

尚德机构

计算机系统结构

讲师：孙小涵

学习是一种信仰！ IN LEARNING WE TRUST

SUNLAND





讲师介绍

- 主讲老师：孙小涵（尚德机构-小涵老师）
- 主讲课程：计算机类、数学类
- 邮箱：sunxiaohan@sunlands.com



课程章节

计算机系统结构

第1章 计算机系统结构概论

第2章 数据表示、寻址方式与指令系统

第3章 存储、中断、总线与I/O系统

第4章 存储体系

第5章 标量处理机

第6章 向量处理机

第7章 多处理机

第8章 数据流计算机和归约机

第5章 标量处理机

第5章 标量处理机



5.2.3标量流水机的相关处理和控制机构

1.局部性相关的处理(填空)

重叠机器处理这些局部性相关的方法有两种。一种是**推后后续指令对相关单元的读**，直至在先的指令写入完成；另一种是设置**相关直接通路**，将运算结果经相关直接通路直接送入所需部件。

5.2.3标量流水机的相关处理和控制机构

1.局部性相关的处理（单选、填空）

任务在流水线中流动顺序的安排和控制可以有两种方式。一种是让任务（指令）流出流水线的顺序保持与流入流水线的顺序一致，称为**顺序流动方式**或**同步流动方式**；另一种是让流出流水线的任务（指令）顺序可以和流入流水线的顺序不同，称为**异步流动方式**。

5.2.3标量流水机的相关处理和控制机构

2.全局性相关的处理（简单了解单选）

全局性相关指的是已进入流水线的**转移指令**（尤其是条件转移指令）和其后续指令之间相关。

- (1) 使用猜测法
- (2) 加快和提前形成条件码
- (3) 采取延迟转移
- (4) 加快短循环程序的处理

5.2.3标量流水机的相关处理和控制机构

3.流水机的中断处理（简单了解填空）

中断会引起流水线断流，但出现概率比条件转移的概率要低得多，且又是随机发生的。所以，流水机器中断主要是如何处理好断点现场的保存和恢复，而不是如何缩短流水线的断流时间。

5.2.3标量流水机的相关处理和控制机构

4.非线性流水线的调度

【1904真题】现设流水线由5段组成,段号 k 分别为1~5,任务经过流水线总共需要9拍,其预约表如表所示。

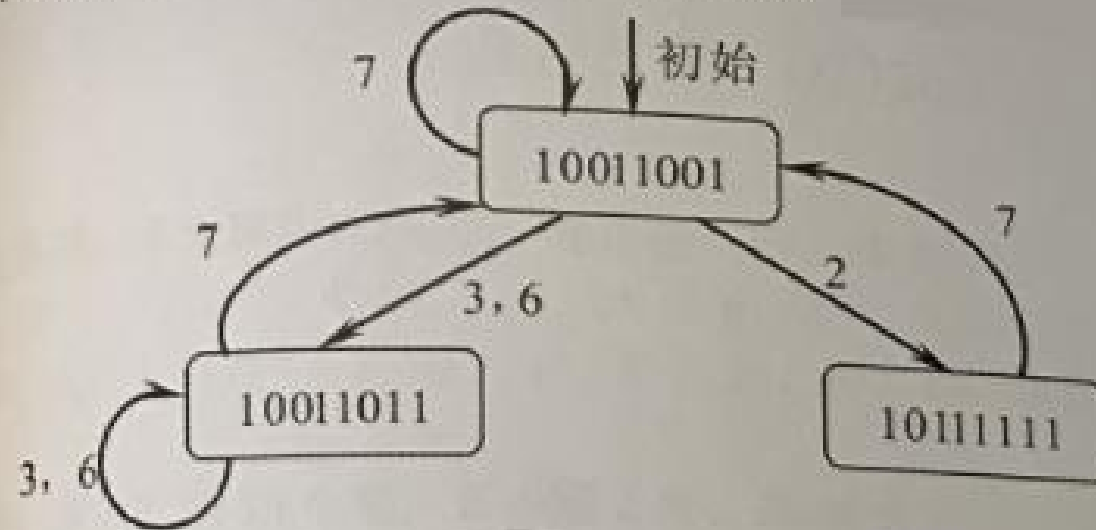
- (1)写出延迟禁止表 F 、冲突向量 C ;
- (2)画出流水线状态转移图;
- (3)求出最佳调度方案、最小平均延迟及流水线的最大吞吐率。

拍号 n \ 段号 k	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	✓								✓
2		✓	✓				✓		
3				✓					
4					✓	✓			
5							✓	✓	

5.2.3 标量流水机的相关处理和控制机构

4. 非线性流水线的调度

- (1) 延迟禁止表 $F = \{1, 4, 5, 8\}$
冲突向量 $C = (10011001)$
(2) 流水线状态转移图如答题图所示。



答图

- (3) 从状态转移图可看出, 最佳调度方案为 $(2, 7)$
则, 最小平均延迟为 4.5 拍
最大吞吐率为: $T_{pmax} = 1/4.5$ (任务/拍)

5.3指令级高度并行的超级处理机

本节主要内容：

超标量 (Superscalar)处理机、超长指令字 (VLIW)处理机、超流水线 (Superpipelining)处理机和超标量超流水线处理机。

5.3.1 超标量处理机（一定要会画）

假设一条指令包含取指令、译码、执行、存结果4个子过程，每个子过程经过时间为 Δt 。常规的标量流水线单处理机是在每个期间解释完一条指令，如图5-15所示。执行完12条指令共需15 Δt 。称这种流水机的度 $m=1$ 。

