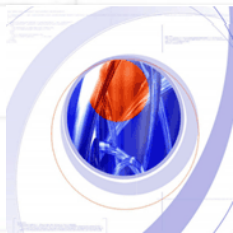


第7章 互连网络 (ICN)

- 7.1 互连网络基本概念
- 7.2 互连网络的结构参数与性能指标
- 7.3 互连函数
- 7.4 静态互连网络
- 7.5 动态互连网络

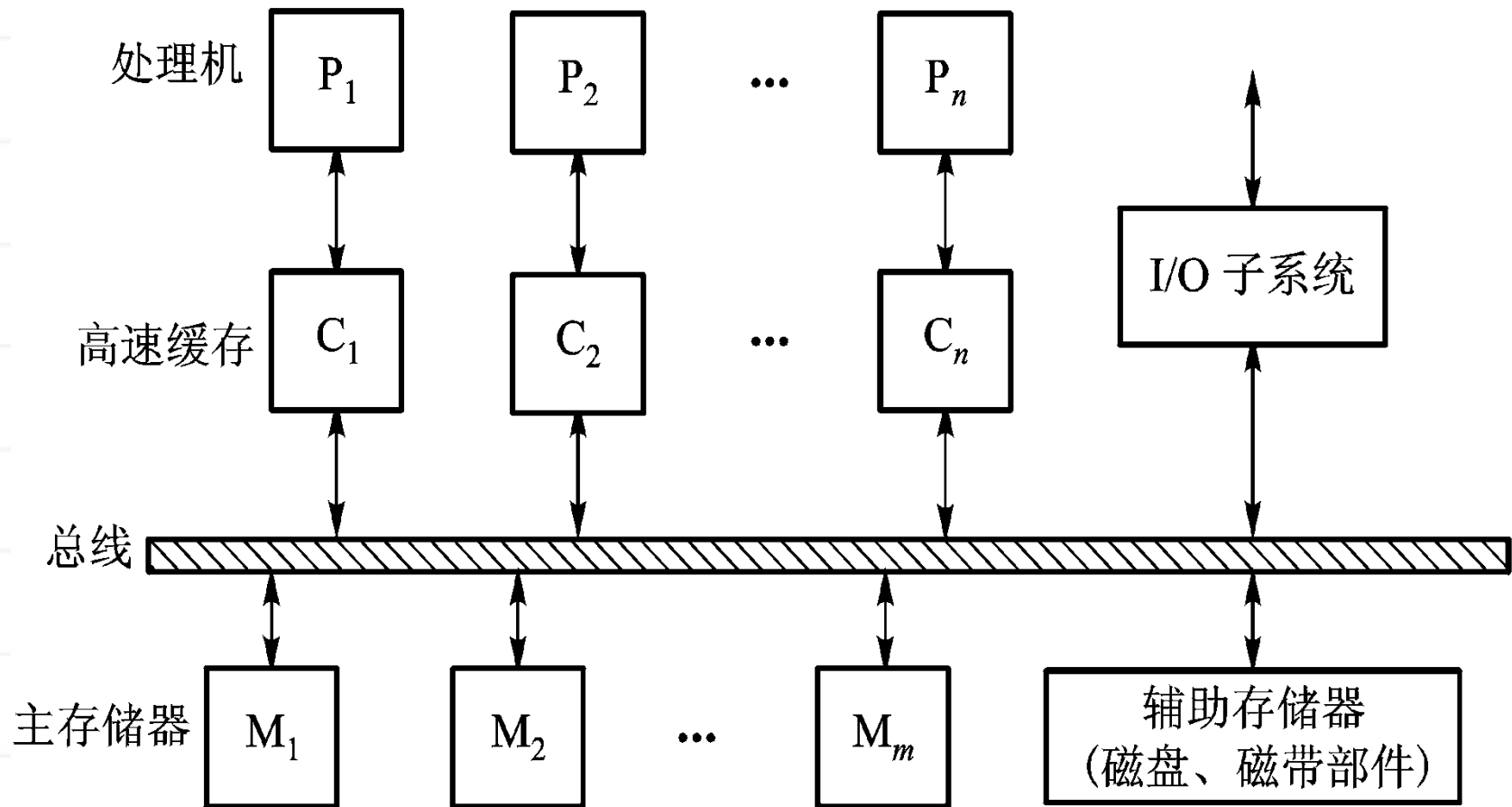


7.5 动态互连网络

7.5.1 总线网络

1. 由一组导线和插座构成，经常被用来实现计算机系统中处理机模块、存储模块和外围设备等之间的互连。
 - 每一次总线只能用于一个源（主部件）到一个或多个目的（从部件）之间的数据传送。
 - 多个功能模块之间的争用总线或时分总线
 - 特点
 - 结构简单、实现成本低、带宽较窄

