



工业和信息化部“十二五”规划教材
21世纪高等学校计算机规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

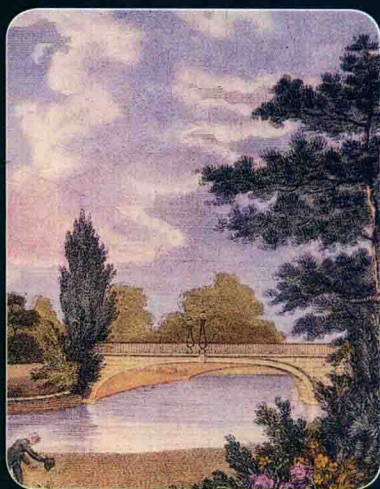
计算机网络教程

第5版 | 微课版

A Textbook on Computer Networks (5th Edition)

谢钧 谢希仁 编著

- 参考计算机专业最新考研大纲
- 提供重难点微课视频，扫码即可观看
- 提供实验建议、教学PPT、习题答案



名家系列

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机网络教程

第5版 | 微课版

A Textbook on Computer Networks (5th Edition)

谢钧 谢希仁 编著



名家系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

计算机网络教程：微课版 / 谢钧, 谢希仁编著. —
5版. — 北京：人民邮电出版社, 2018.2
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-47581-7

I. ①计… II. ①谢… ②谢… 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(2017)第314721号

内 容 提 要

本书共7章, 主要内容包括概述、物理层、数据链路层(包括局域网)、网络层与网络互连、运输层、网络应用、网络安全, 覆盖了全国计算机专业研究生入学考试的知识点。各章均附有本章的重要概念和习题。此外, 附录中提供了最短路径算法、配套实验建议、英文缩写词。

本书的特点是概念准确、论述严谨、图文并茂、容易理解。以通俗易懂的方式阐述计算机网络最基本的原理与概念, 注重分析各种技术背后的原理和方法。

为方便读者学习和理解相关内容, 本书针对重、难点内容录制了微课视频, 读者可通过扫描书中相应二维码进行观看。

本书可供所有专业的大学本科生使用, 对从事计算机网络工作的工程技术人员也有学习参考价值。

-
- ◆ 编 著 谢 钧 谢希仁
责任编辑 邹文波
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22.5 2018年2月第5版
字数: 558千字 2018年2月河北第1次印刷
-

定价: 49.80元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

随着计算机网络技术的不断发展和进步,计算机网络越来越广泛地应用于各个领域,并深刻地影响着社会的科学、经济、军事和文化的发展,和人们的工作、学习和生活,以网络为核心的信息化时代已经到来。“计算机网络”目前已不仅是计算机、通信与信息类专业本科生的必修课程,也逐渐成为理工科各专业学生的公共课程。

计算机网络技术的发展日新月异,将不断涌现的新概念、新技术、新协议和新应用全部纳入到一本书和一门课程中是不现实的。实际上,只要具备了计算机网络的基本原理和知识,学生就有能力不断学习各种新的网络技术。因此,本书以计算机网络中最基础和最关键的问题为核心知识点,以因特网和成熟、流行的网络技术为实例,讲解和分析计算机网络的基本原理、方法和技术精髓,尽可能使学生获得“保质期”长的知识,具备深入学习和研究相关技术的能力。

本书在写作上力求概念准确、论述严谨以及简洁明了,不罗列各种技术的细节,而是讲清楚各种技术背后的原理和方法,让读者明白“是什么”的同时也理解了“为什么”。

第5版保持了第4版的主要结构,同时根据近年来计算机网络技术和教学理念的发展及作者的教学经验,对各章都补充了一些新的内容,调整了部分结构,修改了部分文字,使本书更能体现计算机网络技术的发展,更能满足理工科各专业本科生的教学需要,内容结构更便于老师组织教学和学生自学。同时,本书内容也覆盖了全国计算机专业研究生入学考试的考试范围。

本次修订主要调整的内容如下。

第1章重写了计算机网络在信息时代中的作用,并增加了对云计算和物联网两个新兴网络技术的简要介绍。

第2章增加了对光网络的介绍。

第3章在使用点对点信道的数据链路层这一节中增加了可靠传输的原理,调整了局域网相关内容的结构,并对虚拟局域网和无线局域网的相关内容进行了补充。

第4章改动较大:增加了对虚电路网络基本原理的介绍;对IP编址方式,重点介绍无分类编址CIDR,而对分类IP编址和子网划分仅做简略介绍;增加了对目前广泛应用于局域网环境中的“三层交换机”的介绍;补充了对IP多播中多播路由选择的基本工作原理介绍;补充了对移动IP的基本工作原理介绍;考虑到MPLS目前在因特网中的应用越来越广泛,作用越来越重要,在第4章最后补充了对MPLS基本原理的介绍。

第5章补充了对TCP的选择确认的介绍。

第6章增加了对搜索引擎、移动Web、内容分发网络和网络应用编程接口的介绍。

第7章增加了对访问控制概念和模型的介绍,补充了物理层和数据链路层的安全实例,并增加了对常见网络攻击技术及其防范措施的介绍。

本书新增许多课后习题,此外在附录B中增加了对课程实验内容的建议,在附录C中增加了本书涉及的英文缩写的中文对照表。

本书提供的教学课件和部分习题答案,可在人邮教育社区(www.ryjiaoyu.com)下载。

针对“计算机网络”课程中的重点与难点，本书还专门录制了微课视频，读者可直接使用手机扫描书中的二维码观看。

本书第5版是在谢希仁教授主编的第4版基础上改编而成的，并得到了谢教授的悉心指导。陈鸣、胡谷雨、倪桂强、齐望东和吴礼发教授对于本书的内容给予了热心指点，端义锋、刘鹏、仇小锋、张国敏、邢长友、沙俊星、缪志敏等课程组老师结合教学实践经验对本次的修改提出了宝贵的意见。编者在此一并致以诚挚的谢意。由于编者水平所限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

