



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

张晓明 编著

计算机网络教程

21世纪计算机科学与技术实践型教程

丛书主编 陈明

清华大学出版社





普通高等教育“十一五”国家级规划教材

张晓明 编著

计算机网络教程

21世纪计算机科学与技术实践型教程

丛书主编 陈明



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机网络的基本概念、原理与技术,包括绪论、物理层、数据链路层、局域网、网络层、传输层、应用层和网络安全共 8 章内容,各章后附有丰富的习题,还给出了 3 个附录,包括全国硕士生入学统考的大纲、近两年的计算机网络试题与参考答案。本书有配套的 PPT 教学课件和习题参考答案,可在清华大学出版社的相关网站下载。

本书定位于应用型学科专业的计算机网络教学,深入浅出,强调了基础知识和应用的统一,对每章的例题和习题都做了精选,体现了“例题—习题—考题”的一致性;在基本原理方面力求讲透,设计了大量生动的图例和实例说明;在协议分析及其验证方面,选用网络协议分析工具在多个网络层次进行数据抓包并显示;在内容上,兼顾了研究生入学考试中“计算机网络”课的大纲范围。

本书可作为高校计算机专业和非计算机理工科专业的计算机网络教材,在内容编排上融合了不同的需求,也可作为其他专业师生和网络技术人员的参考书。

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

计算机网络教程/张晓明编著. —北京:清华大学出版社,2010.9

(21 世纪计算机科学与技术实践型教程)

ISBN 978-7-302-23644-3

I. ①计… II. ①张… III. ①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 160176 号

责任编辑:谢琛 李玮琪

责任校对:焦丽丽

责任印制:王秀菊

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:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:15.25

字 数:343 千字

版 次:2010 年 9 月第 1 版

印 次:2010 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

产品编号:036956-01

21 世纪计算机科学与技术实践型教程

编辑委员会

主 任：陈 明

委 员：毛国君 白中英 叶新铭 刘淑芬 刘书家
汤 庸 何炎祥 陈永义 罗四维 段友祥
高维东 郭 禾 姚 琳 崔武子 曹元大
谢树煜 焦金生 韩江洪

策划编辑：谢 琛

21 世纪计算机科学与技术实践型教程

序

21 世纪影响世界的三大关键技术：以计算机和网络为代表的信息技术；以基因工程为代表的生命科学和生物技术；以纳米技术为代表的新型材料技术。信息技术居三大关键技术之首。国民经济的发展采取信息化带动现代化的方针，要求在所有领域中迅速推广信息技术，导致需要大量的计算机科学与技术领域的优秀人才。

计算机科学与技术的广泛应用是计算机学科发展的原动力，计算机科学是一门应用科学。因此，计算机学科的优秀人才不仅应具有坚实的科学理论基础，而且更重要的是能将理论与实践相结合，并具有解决实际问题的能力。培养计算机科学与技术的优秀人才是社会的需要、国民经济发展的需要。

制定科学的教学计划对于培养计算机科学与技术人才十分重要，而教材的选择是实施教学计划的一个重要组成部分，《21 世纪计算机科学与技术实践型教程》主要考虑了下述两方面。

一方面，高等学校的计算机科学与技术专业的学生，在学习了基本的必修课和部分选修课程之后，立刻进行计算机应用系统的软件和硬件开发与应用尚存在一些困难，而《21 世纪计算机科学与技术实践型教程》就是为了填补这部分空白。将理论与实际联系起来，使学生不仅学会了计算机科学理论，而且也学会应用这些理论解决实际问题。

另一方面，计算机科学与技术专业的课程内容需要经过实践练习，才能深刻理解和掌握。因此，本套教材增强了实践性、应用性和可理解性，并在体例上做了改进——使用案例说明。

实践型教学占有重要的位置，不仅体现了理论和实践紧密结合的学科特征，而且对于提高学生的综合素质，培养学生的创新精神与实践能力有特殊的作用。因此，研究和撰写实践型教材是必需的，也是十分重要的任务。优秀的教材是保证高水平教学的重要因素，选择水平高、内容新、实践性强的教材可以促进课堂教学质量的快速提升。在教学中，应用实践型教材可以增强学生的认知能力、创新能力、实践能力以及团队协作和交流表达能力。

