2.2.3 TCP .....              | 41 | 5.1 IP 路由协议分类 .....          | 81 |
| 2.3 思考题 .....                | 45 | 5.2 RIP .....                | 81 |
| <b>第 3 章 域名解析</b> .....      | 47 | 5.2.1 RIP 路由表结构.....         | 82 |
| 3.1 域名空间 .....               | 47 | 5.2.2 RIP 路由表初始化.....        | 82 |
|                              |    | 5.2.3 RIP 更新算法 .....         | 82 |
|                              |    | 5.2.4 RIP 路由表更新.....         | 83 |

|              |                           |            |              |                              |            |
|--------------|---------------------------|------------|--------------|------------------------------|------------|
| 5.2.5        | RIP 报文.....               | 84         | 6.2          | RARP 逆地址解析.....              | 116        |
| 5.2.6        | RIP 计时器.....              | 85         | 6.2.1        | 什么地方需要 RARP.....             | 116        |
| 5.2.7        | RIPv2.....                | 86         | 6.2.2        | RARP 解析方法.....               | 117        |
| 5.2.8        | RIP 报文的传输.....            | 87         | 6.2.3        | RARP 报文处理.....               | 118        |
| 5.3          | HELLO 协议.....             | 87         | 6.2.4        | RARP 报文的传输.....              | 119        |
| 5.4          | OSPF 协议.....              | 88         | 6.3          | BOOTP 解析 IP 地址.....          | 119        |
| 5.4.1        | OSPF 协议发展背景.....          | 88         | 6.3.1        | BOOTP 提出背景.....              | 119        |
| 5.4.2        | OSPF 链路类型、状态和<br>数据库..... | 89         | 6.3.2        | BOOTP 报文.....                | 119        |
| 5.4.3        | OSPF 有向图.....             | 90         | 6.3.3        | BOOTP 工作过程.....              | 121        |
| 5.4.4        | OSPF 区域.....              | 90         | 6.3.4        | BOOTP 中继代理.....              | 122        |
| 5.4.5        | OSPF 路由器.....             | 90         | 6.3.5        | 引导配置文件.....                  | 122        |
| 5.4.6        | OSPF 报文.....              | 91         | 6.3.6        | BOOTP 报文的可靠性.....            | 123        |
| 5.4.7        | OSPF 路由选择细节.....          | 97         | 6.3.7        | BOOTP 与 RARP 的比较.....        | 124        |
| 5.5          | BGP 协议.....               | 99         | 6.4          | 动态配置主机.....                  | 124        |
| 5.5.1        | BGP 的基本思想.....            | 99         | 6.4.1        | DHCP 原理.....                 | 124        |
| 5.5.2        | 路径向量路由选择.....             | 100        | 6.4.2        | DHCP 报文.....                 | 125        |
| 5.5.3        | BGP 路由器.....              | 100        | 6.4.3        | DHCP 工作过程.....               | 126        |
| 5.5.4        | BGP 路由选择策略.....           | 100        | 6.5          | 思考题.....                     | 126        |
| 5.5.5        | BGP 路径刷新.....             | 101        | <b>第 7 章</b> | <b>局域网.....</b>              | <b>128</b> |
| 5.5.6        | BGP 路径属性.....             | 101        | 7.1          | 局域网寻址.....                   | 128        |
| 5.5.7        | BGP 报文.....               | 102        | 7.1.1        | MAC 寻址结构.....                | 128        |
| 5.5.8        | BGP 报文的传输.....            | 105        | 7.1.2        | 局域网帧结构.....                  | 130        |
| 5.6          | 组播路由选择协议.....             | 105        | 7.1.3        | 使用 MAC 地址寻址.....             | 134        |
| 5.6.1        | 组播路由器.....                | 105        | 7.2          | 共享链路数据收发——<br>CSMA/CD.....   | 135        |
| 5.6.2        | IGMP 协议.....              | 106        | 7.2.1        | CSMA 信道分配算法.....             | 136        |
| 5.6.3        | DVMRP 协议.....             | 108        | 7.2.2        | 冲突时间与最小帧长度<br>计算.....        | 137        |
| 5.6.4        | MOSPF 协议.....             | 108        | 7.3          | 交换式 LAN.....                 | 139        |
| 5.7          | 无类域间路由选择 CIDR.....        | 109        | 7.3.1        | LAN 交换机结构.....               | 139        |
| 5.7.1        | 提出 CIDR 的背景.....          | 109        | 7.3.2        | LAN 交换数据转发方式.....            | 139        |
| 5.7.2        | CIDR 的思想.....             | 109        | 7.3.3        | LAN 交换重要指标.....              | 140        |
| 5.7.3        | CIDR 路由选择.....            | 110        | 7.4          | IEEE802 以太网标准与实现.....        | 141        |
| 5.8          | 思考题.....                  | 110        | 7.4.1        | 以太网帧结构.....                  | 141        |
| <b>第 6 章</b> | <b>地址解析.....</b>          | <b>112</b> | 7.4.2        | 以太网物理层标准.....                | 143        |
| 6.1          | ARP 地址解析.....             | 112        | 7.4.3        | 802.3 对 CSMA/CD 的实<br>现..... | 148        |
| 6.1.1        | IP 地址到物理地址映射<br>方式.....   | 112        | 7.4.4        | 以太网数据发送和接收.....              | 150        |
| 6.1.2        | ARP 报文.....               | 113        | 7.4.5        | 以太网接口和中继器实现.....             | 159        |
| 6.1.3        | ARP 工作过程.....             | 114        | 7.5          | 局域网的扩展.....                  | 164        |
| 6.1.4        | 主机 ARP 代理.....            | 116        |              |                              |            |