2018年1月

于中国人民解放军陆军工程大学，南京

编者的电子邮箱地址：xiejun_work@263.net

（欢迎指出书中的各种错误，但无法满足索取解题详细步骤的要求，敬请谅解。）

第 1 章 概述1	
1.1 计算机网络在信息时代中的作用.....1	
1.2 因特网概述.....3	
1.2.1 网络的网络.....3	
1.2.2 因特网发展的三个阶段.....4	
1.2.3 因特网的标准化工作.....7	
1.3 因特网的组成.....8	
1.3.1 因特网的边缘部分.....8	
1.3.2 因特网的核心部分.....10	
1.4 计算机网络的定义与分类.....15	
1.4.1 计算机网络的定义.....15	
1.4.2 计算机网络的分类.....16	
1.5 计算机网络的主要性能指标.....17	
1.6 计算机网络体系结构.....21	
1.6.1 网络协议.....21	
1.6.2 层次模型与计算机网络 体系结构.....21	
1.6.3 具有五层协议的原理 体系结构.....24	
1.6.4 实体、协议和服务.....27	
1.6.5 TCP/IP 的体系结构.....28	
1.7 计算机网络在我国的发展.....28	
1.8 两个重要的新兴网络技术.....29	
1.8.1 云计算.....30	
1.8.2 物联网.....31	
本章的重要概念.....32	
习题.....32	
第 2 章 物理层34	
2.1 物理层的基本概念.....34	
2.2 数据通信的基础知识.....35	
2.2.1 数据通信系统的模型.....35	
2.2.2 编码与调制.....36	
2.2.3 信道的极限容量.....38	
2.2.4 传输方式.....40	
2.3 物理层下面的传输媒体.....41	
2.3.1 导引型传输媒体.....41	
2.3.2 非导引型传输媒体.....45	
2.4 信道复用技术.....47	
2.4.1 频分复用、时分复用和 统计时分复用.....47	
2.4.2 波分复用.....49	
2.4.3 码分复用.....50	
2.5 数字传输系统.....52	
2.5.1 PCM 速率体制.....52	
2.5.2 SONET/SDH.....52	
2.5.3 光网络.....54	
2.6 互联网接入技术.....54	
2.6.1 电话网拨号接入.....54	
2.6.2 数字用户线接入.....55	
2.6.3 光纤同轴混合网接入.....57	
2.6.4 光纤接入.....59	
2.6.5 以太网接入.....60	
2.6.6 无线接入.....60	
本章的重要概念.....61	
习题.....62	
第 3 章 数据链路层63	
3.1 使用点对点信道的数据链路层.....63	
3.1.1 数据链路层所处的地位.....63	
3.1.2 数据链路和帧.....64	
3.1.3 封装成帧.....65	
3.1.4 差错检测.....68	
3.1.5 可靠传输.....70	
3.2 点对点协议 (PPP).....77	
3.2.1 PPP 的特点.....77	
3.2.2 PPP 的组成.....78	
3.2.3 PPP 的帧格式.....78	

3.2.4 PPP 的工作状态	80	4.2.3 IP 地址与物理地址	138
3.3 使用广播信道的数据链路层	81	4.2.4 地址解析协议 (ARP)	140
3.3.1 媒体接入控制	81	4.2.5 IP 数据报的格式	143
3.3.2 局域网	82	4.2.6 IP 数据报的转发	147
3.4 共享式以太网	86	4.3 网际控制报文协议 (ICMP)	152
3.4.1 CSMA/CD 协议	86	4.3.1 ICMP 报文的种类	152
3.4.2 共享式以太网的信道利用率	90	4.3.2 ICMP 的应用举例	154
3.4.3 使用集线器的星形拓扑	91	4.4 因特网的路由选择协议	156
3.4.4 以太网的帧格式	93	4.4.1 有关路由选择协议的 几个基本概念	156
3.5 网桥和以太网交换机	94	4.4.2 内部网关协议 (RIP)	158
3.5.1 在物理层扩展以太网	94	4.4.3 内部网关协议 (OSPF)	161
3.5.2 在数据链路层扩展以太网	96	4.4.4 外部网关协议 (BGP)	165
3.5.3 以太网交换机	100	4.5 路由器的工作原理	167
3.5.4 虚拟局域网 (VLAN)	101	4.5.1 路由器的构成	167
3.6 以太网的演进	103	4.5.2 路由器与交换机的比较	171
3.6.1 100BASE-T 以太网	103	4.5.3 三层交换机	172
3.6.2 吉比特以太网	104	4.6 VPN 与 NAT	173
3.6.3 10 吉比特和 100 吉比特以太网	106	4.6.1 虚拟专用网 (VPN)	173
3.6.4 使用以太网进行宽带接入	107	4.6.2 网络地址转换 (NAT)	175
3.7 无线局域网	108	4.7 IP 多播	177
3.7.1 无线局域网的组成	108	4.7.1 IP 多播的基本概念	177
3.7.2 802.11 局域网的物理层	111	4.7.2 在局域网上进行硬件多播	179
3.7.3 802.11 局域网的 MAC 协议	112	4.7.3 IP 多播需要两种协议	179
3.7.4 802.11 局域网的 MAC 帧	115	4.7.4 网际组管理协议 (IGMP)	180
3.7.5 其他无线计算机网络	118	4.7.5 多播路由选择协议	182
本章的重要概念	118	4.8 移动 IP	185
习题	121	4.8.1 移动性对网络应用的影响	185
第 4 章 网络层与网络互连	124	4.8.2 移动 IP 的工作原理	185
4.1 网络层概述	124	4.8.3 移动 IP 的标准	188
4.1.1 分组转发和路由选择	124	4.8.4 蜂窝移动通信网中的 移动性管理	188
4.1.2 网络层提供的两种服务	125	4.9 下一代的网际协议 IPv6	189
4.1.3 虚电路网络	127	4.9.1 解决 IP 地址耗尽的 根本措施	189
4.2 网际协议 (IP)	129	4.9.2 IPv6 的基本首部	189
4.2.1 异构网络互连	129	4.9.3 IPv6 的编址	191
4.2.2 IP 地址及编址方式	131		

