



3、交换网络

- 交换网络的基本概念
- *CLOS*网络
- *TST*网络
- *BANYAN*网络

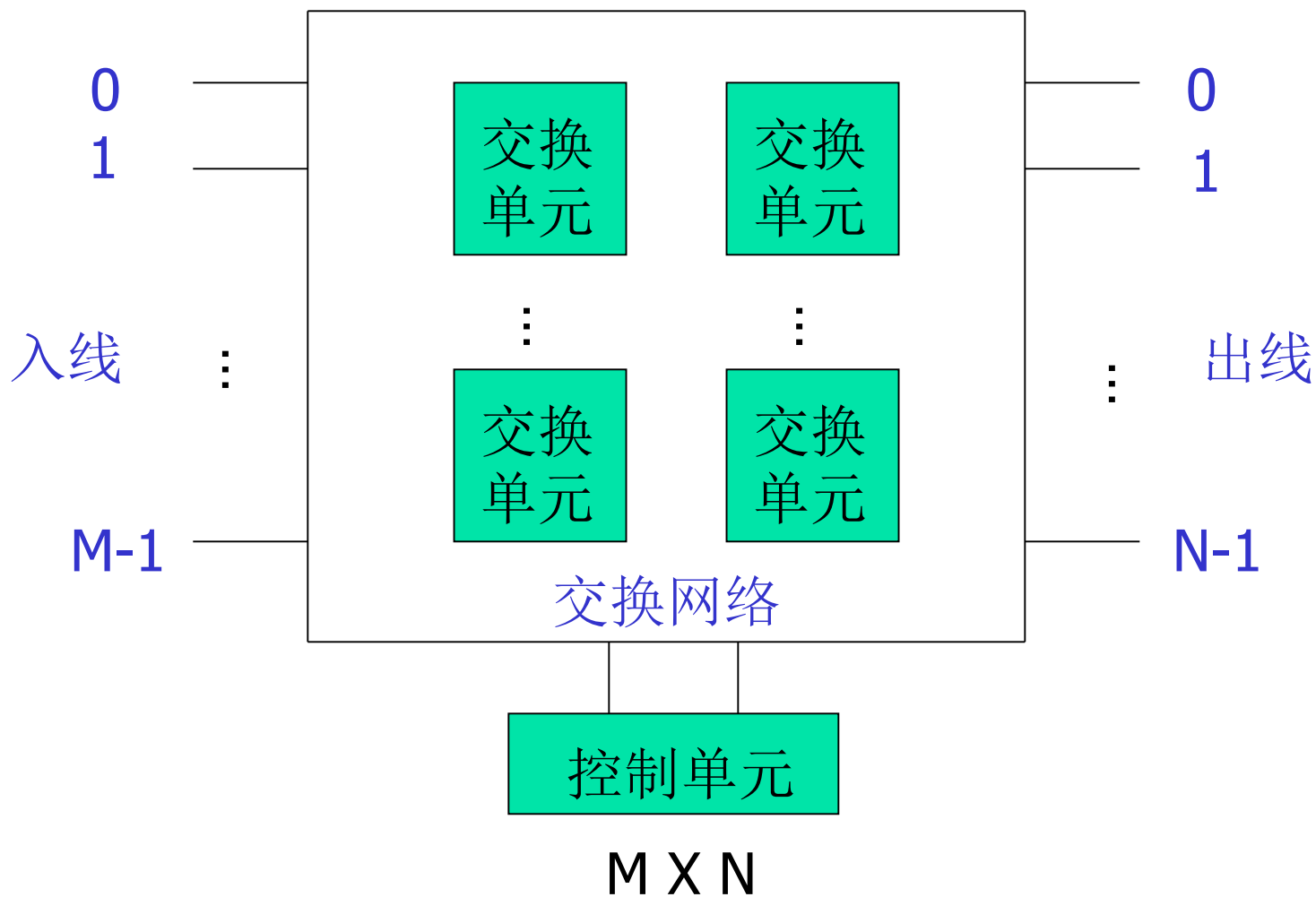


(1) 交换网络的基本概念

交换网络是由若干个交换单元按照一定的拓扑结构和控制方式构成的网络。

交换网络的三个基本要素是：**交换单元**、不同交换单元间的**拓扑连接**和**控制方式**。

交换网络的一般结构



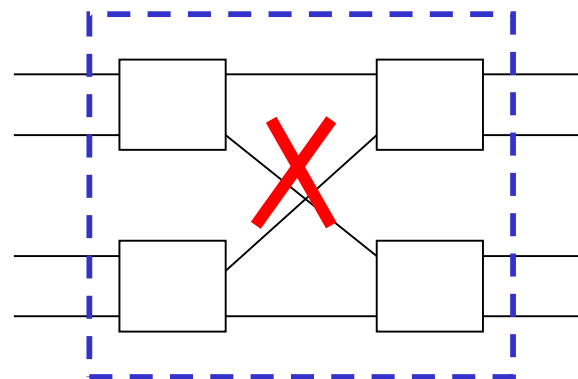
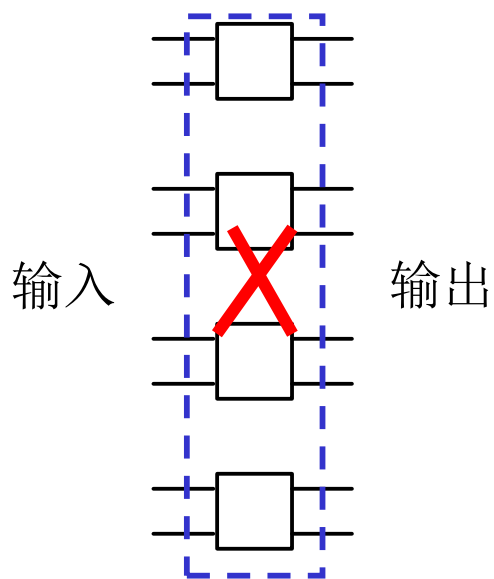
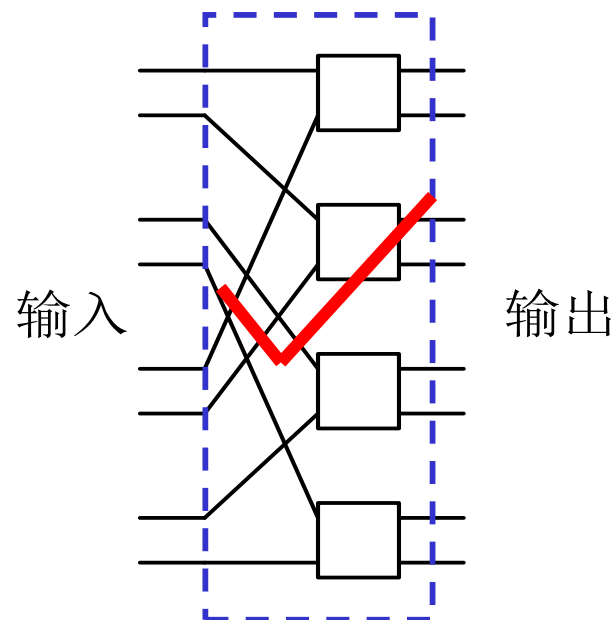
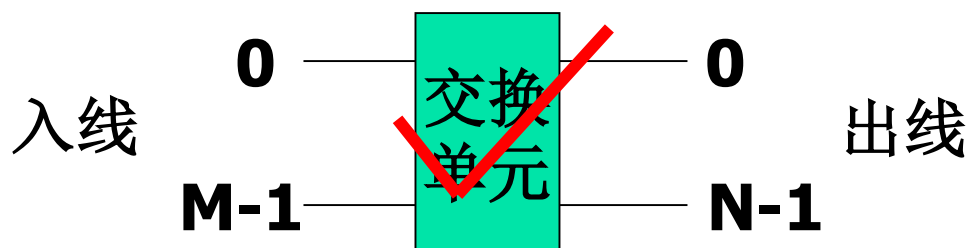


交换网络的分类——单级交换网络和多级交换网络

交换网络按拓扑连接方式可分为：单级交换网络
多级交换网络

单级交换网络是由一个或者多个位于同一级的交换单元所构成的交换网络，即需要交换的信息从交换网络入线到交换网络出线只经过一个交换单元，并且当同一级有多个交换单元构成时，不同交换单元的入线与出线之间可建立连接。

交换网络的分类——单级交换网络和多级交换网络





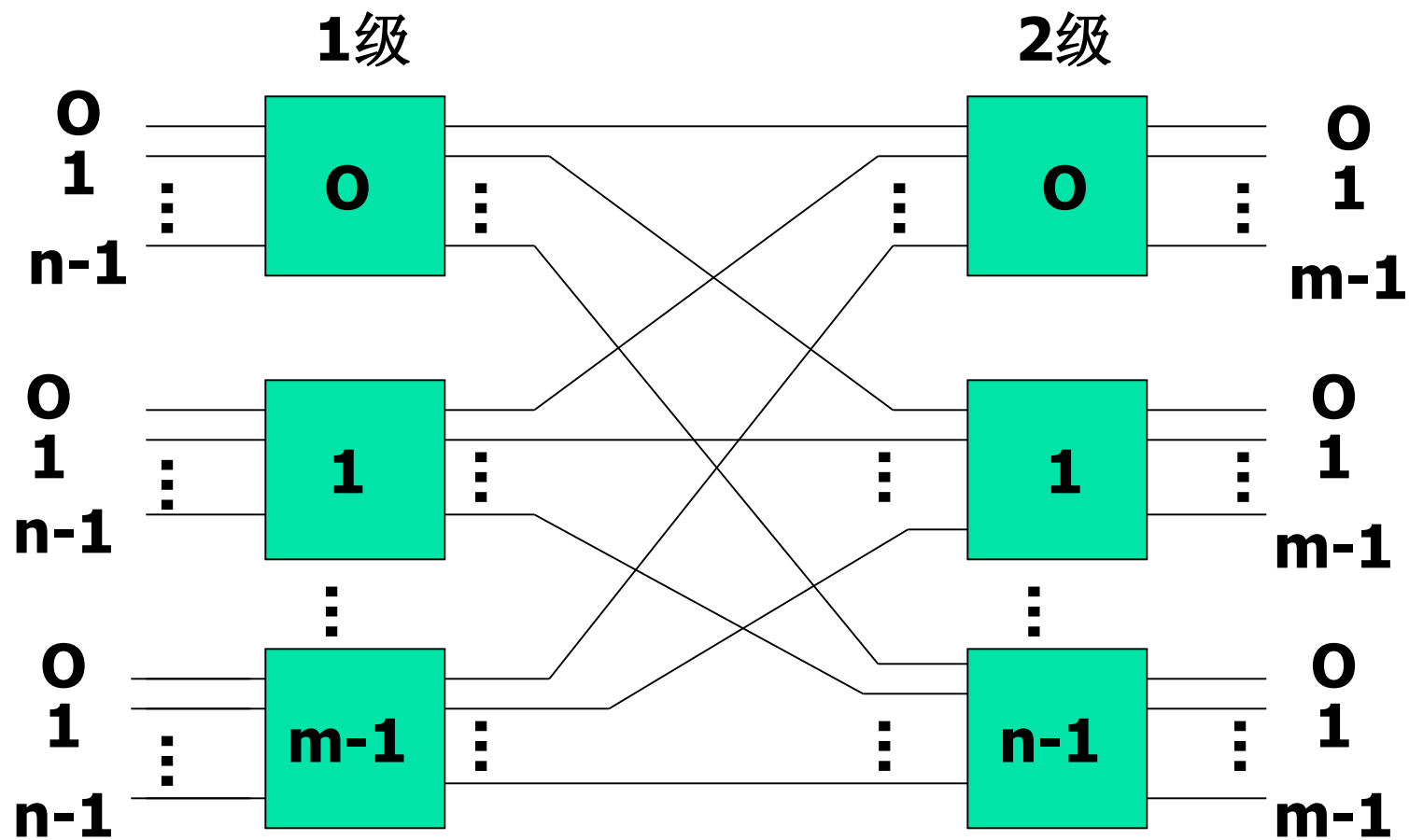
交换网络的分类——单级交换网络和多级交换网络

如果一个交换网络中的交换单元可以分为 K 级，顺序命名为第1, 2, ..., K 级，并且满足：

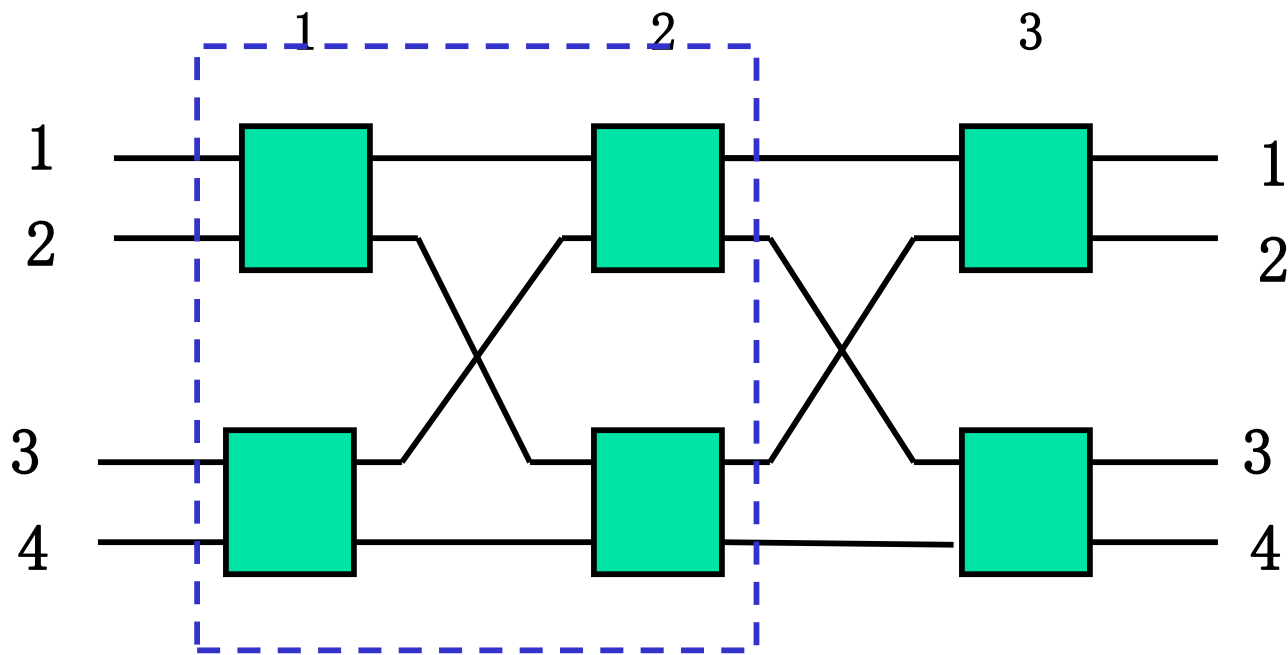
- 所有入线都只与第1级交换单元连接；
- 所有第1级交换单元都只与入线和第2级交换单元连接；
- 所有第2级交换单元都只与第1级和第3级交换单元连接；
- 依此类推，所有第 K 级交换单元都只与第 $K-1$ 级和出线连接；

