

计算机网络简明教程

沈长宁 编著



北京师范大学出版社

高等学校教学用书

计算机网络简明教程

沈长宁 编著

255.116

北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机网络简明教程/沈长宁编著. -北京:北京师范大学出版社, 1998.5
高等学校教学用书
ISBN 7-303-04706-9

I. 计… II. 沈… 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 (98) 第 11165 号

北京师范大学出版社出版发行

(100875 北京新街口外大街 19 号)

北京师范大学印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787×1092 1/16 印数: 11.5 字数: 285 千

1998 年 5 月北京第 1 版 1998 年 5 月北京第 1 次印刷

印数: 1~3 000 册

定价: 16.00 元

前 言

计算机网络及其应用,在我国现代化建设中有着十分重要的作用。数字通信、局域网、因特网(**Internet**)这些近20年才发展起来的技术,已经渗入到科学研究、生产实践和社会生活的各个领域之中了。在信息技术对人们的工作、学习与生活有着重大且深刻的影响的今天,各专业的研究生和有关专业的本科生都应该学一些相关的知识。

我校自1987年起,正式给研究生开授“计算机网络”课,1990年起在计算机应用专业的本科生中也开授了这门课程,十多年以来,共开课20多遍。本人在教学、科研及筹建校园网的过程中,跟踪了这一领域内的技术进展。在这一期间,我深感为提高教学质量,师生都需要一本能系统地介绍相关技术的历史与现状,并且准确地讲述所涉及的基本理论的教科书。本人在我校研究生院、电子学系和信息网络中心领导的支持下,用了3年时间编著了这本教材。

鉴于本课程涉及的领域非常宽阔,这些领域内技术进步的节奏又非常之快,在课程中不宜对技术细节进行过多的探讨,而应努力帮助学生了解关键技术的原理与机制,了解研制者的目标与采用的方法,把握住计算机网络方面技术进步的脉络与线索。本教程以局域网和**Internet**为重点,力求理论联系实际地把道理讲透、把概念讲清,为学生跟踪本领域内的科技进展打下坚实的基础,能够为建好、用好信息网络发挥作用。上述指导思想和本教材所反映的课程体系,在十余年的教学中收到了良好的效果,得到广泛的认同,曾应邀为中国科学院和中国科技大学研究生院计算机教学部授课。经过专家评审,本课程曾作为我校重点建设的研究生学位课,得到了资助。教材反映了课程建设的成果,也得到了我校教材专著出版委员会的肯定。为了尽可能反映现状,本书所收集的各种资料截止到1998年3月,所列出的网址本人都在1998年3月重新访问过。

衷心地感谢戴贵亮先生,1986年起,戴先生在任中科院高能所计算中心主任的同时,担任了我校的兼职教授,有戴先生的参与和支持,我才敢于为研究生讲授此课程。也要感谢张致、余胜泉、邢华和佟君亮等年轻人,他们在本课程的教学活动和近三年的教材编写中都起了积极的作用。

本书适合理工科研究生和计算机应用专业高年级本科生作为教材或教学参考书使用。本书对渴望学习计算机网络和**Internet**的广大科学工作者和工程技术人员,甚至是文科的研究生和学者也是很好的学习资料。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 现代计算环境	(1)
第二节 计算机网络发展简史	(1)
第三节 信息基础设施	(6)
第二章 数据通信技术基础	(8)
第一节 通信的基础知识	(8)
第二节 传输错误与对策	(15)
第三节 传输介质与多路复用	(21)
第四节 转接交换技术	(28)
第五节 数据通信中的信号技术	(30)
第三章 计算机网络基础知识	(34)
第一节 基础知识	(34)
第二节 计算机网络的体系结构	(36)
第三节 开放系统互连的参考模型	(38)
第四节 TCP/IP 的体系结构	(43)
第五节 标准化简介	(44)
第四章 计算机局域网	(46)
第一节 局域网概述	(46)
第二节 环形拓扑上的网络	(51)
第三节 总线上的局域网	(63)
第四节 网桥	(73)
第五节 局域网操作系统简介	(76)
第六节 局域网交换机和虚拟局域网	(78)
第七节 局域网技术的新进展	(79)
第五章 通信网络技术简介	(81)
第一节 物理层简介	(81)
第二节 数据链路层简介	(86)
第三节 网络层简介	(92)
第四节 PPP 协议简介	(106)
第六章 面向用户的网络高层	(109)
第一节 运输层	(109)
第二节 会话层和表示层	(120)
第三节 应用层	(130)

第七章 Internet 及其应用	(137)
第一节 Internet 和 TCP/IP 协议	(137)
第二节 Internet 的传统服务	(146)
第三节 万维网 (WWW)	(157)
第四节 Internet 的迅速发展	(161)
第五节 与 Internet 互联的校园网	(169)
附录 1	(175)
附录 2	(176)
附录 3	(177)
主要参考文献	(178)

