

# 计算机网络

## 原理与实践

徐磊 主编



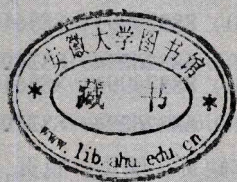
机械工业出版社  
China Machine Press



# 计算机网络 原理与实践

徐磊 主编

阎光伟 胡海涛 李国栋 孙雅娟 参编



机械工业出版社  
China Machine Press



本书较为全面和系统地介绍计算机网络的发展过程和典型的网络体系结构，并介绍物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层上的各种协议及其工作原理，既介绍成熟技术和经典协议，也介绍一些新标准和新技术的基本原理，此外还介绍网络安全的基本概念和安全协议，给出园区网组网案例分析和基于 Socket API 的网络应用编程方法及示例。

根据各章内容，本书安排有习题、协议验证性实验和应用编程实验，实验环节基于主流网络操作系统和开源代码软件，不需要特殊的软硬件平台投入，既方便学生课后练习，也可以供教师组织实验。

本书系统性较强、内容丰富、结构清晰、论述严谨，既突出基本原理和技术思想，也强调工程实践，还兼顾了计算机网络考研大纲要求，可供高等院校计算机及相关专业的本科生和研究生（特别是工程硕士）使用，也可供网络工程技术人员参考。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

## 图书在版编目（CIP）数据

计算机网络原理与实践/徐磊主编. —北京：机械工业出版社，2010.10

ISBN 978-7-111-32068-5

I. 计… II. 徐… 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（2010）第 191215 号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：李 荣

北京瑞德印刷有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

185mm × 260mm · 20.25 印张

标准书号：ISBN 978-7-111-32068-5

定价：35.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88378991；88361066

购书热线：(010) 68326294；88379649；68995259

投稿热线：(010) 88379604

读者信箱：hzsj@hzbook.com

# 前 言

二十多年前，我初次接触了用于开放系统互连的 OSI 分层体系。那时，Internet 还没有在全球商业化普及，电信、广播电视和计算机网络行业之间有着明确的疆域，电话和广播电视都在尝试将交互式的数字信息业务扩展到各自的系统中，一些实验室在研究利用电话网传输综合数字业务的 ISDN 技术，而我的论文课题，则是基于 OSI 参考模型的七层框架，提出一个中文的图文电视信息系统（Teletext）规范，并实现这样一个应用系统的服务提供端。这一挑战性的任务让我初次领略了网络协议的奥妙。

如今，ISDN、Teletext 早已被 Internet 大潮所淹没，TCP/IP 成为事实上“放之四海而皆准”的纲领。另一战场上，以太网标准在局域网领域“统一了三国”，并迅速向骨干网挺进，向下则逐渐蚕食着工业现场总线的疆土；光纤分布式数字接口（FDDI）、异步传输模式（ATM）、多协议标记交换（MPLS）技术一波接一波，彰显着计算机网络技术的发展速度。

但是，潮来潮去，总有一些核心的东西是有生命力的，譬如，ATM 技术退出了市场，但标记交换的思想则依然以新的形式延续着；虽然电信、广播电视和计算机三网业务逐渐在向 IP 平台上融合，但是由于服务质量（QoS）的短板问题，IP 网络上的语音和视频服务目前还无法取代传统的电信业务和成熟的广播电视业务。在市场上，产品技术可以分为流行或不流行，但背后的技术思想却常常被传承下来，并成为创新的起点。此外，分层的网络协议体系仍然是计算机网络的基础。鉴于此，在构思这本教程时，我认为，成熟的协议体系及其背后的技术思想，应该是教材和教学强调的重点，也是开启学生网络技术悟性的钥匙。

基于上述出发点，本教程强调分层的协议体系，以期为学生建立起完整和清晰的网络知识体系；主要内容基于国内外经典教程和网络工程实践中所提倡的五层体系结构展开，该结构框架是对 OSI 七层协议参考模型和 TCP/IP 架构的兼收并蓄，是迄今为止容纳广泛的网络协议最合适的容器。

在新旧内容取舍方面，本书既保留了一些经典协议，如 HDLC、ALOHA 等，目的是学习其思想方法；也介绍了一些有影响的新技术的基本原理，如网络层的 QoS 模型、传输层之上的实时传输协议 RTP 及 RTCP、应用层的新型计算模式 P2P 及其两种代表应用（基于 P2P 的文件分发和因特网电话服务）。

此外，为了兼顾工科学生深造和宽口径就业的需求，本书还试图体现以下特色：

1) 提供网络工程的视野。在给学生建立起清晰和系统的网络知识体系的同时，使其对网络工程技术有所了解。本书第三部分安排为网络集成与应用，先介绍典型的园区网组网知识，然后用案例的形式使学生对网络工程有一个全面了解，开阔学生专业视野，达到学以致用目的。

2) 强化实践动手环节。在第二部分（网络协议）的每一章后均安排了可以进行独立实验的环节，以加深学生对协议的理解，提高学生的动手能力。这些实验基于主流网络操作系统和开源代码软件，不需要特殊的软硬件平台投入，方便学生课后练习，也可供教师组织实验。

3) 提供初步的网络应用编程训练。Socket API 是网络协议体系和网络应用编程最好的结合点，在学习了网络各层协议的工作原理和园区网组网案例之后，本书最后一章介绍了基于 Socket API 的网络应用编程的基本概念和方法，以期使学生对计算机网络的认知更加系统和完整。

4) 跟踪最新的 RFC 标准文档。附录 C 中列出了本书涉及的一些 RFC 文档的当前最新版本信息（截至 2010 年 6 月），具有较好的参考价值，可供有兴趣的学生展开深入的研究和探索。

