

高等学校21世纪教材

GAODENG XUOXIAO 21 SHIJI JIAOCAI

# 计算机网络 教程

(第二版)

◎ 谢希仁 编著



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

高等学校 21 世纪教材

计算机网络教程  
(第二版)

谢希仁 编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

计算机网络教程 / 谢希仁编著. —2 版. —北京: 人民邮电出版社, 2006.5

ISBN 7-115-14709-4

I. 计... II. 谢... III. 计算机网络—教材 IV. TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 048909 号

### 内 容 提 要

本书分为 11 章, 以 TCP/IP 体系的核心协议, 介绍了因特网概述、计算机网络的协议与体系结构、物理层、点对点的数据链路层、局域网、广域网、网络互连 (这是重点)、运输层、应用层、计算机网络的安全。各章均附有习题。此外, 还有三个附录, 即部分习题的答案、参考文献与网址以及对进行计算机网络实验的一些建议。

本书的特点是强调基本原理、概念准确、论述严谨、内容新颖、图文并茂。既考虑到教材内容应相对成熟, 又保持内容具有一定的先进性。本书可供理工科大学的本科生和从事计算机网络工作的工程技术人员学习参考。

高等学校 21 世纪教材

### 计算机网络教程 (第二版)

- 
- ◆ 编 著 谢希仁  
责任编辑 向 伟
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京铭成印刷有限公司印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 18.75  
字数: 449 千字 2006 年 5 月第 2 版  
印数: 125 301-129 300 册 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 7-115-14709-4/TP · 5373

定价: 26.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

# 丛书前言

当今世界，科学技术突飞猛进，知识经济已见端倪，国际竞争日趋激烈。教育在综合国力的形成中处于基础地位，国力的强弱将越来越取决于劳动者的素质，取决于各类人才的质量和数量，这对于培养和造就我国 21 世纪的一代新人提出了更加迫切的要求。21 世纪初，我国高等教育呈快速发展的势头。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，是进行教学的基本工具，也是深化教育教学改革、全面推进素质教育、培养创新人才的重要保证。因此，高等教育教材建设必须有一个与之相适应的快速发展。

随着计算机软硬件的不断升级换代，计算机教学内容也随之更新，尤其随着教育部“高等教育面向 21 世纪教育内容与课程体系改革”计划的实施，对教材也提出了新的要求。为此我们聘请了国内高校计算机教学方面知名的专家教授，精心策划编写了这套“高等学校 21 世纪教材”。

为真正实施精品战略，组织编写好这套教材，我们在国内高校做了系统、详细的调查，对教育部制订的教育计划做了认真的研究，还对国内外已出版的教材做了理性的分析，确立了依托国家教育计划、传播先进教学理念、为培养符合社会需要的高素质创新型人才服务的宗旨。

在本套教材的策划过程中，我们多次组织了由专家及高校一线教师参加的研讨会，对现有比较出色的教材的特点及优点进行了分析，博采众长，力求实现教材权威性与实用性的完美结合。

本套教材有如下特点：

1. 考虑到全国普通高等院校学生的知识、能力、素质的特点和实际教学情况，在编写教材时把重点放在基本理论、基础知识、基本技能与方法上。
2. 紧密结合当前技术的新发展，在阐述理论知识的同时侧重实用性。
3. 力求在概念和原理的讲述上严格、准确、精练，理论适中，实例丰富，写作风格上深入浅出，图文并茂，便于学生学习。
4. 为适应当前高校课程种类多、课时数要压缩的教学特点，教材不仅篇幅有很大的压缩，而且均配有电子教案，以满足现代教学新特点的需要，做到易教易学。
5. 所选作者均是国内有丰富教学实践经验的知名专家、教授，所编教材具有较高的权威性。

教育的改革将不会停止，教材也将会不断推陈出新。目前本套教材即将推出，将接受广大教学第一线教师的检验。

由于我们的水平和经验有限，这批教材在编审、出版工作中还存在不少缺点和不足，希望使用本套教材的学校师生和广大读者提出批评和建议，以便改进我们的工作，使教材质量不断提高。

