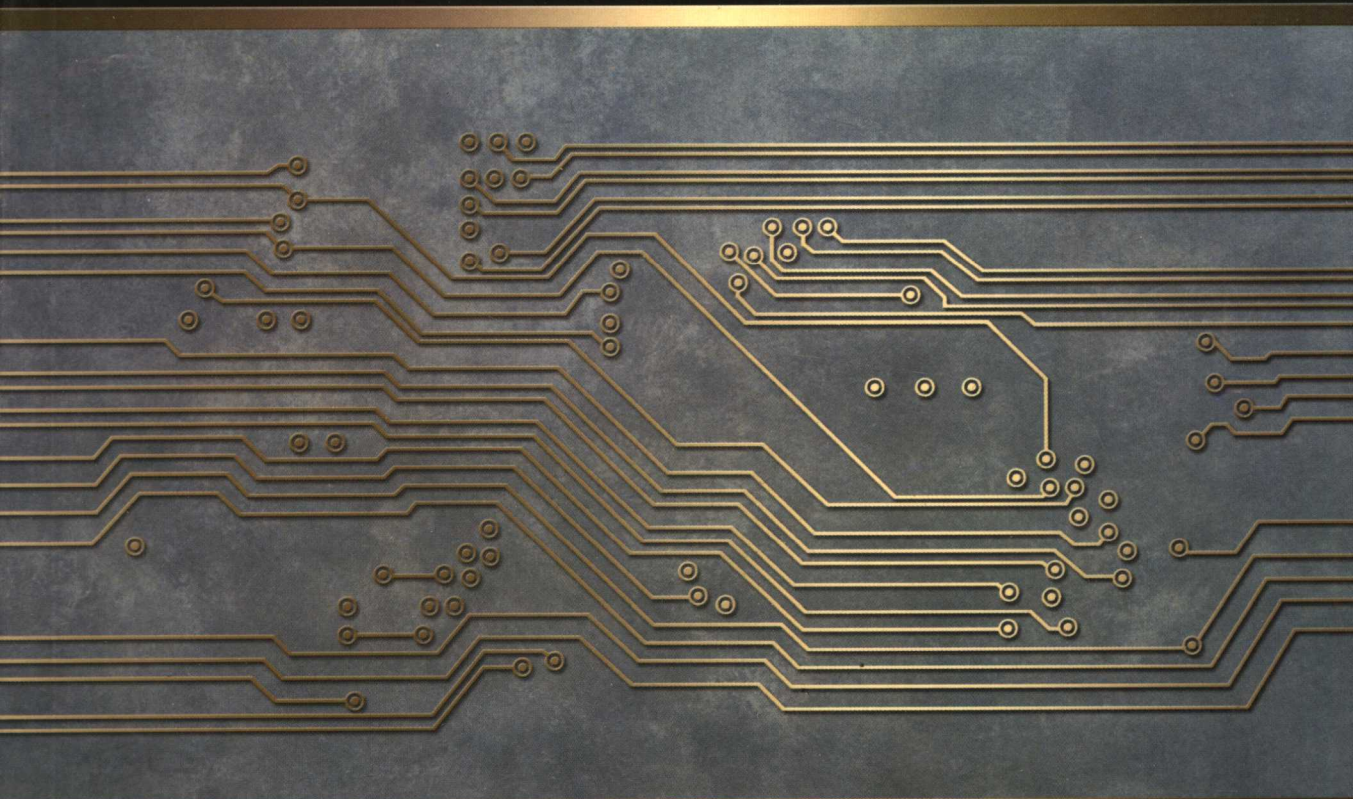


新编电气与电子信息类本科规划教材

计算机网络

简明教程

谢希仁 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编电气与电子信息类本科规划教材

计算机网络简明教程

谢希仁 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

全书分为 10 章, 即概述物理层、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、无线局域网及下一代因特网的网际协议等内容。各章均附有习题。此外, 附录 A 给出了部分习题答案, 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.huaxin.edu.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

计算机网络简明教程 / 谢希仁编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.11
(新编电气与电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-121-05131-9

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 152922 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 刘汝辉

