

多微机系统文集 多微机系统文集

苏州电子计算机厂

多 微 机 系 统 文 集

- 分布式计算机系统
- 多处理机系统
- 多微机系统
- 多微机系统的应用

白 英 彩 等 编 译
刘 寿 和

苏 州 电 子 计 算 机 厂

一 九 八 三 年 十 二 月

前 言

微机有两个明显的发展方向：一个方向是逐代地增加并行运算的位数（如第二代的微处理机为8位、第三代的为16位、第四代的为32位，等等）；另一个方向是朝着多微机系统方向发展。

微型机的多机容错系统、微处理机的分布式计算机系统、多处理机系统、多微型计算机系统以及微型机的阵列处理机系统等等，它们都采用了多机结构，统称为多机系统。

一般地说，多机系统具有高速运算能力、数据吞吐量大、采用模块化有良好扩展性、高可靠性和成本低廉等优点。因此，随着微机的诞生，多微机系统也随着崛起。据称，“八十年代将是分布计算机的十年”。目前，国外在这方面都花大量人力、物力来研究多机系统，取得了一批又一批成果。在国内，多微机系统或分布式计算机的研究和应用也倍受重视。

现将近两年国内外有关多机系统方面的部分论文汇集成册，作为科研、教学和生产方面的参考资料，相信读者会从中得到益处的。由于时间仓促、水平有限，书中定有不少疏漏和谬误之处，恳请予以指正。

编译者

目 录

1	一种树型结构的分布式计算机系统	(1)
2	分布式操作系统的特点	(30)
3	论分级分布式数据库系统的更新方法	(48)
4	一个紧耦合的分布式计算机系统	(56)
5	分布式多微计算机系统内的进程通信	(65)
6	自动控制用的单元化分布式多微处理机模块系统	(70)
7	多处理机结构述评	(82)
8	单元化多处理机系统的发展	(110)
9	多道程序实验用多处理机	(120)
10	多处理机的处理机与存储器的互连网络	(128)
11	一个多处理机信息传输系统的体系结构: MUNET	(142)
12	多处理机传递信息系统的编译方法	(146)
13	多处理机环境中处理机同步的容错方法	(153)
14	多微机系统概论	(162)
15	多微处理机系统的发展前景	(201)
16	多微型计算机系统 (1)	(207)
17	多微型计算机系统 (2)	(213)
18	微处理机组成的并行计算机系统	(221)
19	采用单片微处理机的主从结构	(230)
20	微型机的变结构栈	(234)
21	用多微处理机结构改善系统的性能	(245)
22	与公共存储器相连的微处理机	(253)
23	以微处理机为基础的局部网络存取装置	(226)
24	多微计算机网络中组件之间的通讯方法	(270)
25	微型计算机间数据交换的方法	(280)
26	容错多微计算机系统的设计和实现	(289)
27	多微处理机计算机系统的硬件和软件课题	(294)
28	采用集成电路数据链路控制器的局部网络的实验研究	(314)
29	RMX/80在处理数字信号用的多微处理机系统中的应用	(325)
30	话务员交换台用的自动通话记录设备	
	一种一分布式微处理机系统	(335)
31	控制各种机械运动的处理机	(345)
32	一种采用多微处理机在连续动态系统模拟方面实现并行处理的方法	(356)
33	用多微处理机解决高速和低成本连续系统模拟问题的方法	(366)
34	解决离散系统模拟的多微处理机方法	(375)

一种树型结构的分布式计算机系统

〔摘要〕

本文阐述了近年来随微处理机的问世和日益发展而崛起的分布式计算机系统。着重介绍并进一步探讨了一种树型结构的分布式计算机系统。它被誉为由八十年代技术构筑的、由多个微处理机按树型结构组织的高效通用计算机系统。文中指出,具有互连通路的树型结构特别优越,其有效带宽与处理机数目的对数成反比。采用一种称为X树的树型结构作为研究模型。这种系统能提供一种供控制寻址和信息传送用的分级结构体系。探讨了多微处理机间的通讯网络,即高速的、字节并行的一组异步信息交换规程的通讯链路。在树型结构中每一结点由一个功能较强的微处理机、一个开关网络及一个专用的通讯控制器构成。还讨论了网络的拓扑、寻径算法、寻址方案、信息格式和通讯硬件等问题。

一、分布式计算机系统的崛起

伴随电子数字计算机几代更新,其体系结构也经历了几代更新。

如所周知,在第三代计算机体系结构中仍然以单处理机或单计算机系统占据统治地位。但是,自从七十年代初期开始出现了第四代计算机体系结构。它打破了传统的单处理机的局面。为计算机体系结构学开辟了新的篇章,也为计算机的发展历程树起一个新的里程碑。在第四代体系结构中,主要是从分布式计算的概念出发来组织计算机系统,或是多处理机系统,或是多计算机系统(分布式阵列处理机系统仅为多机系统的一种特例或特殊情况)。有人指出,目前由于计算机技术最明显趋势是转向分布式处理而不再是中央集中控制了。

