



新世纪高等学校规划教材·计算机专业核心课程系列

计算机网络

(第2版)

陈明◎编著

计算机
网络



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



新世纪高等学校规划教材·计算机专业核心课程系列

计算机网络

(第2版)

陈明◎编著

JISUANJI

WANGLUO



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机网络/陈明编著. —2 版. —北京: 北京师范大学出版社, 2018.8

(新世纪高等学校规划教材, 计算机专业核心课程系列)

ISBN 978-7-303-23923-8

I. ①计… II. ①陈… III. ①计算机网络—高等学校—教材
IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 147812 号

营 销 中 心 电 话	010-62978190 62979006
北师大出版社科技与经管分社	www.jswsbook.com
电 子 信 箱	jswsbook@163.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com
北京市海淀区新街口外大街 19 号
邮政编码: 100875

印 刷: 保定市中华美凯印刷有限公司
经 销: 全国新华书店
开 本: 787 mm×1092 mm 1/16
印 张: 27.25
字 数: 620 千字
版 次: 2018 年 8 月第 1 版
印 次: 2018 年 8 月第 1 次印刷
定 价: 59.80 元

策划编辑: 赵洛育	责任编辑: 赵洛育
美术编辑: 刘 超	装帧设计: 刘 超
责任校对: 赵非非 马子杰	责任印制: 赵非非

版权所有 侵权必究

反盗版、反侵权举报电话: 010-62978190

北京读者服务部电话: 010-62979006-8021

外埠邮购电话: 010-62978190

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-62979006-8006

内 容 简 介

本书基于 ISO/OSI 参考模型的层次结构，自底向上地描述了计算机网络，并以 TCP/IP 协议为背景详细讨论各种网络协议和应用。本书主要内容包括计算机网络概述、OSI 参考模型、物理层、数据链路层、局域网、广域网、网络层协议、传输层协议、应用层和网络安全等。

本书内容系统全面，逻辑层次清晰、图文并茂、深入浅出，可作为大学计算机网络及相关课程的教材，也可作为计算机网络工程技术人员的参考书。

前 言

计算机网络是计算机科学与通信技术密切结合的产物。在近年来发展迅速，尤其 Internet 网以及云计算与物联网的出现与发展，使人们无论何时何地都能获取任何知识，进而改变了人们的学习、生活和工作方式，并对人类社会产生了巨大影响。

计算机网络课程是计算机科学与技术专业的核心课程，是必修课程之一。本课程的先修课程是计算机原理、程序设计、操作系统、算法设计与分析和数据结构等。

本书分为 10 章，第 1 章主要介绍计算机网络的产生与发展、计算机网络概念、计算机网络软件、计算机网络分类、计算机网络拓扑结构、数据交换方式等。第 2 章主要介绍 OSI 参考模型、网络协议和服务、路由、封装与解包、数据单元、服务、接口和访问点、层次结构、连接服务和无连接服务、服务原语、协议与服务的关系等。第 3 章主要介绍物理层协议，内容包括物理层协议概述、物理层协议示例等。第 4 章主要介绍数据链路层协议，内容包括数据链路层功能与提供的服务、数据链路层技术、网桥和交换机等。第 5 章主要介绍局域网，内容包括经典局域网简介、高速以太网、FDDI 网、无线局域网、城域网、局域网协议、虚拟局域网等。第 6 章主要介绍广域网，内容包括广域网的标准协议、广域网路由、广域网中的路由算法、广域网技术，如 X2.5 网、ISDN 网、ATM 技术、帧中继、HDLC、点对点协议、DDN 技术和虚拟专用网等。第 7 章主要介绍网络层协议，内容包括 IP 协议、Internet 控制协议、IP 路由选择协议、IP v6 协议等。第 8 章主要介绍传输层协议，内容包括传输层的基本功能、TCP/IP 体系结构中的传输层、传输控制协议（TCP）、TCP 报文段、TCP 连接管理、TCP 传输策略、TCP 拥塞控制、TCP 定时器管理、用户数据报协议（UDP）、TCP 和 UDP 协议等。第 9 章主要介绍应用层，内容包括域名系统（DNS）、文件的传输与存取、远程登录协议（Telnet）、电子邮件、万维网（WWW）、动态主机配置协议、简单网络管理协议（SNMP）等。第 10 章主要介绍网络安全，内容包括网络安全的重要性与网络安全的定义、数据加密技术概述、网络攻击、检测与防范技术、计算机病毒、防火墙、认证技术、互联网的层次安全技术等。

