

● 点-点直
接通信原
理与技术

● 计算机
广域网络

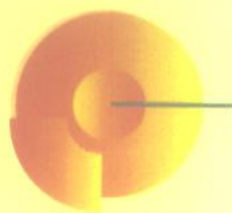
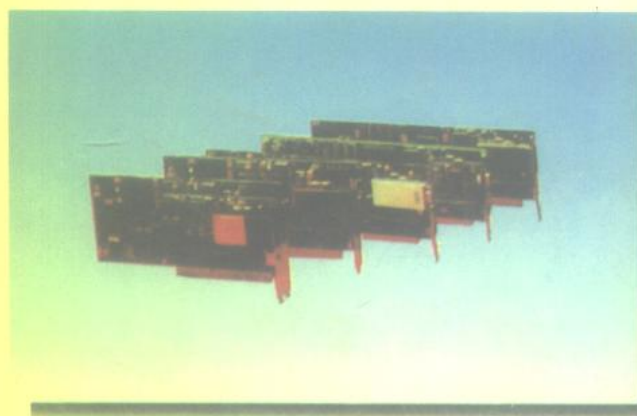
● 计算机
局域网络

● OSI 中的
高层协议

● OSI 关于
网络互连
的设想

● TCP/IP
网络

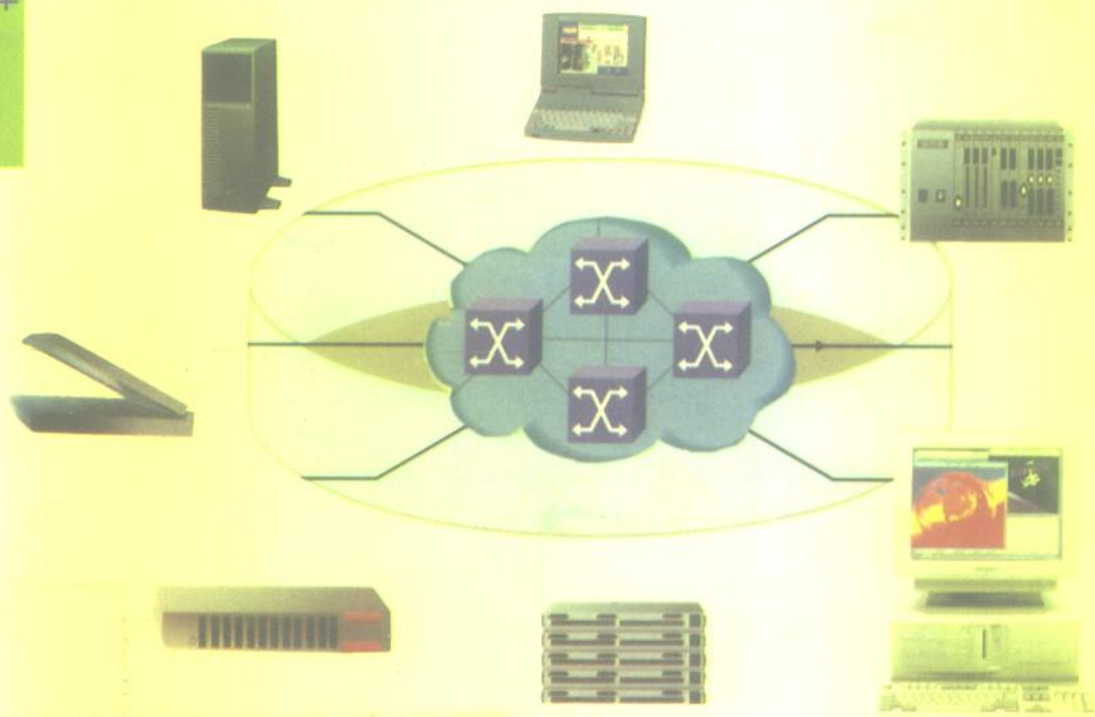
● 高速计算
机网络



丁正铨
许祖谦

编著

计算机网络 原理与技术



四川大学出版社

计算机网络原理与技术

丁正铨 许祖谦 编著

四川大学出版社

一九九五年九月

(川) 新登字 014 号

责任编辑: 谭同余

封面设计: 冯先洁

技术编辑: 谭同余

内 容 提 要

本书含六个方面的基本内容: (一) 点-点直接通信的原理与技术, 包括 DTE-DCE 之间的物理接口, 链路的流量控制, 错误控制, 链路控制协议以及多路复用技术等。(二) 计算机广域网络, 主要包括分组交换网中的数据报与虚电路, 拥塞与流量控制, 路径选择, 计算机网络的体系结构与协议。(三) 计算机局域网, 包括局域网的类型、结构, 介质存取控制技术, 由 PABX 构成的局域网, 局网协议, 性能分析等。(四) OSI 中的高层协议, 包括传输层、会话层、表示层和应用层的作用及协议等。(五) OSI 关于网络互连的设想以及 TCP/IP 网络, 包括 OSI 的网络互连模型, IP 网络结构与协议, IP 路由, TCP 协议, UNIX 系统进程之间的通信接口等。(六) 高速计算机网络, 包括帧中继、ATM 网络、交换式局域网等。此外, 为便于实践, 在本书附录中给出了 NOVELL 网络 (NETWARE V3.11) 的安装与使用说明; 为便于更好理解各部分内容, 每章后面均给出了复习与思考题。