所谓分布式计算机的概念是这样的:它将计算机功能分散化,或者说“智能”分散化。即把计算机任务和“智能”由主机分散到构成分布系统的各个子系统(或部件)和外部设备中,因而可以说,这些子系统和外设的集合就是分布式计算机系统。当然,也可以从狭义上理解分布式计算机系统,即总系统的逻辑功能、处理功能、存贮功能和输入输出功能的分散化,将总任务分配给许多外理机或计算机分头去做,则看不到中央处理环节存在,称为纯分布式系统或狭义分布式系统。也可以在功能分散化的过程中以混合方式加以组织,如“分布处理、集中存贮”等等。

还有人把分布计算机系统理解为这样的系统:“把系统智能分割成若干个独立的、有组织的单元,用以实现给定功能的总任务。”

应当指出的是,分布式计算机系统有紧耦合和松耦合之分。通常,紧耦合的多处理机系统所需的响应时间为指令执行时间的百分之一左右,即所需通道延时接近于处理机周期时间。而松耦合系统则无此限制。在大多数情况下,松耦合系统的通信是靠“文电”来实现的,而文电延时要比处理机的执行时间大千百倍。一般地说紧耦合的分布式计算机系统,主要用于矩阵计算、信号处理、图形识别和前置通讯处理等,而松耦合系统主要用于数据通讯、实时控制、订票系统和银行业务管理系统等。

本文主要讨论紧耦合的分布式计算机系统。由于七十年代初期微处理机的问世以及数字通讯技术的飞快发展,已使分布式计算机系统成为一种切实可行的计算机体系结构。如果说七十年代是数据库的十年,那么八十年代将是分布式计算机的十年。分布式计算机结构崛起可能是经典大型通用机时代的结束。近几年来计算技术发展趋势亦初步证明了这一预见的正确性和科学性。

在八十年代,作为分布式计算机系统的最重要的物质基础——微处理器的发展趋势及其可能实现的目标,将直接地影响到分布式计算机系统的理论和实践的发展。围绕这个问题说明以下几点:

1. 微处理器和超大规模集成电路将进一步发展。

迄今为止,微处理器已经问世十年,经历过两代更新(见表1)由图1可以看出,微处理器及其存贮器器件将持续地高速发展着,八十年代初期每芯片的元件数可达百万只以上,据称已设计出每芯片有162万个元件的微处理器。並出现32位字长的第四代微处理器。

目前,64K位的RAM器件已达到工业标准,投入市场,预计八十年代上半期将有512K位的RAM器件提供市场,日本计划于1983年实现每芯片1M位的RAM。

由于集成电路的集成度逐年提高,每年翻一翻。到八十年代初期,完全可以把数十乃至几百K位的RAM(或ROM)以及I/O接口部件都统统集成在单个芯片上,构成更完善的单片微型计算机。例如,日本预计八十年代上半期生产出拥有32K字节RAM的32位微型计算机。这样的一个组件,就可以构成一个计算机系统的核心部分,它所实现的处理功能,比一台IBM370/168还强100倍。

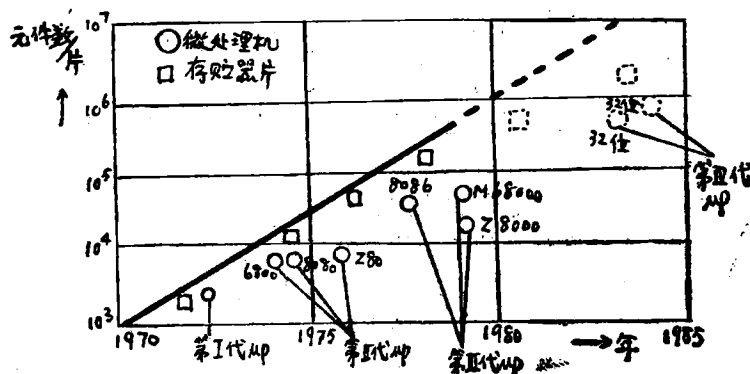


图 1

从一方面来看,既然每芯片可集成上百万个元件,那么就一定会出现单片多微处理器器件,例如每片内含有3—5个微处理器。这就更直接地为构筑各种各样的多处理机系统或者分布式计算机系统提供了极为有利的物质条件。这将促使分布式计算结构加速发展和成熟。

反过来,由于各种不同的分布式系统和多微处理器系统的发展也促进了微处理器本身的发展和成熟,相辅相成。如所周知,目前出现的不少多微处理器系统的设计方案,其中的单片(或结点)常常是新型微处理器芯片结构的研究模型。很多芯片结构方案,都是用分布式的多微处理器系统作试验后提出的,包括目前已投入市场上的Z-8000、8086和M68000等第

三代微处理机。在这些新一代的微处理机的设计过程中，都把构成多微处理机系统作为各自芯片设计的重要原则之一。

由于微处理机的出现和发展，促使计算机系统功能（包括逻辑功能、存贮功能、处理功能、输入/输出功能和通讯功能）的分布化、组成的模块化和结构的标准化。这种分散化、模块化和标准化在客观上为组织分布式计算机系统提供了有利条件。

2. 计算机的功能分布化

我们知道，在处理某些计算任务（如矩阵、迭代等）中存在的并行性和执行计算机系统内部操作（如运算、输入/输出、编译过程、资源调度与分配等）中存在的同时性，是设计各种分布式计算机系统的前提条件。为满足这两个前提条件，都要计算机系统的各种功能，特别是包括运算、控制的处理功能具有分布化特点。

