



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机网络

(第6版)

谢希仁 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机网络

(第6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,曾于 1994 年、1999 年、2003 年和 2008 年分别出了修订版。在 2006 年本书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;2008 年出版的第 5 版获得了教育部 2009 年精品教材称号,并于 2012 年 11 月被列为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。《计算机网络》第 6 版,在原有结构和内容的基础上,根据教学大纲的要求和计算机网络的最新发展,作了必要的增补、调整和修改,以适应当前教学的需要。

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(包括局域网)、网络层、运输层、应用层、网络安全、因特网上的音频/视频服务、无线网络和移动网络,以及下一代因特网等内容。各章均附有习题(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及计算机网络最基本概念的演示(PowerPoint 文件),供读者参考。

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. — 6 版. — 北京: 电子工业出版社, 2013.6

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-121-20167-7

I. ①计… II. ①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(2013)第 072112 号

策划编辑: 杜振民

责任编辑: 周 林

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: 28.75 字数: 694 千字

印 次: 2013 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元(含光盘 1 张)

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 zllts@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6版为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。由于本教材所讲授的是计算机网络最基本的原理，而这些基本原理是比较成熟和稳定的，因此，介绍基本原理的部分相对稳定，不应当有很大的改动。但从另一方面看，计算机网络发展非常快，国外的许多著名教材的篇幅现在往往都在800页以上。但考虑到我国大学教育的实际情况，编者认为，新版《计算机网络》教材所增加的内容必须严格控制，使教材的篇幅不要过大。

在第6版的教材中，每一章的前面，都指出了本章最重要的内容。在每一章的最后，都归纳了本章最重要的概念。这样安排，可能会对学生有所帮助。

所有各章应当参考的RFC文档和参考文献都进行了更新。第1章概述，增加了因特网交换点IXP的概念。第2章物理层，增加了对光纤到户的内容。第3章数据链路层，增加了对100吉比特以太网的介绍。第6章应用层的章节没有大的改动，但对近年来出现的一些变化，在新版中也有所反映。例如，新顶级域名，根域名服务器机器的位置，新的MIME类型和子类型等，此外，还增加了对博客、微博和轻博等内容的介绍。第7章网络安全，更加充实了因特网网络安全方面的内容。第9章无线网络和移动网络，增加了蜂窝移动通信网一节，包括移动IP的概念。第10章下一代因特网，增加了对P2P文件共享的讨论，包括BT的基本工作原理，以及P2P文件分发的分析。

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，附录A是部分习题的答案和提示（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、全书的课件（即电子教案）。二、计算机网络最基本概念的演示（Powerpoint文件）。三、《计算机网络》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，这些内容对于全面深入掌握计算机网络知识是很有参考意义的。

对于最基本的内容，在目录中的相应章节前面标有一个星号“*”。

对本书的修改提出了很多宝贵意见的有：陈鸣、胡谷雨、徐子平、张兴元、齐望东、吴礼发教授和杨心强、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

2012年6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：xiexiren@tsinghua.org.cn

欢迎指出书中内容的不足和错误，但作者无法满足一些更深入的探讨和科研项目的咨询，请予谅解。读者若需深入学习或了解习题解答的详细步骤，请参考作者编著的《计算机网络释疑与习题解答》。

第5版 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,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意见的有: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

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	(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	(9)
1.3.2 因特网的核心部分	(11)
1.4 计算机网络在我国的发展	(16)
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	(19)
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	(24)
1.7.1 计算机网络体系结构的形成	(24)
1.7.2 协议与划分层次	(26)
1.7.3 具有五层协议的体系结构	(28)
1.7.4 实体、协议、服务和访问点	(31)
1.7.5 TCP/IP 的体系结构	(33)
本章的重要概念	(35)
习题	(36)
第 2 章 物理层	(38)
*2.1 物理层的基本概念	(38)
*2.2 数据通信的基础知识	(39)
2.2.1 数据通信系统的模型	(39)
2.2.2 有关信道的几个基本概念	(40)
2.2.3 信道的极限容量	(42)
2.3 物理层下面的传输媒体	(43)
2.3.1 导引型传输媒体	(44)
2.3.2 非导引型传输媒体	(47)
*2.4 信道复用技术	(50)