通过本课程的学习，能够系统地理解和掌握计算机网络的基本原理和基础知识，了解计算机网络构建中可能遇到的主要问题，以及解决问题的基本方法，为后续课程的学习及实际应用建立坚实的基础。

在各章，提供了练习题，这些内容仅供参考。

由于笔者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

陈 明

2018.4.10

目 录

第 1 章 计算机网络概述	1
1.1 计算机网络的产生和发展	1
1.1.1 初始阶段	2
1.1.2 Internet 推广阶段	2
1.1.3 Internet 普及阶段	3
1.1.4 Internet 发展阶段	3
1.2 计算机网络的定义及基本要素	4
1.2.1 计算机网络的定义	4
1.2.2 计算机网络的基本要素	4
1.3 计算机网络组成	4
1.3.1 计算机	4
1.3.2 网络设备	5
1.3.3 软件	5
1.4 网络拓扑结构	6
1.4.1 问题的提出	6
1.4.2 常用的网络的拓扑结构	8
1.5 网络分类	11
1.5.1 基于作用范围分类	11
1.5.2 基于应用范围分类	12
1.5.3 基于拓扑结构分类	12
1.5.4 基于传输媒体分类	12
1.5.5 基于操作方式分类	13
1.6 网络性能指标	13
1.6.1 响应时间、延迟时间和等待时间	13
1.6.2 利用率	16
1.6.3 带宽、容量和吞吐量	16
1.6.4 可用性、可靠性和可恢复性	19
1.6.5 冗余度、适应性和可伸缩性	20
1.6.6 效率与费用	21
1.7 数据交换方式	21
1.7.1 电路交换	21

1.7.2 报文交换.....	22
1.7.3 分组交换.....	23
小结	28
习题	28
第2章 OSI 参考模型.....	29
2.1 网络体系结构的基本概念.....	30
2.1.1 协议.....	30
2.1.2 开放系统、子系统、N层与实体	32
2.1.3 路由.....	33
2.1.4 封装与解包.....	34
2.1.5 数据单元.....	36
2.1.6 服务、接口和访问点	37
2.1.7 层次结构.....	38
2.1.8 连接服务和无连接服务.....	39
2.1.9 服务原语.....	41
2.1.10 协议与服务的关系.....	44
2.2 OSI 参考模型	44
2.2.1 物理层.....	45
2.2.2 数据链路层.....	46
2.2.3 网络层.....	48
2.2.4 传输层.....	49
2.2.5 会话层.....	51
2.2.6 表示层.....	54
2.2.7 应用层.....	57
2.2.8 OSI 参考模型总结	62
2.3 TCP/IP 参考模型.....	64
2.3.1 TCP/IP.....	64
2.3.2 传输控制协议 TCP.....	65
2.3.3 用户数据报协议 UDP	67
2.3.4 网际协议 IP	68
2.3.5 TCP/IP 应用.....	70
2.3.6 TCP/IP 和 OSI 的比较.....	71
2.3.7 TCP/IP 小结.....	72
小结	75
习题	76
第3章 物理层	77
3.1 物理层概述.....	77

3.1.1	物理层的功能	77
3.1.2	接口的特性	78
3.2	物理层下的传输媒体	79
3.2.1	同轴电缆	79
3.2.2	双绞线	81
3.2.3	光纤	83
3.2.4	地面微波传输	86
3.2.5	卫星通信	86
3.3	数据通信基础	87
3.3.1	通信方式	87
3.3.2	信道	90
3.3.3	模拟传输与数字传输	99
3.3.4	数据编码技术	101
3.4	物理层协议示例	106
3.4.1	EIA RS-232 接口标准	106
3.4.2	RS-449 接口标准	110
3.5	物理层设备	112
3.5.1	中继器	112
3.5.2	集线器	112
3.6	宽带接入技术	118
3.6.1	xDSL 技术	118
3.6.2	光纤同轴混合网	119
3.6.3	FTTx 技术	119
3.6.4	无线宽带接入技术	119
小结		120
习题		120
第 4 章	数据链路层	122
4.1	数据链路层概述	122
4.1.1	数据链路层基本概念	123
4.1.2	数据链路层的功能	123
4.1.3	数据链路层提供的服务	124
4.1.4	数据帧	125
4.2	数据链路层技术	128
4.2.1	差错控制技术	128
4.2.2	流量控制技术	135
4.3	数据链路层协议	135
4.3.1	停止等待协议	136