|                           |     |                          |     |
|---------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 7.5.1 网桥工作原理 .....        | 165 | 8.6.5 SMDS 组网实例 .....    | 217 |
| 7.5.2 最小生成树算法 .....       | 167 | 8.7 点对点专用线路和数字用户线 .....  | 220 |
| 7.6 虚拟局域网 .....           | 168 | 8.7.1 点对点专用线路和 xDSL      |     |
| 7.6.1 为什么需要 VLAN .....    | 169 | 协议结构 .....               | 220 |
| 7.6.2 VLAN 分类 .....       | 169 | 8.7.2 xDSL .....         | 221 |
| 7.6.3 VLAN 标签交换 .....     | 171 | 8.7.3 ADSL 组网实例 .....    | 224 |
| 7.6.4 VLAN 标准 .....       | 171 | 8.8 PPP .....            | 228 |
| 7.7 思考题 .....             | 173 | 8.8.1 PPP 帧结构 .....      | 228 |
| <b>第 8 章 广域网</b> .....    | 175 | 8.8.2 链路控制协议 LCP .....   | 229 |
| 8.1 公共传输网技术分类 .....       | 175 | 8.8.3 IPCP .....         | 234 |
| 8.2 公共交换电话网 PSTN .....    | 176 | 8.8.4 PPP 数据发送 .....     | 236 |
| 8.2.1 PSTN 的特点和用途 .....   | 176 | 8.9 各种连接技术比较 .....       | 237 |
| 8.2.2 PSTN 协议结构 .....     | 177 | 8.10 思考题 .....           | 239 |
| 8.3 综合业务数字网 ISDN .....    | 177 | <b>第 9 章 ATM</b> .....   | 242 |
| 8.3.1 ISDN 协议结构 .....     | 178 | 9.1 ATM 服务分类 .....       | 242 |
| 8.3.2 ISDN 网络结构 .....     | 178 | 9.1.1 ITU-T 定义的 ATM 服务   |     |
| 8.3.3 ISDN 通道 .....       | 178 | 类别 .....                 | 243 |
| 8.3.4 ISDN 用户接入 .....     | 179 | 9.1.2 ATM 论坛定义的 ATM 服    |     |
| 8.3.5 LAPD 协议 .....       | 180 | 务种类 .....                | 243 |
| 8.3.6 I.451 协议 .....      | 182 | 9.2 ATM 业务适配 .....       | 244 |
| 8.3.7 ISDN 组网实例 .....     | 183 | 9.2.1 业务适配的功能 .....      | 244 |
| 8.4 X.25 分组交换网 .....      | 187 | 9.2.2 ATM 适配层 AAL .....  | 245 |
| 8.4.1 X.25 协议结构 .....     | 187 | 9.2.3 AAL 协议 .....       | 246 |
| 8.4.2 LAPB 协议 .....       | 188 | 9.3 ATM 信元交换 .....       | 249 |
| 8.4.3 X.25 分组 .....       | 191 | 9.3.1 ATM 信元结构 .....     | 249 |
| 8.4.4 X.25 虚电路 .....      | 194 | 9.3.2 ATM 信元信道 .....     | 250 |
| 8.4.5 X.25 多路复用 .....     | 195 | 9.3.3 ATM 信元寻址 .....     | 251 |
| 8.4.6 X.25 组网实例 .....     | 196 | 9.3.4 ATM 层 .....        | 252 |
| 8.5 帧中继 .....             | 200 | 9.4 ATM 网络接口 .....       | 252 |
| 8.5.1 帧中继协议结构 .....       | 201 | 9.4.1 ATM 接口类型 .....     | 252 |
| 8.5.2 接入帧中继的控制面 .....     | 202 | 9.4.2 ATM 接口协议参考模型 ..... | 253 |
| 8.5.3 LAPF 核心功能 .....     | 203 | 9.4.3 PDU 格式转换 .....     | 254 |
| 8.5.4 LMI 全局编址 .....      | 205 | 9.5 ATM 地址和 ILMI .....   | 254 |
| 8.5.5 帧中继组播 .....         | 206 | 9.5.1 ATM 地址 .....       | 255 |
| 8.5.6 帧中继组网实例 .....       | 206 | 9.5.2 ILMI .....         | 256 |
| 8.6 交换式多兆位数据服务 SMDS ..... | 209 | 9.6 ATM 连接管理 .....       | 256 |
| 8.6.1 SMDS 协议结构 .....     | 210 | 9.6.1 ATM SVC 建立和释放基本    |     |
| 8.6.2 城域网 MAN .....       | 211 | 过程 .....                 | 257 |
| 8.6.3 SMDS 网络结构 .....     | 214 | 9.6.2 ATM 信令报文结构 .....   | 259 |
| 8.6.4 SIP .....           | 215 | 9.7 ATM 技术特点 .....       | 260 |