印 刷: 北京季峰印刷有限公司

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: 15.5 字数: 396.8 千字

印 次: 2007 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 25.00 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。

质量投诉请发邮件至 zlts@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

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甚至是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，写成一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.huaxin.edu.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)
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	(4)
1.2.3 因特网的标准化工作	(7)
1.3 因特网的组成	(7)
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	(16)
1.5.1 计算机网络的定义	(16)
1.5.2 几种不同类别的网络	(16)
1.6 计算机网络的性能指标	(17)
1.7 计算机网络体系结构	(21)
1.7.1 计算机网络体系结构的形成	(21)
1.7.2 协议与划分层次	(23)
1.7.3 具有五层协议的体系结构	(24)
1.7.4 实体、协议和服务	(27)
1.7.5 TCP/IP 的体系结构	(28)
习题	(31)
第 2 章 物理层	(32)
2.1 物理层的基本概念	(32)
2.2 数据通信的基础知识	(33)
2.2.1 数据通信系统的模型	(33)
2.2.2 有关信道的几个基本概念	(34)
2.2.3 提高数据传输速率的途径	(35)
2.3 物理层下面的传输媒体	(36)
2.3.1 导向传输媒体	(36)
2.3.2 非导向传输媒体	(40)
2.4 信道复用技术	(42)
2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用	(42)
2.4.2 波分复用	(44)
2.4.3 码分复用	(45)
2.5 数字传输系统	(46)
2.5.1 脉码调制体制	(46)
2.5.2 同步光纤网 SONET 和同步数字系列 SDH	(47)
2.6 宽带接入技术	(49)

2.6.1	ADSL 技术	(49)
2.6.2	光纤同轴混合网	(51)
2.6.3	FTTx 技术	(53)
习题	(55)
第 3 章	数据链路层	(56)
3.1	使用点对点信道的数据链路层	(56)
3.1.1	数据链路和帧	(56)
3.1.2	三个基本问题	(57)
3.2	点对点协议 PPP	(59)
3.2.1	PPP 协议的主要特点	(60)
3.2.2	PPP 协议的帧格式	(61)
3.2.3	PPP 协议的工作状态	(62)
3.3	使用广播信道的数据链路层	(62)
3.3.1	局域网的数据链路层	(63)
3.3.2	CSMA/CD 协议	(66)
3.4	使用广播信道的以太网	(67)
3.4.1	使用集线器的星形拓扑	(67)
3.4.2	以太网的 MAC 层	(69)
3.5	扩展的以太网	(71)
3.5.1	在物理层扩展以太网	(71)
3.5.2	在数据链路层扩展以太网	(72)
3.6	高速以太网	(74)
3.6.1	几种高速以太网	(74)
3.6.2	使用高速以太网进行宽带接入	(76)
习题	(78)
第 4 章	网络层	(80)
4.1	网络层的重要概念	(80)
4.1.1	尽最大努力交付	(80)
4.1.2	虚拟互连网络	(81)
4.1.3	分类的 IP 地址	(83)
4.1.4	IP 地址与硬件地址	(87)
4.2	网际协议 IP	(89)
4.3	地址解析协议 ARP	(93)
4.4	IP 层转发分组的流程	(95)
4.5	无分类的 IP 地址	(98)
4.5.1	无分类域间路由选择 CIDR	(98)
4.5.2	地址聚合	(100)
4.6	因特网的路由选择协议	(102)
4.6.1	有关路由选择协议的几个基本概念	(102)
4.6.2	内部网关协议——RIP	(103)
4.6.3	内部网关协议——OSPF	(105)
4.6.4	外部网关协议——BGP	(106)
4.7	网际控制报文协议	(107)

