



普通高等教育“十三五”规划教材
谢希仁·计算机网络（第7版）·精简版

电子信息类精品教材

计算机网络简明教程

（第3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>

普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息类精品教材
谢希仁·计算机网络（第7版）·精简版

计算机网络简明教程

（第3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

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。附录 B 是英文缩写词。在电子工业出版社的华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)上可注册下载全书的电子教案。

本书的特点是概念准确、论述严谨、图文并茂, 以较少的篇幅, 简明地阐述了计算机网络最基本的原理和概念。本书可供所有专业的大学本科使用, 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

计算机网络简明教程 / 谢希仁编著. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2017.1
ISBN 978-7-121-30371-5

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 276344 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 李佩乾 李宪强 宋 薇

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

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: 15.75 字数: 450 千字

版 次: 2007 年 11 月第 1 版

2017 年 1 月第 3 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 35.90 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: 88254113。

第 3 版前言

本书第 3 版，也就是作者《计算机网络（第 7 版）》的精简版。教师可根据授课对象、专业、学时情况，选择使用。

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 3 版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。

删除了第 10 章。原第 10 章中的 IPv6 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”，而改为大家普遍使用的“互联网”。虽然推荐译名“因特网”有一定的权威性，但实践证明，各界人士很少使用“因特网”这个译名。考虑到我国的实际情况，编者决定从第 3 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。这样可能更加清楚些。

本教材的参考学时数为 40 学时左右。在课程学时数较少的情况下可以只学习前六章，这样仍可获得有关互联网的最基本的知识。

书后共有两个附录，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。

最后，要感谢吴自珠副教授对本教材的修订工作的全力支持。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 10 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的探讨和科研项目的咨询，请予谅解。

第 1 版前言

作者自 1989 年以来所编写的《计算机网络》各版本的教材，以概念准确、论述严谨、内容全面新颖、图文并茂而受到高等院校广大师生的普遍欢迎，主要作为计算机和通信专业的教材。

目前计算机网络的各应用已非常普及；计算机网络涉及到的知识领域又比较多，而且计算机网络还在不断发展，新的技术和新的协议也层出不穷。不仅通信和计算机专业的学生需要较深入地学习计算机网络课程，而且所有其他专业的学生都应当具有这方面的知识。

从目前教材市场的情况看，似乎很需要有一本篇幅不太大的通用教材，其主要对象是大学本科所有专业的学生。这些学生不仅应当学会使用计算机在因特网上进行各种信息的检索，或使用电子邮件与距离遥远的对方进行通信，而且还应当进一步懂得计算机网络的一些工作原理。实际上，很多初中生已经能够相当熟练地使用计算机上网，但是，他们不一定清楚这里面的许多机理。在高等院校开设计算机网络课程的目的，并非为了使大学生网上操作的熟练程度要超过中学生，而是应当比中学生懂得更多的计算机网络的工作原理，这样才能在今后的工作中更好地适应科技的快速发展。然而目前似乎很难找到比较适合的这种教材。

鉴于以上情况，在《计算机网络》第 5 版出版时，同步推出这本《计算机网络简明教程》，就是为满足更多院校、更多专业的教学需求。

这是一本简明教材。“简明”就是把计算机网络中最基本的内容写入书中。

本书的指导思想是：最重要的概念一定要讲清楚，否则就不能称之为高等学校的教材。也就是说，不仅要知道“是什么”，而且要懂得“为什么”。但许多细节问题则可以略去不讲。实际上，即使是专门为通信或计算机专业编写的教材，也不可能把计算机网络中所有问题的细节都进行阐述。教材最重要的就是要根据不同的对象，以不同的深度和广度，把基本概念交代清楚。从总体上看，简明教程的深度和广度都要稍浅一些。在习题的分量上也减轻不少。这样可以不使学生的负担过重。