|                                  |     |                                      |     |
|----------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| 9.8 思考题 .....                    | 261 | 11.2.2 集成模型 .....                    | 299 |
| 第 10 章 IP 经典 ATM 交换 .....        | 262 | 11.3 IP Switching .....              | 300 |
| 10.1 ATM LANE .....              | 264 | 11.3.1 IP Switching 交换机构造 .....      | 301 |
| 10.1.1 ELAN 实体 .....             | 264 | 11.3.2 IFMP 协议 .....                 | 302 |
| 10.1.2 LUNI 协议参考模型 .....         | 266 | 11.3.3 GSMP 协议 .....                 | 304 |
| 10.1.3 LANE 数据格式转换 .....         | 267 | 11.3.4 IP Switching 数据传输 .....       | 305 |
| 10.1.4 LANE 帧格式 .....            | 268 | 11.3.5 IP Switching 数据格式<br>转换 ..... | 306 |
| 10.1.5 ELAN 实体间的逻辑连<br>接 .....   | 270 | 11.3.6 IP Switching 的组播 .....        | 307 |
| 10.1.6 LANE 初始化 .....            | 271 | 11.4 Tag Switching .....             | 308 |
| 10.1.7 地址解析 (LE_ARP) .....       | 272 | 11.4.1 Tag Switching 逻辑实体 .....      | 308 |
| 10.1.8 连接管理 .....                | 272 | 11.4.2 Tag 定义和结构 .....               | 310 |
| 10.1.9 数据传输 .....                | 273 | 11.4.3 标记分配、关联与分发 .....              | 311 |
| 10.1.10 LANE V2.0 .....          | 274 | 11.4.4 TDP .....                     | 312 |
| 10.1.11 LANE 特点分析 .....          | 275 | 11.4.5 Tag Switching 数据传<br>输 .....  | 314 |
| 10.2 IPOA .....                  | 275 | 11.4.6 Tag Switching 组播 .....        | 316 |
| 10.2.1 IPOA 逻辑实体 .....           | 275 | 11.5 MPLS .....                      | 317 |
| 10.2.2 IPOA 参考模型 .....           | 277 | 11.5.1 MPLS 逻辑实体 .....               | 317 |
| 10.2.3 IPOA 数据格式转换 .....         | 277 | 11.5.2 Label 及标记 .....               | 318 |
| 10.2.4 IPOA 地址解析 .....           | 277 | 11.5.3 LDP .....                     | 320 |
| 10.2.5 IPOA 寻址 .....             | 279 | 11.5.4 LSP 建立方式 .....                | 323 |
| 10.2.6 IPOA 网络连接 .....           | 280 | 11.5.5 数据在 LSP 上的传输 .....            | 326 |
| 10.2.7 IPOA 特点分析 .....           | 281 | 11.5.6 有关 MPLS 实现的若干<br>问题 .....     | 326 |
| 10.3 MPOA .....                  | 282 | 11.6 思考题 .....                       | 329 |
| 10.3.1 MPOA 逻辑实体 .....           | 282 | 第 12 章 IP 网络控制技术 .....               | 331 |
| 10.3.2 MPOA 数据寻址 .....           | 283 | 12.1 差错控制 .....                      | 331 |
| 10.3.3 MPOA 数据格式转换 .....         | 285 | 12.1.1 检错编码 .....                    | 331 |
| 10.3.4 MPOA 初始化配置和地址<br>发现 ..... | 285 | 12.1.2 IP 的差错控制 .....                | 333 |
| 10.3.5 流检测 .....                 | 285 | 12.2 通信量控制 .....                     | 336 |
| 10.3.6 NHRP .....                | 285 | 12.2.1 流量控制 .....                    | 336 |
| 10.3.7 MPOA 的组播 .....            | 290 | 12.2.2 拥塞控制 .....                    | 338 |
| 10.3.8 MPOA 特点分析 .....           | 293 | 12.3 IP 安全体系结构和安全<br>算法 .....        | 342 |
| 10.4 思考题 .....                   | 294 | 12.3.1 网络信息安全概念 .....                | 342 |
| 第 11 章 宽带 IP 骨干网技术 .....         | 296 | 12.3.2 IPSec .....                   | 343 |
| 11.1 驱动方式 .....                  | 296 | 12.3.3 IPSec 使用的安全算法 .....           | 352 |
| 11.1.1 流驱动 .....                 | 297 | 12.4 QoS 技术和体系结构 .....               | 363 |
| 11.1.2 拓扑驱动 .....                | 297 | 12.4.1 什么是 QoS 技术 .....              | 363 |
| 11.2 接口协议模型 .....                | 298 |                                      |     |
| 11.2.1 叠加模型 .....                | 298 |                                      |     |

