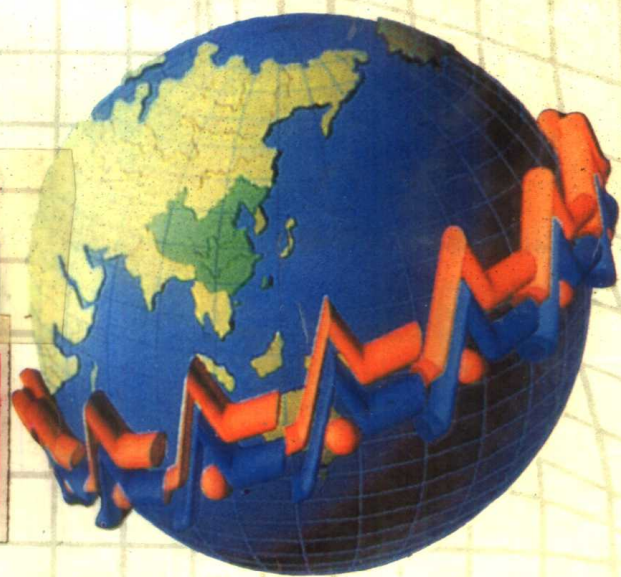


高传善 张世永 曲海 钱松荣 编著

计算机网络教程



复旦大学出版社

本书在讲述网络概念和网络拓扑设计及性能分析的基础上,分别讲述了网络的物理层、媒体访问子层、数据链路层、网络层及运输层,最后略讲了高层。各章都附有一定量的习题。

本书可作为有关专业的计算机网络教材,亦可作为从事网络研究和应用人员的参考书。

(沪)新登字 202 号

责任编辑:陆盛强

计算机网络教程

高传青、张世永等编

复旦大学出版社出版

(上海国权路 579 号)

新华书店上海发行所发行 崇明红卫印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 20.125 插页 0 字数 489,000

1994 年 11 月第 1 版 1995 年 5 月第 2 次印刷

印数 5,001~10,000

ISBN7-309-01393-X/T·112

定价:18.00 元

前 言

计算机网络是计算机技术和通信技术密切结合的产物,正成为迅速发展并在信息社会中得到广泛应用的一门综合性的学科,是计算机发展的重要方向之一。计算机网络技术已成为计算机专业学生学习的一门重要课程以及从事有关计算机研究和应用人员必须掌握的重要知识。

计算机网络涉及的技术内容较为广泛。为了便于学习和阅读,本书以国际标准化组织的开放系统互连(ISO's OSI)七层参考模型为线索组织编写,着重讲清楚其基本原理,并注意了理论和实际的兼顾。由于网络技术本身发展迅速而日新月异,本书也力图在讲清基本概念和原理的同时,尽可能反映较新的进展。作为一学期教学的教材,不可能面面俱到,故本书的重点放在七层模式的下四层中,每层各有一章,而高三层的内容集中在一章中介绍。因为局域网应用极广泛,本书中专门有一章,作为数据链路层的一个子层(媒体访问子层)介绍了局域网。光纤分布式数据接口 FDDI 和城市区域网 DQDB 是介于局域网和广域网之间的新技术,也一并在该章介绍。本书第二章网络拓扑设计与性能分析理论性较强,学习本章要求具备一定的数学基础,但此章的内容相对独立,跳过它也不会影响后面章节的阅读。学时较少或主要不对理论分析感兴趣的读者可以略去本章以及第四章的第 4 节(4.4 LAN 协议性能)。高三层的内容虽然集中在一章中,但对其核心的内容还是作了较详细的介绍,占有不少篇幅。在教学或阅读时可以有选择地节略。除第一章(概述)外各章后面都附有练习题,可供复习与检查用。

本书中很大一部分内容参照了国外 80 年代末出版的三本书及一些 90 年代的文献资料。这三本书是 A. S. Tanenbaum 著的《Computer Networks》、W. Stallings 著的《Data and Computer Communications》以及 C. A. Sunshine 著的《Computer Network Architectures and Protocols》。它们都出过两版以跟上网络技术的发展。本书参照的是其新的版本。

本书由复旦大学计算机科学系高传善、张世永等编写。高传善执笔编写了第一、二、三和五章,并统阅了全书。张世永执笔编写了第四和八章。参加编写的还有曲海和钱松荣,分别执笔编写了第六和七章。本书编写目标是供有关专业的学生和教师以及从事计算机网络工作的研究和应用人员阅读使用。限于时间与水平,不当处欢迎批评指正。

目 录

前言

第一章 概述	1
1.1 计算机网络的演变和发展	1
1.2 计算机网络的功能和应用	8
1.3 网络的层次体系结构.....	10
1.4 开放系统互连基本参考模型.....	14
1.4.1 各层功能	15
1.4.2 服务	16
1.4.3 数据单元	17
1.4.4 OSI 基本标准集	18
1.5 实例	20
1.5.1 公用数据网	20
1.5.2 ARPA 网	21
1.5.3 MAP 和 TOP	22
1.5.4 USENET、CSNET 和 BITNET	22
1.5.5 SNA 和 DNA	23
第二章 网络拓扑设计与性能分析	26
2.1 问题的提出.....	26
2.2 可靠性分析.....	27
2.2.1 图的连通度	27
2.2.2 网络可靠性分析方法	31
2.2.3 蒙特·卡诺连通度分析	33
2.3 延迟时间分析.....	34
2.3.1 排队论基础	34
2.3.2 M/M/1 排队系统	36
2.3.3 网络平均延迟时间	38
2.4 通信子网拓扑设计	42
2.4.1 流程	42
2.4.2 初始拓扑的生成	43
2.4.3 容量的分配	45
2.4.4 扰动尝试	47
练习题	48
第三章 数据通信基础——物理层	52
3.1 通信系统模型.....	52
3.2 物理媒体.....	55
3.3 模拟传输.....	57
3.3.1 调制技术	57

