



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

计算机网络

(第7版)

谢希仁 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

内容简介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



计算机网络

(第7版)

谢希仁 编著

电子工业出版社

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、2008 年和 2013 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。2013 年出版的第 6 版是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。现在的第 7 版又在第 6 版的基础上进行了一些修订。

全书分为 9 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、互联网上的音频/视频服务, 以及无线网络和移动网络等内容。各章均附有习题(附录 A 给出了部分习题的答案和提示)。全书课件(PowerPoint 文件)放在电子工业出版社悦学多媒体课程资源平台上(http://yx.51zhy.cn/mtrcsRes/phei_cnetwork.jsp), 供读者下载参考。

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. —7 版. —北京: 电子工业出版社, 2017.1

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-121-30295-4

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(2016)第 269601 号

策划编辑: 郝志恒

责任编辑: 牛晓丽

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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: 29

字数: 742.4 千字

版 次: 1999 年 4 月第 2 版

2017 年 1 月第 7 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

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, 88258888。

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。

本书咨询联系方式: QQ 9616328。

前 言

本教材第 6 版被纳入“十二五”普通高等教育本科国家级教材规划。由于本教材所讲授的是计算机网络最基本的原理，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，不会有很大的变动。

第 7 版的教材有以下一些改动。

互联网的发展非常快，编者水平很有限，只能把最重要的一些新内容增加到新版教材中。所有各章应参考的 RFC 文档和参考文献也都尽可能进行了更新。对于重点内容适当地增加了一些习题。

删除了第 10 章。由于原第 10 章中的 IPv6 和 MPLS 已属于比较成熟的技术，现在改放在第 4 章中介绍。原第 10 章中的 P2P 应用，现在放在第 6 章中介绍，并增加了一些新的内容。

另一个改动是 Internet 的译名不再使用推荐译名“因特网”，而改为目前大家已普遍使用的“互联网”。虽然推荐译名“因特网”有其权威性，但实践证明，各界人士大都不愿意用。考虑到我国的实际情况，编者决定从第 7 版起改用事实上的标准译名“互联网”。

此外，比特这个单位以前用英文字母 b 来表示，从第 7 版起改为 bit。这样可能更加清楚明确些。

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 6 章，这样仍可获得有关互联网的最基本的知识。

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。

考虑到现在从网上下载已非常方便，因此原附在书中的 CD-ROM 已非必要。读者可以访问电子工业出版社悦学多媒体课程资源平台(http://yx.51zhy.cn/mtrcsRes/phei_cnetwork.jsp)下载有关的参考内容。

为满足不同院校、不同学时、不同专业的教学需要，第 7 版同时推出了精简版，也就是由电子工业出版社出版的《计算机网络简明教程》第 3 版。

林波博士对第 7 章网络安全提出了许多修改意见。吴自珠副教授一直对本教材的出版给予全力支持。对此，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

2016 年 8 月

于解放军理工大学，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深入探讨和科研项目咨询的需求，请予谅解。若需索取解题的详细步骤，请参考作者编著的《计算机网络释疑与习题解答》。

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 互联网概述.....	4
1.2.1 网络的网络.....	4
1.2.2 互联网基础结构发展的三个阶段.....	5
1.2.3 互联网的标准化工作.....	8
1.3 互联网的组成.....	10
1.3.1 互联网的边缘部分.....	10
1.3.2 互联网的核心部分.....	12
1.4 计算机网络在我国的发展.....	17
1.5 计算机网络的类别.....	19
1.5.1 计算机网络的定义.....	19
1.5.2 几种不同类别的计算机网络.....	20
1.6 计算机网络的性能.....	21
1.6.1 计算机网络的性能指标.....	21
1.6.2 计算机网络的非性能特征.....	26
1.7 计算机网络体系结构.....	27
1.7.1 计算机网络体系结构的形成.....	27
1.7.2 协议与划分层次.....	28
1.7.3 具有五层协议的体系结构.....	30
1.7.4 实体、协议、服务和访问点.....	34
1.7.5 TCP/IP 的体系结构.....	35
本章的重要概念.....	37
习题.....	38
第 2 章 物理层.....	41
2.1 物理层的基本概念.....	41
2.2 数据通信的基础知识.....	42
2.2.1 数据通信系统的模型.....	42
2.2.2 有关信道的几个基本概念.....	43
2.2.3 信道的极限容量.....	45
2.3 物理层下面的传输媒体.....	46
2.3.1 导引型传输媒体.....	47
2.3.2 非导引型传输媒体.....	51
2.4 信道复用技术.....	53

