



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

计算机网络教程

(第2版)

高传善 曹 袖 毛迪林 王雪平



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材

计算机网络教程

Jisuanji Wangluo Jiaocheng

(第 2 版)

高传善 曹 袖 毛迪林 王雪平



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是在作者编写的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《计算机网络教程》的基础之上,结合教学实践和读者反馈意见,为适应计算机网络的最新进展而重新编写的。本书仍然以目前广泛使用的 Internet 体系结构为核心,主要内容包括计算机网络概述、物理层、数据链路层、媒体访问控制、网络互连、端到端的运输协议、网络应用、网络安全与网络管理以及资源管理,编写时根据计算机网络技术与应用的发展情况,与 Internet 中广泛使用的协议紧密结合,大大增强了实践性。本书每章后面都附有丰富的习题。

本书既可作为高等学校计算机类专业计算机网络课程的教材,也可供从事计算机网络设计、工程、研究或应用的科研与工程技术人员学习或参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机网络教程/高传善等编著. --2 版. --北京:高等教育出版社,2013. 11

ISBN 978 - 7 - 04 - 038514 - 4

I. ①计… II. ①高… 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 (2013) 第 230234 号

策划编辑 刘 艳	责任编辑 刘 艳	封面设计 于文燕	版式设计 马敬娟
插图绘制 尹 莉	责任校对 刘春萍	责任印制 尤 静	

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京市昌平百善印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 27.5
字 数 610 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址	http://www.hep.edu.cn http://www.hep.com.cn
网上订购	http://www.landraco.com http://www.landraco.com.cn
版 次	2008 年 10 月第 1 版 2013 年 11 月第 2 版
印 次	2013 年 11 月第 1 次印刷
定 价	38.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 38514-00

前 言

本书是在作者编写的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《计算机网络教程》的基础上,结合教学实践和读者反馈意见,为适应计算机网络的最新进展而重新编写的。

本书仍然以目前广泛使用的 Internet 体系结构为核心,同时包括了数据通信与数据链路层的相关内容,采用从低层到高层的方法,使得学生能够从最初的传输媒体技术开始,逐步了解通过硬件和软件的方法来构建计算机网络并且实现各种网络应用的过程,包括:在传输媒体上传输比特,在点到点链路或者广播链路上的两个节点之间传输帧,通过由局域网交换机和路由器组成的通信子网传输分组,在两个连接到通信子网的端系统之间进行可靠或者不可靠的数据传输,实现各种类型的网络应用,保证应用的安全,进行网络资源的管理和高效利用等。

本书在编写时按照计算机网络技术与应用的发展情况,并参照了全国硕士研究生入学考试以及《高等学校网络工程专业规范(试行)》中相关课程大纲的要求,在内容和结构上都进行了较大的调整,变动较大。在内容方面,删除了一些相对陈旧的知识,对原有的某些章节作了压缩,而对部分章节则作了扩充,使其能够更加与 Internet 中广泛使用的协议紧密结合,大大增强了实践性,还新增了部分章节以反映近几年来计算机网络的新技术、新发展,如物联网、云计算、IPv6 迁移、Web Service、负载均衡和 CDN 等。本书每章都有与该章内容相关的热点讨论,以反映计算机网络的发展方向,有兴趣的读者可以进一步阅读相关的文献。作为教材,在每章的后面都附有大量的习题,为方便教学,本书提供配套的习题解答,如需要,可与作者(cgao@fudan.edu.cn)联系。本书既适合作为高等学校相关课程的教材,也可供从事计算机网络设计、工程、研究或应用的科研与工程技术人员学习或参考。

本书由高传善和曹袖主编,具体编写分工为:第1章由高传善、曹袖编写,第2章由高传善、毛迪林编写,第3章由高传善、王雪平编写,第4、5章由毛迪林编写,第6、7章由曹袖编写,第8、9章由王雪平编写,最后由高传善和曹袖统稿。限于时间与水平,书中难免有不妥之处,敬请批评指正。

作 者

2013年6月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第1章 概述	1	2.3 数字编码	56
1.1 访问 Internet	1	2.4 数字调制	59
1.1.1 计算机网络的组成	3	2.5 多路复用技术	62
1.1.2 计算机网络的定义和分类	6	2.6 接入网技术	65
1.1.3 计算机网络的度量	10	2.6.1 HFC	66
1.1.4 Internet 访问实例	11	2.6.2 电话网络	67
1.2 交换技术	14	2.6.3 光纤到户	71
1.2.1 电路交换	14	2.6.4 无线接入	72
1.2.2 分组交换	15	热点讨论:4G 技术	77
1.2.3 电路交换和分组交换的主要区别	17	习题	77
1.3 计算机网络体系结构	18	第3章 数据链路层	80
1.3.1 层次模型	18	3.1 数据链路层的功能	80
1.3.2 开放系统互连参考模型	20	3.1.1 帧同步	80
1.3.3 Internet 参考模型	24	3.1.2 差错控制	81
1.3.4 OSI 和 Internet 参考模型比较	26	3.1.3 流量控制	82
1.4 计算机网络发展	28	3.1.4 链路管理	82
1.4.1 计算机网络发展历程	28	3.2 差错检测与校正	82
1.4.2 Internet 发展历程	32	3.2.1 差错控制的基本概念	83
1.4.3 计算机网络发展趋势	34	3.2.2 常用的简单差错控制编码	85
1.5 计算机网络标准化组织	37	3.2.3 卷积码	92
热点讨论:绿色网络	40	3.2.4 RS 码	94
习题	41	3.3 数据链路协议	97
第2章 物理层	44	3.3.1 停等协议	97
2.1 传输媒体	44	3.3.2 顺序接收的管道协议	102
2.1.1 双绞线	45	3.3.3 选择重传协议	103
2.1.2 同轴电缆	46	3.3.4 流量控制的滑动窗口协议	104
2.1.3 光纤	47	3.4 数据链路层协议举例	105
2.1.4 电力线	48	3.4.1 面向比特的同步协议	105
2.1.5 无线传输媒体	49	3.4.2 点到点协议	108
2.2 信道的最大数据传输速率	53	热点讨论:网络编码技术	109

