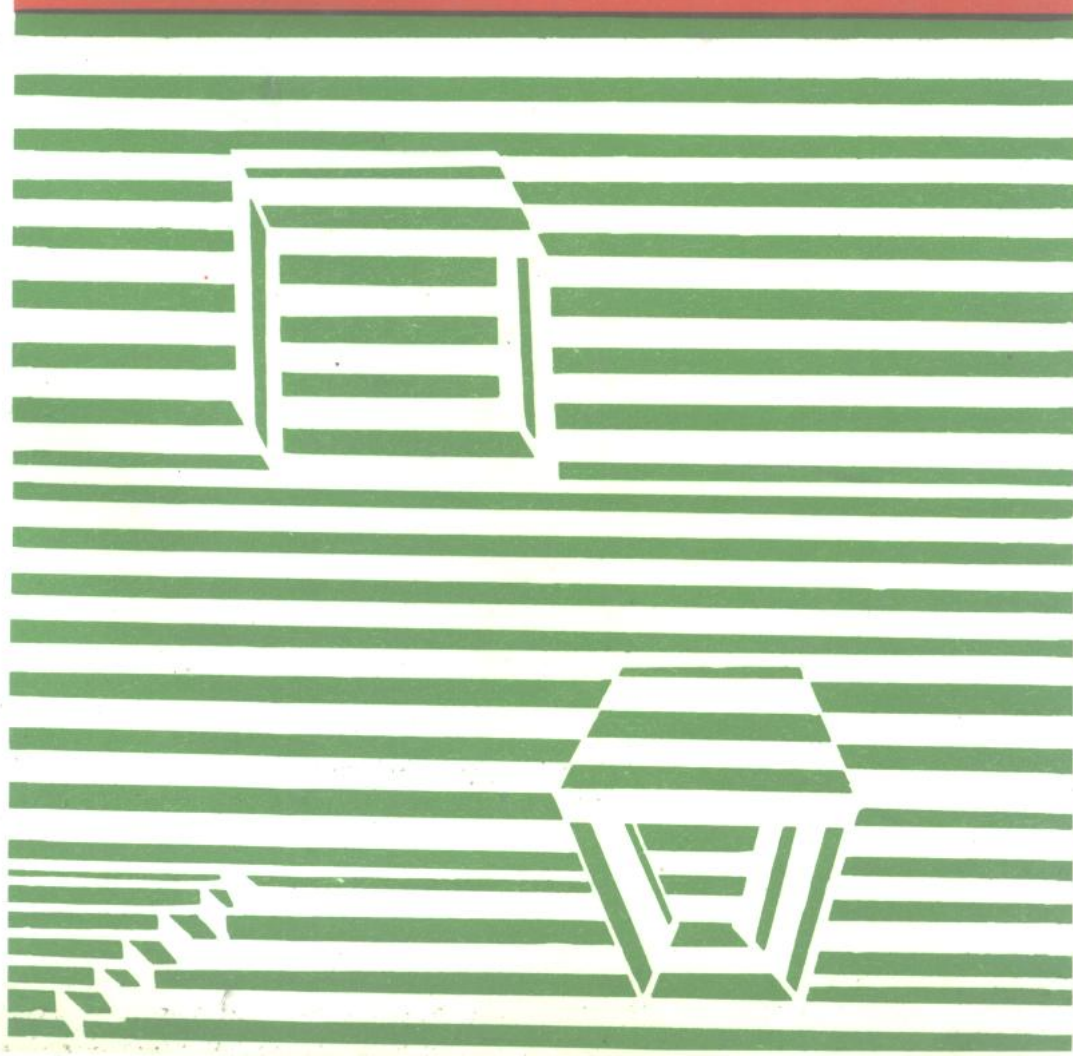


分布式并行处理技术导论

彭德纯 邱毓兰 林子禹 著

武汉大学出版社



8
4

TP338.8
PDC/1

分布式并行处理技术导论

彭德纯 邱毓兰 林子禹 著



武汉大学出版社

034745

图书在版编目(CIP)数据

分布式并行处理技术导论/彭德纯等著·—武汉:武汉大学出版社,1996.5
ISBN 7-307-02155-2

I. 分…

II. 彭…

III. ① 分布式计算机系统 ② 分布式并行处理系统

IV. TP 338.8



海淀走读 0047875

武汉大学出版社出版

(430072 武昌 珞珈山)

