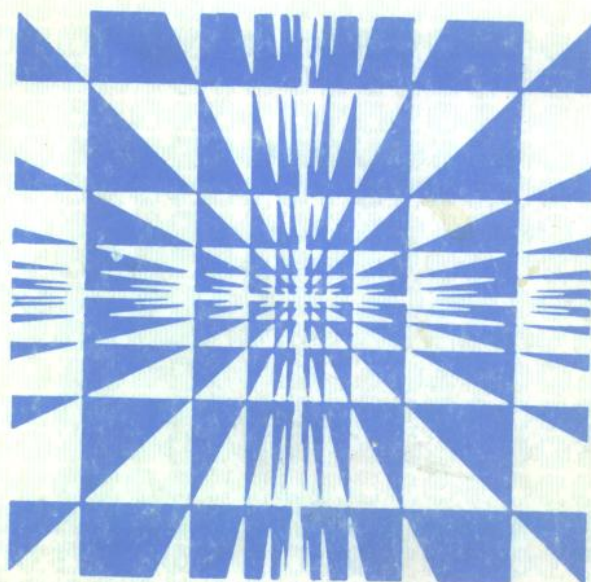


雷震甲 马玉祥



JI SUAN JI
WANG LUO

计算机网络

西安电子科技大学出版社

计 算 机 网 络

雷震甲 马玉祥 编著

西安电子科技大学出版社

1996

(陕)新登字 010 号

内 容 提 要

本书在介绍数据通信和计算机网络基本知识的基础上,以 OSI 参考模型为主线,全面系统地阐述了计算机网络七层协议的主要内容,同时也讲述了有关局域网和网络互连方面的基本概念和基本原理。在跟踪最新国际标准的同时,本书注重介绍组网原理,协议机制和最实用的网络应用技术,目的是使读者既能在理论方面有所提高,又能掌握一定的实用技能。本书每章都配有丰富的习题,可用于巩固课堂学习的内容和进一步扩展知识面。

本书适用于高等学校与计算机有关的专业作为教材,亦可供工程技术人员和对计算机网络有兴趣的读者参考。

JS306/19

计 算 机 网 络

雷震甲 马玉祥 编著

责任编辑 陈宇光

西安电子科技大学出版社出版发行

陕西省富平县印刷厂印刷

新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 17 14/16 字数 426 千字

1996 年 5 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷 印数 1-5 000

ISBN 7-5606-0468-4/TP·0238 定价: 14.00 元

前 言

近年来,随着计算机应用的日益普及,计算机网络技术的发展非常迅速,新的网络标准不断推出,这使得人们熟悉的网络知识和网络教材很快就过时了。笔者在教学中深感需要一本能够反映当前技术现状,符合最新国际标准的计算机网络教材,因此参考国内外已有的教材和最近颁布的国际标准编写了这本书。本书的内容适合作为计算机及相关专业研究生和本科生的教材,若作为专科生的教材可选用部分内容。下面对本教材内容的取舍作一简要介绍,供使用时参考。

本书的参考教学时数为50~70学时。本书第一章介绍计算机网络的基本概念。第二章是有关数据通信的基础知识,若学生已学过数据通信课程,这一章可以不讲。第三章介绍计算机网络体系结构的基本概念,这些概念贯穿于全书,本书的内容就是按照OSI参考模型的体系结构组织的。第四、五、六、七章分别讲述物理层、数据链路层、网络层和传输层的主要概念、协议及原理。考虑到远程连网的需求越来越多,在物理层一章介绍了比较实用的有关RS-232-C和Modem的基础知识。数据链路层主要讲述与X.25公用数据网有关的HDLC协议的原理及简单的计算方法。鉴于TCP/IP协议已成为事实上的工业标准,我们在网络层一章对IP协议的原理进行了重点讲述,在传输层一章对TCP协议也给予了适当的重视。OSI体系结构的高层协议在第八章介绍,这些内容反映了网络技术发展的最新成就,因此在本书中占用了比较大的篇幅。学生掌握这些知识,将会对现代计算机网络的应用有一个比较深入的了解。在会话层,我们突出了会话结构化技术,在表示层着重讲述抽象语法表示ASN.1的基本概念,这是设计高层网络协议的基本技术。由于应用层的内容太多太杂,我们只能介绍OSI应用层的基础结构和基本概念,不能(也没有必要)具体介绍某种特殊的应用。实际中人们接触最多的计算机网络的应用大概是电子邮件了,这方面的知识可参考具体的实现来学习。本书第九章是关于局域网的,重点介绍802.3、802.4、802.5和802.6等几个局域网标准,CSMA/CD协议及令牌环网协议是本章的重点。最后一章是网络互连技术,讲述局域网之间、广域网之间以及局域网和广域网之间的互连技术。这一章对面向连接的互连网协议和无连接的互连网协议给予了同等的重视。本书在每章后均附有丰富的习题,有些习题是关于课文基本内容的,有些是为扩充和提高而加入的,在教学实施时可根据具体情况选用。

本书在选材上考虑到既要跟踪最新的国际标准,也不能把教科书写成标准的缩编,因此对协议背后的基本概念和基本原理都进行了细致的解释和举例。笔者认为,作为计算机网络原理课程的教材,应该教给学生的是解决问题的思路,而不是给学生提供一本工作手册。限于篇幅和教学时数,本书对一些新出现的网络技术,例如B-ISDN, ATM, SONET等未能收入,但本书的内容仍然是反映了当前应用最广,最接近实际的网络技术。至于协议工程、网络安全、网络管理等方面的内容,应该说已超出了本书的教学范围,读者若要了解以上几方面的知识,最好学习专门的课程或查阅有关的资料。