实践型教材应由教学经验丰富、实际应用经验丰富的教师撰写。此系列教材的作者不但从事多年的计算机教学，而且参加并完成了多项计算机类的科研项目，他们把积累的

经验、知识、智慧、素质融合于教材中,奉献给计算机科学与技术的教学。

我们在组织本系列教材过程中,虽然经过了详细的思考和讨论,但毕竟是初步的尝试,不完善甚至缺陷不可避免,敬请读者指正。

本系列教材主编 陈明

2005年1月于北京

前 言

随着计算机网络的广泛应用和技术发展,对各层次的人才需求非常迫切。本书定位于应用型学科专业的计算机网络教学,强调了基础知识和应用技术的统一。

全书采用典型的网络层次化模型,共分为 8 章,内容包括绪论、物理层、数据链路层、局域网、网络层、传输层、应用层和网络安全。本书在阐述基本原理和应用方法时,设计了大量生动的图例和实例说明,避免枯燥的陈述。同时,对每章的例题和习题都做了精选,使其具有很好的代表性,体现了“例题—习题—考题”的一致性。

为了真实展现网络协议的结构,本书采用了网络协议分析工具 Wireshark,在多个层次进行网络数据抓包并显示,使原理性内容在实践性环节中得到验证。

本书末尾包含了 3 个附录,分别是 2010 年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础综合考试大纲、2009 年和 2010 年的全国硕士研究生入学统考计算机学科专业试题及答案。为有志参加硕士研究生入学考试的学生提供重要资料,也为学生测验所学网络知识提供参考。

本书有配套的 PPT 教学课件和习题参考答案,可在清华大学出版社的相关网站下载。

本书同时面向计算机专业和非计算机理工科专业的学生,在内容编排上融合了不同的需求。书中有部分打 * 号的内容,属于比较深入和扩展的知识,主要针对计算机专业的学生。

本书由张晓明统一规划和撰写,陈明教授审查了大纲。还有部分教师参与了研讨和部分章节的编写,杜天苍、赵国庆、王淑芳和张世博分别参与了局域网、网络安全、应用层和无线网络内容的编写,向胜军参与了初稿的审查。本书在编写过程中,始终得到清华大学出版社的大力帮助。本书还引用了某些国内外同行的工作成果,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误与不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

张晓明

2010 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机网络概述	1
1.1.1 计算机网络的产生和发展.....	1
1.1.2 我国的网络发展情况.....	3
1.1.3 计算机网络的定义.....	4
1.1.4 计算机网络的组成.....	4
1.2 计算机网络的分类	6
1.2.1 按拓扑结构分类.....	6
1.2.2 按地理范围分类.....	7
1.2.3 无线网络.....	8
1.2.4 其他分类.....	9
1.3 计算机网络的体系结构	9
1.3.1 分层体系结构及协议.....	9
1.3.2 OSI 模型	11
1.3.3 TCP/IP 协议	15
习题	17
第 2 章 物理层	19
2.1 数据通信概述.....	19
2.1.1 数据通信模型	19
2.1.2 数据通信系统的技术指标	21
2.2 传输媒体.....	24
2.3 数据传输方式.....	27
2.3.1 并行传输与串行传输	27
* 2.3.2 异步传输与同步传输	28
2.3.3 单工、半双工和全双工传输.....	29
2.3.4 模拟传输与数字传输	30
* 2.3.5 共享通信和点对点通信	30