武汉市青联彩印厂印刷

新华书店湖北发行所发行

1996年5月第1版 1996年5月第1次印刷

开本:787×1092 1/32 印张:12

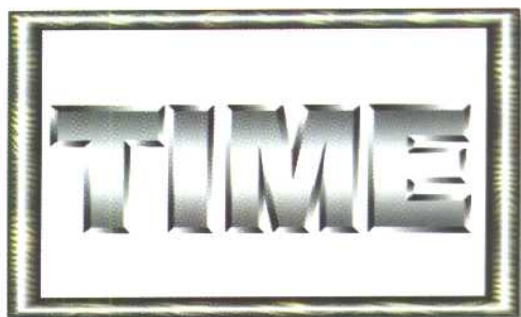
字数:277千字 印数:1—1500

ISBN 7-307-02155-2/TP·66 定价:11.40元

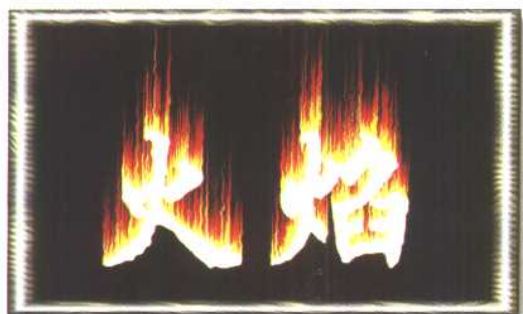
034745



涂抹字 第 22 页



磨切字 第 25 页



火焰字 第 28 页



晶体字 第 30 页



饼干字 第 32 页



反白字 第 33 页



斑驳字 第 34 页



珐琅字 第 36 页



凸版字 第 38 页



凸金字 第 40 页



凸圆字 第 43 页



波浪字 第 44 页



玻璃字 第 46 页



彩管字 第 50 页



春色字 第 52 页



叠层字 第 54 页

内 容 简 介

分布式并行计算系统是一个较为复杂的系统,涉及面很宽。本书首先从分布式计算系统的一般介绍入手,由浅入深地讲述分布式计算系统的产生、发展及概貌;然后从构造分布式计算环境的角度出发对系统模型、互连技术、进程间的通信方式、分布式操作系统设计原则、分布式并行语言设计、分布式资源管理与调度、系统中负载共享策略和进程迁移方法、分布式共享存储系统等若干问题进行比较全面系统的论述。本书特别注重基本概念、基本原理和关键技术的论述,尽可能地反映最新研究成果和最新发展趋势。书后列出了大量参考文献,供读者查阅。

本书可作为从事分布式系统研究和设计,特别是在工作站网络环境中研究和开发分布式并行处理系统的科技人员的参考书,也可用于计算机专业与相应专业高年级本科生和研究生以及大学教师的教学工作。

前 言

近年来,国际上掀起采用灵活的分布式多机结构向“并行计算过渡”的研究与开发热潮。国内很多计算机科学工作者也投身到这方面的研究工作中来了。为顺应这种潮流,本书作者在总结十多年来与同事及历届研究生一起研究和开发分布式并行处理系统方面研究成果的基础上写成了这本书,为了能系统地论述某些问题,书中适当地引用了其他学者的学术思想和论著的少量内容。

本书作者自 70 年代末至今一直从事分布式并行计算系统的研究。先后完成的系统有“WuPP-80 分布式并行处理系统”、“WuSH-86 分布式并行计算系统”、“Wulor-75/32 负载共享远程执行系统”以及近期完成的“Wu-NOW 系统”。对分布式系统模型、系统互连结构、分布式操作系统设计、分布式并行语言、分布式算法等方面的关键技术与基本问题进行了探索和研究,取得很多经验。特别是在负载共享远程执行系统中实现了 UNIX 环境下的“进程迁移”工作。所谓的进程迁移是将正在执行的进程从一台机器的某一执行点终止执行,然后转移到另外一台计算机从原终止点继续运行的工作。这项工作是很有价值的,特别是当程序在某台机器上运行了很长时间而被迫停止时就显得更有意义。进程迁移是很困难的工作,困难就在于要从复杂的操作系统控制下分离出运行进程本身的各种数据和它的运行环境数据。通过对操作系统的分析,找到较为简单易行的方法,那就是尽可能地利用系统内核函数完成取进程环境和恢复进程的工作。