4.3.2	滑动窗口协议	143
4.4	网桥	147
4.4.1	网桥的功能	148
4.4.2	网桥协议结构	150
4.4.3	网桥的分类	152
4.4.4	网桥的局限性	157
4.5	交换机	158
4.5.1	交换技术概述	158
4.5.2	交换机的功能	159
4.5.3	交换机的分类	160
	小结	161
	习题	162
第5章	局域网	163
5.1	局域网概述	163
5.2	经典局域网简介	165
5.2.1	以太网	166
5.2.2	令牌环网	170
5.2.3	逻辑链路控制 (LLC) 协议	176
5.3	高速以太网	179
5.3.1	100Base-T 以太网	180
5.3.2	100VG-AnyLAN	182
5.3.3	Gigabit 以太网	184
5.4	FDDI 网	185
5.4.1	FDDI 标准	187
5.4.2	网络介质与设备	187
5.5	无线通信与无线局域网	188
5.5.1	无线传输技术	188
5.5.2	无线局域网标准	190
5.5.3	无线局域网技术	191
5.5.4	无线局域网性能	192
5.6	城域网	193
5.7	虚拟局域网	194
5.7.1	虚拟局域网产生的背景	194
5.7.2	虚拟局域网的基本概念	195
5.7.3	虚拟局域网的组网方法	195
5.7.4	虚拟局域网的优点	196
	小结	197

习题	197
第6章 广域网	198
6.1 概述	198
6.2 广域网的标准协议介绍	199
6.3 广域网路由	200
6.3.1 路由选择机制	200
6.3.2 广域网中的路由	202
6.3.3 路由算法	203
6.4 广域网技术	204
6.4.1 X.25 网	204
6.4.2 ISDN 网	206
6.4.3 ATM 技术	209
6.4.4 帧中继	216
6.4.5 HDLC 协议	219
6.4.6 点对点协议	222
6.4.7 DDN 技术	225
6.4.8 虚拟专用网 (VPN)	226
小结	233
习题	233
第7章 网络层协议	234
7.1 IP 协议	234
7.1.1 IP 协议概述	235
7.1.2 IP 地址的表示方法	235
7.1.3 子网	237
7.1.4 IP 地址转换	240
7.1.5 IP 数据报的格式	241
7.1.6 IP 数据报的封装、分段与重组	244
7.1.7 IP 报文转发	245
7.1.8 IP 路由表	247
7.2 Internet 控制协议	248
7.2.1 Internet 控制报文协议 (ICMP)	248
7.2.2 Internet 组管理协议 (IGMP)	250
7.2.3 地址解析协议 (ARP)	253
7.2.4 反向地址解析协议 (RARP)	255
7.3 IP 路由选择协议	256
7.3.1 内部网关路由选择协议	256
7.3.2 外部网关路由选择协议	271

7.4	IP v6 协议	279
7.4.1	IP v6 特点	280
7.4.2	IP v6 分组	280
小结		286
习题		286
第 8 章	传输层协议	288
8.1	概述	288
8.1.1	传输层的概念与术语	288
8.1.2	传输层的基本功能	292
8.1.3	TCP/IP 体系结构中的传输层	295
8.2	传输控制协议	296
8.2.1	TCP/IP 报文段传输	296
8.2.2	端口和套接字	299
8.2.3	TCP 的服务	300
8.3	TCP 报文段	301
8.4	TCP 连接管理	304
8.5	TCP 传输策略	307
8.6	TCP 拥塞控制	309
8.6.1	慢启动算法	310
8.6.2	拥塞避免算法	310
8.6.3	快速重传与快速恢复算法	311
8.7	TCP 定时器管理	312
8.8	用户数据报协议 (UDP)	313
8.9	TCP 和 UDP 协议	315
小结		317
习题		318
第 9 章	应用层	319
9.1	应用层概述	320
9.1.1	应用层简介	320
9.1.2	客户/服务器模型	320
9.1.3	应用层协议	321
9.2	域名系统	322
9.2.1	DNS 名字空间	323
9.2.2	域名服务器	324
9.2.3	域名解析服务	325
9.3	文件的传输与存取	332
9.3.1	文件传送协议	333