2.4	数据编码技术	32
2.4.1	数字数据调制为模拟信号	32
2.4.2	数字数据编码为数字信号	33
2.4.3	模拟数据编码为数字信号	34
2.5	多路复用技术	35
2.5.1	频分多路复用 FDM	36
2.5.2	时分多路复用 TDM	36
2.5.3	波分多路复用 WDM	37
2.5.4	码分多路复用 CDM	38
2.6	数据交换技术	38
2.6.1	线路交换	39
2.6.2	报文交换	40
2.6.3	分组交换	41
2.7	物理层协议与设备	41
2.7.1	物理层的接口特性	41
2.7.2	物理层的设备	43
	习题	43
第3章	数据链路层	45
3.1	数据链路层的功能	45
3.2	组帧技术	47
3.2.1	字节计数法	47
3.2.2	字符填充法	47
3.2.3	零比特填充法	48
3.2.4	违例编码法	48
3.3	差错控制	49
3.3.1	奇偶检验码	49
3.3.2	循环冗余校验码	50
3.4	流量控制	51
3.4.1	停等协议	52
3.4.2	滑动窗口机制	55
3.4.3	后退 N 帧协议	57
*3.4.4	选择重传协议	59
3.5	高级数据链路协议 HDLC	61
3.5.1	HDLC 的基本特点	61
3.5.2	HDLC 的帧结构	62
3.5.3	HDLC 的帧类型	62
3.6	点对点协议 PPP	64

3.6.1	PPP 协议的特点与组成	64
3.6.2	PPP 协议的帧结构	65
3.6.3	PPP 协议的工作状态	66
习题	67
第 4 章	局域网	68
4.1	局域网概述	68
4.1.1	IEEE 802 参考模型和协议	68
4.1.2	局域网的分类	70
4.2	传统以太网	71
4.2.1	CSMA/CD 协议	71
4.2.2	传统以太网的连接方法	74
4.2.3	以太网的 MAC 层和帧结构	75
4.3	高速以太网	77
4.3.1	100BASE-T 以太网	78
4.3.2	千兆以太网	78
4.3.3	万兆以太网	79
4.4	虚拟局域网	80
4.5	无线局域网	81
4.5.1	无线局域网的结构分类	82
4.5.2	无线局域网的工作原理	83
4.5.3	无线局域网的帧结构	85
4.6	局域网的扩展	86
4.6.1	在物理层扩展局域网	87
4.6.2	在数据链路层扩展局域网	87
习题	91
第 5 章	网络层	94
5.1	网络层概述	94
5.1.1	数据报网络服务	95
5.1.2	虚电路网络服务	96
5.1.3	数据报和虚电路网络的比较	97
5.2	标准分类的 IP 地址	98
5.3	子网与超网编址方法	101
5.3.1	IP 子网划分	102
5.3.2	CIDR	104
5.4	IP 和 ICMP 协议	107
5.4.1	IP 协议	108

5.4.2	ICMP 协议	110
5.5	ARP 协议	112
5.6	路由选择协议和路由器	114
5.6.1	IP 分组转发	115
5.6.2	内部网关协议 RIP	118
* 5.6.3	内部网关协议 OSPF	120
* 5.6.4	外部网关协议 BGP	121
5.6.5	路由器	122
5.7	IP 多播	123
5.7.1	IP 多播概述	123
* 5.7.2	IP 多播协议与路由选择	125
5.8	VPN 和 NAT	126
5.8.1	VPN	127
5.8.2	NAT	128
5.9	IPv6 协议	131
5.9.1	IPv6 编址	131
5.9.2	IPv6 的基本首部格式	134
	习题	135
第 6 章	传输层	138
6.1	传输层协议概述	138
6.1.1	进程之间的通信	138
6.1.2	端口及其作用	139
6.2	UDP 协议	141
6.2.1	UDP 协议的特点	142
6.2.2	UDP 报文格式	142
6.2.3	UDP 的校验和计算	143
6.3	TCP 协议概述	144
6.3.1	TCP 协议的基本特点	144
6.3.2	TCP 报文段的首部格式	146
6.4	TCP 的连接管理	148
6.4.1	连接建立	148
6.4.2	连接释放	149
6.4.3	连接重置	150
6.5	可靠传输	151
6.6	TCP 的流量控制	153
6.7	TCP 的拥塞控制	154
	习题	156

