



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计算机网络

(第5版)

谢希仁 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

计 算 机 网 络

(第 5 版)

谢希仁 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书自 1989 年首次出版以来,于 1994 年、1999 年和 2003 年分别出了修订版。2006 年 8 月本教材通过了教育部的评审,被纳入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。《计算机网络》的第 5 版,在内容和结构方面都有了很大的修改。

全书分为 10 章,比较全面系统地介绍了计算机网络的发展和原理体系结构、物理层、数据链路层、网络层、运输层、应用层、网络安全、因特网上的音频/视频服务、无线网络和下一代因特网等内容。各章均附有练习题。此外,附录 A 给出了部分习题的答案和提示。随书配套的光盘中,有全书课件和作者教学中经常遇到的 150 多个问题及解答,计算机网络最基本概念的演示(PowerPoint 文件),以及本书引用的全部 RFC 文档等,供读者参阅。

本书的特点是概念准确、论述严谨、内容新颖、图文并茂。突出基本原理和基本概念的阐述,同时力图反映出计算机网络的一些最新发展。本书可供电气信息类和计算机类专业的大学本科生和研究生使用,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。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络/谢希仁编著. —5 版. —北京:电子工业出版社,2008.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-121-05386-3

I. 计… II. 谢… 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(2007)第 178434 号

责任编辑:杜振民

印 刷:北京市铁成印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:26 字数:645 千字

印 次:2010 年 8 月第 13 次印刷

定 价:35.00 元(含光盘 1 张,ISBN 978-7-900222-91-6)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

本教材第 5 版的编写大纲于 2006 年 8 月通过了教育部的评审, 被纳入普通高等教育“十一五”国家级教材规划。由于本教材所讲授的是计算机网络最基本的原理, 因此教材中保留了第 4 版中最主要的内容。同时, 新版教材也反映了因特网的发展状况, 增加了许多新内容, 更加适应计算机网络教学的要求。下面是一些主要的变化。

第 1 章概述, 增加了因特网的边缘部分与核心部分的介绍, 以及 P2P 对等通信方式。第 2 章物理层, 在篇幅上进行了适当的精简。第 3 章数据链路层, 在结构上的改动较大, 把第 4 版中第 4 章的有线局域网部分并入现在的第 3 章, 而数据链路层可靠传输的部分移到第 5 章运输层中。这样的安排比较符合因特网的实际情况。第 4 章网络层, 主要讲述网络互连问题。新版取消了广域网这一章, 但把其中的数据报与虚电路的比较以及拥塞控制的基本概念作为网络层中的内容。取消了对 X.25 网、帧中继网和 ATM 网的介绍, 并不影响读者对整个计算机网络的学习。网络层中的 IPv6 移到第 10 章中讲授。第 5 章运输层, 把可靠传输的基本概念和 TCP 的滑动窗口机制放在一起讲, 可使读者对可靠传输有一个比较完整的概念。第 6 章应用层的变化不大, 但 DNS 部分进行了一些修改。第 7 章网络安全, 适当减少一些密码学的内容, 增加一些网络安全的内容。第 8 章因特网上的音频/视频服务是新增加的, 但有些内容取自第 4 版的第 10 章, 并且进行了充实。第 9 章无线网络, 除重点讨论无线局域网外, 还介绍了无线个人区域网 WPAN 和无线城域网 WMAN。第 10 章下一代因特网, 除了介绍 IPv6 外, 还阐述 MPLS 以及 P2P 文件共享的基本工作原理。

本教材的参考学时数为 70 学时左右。在课程学时数较少的情况下可以只学习前六章, 这样仍可获得有关因特网的最基本的知识。

书后共有三个附录, 从附录 A 是部分习题解答 (而不是详细解题步骤)、附录 B 是英文缩写词, 附录 C 是参考文献与网址。

附在书中的 CD-ROM 包含以下一些内容: 一、常见问题及解答。二、计算机网络最基本概念的演示 (Powerpoint 文件)。三、全书的课件 (即电子教案)。四、本书所引用的 RFC 文档。考虑到学习本课程的学生不太可能有时间阅读大量的 RFC 文档, 因此在光盘中只给出本书所引用的、最为重要的一些。若需要查阅其他的 RFC 文档, 可自己上网下载。五、第 4 版教材中的第 3 章、第 5 章和第 7 章中的部分内容, 以及几个附录。