2. 一种由总线连接的多处理机系统



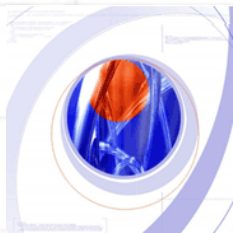
3. 解决总线带宽较窄问题：采用多总线或多层次的总线

➤ 多总线是设置多条总线

有两种做法：

- 为不同的功能设置专门的总线
- 重复设置相同功能的总线

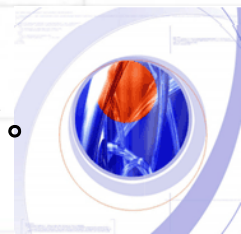
➤ 多层次的总线是按层次的架构设置速度不同的总线，使得不同速度的模块有比较适合的总线连接。



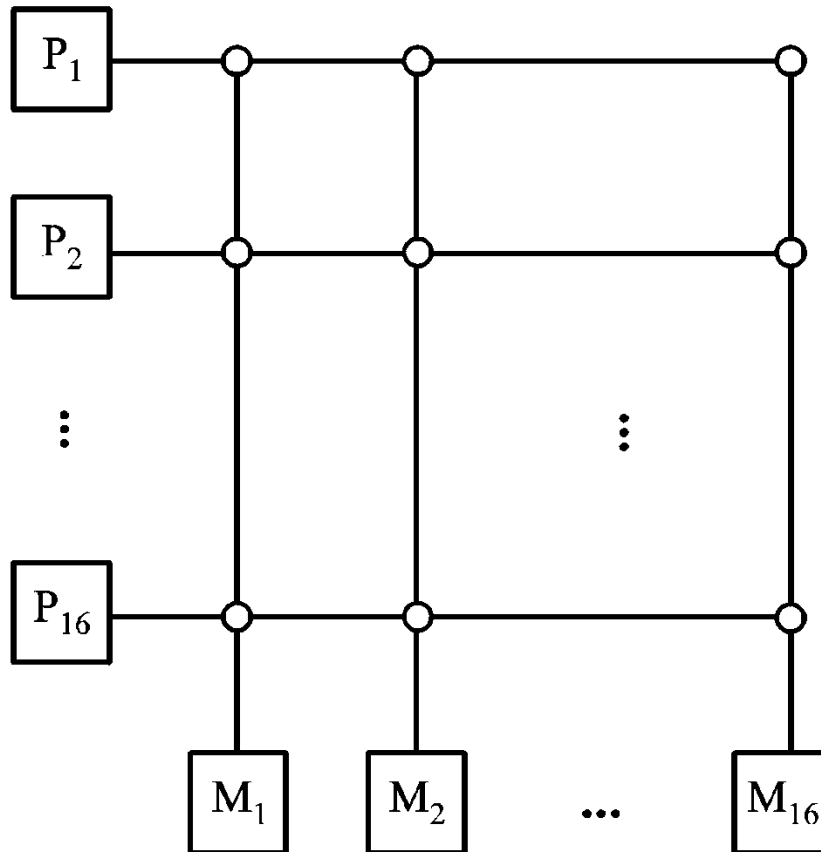
7.5.2 交叉开关网络

1. 单级开关网络

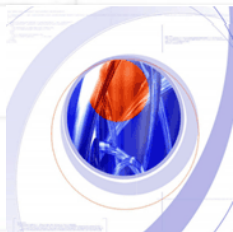
- 交叉点开关能在对偶（源、目的）之间形成动态连接，同时实现多个对偶之间的无阻塞连接。
- 带宽和互连特性最好。
- 一个 $n \times n$ 的交叉开关网络，可以无阻塞地实现 $n!$ 种置换。
- 对一个 $n \times n$ 的交叉开关网络来说，需要 n^2 套交叉点开关以及大量的连线。
 - 当 n 很大时，交叉开关网络所需要的硬件数量非常巨大。