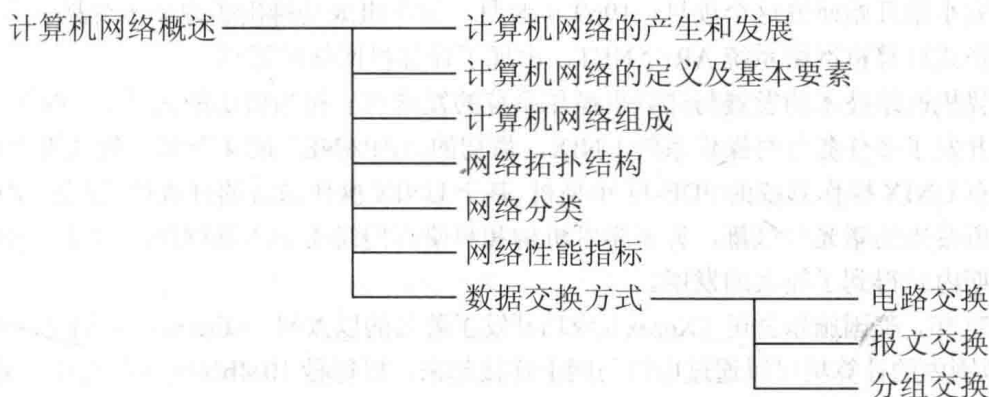
9.3.2	简单文件传输协议	337
9.3.3	网络文件系统	337
9.4	远程登录协议 (Telnet)	339
9.4.1	远程登录功能	339
9.4.2	需要考虑的要点	340
9.4.3	网络虚拟终端	340
9.5	电子邮件	341
9.5.1	电子邮件简介	341
9.5.2	简单邮件传输协议 (SMTP)	344
9.5.3	邮件读取协议 (POP)	345
9.5.4	电子邮件格式	345
9.6	万维网	346
9.6.1	万维网的基本组成	346
9.6.2	超文本传输协议 (HTTP)	350
9.6.3	统一资源定位器 (URL)	355
9.7	动态主机配置协议	356
9.7.1	DHCP 概述	356
9.7.2	DHCP 的工作过程	357
9.7.3	DHCP 的报文格式	359
9.8	简单网络管理协议	361
9.8.1	网络功能与模型	361
9.8.2	SNMP	364
9.8.3	SNMP v2 协议	374
9.8.4	SNMP v3 协议简介	378
小结		378
习题		378
第 10 章	网络安全	380
10.1	网络安全概述	381
10.1.1	网络安全的重要性	381
10.1.2	网络安全现状分析	381
10.1.3	网络面临的主要威胁	382
10.1.4	网络安全的定义	383
10.2	数据加密技术概述	384
10.2.1	数据加密的原理	385
10.2.2	传统数据加密模型	386
10.2.3	加密算法分类	388
10.3	网络攻击、检测与防范技术	389

10.3.1	网络攻击简介	389
10.3.2	网络攻击检测技术	391
10.3.3	网络安全防范技术	394
10.4	计算机病毒	397
10.4.1	计算机病毒的传播途径	398
10.4.2	计算机病毒产生的原因	398
10.4.3	计算机病毒的定义	399
10.4.4	计算机病毒的命名	399
10.4.5	计算机病毒的特征	399
10.5	防火墙	401
10.5.1	防火墙的基本概念	401
10.5.2	防火墙的功能	402
10.5.3	防火墙的优缺点	403
10.5.4	防火墙技术	405
10.6	认证技术	408
10.6.1	身份鉴别技术	408
10.6.2	数据完整性	411
10.7	互联网的层次安全技术	412
10.7.1	互连网络层安全协议	413
10.7.2	传输层安全协议 SSL/TLS	415
10.7.3	应用层安全协议	416
小结		418
习题		419
参考文献		420

第 1 章 计算机网络概述



本章知识结构



学习目标

- ❖ 了解计算机网络发展过程和发展趋势。
- ❖ 理解网络性能指标。
- ❖ 掌握计算机网络分类和拓扑结构。
- ❖ 掌握数据交换方式。

通信技术是一门经典的技术，19 世纪 30 年代发明了电报，70 年代发明了电话，而计算机是 20 世纪中叶的重要发明。计算机网络是计算机技术和通信技术相结合的产物。初期是将一台计算机通过通信线路与多个终端互连组成多用户分时系统，称之为计算机网络。经过多年的飞速发展，计算机网络变得结构异常复杂和功能强大，早期的计算机网络概念与现代计算机网络的概念差距甚远。

