

计算机网络 原理与应用

肖德琴 张明武 主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

计算机网络原理与应用

肖德琴 张明武 周 敏 编著
潘春华 周 权 赵黑引

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络原理与应用/肖德琴等编著. —北京:国防工业出版社, 2005.9

ISBN 7-118-04107-6

I. 计... II. 肖... III. 计算机网络 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 092083 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18¼ 427 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422 发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535 发行业务:(010)68472764

前 言

计算机网络是计算机技术、通信技术、数据安全与加密技术等多种技术相结合的产物。随着计算机及通信技术的不断发展,基于网络技术的电子政务、电子商务、远程教育、网络信息、远程医疗、信息安全等技术正在迅速发展。计算机网络正在改变着我们社会的工作方式与生活方式。

当前,一个完整的用于发展计算机网络技术、网络产品和网络服务的新兴工业已经形成,计算机网络的普及性和重要性已经导致在不同岗位上对具有更多网络知识的人才的大量需求。企业需要雇员规划、获取、安装、操作、管理那些构成计算机网络和 Internet 的软硬件系统。本书正是为设计和规划计算机网络提供理论基础和实践指导。

本书编写组组织了长期从事计算机网络方面的研究、教学和实践的人员从事本书的编写工作。在编写过程中,力求使本书体现以下特点:

(1) 注重知识的系统性与前瞻性。网络体系结构和通信协议在计算机网络系统中起着极为重要的作用,能帮助学生掌握计算机网络的基本原理,了解计算机网络运行的基本机制和方法。本书以网络协议体系的介绍为主线,并融入了先进的知识体系,如 IPV6、RMON、吉位高速网络、先进数据加密技术等。力求使本书在覆盖计算机网络知识体系的同时,介绍最新的网络前沿技术与发展方向。

(2) 注重教材的新颖性与实用性。计算机网络发展日新月异,本书除保持知识体系的系统性外,在书中的每一章的最后,都设置了与本章理论知识相对应的案例应用。这些案例可以作为本书的实验性内容,也可作为读者课外阅读。另外,每章后都安排了网上作业栏目,计算机网络本身就是一个大型的知识与应用体系,在组织上本书精选了一些让读者通过网络来完成的知识内容,这样既可以加深读者对网络典型应用的了解,同时也扩展读者以网络作为工具的应用能力。

(3) 注重实践的代表性与可用性。在本书的内容编排上,除了理论阐述外,还通过实践环节加强对相关理论知识应用的了解和掌握,加入的案例应用可以帮助读者掌握和了解计算机网络知识的应用。本书精选的案例具有很强的代表性,从网络的硬件组网布线测试、网卡的接口编程、路由器的配置、VLAN 的设计、SNIFFER 的应用、套接字编程、应用服务器的架构与管理、网络管理应用、防火墙应用等,这些内容基本涵盖了网络协议的各个层面和计算机网络应用的各个方面。

全书共 9 章。第 1 章为计算机网络概述,着重介绍了计算机网络的概念、体系结构、特点和分类、以及发展过程与趋势;第 2 章是物理层,主要介绍了物理层基本原理、数据通信、传输介质等知识,并用 FLUKE 的线缆测试仪作为案例设计一个对网络布线质量的分析;第 3 章是数据链路层,主要介绍数据链路层的原理、并着重介绍停 - 等协议、连续 ARQ 协议、滑动窗口协议、HDLC 协议、PPP 协议等,本章案例中介绍了网卡的硬件原理

和软件编程实例;第4章是局域网,主要介绍局域网标准、组网技术与相关设备,本章设置了两个案例:一是通过虚拟局域网 VLAN 的架构让读者了解 VLAN 的原理和设计规则;另一个是 SNIFFER 的应用,让读者了解性能查看和局域网管理的方法;第5章是网络层,本章的重点是介绍 IP 协议、ARP 协议、RARP 协议,以及相关的网关协议的原理,让读者对网络互连的原理和设备有一个深入的认识,本章的案例引入对 CISCO 路由器的配置,让读者了解如何初步架设和配置一个广域网环境;第6章是传输层,主要介绍传输层的原理、重点介绍 TCP 和 UDP 协议,本章的案例中,通过对套接字 socket 的编程实例,让读者了解网络通信程序的编写;第7章是应用层,主要介绍应用层的典型应用,如 HTTP 协议的 WWW 服务、POP/SMTP 协议电子邮件、DNS 服务、TELNET 服务等应用,本章案例通过搭建 EMAIL 环境等应用,让读者了解应用层服务器的原理;第8章是网络管理,介绍网络管理的内容,并通过 SNMP 协议的介绍,让读者对网络管理过程有深入了解,本章的案例是帮助读者构建自己的网管代理;第9章是网络安全,主要介绍提高网络安全与防止漏洞方面的技术原理,并通过架设网络防火墙案例来帮助读者构建一个安全的网络环境。