3.3.2 多路复用	59
3.4 数字传输	60
3.4.1 脉码调制	61
3.4.2 编码技术	62
3.5 物理层接口标准举例	63
3.5.1 EIA-RS-232C	63
3.5.2 RS-422、RS-423 和 RS-449	66
3.5.3 CCITT X.21	67
练习题	69
第四章 局域网与城域网——媒体访问子层	71
4.1 信道分配	71
4.1.1 局部区域网	71
4.1.2 静态信道分配	72
4.1.3 动态信道分配	73
4.2 ALOHA 协议	74
4.2.1 纯 ALOHA 和开槽 ALOHA	74
4.2.2 有限用户 ALOHA	77
4.2.3 卫星通信 ALOHA	78
4.2.4 预约 ALOHA	80
4.3 LAN 协议	82
4.3.1 LAN 技术	82
4.3.2 总线/树形 LAN 媒体访问协议	89
4.3.3 环形 LAN 媒体访问协议	94
4.4 LAN 协议性能	97
4.4.1 简单性能模型	97
4.4.2 性能比较	100
4.5 IEEE LAN 标准	103
4.5.1 IEEE 802.3 CSMA/CD 总线	104
4.5.2 IEEE 802.4 令牌总线	107
4.5.3 IEEE 802.5 令牌环	108
4.6 光纤分布式数据接口 FDDI	110
4.6.1 FDDI 标准	110
4.6.2 FDDI 概貌	112
4.6.3 分层简介	116
4.7 城市区域网技术	123
4.7.1 分布式队列双总线子网	123
4.7.2 节点功能性结构	139
练习题	143
第五章 数据链路层	146
5.1 差错检测与校正	146
5.1.1 传输差错的特性	146
5.1.2 常用的简单差错控制编码	147

5.1.3	海明码	151
5.1.4	循环冗余码	151
5.2	数据链路层的功能	153
5.2.1	帧同步	155
5.2.2	差错控制	155
5.2.3	流量控制	156
5.2.4	链路管理	156
5.3	数据链路协议	159
5.3.1	停等协议	159
5.3.2	顺序接收的管道协议	164
5.3.3	选择重传协议	166
5.4	协议描述与验证	166
5.4.1	有限状态机模型	167
5.4.2	Petri 网	170
5.4.3	其它协议描述语言	171
5.5	链路通信规程举例	172
5.5.1	起止式异步规程	173
5.5.2	面向字符的同步规程	174
5.5.3	面向比特的同步规程	176
5.5.4	面向字节计数的同步规程	178
	练习题	179
第六章	网络层	182
6.1	电路交换与分组交换	182
6.1.1	电路交换	182
6.1.2	分组交换	183
6.2	虚电路与数据报	184
6.2.1	通信子网的内部操作	184
6.2.2	网络层提供的服务	187
6.3	路由算法	186
6.3.1	特征与要素	183
6.3.2	静态策略	189
6.3.3	动态策略	191
6.4	阻塞控制	194
6.4.1	缓冲区预分配法	195
6.4.2	分组丢弃法	195
6.4.3	定数控制法	196
6.4.4	抑制分组法	197
6.4.5	流量控制	197
6.4.6	死锁	198
6.5	网际互连	200
6.5.1	网际互连原理	200
6.5.2	桥接器	201

6.5.3 网关	203
6.5.4 协议转换器	205
6.6 网络层协议举例	206
6.6.1 X.25	206
6.6.2 X.75	210
6.6.3 IP(网间协议)	211
练习题	214
第七章 运输层	216
7.1 运输层设计的问题	216
7.1.1 运输服务	216
7.1.2 服务质量	217
7.1.3 OSI 运输服务原语	218
7.1.4 运输协议	221
7.2 运输协议机	223
7.2.1 寻址	223
7.2.2 A 型网络服务上的运输协议	225
7.2.3 B 型网络服务上的运输协议	230
7.2.4 C 型网络服务上的运输协议	230
7.2.5 以时钟为基础的连接管理	236
7.3 一个简单的运输协议	238
7.3.1 服务	238
7.3.2 运输协议机	239
7.3.3 协议的实现	241
7.4 运输层实例	255
7.4.1 OSI 运输层	255
7.4.2 DOD 运输协议	262
7.4.3 MAP 和 TOP 中的运输层	266
练习题	266
第八章 高层简介	269
8.1 会话层	269
8.1.1 会话层的主要特点	269
8.1.2 OSI 会话服务	274
8.1.3 OSI 会话协议	277
8.2 表示层	280
8.2.1 表示层的主要特点	280
8.2.2 抽象语法标记 ASN.1	283
8.3 应用层	290
8.3.1 应用层的主要特点	290
8.3.2 文件传送、访问和管理 FTAM	294
8.3.3 电子邮件	302
8.3.4 虚拟终端协议	308
练习题	312

第一章 概 述

计算机网络是计算机技术和通信技术密切结合的产物,已成为计算机应用中一个必不可少的方面。正由于它还是一个迅猛发展中的事物,作为一个技术术语也很难像数学概念那样对“计算机网络”下一个严格的定义,国内外各种文献上的讲法也不尽一致。一般说来,我们可以把**计算机网络**看成是由各自具有自主功能而又通过通信手段相互连接起来的计算机组成的复合系统。阅读了本章的概述后,读者将对这段话有更深入的了解。

当前已进入信息时代。计算机和通信在信息的收集、存贮、处理、传输和分发中扮演了极其重要的角色。近年来,计算机技术和通信技术都迅猛发展、相互渗透而又密切结合。一方面,计算机技术应用到通信领域,改造更新旧的通信设备,大大地提高了通信系统的性能,促进了通信由模拟向数字化并最终向综合服务的发展方向发展。另一方面,通信技术又为多个计算机之间信息的快速传输、资源共享和协调合作提供了必要的手段,促进了计算机网络的发展。计算机网络综合了两方面的新技术、涉及面宽、应用范围广,对信息技术的发展有着深刻的影响,已经越来越引起人们的极大兴趣和高度重视。

为了有助于对什么是计算机网络有更确切的认识,知道网络的发展历史及其功能和应用是十分重要的,这将在本章的 1.1 和 1.2 节中分别加以介绍。1.3 节中我们将引进计算机网络的层次体系结构,这是学习和掌握计算机网络技术的一个基本概念。在 1.4 节中将详细叙述国际标准的计算机网络层次模型。后续的各章都是以此模型为线索逐层分析和讲解的。本章最后的 1.5 节则简略地列举了一些目前世界上实际运行的计算机网络的例子,希望能帮助读者更深入地了解计算机网络及其应用。本章的另一个附带的目的是对某些常见的术语作初步的介绍。