随着在半导体技术，主要包括大规模集成电路（LSI）和超大规模集成电路（VLSI）技术上取得成就与进展，计算机网络迅速地应用到计算机和通信两个领域。数字信号技术的发展已渗透到通信技术中，推动了通信网络的各项性能的提高，而通信网络为计算机与计算机之间的数据传输和交换提供了必要的手段。

1.1 计算机网络的产生和发展

计算机网络的发展可分为 4 个阶段，即初始阶段、Internet 推广阶段、Internet 普及阶段和 Internet 发展阶段。

1.1.1 初始阶段

1964年8月,美国兰德公司提出《论分布式通信》的研究报告。这篇报告使得美国军方一些高层人士对通信系统有了新的设想:建立一个类似于蜘蛛网的网络系统,如果现代战争的通信网络中的某一个交换节点被破坏之后,系统能够自动地寻找另外的路径,从而保证通信畅通并可共享计算机中的信息资源。1968年,加州大学洛杉矶分校的贝拉涅克领导的研究小组开始研究这个项目,1969年8月,该小组成功推出了由4个交换节点组成的分组交换式计算机网络系统 ARPANET,出现了计算机网络的雏形。

计算机网络技术的发展与计算机操作系统的发展有着相当密切的关系。AT&T 于 1969 年成功开发了多任务分时操作系统 UNIX,最初的 ARPANET 的 4 个节点处理机 IMP 都采用了装有 UNIX 操作系统的 PDP-11 小型机。基于 UNIX 操作系统的开放性,以及 ARPANET 的出现所带来的曙光的鼓舞,许多学术机构和科研部门纷纷加入该网络,致使 ARPANET 在短时期内就得到了较大的发展。

1972年,美国施乐公司(Xerox)成功开发了著名的以太网(Ethernet),通过这项技术,500m范围内的计算机可以通过电缆与网卡连接起来,以每秒10Mb/s速度传输通信数据。

1972年,ARPANET成功传输了世界上第一封电子邮件。1973年,ARPANET与卫星通信系统SAT网络连接。1974年,赛尔夫和卡恩共同设计开发了著名的TCP/IP通信协议,并把它插入了UNIX系统内核中,为各种类型的计算机通信子网的互相连接提供了标准与接口。

ARPANET最初出现时并没有得到工业界的认可。从20世纪70年代初期开始,各计算机公司纷纷加大在计算机网络方面的研究与开发力度,提出自己的网络体系结构,其中的典型代表为IBM公司的SNA网络、DEC公司的DNA网络等,但是不同体系结构中的计算机网络无法互相连接和通信。为了解决这个问题,国际标准化组织ISO在20世纪70年代末期成立了开放系统互连(Open System Interconnection, OSI)委员会,提出了OSI开放系统互连参考模型,以使各种计算机厂商能够遵循该模型来开发相应的网络产品,从而便于不同厂商的计算机网络软、硬件产品能够互相连接和互相通信与操作。

OSI参考模型对于推动计算机网络理论与技术的研究和发展起了巨大的作用。但是,因为OSI参考模型所规定的网络体系结构在实现上的复杂性,以及ARPANET与UNIX系统的迅速发展,TCP/IP协议逐渐得到了工业界、学术界以及政府机构的认可,从而得到了迅速发展,以致形成了当今广泛应用的实现机器互连的Internet网络。

1.1.2 Internet 推广阶段

ARPANET于1986年被正式分成两大部分:美国国家基金会资助的NSFNET和军方独立的国防数据网。在美国国家基金会的支持之下,许多地区和院校的网络开始使用TCP/IP协议来和NSFNET连接。使用TCP/IP协议连接的各个网络被正式改名称为Internet。1986年,美国Cisco公司成功开发出了世界上首台多协议路由器,为Internet网络产品的开发和

发展提供了产业基础。

日内瓦欧洲粒子物理实验室于1989年成功开发了实现信息互连的万维网（World Wide Web, WWW），为在Internet上存储、发布和交换超文本的图文信息提供了强有力的工具。

1986—1989年，这一时期的Internet处于推广阶段，Internet的用户主要集中在大学和有关研究机构，学术界认为Internet与TCP/IP协议将向OSI参考模型转换。OSI参考模型无论是在学术界还是在工业界和政府部门都具有相当大的影响力。