习题	111	5.3.4 ICMP	190
第4章 媒体访问控制	113	5.3.5 DHCP	194
4.1 媒体访问概述	113	5.3.6 NAT 技术	196
4.1.1 CDMA	115	5.3.7 IP 隧道	199
4.1.2 竞争机制	118	5.4 路由协议	200
4.2 以太网	122	5.4.1 链路状态路由	202
4.2.1 体系结构	122	5.4.2 距离向量路由	212
4.2.2 帧结构	125	5.4.3 边界网关协议	219
4.2.3 CSMA/CD	127	5.5 IP 组播	228
4.2.4 全双工以太网	131	5.5.1 组播服务模型	228
4.2.5 以太网媒体选项	134	5.5.2 IGMP	230
4.3 无线局域网	136	5.5.3 组播路由协议	231
4.3.1 IEEE 802.11 标准	136	5.6 移动节点的路由	237
4.3.2 无线局域网体系结构	139	5.7 移动自组网的路由	240
4.3.3 无线局域网媒体访问控制	141	5.8 IPv6	243
4.4 RFID	147	5.8.1 IPv6 分组格式	243
4.4.1 RFID 架构	147	5.8.2 IPv6 地址	245
4.4.2 数据传输方式	148	5.8.3 IPv6 的过渡	247
4.4.3 标签防冲突机制	150	热点讨论:数据中心网络	248
热点讨论:物联网	151	习题	249
习题	152	第6章 端到端的运输协议	255
第5章 网络互连	155	6.1 运输服务	255
5.1 交换和路由	155	6.1.1 运输层功能	255
5.1.1 虚电路和数据报	156	6.1.2 运输服务和服务质量	257
5.1.2 源路由	159	6.1.3 寻址和复用	259
5.1.3 逐跳路由	160	6.2 TCP	260
5.2 网桥	163	6.2.1 TCP 概述	261
5.2.1 透明网桥	163	6.2.2 TCP 格式	262
5.2.2 生成树算法	165	6.2.3 TCP 连接管理	265
5.2.3 虚拟局域网	172	6.2.4 TCP 可靠传输	270
5.2.4 交换机	174	6.2.5 TCP 流量控制	272
5.3 Internet 网络层	175	6.2.6 TCP 拥塞控制	275
5.3.1 Internet 的设计原则	175	6.2.7 TCP 计时器	278
5.3.2 IP	176	6.2.8 特殊网络环境下的 TCP	279
5.3.3 ARP	188	6.3 UDP 和 RTP	281
		6.3.1 UDP	282

6.3.2 RTP	283	8.3.3 IPSec	376
热点讨论:多路径 TCP	289	8.4 网络安全技术	377
习题	290	8.4.1 防火墙	378
第7章 网络应用	293	8.4.2 入侵检测系统	382
7.1 域名服务	293	8.5 网络管理基础	384
7.1.1 主机名和域名	293	8.5.1 网络管理的功能	385
7.1.2 域名注册和管理	295	8.5.2 简单网络管理协议	388
7.1.3 域名解析服务	297	8.5.3 网络管理的其他问题	394
7.1.4 Internet 域名和 URL	298	热点讨论:移动安全	396
7.2 传统应用	300	习题	397
7.2.1 电子邮件	300	第9章 资源管理	399
7.2.2 文件传送	310	9.1 服务质量	399
7.2.3 万维网	313	9.1.1 服务质量概述	399
7.3 多媒体应用	324	9.1.2 确定性和统计性服务质量保证	400
7.3.1 多媒体和流媒体概述	324	9.2 服务质量框架	401
7.3.2 流媒体传输	327	9.2.1 接入控制	401
7.3.3 RTSP	329	9.2.2 流量分类与标记	402
7.4 内容递交	335	9.2.3 流量监管和整形	403
7.4.1 Web 代理	335	9.2.4 队列调度	405
7.4.2 服务器农场	337	9.3 服务质量体系结构	409
7.4.3 CDN	338	9.3.1 集成服务	409
7.4.4 P2P 网络	340	9.3.2 区分服务	414
热点讨论:云计算和移动互联	344	9.4 MPLS 服务质量	417
习题	345	9.4.1 MPLS 基本概念	417
第8章 网络安全与网络管理	348	9.4.2 MPLS 实现集成服务	418
8.1 网络安全基本原理	348	9.4.3 MPLS 实现区分服务	419
8.1.1 安全目标以及攻击	348	9.4.4 区分服务的隧道化模式	420
8.1.2 安全服务和安全机制	350	9.5 拥塞控制	421
8.2 安全机制	353	9.5.1 拥塞控制的源算法	422
8.2.1 加密	353	9.5.2 拥塞控制的链路算法	423
8.2.2 数字签名	360	9.6 多媒体系统服务质量	425
8.2.3 身份鉴别	365	9.6.1 应用分类	425
8.3 安全协议	367	9.6.2 多媒体系统服务质量保证	427
8.3.1 DNSSec	367	热点讨论:TFRC	427
8.3.2 SSL	370	习题	428
		参考文献	430