笔者在编书过程中深感网络技术发展太快,网络知识涉及面很广,很难完全包容一门

课程或一本书中。至于本书的内容和取舍是否得当，讲解是否容易为读者接受，只好留待读者指正了。

在本书编写过程中作者得到 ISN 国家重点实验室的大力支持和帮助，也得到西安电子科技大学 301 教研室和网络实验室很多同事的支持和帮助，在此深表谢意。马缚龙、王西民和杨建堂同志协助作者查找了很多资料，杜雪芳同志打印了大部分书稿。西安电子科技大学出版社的陈宇光同志对本书的编辑做了细致而有成效的工作，给本书增色不少。限于作者的水平和学识，疏漏甚至错误之处在所难免，万望读者不吝指正。

作者

1996 年 2 月

目 录

第一章 引论	1	4.2 物理层协议及其特点	54
1.1 计算机网络的形成和发展	1	4.3 EIA RS-232-C 接口	59
1.1.1 早期的计算机网络	1	4.3.1 RS-232-C 标准	59
1.1.2 计算机网络的大发展时期	3	4.3.2 RS-232-C 的应用	64
1.1.3 计算机网络标准化阶段	3	4.4 CCITT X.21 接口	65
1.2 计算机网络的基本概念	4	4.5 调制解调器(Modem)	68
1.3 计算机网络的组成	5	4.5.1 Modem 的组成原理	69
习题	7	4.5.2 高效数字调制技术	71
第二章 数据通信基础	8	4.5.3 智能 Modem	76
2.1 数据通信的基本概念	8	习题	79
2.2 数字信号的频谱和信道带宽	10	第五章 数据链路层	81
2.3 数字信道的特性	11	5.1 链路配置和控制	81
2.4 物理信道	13	5.2 流量控制	83
2.5 数据编码	16	5.2.1 停等协议	84
2.6 数字调制技术	18	5.2.2 滑动窗口协议	85
2.7 脉冲编码调制	20	5.3 差错控制	88
2.8 通信方式和交换方式	21	5.3.1 自动请求重发(ARQ)技术	88
2.8.1 数据通信方式	21	5.3.2 协议性能分析	91
2.8.2 交换方式	22	5.4 HDLC 协议	93
2.9 多路复用技术	24	5.4.1 HDLC 的概念	93
2.10 差错控制	27	5.4.2 HDLC 帧结构	94
习题	32	5.4.3 HDLC 帧类型	95
第三章 计算机网络体系结构	34	5.4.4 HDLC 的操作	98
3.1 计算机网络的功能特性	34	习题	100
3.2 几种商用计算机网络的体系结构	36	第六章 网络层	102
3.2.1 SNA	37	6.1 网络层服务及其实现	102
3.2.2 DNA 和 DECnet	38	6.1.1 面向连接的服务和无连接	
3.2.3 X.25	40	的服务	102
3.3 ISO 开放系统互连参考模型的概念	41	6.1.2 数据报和虚电路	103
3.3.1 分层的原理	41	6.2 路由选择	106
3.3.2 面向连接的数据传输	44	6.2.1 最短通路算法	107
3.4 OSI 分层体系结构	45	6.2.2 路由选择策略	109
3.4.1 划分层次的原则	45	6.2.3 路由选择算法实例	113
3.4.2 七层功能概述	46	6.3 交通控制	117
3.4.3 OSI 协议集	48	6.3.1 交通控制技术的分类和分级	117
习题	52	6.3.2 交通控制技术的实现	122
第四章 物理层	53	6.4 X.25 公共数据网	126
4.1 公共交换电话网和公用数据网	53	6.4.1 X.25 建议概述	126