对于最基本的内容, 在目录中的相应章节前面加上一个星号 “*”。

这次的修订工作得到解放军理工大学“计算机网络原理”优质课程建设计划和精品教材计划的资助。对本书的修改提出了很多宝贵的意见有: 陈鸣、胡谷雨、张兴元、齐望东、吴礼发教授, 杨心强、高素青、胥光辉、谢钧、端义峰副教授。吴自珠副教授一直对本教材的出版给予全力支持。对这些, 编者均表示诚挚的谢意。由于编者水平所限, 书中难免还存在一些缺点和错误, 殷切希望广大读者批评指正。

谢希仁

2007 年 5 月

于解放军理工大学指挥自动化学院, 南京

编者的电子邮件地址: xiexr@public1.ptt.js.cn

(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, 请谅解。)

目 录

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	(2)
1.2.1 网络的网络	(2)
1.2.2 因特网发展的三个阶段	(3)
1.2.3 因特网的标准化工作	(6)
*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 计算机网络在我国的发展	(15)
1.5 计算机网络的类别	(17)
1.5.1 计算机网络的定义	(17)
1.5.2 几种不同类别的网络	(17)
*1.6 计算机网络的性能	(18)
1.6.1 计算机网络的性能指标	(18)
1.6.2 计算机网络的非性能特征	(23)
*1.7 计算机网络体系结构	(23)
1.7.1 计算机网络体系结构的形成	(23)
1.7.2 协议与划分层次	(25)
1.7.3 具有五层协议的体系结构	(27)
1.7.4 实体、协议、服务和服务访问点	(30)
1.7.5 TCP/IP 的体系结构	(32)
习题	(33)
第 2 章 物理层	(36)
*2.1 物理层的基本概念	(36)
*2.2 数据通信的基础知识	(36)
2.2.1 数据通信系统的模型	(36)
2.2.2 有关信道的几个基本概念	(38)
2.2.3 信道的极限容量	(38)
2.3 物理层下面的传输媒体	(40)
2.3.1 导向传输媒体	(40)
2.3.2 非导向传输媒体	(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	(50)
2.4.3	码分复用	(51)
*2.5	数字传输系统	(53)
*2.6	宽带接入技术	(56)
2.6.1	xDSL 技术	(56)
2.6.2	光纤同轴混合网 (HFC 网)	(59)
2.6.3	FTTx 技术	(61)
	习题	(61)
第 3 章	数据链路层	(63)
*3.1	使用点对点信道的数据链路层	(64)
3.1.1	数据链路和帧	(64)
3.1.2	三个基本问题	(65)
*3.2	点对点协议 PPP	(70)
3.2.1	PPP 协议的特点	(70)
3.2.2	PPP 协议的帧格式	(73)
3.2.3	PPP 协议的工作状态	(74)
*3.3	使用广播信道的数据链路层	(76)
3.3.1	局域网的数据链路层	(76)
3.3.2	CSMA/CD 协议	(79)
3.4	使用广播信道的以太网	(84)
*3.4.1	使用集线器的星形拓扑	(84)
3.4.2	以太网的信道利用率	(85)
*3.4.3	以太网的 MAC 层	(86)
*3.5	扩展的以太网	(91)
3.5.1	在物理层扩展以太网	(91)
3.5.2	在数据链路层扩展以太网	(92)
*3.6	高速以太网	(100)
3.6.1	100BASE-T 以太网	(100)
3.6.2	吉比特以太网	(101)
3.6.3	10 吉比特以太网	(102)
3.6.4	使用高速以太网进行宽带接入	(103)
3.7	其他类型的高速局域网或接口	(104)
	习题	(105)
第 4 章	网络层	(108)
*4.1	网络层提供的两种服务	(108)
*4.2	网际协议 IP	(110)
4.2.1	虚拟互连网络	(110)
4.2.2	分类的 IP 地址	(113)
4.2.3	IP 地址与硬件地址	(117)