2.4.1	频分复用、时分复用和统计时分复用.....	53
2.4.2	波分复用.....	56
2.4.3	码分复用.....	57
2.5	数字传输系统.....	59
2.6	宽带接入技术.....	60
2.6.1	ADSL 技术.....	60
2.6.2	光纤同轴混合网 (HFC 网).....	63
2.6.3	FTTx 技术.....	65
	本章的重要概念.....	66
	习题.....	67
第 3 章	数据链路层	69
3.1	使用点对点信道的数据链路层.....	70
3.1.1	数据链路和帧.....	70
3.1.2	三个基本问题.....	71
3.2	点对点协议 PPP.....	76
3.2.1	PPP 协议的特点.....	76
3.2.2	PPP 协议的帧格式.....	78
3.2.3	PPP 协议的工作状态.....	80
3.3	使用广播信道的数据链路层.....	82
3.3.1	局域网的数据链路层.....	82
3.3.2	CSMA/CD 协议.....	85
3.3.3	使用集线器的星形拓扑.....	90
3.3.4	以太网的信道利用率.....	92
3.3.5	以太网的 MAC 层.....	93
3.4	扩展的以太网.....	97
3.4.1	在物理层扩展以太网.....	97
3.4.2	在数据链路层扩展以太网.....	99
3.4.3	虚拟局域网.....	101
3.5	高速以太网.....	103
3.5.1	100BASE-T 以太网.....	103
3.5.2	吉比特以太网.....	104
3.5.3	10 吉比特以太网(10GE)和更快的以太网.....	106
3.5.4	使用以太网进行宽带接入.....	107
	本章的重要概念.....	108
	习题.....	109
第 4 章	网络层	113
4.1	网络层提供的两种服务.....	113
4.2	网际协议 IP.....	115
4.2.1	虚拟互连网络.....	116

4.2.2	分类的 IP 地址.....	118
4.2.3	IP 地址与硬件地址.....	122
4.2.4	地址解析协议 ARP.....	124
4.2.5	IP 数据报的格式.....	128
4.2.6	IP 层转发分组的流程.....	132
4.3	划分子网和构造超网.....	135
4.3.1	划分子网.....	135
4.3.2	使用子网时分组的转发.....	140
4.3.3	无分类编址 CIDR (构造超网).....	141
4.4	网际控制报文协议 ICMP.....	147
4.4.1	ICMP 报文的种类.....	148
4.4.2	ICMP 的应用举例.....	149
4.5	互联网的路由选择协议.....	151
4.5.1	有关路由选择协议的几个基本概念.....	151
4.5.2	内部网关协议 RIP.....	153
4.5.3	内部网关协议 OSPF.....	159
4.5.4	外部网关协议 BGP.....	163
4.5.5	路由器的构成.....	167
4.6	IPv6.....	171
4.6.1	IPv6 的基本首部.....	171
4.6.2	IPv6 的地址.....	173
4.6.3	从 IPv4 向 IPv6 过渡.....	176
4.6.4	ICMPv6.....	177
4.7	IP 多播.....	178
4.7.1	IP 多播的基本概念.....	178
4.7.2	在局域网上进行硬件多播.....	179
4.7.3	网际组管理协议 IGMP 和多播路由选择协议.....	180
4.8	虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT.....	185
4.8.1	虚拟专用网 VPN.....	185
4.8.2	网络地址转换 NAT.....	187
4.9	多协议标记交换 MPLS.....	189
4.9.1	MPLS 的工作原理.....	190
4.9.2	MPLS 首部的位置与格式.....	192
	本章的重要概念.....	193
	习题.....	195
第 5 章	运输层.....	203
5.1	运输层协议概述.....	203
5.1.1	进程之间的通信.....	203
5.1.2	运输层的两个主要协议.....	205
5.1.3	运输层的端口.....	206