6.4.2 X.25 分组层协议 PLP	127	9.4.1 令牌总线介质访问控制协议	215
习题	132	9.4.2 令牌总线网技术性能与 性能分析	216
第七章 传输层	134	9.5 光纤局域网	217
7.1 传输服务	134	9.5.1 光纤局域网的拓扑结构	218
7.2 传输协议	136	9.5.2 FDDI 与介质访问控制协议	221
7.2.1 传输协议的分类	136	9.5.3 FDDI 工作过程和容量分配	223
7.2.2 传输协议的实现机制	137	9.5.4 FDDI - I	225
7.3 TCP 和 UDP	145	9.6 分布队列双总线 DQDB	227
7.3.1 TCP 服务	145	9.6.1 DQDB 网络拓扑结构 和传输介质	227
7.3.2 TCP 段头格式	147	9.6.2 DQDB 网络访问控制协议和 IEEE 802.6 标准	229
7.3.3 TCP 的连接管理机制	149	9.6.3 交换的多兆比数据 服务 SMDS	232
7.3.4 用户数据报协议 UDP	150	习题	234
习题	150	第十章 网络互连	236
第八章 高层协议	153	10.1 网络互连设备	236
8.1 会话层	153	10.2 局域网的互连	240
8.1.1 会话层的基本概念	153	10.2.1 网桥协议的体系结构	241
8.1.2 会话层服务的定义	156	10.2.2 生成树网桥	243
8.1.3 会话协议	161	10.2.3 源路由网桥	246
8.2 表示层	164	10.3 广域网互连	249
8.2.1 表示层的基本概念	165	10.3.1 OSI 网络层内部结构	249
8.2.2 抽象语法表 ASN.1	167	10.3.2 无连接的网际互连	251
8.2.3 表示服务和协议	173	习题	257
8.3 应用层	175	附录 IPX/SPX 程序设计	258
8.3.1 应用服务元素	175	I. IPX 协议	258
8.3.2 虚拟终端协议	180	II. SPX 协议	261
8.3.3 文件传输协议	183	III. IPX/SPX 的功能调用	262
8.3.4 电子邮件协议	187	III.1 IPX 功能调用	262
习题	189	III.2 SPX 功能调用	266
第九章 计算机局域网	191	IV. IPX 基本编程技术	270
9.1 局域网概述	191	IV.1 调用 IPX 功能	270
9.1.1 局域网特点	191	IV.2 事件服务程序 ESR	271
9.1.2 局域网基本技术	191	IV.3 获取网络地址	271
9.1.3 局域网层次结构与标准化	192	IV.4 接收和发送分组	275
9.2 总线型局域网	196	V. SPX 基本编程技术	277
9.2.1 拓扑结构与传输介质	196	V.1 测试 SPX	277
9.2.2 介质访问控制协议	198	V.2 建立连接	277
9.2.3 以太网与性能分析	203	V.3 发送/接收报文	278
9.3 环型局域网	208	V.4 拆除连接	279
9.3.1 拓扑结构与传输介质	208	主要参考书目	280
9.3.2 介质访问控制协议	209		
9.3.3 Token Ring 性能分析与 令牌环的改进	210		
9.4 令牌总线型局域网	214		

第一章 引 论

计算机和通信技术的结合正在推动着社会信息化的技术革命。人们通过连接一个部门、地区、国家,甚至全世界的计算机网络来获取、存储、传输和处理信息,广泛地利用信息进行生产过程的控制和经济计划的决策。进入 90 年代,由计算机构成的通信网络,已成为各个国家在经济生活中竞争的战略武器。各发达国家都相继制定了基于信息高速公路的未来发展计划。我国也把建设国家信息基础设施作为基本国策,积极发展和建设国家经济信息网络。可以预计,从现在起到本世纪末,全国乃至全球范围的计算机互连网络将有更大的发展,日益深入到国民经济各部门和社会生活的各个方面。计算机网络也将成为人们日常生活中必不可少的交际工具,所以学习和研究计算机网络方面的新技术对于我们进入近在眼前的信息社会是不可缺少的一个阶梯,本书将帮助你踏出迈向这个阶梯的第一步。

1.1 计算机网络的形成和发展

1.1.1 早期的计算机网络

自从有了计算机,就有了计算机技术和通信技术的结合。早在 1951 年,美国麻省理工学院林肯实验室就开始为美国空军设计称为 SAGE 的半自动化地面防空系统。该系统分为 17 个防区,每个防区的指挥中心装有两台 IBM 公司的 AN/FSQ-7 计算机,通过通信线路连接防区内各雷达观测站、机场、防空导弹和高射炮阵地,形成联机计算机系统。由计算机程序辅助指挥员决策,自动引导飞机和导弹进行拦截。SAGE 系统最先使用了人机交互作用的显示器,研制了小型计算机形式的前端处理机,制定了 1 600 b/s 的数据通信规程,并提供了高可靠性的多种路径选择算法。这个系统最终于 1963 年建成,被认为是计算机技术和通信技术结合的先驱。

计算机通信技术应用于民用系统方面,最早的当数美国航空公司与 IBM 公司在 50 年代初开始联合研究,60 年代初投入使用的飞机订票系统 SABRE-1。这个系统由一台中央计算机与全美范围内的 2 000 个终端组成。这些终端采用多点线路与中央计算机相连。美国通用电气公司的信息服务系统(GE Information Service)则是世界上最大的商用数据处理网络,其地理范围从美国本土延伸到欧洲、澳洲和日本。该系统于 1968 年投入运行,具有交互式处理和批处理能力。网络配置为分层星型结构:各终端设备连接到分布于世界上 23 个地点的 75 个远程集中器;远程集中器分别连接到 16 个中央集中器,各主计算机也连接

到中央集中器；中央集中器经过 50 Kb/s 线路连接到交换机。由于地理范围很大，可以利用时差达到资源的充分利用。

在这一类早期的计算机通信网络中，为了提高通信线路的利用率并减轻主机的负担，已经使用了多点通信线路、集中器以及前端处理机。这些技术对以后计算机网络的发展有着深刻的影响，现分别介绍如下：

(1) 所谓多点通信线路就是在一条通信线路上串接多个终端，这样，多个终端可以共享同一条通信线路与主机进行通信。由于主机—终端间的通信具有突发性和高带宽的特点，所以各个终端与主机间的通信可以分时地使用同一高速通信线路。相对于每个终端与主机之间都设立专用通信线路的配置方式，这种多点线路能极大地提高信息的利用率。每个终端与主机间设立专用线路的通信方式和多个终端共享多点线路的通信方式分别表示在图 1.1(a)和图 1.1(b)中。

