

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

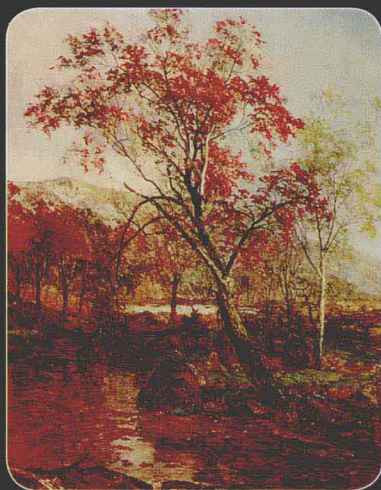
计算机网络教程

(第3版)

A Textbook on Computer Networks (3rd Edition)

谢希仁 谢钧 编著

- 参考计算机专业考研大纲
- 体现了作者多年的教学经验
- 吸收了多种国外著名教材的优点
- 强调基本原理，概念准确、深入浅出、理论适中



名家系列

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机网络教程

(第3版)

A Textbook on Computer Networks (3rd Edition)

谢希仁 谢钧 编著



名家系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

计算机网络教程 / 谢希仁, 谢钧编著. -- 3版. --
北京: 人民邮电出版社, 2012.5
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-27553-0

I. ①计… II. ①谢… ②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(2012)第026058号

内 容 提 要

全书分为7章,即概述、物理层、数据链路层(包括局域网)、网络互连、运输层、网络应用、网络安全。各章均附有本章的重要概念和习题。此外,附录A给出了部分习题答案,附录B是参考书目。

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与概念。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。

21 世纪高等学校计算机规划教材 计算机网络教程 (第 3 版)

-
- ◆ 编 著 谢希仁 谢 钧
责任编辑 邹文波
 - ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17 2012年5月第3版
字数: 449千字 2012年5月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-27553-0

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

第 1 章 概述	1	2.4.1 频分复用、时分复用和统计 时分复用.....	41
1.1 计算机网络在信息时代中的作用.....	1	2.4.2 波分复用.....	44
1.2 因特网概述.....	3	2.4.3 码分复用.....	45
1.2.1 网络的网络.....	3	2.5 数字传输系统.....	46
1.2.2 因特网发展的三个阶段.....	4	2.6 宽带接入技术.....	47
1.2.3 因特网的标准化工作.....	7	2.6.1 ADSL 技术.....	47
1.3 因特网的组成.....	8	2.6.2 光纤同轴混合网.....	49
1.3.1 因特网的边缘部分.....	8	2.6.3 FTTx 技术.....	51
1.3.2 因特网的核心部分.....	10	2.6.4 无线接入.....	51
1.4 计算机网络在我国的发展.....	15	本章的重要概念.....	52
1.5 计算机网络的类别.....	16	习题.....	53
1.5.1 计算机网络的定义.....	16	第 3 章 数据链路层	54
1.5.2 几种不同类别的网络.....	16	3.1 使用点对点信道的数据链路层.....	54
1.6 计算机网络的主要性能指标.....	17	3.1.1 数据链路层所处的地位.....	54
1.7 计算机网络体系结构.....	20	3.1.2 数据链路和帧.....	55
1.7.1 计算机网络体系结构的形成.....	20	3.1.3 数据链路层的三个基本问题.....	56
1.7.2 协议与划分层次.....	22	3.1.4 数据链路层的可靠传输.....	60
1.7.3 具有五层协议的体系结构.....	24	3.2 点对点协议 PPP.....	62
1.7.4 实体、协议和服务.....	26	3.2.1 PPP 协议的特点.....	63
1.7.5 TCP/IP 的体系结构.....	28	3.2.2 PPP 协议的组成.....	63
本章的重要概念.....	28	3.2.3 PPP 协议的帧格式.....	64
习题.....	29	3.2.4 PPP 协议的工作状态.....	65
第 2 章 物理层	31	3.3 使用广播信道的数据链路层.....	66
2.1 物理层的基本概念.....	31	3.4 使用广播信道以太网.....	67
2.2 数据通信的基础知识.....	32	3.4.1 以太网概述.....	67
2.2.1 数据通信系统的模型.....	32	3.4.2 CSMA/CD 协议.....	69
2.2.2 有关信道的几个基本概念.....	33	3.4.3 使用集线器的星形拓扑.....	73
2.2.3 提高数据传输速率的途径.....	35	3.4.4 以太网的信道利用率.....	74
2.3 物理层下面的传输媒体.....	35	3.4.5 以太网的 MAC 层.....	75
2.3.1 导引型传输媒体.....	35	3.5 扩展的以太网.....	80
2.3.2 非导引型传输媒体.....	39	3.5.1 在物理层扩展以太网.....	80
2.4 信道复用技术.....	41	3.5.2 在数据链路层扩展以太网.....	81