本教材兼顾了计算机网络考研大纲（2010年）要求，适合作为高等院校计算机、软件工程、信息安全、通信、电子信息等相关专业的本科生或工程硕士的教材和教学参考书，也可供网络信息工程技术人员学习参考。

本书由徐磊主编，阎光伟、胡海涛、李国栋和孙雅娟参与编写。其中，徐磊构思并拟定了全书的内容大纲，执笔编写了第1章、第4章、第5章和第10章及相关实验，阎光伟编写了第3章以及第8章的8.1、8.2、8.3节和实验一，胡海涛编写了第2章、第7章的7.1、7.2、7.5节以及第8章的8.4、8.5节和实验二，李国栋编写了第6章以及第7章的7.3、7.4节和相关实验，孙雅娟编写了第9章，全书由徐磊统稿。

本书教学建议及目录中标记为星号的内容可以根据学时安排选讲或不讲，供学生自学参考。

感谢对本书提出宝贵建议的专家和同行，感谢对本书部分实验进行了验证和辅助工作的研究生，感谢机械工业出版社华章公司对本书出版工作的大力支持。

由于时间和水平所限，书中难免存在不妥之处，殷切希望广大读者批评指正。

徐磊

2010年8月

# 教学建议

教学内容	知识要点及教学要求	课时安排
第1章 计算机网络概论	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熟悉并掌握计算机网络的定义。</li> <li>2. 了解计算机网络的演变和发展过程。</li> <li>3. 了解计算机网络的组成。</li> <li>4. 了解因特网的结构。</li> <li>5. 了解计算机网络的分类方法。</li> <li>6. 熟悉并掌握计算机网络的性能参数及其概念。</li> <li>*7. 了解计算机网络的标准化工作和相关技术组织。</li> </ol>	4
第2章 计算机网络的体系结构	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 掌握协议的概念和计算机网络分层模块结构。</li> <li>2. 掌握 ISO 的 OSI 参考模型。</li> <li>3. 掌握 TCP/IP 体系结构。</li> <li>4. 掌握五层体系结构的模型。</li> </ol>	4
第3章 物理层	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 掌握物理层的主要功能。</li> <li>2. 熟悉数据通信基础知识。</li> <li>3. 熟悉数据编码和调制技术，重点掌握数字基带传输中的常见码型和数字数据调制的基本方法。</li> <li>4. 熟悉各种多路复用技术的原理。</li> <li>5. 熟悉数据交换技术的基本概念，掌握各种交换技术的工作原理。</li> <li>6. 了解各种传输介质的分类和特点。</li> <li>7. 了解局域网物理层及各种以太网物理层标准，了解以太网的物理层实现。</li> <li>*8. 了解广域网的物理层。</li> <li>9. 了解无线 LAN 物理层的技术和标准，包括跳频扩频技术、直接序列扩频技术、正交频分复用技术和 802.11a、802.11b、802.11g、802.11n 标准。</li> <li>*10. 了解蜂窝通信系统的基本结构和 1G、2G、3G、4G 蜂窝通信技术的特点。</li> </ol>	6
第4章 数据链路层	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熟悉并掌握数据链路层的基本概念。</li> <li>2. 熟悉并掌握数据链路层的基本功能。</li> <li>3. 了解经典的数据链路层协议 HDLC。</li> <li>4. 熟悉因特网中的点到点协议 PPP。</li> <li>5. 了解媒体访问控制方式的分类和特点。</li> <li>6. 熟悉并掌握 CSMA/CD 的工作原理。</li> <li>7. 了解 IEEE 的局域网参考模型。</li> <li>8. 熟悉并掌握以太网的 MAC 帧格式。</li> <li>9. 了解局域网的拓扑结构。</li> <li>10. 掌握 VLAN 的概念。</li> <li>11. 熟悉无线局域网工作原理，掌握 MAC 控制机制和 CSMA/CA 工作原理，熟悉虚拟载波监听原理，了解 802.11 帧格式。</li> </ol>	6~8