4.9.4 从 IPv4 向 IPv6 过渡	193
4.9.5 ICMPv6	194
4.10 多协议标签交换 (MPLS)	195
本章的重要概念	197
习题	200
第 5 章 运输层	205
5.1 运输层协议概述	205
5.1.1 进程之间的通信	205
5.1.2 因特网的运输层协议	207
5.1.3 运输层的复用与分用	208
5.2 用户数据报协议 (UDP)	209
5.2.1 UDP 概述	209
5.2.2 UDP 报文的首部格式	210
5.3 传输控制协议 (TCP)	211
5.3.1 TCP 的主要特点	212
5.3.2 TCP 报文段的格式	213
5.3.3 TCP 的可靠传输	216
5.3.4 TCP 的流量控制	222
5.3.5 TCP 的连接管理	224
5.4 拥塞控制	228
5.4.1 拥塞的原因与危害	228
5.4.2 拥塞控制的基本方法	229
5.4.3 TCP 的拥塞控制	231
本章的重要概念	235
习题	236
第 6 章 网络应用	239
6.1 应用层概述	239
6.1.1 网络应用程序体系结构	240
6.1.2 应用层协议	241
6.1.3 选择运输层协议	242
6.2 域名系统 (DNS)	243
6.2.1 域名系统概述	243
6.2.2 因特网的域名结构	244
6.2.3 域名服务器	245
6.2.4 域名解析的过程	247
6.2.5 DNS 资源记录	249
6.3 万维网 (WWW)	249
6.3.1 万维网概述	249
6.3.2 统一资源定位符 (URL)	251
6.3.3 超文本传送协议 (HTTP)	252
6.3.4 万维网的文档	258
6.3.5 移动 Web	261
6.3.6 万维网搜索引擎	262
6.3.7 博客与微博	264
6.4 电子邮件	266
6.4.1 电子邮件系统的组成	266
6.4.2 简单邮件传送协议 (SMTP)	268
6.4.3 电子邮件的信息格式	270
6.4.4 邮件读取协议 POP3 和 IMAP	270
6.4.5 基于万维网的电子邮件	271
6.4.6 通用因特网邮件扩展 (MIME)	272
6.5 文件传送协议 (FTP)	275
6.6 远程终端协议 (TELNET)	277
6.7 动态主机配置协议 (DHCP)	279
6.8 P2P 文件共享	280
6.8.1 P2P 文件分发	281
6.8.2 在 P2P 对等方中搜索对象	282
6.8.3 案例: BitTorrent	285
6.9 多媒体网络应用	286
6.9.1 改善因特网服务	286
6.9.2 实时运输协议 (RTP)	288
6.9.3 流式存储音频/视频	289
6.9.4 流式实况音频/视频	292
6.9.5 实时交互音频/视频	293
6.10 网络应用编程接口	295
6.10.1 TCP 套接字编程	296
6.10.2 一个简单的代码实例	297
本章的重要概念	299
习题	301

第7章 网络安全	304
7.1 网络安全概述.....	304
7.1.1 安全威胁.....	304
7.1.2 安全服务.....	306
7.2 机密性与密码学.....	306
7.2.1 对称密钥密码体制.....	307
7.2.2 公钥密码体制.....	308
7.3 完整性与鉴别.....	309
7.3.1 报文摘要和报文鉴别码.....	309
7.3.2 数字签名.....	311
7.3.3 实体鉴别.....	312
7.4 密钥分发与公钥认证.....	313
7.4.1 对称密钥的分发.....	313
7.4.2 公钥的签发与认证.....	314
7.5 访问控制.....	315
7.5.1 访问控制的基本概念.....	315
7.5.2 访问控制策略.....	316
7.6 网络各层的安全实例.....	317
7.6.1 物理层实例：信道加密机.....	318
7.6.2 数据链路层实例：802.11i.....	318
7.6.3 网络层实例：IPsec.....	321
7.6.4 运输层实例：SSL/TLS.....	323
7.6.5 应用层实例：PGP.....	324
7.7 系统安全：防火墙与入侵 检测系统.....	325
7.7.1 防火墙.....	326
7.7.2 入侵检测系统.....	328
7.8 网络攻击及其防范.....	329
7.8.1 网络扫描.....	329
7.8.2 网络监听.....	331
7.8.3 拒绝服务攻击.....	332
本章的重要概念.....	334
习题.....	336
附录 A 最短路径算法—— Dijkstra 算法	337
附录 B 配套实验建议	340
附录 C 英文缩写词	346