在目前的教材市场上，可以发现有许多高水平的国外优秀教材。但编者认为，从外国优秀教材中任意挑选一些内容，不一定能够变成适合中国学生用的教材。教师必须经过多年的教学实践和自己对内容的深入钻研，才能逐渐消化这些优秀教材，才能把别人教材中的内容变成自己教材中的内容。否则就很容易找不到关键的内容，甚至把有些讲述不够严谨或者已经过时的内容也搬到自己的教材中。如果自己理解不准确，那么写出来的教材就无法保证教材的科学性。编者还发现，一些国内教材中有的语句有明显的翻译生硬痕迹，这些都是在编写教材中必须避免的。

教材应当具有**先进性**，但也必须是把相对稳定成熟的内容收进教材。处理这个问题并不简单。因为很成熟的技术就可能是陈旧的，太先进的又可能很不成熟。因此本教材认真考虑了这方面的问题。例如，IEEE 根据技术发展的需要，及时成立一些研究新标准的工作组 802.x。但其中有不少的工作组，在成立后不久就消声匿迹了。因此，把一出现的某个 802.x 标准（很新，但很不成熟）就搬入教材，显然是不恰当的。又如，对于过去可能是很重要的问题，但现在也许就应当删除掉。例如，以前大家都以 OSI 为线索来讲述计算机网络的各部分内容，但现在就应当按照 TCP/IP 的体系来安排这些内容。再如，以前有一段时间，异

步传递方式 ATM 和宽带综合业务数字网 B-ISDN 曾被认为是计算机网络的发展方向，但现在可以根本不用讲述这些内容。

在本书每一章的最后是本章的重要概念和习题。这些重要概念最好能够记住。如果合上教材，对这些重要概念都说不出出来，那么这门课程就可能需要再好好学习一遍。需要进行计算的题目主要集中在重点的第 3~5 章，其余各章的习题实际上就是复习题。

在书后有两个附录。附录 A 是部分习题解答。有些读者很希望在书后能够给出详细的习题解答。但编者认为这样做不一定是个好办法。学生看了大量的习题解答得到的收获，和自己费了很多时间才解出一些习题的收获，是无法相比的。编者还没有发现有哪个学生是靠看习题解答（而不是自己解题）能够从根本上提高自己的学习能力的。附录 B 是英文缩写词。本书最后所列的主要参考书目，便于读者进一步深入学习。

本教材的参考学时数为 40 学时左右。在课程学时数较少的情况下可以只学习最主要的前六章，这样仍可获得有关因特网的最基本的知识。在前六章中，更加重要的是第 4 章和第 5 章。把这两章学好，就掌握了 IP 和 TCP 这两个重要协议——因特网的精髓。第 1 章给出了许多重要的概念，有些甚至是相当抽象的。初学计算机网络的学生通常不太容易立即把这些概念掌握好。应当在学到后续章节时，经常再回过头来看看第 1 章中的基本概念。这样才能逐渐地把这些重要的概念掌握好。如有较多的时间，可以在后四章中选择有关内容学习。在第 2 章中只有宽带接入部分是计算机网络本身的内容，其余部分都是为了使读者对通信能够有一些最基本的知识。对于已经学过有关通信基本知识的读者，这些内容可以略去。

总之，本书的目标是：把计算机网络中最基本和最重要的内容，用不太大的篇幅，写成本能够适用所有专业的教材。学生在学完本课程后，应当能够比较清楚地了解计算机网络的体系结构和工作原理，知道因特网为什么是这样设计的，以及较深入地了解 IP 协议和 TCP 协议的要点，了解常用的一些应用程序。

全书的课件（即电子教案）放在电子工业出版社华信教育资源网上（www.hxedu.com.cn），需要使用课件的读者可自行注册下载。

本书的编写是在电子工业出版社的《计算机网络》第 5 版的基础上经过删减和补充完成的。因此编者非常感谢陈鸣、胡谷雨、张兴元、齐望东、吴礼发教授，以及杨心强、高素青、胥光辉、谢钧、端义峰副教授所提出的宝贵意见。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 7 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：xiexiren31@163.com