|                        |     |                      |     |
|------------------------|-----|----------------------|-----|
| 12.4.2 集成服务.....       | 365 | 附录 A IPv6 简介.....    | 376 |
| 12.4.3 区分服务.....       | 367 | A.1 IPv6 基本头部格式..... | 376 |
| 12.4.4 子网带宽管理 SBM..... | 369 | A.2 IPv6 的地址空间.....  | 378 |
| 12.4.5 MPLS 的 QoS..... | 371 | A.3 IPv6 的扩展头部.....  | 381 |
| 12.4.6 QoS 体系结构.....   | 372 | 附录 B ICMPv6.....     | 385 |
| 12.5 思考题.....          | 373 | 参考文献.....            | 386 |

# 第1章 绪 论

本章主要介绍 4 部分内容，第 1 部分内容是计算机网络参考模型。参考模型是读者学习计算机网络原理性知识所必须掌握的内容。我们的介绍侧重于如何理解参考模型制定的目的、作用和功能，而没有堆砌概念，旨在使读者避免在学习之初就陷入晦涩难解的名词术语中。但是，我们相信，当读者通读了全书之后，就能够对参考模型有个比较深入和透彻的理解。第 2 部分内容是计算机网络构型。介绍这部分内容的目的是使读者在深入学习比较抽象的知识之前先对计算机网络物理轮廓有个整体的印象。第 3 部分内容是数据传输方式。这部分内容从总体上介绍了数据的转发和寻址方式，同时讲述了本书通篇内容涉及的一些核心概念。第 4 部分内容是 IP 网络控制功能概述，介绍了 IP 网络控制技术的分类和作用。

本章叙述中有些术语并没有马上得到解释，这样做的目的是把读者难以理解的知识点分散。但是，在后续的章节中我们对这些概念做了适当的解释或深入详细的分析。

## 1.1 如何理解计算机网络参考模型

计算机网络能够实现信息交换和资源共享，因此，它在人类社会中得到了广泛的应用。这已是读者耳熟能详的事实。实现信息交换和资源共享的根本途径是数据通信。计算机网络中的数据通信是个很复杂的过程，需要解决多个问题。计算机网络解决数据通信问题的做法是由若干功能模块联合起来实现这个复杂过程。每个功能模块解决某些特定的问题，各个功能模块协同起来实现数据从发送方到接收方的传输。

目前，有 2 个最有代表性的功能模块划分方法常被人们提及，一个模型是 ISO 制定的开放系统互联参考模型（Open System Interconnection Reference Model，OSIRM。常简记为 OSI），另一个是 Internet 遵循的 TCP/IP 参考模型。之所以称它们为参考模型，是因为设计网络协议时应该参考这些模型给出的模块功能规范。

下面，我们首先介绍这两个模型的基本内容，然后，谈一谈应如何理解参考模型。应该注意的是，为了能使读者尽快抓住模型的实质内涵，深入理解制定模型的目的及其具备的功能等内容，本书在介绍时并没有罗列国际标准的文本，而是把内容分成数据传输与控制两部分并加以介绍（这也是全书内容的组织原则）。

### 1.1.1 参考模型的功能模块

OSIRM 包括 7 个功能模块，如图 1-1（a）所示。TCP/IP 模型包括 5 个功能模块，如图 1-1（b）所示。

我们首先注意到图 1-1 中功能模块是按照高低层次排列的（为数不少的文献称参考模型为层次结构模型），应用层、表示层和会话层被称为高层（早期文献还包括传输层），其他层被称为低层。

另外，对等层之间（除物理层）的双向箭头连线是虚线，这表示对等层之间并不存在实际的数据传输，此时数据的处理还在各自的主机上。只有物理层（链路）上才存在实际的数据传输。事实上，第  $n$  层 ( $n>1$ ) 的数据发送时要先交给第  $n-1$  层，然后逐层下传至物理层，最后由物理链路传输，这个过程如图 1-2 所示。