本书特别注重基本概念、基本原理和关键技术的论述,同时也尽可能地反映最新研究成果和最新发展趋势,这对基于工作站网络开发分布式并行计算系统,实现分布式共享内存,实现计算机支持的协同工作的科学工作者会有很好的启示。

对同事与研究生在本书所述的一些实用系统作过的创造性工作表示衷心地感谢,他们的工作成绩可从书后列出的参考文献部分地反映出来。另外本书在直接借用了国内外一些学者论著的某些内容的有关段落上作了注明。这样做的目的是:一方面表示对原作者的尊重,另一方面也对读者进一步了解某些内容起一个向导作用。

本书在出版发行过程中受到了武汉大学出版社的大力支持,特别是出版社理科编辑金丽莉同志做了很多工作,在此谨表示衷心感谢。

分布式并行计算系统是一个较为复杂的系统,它涉及的面很宽,而且随着电子技术、通信技术的进步,应用面越来越广。新概念、新思想、新技术不断出现,参考文献浩如烟海,这些都给本书的论述带来了困难。由于水平和时间有限,不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

1995 年 12 月

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 分布式计算系统的产生和发展	(1)
1.1.1 性能/价格比的革命性变更	(1)
1.1.2 物理系统的理论与工程极限	(3)
1.1.3 计算机的社会化	(5)
1.2 什么是分布式计算机系统	(6)
1.3 分布式计算机系统的特性	(7)
1.4 与相邻几类计算机系统的区别和关联	(8)
1.4.1 与传统多处理机的区别和关联	(8)
1.4.2 与传统多计算机系统的区别和关联	(9)
1.4.3 与计算机网络系统的区别和关联	(10)
1.5 分布式并行处理探索	(12)
1.5.1 分布式并行处理的可能性	(12)
1.5.2 向纵深发展的分布式并行处理	(17)
1.5.3 缩小差别,趋向统一	(19)
1.6 分布式计算系统的潜在优越性和缺点	(20)
1.6.1 分布式计算系统的潜在性优点	(20)
1.6.2 分布式计算系统的缺点	(21)
1.7 研究和开发分布式计算的几个主要方向	(21)
1.7.1 分布式计算系统结构	(21)
1.7.2 分布式操作系统	(23)
1.7.3 分布式程序设计与软件包	(24)
1.7.4 分布式数据库	(25)
1.7.5 分布式并行算法与应用	(26)
1.7.6 分布式数据处理系统的安全与保密性	(26)
第二章 系统模型与设计原则	(29)
2.1 概述	(29)
2.2 分布式计算系统模型	(30)
2.2.1 一般结构模型	(30)
2.2.2 Log P 模型	(31)

2.2.3 Anderson 和 Jensen 的通信结构分类法	(32)
2.3 结构性能评价.....	(33)
2.4 总体设计思想.....	(36)
2.5 系统设计的一般方法.....	(38)
2.5.1 与一般系统设计的比较.....	(38)
2.5.2 分布式计算系统的设计目标及其新问题.....	(39)
2.5.3 分布式计算系统设计的 BMDATC 法的特点	(39)
第三章 系统互连方法	(41)
3.1 总线结构.....	(41)
3.1.1 概述	(41)
3.1.2 饱和点的估计.....	(42)
3.1.3 改进的加速比公式.....	(43)
3.1.4 加权参数算法.....	(44)
3.1.5 改善系统性能的方法和技术.....	(45)
3.2 环形结构.....	(47)
3.2.1 概述	(47)
3.2.2 高速并行移位环形结构.....	(47)
3.2.3 多环结构.....	(49)
3.3 带环的树形结构.....	(51)
3.4 超立方体结构.....	(54)
3.4.1 概述	(54)
3.4.2 基本拓扑结构.....	(54)
3.4.3 基本性能参数和特性.....	(56)
3.4.4 系统中的信息传输方式.....	(58)
第四章 进程间的相互通信问题	(60)
4.1 消息传递方式 MP	(60)
4.1.1 直接通信方式.....	(60)
4.1.2 间接通信方式.....	(61)
4.1.3 同步和寻址.....	(62)
4.2 Client-Server 模型	(64)
4.2.1 模型设计的基础.....	(64)
4.2.2 分布式“客户-服务器”模型的建立	(65)
4.2.3 Sun OS 中支持网络通信的系统调用	(66)
4.2.4 用于连接指定工作站服务器进程的函数.....	(68)
4.2.5 服务器程序.....	(69)
4.2.6 子进程 sub 程序框架.....	(71)
4.3 进程间通信的另一种手段——管道.....	(71)

