

计算机系统结构官方笔记

一、思维导图



二、知识点回顾

1、矩阵加

阵列处理机解决矩阵加是最简单的一维情况。

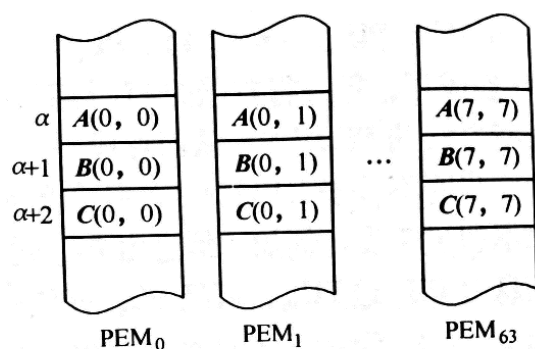


图 6-7 矩阵相加的存储器分配举例

2、矩阵乘

矩阵乘是二维数组运算，比矩阵加要复杂。设 A、B 和 C 为 3 个 8×8 的二维矩阵，给定 A 和 B，计算 $C=A \times B$ 的 64 个分量可用公式

$$c_{ij} = \sum_{k=0}^7 a_{ik} b_{kj}$$

其中, $0 \leq i \leq 7$ 且 $0 \leq j \leq 7$ 。

3、累加和

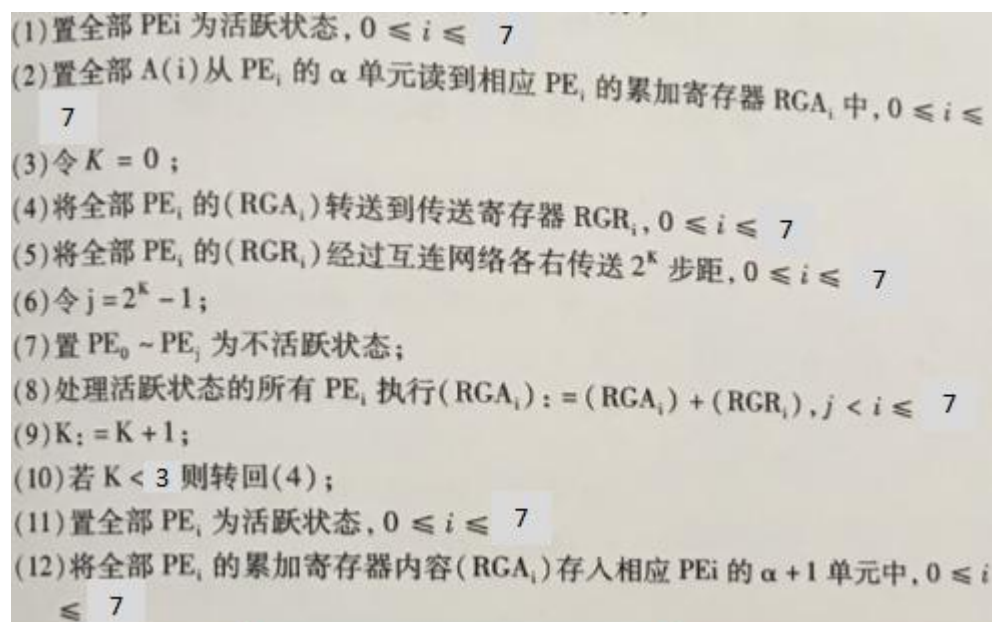
这是一个将 N 个数的顺序相加转为并行相加的问题。为得到各项累加的部分和与最后的总和, 要用到处理单元中的活跃标志位。只有处于活跃状态的处理单元才能执行相应的操作。为叙述方便, 取 $N=8$, 即有 8 个数 $A(i)$ 顺序累加, 其中 $0 \leq i \leq 7$ 。

在 SISD 计算机上可以编写下列 FORTRAN 程序:

```
C=0
```

```
DO 10 I=0, 7
```

```
10 C=C+A(I)
```



- (1) 置全部 PE_i 为活跃状态, $0 \leq i \leq 7$
- (2) 置全部 $A(i)$ 从 PE_i 的 α 单元读到相应 PE_i 的累加寄存器 RGA_i 中, $0 \leq i \leq 7$
- (3) 令 $K = 0$;
- (4) 将全部 PE_i 的 (RGA_i) 转送到传送寄存器 RGR_i , $0 \leq i \leq 7$
- (5) 将全部 PE_i 的 (RGR_i) 经过互连网络各右传送 2^K 步距, $0 \leq i \leq 7$
- (6) 令 $j = 2^K - 1$;
- (7) 置 $PE_0 \sim PE_j$ 为不活跃状态;
- (8) 处理活跃状态的所有 PE_i 执行 $(RGA_i) := (RGA_i) + (RGR_j)$, $j < i \leq 7$
- (9) $K := K + 1$;
- (10) 若 $K < 3$ 则转回(4);
- (11) 置全部 PE_i 为活跃状态, $0 \leq i \leq 7$
- (12) 将全部 PE_i 的累加寄存器内容 (RGA_i) 存入相应 PE_i 的 $\alpha + 1$ 单元中, $0 \leq i \leq 7$