2.4.1	频分复用、时分复用和统计时分复用	(50)
2.4.2	波分复用	(53)
2.4.3	码分复用	(54)
*2.5	数字传输系统	(55)
*2.6	宽带接入技术	(57)
2.6.1	ADSL 技术	(57)
2.6.2	光纤同轴混合网 (HFC 网)	(59)
2.6.3	FTTx 技术	(61)
	本章的重要概念	(62)
	习题	(63)
第 3 章	数据链路层	(65)
*3.1	使用点对点信道的数据链路层	(66)
3.1.1	数据链路和帧	(66)
3.1.2	三个基本问题	(67)
*3.2	点对点协议 PPP	(72)
3.2.1	PPP 协议的特点	(72)
3.2.2	PPP 协议的帧格式	(75)
3.2.3	PPP 协议的工作状态	(76)
*3.3	使用广播信道的数据链路层	(78)
3.3.1	局域网的数据链路层	(78)
3.3.2	CSMA/CD 协议	(81)
3.4	使用广播信道的以太网	(86)
*3.4.1	使用集线器的星形拓扑	(86)
3.4.2	以太网的信道利用率	(88)
*3.4.3	以太网的 MAC 层	(89)
*3.5	扩展的以太网	(93)
3.5.1	在物理层扩展以太网	(94)
3.5.2	在数据链路层扩展以太网	(95)
*3.6	高速以太网	(103)
3.6.1	100BASE-T 以太网	(103)
3.6.2	吉比特以太网	(104)
3.6.3	10 吉比特和 100 吉比特以太网	(105)
3.6.4	使用以太网进行宽带接入	(106)
	本章的重要概念	(107)
	习题	(109)
第 4 章	网络层	(112)
*4.1	网络层提供的两种服务	(112)
*4.2	网际协议 IP	(114)
4.2.1	虚拟互连网络	(115)

4.2.2	分类的 IP 地址.....	(117)
4.2.3	IP 地址与硬件地址.....	(121)
4.2.4	地址解析协议 ARP	(123)
4.2.5	IP 数据报的格式.....	(126)
4.2.6	IP 层转发分组的流程.....	(131)
*4.3	划分子网和构造超网	(133)
4.3.1	划分子网	(133)
4.3.2	使用子网时分组的转发	(139)
4.3.3	无分类编址 CIDR (构成超网)	(140)
*4.4	网际控制报文协议 ICMP.....	(146)
4.4.1	ICMP 报文的种类	(146)
4.4.2	ICMP 的应用举例	(148)
*4.5	因特网的路由选择协议	(149)
4.5.1	有关路由选择协议的几个基本概念	(149)
4.5.2	内部网关协议 RIP	(152)
4.5.3	内部网关协议 OSPF.....	(157)
4.5.4	外部网关协议 BGP	(162)
4.5.5	路由器的构成	(166)
4.6	IP 多播.....	(169)
4.6.1	IP 多播的基本概念.....	(169)
4.6.2	在局域网上进行硬件多播	(171)
4.6.3	网际组管理协议 IGMP 和多播路由选择协议.....	(171)
4.7	虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT.....	(176)
4.7.1	虚拟专用网 VPN	(176)
4.7.2	网络地址转换 NAT	(179)
	本章的重要概念	(181)
	习题	(183)
第 5 章	运输层	(188)
*5.1	运输层协议概述	(188)
5.1.1	进程之间的通信	(188)
5.1.2	运输层的两个主要协议	(190)
5.1.3	运输层的端口	(191)
*5.2	用户数据报协议 UDP	(193)
5.2.1	UDP 概述	(193)
5.2.2	UDP 的首部格式	(194)
*5.3	传输控制协议 TCP 概述.....	(195)
5.3.1	TCP 最主要的特点.....	(195)
5.3.2	TCP 的连接.....	(197)
*5.4	可靠传输的工作原理	(197)
5.4.1	停止等待协议	(198)