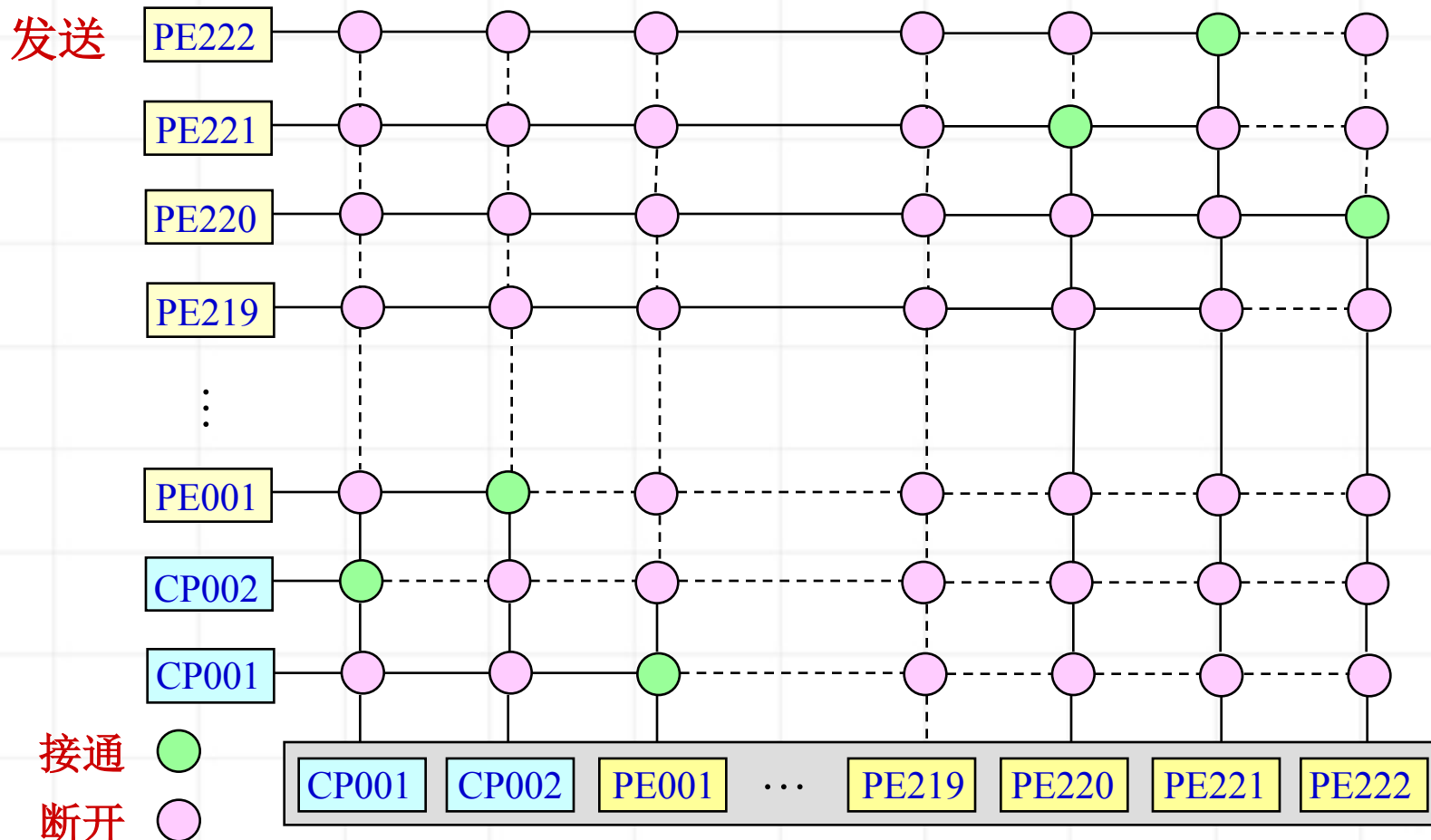
2. C. mmp多处理机的互连结构



- 16台PDP-11处理机与16个存储模块互连
- 最多可同时实现16台处理机对16个不同存储模块的并行访问



3. Fujitsu向量并行处理机VPP500的开关网络 (224×224)



PE: 带存储器的处理机

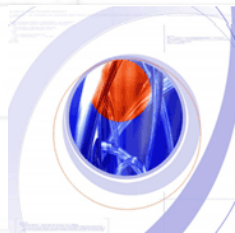
CP: 控制处理机

接收

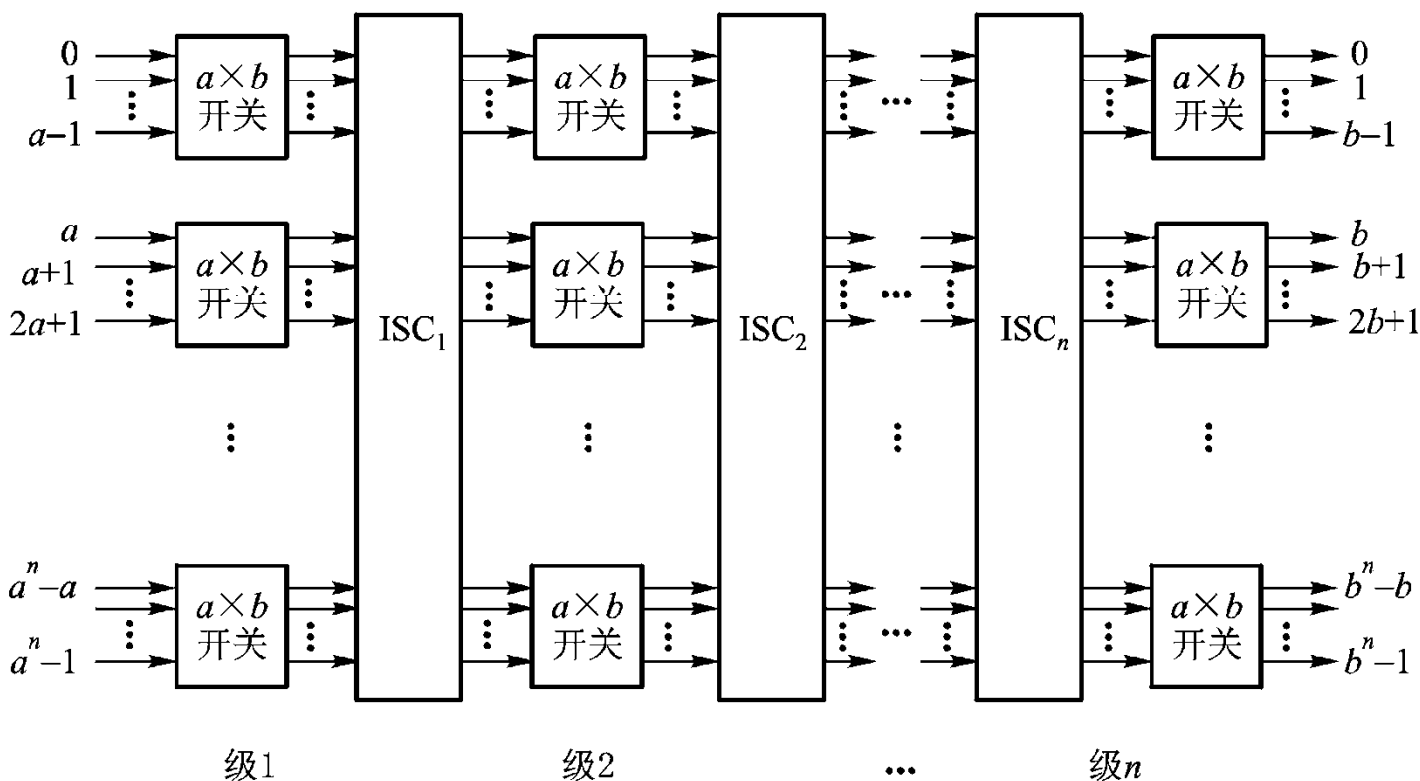
7.5.3 多级互连网络

多级互连网络的构成

- MIMD和SIMD计算机都采用多级互连网络MIN (Multistage Interconnection Network)
- MIN使用多级开关，使得数据在一次通过网络的过程中可以实现的置换种类更多。
- 一种通用的多级互连网络
 - 由 $a \times b$ 开关模块和级间连接构成的通用多级互连网络结构
 - 每一级都用了多个 $a \times b$ 开关
 - a 个输入和 b 个输出，通常 $a=b=2^k$ ， $k \geq 1$ 。
 - 相邻各级开关之间都有固定的级间连接



- 通常在**N**个结点的网络中，多级**ICN**由**n**级构成（ $n = \log_2 N$ ）。

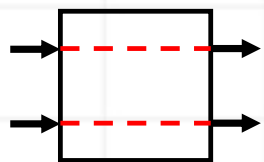


- 经典的多级互连网有多级立方体网、多级混洗交换网和多级**PM2I**网。

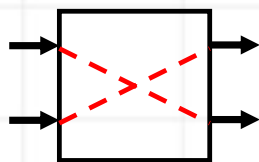


最简单的开关模块： 2×2 开关

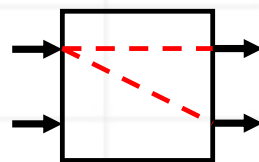
- 二元交换开关的四种基本接通状态：“直连”、“交换”、“上播”和“下播”
- 在进行数据置换时只能使用前2种。