（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)	2.4.3 码分复用	(46)
1.1 计算机网络在信息时代中的作用	(1)	2.5 数字传输系统	(47)
1.2 互联网概述	(3)	2.6 宽带接入技术	(48)
1.2.1 网络的网络	(3)	2.6.1 ADSL 技术	(48)
1.2.2 互联网基础结构发展的三个阶段	(4)	2.6.2 光纤同轴混合网 (HFC 网)	(51)
1.2.3 互联网的标准化工作	(7)	2.6.3 FTTx 技术	(52)
1.3 互联网的组成	(8)	本章的重要概念	(53)
1.3.1 互联网的边缘部分	(9)	习题	(54)
1.3.2 互联网的核心部分	(11)	第 3 章 数据链路层	(55)
1.4 计算机网络在我国的发展	(15)	3.1 使用点对点信道的数据链路层	(55)
1.5 计算机网络的类别	(17)	3.1.1 数据链路和帧	(55)
1.5.1 计算机网络的定义	(17)	3.1.2 三个基本问题	(56)
1.5.2 几种不同类别的计算机网络	(17)	3.2 点对点协议 PPP	(58)
1.6 计算机网络的性能指标	(18)	3.2.1 PPP 协议的主要特点	(59)
1.7 计算机网络体系结构	(22)	3.2.2 PPP 协议的帧格式	(59)
1.7.1 计算机网络体系结构的形成	(22)	3.2.3 PPP 协议的工作状态	(61)
1.7.2 协议与划分层次	(23)	3.3 使用广播信道的数据链路层	(61)
1.7.3 具有五层协议的体系结构	(25)	3.3.1 局域网的数据链路层	(61)
1.7.4 实体、协议、服务和访问点	(28)	3.3.2 CSMA/CD 协议	(64)
1.7.5 TCP/IP 的体系结构	(29)	3.4 使用广播信道的以太网	(65)
本章的重要概念	(30)	3.4.1 使用集线器的星形拓扑	(65)
习题	(31)	3.4.2 以太网的 MAC 层	(67)
第 2 章 物理层	(33)	3.5 扩展的以太网	(69)
2.1 物理层的基本概念	(33)	3.5.1 在物理层扩展以太网	(69)
2.2 数据通信的基础知识	(34)	3.5.2 在数据链路层扩展以太网	(70)
2.2.1 数据通信系统的模型	(34)	3.6 高速以太网	(72)
2.2.2 有关信道的几个基本概念	(35)	3.6.1 几种高速以太网	(72)
2.2.3 提高数据传输速率的途径	(36)	3.6.2 使用以太网进行宽带接入	(75)
2.3 物理层下面的传输媒体	(36)	本章的重要概念	(76)
2.3.1 导引型传输媒体	(37)	习题	(77)
2.3.2 非导引型传输媒体	(40)	第 4 章 网络层	(79)
2.4 信道复用技术	(42)	4.1 网络层的重要概念	(79)
2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用	(42)	4.1.1 尽最大努力交付	(79)
2.4.2 波分复用	(45)	4.1.2 虚拟互连网络	(80)
		4.1.3 分类的 IP 地址	(82)
		4.1.4 IP 地址与硬件地址	(86)
		4.2 网际协议 IP	(88)