本书主要供高等院校本专科生和硕士研究生作为教材使用,同时也可供计算机网络设计人员、施工开发人员以及管理人员参考。

在编写过程中,参考了一些书籍和文献资料,并适度合理地引用了一些实例,本书还引用许多公开的和网上的资料,在此向资料撰写者致以谢意。

参加本书编写的有肖德琴、周敏、张明武、周权、潘春华。其中,肖德琴编写第1章和第9章,周敏编写第2章和第5章,张明武编写第3章、第6章以及第8章部分内容,周权编写第7章以及第9章部分内容,潘春华编写第4章和第8章。全书由肖德琴修订和统稿。在编写过程中,得到刘才兴、罗穗萍、杜治国等老师的帮助,对此,作者均表示诚挚的谢意。由于水平所限,难免存在错漏之处,敬请广大读者批评指正。有何意见和建议请邮件至电子信箱:deqinx@21cn.com。

编 者

2005年7月

内 容 简 介

本书主要介绍了计算机网络的协议体系结构及其具体应用,并融入了先进的 IPv6、RMON、高速局域网、网络安全等技术。本书的主要特点是理论与实践相结合,深入浅出地介绍网络的原理和应用。

本书以网络协议为主线,以网络应用案例为辅线,将网络基本原理的理论知识与网络的具体应用有机地结合起来。全书详细介绍了网络的基本原理,对网络的物理层、数据链路层、局域网、网络层、传输层、应用层以及网络管理和网络安全等方面做了深入的介绍。在每章的最后,设置了与本章理论知识相对应的案例应用,可作为相关的实验指导或课外阅读。应用案例从网络的组网布线测试、网卡接口编程、路由器配置、VLAN 的设计、套接字编程、应用服务器的架构、网络管理应用、防火墙安装配置等方面进行了系统讲述,这些内容涵盖了网络协议的各个层面和网络应用的各个方面。

本书主要供信息类、计算机类和其他相关专业作为教材使用,同时也可供计算机网络设计人员、施工开发人员、管理维护人员和电脑爱好者阅读。

目 录

第 1 章 计算机网络概述	1
1.1 计算机网络的形成与发展	1
1.1.1 计算机网络发展的四个阶段	1
1.1.2 计算机网络在我国的发展	4
1.1.3 计算机网络的研究热点	4
1.2 计算机网络的定义与分类	8
1.2.1 计算机网络的定义	8
1.2.2 计算机网络的不同分类	9
1.3 计算机网络体系结构	12
1.3.1 OSI 参考模型体系	13
1.3.2 TCP/IP 参考模型	15
1.3.3 OSI 模型与 TCP/IP 模型的比较	16
1.4 计算机网络设备	17
1.4.1 网络接口卡	17
1.4.2 中继器	18
1.4.3 集线器	19
1.4.4 网桥	19
1.4.5 交换机	19
1.4.6 路由器	20
1.5 计算机网络应用带来的社会问题	20
1.5.1 网络促进了社会经济政治文化的发展	21
1.5.2 网络切入社会的负面影响	22
1.5.3 互联网对青少年的影响	24
1.6 计算机网络标准化	26
1.6.1 计算机网络标准	26
1.6.2 计算机网络的标准化组织	26
网上作业	27
习题	27
第 2 章 物理层	29
2.1 数据通信基础	29
2.1.1 数据通信系统组成	29
2.1.2 数据通信系统的性能指标	31