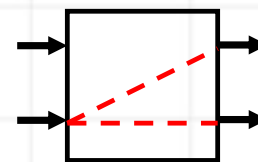
(a)直连



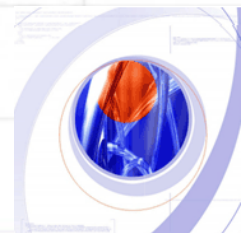
(b)交换



(c)上播



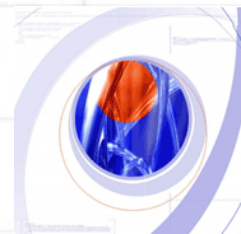
(d)下播



➤ 各种多级互连网络的**区别**在于所用**开关模块**、**控制方式**和**级间互连模式**的不同。

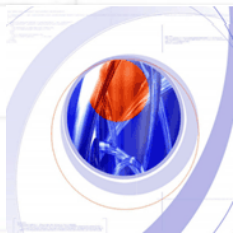
- **控制方式**：对各个开关模块的控制方式。
 - **级控制**：每一级所有开关只用一个控制信号控制，只能同时处于同一种状态。
 - **单元控制**：每一个开关都有一个独立的制信号，可各自处于不同的状态。
 - **部分级控制**：第*i*级的所有开关分别用*i+1*个信号控制， $0 \leq i \leq n-1$ ，*n*为级数。
- 常用的级间互连模式：