本章是全书的概要。在本章的开始,先介绍计算机网络在信息时代的作用。接着对因特网进行了概述,包括因特网发展的三个阶段及今后的发展趋势。然后讨论了因特网的组成,包括因特网的边缘部分和核心部分。在因特网核心部分讨论了计算机网络中的一个重要概念——分组交换。在讨论了计算机网络的分类及主要性能指标后,论述了整个课程都要用到的重要概念——计算机网络的体系结构。最后,简要介绍了计算机网络在我国的发展和两个重要的新兴网络技术:云计算和物联网。

本章最重要的内容如下。

(1) 分组交换的概念,这是现代计算机网络的技术基础。

(2) 计算机网络的一些性能指标。

(3) 计算机网络的分层体系结构,包括协议和服务的概念。这部分内容比较抽象。在没有了解具体的计算机网络之前,很难一下子就完全掌握这些很抽象的概念。但这些抽象的概念又能够指导后续的学习,因此也必须先从这些概念学起。建议读者在学习到后续章节时,经常回过头来复习一下本章中的相关基本概念。这对掌握整个计算机网络的概念是有帮助的。

1.1 计算机网络在信息时代中的作用

21世纪是以数字化、网络化、信息化为重要特征的信息时代。作为信息的最大载体和传输媒介,网络已成为这个信息时代的核心。以因特网(Internet)为代表的计算机网络自20世纪90年代以来迅猛发展,从最初的教育科研网络逐步发展成为全球性商业网络,并以远远超过人们预期的速度和力量从根本上改变着我们的生活。毫不夸张地说,因特网是人类自印刷术发明以来在通信方面的最大变革。现在因特网已成为全球性的**信息服务基础设施**的雏形。全世界所有发达国家和许多发展中国家都纷纷研究和制订本国建设信息基础设施的计划。这使得计算机网络的发展进入了一个新的历史阶段,变成了人尽皆知并且备受关注的热门学科。

计算机网络与传统电话网和有线电视网最大的不同在于计算机网络的终端设备是功能强大且具有智能的计算机。利用计算机网络,计算机上运行的包括电子邮件、万维网冲浪、信息搜索、即时通信、网络电话、网络电视、网络游戏、文件共享等在内的各种应用程序通过彼此间的通信为用户提供了更加丰富多彩的服务和应用。我们

在讨论计算机网络时，不仅仅包括计算机网络提供的数据通信服务，还包括这些丰富多彩的网络应用。事实上，计算机网络已由一种通信基础设施发展成为一种重要的信息服务基础设施。如今的我们很难想象没有网络的日子。网络，已经像水、电、煤气这些基础设施一样，成为我们生活中不可或缺的一部分。

计算机网络为我们提供浏览信息和发布信息的平台。文本、声音、图像、视频；电子报纸、电子期刊、电子书籍；政治、经济、社会、生活、军事、体育、娱乐；浏览各类万维网网站，主动推送用户关注的内容，使用谷歌、百度等搜索引擎搜索感兴趣的信息。计算机网络以各种各样的形式和浏览手段向我们提供着各种各样的信息。而个人网站、博客、微博、电子公告栏等各种信息发布平台让信息时代的每个人不仅可以看，还可以畅所欲言，这是像报纸、广播、电视这些传统信息传媒无法实现的事情。

计算机网络为我们提供通信和交流的平台。从早期兴起的电子邮件、网络电话，到今天以 QQ、MSN 为代表的各种即时通信工具，在网络世界里将人们的距离拉得越来越近。即时通信工具的用户不仅可以发送各种媒体形式的消息，还可以打电话和视频聊天；不仅可以实现一对一的交流，还可以实现讨论版、视频会议等形式的多人同时交互。2011 年，我国腾讯公司推出的网络社交软件“微信”已风靡整个华人世界，成为脸书（Facebook），推特（Twitter）等世界著名社交软件强有力的竞争对手，它集成了及时消息、短信留言、文件共享、信息发布、讨论版等多种功能，为我们的零距离交流提供了便捷。

计算机网络为我们提供休闲和娱乐的平台。因特网不仅提供了大量音频和视频资源可供用户下载后播放，用户还可以通过网络随时在线点播各种音频和视频节目。网络电视（IPTV）现在已成为传统有线电视最大的竞争对手。除此之外，网络还为我们提供了大量精彩的令人流连忘返的互动网络游戏，成为许多人（特别是年轻人）最为喜爱的娱乐活动之一。

计算机网络为我们提供资源共享的平台。从过去通过文件传输软件共享远程文件服务器上的文件，到后来因特网上广泛流行的 P2P 文件共享；从最初办公室内的同事通过网络共用一台打印机，到今天所有联网计算机均可方便地共享网络中的多种计算资源、存储资源和信息资源。通过网络可共享的资源种类越来越丰富，共享方式越来越便捷。近年来，持续升温的云计算（Cloud Computing）通过网络以按需、易扩展的方式提供安全、快速、便捷的数据存储和网络计算服务，使人们能像使用自来水一样方便地使用网络中的各种资源。利用云计算可将大量的用户数据、应用软件和计算任务放置在“云”端，从而使用户终端的计算能力和存储能力得到无限放大。

计算机网络为我们提供电子商务的平台。网络技术的发展使我们能够将现实世界中的银行、商场、书店、超市、火车站售票厅、股票交易所、拍卖市场等统统搬到网上。不用你辛苦地跑出去“货比三家”，通过方便地查询比较，瞬间就能把性价比最高的商品搜寻出来；不用去银行、火车站排长队，轻点鼠标就完成各类事务。应有尽有的电子商务让生活变得方便，让宅男宅女们“足不出户”的梦想成为现实。在网络时代，不会网上购物、网上购票、网上转账，将会发现生活变得越来越不便。如今不会网上打车的人们已经开始面临打车难的问题。