2.1.3	数据传输技术	32
2.1.4	数据通信的交换方式	34
2.1.5	数据编码技术	39
2.2	传输介质	42
2.2.1	双绞线	42
2.2.2	同轴电缆	43
2.2.3	光纤	44
2.2.4	微波	46
2.2.5	卫星	47
2.2.6	红外线	48
2.3	物理层设备	48
2.3.1	中继器	48
2.3.2	集线器	49
2.4	物理层接口标准	49
2.4.1	EIA RS-232C 接口标准	49
2.4.2	EIA RS-449、RS-422 与 RS-423 接口标准	52
2.4.3	EIA RS-485 接口标准	52
2.5	案例应用: Fluke 线缆测试分析仪应用	53
2.5.1	双绞线制作	53
2.5.2	Fluke 测试分析仪	55
	网上作业	59
	习题	59
第3章	数据链路层	60
3.1	数据链路层的功能	60
3.1.1	帧同步	60
3.1.2	链路管理	61
3.1.3	差错控制	61
3.1.4	流量控制	62
3.2	差错控制与拥塞控制	62
3.2.1	循环冗余校验	62
3.2.2	停止等待协议	64
3.2.3	连续 ARQ 协议	67
3.2.4	滑动窗口与选择重传 ARQ 协议	68
3.3	面向字符的同步控制协议(BSC)	72
3.3.1	数据链路层控制协议	72
3.3.2	面向字符的同步控制协议	73
3.4	高级数据链路控制协议(HDLC)	75
3.4.1	HDLC 操作方式	75
3.4.2	HDLC 帧结构	75

3.4.3 HDLC 帧的类型	76
3.5 Internet 的点对点协议: PPP 协议	77
3.5.1 PPP 协议概述	77
3.5.2 PPP 协议帧格式	78
3.5.3 PPP 链路建立	79
3.5.4 PPP 认证方式	81
3.5.5 PPP 协议的应用	82
3.6 案例应用: 网络接口与编程	83
3.6.1 网卡硬件剖析	83
3.6.2 网络接口程序设计	85
网上作业	88
习题	88
第4章 局域网	90
4.1 局域网概述	90
4.1.1 局域网的基本特征	90
4.1.2 局域网的拓扑结构	90
4.1.3 局域网的体系结构	91
4.2 介质访问控制方法	95
4.2.1 载波侦听多路访问	95
4.2.2 具有冲突检测的载波侦听多路访问	96
4.2.3 令牌环介质访问控制	99
4.3 以太网	100
4.3.1 传统以太网	100
4.3.2 快速以太网技术	104
4.3.3 交换式以太网	106
4.4 无线局域网	108
4.4.1 无线网络采用的主要协议标准	109
4.4.2 无线局域网的网络构成	109
4.4.3 IEEE 802.11MAC 协议	111
4.5 局域网的扩展	111
4.5.1 中继器扩展	111
4.5.2 网桥扩展	112
4.5.3 交换机扩展	113
4.6 案例应用: VLAN 配置和 Sniffer 应用	114
4.6.1 虚拟局域网配置实例	114
4.6.2 网络检测工具 Sniffer 的应用	118
网上作业	125
习题	125
第5章 网络层	126

5.1 IP 协议.....	126
5.1.1 IP 数据报格式.....	126
5.1.2 IP 地址.....	129
5.1.3 子网划分.....	130
5.1.4 无类型域间路由选择(CIDR).....	133
5.1.5 网络地址转换(NAT).....	134
5.1.6 地址转换.....	136
5.2 控制报文协议(ICMP).....	138
5.3 路由算法.....	140
5.3.1 静态路由算法.....	141
5.3.2 动态路由算法.....	142
5.4 拥塞控制.....	144
5.5 路由选择协议.....	144
5.5.1 RIP 协议.....	145
5.5.2 OSPF 协议.....	147
5.5.3 外部网关协议.....	150
5.6 组管理协议 IGMP.....	152
5.6.1 IGMP 工作原理.....	152
5.6.2 IGMP 报文格式.....	152
5.6.3 多播路由选择.....	153
5.7 下一代网际协议 IPv6.....	155
5.7.1 从 IPv4 到 IPv6 的演进.....	156
5.7.2 IPv6 数据报的格式.....	157
5.7.3 地址格式.....	158
5.8 案例应用: 路由器配置.....	159
5.8.1 路由器简介.....	159
5.8.2 路由器配置.....	160
网上作业.....	163
习题.....	163
第 6 章 传输层.....	165
6.1 传输层功能.....	165
6.2 传输工作原理.....	167
6.2.1 端口.....	167
6.2.2 套接字 socket.....	168
6.3 面向无连接的用户数据报协议 UDP.....	169
6.3.1 UDP 协议概述.....	169
6.3.2 UDP 协议帧格式.....	170
6.4 面向连接的传输层控制控制协议 TCP.....	171
6.4.1 TCP 协议帧格式.....	171