本书内容广泛, 从基本原理到网络的最新技术, 叙述简明, 适于高等院校计算机、信息系统、通信、办公自动化等有关专业作为计算机网络课程的教材; 也可供从事计算机网络与数字通信, 计算机应用的科技人员参阅。

计算机网络原理与技术

丁正铨 许祖谦 编著

四川大学出版社出版发行 (成都市望江路 29 号)
四川省新华书店经销 成都犀浦印刷厂印刷
787×1092mm 16 开本 16.5 印张 365 千字
1995 年 4 月第 2 版 1995 年 9 月第 3 次印刷
印数: 7000—10000 册
ISBN 7-5614-0280-5/TP·7 定价: 17.50 元

前 言

随着计算机技术的不断发展,各种信息系统的相继建立,计算机通信与网络技术的应用越来越普遍。各高等院校的计算机、无线电、信息系统及通信工程等有关专业普遍开设计算机通信与网络或计算机网络课程。为适应这种形势的需要,我们编著了这本《计算机网络原理与技术》,作为有关专业的计算机网络课程教材。

本书从点-点之间直接通信所涉及的信号、编码、物理接口等内容出发,先介绍链路的流量控制、错误控制以及典型的链路控制协议,然后引入分组交换的概念,结合 ARPANET 实例,介绍计算机网络技术中的基本问题,例如数据报、虚电路、路径选择、拥塞与流量控制等。在此基础上阐明计算机网络的体系结构与协议。

本书比较系统地介绍了各种类型的局域网,包括局部地区网、高速局域网、由 PABX 构成的局域网等。着重介绍了局域网的介质存取控制原理与技术,IEEE 802 标准,并简要地讨论了局域网的性能分析等问题。

本书从 OSI 的观点出发,详细讨论了计算机网络的高层协议,包括传输层、会话层、表示层和应用层的作用及协议。

在计算机网络互连方面,本书介绍了常用的网络互连设备,并着重阐述了 OSI 关于网络互连的设想以及网间网的基本思想和结构特点。讨论了 IP 网络协议(Internet Protocol), IP 路由, TCP 协议(Transport Control Protocol)等。

为适应网络技术的最新发展,本书专门讨论了计算机高速网络技术,包括帧中继网, B-ISDN 中的 ATM 网络,以及影响越来越大的高速交换式网络技术等。

为便于实践,本书在附录中给出了 Novell 公司的 Netware 3.11 网络的安装与使用说明。

由于计算机通信与网络技术发展迅速,牵涉的知识面广,作者水平有限,书中定有不少错误和挂一漏十之处,敬请读者指正。

作 者

1995 年 4 月

目 录

第一章 概 述

第一节 计算机网络的发展	(1)
(一) 计算机网络的含义	(1)
(二) 发展过程	(1)
第二节 通信与网络	(3)
(一) 通信的基本模型	(3)
(二) 数据通信网	(4)
复习与思考	(5)

第二章 数据传输基础

第一节 数据传输系统模型	(6)
(一) 点-点传输模型	(6)
(二) 多点传输模型	(7)
第二节 周期信号分析	(7)
(一) 周期信号的波形	(7)
(二) 周期信号的频域表示	(7)
第三节 非周期信号的付里叶变换	(10)
第四节 带宽与强度	(11)
(一) 带宽的概念	(11)
(二) 信号强度的度量与衰减	(12)
第五节 传输过程中的噪声	(13)
第六节 模拟数据与数字数据的传输	(14)
第七节 数据编码	(14)
(一) 数字数据-数字信号	(15)
(二) 数字数据-模拟信号	(17)
(三) 模拟数据-数字信号	(19)
(四) 模拟数据-模拟信号	(20)
复习与思考	(23)

第三章 数字数据通信技术

第一节 点-点通信方式	(24)
(一) 点-点通信方式	(24)
(二) 通信线路结构	(24)
(三) 异步与同步通信	(25)
(四) DTE 和 DCE	(26)
第二节 RS-232C 与 RS-449	(27)