（1）处理功能及其分布化

所谓处理功能，主要是指计算机的运算能力和控制能力，相当于机器的效能。这里含有两层意思：处理功能一方面取决于其主频和电路速度高低、指令执行时间的快慢、机器字长和通道能力，另一方面，处理功能还取决于计算机系统的体系结构，如并行处理，流水线结构，等等。

表 1

项 目	第一代(4位)	第二代(8位)				第三代(16位)			第四代
	Intel 4040	Intel 8080	Motorola M6800	Zilog Z-80	Intel 8086	Motorola 68000	Zilog Z-8000		
工 艺	PMOS	NMOS	NMOS	NMOS	HMOS	HMOS	HMOS		
指令条数	60(8位)	78(8-24位)	72(8位)	158(1-16位)	111	03	149		
取入寄存器时间	8 μ S(8位)	3.5 μ S(8位)	5 μ S(8位)	2.8 μ S(8位)	25 μ (8位)	1.5 μ S(16位)	2.25 μ S(16位)		
加法时间(平均)	8 μ S(4位)	2 μ S(8位)	2 μ S(8位)	16 μ S(8位)	3 μ S(8位)	2 μ S(16位)	2.25 μ S(16位)		
数据位	4位	8位	8位	8位	16位	16/32位	16位		
存储容量(寻址能力)	8 KKB	64 KKB	64 KKB	64 KKB	1 MB	16 MB	8 MB		
门数/片(约)	1000	1600	1900	3000	9500	20000	6000		
晶体管数/片(约)	3000	4800	5600	8200	29000	68000	17500		
芯片面积	15 mm ²	22.3 mm ²	29.8 mm ²	27.1 mm ²	32 mm ²	>40 mm ²	>40 mm ²		
市售日期	1972	1974	1974	1976	1978	1979	1979		

以微处理机为例,第一代、第二代和第三代的产品,分别采用了PMOS、NMOS和HMOS三种工艺,其速度性能是递增的,因而这三大微处理机的运算速度和处理能力也是逐代提高的。同样,采用双极型电路比MOS电路具有更快的速度,基于这个意义,现代大型通计算机为了追求高的处理能力,几乎毫无例外地都采用双极型电路。但目前单单从电路速度上去打主意,往往不能大幅度地提高其处理能力,而从计算机体系结构上打主意,却有着更大的“油水”。

对于大型计算机系统来说,欲提高其处理能力,采取若干台高性能的微处理机用并行或重迭技术把它们组织成分布式计算机系统,即把总任务分散给各个微处理机“同时”地完成,则其总系统的处理功能是很强的,这就是处理功能的分布化的具体含意。

(2) 逻辑功能及其分布化

所谓“逻辑功能”就是处理机全部特性的总和，包括指令系统和实现操作系统、编译程序、高级语言的硬件保证，等等。逻辑功能愈强，其应用范围就愈广。

随着半导体集成电路的不断发展，每个芯片所实现的逻辑功能也不断地提高，过去，一个芯片只能包含简单的逻辑功能，为实现复杂的逻辑功能就得需要若干块集成电路，而今，单个芯片就构成有相当逻辑功能的处理机，甚至是微型计算机。因而，逻辑功能的分布化就与所需要实现的总逻辑功能和采用的集成电路的集成度有关。

在将来，与逻辑功能及其分布化这一问题有关的情况可能是：采用单片微处理机构成分布式计算机系统还是采用“单片多微型计算机”或“单片多处理机”构成分布式计算机系统。例如，有人设计了用MK3870单片微型计算机进行分布式处理的系统，也有人用MC6801单片微型计算机构成多微型计算机的分布结构系统。可以预期，用“单片多微处理机”超大规模器件来构成分布式计算机系统在不久的将来是可以实现的。

（3）存贮功能及其分布化

所谓“存贮功能”主要考虑到计算机系统的存贮容量和存取速度以及相应的辅助存贮器设备的配置情况和存取方式等。

关于存贮功能的分布化的问题，有着各种情况。例如，纯分布式系统，其存贮功能也是分布化的，即系统中每个处理机有自己的局部存贮器，不再设置系统主存或公共主存，由单片微型机构成的分布式计算机系统即属此类。当然，在混合式的分布式系统中，每个处理机既可以有自己的局部存贮器，也可以共享系统的主存。由单片微处理机构成的分布式计算机系统，通常每个处理单元不带局存，而所有处理单元共享主存，典型的多微处理机系统就是如此。

（4）输入/输出功能及其分布化

所谓“输入/输出功能”就是指一个计算机系统的输入/输出设备的配置情况和相应的输入/输出方式。并与系统的数据吞吐能力及其传输方式有密切关系。

从广义上说，“各子系统和外部设备的集合就是分布式计算机系统”。因而，系统中的输入/输出设备与处理单元的连接方式有密切关系。例如，在树型结构的分布式系统中，通常把输入/输出设备连接于“叶”结点上，而在二维阵列结构中，通常把输入/输出设备连接在“边缘”结点上，等等。当然，如有必要，在每个处理单元中皆挂上相同的输入/输出设备，以形成纯分布式系统。对于哪些数据吞吐量极大的系统（如地震数据处理系统等），实现输入/输出分布化更有意义。