4.3.1	管道	(71)
4.3.2	两个不同进程之间的通信	(72)
4.4	远程过程调用	(73)
4.4.1	一般概念	(73)
4.4.2	远程过程调用的实现	(74)
4.4.3	远程过程调用概念的推广——远程求值	(75)
第五章	分布式操作系统和程序设计	(77)
5.1	分布式操作系统概述	(77)
5.1.1	集中式与分布式操作系统的概念	(77)
5.1.2	分布式操作系统的特点	(77)
5.1.3	分布式操作系统的功能	(80)
5.1.4	实现分布式操作系统的主要途径	(81)
5.1.5	几种类型的分布式操作系统模型	(83)
5.2	一个基于中文 DOS 的分布式操作系统实例	(84)
5.2.1	引言	(84)
5.2.2	扩充功能模块的方法	(84)
5.3	分布式操作系统设计与实现的几个问题	(87)
5.3.1	异步并行算法对通信的基本要求	(87)
5.3.2	进程的派生调度	(87)
5.3.3	进程之间的通信和同步	(88)
5.4	分布式程序设计简介	(90)
5.4.1	分布式程序设计的特点	(90)
5.4.2	分布式程序设计语言	(91)
5.5	一个实用的分布式计算语言	(93)
5.6	Network Linda 协作语言	(95)
5.6.1	概述	(95)
5.6.2	C-Linda 的基本设计原理	(95)
第六章	资源管理和调度问题	(98)
6.1	资源管理分类	(98)
6.2	资源的集中分布管理	(99)
6.2.1	设计资源搜索算法的原则	(99)
6.2.2	投标算法	(100)
6.3	资源的完全分布管理	(101)
6.3.1	分配资源算法的原则	(101)
6.3.2	令牌算法	(102)
6.3.3	实现中的问题	(103)
6.4	调度和分配	(104)

6.4.1 概述	(104)
6.4.2 最小下界方法	(105)
6.4.3 初始任务分配算法	(107)
6.5 资源分配的死锁问题	(108)
第七章 分布式负载共享策略	(110)
7.1 负载共享策略概述	(110)
7.2 作业调度算法和寻找空闲机	(112)
7.2.1 作业调度	(112)
7.2.2 寻找空闲机	(114)
7.3 远程作业的计算结果回送	(115)
7.3.1 父子进程进行通信的机制	(115)
7.3.2 使用共享区存放结果	(117)
7.4 自适应负载共享的分类	(118)
7.5 负载共享策略的性能模拟研究	(120)
第八章 分布式计算系统中的进程迁移	(127)
8.1 Sun 工作站的操作系统环境	(127)
8.1.1 UNIX 系统简介	(127)
8.1.2 config 系统内核	(128)
8.2 UNIX 系统的进程调度与控制	(128)
8.2.1 进程控制结构	(129)
8.2.2 进程的切换与调度	(131)
8.3 Sun 工作站网络环境下进程迁移的方法	(132)
8.3.1 迁移进程的方法	(132)
8.3.2 取出迁移进程环境	(132)
8.3.3 进程的恢复	(133)
8.4 进程迁移的具体实现	(133)
8.4.1 进程迁移步骤	(134)
8.4.2 对 UNIX 内核的扩充方法	(134)
8.4.3 扩充功能的部分函数	(134)
8.5 不同系统的进程迁移方法	(143)
8.5.1 取进程的方法	(143)
8.5.2 进程数据的传送方法	(144)
8.5.3 进程投入运行的方式	(144)
8.6 寻找空闲处理机的不同方法	(144)
8.6.1 Sprite 系统	(144)
8.6.2 Conder 系统	(145)
8.6.3 V-System 系统	(145)