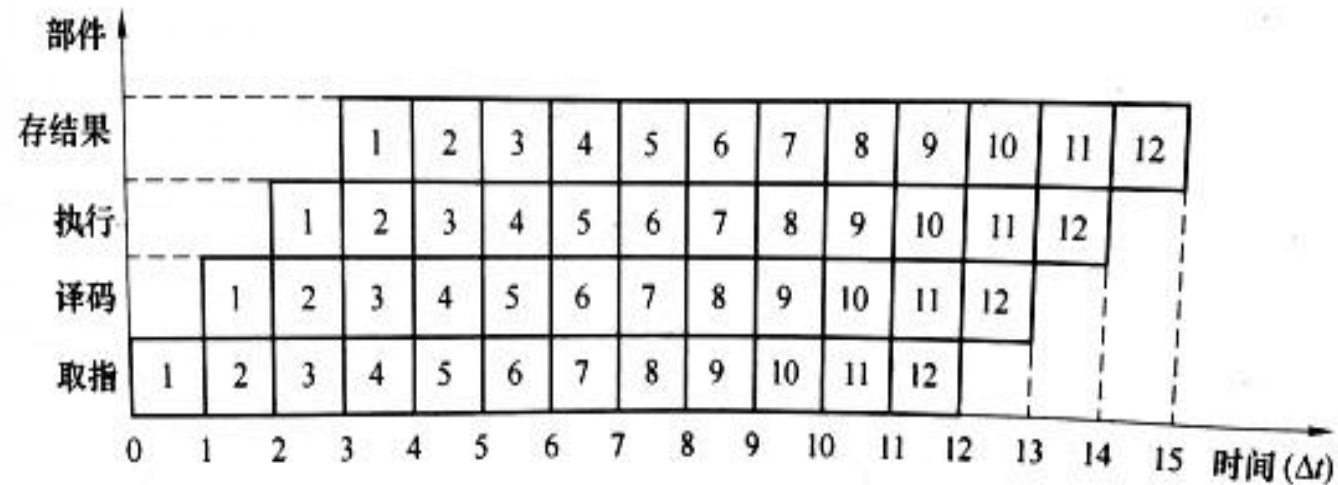


图 5-15 常规（度 $m=1$ ）的标量流水时空图

5.3.1 超标量处理机（一定要会画）

超标量处理机采用多指令流水线，每个同时流出 m 条指令（称为度 m ）。

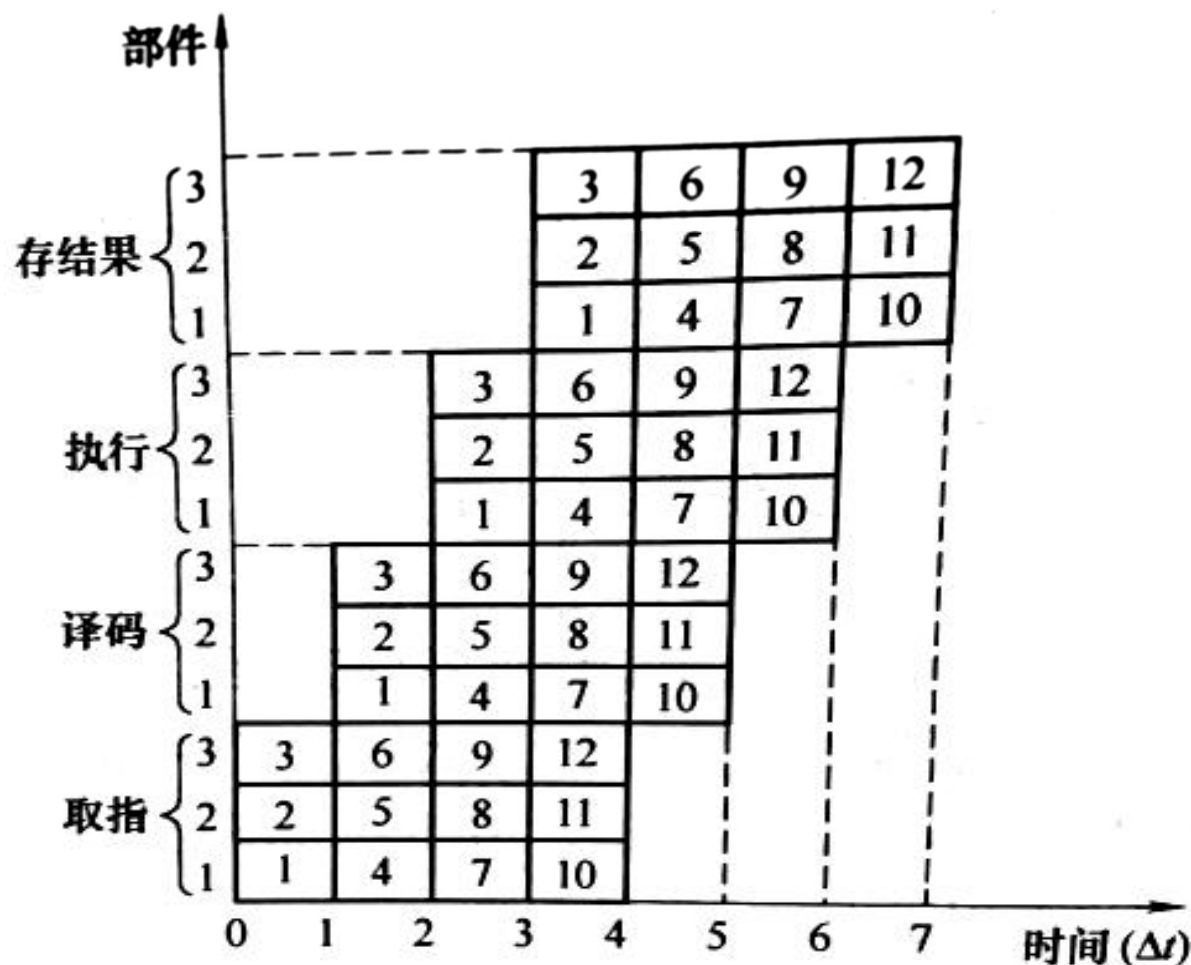


图5-16 度 $m=3$ 的超标量处理机时空图



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

- 1、流水处理机“先写后读”相关的解决方法包括推后（ ）的读和设置（ ）。1910



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

1、流水处理机“先写后读”相关的解决方法包括推后（ ）的读和设置（ ）。1910

答案：后续指令对相关单元 相关直接通路



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

2、流水机器处理中断的关键不在于如何缩短流水线的（ ）时间，而是如何处理好（ ）现场的保存和恢复。0807



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

2、流水机器处理中断的关键不在于如何缩短流水线的（ ）时间，而是如何处理好（ ）现场的保存和恢复。0807

答案：断流 断点



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

3、流水处理机对全局性相关的处理不包括（ ） 0804

A:猜测法

B:提前形成条件码

C:加快短循环程序的执行

D:设置相关专用通路



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

3、流水处理机对全局性相关的处理不包括（ ） 0804

A:猜测法

B:提前形成条件码

C:加快短循环程序的执行

D:设置相关专用通路

答案：D



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

4、在流水机器中，全局性相关是指（） 1304

A:指令相关

B:先读后写相关

C:先写后读相关

D:由转移指令引起的相关



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

4、在流水机器中，全局性相关是指（） 1304

A:指令相关

B:先读后写相关

C:先写后读相关

D:由转移指令引起的相关

答案：



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

5、任务在流水线中流动顺序的安排和控制有（ ）方式和（ ）方式。

1804



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

5、任务在流水线中流动顺序的安排和控制有（ ）方式和（ ）方式。

1804

答案：顺序流动 异步流动

第6章 向量处理机

第6章 向量处理机

●	向量的流水处理与向量流水处理机	★
●	阵列处理机的原理	★
●	SIMD计算机的互连网络	★ ☆
●	共享主存构形的阵列处理机中并行存储器的无冲突访问	★ ☆
●	脉动阵列流水处理机	★

6. 1向量的流水处理与向量流水处理机

本节主要内容：

向量处理的3种方式

向量的流水处理方式

向量指令集安并行、链接、串行的条件

分析向量指令间的情况，计算最少时钟数

6.1.1 向量的处理和向量的流水处理（填空）

【例】计算 $D = A \times (B + C)$ ，其中A、B、C、D都是有N个元素的向量，应该采用什么方式处理才能充分发挥流水线的效能？



6.1.1向量的处理和向量的流水处理（填空）

【例】计算 $D=A \times (B+C)$ ，其中A、B、C、D都是有N个元素的向量，应该采用什么方式处理才能充分发挥流水线的效能？

如果采用逐个求D向量元素的方法，即访存取 a_i 、 b_i 、 c_i 元素求 d_i ，再取 a_{i+1} 、 b_{i+1} 、 c_{i+1} ，求 d_{i+1} ，这种处理方式称为**横向（水平）**处理方式。

这时只有采用对整个向量按相同操作都执行完之后再转去执行别的操作，才能较好地发挥流水处理的效能。

结论：向量横向处理是向量的处理方式，但不是向量的流水处理方式；而**向量纵向处理**和**分组纵横处理**既是向量的处理方式，也是向量的流水处理方式。

6.1.3通过并行、链接提高性能

【1510真题】求向量 $D=A \times (B+C)$ ，向量为浮点数，各向量元素个数均为 N ，参照CRAY—1方式分解为3条向量指令：

① $V3 \leftarrow$ 存储器；访存取 A 送入 $V3$ 寄存器组

② $V2 \leftarrow V0 + V1$ ； $B+C \rightarrow K$

③ $V4 \leftarrow V2 \times V3$ ； $K \times A \rightarrow D$ 当采用下列3种方式工作时，各需多少拍才能得到全部结果？

(1)①、②和③串行执行。

(2)①和②并行执行后，再执行③。

(3)采用链接技术。

6.1.3通过并行、链接提高性能

在该向量运算中用到浮点加和浮点乘运算,CRAY-1 计算浮点加需要 6 拍,计算浮点乘需要 7 拍,数据存入寄存器需要 1 拍。

(1) ①、②和③串行执行所需要的时间为

$$7 + N + 7 + N + 8 + N = 22 + 3N(\text{拍})$$

(2) ①和②并行执行后,再执行③所需要的时间为

$$\begin{Bmatrix} 7 + N \\ 7 + N \end{Bmatrix} + 8 + N = 15 + 2N(\text{拍})$$

(3) 采用链接技术所需要的时间为

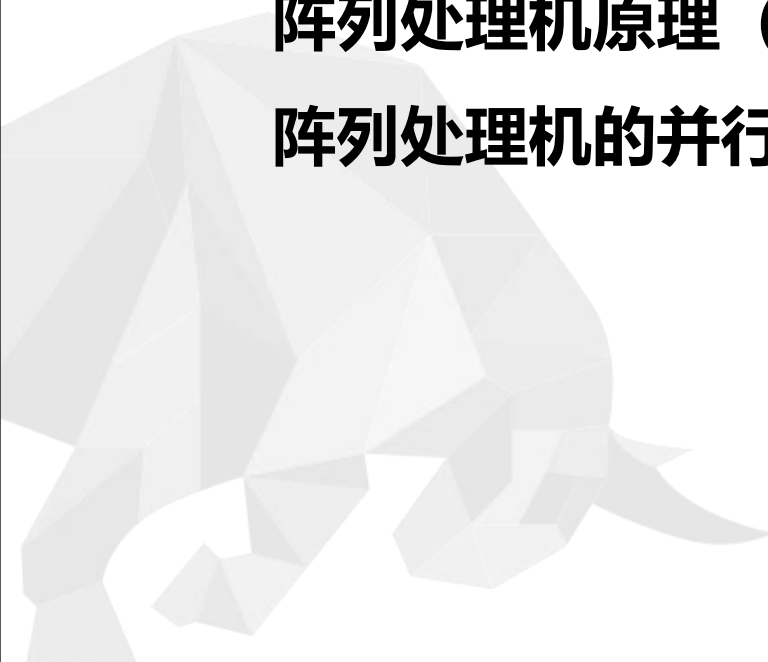
$$\begin{Bmatrix} 1 + 6 + 1 \\ 1 + 6 + 1 \end{Bmatrix} + 8 + N = 16 + N(\text{拍})$$