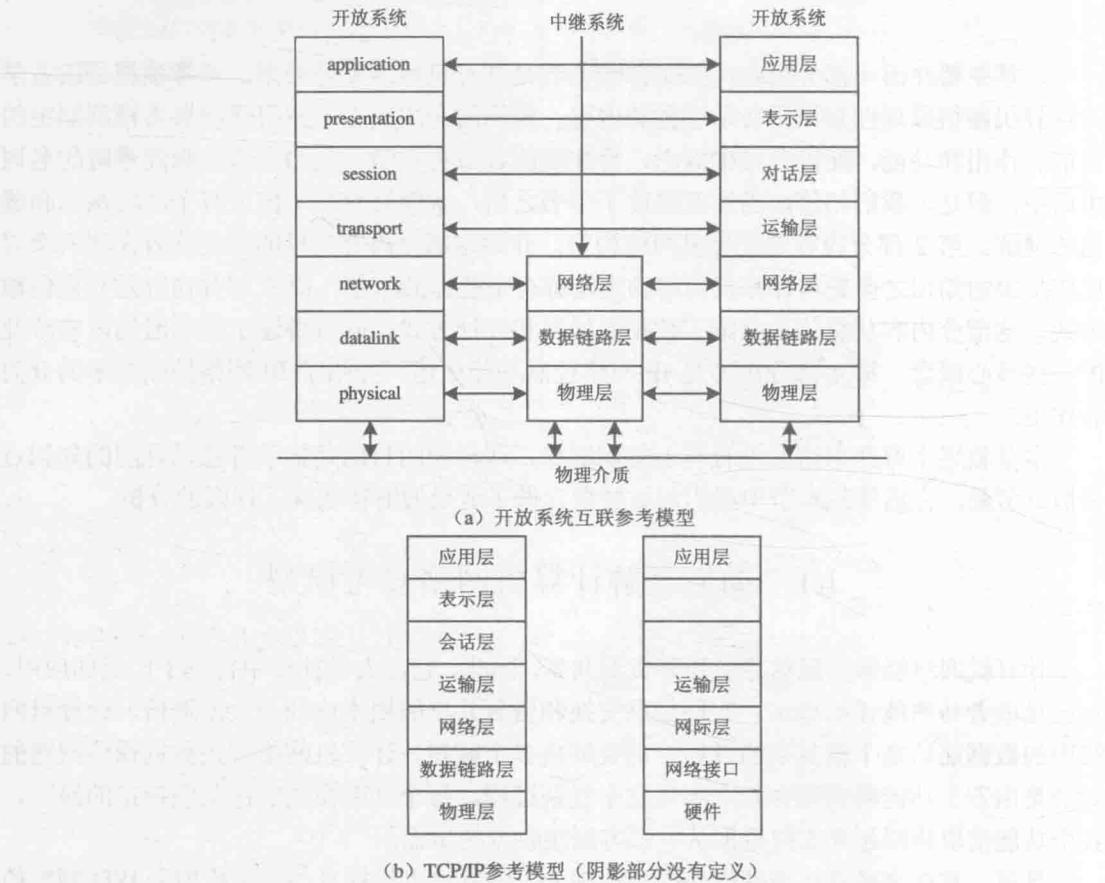
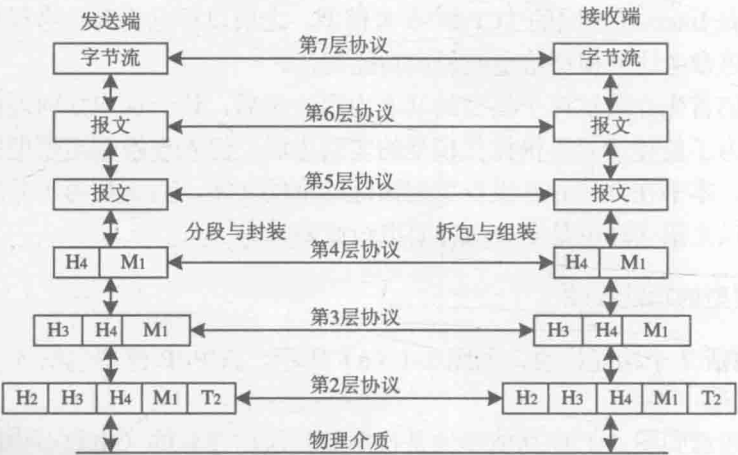


图 1-1 参考模型



H、T、M分别表示数据单元的首部、尾部、信息

图 1-2 OSI 模型中各层数据单元的形成及流动

在数据逐层下传时要经过分段和封装（如图 1-3 所示），因为不同层的数据长度和格式不一样，而且，即使同层的不同协议的数据格式也是不一样的。数据格式由该层的协议规定。数据在被接收时在对等层进行相反的操作。



图 1-3 数据格式转换

中继系统是将数据进行转发的硬件系统的统称，如路由器、局域网交换机和广域网交换机，有时称节点设备。因此它一般不包含高层模块。

至此，读者可能会问，功能模块的实体到底是什么？

基本上，高层模块是软件系统，主体是各种协议软件，它们或者集成到操作系统中，或者单独实现。第 3 层（网络层/网际层）模块是软件与硬件的混合体，其软件可以驻留在主机中，也可以驻留在中继系统里。第 2 层和第 1 层模块是硬件（也有很少的软件实现，如网卡的驱动程序）。

事实上，数据链路层的功能由 2 个子层实现，这 2 个子层是逻辑链路控制（Logical Link Control, LLC）子层和介质访问控制（Medium Access Control, MAC）子层。