则称这样的交换网络为多级交换网络，或 K 级交换网络。

多级交换网络($nm \times nm$ 2级交换网络)



多级交换网络(4x4 3级交换网络)



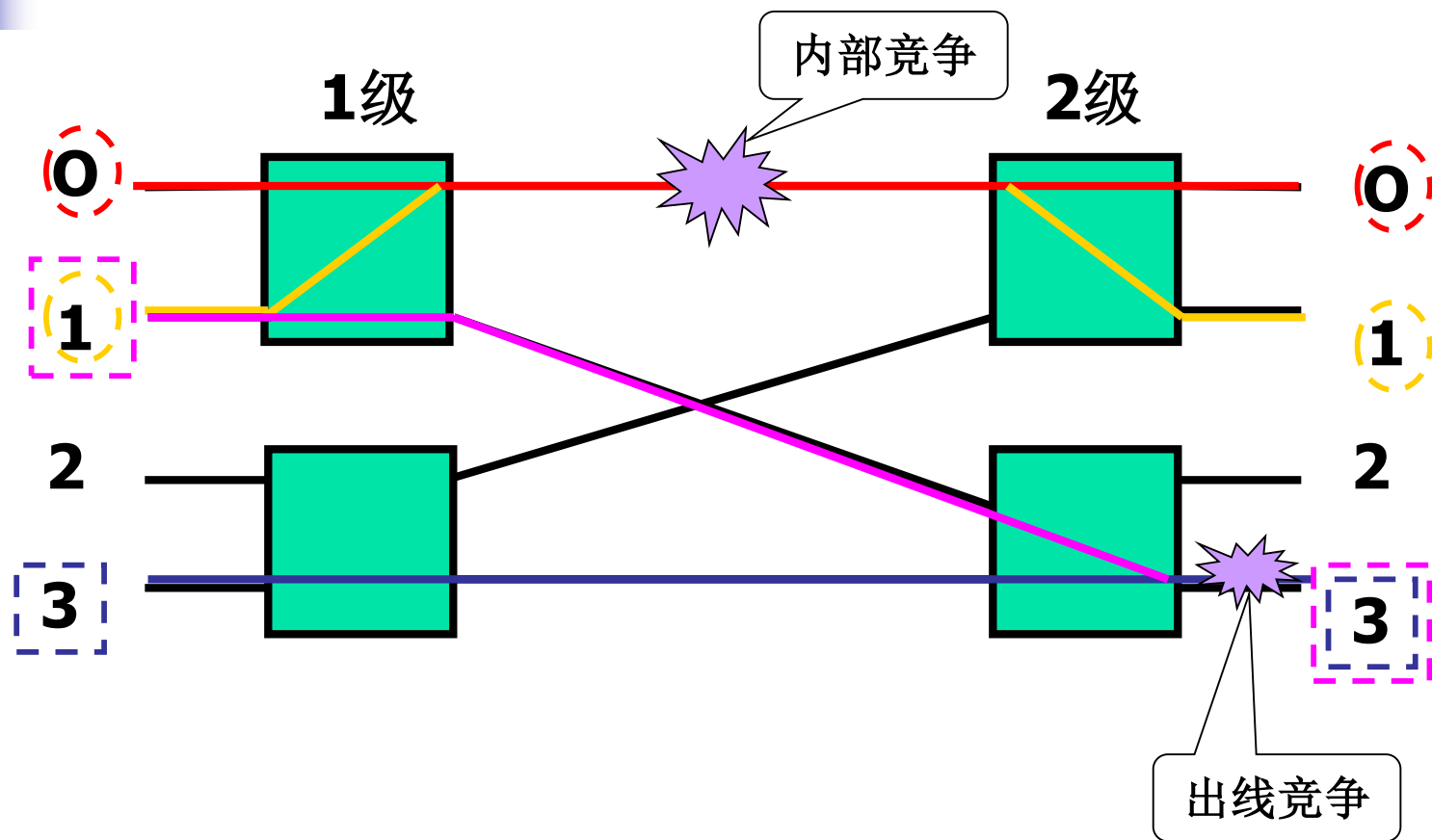


交换网络的分类——有阻塞交换网络和无阻塞交换网络

交换网络的阻塞是指从交换网络不同输入端来的信息在交换网络中交换时发生了对同一**公共资源**争抢的情况，这时在竞争资源中失败的信息就会被阻塞，直到这个公共资源被释放。

阻塞的两种情况：**内部竞争、出线竞争**

交换网络的分类——有阻塞交换网络和无阻塞交换网络





交换网络的分类——有阻塞交换网络和无阻塞交换网络

严格无阻塞网络：

不管网络处于何种状态，**任何时刻**都可以在交换网络中建立一个连接，只要这个连接的起点、终点是**空闲**的，而不会影响网络中已建立起来的连接。



交换网络的分类——有阻塞交换网络和无阻塞交换网络

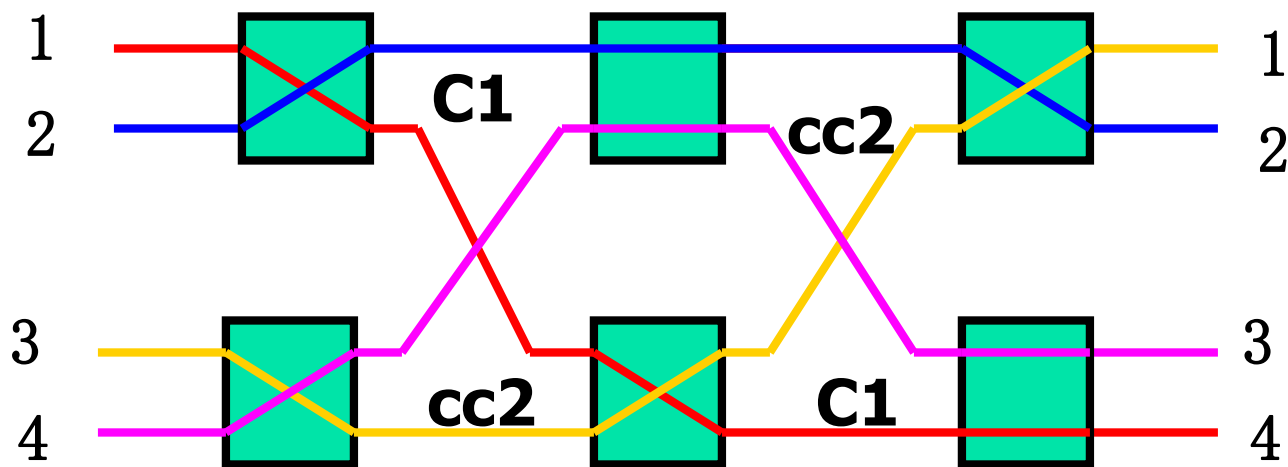
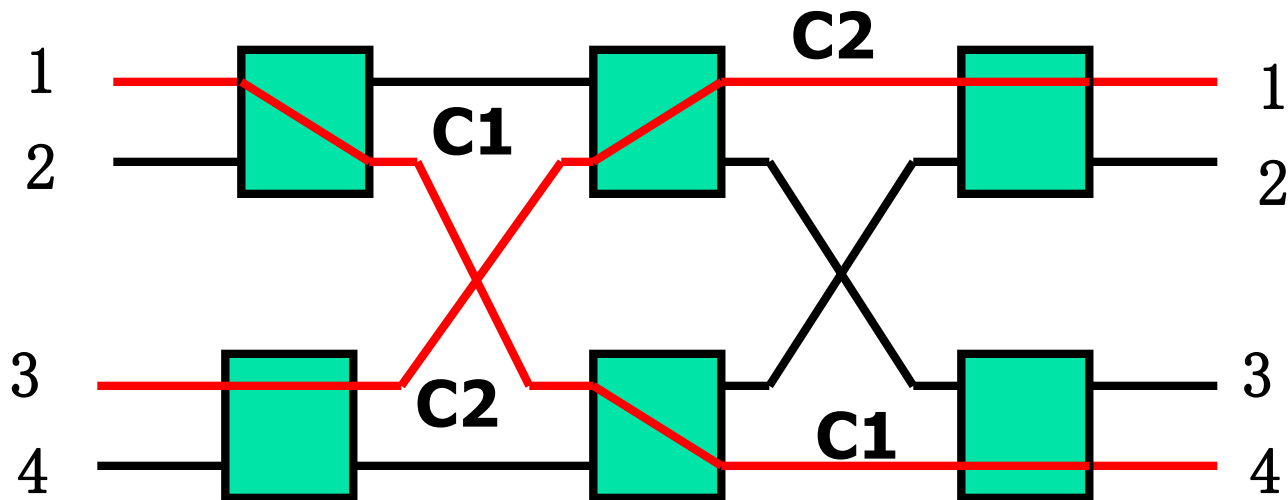
可重排无阻塞网络：

不管网络处于何种状态，**任何时刻**都可以在交换网络中直接或**对已有的连接重选路由**来建立一个连接，只要这个连接的起点、终点是**空闲**的，而不会影响网络中已建立起来的连接。

广义无阻塞网络：

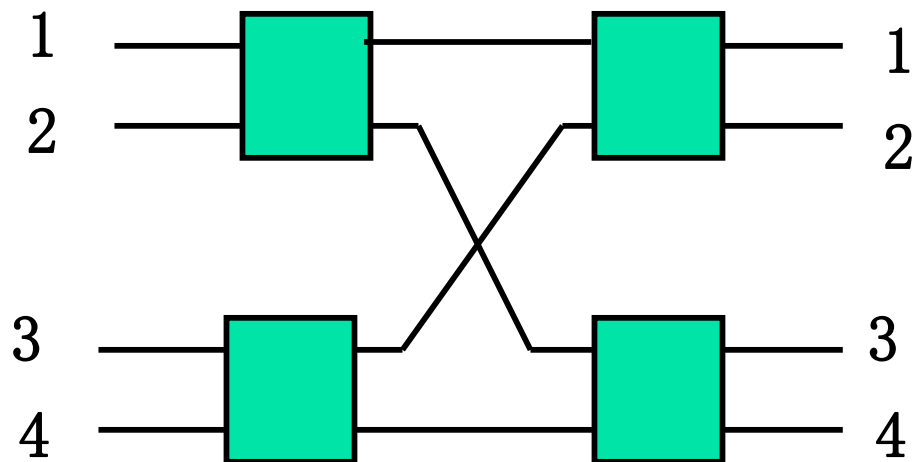
指一个给定的网络存在着固有的阻塞可能，但又可能存在着一种**精巧的选路方法**，使得所有的阻塞均可避免，而不必重新安排网络中已建立起来的连接。

可重排无阻塞网络

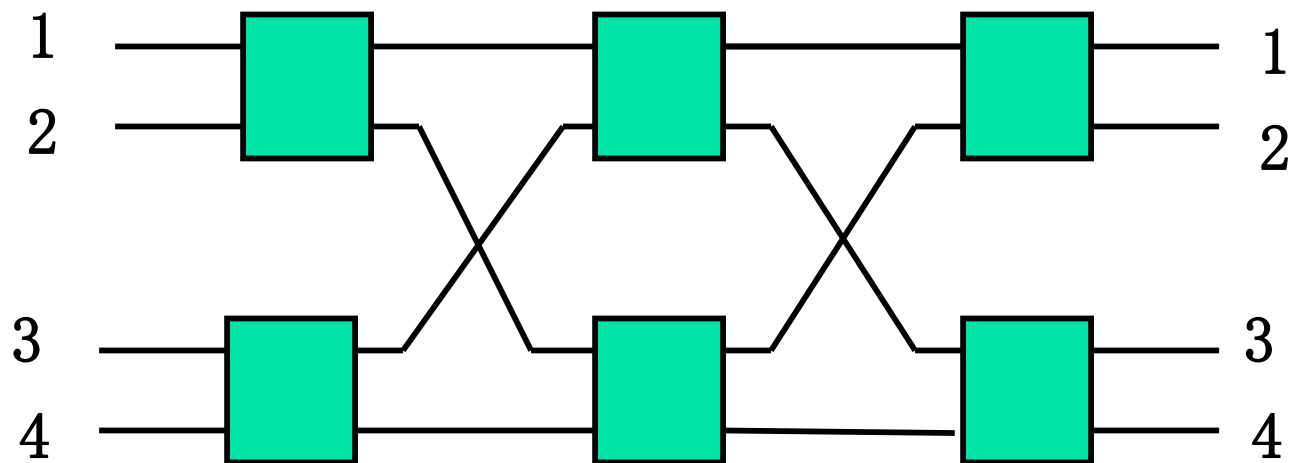
$$\begin{bmatrix} 1, 2, 3, 4 \\ 4, 2, 1, 3 \end{bmatrix}$$