4.8	IP 多播	(109)
4.9	虚拟专用网 VPN	(111)
	习题	(115)
第 5 章	运输层	(118)
5.1	运输层协议概述	(118)
5.1.1	进程之间的通信	(118)
5.1.2	运输层的两个主要协议	(120)
5.1.3	运输层的端口	(120)
5.2	用户数据报协议 UDP	(122)
5.3	传输控制协议 TCP 概述	(123)
5.3.1	TCP 最主要的特点	(123)
5.3.2	TCP 的连接	(125)
5.4	可靠传输的工作原理	(125)
5.4.1	停止等待协议	(125)
5.4.2	连续 ARQ 协议	(128)
5.5	TCP 报文段的首部格式	(129)
5.6	滑动窗口机制	(132)
5.7	TCP 的拥塞控制	(134)
5.8	TCP 的运输连接管理	(137)
	习题	(142)
第 6 章	应用层	(144)
6.1	域名系统	(144)
6.1.1	域名系统概述	(144)
6.1.2	因特网的域名结构	(145)
6.1.3	域名服务器	(148)
6.2	文件传送协议	(152)
6.3	万维网	(153)
6.3.1	概述	(153)
6.3.2	统一资源定位地址 URL	(155)
6.3.3	超文本传送协议 HTTP	(156)
6.3.4	万维网的文档	(158)
6.3.5	万维网上的信息检索系统	(164)
6.4	电子邮件	(165)
6.4.1	概述	(165)
6.4.2	简单邮件传送协议	(167)
6.4.3	邮件读取协议 POP3 和 IMAP	(169)
6.4.4	基于万维网的电子邮件	(170)
6.5	动态主机配置协议 DHCP	(170)
	习题	(174)
第 7 章	网络安全	(176)
7.1	网络安全问题概述	(176)
7.1.1	计算机网络面临的安全性威胁	(176)
7.1.2	计算机网络安全的内容	(178)

7.1.3 一般的数据加密模型	(178)
7.2 两类密码体制	(179)
7.2.1 对称密钥密码体制	(179)
7.2.2 公钥密码体制	(180)
7.3 数字签名	(181)
7.4 鉴别	(182)
7.5 密钥分配	(183)
7.6 运输层使用的安全协议 SSL	(185)
7.7 链路加密与端到端加密	(187)
7.8 防火墙	(188)
习题	(191)
第 8 章 因特网上的音频/视频服务	(192)
8.1 概述	(192)
8.2 流式存储音频/视频	(196)
8.2.1 具有元文件的万维网服务器	(196)
8.2.2 媒体服务器	(197)
8.2.3 实时流式协议 RTSP	(198)
8.3 交互式音频/视频	(199)
8.3.1 IP 电话概述	(199)
8.3.2 IP 电话所需要的几种应用协议	(202)
8.4 改进“尽最大努力交付”服务	(205)
习题	(208)
第 9 章 无线局域网	(209)
9.1 无线局域网的组成	(209)
9.2 802.11 无线局域网的物理层	(213)
9.3 802.11 无线局域网的 CSMA/CA 协议	(214)
9.4 802.11 无线局域网的 MAC 帧	(215)
习题	(218)
第 10 章 下一代因特网的网际协议	(219)
10.1 解决 IP 地址耗尽的措施	(219)
10.2 IPv6 的基本首部	(219)
10.3 IPv6 的扩展首部	(221)
10.4 IPv6 的地址空间	(222)
10.4.1 地址的类型与地址空间	(222)
10.4.2 地址空间的分配	(224)
10.4.3 特殊地址	(224)
10.4.4 全球单播地址的等级结构	(225)
10.5 从 IPv4 向 IPv6 过渡	(226)
习题	(228)
附录 A 部分习题的解答	(229)
附录 B 英文缩写词	(233)
参考文献	(239)

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，就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。网络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 20 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。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现故障不能工作了，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。

注：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。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。

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）**^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)给出了一个具有五个结点和四条链路的网络。我们看到，有四台计算机通过四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。