6.2阵列处理机的原理

本节主要内容：

阵列处理机原理（识记）

阵列处理机的并行算法（领会）



6.2. 1阵列处理机的构形和特点

1.阵列处理机的构形

阵列处理机有两种构形，差别主要在于存储器的组成方式和互连网络的作用不同。

构形1图6-4所示是采用**分布式**存储器阵列处理机的构形。

为了高速有效地处理向量数据，这种构形要求能把数据合理地预分配到各个处理单元的局部存储器中，使各处理单元 PE_i 主要用自己的 PEM_i 中的数据运算。

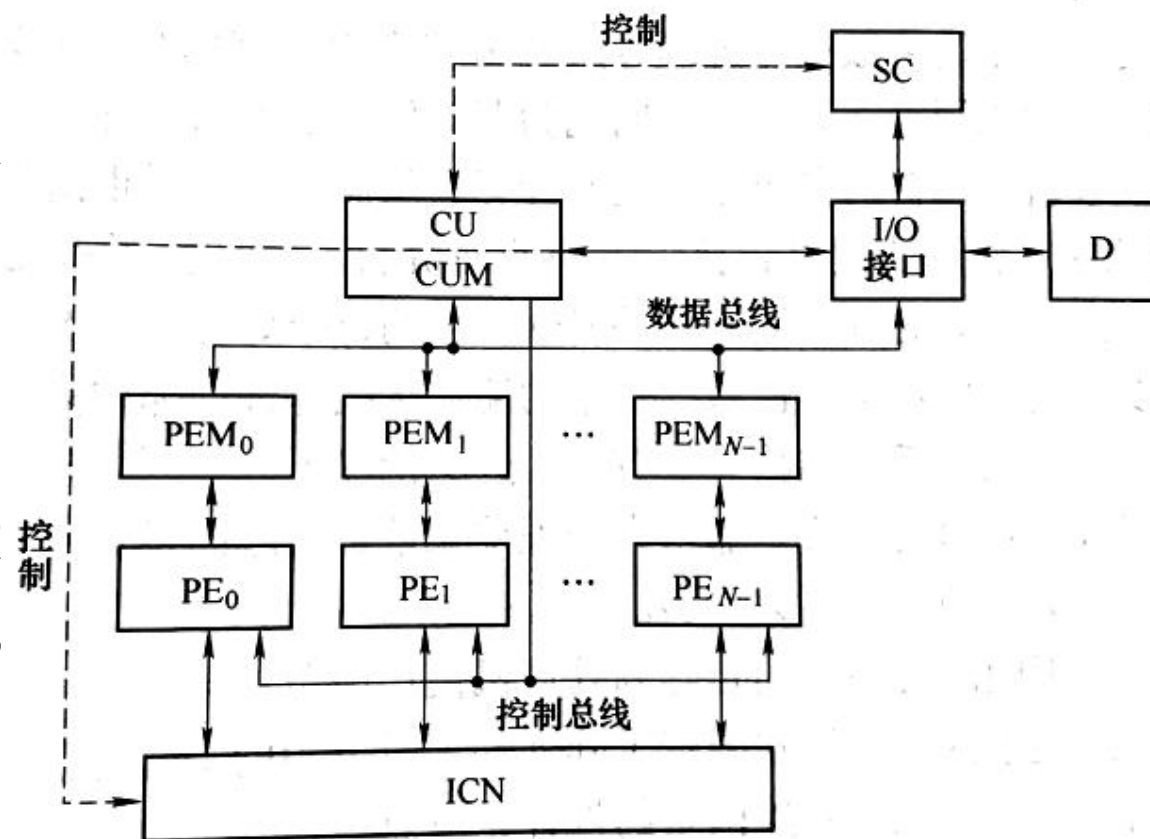
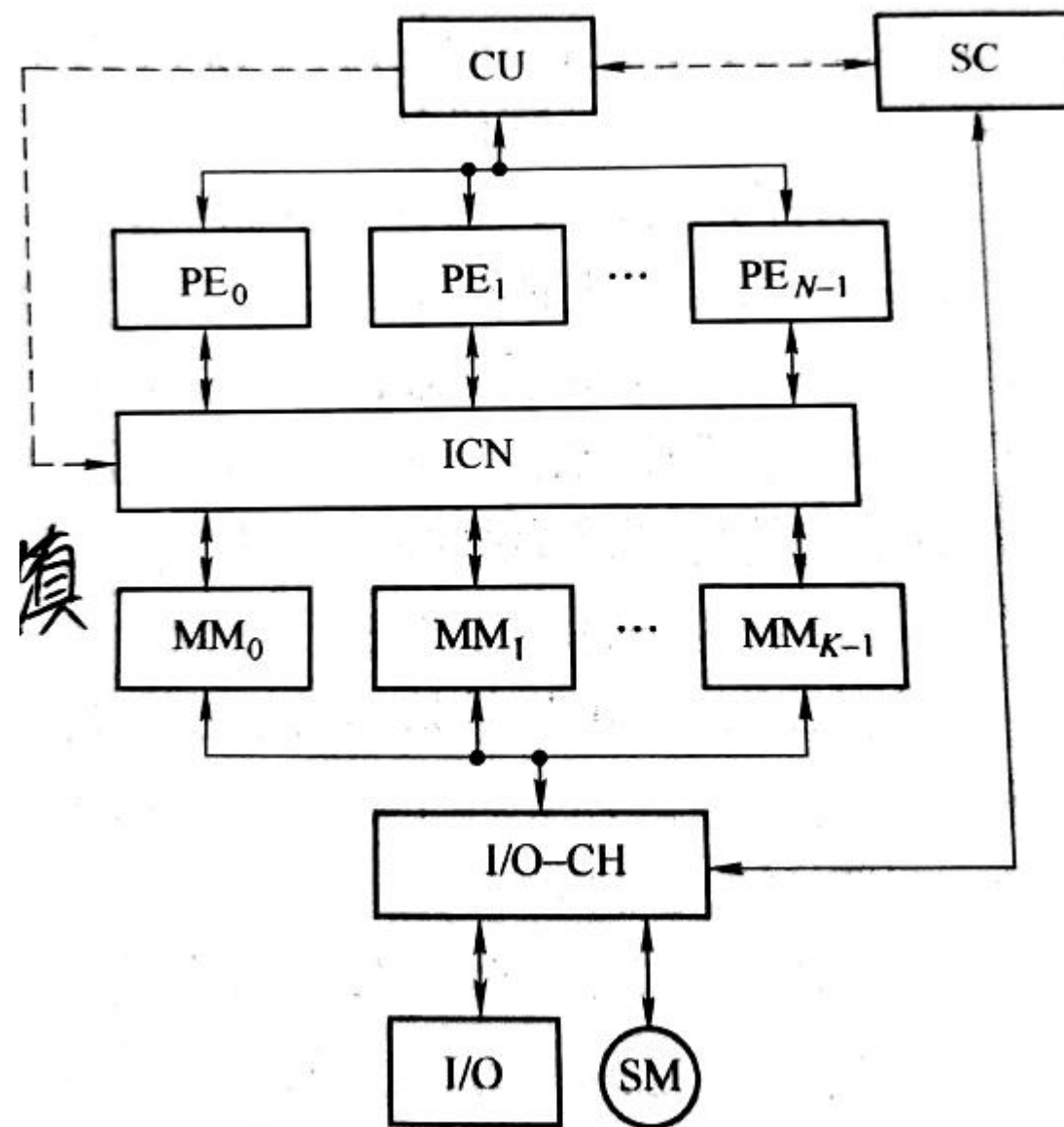