5.2	用户数据报协议 UDP	208
5.2.1	UDP 概述	208
5.2.2	UDP 的首部格式	209
5.3	传输控制协议 TCP 概述	210
5.3.1	TCP 最主要的特点	210
5.3.2	TCP 的连接	212
5.4	可靠传输的工作原理	212
5.4.1	停止等待协议	213
5.4.2	连续 ARQ 协议	216
5.5	TCP 报文段的首部格式	217
5.6	TCP 可靠传输的实现	221
5.6.1	以字节为单位的滑动窗口	221
5.6.2	超时重传时间的选择	225
5.6.3	选择确认 SACK	226
5.7	TCP 的流量控制	227
5.7.1	利用滑动窗口实现流量控制	227
5.7.2	TCP 的传输效率	228
5.8	TCP 的拥塞控制	229
5.8.1	拥塞控制的一般原理	229
5.8.2	TCP 的拥塞控制方法	232
5.8.3	主动队列管理 AQM	236
5.9	TCP 的运输连接管理	238
5.9.1	TCP 的连接建立	238
5.9.2	TCP 的连接释放	240
5.9.3	TCP 的有限状态机	241
	本章的重要概念	242
	习题	244
第 6 章	应用层	251
6.1	域名系统 DNS	252
6.1.1	域名系统概述	252
6.1.2	互联网的域名结构	253
6.1.3	域名服务器	255
6.2	文件传送协议	260
6.2.1	FTP 概述	260
6.2.2	FTP 的基本工作原理	261
6.2.3	简单文件传送协议 TFTP	262
6.3	远程终端协议 TELNET	263
6.4	万维网 WWW	264
6.4.1	万维网概述	264
6.4.2	统一资源定位符 URL	266

6.4.3	超文本传送协议 HTTP	267
6.4.4	万维网的文档	274
6.4.5	万维网的信息检索系统	279
6.4.6	博客和微博	281
6.4.7	社交网站	283
6.5	电子邮件	284
6.5.1	电子邮件概述	284
6.5.2	简单邮件传送协议 SMTP	287
6.5.3	电子邮件的信息格式	289
6.5.4	邮件读取协议 POP3 和 IMAP	289
6.5.5	基于万维网的电子邮件	291
6.5.6	通用互联网邮件扩充 MIME	291
6.6	动态主机配置协议 DHCP	295
6.7	简单网络管理协议 SNMP	297
6.7.1	网络管理的基本概念	297
6.7.2	管理信息结构 SMI	299
6.7.3	管理信息库 MIB	302
6.7.4	SNMP 的协议数据单元和报文	304
6.8	应用进程跨越网络的通信	307
6.8.1	系统调用和应用编程接口	307
6.8.2	几种常用的系统调用	309
6.9	P2P 应用	311
6.9.1	具有集中目录服务器的 P2P 工作方式	311
6.9.2	具有全分布式结构的 P2P 文件共享程序	313
6.9.3	P2P 文件分发的分析	315
6.9.4	在 P2P 对等方中搜索对象	316
	本章的重要概念	319
	习题	321
第 7 章	网络安全	324
7.1	网络安全问题概述	324
7.1.1	计算机网络面临的安全性威胁	324
7.1.2	安全的计算机网络	326
7.1.3	数据加密模型	327
7.2	两类密码体制	328
7.2.1	对称密钥密码体制	328
7.2.2	公钥密码体制	329
7.3	数字签名	330
7.4	鉴别	332
7.4.1	报文鉴别	332
7.4.2	实体鉴别	335