交换网络的分类——单通路交换网络和多通路交换网络

单通路



多通路





交换网络的分类——时分交换网络和空分交换网络

时分交换网络：

时分结构的基本特征是所有输入与输出端口分时共享单一的通信通路，具有时隙交换功能。

空分交换网络：

空分结构的基本特征是在多对输入端口与输出端口间同时并行地传送信息，具有空间交换的功能。



3、交换网络

- 交换网络的基本概念
- **CLOS**网络
- TST网络
- BANYAN网络



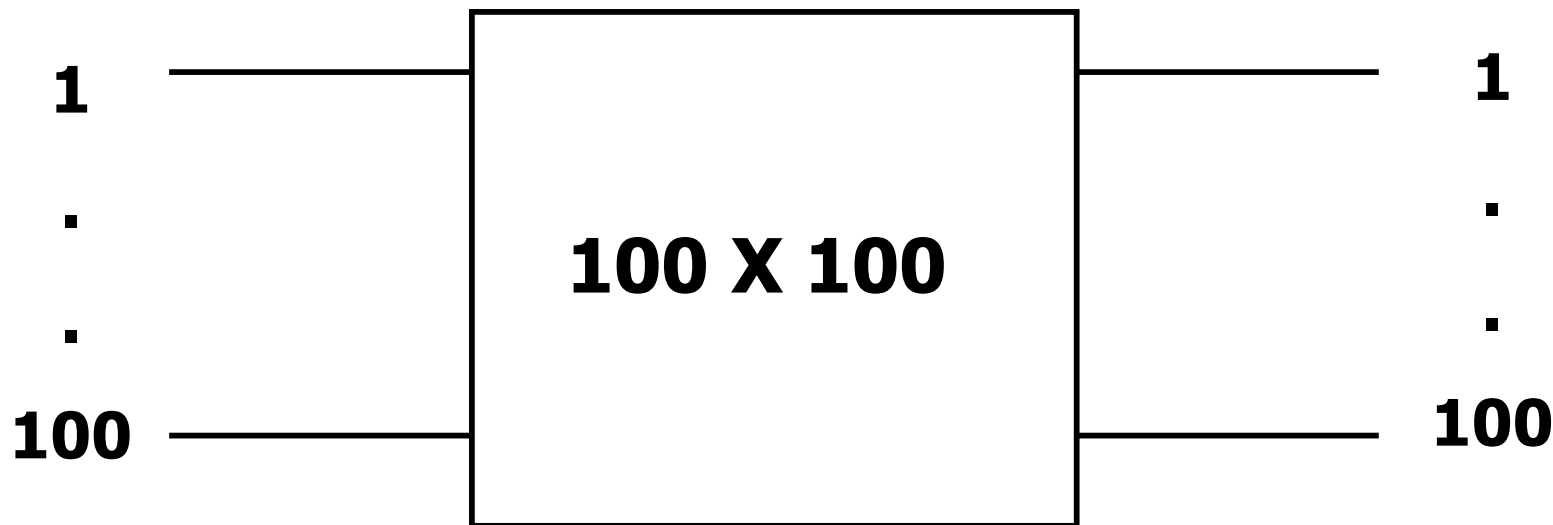
(2) *CLOS*网络

任务：构造**100 X 100**的交换网络



(2) *CLOS*网络

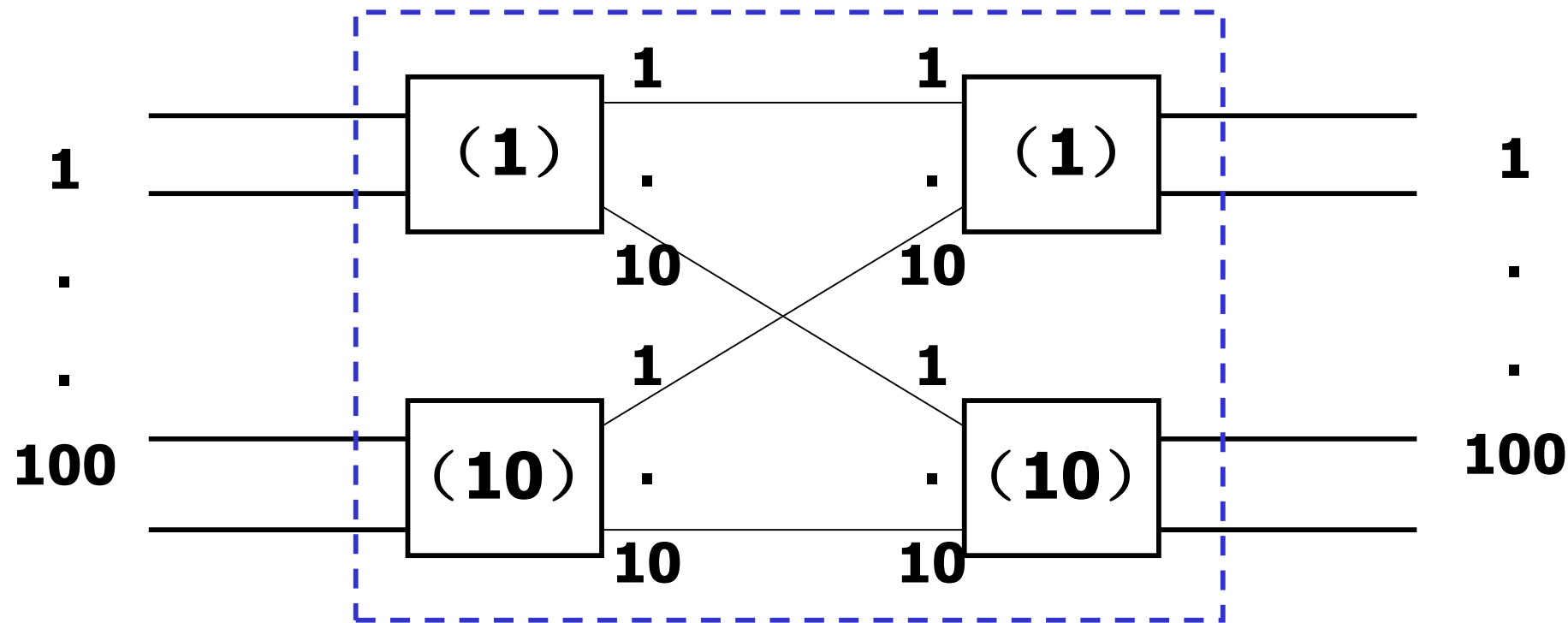
方法一：采用**100 X 100**的交换单元



需要**10000**个开关

(2) CLOS网络

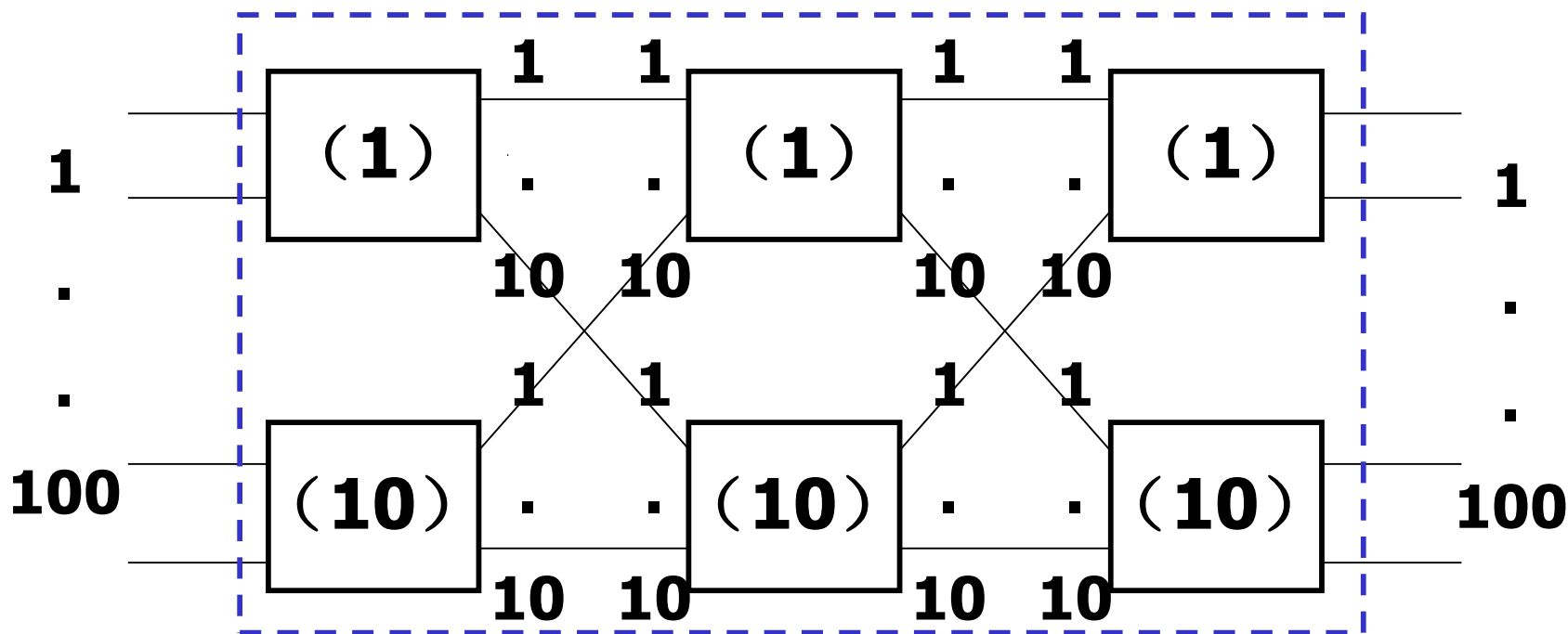
方法二：采用多个**10 X 10** 交换单元（单通路）



需要**2000**个开关

(2) CLOS网络

方法三：采用多个**10 X 10** 交换单元（多通路）



需要**3000**个开关

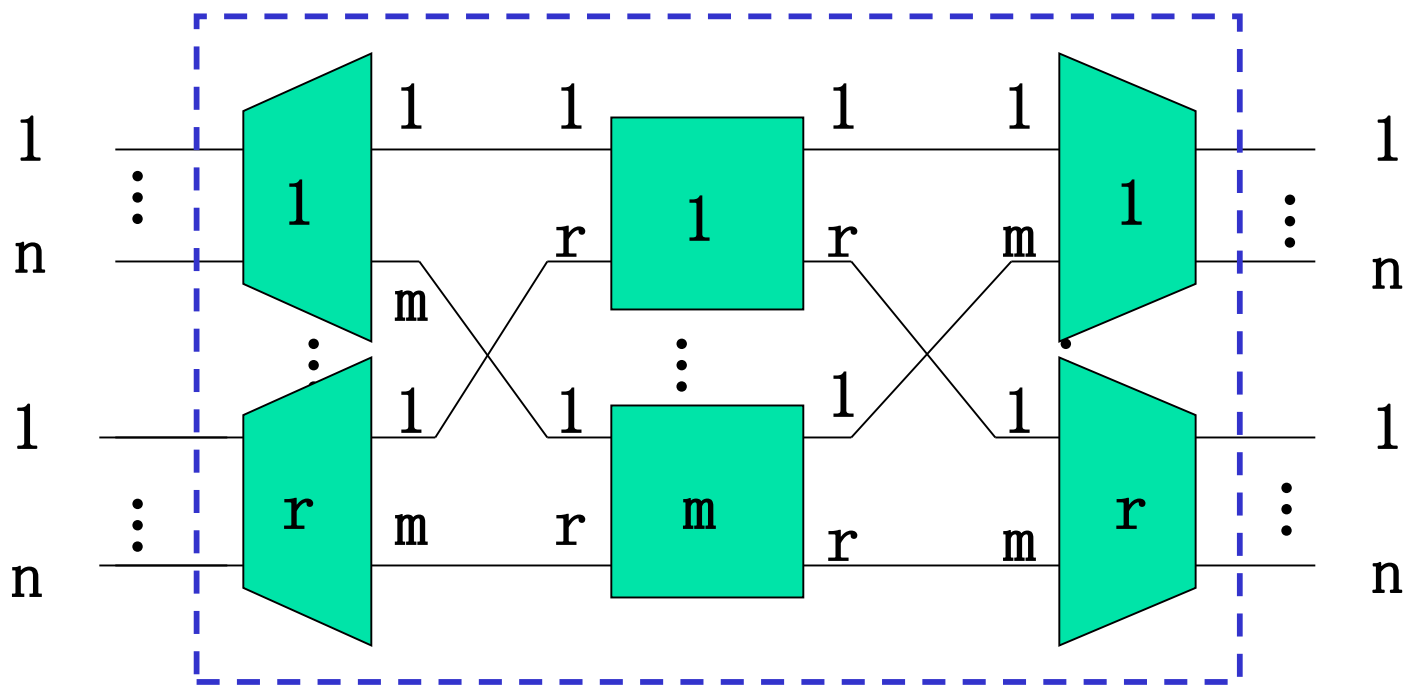


(2) *CLOS*网络

方法四：构造无阻塞的**100 X 100** 交换网络？

(2) CLOS网络

为了减少交叉点总数而同时具有严格的无阻塞特性，CLOS C. 很早就提出一种多级结构，推出了严格无阻塞的条件，这就是著名的CLOS网络。



3级CLOS网络





***CLOS*网络严格无阻塞定理**

在最坏情况下，中间级会有 $(n-1) \times 2$ 个交换单元被占用，因此中间级至少要有 $(n-1) \times 2 + 1 = 2n - 1$ 个交换单元，即 $m \geq 2n - 1$ 时，可确保无阻塞（严格无阻塞）。