第一章 绪 论

本章介绍现代计算环境、计算网络发展简史和未来社会中的信息基础设施，力图说明为什么要学习计算机网络，以及在这门课程中应当学习哪些内容。

第一节 现代计算环境

现代计算环境是指 20 世纪 90 年代以来，各种计算机应用所处的环境。1987 年 Sun 公司总裁提出了“网络就是计算机”的名言，现代计算环境的主要特点，都和网络密切相关，这就是：

1. 信息的收集、传送、存储和处理之间的差别逐渐地消失，孤立的计算机已经越来越少，网络与计算机正进一步融合起来。网络的广泛互联使通过网络获得计算与信息服务的客户/服务器方式成了一种基本的工作模式，信息资源的开发利用，已经在社会上起着重要的作用。

2. 软件行业、信息服务行业已经具有相当规模，能够为各行各业提供所需要的软件和必要的信息服务。各种算法库、模型库、数据库能支持不同类别的需求。各单位网络的服务器通常都配置了支持自身工作的各种软件资源和信息资源，网络成了办公自动化的重要工具。

3. 信息检索和数据库查询所需要的数据密集型运算、科学计算与高清晰度图象显示所需的数值密集型运算和依赖通信才能实现的网络密集型运算已经有机地结合起来，三位一体地支持着人们的计算需求；只支持某一类应用的机器，已经很少见到了。

4. 微型计算机已经在各行各业和许多家庭中落户，联网的微机为人们提供的计算资源和信息资源都远大于单机所拥有的资源；为完成繁重的计算任务还可通过网络使用高性能的计算机；大量的数据可存储到网络的存储服务器的硬盘上；大家都可用高质量的网络打印机印出高质量的文本和图象；带有图形界面的浏览器，使用户能很方便地从网上获取所需的信息。

在 1997 年初，高性能计算机的存储规模已经达到千万亿 (10^{15}) 字节，它每秒钟能进行万亿 (10^{12}) 次浮点运算；超高速通信干线的传输能力已经能够每秒传送数亿个字符 (10^9 b/s)；微机的主频已经升至 300 MHz 到 500 MHz，内存通常多为 32 M、64 M 字节或者更多，网卡或调制解调器也成了微机中的基本成份，数 G (10^9) 字节的高速硬盘已经随处可见。

总之，在现代计算环境中分散在各处的计算机，经过通信设施，彼此互联在一起，共同提供着人们所需要的计算服务和信息服务。这些独立运行，又彼此互相通信的计算机和联接它们的通信设施就构成了计算机网络。正是这种计算机网络支撑着今天的计算环境，把计算能力带到了用户最需要的场所。

第二节 计算机网络发展简史

所谓联网，就是把计算机与计算机经过通信线路连接起来，使其彼此能相互通信。计算机网络的发展，经过了几个阶段：

一、联网的尝试

联网的尝试从 20 世纪 50 年代开始,美国军方所研制的半自动地面防空系统(SAGE)试图把各雷达站测得的数据传送到计算机进行处理,在 1958 年首先建成了纽约防区,到 1963 年共建成了 17 个防区。该项工程投入了 80 亿美元,推动了当时计算机产业的技术进步。

几乎同时,由 IBM 公司研制了全美航空订票系统(SABRAI),到 1964 年,美国各地的旅行社就都能用它来预定航班的机票了。

严格地说,上述两个系统都只是使远程终端和主机联机(on line)的系统,只是人们联网的尝试,并没有实现计算机之间的联网。同一时期,在大学与研究机构中,为均衡计算机的负荷和共享宝贵的硬件资源,也进行了计算机间通信的试验,做了联网的种种尝试。

二、ARPANET 的诞生

20 世纪 60 年代,在数据通讯领域提出了分组交换的概念,这是人们着手研究计算机间通信技术的开端。1968 年美国国防部高级研究计划署(ARPA—Advanced Research Projects Agency)资助了对分组交换的进一步研究,1969 年 12 月,在西海岸建成了有四个通信结点的分组交换网,这就是最初的 ARPANET。随后,ARPANET 的规模不断扩大,很快就遍布在美国的西海岸和东海岸之间了。

ARPANET 实际上分成了两个基本的层次,底层是通信子网,上层是资源子网。初期的 ARPANET 租用专线连接专门负责分组交换的通信结点,通信结点实际上是专用的小型计算机,线路和结点组成了底层的通信子网。大型主机通常分接到通信结点上,由通信结点支持它的通信需求。由于这些大型主机提供了网上最重要的计算资源和数据资源,故有些文献说联网的主机及其终端构成了 ARPANET 上的资源子网。这种把网络分层的作法,极大地简化了整个网络的设计。