5.4.2	连续 ARQ 协议.....	(201)
*5.5	TCP 报文段的首部格式.....	(202)
5.6	TCP 可靠传输的实现.....	(205)
*5.6.1	以字节为单位的滑动窗口.....	(206)
*5.6.2	超时重传时间的选择.....	(209)
5.6.3	选择确认 SACK.....	(211)
5.7	TCP 的流量控制.....	(212)
*5.7.1	利用滑动窗口实现流量控制.....	(212)
5.7.2	必须考虑传输效率.....	(213)
*5.8	TCP 的拥塞控制.....	(214)
5.8.1	拥塞控制的一般原理.....	(214)
5.8.2	几种拥塞控制方法.....	(216)
5.8.3	随机早期检测 RED.....	(221)
5.9	TCP 的运输连接管理.....	(224)
*5.9.1	TCP 的连接建立.....	(224)
*5.9.2	TCP 的连接释放.....	(226)
5.9.3	TCP 的有限状态机.....	(228)
	本章的重要概念.....	(229)
	习题.....	(230)
第 6 章	应用层.....	(235)
*6.1	域名系统 DNS.....	(236)
6.1.1	域名系统概述.....	(236)
6.1.2	因特网的域名结构.....	(237)
6.1.3	域名服务器.....	(239)
6.2	文件传送协议.....	(244)
6.2.1	FTP 概述.....	(244)
*6.2.2	FTP 的基本工作原理.....	(245)
6.2.3	简单文件传送协议 TFTP.....	(246)
6.3	远程终端协议 TELNET.....	(247)
*6.4	万维网 WWW.....	(248)
6.4.1	万维网概述.....	(248)
6.4.2	统一资源定位符 URL.....	(250)
6.4.3	超文本传送协议 HTTP.....	(251)
6.4.4	万维网的文档.....	(258)
6.4.5	万维网的信息检索系统.....	(264)
6.4.6	博客、微博和轻博.....	(266)
*6.5	电子邮件.....	(268)
6.5.1	电子邮件概述.....	(268)
6.5.2	简单邮件传送协议 SMTP.....	(271)
6.5.3	电子邮件的信息格式.....	(273)

6.5.4	邮件读取协议 POP3 和 IMAP	(274)
6.5.5	基于万维网的电子邮件	(275)
6.5.6	通用因特网邮件扩充 MIME	(275)
*6.6	动态主机配置协议 DHCP	(279)
6.7	简单网络管理协议 SNMP	(281)
*6.7.1	网络管理的基本概念	(281)
6.7.2	管理信息结构 SMI	(283)
6.7.3	管理信息库 MIB	(286)
6.7.4	SNMP 的协议数据单元和报文	(288)
6.8	应用进程跨越网络的通信	(291)
6.8.1	系统调用和应用编程接口	(291)
6.8.2	几种常用的系统调用	(293)
	本章的重要概念	(295)
	习题	(296)
第 7 章	网络安全	(300)
*7.1	网络安全问题概述	(300)
7.1.1	计算机网络面临的安全性威胁	(300)
7.1.2	计算机网络安全的内容	(301)
7.1.3	一般的数据加密模型	(302)
*7.2	两类密码体制	(303)
7.2.1	对称密钥密码体制	(303)
7.2.2	公钥密码体制	(304)
*7.3	数字签名	(305)
*7.4	鉴别	(306)
7.4.1	报文鉴别	(306)
7.4.2	实体鉴别	(308)
*7.5	密钥分配	(310)
7.5.1	对称密钥的分配	(310)
7.5.2	公钥的分配	(312)
*7.6	因特网使用的安全协议	(313)
7.6.1	网络层安全协议	(313)
7.6.2	运输层安全协议	(316)
7.6.3	应用层的安全协议	(319)
*7.7	系统安全：防火墙与入侵检测	(321)
7.7.1	防火墙	(321)
7.7.2	入侵检测系统	(322)
	本章的重要概念	(323)
	习题	(324)

第 8 章	因特网上的音频/视频服务	(326)
*8.1	概述	(326)
8.2	流式存储音频/视频	(330)
8.2.1	具有元文件的万维网服务器	(331)
*8.2.2	媒体服务器	(331)
*8.2.3	实时流式协议 RTSP	(332)
*8.3	交互式音频/视频	(333)
8.3.1	IP 电话概述	(334)
8.3.2	IP 电话所需要的几种应用协议	(338)
8.3.3	实时运输协议 RTP	(338)
8.3.4	实时运输控制协议 RTCP	(340)
8.3.5	H.323	(341)
8.3.6	会话发起协议 SIP	(343)
8.4	改进“尽最大努力交付”的服务	(345)
8.4.1	使因特网提供服务质量	(345)
8.4.2	调度和管制机制	(346)
8.4.3	综合服务 IntServ 与资源预留协议 RSVP	(350)
8.4.4	区分服务 DiffServ	(353)
	本章的重要概念	(355)
	习题	(356)
第 9 章	无线网络和移动网络	(359)
9.1	无线局域网 WLAN	(359)
*9.1.1	无线局域网的组成	(360)
9.1.2	802.11 局域网的物理层	(364)
*9.1.3	802.11 局域网的 MAC 层协议	(365)
*9.1.4	802.11 局域网的 MAC 帧	(372)
9.2	无线个人区域网 WPAN	(375)
9.3	无线城域网 WMAN	(378)
*9.4	蜂窝移动通信网	(379)
9.4.1	蜂窝无线通信技术简介	(379)
9.4.2	移动 IP	(382)
9.4.3	蜂窝移动通信网中对移动用户的路由选择	(386)
9.4.4	GSM 中的切换	(387)
9.4.5	无线网络对高层协议的影响	(388)
9.5	展望	(389)
	本章的重要概念	(391)
	习题	(391)
第 10 章	下一代因特网	(393)
*10.1	下一代网际协议 IPv6 (IPng)	(393)