教学内容	知识要点及教学要求	课时安排
第5章 网络层	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熟悉网络层的功能和网络层提供的两种服务。</li> <li>2. 熟悉 IPv4 数据报的格式和各字段的含义。</li> <li>3. 熟练掌握因特网中的地址机制, 重点掌握 IP 地址的分类、特殊 IP 地址、子网划分和 CIDR 编址。</li> <li>4. 熟悉 ARP 工作原理和 NAT 工作原理。</li> <li>5. 熟悉路由表的构成, 掌握 IP 数据报寻址和路由转发。</li> <li>6. 了解静态路由和动态路由的概念, 了解距离向量路由算法和链路状态路由算法, 熟悉自治系统及分级路由的概念。</li> <li>7. 熟悉 RIP 协议、OSPF 协议的工作要点, 了解 BGP。</li> <li>8. 熟悉 IP 多播的基本工作原理, 重点掌握 IP 多播及硬件多播的机制, 了解 IGMP 协议的作用。</li> <li>9. 了解 IPv6 协议的主要特点、IPv6 报文格式、IPv6 地址。</li> <li>10. 熟悉 IPv4 向 IPv6 过渡的基本工作原理。</li> <li>* 11. 了解移动 IP 及其基本工作原理。</li> <li>* 12. 了解 QoS 的概念和网络层上的两种 QoS 体系。</li> </ol>	8 ~ 12
第6章 传输层	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熟悉并掌握传输层的基本概念, 包括面向连接和无连接服务、端到端通信、端口和套接字、多路复用和多路分解。</li> <li>2. 熟悉并掌握 UDP, 包括 UDP 数据报结构和校验和。</li> <li>3. 熟悉并掌握 TCP, 包括 TCP 报文段结构、序号与确认、重传机制、连接管理、流量控制和拥塞控制。</li> <li>* 4. 了解 RTP 和 RTCP 协议。</li> </ol>	6
第7章 应用层	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 了解应用层的一些基本概念。</li> <li>2. 熟悉网络应用的三种工作模式。</li> <li>3. 熟悉并掌握域名的层次结构、域名服务器及域名解析。</li> <li>4. 熟悉并掌握电子邮件的组成结构、电子邮件格式和电子邮件协议。</li> <li>5. 熟悉并掌握万维网体系结构、统一资源定位符、超文本传输协议和超文本标记语言。</li> <li>6. 熟悉并掌握 FTP 基本概念和工作原理。</li> <li>7. 熟悉并掌握 Telnet 工作原理和 NVT。</li> <li>8. 了解 DHCP 工作过程。</li> <li>* 9. 了解网络管理和 SNMP。</li> <li>* 10. 了解 Internet 上的新型应用——P2P 应用。</li> </ol>	8
第8章 网络安全	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熟悉网络系统面临的安全威胁, 掌握网络安全体系应提供的安全服务。</li> <li>2. 了解系统漏洞的概念和远程攻击的步骤。</li> <li>3. 熟悉拒绝服务攻击及分布式拒绝服务攻击的原理。</li> <li>4. 了解恶意代码的分类和各种不同类型恶意代码的特点。</li> <li>5. 熟悉网络安全基本技术, 熟悉对称密钥加密机制, 掌握公开密钥加密算法的工作原理。</li> <li>6. 掌握数字签名的概念和实现方法, 熟悉利用报文摘要技术实现数字签名的方案。</li> <li>7. 熟悉身份认证的方法及其特点。</li> <li>* 8. 熟悉密钥分配的概念, 了解公开密钥基础设施的概念, 了解对称密钥分配的方法和 Kerberos 协议。</li> <li>* 9. 熟悉网络层安全协议 IPSec、传输层安全协议 SSL 和电子邮件安全协议 PGP 的工作原理。</li> <li>* 10. 了解无线网络的安全协议 802.11i。</li> <li>* 11. 了解网络安全的相关法律法规。</li> </ol>	4 ~ 8

(续)

教学内容	知识要点及教学要求	课时安排
* 第9章 园区网组网及案例分析	1. 熟悉网络设备的工作原理。 2. 了解综合布线的内容。 3. 认识园区网。	2~4
* 第10章 基于 Socket API 的网络应用编程	1. 熟悉 Socket 的类型和 BSD 基本知识。 2. 掌握 TCP Socket 编程的方法。 3. 掌握 UDP Socket 编程的方法。 4. 了解 RAW Socket 编程的方法。 5. 了解网络服务器的工作模式。	4
合计		52~64

说明:

1. 本教学计划适用于计算机相关专业的本科教学, 其他工科专业本科教学和工程硕士教学可在此基础上根据各自的教学要求和教学计划酌情调整。
2. 课时为授课课时, 不包含实验和其他教学环节。
3. 对已学过相关通信课程的学生, 第3章的3.2~3.4节可以不讲。



# 目 录

前言

教学建议

## 第一部分 网络基础

第 1 章 计算机网络概论	1
1.1 计算机网络的演变和发展历史	1
1.1.1 计算机网络的起源和形成	1
1.1.2 开放的网络体系标准的发展	3
1.1.3 因特网时代	3
1.2 计算机网络的定义和组成	5
1.2.1 计算机网络的定义	5
1.2.2 计算机网络的组成	5
1.2.3 因特网的结构	7
1.3 计算机网络的分类	8
1.4 计算机网络的拓扑结构	8
1.5 计算机网络的主要性能参数	10
1.5.1 带宽和传输速率	10
1.5.2 时延、往返时延和时延变化	10
1.5.3 吞吐量、丢包率	11
* 1.6 计算机网络的标准化工作和相关技术组织	11
1.6.1 因特网的标准组织	11
1.6.2 国际电信联盟	12
1.6.3 国际标准化组织	12
1.6.4 电气和电子工程师协会	13
习题	13
第 2 章 计算机网络的体系结构	14
2.1 基本概念	14
2.1.1 分层的体系结构	14
2.1.2 有关术语及概念	16
2.2 ISO/OSI 参考模型	19
2.3 TCP/IP 体系结构	21
2.4 五层协议的体系结构	23
习题	25

## 第二部分 网络协议

第 3 章 物理层	27
3.1 物理层概述	27
3.2 数据通信基础知识	27
3.2.1 通信的基本概念	27
3.2.2 通信系统的模型与分类	29
3.2.3 数据通信主要技术指标	31
3.2.4 数据通信的方式	32
3.3 数据编码和调制技术	35
3.3.1 数字基带传输和数字频带传输	35
3.3.2 数字基带传输常见码型	35
3.3.3 脉冲编码调制	37
3.3.4 数字信号的调制	37
3.3.5 调制解调器	39
3.4 多路复用技术	40
3.4.1 频分多路复用技术	40
3.4.2 波分多路复用技术	41
3.4.3 时分多路复用技术	41
3.4.4 码分多路复用技术	42
3.5 数据交换技术	43
3.5.1 电路交换	43
3.5.2 分组交换	45
3.6 物理层的传输介质	45
3.6.1 导向传输介质	46
3.6.2 非导向传输介质	48
3.7 局域网的物理层	51
3.7.1 以太网的物理层结构	52
3.7.2 以太网的物理层实现	54
3.7.3 以太网介质相关标准	55
* 3.8 广域网的物理层	57
3.8.1 PCM 数字传输系统	57
3.8.2 同步光纤网 SONET 与同步数字体系 SDH	58
3.9 无线网的物理层	59
3.9.1 无线 LAN 的物理层	59