---

注：有的文献将 access 称为存取或接入。

---

那么，为什么数据链路层会有两个子层呢？下面我们简要介绍一下其中的原因。

首先，从功能上看，数据链路层的任务是在点到点的物理线路<sup>①</sup>中形成数据<sup>②</sup>的通道。这个通道称为数据链路，它是一种逻辑链路，它是通过对物理链路施加差错控制和流量控制操作而形成的。一般情况下，一条物理链路上可以存在多条逻辑链路。因此，逻辑链路的控制是数据链路层相对独立的一组功能。

另外，从层次上看，数据链路层紧挨着物理层，它要直接与物理介质打交道，具体讲，就是向介质发送数据（存）和从介质接收数据（取），因此数据链路层还存在一个介质访问问题。

---

注：有的文献称共享链路为共享信道，点到点链路为点到点信道，并以二者的区别作为网络分类的一个依据。

---

实际上，被访问的是链路，而非物理介质（当它上面有信号传输时，才成为链路）。物理介质为数据传输提供信道（信号的通道，因为数据要转换成信号才能发送），因此，信道和链路的含义是一致的。

---

① 物理线路中间没有任何节点设备，也称为链路。

② 特定的结构叫帧。

发送方与接收方之间的链路有两种情况，即：

(1) 只存在 1 条链路。此时，如果不采用复用技术的话，链路上只存在一条数据链路。当该链路上连接了多台主机时，它们就要共同使用该数据链路（称为共享），此时，这条惟一的链路称为共享链路。多台主机共享同一链路时，显然要决定何时主机使用该链路。

(2) 存在 2 条以上链路。此时，要明确决定收发双方使用哪一条链路，称这种链路为点到点链路。

可见，无论哪种情况，都存在链路的控制问题。共享链路与点到点链路的应用场合不同，共享链路应用在早期的局域网（新型的交换式局域网也采用点到点链路），点到点链路应用于广域网。实际上，在 OSIRM 参考模型制定之初，数据链路层解决的是点到点链路控制问题。局域网的出现和广泛应用使数据链路层做出修改，增加了 MAC 子层，用于共享链路控制，而原来的内容集中到 LLC 子层。

TCP/IP 参考模型不存在 OSIRM 中的表示层和会话层，表示层和会话层的功能实际上可以由应用层和运输层完成，典型的表示层功能，如加密/解密和压缩/解压缩可以由应用层实现；典型的会话层功能，如应用进程之间的数据传输连接控制可以由运输层实现。另外，TCP/IP 参考模型中不存在数据链路层和物理层，取而代之的是网络接口层（有的文献称为主机至网络层）。该层实现主机/中继系统与网络硬件的连接，以便能在其上发送 IP 分组（IP 协议数据单元，规范的术语是 IP 数据报-datagram）。TCP/IP 参考模型没有定义实现该层的通用网络接口协议，而是支持多种现存的主机与网络的接口。TCP/IP 参考模型的其他层与 OSIRM 类似。

TCP/IP 模型是对协议族的抽象，换句话说，先有协议后有模型。这是 TCP/IP 模型与 OSIRM 另一个主要不同之处。目前，可以归纳到 TCP/IP 模型中的协议如图 1-4 所示。

TCP/IP 模型中的主要核心协议是 TCP、UDP 和 IP，另外有 3 个协议——ARP、RARP 和 ICMP 配合 IP 使用。上述协议构成了 TCP/IP 模型的主干，尤其是 TCP 和 IP 协议起到了承上启下的枢纽作用。从图 1-4 中可以看出，TCP/IP 协议可以支持多种上层应用协议，同时可以使用多种下层通信协议，而自身的“体积”很小。这是 TCP/IP 协议能够成为计算机网络协议事实标准的主要原因。