以多点线路连接的终端和主机间的通信建立过程，可以用主机对各终端轮询或是由各终端连接成雏菊链的形式实现。这是计算机访问外设端口的传统技术，在此不再赘述。考虑到远程通信的特殊情况，对传输的信息可能要按照一定的通信规程进行特别的处理，这一点以后会详细讨论。

(2) 终端集中器和前端处理机的作用是类似的，不过后者的功能要强一些。主机资源主要用于计算任务，如果由主机兼顾与终端的通信任务，一来会影响主机的计算任务，二来使主机的接口很多，配置过于庞大，系统灵活性不好。为了解决这一矛盾，可以把与终端的通信任务分配给专门的小型机承担。小型机的硬软件配置都是面向通信的，可以放置于终端相对集中的地点，它与各个终端以低速线路连接，收集终端的数据，然后用高速线路传送给主机。这种通信配置表示在图 1.2 中。

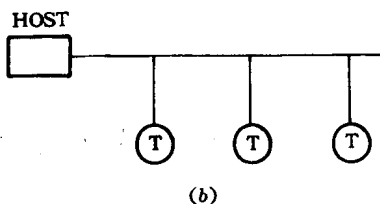
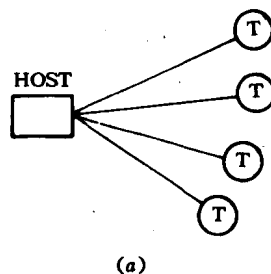


图 1.1 专用线路与多点线路的通信方式
(a) 专用线路；(b) 多点线路

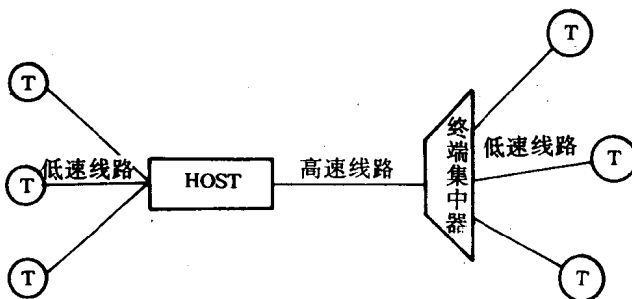


图 1.2 使用终端集中器的通信系统

终端集中器的硬件配置相对简单，它主要负责从终端到主机的数据集中，和从主机到终端的数据分发。显然采用终端集中器可提高远程高速通信线路的利用率。前端处理机除

了具有以上功能外,还可以互相连接,并连接多个主机,具有路由选择功能,它根据数据包的地址把数据发送到适当的主机。不过在早期的计算机网络中前端处理机的功能还不是很强,互连规模也不是很大。例如,上文中提到的 GE 信息服务系统中的中央集中器,实际上就是这种形式的前端处理机。现代的网络则是这一互连模式的拓广。

1.1.2 计算机网络的大发展时期

60 年代中期出现了大型主机,因而也提出了对大型主机资源远程共享的要求。以程控交换为特征的电信技术的发展则为这种远程通信要求提供了实现的手段。虽然在早期的计算机网发展过程中,计算机厂商和通信公司各行其事,但技术方面的互相借鉴和促进终于导致了这两大技术领域的沟通和合作。最终产生了当今能够联系世界各个地方,深入到国民经济和社会生活各个领域的规模宏大的计算机互连网络。现代意义上的计算机网络是从 1969 年美国国防部高级研究计划局(DARPA)建成的 ARPANET 实验网开始的。该网络当时只有 4 个结点,以电话线路作为主干网络,两年后,建成 15 个结点,进入工作阶段。此后,ARPANET 的规模不断扩大。到 70 年代后期,网络节点超过 60 个,主机 100 多台,地理范围跨越了美洲大陆,连通了美国东部和西部的一些大学和研究机构,而且通过通信卫星与夏威夷和欧洲等地区的计算机网络相互连通。ARPA 网的主要特点是:(1)资源共享;(2)分散控制;(3)分组交换;(4)采用专门的通信控制处理机;(5)分层的网络协议。这些特点往往被认为是现代计算机网络的一般特征。

70 年代中后期是广域网络大发展的时期。各发达国家的政府部门、研究机构和电报电话公司都在发展各自的分组交换网络。例如,英国邮政局的 EPSS 公用分组交换网络(1973),法国信息与自动化研究所(IRIA)的 CYCLADES 分布式数据处理网络(1975),加拿大的 DATAPAC 公用分组交换网(1976),日本电报电话公司的 DDX-3 公用数据网(1979)。这些网络都以实现远距离的计算机之间的数据传输和信息共享为主要目的,通信线路大多采用租用电话线路,少数铺设专用线路,数据传输速率在 50 Kb/s 左右。这一时期的网络被称为第二代网络,以远程大规模互连为其主要特点。

1.1.3 计算机网络标准化阶段

经过 60 年代和 70 年代前期的发展,人们对组网的技术、方法和理论的研究日趋成熟。为了促进网络产品的开发,各大计算机公司纷纷制定自己的网络技术标准。IBM 首先于 1974 年推出了该公司的系统网络体系结构 SNA(System Network Architecture),为用户提供能够互连的成套通信产品;1975 年 DEC 公司宣布了自己的数字网络体系结构 DNA(Digital Network Architecture);1976 年 UNIVAC 宣布了该公司的分布式通信体系结构 DCA(Distributed Communication Architecture)等等。这些网络技术标准只是在一个公司范围内有效,遵从某种标准的、能够互连的网络通信产品,只是同一公司生产的同构型设备。