## 第二版前言

这次修订教材的指导思想是：原则上不作大改动，但要更突出 TCP/IP 主线。增加少量较新的技术，删除某些相对陈旧的内容。对于可讲也可不讲的内容则尽量去掉，使教材更加精炼。

改动较多的是第 4 章的数据链路层。过去一些颇有影响的计算机网络教科书大多按照 OSI 的思路，在数据链路层详细讲解可靠传输的原理。然而目前许多实用的数据链路层协议并没有采用可靠传输机制。实际上，一直要到学习运输层的 TCP 协议时才讨论可靠传输的问题。因此，我们在数据链路层删除有关可靠传输的内容，而把这部分内容移到运输层中。在数据链路层重点讨论目前使用得最多的 PPP 协议。这样修改可以使数据链路层的内容更加符合当前的网络实际情况。

由于宽带接入的普及率已较高，因此这部分内容就从最后一章移到第 3 章中讨论。

本教材在原则上都使用国家制定的标准译名或推荐译名。无标准译名的则尽量采用大多数文献所使用的译法。有些译名改变了（比原来的译名更加准确）。例如，ICMP 以前译为因特网控制报文协议，现改为网际控制报文协议。同样，IGMP 也改为网际组管理协议。另外，bit 的标准译名本来就有两个，即“比特”和“位”。考虑到计算机界更多地习惯于用“位”，因此，在修订版本中在可能的情况下尽量使用更简单的译名“位”。

这次修订教材还增加和修改了 82 个插图，删除了若干可省略的插图。

陈鸣、胡谷雨、张兴元、齐望东、吴礼发教授对教材的修订提出了许多宝贵意见，杨心强、高素青副教授也及时向编者反映他们在教学中发现的问题，吴自珠副教授对书稿进行了校对和整理。很多不相识的读者通过电子邮件反馈了他们的意见和建议。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

2005 年 12 月于解放军理工大学，南京

编者的电子邮件地址：[xiexr@public1.ptt.js.cn](mailto: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 .....	5
1.3 因特网的组成 .....	7
1.3.1 因特网的边缘部分 .....	7
1.3.2 因特网的核心部分 .....	9
1.4 计算机网络在我国的发展 .....	15
1.5 计算机网络的分类 .....	16
1.5.1 计算机网络的不同定义 .....	16
1.5.2 计算机网络的几种不同分类方法 .....	17
1.6 计算机网络的主要性能指标 .....	18
1.6.1 带宽 .....	18
1.6.2 时延 .....	20
1.6.3 时延带宽积和往返时延 .....	21
习题 .....	22
第 2 章 计算机网络的协议与体系结构 .....	24
2.1 计算机网络体系结构的形成 .....	24
2.2 协议与划分层次 .....	25
2.3 具有五层协议的计算机网络体系结构 .....	27
2.4 TCP/IP 的体系结构 .....	31
习题 .....	33
第 3 章 物理层 .....	34
3.1 物理层的基本概念 .....	34
3.2 数据通信的基础知识 .....	35
3.2.1 数据通信系统的模型 .....	35
3.2.2 有关信道的几个基本概念 .....	37
3.2.3 信道的最高码元传输速率 .....	37