（5）通讯功能及其分布化

所谓“通讯功能”就是指构成分布式计算机系统内的各个子系统（处理机）彼此之间的通讯方式及其实现的软件/硬件机构。一般来说，各个处理单元之间的通讯方式与分布式系统的体系结构有关，如采取星形结构，可借助于中央控制器实现各处理单元的通讯；如采用单总线或多总线的体系结构，则各处理单元之间可借助于总线实现通讯；在共享主存的分布式计算机系统中，通常是通过一个或几个宽带通道共享主存来实现各个处理机通讯的；在我们将要重点讨论的树型结构的分布式系统中，其通讯功能与上述的几种情况不同，而别具一格并具有分布化的特点。

3. 系统组成的模块化

在分布式计算机系统中，大都采用模块化，故有良好的扩展性和维护性。

应当指出的是，在计算机发展的不同阶段“模块化”也有着不同的含意。早期的模块计算机系统MCS (Modular Computer System) 中的模块，是指标准化的数字单元，控制单元和存贮模块。随着LSI和微处理机的迅速发展，又出现了将处理器P，微总线开关S和存贮模块M组合成整机一级的模块，称为PSM模块(亦称计算机模块)。例如，美国Carnegie-Mellon大学所研制的Cm*多微处理机系统就是采用若干个计算机模块Cm (Computer Modular) 构成的。

采用以微处理机为基础的PSM(或Cm)模块来构成分布式计算机系统，具有以下优点：

(1) 设计简便，试制周期短，调整容易；(2) 具有良好的适应性和扩展性，可根据任务或数学模型编排出算法流程图，利用PSM (或Cm) 模块组织各种结构的分布式系统。甚至当计算任务改变时，可拆卸某些模块，配以其它功能的模块，重新组装系统，以适应新的任务，根据课题规模随时增减模块；(3) 结构紧凑，效率高。采用计算机模块Cm构成分布式计算机系统，执行并行处理和同时操作可以获得极高的运算速度，甚至可以完成现有的巨型机所不能胜任的运算。

本文将要讨论的树型结构分布系统也将具有上述模块特点。

4. 结构的标准化

自从有计算机历史以来，总体设计思想和设计原则都一直注意标准化和积木化，首先实现标准化的是存贮器。由于计算机体系结构不断演进，其标准化的内容也不断地创新。当前，我们讨论的一个问题是：“采用现成可用的市售的标准化器件(微处理机)，如何把他们放在一起构成一个强有力的分布式计算机系统？”Cm*系统模型首先回答了这个问题，接着出现了各种各样体系结构的分布式计算机系统，其中也有不带中央控制环节的纯分布式的计算机系统。例如，由英国伦敦邮政局研制成功的ACRE系统(整个系统包含15只intel8080微处理机)就是一个例子，由于采用纯分布式结构，因而具有极高的可靠性。

我们要讨论的另一个问题是：“如何设计一个标准化的单元部件(分布式系统中的“结点”)和互连方案，以构成强有力的分布结构的计算机系统？”本文新讨论的X树结构的“结点”(新的微型计算机模块)就是一种从系统需要出发而设计的标准化部件。

二、选用大型分布式结构应考虑的问题

采用微处理机构成大型通用的分布式计算机系统是当前计算机科学领域中一个具有广阔前景而又引人入胜的新课题。它的实质就是将超大规模集成电路(VLSI)技术应用于大型计算机系统的问题。而今，VLSI用于大型系统的困难是如何适应于大型计算机系统的复杂性和高速性？我们的回答是，采用合适的体系结构可以帮助解决这个困难。例如，本文讨论的树型结构就可以在一定程度上解决这个难题。这是因为：

第一，用单一模块(即计算机级模块)来实现适当的体系结构可解决其复杂性，尤其是硬件的复杂性。

第二，用这种模块加上合适的体系结构，以实现运算的并行性和操作的同时性(减少访问主存)，从而解决大型通用机的高速性。

这就是用集成度为每片百万个元件以上的VLSI器件来构成分布式计算机系统的关键所在。围绕这个问题需要考虑以下几点：

1. 微处理机芯片的引脚问题。

由微处理机构成的各种各样的分布式计算机系统或多微型机系统，不管采取什么样的体系结构，都要通过互连网络付诸实现，而这个互连网络就直接涉及到芯片（本文中每个芯片即为一个模块）的引脚数目。芯片的引脚数目受到工艺和技术限制，而且价格昂贵。一般地说，芯片复杂性（如所含管芯数目）随时间呈几何级数增长而芯片的引脚数目却不会增加太多。目前水平不超过80脚/片，八十年代预计达到100~120脚/片。从性能和器件成本来考虑，也不希望过多的增加芯片引脚数目。主要有以下几方面：

（1）引脚数目与芯片可靠性成反比，芯片失效的主要原因是引脚失效；

（2）芯片引脚数目愈多，其功耗愈大。因为总功耗的很大一部分消耗在低阻的引脚接口线路上；

（3）芯片引脚数目愈多，其引脚接口电路的驱动电流亦愈大，因而要占用芯片的很大一部分面积来安装驱动晶体管使得芯片有效面积减小（若扩大芯片面积，会使成品率下降）；

（4）芯片引脚数目愈多，其杂散电容愈大，由于这个杂散电容和片间距离使信号传输速度降低，所以应把尽量多的逻辑功能集成在一个芯片内，以尽量少地通过引脚连接，这也就是我们在紧耦合的分布式计算机系统中追求每个模块具有最大可能的集成度的主要原因；