第 1 章 概 述

计算机网络是出现在 20 世纪 50 年代末的一个计算机分支学科,虽然出现的时间相对较晚,但其得到了迅速发展和广泛应用,目前作为信息社会的基础设施已深入人类社会生活的各个方面。人类对新知识和新技术的学习和认知过程总是螺旋上升的,对某个复杂的事务不可能立即就全面理解。相反,对任何复杂的事务必须从各个不同的角度(总体和细节)进行学习,并随时温习以前学习过的内容,而每一次螺旋上升的过程都会有新的收获。本章就是学习计算机网络螺旋上升过程的“第一圈”。本章将简略地介绍使用计算机网络的总体过程以及现代网络技术的主要原理和体系结构,同时引入一些在计算机网络中常见的名词和术语,使读者形成初步的概念。了解一门学科的发展历史对掌握该门学科是十分有益的,本章还将回顾计算机网络(特别是 Internet)的发展历程,并简要介绍国际上主要从事数据通信和计算机网络标准化的相关组织。

1.1 访问 Internet

在人类社会中,人与人之间经常需要交换信息。从广义上讲,用任何方法通过任何媒体传输信息,均可称为通信。从这个意义上来看,会话、写信、古代的烽火台、航海中的旗语等都是通信技术。但是,现代通信技术则主要是指用电(或光)信号通过相应的信道来传递信息,传统的电报、电话就是这种通信技术的典型代表,它们已有较长的发展历史。现代计算机技术则是在 1946 年世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国诞生之后才出现的新技术。当时,计算机和通信之间并没有什么关系,但是,计算机技术的迅猛发展,使其成为信息存储与处理的主要工具。正由于计算机的出现,才使得处理和存储海量信息成为可能。而信息的流通需要则促使了计算机技术与通信技术的相互影响与结合。因此,与传统的物质和能源网络(如运输网、电网、水网)进行资源流通类似,计算机网络是因为信息的流通需要而诞生的。现代**计算机网络**(computer network)是信息技术(information technology, IT)和通信技术(communication technology, CT)独立发展而又密切结合的产物(又称为 ICT),是由通过各种通信手段相互连接起来的计算机组成的复合系统。

相对传统信息通信技术(如传统电话通信),计算机网络中的通信一般被称为**数据通信**(后面我们会发现它们技术上的差异)。因此,数据通信是计算机网络中各计算机之间信息传输的基础,而计算机网络的建立除了数据通信外还涉及计算机之间的资源共享、协同工作等信息处理功能。此外,与其他资源网络显著不同的是,资源在流通、使用中都会出现损耗,信息在流通、使

用中非但不会出现损耗,反而会通过交流而增值。从这个意义上来看,信息的流通就尤为重要了。信息的流通离不开通信与计算机网络,所以说通信与计算机网络是信息社会的基础设施。

下面通过用户访问 Internet 的总体过程来简单描述计算机网络的主要概念、组成、结构、定义与分类以及度量方法等。

在现代信息社会中,计算机网络与人们的工作、生活息息相关。人们可以通过计算机网络实现远程登录(Telnet)、文件传送(FTP,如下载音乐或图片)、收发电子邮件(E-mail)、发布信息(如BBS或微博)、即时通信(如QQ)、搜索信息(如Baidu或Google)、浏览新闻(如新浪或搜狐)、网络购物(如淘宝或京东商城)、网络社交(如Facebook或人人网)以及视频点播(如土豆或乐视网)等功能和应用。

Internet(或称**因特网**)是全球最大的计算机网络,它使全球上亿台计算机彼此连接,实现通信。但 Internet 本身并没有一个严格的定义或界定范围。一般来说,它至少包含三个方面的内容,即①基于 TCP/IP 协议簇的全球计算机网络;②网络用户的团体,用户使用网络资源,且为该网络的发展壮大贡献力量;③所有可访问和可利用资源的集合。简单地说,如果一台计算机(或本地网络)能够访问 Internet 或能够被 Internet 访问,即实现 Internet 连接,则被认为是 Internet 的一部分。当然,这种连接有时是持久的,有时是临时的。

如果计算机接入了 Internet 这个全球最大的计算机网络,那么应该如何访问 Internet,即如何通过 Internet 实现人们所需要的信息交流呢?