3.2.4	信道的极限信息传输速率	39
3.3	物理层下面的传输媒体	40
3.3.1	导向传输媒体	40
3.3.2	非导向传输媒体	46
3.4	模拟传输与数字传输	48
3.4.1	模拟传输系统	49
3.4.2	调制解调器	50
3.4.3	数字传输系统	53
3.5	信道复用技术	55
3.5.1	频分复用、时分复用和统计时分复用	55
3.5.2	波分复用	58
3.5.3	码分复用	59
3.6	同步光纤网 SONET 和同步数字系列 SDH	61
3.7	物理层标准举例——EIA-232 接口标准	63
3.8	宽带接入技术	64
3.8.1	xDSL 技术	64
3.8.2	光纤同轴混合网（HFC 网）	66
3.8.3	FTTx 技术	69
	习题	69
<b>第 4 章</b>	<b>点对点信道的数据链路层</b>	<b>71</b>
4.1	数据链路层的基本概念	71
4.1.1	数据链路层的简单模型	71
4.1.2	链路和数据链路	73
4.2	三个基本问题	74
4.2.1	帧定界	74
4.2.2	透明传输	75
4.2.3	差错检测	77
4.3	点对点协议 PPP	79
4.3.1	PPP 协议的特点	79
4.3.2	PPP 协议的帧格式	82
4.3.3	PPP 协议的工作状态	83
4.4	HDLC 协议	84
	习题	86
<b>第 5 章</b>	<b>局域网</b>	<b>87</b>
5.1	局域网概述	87
5.2	传统以太网	88
5.2.1	以太网的工作原理	89



5.2.2	使用集线器的星型拓扑	94
5.2.3	以太网的信道利用率	96
5.3	以太网的 MAC 层	97
5.3.1	MAC 层的硬件地址	97
5.3.2	以太网 V2 的 MAC 帧格式	99
5.4	扩展的局域网	101
5.4.1	在物理层扩展局域网	101
5.4.2	在数据链路层扩展局域网	102
5.4.3	虚拟局域网	107
5.5	高速以太网	108
5.5.1	100BASE-T 以太网	108
5.5.2	吉比特以太网	109
5.5.3	10 吉比特以太网	111
5.5.4	以太网接入	112
5.6	无线局域网	113
5.6.1	无线局域网的组成	113
5.6.2	802.11 标准中的 MAC 层	116
5.6.3	其他无线计算机网络	121
	习题	122
<b>第 6 章</b>	<b>广域网</b>	<b>124</b>
6.1	广域网的基本概念	124
6.1.1	广域网的构成	124
6.1.2	数据报和虚电路	125
6.2	广域网中的分组转发机制	127
6.2.1	在结点交换机中查找转发表	128
6.2.2	路由表的简化	129
6.3	异步传递方式 ATM	131
6.3.1	ATM 的基本概念	131
6.3.2	ATM 的协议参考模型和信元结构	133
6.3.3	ATM 的逻辑连接机制	136
6.4	其他广域网	137
6.4.1	X.25 分组交换网	137
6.4.2	帧中继 FR	138
	习题	139
<b>第 7 章</b>	<b>网络互连</b>	<b>141</b>
7.1	网络互连概述	141
7.1.1	路由器的作用和组成	141



7.1.2	IP 虚拟网	144
7.2	因特网的网际协议 IP	145
7.2.1	分类 IP 地址	145
7.2.2	IP 地址与硬件地址	150
7.2.3	地址解析协议 ARP 和逆地址解析协议 RARP	152
7.2.4	IP 数据报的格式	155
7.2.5	IP 层处理数据报的流程	158
7.3	划分子网和构造超网	160
7.3.1	子网的划分	160
7.3.2	使用子网时分组的转发	164
7.3.3	无分类编址 CIDR（构造超网）	165
7.4	因特网控制报文协议 ICMP	169
7.5	因特网的路由选择协议	172
7.5.1	有关路由选择协议的几个基本概念	172
7.5.2	内部网关协议 RIP	174
7.5.3	内部网关协议 OSPF	177
7.5.4	外部网关协议 BGP	181
7.6	因特网组中的多播	184
7.6.1	IP 多播的基本概念	184
7.6.2	因特网组管理协议 IGMP	186
7.6.3	多播路由选择	187
7.7	虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT	188
7.7.1	虚拟专用网 VPN	188
7.7.2	网络地址转换 NAT	190
7.8	下一代的网际协议 IPv6 (Ipng)	191
7.8.1	解决 IP 地址耗尽的措施	191
7.8.2	IPv6 的基本首部格式	191
7.8.3	IPv6 的编址	193
7.8.4	从 IPv4 向 IPv6 过渡	195
7.8.5	ICMPv6	196
	习题	197
<b>第 8 章</b>	<b>运输层</b>	<b>201</b>
8.1	运输层协议概述	201
8.1.1	进程之间的通信	201
8.1.2	运输层中的两个协议	203
8.1.3	运输层的端口	204
8.2	用户数据报协议 UDP	206
8.2.1	UDP 概述	206