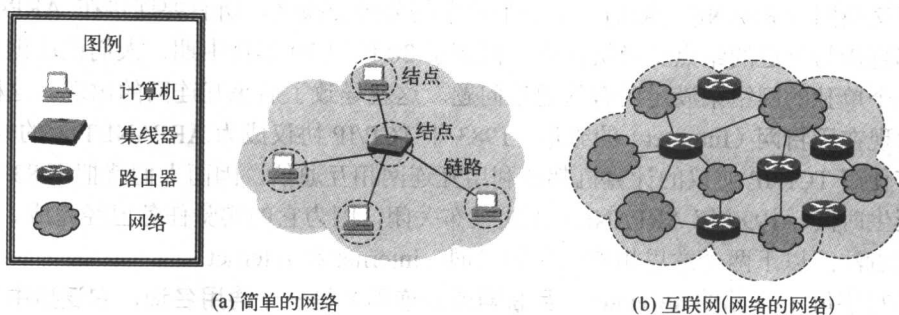


图 1-1 网络示意图

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）**。路由器是一种特殊的计算机，它的任务是连接不同的网络，而不是进行通信和信息处理。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。

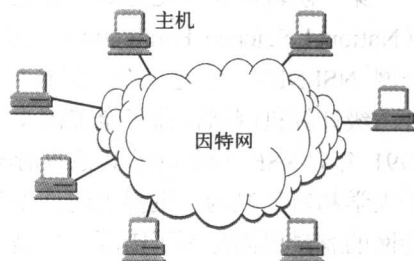


图 1-2 因特网与连接的主机

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。**

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。

本书中所谈到的网络都是包含有计算机的网络，因此这样的网络就是**计算机网络**。当

注：① 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。在出现树状数据结构时，树上的 **node** 则应当译为“节点”。

然，因特网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，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，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 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，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。

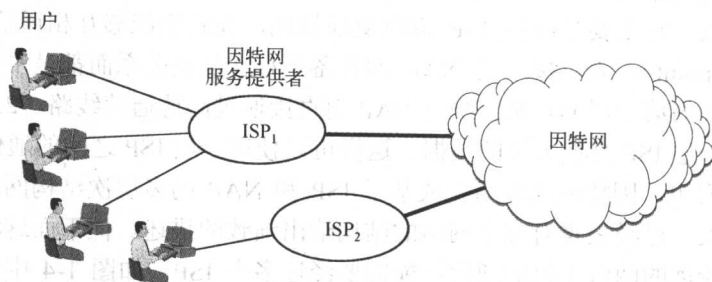


图 1-3 用户通过 ISP 接入因特网

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 也分为不同的层次。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。

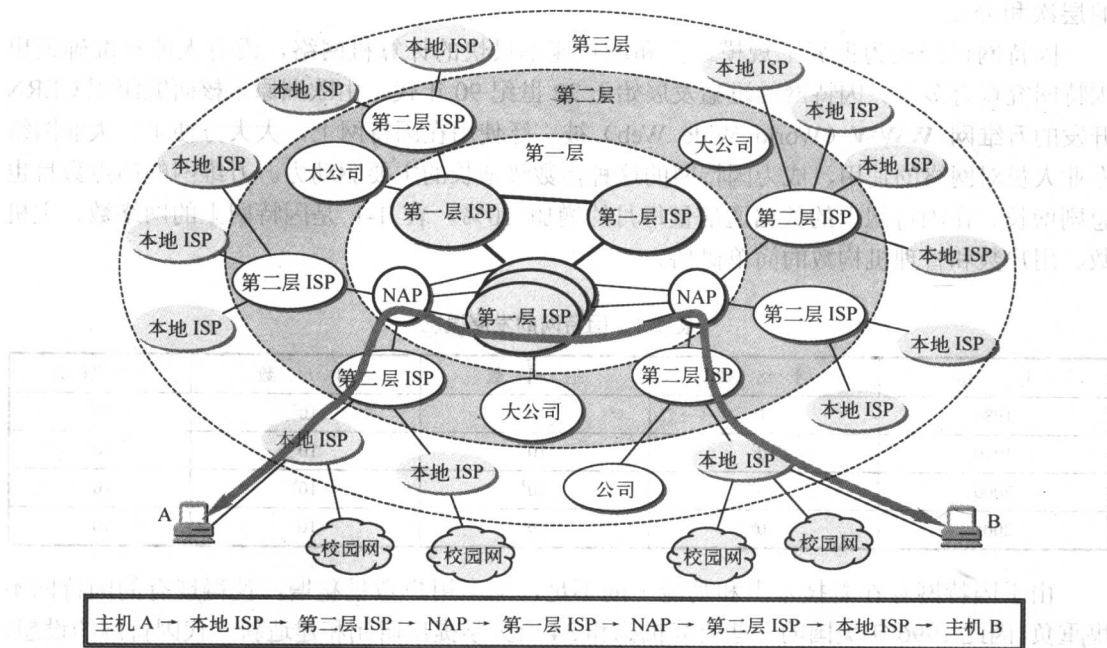


图 1-4 基于 ISP 的三层结构的因特网的概念示意图

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

注：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)。

电信公司经营。NAP 用来交换因特网上的流量。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（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。