4、SIMD 系统的互连网络的设计目标是: (简答)

- 1) 结构不要过分复杂, 以降低成本;
- 2) 互连要灵活, 以满足算法和应用的需要;
- 3) 处理单元间信息交换所需的传送步数要尽可能少, 以提高速度性能;
- 4) 能用规整单一的基本构件组合而成, 或者经多次通过或者经多级连接来实现

复杂的互连，使模块性好，以便于用 VLSI 实现并满足系统的可扩充性。

（口诀：简洁、规整、让系统有好又快又便宜）

5、操作方式有同步、异步及同步与异步组合 3 种。

交换方法主要有线路交换、包交换及线路与包交换组合 3 种。

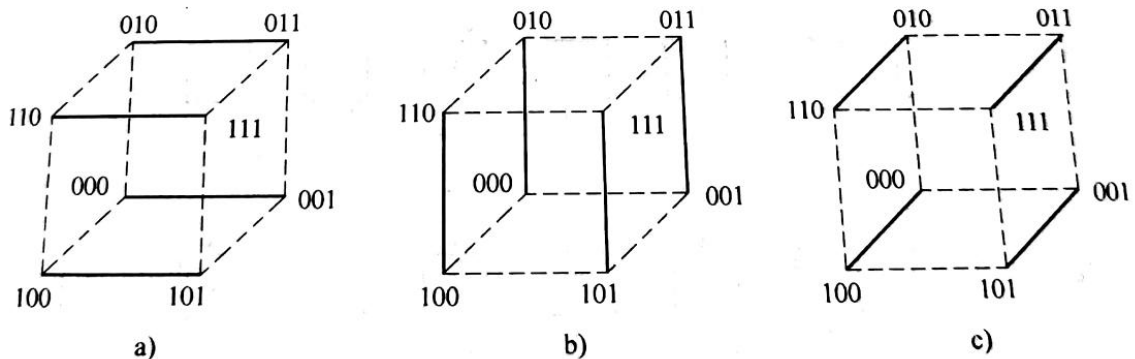
网络的拓扑结构指的是互连网络入、出端可以连接的模式，有静态和动态两种。

动态网络有单级和多级两类。

6、立方体单级网络

立方体 (Cube) 单级网络的名称来源于图 6-12 所示的三维立方体结构。立方体的每个顶点 (网络的结点) 代表一个处理单元，共有 8 个处理单元，用 zyx 三位二进制码编号。它所能实现的入、出端连接如同立方体各顶点间能实现的互连一样，即每个处理单元只能直接连到其二进制编号的某一位取反的其他 3 个处理单元上。

例如，010 只能连到 000、011、110，不能直接连到对角线上的 001、100、101、111。所以，三维的立方体单级网络有 3 种互连函数：Cube0、Cube1 和 Cube2，其连接方式如图 6-13 中的实线所示。



三维的立方体单级网络有 3 种互连函数：Cube0、Cube1 和 Cube2，Cube i 函数表示相连的入端和出端的二进制编号只在右起第 i 位 ($i=0, 1, 2$) 上 0、1 互反，其余各位代码都相同。

7、PM2I 单级网络

PM2I 单级网络是“加减 2^i ” (Plus-Minus 2^i) 单级网络的简称。能实现与 j 号处理单元直接相连的是号为 $j \pm 2^i$ 的处理单元，即

$$\begin{cases} \text{PM2}_{+i}(j) = j + 2^i \mod N \\ \text{PM2}_{-i}(j) = j - 2^i \mod N \end{cases}$$

式中, $0 \leq j \leq N-1$, $0 \leq i \leq n-1$, $n = \log_2 N$ 。它共有 $2n$ 个互连函数。由于 $\text{PM2}_{+(n-1)} = \text{PM2}_{-(n-1)}$, 因此 PM2I 互连网络只有 $2n-1$ 种互连函数是不同的。对于 $N=8$ 的三维 PM2I 互连网络的互连函数, 有 PM2_{+0} 、 PM2_{-0} 、 PM2_{+1} 、 PM2_{-1} 和 PM2_{+2} 等 5 个不同的互连函数, 它们分别为