3级CLOS严格无阻塞网络条件： $m \geq 2n - 1$

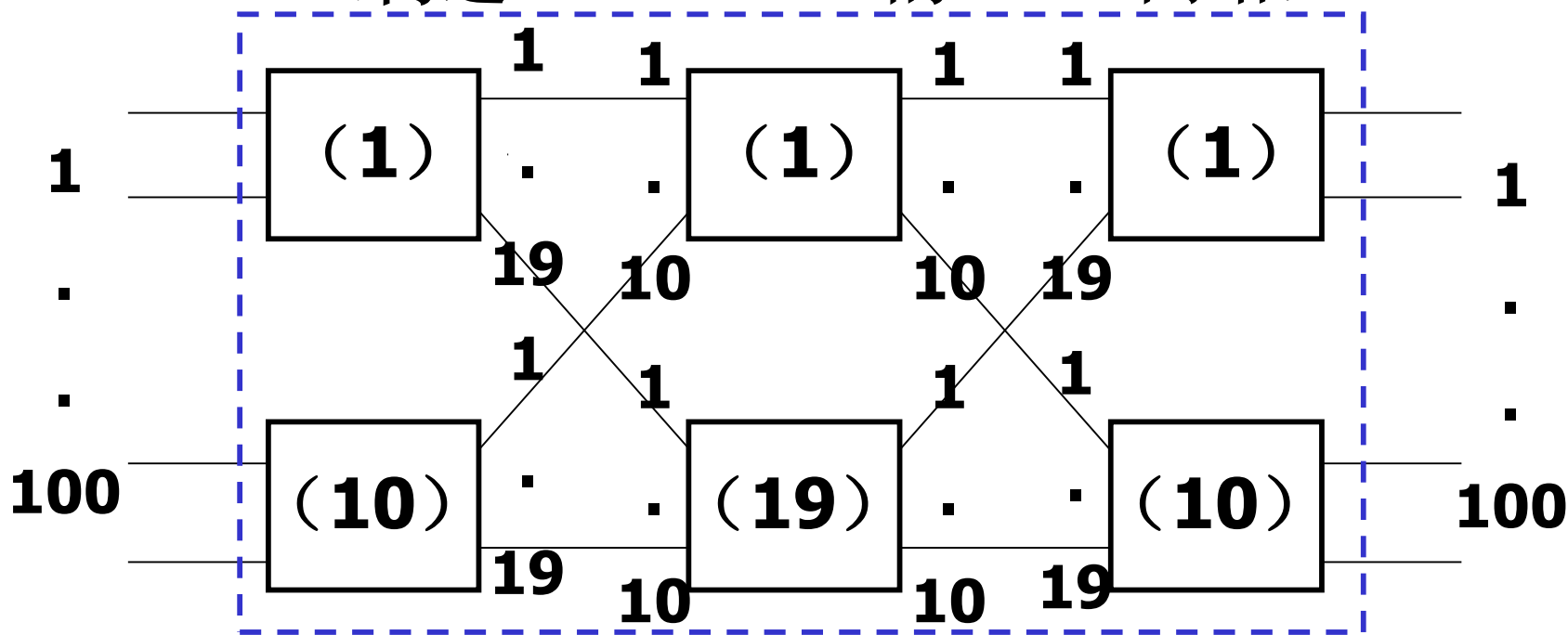
3级CLOS可重排无阻塞网络条件： $m \geq n$

(2) CLOS网络

$$m \geq 2n - 1 = 19$$

方法四：构造无阻塞的**100 X 100** 交换网络？

(构造**100 X 100** 的CLOS网络)



需要开关数： **$10 \times 19 \times 10 \times 2 + 10 \times 10 \times 19 = 5700$**



3、交换网络

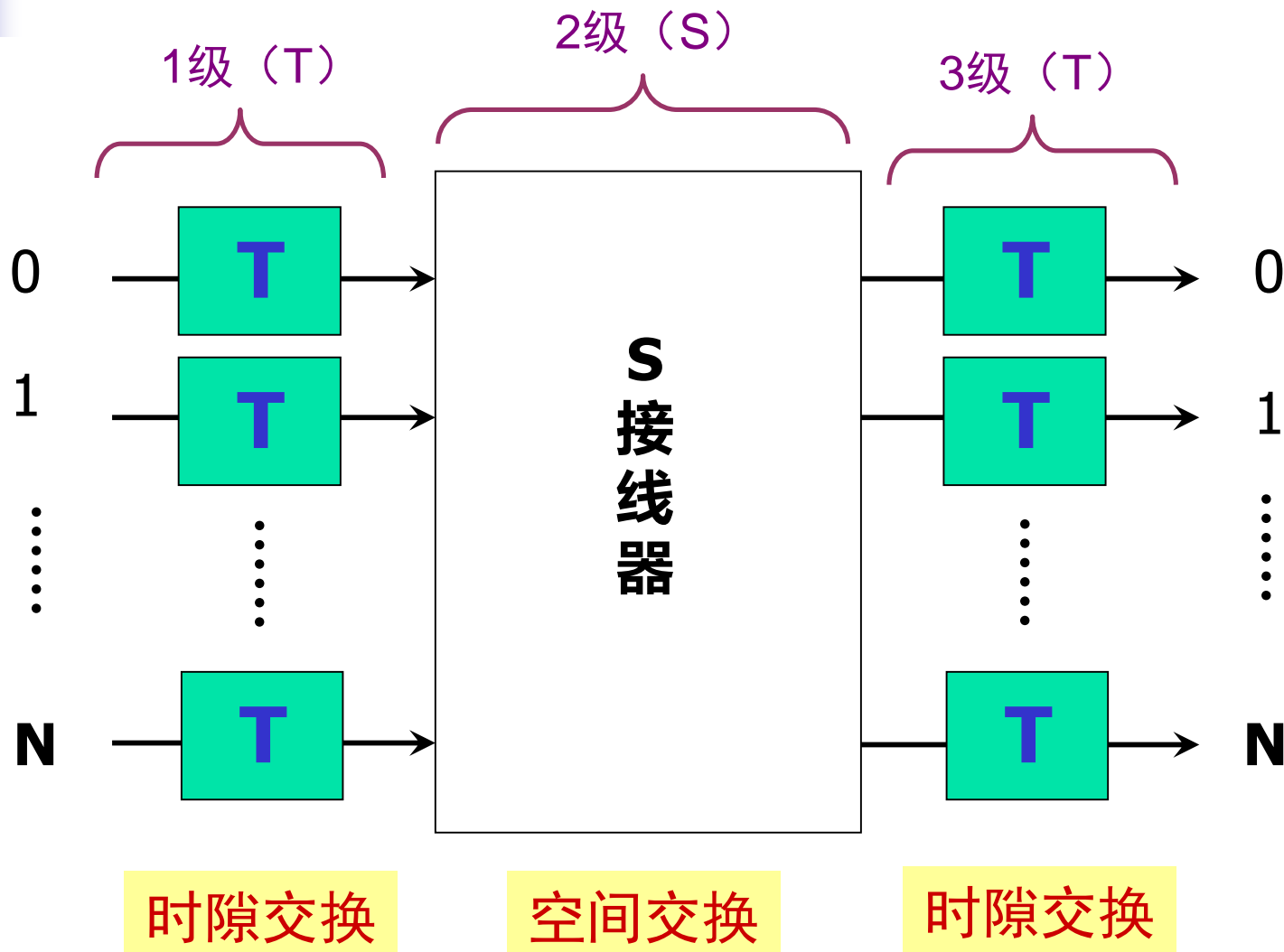
- 交换网络的基本概念
- *CLOS*网络
- ***TST***网络
- *BANYAN*网络