8.7 对通信机构和文件系统的扩充	(146)
8.8 性能优化	(147)
第九章 分布式共享存储系统的若干问题	(149)
9.1 概述	(149)
9.2 分布式共享存储器设计的一般方法	(150)
9.2.1 用户接口设计	(150)
9.2.2 数据组织方式	(151)
9.2.3 存储器一致性算法	(151)
9.3 WDSM 系统设计	(153)
9.3.1 系统概貌	(153)
9.3.2 系统设计	(154)
9.3.3 WDSM 的存储器一致性算法	(154)
9.4 WDSM 的实现	(155)
9.4.1 主要数据结构	(155)
9.4.2 锁和信号量操作的实现	(157)
9.4.3 WDSM 存储管理模块	(158)
9.4.4 WDSM 读写控制模块	(159)
9.5 WDSM 的正确性研究	(161)
9.5.1 正确性	(162)
9.5.2 活动性	(162)
9.5.3 无饥饿性	(163)
9.6 WDSM 的性能实验	(163)
9.6.1 计算模型	(163)
9.6.2 异步并行算法	(164)
9.6.3 实验结果和性能分析	(164)
第十章 应用实例和发展趋势	(166)
10.1 面向工程与科学计算的分布式并行计算系统	(166)
10.1.1 体系结构	(166)
10.1.2 软件结构	(168)
10.1.3 分布式并行算法与实例结果	(168)
10.2 Wu-NOW 系统的新功能实现	(170)
10.2.1 群件系统结构	(171)
10.2.2 Wu-NOW 系统上的协同工作	(171)
10.3 格子 Boltzmann 模型的显示原理	(172)
10.4 今后发展的趋势	(174)
主要参考文献	(176)

第一章 概 论

众所周知,随着网络和分布式系统的出现,单机孤立使用的时代过去了,对新一代计算机和软件的开发,不考虑“分布”、“并行”的思想是不能实现的。这里所说的“分布”蕴含着空间重复和资源分散性,即包括硬件、系统软件、系统数据、用户软件 and 用户数据等所表现的物理特征和逻辑特征。在现代结构学意义上“分布”与“并行”的含义可以说是相近的,甚至有时就是指同样一个含义。

由于对“分布”一词的理解不一,暂不去论述“分布式计算系统”的准确定义。为方便起见,可简单地讲,分布式计算系统是由多台计算机(包括 2 个以上的处理机-存储器对)通过互连通信网络连接(从地理上分散的网络到特殊体系结构的互连结构)组成的单一逻辑系统。

从计算机的结构形式来看,采用分布式结构将是新一代高性能计算机的普遍表现形式。分布式计算系统现已进入用户可以使用的新时期^[1,2,3]。

1.1 分布式计算系统的产生和发展

分布式计算系统已成为一个广泛研究的课题,在大学、工业、商业和政府的研究实验室中已建造了许多实验性或实用性的分布式计算系统,而投入应用的系统其规模和类型一直迅速地增长,它的产生和发展不是偶然的,是计算机科学技术、微电子技术、通信技术,特别是应用技术不断向前发展的必然结果,是实际应用环境的需要。本节将论述其主要因素^[19]。

1.1.1 性能/价格比的革命性变更

自 70 年代以来,由于电子技术的进步,大规模集成电路的迅速发展,小型机、微处理器相继出现,而其成本大幅度地下降。如处理器、存储器、外围控制器等的价格几乎每三年下降 10 倍,计算机的价格每二年下降 50% 以上,在 70 年代后期,从微处理机到大型计算机的价格范围概括在表 1.1^[10]里。据报道,1988 年用 1 万美元可以买到一台配有 8MB RAM 的 4Mips (每秒 4 兆指令) 机器,1989 年可用同样的钱买到配有 8MB RAM 的 10~12Mips 机器。这使得能按其性能价格比将若干台小型/微型机构成分布式多机系统,采用分散处理的方式来取代集中式大型主机结构,开拓了计算机应用的新途径。

从性能价格比的角度看问题是办任何有经济意义或社会效益事情的一项基本法则,也是促使事物不断发展的源动力。

有人^[4]曾对美国在 1975~1977 年生产的计算机性能价格比进行了统计,讨论了分布式多微处理机系统的性能价格比曲线是位于一般单处理机系统性能价格比曲线之上还是之下的问题,给出了作为系统价格函数的性能价格比曲线(见图 1.1)。从图中可看出单处理机

表 1.1 机型与价格

处理机	字长(位)	出售价格(美元)
微型机	8~16	500~5000
小型机	16	1000~30000
中型机	32	50000~200000
大型机	32~64	300000~1000000