（5）芯片引脚数目愈多，芯片价格愈贵。

总之，在考虑紧耦合的分布式计算机系统的体系结构时，应尽量减少芯片引脚数目，这是由多微型机构成大型通用计算机系统时要考虑的重要原则之一。

2. 尽可能地用硬件支持软件，以改变系统硬件成本和软件成本之间的比例。

目前的计算机系统中软件成本大大地超过了硬件成本。在由多个微处理机构成的分布式计算机系统中，这个问题尤为突出。因而用硬件支持软件（即软件硬化），改变系统的硬件成本和软件成本之间的比例，是当前计算机结构的一个明显倾向，这是要考虑的第二个重要原则。

3. 尽量用单一的模块（计算机模块）构成分布式计算机系统可以降低系统成本，有利于系统扩展、简化系统软件设计。并且希望接入系统中的微处理机的数目不受限制，随任务的增减可以添加和剔除微处理机。此外，还要求各模块能直接连接（既不用总线，也不用中央控制环节，以减少“瓶颈口”现象之弊端；且无主/从模块之分，以求接近于纯分布式的系统）。这是第三个重要原则。

4. 实现层次结构——第四个重要原则。

三、分布式系统的树型结构

把分级控制技术应用于分布式的多微处理机系统而形成了树型结构概念。整个树型结构的基本组成是由单一类型的微处理机模块直接连接而成的，其具体的设计要点如下：

1. 实现分级控制，其最高控制权处于“根”结点。

2. 系统中仅用单一品种的单片微处理机（实际上是单片微型计算机）模块，每一模块就是一个结点，由一个或二个芯片构成。

3. 每个结点兼有多种功用（中央处理单元、高速缓冲存贮器、存贮器控制器、通道控

制器和磁盘控制器等)。

4. 输入/输出设备连接在该树型结构的“叶”结点上。

5. 程序可在任何结点上执行,且可自动地分布在几个结点上。

对于二叉全环树而言每个结点可与其邻近的5个结点相互通信和交换信息。

6. 处理过程可移向数据源(不是将数据源移往处理过程)。

7. 在树型结构中所容纳的结点数目或称网络规模实际上不受限制。整个系统的有效带宽反比于结点数目的对数。

8. 能实现指令和操作数长度可变,并有相应的大容量虚拟寻址空间。

9. 只需局部信息的寻径算法。

10. 支持高级的程序设计语言。

11. 所配备的操作系统控制结构与网络结构形成明显的映照。

12. 适当增加附加链路,以提供单个结点或连路故障的容错性能。单个连线或结点失效时,整个系统不受影响。

基于上述设计要点,提出了一种X树型结构,它是分布式系统的体系结构的一个新的典型代表。通过进一步分析比较表明这是一种较好的分布结构。

四、树型结构与其它分布式结构的比较

概括地说,在多微处理机的分布式结构中可分为以下五大类:

(1) 共享主存的总线结构

(2) 采用纵横开关的网络结构

(3) n维立方体结构

(4) 近邻连接的阵列结构

(5) 簇总线结构

本文介绍的X树型结构既可视作簇总线结构的特例,亦可视为阵列的变形。现将各类结构分析如下:

1. 共享主存的总线结构

如所周知,采用这样结构的范例有IBM360/67和IBM370/168。通常,有2~3个处理机共享一个在单总线上的主存,为减少信息往复多次流通(traffic),一般采取多体交叉存取技术。为了避免总线上发生“瓶颈口”现象,常常限制处理机的数目少于4个,否则性能迅速下降,因而,这种结构无法构成大型分布式计算机系统,如图2所示。

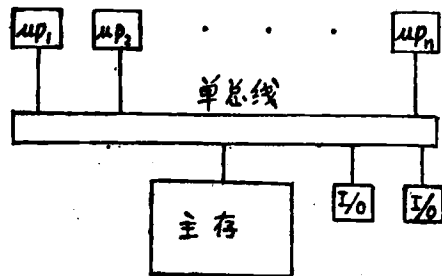


图 2

2. 纵横开关网络结构

采用这种结构的典型例子是Cmmp系统。该系统包括16台PDP-11处理机和16个64K字存储器模块。把这些部件都连到纵横交叉开关上,通过该开关使每台处理机都可访问任何一个存储器模块。这样,当每个处理机都可以动态地访问每个不同的存储器模块时,使系统可以同时执行16条指令。此外,纵横交叉开关还可以选择一台或多台处理机和存储器模块从系统中分离出来,也可以通过该交叉开关把分散的外围设备连接于处理机。通过“地址变换器”对共享存储器的所有访问加以地址变换,因为主存的地址空间远远超过PDP-11本身的存储容量。

采用纵横开关网络结构的重要意图之一就是解决总线结构的吞吐量受限制的问题,如图3所示。

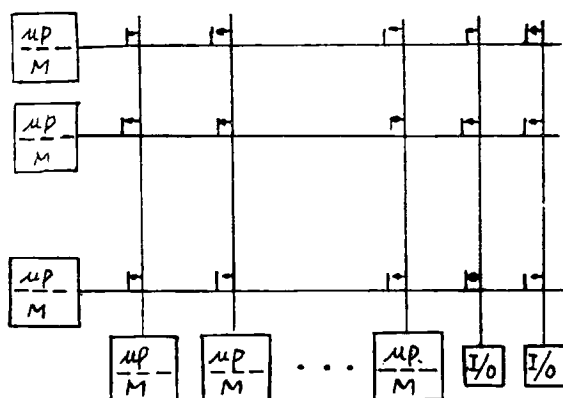


图 3

如所周知,开关网络是这种结构的关键部件,其价格昂贵,也限制了其性能、可靠性和扩展性。如 N 个微处理机和 N 个存储器模块,则需要 N^2 个网络开关部件。同时,这个开关网络难以用LSI器件实现,因而,采取这种结构只能有效地用于由几十个微处理机构成的分布式系统。