要通过 Internet 进行通信的计算机必须是连接在 Internet 上的,如图 1.1 所示。如果屏蔽实现计算机连接的各种网络差异,将其看成是 Internet 网络云,这样就简单了,计算机之间的通信就是在 Internet 网络云上的直接通信。这样,访问 Internet 就简化成一台计算机如何通过 Internet 网络云访问另一台计算机资源的问题了。事实上,在后面的网络分层模型中会发现这种简化视角是有相应的模型基础的。

这里先介绍两个概念。两台计算机通信时对传送信息内容的理解、信息的表示形式以及各种情况下的应答信号都必须遵循一个共同的约定,称为**协议**(protocol)。换句话说,协议实质上就是两台计算机通信时交互的一套形式化的规则。在一个计算机网络中将协议按功能分成了若干层。如何分层,以及各层具体采用的协议的总和,称为**网络体系结构**(network architecture)。网络体系结构是个抽象的概念,其具体实现是通过特定的硬件和软件来完成的。

这种计算机对资源的访问通常是基于**客户-服务器**(client-server, C/S)模型来进行的,即客户机(访问者)向服务器(被访问者)发出请求,服务器根据请求以结果来响应客户机,如图 1.2 所示。例如,要收取一封电子邮件,邮件由发送者发送到用户的邮箱中,由于这个邮箱位于邮件服务器,因此用户需要使用邮件客户软件向邮件服务器软件发送请求,服务器软件把所请求的邮件返回给用户。需要说明的是,客户机和服务器并不是计算

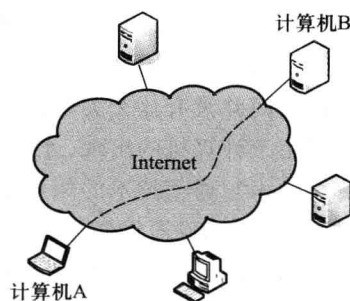


图 1.1 用户访问 Internet

机的全部,而只是计算机中的一个客户或服务器进程,因此这种通信也称为**进程间通信**(inter-process communication)。

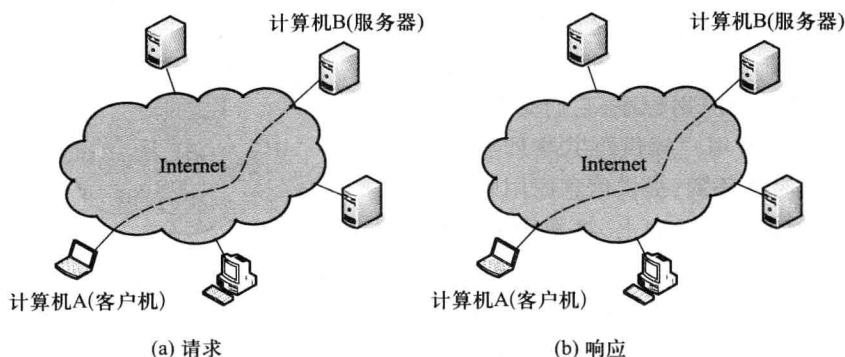


图 1.2 客户 - 服务器模型

在客户 - 服务器模型中,针对不同的应用通常需要使用不同的客户软件(当然也需要不同的服务器软件)。许多应用处理和事务处理逻辑都在客户端表达,这使得客户软件众多而庞大;相对来说,服务器软件就比较简单。因此这种客户 - 服务器模型也称为**胖客户 - 瘦服务器模型**。与此相对应,如果客户机使用一个统一、简单的浏览器软件,客户机和服务器之间只是通过浏览器来进行交互,则称为**浏览器 - 服务器 (browser-server, B/S) 模型**。在这种模型中,客户机很简单,没有专用的客户软件,也容易维护;但相应的应用处理和事务处理逻辑就需要由服务器软件来实现,这样服务器软件就比较复杂。因此这种浏览器 - 服务器模型也称为**瘦客户 - 胖服务器模型**。浏览器 - 服务器模型本质上也是一种客户 - 服务器模型。

在客户 - 服务器模型中,客户进程和服务器进程是不对等的:服务器进程是被动的,而客户进程是主动的。即客户进程主动发出请求,服务器进程被动等待请求,然后作出响应,从而实现一次通信过程。此外,还有一种**对等模型**,称为 **P2P (peer-to-peer) 模型**,双方之间没有主动/被动之分,任何一方都可以发起并实现一次通信过程。实际上,对等模型中的每一方都既是客户机也是服务器,也可以认为它是由两个客户 - 服务器构成的,因此每次通信都还是遵循客户 - 服务器模型中的请求 - 响应过程的。

对等模型被应用在利用大量较低性能计算机(如个人计算机)、完全分布实现的新型系统中,它要求客户机愿意承担服务器的任务。而在现实工作和生活环境中,大量的系统还是以客户 - 服务器模型为主,这其中也包含了一些安全因素。

下面进一步探讨访问 Internet 的细节。

1.1.1 计算机网络的组成

如果屏蔽了构成 Internet 的网络和计算机连接的细节,则会展示计算机网络的一个逻辑组成,如图 1.3 所示。根据早期的概念,计算机网络在逻辑上由通信子网和资源子网两部分组成。

图 1.3 中的 H 代表计算机,有时也称其为主机(host)。

通信子网负责计算机(即图 1.3 中的 H)间的数据通信,也就是传输服务。通信子网覆盖的地理范围可能只是很小的局部区域,甚至是一幢大楼或一个房间;也可能是远程的,甚至跨越国界、洲际直至全球。通过通信子网互连在一起的计算机则负责运行对信息进行处理的应用程序,它们是网络中信息流动的源与宿,向网络用户提供可共享的硬件、软件和信息资源,构成**资源子网**,提供信息应用服务。