3.6 高速以太网.....	87	4.7 虚拟专用网 VPN.....	153
3.6.1 100BASE-T 以太网.....	87	4.8 下一代的网际协议 IPv6 (IPng).....	155
3.6.2 吉比特以太网.....	88	4.8.1 解决 IP 地址耗尽的根本措施.....	155
3.6.3 10 吉比特和 100 吉比特以太网.....	89	4.8.2 IPv6 的基本首部格式.....	155
3.6.4 使用以太网进行宽带接入.....	90	4.8.3 IPv6 的编址.....	157
3.7 无线局域网.....	91	4.8.4 从 IPv4 向 IPv6 过渡.....	158
3.7.1 无线局域网的组成.....	91	4.8.5 ICMPv6.....	159
3.7.2 802.11 标准中的 MAC 层.....	95	本章的重要概念.....	160
3.7.3 其他无线计算机网络.....	99	习题.....	162
本章的重要概念.....	99	第 5 章 运输层	166
习题.....	101	5.1 运输层协议概述.....	166
第 4 章 网络互连	104	5.1.1 进程之间的通信.....	166
4.1 网络层提供的两种服务.....	104	5.1.2 因特网的运输层协议.....	168
4.2 网际协议 IP.....	106	5.1.3 运输层的复用与分用.....	168
4.2.1 虚拟互连网络.....	107	5.2 用户数据报协议 UDP.....	170
4.2.2 分类的 IP 地址.....	109	5.2.1 UDP 概述.....	170
4.2.3 IP 地址与硬件地址.....	112	5.2.2 UDP 的首部格式.....	171
4.2.4 地址解析协议 ARP.....	115	5.3 传输控制协议 TCP.....	172
4.2.5 IP 数据报的格式.....	117	5.3.1 TCP 的主要特点.....	172
4.2.6 IP 层转发分组的流程.....	120	5.3.2 TCP 报文段结构.....	173
4.3 划分子网和构造超网.....	123	5.3.3 TCP 的可靠数据传输.....	176
4.3.1 划分子网.....	123	5.3.4 流量控制.....	180
4.3.2 使用子网时分组的转发.....	128	5.3.5 TCP 的连接管理.....	181
4.3.3 无分类编址 CIDR (构造超网).....	129	5.4 拥塞控制原理.....	185
4.4 网际控制报文协议 ICMP.....	133	5.4.1 拥塞的原因与开销.....	185
4.4.1 ICMP 报文的种类.....	133	5.4.2 拥塞控制的基本方法.....	187
4.4.2 ICMP 的应用举例.....	135	5.5 TCP 的拥塞控制.....	188
4.5 因特网的路由选择协议.....	136	本章的重要概念.....	192
4.5.1 有关路由选择协议的几个.....	136	习题.....	193
基本概念.....	136	第 6 章 网络应用	196
4.5.2 内部网关协议 RIP.....	138	6.1 应用层协议原理.....	196
4.5.3 内部网关协议 OSPF.....	141	6.1.1 网络应用程序体系结构.....	196
4.5.4 外部网关协议 BGP.....	145	6.1.2 应用层协议.....	198
4.5.5 路由器的构成.....	147	6.1.3 选择运输层协议.....	199
4.6 因特网中的多播.....	149	6.2 域名系统 DNS.....	199
4.6.1 IP 多播的基本概念.....	149	6.2.1 域名系统概述.....	200
4.6.2 在局域网上进行硬件多播.....	151	6.2.2 因特网的域名结构.....	201
4.6.3 IP 多播需要两种协议.....	151		