1.1 计算机网络的演变和发展

计算机网络出现的历史不长,但发展很快,经历了一个从简单到复杂的演变过程。1946 年,世界上第一台电子数字计算机 ENIAC 在美国诞生时,计算机和通信之间并没有什么关系。早期的计算机系统是高度集中的,所有的设备安装在单独的大房间中。开始时,一台计算机只能供一个用户使用。后来发展了批处理和分时系统,一台计算机虽然可同时为多个用户服务,但若不和通信相结合,分时系统所连接的多个终端都必须紧挨着主计算机,用户都必须到计算中心的终端室去使用,显然仍是不方便的。50 年代中,美国半自动地面防空系统 SAGE 开始进行计算机技术和通信技术相结合的尝试,将远距离的雷达和其它测量控制设备的信息通过通信线路汇集到一台 IBM 计算机里进行集中的处理和控制在。接着,许多系统都将地理上分散的多个终端通过通信线路连接到一台中心计算机上。用户可以在自己办公室内的终端上键入程序,通过通信线路送入中心计算机,分时访问和使用其资源来进行处

理,处理结果再通过通信线路送回到用户的终端上显示或打印出来.这样就出现了第一代的计算机网络。

第一代计算机网络实际上是以单个计算机为中心的**远程联机系统**。这样的系统中除了一台中心计算机,其余的终端都不具备自主处理的功能.在系统中主要存在的是终端和中心计算机间的通信。虽然历史上也曾称它为计算机网络,但现在为了更明确地与后来出现的多个计算机互连的计算机网络相区分,也称为**面向终端的计算机网络**。60年代初期美国航空公司投入使用的由一台中心计算机和全美范围内 2000 多个终端组成的预订飞机票系统 SABRE I 就是这种远程联机系统的一个代表。

在远程联机系统中,随着所连远程终端个数的增多,中心计算机要承担的和各终端间通信的任务也必然加重,使得以数据处理为主要任务的中心计算机增加了许多额外的开销,实际工作效率下降。由此出现了数据处理和通信的分工,即在中心计算机前面增设一个**前端处理机 FEP(Front End Processor)**,有时也简称为**前端机**来完成通信的工作,而让中心计算机专门进行数据处理,这样可显著地提高效率。另一方面,若每台远程终端都用一条专用通信线路与中心计算机连接,则线路的利用率低,且随着终端个数的不断增大,通信费用将达到难以负担的程度。因而,后来通常在终端比较集中的地点设置**终端控制器 TC(Terminal Controller)**。它首先通过低速线路将附近各终端连接起来,再通过高速通信线路与远程中心计算机的前端机相连。它可以利用一些终端的空闲时间来传送其它处于工作状态的终端的数据,提高了远程线路的利用率,降低了通信费用。典型的结构如图 1.1 所示。图中的 M 代表**调制解调器(Modem)**,是利用模拟通信线路远程传输数字信号所必须附加的设备。前端机和终端控制器也可以采用比较便宜的小型计算机或微型机来实现。这样的远程联机系统已经具备了计算机和计算机间通信的雏形。

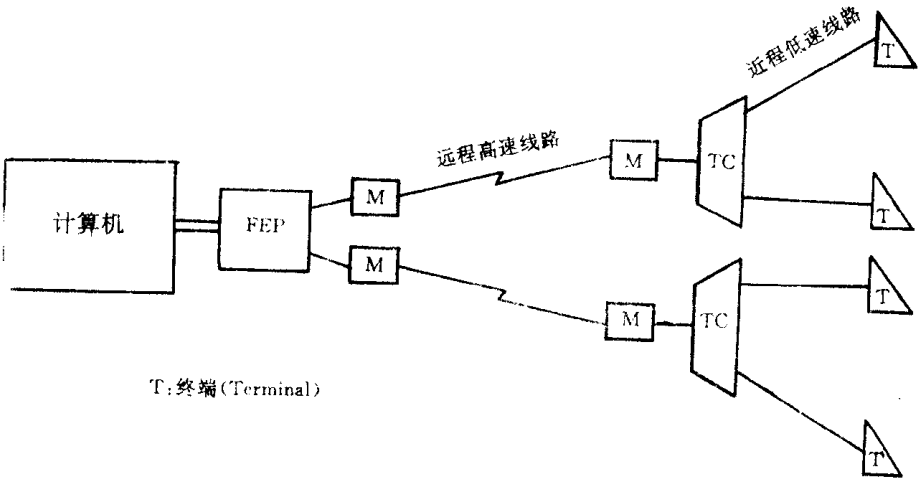
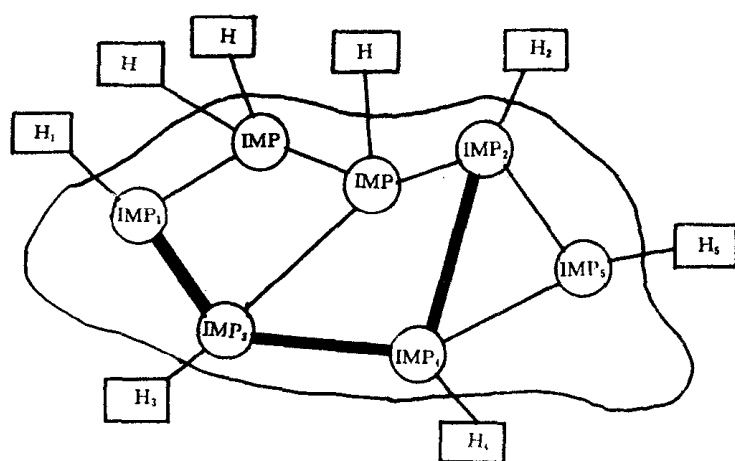