分组交换和对网络服务的分层都对计算机网络的发展起了重要的作用。

三、多种网络技术的并存

20 世纪 70 年代是多种网络技术并存的发展阶段,也是标准化备受关注的时期,微机和局域网的诞生是这一时期的两个重大事件。

1. 各公司自行制定了网络的体系结构

在 20 世纪 70 年代,IBM、DEC 等计算机公司分别制定了自己计算机产品的联网方案,在公司内部以及自身的用户群中建立了一批专门性的网络,并分别确定了网络的体系结构。IBM 所生产的各种计算机,能够以系统网络体系结构(SNA)组网;DEC 生产的各种型号的计算机则能够以 Digit 网络体系结构(DNA)组网。不同的计算机公司,用以组成网络的硬件、软件和通讯协议都各不兼容,难以互相连接。这种通讯协议不相同的诸网络,被称作异质网。

2. 标准化备受关注

在这个阶段,人们开始在标准化方面进行了大量的工作。联合国经社理事会下属的国际电信联盟(ITU)由当时的电报电话咨询委员会(CCITT)出面制定了分组交换的 X.25 标准,从西欧开始,先后在世界各地建立了遵循 X.25 标准的公共数据网(PDN)。公共数据网的建立对组建远程计算机网络(WAN)起了重大作用。

同期,国际标准化组织(ISO)在当时负责信息处理与计算机方面标准制定的技术委员会(TC97)的几个子委员会的努力下,分别建立了开放系统互连的参考模型(OSI-RM)和在这一框架模型下相关的各项标准。制定这个参考模型的目的是规定计算机系统在与其它计算机系统通信时应当遵循的通信协议。这样,不管系统本身多么不同,只要在与别的系统通信时遵循一定的协议与规则,就被认为是开放系统,因为遵循相同的通信规则,彼此就容易通信,也就是说相互开放了。

3. 局域网和微型计算机

局域网(LAN)和微型计算机都诞生于20世纪70年代中期,随着微电子技术的进步,它们的性能价格比都在急剧提高。到20世纪80年代,价格低廉的微型计算机的性能早已超过了早期的大型计算机,这极大地促进了计算机应用的普及。局域网则在近距离内,通过可共享的信道连接了多台计算机。这种简易、低成本又安全可靠的网络结构解决了微型计算机彼此通信的问题,使局域网上的激光打印机、大型主机、高档工作站、超级小型机和大容量的存储设备都可被网上多台微型计算机所共享,这就使计算机应用的成本进一步降低了,因此LAN被各行各业普遍接受了。

几乎是在同一时期,为满足不同的需要,开发了几种不同的LAN技术,各种局域网的性能、价格和通信协议各不相同,当然,这也为普遍联网增加了一些难度。

局域网与远程网络的互联,使局域网上每个用户都能访问远方的主机,这又反过来提出了如何使异种机、异质网广泛互联的新课题。这种广泛互联的需求促使Internet崛起。

四、Internet-TCP/IP的新崛起

1. Internet的由来

20世纪80年代初期,为了使不同型号的计算机和执行不同协议的网络都能彼此互联,ARPA资助了相关的研究项目,特别是为了使互不兼容的LAN都能与WAN互联,建立了Internet项目组。众所周知,internet是internetwork的缩写,原意是网与网的互联,可译为互联网,作为专有名词,将第一个字母改为大写,Internet则成了项目组的名字,也用它来称呼该项目组研究人员所建立的实验原型,译作“因特网”。

2. 新TCP/IP协议集的诞生

在Internet项目的研究中,人们重新改写了ARPANET的通信协议:为了广泛互联,制定了新的互联网数据报协议(Internet Protocol)简称IP协议。IP协议定义了计算机间通信应遵守的规则、数据报(即Internet上面的分组)的格式以及存储转发数据报的方法。IP协议着眼于各个网络的互联,相应的协议既解决了如何把底层不同的网络与IP网络相对应的问题,又对用户屏蔽了底层网络技术的细节,使底层的各种网络仅以IP网络的形式呈现在用户面前,并实现了不同主机上应用进程间的通信。

为了保证进程间端对端的通信能够高效、可靠,在IP网络之上,主机内的传输控制协议(Transmission Control Protocol)软件,构成了面向字节的、有序的报文传输通路,使异种机上的进程能经过异质网相互通信。以TCP、IP两个协议为主的一整套通信协议,被称作TCP/IP协议集,有时也称作TCP/IP协议。

Internet项目组新研制的TCP/IP软件开始只在小范围内试用,到1982年许多大学与公司中的研究机构全部使用TCP/IP软件,接入了Internet。新的TCP/IP协议为异种机、异质