8.2.2	UDP 的首部格式 .....	206
8.3	传输控制协议 TCP .....	208
8.3.1	TCP 概述 .....	208
8.3.2	TCP 报文段的首部 .....	210
8.3.3	TCP 的数据编号与确认 .....	213
8.3.4	TCP 的流量控制与拥塞控制 .....	215
8.3.5	TCP 的重传机制 .....	221
8.3.6	TCP 的运输连接管理 .....	222
8.3.7	TCP 的有限状态机 .....	225
	习题 .....	226
<b>第 9 章</b>	<b>应用层 .....</b>	<b>229</b>
9.1	域名系统 DNS .....	229
9.1.1	域名系统概述 .....	229
9.1.2	因特网的域名结构 .....	230
9.1.3	用域名服务器进行域名解析 .....	232
9.2	文件传送协议 .....	235
9.2.1	概述 .....	235
9.2.2	FTP 的基本工作原理 .....	235
9.2.3	简单文件传送协议 TFTP .....	237
9.3	远程终端协议 TELNET .....	238
9.4	电子邮件 .....	238
9.4.1	概述 .....	238
9.4.2	简单邮件传送协议 SMTP .....	241
9.4.3	电子邮件的信息格式 .....	243
9.4.4	邮件读取协议 POP3 和 IMAP .....	243
9.4.5	通用因特网邮件扩充 MIME .....	244
9.5	万维网 WWW .....	248
9.5.1	概述 .....	248
9.5.2	统一资源定位符 URL .....	250
9.5.3	超文本传送协议 HTTP .....	251
9.5.4	万维网的文档 .....	257
9.6	动态主机配置协议 DHCP .....	260
	习题 .....	261
<b>第 10 章</b>	<b>计算机网络的安全 .....</b>	<b>263</b>
10.1	网络安全问题概述 .....	263
10.1.1	计算机网络面临的安全性威胁 .....	263
10.1.2	计算机网络安全的内容 .....	265

10.1.3 数据加密的一般模型 .....	265
10.2 常规密钥密码体制 .....	266
10.2.1 替代密码与置换密码 .....	266
10.2.2 数据加密标准 DES .....	268
10.3 公钥密码体制 .....	270
10.3.1 公钥密码体制的特点 .....	270
10.3.2 RSA 公钥密码体制 .....	272
10.3.3 数字签名 .....	273
10.4 报文鉴别 .....	274
10.5 密钥分配 .....	275
10.6 链路加密与端到端加密 .....	276
10.6.1 链路加密 .....	276
10.6.2 端到端加密 .....	277
10.7 防火墙 .....	277
习题 .....	279
<b>第 11 章 结束语 .....</b>	<b>280</b>
<b>附录 A 部分习题解答 .....</b>	<b>282</b>
<b>附录 B 参考文献与网址 .....</b>	<b>286</b>
<b>附录 C 对网络实验的一些建议 .....</b>	<b>288</b>

# 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逆转的影响。

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**。需要有这三种网络是因为它们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 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以来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**连接和共享**。所谓**连接**, 就是计算机网络使上网用户之间都可以进行通信, 好像这些用户的计算机是彼此直接连接起来一样。所谓**共享**, 就是在计算机网络上有许多主机存储了大量有价值的电子文档, 可供上网用户自由地读取, 这就叫做**资源共享**。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, 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; 股市交易都将暂停; 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。

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，所以，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<sup>①</sup>。这就使得 20 世纪 90 年代成为公认的**因特网时代**，或简称为**网络时代**。