6.2.3 域名服务器	202
6.2.4 域名解析的过程	204
6.3 万维网 WWW	205
6.3.1 万维网概述	205
6.3.2 统一资源定位符 URL	207
6.3.3 超文本传送协议 HTTP	208
6.3.4 万维网的文档	214
6.3.5 博客与微博	215
6.4 电子邮件	217
6.4.1 概述	217
6.4.2 简单邮件传送协议 SMTP	219
6.4.3 电子邮件的信息格式	220
6.4.4 邮件读取协议 POP3 和 IMAP	221
6.4.5 基于万维网的电子邮件	222
6.4.6 通用因特网邮件扩充 MIME	223
6.5 文件传输协议	226
6.6 动态主机配置协议: DHCP	227
6.7 P2P 文件共享	229
6.7.1 P2P 文件分发	229
6.7.2 在 P2P 对等方中搜索对象	230
6.7.3 案例: BitTorrent	232
6.8 多媒体网络应用	232
6.8.1 实时多媒体数据传输中的问题	233
6.8.2 实时传输协议 RTP	235
6.8.3 流式存储音频/视频	236
6.8.4 流式实况音频/视频	237
6.8.5 实时交互音频/视频	238
本章的重要概念	240
习题	241

第7章 网络安全 243

7.1 网络安全概述	243
7.1.1 安全威胁	243
7.1.2 安全服务	244
7.2 机密性与密码学	245
7.2.1 对称密钥密码体制	246
7.2.2 公钥密码体制	247
7.3 报文完整性	248
7.3.1 报文摘要和报文鉴别码	248
7.3.2 数字签名	249
7.4 实体鉴别	250
7.5 密钥分发和认证	251
7.5.1 对称密钥的分发	251
7.5.2 公钥的认证	252
7.6 网络安全协议	252
7.6.1 网络层安全协议: IPsec	253
7.6.2 运输层安全协议: SSL/TLS	254
7.6.3 应用层安全协议: PGP	257
7.7 系统安全: 防火墙与入侵检测	257
7.7.1 防火墙	258
7.7.2 入侵检测系统	259
本章的重要概念	260
习题	261

附录 A 部分习题解答 262

附录 B 参考书目 266

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，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) 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、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。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。然而实际上网络融合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 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:① 连通性;② 共享。

所谓连通性,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。

所谓共享就是资源共享,即连接在计算机网络上的用户可以共享网络上的各种资源。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。现在计算机网络与电信网络和有线电视网络一样,已经成为一种通信基础设施,但由于计算机网络的端设备是功能强大具有智能的计算机,因此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,就能为用户提供更加丰富多彩的服务和应用。

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治理)。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、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。

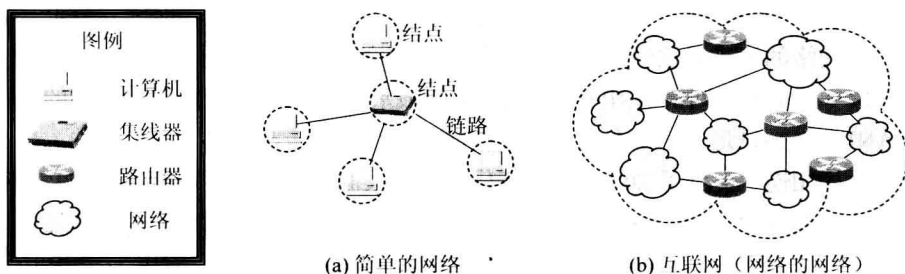


图 1-1 网络示意图

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（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。

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

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。

② 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。但目前在我国各种文献和书籍中使用最多的仍是“节点”。在出现树状数据结构时，树上的 node 则应当译为“节点”。

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指的是**计算机网络**。因特网就是世界上最大的计算机网络。