网的互联打下了基础。

3. Internet 的形成与发展

1982 年美国军方决定以 TCP/IP 作为不同网络互联的基础,规定从 1983 年 1 月起,军方的各种网络都必须运行新的 TCP/IP 软件并彼此互联。这使 Internet 从一个实验性的原型变成了初具规模的互联网络,在随后的几年中,与 Internet 连接的主机数几乎每年都翻一番。TCP/IP 逐步成了事实上被广泛承认的工业标准。

4. NSF 的贡献

美国国家科学基金会 (NSF) 于 1980 年前资助了旨在使各大学计算机科学系彼此联网的项目,建立了 CSnet (计算机科学网)。它以灵活的策略,采用不同方式实现了广泛的互联。网上的资源共享和电子函件 (E mail) 促进了合作与交流。

CSnet 的成功,促使 NSF 在 1985 年提出了使百所大学用 TCP/IP 协议联网的计划并建立了使用 TCP/IP 协议的 NSFNET,它与 ARPANET 在费城的卡内基-梅隆大学彼此互联,NSFNET 成了 Internet 的组成部份。在 NSFNET 建成之前,网络的使用者只是计算机科学家、军方、大公司及与政府签约的机构;在 NSFNET 建成之后,大学各学科的师生都能使用网络了,这的确是个非常重大的转变。

为使美国在未来的发展中能始终领先,NSF 认为应当使每个科技人员都能使用网络。1987 年 NSF 决定用 T1 干线 (1.544 Mb/s) 连接几个国家级的高性能计算中心,这个 T1 主干网于 1988 年夏天建成,实际上替代了原有的 ARPANET 主干。在这个形势下,ARPANET 于 1990 年宣布退出运营。NSF 在建设主干网的同时,又资助各地区建设了中级网络。各地区的中级网络连接本地区的主要城市、各个大学的校园网及各个公司的企业网,使它们既彼此互联,又能接到 Internet 主干上。这样就形成了主干网、中级网及校园网 (企业网) 三级网络彼此互联的层次结构。

从 1988 年起,Internet 就正式跨出了美国国门,首先是接到了加拿大、法国和北欧,随后延伸到了地球的每个大洲的各个角落。

1991 年 T1 主干又趋于饱和,NSF 要求私人公司承担责任,提高主干速率。IBM、MERIT 和 MCI 三家公司组建了非赢利的高级网络服务公司 (ANS),于 1992 年建成了用 16 条光缆 (T3 干线) 连接 12 个结点的 ANS 干线。新干线的速率为 44.736 Mb/s。私人公司的介入使 Internet 的商业化成为可能,Internet 的商业应用成为新的增长热点。

NSF 还陆续支持了许多项目,鼓励地区级 (中级) 网络的建设,特别是鼓励建设替代原有干线的新通信干线,资助了提升干线传输速率的种种研究试验。到 1995 年,大量由公司运行的商业性 IP 网络出现了,NSF 把 ANS 主干卖给了 America Online,迫使各中级网络利用商业性 IP 服务相互连接。在这种形势下,形成了 Internet 具有多个主干、数百个中级网络、数万个 LAN、数百万台主机和几千万用户的规模。

中级网络是独立运营的,一些中级网络内还不断试验着新的网络技术。出现了诸如 ATM、帧中继等引人瞩目的高速网络技术。

5. 超高速主干网络服务——vBNS

1995 年,在 Internet 主干多元化的同时,NSF 决定重新建立一个学术性的超高速主干网,连接国家级的高性能计算机中心、研究机构和著名大学。随后 MCI 公司为此与 NSF 签约试运行了 155 Mb/s 的 ATM 主干,称作超高速主干网络服务 (The very high speed Backbone Net-

work Service (vBNS))。1996 年, vBNS 速率提升到 622 Mb/s, 又接入了许多大学。今天, vBNS 已经直接连接了数十个单位。

6. WWW——万维网

WWW 是 World Wide Web 的缩写, 意为全球范围的网络, 中文译作万维网, 是 20 世纪 90 年代在 Internet 上发展起来的一种新技术。近几年来, Internet 上的 Web 服务器和可访问的信息页都与日俱增, 目前 Internet 上面用于访问 WWW 的浏览器不少于 6000 万个。遍布在各地又可以相互链接的 Web 信息页已经形成了在 Internet 上面总规模十分巨大的数字化信息库。所谓主页 (Home Page) 实际上是存储在 Web 服务器之上的完整的信息页。当用户计算机的浏览器 (程序) 将主页取回之时, 计算机将图文并茂、有声有色地向用户展示主页上的信息, 在多媒体环境下还可以放映动画或录像。用户若用鼠标点击屏上的特定部位, 还可以链接到别的信息页, 将它取回来浏览。这些新的信息页并不一定与刚才看到的信息页存储在同一台计算机之中, 但 Web 服务对用户却完全隐蔽了计算机的边界。Web 服务又可以按不同的线索引导用户进行信息浏览, 从而极大地方便了用户在网上查找信息。