4.3 地址解析协议 ARP	(91)	6.1 域名系统	(146)
4.4 IP 层转发分组的流程	(93)	6.1.1 域名系统概述	(146)
4.5 无分类的 IP 地址	(96)	6.1.2 互联网的域名结构	(147)
4.5.1 无分类域间路由选择 CIDR	(96)	6.1.3 域名服务器	(149)
4.5.2 地址聚合	(98)	6.2 文件传送协议	(153)
4.6 互联网的路由选择协议	(100)	6.3 万维网	(154)
4.6.1 有关路由选择协议的几个 基本概念	(100)	6.3.1 概述	(154)
4.6.2 内部网关协议 RIP	(101)	6.3.2 统一资源定位符	(156)
4.6.3 内部网关协议 OSPF	(102)	6.3.3 超文本传送协议 HTTP	(157)
4.6.4 外部网关协议 BGP	(104)	6.3.4 万维网的文档	(159)
4.7 网际控制报文协议 ICMP	(105)	6.3.5 万维网的信息检索系统	(163)
4.8 IP 多播	(106)	6.3.6 博客和微博	(165)
4.9 IPv6	(108)	6.3.7 社交网站	(166)
4.9.1 IPv6 的基本首部	(108)	6.4 电子邮件	(167)
4.9.2 IPv6 的地址	(110)	6.4.1 概述	(167)
4.9.3 从 IPv4 向 IPv6 过渡	(111)	6.4.2 简单邮件传送协议	(169)
4.10 虚拟专用网 VPN 和网络地址 转换 NAT	(113)	6.4.3 邮件读取协议 POP3 和 IMAP	(170)
4.10.1 虚拟专用网 VPN	(113)	6.4.4 基于万维网的电子邮件	(171)
4.10.2 网络地址转换 NAT	(115)	6.5 动态主机配置协议	(172)
本章的重要概念	(116)	6.6 P2P 应用	(173)
习题	(119)	6.6.1 具有集中目录服务器 的 Napster	(174)
第 5 章 运输层	(121)	6.6.2 具有全分布式结构的 P2P 文件 共享程序	(175)
5.1 运输层协议概述	(121)	本章的重要概念	(177)
5.1.1 进程之间的通信	(121)	习题	(178)
5.1.2 运输层的两个主要协议	(123)	第 7 章 网络安全	(180)
5.1.3 运输层的端口	(123)	7.1 网络安全问题概述	(180)
5.2 用户数据报协议 UDP	(125)	7.1.1 计算机网络面临的安全性 威胁	(180)
5.3 传输控制协议 TCP 概述	(126)	7.1.2 安全的计算机网络	(182)
5.3.1 TCP 最主要的特点	(126)	7.1.3 数据加密模型	(182)
5.3.2 TCP 的连接	(127)	7.2 两类密码体制	(183)
5.4 可靠传输的工作原理	(128)	7.2.1 对称密钥密码体制	(183)
5.4.1 停止等待协议	(128)	7.2.2 公钥密码体制	(184)
5.4.2 连续 ARQ 协议	(131)	7.3 数字签名	(185)
5.5 TCP 报文段的首部格式	(132)	7.4 鉴别	(186)
5.6 TCP 的滑动窗口机制	(135)	7.5 密钥分配	(187)
5.7 TCP 的拥塞控制	(137)	7.6 互联网使用的安全协议	(189)
5.8 TCP 的运输连接管理	(139)	7.6.1 网络层安全协议	(189)
本章的重要概念	(142)	7.6.2 运输层安全协议	(190)
习题	(143)	7.7 系统安全：防火墙与入侵检测	(193)
第 6 章 应用层	(146)		

7.7.1 防火墙	(193)
7.7.2 入侵检测系统	(194)
本章的重要概念	(195)
习题	(196)
第 8 章 互联网上的音频/视频服务	(197)
8.1 概述	(197)
8.2 流式存储音频/视频	(201)
8.2.1 具有元文件的万维网服务器	(201)
8.2.2 媒体服务器	(202)
8.2.3 实时流式协议	(204)
8.3 交互式音频/视频	(205)
8.3.1 IP 电话概述	(205)
8.3.2 IP 电话所需要的几种应用协议	(208)
8.4 改进“尽最大努力交付”的服务	(211)
本章的重要概念	(212)
习题	(213)

第 9 章 无线网络和移动网络	(215)
9.1 无线局域网 WLAN	(215)
9.1.1 无线局域网的组成	(216)
9.1.2 802.11 局域网的物理层	(220)
9.1.3 802.11 局域网的 MAC 层协议	(220)
9.1.4 802.11 局域网的 MAC 帧	(223)
9.2 无线个人区域网	(226)
9.3 无线城域网	(227)
9.4 蜂窝移动通信网	(228)
9.4.1 蜂窝无线通信技术简介	(228)
9.5 两种不同的无线上网	(230)
本章的重要概念	(231)
习题	(232)
附录 A 部分习题的解答	(233)
附录 B 英文缩写词	(236)
参考文献	(242)