* 3.9.2 无线 WAN 的物理层 .....	61	5.3.1 IP 地址及 IP 报文的寻址 .....	104
习题 .....	62	5.3.2 子网编址 .....	106
实验 双绞线的制作 .....	63	5.3.3 无分类的域间编址 CIDR .....	110
第 4 章 数据链路层 .....	65	5.3.4 特殊用途的 CIDR 地址块 ..	114
4.1 数据链路层概述 .....	65	5.3.5 地址解析协议 ARP .....	115
4.1.1 数据链路层的基本概念 .....	65	5.3.6 网络地址转换 NAT .....	116
4.1.2 数据链路层协议的功能 .....	65	5.4 因特网上的路由机制 .....	118
4.1.3 差错校验的实现 .....	67	5.4.1 路由协议的基本概念 .....	118
4.1.4 可靠交付与确认机制 .....	69	5.4.2 RIP 协议 .....	120
4.2 一个经典的数据链路层协议 HDLC .....	72	5.4.3 OSPF 协议 .....	122
4.2.1 HDLC 的起源和影响 .....	72	5.4.4 BGP 协议 .....	125
4.2.2 HDLC 的工作原理 .....	73	5.5 因特网上的控制协议 ICMP .....	127
4.3 因特网中的点到点协议 PPP .....	75	5.5.1 ICMP 报文 .....	127
4.3.1 PPP 协议简介 .....	75	5.5.2 典型的 ICMP 应用实例 .....	129
4.3.2 PPP 的工作原理 .....	76	5.6 因特网上的多播 .....	130
4.4 局域网中的数据链路层协议 .....	78	5.6.1 多播的概念 .....	130
4.4.1 媒体访问控制方式 .....	78	5.6.2 IP 多播地址与硬件多播 地址 .....	131
4.4.2 随机接入的媒体访问控制 协议 .....	79	5.6.3 因特网上的组管理协议 IGMP .....	132
4.4.3 IEEE 802 参考模型 .....	81	* 5.6.4 多播的路由选择 .....	133
4.4.4 以太网的基本 MAC 帧 .....	83	5.7 下一代因特网协议 IPv6 .....	134
4.5 以太网技术的发展 .....	85	5.7.1 IPv6 的背景及主要特点 .....	134
4.5.1 以太网交换技术及高速 以太网 .....	85	5.7.2 IPv6 的报文格式 .....	134
4.5.2 虚拟局域网和 IEEE 802.1Q ..	86	5.7.3 IPv6 地址 .....	136
4.6 无线局域网 .....	88	5.7.4 ICMPv6 .....	139
4.6.1 无线局域网的组成 .....	88	5.7.5 向 IPv6 的过渡 .....	140
4.6.2 IEEE 802.11 的 MAC 子层 协议 .....	89	* 5.8 移动 IP .....	141
4.6.3 IEEE 802.11 的帧格式 .....	92	* 5.9 网络层的 QoS .....	144
习题 .....	95	5.9.1 QoS 的一般概念 .....	144
实验 以太网帧的构成 .....	96	5.9.2 集成服务 .....	145
第 5 章 网络层 .....	98	5.9.3 区分服务 .....	146
5.1 网络层的基本概念 .....	98	习题 .....	149
5.1.1 网络层的主要功能 .....	98	实验 .....	150
5.1.2 网络层向上提供的两种 服务 .....	99	实验一 地址解析协议 ARP 协议 实验 .....	150
5.2 IPv4 协议 .....	101	实验二 ICMP 协议实验 .....	151
5.2.1 IP 数据报的格式 .....	101	实验三 IP 协议及 traceroute 路由 跟踪 .....	152
5.2.2 IP 报文的分片 .....	103	第 6 章 传输层 .....	155
5.3 因特网上的地址机制 .....	104	6.1 传输层的基本概念 .....	155

6.1.1	面向连接和无连接服务	155	7.5.2	基于 P2P 的因特网电话 服务	203
6.1.2	因特网上的端到端通信	155	习题		206
6.1.3	端口和套接字的概念	156	实验	HTTP 协议实验	207
6.1.4	传输层的多路复用与多路 分解	157	第 8 章	网络安全	209
6.2	因特网上的用户数据报协议	158	8.1	网络安全概述	209
6.2.1	UDP 概述	158	8.1.1	网络系统所面临的威胁	209
6.2.2	UDP 数据报结构	159	8.1.2	网络安全体系应提供的 安全服务	210
6.2.3	UDP 校验和	160	8.2	网络攻击	210
6.3	因特网上的传输控制协议	160	8.2.1	网络攻击概述	210
6.3.1	TCP 概述	160	8.2.2	拒绝服务攻击	211
6.3.2	TCP 报文段结构	161	8.2.3	恶意代码	213
6.3.3	TCP 序号与确认	162	8.3	网络安全基本技术	216
6.3.4	TCP 重传机制	163	8.3.1	加密	216
6.3.5	TCP 连接管理	164	8.3.2	数字签名	219
6.3.6	TCP 流量控制	168	8.3.3	身份认证	220
6.3.7	TCP 拥塞控制	169	* 8.3.4	密钥分配	223
* 6.4	用于多媒体传输的实时传输/传输 控制协议	172	* 8.4	网络安全协议	228
习题		173	8.4.1	网络层安全协议 IPSec	228
实验		174	8.4.2	传输层安全协议 SSL	231
实验一	UDP 协议实验	174	8.4.3	电子邮件安全协议 PGP	237
实验二	TCP 协议实验	175	8.4.4	无线局域网的安全协议 802.11i	239
第 7 章	应用层	177	* 8.5	安全标准与法律法规	242
7.1	应用层的基本概念	177	8.5.1	网络安全评估标准	242
7.2	网络应用的工作模式	178	8.5.2	安全法律与法规	244
7.2.1	C/S 工作模式	178	习题		246
7.2.2	B/S 工作模式	179	实验		247
7.2.3	P2P 工作模式	180	实验一	数字证书的生成与安装	247
7.3	因特网上的域名机制	182	实验二	SSL 安全协议分析实验	252
7.3.1	分层的域名空间	182	<b>第三部分 网络集成与应用</b>		
7.3.2	域名服务器与域名解析	183	* 第 9 章	园区网组网及案例分析	255
7.4	因特网上的基本应用	184	9.1	网络结构	255
7.4.1	电子邮件	184	9.1.1	拓扑结构	255
7.4.2	万维网	189	9.1.2	三层组网结构	255
7.4.3	文件传输服务	192	9.1.3	扁平化的两层结构	257
7.4.4	远程登录	193	9.2	局域网硬件设备	257
7.4.5	动态主机配置协议	194	9.2.1	集线器	257
* 7.4.6	网络管理及简单网络管理 协议	195	9.2.2	交换机	258
* 7.5	因特网上的新型应用	198	9.2.3	路由器	261
7.5.1	基于 P2P 的文件分发	199			