(一) RS-232C 的电气特性	(27)
(二) RS-232C 的引脚定义	(27)
(三) 接收与发送的联络方式	(28)
(四) 零调制器	(29)
(五) RS-449/RS-422A/RS-423A	(30)
第三节 调制解调器	(33)
(一) 调制解调器	(33)
(二) Modem 的通信过程	(34)
(三) Modem 常用 AT 命令集	(34)
(四) 电话网常用调制解调器	(38)
第四节 传输中的错误检测技术	(39)
(一) 错误检测方法	(39)
(二) CRC 校验	(39)
(三) 纠错码	(43)
第五节 数据链路控制	(44)
(一) 流量控制	(44)
(二) 差错控制	(47)
第六节 链路控制规程	(49)
(一) 面向字符的控制规程	(49)
(二) 面向比特的控制规程	(50)
第七节 链路复用	(56)
(一) 频分多路复用	(56)
(二) 时分多路复用	(57)
(三) 统计时分多路复用	(59)
(四) 集中器的原理	(60)
复习与思考	(61)
第四章 计算机广域网络	
第一节 通信网中的交换技术	(64)
(一) 节点与站	(64)
(二) 三类交换技术	(64)
(三) 三种交换技术的比较	(68)
第二节 报文分组交换网	(69)
(一) 包交换网中信息传输的基本过程	(69)
(二) 主机如何利用网络进行通信	(73)
第三节 ARPANET 的通信结构	(76)
第四节 拥塞控制与流量控制	(78)
(一) 网络中死锁产生的原因	(78)
(二) 预防拥塞的方法	(79)

(三) 源主机与目标主机之间的流量控制	(79)
第五节 路径选择	(80)
(一) 固定路由算法	(80)
(二) 求解最短路径的方法	(81)
(三) 具有适应能力的分布式路由算法	(85)
第六节 X·25 网络存取协议	(86)
(一) X·25 中使用的包类型及格式	(86)
(二) 虚电路的建立与拆除	(88)
(三) X·25 协议通信过程示意	(89)
(四) 非分组式终端和网络的接口	(90)
第七节 计算机网络的体系结构	(91)
(一) 协议与网络体系结构	(91)
(二) 国际标准化组织的七层参考模型	(92)
复习与思考	(96)
第五章 计算机局域网	
第一节 局域网的特点	(97)
(一) 局域网与多处理器系统以及远程网的比较	(97)
(二) 局域网的应用	(99)
第二节 局域网的拓扑结构与传输介质	(101)
(一) 局域网的基本拓扑结构	(101)
(二) 传输介质	(103)
(三) 局域网的类型、传输介质与拓扑结构的关系	(104)
第三节 LAN 中常用的介质存取控制技术	(104)
(一) 总线结构中争用介质的方法	(104)
(二) 环结构中的令牌控制方法	(107)
(三) 环结构中的 Slotted 方法	(108)
(四) 总线结构中的令牌传送介质控制方法	(109)
第四节 基带和宽带局域网	(110)
(一) 两类数据传输技术	(110)
(二) 宽带系统的结构	(111)
(三) 宽带系统的服务	(112)
(四) 单道宽带 HSLN 中的介质存取协议	(113)
第五节 由 PABX 构成的局域网	(114)
(一) PABX 的发展	(114)
(二) 数字转接的基本概念	(115)
(三) 数字 PABX (或 CBX) 的结构	(121)
(四) PABX (CBX) 与 LAN 的比较	(122)
第六节 LAN 协议	(123)

(一) OSI 七层参考模式与 LAN 协议	(123)
(二) LAN 协议的 IEEE-802 标准	(123)
(三) IEEE-802 逻辑链路控制层	(125)
(四) IEEE-802 介质存取控制层	(127)
第七节 局域网络接口	(131)
(一) 网络接口单元 (NIU)	(131)
(二) 常用网卡及网络组织	(133)
第八节 局域网络性能分析	(138)
(一) 引言	(138)
(二) 网络的传播延时 T_P 数据率 C 对性能的影响	(140)
(三) 网络规模分析	(140)
(四) 网络延迟时间的粗略分析	(142)
(五) 令牌环与 CSMA/CD 的介质利用率分析	(142)
(六) 关于竞争 (介质控制) 协议的进一步探讨	(147)
复习与思考	(152)
第六章 计算机网络的高层协议	
第一节 传输层	(153)
(一) 传输层提供的服务	(153)
(二) 传输协议类型	(155)
(三) 传输协议数据单元	(157)
(四) 连接管理	(159)
(五) 传输连接上的流量控制	(164)
(六) 多路复用	(164)
第二节 会话层	(165)
(一) 会话管理	(165)
(二) 同步	(166)
(三) 活动管理	(167)
(四) 会话层中的用户数据类型	(168)
(五) 会话层的其他功能与 SPDU	(168)
第三节 表示层	(169)
(一) 表示层主要涉及的问题	(170)
(二) 抽象语法表示法	(170)
第四节 应用层	(174)
(一) 文件传输、访问与管理	(174)
(二) 电子邮件	(177)
(三) 虚拟终端	(180)
第五节 客户/服务器方式	(182)
(一) 远程过程调用	(182)