(3) ***TST***网络

- **TST**网络构成
- **TST**网络的工作原理
- **TS**组合网络的应用

TST网络的构成

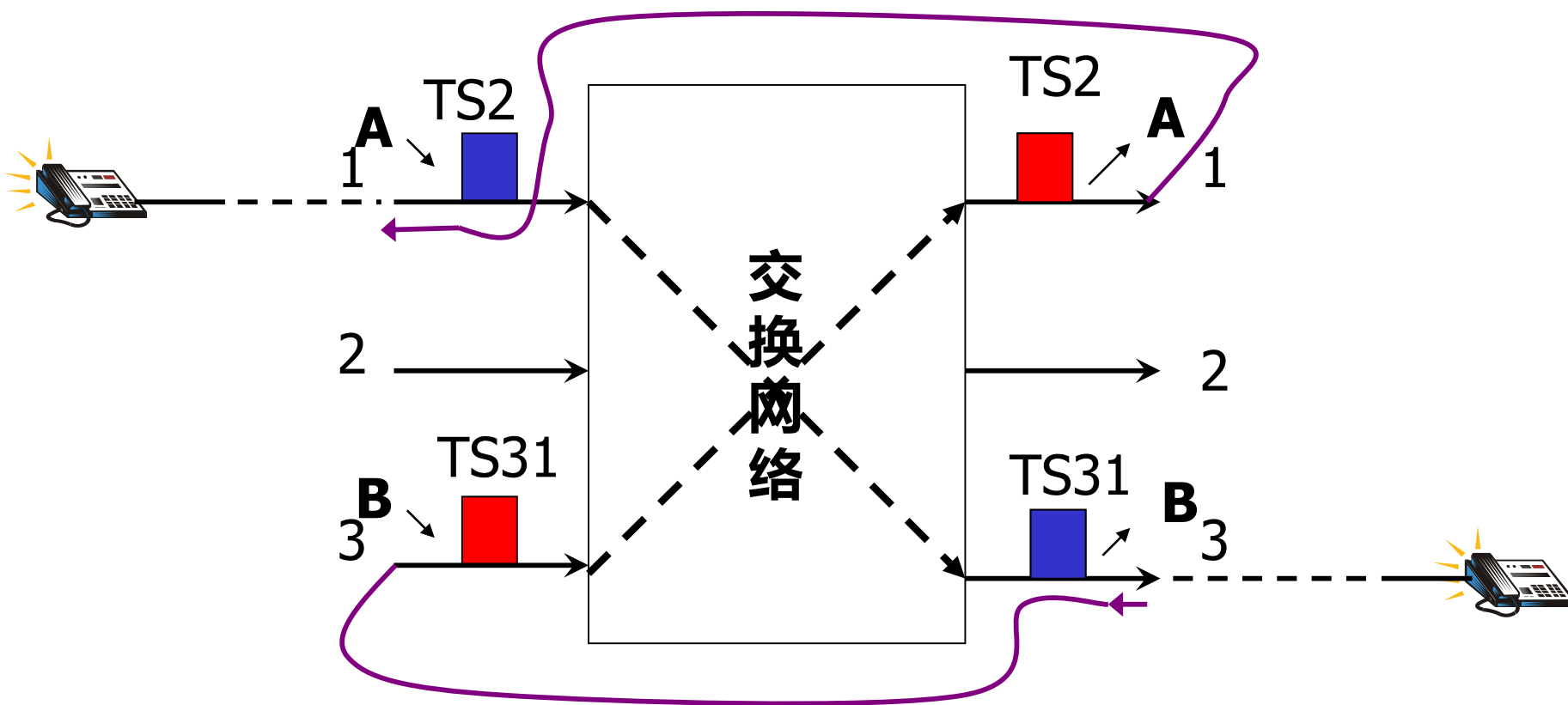




***TST*网络结构特点**

- 每一条PCM线路连接到一个T接线器，有多少条输入或输出PCM线路，就有多少个T接线器。
- S级的出入线数决定于两侧T接线器的数量，即等于输入输出线数。

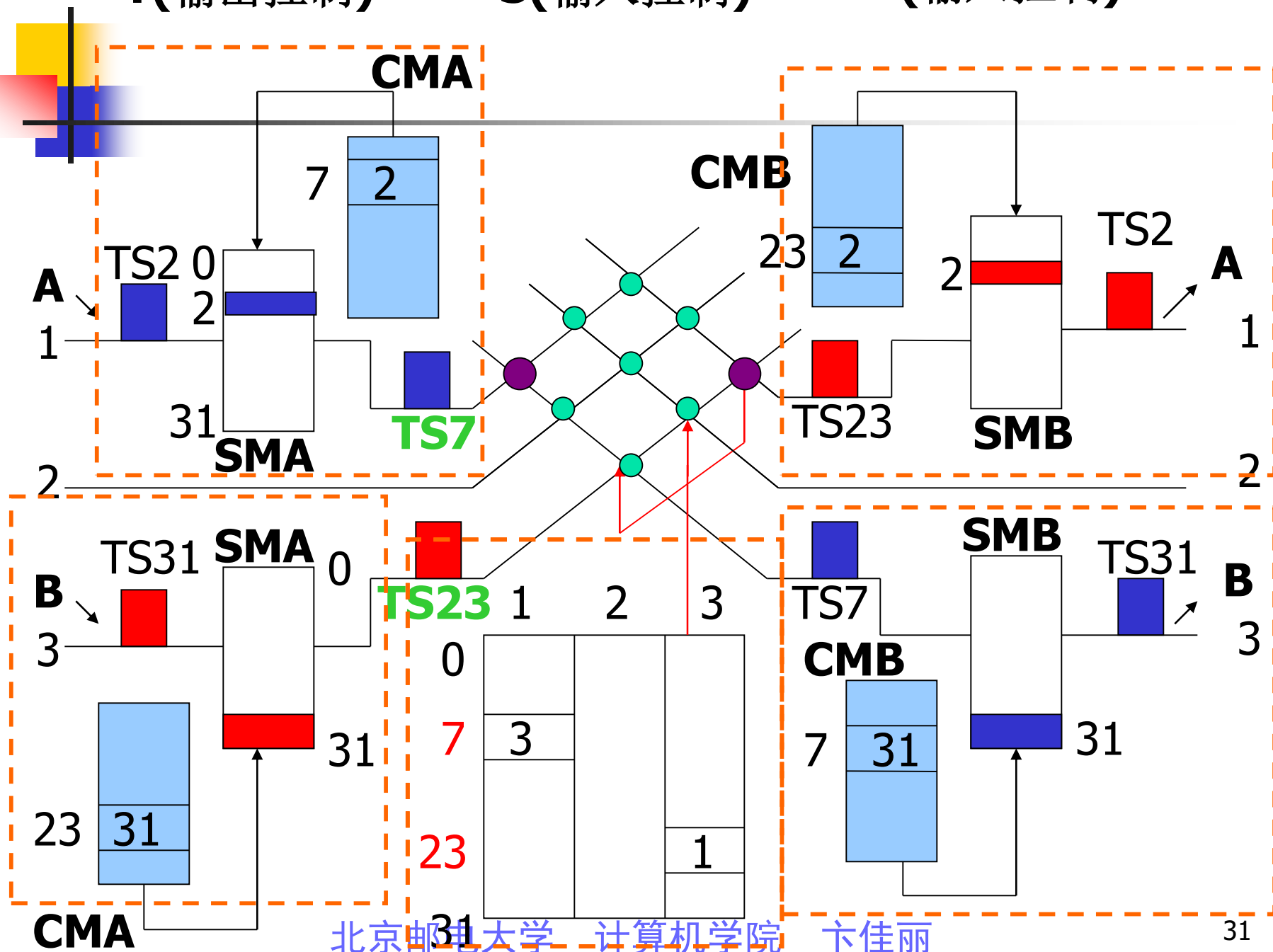
举例：主叫**A**-被叫**B**之间建立话路



T(输出控制)

S(输入控制)

T(输入控制)





TST网络的工作原理

1) 双向通路的建立

为减少选路次数，简化控制，可使两个方向的内部时隙具有一定的对应关系，通常可相差半帧，俗称**反相法**，即：

设： N_f = 一帧的时隙数

N_a = A到B方向的内部时隙数

N_b = B到A方向的内部时隙数

则： $N_b = N_a + N_f/2$

2) 阻塞特性

TST网络完全无阻塞的条件： m （内部时隙数） $= 2n$ （输入时隙数）

3) 控制方式

第1级T接线器和第3级T接线器一般采用不同控制方式。



***T-S*组合网络的应用**

T-S⁽ⁿ⁾-T

T-S-T网络：AXE10，FETEX-150，E10B，5ESS等

T-S-S-T网络：NEAX61

T-S-S-S-T网络：EWSD

T-S-S-S-S-T网络：4ESS (长途)

S-T⁽ⁿ⁾-S

华为、中兴交换设备的交换网络采用的是TST网络吗？



3、交换网络

- 交换网络的基本概念
- *CLOS*网络
- *TST*网络
- ***BANYAN***网络



(4) **BANYAN** 网络

- ☐ **Banyan** 网络的基本结构
- ☐ **Banyan** 网络的基本特性
- ☐ **BATCHER-BANYAN**网络
- ☐ 基于**banyan**的多通路结构
- ☐ **Benes**网络



Banyan 网络的基本结构

L级banyan（任何输入到任何输出之间的通路都经过L级）

规则banyan（各个交换单元是相同）

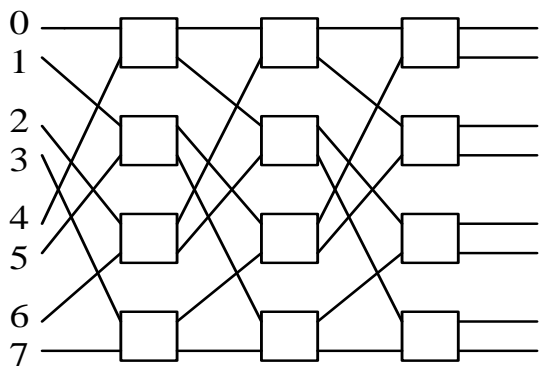
不规则banyan（各个交换单元不相同）

矩形banyan（每个交换单元的入线数等于出线数）

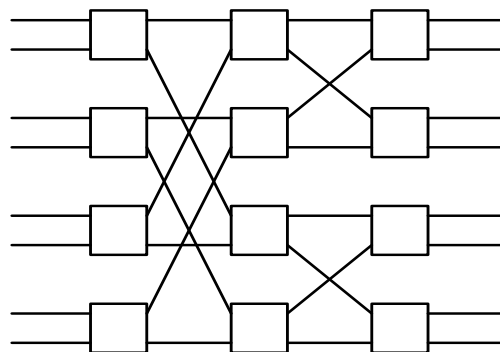
L级、规则的、矩形的banyan

Banyan 网络的基本结构

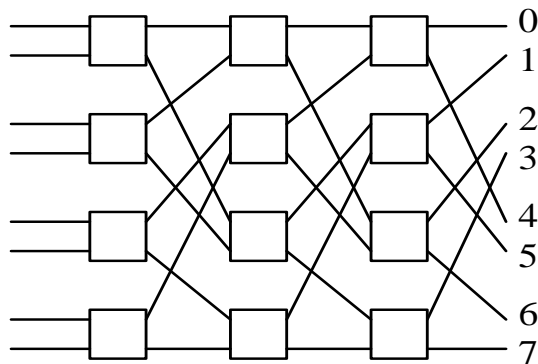
通常将由2 X 2的交换单元构成的矩形banyan网络，简称为banyan网络。