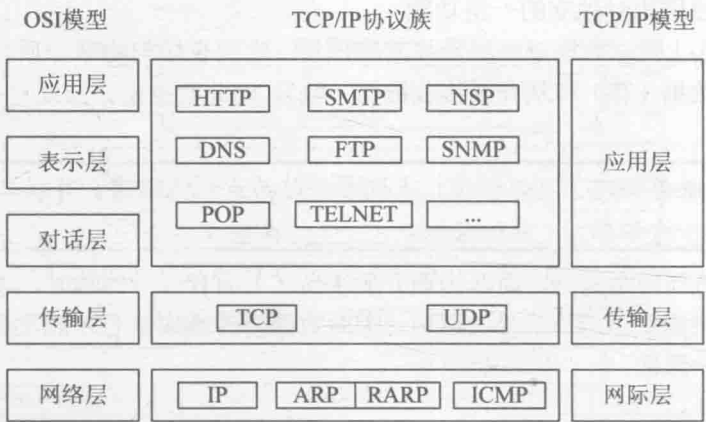


图 1-4 TCP/IP 协议族

为了协同实现数据的通信，各层功能模块必须实现各自的功能，这些主要的功能如表



1-1 所示。

表 1-1 层的功能：数据传输与控制

| 层     | 数据传输功能                                                                                                        | 控制功能                                                                                                           | 寻址信息                                                                                                              | 数据单元          | 驻留位置    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|
| 应用层   | 不涉及具体的数据传输，数据在主机内处理                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>• 域名解析</li><li>• 动态主机配置</li><li>• 网络管理</li></ul>                         | 名字（域名）                                                                                                            | 报文 (message)  | 主机      |
| 表示层   | 不涉及具体的数据传输，数据在主机内处理                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>• 语法（信息的结构或格式）和语义（何种信息完成何种动作做出何种应答）操作</li><li>• 数据编码、加密解密、数据压缩</li></ul> | 端口                                                                                                                | 报文            | 主机      |
| 会话层   | 不涉及具体的数据传输，数据在主机内处理                                                                                           | 为发送方和接收方的应用进程建立连接（为进程分配相应的资源，如缓存、计时器等）                                                                         | 端口                                                                                                                | 报文            | 主机      |
| 运输层   | 不涉及具体的数据传输，数据在主机和中继系统内处理                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"><li>• 为应用数据建立传输连接</li><li>• 流量控制</li><li>• 服务质量 QoS 保证</li></ul>             | TSAP 端口                                                                                                           | 报文            | 主机/中继系统 |
| 网络层   | <ul style="list-style-type: none"><li>• 路由转发</li><li>• 单播、组播、广播</li></ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>• 地址解析</li><li>• 拥塞控制</li><li>• 路由选择</li><li>• 防火墙</li></ul>             | NSAP 网络层地址。典型代表是 IP 地址、IPX 地址                                                                                     | 分组或包 (packet) | 主机/中继系统 |
| 数据链路层 | <ul style="list-style-type: none"><li>• 在相邻节点（主机或者中继系统）间无差错地传输数据帧</li><li>• 交换转发</li><li>• 单播、组播、广播</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• 差错控制</li><li>• 流量控制</li><li>• 介质访问控制</li></ul>                         | <ul style="list-style-type: none"><li>• 硬件地址，如 LAN 的 MAC 地址</li><li>• 逻辑连接的标识符，如帧中继的 DLCI、ATM 的 VPI/VCI</li></ul> | 帧(frame)      | 主机/中继系统 |
| 物理层   | 在相邻节点间传输比特流                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• 适用于物理链路的数据编码</li><li>• 物理连接控制</li></ul>                                | 物理链路标识                                                                                                            | 比特            | 主机/中继系统 |

另外，参考模型的每一层都具有寻址功能，本章 1.4 节将专门介绍它。

本书对层功能的介绍是结合具体技术展开的。在第 7 章介绍以太网物理层；在第 9 章介绍 ATM 物理层；在第 7、8、9、10 章介绍数据交换等第 2 层功能；在第 2、3、4、5 章介绍路由选择和地址解析等第 3 层功能；在第 12 章介绍 QoS 等第 4 层内容，另外在第 6 章介绍了域名解析 DNS 等应用层的功能。

1.1.2 对参考模型的理解

考查参考模型是学习和研究计算机网络的一个思想方法。学习、研究和设计计算机网络都离不开前面介绍的参考模型，因为它定义了网络行为规范。读者在阅读计算机网络教

程时，一般都会先遇到关于参考模型的章节。那么如何尽快地理解参考模型，抓住它的思想实质是读者普遍关心和感到困难的问题。下面，我们谈一谈在这方面的一些粗浅体会。

前面已经说过，参考模型是分层的结果，它把主机之间端到端数据通信问题划分为若干个子问题，每个子问题又包含一些更具体的问题。参考模型的每一层都对应这些子问题中的一个，相应的标准描述应该解决的具体问题，定义层应该具有的功能、完成的任务以及解决问题的方法。

应该注意到，层是有高低之分的。实际上，层的高低并不是本质，层的功能实现的顺序是本质的，换句话说，只有在某些问题解决之后，其他问题才能着手解决，这样，先要解决的问题所在的层与其他问题所在的层之间就存在先后顺序。

因此，按照这种理解，参考模型就可以表示成如图 1-5 所示。

图 1-5 的表示可能更符合读者的理解习惯，它更强调了数据通信的过程性，这样通常的术语“第 3 层功能”，就应变成“第 3 步功能”。这种理解方式在学习之初可以帮助读者理解层次模型，但是其局限性也是显而易见的，比如人家可能会问：“第 3 步功能”是发送主机的还是接收主机的呢？而“第 3 层功能”的表述就不存在这个歧义。因此，参考模型一般都表示成图 1-1 所示的形式而非图 1-5 所示。