(二) 服务器实现的复杂性	(183)
复习与思考	(184)
第七章 计算机网络之间的互连	
第一节 局域网之间的互连	(186)
(一) 网络互连设备	(186)
(二) 局域网互连的典型方式	(187)
第二节 网络互连的结构考虑	(188)
(一) 层次结构与网络互连	(188)
(二) OSI 关于网络互连的设想	(189)
(三) 网桥与网关	(190)
第三节 TCP/IP 网络	(194)
(一) IP 网络地址	(194)
(二) IP 协议	(195)
(三) IP 路由	(199)
(四) 网间网的传输层协议	(201)
(五) UNIX 系统中进程通信接口	(204)
复习与思考	(206)
第八章 高速计算机网络	
第一节 帧中继高速包交换技术	(208)
(一) 帧中继的基本原理	(208)
(二) 帧中继的帧格式	(209)
(三) 帧中继网的体系结构	(210)
(四) 帧中继网的拥塞控制	(211)
第二节 异步传输模式	(212)
(一) ISDN 综合服务数字网	(212)
(二) ATM 网络与协议	(214)
第三节 高速局域网	(217)
(一) FDDI	(217)
(二) FDDI 组网	(220)
(三) 交换式局域网	(221)
(四) 高速以太网和高速令牌环	(222)
复习与思考	(223)
附录 A NOVELL 网络的安装与使用	
A.1 NOVELL 网络简介	(225)
A.2 NETWARE V3.11 系统的安装	(227)
A.3 NOVELL 网络服务的建立	(234)
A.4 文件服务器控制台以及用户工作站常用命令	(240)
A.5 网络打印机的安装和控制	(241)

第一章 概 述

第一节 计算机网络的发展

(一) 计算机网络的含义

计算机网络是指具有独立功能的计算机、终端及其它设备,用通信线路联接起来,按一定的方式进行通信并实现资源共享的系统,如图 1-1 所示。

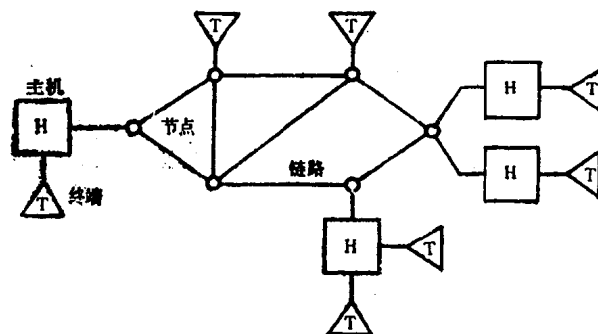


图 1-1 计算机网络示意图

(二) 发展过程

计算机网络的发展经历了由简单到复杂、由低级到高级的发展过程。最初为了解决远程数据收集、远程计算和处理,发展了远程联机的系统,如图 1-2 所示。

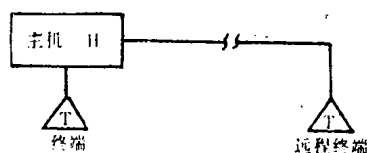


图 1-2 远程终端示意图

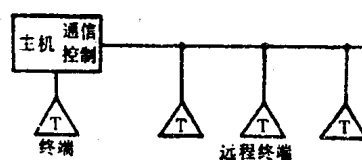


图 1-3 共用一条传输线路的远程终端

一个远程终端利用专用线路和主机连接起来作为主机的一个用户。这种方式的缺点

在于一个远程终端独占一条线路，线路利用率很低，于是出现了许多终端共用一条线路的结构，如图 1-3 所示。

显然，任何时刻只可能有一个终端利用传输线与主机通信，不同的终端必然要分时地使用传输线。为了有选择地连接某个终端，以及当多个终端同时要求使用主机时解决它们之间的争用问题，这就需要相应的硬件和软件，最初这项工作是由主机负担。为了减少主机在通信控制方面的负担，提高主机的处理效率，出现了具有集中器和前端处理机的系统，如图 1-4 所示，往往把这种系统称为面向终端的网络。FNP（前端网络处理机）本身是一个小型计算机，负担通信处理的任务；在终端较集中的地方设置集中器，先用低速线路把数据汇集到集中器，再用高速线路把汇集以后的信息送入主机中，集中器通常也是一个小型计算机。