图 6-4 具有分布式存储器的阵列处理机构形

6.2. 1阵列处理机的构形和特点

1.阵列处理机的构形

构形2 是采用**集中式**共享存储器的阵列处理机构形。



6.2. 1 阵列处理机的构形和特点

阵列处理机按存储器的组织方式不同，分为两种不同的基本构形，一种是采用（ ）存储器的阵列处理机构形，另一种是具有（ ）共享存储器的阵列处理机构形。



6.2.1 阵列处理机的构形和特点（单选、填空）

阵列处理机按存储器的组织方式不同，分为两种不同的基本构形，一种是采用**分布式**存储器的阵列处理机构形，另一种是具有**集中式**共享存储器的阵列处理机构形。



6.2. 1 阵列处理机的构形和特点（单选、填空）

阵列处理机按存储器的组织方式不同，分为两种不同的基本构形，一种是采用**分布式**存储器的阵列处理机构形，另一种是具有**集中式**共享存储器的阵列处理机构形。

与同样擅长于向量处理的流水线处理机相比，阵列处理机利用的是**资源重复**，而不是时间重叠。利用的是并行性中的**同时性**，而不是并发性。

6.2.2 ILLIAC IV的处理单元阵列结构（简单了解）

采用这种构形的阵列处理机是

SIMD的主流。

典型的机器有ILLIAC IV、MPP、
DAP、CM-2、MP-1、DAP600
系列等。

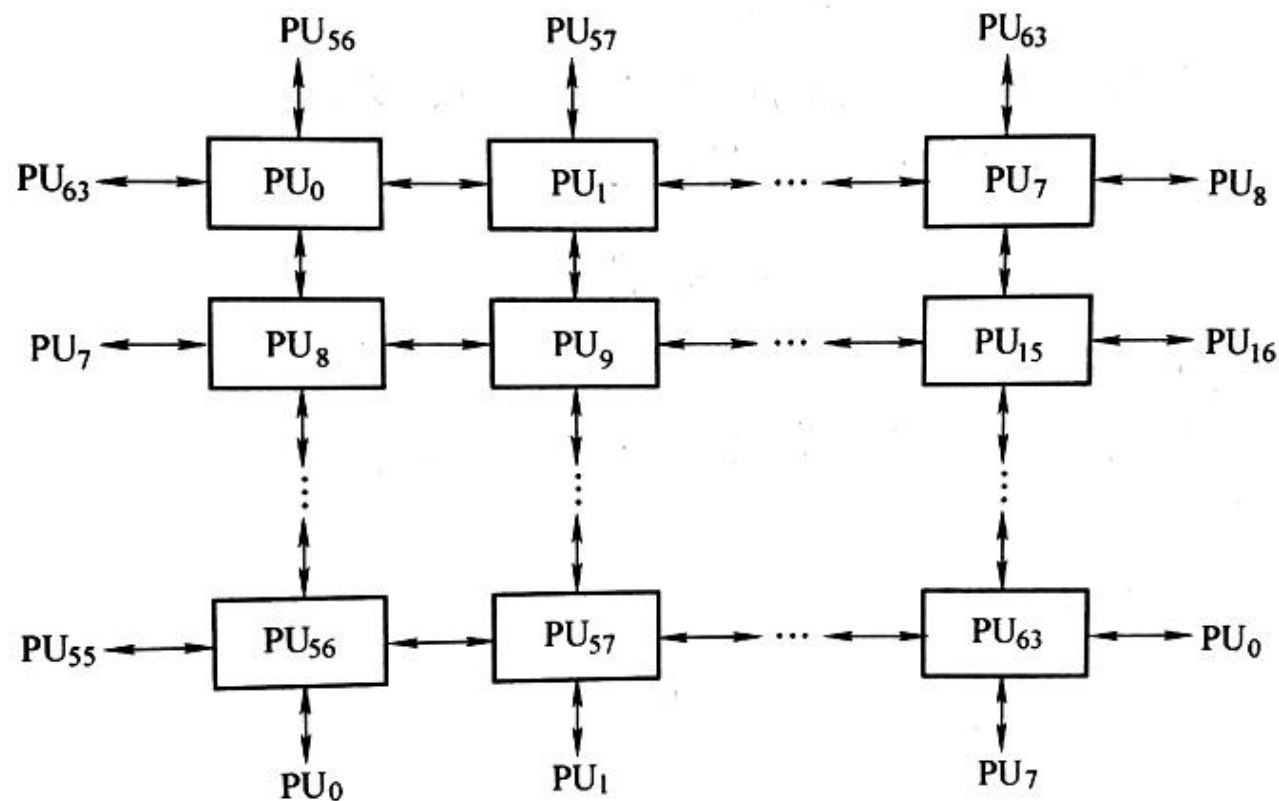


图 6-6 ILLIAC IV 处理单元的阵列结构



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

1、分布式存储器阵列处理机属于（ ） 1910

A:SIMD系统

B:SISD系统

C:MISD系统

D:MIMD系统



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

1、分布式存储器阵列处理机属于（ ） 1910

A:SIMD系统

B:SISD系统

C:MISD系统

D:MIMD系统

答案：A



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

2、ILLIAC IV是一种() 0904

A:多处理机

B:阵列处理机

C:流水线处理机

D:指令重叠处理机



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

2、ILLIAC IV是一种() 0904

A:多处理机

B:阵列处理机

C:流水线处理机

D:指令重叠处理机

答案： B



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

3、下列属于阵列机所采用的技术的是 () 1810

A:时间重叠

B:资源重复

C:并发性

D:资源共享



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

3、下列属于阵列机所采用的技术的是（） 1810

A:时间重叠

B:资源重复

C:并发性

D:资源共享

答案：



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

4、与阵列处理机相比，流水线处理机利用的是（ ）方式而不是（ ）方式的并行技术。1910



那么意气风发地
走在成功的道路上

真题练练手

4、与阵列处理机相比，流水线处理机利用的是（ ）方式而不是（ ）方式的并行技术。1910

答案： 时间重叠 资源重复

6.2.3 ILLIAC IV的并行算法举例

1. 矩阵加

阵列处理机解决矩阵加是最简单的一维情况。

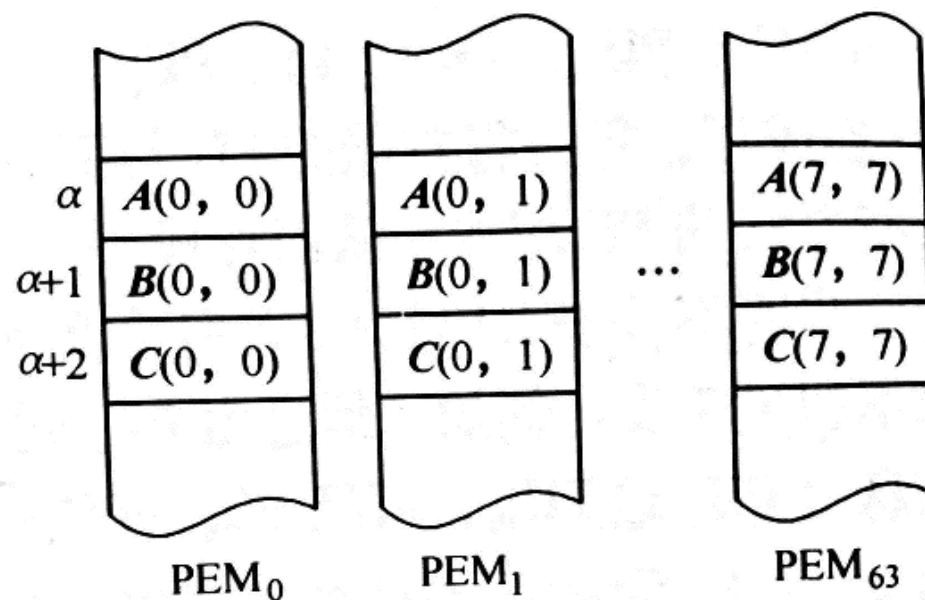


图 6-7 矩阵相加的存储器分配举例

6.2.3 ILLIAC IV的并行算法举例

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×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 $0 \leq j \leq 7$ 。