图 1.1 以单计算机为中心的远程联机系统

第二代计算机网络是多个主计算机通过通信线路互连起来,为用户提供服务。这是 60 年代后期开始兴起的。它和以单个计算机为中心的远程联机系统的显著区别在于,这里的多个主计算机都是具有自主处理能力的,它们之间不存在主从关系。这样的多个主计算机互连的网络才是我们目前常称的计算机网络。这种系统中,终端和中心计算机间的通信已发展到计算机和计算机间的通信,用单台中心计算机为所有用户需求服务的模式被大量分散而又

互连在一起的多台主计算机共同完成的模式所替代。第二代计算机网络的典型代表是 ARPA 网 (ARPANET)。60 年代后期美国国防部高级研究计划局 ARPA (目前称为 DARPA——Defense Advanced Research Projects Agency) 提供经费给美国许多大学和公司, 以促进多个主计算机互连网络的研究, 并最终导致一个实验性的 4 节点网络开始运行并投入使用。目前 ARPA 网仍在运行之中, 已经扩展到连接数百台计算机, 从欧洲到夏威夷, 地理范围跨越了半个地球。目前我们有关计算机网络的许多知识都与 ARPA 网的研究结果有关。ARPA 网中提出的一些概念和术语至今仍被引用。

ARPA 网中互连的运行用户应用程序的主计算机称为**主机 (Host)**。但主机之间并不是通过直接的通信线路, 而是通过称为**接口报文处理机 IMP (Interface Message Processor)** 的装置转接后互连的, 如图 1.2 所示。当某个主机上的用户要访问远地另一个主机时, 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, 最终传送到远地的目标 IMP, 并送入与其直接相连的目标主机。例如, 图 1.2 中主机 H_2 上的某个用户要将信息送往主机 H_1 , 则首先将该信息送至 IMP_2 , 然后沿图中粗黑线指出的路径, 中间经 IMP_4 和 IMP_3 转接, 最终传送到目标 IMP_1 , 再送入主机 H_1 。转接是这样进行的, IMP_2 将主机 H_2 送来的信息接收并存储起来, 在 IMP_2 和 IMP_4 之间的通信线路有空时, 将其传送到 IMP_4 , IMP_4 也是将该信息接收并存储起来, 直至 IMP_4 和 IMP_3 之间的通信线路空闲时, 再将它转发到 IMP_3 , ……。这种方式类似于邮政信件的传送方式, 叫作**存贮转发 (store and forward)**。就远程通信而言, 目前通信线路仍然是个较昂贵的资源。采用存贮转发方式的好处在于通信线路不为某对通信所独占, 因而大大提高了通信线路的有效利用率。比如说, 上述图 1.2 的例子中, 当从主机 H_2 送往 H_1 的信息仍在 IMP_2 和 IMP_4 间的通信线路上传输时, IMP_3 和 IMP_4 间的通信线路就可被由 H_3 经 IMP_3 、 IMP_4 和 IMP_5 送往 H_5 的另外的信息传输所使用。而一旦从主机 H_2 送往 H_1 的信息已为 IMP_4 接收并存储后, IMP_2 和 IMP_4 之间的通信线路又可为其它的, 比如说 H_4 和 H_2 之间的信息传输服务。



H: 主机 (Host)

图 1.2 存贮转发的计算机网络

图 1.2 中 IMP 和它们之间互连的通信线路一起负责完成主机之间的通信任务, 构成了**通信子网 (communication subnet)**。通过通信子网互连的主机负责运行用户应用程序, 向网络用户提供可供共享的软硬件资源, 它们组成了**资源子网**。ARPA 网采用的就是这种两级

子网的结构。把网络中纯通信的子网与应用部分的主机分离开来,就可使得这两部分单独设计,从而使整个网络的设计简化。一个通信子网可以由政府部门(比如说邮电部)或某个电信经营公司所拥有,但向社会公众开放服务,如同电话交换网的情况那样。拥有主机资源的单位希望联网的话,只要遵循子网所要求的接口标准,提出申请并付一定的费用,都可接入该通信子网,利用其提供的服务来实现特定资源子网的通信任务。这类通信子网叫作**公用网**(public network)。公用网中传输的是数字化的数据,为了与电话交换网这类模拟网区分,有时也被称作为**公用数据网** PDN(Public Data Network)。

目前世界上运行的远程通信子网几乎都采用了存贮转发的方式。ARPA 网中存贮转发的信息基本单位叫作**分组**(packet)。以存贮转发方式传输分组的通信子网则又被称作为**分组交换网**。分组交换的概念在本书后面的章节中将再详细讨论。IMP 是 ARPA 网中使用的术语,在其它网络或文献中也称为**分组交换节点**(packet switch node)。IMP 或分组交换节点通常也是由小型计算机或微型机来实现的,为了和资源子网中的主机相区别,也被称作为**节点机**,或简称**节点**。

两个计算机间通信时对传递信息内容的理解、信息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,我们称为**协议**(protocol)。在 ARPA 网中将协议按功能分成了若干的层次。如何分层,以及各层中具体采用的协议的总和,称为网络的**体系结构**(architecture)。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。

比较图 1.1 和图 1.2 可见,作为第一代计算机网络的远程联机系统和第二代计算机网络的区别之一是,前者以被各终端共享的单个计算机为中心,而后者以通信子网为中心,用户共享的资源子网则在通信子网的外围。

以 ARPA 网以及英国国家物理实验室 NPL 的分组交换网为先驱,70 年代和 80 年代中第二代计算机网络得到了迅猛的发展。其中,有些是主要研究试验性的网络,如 IBM 沃森研究中心、卡内基-梅隆大学和普林斯顿大学合作开发的 TSS 网以及加利福尼亚大学欧文分校研制的 DCS 网等;有些是个别用户为特定目的(如资源共享)而自行研制和使用的网络,如加利福尼亚大学劳伦斯原子能研究所建立的 DCTOPUS 以及法国信息与自动化研究所负责发展的 CYCLADES 网等;有些是由用户联营为一定范围内应用而建立的网络,如国际气象监测网 WWWN(World Weather Watch Network)和欧洲情报网 EIN(European Information Network)等;有些是公用分组交换数据网,如美国的 TELENET、加拿大的 DATA PAC 和欧共体的 EURONET 等;有些是商用的提供增值通信服务的网络,如美国 Tymshare 公司的 TYMNET 和通用电气公司的 GE 信息服务网等。在这段时期内,各大计算机公司都陆续推出自己的网络体系结构,以及实现这些网络体系结构的软硬件产品。用户购买计算机公司提供的网络产品,自己提供或租用通信线路,就可自己组建计算机网络。IBM 公司的 SNA(System Network Architecture)和 DEC 公司的 DNA(Digital Network Architecture)就是两个最著名的例子。凡是按 SNA 组建的网络都可称为 SNA 网,而凡是按 DNA 组建的网都可称为 DNA 网,或 DECNET。