计算机网络为我们提供远程协作的平台。计算机网络使得千里之遥的人们可以相互配合、协同工作。应用最为广泛的远程协作包括远程教育和远程医疗。远程教育打破了传统教育的时间、空间限制，

身处全球各地的学生可以相聚在网上课堂，教师和学生可以共同完成一个公式的推导或是一个实验的演示。远程医疗让珍稀的优秀医疗资源被充分利用，全球各地的心脏专家可以通过网络为一个患儿提供专家答疑、远程会诊等服务，甚至可以共同指导一次心脏移植手术。

计算机网络为我们提供网上办公的平台。通过计算机网络，政府部门的电子政务系统向公众提供了在线咨询、网上申报、审批、许可证申领、注册、年检、招商、投诉、举报等政府服务。大型公司通常拥有网上办公系统，以满足公司内部财务、税务、行政、资产等管理的需要。大学校园网上的办公系统通常包括选课、成绩单填报、网上评教评学、科研项目审批、报奖、科研经费报账、设备报修等。各种网上办公系统为我们提供了更加快捷、方便的服务。

计算机网络的用途数不胜数，并且随着技术的发展，计算机网络已从互连传统服务器、桌面计算机，到互连手机、个人数字助理等移动便携式计算设备，并逐步扩展到互连各种家用电器、环境传感器等非传统计算设备，甚至是所有可标识的“物”。以互联网为基础逐渐发展起来的**物联网（Internet of Things）**就是要实现“物物相连的互联网”，近几年越来越受到全球的广泛关注。物联网把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中，然后将“物联网”与现有的互联网整合起来，实现人类社会与物理系统的整合。物联网的发展和成熟必将给我们的生活带来一次全新的变革。

计算机网络从根本上改变了人类的生活，在给我们带来极大便利的同时，也带来了一些不和谐的元素：肆意攻击正规网站的黑客，通过网络大肆传播的计算机病毒，利用网络窃取国家机密或实施诈骗的罪犯，以营利为唯一目的缺少社会良知的色情网站经营者，在网络上流传的形形色色的谣言，沉溺于网络游戏、流连于网吧的青少年……但是，瑕不掩瑜，计算机网络给社会带来的积极作用毫无疑问远远多于消极作用。

因特网是当今世界上最大的计算机网络，也是我们接触最多的计算机网络，下面我们开始简单地介绍什么是因特网及因特网的主要构件，以便对计算机网络有一个最初步的了解。

1.2 因特网概述

1.2.1 网络的网络

起源于美国的因特网现已发展成为世界上最大的国际性计算机互联网^①。

我们先给出关于网络、互联网（互连网）及因特网的一些最基本的概念。

网络（Network）由若干**结点（Node）**^②和连接这些结点的**链路（Link）**组成。网络中的结点可以是计算机、集线器、交换机或路由器等（在后续的两章我们将会介绍集线器、交换机和路由器等设备的作用）。图 1-1（a）给出了一个具有 5 个结点和 4 条链路的网络。我们看到，有 4 台计算机通过 4 条

① 1994 年全国自然科学名词审定委员会公布的名词中（《计算机科学技术名词》，科学出版社，1994 年 12 月），interconnection 是“互连”，interconnection network 是“互连网络”，internetworking 是“网际互连”。但 1997 年 8 月全国科学技术名词审定委员会在其推荐名（一）中，将 internet, internetwork, interconnection network 均推荐译名为“互联网”，而在注释中说“又称互连网”，即“互联网”与“互连网”这两个名词均可使用，但请注意，“联”和“连”并不是同义字。

② 根据《计算机科学技术名词》第 112 页，名词 node 的标准译名是：节点 08.078，结点 12.023。再查一下 12.023 这一节是**计算机网络**，因此，在计算机网络领域，node 显然应当译为结点，而不是节点。但目前在我国各种文献和书籍中使用最多的仍是“节点”。在出现树状数据结构时，树上的 node 则应当译为“节点”。

链路连接到一个集线器上，构成了一个简单的网络。在很多情况下，我们可以用一朵云表示一个网络。这样做的好处是，可以不去关心网络中的细节问题，因而可以集中精力研究涉及与网络互连有关的一些问题。

网络还可以通过路由器互连起来，这样就构成了一个覆盖范围更大的网络，即互联网（或互连网），如图 1-1（b）所示。因此互联网是“网络的网络（Network of Networks）”。

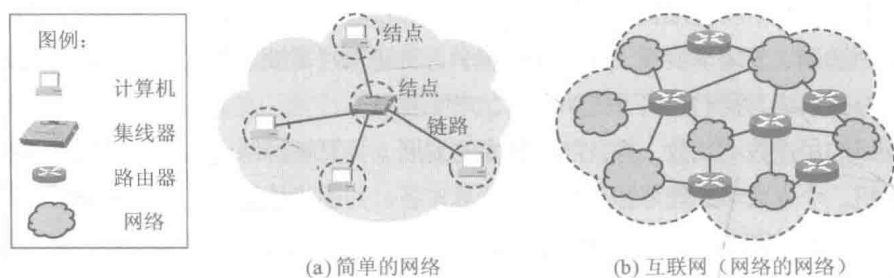


图1-1 网络示意图

因特网（Internet）是世界上最大的互连网络（用户数以亿计，互连的网络数以百万计）。习惯上，大家把连接在因特网上的计算机都称为**主机（Host）**。路由器是一种特殊的计算机，它是连接不同网络的专用设备，用户并不直接使用路由器处理信息。因此不能把路由器称为主机。因特网也常常用一朵云来表示，图 1-2 表示许多主机连接在因特网上。这种表示方法是把主机画在网络的外边，而网络内部的细节（即路由器怎样把许多网络连接起来）往往就省略了。