的性能价格比随其规模增大(以成本增大表示)呈现下降趋势。而对于多处理机系统,如果不考虑机间互连等附加成本,并假定性能的提高与处理机数目成正比,那么应当得到一条理想的水平直线,表示性能价格比与系统规模无关。然而实际上这是做不到的,一则互连成本不可忽视,有时甚至很高;二则性能并不真正与处理机数目成正比关系。所以,随着处理机数目增加,其性能价格比仍会变坏,但比起单处理机随规模增大(复杂)而变坏要小得多。

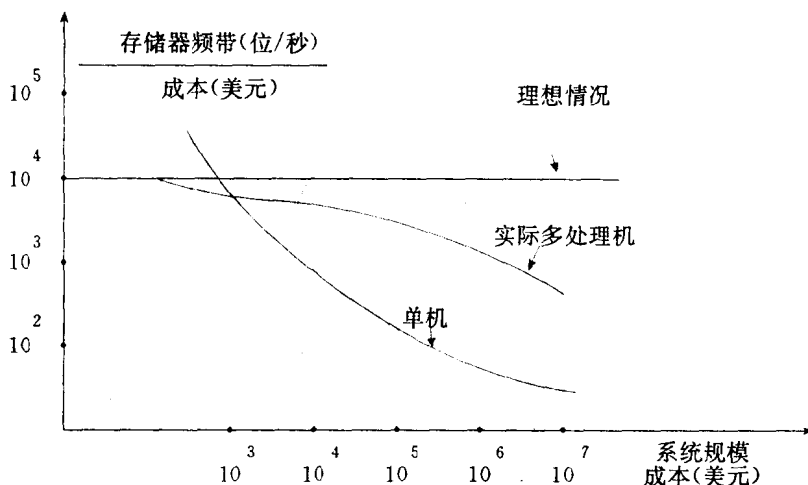


图 1.1 性能价格比与计算机系统规模的关系曲线

在对实例分析中,有文献^[5]把 1975 年研制成的由 16 个 PDP-11/40E 计算机模块和 16 个共享存储器模块经 16×16 的交叉开关连接的 C. mmp 多处理机系统同小型机 PDP-10 按四个基准测试程序的平均性能进行比较,以每美元每秒钟的指令数计算,C. mmp 的性能价格比超过 PDP-10 的 3.59 倍。在天气预报方面,有文献^[6]从 70 年代初期的技术发展趋势出发进行分析,认为由微处理机组成的多微处理机网络(MPS)系统有着很好的性能价格比和应用前景。

事实上,到了 80 年代,以微处理器为基础的系统开始从根本上改变了过去三十多年来计算机工业的秩序,以微处理器为基础的各种模块积木式组装成系统,越来越变得商品化了。其价格不断下降,性能不断提高,参看表 1.2 和 1.3。

表 1.2 Intel 微处理器的价格

微处理器芯片	最初价(美元)	当时价(美元)
4004	30	1
8080	360	5
8086	350	10
8088	300	8
80286	237	125
80386	300	300

表 1.3 性能与价格

IBM 3090(大型机)	27.5Mips	1Mips/18 万美元
IBM 4381(中型机)	2.1Mips	1Mips/12 万美元
DEC 小型机		1Mips/6 万美元
其他		1Mips/2.5 万美元
个人计算机	2.5~3Mips	1Mips<1 万美元
1988 年		1Mips/1800 美元
1993 年		1Mips/200 美元

由于这种性能价格比的极大变化,改变了人们认为大系统的经济性比小系统好的传统看法。过去仅在大系统上才能完成的工作而现在在多个小系统上同样可以完成。目前在大型机上运行的应用软件有不少是中、小规模软件,这些软件完全可以在由个人计算机或工作站联网构成的分布式系统和以高性能微处理机为结点组成多微机并行处理系统上运行,为用户提供比较多的功能服务。这种小系统完全顶得上一个大型昂贵系统的能力。如 Intel 的 iPSC 系统当时由 128 个微处理器芯片互连,其速度高达 512Mips,这比任何一个商用大型机都高,其 1Mflops(一兆浮点运算)的费用不到 1 万美元,而巨型机 Cray-1 的 1Mflops 费用则超过 10 万美元。