3. n 维立方体结构

n 维立方体结构可连接 2^n 个“微处理机/存储器对”。当 $n > 3$ 时,常称为超立方体(Hypercube)。一个3维立方体结构示意图如图4所示。美国哥伦比亚大学研究的一种“同性并行处理机”CHOPP系统,就是采取这种结构的;美国IMS公司研制的Hypercube I和II型系统也是采取这种结构的。

一般地说,这种分布式结构有以下要求:

- (1) 各微处理机间通讯是在冗余通路上进行的,无“瓶颈口”现象。
- (2) 由于两结点(立方体角顶)之间有多个路径,能忍受一些故障而不会使整个系统瘫痪。
- (3) n 维立方体—— 2^n 个结点——任何两结点间的通讯最大距离为 n 。
- (4) 随着结点数目的增加,要求结点的端口(Port)数目也增加,如 $n=3$ 维的立方体,有 $2^3=8$ 个结点,每个结点有3个端口。结点增加即意味着要求芯片的引脚数目相应

增加。

4. 近邻连接的的阵列结构

n 维立方体结构可以通过增加每维的结点数而展开，例如一个结点的组成可以映射为2维阵列，从而使每个结点的端口数限制在四个，如图5所示。

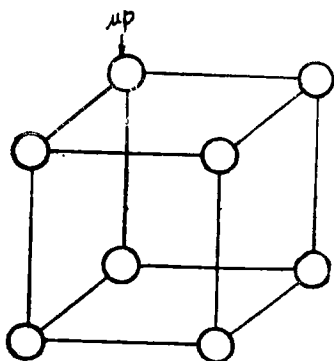


图 4

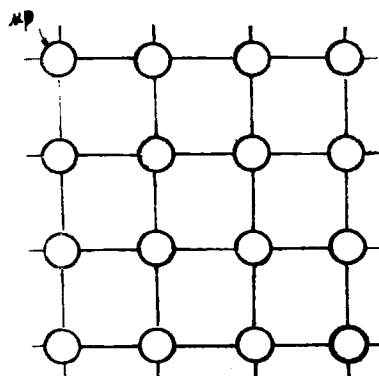


图 5

这就是说，结点增加时，每个结点的端口数可以得到限制。但最大通讯距离随结点的增多而迅速增大。如2维阵列，若系统内含有 N 个结点，其最大距离为 $2N-2$ 。

X树型结构为一种退化的阵列结构。

5. 簇总线结构

一般认为 C_m^* 系统是这种结构的典型代表，如图6所示，现简述如下：

C_m^* 系统的第一级是单个 C_m 模块级，其中包括一台LSI-11微处理器、一个配给LSI-11的本地存贮器、一个局部变换开关 S 和一些I/O设备。这就是PSM模块。开关 S 构成了该 C_m 与其余 C_m 的简单接口。

C_m^* 系统的第二级是由1~14个 C_m 模块构成的“簇”，在样机中共有三簇，其中两簇是由4个 C_m 组成的，一簇只含有两个 C_m 模块。每个簇内配备一个通讯用的共享地址变换和线路选择微处理器，称为 $Kmap$ 。各 $Kmap$ 之间可以彼此通讯，亦可与 S 开关通讯以便执行各微处理机的非局存访问。

C_m^* 系统的第三级是簇间通讯用的簇总线。当 C_m 数目不超过100台时，在总线中尚不会发生“瓶颈”现象。因为基于簇一级结构，在簇内一个微处理机要访问本簇中非局存时（数据的存取主要是局部性的），仅通过该簇内 $Kmap$ 和变换总线就行了，即可免于簇间总线的拥挤。由图可知，这种结构所包含的微处理机数目也有一定的限度，因而不能构成大型的分布式计算机系统。