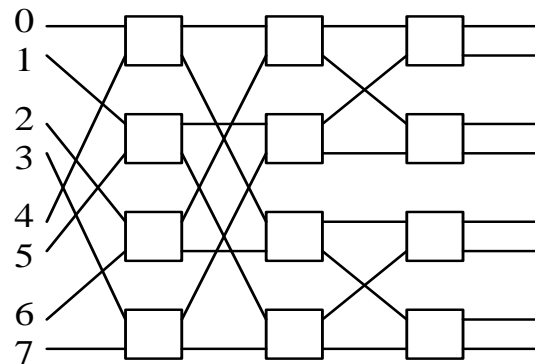
(a) omega



(b) banyan

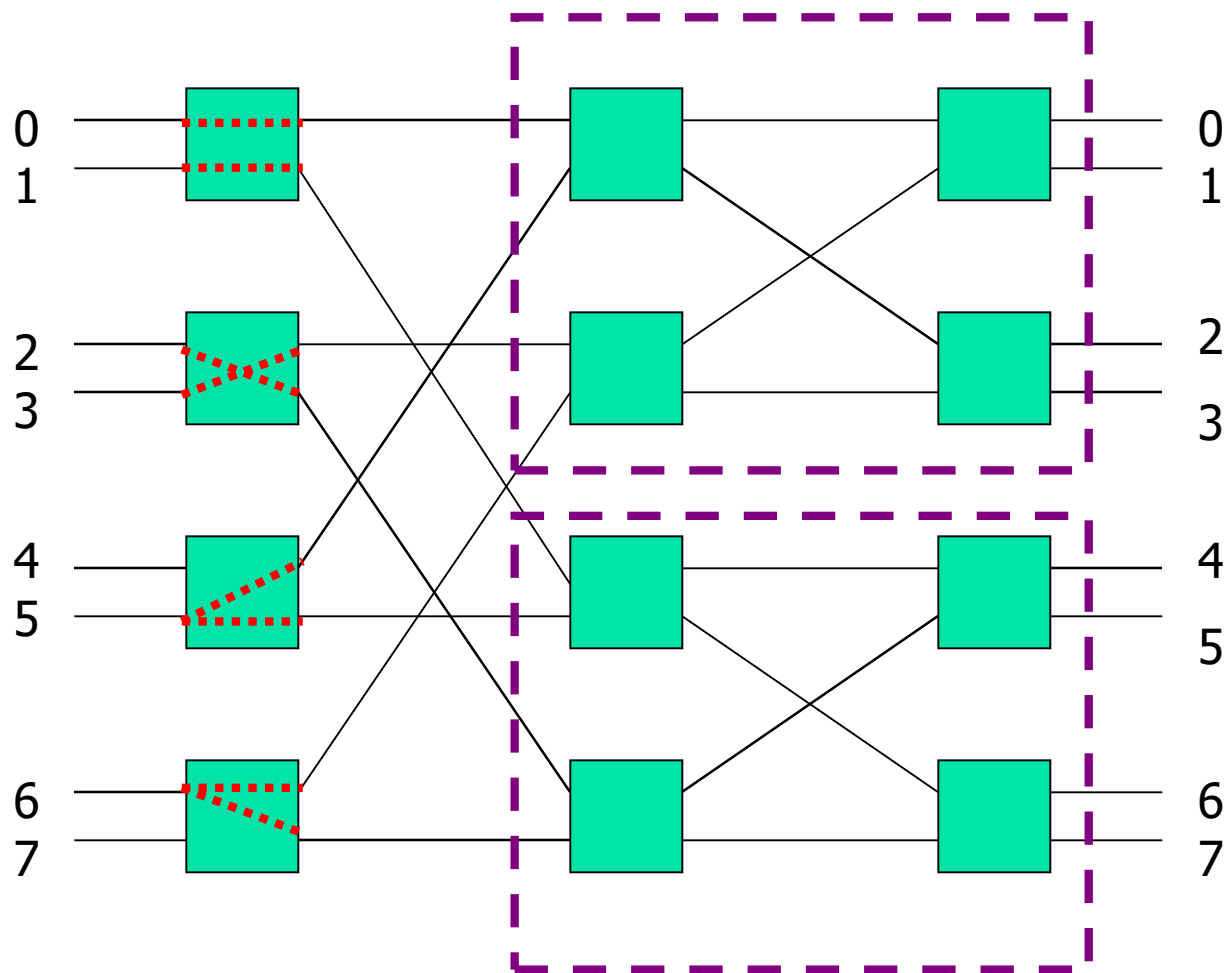


(c) flip



(d) gen.cube

8×8 的3级banyan网络





Banyan 网络的基本特性

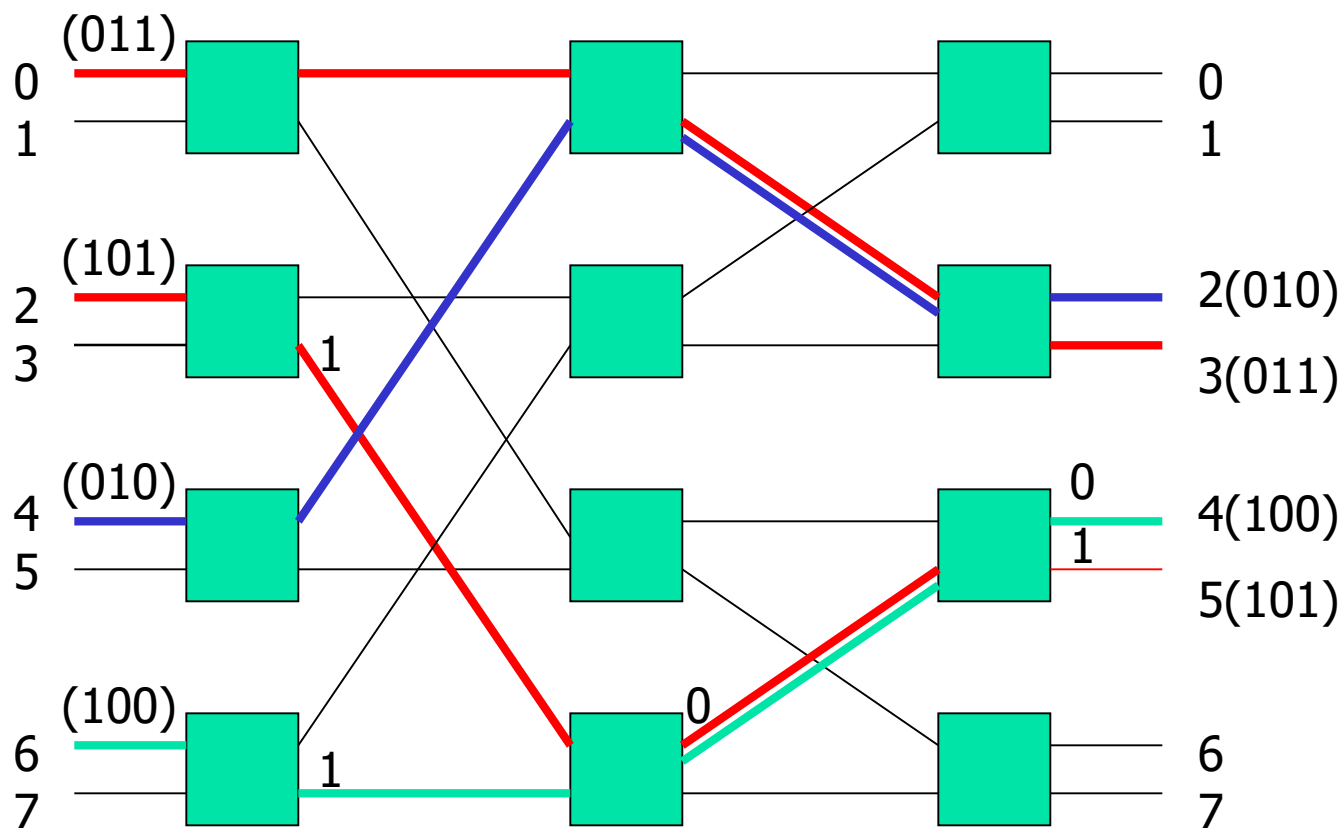
树型结构特性：

从banyan的任一输入端口引出的一组通路形成了2分支树，级数越多，分支越多，级数 $k=\log_2 N$ ， N =总入线数/出线数，即 $2^k=N$ 。

自选路由特性：

自选路由，即是给定出线地址，不用外加控制命令，就可选到出线。可以使用对应于出端号的二进制码的选路标签来自动选路。

*Banyan*网络的自选路由特性



8 x 8的3级banyan网络



Banyan 网络的基本特性

可扩展性（可规律构造）：

banyan的构成具有一定的规律，可以采用有规则的扩展方法将较小容量的banyan扩展成较大规模。

方法：

已有 $N \times N$ 的BANYAN网络，需构成 $2N \times 2N$ 的BANYAN网络，则可用2组 $N \times N$ ，再加上一组 N 个 2×2 交换单元构成。将 N 个 2×2 交换单元的入线作为该网络的入线，将每个 2×2 交换单元的出线分别与第一组的 $N \times N$ 和第二组的 $N \times N$ 的相连，2组 $N \times N$ 的出线即为网络的出线。



***Banyan* 网络的构造**

举例1：构造8 X 8的banyan网络

步骤一：需要2个4 X 4的banyan网

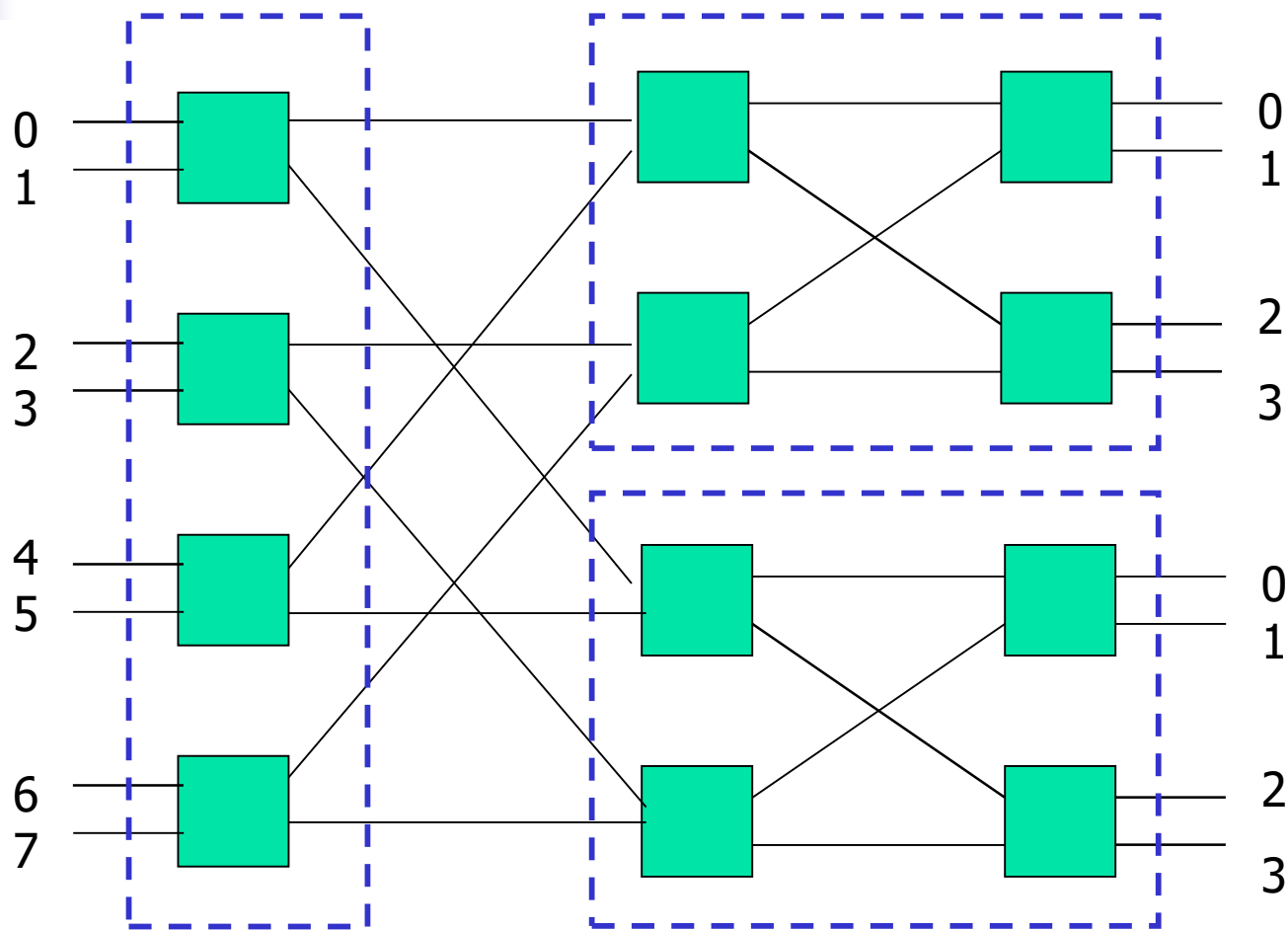
$$(8 \times 8 — 2N \times 2N — N=4)$$

步骤二：需要4个2 X 2的交换单元

步骤三：确定各级连接关系

第一级每个交换单元的2个出线分别连到两个4 X 4子网

Banyan 网络的构造——8X8





***Banyan* 网络的构造**

举例2：构造16 X 16的banyan网络

步骤一：需要2个8 X 8的banyan网

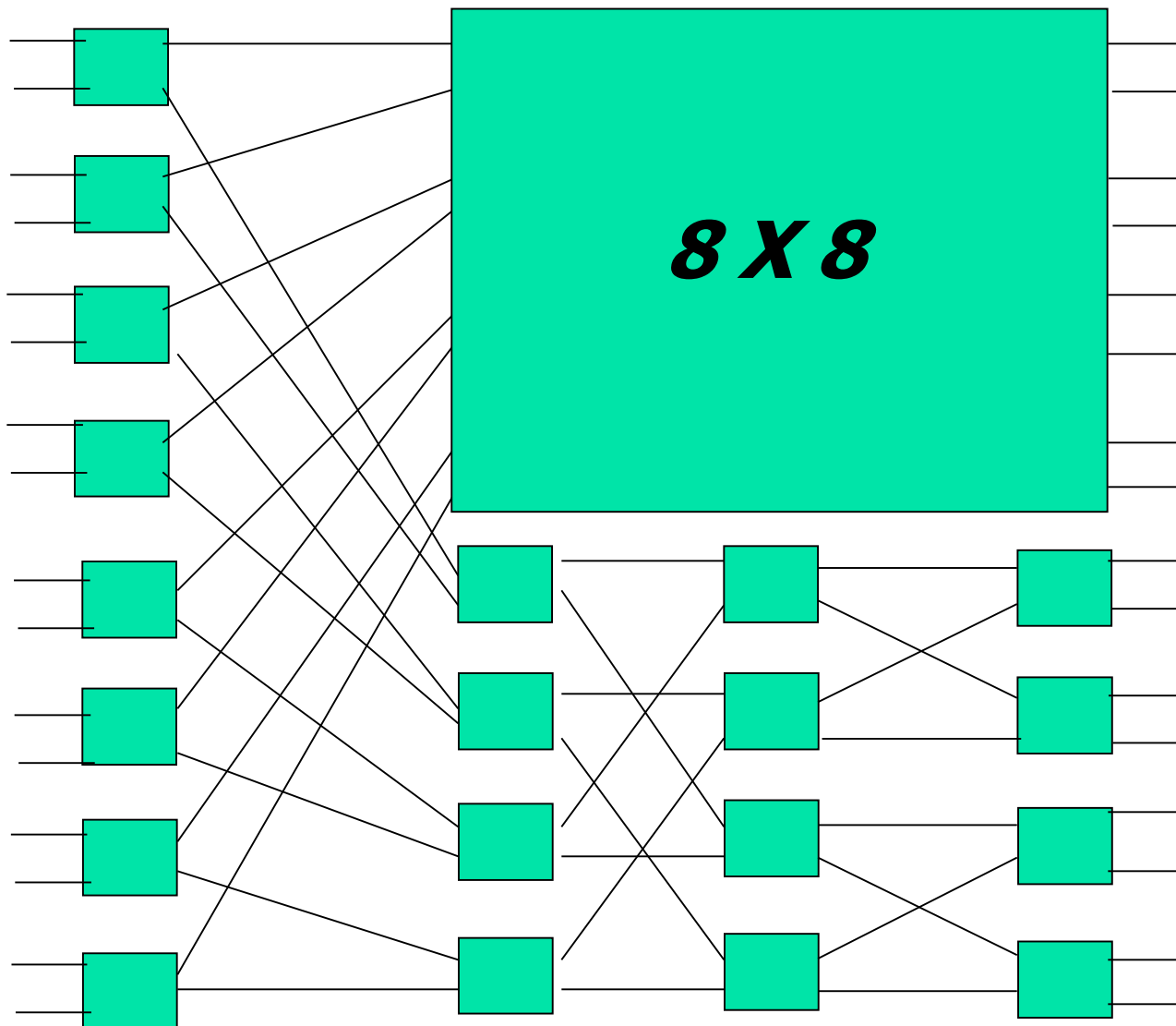
($16 \times 16 = 2^N \times 2^N = 2^8$)