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，包括互联网发展的三个阶段以及今后的发展趋势。然后，讨论了互联网的组成，指出互联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，讨论计算机网络的性能指标。最后，论述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) 计算机网络的主要性能指标。

(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**”。然而事实上并不如此简单，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。然而实际上，因特网这个较为准确的译名，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使用这个译名。由于 Internet 是由数量极大的各种计算机网络互连起来的，因此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 3 版开始，改用“互联网”作为 Internet 的译名。

也有些人直接使用英文名词 Internet，而不使用中文译名。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。本书无法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、非常经济地（在很多情况下甚至是免费的）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者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（就在附近，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，在某一天我们所在城市的互联网都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。网络叫车对出租车行业的巨大冲击，使得政府必须及时制定出合理的法规来解决出现的问题。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多么大的影响。

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，但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，我们可以使互联网给社会带来积极的作用成为互联网的主流。

由于互联网已经成为世界上最大的计算机网络，因此下面我们先介绍互联网概述，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。

^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”。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。

计算机网络（简称为网络）由若干结点(node)^①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。

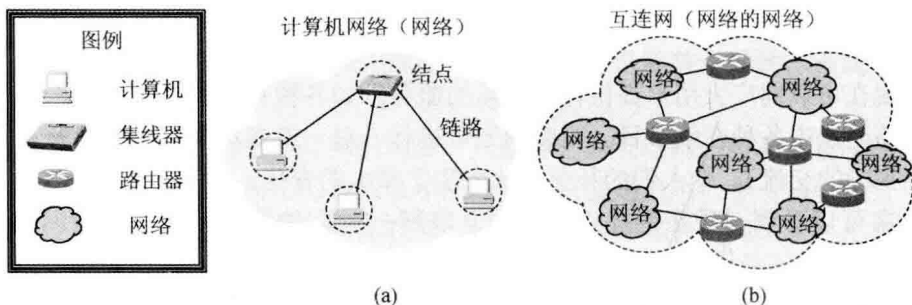


图 1-1 简单的网络(a)和由网络构成的互连网(b)

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，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。

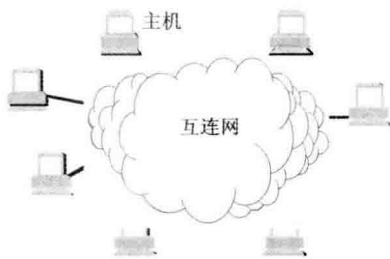


图 1-2 互连网与所连接的主机

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之为主机。实际上，智能手机已经不是一个单一功能的机器，它既是电话机，也是计算机、照相机、摄像机、电视机等集多种功能于一体的设备。

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

^① 注：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。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”。

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（如分组无线电网络）互连的技术，这就导致互连网络的出现。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:

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，不应仅限于大学和科研机构。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 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独的 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 也分成为不同层次