6.4.2 TCP 连接的建立与终止	173
6.4.3 TCP 数据的编号与确认	175
6.4.4 TCP 的流量控制与拥塞控制	176
6.5 案例应用: 套接字编程	178
6.5.1 面向数据流的套接字 socket 编程	179
6.5.2 面向数据报的套接字 socket 编程	185
网上作业	188
习题	188
第 7 章 应用层	189
7.1 应用层协议原理	189
7.1.1 客户/服务器体系结构	189
7.1.2 应用层的服务	190
7.2 超文本传输协议(HTTP)	191
7.2.1 Web 和 HTTP	192
7.2.2 HTTP 报文格式	193
7.2.3 HTTP 协议的运作方式	195
7.3 文件传送协议	196
7.3.1 FTP 工作原理	196
7.3.2 简单文件传输协议 TFTP	197
7.4 电子邮件	198
7.4.1 电子邮件的工作原理	198
7.4.2 简单邮件传送协议(SMTP)	199
7.4.3 邮件读取协议 POP3 和 IMAP	201
7.4.4 邮件扩充协议(MIME)	202
7.5 域名服务(DNS)	203
7.5.1 DNS 组成	203
7.5.2 因特网域名结构	205
7.5.3 DNS 解析过程及原理	207
7.6 远程登录协议(Telnet)	207
7.7 动态主机配置协议(DHCP)	208
7.8 案例应用: FTP、Telnet、SMTP 协议应用	209
7.8.1 FTP 应用实例	209
7.8.2 Telnet 应用实例	210
7.8.3 SMTP 应用实例	211
网上作业	212
习题	212
第 8 章 网络管理	214
8.1 网络管理任务与功能	214
8.1.1 网络管理的对象与范围	214

8.1.2	网络管理的任务	215
8.2	SNMP 网络管理框架	216
8.2.1	SNMP 基本功能	216
8.2.2	SNMP 体系结构	217
8.2.3	管理信息数据库	218
8.2.4	网管代理	221
8.2.5	SNMP 协议命令	222
8.2.6	SNMP 消息报文	222
8.3	网络管理新技术	225
8.3.1	RMON 技术	225
8.3.2	基于 Web 技术的远程网络管理	226
8.4	案例应用: 网管设备配置与网管代理设置	227
8.4.1	SNMP 网管代理配置	227
8.4.2	SNMP Trap Service 服务设置	230
	网上作业	232
	习题	232
第 9 章	网络安全	234
9.1	网络安全定义	234
9.2	网络安全体系结构	235
9.3	数据加密技术	236
9.3.1	加密技术概念	236
9.3.2	对称密钥密码体制	237
9.3.3	非对称密钥密码体制	242
9.4	防火墙技术	245
9.4.1	防火墙的功能	245
9.4.2	防火墙的配置结构	246
9.4.3	防火墙的基本类型	247
9.4.4	防火墙的基本技术	248
9.4.5	防火墙的安全策略	250
9.5	VPN 技术	250
9.5.1	VPN 的功能	250
9.5.2	VPN 的配置结构	251
9.5.3	VPN 的基本类型	251
9.5.3	VPN 的基本技术	252
9.5.4	VPN 的安全策略	253
9.6	网络入侵检测	253
9.6.1	入侵检测系统的功能	254
9.6.2	入侵检测系统的类型	254
9.6.3	入侵检测的主要技术	254