Stratus 系统是一个多处理机系统,用于并行处理可成倍提高处理能力。又因以硬件冗余为主,系统可重新配置解决故障的隔离和恢复等问题,使系统永远不停机。这使多微机系统技术逐渐成为计算机工业界的一个重要的发展动向。随着互连技术日益成熟,通信技术的不断提高,实现在任意距离的计算机和终端设备之间的信息交换,从若干个处理部件出发构成大型的或小型的分布式计算系统的设想不但是合理的,而且是切实可行的。甚至把几个分布式系统用网络连接起来,构成跨地区跨国界的分布式处理系统也是可以做到的。通信与计算机的一体化必然会成为新一代计算机的一个主要发展领域。

1.1.2 物理系统的理论与工程极限

长期以来,计算机运算处理速度的提高和存储容量的增大主要靠电子工程学的元件技

术成果。随着单机系统规模日益庞大、技术日益复杂,其运算处理速度的提高不论在理论上还是技术上都会受到限制。一则在计算机电路中信息传输是由电子运动实现的,传输速度约为光速 c 的一半;二来元器件的物理尺寸受氢原子直径 d_H 的限制不可能无限变小,使用硅材料的 VLSI 器件,其特征尺寸以 0.1μ 为极限。今天,越来越密集的封装电路板已出现问题,电子开始在极密的和非常薄的导线之间跳越,到处流动,并引起干扰。线路宽度为 0.1μ 时,已出现量子噪声和所谓隧道效应。三是器件的发热和冷却问题,如 1 亿次级的 Cray-1 超级计算机用了几吨重的液态氟里昂进行冷却。据资料估计,单机的极限速度约为每秒 $10^9 \sim 10^{11}$ 浮点运算,目前的技术水平已趋近这个极限^[7,8]。即使微电子技术的进步还有着很大的潜力,如采用量子效应集成电路工艺生产的芯片,可比现在硅芯片的速度快几百倍,但一个 CPU 满足不了多个 I/O 设备的处理速度要求,满足不了大容量存储器对处理能力提高的要求,出现信号的拥挤堵塞现象,即所谓的“冯·诺依曼隘口”,使整个系统的性能降低。因此,在 1982 年全美计算机会议上,美国四大半导体公司商议了加强分布式多处理机的研制开发问题。

大型机一般由高级的和复杂的操作系统进行控制管理。如 1974 年完成的 IBM 370 的操作系统(VS2)有 370 万条指令,1982 年完成的 IBM 3081K 的操作系统 MVS/XA 据说指令条数实际上已超过 2000 万条。一般地说,如果所处理的任务变得复杂的话,那么相应的软件将按 100~1000 倍的比例复杂下去。在核电站与一些过程控制应用单位,由于目标的分散性^[9]和过程控制的实时性,用集中式的主机难于满足快速响应的要求,不能满足高可靠性的要求,不能提供最佳的和有效的经济处理效果。可是由小型/微型机组成的分布式多处理机系统,由于内在的分散性,使其更接近于用户的实时操作,较少的依赖于集中式的设备,这样就可以减少或取消由集中式大型机所使用的很高级的、开销大的操作系统软件。这种类型的系统,其操作系统软件对应用软件的比率关系如图 1.2 所示^[10]。

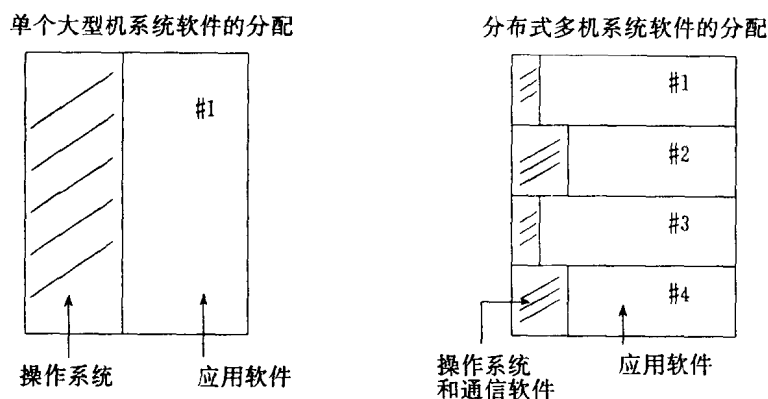


图 1.2 操作系统软件与应用软件的比率关系示意图

早期在实际生产部门用计算机控制一些关键岗位的生产流程,为了保证高可靠性的要求,采用单纯双工或多工运行的初级形式,这种代价太高,且系统的效率不能充分发挥。因此,许多研究机构提出“多指令多数据流”计算机体系结构,特别是利用廉价的小型/微型机构成分布式系统^[11],把任务分配给多台小型/微型机分散处理。当某台机器出现故障时,系统便会把备用机调来顶替,或切除故障机重构系统,或适当修改重新分配任务。这种结构模