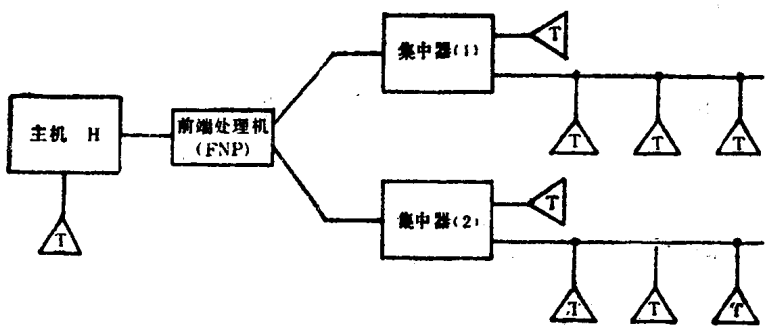


图 1-4 面向终端的计算机网络

随着计算机应用范围的增大，新的要求不断出现，例如一个计算机系统用户希望使用另一个计算机系统的资源，或希望和另一个计算机一起共同完成某项任务，这就出现了计算机-计算机网络，如图 1-5 所示。

随着网络结构的不断完善，从逻辑上把数据处理功能和数据通信功能分开，这就构成了具有二级结构的网络，如图 1-6 所示。

通常把实现通信功能的部分称为通信子网，把实现数据处理功能的部分称为资源子网。美国国防部高级研究计划局于 1969 年开建的 ARPA 网络就是二级网络的一个例子。随着 ARPA 网的建立与发展，计算机网的优越性得到了证实，很多

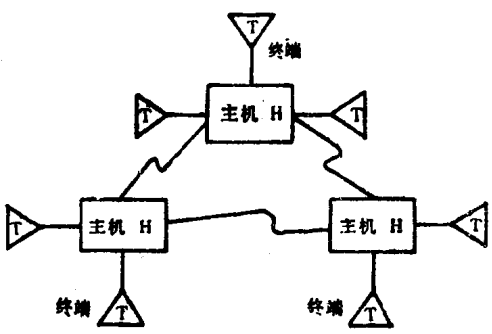


图 1-5 计算机-计算机网络示意图

国家都建立了较大规模的公用的计算机分组交换网，例如美国的 Telenet, Tymnet; 加拿大的 Datapac; 法国的 TRANSPAC 等，由于远程计算机网络必须使用长

距离的数据通信网络，因此它只有依靠一个国家或地区才能投资兴建。

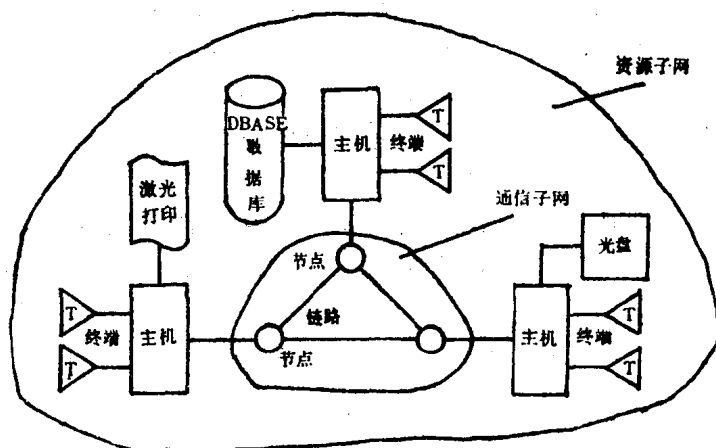


图 1-6 二级结构网络模型

1975 年美国 XEROX 公司的 PALOALTO 研究中心推出了世界上第一个总线型的 ETHERNET 网络，使计算机网络技术出现了一个新的分支——计算机局域网。由于微型计算机技术的迅猛发展，微机局域网已普遍用于各类中小型信息系统、办公室自动化系统、生产过程的自动化控制系统。国内外较流行的局域网产品已有几十种，例如 ETHERNET, ARCNET, IBM TOKEN RING, FDDI, ATM 等。各种局域网之间的互连以及局域网与广域网之间的互连技术也得到了巨大的发展。