7.5	密钥分配	337
7.5.1	对称密钥的分配	337
7.5.2	公钥的分配	339
7.6	互联网使用的安全协议	340
7.6.1	网络层安全协议	340
7.6.2	运输层安全协议	344
7.6.3	应用层安全协议	347
7.7	系统安全: 防火墙与入侵检测	349
7.7.1	防火墙	349
7.7.2	入侵检测系统	351
7.8	一些未来的发展方向	351
	本章的重要概念	352
	习题	353
第 8 章	互联网上的音频/视频服务	355
8.1	概述	355
8.2	流式存储音频/视频	359
8.2.1	具有元文件的万维网服务器	360
8.2.2	媒体服务器	360
8.2.3	实时流式协议 RTSP	362
8.3	交互式音频/视频	364
8.3.1	IP 电话概述	364
8.3.2	IP 电话所需要的几种应用协议	368
8.3.3	实时运输协议 RTP	369
8.3.4	实时运输控制协议 RTCP	371
8.3.5	H.323	372
8.3.6	会话发起协议 SIP	373
8.4	改进“尽最大努力交付”的服务	375
8.4.1	使互联网提供服务质量	375
8.4.2	调度和管制机制	377
8.4.3	综合服务 IntServ 与资源预留协议 RSVP	380
8.4.4	区分服务 DiffServ	383
	本章的重要概念	385
	习题	386
第 9 章	无线网络和移动网络	390
9.1	无线局域网 WLAN	390
9.1.1	无线局域网的组成	391
9.1.2	802.11 局域网的物理层	395
9.1.3	802.11 局域网的 MAC 层协议	397
9.1.4	802.11 局域网的 MAC 帧	403

9.2 无线个人局域网 WPAN	406
9.3 无线城域网 WMAN	409
9.4 蜂窝移动通信网	411
9.4.1 蜂窝无线通信技术简介	411
9.4.2 移动 IP	414
9.4.3 蜂窝移动通信网中对移动用户的路由选择	418
9.4.4 GSM 中的切换	419
9.4.5 无线网络对高层协议的影响	420
9.5 两种不同的无线上网	421
本章的重要概念	422
习题	423
附录 A 部分习题的解答	426
附录 B 英文缩写词	442
附录 C 参考文献与网址	452

第 1 章 概述

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。接着对互联网进行了概述，包括互联网基础结构发展的三个阶段，以及今后的发展趋势。然后，讨论了互联网组成的边缘部分和核心部分。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，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) 互联网边缘部分和核心部分的作用，其中包含分组交换的概念。

(2) 计算机网络的性能指标。

(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，很难完全掌握这些很抽象的概念。但这些抽象的概念又能指导后续的学习，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，经常再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概念是有益的。

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。

有三大类大家很熟悉的网络，即电信网络、有线电视网络和计算机网络。按照最初的服务分工，电信网络向用户提供电话、电报及传真等服务。有线电视网络向用户传送各种电视节目。计算机网络则使用户能够在计算机之间传送数据文件。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则是计算机网络，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，扩大了原有的服务范围，而计算机网络也能够向用户提供电话通信、视频通信以及传送视频节目的服务。从理论上讲，把上述三种网络融合成一种网络就能够提供所有的上述服务，这就是很早以前就提出来的“三网融合”。然而事实并不如此简单，因为这涉及到各方面的经济利益和行政管辖权的问题。

自从 20 世纪 90 年代以后，以 Internet 为代表的计算机网络得到了飞速的发展，已从最初的仅供美国人使用的免费教育科研网络，逐步发展成为供全球使用的商业网络（有偿使用），成为全球最大的和最重要的计算机网络。可以毫不夸大地说，Internet 是人类自印刷术发明以来在存储和交换信息的领域中的最大变革。

Internet 的中文译名并不统一。现有的 Internet 译名有两种：

(1) 因特网，这个译名是全国科学技术名词审定委员会推荐的。虽然因特网这个译名较

为准确，但却长期未得到推广。本书的前几版都采用因特网这个译名。

(2) **互联网**，这是目前流行最广的、事实上的标准译名。现在我国的各种报刊杂志、政府文件以及电视节目中都毫无例外地使用这个译名。**Internet** 是由数量极大的各种计算机网络互连起来的，采用互联网这个译名能够体现出 **Internet** 最主要的特征。本书从第 7 版开始，改用“互联网”作为 **Internet** 的译名。