7. Java 和网络计算机

1995 年 5 月, Sun 公司公布了既简单又与平台无关的 Java 语言, Java 是面向对象、面向网络的程序设计语言。通过与网络交互, 计算机能够组装自己需要的软件成份。同年 12 月, Sun 公司又推出了用 Java 语言写成的浏览器 Hot Java, 使 Web 主页能够带有动态图像的效果, 这样 Internet 网络资源更加栩栩如生, 于是, 人们对 Java 更加刮目相看。Java 程序编译后得到一种字节码, 可以由专门设计的 Java 处理器芯片来执行字节码, 也可以由特定的 Java 解释程序在别种处理机上执行这种字节码。总之, 只要有 Java 虚拟机就能运行 Java 程序, 而 Java 虚拟机本质上是不依赖具体操作系统的, 本身也无须设定复杂的软件环境, 在这个意义上, 这种计算机本身就是面向网络的网络计算机 (NC)。目前的 NC 通常有 32 M 或 64 M 字节的内存, 使用奔腾、Power PC 或 Sparc 芯片或专门的 Java 芯片, 不一定配置硬盘。NC 所需的软件通常是由网上取来的, Java 虚拟机对取来的字节码要进行合法性检查, 故软件的安全性是有保障的。这种 NC 用户从网上取得的软件是当时急需的, 版本是最新的, 质量也是无可挑剔的。对软件环境的动态优化是由网络上的 Web 提供的, NC 无须处理涉及软件升级的复杂问题, 也消除了一轮又一轮软件升级要求硬件随之更新换代的巨大压力。

8. G 级网络的试验研究

G 级网络 (GigaBit Network) 指每秒传送千兆位 (10^9 b/s) 的网络, 通常也包括速率大于 500 Mb/s 的全双工干线。

80 年代末 90 年代初, 多媒体技术有了很大进展, 实时传送多媒体信息要求更高的传输速率。近年来, 由于涉及多媒体信息传送的浏览器被广泛使用, 干线速率的提高已经刻不容缓。从 1989 年开始 ARPA 和 NSF 就联合资助了高速网络的试验, 1991 年 12 月, 美国国会通过关于国家研究教育网 (NREN-National Research Educational Network) 的法案, 要使 NREN 成为替代 NSFNET 的非商业性网络, 它必须以高于 1 Gb/s 的速率运行, 其目标是在 2000 年前建成 3 Gb/s 的国家级网络。在 NREN 名下, 又资助了一批项目, 这些就是 G 级网络的试验研究, 这些项目是由大学和工业界共同完成的, 最早完成的包括:

- 东海岸的黎明女神计划——从麻省理工学院 (MIT) 到费城的宾西法尼亚大学, 经过 IBM 等公司的实验室, 配置了 ATM 交换机。

- 西海岸 CASA——从加州的圣地亚哥到新墨西哥，它连接了加州的 4 个国家级高性能计算机应用实验室，包括圣地亚哥的超级计算中心（SDSC）和加州理工学院（CIT）在内。
- Blanca 项目——从加州大学伯克莱分校到威斯康辛大学，还经过依利诺依大学、贝尔实验室和克雷研究所等地，横跨了遥远的地域。
- 从卡内基-梅隆大学（CMU）到匹兹堡的 MAN（城域网），涉及了高性能并行接口试验。

上述各个试验中既涉及了网络技术、主机接口，又涉及了 G 级网络的应用。试验证明 G 级网络使人们在相距遥远的站点上既可以组织学术会议，又能进行交互式的远距离教学；既能把数字式设备（如电子显微镜）采集到的信息送到高性能计算机去处理，又能把病人的 X 光 CT 或核磁共振 CT 图片传送到著名医生所在地，进行远程的医学诊断。

在上述试验的基础上，美国已经开始建设 1Gb/s 的国家级透明光纤网（NTON）。

G 级网络、网上新的应用和网络计算机的出现迫切要求网络协议支持低延迟、高带宽的应用，1993 年曾提出了新一代 IP 协议，取名为 IPng（ng 代表 next generation），1996 年又提出了 IPv6（第六版 IP）。总之，随着 Internet 的发展，TCP/IP 崛起了，它曾包容了许多底层网络技术，但也必定要适应新的应用需求而不断改进。