在计算机网络的发展历史上,将网络中纯粹负责通信任务的子网与负责应用的计算机工作站点分离开来的两级子网结构最初是由 Internet 的鼻祖 **AR-PANET**(ARPA 网, Advanced Research Projects Agency, 美国国防部高级研究计划局)采用的。但这其实并不是计算机网络的发明,在传统的电话网络中负责话音传输服务的话音通信子网与进行通话的终端设备(电话机)也是分开的。这种两部分的结构使两部分能够被单独规划与管理,从而使整个网络的设计与运行简化。在局域范围内,一个单位可同时拥有通信子网和资源子网,但是在广域范围内则通常是另一种情况。例如,通信子网可以由政府部门或某电信经营商拥有并向社会公众开放服务,如同电话交换网那样。如果拥有计算机工作站点资源的单位希望连接远程网,则只要遵循通信子网所要求的接口标准,提出申请并付一定的费用,就可以接入该通信子网,利用其提供的服务来实现特定资源子网的数据通信任务。

计算机网络组成的这种两部分结构屏蔽了主机接入计算机网络以及计算机网络内部的通信和连接的细节,但其实这些细节是非常复杂的。首先,进行通信的主机间一般并不是通过直接的通信线路互连的,而是经中间节点(node)装置转接后互连的。这种中间节点在 AR-PANET 中被称为**接口报文处理机**(interface message processor, IMP)。IMP 在有些文献中也称为**网元**(cell)。

当某台主机上的用户要访问网络上远程的另一台主机时,主机首先将信息送至本地直接与其相连的 IMP,通过通信线路沿着适当的路径经若干 IMP 中途转接后,最终传送到远程的目标 IMP,并送入与其直接相连的目标主机。例如,在图 1.3 中,主机 H_1 上的某个用户要将信息送往主机 H_4 。该信息首先被送至 IMP_1 ,然后沿图 1.3 中粗黑线指出的路径,中间经 IMP_2 转接,最终传送到目标 IMP_3 ,再送入主机 H_4 。这种转接过程称为交换技术,在 1.2 节中将作详细讨论。

在目前的网络中,由于网络类型和技术的不同,有多种 IMP 设备,例如包括**中继器**(repeater, 又称转发器)、**集线器**(hub)、**网桥**(bridge)、**交换机**(switch)和**路由器**(router)等,甚至还包括无线网络中的**基站**(base station, BS)和**访问接入点**(access point, AP)以及拨号网络中的**拨号服务器**(dial-up server)等。通过后面的学习我们将会了解到,这些网络设备在实现技术上是有差异的,它们实现在不同的协议层次上。

主机连接 IMP 以及 IMP 之间连接需要通信线路,这些承载电或光信号传输的通信线路称为

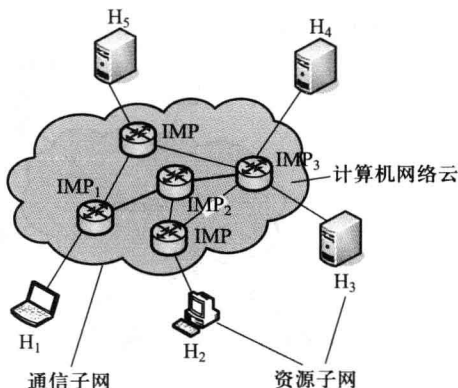


图 1.3 计算机网络的逻辑组成

物理**传输媒体**(transmission medium),有时也称为传输介质。传输媒体大致可以分为有线媒体和无线媒体两大类。有线媒体包括同轴电缆、双绞线和光纤等,无线媒体包括广播无线电、微波、卫星、红外线、激光等。在应用中,常把传输一路信号的媒体称为**信道**。一个物理传输媒体可以包含多条物理信道,而每条物理信道又可以划分成多条逻辑信道。而且,一条逻辑信道也可以由多条物理信道组成。

对于一个本地的小网络来说,其组成相对简单,构成网络的节点设备也不多(甚至只要一个交换机就可以构建一个本地局域网),如图 1.4 所示。

而对于一个大范围的广域网络(如银行的广域业务网络)或 Internet 来说,其组成就复杂得多,构成网络的节点设备也不计其数。可以将 Internet 的组成划分为三层:**接入网**(access network)、**汇聚网**(convergence network)和**核心/主干网**(core/backbone network),如图 1.5 所示。

首先,这里介绍一个新的名称:**ISP**(Internet service provider,Internet 服务提供者)。ISP 其实主要就是 Internet 的网络运营商,如中国电信或中国网通,它们管理和运营着大量自己投资的通信线路和网络设备,形成一块 ISP 网络,为 Internet 用户提供服务。大量相互连接的 ISP 网络构成了 Internet 网络云,即它们共同形成 Internet 的通信子网。这里的接入 ISP、汇聚 ISP 和核心 ISP 又都是图 1.3 中的计算机网络云。