6.2.3 ILLIAC IV的并行算法举例

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)
```

6.2.3 ILLIAC IV的并行算法举例

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：

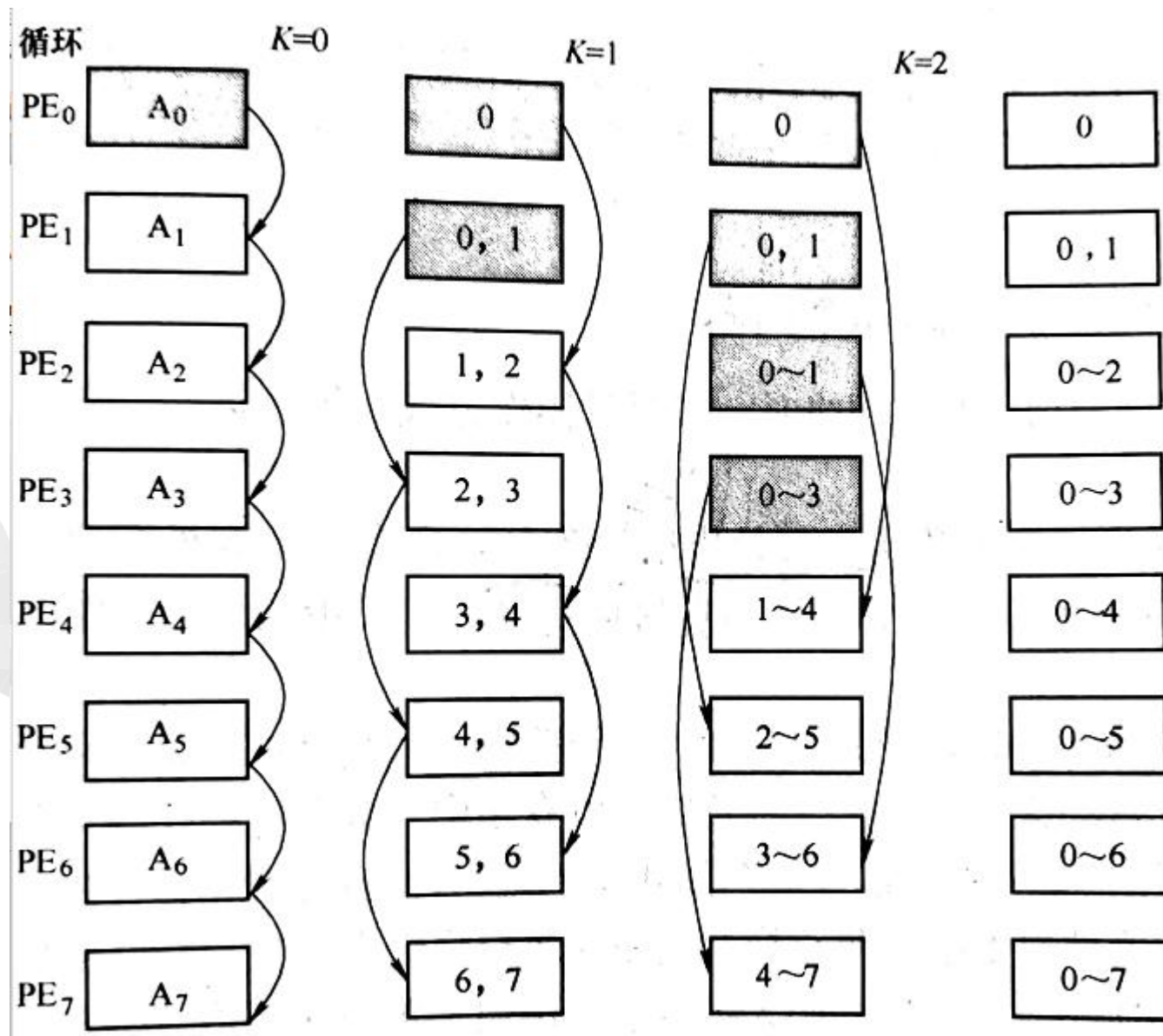
```
C=0
```

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

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

6.2.3 ILLIAC IV的并行算法举例

3.累加和



6.2.3 ILLIAC IV的并行算法举例

3.累加和

- (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 $(RGA_i) := (RGA_i) + (RGR_i)$, $j < i \leq 7$
- (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, $0 \leq i \leq 7$

6.3 SIMD计算机的互连网络

本节主要内容：

SIMD计算机的互连网络

SIMD计算机的循环和多级网络的想法和3个参数

多级互连网络的设计

阻塞式网络

全排列网络

6.3.1 互连网络的设计目标与互连函数

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）

6.3.2互连网络应抉择的几个问题（单选）

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。

6.3.3基本的单级互连网络

1.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。

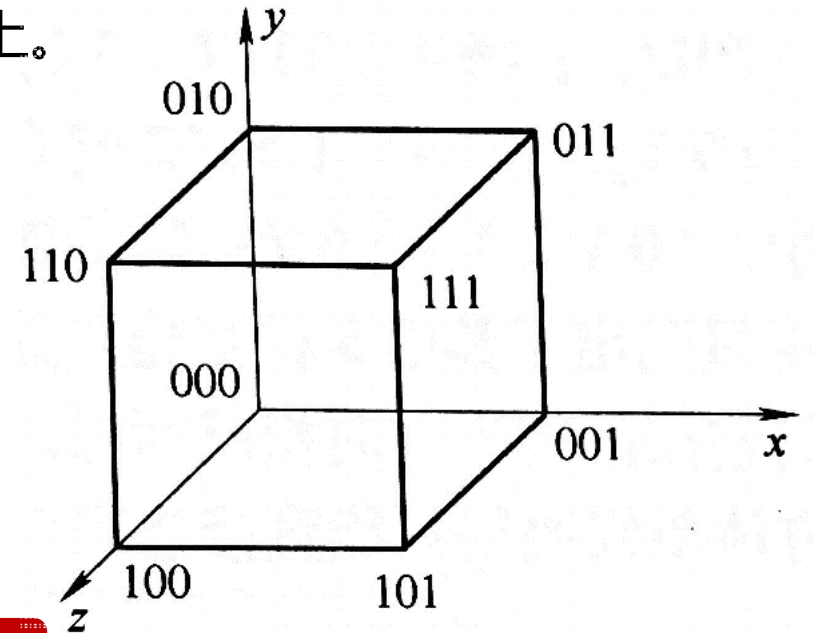
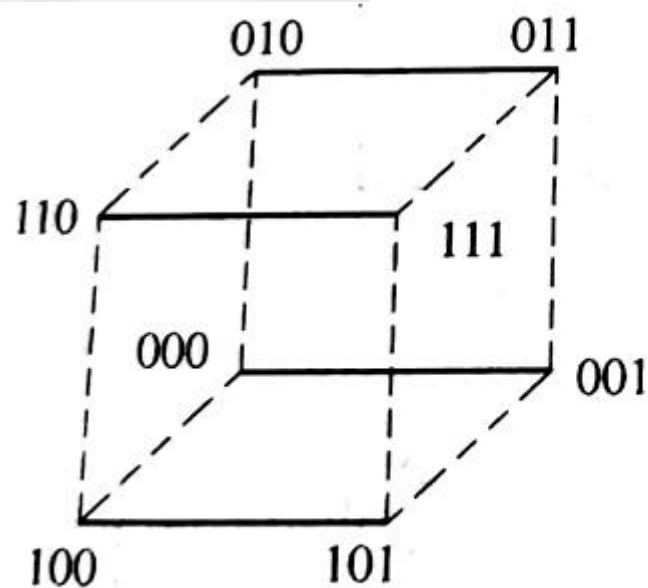


图6-12 三维立方体结构

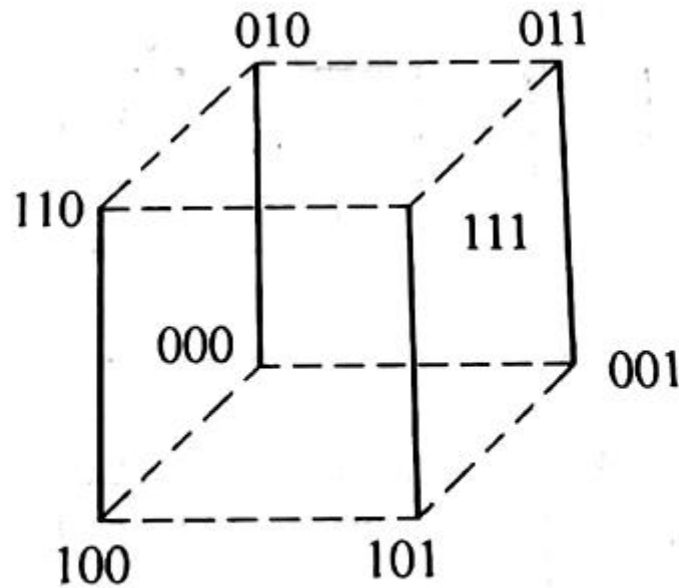
6.3.3基本的单级互连网络

1.立方体单级网络

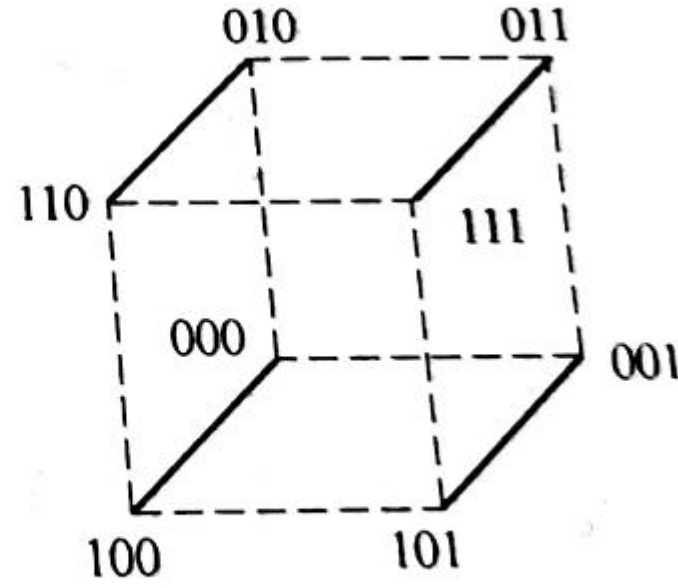