4.2.4	地址解析协议 ARP 和逆地址解析协议 RARP	(119)
4.2.5	IP 数据报的格式	(122)
4.2.6	IP 层转发分组的流程	(126)
*4.3	划分子网和构造超网	(128)
4.3.1	划分子网	(128)
4.3.2	使用子网时分组的转发	(133)
4.3.3	无分类编址 CIDR (构造超网)	(135)
*4.4	网际控制报文协议 ICMP	(140)
4.4.1	ICMP 报文的种类	(141)
4.4.2	ICMP 的应用举例	(143)
*4.5	因特网的路由选择协议	(144)
4.5.1	有关路由选择协议的几个基本概念	(144)
4.5.2	内部网关协议 RIP	(147)
4.5.3	内部网关协议 OSPF	(152)
4.5.4	外部网关协议 BGP	(156)
4.5.5	路由器的构成	(160)
4.6	IP 多播	(164)
4.6.1	IP 多播的基本概念	(164)
4.6.2	在局域网上进行硬件多播	(165)
4.6.3	网际组管理协议 IGMP 和多播路由选择协议	(166)
4.7	虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT	(171)
4.7.1	虚拟专用网 VPN	(171)
4.7.2	网络地址转换 NAT	(173)
	习题	(175)
第 5 章	运输层	(180)
*5.1	运输层协议概述	(180)
5.1.1	进程之间的通信	(180)
5.1.2	运输层的两个主要协议	(182)
5.1.3	运输层的端口	(182)
*5.2	用户数据报协议 UDP	(184)
5.2.1	UDP 概述	(184)
5.2.2	UDP 的首部格式	(185)
*5.3	传输控制协议 TCP 概述	(187)
5.3.1	TCP 最主要的特点	(187)
5.3.2	TCP 的连接	(188)
*5.4	可靠传输的工作原理	(189)
5.4.1	停止等待协议	(189)
5.4.2	连续 ARQ 协议	(192)
*5.5	TCP 报文段的首部格式	(193)
5.6	TCP 可靠传输的实现	(197)

*5.6.1	以字节为单位的滑动窗口	(197)
*5.6.2	超时重传时间的选择	(200)
5.6.3	选择确认 SACK	(202)
5.7	TCP 的流量控制	(203)
*5.7.1	利用滑动窗口实现流量控制	(203)
5.7.2	必须考虑传输效率	(204)
*5.8	TCP 的拥塞控制	(205)
5.8.1	拥塞控制的一般原理	(205)
5.8.2	几种拥塞控制方法	(207)
5.8.3	随机早期检测 RED	(212)
5.9	TCP 的运输连接管理	(215)
*5.9.1	TCP 的连接建立	(216)
*5.9.2	TCP 的连接释放	(217)
5.9.3	TCP 的有限状态机	(219)
习题		(220)
第 6 章	应用层	(224)
*6.1	域名系统 DNS	(224)
6.1.1	域名系统概述	(224)
6.1.2	因特网的域名结构	(225)
6.1.3	域名服务器	(228)
6.2	文件传送协议	(232)
6.2.1	FTP 概述	(232)
6.2.2	FTP 的基本工作原理	(233)
6.2.3	简单文件传送协议 TFTP	(234)
6.3	远程终端协议 TELNET	(235)
*6.4	万维网 WWW	(236)
6.4.1	万维网概述	(236)
6.4.2	统一资源定位符 URL	(238)
6.4.3	超文本传送协议 HTTP	(239)
6.4.4	万维网的文档	(246)
6.4.5	万维网的信息检索系统	(253)
*6.5	电子邮件	(254)
6.5.1	电子邮件概述	(254)
6.5.2	简单邮件传送协议 SMTP	(257)
6.5.3	电子邮件的信息格式	(259)
6.5.4	邮件读取协议 POP3 和 IMAP	(259)
6.5.5	基于万维网的电子邮件	(260)
6.5.6	通用因特网邮件扩充 MIME	(261)
*6.6	动态主机配置协议 DHCP	(264)
6.7	简单网络管理协议 SNMP	(267)