9.6.4 入侵检测系统的实现原理	256
9.7 网络安全防范	257
9.7.1 安全防范策略制定原则	257
9.7.2 网络安全防范体系结构	258
9.7.3 风险管理	260
9.7.4 灾难恢复	262
9.8 案例应用：防火墙应用指南	263
9.8.1 防火墙的选购	263
9.8.2 防火墙的安装	264
9.8.3 防火墙的维护	265
9.8.4 防火墙使用示例	268
网上作业	274
习题	275
附录 计算机网络词汇	276
参考文献	286

第 1 章 计算机网络概述

21 世纪的一些重要特征就是数字化、网络化和信息化，它是一个以网络为核心的信息时代。网络现在已经成为信息社会的命脉和发展知识经济的重要基础，网络对社会生活的很多方面以及对社会经济的发展均产生了不可逆转的影响。网络主要有三种：电信网络、有线电视网络和计算机网络，它们在信息化过程中都起到了十分重要的作用，但其中发展最快并起核心作用的是计算机网络(Computer Network)。

1997 年，在美国拉斯维加斯的全球计算机技术博览会上，微软公司总裁比尔·盖茨先生发表了著名的演说。在演说中，“网络才是计算机”的精辟论点充分体现出信息社会中计算机网络的重要基础地位。计算机网络技术的发展越来越成为当今世界高新技术发展的核心之一。

20 年前，在我国很少有人接触过网络。现在，计算机通信网络以及 Internet 已成为我们社会结构的一个基本组成部分。网络被应用于工商业的各个方面，如电子银行、电子商务、现代化的企业管理、信息服务业等都以计算机网络系统为基础。从学校远程教育到政府日常办公乃至现在的电子社区，很多方面都离不开网络技术。

一个完整的用于发展计算机网络技术、网络产品和网络服务的新兴工业已经形成，计算机网络的普及性和重要性已经导致在不同岗位上对具有更多网络知识的人才的大量需求。企业需要雇员规划、获取、安装、操作、管理那些构成计算机网络和 Internet 的软硬件系统。

1.1 计算机网络的形成与发展

在 20 世纪 50 年代中期，美国的半自动地面防空系统(Semi-Automatic Ground Environment, SAGE)开始了计算机技术与通信技术相结合的尝试，在 SAGE 系统中把远程距离的雷达和其他测控设备的信息经由线路汇集至一台 IBM 计算机上进行集中处理与控制。世界上公认的、最成功的第一个远程计算机网络是在 1969 年，由美国高级研究计划署(Advanced Research Projects Agency, ARPA)组织研制成功的。该网络称为 ARPANET，它就是 Internet 的前身。

1.1.1 计算机网络发展的四个阶段

随着计算机网络技术的蓬勃发展，计算机网络的发展大致可划分为四个阶段。

1. 第一阶段：诞生阶段

20 世纪 60 年代中期之前的第一代计算机网络是以单个计算机为中心的远程联机系统。典型应用是由一台计算机和全美范围内 2000 多个终端组成的飞机订票系统。终端是一台计算机的外部设备包括显示器和键盘，无 CPU 和内存。其结构如图 1-1 所示。

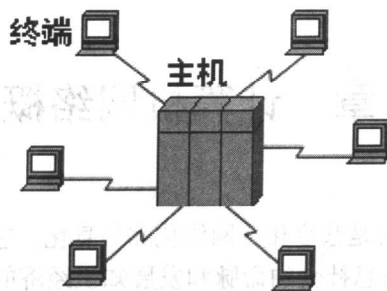


图 1-1 第一代计算机网络

随着远程终端的增多，在主机前增加了前端机(FEP)。当时，人们把计算机网络定义为“以传输信息为目的而连接起来，实现远程信息处理或进一步达到资源共享的系统”，但这样的通信系统已具备了网络的雏形。

2. 第二阶段：形成阶段

20 世纪 60 年代中期至 70 年代的第二代计算机网络(见图 1-2)是以多个主机通过通信线路互联起来，为用户提供服务，典型代表是美国国防部高级研究计划局协助开发的 ARPANET。主机之间不是直接用线路相连，而是由接口报文处理机(Interface Message Processor, IMP)转接后互联。IMP 和它们之间互联的通信线路一起负责主机间的通信任务，构成了通信子网。通信子网互联的主机负责运行程序，提供资源共享，组成了资源子网。这个时期，网络概念为“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”，形成了计算机网络的基本概念。