X树型结构可视为簇总线结构的一个特例，但它没有费时、费钱的总线，系统只有单一模块 C_m ，而且在控制结构上有严格的层次。

现将X树结构与簇总线结构的具体区别说明如下：

(1) C_m^* 系统中的 C_m 模块是采用市售的现成的微处理机，而X树结构中所用的结点（模

块)是根据系统需要而设计的,每个结点由1~2片VLSI构成(每片的集成度达百万个元件)。

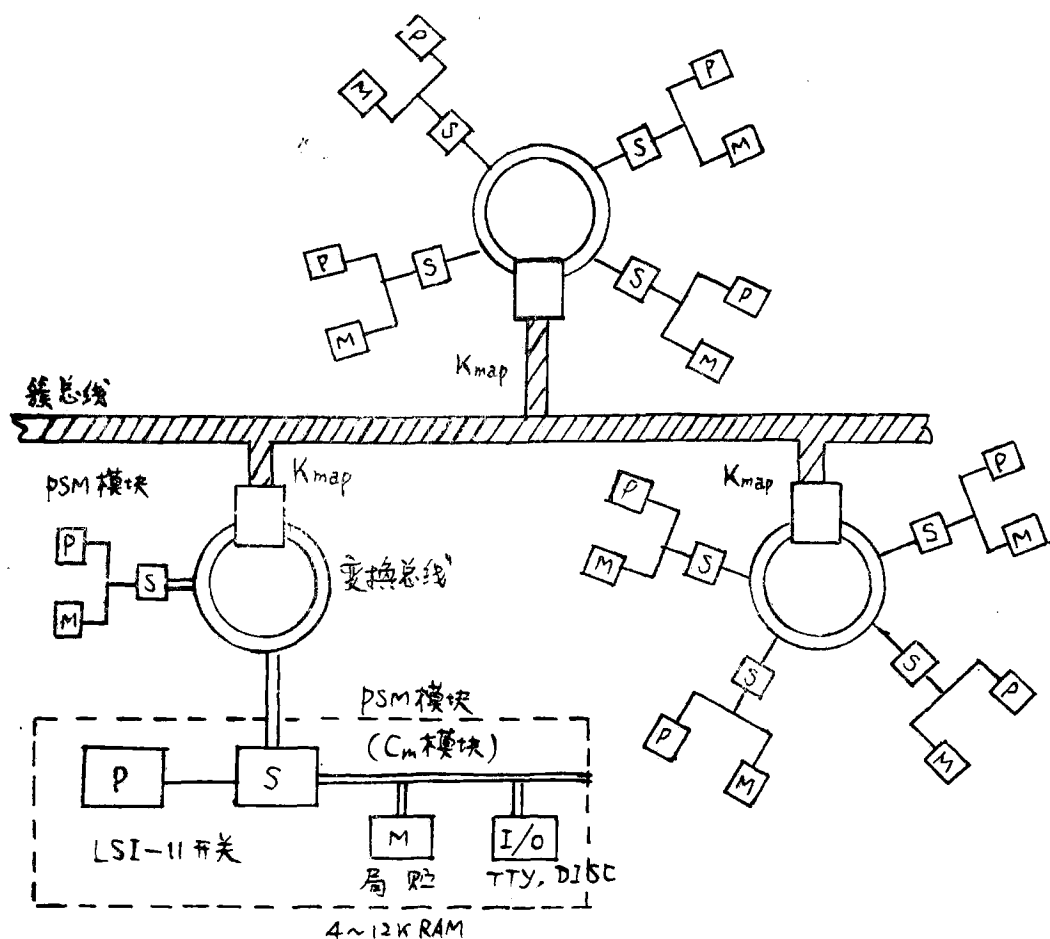


图6 Cm*系统

(2) Cm*系统用一个总线和总线控制器的体系结构;而X树结构是个分级的体系,可容纳几千个微处理机,且微处理机数目不受寻址方式的限制,并在各微处理机之间有专门的数据通路。

(3) Cm*的总线控制器是所谓S开关和Kmap,而在X树中每个微处理机有一个特殊的I/O控制器(缓冲器),使每个路径连接到微处理机上,这些控制器使信息通过树,且只涉及具有信息的那个微处理机。

(4) Cm*系统中,由于采用LSI-11型微处理机,只有较小的寻址空间;而“X树”结构的地址空间很大,其地址变换是在极大的地址空间内处理的。

(5)在Cm*系统中,应用ALGOL-68,而在X树结构中将采用最近形成的Moda.DOD

语言。

有人指出,“Cm是用七十年代技术构筑的;而“X树”结构则是用八十年代技术构筑的”。因此,本文重点介绍和探讨树型结构的各方面问题。

五、几种树型结构的性能分析

对这种树型结构的静态性能的评价方法是,假设在每个结点和所有其它结点之间建立一个信息,试算出:(1)每条信息通路的平均长度;(2)通过每个结点的平均信息数(即信息流量)。

现针对以下三种情况予以讨论:

1. 每个结点有3个端口的情况:

(1) 简单二叉树(亦可称二进制树)

这种树型结构无容错能力,因为两结点间不存在两条以上的通路,如图7所示。这是最简单的树型结构,假定“根”为 $n=0$ 级,整个树为 n 级,则整个结构含有 $(2^{n+1}-1)$ 个结点和 2^{n+1} 个端口,由“结点 i ”所产生的两个子结点的地址分别为 $2i$ 和 $2i+1$ 。在简单的二叉树中,由于两结点间无冗余链路,因而在数据交换过程中容易发生“瓶颈口”现象(例如,分析表明:在 $n=7$ 级的系统中,不到3%的结点数要执行大约35%的数据交换任务)。为了克服这一弊病,可在二叉树的基础上增添附加链路使数据交换通路增加,从而避免数据在通路中发生“拥挤”现象。此外,由于增添附加链路,也赋予容错功能,具有附加链路的二叉树如图8所示,图中为“全环二叉树”若省去虚线链路,则称为“半环二叉树”。

(2) 六角形树

在这种树型结构中,使其中一个结点区别于其它结点,与该结点距离相同的结点位于同一层次,如图9所示。在六角形树中,每个结点只有三个端口。六角形树是一家私人通信公司的Carlo Sequin提出的方案,这种结构比简单二叉树好在具有容错能力,每结点的端口数目不增