6.7.1	网络管理的基本概念	(267)
6.7.2	管理信息结构 SMI	(269)
6.7.3	管理信息库 MIB	(272)
6.7.4	SNMP 的协议数据单元和报文	(273)
6.8	应用进程跨越网络的通信	(276)
6.8.1	系统调用和应用编程接口	(276)
6.8.2	几种常用的系统调用	(278)
	习题	(280)
第 7 章	网络安全	(284)
*7.1	网络安全问题概述	(284)
7.1.1	计算机网络面临的安全性威胁	(284)
7.1.2	计算机网络安全的内容	(285)
7.1.3	一般的数据加密模型	(286)
*7.2	两类密码体制	(287)
7.2.1	对称密钥密码体制	(287)
7.2.2	公钥密码体制	(288)
*7.3	数字签名	(289)
*7.4	鉴别	(290)
7.4.1	报文鉴别	(290)
7.4.2	实体鉴别	(291)
*7.5	密钥分配	(293)
7.5.1	对称密钥的分配	(294)
7.5.2	公钥的分配	(296)
7.6	因特网使用的安全协议	(297)
7.6.1	网络层安全协议	(297)
7.6.2	运输层安全协议	(298)
7.6.3	应用层的安全协议	(300)
*7.7	链路加密与端到端加密	(301)
7.7.1	链路加密	(302)
7.7.2	端到端加密	(302)
*7.8	防火墙	(303)
	习题	(304)
第 8 章	因特网上的音频/视频服务	(306)
*8.1	概述	(306)
8.2	流式存储音频/视频	(309)
8.2.1	具有元文件的万维网服务器	(310)
*8.2.2	媒体服务器	(311)
*8.2.3	实时流式协议 RTSP	(311)
*8.3	交互式音频/视频	(312)

8.3.1	IP 电话概述	(313)
8.3.2	IP 电话所需要的几种应用协议	(316)
8.3.3	实时运输协议 RTP	(317)
8.3.4	实时运输控制协议 RTCP	(319)
8.3.5	H.323	(320)
8.3.6	会话发起协议 SIP	(322)
8.4	改进“尽最大努力交付”的服务	(324)
8.4.1	使因特网提供服务质量	(324)
8.4.2	调度和管制机制	(325)
8.4.3	综合服务 IntServ 与资源预留协议 RSVP	(329)
8.4.4	区分服务 DiffServ	(331)
	习题	(333)
第 9 章	无线网络	(336)
9.1	无线局域网 WLAN	(336)
*9.1.1	无线局域网的组成	(336)
9.1.2	802.11 局域网的物理层	(340)
*9.1.3	802.11 局域网的 MAC 层协议	(341)
*9.1.4	802.11 局域网的 MAC 帧	(347)
9.2	无线个人区域网 WPAN	(349)
9.3	无线城域网 WMAN	(352)
	习题	(354)
第 10 章	下一代因特网	(355)
*10.1	下一代网际协议 IPv6 (IPng)	(355)
10.1.1	解决 IP 地址耗尽的措施	(355)
10.1.2	IPv6 的基本首部	(356)
10.1.3	IPv6 的扩展首部	(358)
10.1.4	IPv6 的地址空间	(360)
10.1.5	从 IPv4 向 IPv6 过渡	(364)
10.1.6	ICMPv6	(366)
10.2	多协议标记交换 MPLS	(367)
10.2.1	MPLS 的产生背景	(367)
10.2.2	MPLS 的工作原理	(368)
10.2.3	MPLS 首部的位置与格式	(372)
10.3	P2P 文件共享	(373)
	习题	(375)
附录 A	部分习题的解答	(377)
附录 B	英文缩写词	(391)
附录 C	参考文献与网址	(400)

光盘内容目录

1. 常见问题
2. 计算机网络最基本问题演示
3. 电子教案
4. 本书所引用的 RFC 文档
5. 第 4 版（2003 年）教材中的若干内容
 - 5.1 可靠传输
 - 5.2 广域网
 - 5.3 第 4 版的四个附录
 - 5.3.1 附录 B 随机接入技术：ALOHA
 - 5.3.2 附录 C 综合业务数字网：ISDN
 - 5.3.3 附录 D 关于 ATM 的通信量
 - 5.3.4 附录 E 最短路径算法——Dijkstra 算法

第 1 章 概 述

1.1 计算机网络在信息时代中的作用

我们知道, 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。要实现信息化就必须依靠完善的网络, 因为网络可以非常迅速地传递信息。因此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已经产生了不可估量的影响。

这里所说的网络是指“**三网**”, 即**电信网络、有线电视网络和计算机网络**。这三种网络向用户提供的服务不同。电信网络的用户可得到电话、电报以及传真等服务。有线电视网络的用户能够观看各种电视节目。计算机网络则可使用户能够迅速传送数据文件, 以及从网络上查找并获取各种有用资料, 包括图像和视频文件。这三种网络在信息化过程中都起到十分重要的作用, 但其中发展最快的并起到核心作用的是计算机网络, 而这正是本书所要讨论的内容。随着技术的发展, 电信网络和有线电视网络都逐渐融入了现代计算机网络的技术, 这就产生了“**网络融合**”的概念。