9.2.4	三层交换机 .....	263	10.2.2	BSD Socket 的种类 .....	282
9.2.5	无线局域网设备 .....	264	10.2.3	BSD Socket API 的基本知识 .....	282
9.3	综合布线系统 .....	267	10.3	TCP Socket 编程方法 .....	286
9.3.1	综合布线系统的标准 .....	267	10.3.1	TCP Socket 的工作流程 .....	286
9.3.2	综合布线系统的构成 .....	267	10.3.2	TCP Socket 应用编程示例 .....	287
9.3.3	综合布线系统的常用传输介质 .....	268	10.4	UDP Socket 编程方法 .....	290
9.4	IP 地址的分配与管理 .....	269	10.4.1	UDP Socket 的工作流程 .....	290
9.4.1	IP 地址分配原则 .....	269	10.4.2	UDP Socket 应用编程示例 .....	291
9.4.2	IP 地址分配方式 .....	269	10.5	Raw Socket 编程方法 .....	293
9.4.3	IP 地址的管理 .....	271	10.5.1	协议首部数据结构 .....	293
9.5	网络安全防护技术 .....	271	10.5.2	校验和的计算 .....	294
9.5.1	防火墙 .....	271	10.5.3	Raw Socket 应用编程示例 .....	295
9.5.2	入侵检测 .....	274	10.6	网络服务器的工作模式 .....	296
9.5.3	网络防病毒 .....	275	实验 .....	297	
9.5.4	VPN 技术 .....	276	实验一	基于 UDP 的对等通信编程 .....	297
9.6	因特网的接入 .....	277	实验二	简单 Web 代理服务器 .....	298
9.6.1	几种常用的因特网接入方式 .....	277	<b>第四部分 附录</b>		
9.6.2	园区网的因特网接入 .....	277	附录 A	英文缩写词汇表 .....	299
9.7	园区网组网实例 .....	278	附录 B	Ethereal 简介与使用指南 .....	305
* 第 10 章	基于 Socket API 的网络应用编程 .....	280	附录 C	有关 RFC 文档 .....	308
10.1	网络应用编程概述 .....	280	参考文献	.....	310
10.2	Socket 编程的基本概念 .....	281			
10.2.1	BSD Socket API 简介 .....	281			

# 第一部分 网络基础

## 第 1 章 计算机网络概论

计算机网络技术发展到今天，已经渗透到人们的工作、生活各个方面，从联网的桌面办公系统，到随时随地能够提供网络连接的手机浏览器，无所不在的网络连接不断地扩展着计算机网络的疆界，并将继续以迅猛的势头发展，对企业的业务模式、人们的工作和生活方式，直至对社会的进步产生深远的影响。

网络的爆炸式增长所激发出的丰富多样的应用需求，包括一些令人兴奋的新型应用，反过来又推动了网络技术和网络计算模式本身的发展，但总体来说，网络的基本体系架构是相对稳定的，网络协议的进化是连续的和渐进的。本书的目的就是使读者深入理解支撑计算机网络的基本架构和协议体系，掌握计算机网络背后的工作原理，进而把握网络进化的脉络，在不断发展的网络领域中与时俱进。

作为概述，本章的目的是给读者提供一个对计算机网络的宏观了解。首先带领读者考察计算机网络的发展过程，通过介绍在计算机网络发展历史上起到里程碑作用的关键技术的发展，使读者从宏观上体会该领域技术的源起和演变。然后介绍计算机网络的定义和组成、网络的功能、应用和分类，在 1.5 节中，介绍评价网络性能的一些基本定量参数。由于计算机网络与网络协议标准是密不可分的，本章的最后介绍在计算机网络标准化方面有影响的若干技术组织。

### 1.1 计算机网络的演变和发展历史

#### 1.1.1 计算机网络的起源和形成

计算机网络是计算机技术和通信技术紧密结合的产物，两者相互渗透又相互促进，推动计算机网络经历了从无到有、从孤立到互联的发展历程。

1946 年世界上第一台数字计算机问世，标志了计算机技术发展的起点。

此后，随着技术的进步和计算模式的发展，计算机网络技术经历了主机-终端的连接、主机-主机的连接，才逐步演变为现代意义上的计算机网络。

##### 1. 主机-终端的通信网络

早在 20 世纪 60 年代中期之前，微机还没有问世，计算机作为昂贵的设备，数量很有限，为了使更多的用户能够使用主机的计算资源，出现了联机终端这样一种系统结构，这是一种以单个大型主机为中心的远程联机系统，通过通信设备和通信线路把多个远程用户终端与计算机主机连接起来，多个用户终端通过多任务分时操作系统共享主机的资源。