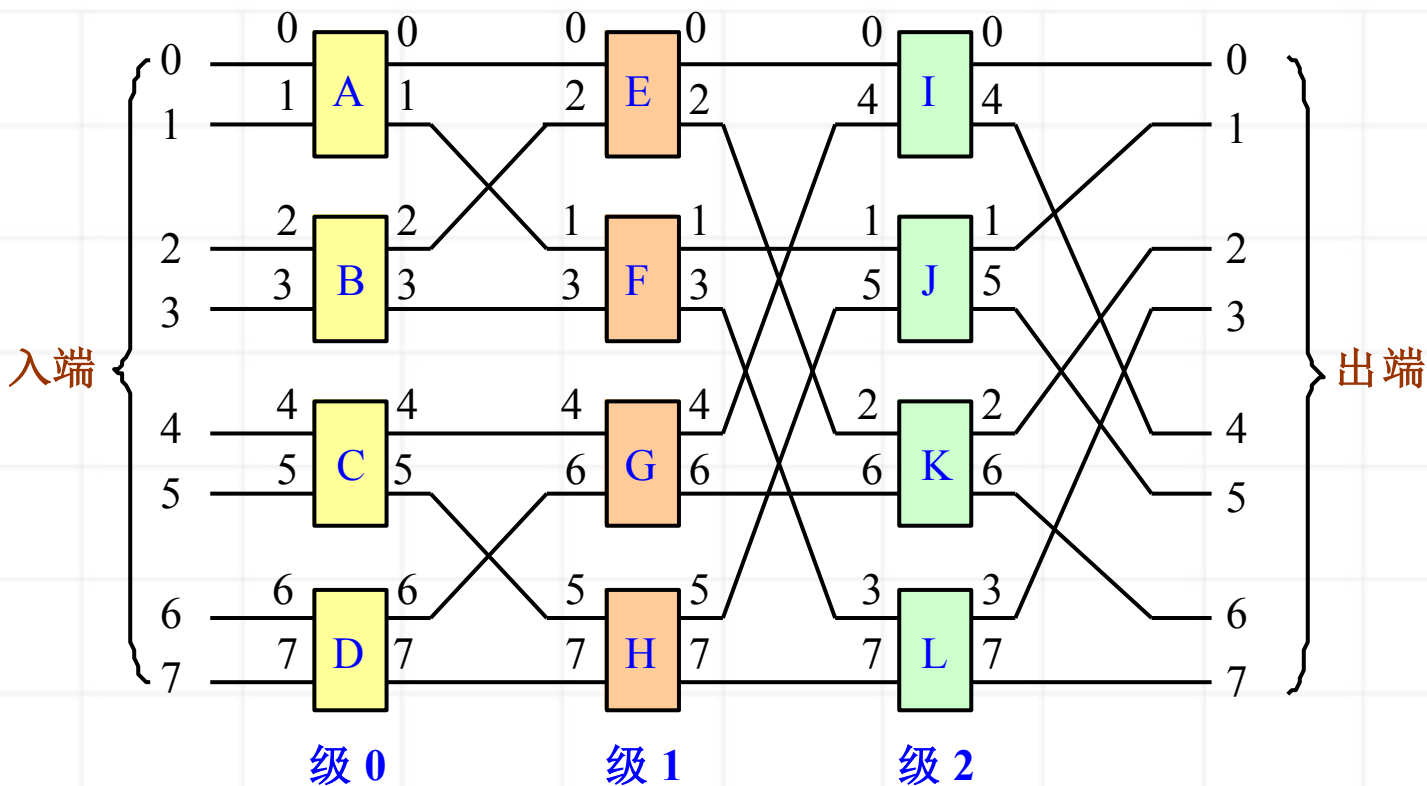
均匀洗牌、蝶式、多路洗牌、纵横交叉、立方体连接等



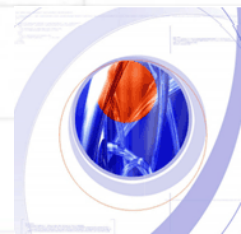
2. 多级立方体网络

- 多级立方体网络包括STARAN网络和间接二进制 n 方体网络等。
 - ❑ 两者仅在控制方式上不同，在其他方面都是一样的。
 - ❑ 都采用二功能（直送和交换）的 2×2 开关。
 - ❑ 当第 i 级（ $0 \leq i \leq n-1$ ）交换开关处于交换状态时，实现的是 $Cube_i$ 互连函数。
- 一个 N 输入的多级立方体网络有 $\log_2 N$ 级，每级用 $N/2$ 个 2×2 开关模块，共需要 $\log_2 N \times N/2$ 个开关。
- 一个8个入端的多级立方体网络





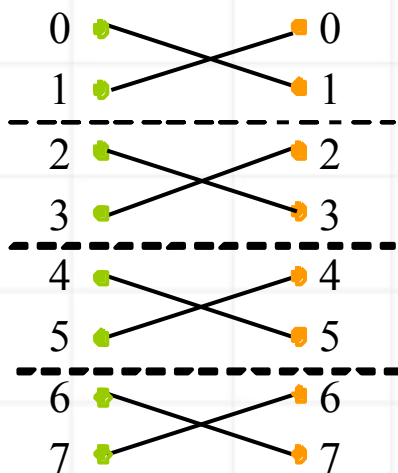
1. 间接二进制n方体网络采用单元控制。具有更大灵活性。
2. STARAN网络采用级控制和部分级控制。
 - 采用级控制时，实现交换功能；
 - 采用部分级控制时，实现移数功能。



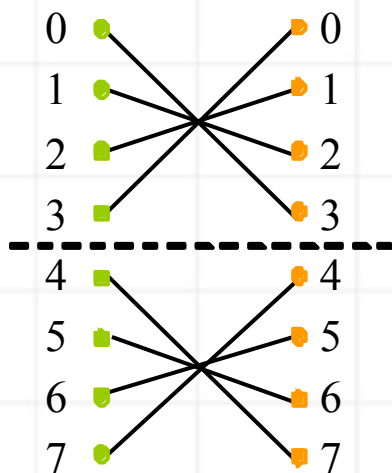
交换

将有序的一组元素头尾对称地进行交换。

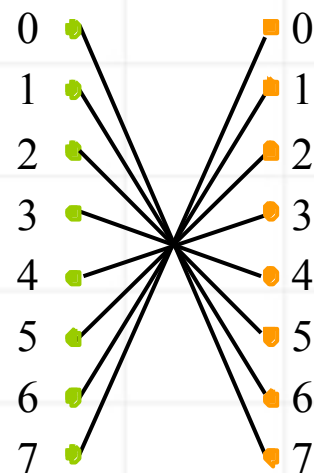
例如：对于由8个元素构成的组，各种基本交换的图形：



(a) 4 组 2 元交换

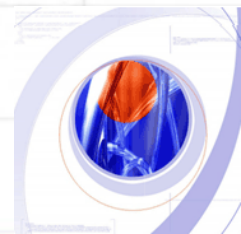


(b) 2 组 4 元交换



(c) 1 组 8 元交换

8个元素的基本交换图形



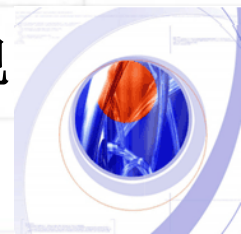
- 3级STARAN网络在各种级控制信号的情况下所实现的入出端连接以及所实现的交换函数和功能。

其中：

- $K_2k_1k_0$ ：控制信号， k_i ($i=0, 1, 2$) 为第 i 级的级控制信号。
- 从表中可以看出

下面的4行中每一行所实现的功能可以从级控制信号为其反码的一行中所实现的功能加上1组8元变换来获得。

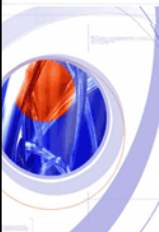
例如：级控制信号为110所实现的功能是其反码001所实现的4组2元交换再加上1组8元交换来获得。



级控制信号 $k_2k_1k_0$	连接的输出端号序列 (入端号序列: 01234567)	实现的分组交换	实现的互连函数
000	0 1 2 3 4 5 6 7	恒等	I
001	1 0 3 2 5 4 7 6	4组2元交换	Cube_0
010	2 3 0 1 6 7 4 5	4组2元交换+ 2组4元交换	Cube_1
011	3 2 1 0 7 6 5 4	2组4元交换	$\text{Cube}_0 + \text{Cube}_1$
100	4 5 6 7 0 1 2 3	2组4元交换+ 1组8元交换	Cube_2
101	5 4 7 6 1 0 3 2	4组2元交换+ 2组4元交换+ 1组8元交换	$\text{Cube}_0 + \text{Cube}_2$
110	6 7 4 5 2 3 0 1	4组2元交换+ 1组8元交换	$\text{Cube}_1 + \text{Cube}_2$
111	7 6 5 4 3 2 1 0	1组8元交换	$\text{Cube}_0 + \text{Cube}_1 + \text{Cube}_2$