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（Next Generation Internet Initiative）计划。

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, 因而也会影响技术的发展。因特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。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。这种方式对因特网的迅速发展影响很大。

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做**因特网协会** (Internet Society, 简称为 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做**因特网体系结构委员会 IAB** (Internet Architecture Board), 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 IETF** (Internet Engineering Task Force) ——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 IRTF** (Internet Research Task Force) ——从事理论方面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 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的四个阶段:

- (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, 但从其工作方式上看, 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

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。

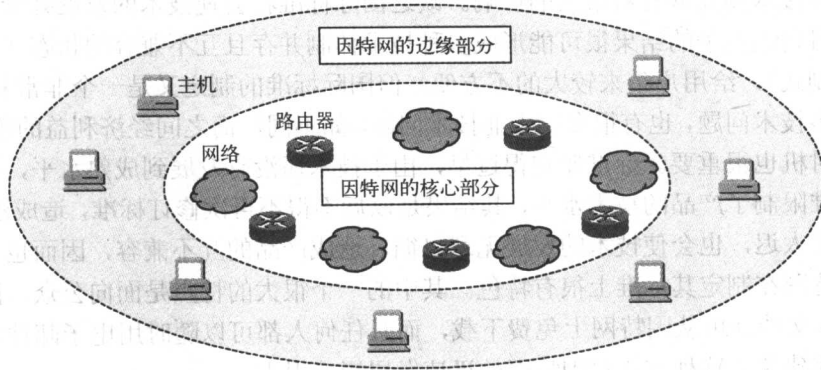


图 1-5 因特网的边缘部分与核心部分

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），“端”就是“末端”的意思（即因特网的末端）。端系统在功能上可能有很大的差别，小的端系统可以是一台普通个人电脑甚至是很小的掌上电脑，而大的端系统则可以是一台非常昂贵的大型计算机。端系统的拥有者可以是个人，也可以是单位（如学校、企业、政府机关等），当然也可以是某个 ISP（即 ISP 不仅向端系统提供服务，它也可以拥有一些端系统）。边缘部分利用核心部分所提供的服务，使众多主机之间能够互相通信并交换或共享信息。

我们先要明确下面的概念。我们说：“主机 A 和主机 B 进行通信”，实际上是指：“运行在主机 A 上的某个程序和运行在主机 B 上的另一个程序进行通信”。由于“进程”就是“运行着的程序”，因此这也就是指：“主机 A 的某个进程和主机 B 上的另一个进程进行通信”。这种比较严密的说法通常可以简称为“计算机之间通信”这种一般的说法。

在网络边缘的端系统中运行的程序之间的通信方式通常可划分为两大类：客户-服务器方式（C/S 方式）和对等方式（P2P 方式）^①。下面分别对这两种方式进行介绍。

1. 客户-服务器方式

这种方式在因特网上是最常用的，也是传统的方式。我们在上网发送电子邮件或在网站上查找资料时，都是使用客户-服务器方式（或客户/服务器方式）。

大家知道，当我们打电话时，电话机的振铃声使被叫用户知道现在有一个电话呼叫。计算机通信的对象是应用层中的应用进程，显然不能用响铃的办法来通知所要找的对方的应用进程。然而采用客户-服务器方式可以使两个应用进程能够进行通信。

注：① C/S 方式表示 Client/Server 方式，P2P 方式表示 Peer-to-Peer 方式。有时还可看到另外一种叫做浏览器服务器方式，即 B/S 方式（Browser/Server 方式），但这仍然是 C/S 方式的一种特例。