通常 Internet 主机(即构成前述的资源子网)接入 Internet 时,需要通过接入网最外围的接入 ISP 提供的接入服务来进行。接入的可以是单台主机(如家庭单机),也可以是可独立运行的一个本地网络整体(如公司网或校园网)。接入 ISP 侧重解决 Internet 网络末端接入问题(即所谓“最后一公里”问题),它们拥有各种独自の接入解决方案和大量的接入线路,如电信的 ADSL(不对称数字用户线)或光纤宽带,有线电视的 HFC(混合光纤同轴电缆)等。此外,接入 ISP 还需要重点解决大量用户的管理、认证和计费等问题。大量散布的用户接入后需要经过汇聚以进入 Internet 的主干网络,这可由第二层汇聚网络的汇聚 ISP 来完成,这相当于把许多低速近程线路汇聚到少量远程高速线路上。最后通过核心 ISP 的核心网络把汇聚 ISP 的汇聚网络远程高速互连起来。这样,一个 Internet 用户访问 Internet 资源时总是按照用户—接入网—汇聚网—核心/主干网—汇聚网—接入网—资源的过程来进行的。

ISP 的核心工作之一是管理和分配 IP 地址。**IP 地址**(IP address)是进行计算机通信的主机标识符,它具有唯一性和一定的从属性(在后面的章节中会重点介绍)。要进行全球 Internet 通信的主机的 IP 地址要具有全球唯一性和从属性,因此 ISP 必须确立相应的机制,统一管理,协调一致,以保证这些特性。

需要说明的是,一方面 ISP 并不都是由一个国家、一个运营商来承担的,全球的 ISP 有好几

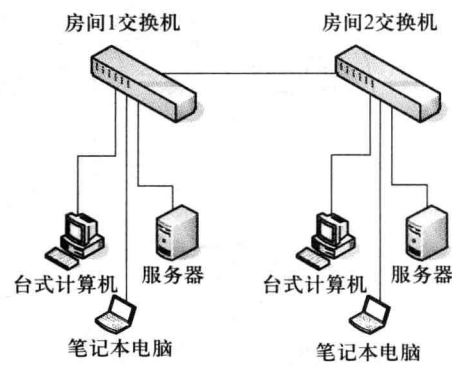


图 1.4 一个简单网络的组成

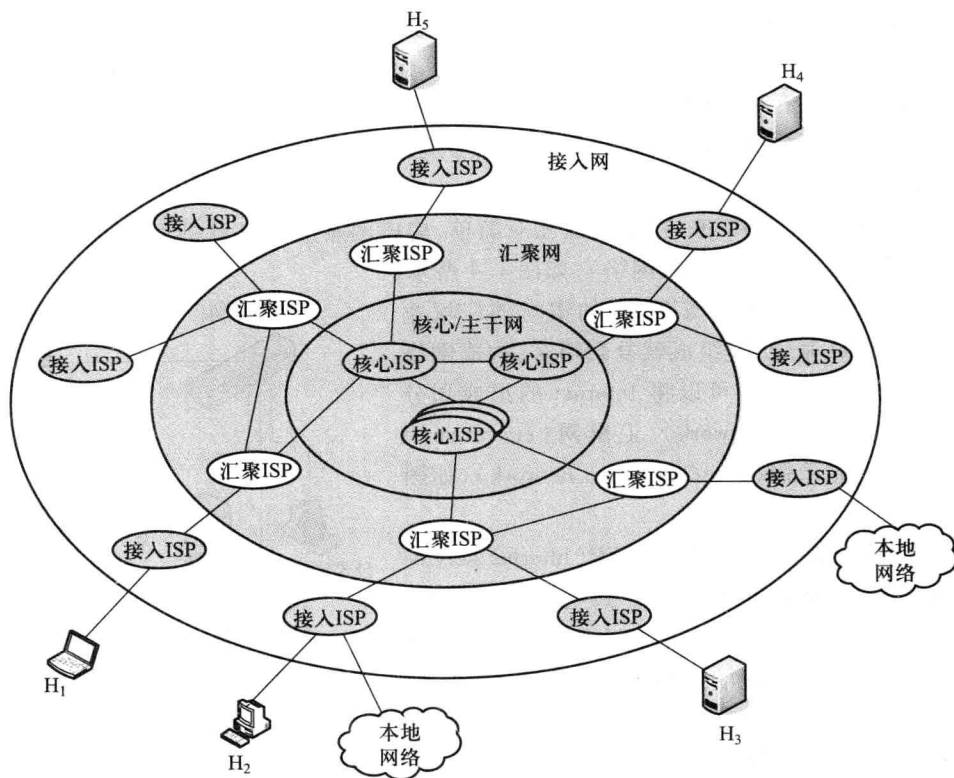


图 1.5 Internet 组成的概念示意图

十万家,其中一些是一层的运营商,一些是多层的运营商;另一方面主机并不都是只能连接在接入层,一些关键的主机(尤其是服务器)可以直接连接到汇聚层或核心层(如 Google 的服务器)。因此,如图 1.5 所示的 ISP 中有的会有跨层的覆盖,有的其中会存在许多网络设备或主机。

最后介绍一个与 ISP 对应的名称:**ICP**(Internet content provider, Internet 内容提供者)。它属于资源子网,是 Internet 中向用户提供内容服务的服务器,其中多数就是人们俗称的**网站**(Web site)。

总之,Internet 的组成既复杂又简单。简单地说,Internet 是由大量用户、一群 ISP 构成的通信网络和许多提供内容服务的 ICP 组成的,其目标是,为用户提供流畅、高效的 Internet 资源访问服务。但要实现这个看似简单的目标,需要解决许多复杂的细节问题,这些复杂的细节问题主要存在于网络内部,即 ISP 内部。