第二节 通信与网络

（一）通信的基本模型

计算机网络依赖于数据通信，一个简化的计算机通信模型如图 1-7 所示。

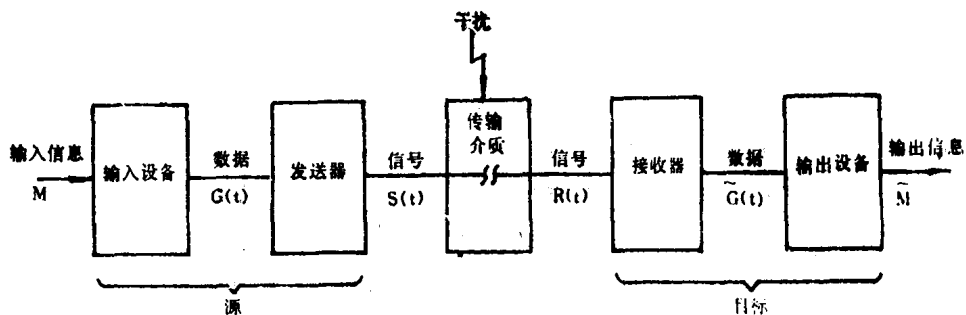


图 1-7 计算机通信的简化模型

通信的目的是双方交换信息，例如发送端的一个用户，希望告诉接收端的用户“会议定于5月5日上午9时举行”，这是一个关于会议日期的信息。信息 M 从键盘输入，以一系列字符构成的字符串存贮在计算机的内存中，计算机通过信息接口（远程通信时包括调制解调器）和传输介质（电缆、光纤、大气、海水等）相连，信息由通信接口转换成适合于在介质上传输的信号 $S(t)$ ，在介质上传输。 $S(t)$ 在传输过程中总会受到各种干扰，因此被接收的信号 $R(t)$ 和 $S(t)$ 并不完全一样， $R(t)$ 在目标系统中被转换成字符串或二进制位串 $\tilde{G}(t)$ ，然后显示或打印出来，接收端获得输出信息 $\tilde{M}$ 。

在日常的电话通信中，发送和接收者都是人，输入信息和输出信息是语音，发送者说的话被送话器转换成电流或电压波形 $G(t)$ ，一般基带电话在介质上传输的就是语音波形，这时 $G(t)$ 和 $S(t)$ 本质上是一样的。由于干扰的缘故， $R(t)$ 和 $S(t)$ 并不完全一样，这样就产生了失真。

（二）数据通信网

在两个由介质直接相连的设备之间通信（点-点形式）比较简单。但是由于两点相隔甚远，或需要在许多点之间进行通信，这时在任意二点之间都用介质直接连接起来就显得不经济也不现实，解决的方法就是把每个通信设备都连接到一个网络上，如图 1-8 所示。

每个要求通信的设备称为网络工作站，每一个站都连接到一个网络节点上，节点按一定方式互连就构成了通信网络。按照网络结构和所使用的传输技术，通信网络大致分成如下的类型：

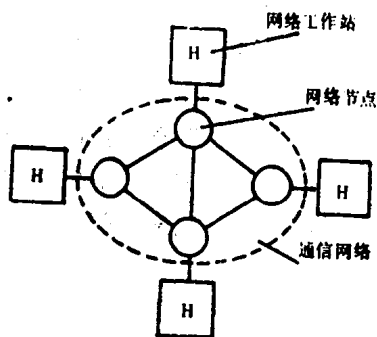


图 1-8 通信设备通过网络相互连接

1. 交换网络 (Switched Network)

(a) 电路交换网络 (Circuit-Switched Network)

(b) 信息 (报文) 交换网络 (Message-Switched Network)

(c) 分组交换网络 (Packet-Switched Network)

2. 广播网络 (Broadcast Network)

(a) 无线网络 (Packet Radio Network)

(b) 卫星网络 (Satellite Network)

(c) 共享式局部网络 (Local Network)

交换网络如图 1-9 所示。数据从源到目标的传送要通过一系列的中间节点。电路交换网络（例如电话网）在传输的过程中在源和目标之间要建立起一条物理通路；在信息交换网中，每个节点都是计算机，采用存贮-转发的方式把信息（报文）从源地发送到目的地；在包交换中，首先把信息分成若干个包或分组，然后对每个包采用存贮转发技术。在广播式通信网中没有中间节点，它的每一个站都有一个接收发送器，共享传输介质，任何一个点发送的信息都广播到其他所有的站，这种方式广泛用于无线电网、卫星网和共