也有些人愿意直接使用英文名词 **Internet**，而不使用中文译名。这避免了译名的误解。但编者认为，在中文教科书中，常用的重要名词应当使用中文的。当然，对国际通用的英文缩写词，我们还是要尽量多使用。例如，直接使用更简洁的“TCP”，比使用冗长的中文译名“传输控制协议”要方便得多。这样做也更加便于阅读外文技术资料。

曾有人把 **Internet** 译为国际互联网。其实互联网本来就是覆盖全球的，因此“国际”二字显然是多余的。

对于仅在局部范围互连起来的计算机网络，只能称之为互连网，而不是互联网。

有时，我们往往使用更加简洁的方式表示互联网，这就是只用一个“网”字。例如，“上网”就是表示使用某个电子设备连接到互联网，而不是连接到其他的网络上。还有如网民、网吧、网银（网上银行）、网购（网上购物）等。这里的“网”，一般都不是指电信网或有线电视网，而是指当今世界上最大的计算机网络 **Internet**——互联网。

那么，什么是互联网呢？很难用几句话说明清楚。但我们可以从两个不同的方面来认识互联网。这就是互联网的应用和互联网的工作原理。

绝大多数人认识互联网都是从接触互联网的应用开始的。现在小孩就会上网玩游戏，看网上视频，或和朋友在微信上聊天。而更多的成年人则经常在互联网上搜索和查阅各种信息。现在人们经常利用互联网的电子邮件相互通信（包括传送各种照片和视频文件），这就使得传统的邮政信函的业务量大大减少。在互联网上购买各种物品，既方便又经济实惠，改变了必须到商店购物的方式。在互联网上购买机票或火车票，可以节省大量排队的时间，极大地方便了旅客。在金融方面，利用互联网进行转账或买卖股票等交易，都可以节省大量时间。需要注意的是，互联网的应用并不是固定不变的，而是不断会有新的应用出现。本书不可能详细地介绍互联网的各种应用，这需要有另一本专门的书。

从应用这个方面认识互联网的门槛较低，因为这不需要懂得很多的互联网工作原理。现在很多小学生都能够非常熟练地使用手机上的各种应用程序（比编者要熟练得多）。但本书是大学的计算机网络教材，要着重讲解计算机网络的工作原理。通过掌握计算机网络的基本工作原理，可以使我們更好地理解互联网是怎样工作的。这就是从另一个角度来认识互联网。

互联网之所以能够向用户提供许多服务，就是因为互联网具有两个重要基本特点，即**连通性和共享**。

所谓**连通性(connectivity)**，就是互联网使上网用户之间，不管相距多远（例如，相距数千公里），都可以非常便捷、非常经济（在很多情况下甚至是免费的）地交换各种信息（数据，以及各种音频视频），好像这些用户终端都彼此直接连通一样。这与使用传统的电信网络有着很大的区别。我们知道，传统的电信网向用户提供的最重要的服务就是人与人之间的电话通信，因此电信网也具有连通性这个特点。但使用电信网的电话用户，往往要为此向电信网的运营商缴纳相当昂贵的费用，特别是长距离的越洋通信。但应注意，互联网具有虚拟

的特点。例如，当你从互联网上收到一封电子邮件时，你可能无法准确知道对方是谁（朋友还是骗子），也无法知道发信人的地点（在附近，还是在地球对面）。

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，互联网上有许多服务器（就是一种专用的计算机）存储了大量有价值的电子文档（包括音频和视频文件），可供上网的用户很方便地读取或下载（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地方便使用。

现在人们的生活、工作、学习和交往都已离不开互联网。设想一下，某一天我们所在城市的互联网突然瘫痪不能工作了，这会出现什么结果呢？这时，我们将无法购买机票或火车票，因为在售票处无法通过互联网得知目前还有多少余票可供出售；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。互联网瘫痪后，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，网上购物也将完全停顿。总之，这样的城市将会是一片混乱。由此还可看出，人们的生活越是依赖于互联网，互联网的可靠性也就越重要。现在互联网已经成为社会最为重要的基础设施。