1.1.3 Internet 普及阶段

1990年开始，FTP、电子邮件、消息组等Internet应用越来越广泛，TCP/IP协议在UNIX系统中的实现进一步推动了这一发展。1993年，美国伊利诺依大学国家超级计算中心成功开发了网上浏览工具Mosaic，后来发展成Netscape。通过使用Mosaic或Netscape，Internet用户可以在Internet上自由地浏览和下载WWW服务器上发布和存储的各种软件与文件，WWW与Netscape的结合引发了Internet的第二次大发展高潮。各种商业机构、机关团体、军事、政府部门和个人开始大量进入Internet，并在Internet上大量发布Web主页广告，进行网上商业活动，一个网络上的虚拟空间开始形成。

随着Internet规模的日益扩大，不同地域和国家之间开始建立相应的交换中心。Internet的管理中心开始把相应的IP地址分配权向各地区交换中心转移。

1.1.4 Internet 发展阶段

从1993年开始，OSI参考模型已不是计算机网络发展的主流，从学术界、工业界、政府部门到广大用户，都看出了Internet的重要性和巨大潜力，纷纷开始支持和使用Internet。以Internet为代表的计算机网络进入了迅速发展阶段。

1993年，美国宣布正式实施国家信息基础设施计划。美国国家科学基金会也宣布，自1995年开始不再向Internet注入资金，使其完全进入商业化运作。

光纤通信技术的发展，极大地促进了计算机网络技术的勃兴。光纤作为一种高速率、高带宽、高可靠性的传输介质，为建立高速的网络奠定了基础。网络带宽的不断提高，更加刺激了网络应用的多样化和复杂化，网络应用正迅速朝着宽带化、实时化、智能化、集成化和多媒体化的方向发展。

计算机科学技术已进入了以网络为中心的历史阶段。1996年出现了跨平台的分布式Java语言和网络计算机概念，1997年提出了Internet NGI（Next Generation Internet）和Internet II等新研究计划。网络计算、对等计算、云计算和普适计算等已成为计算机科学技术研究的热点，物联网（The Internet of Things）的出现是计算机科学技术的新挑战。物联网通信无所不在，所有的物体从洗衣机到冰箱、从房屋到汽车都可以通过物联网进行信息交换。物联网技术融入了射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）技术、传感器技术、纳米技术、智能技术与嵌入技术。物联网技术是将改变人们生活和工作方式的重要技术。

1.2 计算机网络的定义及基本要素

1.2.1 计算机网络的定义

计算机网络是指将地理位置不同的具有独立功能的多台计算机系统(自治计算机系统)及其外部设备,通过通信线路连接起来,在网络操作系统、网络管理软件及网络通信协议的管理和协调下,实现资源共享和信息传递的计算机系统。自治是指不存在主从关系。并不是所有连在一起的计算机组建的系统都是计算机网络。例如,由一台主控机和多台从属机组成的系统不是网络,同样的道理,一台含有大量终端的大型计算机也不能称为网络。处于计算机网络中的计算机应具有独立性。如果一台计算机可以强制启动、停止和控制另一台计算机,或者说如果把一台计算机与网络的连接断开,它就不能工作了,这台计算机就不具备独立性。

1.2.2 计算机网络的基本要素

计算机网络具有下述3个基本要素。

- (1) 在计算机网络中的计算机自治的概念,基于这一概念,计算机网络不同于主机系统。
- (2) 计算机之间的通信必须遵循共同的标准和协议。
- (3) 计算机网络的最重要目标是资源共享,在计算机网络中的资源主要包括计算机软件资源、硬件资源和用户数据资源等。用户不仅可以使本地资源,还可以通过计算机网络使用远程资源。

1.3 计算机网络组成

计算机网络是由不同通信媒体连接的、物理上互相分开的多台计算机组成的、通过网络软件实现网络资源共享的系统。通信媒体可以是电话线路、有线电视(包括数据传输电缆与有线电视信号传输电缆等)、光纤、无线、微波以及卫星等。利用这些通信媒体把相应的交换和互连设备连接,组成相应的通信网络,也称为通信系统。计算机网络主要由下述元素组成。

1.3.1 计算机

与计算机网络连接的计算机可以是巨型机、大型机、小型机或工作站、PC机以及笔记本电脑,或其他具有CPU处理器的智能设备。这些设备在计算机网络中具有唯一的可供计算机网络识别和处理的通信地址。