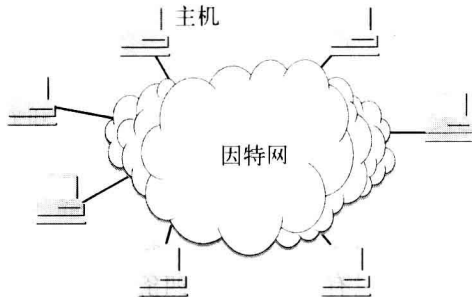


图 1-2 因特网与连接的主机

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——从单个网络 ARPANET 向互联网发展。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——逐步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 和美国的其他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 Mbit/s (T3 速率)。

第三阶段——逐渐形成了多层次 ISP 结构的因特网。ISP 就是因特网服务提供者的英文缩写,它表示 Internet Service Provider。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，而是让各种 ISP 来运营。ISP 又常译为因特网服务提供商。

ISP 可以从因特网管理机构申请到成块的 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”。IP 地址的管理机构不会把一个单独的 IP 地址分配给某个单个用户（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 说明了用户要通过 ISP 才能连接到因特网。

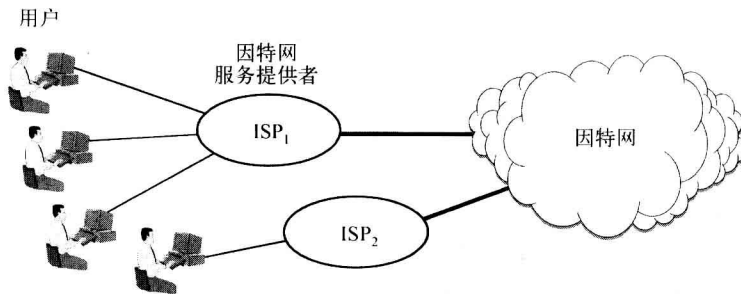


图 1-3 用户通过 ISP 接入因特网

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。图 1-4 所示为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。

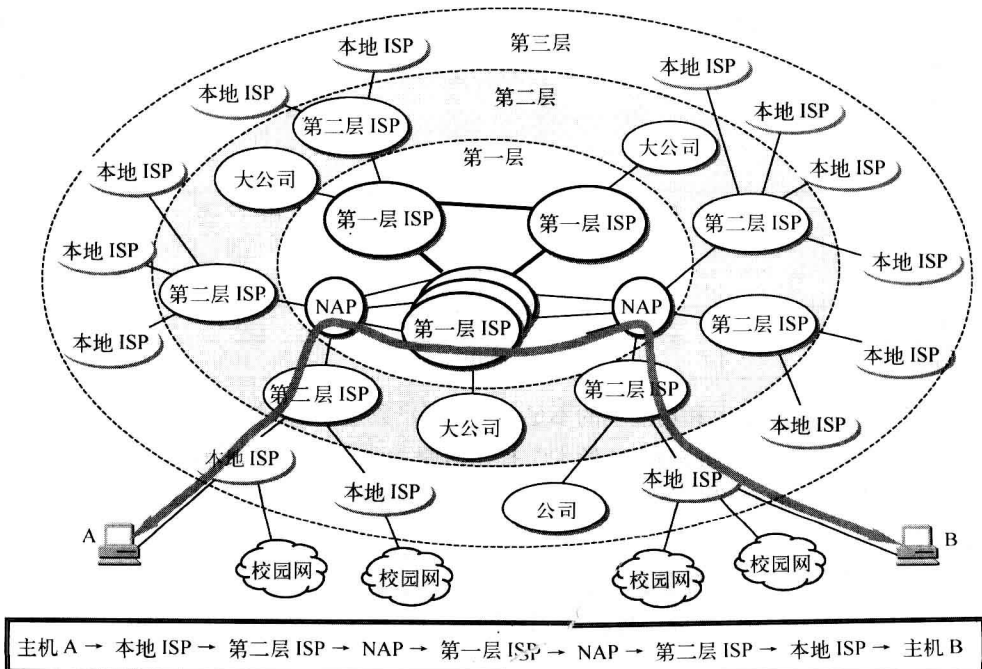


图 1-4 基于 ISP 的三层结构的因特网的概念示意图

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 Gbit/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,没有人能够准确地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(统计到 2005 年)。