例如，010只能连到000、011、110,不能直接连到对角线上的001、100、101、111。所以，三维的立方体单级网络有3种互连函数：Cube0、Cube1和Cube2，其连接方式如图6-13中的实线所示。



a)



b)

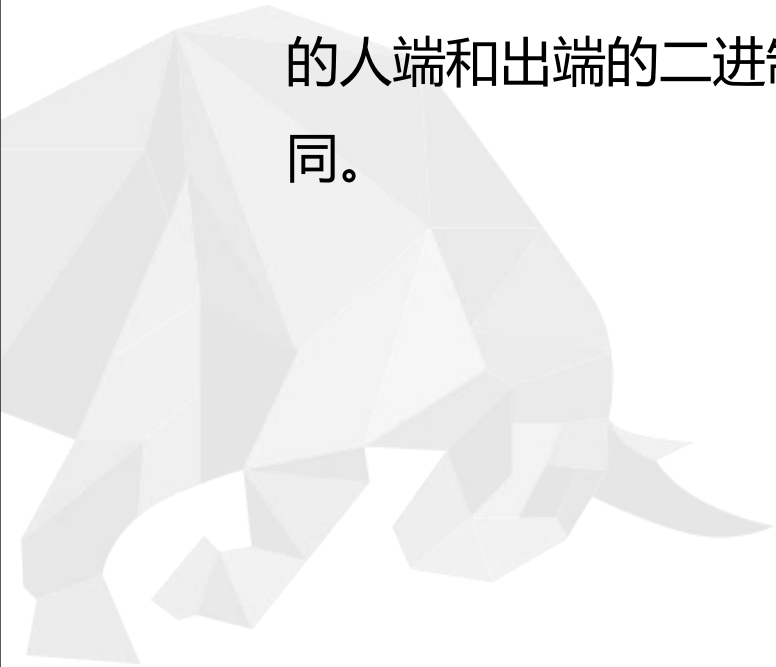


c)

6.3.3基本的单级互连网络

1.立方体单级网络

三维的立方体单级网络有3种互连函数：Cube0、Cube1和Cube2，Cube i 函数表示相连的人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。



6.3.3基本的单级互连网络

1.立方体单级网络

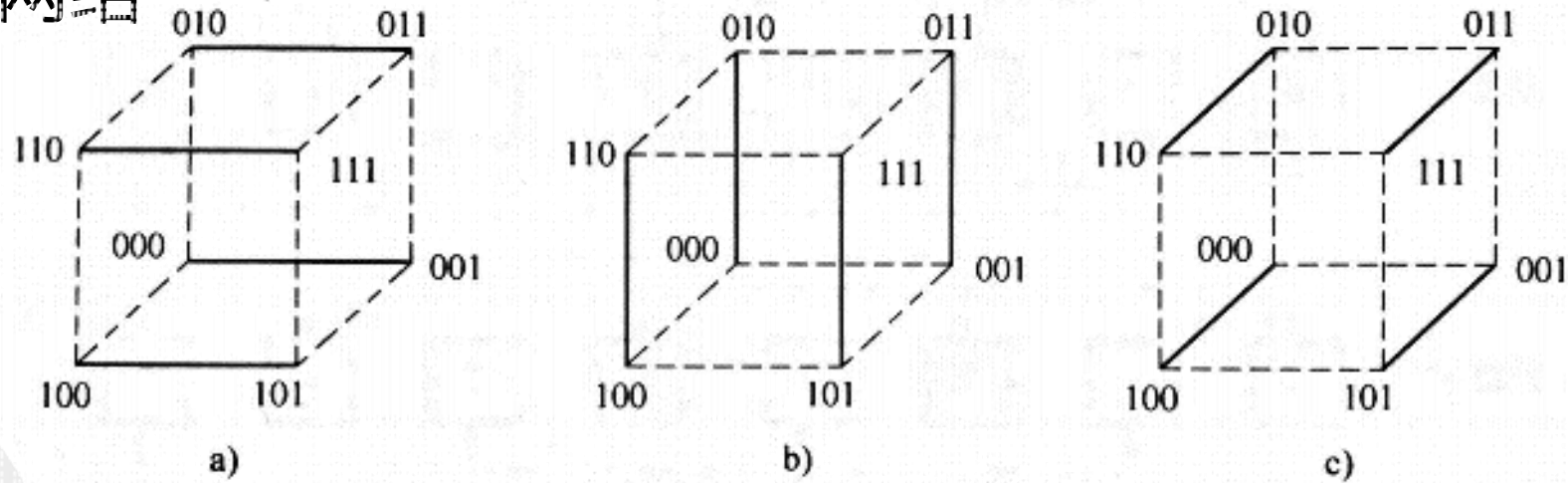


图 6-13 立方体单级网络连接示意

a) $Cube_0$ b) $Cube_1$ c) $Cube_2$

推广到 n 维时, N 个结点的立方体单级网络共有 $n = \log_2 N$ 种互连函数, 即

$$Cube_i (P_{n-1} \cdots P_i \cdots P_1 P_0) = P_{n-1} \cdots \bar{P}_i \cdots P_1 P_0$$

式中, P_i 为入端标号二进制码的第 i 位, 且 $0 \leq i \leq n-1$ 。当维数 $n > 3$ 时, 称为超立方体 (HyperCube) 网络。

6.3.3基本的单级互连网络

2.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 $\text{PM2}_{\pm 2}$ 等 5 个不同的互连函数, 它们分别为

6.3.3基本的单级互连网络

2.PM2I单级网络

$PM2_{+0}: (0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7)$

$PM2_{-0}: (7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1\ 0)$

$PM2_{+1}: (0\ 2\ 4\ 6)(1\ 3\ 5\ 7)$

$PM2_{-1}: (6\ 4\ 2\ 0)(7\ 5\ 3\ 1)$

$PM2_{+2}: (0\ 4)(1\ 5)(2\ 6)(3\ 7)$

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。