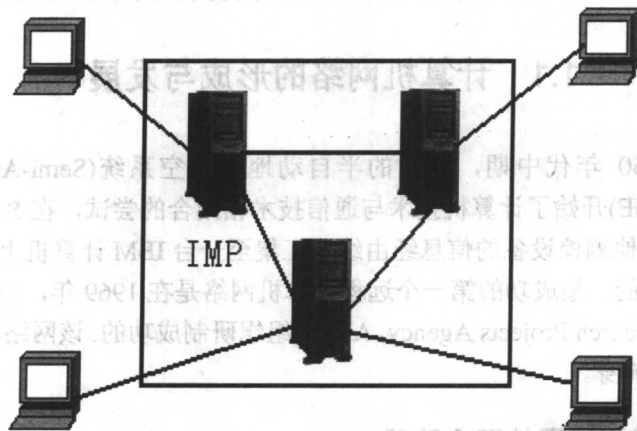


图 1-2 第二代计算机网络

3. 第三阶段：互联互通阶段

20 世纪 70 年代末至 90 年代第三代计算机网络(见图 1-3)是具有统一的网络体系结构并遵循国际标准的开放式和标准化的网络。ARPANET 兴起后，计算机网络发展迅猛，各大计算机公司相继推出自己的网络体系结构及实现这些结构的软硬件产品。由于没有统一的标准，不同厂商的产品之间互联很困难，人们迫切需要一种开放性的标准化实用

网络环境，这样应运而生了两种国际通用的最重要的体系结构，即 TCP/IP 体系结构和国际标准化组织的 OSI 体系结构。

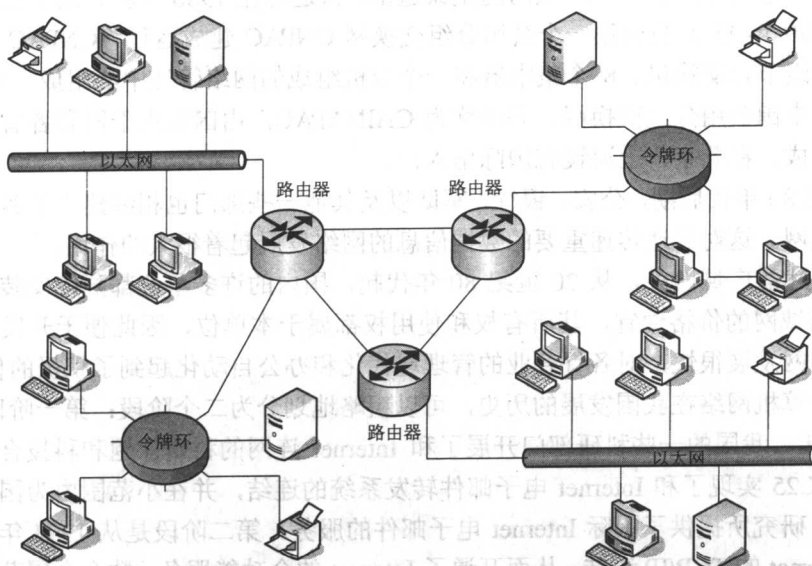


图 1-3 第三代计算机网络

4. 第四阶段：高速网络技术阶段

20 世纪 90 年代末至今的第四代计算机网络(见图 1-4)。由于局域网技术发展成熟，出现光纤及高速网络技术、多媒体网络、智能网络，整个网络就像一个对用户透明的大计算机系统，并发展为以 Internet 为代表的互联网。