当前世界上已有大量的第二代计算机网络正在运行和提供服务。但是,第二代计算机网络仍有不少弊病,适应不了信息社会日益发展的需要。其中最主要的缺点是,第二代计算机网络大都由研究单位、大学、应用部门或计算机公司各自研制的,因而没有统一的网络体系结构。为实现更大范围内的信息交换与共享,要把不同的第二代计算机网络互连起来十分困

难。比如说,只要增购一些网络产品把一台 IBM 公司的计算机接入一个 SNA 网是不困难的,但要把一台 DEC 公司生产的计算机接入 SNA 网就不是一件容易的事情。同样,要把一台 IBM 公司生产的计算机接入 DECNET 也不是容易的。要把 SNA 和 DECNET 互连起来就更困难。要把多种不同的计算机和网络互连在一起就更难以实现了。因而,计算机网络必然要向更新的一代发展。

第三代计算机网络是国际化的网络,它具有统一的网络体系结构、遵循国际化的协议。标准化将使得不同的计算机能方便地互连在一起。标准化还将带来大规模生产、产品 VLSI 化和成本降低等一系列的好处。

70 年代后期人们认识到第二代计算机网络的不足后,已开始提出发展新一代计算机网络的问题。国际标准化组织 ISO(International Standards Organization)下属的计算机与信息处理标准化技术委员会(Technical Committee)TC97 成立了一个专门研究此问题的分委员会(SubCommittee)SC16(1984 年由于技术分工的变化,SC16 已解散,其原有工作分别由 SC6 和 SC21 接替)。经过若干年卓有成效的工作,ISO 制定并在 1984 年正式颁布了一个称为“开放系统互连基本参考模型”(Open System Interconnection Basic Reference Model)的国际标准 ISO7498。这里“开放系统”是相对于第二代计算机网络中如 SNA 和 DNA 等只能和同种计算机互联的每个厂商各自封闭的系统而言的,它是可以和任何其它系统(当然要遵循同样的国际标准)通信而相互开放的。该模型分为七个层次,有时也被称为 **OSI 七层模型**。OSI 模型目前已被国际社会所普遍接受,并公认为新一代计算机网络的体系结构的基础。

80 年代中,以 OSI 模型为参照,ISO 以及国际电话电报咨询委员会 CCITT(法文 Comité Consultatif International de Télégraphique et Téléphonique 的缩写)等为各个层次开发了一系列的协议标准,组成了一个庞大的 OSI 基本标准集。为了推动 OSI 技术与标准的应用,美、欧、日和加拿大等主要工业化国家的官方联合成立了一个国际委员会,从 1983 年在巴黎开始,几乎每年负责召开一次 OSI 标准应用的国际会议。我国国家计委和原国家标准局在 1986 年联合发布与试行的“国家经济信息系统设计与应用标准化规范”中也明确指出“选定 OSI 标准作为我国网络建设的主攻方向”,其它已开发的非 OSI 信息系统要“有组织、有步骤、有计划地过渡到符合 OSI 标准的系统,进而最终实现与 OSI 标准完全兼容或全盘 OSI 标准化的信息系统”。这段话实际上也概括地反映了世界范围内计算机网络的发展方向。OSI 标准不仅确保了各厂商生产的计算机间的相互连接,同时也促进了企业间的竞争。现在各大计算机公司都相继宣布支持 OSI,并争相开始研制 OSI 产品。各种符合 OSI 标准的试验性网络和研究课题也已在各国普遍进行。

已经存在的 OSI 基本标准集为 OSI 技术的实施和应用奠定了基础。但仅有基本标准还不能保证系统间的互连,因为基本标准集过于庞大,而且每个基本标准为了具有通用性一般也较大而全。基本标准内部常有不同的等级类别、选项与参数。在具体产品实现时很难也没有必要遵循全部的基本标准。此外,各个基本标准间的关系错综复杂,有的互相兼容、有的相互包含、有的互为补充。各个基本标准间也不是都能任意组合使用的。因此,在实施与应用时必须根据具体的情况和需要,从众多的基本标准中选择一个适当的子集,并尽可能明确所选基本标准中未定的等级类别、选项和参数等,才构成真正实现的标准,我们称之为**功能标准或轮廓(Profile)**。如图 1.3 所示,功能标准不是新制定的标准,而是从已有的基本标准中

进行适当的选取与裁剪。一个功能标准可以包含多个基本标准,但不一定包含所含基本标准的全部。OSI 的应用和产品最终实现的是功能标准。例如适合于生产制造自动化/办公自动化领域应用的制造自动化协议/技术办公协议 MAP/TOP(Manufacturing Automation Protocol/Technical and Office Protocols)都可看成是功能标准。目前世界上已经有许多国家和组织进行了功能标准的研究。即使大家都承认与接受基本标准,若各自实现的功能标准不一样,仍然不能保证这些实现和产品之间能够互连在一起。在这方面进行国际间的协调与合作是十分必要的。1987 年底,ISO 和国际电技术委员会 IEC 成立了一个联合技术委员会 ISO/IEC JTC1,下面就有一个专门组负责协调国际标准化的轮廓 ISP(International Standardized profile)的制定与发布。