网络通信市场这种各自为政的状况使得用户在投资方向上无所适从,也不利于多厂商之间的公平竞争。于是要求制定统一技术标准的呼声日高。1977 年国际标准化组织 ISO 的 SC16 分技术委员会(属 TC97 信息处理系统技术委员会)开始着手制定开放系统互连参考模型 OSI/RM(Open System Interconnection/Reference Model)。作为国际标准,OSI 规定了可以互连的计算机系统之间的通信协议,遵从 OSI 协议的网络通信产品都是所谓的开放系

统。今天,几乎所有的网络产品厂商都声称自己的产品是开放系统,不遵从国际标准的产品逐渐失去了市场。这种统一的、标准化产品互相竞争的市场给网络技术的发展带来了更大的繁荣。

80年代,微型计算机有了极大的发展。这种更适合办公室环境和家庭使用的新机种对社会生活的各个方面都产生了深刻的影响。在一个单位内部的微型计算机和智能设备的互连网络不同于以往的远程公用数据网,因而局域网技术也得到了相应的发展。1980年2月IEEE 802局域网标准出台。局域网的发展道路不同于广域网,局域网厂商从一开始就按照标准化,互相兼容的方式展开竞争。用户在建设自己的局域网时选择面更宽,设备更新更快。经过80年代后期的激烈竞争,局域网厂商大都进入专业化的成熟时期。今天在一个用户的局域网中,工作站可能是IBM的,服务器可能是Compaq的,网卡可能是3COM的,集线器可能是DEC的,而网络上运行的软件则是Novell公司的NetWare或是Microsoft的Windows NT。

1.2 计算机网络的基本概念

本书中,计算机网络这一术语是指由通信线路互相连接的许多自主工作的计算机构成的集合体。通信线路并不专指铜导线,还可以是激光、微波或红外线等。这里强调构成网络的计算机是可以自主工作的,这是为了和多终端分时系统相区别。在后一种系统中,终端(无论是本地的还是远程的)只是主机和用户之间的接口,它本身并不拥有计算资源,全部资源集中在主机中,主机以自己拥有的资源分时地为各终端用户服务。在计算机网络中的各个计算机(工作站)本身拥有计算资源,它能独立工作,完成一定的计算任务。同时用户还可以通过本地计算机或工作站使用网络中其他计算机的资源(CPU,大容量外存或信息等)。

与计算机网络类似的概念是计算机通信网。正如后者的名字所暗示的那样,计算机通信网以传输信息为主要目的。人们对计算机通信网的研究主要集中在网络中的信息如何高效、可靠地传输;为实现网络中的计算机之间的通信应遵从什么样的传输协议;对网络中的通信设备如何控制和管理等。至于网络中传送的信息有什么含义则是无关紧要的。

在计算机网络中,人们关心的是如何共享网络中的资源,这正是人们当初把计算机互连成网的最主要的目的。网络中的资源(主机、大容量硬盘、高速打印机以及数据等)由网络操作系统统一管理,网络操作系统为用户提供了操纵网络、共享资源的统一接口。当然网络操作系统是在计算机通信网上运行的,它不可避免地也要管理计算机之间的通信,因而比单机应用环境中的操作系统要复杂得多。然而,与当初人们建立计算机网络的初衷不一致的是,在现今的计算机网络中,通信方面的应用多于共享硬件资源方面的应用。而且网络操作系统关于资源共享方面的功能往往不完善,不能令人满意。特别是市场上各种网络操作系统差别很大,其标准化程度比通信方面的标准化低得多,而这方面的改进和完善还需假以时日。

比计算机网络更高级的系统是分布式系统。分布式系统在计算机网络基础上为用户提供透明的集成应用环境。用户可以用名字或命令调用网络中的任何资源或进行远程的数据处理,不必计及这些资源或数据的地理位置。对计算机网络往往不要求这种透明性,甲

地的用户要利用乙地的计算机必须通过自己的终端显式地指定地点和设备名。80年代以来,随着微型机的发展,人们对高级形态的分布处理环境投入了极大的热情,似乎由众多的微型机组成的功能强大的(可与大型机相比的)分布处理系统已指日可待。随着时间的推移,这种普遍意义上的分布处理系统还是没有出现,然而这方面的研究活动功不可没,分布式数据库已经应市,分布式控制的优点也已深入人心,对分布式集成应用环境的研究也还在继续,我们期待着高级形态的分布处理系统早日出现。

和计算机网络类似的另一种系统是多机系统。多机系统专指同一机房中的许多大型主机互连组成的功能强大、能高速并行处理的计算机系统。对这种系统互连的要求是高带宽和多样的连通性。所谓高带宽就是要求计算机之间的通信速度能够达到访问主存的速度,即几十兆位每秒,这在当今的计算机网络(即使是局域网)中是达不到的。现在,广域网的通信速率往往是几十千位每秒,局域网的通信速率是 10 Mb/s。虽然使用光纤通信技术可以把信号传输速率提高到 100 Mb/s,但是按照计算机网络通信协议的方式处理多机系统中的通信是不合适的。由于考虑了远距离传输的特点(要进行差错、流量的控制,运行复杂的路由选择算法等),计算机网络中的信息传输往往开销很大,因而实际上的有效数据速率比通信线路能够提供的带宽要小得多。而在近距离的多机互连中这些开销实际上都是不必要的。在多机系统对互连网络的另一要求是多样灵活的连通性,即使做不到完全直接相连,也要求能够快速变换互连模式以适应并行计算的要求。由于距离的原因,在计算机网络中的互连是相当有限的。为弥补这一缺陷发展了各种交换技术。这种有限互连的交换方式不能适应高速并行计算的要求,所以计算机网络和多机系统中的互连网络在理论和方法上是完全不同的两个学科。