第三节 信息基础设施

一、“信息基础设施”的由来

1991 年《科学》（Scientific American）出版了计算机网络与通信专辑，其中最早出现了国家信息基础设施的提法，英文是 National Information Infrastructure，缩写成 NII。专辑的作者认为信息是有战略价值的资源，充分发挥各式各样信息的作用，能取得重大的社会效益和显著的经济效益；认为产生、管理、传输和使用信息的技术是至关重要的，对国家将具有战略价值。作者认为信息技术将帮助美国企业继续保持竞争优势、创造富有挑战性的高薪职位、刺激经济的增长，使生活水平能持续稳步地上升，使人们受教育的条件得到极大的改善，且在各地都能享受高质量的医疗服务……1991 年 11 月，美国在经总统批准的一项计划中明确提到要借助高性能计算机与通信技术的广泛应用，去改善国民经济、国家安全、国民教育和地球环境。该计划提出研制每秒进行 1 万亿次浮点运算的高性能计算机，15 年内建成速率达到 10 Gb/s 的高速通信网络。1993 年，美国政府又提出了 NII 的实施计划，加速了信息基础设施的建设。

从 1991 年起，许多发达国家和一些发展中国家也先后提出了建设本国的 NII 的设想或计划，越来越多的人在谈论建设全球范围的信息基础设施（GII）。

二、信息基础设施的特点

在信息时代，支持人们生产与生活，支撑社会中一切信息活动的信息基础设施，应当具有下列特点：

1. 高速通信干线

每秒能传送 2.4 G 位~10 G 位信息的高速光缆干线延伸到四面八方。网络的广泛互联使人们无论何时何地都能从网络上得到信息资源。

2. 综合且灵活的通信服务

信息基础设施支持多媒体化的综合服务, 它能以单一的信道支持文本、语音及视像信息的传送。另一方面, 它所提供的通信服务又非常灵活, 使用户能在质量不同且价格各异的多种服务中选择最适宜的一种。

3. 计算机无处不有

计算机将出现在需要它的各种场合, 随时随地地提供联网的信息服务。由于计算机无处不有, 人们将会对它“视而不见”。

4. 多种多样的信息服务

供公众使用的信息服务类别广泛、内容丰富。大量联在网上的数据库系统, 使人们在任何时候都能利用时效性极强的信息资源。当然, 信息服务业也提供了众多的就业机会。

5. 标准化

在这种信息基础设施中通常采用标准化的协议, 提供规范化的服务。

总之, 在未来信息时代的信息基础设施是在广泛互联的计算机网络支持下建设起来的, 是信息时代必不可少的一种基础设施。

近年来, 美国非常重视高速数据通信网络的建设。许多人认为几十年前联邦投资建设的高速公路极大地加速了经济的发展, 现在则应该由联邦投资建设信息高速公路, 让高速的激光通信干线在信息基础设施中发挥重大作用, 这必将极显著地促进经济与社会发展。在这一条件下, 信息高速公路成了现代信息网络的同义语, 有时还可以与 NII 等同。

改革开放以来, 我国的计算机网络建设也取得了显著成绩, 本书将在第七章具体介绍。

综上所述, 计算机网络正在迅速发展变化, 网络新技术对各行各业都有着深远影响。本书适应通信以外各专业研究生“计算机网络”课的教学需要, 全面介绍计算机网络的体系结构、标准化、局域网、网际互联、Internet 和计算机网络的新进展。为了使从未学过通信课程的读者能学好计算机网络, 第二章还专门介绍了数据通信的基础知识。

第二章 数据通信技术基础

数据通信是计算机等数字式设备之间的通信，在计算机网络内的各计算机，本质上就是由数据通信设施连接起来的。为使读者能准确地了解数据通信技术，本章介绍数据通信的常用术语和基本概念，讨论差错控制、通信介质、多路复用、转接交换和信号技术。

第一节 通信的基础知识

一、通信与通信系统

(一) 通信

通信就是把消息从一个地方传送到另一个地方。

(二) 通信系统

基本的通信系统包括信源、信道和信宿。信源是产生消息的实体，信宿是接收消息的实体，两者之间是传输消息的信道。消息从信源产生经过信道传送到信宿就实现了一次完整的通信。现代通信系统常使用电磁信号或光信号来传送消息，这种现代通信手段比过去船舰间的旗语通信先进得多，比在长城上逐个顺序点燃烽火，用狼烟来报信的古代通信，更是快捷与准确的无法同日而语。

(三) 通信系统的性能

不同的通信系统，性能差异可能非常大，衡量通信系统的好坏主要看两点：一是传送消息的快慢，这反映了通信系统的效率；二是收到消息的准确程度，这表明了通信系统的可靠性与可信度。