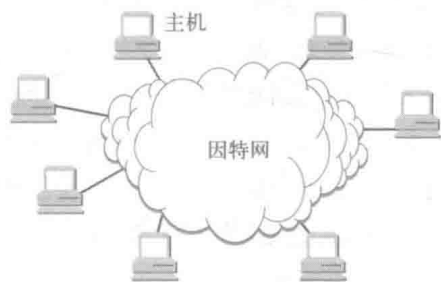


图1-2 因特网与连接的主机

因此，我们可以先初步建立这样的基本概念：**网络把许多计算机连接在一起，而互联网则把许多网络连接在一起。**因特网是世界上最大的互联网。有时，为了避免意义上的不明确，我们把直接连接计算机的网络称为**物理网络**，而互联网是由物理网络集合构成的**逻辑网络**。

还有一点也必须注意，就是网络互连并不仅仅是把计算机简单地在物理上连接起来，因为这样做并不能达到计算机之间能够相互交换信息的目的。我们还必须在计算机上安装许多使计算机能够交换信息的软件才行。因此当我们谈到网络互连时，就隐含地表示在这些计算机上已经安装了适当的软件，因而在计算机之间可以通过网络交换信息。

本书中所谈到的网络都指的是**计算机网络**。因特网就是世界上最大的计算机网络。

1.2.2 因特网发展的三个阶段

因特网的基础结构大体上经历了三个阶段的演进。但这三个阶段在时间划分上是有部分重叠的，这是因为网络的演进是逐渐的而不是在某个日期突然发生了变化。

第一阶段——从单个网络 ARPANET 向互联网发展。1969 年，美国国防部创建的第一个分组交换网 ARPANET 最初只是一个单个的分组交换网，所有要连接在 ARPANET 上的主机都直接与就近的结点交换机相连。但到了 20 世纪 70 年代中期，人们已认识到不可能仅使用一个单独的网络来满足所有

的通信问题。这就导致了后来互连网的出现。这样的互连网就成为现在因特网 (Internet) 的雏形。1983 年, TCP/IP 协议成为 ARPANET 上的标准协议, 使得所有使用 TCP/IP 协议的计算机都能利用互连网相互通信, 因而人们就把 1983 年作为因特网的诞生时间。1990 年 ARPANET 正式宣布关闭, 因为它的实验任务已经完成。

请读者注意以下两个意思相差很大的名词: internet 和 Internet。

以小写字母 i 开始的 **internet** (互联网或互连网) 是一个通用名词, 它泛指由多个计算机网络互连而成的网络。在这些网络之间的通信协议 (即通信规则) 可以是任意的。

以大写字母 I 开始的 **Internet** (因特网) 则是一个专用名词, 它指当前全球最大的、开放的、由众多网络相互连接而成的特定计算机网络, 它采用 TCP/IP 协议簇作为通信的规则, 且其前身是美国的 ARPANET。

第二阶段——逐步建成了三级结构的因特网。从 1985 年起, 美国国家科学基金会 (National Science Foundation, NSF) 就围绕 6 个大型计算机中心建设计算机网络, 即国家科学基金网 NSFNET。它是一个三级计算机网络, 分为主干网、地区网和校园网 (或企业网)。这种三级计算机网络覆盖了全美国主要的大学和研究所, 并且成为因特网中的主要组成部分。1991 年, NSF 和美国的其他政府机构开始认识到, 因特网必将扩大其使用范围, 不应仅限于大学和研究机构。世界上的许多公司纷纷接入到因特网, 使网络上的通信量急剧增大, 因特网的容量已满足不了需要。于是美国政府决定将因特网的主干网转交给私人公司来经营, 并开始对接入因特网的单位收费。1992 年因特网上的主机超过 100 万台。1993 年因特网主干网的速率提高到 45 Mbit/s (T3 速率)。

第三阶段——逐渐形成了多层次 ISP 结构的因特网。从 1993 年开始, 由美国政府资助的 NSFNET 逐渐被若干个商用的因特网主干网替代, 而政府机构不再负责因特网的运营, 而是让各种因特网服务提供商 (Internet Service Provider, ISP) 来运营。

ISP 可以从因特网管理机构申请到成块的 IP 地址 (因特网上的主机都必须有 IP 地址才能进行通信, 这一概念我们将在 4.2 节详细讨论), 同时拥有通信线路 (大的 ISP 自己建设通信线路, 小的 ISP 则向电信公司租用通信线路), 以及路由器等连网设备。任何机构和个人只要向 ISP 交纳规定的费用, 就可从 ISP 得到所需的 IP 地址, 并通过该 ISP 接入到因特网。我们通常所说的“上网”就是指“通过某个 ISP 接入到因特网”。IP 地址的管理机构不会把一个单个的 IP 地址分配给某个单个用户 (不“零售” IP 地址), 而是把一批 IP 地址有偿分配给经审查合格的 ISP (只“批发” IP 地址)。从以上所讲的可以看出, 现在的因特网已不是某个单个组织所拥有, 而是全世界无数大大小小的 ISP 所共同拥有。图 1-3 说明了用户要通过 ISP 才能连接到因特网。