1.1.2 计算机网络的定义和分类

根据前面的介绍,可以对计算机网络和 Internet 的组成有一个初步的认识,下面进一步用文字来描述什么是计算机网络。

由于计算机网络是一个不断发展的技术,对于计算机网络这个技术术语,也很难如数学概念那样对它下一个严格的定义,国内外各种文献给出的相关定义也不尽一致。一般说来,可以把计算机网络看成是由各自具有自主功能且又通过各种通信手段相互连接起来以进行信息交换、资源共享或协同工作的计算机组成的复合系统。这其中包含了三层含义。

首先,一个计算机网络中包含了多台具有自主功能的计算机,所谓具有自主功能,是指这些计算机即使离开了网络也能独立运行与工作。从这层含义上看,早期的远程联机系统(参见 1.4.1 小节)由于终端离开了中心计算机就不能独立运行与工作,因此不能算是真正的计算机网络,只能看做其雏形。

其次,这些计算机之间是相互连接的,它们可以通过专门构建的通信子网相互连接,也可以利用已有的电信网络或有线电视网互连,甚至可通过无线传输网互连。连接所使用的通信手段可以形式各异,距离可远可近,传输媒体也可以是各种各样的,信息在传输媒体上传输的方式和速率也可以不同。

最后,计算机之所以要相互连接,是为了进行信息交换、资源共享或协同工作。其中,信息是指可以以数字、文字、图形、图像、声音和影像等多种形式呈现的多媒体信息;资源既包括硬件,也包括软件;协同工作则涉及各种各样的应用领域。

构建计算机网络的方法多种多样,如果细化图 1.5 中的 ISP 和本地网络(图 1.4 所示的就是本地网络的一个细化组成),就能体现这种多样性。通常可以从不同的角度对计算机网络进行分类。

1. 按拓扑结构分类

可以按照网络的物理形状(或称为拓扑结构, topology)来对网络进行分类。拓扑结构是指一个图的形状,图的顶点代表网络节点(例如计算机、路由器等),图的边代表它们之间的物理链路,如图 1.6 所示。

如图 1.6(a)所示的不规则网形拓扑结构是在全连接拓扑结构(所有的节点间都有一条直接的物理链路互连的拓扑结构)中删除了一些链路而来的。也可以认为全连接拓扑结构是不规则网形的特例。在广域网络中,由于历史、性能、链路可靠性和利益等因素,形成的网络往往是不规则网形,它可以把大量的计算机连接起来。如图 1.5 所示的 ISP 之间形成的网络就是不规则网形的。不规则网形拓扑结构中由于任意两个节点之间并不一定有直接的链路相连,从源节点到目标节点的信息传输可以选择多条不同的路径。一般对于覆盖地理范围较小的局域网而言,由于距离近,因而大多采用对称且结构规则的星形、总线型或环形(如图 1.6(b))

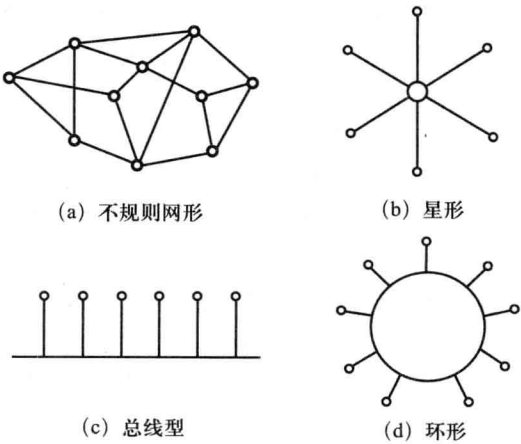


图 1.6 网络的拓扑结构

~(d)所示),以便于各点之间通信,避免了路径选择。

在如图 1.6(b)所示的星形拓扑结构中,每台计算机直接连接到一个中心节点(图 1.6(b)中处于中间位置的大圆圈)。该中心节点可以是一台计算机,但通常是交换机。这种网络拓扑结构有一些缺点,例如,中心节点可用端口的数量限制了可连接的网络节点的数量(可扩展性较差)。有时需要使用多级星形连接,即把多个中心节点再通过星形连接到另一个上一级中心节点,这样就成为树形。目前,树形是最常见的结构。

图 1.6(c)所示的总线型拓扑结构可以看成是星形拓扑结构的一种特殊形式。此时,中心节点被一条电缆所替代,该电缆承担了公共总线的角色,从任何一台计算机上发出的信息都可以通过公共总线广播传输到其他所有的计算机,所有连接在这条电缆上的计算机都可以同时获得这些信息。大多数无线网络也具有相同的广播性质,此时无线传输媒体就承担了公共总线的角色。总线型拓扑结构的优点是低成本和连接新节点的简便性,缺点是在某一时刻网络上只能有一台计算机传输数据。广泛使用的以太网(Ethernet)就是总线型的,它也是局域网中最常见的拓扑结构之一。