10.1.1	解决 IP 地址耗尽的根本措施.....	(393)
10.1.2	IPv6 的基本首部.....	(394)
10.1.3	IPv6 的扩展首部.....	(396)
10.1.4	IPv6 的地址空间.....	(398)
10.1.5	从 IPv4 向 IPv6 过渡.....	(403)
10.1.6	ICMPv6.....	(405)
10.2	多协议标记交换 MPLS.....	(406)
10.2.1	MPLS 的产生背景.....	(406)
10.2.2	MPLS 的工作原理.....	(407)
10.2.3	MPLS 首部的位置与格式.....	(410)
*10.3	P2P 应用.....	(412)
10.3.1	P2P 工作方式概述.....	(412)
10.3.2	使用 P2P 技术的电骡 eMule.....	(413)
10.3.3	使用 P2P 的比特洪流 BT.....	(414)
10.3.4	P2P 文件分发的分析.....	(415)
	本章的重要概念.....	(417)
	习题.....	(418)
附录 A	部分习题的答案和提示.....	(420)
附录 B	英文缩写词.....	(433)
附录 C	参考文献与网址.....	(443)

光盘内容

1. 电子教案
2. 计算机网络最基本概念的演示
3. 第 4 版（2003 年）教材及附录中的部分内容：
 - 3.1 可靠传输
 - 3.2 广域网
 - 3.3 附录 B：随机接入技术 ALOHA
 - 3.4 附录 C：综合业务数字网 ISDN
 - 3.5 附录 D：关于 ATM 的通信量
 - 3.6 附录 E：最短路径算法——Dijkstra 算法

第 1 章 概 述

本章是全书的概要。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，以及今后的发展趋势。然后，讨论了因特网的组成，指出了因特网的边缘部分和核心部分的重要区别。在简单介绍了计算机网络在我国的发展以及计算机网络的类别后，又讨论了计算机网络的性能指标。最后，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。

本章最重要的内容是：

- (1) 因特网的边缘部分和核心部分的作用，这里面包含分组交换的概念。
- (2) 计算机网络的一些性能指标。
- (3) 计算机网络分层次的体系结构，包含协议和服务的概念。

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，经常复习一下本章中的基本概念。这对掌握好整个计算机网络的观念是有好处的。

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。电信网络可向用户提供电话、电报（现在电报业务已基本上消失了）及传真等服务。有线电视网络可向用户提供各种电视节目。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。现在计算机网络不仅能够传送数据，同时也能够向用户提供打电话、听音乐和观看视频节目的服务，而电信网络和有线电视网络也都能够连接到计算机网络上。然而，网络融合实际上还有许多非技术性的复杂问题有待于有关部门来协调解决。

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。

计算机网络其实与电信网络和有线电视网络一样，都是一种通信基础设施，但与这两个网络最大的不同在于计算机网络的端设备是功能强大且具有智能的计算机。利用计算机网络这个通信基础设施，计算机上运行的各种应用程序通过彼此间的通信能为用户提供更加丰富多彩的服务和应用。

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，计算机网络上有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。

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，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。由此还可看出，人们的生活越是依赖于计算机网络，计算机网络的可靠性也就越重要。