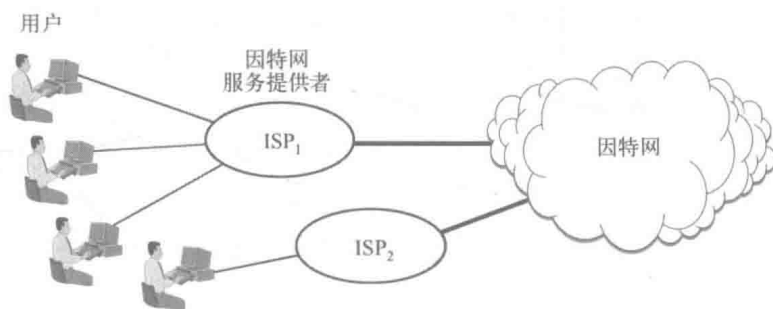


图1-3 用户通过ISP接入因特网

根据提供服务的覆盖面积大小及所拥有的 IP 地址数目的不同，ISP 也分成不同的层次。图 1-4 是具有三层结构的因特网的概念示意图，但这种示意图并不表示各 ISP 的地理位置关系。

在图中，最高级别的第一层 ISP (tier-1 ISP)^①的服务面积最大，一般都能够覆盖国际性区域范围，并拥有高速链路和交换设备。第一层 ISP 通常也被称为因特网主干网 (Internet Backbone)，并直接与其他第一层 ISP 相连。第二层 ISP 和一些大公司都是第一层 ISP 的用户，通常具有区域性或国家性覆盖规模，与少数第一层 ISP 相连接。第三层 ISP 又称为本地 ISP，它们是第二层 ISP 的用户，且只拥有本地范围的网络。一般的校园网或企业网，以及住宅用户和无线移动用户等，都是第三层 ISP 的用户。ISP 向它的用户收费，费用通常根据连接两者的带宽而定。一个 ISP 也可以选择与其他同层次 ISP 相连，当两个同层次 ISP 彼此直接相连时，它们被称为彼此是对等 (Peer) 的。

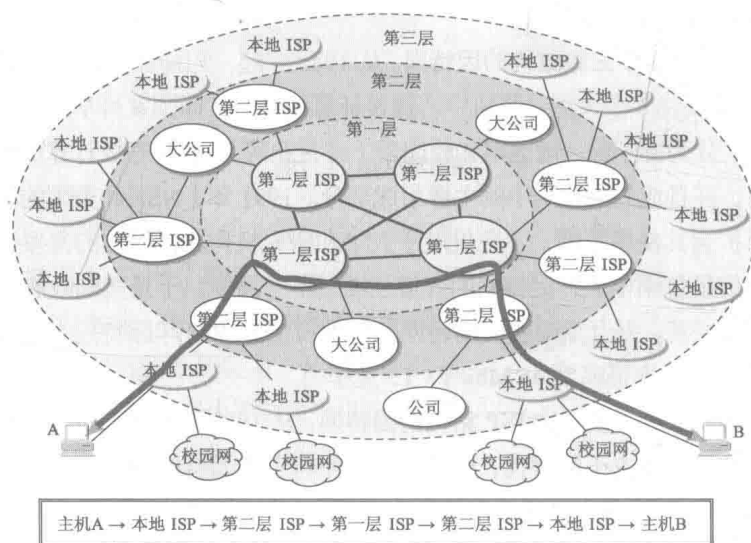


图1-4 基于ISP的三层结构的因特网的概念示意图

从图 1-4 中可以看出，因特网逐渐演变成基于 ISP 的多层次结构网络。但今天的因特网由于规模太大，已经很难对整个网络的结构给出细致的描述。但下面这种情况是经常遇到的，就是相隔较远的两台主机的通信可能需要经过多个 ISP(图 1-4 中的灰色粗线表示主机 A 要经过许多不同层次的 ISP 才能把数据传送到主机 B)。因此，当主机 A 和另一台主机 B 通过因特网进行通信时，实际上也就是它们通过许多中间的 ISP 进行通信。

顺便指出，一旦某个用户能够接入到因特网，那么他就能够成为一个 ISP。他需要做的就是购买一些如调制解调器或路由器这样的设备，让其他用户能够和他相连接。因此，图 1-4 所示的仅仅是个示意图，一个 ISP 可以很方便地在因特网拓扑上增添新的层次和分支。

因特网已经成为世界上规模最大和增长速率最快的计算机网络，没有人能够准确说出因特网究竟有多大。因特网的迅猛发展始于 20 世纪 90 年代。由欧洲原子核研究组织开发的万维网 (World Wide Web, WWW) 在因特网上被广泛使用，大大方便了广大非网络专业人员对网络的使用，成为因特网的这种指数级增长的主要驱动力。万维网的站点数目也急剧增长。在因特网上的数据通信量每月约增加 10%。

^① 第一层 ISP 实际上就是第一级 ISP (字典对 tier 的解释有 rank 也有 layer)。不过这并不需要由哪一个组织批准某个 ISP 是属于哪一层 (或级)。

表 1-1 是因特网上的网络数、主机数、用户数和管理机构数的简单概括（统计到 2005 年）。

表 1-1 因特网的发展概况

年 份	网 络 数	主 机 数	用 户 数	管理机构数
1980	10	10^2	10^2	10^0
1990	10^3	10^5	10^6	10^1
2000	10^5	10^7	10^8	10^2
2005	10^6	10^8	10^9	10^3

由于因特网存在着技术上和功能上的不足，加上用户数量猛增，使得现有的因特网不堪重负，因此 1996 年美国的一些研究机构和 34 所大学提出研制和建造新一代因特网的设想，并推出了“下一代因特网计划”（Next Generation Internet Initiative, NGI）计划。