6.3.3基本的单级互连网络

2.PM2I单级网络

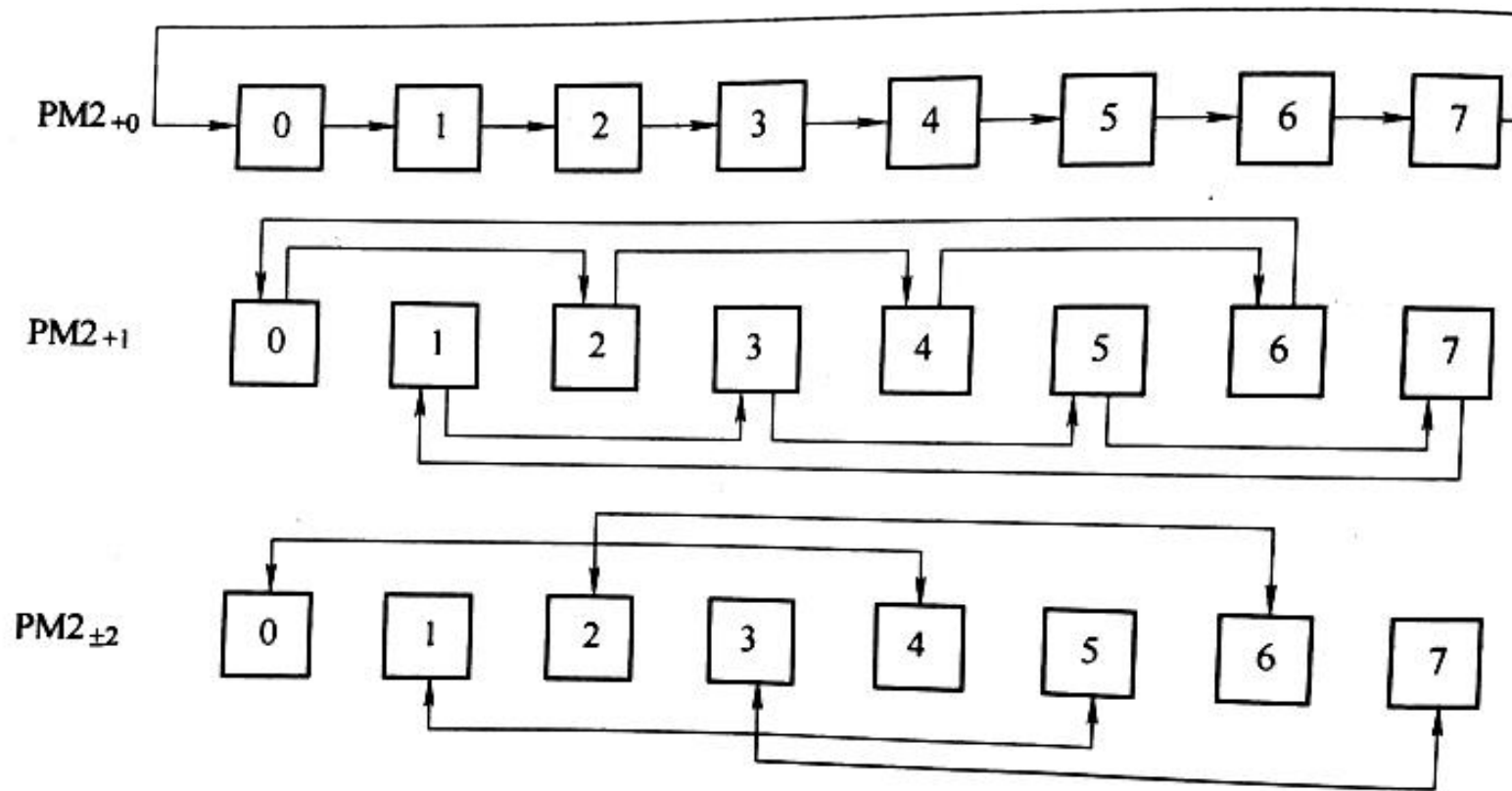
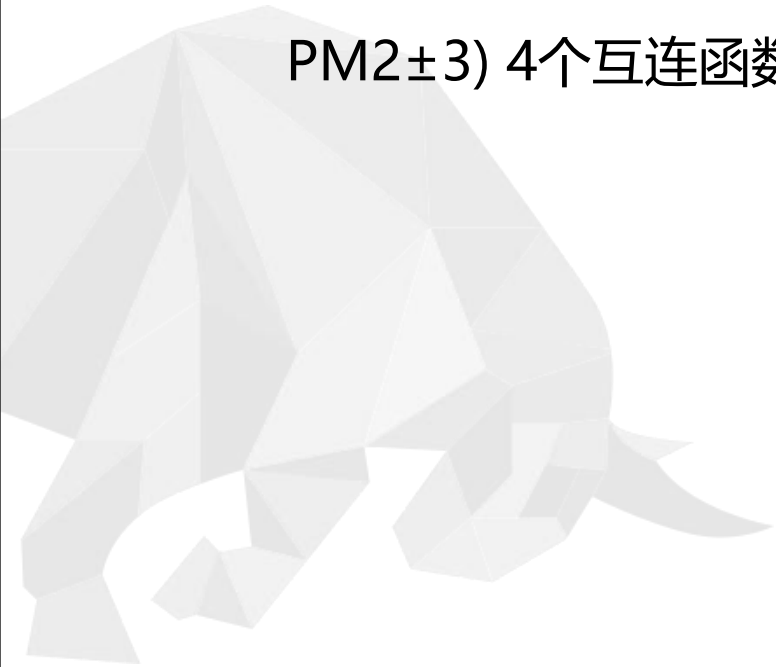


图 6-14 PM2I 互连网络的部分连接图

6.3.3基本的单级互连网络

2.PM2I单级网络

ILLIACIV处理单元的互连也是PM2I的特例，采用了其中的 $PM2 \pm 0$ 和 $PM2 \pm n/2$ (即 $PM2 \pm 3$) 4个互连函数。



6.3.3基本的单级互连网络

3.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

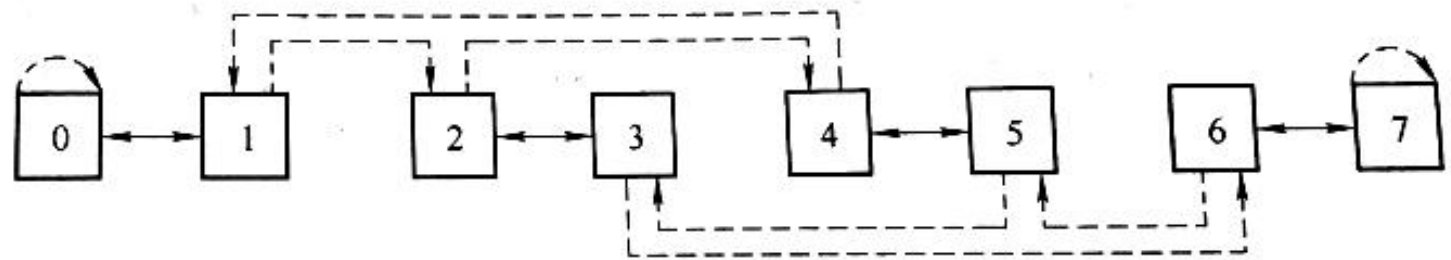


图 6-16 $N=8$ 时全混交换单级网络连接图

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

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。

6.3.3基本的单级互连网络

3.混洗交换单级网络

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 $n - 1$ 。



6.3.3基本的单级互连网络

4.蝶形单级网络

蝶形单级网络 (Butterfly)的互连函数为

$$\text{Butterfly}(P_{n-1} P_{n-2} \dots P_1 P_0) = P_0 P_{n-2} \dots P_1 P_{n-1}$$

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

$0 \rightarrow 0, 1 \rightarrow 4, 2 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 6, 4 \rightarrow 1, 5 \rightarrow 5, 6 \rightarrow 3, 7 \rightarrow 7$ 的问时连接。

6.3.4 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。

6.3.4基本的多级互连网络

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。