互联网现在可以向广大用户提供休闲娱乐的服务，如各种音频和视频节目。上网的用户可以利用鼠标随时点击各种在线节目。互联网还可进行一对一或多对多的网上聊天（文字的、声音的或包括视频的交流），使人们的社交方式发生了重大的变化。

现在常常可以看到一种新的提法，即“互联网+”。它的意思就是“互联网+各个传统行业”，因此可以利用信息通信技术和互联网平台来创造新的发展生态。实际上“互联网+”代表一种新的经济形态，其特点就是把互联网的创新成果深度融合于经济社会各领域之中，这就大大地提升了实体经济的创新力和生产力。我们也必须看到互联网的各种应用对各行各业的巨大冲击。例如，电子邮件迫使传统的电报业务退出市场。网络电话的普及使得传统的长途电话（尤其是国际长途电话）的通信量急剧下降。对日用商品快捷方便的网购造成了不少实体商店的停业。原来必须排长队购买火车票的网点已被非常方便的网购所替代。网约车的问世对出租车行业产生了巨大的冲击。这些例子说明了互联网应用已对整个社会的各领域产生了很大的影响。

互联网也给人们带来了一些负面影响。有人肆意利用互联网传播计算机病毒，破坏互联网上数据的正常传送和交换；有的犯罪分子甚至利用互联网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谣言、不良信息和播放不健康的视频节目也时有发生；有的青少年弃学而沉溺于网吧的网络游戏中；等等。

虽然如此，互联网的负面影响毕竟还是次要的。随着对互联网的管理的加强，互联网给社会带来的正面积积极的作用已成为互联网的主流。

由于互联网已经成为世界上最大的计算机网络，因此下面我们先进行互联网概述，包括互联网的主要构件，这样就可以对计算机网络有一个最初步的了解。

1.2 互联网概述

1.2.1 网络的网络

起源于美国的互联网^①现已发展成为世界上最大的覆盖全球的计算机网络。

我们先给出关于网络、互连网、互联网（因特网）的一些最基本的概念。

请读者注意：在本书中，为了方便，下面凡是“网络”就是“计算机网络”的简称，而不是表示电信网或有线电视网。

计算机网络（简称为网络）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，构成了一个简单的计算机网络（简称为网络）。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相当复杂的细节问题，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。

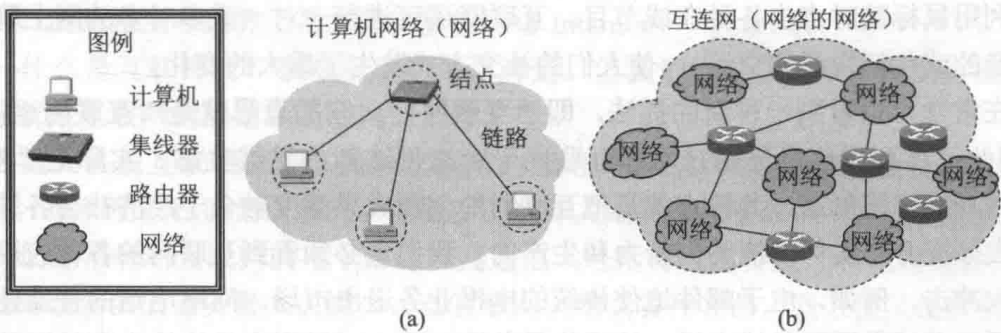


图 1-1 简单的网络(a)和由网络构成的互连网(b)

网络之间还可以通过路由器互连起来，这就构成了一个覆盖范围更大的计算机网络。这样的网络称为互连网(internetwork 或 internet)，如图 1-1(b)所示。因此互连网是“网络的网络”(network of networks)。

请读者注意，当我们使用一朵云来表示网络时，可能会有两种不同的情况。一种情况如图 1-1 所示，用云表示的网络已经包含了和网络相连的计算机。但有时为了讨论问题的方便（例如，要讨论几个计算机之间如何进行通信），也可以把有关的计算机画在云的外面，