NGI 计划要实现的主要目标如下所述。

(1) 开发下一代网络结构，提供更高的连接速率，端到端的传输速率达到 100 Mbit/s 至 10 Gbit/s。

(2) 使用更加先进的网络服务技术和开发许多带有革命性的应用，如远程医疗、远程教育、有关能源和地球系统的研究、高性能的全球通信、环境监测和预报、紧急情况处理等。

(3) 使用超高速全光网络，能实现更快速交换和路由选择，同时具有为一些实时（Real Time）应用保留带宽的能力。

(4) 对整个因特网的管理和保证信息的可靠性及安全性方面进行较大的改进。

目前，中国也在积极开展下一代互联网的研究，实施中国下一代互联网（China Next Generation Internet, CNGI）示范工程，目的是建设下一代互联网示范平台，开展下一代互联网关键技术研究、关键设备和软件的开发和应用示范，同时积极参加相关国际组织，开展国际合作，在下一代互联网 IP 地址分配、域名根服务器设置及有关国际标准制定等方面充分发挥我国科技界和产业界的作用。

1.2.3 因特网的标准化工作

因特网的标准化工作对因特网的发展起到了非常重要的作用。我们知道，标准化工作的好坏对一种技术的发展有着很大的影响。缺乏国际标准将会使技术的发展处于比较混乱的状态，而盲目自由竞争的结果很可能形成多种技术体制并存且互不兼容的状态（如过去形成的彩电三大制式），给用户带来较大的不方便。但国际标准的制定又是一个非常复杂的问题，这里既有很多技术问题，也有很多属于非技术问题，如不同厂商之间经济利益的争夺问题等。标准制定的时机也很重要。标准制定得过早，技术还没有发展到成熟水平，技术比较陈旧的标准限制了产品的技术水平。反之，若标准制定得太迟，也会使技术的发展无章可循，造成产品的互不兼容，因而也会影响技术的发展。因特网在制定其标准上的一个很大的特点是面向公众。因特网所有的 RFC 技术文档都可从因特网上免费下载，而且任何人都可以随时用电子邮件发表对某个文档的意见或建议。这种方式更加促进了因特网的迅速发展。

1992 年，由于因特网不再归美国政府管辖，因此成立了一个国际性组织叫作因特网协会（Internet Society, ISOC），以便对因特网进行全面管理，以及在世界范围内促进其发展和使用。ISOC 下面有一个技术组织叫作因特网体系结构委员会（Internet Architecture Board, IAB），负责管理因特网有关协议的开发。IAB 下面又设有两个工程部：

(1) 因特网工程部 (Internet Engineering Task Force, IETF) ——负责研究一些短期和中期的工程问题, 主要是针对协议的开发和标准化;

(2) 因特网研究部 (Internet Research Task Force, IRTF) ——从事理论方面的研究和开发一些需要长期考虑的问题。

所有的因特网标准都是以 RFC 文档的形式在因特网上发表。RFC (Request For Comments) 的意思是“请求评论”。所有的 RFC 文档都可从因特网上免费下载 (<http://www.ietf.org/rfc.html>)。但应注意, 并非所有的 RFC 文档都是因特网标准, 只有一小部分 RFC 文档最后才能变成因特网标准。RFC 按收到时间的先后从小到大编上序号 (即 RFC xxxx, 这里的 xxxx 是阿拉伯数字)。一个 RFC 文档更新后就使用一个新的编号, 并在文档中指出原来老编号的 RFC 文档已成为陈旧的。

制订因特网的正式标准要经过以下 4 个阶段。

- (1) 因特网草案 (Internet Draft) (在这个阶段还不是 RFC 文档);
- (2) 建议标准 (Proposed Standard) (从这个阶段开始就成为 RFC 文档);
- (3) 草案标准 (Draft Standard);
- (4) 因特网标准 (Internet Standard)。

1.3 因特网的组成

因特网的拓扑结构虽然非常复杂, 并且在地理上覆盖了全球, 但从功能上看, 可以划分为以下的两大块。

(1) **边缘部分**。由所有连接在因特网上的主机组成。这部分是用户直接使用的, 用来运行各种网络应用, 为用户直接提供电子邮件、文件传输、网络音/视频等服务。

(2) **核心部分**。由大量网络和连接这些网络的路由器组成。这部分是为边缘部分提供服务的 (提供连通性和数据交换)。

图 1-5 给出了这两部分的示意图。下面分别讨论这两部分的作用和工作方式。

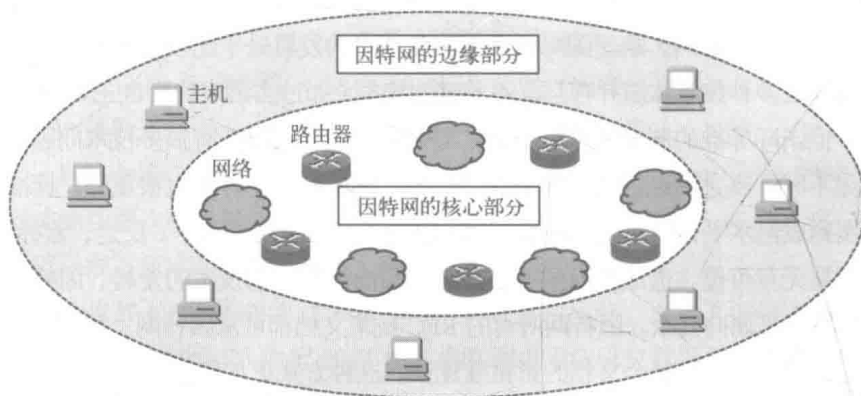


图1-5 因特网的边缘部分与核心部分

1.3.1 因特网的边缘部分

处在因特网边缘的部分就是连接在因特网上的所有主机。这些主机又称为端系统 (End System),