当然，经济性、适用性与标准化程度也从不同侧面反映了通信系统的性能，但最重要的是效率和可靠性。“计算机网络”课程中的许多内容都是针对效率和可靠性进行的讨论。

(四) 简单通信系统的模型

仅从一方发信，经过信道后到达另一方收信，这是一种模型化了的简单通信系统。在概念上可以用图 2.1 来表示：

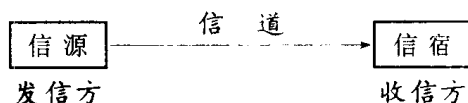


图 2.1 简单通信系统的模型

通常在概念上的逻辑信道包括发送设备和接收设备，因此发信者和收信者之间的通信系统又能细分成五个部分，如图 2.2 所示：

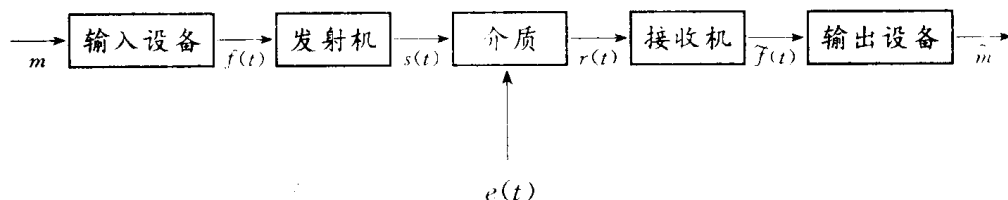


图 2.2 简单通信系统模型的细化

图 2.2 中，标出了由发信者给出的消息 m ，经过通信系统到收信者收到消息 $\hat{m}$ 的基本过程。其中：

m 是送到输入设备待发给对方的消息；

$f(t)$ 是由输入设备送往发射机的数据序列，它表达了消息；

$s(t)$ 是 $f(t)$ 输入到发射机而产生的适合在介质上传送的发送信号；

$r(t)$ 是接收机所收到的信号；

$e(t)$ 是 $r(t)$ 与 $s(t)$ 之间的差异，是错误样本；

$\hat{f}(t)$ 是接收机根据 $r(t)$ 得到的数据序列；

$\hat{m}$ 是输出设备根据 $\hat{f}(t)$ 表达出来的消息。

一般说， $r(t) = s(t) + e(t)$ ，为了使 $\hat{m}$ 与 m 一致，就要消除 $e(t)$ 对接收的影响，使 $r(t)$ 和 $s(t)$ 一致，代表同样的数据。

(五) 通信的类别

1. 按照信道是否有形来分类：

(1) 有线通信

凡以电话线、电缆、光缆或波导等固态实体，或固态实体所限定的空间为信道的通信都称作有线通信，有时也称作硬线 (hardwire) 通信。

(2) 无线通信

仅以空间、空气或水为信道的通信被称作无线通信，其信道不具有特定的形状。广播、电视、微波通信、卫星通信、无线电话等都是无线通信。

无论是有线信道还是无线信道，都可以根据信道与站点的关系，再分成点对点信道和广播信道两种。

2. 按照信道上使用的传输技术来分类

根据在信道上使用的传输技术，把通信分成模拟通信和数字通信两大类，我们以电话为例加以讨论：

(1) 模拟通信

电话系统所传送的声音是典型的模拟数据：话音的振动由话筒转化成连续变化的音频电流。无论直接传送这种音频信号，还是利用它来调制某一载波形成已调波在某个频带内传输，通信信号都是随时间连续变化的，通信系统在任一时刻都无法确知它传输的值。在信号衰减后，为使其传过较远的距离，就需要使用放大器来增强信号，这样就把通频带之内的噪声也一起放大了。因此，噪声与失真的逐级累积是模拟通信中难以避免的现象。直到 70 年代，国内所使用的电话基本上都是模拟式的，所以当时打长途电话都会感到远方传来的话音中噪声很大，而且市郊所用的直接增音式电话，比经过数传机传送的长途电话中的噪声更显著。

(2) 数字通信

现在,我国的电话系统大多已经程控化、数字化了。在程控式电话局中,先将传来的话音电流取样并进行模数转换,把每个取样点的幅值变成量化后的一组数码。然后用数字信号进行交换与转发,直到对方所在的程控电话局。在那里程控交换机再把数字信号解码,恢复成各取样点的值,并把断续的采样点的值平滑成连续变化的模拟信号使听筒发音。这样在传输过程中,任一时刻传输系统都能知道正传输的值是0还是1,每次为使信号传到更远的地方,都先把尚可辨认的0或1接收下来,再向前方转发出去,经过这样的中继转发,前一段线路传输中的噪声、波形畸变等信号减损全都不再起作用了,转发出的信号是刷新了的信号,是代表0或1之值的标准输出。因此无论多远的长途电话,来自远方的声音都能清晰如初。