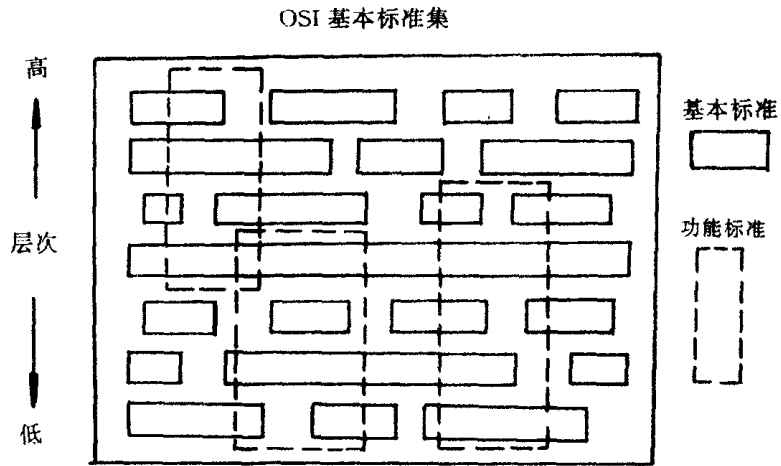


图 1.3 OSI 基本标准与功能标准

虽然有了公认的标准,若没有一种手段来检查和验证,进而宣称与某标准相符的产品或实现的确是和该标准要求相一致的话,那末再好的标准或漂亮的宣称都是一纸空文,仍然不能保证真正的互连。美国国家标准局 NBS(National Bureau of Standards)曾对 13 家计算机公司实现某标准协议的软件进行了测试。结果表明由于协议标准是用自然语言描述的,而且本身又较复杂,即使是有名的计算机厂商提供的软件也可能在不同程度上存在与所实现的协议标准不一致的问题。因而,必须由产品的提供者和用户以外的第三者来提供一种检查与验证产品的实现是否和相应的标准一致的手段,这种测试被称为**一致性测试**(Conformance Testing)。功能标准和一致性测试的研究和实施是当前 OSI 技术进一步走向产品化和进一步应用过程中两个热门的课题。展望未来,一个类似于电话系统或邮政系统那样的一个世界范围内标准化的计算机网络时代的到来已是指日可待了。

在讲计算机网络的演变和发展时有必要专门提一下**局部区域网** LAN(Local Area Network),或简称为**局域网**。早期的计算机网络大多为远程网络(long haul network),通常通过公用电话网络或公用事业部门提供的线路将跨越城市、地区甚至国家的若干计算机连接起来,其作用的地理范围从数十公里到数千公里。后来,随着超大规模集成电路(VLSI)成本不断下降、集成度不断提高、个人计算机大量涌现,计算机不再是稀有而昂贵的资源。在一个局部地理范围内,比如说几十米到几十公里左右,也就是说一幢楼房、一个单位或一个校园就可能有许多计算机,通过专用的通信线路将它们连接起来就构成了局域网。与“局域网”这个名词相对应,远程网目前又被称为**广域网** WAN(Wide Area Network)。局域网不利用公用

事业部门提供的传输媒体,也无需公用远程通信管理部门的介入,完全可以由一个单位经营管理与使用。它可以使用相对来说便宜得多的线路驱动设备来代替复杂的远程公用模拟传输网所需要的调制解调器,在较短的距离内,达到比远程网高得多的数据速率。**数据速率**(data rate)通常以比特/秒(bits per second)为单位来度量,简记为 bps。广域网的数据速率通常在数 Mbps 以下,一般为数百至数千 bps,而局域网的数据速率则通常在数 Mbps 以上,甚至高达数十 Mbps。图 1.4 显示了在地理距离-数据速率平面上 LAN 和 WAN 之间以及它们和通过存贮器或高速并行信道更紧密耦合的多处理机系统间覆盖范围的不同。该图并不是严格的定量区分,只是示意性的。特别是近年来出现了许多新的高速网络技术。例如,作为光纤局域网的 FDDI(Fiber Distributed Data Interface),其速率已可达 100Mbps,详见本书 4.6 节。又如,对于广域网来说,有帧中继服务(Frame Relay Services),异步传送模式(Asynchronous Transfer Mode)提供的快速分组交换,都可达到数百 Mbps 的数据速率。实际上,还正在发展一种介于局域网和广域网之间的城域网 MAN(Metropolitan Area Network),如将在本书 4.7 节中介绍的分布式队列双总线 DQDB(Distributed Queue Dual Bus)也可在一定距离内达到相当高的数据速率。

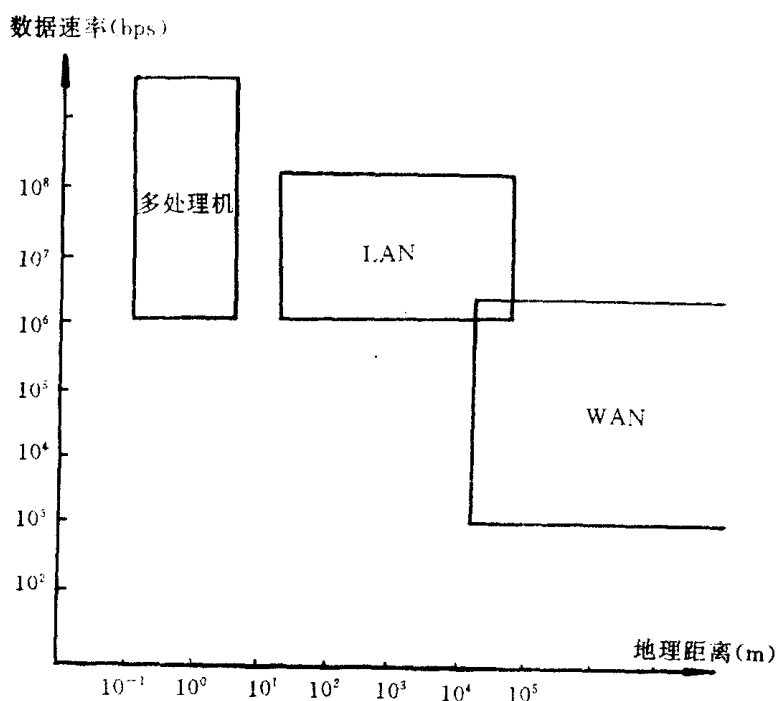


图 1.4 LAN、WAN 和多处理机系统的比较

70 年代以后局域网由于投资少、方便灵活而得到了广泛的应用和迅猛的发展。它作为计算机网络的一个分支,和广域网具有共性,例如分层的体系结构等,但是它又有一些与广域网不同的特性,比如说,局域网由于距离较近并为了节省费用通常不采用存贮转发的方式,即不采用由若干个**点到点的信道**(point-to-point channel)通过中途转发的 IMP 将源和目标连接起来,而是由单个的**广播信道**(broadcast channel)来连接局域网上的所有计算机。在广播信道上发送的信息是带有目标地址的,虽然在广播信道上的所有计算机都能收到该信息,但只有和目标地址相符的计算机才真正接收它。就好像某人在有许多房间的走廊上大叫:“王某某,听电话”,虽然大家都听到了,但只有王某某去接电话。既然只有一个广播信道