所谓终端（terminal）实际上相当于计算机的外部设备，它包括显示器、键盘和简单的通信接口，但不具备处理器和存储能力，因此不是一台独立的计算机。终端只承担输入和输出的功能，终端向主机发送数据和处理请求，主机运算后将处理结果发回给终端显示，终端用户的数据存储在主机系统中。

随着终端用户的增多，通信控制处理的功能逐渐从主机中脱离出来，形成独立的设备通信控制处理机（Communication Control Processor, CCP），又称为前置机。这样，由 CCP 专门处理通信任务，就可以提高主机的性能。

集中器（或者多路复用器）主要负责将多个终端到主机的数据集中（或者复用）后发送到高速通信线路上，或者把主机发来的数据分发给多个终端。如图 1-1 所示为主机-终端的系统。

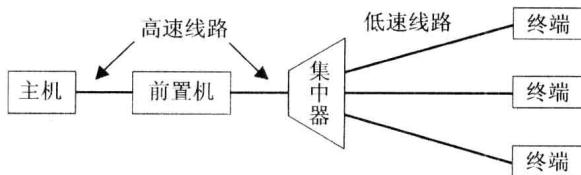


图 1-1 主机-终端的系统

主机-终端系统的成功应用实例可以追溯到 20 世纪 50 年代中期，美国的半自动化地面防空系统（Semi-Automatic Ground Environment, SAGE）通过把远程雷达和其他测控设备的数据经通信线路传输，发送给一台 IBM 计算机，实现了基于计算机网络的集中处理与控制。

20 世纪 60 年代，美国航空公司与 IBM 公司合作投入使用的飞机订票系统 SABRE-I 则是由一台 IBM 主机和遍布全美各地的 2000 多个终端组成的另一个典型应用。另外一个例子是通用电气公司的 GE 网，该网络采用树型的两级连接：与主机相连的有 7 个中心集中器，与中心集中器相连的是 75 个远程集中器，远程集中器与遍布各地的终端相连，构成了号称是世界上最大的商业数据处理网络。

## 2. 主机-主机的通信网络

20 世纪 60 年代中期至 20 世纪 70 年代，开始出现多主机互联系统，以多处理机为中心，利用通信线路将多台主机连接起来，为远程终端用户提供服务。主机之间通过接口报文处理机（Interface Message Processor, IMP）与通信线路连接。IMP 和通信线路构成通信子网，负责数据通信的任务；互联的主机组成资源子网，承担程序执行，提供计算和存储资源共享。如图 1-2 所示为主机-主机的系统。

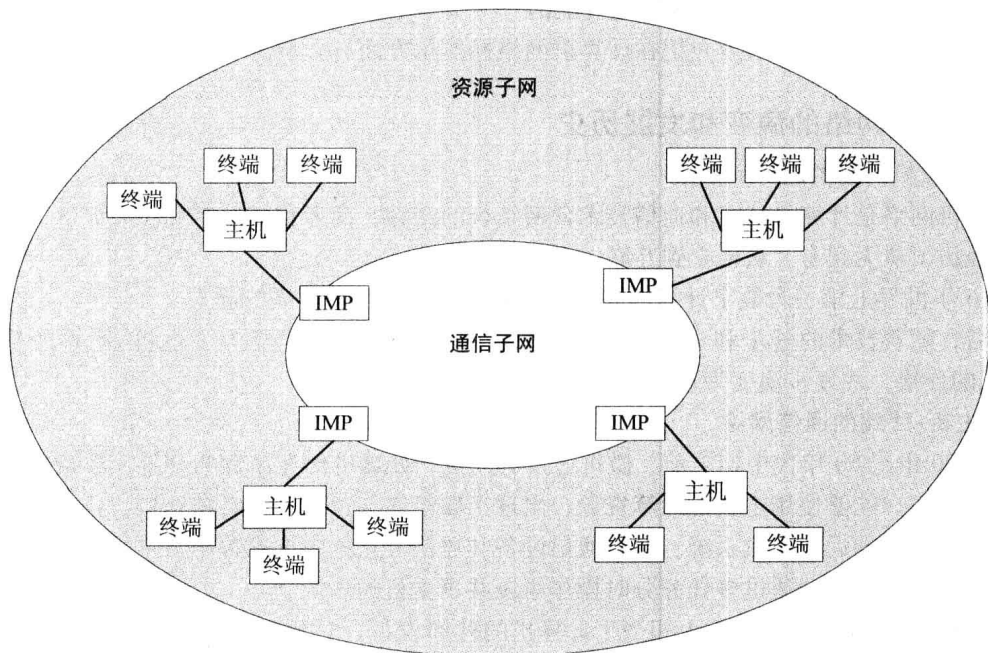


图 1-2 主机-主机的系统

这个时期形成了为当前大多数人认可的计算机网络的基本概念——“以能够相互共享资源为



目的互联起来的具有独立功能的计算机之集合体”。

最有影响的多主机互联的网络首推 ARPANET，这是 1969 年美国国防部国防高级研究计划署 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 资助建立的世界上第一个分组交换网络，该网络最初通过分组交换机和通信线路连接了四个结点 (洛杉矶的加利福尼亚大学、圣芭芭拉的加利福尼亚大学、加州的斯坦福大学、盐湖城的犹他州立大学的大型计算机)。ARPANET 中的第一个主机协议为 NCP (网络控制协议)，并实现了第一个电子邮件程序。到 20 世纪 70 年代末，ARPANET 跨越美国东部和西部，连接了多个大学和研究机构的 200 多台主机，并通过通信卫星与夏威夷大学的分组无线网及欧洲的计算机网络相互连通。