在传输信道上使用数字式的离散信号,系统总能确知它传送的信号代表的值。通过中继转发使数字信号能传过较长的距离,这就是数字通信最本质的特点。

从上述讨论可知,话音是模拟信号,它既可以由模拟通信系统经过模拟信道来传送,也可以由数字通信系统经过数字式信道来传送。当然为使用数字式信道,要对模拟的话音按规定速率取样,并施行模数转换(量化),完成编码才能传送,传送后还要经过数模转换与平滑才能恢复音频电流,并用它来驱动听筒发声。

在计算机网络中主要使用数字通信技术,仅当使用远程(如卫星)信道或利用话音信道传送数据时,才通过调制解调器使用模拟信道。本章也将重点讨论数字通信技术。

3. 按照通信方式分类

按照是单方向通信,还是双向通信分成单工(simplex)和双工(duplex)两种;根据能否同时双向通信,双工系统又分成全双工(full-duplex)和半双工(half-duplex)两类。

图2.3是说明这三种通信方式的示意图。

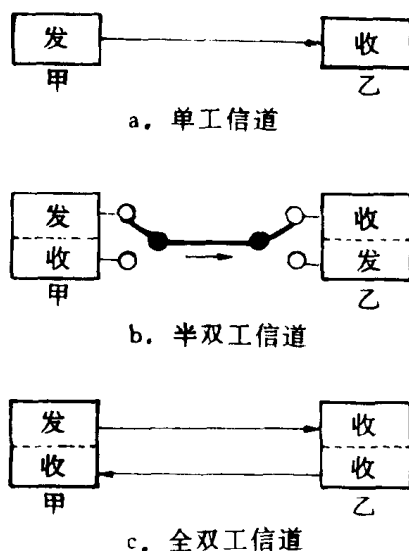


图 2.3 单工、半双工和全双工

(1) 单工方式

在单工的通信中,发信者只发不收,收信者只收不发。广播电视是典型的单工通信,无

人的遥测点向遥测中心报出数据的通信系统也是单工的。普通的环网,也可由点对点单工信道构成闭合的环路,形成逻辑上的广播域。在逻辑上,单工信道是只能定向传输信息的一种信道。

(2) 半双工

在半双工的通信中,双方可以交替地互为收发地进行通信,但任何时刻,双方都不能同时发信。在逻辑上,可以认为双方之间只有一个信道,但这个信道却能改变传输方向,轮流为双方用来向对方发信。比如步谈机,压下一个按钮就可以讲话,松开它就能听对方讲话,这就是典型的半双工通信。有些终端与主机之间也用这种方式通信。

(3) 全双工

在全双工的通信中,双方皆可同时收发。逻辑上可以认为在这种系统中同时存在着向两个不同方向传输的信道,分别支持双方向对方发信。

还可以按照许多特点,将通信系统分类,本书就不一一讨论了。

二、数字通信基础知识

数字通信的思想由来以久。如果把中国古代接力式地在各烽火台上依次点燃篝火,用狼烟通报敌情,看作是数字通信思想的早期应用,那么它已有 2000 年的历史了。使用莫尔斯电码的电报,也在 19 世纪中叶得到了实际应用,比电话的普及早得多。但现代数字通信技术的广泛应用却是近 20 年来才出现的新事物。

(一) 数字通信的优点

数字通信系统在信道上传输的是离散的信号码元。因此和模拟通信相比,数字通信有下列优点:

1. 和计算机一样,支持数字通信的也是超大规模集成电路技术(VLSI)。随着微电子技术的不断进步,数字通信设备的性能价格比急剧提高,计算机技术与数字通信技术也很自然地融合起来了。在今天,先进的数字通信设备都是计算机化的设备,这种设备也极易与计算机集成,成为计算机网络的组成部分。
2. 数字通信靠中继器(repeater)使信号码元传过远距离。信号的转发使噪声、波形失真都不会逐级累加,因此抗干扰性好,出错少。
3. 数字通信将信号码元编成码组,通常称作数据帧,并以帧为单位进行检纠错,从而提高了可靠性。将码元组帧传输的方法也易于进行加密,从而进一步提高了通信的安全性。
4. 易于实现信道的多路复用。采用数字式压缩技术,还常能减少通信的开销。
5. 在高速数据通信系统中传输的话音、音乐、传真、动画或视像信息,在本质上已没有什么区别了,它们都使用相同的设备与信道,传送编成了数据帧的数字序列。

当然数字通信所采用的信号,通常比使用模拟信号占用更宽的频带;且不进行中继转发时能传输的最大距离没有模拟通信那么远。

(二) 关于传输速率的讨论

1. 码元传输速率与信息传输速率

通信中所传送的信号码元都要持续一定的时间,若某系统中每个码元都持续 T 秒,则每秒传送 $1/T$ 个码元,其码元传输速率为 $1/T$ 波特(baud)。

如果各码元都只能有 0、1 两种取值,则这种码称为二元码。使用二元码的通信系统,信