可以从不同的角度来看因特网。图 1-1 (a) 是最常用的一种表示因特网的方法。因特网用一朵云来表示，因为因特网太大了，没有人能够画出因特网的具体结构。我们看到，有许多计算机连接在因特网上。这种连接到计算机网络上的计算机通常都称为**主机 (host)**。

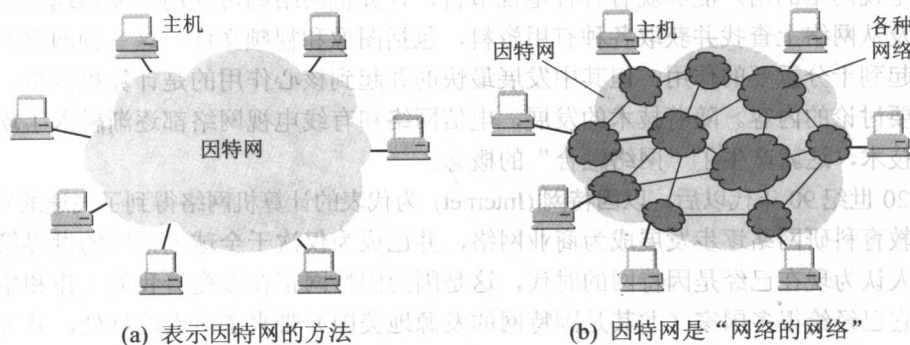


图 1-1 因特网

如果再进一步，我们可以把表示因特网的云彩里面再画出一些互相连接在一起的各种网络，如图 1-1 (b) 所示。这表示因特网是**网络的网络 (network of networks)**。当我们不需要关心因特网内部的许多细节（例如，各个具体的网络的一些特性）而只是强调因特网是由许多网络互连在一起时，这样的表示方法就很清楚。因此，我们有这样的概念：

<sup>①</sup> 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”一定不能用“互联”代替。“连接”也一定不能用“联接”代替。

计算机网络把许多计算机连接在一起，而因特网则把许多计算机网络连接在一起。

还有一点也必须注意，就是网络互连并不是把计算机简单地在物理上连接起来，因为仅仅这样做并不能达到计算机之间能够相互交换信息的目的。我们还必须有许多的软件加上去才行。因此，当我们谈到网络互连时，就已经暗示了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。

### 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突然的。

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 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，这就导致后来互联网的出现。这样的互联网就成为现在因特网 (Internet) 的雏形。1983 年 TCP/IP 成为 ARPANET 上的标准协议，使得所有使用 TCP/IP 的计算机都能利用互联网相互通信，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不一样的名词 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 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 6 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，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 1 百万台。1993 年因特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级 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)**。ISP 就是一个进行商业活动的公司，因此它又常称为**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，这一概念将在第 7 章中详细讨论），同时拥有通信线路（大的 ISP 自己建设通信线路，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向上网用户提供了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”),而是把一批IP地址有偿分配给经审查合格的ISP(只“批发”)。图1-2说明了用户上网与ISP的关系。

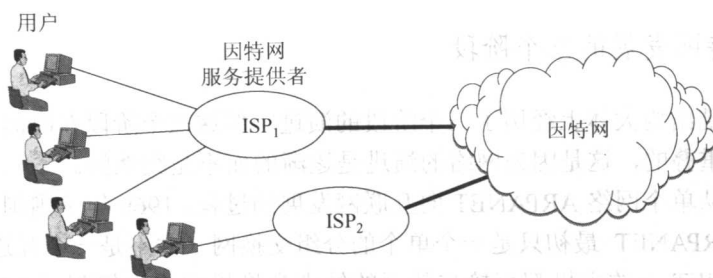


图 1-2 用户通过 ISP 接入因特网

根据提供服务的覆盖面积大小的不同,ISP也分为不同的等级。因此,现在的因特网并不是某个单个组织所拥有的。图1-3是具有三级结构ISP的因特网的概念示意图,这个图并不表示ISP的地理位置的关系。