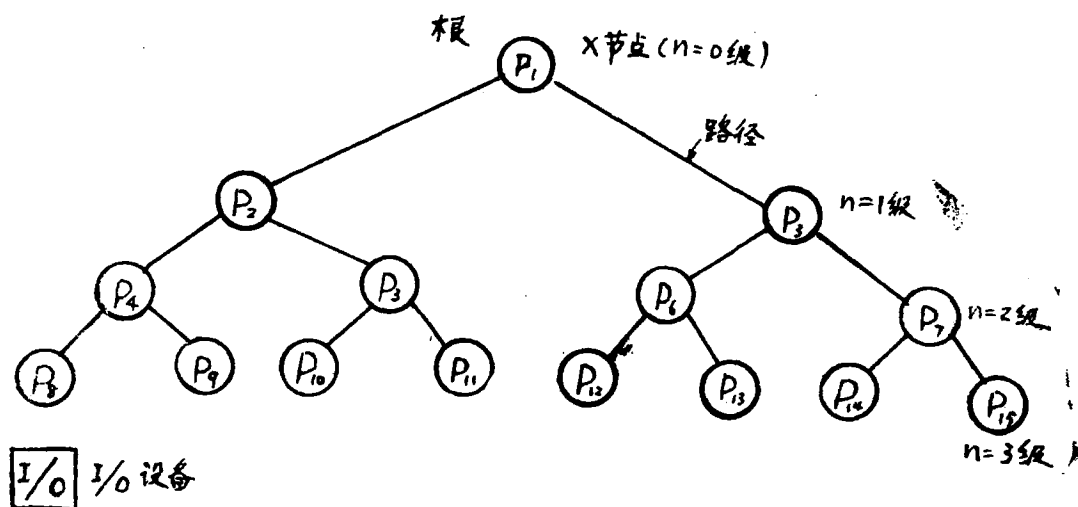


图7 简单二叉树结构

加。假定 $n=0$ 级，只有一个结点，其余各级（如第 i 级）则有 3^i 个结点，若六角形树的深

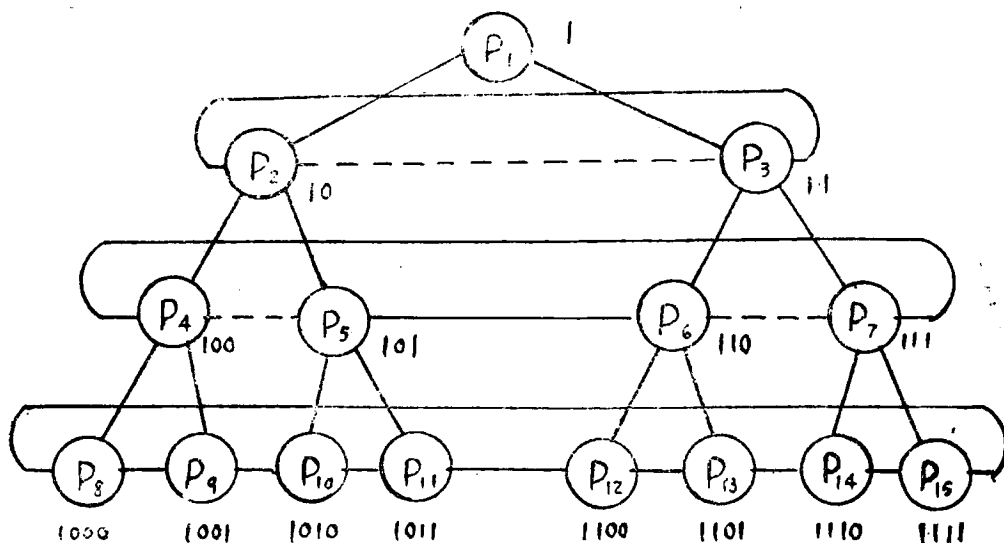


图8 具有附加链路的二叉树

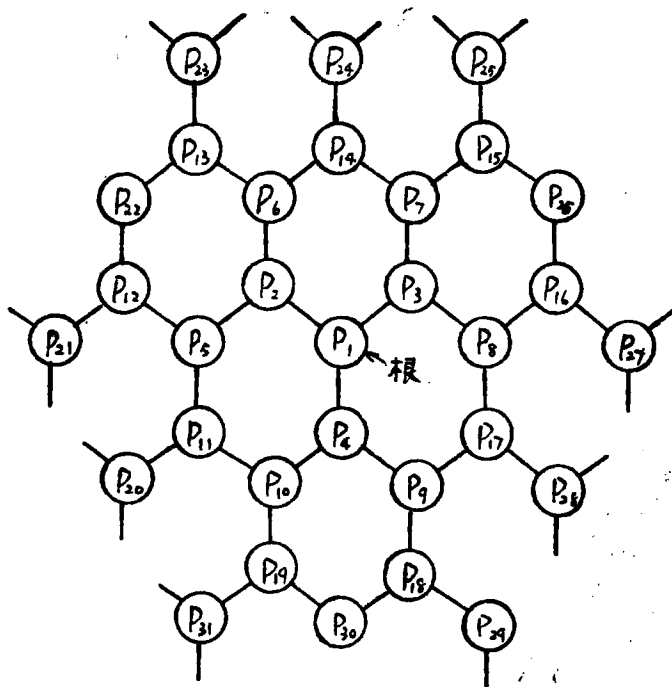


图9 六角形树