ARPANET 被公认为是计算机网络发展史上的里程碑，也是 Internet 的雏形。

ARPANET 是采用分组交换技术的网络。分组交换是将数据报文分成多个称为分组 (packet) 的片段，每个分组携带地址信息独立传输，通过通信结点处理机进行存储转发，每个通信结点处理机根据分组携带的目的地址，运用路由算法选择转发路径，逐点完成从源结点到目的结点的分组转发。

主机-主机网络的典型实例除了 ARPANET，还有后来各国建立的一些大型网络，如美国的 CYBERNET，它是一个包含了多台大型主机的国际化网络。欧洲的 EIN 网络，连接了伦敦、巴黎、米兰等五个计算中心的五台小型机，通过六条租用的国际通信线路连接了十几个国家。此外，还有英国、日本、法国都建立了类似的分组交换网络。

分组交换网络的发展，促进了对网络体系结构的研究，如 IBM 公司的 SNA (System Network Architecture) 网、DEC 公司的 DNA (Digital Network Architecture) 网、夏威夷大学的分组无线网络 ALOHANET 等。在这个时期，这些有影响的网络大多都制定了自己的网络协议架构，但不同厂商的网络协议自成体系，互不兼容，未形成统一的开放标准。

### 1.1.2 开放的网络体系标准的发展

20 世纪 80 年代后计算机网络在理论体系、技术标准和技术实现方面都有了长足的发展。在这方面，沿着最初三条互相独立的发展线索形成了今天网络的主流技术架构。

由于自成体系的网络难以实现互连，国际标准化组织 (International Standards Organization, ISO) 于 1984 年提出了“开放系统互连参考模型” (OSI/RM, ISO 7498)，即著名的 OSI 七层模型，OSI/RM 把网络划分为七个层次，并规定了各层的功能，计算机之间必须在对应层之间进行通信，大大地规范和统一了计算机网络体系架构，是建立开放式和标准化网络的理论基础。

与此同时，ARPANET 在技术和规模上也在快速发展，网络协议体系逐渐形成：1983 年 1 月 1 日，TCP 作为 ARPANET 中新的主机通信协议取代了 NCP，并在 UNIX (BSD 4.1) 上实现了 TCP/IP，ARPANET 中 400 台主机开始启用 TCP/IP 协议簇进行通信，这也是因特网发展史上的一个里程碑。20 世纪 80 年代后期，提出了 DNS 机制 (RFC1034、RFC1035, 1987 年)，构成今天因特网的协议体系架构逐渐清晰。

20 世纪 80 年代以后也是计算机局域网的快速发展时期。在 20 世纪 70 年代以太网问世后，IEEE 于 1980 年 2 月组织了 802 委员会，着手制定局域网标准。20 世纪 80 年代末到 20 世纪 90 年代，局域网技术快速发展，局域网技术进一步成熟，IEEE 802.3、IEEE 802.4 和 IEEE 802.5 都是当时有重要影响的标准和技术，其中 IEEE 802.3 标准所代表的以太网技术最为成功，成为局域网的主流，LAN 的增长，尤其是以太网的普及，为后来网络互联大潮和因特网的蓬勃发展奠定了基础。

### 1.1.3 因特网时代

#### 1. 因特网发展的里程碑

作为因特网 (Internet) 的前身，ARPANET 所采用的分组交换技术和 TCP/IP 协议簇奠定了

因特网的技术基础，特别是 TCP/IP 协议簇的实现，是因特网发展历史上第一个重要的里程碑。

在因特网的发展历史上，还有这样几个重要的里程碑：1984 年 NSFNET 的组建；1991 年 NSFNET 从科学教育界进入商用领域，同年商业用户首次超过学术用户；1991 年 Tim Berners-Lee 发明 Web 技术，特别是浏览器的使用，使因特网在全世界的普通用户群中得到空前的普及；1995 年因特网主干由商业公司运营，从此，因特网开始了爆炸式增长。

20 世纪 80 年代到 20 世纪 90 年代是因特网快速发展时期。因特网的第一次快速发展是在 NSFNET 组建和成长时期。1984 年，围绕 5 个大型计算中心，美国国家科学基金会（National Science Foundation, NSF）规划建立了国家科学基金网络（NSFNET），NSFNET 没有使用政府和军方 ARPANET 的通信主干，而是建设了一个采用 TCP/IP 协议簇的广域的主干网络，1989 年主干通信速率从原来的 56kbps 升级到 1.5Mbps（T1），并且增加到了 13 个骨干结点。1991 年 NSFNET 开始对商业应用开放，到 1995 年，接入 NSFNET 的网络从 100 个迅速增加到 3000 多个，这时，互联网的架构逐渐清晰，各个网络分别负责自己的网络建设和运行费用，再通过 NSFNET 主干互联起来，覆盖了全美上千万台的计算机用户。随后，北美之外的网络也先后接入 NSFNET 主干或其子网，形成了因特网的雏形。

由于快速增长的互连规模对网络主干提出了更高的要求，原先局限于美国教育科研界的 NSFNET 主干面临发展瓶颈，NSFNET 主干开始由商业公司运营和管理，这就是今天因特网的基础。

WWW（World Wide Web，万维网）和浏览器的应用是因特网发展历史中的一个划时代的里程碑。这一最重要的技术创新使因特网发生了跨越式的发展，海量的超链接的文本、图像、声音、视频信息资源丰富了因特网的应用，浏览器的引入更降低了网络用户的门槛，因特网的使用者不再限于学术圈子或计算机专业人员，原先需要在 UNIX 系统下操作的网络文件、邮件和通信服务，现在只需要在图形用户界面中点击鼠标，网络从此进入普通用户的视野，开始了平民化的进程，并迅速以前所未有的速度席卷了全球。