享式局部网络中。如图 1-10 所示。

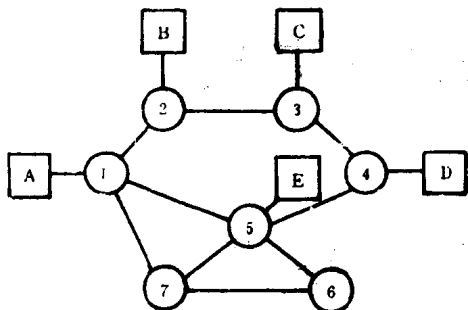


图 1-9 一般交换网示意图

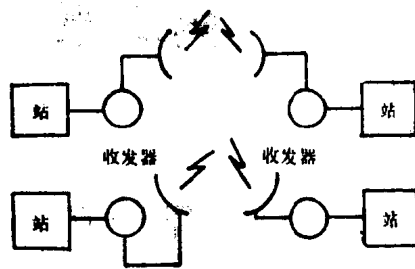


图 1-10 (a) 地面无线电网

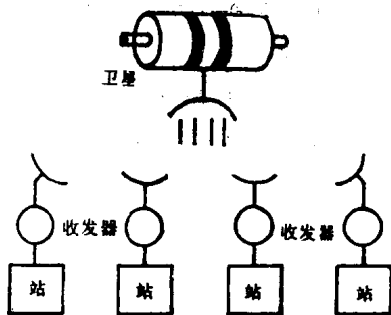


图 1-10 (b) 卫星网络

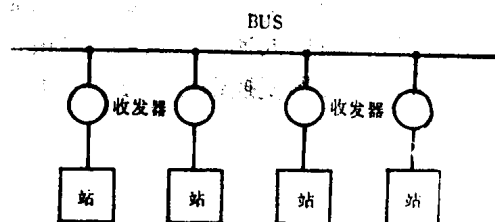


图 1-10 (c) 总线型局部网络

一个大的且实用的网络系统往往由各种类型的网络综合而构成。

本课程的内容包括数据通信的基础知识，计算机通信网的结构，计算机网络协议，局部网络，网络互连与设计等。

复习与思考

1. 什么叫做计算机网络？
2. 计算机网络包括哪两级结构？有哪两大功能？
3. 计算机网络的发展过程。
4. 你能举出几种目前国际上著名的网络名称吗？
5. 计算机通信网常分成哪两大类？各自特点是什么？
6. 你打过电话吗？简述其通话的基本过程。
7. 试说明二台计算机之间点-点通信的基本过程。

第二章 数据传输基础

第一节 数据传输系统模型

(一) 点-点传输模型

一个简化的数据传输系统模型如图 2-1 所示。编译码及波形变换部分的作用是把数据转换成适合于在介质上传输的信号形式。传输介质通常使用双绞线、同轴电缆、光纤，这类介质有时称为硬质线；信号也可以沿着空气（例如声波、激光、无线电波等）、海水传播，这类介质称为软质线。介质对被传播的信号总有一定的衰减作用，因此当传输距离较远时应在介质中间插入放大器（对模拟信号）或重复器（对数字信号）。当介质是远距离电话线时，波形变换部分还要起调制解调器的作用。

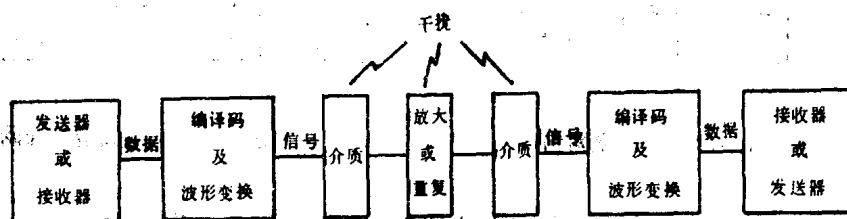


图 2-1 点-点传输模型

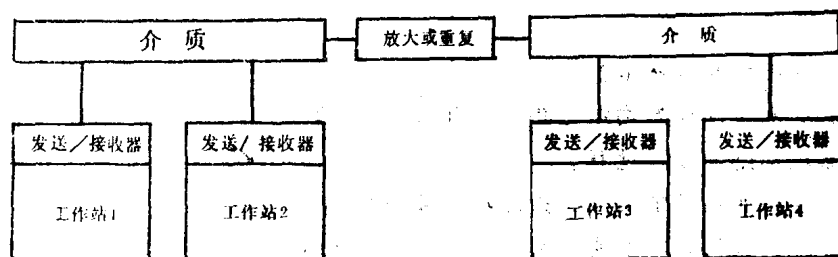


图 2-2 多点传输模型

(二) 多点传输模型

当多于两个设备共用同一个传输介质时,称为多点传输,其模型如图 2-2 所示。

数据传输成功与否基本上取决于两个主要因素:(1) 被传输的信号质量;(2) 介质或信道的特性。以下就信号和信道的特征作简单的分析。

第二节 周期信号分析

(一) 周期信号的波形

若信号 $S(t)$ 满足

$$S(t + mT) = S(t) \quad (-\infty < t < \infty)$$

则称信号 $S(t)$ 是周期性的,式中 T 称为重复周期, m 为任一整数。二种典型的周期信号:正弦波和方波的波形如图 2-3 所示。

一般正弦信号 $S(t)$ 表示为:

$$\begin{aligned} S(t) &= A \sin \varphi(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0) \\ &= A \sin(2\pi f t + \varphi_0) \end{aligned} \quad (2-1)$$