自从上个世纪 90 年代以后, 以**因特网(Internet)**为代表的计算机网络得到了飞速的发展, 已从最初的教育科研网络逐步发展成为商业网络, 并已成为仅次于全球电话网的世界第二大网络。不少人认为现在已经是因特网的时代, 这是因为因特网正在改变着我们工作和生活的各个方面, 它已经给很多国家(尤其是因特网的发源地美国)带来了巨大的好处, 并加速了全球信息革命的进程。可以毫不夸大地说, 因特网是人类自印刷术发明以来在通信方面最大的变革。现在人们的生活、工作、学习和交往都已离不开因特网。

计算机网络向用户提供的最重要的功能有两个, 即:

(1) **连通性**

(2) **共享**。

所谓**连通性(connectivity)**, 就是计算机网络使上网用户之间都可以交换信息, 好像这些用户的计算机都可以彼此直接连通一样。用户之间的距离也似乎因此而变得更近了。所谓**共享**就是指**资源共享**。资源共享的含义是多方面的。可以是信息共享、软件共享, 也可以是硬件共享。例如, 计算机网络上许多主机存储了大量有价值的电子文档, 可供上网的用户自由读取或下载(无偿或有偿)。由于网络的存在, 这些资源好像就在用户身边一样。又如, 在实验室中的所有连接在局域网上的计算机可以共享一台比较昂贵的彩色激光打印机。

现在人们的生活、工作、学习和交往都已离不开计算机网络。设想在某一天我们的计算机网络突然出故障不能工作了, 那时会出现什么结果呢? 这时, 我们将无法购买机票或火车票, 因为售票员无法知道还有多少票可供出售; 我们也无法到银行存钱或取钱, 无法交纳水电费和煤气费等; 股市交易都将停顿; 在图书馆我们也无法检索所需要的图书和资料。网络出了故障后, 我们既不能上网查询有关的资料, 也无法使用电子邮件和朋友及时交流信息。总之, 这时的社会将会是一片混乱。

计算机网络也是向广大用户提供休闲娱乐的场所。例如，计算机网络可以向用户提供多种音频和视频的节目。用户可以利用鼠标随时点击各种在线节目。计算机网络还可提供一对一或多对多的网上聊天（包括视频图像的传送）的服务。计算机网络提供的网络游戏已经成为许多人（特别是年轻人）非常喜爱的一种娱乐方式。

当然，计算机网络也给人们带来了一些负面影响。有人肆意利用网络传播计算机病毒，破坏计算机网络上数据的正常传送和交换。有的犯罪分子甚至利用计算机网络窃取国家机密和盗窃银行或储户的钱财。网上欺诈或在网上肆意散布不良信息和播放不健康的视频节目也时有发生。有的青少年弃学而热衷沉溺于网吧的网络游戏中，等等。

虽然如此，但计算机网络的负面影响还是次要的（这需要有关部门加强对计算机网络的管理）。计算机网络给社会带来的积极作用仍然是主要的。

现在因特网已成为全球性的信息基础结构的雏形。全世界所有的工业发达国家和许多发展中国家都纷纷研究和制定本国建设信息基础结构的计划。这就使得计算机网络的发展进入了一个新的历史阶段，变成了几乎人人都知道而且都十分关心的热门学科。

由于因特网已经成为世界上最大的计算机网络，因此下面我们先简单地介绍什么是因特网，同时也介绍因特网的主要构件，这样就可以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）以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)给出了一个具有四个结点和三条链路的网络。我们看到，有三台计算机通过三条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到与网络互连有关的一些问题。

网络和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)。

① 注：1994 年全国自然科学名词审定委员会公布的名词中，interconnection 是“互连”，interconnection network 是“互连网络”，internetworking 是“网际互连” [MINGCI94]。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。仅由两个字构成的术语“互连”一定不能用“互联”代替。“连接”也一定不能用“联接”代替。