步骤二：需要8个2 X 2的交换单元

步骤三：确定各级连接关系

第一级每个交换单元的2个出线分别连到两个8 X 8子网

***Banyan* 网络的构造——16X16**





Banyan 网络的基本特性

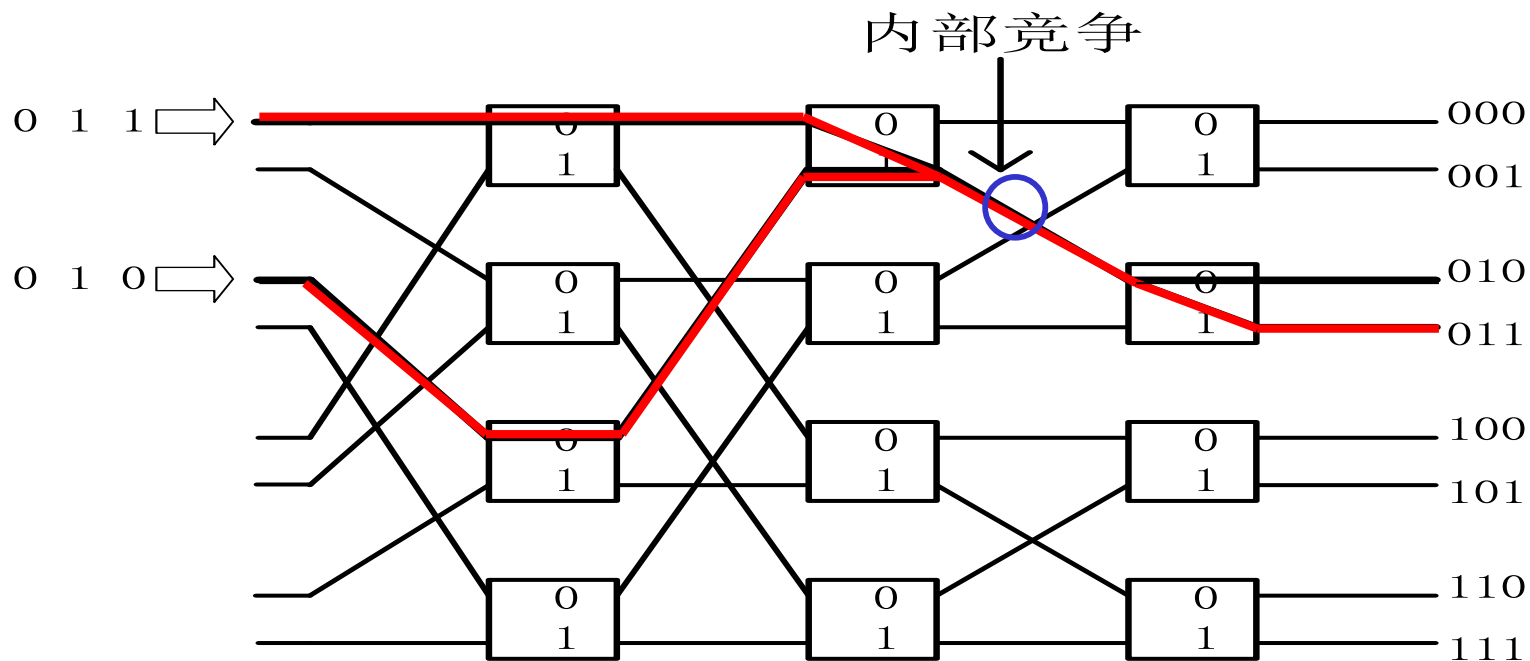
单通路特性：

banyan的任一入端到任一出端之间，具有1条且仅有一条通路。

内部竞争性：

banyan是具有内部竞争的有阻塞网络。

Banyan网络的内部阻塞





解决内部阻塞的方法

1) 使用排序-banyan网络

2) 构造多通路

□ 可以通过增加多级交换网络的级数来消除内部阻塞。

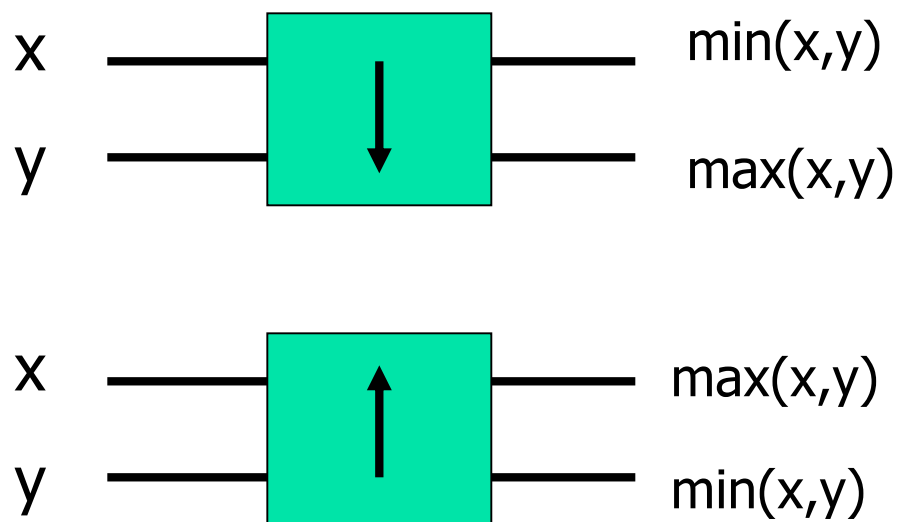
（已有证明，若要完全消除 $N \times N$ 的banyan网络的内部阻塞，至少需要 $2\log_2 N - 1$ 级。）

□ 对应一个输出地址有多条链路。

□ 可以增加banyan网的平面树，构成多通道交换网络。

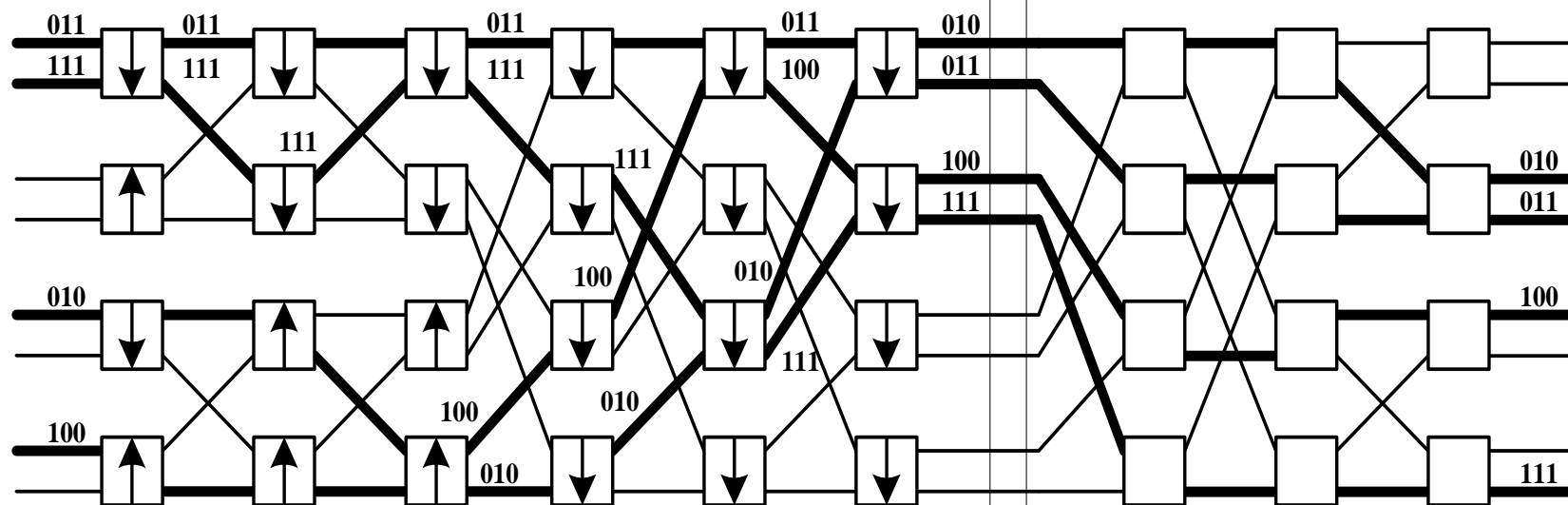
***BATCHER-BANYAN*网络**

该网络也简称为B-B网，是由BATCHER排序网和BANYAN网组成，它成功地避免了BANYAN网络的内部阻塞，这是目前ATM交换机使用较多的一种网络。BATCHER排序网是由2X2的比较器（BATCHER比较器）构成的。