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。

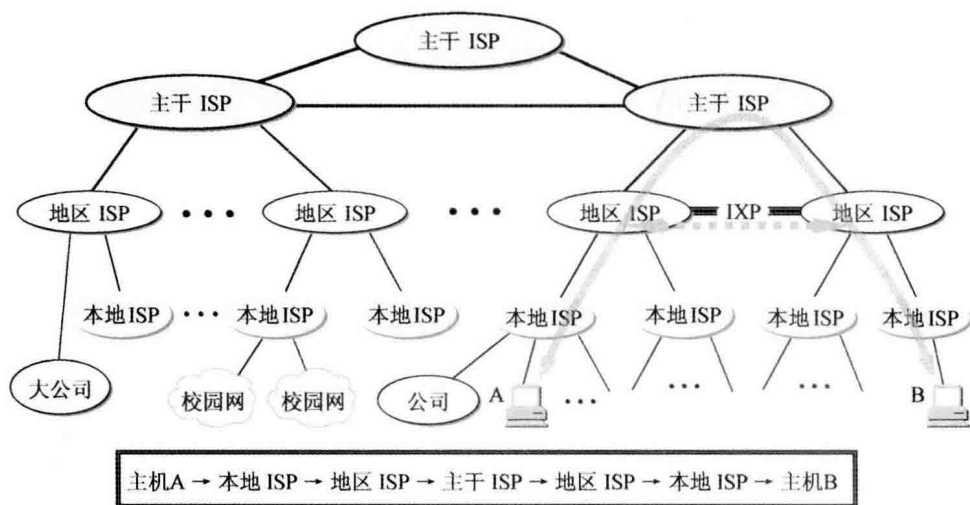


图 1-3 基于 ISP 的多层结构的互联网的概念示意图

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，那么在这些相互连接的 ISP 的共同合作下，就可以完成互联网中的所有分组转发任务。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。

互联网交换点 IXP 的主要作用就是允许两个网络直接相连并交换分组，而不需要再通过第三个网络来转发分组。例如，在图 1-3 中右方的两个地区 ISP 通过一个 IXP 连接起来了。这样，主机 A 和主机 B 交换分组时，就不必再经过最上层的主干 ISP，而是直接在两个地区 ISP 之间用高速链路对等地交换分组。这样就使互联网上的数据流量分布更加合理，同时也减少了分组转发的迟延时间，降低了分组转发的费用。现在许多 IXP 在进行对等交换分组时，都互相不收费。但本地 ISP 或地区 ISP 通过 IXP 向高层的 IXP 转发分组时，则需要交纳一定的费用。IXP 的结构非常复杂。典型的 IXP 由一个或多个网络交换机组成，许多 ISP 再连接到这些网络交换机的相关端口上。IXP 常采用工作在数据链路层的网络交换机，这些网络交换机都用局域网互连起来。

互联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互联网究竟有多大。互联网的迅猛发展始于 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) 被广泛使用在互联网上，大大方便了广大非网络专业人员对网络的使用，成为互联网的这种指数级增长的主要驱动力。互联网上准确的通信量是很难估计的，但有文献介绍，互联网上的数据通信量每月约增加 10 %。图 1-4 是从 1993 年至 2016 年互联网用户数的增长情况。这里的用户是指在家中上网的人，而数据的统计时间是在每年的 7 月 1 日（正好是每年的中间），其中 2015 年和 2016 年的数据是估算的。可以看出，在 2005 年互联网的用户数超过了 10 亿，在 2010 年超过了 20 亿，而在 2014 年已接近 30 亿。

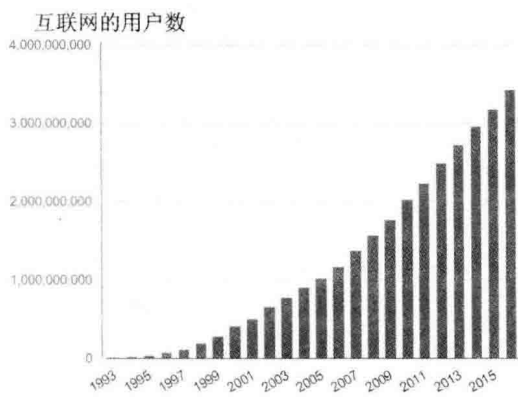


图 1-4 1993 年至 2016 年互联网用户的增长情况

1.2.3 互联网的标准化工作

互联网的标准化工作对互联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，因而也会影响技术的发展。互联网在制定其标准上很有特色。其中的一个很大的特点是面向公众。互联网所有的 RFC 文档都可从互联网上免费下载，而且任何人都可以用电子邮件随时发表对某个文档的意见或建议。这种开放方式对互联网的迅速发展影响很大。

1992 年由于互联网不再归美国政府管辖，因此成立了一个国际性组织叫做互联网协会 (Internet Society, 简称为 ISOC)，以便对互联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做互联网体系结构委员会 IAB (Internet Architecture Board)^①，负责管理互联网有关协议的开发。IAB 下面又设有两个工程部：