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。

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。

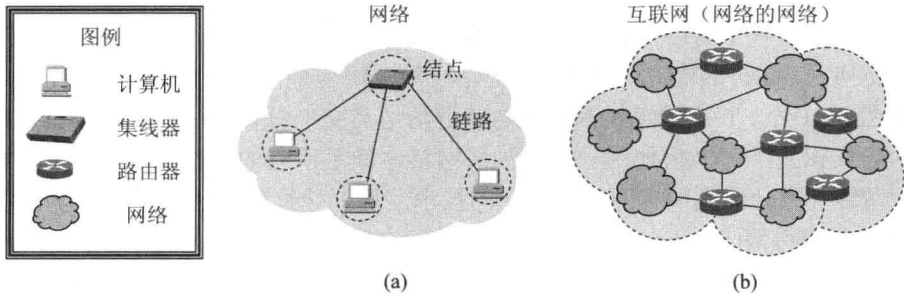


图 1-1 简单的网络(a)和由网络构成的互联网(b)

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）。

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。

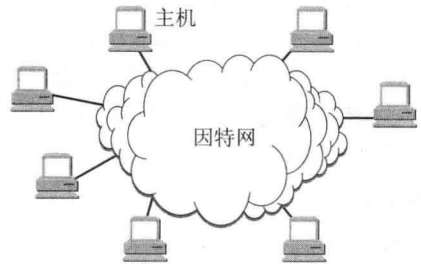


图 1-2 因特网与连接的主机

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。仅由两个字构成的术语“互连”一定不能“互连”代替。“连接”也一定不能“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。

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。

本书所谈到的网络一般都指的是**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 最初只是一个单个的分组交换网（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。但到了上世纪 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。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，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，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。例如，中国电信、中国联通和中国移动就是我国最有名的 ISP。

ISP 可以从因特网管理机构申请到很多 IP 地址（因特网上的主机都必须有 IP 地址才能上网，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某个 ISP 交纳规定的费用，就可从该 ISP 获取所需 IP 地址的使用权，并可通过该 ISP 接入到因特网。所谓“上网”就是指“（通过某个 ISP 获得的 IP 地址）接入到因特网”。IP 地址的管理机构不会把一个单个的 IP 地址分配给单个用户（不“零售”IP 地址），而是把一批 IP 地址有偿租赁给经审查合格的 ISP（只“批发”IP 地址）。由此可见，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，这就是因特网也称为“网络的网络”的原因。图 1-3 说明了用户通过 ISP 上网（有线接入或无线接入）。

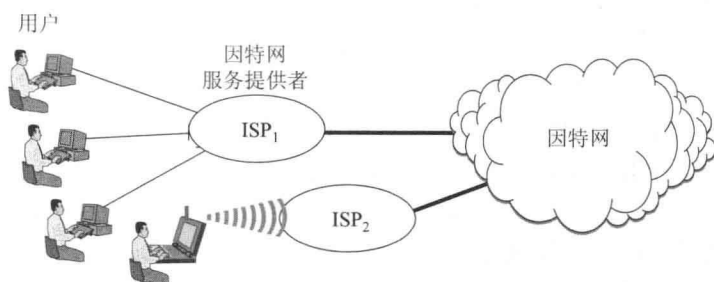


图 1-3 用户通过 ISP 接入因特网

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：主干 ISP、地区 ISP 和本地 ISP。

主干 ISP 由几个专门的公司创建和维持，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（例如 10 Gb/s 或更高）。有一些地区 ISP 网络也可直接与主干 ISP 相连。

地区 ISP 是一些较小的 ISP。这些地区 ISP 通过一个或多个主干 ISP 连接起来。它们位于等级中的第二层，数据率也低一些。

本地 ISP 给端用户提供直接的服务。本地 ISP 可以连接到地区 ISP，也可直接连接到主干 ISP。绝大多数的端用户都是连接到本地 ISP 的。本地 ISP 可以是一个仅提供因特网服务的公司，也可以是一个拥有网络并向自己的雇员提供服务的企业，或者是一个运行自己的网络的非营利机构（如学院或大学）。本地 ISP 可以与地区 ISP 或主干 ISP 连接。

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。图中给出了主机 A 经过许多不同层次的 ISP 与主机 B 通信的示意图。

从原理上讲，只要每一个本地 ISP 都安装了路由器连接到某个地区 ISP，而每一个地区 ISP 也有路由器连接到主干 ISP，那么在相互连接的 ISP 的共同合作下，就可以完成因特网中的所有的分组转发任务。但随着因特网上数据流量的急剧增长，人们开始研究如何更快地转发分组，以及如何更加有效地利用网络资源。于是，因特网交换点 IXP (Internet eXchange Point)就应运而生了。