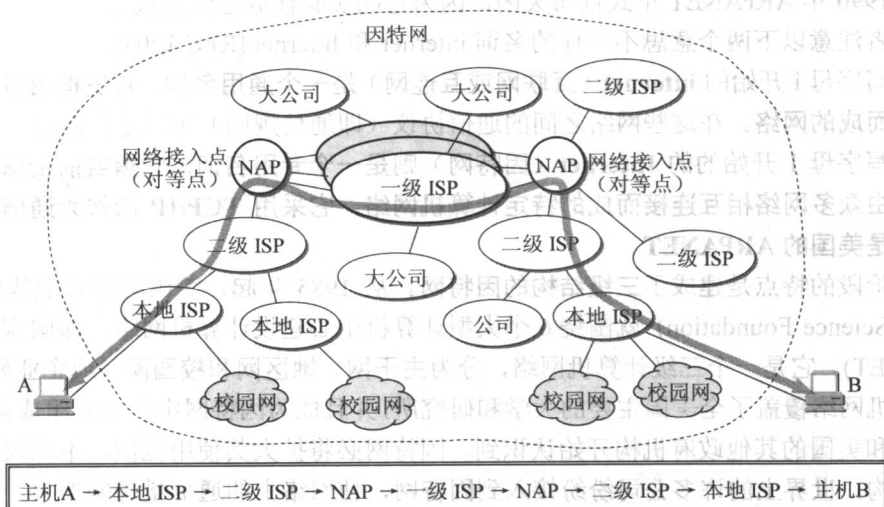


图 1-3 基于ISP的多级结构的因特网的概念示意图

在图中,最高级别的一级ISP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。二级ISP和一些大公司都是一级ISP的用户。三级ISP又称为本地ISP,它们是二级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,都是三级ISP的用户。为了使不同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。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21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。

从图 1-3 可看出,因特网逐渐演变成基于 ISP 和 NAP 的多级结构网络。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 1-3 中的灰色粗线表示主机 A 要经过许多不同的 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 ISP 进行通信。

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 因特网的发展情况概况

	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 计划要实现的一个目标是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 Mbit/s 至 10 Gbit/s。另一个目标是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。NGI 计划将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。在整个因特网的管理和保证信息的可靠性与安全性方面也会有很大的改进。

### 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),给用户带来较大的麻烦。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。其中一个很大的特点是面向公众。因特网所有的技术文档都可从因特网上免费下载 (具体的网址见附录 B), 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)<sup>①</sup>**, 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)

IETF 是由许多工作组 WG (Working Group) 组成的论坛 (forum), 具体工作由**因特网工程指导小组 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) 因特网研究部 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**因特网研究指导小组 IRSG (Internet Research Steering Group)** 管理。IRTF 的任务是进行理论方面的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) 的意思就是“请求评论”。所有的 RFC 文档都可从因特网上免费下载 [W-RFC]。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。例如, 2003 年 11 月公布了因特网正式协议标准 RFC 3600<sup>②</sup>, 此文档注明了: 以前的文档 RFC 3300 已变成为陈旧的。但到了 2004 年 7 月, RFC 3600 文档又更新了, 新文档的编号是 RFC 3700, 此文档又注明: RFC 3600 已变成为陈旧的。现有的 RFC 文档中有不少已变为陈旧的, 在参考时应当注意。

制定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)**。

因特网草案的有效期只有 6 个月。只有到了建议标准阶段才以 RFC 文档形式发表。本书的许多内容都注明了其相关的 RFC 文档号以便进一步学习。

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。

② 注: 这种文档很有用, 它给出了因特网最新的正式标准 (包括建议标准和草案标准)。但应注意, 这个文档经常不定期地被更新, 它的最新编号是当时已发表的最高序号的 RFC xx00, 同时还指出上次的最新正式协议标准文档已经变为陈旧的。读者应当经常查找最新的这种文档。