6.3.4基本的多级互连网络

1.多级立方体网络

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。



6.3.4 基本的多级互连网络

2. 多级混洗交换网络

多级混洗交换网络又称omega网络,

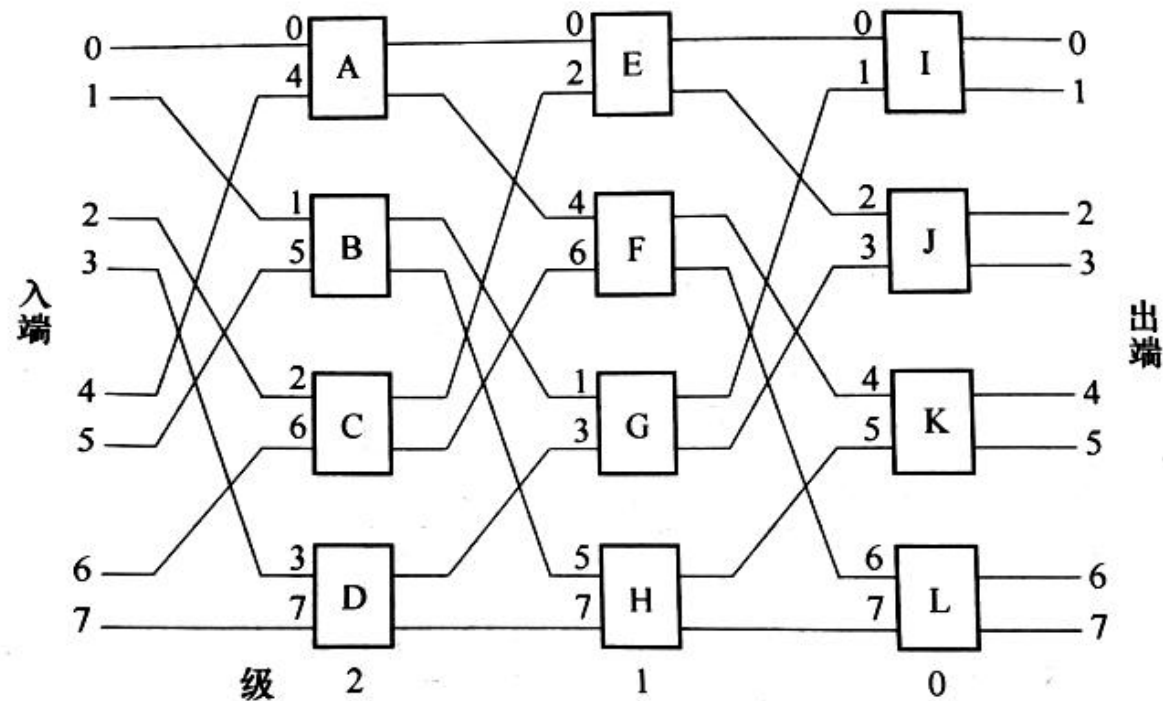
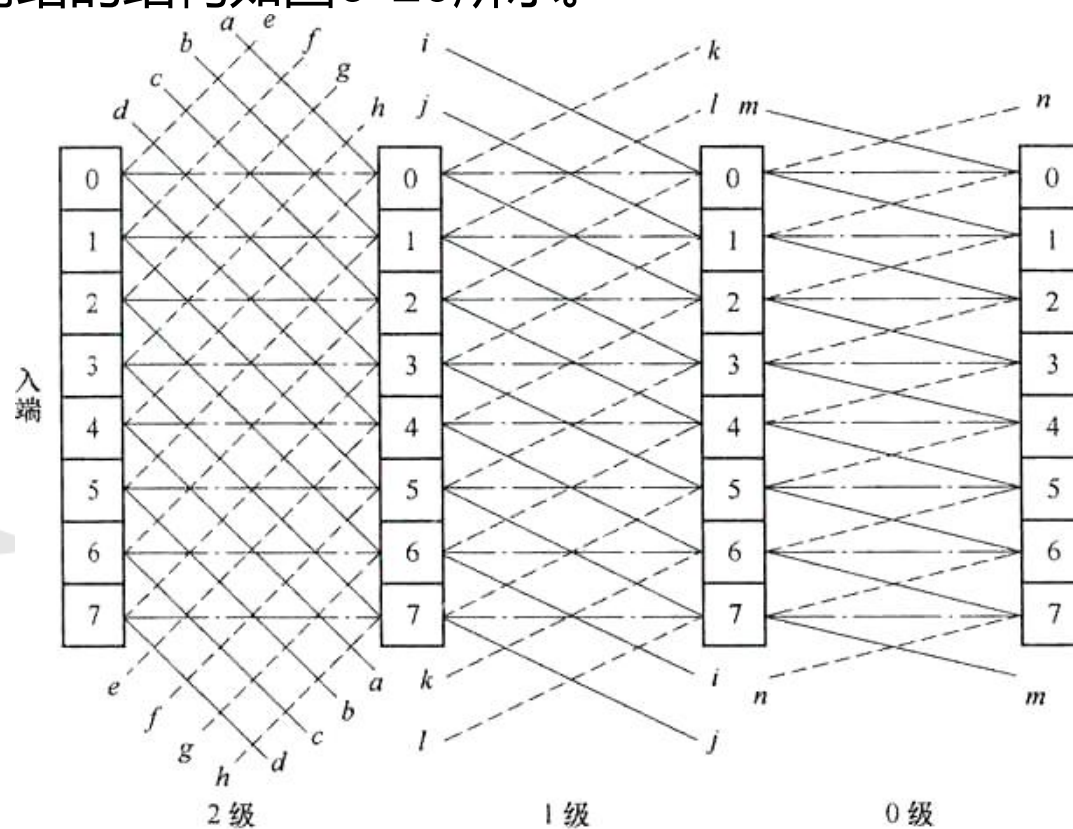


图 6-19 $N=8$ 的多级混洗交换网络

6.3.4基本的多级互连网络

3.多级PM2I网络

$N=8$ 的多级PM2I网络的结构如图6-20所示。

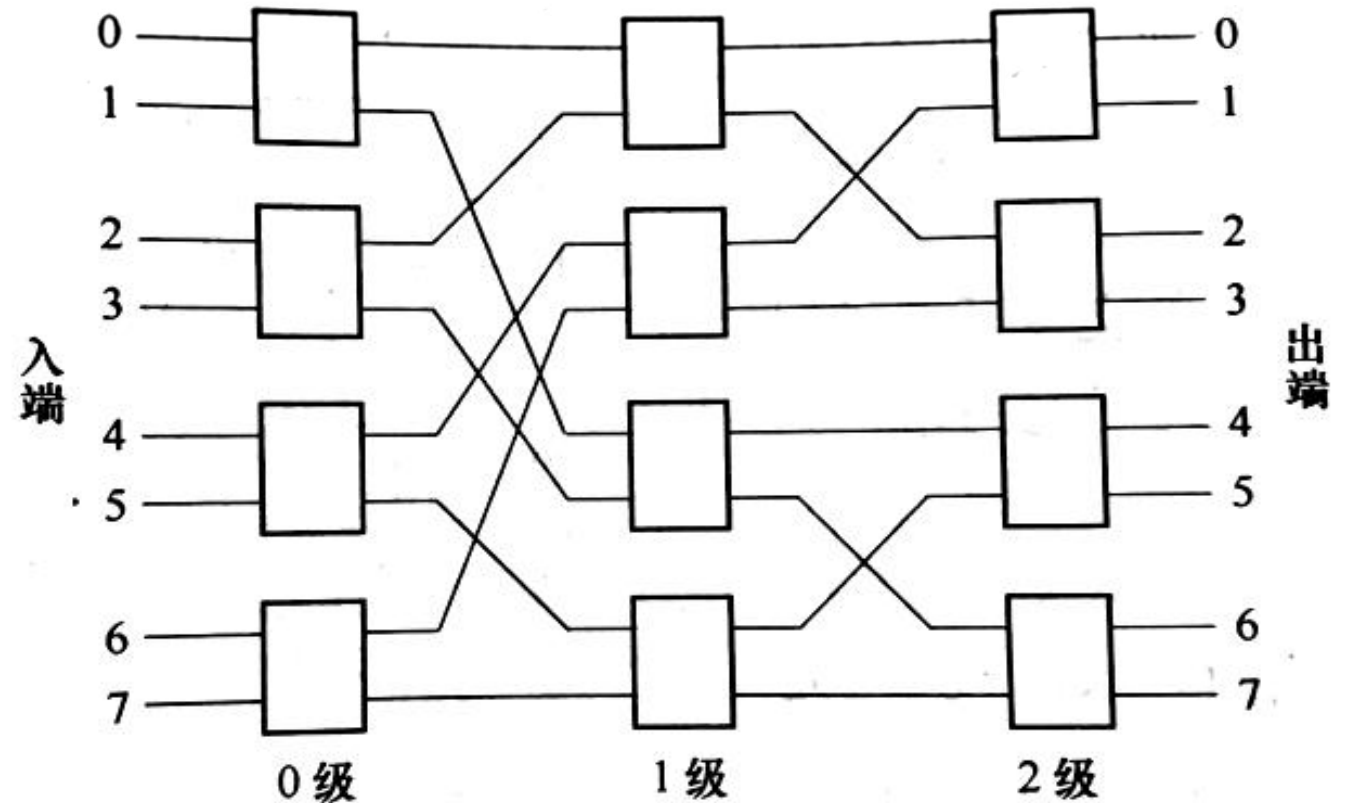


6.3.4基本的多级互连网络

4.基准网络

图6-21所示是 $N=8$ 的基准网络。

基准网络在多级网络中可作为中间介质，模拟一种网络的拓扑和功能。



6.3.4 基本的多级互连网络

5. 多级交叉开关网络

多级交叉开关 (CLOS)网络是一种非阻塞式网络, 图6-22给出了一个三级交叉开关网络的结构。

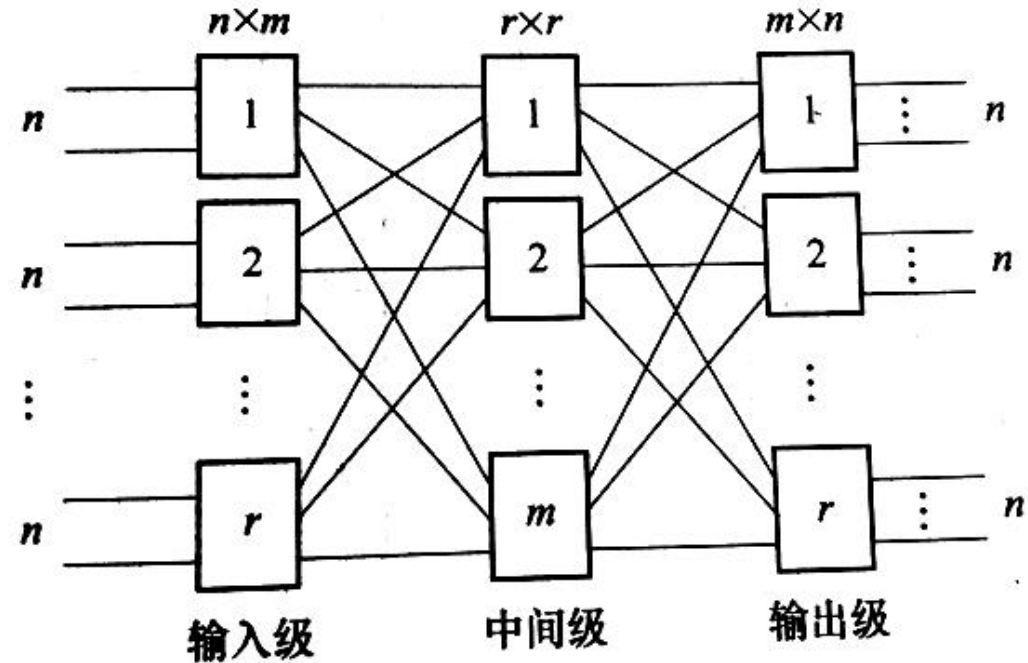


图 6-22 三级交叉开关网络的结构

6.3.4 基本的多级互连网络

5. 多级交叉开关网络

多级交叉开关 (CLOS)网络是一种非阻塞式网络, 图6-22给出了一个三级交叉开关网络的结构。

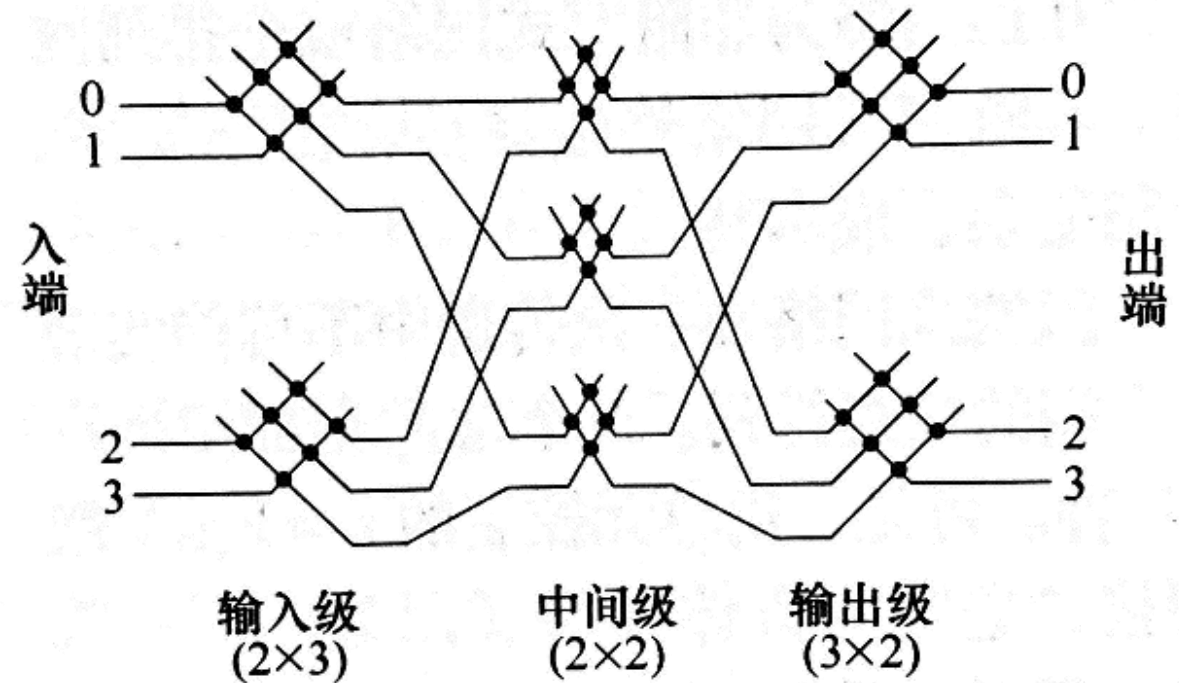


图 6-23 $N(3, 2, 2)$ 多级交叉
开关网络

6.3.4 基本的多级互连网络

6. 多级蝶式网络

图6-24所示是由16个 8×8 交叉开关作为基本构件组成的二级蝶式网络，级间采用8路混洗，构成了 64×64 的蝶式互连。

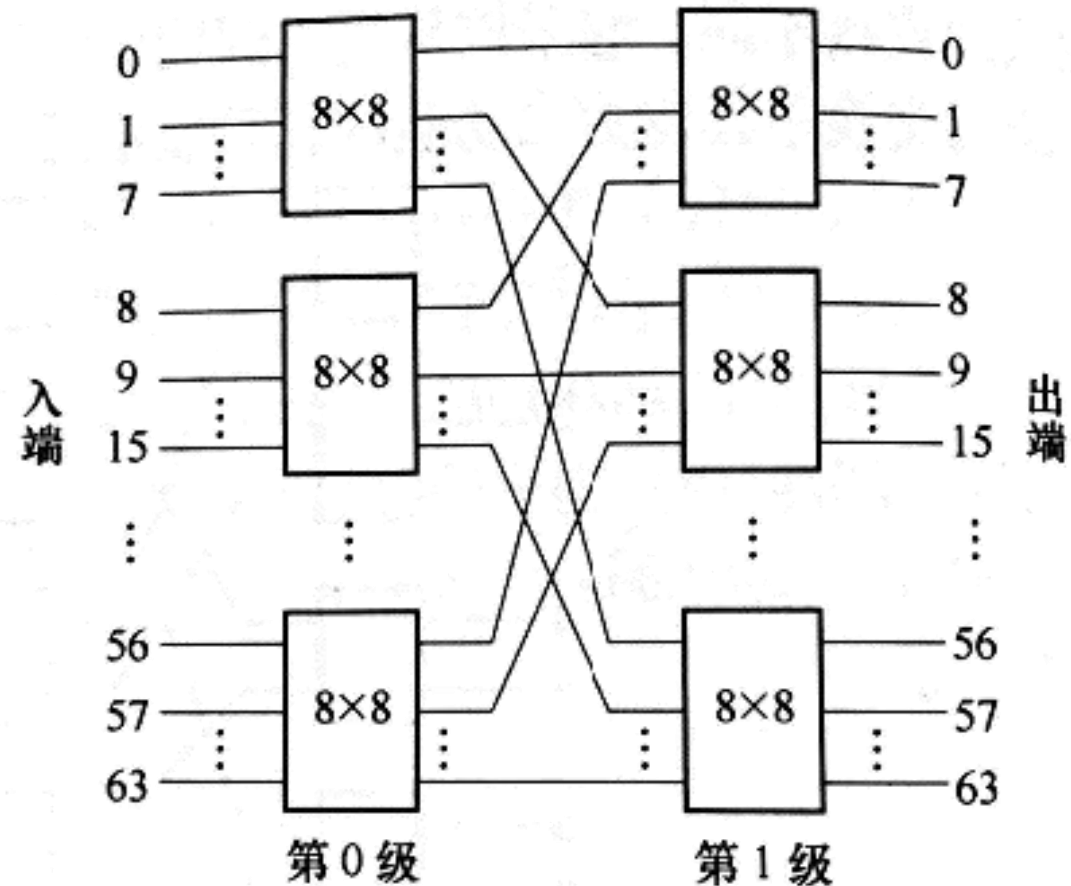


图 6-24 用 8×8 交叉开关构造的

6.3.5全排列网络

该网络至少有两个以上的通道能满足一对结点的互连要求，即数据寻径不唯一，有较多的冗余，这有利于选择合适的路径传送，可靠性、灵活性较好。

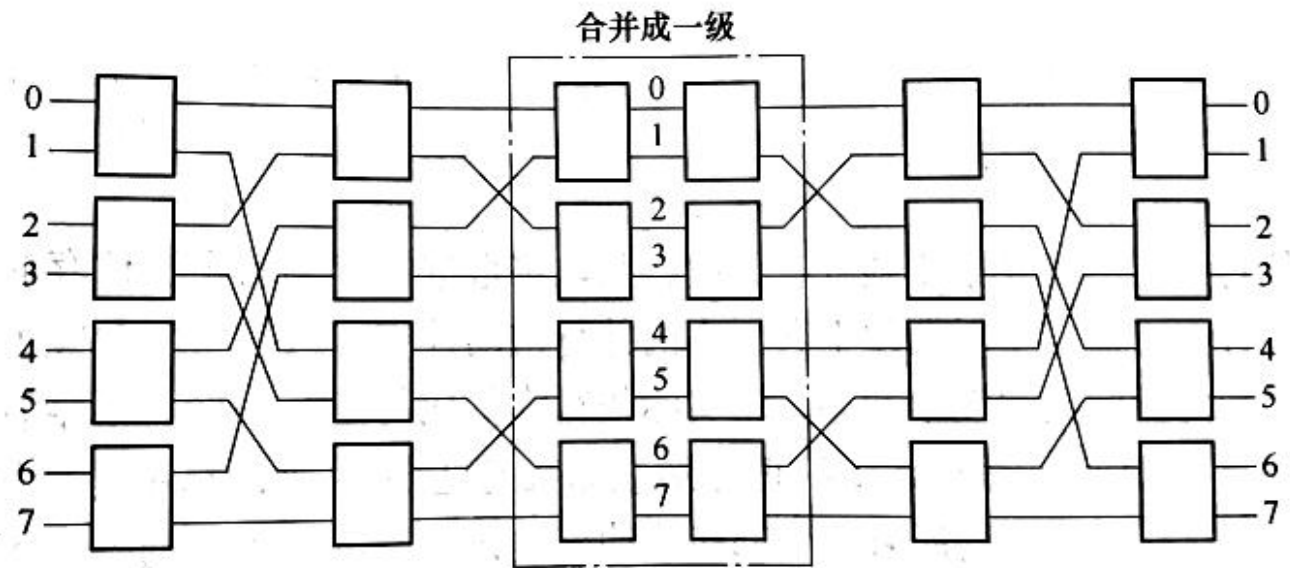


图 6-26 多级全排列网络举例（Benes 网络）



尚德机构

▶ 答疑时间 ◀





尚德机构

▶ THANK YOU ◀