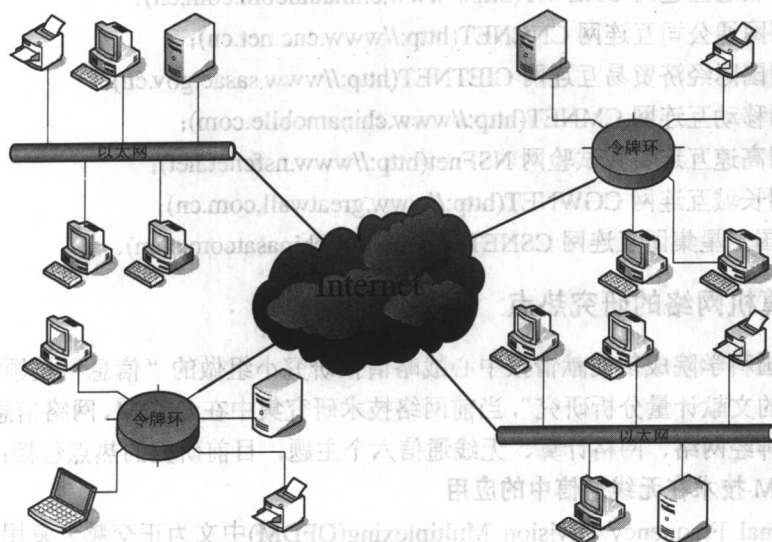


图 1-4 第四代计算机网络

1.1.2 计算机网络在我国的发展

最早着手建设专用计算机广域网的是铁道部。铁道部在 1980 年就开始进行计算机联网实验。1989 年 11 月我国第一个公用分组交换网 CNPAC 建成运行。CNPAC 分组交换网由三个分组节点交换机、8 个集中器和一个双机组成的网络管理中心组成。1993 年 9 月建成新的中国公用分组交换网，并改称为 CHINAPAC，由国家主干网和各省、区、市的省内网组成。在北京、上海设有国际出入口。

20 世纪 80 年代后期，公安、银行、军队以及其他一些部门也相继建立了各自的专用计算机广域网。这对迅速传递重要的数据信息的网络发展起着很大的作用。

除了上述的广域网外，从 20 世纪 80 年代起，国内的许多单位都陆续安装了大量的局域网。局域网的价格便宜，其所有权和使用权都属于本单位，因此便于开发、管理和维护。局域网发展很快，对各行各业的管理现代化和办公自动化起到了积极的作用。

回顾计算机网络在我国发展的历史，可以粗略地划分为二个阶段：第一阶段为 1987 年—1993 年，我国的一些科研部门开展了和 Internet 连网的科研课题和科技合作工作，通过拨号 X.25 实现了和 Internet 电子邮件转发系统的连结，并在小范围内为国内的一些重点院校、研究所提供了国际 Internet 电子邮件的服务。第二阶段是从 1994 年开始，实现了和 Internet 的 TCP/IP 连结，从而开通了 Internet 的全功能服务，数个全国范围的计算机信息网络项目相继启动，Internet 在我国得到了迅速的发展。

到目前为止，我国陆续建造了基于因特网技术的并可以和因特网互连的 10 个全国范围的公用计算机网络。它们是：

- (1) 中国公用计算机互连网 CHINANET(<http://www.bta.net.cn>);
- (2) 中国教育和科研计算机网 CERNET(<http://www.cernet.edu.cn>);
- (3) 中国科学技术网 CSTNET(<http://www.cstnet.net.cn>);
- (4) 中国联通互连网 UNINET(<http://www.chinaunicom.com.cn>);
- (5) 中国网通公司互连网 CNCNET(<http://www.cnc.net.cn>);
- (6) 中国国际经济贸易互连网 CIETNET(<http://www.sasac.gov.cn>);
- (7) 中国移动互连网 CMNET(<http://www.chinamobile.com>);
- (8) 中国高速互连研究试验网 NSFnet(<http://www.nsfnet.net>);
- (9) 中国长城互连网 CGWNET(<http://www.greatwall.com.cn>);
- (10) 中国卫星集团互连网 CSNET(<http://www.chinasatcom.com>)。

1.1.3 计算机网络的研究热点

根据中国科学院成都文献情报中心战略情报研究小组做的“信息科技领域研发热点及发展态势的文献计量分析研究”，当前网络技术研究集中在 OFDM、网络信息利用分析、无线通信、神经网络、网络计算、无线通信六个主题，目前研究的热点包括：

1. OFDM 技术在无线通信中的应用

Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM)中文为正交频分复用技术，它是 HPA 联盟(HomePlug Powerline Alliance)工业规范的基础，采用了一种不连续的多音调技术，将被称为载波的不同频率中的大量信号合并成单一的信号，从而完成信号传送。由