第 7 章 应用层	158
7.1 网络应用模式	158
7.1.1 集中应用模式.....	158
7.1.2 客户机/服务器应用模式	159
7.1.3 基于 Web 的浏览器/服务器应用模式.....	159
7.1.4 P2P 模式.....	160
7.2 域名系统 DNS	161
7.2.1 域名与域名空间.....	161
7.2.2 域名服务器与域名解析.....	163
7.3 文件传输协议 FTP	165
7.3.1 FTP 的工作原理与模式	165
7.3.2 FTP 协议的规范	167
7.3.3 FTP 的登录方式	169
7.3.4 简单文件传送协议 TFTP	170
7.4 电子邮件	171
7.4.1 电子邮件系统的组成.....	172
7.4.2 SMTP 协议	174
7.4.3 POP3 和 IMAP4 协议	178
7.5 WWW 服务	179
7.5.1 统一资源定位符 URL	180
7.5.2 HTTP 协议	181
7.5.3 HTML	184
* 7.6 主机配置协议	186
7.6.1 BOOTP	186
7.6.2 DHCP	187
习题.....	188
第 8 章 网络安全	190
8.1 网络安全概述	190
8.1.1 网络安全的含义.....	190
8.1.2 网络安全威胁.....	191
8.1.3 网络安全体系.....	193
8.2 数据加密技术	194
8.2.1 传统加密方法.....	195
8.2.2 对称加密技术.....	196
8.2.3 非对称加密技术.....	196
8.2.4 数字信封.....	198

8.2.5	数字签名	199
8.2.6	报文摘要	199
8.3	防火墙技术	200
8.3.1	防火墙的功能与特点	200
8.3.2	防火墙的分类	202
8.3.3	常见的防火墙结构	203
8.3.4	防火墙的发展	208
8.4	网络安全协议	209
8.4.1	IPSec 协议	209
8.4.2	SSL/TLS 协议	210
8.4.3	PGP 协议	211
8.4.4	SSH 协议	213
8.4.5	SET 协议	214
	习题	215
附录一	2010 年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业基础综合考试大纲	217
附录二	2009 年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业试题及答案 (计算机网络部分)	222
附录三	2010 年全国硕士研究生入学统考计算机学科专业试题及答案 (计算机网络部分)	225
	参考文献	227

第 1 章 绪 论

作为信息社会的基础设施,计算机网络已深入到人类生活的各个方面,广泛应用在军事、教育、科研和管理等领域。从日常办公网络到连接世界的因特网,从家庭网络到无线接入的公共区域和互联网世界,从科学计算的小型计算机到分布式网络搜索系统,都离不开计算机网络。

计算机网络是一个复杂的系统,在多个层次上具有丰富的协议标准和技术,在进行网络服务时能够提供多种不同的配置和安全性能。

1.1 计算机网络概述

计算机网络的功能主要表现在硬件资源共享、软件资源共享和用户间信息交换三个方面。

(1) 硬件资源共享。可以在全网范围内提供对处理资源、存储资源、输入输出资源等昂贵设备的共享,使用户节省投资,也便于集中管理和均衡分担负荷。

(2) 软件资源共享。允许互联网上的用户远程访问各类大型数据库,用户可以得到远地进程管理服务和远程文件访问服务,避免软件研制上的重复劳动以及数据资源的重复存储,也便于集中管理。

(3) 用户间信息交换。计算机网络为分布在各地的用户提供了强有力的通信手段。用户可以通过计算机网络发送电子邮件、发布新闻消息和进行电子商务活动。

1.1.1 计算机网络的产生和发展

计算机网络是计算机和通信技术发展的产物,经历了一个从简单到复杂的演变过程,其过程主要分 4 个阶段。

1. 面向终端的计算机网络

第一阶段的计算机网络产生于 20 世纪 50 年代,实际上是以单个计算机为中心的远程联机系统。其典型代表是美国的半自动地面防空系统,它把远距离的雷达和其他测控设备的信号通过通信线路传送到一台 IBM 计算机进行集中处理和控制在,首次实现了计算机技术与通信技术的结合。

20 世纪 60 年代初,面向终端的计算机通信网络有了新的发展,在主机和通信线路之

间设置了通信控制处理机,专门负责通信控制;在终端聚集处设置了集中器,用低速线路将各终端汇集到集中器,再通过高速线路与计算机相连,如图 1-1 所示。其典型的应用是美国航空公司的飞机订票系统,它通过电话线将位于纽约的一台中心计算机和全美范围内超过 65 个城市的 2000 多个终端连接在一起,处理飞机座位库存和乘客记录。