(1) 互联网工程部 IETF (Internet Engineering Task Force)

IETF 是由许多工作组 WG (Working Group) 组成的论坛 (forum)，具体工作由互联网工程指导小组 IESG (Internet Engineering Steering Group) 管理。这些工作组划分为若干个领域 (area)，每个领域集中研究某一特定的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) 互联网研究部 IRTF (Internet Research Task Force)

IRTF 是由一些研究组 RG (Research Group) 组成的论坛，具体工作由互联网研究指导小组 IRSG (Internet Research Steering Group) 管理。IRTF 的任务是研究一些需要长期考虑的问题，包括互联网的一些协议、应用、体系结构等。

① 注：最初的 IAB 中的 A 曾经代表 Activities (活动)。在一些旧的 RFC 中使用的是这个旧名词。

所有的互联网标准都是以 RFC 的形式在互联网上发表的。RFC (Request For Comments)的意思就是“请求评论”。所有的 RFC 文档都可从互联网上免费下载。但应注意，并非所有的 RFC 文档都是互联网标准。互联网标准的制定往往要花费漫长的时间，并且是一件非常慎重的的工作。只有很少部分的 RFC 文档最后能变成互联网标准。RFC 文档按发表时间的先后编上序号（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 文档已成为陈旧的或被更新，但陈旧的 RFC 文档并不会被删除，而是永远保留着，供用户参考。

制定互联网的正式标准要经过以下三个阶段：

- (1) **互联网草案(Internet Draft)** ——在这个阶段还不能算是 RFC 文档。
- (2) **建议标准(Proposed Standard)**——从这个阶段开始就成为 RFC 文档。
- (3) **互联网标准(Internet Standard)**——达到正式标准后，每个标准就分配到一个编号 STD xx。一个标准可以和多个 RFC 文档关联。

原来从 RFC 文档成为互联网标准要经过三个阶段，即建议标准→草案标准→互联网标准。但现已简化为两个阶段，即建议标准→互联网标准。草案标准容易和互联网草案混淆。

互联网草案的有效期只有六个月。只有到了建议标准阶段才以 RFC 文档形式发表。

除了建议标准和互联网标准这三种 RFC 文档外，还有三种 RFC 文档，即历史的、实验的和提供信息的 RFC 文档。历史的 RFC 文档或者是被后来的规约所取代，或者是从未到达必要的成熟等级因而未变成为互联网标准。实验的 RFC 文档表示其工作属于正在实验的情况，而不能够在任何实用的互联网服务中进行实现。提供信息的 RFC 文档包括与互联网有关的一般的、历史的或指导的信息。

1.3 互联网的组成

互联网的拓扑结构虽然非常复杂，并且在地理上覆盖了全球，但从其工作方式上看，可以划分为以下两大块：

(1) **边缘部分** 由所有连接在互联网上的主机组成。这部分是用户直接使用的，用来进行通信（传送数据、音频或视频）和资源共享。

(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。

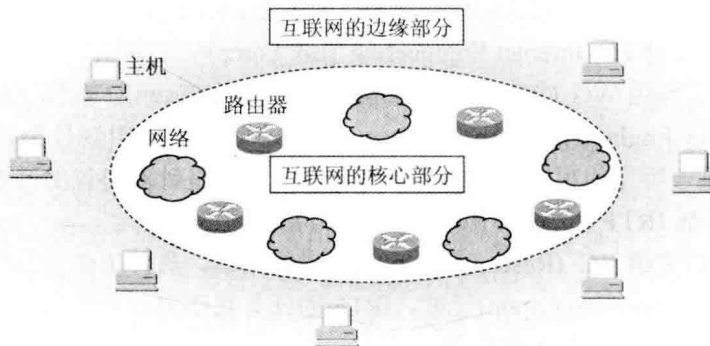


图 1-5 互联网的边缘部分与核心部分