为大家所共享,就必然存在一个如何在多对通信之间分配信道,避免冲突的问题。如上述例子中,若某人在走廊上大叫“王某某,听电话”的同时,又有另一人也在叫:“李某某,有人找。”那末可能他们两个人的讲话都无法被听清楚,这就是要设法解决的**冲突**(collision)现象。除了这点不同外,又比如说,远程网的拓扑构形大多是不规则的网形,而局域网由于距离近大多采用对称式的星形、总线形或环形,以便于各点间的直接通信,避免了路径选择,如图 1.5 中所示。本书的第四章就是专门详细讨论包括信道访问方法在内的各种局域网特殊特性的。

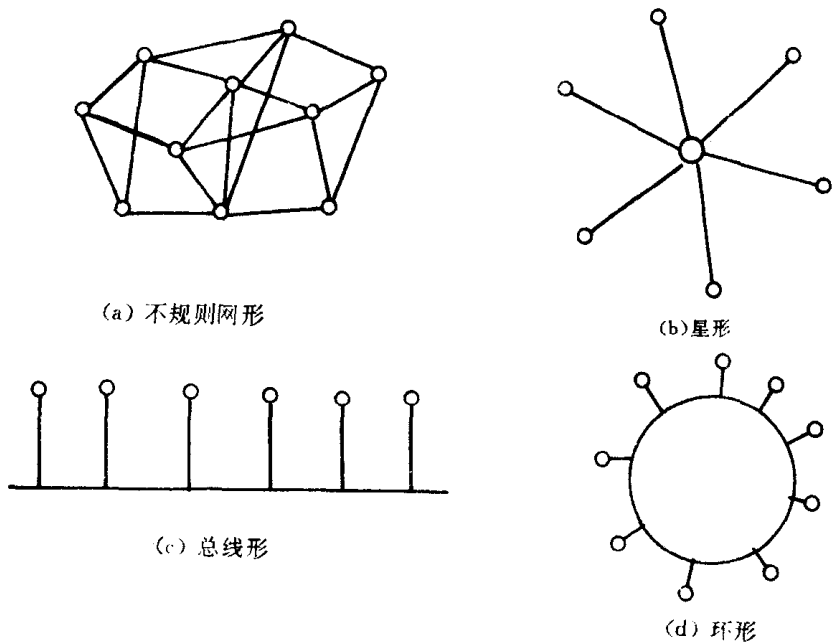


图 1.5 网络的拓扑构形

最后,我们还要简单讲一下**分布式系统**(distributed system)。计算机网络和分布式系统在文献中常是两个容易混淆的概念。虽然,在某些特定场合分布式系统可以只是一个多处理机系统而不是计算机网络,但在大多数情况下分布式系统是建立在计算机网络的基础上的。这两个概念间关键性的区别在于:计算机网络中,用户明确地知道存在着多台具有自主功能的计算机;而在分布式系统中,多台计算机的存在则是用户不可见的,通常又可说成是对用户**透明**的(transparent)。比如说,若某用户要利用远程计算机完成某项任务,在计算机网络的情况下,用户必须指明在某台计算机上注册,任务由某台计算机来处理,而文件又从哪里送到哪里等,也就是说这类网络范围的管理任务是由使用者来处理的;但在分布式系统中,用户就像是面临着一台功能很强的虚拟计算机,网络范围的操作系统将会代替使用者选择最合适的计算机,找到所要的文件,并把它送到需要的地方等,这一切都是用户感觉不到而自动进行的。从这个意义上来看,分布式系统的管理软件应具有高度的整体性和透明性,是不容易达到的。它和计算机网络之间的主要区别不在于硬件,主要是高层软件,特别是操作系统。在计算机网络中讨论的很多问题对于分布式系统来说也是同样重要的。

1.2 计算机网络的功能和应用

上节中我们从计算机网络的演变和发展说明了什么是计算机网络,本节中我们将从计

计算机网络的功能和应用说明为什么要建立计算机网络。

计算机网络的功能可归纳为资源共享、提高可靠性、节省费用、便于扩充、提供通信手段、分担负荷、协同处理等方面。这些方面的功能本身也是相辅相成的。

计算机网络最早就是从消除地理距离的限制共享资源而发展起来的。在第一代面向终端的计算机网络中,多个终端通过通信线路共享中心计算机的资源。在第二代计算机网络中,资源子网中的所有主机都可成为网络用户共享的资源。这里资源可以是硬件,如巨型计算机、具有特殊功能的处理部件(如快速富里埃变换处理器)、高性能的输入输出设备(如高分辨率的激光打印机、大型绘图仪等)以及大容量的外部存储器等。在一段时间内曾占有不小市场的一些 LAN,如 Omnet 就是逻辑上以提供共享的硬盘和打印机的服务器为中心连接若干简单的 PC 构成的。共享的资源也可以是软件或数据,可以避免软件研制上的重复劳动,以及数据资源的重复存储,也便于集中管理。

计算机网络中拥有可替代的资源提高了整个系统的可靠性。比如说存储在某一台计算机中的文件若被偶然破坏了,在网络中其它计算机中仍可找到副本供使用。又如某一台计算机失效了,但网络中的其它计算机就可承担起它的处理任务,有时性能虽会降低一些,但系统不会崩溃。这种在故障情况下仍可降级运行的性能对某些如军事、银行、实时控制等要求可靠性高的应用场合是非常重要的。