1.3 计算机网络的组成

计算机网络的组成元素可以分为两大类,即网络结点和通信链路。网络结点又分为端结点和转接结点。端结点指通信的源和宿结点,例如用户主机和用户终端。转接结点指网络通信过程中起控制和转发信息作用的结点,例如程控交换机、集中器、接口信息处理机等。通信链路是指传输信息的信道,可以是电话线、同轴电缆、无线电路、卫星线路、微波中继线路、光纤缆线等。网络结点通过通信链路连结成的计算机网络表示在图 1.3 中。

在图 1.3 中,框外的部分称为资源子网。资源子网中主要包括拥有资源的用户主机和请求资源的用户终端,它们都是端结点。框内的部分叫做通信子网。通信子网的任务是在端结点之间传送由信息组成的报文,它主要由转接结点和通信链路组成。在图 1.3 中,我们按照 ARPA 网络的术语把转接结点通称为接口信息处理机 IMP (Interface Message Processor), IMP 是一种专用于通信的计算机。有些 IMP 之间直接相连,有些 IMP 之间必须经过其他 IMP 才能相连。当 IMP 收到一个报文后要根据报文的目标地址决定把该报文提交给与它相连的主机

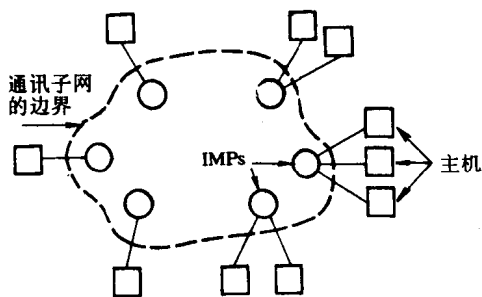


图 1.3 通信子网与资源子网

还是转发到下一个 IMP。一个报文从源结点到宿结点的旅行路程上可能要经过多个 IMP 的转发, 这种通信方式叫做存储—转发通信。在广域网中的通信一般都采用这种方式。另外一种通信方式是所谓的广播通信方式, 主要用于局域网中。局域网中的 IMP 简化为一个微处理器芯片, 每台主机(或工作站)中都设置一个 IMP。而在广域网中, 一个 IMP 可以连接多台主机。在广播通信系统中, 唯一的信道为所有主机所共享, 任何主机发出的信息所有主机都能收到。信息包中的目标地址则指明特定的接收站, 每个站都可以根据目标地址判断哪个信息包是发送给自己的, 并且根据信息包中的源地址判断是谁发来的。当然, 在需要时可以用一个特殊的目标地址(例如全 1 地址)表示该信息包是发给所有站的, 这叫做多目标发送。

通信子网中转发结点的互连模式叫做子网的拓扑结构。图 1.4 表示出可能有的几种拓扑结构, 其中全连接型对于点到点的通信是最理想的, 但由于连接数是结点数的平方倍, 所以实际上是行不通的。在广域网中常见的互连拓扑是树型和不规则型, 而在局域网中则常用规则型拓扑结构(星型、环型、总线型)。

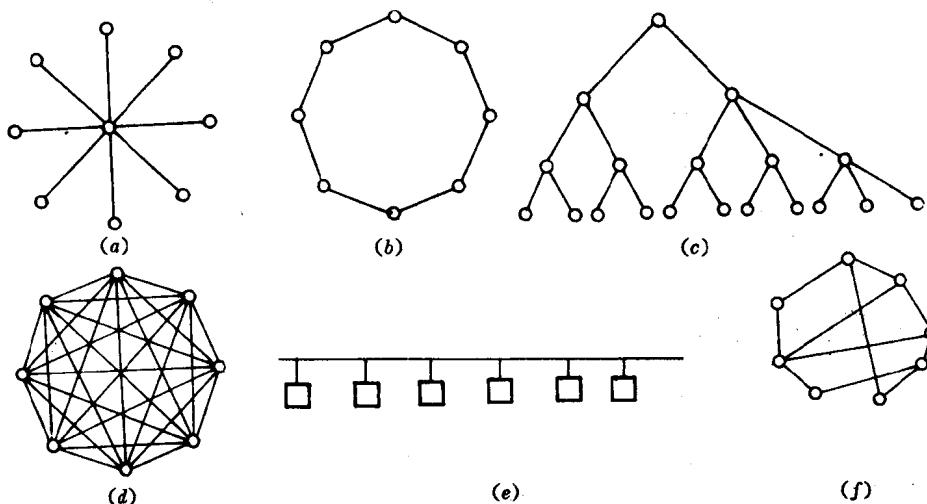


图 1.4 网络的拓扑结构

(a) 星型; (b) 环型; (c) 树型; (d) 全连接; (e) 总线型; (f) 不规则型

星型网络中有一个唯一的转发结点, 而树型网络中除了叶子结点之外的所有根结点和子树结点都是转接结点, 这两种网络都是具有一定集中控制功能的通信网络。以程控交换机为中心的电话网络可以看作是星型网络的代表, 连接在程控交换机上的用户终端和主机之间的通信都受程控交换机的控制。程控交换机和其他的通信控制处理机进一步互连就形成了复杂的树型结构或不规则连接。