## 2. 因特网在中国的发展

从 1987 年一些科研院所尝试接入因特网的电子邮件服务开始，因特网在我国也经历了由小到大，由科研院所到商业的几个发展阶段。

### 第一阶段：远程接入电子邮件服务。

1987 年至 1993 年期间，北京计算机应用技术研究所、中科院高能物理所等科研院所和国内大学与国外机构合作，先后通过拨号方式和专线接入 Internet 的电子邮件系统，随后一些院校和科研机构提供国际 Internet 电子邮件服务，一些科技教育界用户可以通过公用电话网或公用分组交换网使用 Internet 的电子邮件服务。

### 第二阶段：正式加入因特网。

1990 年 10 月，中国正式向国际因特网信息中心（InterNIC）登记注册了最高域名“cn”。1994 年 1 月，美国国家科学基金会（NSF）接受我国正式接入 Internet 的要求。1994 年 3 月，中关村地区教育与科研示范网络工程进入 Internet，我国测试并开通了 64kpbs 国际专线，中国获准加入 Internet。

### 第三阶段：国内互联网建设兴起。

1995 年到 1996 年，国内相继兴起互联网络的主干建设，主要有中科院的科学技术网 CSTNET、中国教育科研网 CERNET、电信行业的 CHINANET 和电子行业的金桥网 CHINAGBN。1995 年 1 月，CHINANET 在北京、上海开通 64K 专线，开始通过电话网、DDN 专线以及 X.25 网向社会提供 Internet 接入服务。1996 年 1 月，CHINANET 全国骨干网建成并正式开通，全国范围的公用计算机互联网络开始提供接入服务。1995 年 7 月，CERNET 连接美国的 128kpbs 国际专线开通。当年 9 月 6 日，CHINAGBN 开始提供 Internet 服务。同年 12 月，CSTNET 百所联网工程完成。

1996 年 11 月, CERNET 国际信道升级到 2Mbps。此后, 提供因特网接入的商业服务开始兴起: 中国公众多媒体通信网 (169 网)、广东视聆通、天府热线、上海热线等首批站点正式开通。

#### 第四阶段: 因特网蓬勃发展阶段。

1997 年至今, 因特网在我国得到蓬勃发展, 表现为网络带宽、国际出口带宽、网络用户数、网站数量和注册域名数量不断翻番。

1997 年 5 月 30 日, 中国互联网络信息中心 (Network Information Center of China, CNNIC) 在中国科学院计算机网络信息中心组建。1997 年 11 月 CNNIC 发布了第 1 次《中国 Internet 发展状况统计报告》, 报告中指出: 截止到 1997 年 10 月 31 日, 我国共有上网计算机 29.9 万台, 上网用户 62 万人, CN 下注册的域名 4066 个, WWW 站点 1500 个, 国际出口带宽 18.64Mbps。

2010 年 1 月 CNNIC 在其发布的第 25 次《中国 Internet 发展状况统计报告》中指出: 截至 2009 年 12 月 31 日, 中国网民规模达到 3.84 亿人, 普及率达到 28.9%。手机网民规模 2.33 亿, 占网民总体的 60.8%, 域名总数为 1682 万, 其中 80% 为 .CN 域名, 国际出口带宽达到 866 367Mbps, 年增长率达到 35.3%。2009 年中国 IPv4 地址量达到 2.32 亿。

这些数字的背后是这样一些事实: 网络催生了更丰富的应用, 提供了更多的就业机会和盈利模式。

## 1.2 计算机网络的定义和组成

### 1.2.1 计算机网络的定义

迄今为止, 对计算机网络并没有一个统一和精准的定义, 而且随着网络技术的进化, 对网络的定义也会发生变化。

目前普遍认可的有关计算机网络的定义是: 计算机网络是利用通信信道所互相连接的一组自治的计算机和设备的集合, 目的是为了在用户之间提供信息交换和资源共享功能。

在上面的定义中包含了这么几个要素:

1) 自治的计算机和设备: 现代的计算机网络要求联网的结点是自治的计算机和设备, 因此, 早期的面向终端的系统就不是严格意义上的计算机网络, 此外, 由于网络技术的普及, 除了通用的计算机, 一些设备 (如智能家电、智能仪器等) 都带有了网络接口, 因此也可以成为连网的结点<sup>①</sup>。

2) 利用通信信道的互连: 利用通信信道的互连则意味着底层的通信信道及网络通信协议是必不可少的。

3) 提供信息交换和资源共享功能: 联网的目的是为了资源共享和交换信息, 这一目的则更多地由网络应用系统来实现。共享的资源包括数据、软件和硬件资源, 可以利用网络访问远程的数据, 使用网络上的软件资源, 共享网络中的 CPU 处理时间、存储空间、输入输出设备等硬件资源, 甚至可以通过运行在网络中的分布式软件, 实现基于网络的协同工作。

### 1.2.2 计算机网络的组成

计算机网络的组成部分有不同的划分方法, 主要区别在于考察网络的视角不同。下面介绍三种常见的思路, 分别代表从功能的角度划分、从网络规划和运营的角度划分以及从一般网络用户的角度划分。

#### 1. 从功能的角度划分

曾经采用的一种分解方法是把计算机网络分为通信子网和资源子网, 如前面的图 1-2 所示。今天, 即使从分层的观点来看, 这种划分方法仍有一定的道理。

<sup>①</sup>当然, 这些设备也属于一种专用的计算机系统。