- 当STARAN网络用作移数网络时，采用部分级控制，控制信号的分组和控制结果。

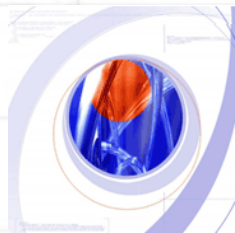
部分级控制信号						连接的输出端号序列 (入端号序列：01234567)	所实现的移数 功能
第0级	第1级		第2级				
A B C D	E G	F H	I	J	K L		
1	1	0	1	0	0	1 2 3 4 5 6 7 0	移1 mod 8
0	1	1	1	1	0	2 3 4 5 6 7 0 1	移2 mod 8
0	0	0	1	1	1	4 5 6 7 0 1 2 3	移4 mod 8
1	1	0	0	0	0	1 2 3 0 5 6 7 4	移1 mod 4
0	1	1	0	0	0	2 3 0 1 6 7 4 5	移2 mod 4
1	0	0	0	0	0	1 0 3 2 5 4 7 6	移1 mod 2
0	0	0	0	0	0	0 1 2 3 4 5 6 7	不移 全等



3. Omega网络（多级混洗—交换网络）

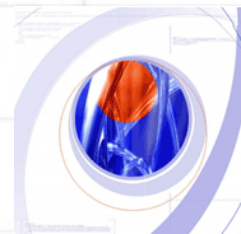
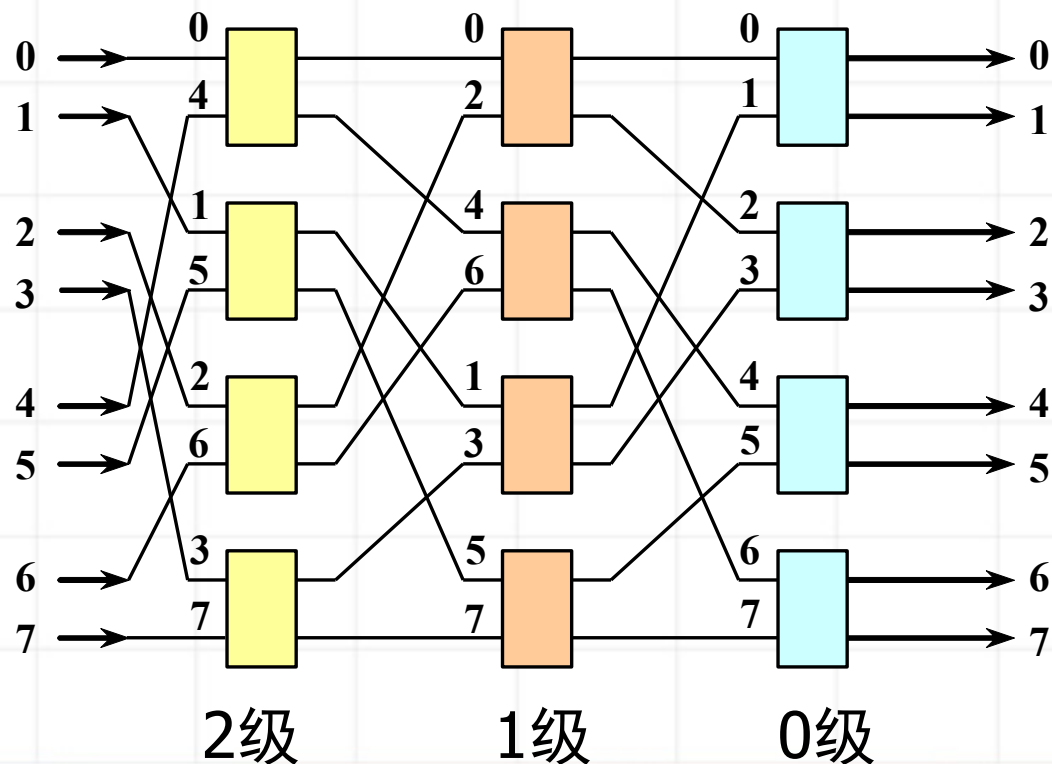
➤ N输入Omega网络的构成