总线型网络是属于共享信道的广播式网络。由于只有单一的信道, 所以一个时刻只能有一个站发送信息。所有要发送信息的站通过某种仲裁协议分时地使用共享信道。各种仲裁协议将是我们以后要讲述的重点之一。

在环型网络中信息流向只能是单方向的。每个收到信息包的站都向它的下游站转发该信息包。信息包在环网中旅行一圈, 最后由发送站进行回收。当信息包经过目标站时, 目标站根据信息包中的目标地址判断出自己是接收站, 并把该信息包拷贝到自己的接收缓冲

区中。为了决定环上的哪个站可以发送信息，平时在环上流通着一个叫做令牌的特殊信息包。只有得到令牌的站可以发送信息。当一个站发送完信息后就把令牌向下传送，以便下游的站可以得到发送的机会。当没有信息传送时，环网上只有令牌流通。我们将在第九章详细讲述环网的工作原理。

习 题

1. 计算机网络的发展经过了哪几个阶段？试举出几个典型的网络系统，说明每个阶段的特点。
2. 在早期的网络中有哪些技术对以后的网络发展产生了深远的影响？试描述这些技术的要点。
3. 现代计算机网络是以什么系统为代表的？这种系统有哪些特点？
4. 主要的商用网络体系结构有哪些？网络的国际标准有哪些？
5. 计算机网络与计算机通信网有什么区别和联系？
6. 计算机网络与多终端分时系统，分布式系统，多机系统之间的主要区别是什么？
7. 计算机网络分为哪些子网？各有什么作用？
8. 计算机网络的拓扑结构有哪几种？不同拓扑结构的网络对通信进行控制的方法有什么不同？

第二章 数据通信基础

计算机网络中传输的信息都是数字数据，所以计算机之间的通信是所谓数据通信方式。数据通信和电话网络中的语音通信不同，也和无线电广播通信不同，它有其自身的规律和特点。数据通信技术的发展与计算机技术的发展密切相关，又互相影响，今天它已经形成了一门独立的学科，这门学科主要研究对计算机中的二进制数据进行传输、交换和处理的理论、方法以及实现技术。由于数据通信涉及的范围很广，我们不能详细地介绍数据通信的方方面面。本章主要讲述与计算机网络有关的数据通信的理论和基础知识，为以后各章讲述与计算机网络通信有关的内容作好准备。

2.1 数据通信的基本概念

通信的目的就是传递信息。一次通信中产生和发送信息的一端叫信源，接收信息的一端叫信宿。信源和信宿之间要有通信线路才能互相通信。按通信专家的行话来说，通信线路称为信道，所以信源和信宿之间的信息交换是通过信道进行的。信道物理性质的不同对通信的速率和传输质量的影响也不同。另外信息在传输过程中可能会受到外界的干扰，我们把这种干扰称为噪声。不同的物理信道对各种干扰的感受程度不同，例如，如果信道上传输的是电信号，就会受到外界电磁场的干扰，光纤信道则没有这种担忧。以上描述的通信方式是很抽象的，它忽略了具体通信中的物理过程和技术细节。由上述描述我们得到了图 2.1 所示的通信系统模型。

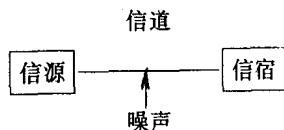


图 2.1 通信系统模型

现在我们更深入地考察图 2.1 的通信系统模型。作为一般的通信系统，信源产生的信息可能是模拟数据，也可能是数字数据。模拟数据取连续值，而数字数据取离散值。在数据进入信道之前要变成适合传输的电磁信号，这些信号也可以是模拟的或数字的。模拟信号是随时间连续变化的信号，这种信号的某种参量（例如幅度、相位、频率等）可以表示要传送的信息。电话机送话器输出的话音信号，电视摄像机产生的图像信号等都是模拟信号。数字信号只取有限个离散值，而且数字信号之间的转换几乎是瞬时的。数字信号以其某一瞬间的状态表示它们传送的信息。模拟信号和数字信号的波形分别表示在图 2.2 的 (a) 和 (b) 中。

无论信源产生的是模拟数据还是数字数据，在传输过程中都要变成适合信道传输的信

号形式。在模拟信道中传输的是模拟信号，在数字信道中传输的是数字信号。如果信源产生的是模拟数据并且以模拟信道传输则叫做模拟通信；如果信源发出的是模拟数据而以数字信号的形式进行传输，那么这种通信方式叫数字通信。显然在数字通信中，模拟数据在进入信道前要经过编码器的变换才能变成数字信号，到达接收端后还要经过解码器恢复为原来的模拟数据，才能为信宿接受。数字通信系统的模型表示在图 2.3 中。