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

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)。

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 ~ 10 Gbit/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。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。这种方式更加促进了因特网的迅速发展。

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。

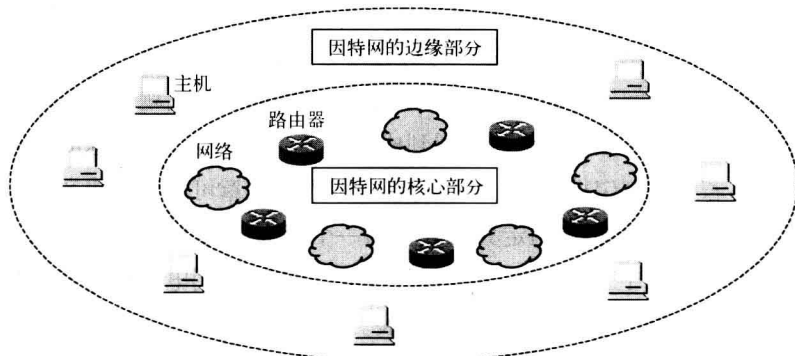


图 1-5 因特网的边缘部分与核心部分

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”。

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

^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。

找资料时，都是使用客户-服务器方式（或客户/服务器方式，这两种写法是一样的意思）。

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。

客户 (client) 和服务器 (server) 都是指通信中所涉及的两个应用进程。客户-服务器方式所描述的是进程之间服务和被服务的关系。在图 1-6 中，主机 A 运行客户程序而主机 B 运行服务器程序。在这种情况下，A 是客户而 B 是服务器，客户 A 向服务器 B 发出请求服务，而服务器 B 向客户 A 提供服务。这里最主要的特征就是：**客户是服务请求方，服务器是服务提供方。**

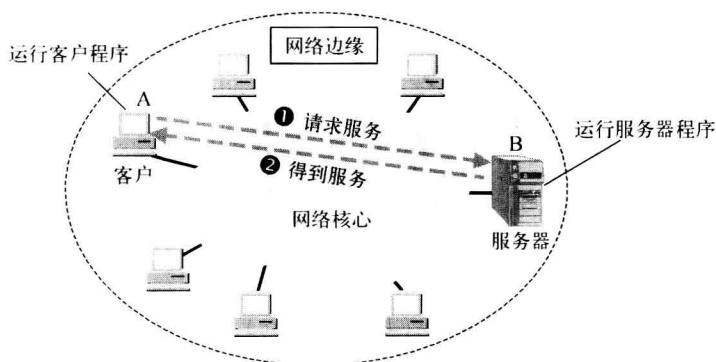


图 1-6 客户-服务器工作方式

服务请求方和服务提供方都要使用网络核心部分所提供的服务。

在实际应用中，客户程序和服务器程序通常还具有以下一些主要特点。

客户程序：

(1) 被用户调用后运行，在通信时主动向远地服务器发起通信（请求服务）。因此，客户程序必须知道服务器程序的地址。

(2) 不需要特殊的硬件和很复杂的操作系统。

服务器程序：

(1) 是一种专门用来提供某种服务的程序，可同时处理多个远地或本地客户的请求。

(2) 系统启动后即自动调用并一直不断地运行着，被动地等待并接受来自各地的客户的通信请求。因此，服务器程序不需要知道客户程序的地址。

(3) 一般需要强大的硬件和高级的操作系统支持。

客户与服务器的通信关系建立后，通信可以是双向的，客户和服务器都可发送和接收数据。

顺便要说一下，上面所说的客户和服务器本来都指的是计算机进程（软件）。使用计算机的人是计算机的“用户 (user)”而不是“客户 (client)”。但在许多国外文献中，经常也把运行客户程序的机器称为 client（在这种情况下也可把 client 译为“客户机”），把运行服务器程序的机器称为 server。因此我们应当根据上下文来判断 client 或 server 是指软件还是硬件。在本书中，有时为了清楚起见，我们也使用“客户端”（或“客户机”）或“服务器端”来表示“运行客户程序的机器”或“运行服务器程序的机器”。