- 有 $\log_2 N$ 级，每级 $N/2$ 个 2×2 开关模块，共需要 $N \log_2 N/2$ 个开关。
- 每个开关模块均采用单元控制方式。
- 不同开关状态组合可实现各种置换、广播或从输入到输出的其它连接。
- 级间互连采用均匀洗牌连接方式
- 每一级包含一个无条件混洗拓扑线路和一系列可控的二元交换开关，前后重复，便于制造。
- 各级编号是 $n-1, \dots, 0$ ，即按降序排列



➤ 8×8 的Omega网络

- ❑ 单独一级混洗拓扑线路可完成一次数据混洗（shuffle），
- ❑ 单独一列二元交换开关在处于“交换”状态时可完成一次交换操作（Cube0）



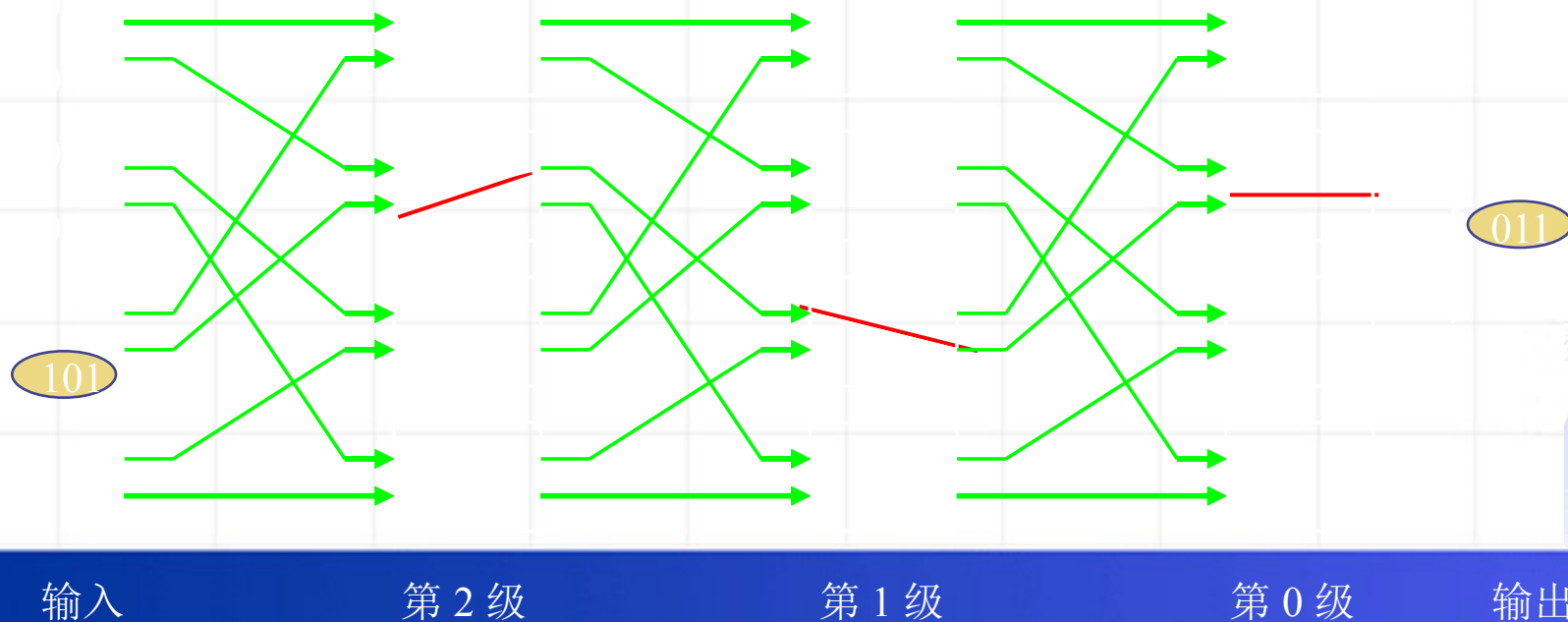
多级混洗—交换网络寻径算法

目的：根据给定的输入/输出对应关系，确定各开关的状态。

名称：源-目的地址异或法

操作：将任一个输入地址与它要到达的输出地址作异或运算，其结果的bit位控制数据到达的第*i*级开关，“0”表示“直连”，“1”表示“交换”。

例如给定传输101B→011B，二者异或结果为110B，于是从101B号输入端开始，把它遇到的第2级开关置为“交换”，第1级开关置为“交换”，第0级开关置为“直连”。如下图红线所示。



Omega网寻径冲突

- N输入互连网络，可能的置换数总共 $N!$ 个
- N输入的Omega网，一次通过可实现 $N^{N/2}$ 个 → 阻塞网络

给定传输101B→011B，二者异或结果为110B，路径红线所示。

给定传输011B→010B，二者异或结果为001B，路径黑线所示。