其中 A 称为正弦波的振幅, $\varphi(t)$ 称为正弦波的相位。相位反映当前波形处于什么位置。例如当 $\varphi(t) = \pi/2$ 时,当前波形处于正向最大值的位置,当相位等于 $3\pi/2$ 时,波形处于反向最大值。正弦波的相位是时间 t 的线性函数,相位变化 2π ,波形变化一个周期。相邻二个波形之间的时间间隔称为周期,常用 T 表示。周期的倒数 $1/T$,表示单位时间内正弦波经历的波形个数,称为频率 f , $\omega = 2\pi f$ 称为角频率,表示单位时间内正弦波所扫过的相位。当 $t=0$ 时,正弦波的相位称为初相,上式中用 φ_0 表示。振幅、频率和初相是表示正弦波的两个参数,它们唯一地确定了一个正弦波形。

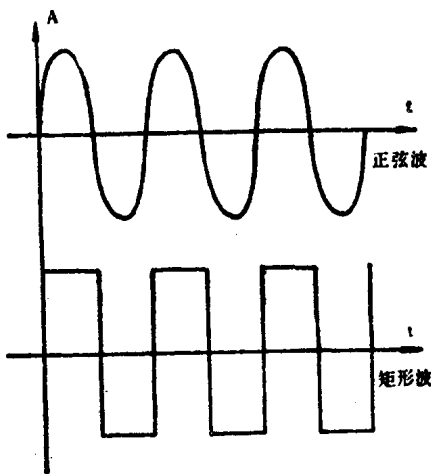


图 2-3 正弦波和方波

(二) 周期信号的频域表示

1. 任意的周期性波形可以用正(余)弦波迭加形成

一个幅度为 $\pi/4$ 的矩形波系列,粗略地看起来,可认为它是由幅度为 1 的一次谐波、幅度为 $1/3$ 的三次谐波和幅度为 $1/5$ 的五次谐波近似组成。在图 2-4 中示出了由一次谐波和三次谐波合成的矩形波。

在数学上利用付里叶级数, 可以把任意一个周期性信号表示为

$$X(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} (a_m \cos m\omega t + b_m \sin m\omega t) \quad (2-2)$$

$$\text{其中 } a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} X(t) dt \quad (2-3)$$

$$a_m = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} X(t) \cos m\omega t dt \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (2-4)$$

$$b_m = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} X(t) \sin m\omega t dt \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (2-5)$$

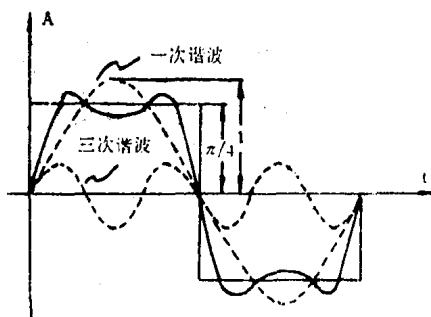


图 2-4 矩形波合成示意图

式中, T 为 $X(t)$ 的周期, $\omega = 2\pi f$ 称为 $X(t)$ 的基波角频率, f 称为基波频率, m 称为谐波次数, $m\omega$ 为谐波角频率, $a_0/2$ 为波形的直流分量。若令

$$a_m \cos m\omega t + b_m \sin m\omega t = F_m \cos(m\omega t - \psi_m) \quad (2-6)$$

其中

$$F_m = \sqrt{a_m^2 + b_m^2} \quad (2-6a)$$

$$\psi_m = \tan^{-1} \frac{b_m}{a_m} \quad (2-6b)$$

则 $X(t)$ 可以表示成余弦形式:

$$X(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^m F_m \cos(m\omega t - \psi_m) \quad (2-7)$$

上式表明, 任一周期信号都可以用振幅、频率和初相位不同的简谐信号组成。 F_m 称为 $X(t)$ 的第 m 次谐波振幅, ψ_m 为第 m 次谐波的初相。

例 2-1 把图 2-5 所示矩形波展成付里叶级数。

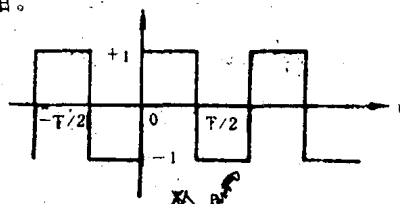


图 2-5

解 由式 (2-3) 和式 (2-4) 得

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} X(t) dt = 0$$

$$\begin{aligned} a_m &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} X(t) \cos m\omega t dt \\ &= \frac{2}{T} \left[\int_{-T/2}^0 (-1) \cos m\omega t dt + \int_0^{+T/2} \cos m\omega t dt \right] = 0 \end{aligned}$$

由式 (2-5) 得

$$\begin{aligned} b_m &= \frac{2}{T} \left[\int_{-T/2}^0 (-1) \sin m\omega t dt + \int_0^{+T/2} \sin m\omega t dt \right] \\ &= \frac{4}{T} \int_0^{+T/2} \sin m\omega t dt = \begin{cases} 0, & m = 2, 4, 6, \dots \\ \frac{4}{m\pi}, & m = 1, 3, 5, \dots \end{cases} \end{aligned}$$