在如图 1.6(d)所示的环形拓扑结构中,数据通过环在计算机和计算机之间传输。环这一配置非常方便提供反馈,因为数据经过整个环后,会回到它的起始节点。通常,环的这一特性可以被用来测试网络的连通性,以及用来搜索哪些节点不能正常工作。另一方面,在环形拓扑结构的网络中,人们需要采取特殊的措施来保证:当一台计算机故障或者是暂时失效时,其他所有网络节点的通信连接还能正常工作。

2. 按地理范围分类

若按计算机网络覆盖的地理范围来分类,可以分为以下几类。

局域网(local area network, LAN):覆盖的范围约为 0.1km;

校园网(campus area network, CAN):覆盖的范围约为 1km;

城域网(metropolitan area network, MAN):覆盖的范围约为 10km;

广域网(wide area network, WAN):覆盖的范围为 100 ~ 1 000km;

全球网(global area network, GAN):覆盖的范围大于 1 000km。

这里所指的局域网通常在一个机房、相连的几个房间内或一幢大楼内,有时也称为局部区域网。校园网可以将若干相近的大楼互连在一个网络中,实际上并不仅用于校园中,也可以用于一家企业的厂区或一个单位的大院中,故有时也称为**园区网**。城域网的作用范围为一个城市,有时也称为**市域网**。广域网通常在一个国家或若干相邻的国家中,有时也称为**远程网**(long haul network)。例如,上海某大学某系在一幢大楼内有一个局域网,它首先连接该大学的校园网。这里,系局域网可看成本地网络,校园网可看成是接入网。而后该校园网再接入上海市教育科研网(SHERNET),SHERNET 就是一个城域网,它作为上海市各高校校园网的汇聚网,接入中国教育科研网(CERNET)的主干网。CERNET 则是一个广域网。全球网通常是指跨洲界、覆盖范围几近全球的网络,Internet 就是一个典型的例子。在上述分类中,每类网络覆盖的地理范围,是指接入该类网络的计算机之间的最大距离,需要注意的是,前面给出的各类网络的覆盖范围只是给读

者一个数量级上的区分,而不是严格的区分。根据实现技术的不同又可将网络粗略地分为局域网(包括前述的 LAN 和 CAN)、城域网和广域网(包括前述的 WAN 和 GAN)。甚至可以将局域网和城域网归为一类来考虑,例如,局域网标准 IEEE 802 实际上就包括了城域网。局域网和广域网在实现技术上的差异主要是局域网侧重于快速交换,而广域网侧重于精确路由。按照网络体系结构的分层模型,局域网实现的是第二层(数据链路层)的交换,广域网实现的是第三层(网络层)的交换。

现在一个计算机系统中可以包括多达数十台乃至上百台处理机,但如果将这些处理机装在一个机柜内,距离非常近(如 1 m 或者更小),则一般称其为多处理机系统,而不称其为计算机网络。计算机网络中各台计算机之间信息的传递是一位一位地串行进行的,是松耦合的;而多处理机系统中各处理机之间则通常是通过存储器或高速并行通路(总线)紧密地耦合来传递信息的,两者有很大的不同。图 1.7 显示了从地理距离和数据传输速率两个维度来看,广域网、局域网和多处理机系统之间的区别。不过需要指出的是,图 1.7 中地理距离和数据传输速率的标值只是一个大概的数量级,随着技术的进步,这些值也可能会发生变化。不过,图 1.7 所反映的覆盖的地理距离越大,其可能的数据传输速率就越低,通常是正确的。数据传输速率以每秒传输多少比特,即 bps(比特每秒)为单位。

最后,再简单介绍一下个人区域网(personal area network, PAN)和存储区域网(storage area network, SAN)。个人区域网是一种在比局域网更小的覆盖范围内,如一个家庭内,用来连接多个智能家用电器或电子设备的网络,有时也被称为个域网。而存储区域网则主要用来连接多个大容量存储设备,两者的作用完全不同。例如,在一个大型应用系统中有若干台服务器,它们可以通过计算机网络与成百上千个用户终端或工作站相连,同时它们又可以通过存储区域网与多个本地甚至异地的大容量存储设备相连,实现对存储信息的共享或备份。由此可以看出计算机网络是前端网络,而存储区域网则为后端网络。

3. 其他分类

按照网络连接的物理传输媒体来分类,可将网络分为同轴电缆网、双绞线网、光纤网或无线网等。

按照网络所采用的传输技术来分类,可将网络分为点到点网和共享信道网络。前者采用通过点到点的信道且不断转接传输数据的传输技术,如广域网;后者采用通过共享信道来传输数据的传输技术,如局域网。

按照网络的使用范围来分类,可将网络分为公用网和专用网。公用网是为社会公众提供服务的,凡是愿意按规定交纳费用的人都可以使用。专用网则是某个单位、部门或行业为特殊业务

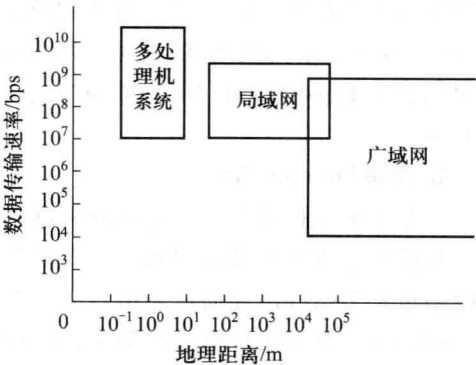


图 1.7 局域网、广域网和多处理机系统的比较