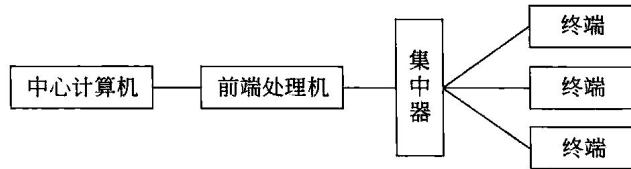


图 1-1 面向终端的计算机网络系统

这种网络系统是一种主从式结构,计算机处于主控地位,而各终端一般只具备输入输出功能,处于从属地位。因此,这种网络还只是现代计算机网络的雏形。

2. 以通信子网为中心的计算机网络

这个阶段主要从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代末,当时的网络是由多台计算机和通信线路互连起来的,其标志是由美国国防部高级研究计划局研制的 ARPANET。该网络首次使用了分组交换技术,为计算机网络的发展奠定了基础,被公认为是第一个真正的计算机网络。ARPANET 的目标主要是借助于通信系统,使网内各计算机系统之间能够共享资源。

这种网络的基本结构如图 1-2 所示,该网络主机之间是由图 1-2 中被称为接口报文处理机的结点进行互连的,这些结点及其之间互连的通信线路一起负责主机间的通信任务,构成了通信子网。主机都处于通信子网的外围,构成了资源子网。

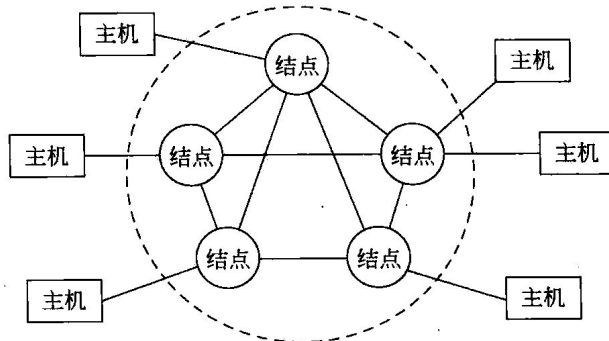


图 1-2 具有分组交换功能的计算机网络

到 20 世纪 70 年代中期,网络的数目开始增加,涌现出一些分组交换网,如 ALOHAnet 以及将夏威夷岛上的大学连接起来的微波网络。

3. 体系结构标准化的网络

第三阶段是面向标准化的计算机网络,主要从 20 世纪 70 年代末到 90 年代初期。在 20 世纪 70 年代末期,局域网技术首次被提出,IP、TCP 和 UDP 协议的概念已经形成,标志着网络互连体系结构的原则已经确立,此时约有 200 台主机与 ARPANET 相连。

1980年成立了IEEE 802 局域网络标准委员会,并制定了一系列局域网标准。1983年,TCP/IP 协议被批准为美国军方的网络传输协议。同时,ARPANET 分化为 ARPANET 和 MILNET 两个网络。接着,国际标准化组织 ISO 正式颁布了异种机系统互连的标准框架,即开放系统互连参考模型 OSI/RM,为国际标准 ISO 7498。该模型是公认的计算机网络系统结构的基础。

1984年,美国国家科学基金会决定将教育科研网 NSFNET 与 ARPANET、MILNET 合并,运行 TCP/IP 协议,向世界范围扩展,并将此网命名为 Internet。

4. 面向全球互连的计算机网络

自 20 世纪 90 年代,计算机网络迅猛发展,人类从此进入了网络计算的新时代。

1993年,美国公布了国家信息基础设施发展计划,其核心是构建国家信息高速公路,即建设一个覆盖全美的高速宽带通信与计算机网络。同年,由欧洲原子核研究组织开发的万维网(World Wide Web)被广泛使用在因特网上,大大方便了广大非网络专业人员对网络的使用,成为因特网日后成指数级增长的主要驱动力。