② 注：根据[MINGCI94]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。

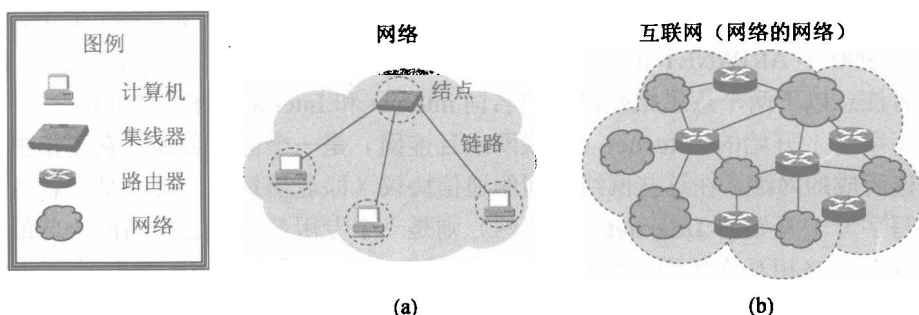


图 1-1 简单的网络(a)和由网络构成的互联网(b)

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)**。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。

因此，我们可以先初步建立这样的基本概念：

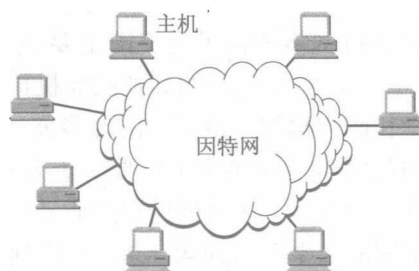


图 1-2 因特网与连接的主机

网络把许多计算机连接在一起，而因特网则把许多网络连接在一起。

还有一点也必须注意，就是网络互连并不是把计算机仅仅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。

最后要说明一下，上面所说的网络中一定有计算机。没有人会仅仅把几个路由器用链路连接起来，构成一个无用的“网络”。因此，在本书中所谈到的网络都是包含有计算机的网络。像这样包含有计算机的网络，以及用这样的网络加上许多路由器组成的互联网，都可通称为**计算机网络**。当然，世界上最大的互联网——因特网，也是一种计算机网络。

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并非截然分开而是有部分重叠的，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。

第一阶段是从单个网络 ARPANET 向互联网发展的过程。1969 年美国国防部创建的第一个分组交换网 ARPANET 最初只是一个单独的分组交换网（并不是一个互连的网络）。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 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。于是 ARPA 开始研究多种网络（如分组无线网络）互连的技术，这就导致后来互连网的出现。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** [RFC 1208]：

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** 协议族作为通信的规则，且其前身是美国的 **ARPANET**。

第二阶段的特点是建成了三级结构的因特网。从 1985 年起，美国国家科学基金会 NSF (National Science Foundation) 就围绕六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以，并且成为因特网中的主要组成部分。1991 年，NSF 和美国的其它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，使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 Mb/s（T3 速率）。

第三阶段的特点是逐渐形成了多层次 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。这样就出现了一个新的名词：因特网服务提供者 ISP (Internet Service Provider)。在许多情况下，因特网服务提供者 ISP 就是一个进行商业活动的公司，因此 ISP 又常译为因特网服务提供商。ISP 拥有从因特网管理机构申请到的多个 IP 地址（因特网上的主机都必须有 IP 地址才能进行通信，这一概念我们将在第 4 章的 4.2 节详细讨论），同时拥有通信线路（大的 ISP 自己建造通信线路，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，因此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”，因为 ISP 向连接到因特网的用户提供了 IP 地址。IP 地址的管理机构不会把一个单个的 IP 地址分配给单个用户（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 所共同拥有的。图 1-3 说明了用户上网与 ISP 的关系。