2. 对等连接方式

对等连接 (peer-to-peer, 简称为 P2P) 是指两台主机在通信时并不区分哪一个是服务请求方还是服务提供方。只要两台主机都运行了对等连接软件 (P2P 软件)，它们就可以进行平等的、对等

连接通信。这时，双方都可以下载对方已经存储在硬盘中的共享文档。因此这种工作方式也称为 P2P 文件共享。在图 1-7 中，主机 C、D、E 和 F 都运行了 P2P 软件，因此这几台主机都可进行对等通信（如 C 和 D、E 和 F，以及 C 和 F）。实际上，对等连接方式从本质上看仍然是使用客户服务器方式，只是对等连接中的每一台主机既是客户同时又是服务器。例如，当主机 C 请求 D 的服务时，C 是客户，D 是服务器。但如果 C 又同时向 F 提供服务，那么 C 又同时起着服务器的作用。

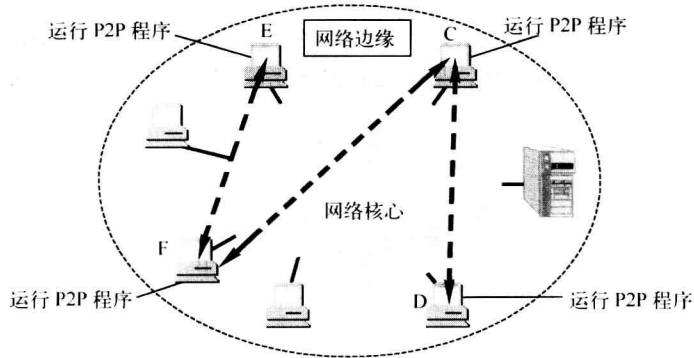


图 1-7 对等连接工作方式

对等连接工作方式可支持大量对等用户（如上百万个）同时工作。现在很流行的 BT 或电驴（emule）都使用了 P2P 的工作方式。

1.3.2 因特网的核心部分

网络核心部分是因特网中最复杂的部分，因为网络中的核心部分要向网络边缘中的大量主机提供连通性，使边缘部分中的任何一台主机都能够向其他主机通信。

在网络核心部分起特殊作用的是路由器（router），它是一种专用计算机（但不是主机）。路由器是实现分组交换（packet switching）的关键构件，其任务是转发收到的分组，这是网络核心部分最重要的功能。为了弄清分组交换，下面先介绍电路交换的基本概念。

1. 电路交换的主要特点

在电话问世后不久，人们就发现，要让所有的电话机都两两相连接是不现实的。图 1-8(a) 表示两部电话只需要用一对电线就能够互相连接起来。但若有 5 部电话要两两相连，则需要 10 对电线，如图 1-8(b) 所示。当电话机的数量很大时，这种连接方法需要的电线数量就太大了（与电话机的数量的平方成正比）。于是人们认识到，要使得每一部电话能够很方便地和另一部电话进行通信，就应当使用电话交换机将这些电话连接起来，如图 1-8(c) 所示。每一部电话都连接到交换机上，而交换机使用交换的方法，让电话用户彼此之间可以很方便地通信。一百多年来，电话交换机虽然经过多次更新换代，但交换的方式一直都是电路交换（circuit switching）。

当电话机的数量增多时，就要使用很多彼此连接起来的交换机来完成全网的交换任务。用这样的方法，就构成了覆盖全世界的电信网。

从通信资源的分配角度来看，交换（switching）就是按照某种方式动态地分配传输线路的资源。在使用电路交换打电话之前，必须先拨号请求建立连接。当被叫用户听到交换机送来的拨号音并摘机后，从主叫端到被叫端就建立了一条连接，也就是一条专用的物理通路。这条连接保证了双方通话时所需的通信资源，而这些资源在双方通信时不会被其他用户占用。此后主叫和被叫双方就能互相通电话。通话完毕挂机后，交换机释放刚才使用的这条专用的物理通路（即把刚才