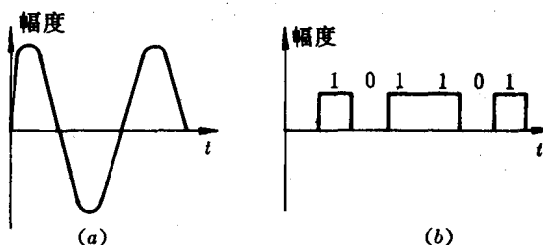


图 2.2 模拟信号与数字信号

(a) 模拟信号; (b) 数字信号

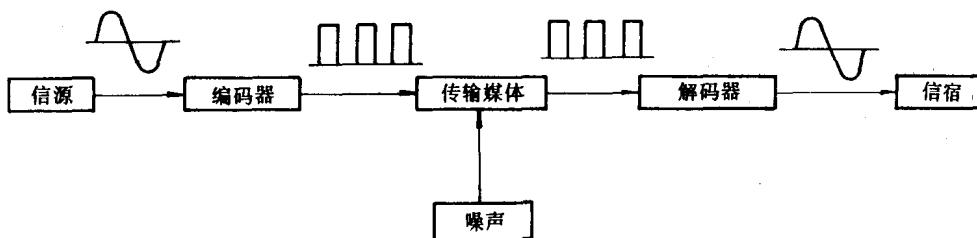


图 2.3 数字通信系统模型

如果信源发出的是数字数据，当然也可有两种传输方式。这时无论是用模拟信号传输或是用数字信号传输都叫做数据通信。可见数据通信一词是专指信源和信宿中数据的形式是数字的，在信道中传输时则可以根据需要采用模拟传输方式或数字传输方式。这两种传输方式各有其优缺点。

在模拟传输方式中，数据进入信道之前要经过调制，变换为模拟的调制信号。由于调制信号的频谱较窄，因此信道的利用率较高。模拟信号在传输过程中会衰减，还会受到噪声的干扰，如果用放大器将信号放大，混入的噪声也同时被放大了，这是模拟传输的缺点。

在数字传输方式中，可以直接传输二进制数据或经过二进制编码的数据，也可以传输数字化了的模拟信号。因为数字信号只取有限个离散值，在传输过程中即使受到噪声的干扰，只要没有畸变到不可辨认的程度，就可以用信号再生的方法进行恢复，对某些数码的差错也可以用差错控制技术加以消除。所以数字传输对于信号不失真地正确传送是很有好处的，这就是我们在数字电话中听到的声音更清晰的原因。另外数字设备可以大规模的集成，比复杂的模拟设备便宜得多。然而传输数字信号比模拟信号所要求的频带要宽得多，因而信道利用率较低。当然随着高带宽的卫星信道和光纤信道的发展，这个问题就不显得很突出了。

2.2 数字信号的频谱和信道带宽

1. 傅立叶分析

任何周期信号都是由一个基波信号和各种高次谐波信号合成的,按照傅立叶分析法可以把一个周期为 T 的复杂函数 $g(t)$ 表示为无限个正弦和余弦函数之和:

$$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

其中 a_0 是常数,代表直流分量,且 $a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T g(t)dt$, $f = \frac{1}{T}$ 为基频, a_n , b_n 分别是 n 次谐波振幅的正弦和余弦分量:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T \sin(2\pi nft) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T \cos(2\pi nft) dt$$

2. 周期矩形脉冲信号的频谱

所谓频谱是指组成周期信号的各次谐波的振幅按频率的分布图,这样的频谱图以频率 f 为横坐标,相应的各种谐波分量的振幅 u 为纵坐标,如图 2.4 所示。

图 2.4 中谐波的最高频率 f_h 与最低频率 f_l 之差 ($f_h - f_l$) 叫信号的频带宽度,简称带宽。

周期性矩形脉冲如图 2.5(a) 所示。其幅值为 A , 脉宽为 τ , 周期为 T , 对称于纵轴。这是一种最简单的周期函数,实际数据传输中的脉冲信号要复杂得多,但是对这种简单周期函数的分析,能够得出关于信道带宽的一个重要结论。

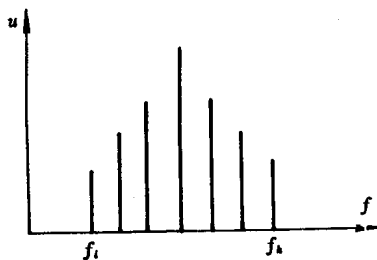


图 2.4 信号的频谱图

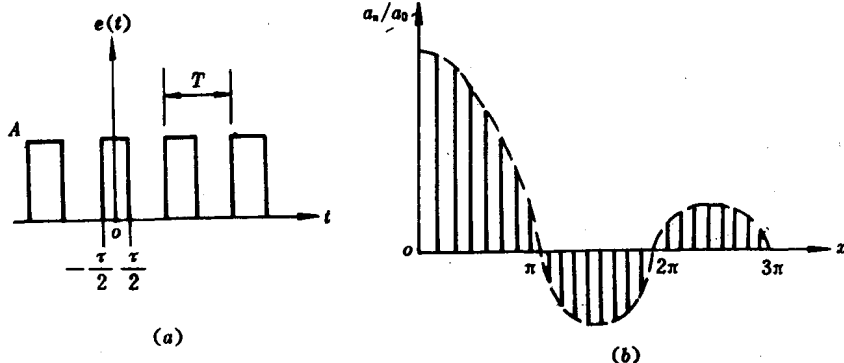


图 2.5 周期性脉冲及其频谱

(a) 周期性脉冲; (b) 周期性脉冲的频谱