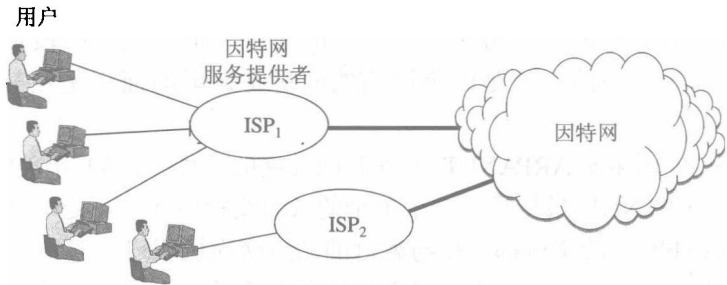


图 1-3 用户通过 ISP 接入因特网

根据提供服务的覆盖面积大小以及所拥有的 IP 地址数目的不同，ISP 也分成为不同的

层次。图 1-4 是具有三层 ISP 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。

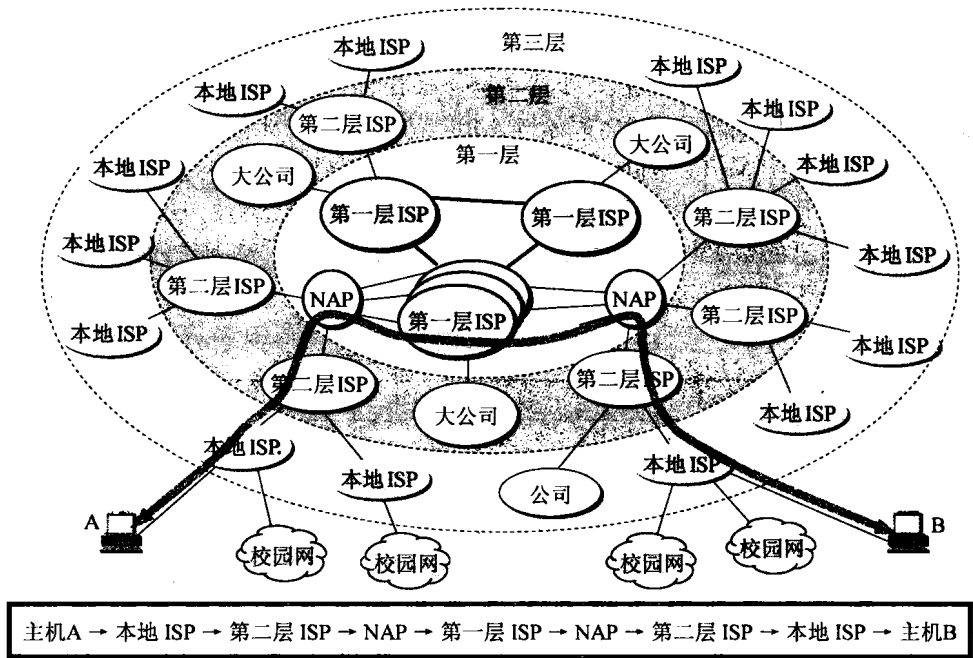


图 1-4 基于 ISP 的多层结构的因特网的概念示意图

在图中，最高级别的第一层 ISP (tier-1 ISP)^①的服务面积最大（一般都能够覆盖国家范围），并且还拥有高速主干网。第二层 ISP 和一些大公司都是第一层 ISP 的用户。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拨号上网的用户，都是第三层 ISP 的用户。为了使不同层次 ISP 经营的网络都能够互通，在 1994 年开始创建了四个网络接入点 NAP (Network Access Point)，分别由四个电信公司经营。网络接入点 NAP 用来交换因特网上流量。在 NAP 中安装有性能很好的交换设施（例如，使用 ATM 交换技术）。到本世纪初，美国的 NAP 的数量已达到十几个。NAP 可以算是最高等级的接入点。它主要是向各 ISP 提供交换设施，使它们能够互相通信。NAP 又称为对等点(peering point)，表示接入到 NAP 的设备不存在从属关系而都是平等的。现在有一种趋势，即比较大的第一层 ISP 愿意绕过 NAP 而直接通过高速通信线路（2.5 ~ 10 Gb/s 或更高）和其他的第一层 ISP 交换大量的数据，这样可以使第一层 ISP 之间的通信更加快捷。

从图 1-4 可看出，因特网逐渐演变成基于 ISP 和 NAP 的多层次结构网络。但今日的因特网由于规模太大，已经很难对整个的网络结构给出细致的描述。但下面这种情况是经常遇到的，就是相隔较远的两个主机的通信可能需要经过多个 ISP（如图 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 和另一个主机 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。

^① 注：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）。

顺便指出，一旦某个用户能够接入到因特网，那么他就能成为一个 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，因为一个 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 CERN 开发的万维网 WWW (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 %。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[COME06]。

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，并宣布在今后 5 年内用 5 亿美元的联邦资金实施“下一代因特网计划”，即“NGI 计划”(Next Generation Internet Initiative)。

NGI 计划要实现的主要目标是：

- (1) 开发下一代网络结构，以比现有的因特网高 100 倍的速率连接至少 100 个研究机构，以比现有的因特网高 1000 倍的速率连接 10 个类似的网点。其端到端的传输速率要超过 100 Mb/s 至 10 Gb/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，能实现更快速的交换和路由选择，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。

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，由于技术还没有发展到成熟水平，会使技术比较陈旧的标准限制了产品的技术水平。其结果是以后不得不再次修订标准，造成浪费。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