这一时期以高速率、高服务质量、高可靠性等为指标,出现了高速以太网、无线网络、P2P、下一代因特网计划 NGI、网络安全、云计算、物联网等技术。计算机网络的应用与发展深入到社会的各个方面,进入了一个多层次的发展阶段。

1.1.2 我国的网络发展情况

在因特网建设方面,我国的发展经历了以下三个阶段。

1. 初始阶段

这一阶段从 1986 年到 1994 年,主要是通过中科院高能物理研究所的网络线路实现了与欧洲及北美地区的 E-mail 通信。中国科技界从 1986 年开始使用因特网。

2. 教育科研网发展阶段

从 1994 年到 1995 年,北京中关村地区及清华、北大组成的 NCFC 网(National Computing and Networking Facility of China)在 1994 年开通了因特网的 64Kbps 专线连接。同时,架设了我国的顶级域名 CN 服务器。从此,我国真正加入到因特网行列。随后,中国教育和科研计算机网 CERNET 建成,其目的是把全国大部分高校连接起来,并与国际学术计算机网互连。

3. 网络商业应用阶段

自 1995 年后,进入了商业应用阶段。至今,我国已经建立了 9 个公用计算机网络。

- (1) 中国公用计算机互联网 CHINANET;
- (2) 中国教育和科研计算机网 CERNET;
- (3) 中国科学技术网 CSTNET;
- (4) 中国联通互联网 UNINET;
- (5) 中国网通公用互联网 CNCNET;
- (6) 中国国际经济贸易互联网 CIETNET;

- (7) 中国移动互联网 CMNET;
- (8) 中国长城互联网 CGWNET;
- (9) 中国卫星通信集团互联网 CSNET。

2004年,我国的第一个下一代互联网 CNGI 的主干网 CERNET2 试验网正式开通,并提供服务。试验网以 2.5~10Gbps 的高速率连接北京、上海和广州三个 CERNET 核心结点,并与国际下一代互联网相连。这标志着我国在互联网领域已逐渐达到国际先进水平。

中国互联网络信息中心(CNNIC)是我国域名注册管理机构和域名根服务器运行机构。CNNIC 负责运行和管理国家顶级域名、CN、中文域名系统、通用网址系统及无线网址系统,负责建立并维护全国最高层次的网络目录数据库,提供对域名、IP 地址、自治系统号等方面信息的查询服务。

1.1.3 计算机网络的定义

对于计算机网络,从不同的发展阶段和角度来看,有着不同的定义。其中,资源共享观点的定义比较准确、客观地描述了计算机网络的基本特征:“计算机网络是以能够共享资源的方式互联起来的自治计算机系统的集合”。

计算机网络与多终端系统具有明显的区别。传统的多终端系统是由一台中央处理机、多个联机终端及一个多用户操作系统组成的。系统资源全部集中在主机上,数据处理也在主机上进行。而计算机网络系统不是以一台大型的主计算机为基础,而是以许多独立的计算机为基础。每台计算机都可以拥有自己的资源,具有独立的数据处理能力。网络中的计算机可以共享网络中的全部资源。

【例 1-1】 叙述计算机网络与分布式系统的异同点。

解析: 分布式计算机系统与计算机网络系统都是由多个互联的自治计算机系统构成的集合,在计算机硬件连接、系统拓扑结构和通信控制等方面基本一致,都具有通信和资源共享的功能。

分布式计算机系统的最主要特点是整个系统中的计算机对用户都是透明的,即是强调系统的整体性,强调各计算机在协调下自治工作。例如,分布式系统的应用程序可分为几个独立的部分,分别运行于不同的机器上,它们之间通过通信相互协作,共同完成一个作业。

而在计算机网络中,每台计算机对用户都是完全可见的,它以资源共享为主要目的,方便用户访问其他计算机所具有的资源。如果用户需要在远程的一台计算机上运行某个程序,就必须先登录到该计算机,然后再执行程序。

从效果上看,分布式系统是建立在网络之上的软件系统,具有高度的整体性和透明性。因此,两者的区别主要在于软件(尤其是操作系统)而不是硬件。

1.1.4 计算机网络的组成

计算机网络的组成有两种分类:物理组成和功能组成。