一般说来小型计算机比大型计算机有更高的性能价格比。比如说,大型计算机的速度和处理能力可能是微型计算机的十倍,但价格可能在千倍以上。一百个用户每人拥有一台微型计算机,并互连成网络共享某些资源就比让该一百个用户来分时共享一台大型计算机的资源既方便又节省了费用。这种做法就如同用三匹普通的马联合起来拉一辆重马车要比购买一匹稀有而昂贵的超级马来拉要经济的思想是一致的。

随着工作负荷的不断增长,计算机系统常需要不断扩充。单个计算机系统扩充达到某种极限时,就不得不以更大的计算机来更换取代它。计算机网络中的主机资源是通过通信线路松耦合的,不受如共享存储器、内部系统总线互连等紧耦合系统所受到的能力限制,易于扩充。

计算机网络为分布在各地的用户提供了强有力的通信手段。通过计算机网络传送电子邮件和发布新闻消息已经得到了普遍的应用。当生活在不同地方的多个人进行合作时,其中一个人修改了某些文件,其他人通过网络马上可看到这个变化,大大地缩短了过去靠信件来往所需要的时间。效率的提高使得可以轻易地实现过去绝无可能的合作。

计算机网络管理得好可以在各资源主机间分担负荷,使得在某时刻负荷特重的主机可以将任务送给远地空闲的计算机去处理。尤其对于地理跨度大的远程网,还可利用时间差来均衡日夜负荷的不均现象。

一个计算机网络中的各个主机在网络操作系统的合理调度和管理下可以协同工作来解决一个靠单个计算机所无法解决的大型任务,这称为**协同计算**(Coordinated Computing)。也是分布式系统研究的目标之一。

正因为计算机网络有如此的功能,使得它在工业、农业、交通运输、邮电通信、文化教育、商业、国防以及科学研究等各个领域日益获得越来越广泛的应用。工厂企业可用网络来实现生产的监测、过程控制、管理和辅助决策。铁路部门可用网络来实现报表收集、运行管理和行车调度。邮电部门可利用网络来提供世界范围内快速而廉价的电子邮件服务。教育科研部

门可利用网络的通信和资源共享来进行情报资料的检索、计算机辅助教育和计算机辅助设计。计划部门可利用网络来实现普查、统计、综合、平衡和预测等。国防工程能利用网络来进行信息的快速收集、跟踪、控制与指挥。商用服务系统可利用网络实现范围广泛的商店、银行和顾客间的自动电子销售转帐服务。计算机网络的应用范围是如此地广泛,我们难以一一枚举。下面我们仅举一个航空方面的例子看一下它是多么离不开计算机网络这样一个现代化的信息处理和传输工具。

航空公司在世界范围的主要城市都设有售票点,各地的售票员应能在旅客在场的情况下了解顾客所要求的航班的机座情况,这样售出的机票才不会冲突。当旅客不能直达目的地时,还需要及时了解其它航空公司的信息以安排转机。航空公司还可能需要安排到达和离开机场的地面交通、转机旅客的旅馆和货运的调度。为了航班的正确运行,必须随时掌握气象情况、飞机燃料及其它用品的供应、机组人员的搭配和维护日程的安排。当某目标机场因气象原因而关闭时,必须及时通知机长改变降落点并通知新机场作好相应准备。航空公司可能还需要及时了解客流,计算盈亏,掌握营业情况以确定增减航班及调整飞机的大小。所有这一切都需要有远程快速和精确的信息收集、传递、处理和控制在,离开了计算机网络是难以完成的。

1.3 网络的层次体系结构

将多个位于不同地点的计算机设备通过各种通信信道和设备互连起来,使其能协同工

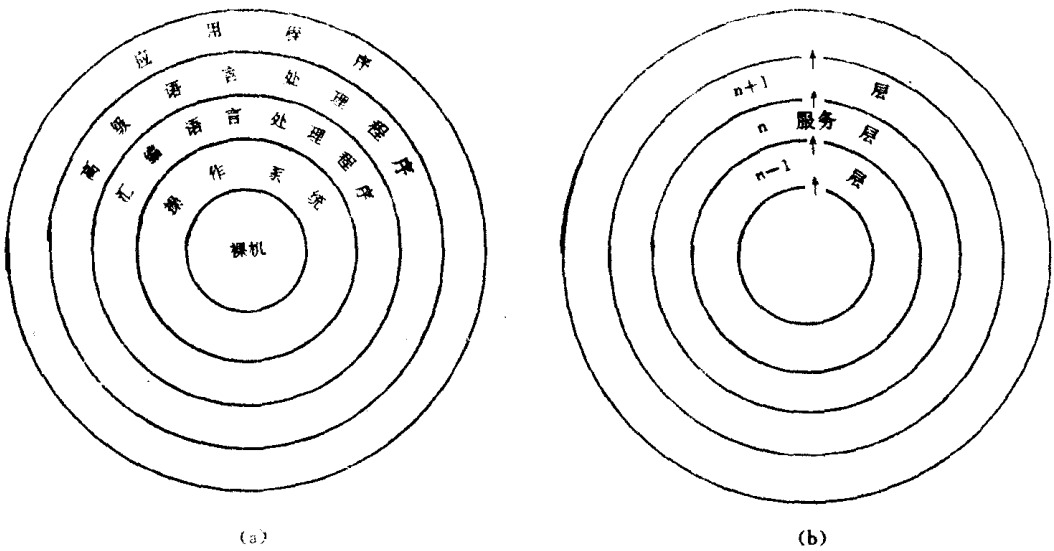


图 1.6 层次结构

作,以便于计算机的用户应用进程交换信息和共享资源是一个复杂的工程设计问题。将一个比较复杂的问题分解成若干个容易处理的子问题,而后“分而治之”逐个加以解决这种结构化设计方法是工程设计中常用的一种手段。分层就是系统分解的最好方法之一。实际上单个计算机系统的体系结构也是一种层次结构,如图 1.6(a)所示。最内层是裸机,而后依次为操作系统、汇编语言处理程序、高级语言处理程序、应用程序等。每一层都直接使用内层向它提供的服务,并完成其自身确定的功能,而后向外层提供“增值”后的更高级的服务。系统的