块化方法使系统灵活、可靠,冲破了冯·诺依曼提出的单指令单数据流体系结构。像“数据驱动”的数据流计算机^[12]提高了程序的执行速度。美国 Maryland 大学于 1979 年为研制一种高度并行的多微处理机系统设计了 ZMOB,它由 256 个 Z80A 微处理机组成一个环形结构,按照数据流驱动的思想,使系统每秒可执行一亿条指令(8 位字长),具有 16MB 的高速分布存储系统,与当时典型的分布式多处理机系统 Cm* 相似,是一台通用的供研究用的多指令多数据流计算机,应用于分布式图形匹配、分布式数据库、计算机视觉和实时判别(感觉)与信件开关等方面^[13]。又如威斯康星大学将 50 台 VAX 11/750 超级小型机用一种比较松散的耦合方式,通过由麻省理工学院研制、PROTEN 公司经销的 PRONET 环形网连接成的 Crystal 系统是一个负载均衡共享资源系统。它采用“许可证”方式进行通信,没有明显的共享存储器。该系统不仅提供了一个研究分布式计算的环境(如用于解算 8 皇后问题、高斯消去法、雅可比算法等问题),同时也为人工智能和数据库等项研究提供了较好的场所。由 IBM、DEC 和 CMU 等组成的 OSF 开放软件基金会这样的国际计算机生产和研究集团已把分布计算环境 DCE 和分布管理环境 DME 的开发作为其重点技术之一。这清楚地表明,分布式处理结构及其应用已成为当代计算机科学家热衷研究的领域。

1.1.3 计算机的社会化

从计算机的发展史可以看到,60 年代出现了由通用计算机向集中式大型计算机系统的转变。在这类系统中,从大的中央处理机分离出独立的通道或 I/O 处理机,它们可以并行操作,I/O 处理机专门执行同 I/O 有关的任务,后又加接了小型前端处理机,代替硬联逻辑多路控制器,以处理大量的终端和通信信息。在 70 年代,一方面从集中式单机转向计算机网络,大型分时系统中的过程终端代之以智能终端;另一方面,出现了微型机和由它组成的多处理机系统。这两方面的技术成就恰好为分布式计算系统的发展创造了良好的条件。因此,分布式计算系统的研究从 70 年代初期开始兴起,并逐渐建立其基础。随着技术条件的不断完善,硬件成本连年下降,到 70 年代后期逐渐形成了一门发展迅速且很有前途的新兴领域,吸引着广大的科学工作者从事这方面的研究工作。

计算机应用的社会化促进了人类社会生活和生产文明的向前发展。计算机网络、计算机单机生产流程控制和社会管理给人类带来的经济效益,促使人们向着更高级更全面的自动控制方向前进。由于过程控制、社会问题(如预订飞机票、银行业务)等的分散性和实时特征,必然要冲破传统的单处理机控制局面,而追求名符其实的分布方式把分散的信息管理起来。自动出纳机网络、航线机票预定系统和信用卡的当场确认系统是分布式系统渗透到日常生活的三个典型实例。这是科学技术与管理结合的必然发展趋势。

传统的计算机网络虽然也使用了多台计算机,但由于结点距离远,所以耦合松散,信息传输慢。随着局部计算机网的发展、性能的改善以及传输速率的提高,使这种局部计算机网发展而产生了分布式处理系统,它是别具优越性的一种结构形式。美籍华人学者孔祥重等人于 1991 年在“Proceedings of Supercomputing '91”上很明确地提出“基于网络的多计算机是构造并行系统的一个新方向”。论证了其可行性,阐述了他们的实验系统 Nectar 模型^[85]。这个系统模型实际上就是“分布式并行处理系统”类型。

据《计算机世界》1991 年国际动态报导,分布式计算模式当时已进入用户可以使用的新时期,正走出院校和科研机构进入商业阵地。其明显的特征是: