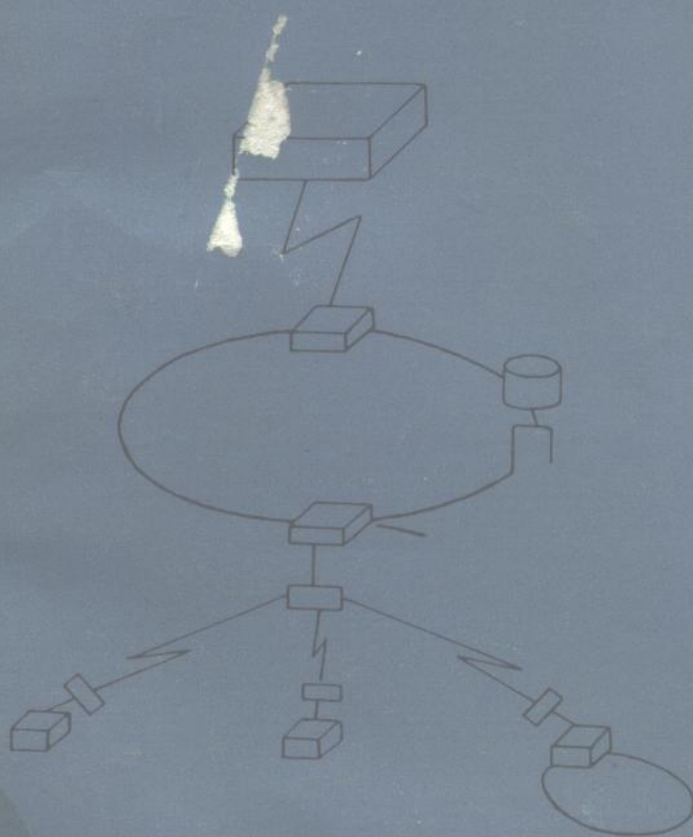


# 分布式处理系统

白英彩等编著



科学出版社

# 分布式处理系统

白英彩 等 编著

科学出版社

1987

## 内 容 简 介

本书是国内研究分布式处理系统方面的专著。书中阐述了当前计算机领域中最受重视、发展最快的分布式处理系统的基本内容；就多机系统、分布式计算机系统和局部网络的拓扑结构、典型应用实例的分析、设计和调试原则、当前研究的课题及发展趋势等若干问题作了详尽的阐述。全书内容包括：概论、共享存贮器结构、总线结构、分层结构、其他分布式结构、通信技术、分布式操作系统、应用实例、分布式数据库、局部网络和分布式程序设计语言等。此外，书末还汇编了分布式处理系统中的术语。

本书可供从事研制和应用微型计算机、小型计算机、局部网络、计算机辅助企事业管理、办公室自动化和生产过程控制等方面的科技人员阅读，亦可供高等院校、中等专科学校计算机及其他有关专业的师生参考。

## 分 布 式 处 理 系 统

白英彩 等 编 著

责任编辑 孙月湘

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987年3月第一版 开本：787×1092 1/16

1987年3月第一次印刷 印张：31 3/4

印数：0001—3,500 字数：740,000

统一书号：15031·788

本社书号：4777·15-8

定价：7.40元

0880178

## 前 言

由于分布式处理系统还是近年来在计算机领域中刚刚崛起的一支新秀，因而具有不少“发展中的”特点，就连分布式处理系统的名称和定义，也还处于“众说纷纭”之中。然而，这并不妨碍它的飞速发展。我们相信，象许多其他新的学科一样，待它发展到一个相当成熟的阶段之后，其定义、概念、内容、发展方向和典型应用系统均会逐渐明朗。

七十年代初期，正值小型计算机的发展处于鼎盛时期，各种微处理机又相继问世，而且发展极为迅速，再加上这个时期的数据通信技术和并行处理技术、分布处理技术和分布式控制技术的出现与发展，都为构筑小型和微型计算机分布式系统提供了物质和技术基础。因而，使分布式系统在近年来获得了迅速发展，并展现了广阔的前景。

当今，从事计算机事业以及与计算机应用密切相关的人们，不可不了解一些分布式处理的基本知识，正是为了这一目的才编写了这本书。书中既没有大量的旁征博引，也没有艰深难懂的理论推导，而主要是从工程上的实用性出发选出一些具有典型意义的分布式处理系统加以分析、归纳，以此作为本书的基本内容。

在编写本书的初期，承蒙李三立教授和于万源高级工程师的关切和鼓励；在编写过程中先后参加工作的有荣同致、夏川江、顾全、沙军、程杰、刘家鑫、戴家林、刘同陆、汪国民、华晓兵等同志。在本书付印之前，承蒙邱百光教授和栾贵兴副研究员悉心审阅了书稿并提出了有益的意见和建议。在此一并表示深切谢意！

由于作者学识浅陋，加之时间仓促，书中难免有错误和疏漏之处，恳请读者不吝指正。

编著者

1984年3月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 概论</b> .....	1
1.1 多机系统概述 .....	1
1.2 分布式处理系统的概念 .....	39
1.3 分布式处理系统的系统结构 .....	43
1.4 影响系统结构的因素 .....	54
1.5 系统设计的若干问题 .....	55
<b>第二章 共享存储器结构</b> .....	64
2.1 共享存储器结构的几种互连方案 .....	64
2.2 具有分时公共总线的共享存储器系统 .....	65
2.3 多口共享存储器系统 .....	80
2.4 虚拟共享主存系统 .....	84
2.5 邮箱共享主存系统 .....	96
2.6 共享主存结构的通信软件 .....	97
<b>第三章 总线结构</b> .....	103
3.1 概述 .....	103
3.2 总线仲裁器 .....	104
3.3 总线的集中控制与分散控制 .....	107
3.4 系统举例 .....	126
3.5 MULTIBUS和总线仲裁器8289.....	138
<b>第四章 分层结构</b> .....	147
4.1 概述 .....	147
4.2 树形结构的探讨 .....	153
4.3 分层结构实例 .....	172
<b>第五章 其他分布式结构</b> .....	178
5.1 全互连及局部互连结构 .....	178
5.2 星形结构 .....	185
5.3 环结构 .....	189
5.4 分布式双环系统实例 .....	202
5.5 分布式结构小结 .....	213
<b>第六章 分布式系统的通信技术</b> .....	215
6.1 分布式系统的通信技术概论 .....	215
6.2 网络通信技术 .....	217
6.3 报文及报文分组交换 .....	227

6.4	通信系统的互连网络 .....	236
6.5	通信的多级互连网络及子网络 .....	239
6.6	信息通信的硬件实现方法 .....	257
6.7	数据传输技术 .....	258
6.8	调制技术与调制解调器 .....	262
6.9	数据链路控制 .....	266
6.10	通信控制规程 .....	273
<b>第七章</b>	<b>分布式操作系统</b> .....	<b>281</b>
7.1	集中式和分布式操作系统的概念 .....	281
7.2	分布式操作系统的设计原则 .....	283
7.3	分布式操作系统的实现和环境 .....	284
7.4	分布式操作系统的示例及其分析 .....	296
7.5	程序间通信 .....	300
7.6	系统死锁及其防止措施 .....	301
7.7	MICRONET分布式操作系统的研制 .....	304
7.8	UNIX 扩充改造为分布式操作系统 .....	312
<b>第八章</b>	<b>分布式系统应用实例</b> .....	<b>317</b>
8.1	HXDP型实验性分布式处理系统 .....	317
8.2	用于银行事务处理的分布式计算系统 .....	320
8.3	C系统 .....	324
8.4	用于信号处理的多小型计算机系统 .....	326
8.5	S-1系统 .....	335
<b>第九章</b>	<b>分布式数据库系统</b> .....	<b>353</b>
9.1	概述 .....	353
9.2	分布式数据库实例 .....	355
9.3	分布式数据库系统的应用举例 .....	360
<b>第十章</b>	<b>计算机局部网络</b> .....	<b>365</b>
10.1	概述 .....	365
10.2	局部网络技术 .....	367
10.3	几种流行的局部网络 .....	372
10.4	局部网络的实例 .....	387
10.5	发展局部网络的若干技术问题 .....	428
<b>第十一章</b>	<b>分布式程序设计语言</b> .....	<b>433</b>
11.1	Modula-2语言 .....	433
11.2	Edison语言 .....	458
附录	分布式处理系统中的术语 .....	461
参考文献	.....	499

# 第一章 概 论

## 1.1 多机系统概述

### 1.1.1 当前计算机体系结构学的特点

电子计算机的多机系统和计算机系统的多机结构是当代计算机体系结构学的主要内容，而多微计算机系统和多微处理机系统又是其中的一种主要结构形式。

所谓计算机系统结构或者说计算机的体系结构 (Computer Architecture)，就是从计算机硬件和软件的总体设计角度出发，运用功能部件（如处理机、存储器、外部设备等）和指令系统、编址方式、中断系统等功能描述手段来研究组织计算机系统的一门学科。

近四十年来，计算机的发展历史表明，一般地说，基本逻辑电路和存储器硬件等是提高计算机速度，改善其性能的物质条件。在前几代计算机的发展过程中也证实了这样一个结论：大约每六、七年更新一次元器件，随之出现一代新的计算机，其速度都要比前一代提高十倍至几十倍，成本和体积大幅度下降，可靠性也显著提高。

但是，近年来逻辑电路速度的提高不如以前那么快，有越来越困难的趋势。表现在电路提高的倍数小于整机所提高的倍数。有人指出，“为了提高大型处理机的基本速度，计算机技术似乎又达到向小型（微型）计算机方向发展的转折点。无论硬件技术进展如何，历来都希望改进系统结构以提高速度、性能及灵活性”。特别是微处理机  $\mu P$  出现以来，更加具备了研究多机体制的物质条件。

对近年来电子计算机的现状分析表明，改进计算机体系结构能大大地提高计算机的速度，它比提高电路速度的收益和效果更为显著。例如，IBM 370/195 计算机若只靠提高电路速度的办法，只能比 IBM 360/65 快 3.7 倍；而靠改进体系结构的办法，则可提高 12 倍。又如 CDC 公司的 STAR-100，若单靠提高电路速度的办法只能比 CDC-7600 快 1~2 倍，但由于采用了改进体系结构的办法，使之总速度提高 5 倍。这有力地说明了现代电子计算机已发展到只靠“逻辑电路”在速度方面挖掘潜力是颇为困难的，常常是事倍功半，而改进计算机体系结构常常获得事半功倍的显著效果。

下面就来谈谈计算机体系结构的演变过程。

为了进一步说明研究现代计算机结构，特别是多机系统的必要性，在这里，不妨简单地回顾一下计算机系统结构的逐代演变和发展过程。电子计算机已经历了几代更新，其系统结构也相应地经历了几代演进。

早期的计算机采用冯·诺依曼 (Von. Neumann) 结构，即把构成计算机的运算器、控制器、存储器、输入和输出设备五大部件按“串行”原则组织起来，有人把它称为“五官”计算机。这种体系结构在输入时，信息通过运算器和控制器（称运控部分为中央处理部件，简称 CPU）；输出时，内存存储器的信息也要经过 CPU 再传到外部设备输出出去，而且每当输入、输出时，计算机皆要停止运算过程，反之亦然。显然，这种以

CPU为中心的第一代体系结构的效率低、速度慢，而且人机联系既直接又密切（原始化操作）。

伴随第二代计算机的诞生，也相继出现了第二代体系结构，它摆脱了以CPU为中心的结构，代之以存储器为中心的结构。在第二代体系结构中引进了“通道”部件，使CPU和外部设备的关系疏远了，进而实现两者“同时”操作的目的。因而，解决了慢速I/O设备与快速CPU之间的矛盾。在内存与外部设备之间开辟了数据的直接传输通路，在传输数据时不再干扰运算器。这在结构上是一个极大的进步。但是，在传输数据时，仍脱离不开控制器对I/O的管理和干预。特别是运算器和I/O设备有可能同时访问主存时，仍有“排队”等待的问题。

约在六十年代中期出现了第三代体系结构。这时仍以主存为中心，但把CPU、通道设备（特别是广泛使用的DMA通道设备）或I/O处理机（或称外围处理机）都连接在内存总线上，普遍采用了多总线或单总线结构。在这时，把计算技术和通讯技术结合起来，用通讯线路把多台计算机远程终端设备组织起来构成计算机网络。但是，在第三代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。

计算机的第四代体系结构是七十年代初期才兴起的，它打破了传统的单处理机的局面，而从分布式计算的概念出发来组织计算机系统、多处理机系统或多计算机系统（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）。

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，是设计上述多机系统的前提条件，据此设计了各种各样结构的多机系统，诸如多计算机系统、多处理机系统（流水线结构的多处理机系统、阵列式多处理机系统以及“联合”式多处理机系统）等。

有人预言，多机分布式结构的发展可能是经典大型通用机时代的结束。近年来计算技术的发展趋势亦初步证明了这一预见的正确性和科学性。

应当指出，在计算机体系结构中，并行处理技术和流水线处理技术都曾占有一定地位，它们都是把主要注意力集中在有效地利用硬件资源方面。LSI技术的发展，促进了 $\mu P$ 和 $\mu C$ 的急剧发展，其价格下降到不再是系统价格的主要部分的程度。至此，软件的研制费用反而是值得注目的了。这时采用并行处理程序的结构已成为经济上的限制因素。当前，可以有效地利用同时操作的多微处理机的群机系统。这是寻求更为合理的系统结构，大幅度地提高计算能力的有效途径。由于持有这种见解的人为数不少，因而在微处理机问世之后，纯属于典型的分布式阵列处理机系统和流水线结构的多处理机系统为数不是很多，而那些有各种各样互连结构的所谓“联合”式多处理机却占有多数。因此，本书将着重后一种情况加以详细叙述。

尽管在用什么结构或用什么方式去组织多处理机构成群机系统方面有争论，甚至是显然对峙的观点和作法，但在这方面是很少有人持异议的，那就是第四代体系结构将是多机系统为主要结构形式。正如H.S.Stone所说，“八十年代的计算机体系结构应该是多个处理机的综合，其中有一些处理机作为解算串行问题；另一些用作解高度并行迭代性问题。各处理机之间应高度地重迭操作，以便达到多个ALU的运算速度。在那时，可能会出现既有向量处理功能又有多重处理功能的体系结构。当需要处理互不相关的运



算时，多处理机可彼此脱开而‘单干’；当需要进行复杂的向量运算时，这些多处理机就能联合在一起，由指令同步发挥向量运算的效率。”

有人指出，八十年代计算机网和计算机系统结构更加密切，甚至象IBM公司宣称的那样，未来的计算机体系结构竟为网络体系结构。当然，那时的处理机主要是单片微处理机或单片多微处理机。

在这里，可以举出日本东京电子试验室最近研制成功的新式多微处理器阵列“ANMA”系统的例子来说明H.S.Stone所描述的那种计算机体系结构即将出现的兆头。ANMA系统力图克服单指令流——多数据流（SIMD）阵列处理机的“四邻”关系固定连接不变、数据通路固定不变和局部操作功能薄弱等缺点，并赋予新的特点：1) 只要增减与某阵列单元处理器（AUP）左右相邻接的AUP的数目，即可获得可变字长（VWL）；2) 在AUP内部采用对数结构传输（LST）；3) 具有局部可选微指令流，实行了灵活的并行处理。

有了上述三个特点，使得原来在结构上显得死板的高速大型阵列处理机变得灵活起来了。在此基础上再经改进就很可能实现那种既可单独处理又能“联合”处理的理想结构。

ANMA系统的组成部分是：作为主机的是INTEL8080，另由微处理机构成的16个AUP，4K字控制存储器，每个AUP附有4K字节RAM，可直接扩充系统。每个AUP为8位字长，根据微程序修改可变字长标志VWLF的内容，可将阵列处理机动态地组成所希望的字长。此外，为了满足N倍字长的加法操作而传送相应的进位位速度上的要求，还采用了可变时钟结构。

该系统所具有的灵活可变的逻辑结构，使整个系统每秒钟执行 $3.3N \times 10^6$ 次加法。如果AUP的数目为 $N=16$ ，则系统每秒可执行5000万次加法操作。该试验室目前研制了用于图形/矩阵处理的具有几百个AUP的大型阵列系统，例如 $N=300$ ，其加法操作可达每秒10亿次。串行对数结构的传输速率是 $1.1N \times 10^6$ 字/秒。

通过ANMA系统的例子可以预见，不久将可以出现更为灵活的阵列式处理机系统结构，即高效、高速而充分利用资源的极合理的体系结构。

ANMA系统还启发了人们可以充分利用现有的短字长的微处理机，只要在系统中“结合”起来，就可以获得多倍字长的数据处理的效果。

随着微处理机的出现，人们愈来愈关心用微型计算机来建造或取代大型计算机结构。除上述例子外，英国Manchester大学的CUBY-M机、Sussex大学的POLYPROC机、德国SIEMENS公司的SMS机等各种多机系统的研究都紧紧围绕着两个方向：1) 互连多个微处理机构成一种大型或巨型通用计算机；2) 为适应特殊环境构成一种专用计算机。

综上所述，从系统结构学的角度来看，第四代体系结构的核心内容是计算机系统的多机结构和多机系统，而多微机系统又是其中的主要结构形式。正如外刊宣称的那样，“将来的通用计算机将由很多专用微处理机群来构成”。

我们还可以就“ $\mu P$ 本身是一种新器件”的意义来说明这个问题。 $\mu P$ 的继续发展，其功能越来越接近于小型计算机的处理机及其系统。正如A.S.Cowan所说， $\mu P$ 可在阵列中非常有效地工作，这是一个重要方面。它本身不应被用来代替计算机，而更适于作

为逻辑积木块。由于技术上的限制， $\mu P$ 还没有在各方面均接近于装在机架上的常规主计算机的处理能力，也许根本接近不了。只有研制出一种使 $\mu P$ 有效地用于硬件系统，且成为其基础的计算机体系结构，而这种体系结构就是模块（微处理机）重复构成的。基于这个意义， $\mu P$ 只有运用于多机系统中才能发挥它的“小巨人”作用。

A.R.Rcichert进一步指出，“广泛采用 $\mu P$ 作为系统元件，而不是作为独立的小计算机用。单独一片 $\mu P$ 在结构上是不完整的，用处甚小，可是设计多 $\mu P$ 的系统，便在许多领域中获得普遍应用。这种系统与传统方法相比，性能有明显改善。例如，虽然Wordplex系统只不过是双微处理机系统，但该系统的成就是用 $\mu P$ 部件构成了功能很强的专用处理系统，而单独的任何 $\mu P$ 本身皆不能具备所需要的特性”。例如，因为单个 $\mu P$ 的地址空间有限，对其软件质量要求极为苛刻，且软件昂贵。如能多用些廉价的硬件—— $\mu P$ ，构成多 $\mu P$ 系统，就可降低对软件的苛刻要求。同样，单个 $\mu P$ 的字长短，而一旦构成多 $\mu P$ 系统，采用可变字长结构，便可以改变这种固有的缺点。

### 1.1.2 多微机系统的梗概及其分类

多微机系统来源于中小型计算机的多机系统，或者说前者是以后者为技术基础发展起来的。因此，从概念上去理解它们将有共同之处。

R.L.Grimsdale在《多微处理机系统设计》一文中把各式各样的多机系统大致归纳为以下三类：

- (1) 阵列处理机系统；
- (2) 多计算机系统；
- (3) 多处理机系统。

暂且接受这样的看法，依序简单说明如下：

#### 阵列处理机系统

阵列处理机是多计算机系统的一种特殊情况，更确切地说它应属于多处理机系统的一种特殊情况。因为这种系统要求每个处理单元PE是一样的，按照严格的矩阵规律组成方阵结构，每个处理单元PE是由处理部件P和局部存储器S所构成的。在计算时，处理单元PE既可向自己的局部存储器S进行存取，又可向其四邻的 $PE_1 \sim PE_4$ 中的 $S_1 \sim S_4$ 等模块进行存取。此外，每个PE可以向公共的数据库进行存取，这种操作是由一个地址通路(Highway)控制的，而通路亦可由一个专用的计算机来控制。处理单元PE的组成及其相邻部分的示意图如图1-1所示。

阵列处理机主要用于适合作并行计算的场合，要求对并行数据流顺序地执行相同的指令流，主要是算术运算，诸如解偏微分方程等。SOLOMON计算机(1962年)为实现这种并行计算奠定了基础，它随之成为著名的ILLIAC-IV巨型计算机(1972年)的先驱。

众所周知，二维阵列式处理机的典型代表可推ILLIAC-IV，如图1-2所示。从PE阵列示意图中可以看出，每个PE可向其上下(相对号码 $\pm 8$ )和左右(相对号码 $\pm 1$ )的四个PE传输数据，亦可由公共控制器直接向各PE传输数据。每个PE有一个局部存储器(2K $\times$ 64位，RAM)。全机有64个PE。每个PE的处理能力约300万次/秒。总处理能

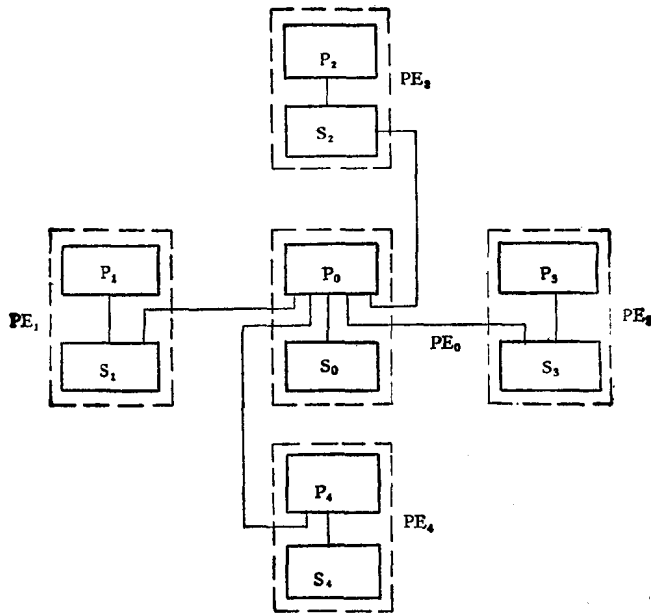


图 1-1 处理单元PE及其邻接

力约 1 亿 2 千万次/秒。

值得指出的是，在研制ILLIAC-IV机的初期，只能采用每个芯片 4 个门电路的 SSI 集成电路，连MSI电路都不能付诸实用。而今，有了成千上万的 $\mu P$ ，可以很方便且经济地构成各种各样的阵列处理机。这里可以以英国ICL公司研制的分布式阵列处理机 (distributed array microprocessor, 简称DAP) 为例，说明由 $\mu P$ 构成阵列处理机的一般情况。

ICL公司的 $32 \times 32$ 阵列试验样机的每个处理单元PE的结构如图 1-3 所示。

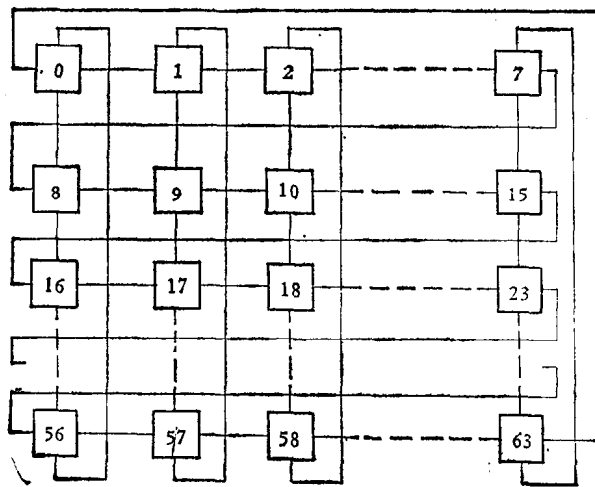


图 1-2 ILLIAC-IV机PE阵列示意图

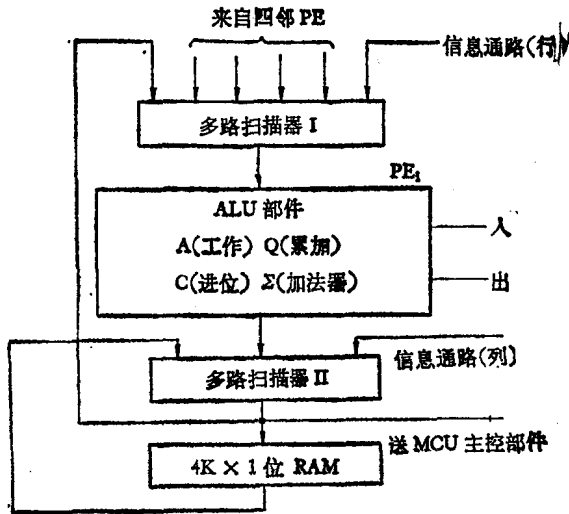


图 1-3 ICL公司阵列机的PE单元框图

在PE框图中，包括有：1) 多路扫描器 I (对ALU的输入进行扫描，或者是被存取<sub>i</sub>的PE<sub>i</sub>的输出，或者与PE<sub>i</sub>相邻接的上、下、左、右四个PE的输出)；2) 多路扫描器 I，它的输入可能是PE<sub>i</sub>的输出、ALU的输出或存贮器的输出，它的输出送到存贮器，其它PE或MCU部件；3) 在ALU内有一个一位寄存器A (“工作”控制)、Q (累加器)、C (进位) 和一个一位加法器Σ；4) 局部存贮器容量为 1024×1 位，从纵横两个方向读出数据。在系统中按位计算，整个系统含有 32×32=1024 个 PE 部件，它们都是在主控部件MCU的管理、控制下进行工作的，MCU的简单结构如图1-4所示，其中有 8 个通用寄存器M<sub>0</sub>~M<sub>7</sub>，用以保存指令或数据，指令缓冲器可暂存多达 15 条指令。可沿行或列信息通路与PE阵列交换数据。MCU对指令进行译码，而PE不能识别指令。

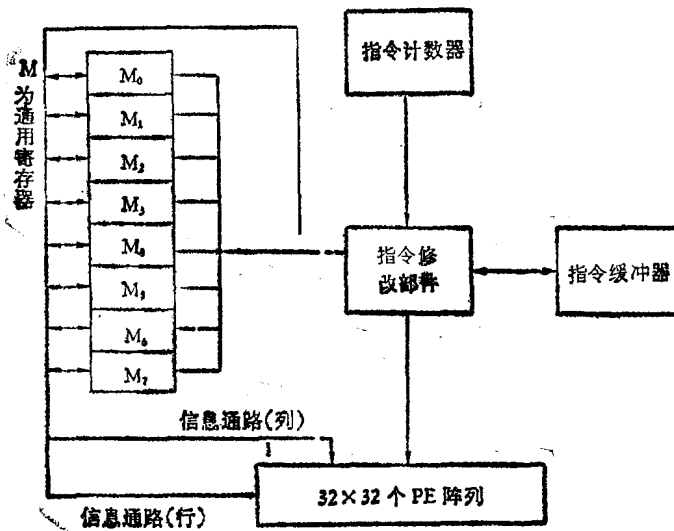


图 1-4 MCU主控部件结构框图

32×32阵列的DAP的处理能力对于一些简单操作而言，它比常规计算机快一个数量级。该系统配备有Host（主机），可用FORTRAN语言为阵列机配备DAP-FORTRAN语言，几乎所有的算法皆可用它写出来，并在DAP系统上执行。此外，亦可用汇编语言写成求解某些问题的子程序。如FFT子程序32位浮点（包括重新定位），1024点复数，在该DAP系统上执行时间为14ms。矩阵乘（32位浮点，32×32矩阵）在DAP系统上执行时间为16ms。

有人把阵列式处理机系统按其处理单元PE的功能加以分类为：

（1）高级阵列结构：其中每个独立的处理单元的功能可用指令系统或其它“系统”定义来描述；

（2）低级阵列结构：其中每个独立的处理单元的功能可用适当的逻辑方程描述。换言之，主要是对数据位线性阵列进行运算或求解。

### 多微计算机系统

在概念上，多微计算机系统和多计算机系统是一致的。R.L.Grimsdale认为，多计算机系统只不过是阵列处理机的一般情况，它已不限于邻近的各计算机（或各处理单元）的互连了，具有各种可能的互连方案。两台计算机之间的通讯不是直接连接，而是通过一台或几台中间计算机。这种配置与数据通讯中的组合开关网络技术极为相似。

与多处理机系统不同，多计算机系统没有集中的操作系统，且对几条输入流进行运算。

在多微计算机系统中，每台 $\mu C$ 可以控制一个处理进程（例如控制快速响应中断的处理进程）。最理想的是每台 $\mu C$ 执行某一专门的任务，从而使得各 $\mu P$ 间交换的数据量相对于系统的总数据量来说是很少的。换言之，每台 $\mu C$ 在系统中可以独立进行运算。一般说来，各个 $\mu C$ 之间很少有互相依存关系，当某台 $\mu C$ 中的 $\mu P$ 超负荷时，其它 $\mu P$ 都无能为力，不能分担（除非特殊考虑）。每个 $\mu C$ 的软件可根据其承担的任务进行最佳编排。

有人把多微型计算机系统称为分布智能的微型计算机系统(Distributed Intelligent Microcomputer System, 简称DIMS)，并认为：1) 系统可采用模块形式；2) 每个子系统硬件兼容，而软件可由用户根据需要编制，具有故障弱化能力，提高了系统可靠性；3) 在DIMS中每个子系统是面向I/O的；4) 设计得好，DIMS的总吞吐能力接近于各 $\mu C$ 吞吐能力的总和。

### 多微处理机系统

多微处理机系统在概念上与多处理机系统是一致的。

不言而喻，在多处理机系统与多计算机系统之间有许多相似之处，因为两者的基本目标是相同的，那就是都支持系统中的并行操作。事实上，多计算机系统与多处理机系统两者的区别往往不那么明显，在许多场合“多重处理”这个术语经常用得不恰当就说明了这一点。

由于经常把多处理机系统和多计算机系统混为一谈，这里有必要在概念上加以澄清，以便进一步叙述其它内容。

为此，我们首先弄清楚“处理机”的定义。一般地说，把处理机定义为“能译码和

执行指令的部件”较为贴切。据此，就可以把多ALU的处理机系统和多处理机系统加以区分开来。例如，具有10个ALU部件的CDC-6600系统，它不能真正作为一个多处理机系统。因为10个ALU“支持”一条指令流，而多处理机系统中每台处理机各自“支持”自己的指令流。

那么，多处理机的定义又是怎样的呢？美国ANSI（美国国家信息处理标准词汇）把多处理机定义为：在集中控制下使用两个以上处理机的计算机。在这个定义中还蕴含着重要的两点：首先，多处理机系统必须使所有的处理机直接共享主存，使所有存贮器和处理机的组合共享系统I/O设备；第二，系统中任何一台处理机可以控制系统中的其它处理机。而且交互作用的级别十分灵活，它不象在多计算机系统中那样必须以完整的文件或成批数据实现交互作用，而是既可以以文件、成批数据，亦可以一个数据单元实现交互作用。概括起来，多处理机系统应有以下四点：

(1) 多处理机系统中包含两台以上能力相近的处理机，且彼此可以交换数据。

(2) 所有处理机均能共享主存；

(3) 所有处理机能共享I/O通道、I/O设备和控制部件；

(4) 整个系统由一个操作系统来集中控制，用以在作业、任务、作业步、数据单元等各种级别上实现处理机及其程序（进程）之间的交互作用；由操作系统负责分配系统所有硬件资源。

根据这样的定义和概念，人们认为由美国Carnegie-Mellon大学所研制的C.mmp系统是一个典型的多处理机系统（其中包括16个PDP-11处理机和16个存贮箱），而由该大学最近在C.mmp成功的基础上，利用多微处理机构成的Cm\*系统是属于典型化的多微处理机系统（关于该系统的详细情况将在后面介绍）。

构成各种各样的多处理机系统主要有处理单元、开关和通信线路三种部件。处理单元（PE）为“处理机-存贮器对”，即是构成多处理机系统的最小结构；开关部件则实现诸如路径选择等中间通信功能，它可以包含一个或多个微处理机。在开关中的微处理机只用于控制多机系统的互连通路而不参与计算；通信线路用于构成多机系统互连网络的通路。它既可以是串行的，亦可以是并行的。

有人根据多微处理机系统中的处理单元是否对称，又把系统分成以下两类：

(1) 对称式多微处理机系统。它是由功能相同和硬件结构相同的处理单元构成的网络，其中每个处理机作为不可分配的系统资源。

(2) 不对称式多微处理机系统，其中每台微处理机都有它自己专用、固定的处理功能。例如在系统中，一台 $\mu P$ 专门执行算术运算、浮点运算或特殊运算；一台 $\mu P$ 专门管理和执行所有I/O操作；一台 $\mu P$ 专门用于维护外存、文件等。这样的系统能够作到充分发挥硬件资源的效率。

对于多微处理机系统可以有多种多样的归纳分类方法，如可以从工程实践的角度出发，按系统中各处理单元间的通讯方式或互连方式进行分类的就有如下十种：

(1) 线性一维阵列；

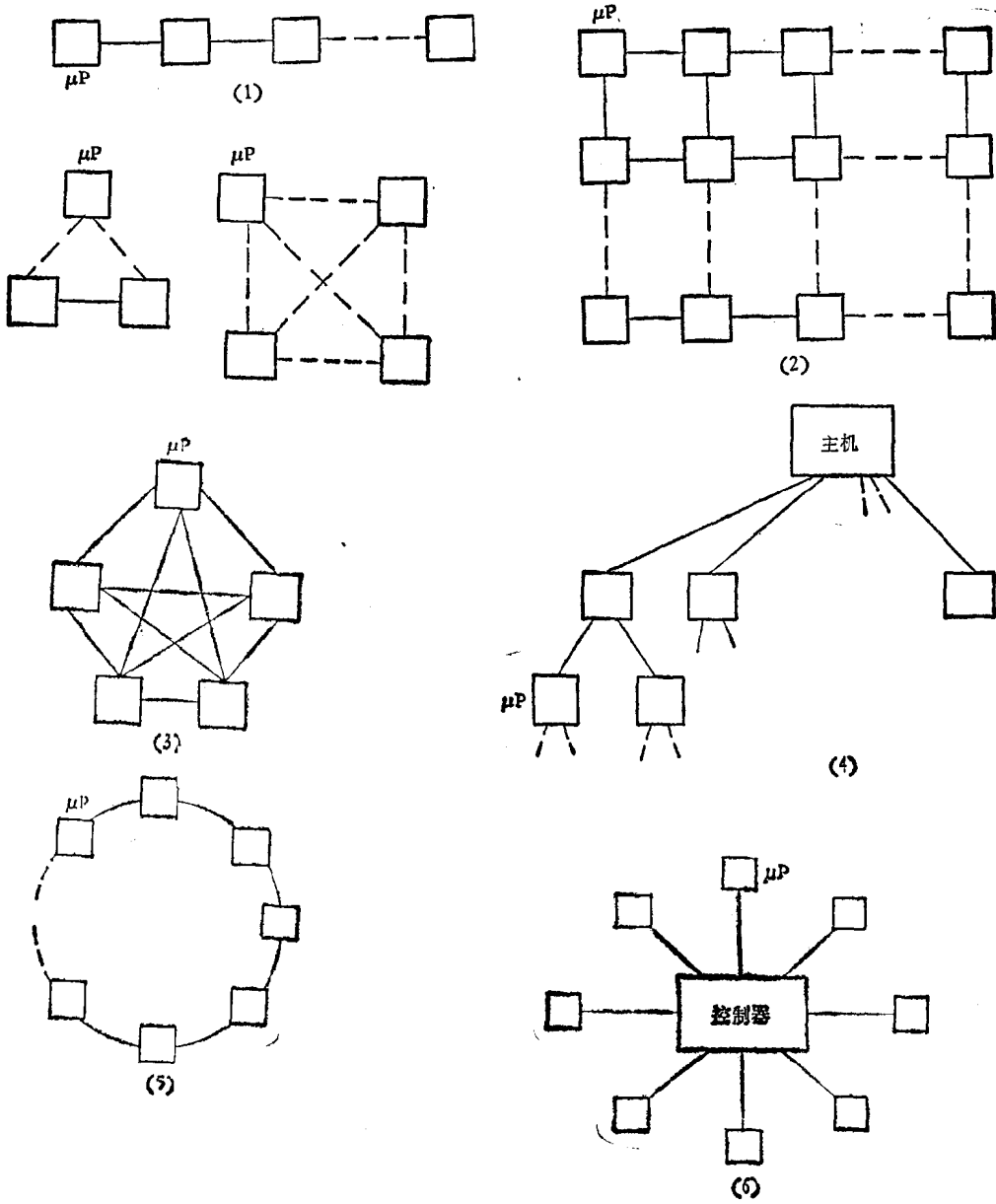
(2) 线性二维阵列；

(3) 全互连式；

(4) 树形结构（或塔式分级结构）；

- (5) 环形结构;
- (6) 星形 (或辐射形) ;
- (7) “车轮” (Cartwheel) 形结构;
- (8) 单总线结构;
- (9) 多总线或交叉开关;
- (10) 多口主存式或带有公用硬件的分布式结构。

上述十种结构形式的简图如图1-5所示。



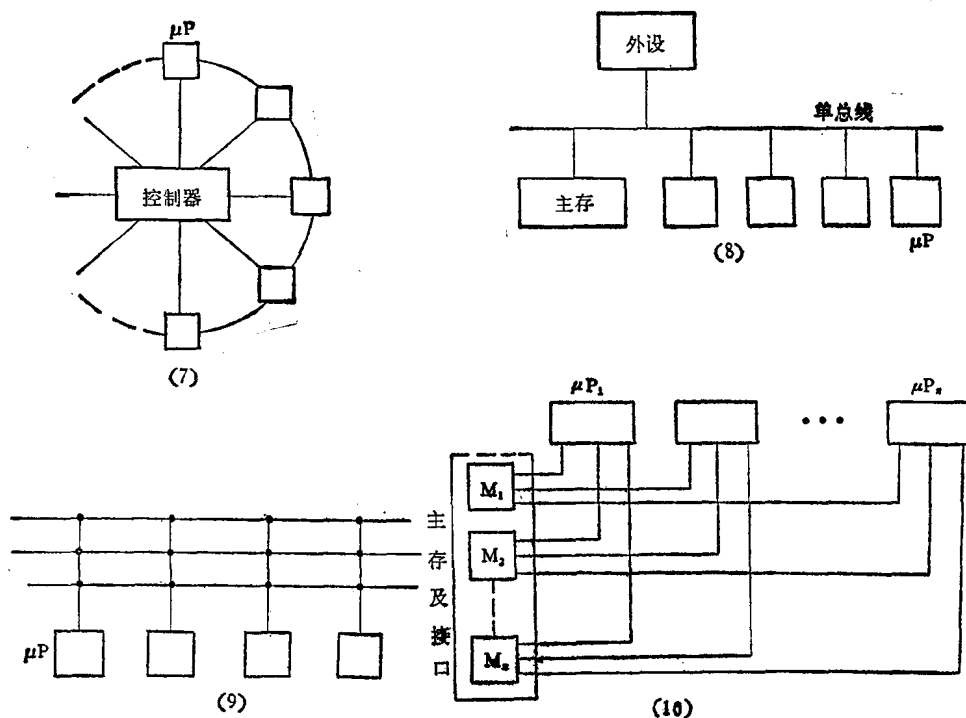


图 1-5 多微机系统的各种互连结构

1966年, M. J. Flynn提出按指令流 (Instruction Stream) 和数据流 (Data Stream) 对计算机系统结构进行分类的方法。这种方法可分成以下四类:

- (1) SISD——单指令流单数据流;
- (2) SIMD——单指令流多数据流;
- (3) MISD——多指令流单数据流;
- (4) MIMD——多指令流多数据流。

在Flynn论点的基础上和其他作者的补充下, 可用图1-6来描述各类系统结构之间的关系。

现将图1-6说明如下。

在SIMD结构中又分为阵列处理机 (亦称向量处理机)、处理机集合体 (或称集中式处理机) 和关联处理机等。

在阵列处理机里, 指令对向量型的数据进行并行操作, 而控制器只实现有限功能, 如ILLIAC-N机和国产757型计算机 (1983年11月15日宣布的千万次向量计算机)。在阵列处理机内要求同时满足以下三个条件:

- (1) 必须能用向量指令来描述计算任务, 同一时刻可对不同数据进行操作;
- (2) 各处理机之间必须有高速的数据通路;
- (3) 同时参加运算的量必须能同时取出。

在满足上述条件的SIMD计算机中, 不存在同步问题和任务分配问题, 它们可在指令执行时自动地实现。



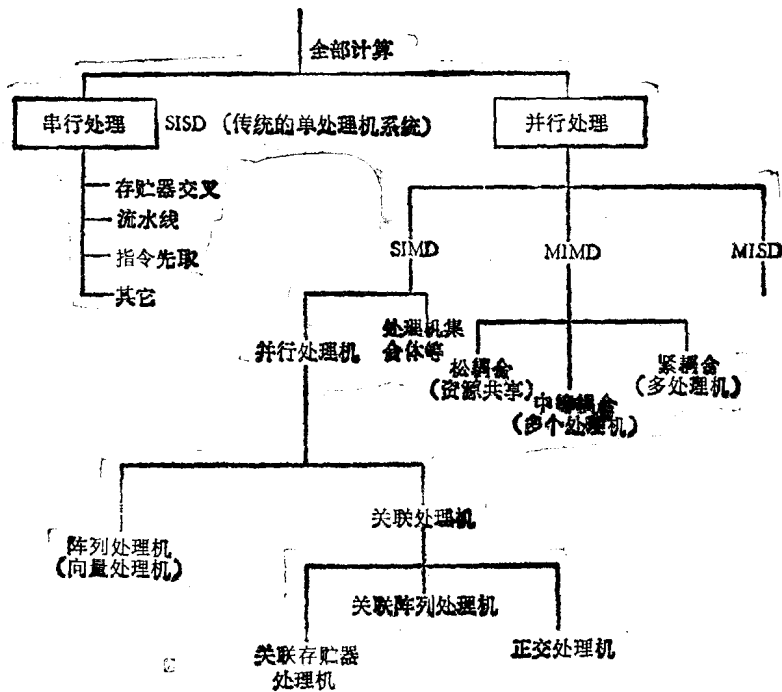


图 1-8 Flynn 分类法

在处理机集合体 (Processing ensembles) 中, 通过控制器传递信息来实现各处理部件之间的通讯, 这种结构的代表是PEPE (Parallel Element Processing Ensemble, 简称PEPE), 整个系统包含288个处理单元。

关联处理机又可分为关联存储器处理机、关联阵列处理机和关联正交处理机。在这种关联处理机中, 将根据存储单元的内容而不是根据其地址对数据进行操作。

在MIMD结构中, 主要指分布式系统或多处理机系统。在这种结构中, 针对独立的数据组同时刻地执行独立的任务, 即要求各处理机之间在执行任务时彼此同步, 而且要恰当的分配任务。也就是说, 整个系统分为许多部分, 每个部分执行专门功能。本书的大部分内容就是讨论具有MIMD结构的各种系统。

纯MISD结构的计算机是不存在的。流水线处理机可认为是SIMD和MISD两种结构的结合, 例如Star-100、TI公司的ASC和CRAY-1等巨型计算机, 其中都有几个流水线部件并行地工作。

对流水线结构的计算机可以这样分析:

(1) 如果认为它是一条指令同时对两个以上的不同数据进行处理, 则可视作SIMD结构。

(2) 如果认为它在流水线的连续“站”中, 指令互不相同, 而对相同的数据集(向量)进行处理, 则可称为MISD。

将以上两种情况结合或迭合起来, 仍可视作MIMD结构。

SISD结构主要用于传统的单处理机系统, 这里无需赘述。