$\text{PM2}_{+0}: (0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7)$

$\text{PM2}_{-0}: (7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1\ 0)$

$\text{PM2}_{+1}: (0\ 2\ 4\ 6)(1\ 3\ 5\ 7)$

$\text{PM2}_{-1}: (6\ 4\ 2\ 0)(7\ 5\ 3\ 1)$

$\text{PM2}_{+2}: (0\ 4)(1\ 5)(2\ 6)(3\ 7)$

其中, $(0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7)$ 表示 0 连到 1, 与此同时, 1 连到 2, 2 连到 3, ..., 7 连到 0。图 6-14 只画出了其中 3 种互连函数的情况, PM2_{-0} 和 PM2_{-1} 的连接与 PM2_{+0} 和 PM2_{+1} 的差别只是连接的箭头方向相反而已。可见在 PM2I 中, 0 可以直接连到 1、2、4、6、7 上, 比立方体单级网络只能直接连到 1、2、4 的要灵活。

ILLIACIV 处理单元的互连也是 PM2I 的特例, 采用了其中的 $\text{PM2}_{\pm 0}$ 和 $\text{PM2}_{\pm n/2}$ (即 $\text{PM2}_{\pm 3}$)

4 个互连函数。

8、混洗交换单级网络

混洗交换单级 (Shuffle-Exchange) 网络包含两个互连函数, 一个是全混 (Perfect Shuffle),

另一个是交换 (Exchange)。

用互连函数表示为

$$\text{Shuffle}(P_{n-1}P_{n-2}\cdots P_1P_0) = P_{n-2}\cdots P_1P_0P_{n-1}$$

式中, $n = \log_2 N$; $P_{n-1}P_{n-2}\cdots P_1P_0$ 为入端编号的二进制码。

在混洗交换网络中, 最远的两个入、出端号是全“0”和全“1”, 它们的连接需要次交换和 $n-1$ 次混洗, 所以其最大距离为 $n-1$ 。

9、蝶形单级网络

蝶形单级网络 (Butterfly) 的互连函数为

$$\text{Butterfly}(P_{n-1}P_{n-2}\cdots P_1P_0) = P_0P_{n-2}\cdots P_1P_{n-1}$$

即将二进制地址的最高位和最低位相互交换位置。

图 6-17 所示为 $N=8$ 个处理单元之间用蝶形单级互连网络互连的情况。它实现的是

0→0, 1→4, 2→2, 3→6, 4→1, 5→5, 6→3, 7→7 的同时连接。

10、基本的多级互连网络

不同的多级互连网络, 在所用的交换开关、拓扑结构和控制方式上各有不同。

交换开关是具有两个入端和两个出端的交换单元, 用作各种多级互连网络的基本构件。无论入端或出端, 如果令居于上方的都用 i 表示, 居于下方的都用 j 表示, 则可以定义下列 4 种开关状态或连接方式:

- 1) 直连, 即 $i_{\text{入}}$ 连 $i_{\text{出}}$, $j_{\text{入}}$ 连 $j_{\text{出}}$ 。
- 2) 交换, 即 $i_{\text{入}}$ 连 $j_{\text{出}}$, $j_{\text{入}}$ 连 $i_{\text{出}}$ 。
- 3) 上播, 即 $i_{\text{入}}$ 连 $i_{\text{出}}$ 和 $j_{\text{出}}$, $j_{\text{入}}$ 悬空。
- 4) 下播, 即 $j_{\text{入}}$ 连 $i_{\text{出}}$ 和 $j_{\text{出}}$, $i_{\text{入}}$ 悬空。

控制方式是对各个交换开关进行控制的方式, 以多级立方体网络为例, 它可以有 3 种:

- 1) 级控制——同一级的所有开关只用一个控制信号控制, 同时只能处于同一种状态。
- 2) 单元控制——每一个开关都由自己独立的控制信号控制, 可各自处于不同的状态。
- 3) 部分级控制——第 i 级的所有开关分别用 $i+1$ 个信号控制, $0 \leq i \leq n-1$, n 为级数。利用上述交换开关、拓扑结构和控制方式 3 个参量, 可以描述各种多级互连网络的结构。

多级立方体网络有 STARAN 网络、间接二进制 n 方体网络等。

STARAN 网络用作交换网络时, 采用级控制, 实现的是交换函数。

三、练习题

1、不同的多级互连网络, 在所用的 ()、拓扑结构和 () 上各有不同。0804 1304

答案: 交换开关 控制方式

2、多级立方体对各个交换开关的控制方式有级控制、() 和 () 3 种。1410

答案: 单元控制 部分级控制

3、间接二进制 n 方体网络是一种 ()

- A: 多级混洗交换网络
- B: 单级立方体网络
- C: 多级全排列网络
- D: 多级立方体网络

答案：D