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 的译名均推荐为“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。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。但不知由于何种原因，在网络领域中，很多人宁愿使用不太准确的“节点”，也不愿使用标准译名“结点”。

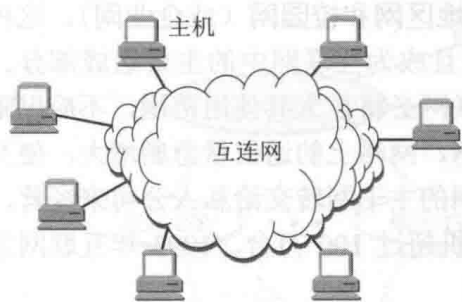


图 1-2 互连网与所连接的主机

如图 1-2 所示。习惯上，与网络相连的计算机常称为主机(host)。这样，用云表示的互连网里面就只剩下许多路由器和连接这些路由器的链路了。

这样，我们初步建立了下面的基本概念：

网络把许多计算机连接在一起，而互连网则把许多网络通过路由器连接在一起。与网络相连的计算机常称为主机。

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。

现在使用智能手机上网已非常普遍。由于智能手机中有中央处理机 CPU，因此也可以把连接在计算机网络上的智能手机称为主机。实际上，智能手机已经不是个单一功能的设备，它既是电话机，但也是计算机、照相机、摄像机、电视机、导航仪等综合多种功能于一体的智能机器。

1.2.2 互联网基础结构发展的三个阶段

互联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，而并非在某个日期发生了突变。

第一阶段是从单个网络 ARPANET 向互连网发展的过程。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 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。于是 ARPA 开始研究多种网络（如分组无线网络）互连的技术，这就导致了互连网络的出现。这就成为现今互联网(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 年作为互联网的诞生时间。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计算机网络。在这些网络之间的通信协议（即通信规则）可以任意选择，不一定非要使用 TCP/IP 协议。

以大写字母 I 开始的 **Internet**（互联网，或因特网）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互连网，它采用 TCP/IP 协议族作为通信的规则，且其前身是美国的 ARPANET。

可见，任意把几个计算机网络互连起来（不管采用什么协议），并能够相互通信，这样构成的是一个互连网(internet)，而不是互联网(Internet)。

第二阶段的特点是建成了三级结构的互联网。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，并且成为互联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，互联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互联网，网络上的通信量急剧增大，使互联网的容量已满足不了需要。于是美国政府决定将互联网的主干网转交给私人公司来经营，并开始对接入互联网的单位收费。1992 年互联网上的主机超过 100 万台。1993 年互联网主干网的速率提高到 45 Mbit/s（T3 速率）。

第三阶段的特点是逐渐形成了多层次 ISP 结构的互联网。从 1993 年开始，由美国政府资助的 NSFNET 逐渐被若干个商用的互联网主干网替代，而政府机构不再负责互联网的运营。这样就出现了一个新的名词：互联网服务提供者 ISP (Internet Service Provider)。在许多情况下，ISP 就是一个进行商业活动的公司，因此 ISP 又常译为互联网服务提供商。例如，中国电信、中国联通和中国移动等公司都是我国最有名的 ISP。

ISP 可以从互联网管理机构申请到很多 IP 地址（互联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 4.2.2 节详细讨论），同时拥有通信线路（大 ISP 自己建造通信线路，小 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 接入到互联网。所谓“上网”就是指“（通过某 ISP 获得的 IP 地址）接入到互联网”。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，现在的互联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，这就是互联网也称为“网络的网络”的原因。

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 也分为不同层次的 ISP：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 Gbit/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 给用户直接的服务（这些用户有时也称为端用户，强调是末端的用户）。本地 ISP 可以连接到地区 ISP，也可直接连接到主干 ISP。绝大多数的用户都是连接到本地 ISP 的。本地 ISP 可以是一个仅提供互联网服务的公司，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 1-3 是具有三层 ISP 结构的互联网的概念示意图，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，就可以完成互联网中的所有的分组转发任务。但随着互联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，互联网交换点 IXP (Internet eXchange Point)就应运而生了。