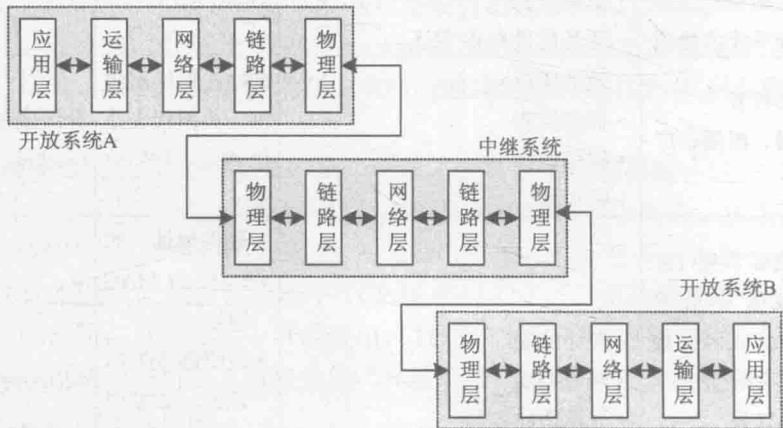


图 1-5 参考模型的另一种表示

再从实现的角度来加深对参考模型的理解。

我们知道单机系统的软硬件结构可以用图 1-6 (a) 的模型来描述，那么网络主机系统可以类似地用如图 1-6 (b) 所示的模型来描述。因此从实现上看，计算机网络参考模型可以表述成图 1-7 所示。

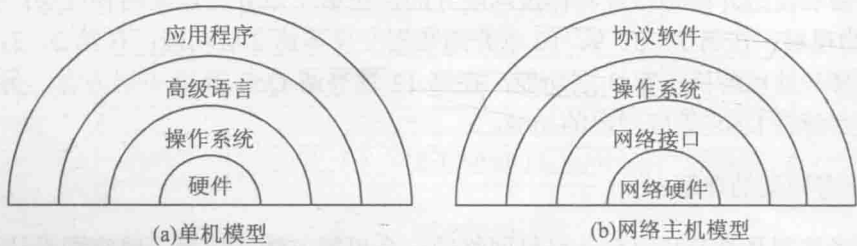


图 1-6 计算机网络主机系统模型

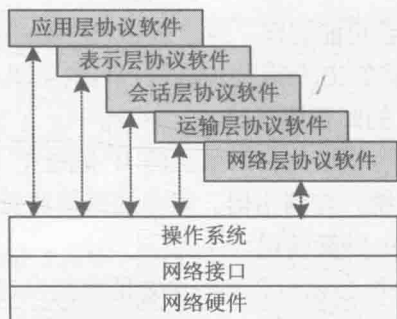


图 1-7 计算机网络实现模型

从图 1-7 可以看到，我们增加了操作系统功能层。这是因为，计算机网络协议要通过软件实现，协议软件作为应用只有经操作系统处理才能运行，并通过网络接口与网络硬件打交道。这个原理与单机系统的实现模型是一致的。

网络主机中的操作系统对读者来说并不陌生，如 Windows 9x/XP/NT/2000、UNIX/Linux 以及 NetWare 等。有的中继系统也要运行操作系统，例如 Cisco 路由器操作系统 IOS。

对参考模型的理解需要经过一个由浅入深的过程，也是有规律可循的。建议读者在理解层的功能时，可以把功能分为与数据传输有关的和与传输控制有关的两类来分析和比较，这样会比较容易和快速地明了计算机网络解决问题的思想方法及其知识体系，这就是表 1-1 的制表原则。为此，本书内容从结构上分为 2 部分，第 1 部分（第 2~11 章）较详细介绍与数据传输有关的内容，第 2 部分（第 12 章）简要介绍与控制有关的内容。

在结束本节之前，我们以读者比较熟悉的电子邮件（E-mail）为例，介绍 E-mail 发送过程中涉及的基本操作，如数据格式转换、寻址和控制功能，帮助读者加深对参考模型的理解。

首先分析数据格式转换。在 E-mail 发送过程中，存在以下几种数据格式：

- （1）人类编辑的文本格式：它是发信人使用 E-mail 编辑软件处理的数据。
- （2）协议定义的数据单元（Protocol Data Unit, PDU）：它是由应用层（如 HTTP（Hyper-Text Transfer Protocol）、SMTP（Simple Mail Transfer Protocol）、表示层、会话层、运输层（如 TCP）、网络层协议（如 IP）软件处理的数据。
- （3）操作系统管理的文件格式：邮件在发信人主机或邮件服务器存储时，由主机操作系统按一定的文件格式处理。
- （4）网络硬件发送的数据通信编码：邮件在网络物理链路上发送时必须按照链路需要的编码方式编码。

具体讲，E-mail 发送过程中的数据转换是这样的：邮件正文→HTTP 报文→TCP 报文→IP 分组→帧→编码比特流。其中“→”代表左边的数据单元封装到右边的数据单元中。

我们再来分析邮件从发信人主机到邮件服务器（存放邮件的主机）的寻址过程。发信人发出的邮件实际上是发往某个邮件服务器的，而不是直接发到收件人的主机。收件人的信箱就是邮件服务器上硬盘中的一块空间。收件人阅读邮件时必须先要连接到邮件服务器，然后才能浏览或取出邮件。那么，邮件是如何从发信人主机到邮件服务器的呢？这个过程涉及以下几个基本步骤：

- （1）域名解析：域名解析是指从邮件服务器主机的域名求出它的 IP 地址。服务器域名由 E-mail 信箱中字符@后面的字符串确定，例如信箱 w\_bz@163.net 所在的邮件服务器主