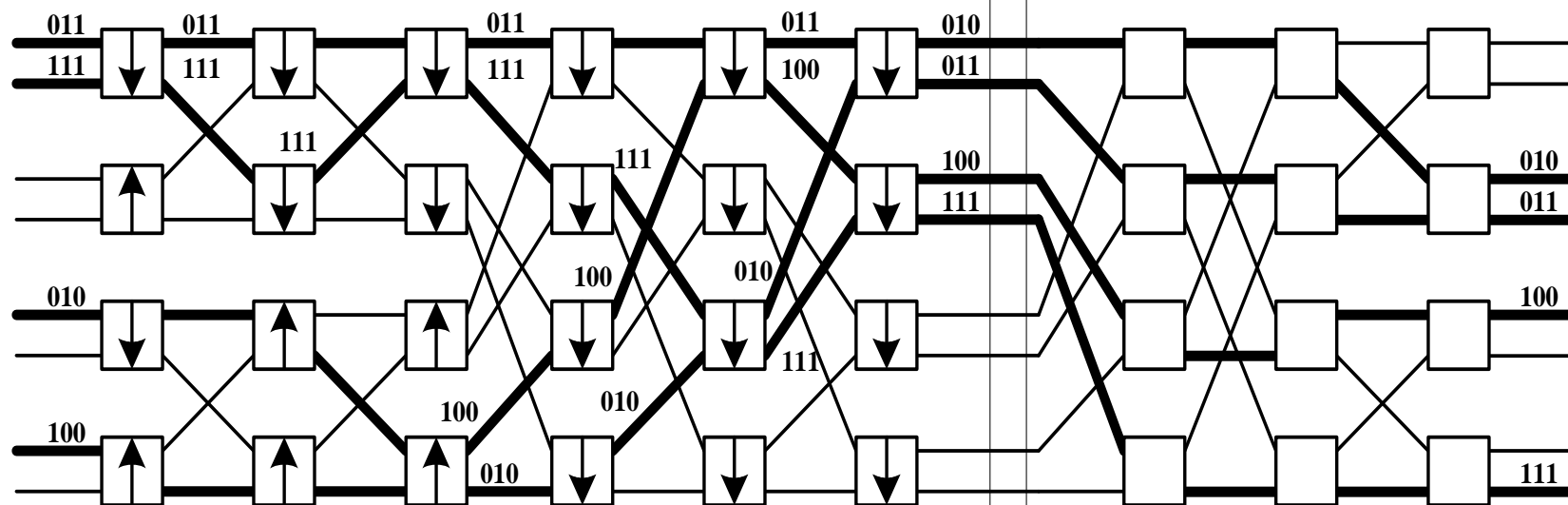


BATCHER-BANYAN网络

batcher 排序网络



banyan 网络



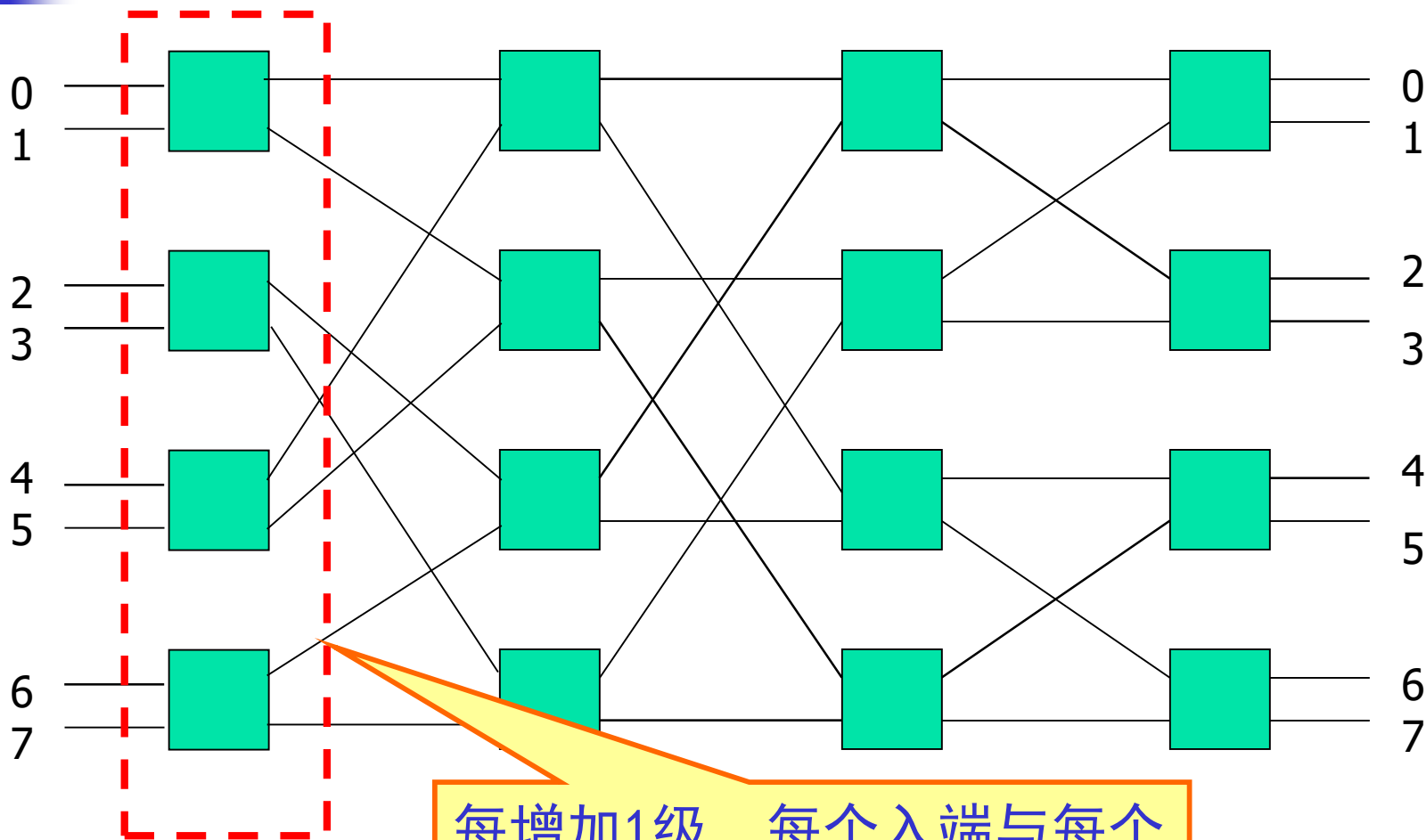


基于**BANYAN**的多通路结构

为了减少或消除banyan的内部阻塞，提高吞吐率，除了构成B-B网络之外，还可以构成基于banyan的各种多通路网络。

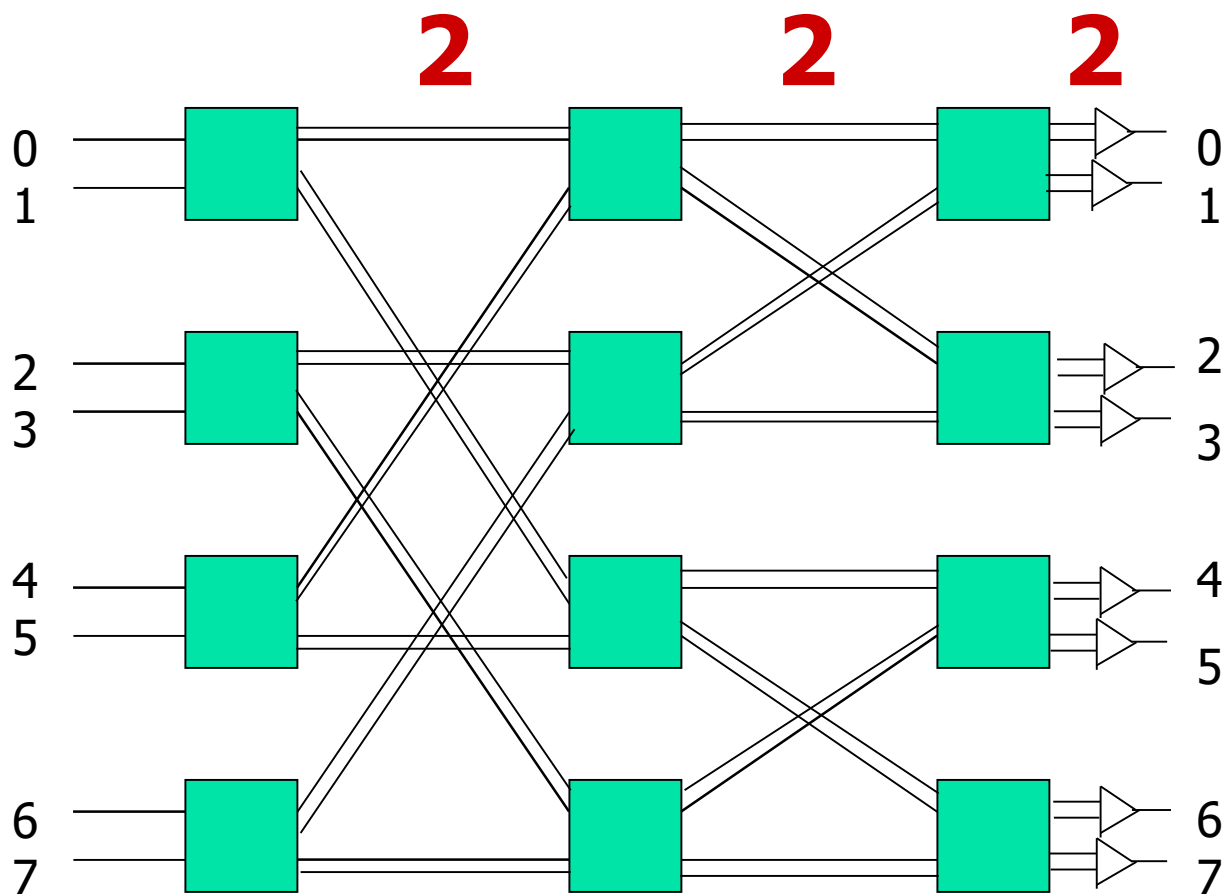
- 增长型banyan
- 扩展型banyan
- 膨胀型banyan
- 复份型banyan

增长型BANYAN



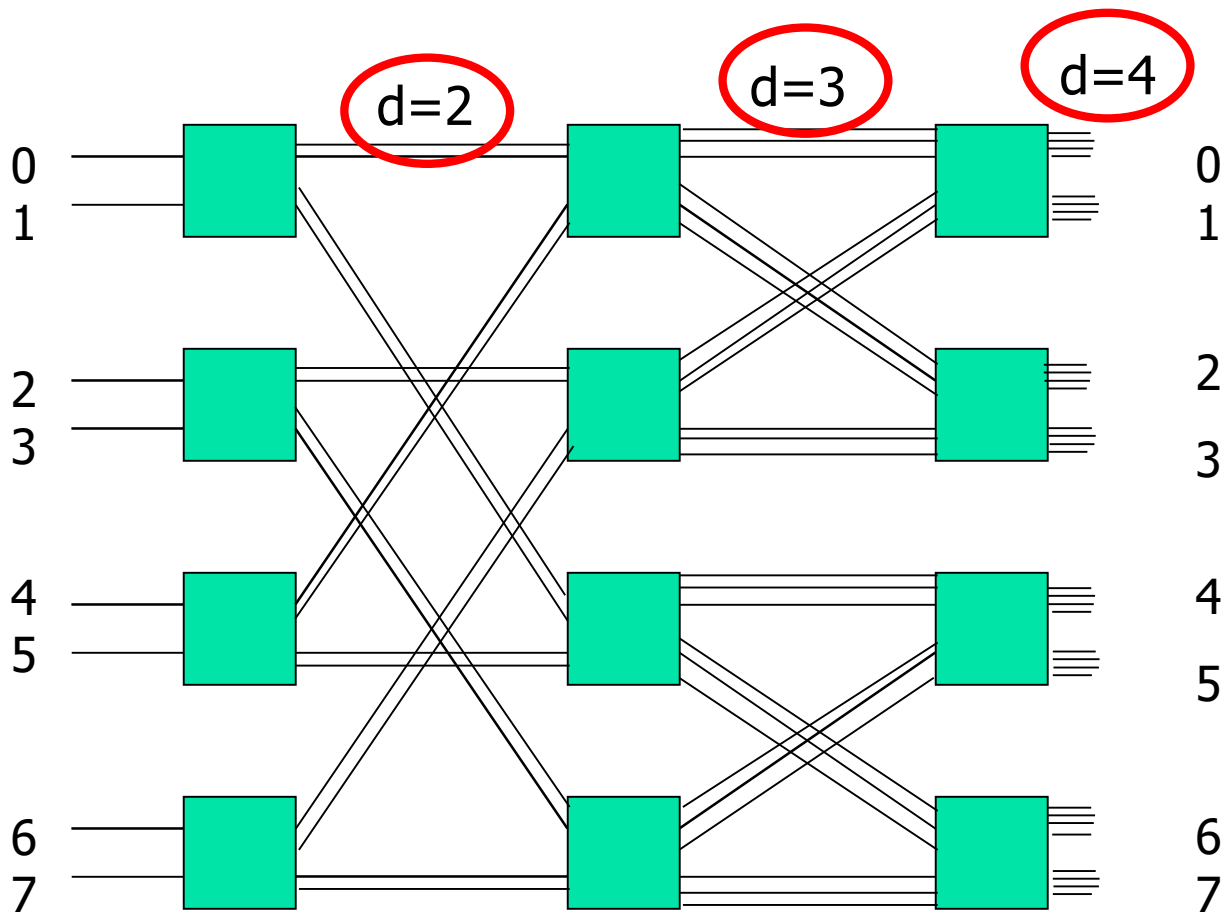
扩展型BANYAN

每个输出地址有 d 条链路
输出地址并非 $2d$ 个



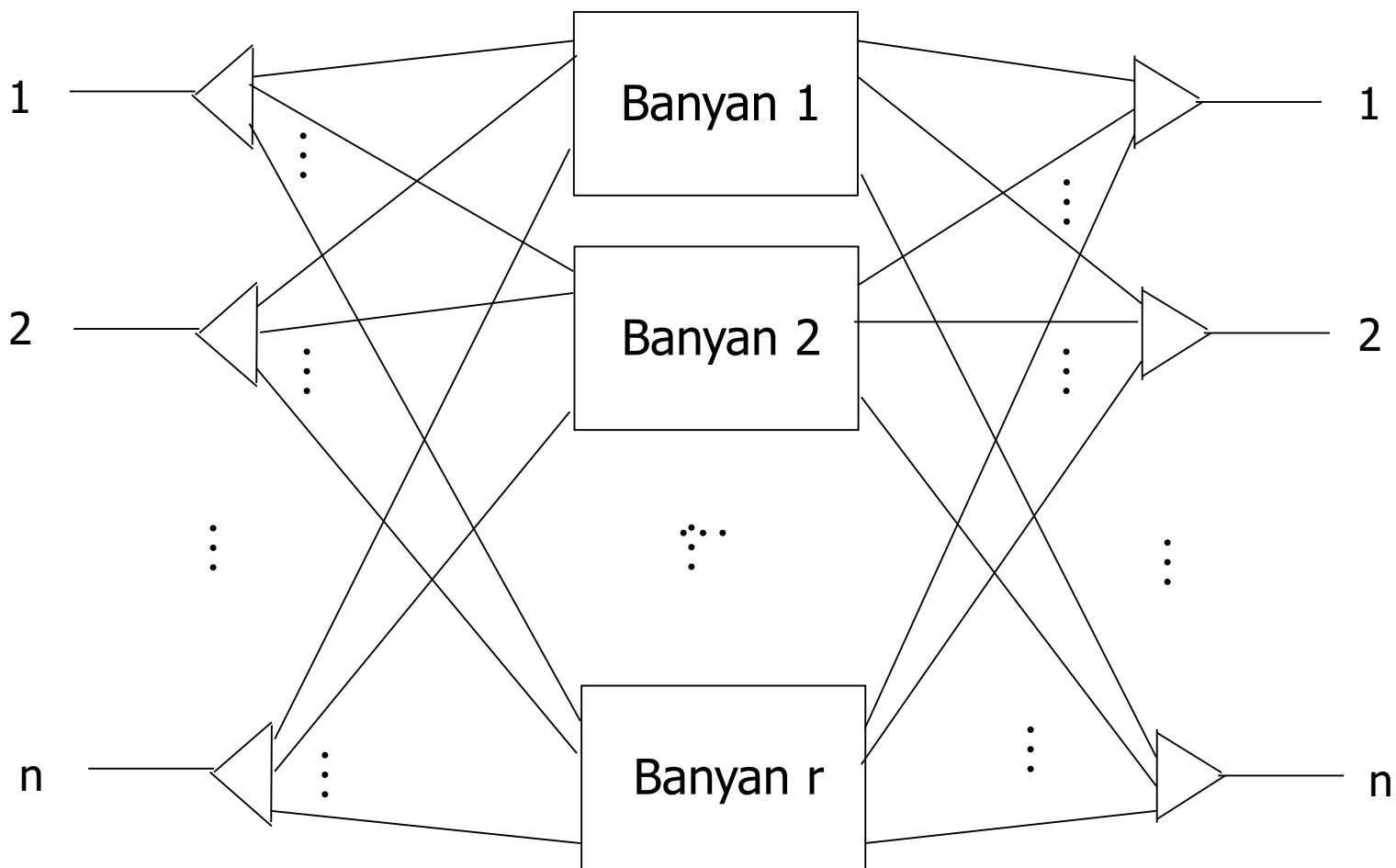
膨胀型 **BANYAN**

膨胀度 d 在各级可变化
扩展型 banyan 的特例



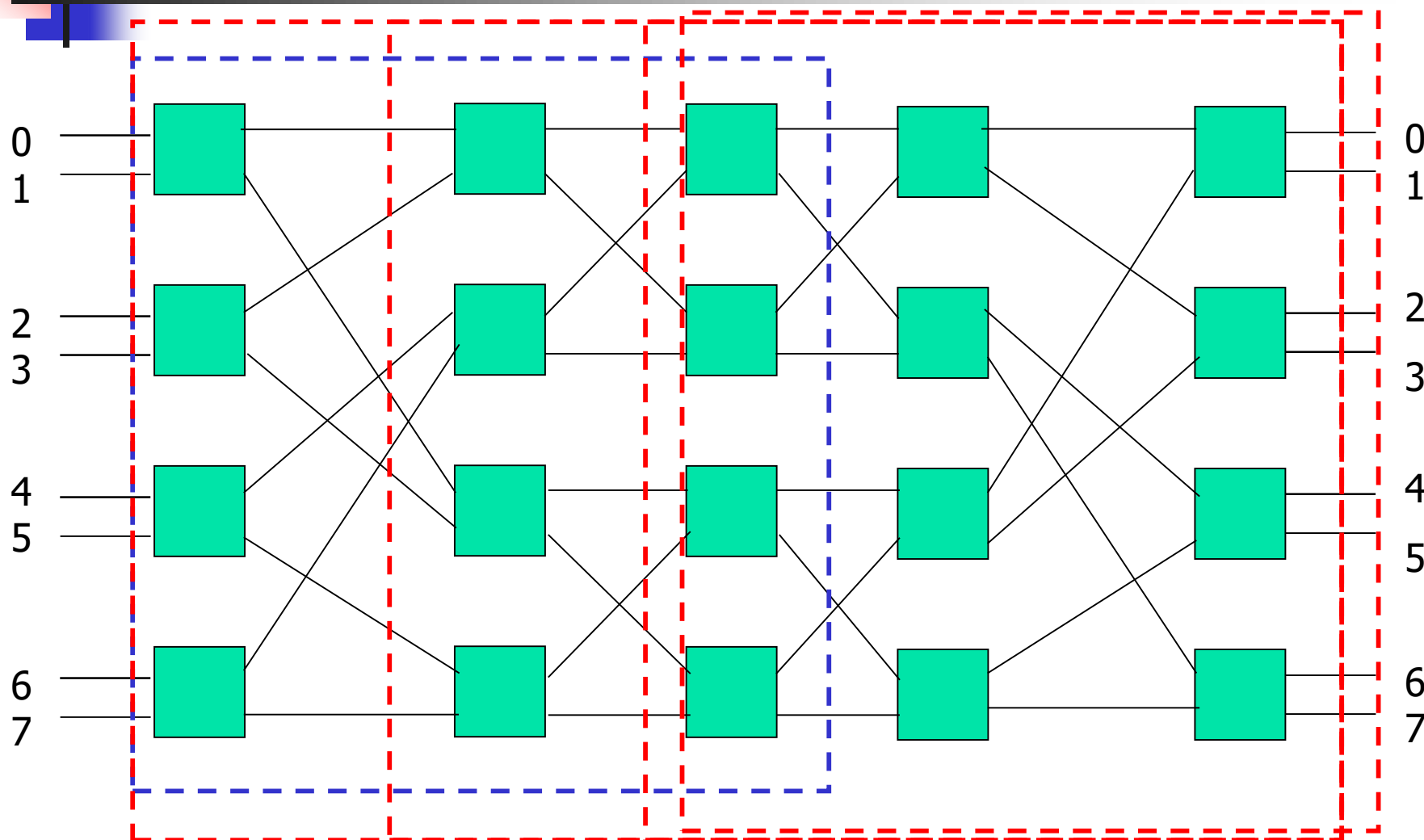
复份型**BANYAN**

多平面banyan网络结构
负荷均分、广播功能



8 X 8 BENES 网络

$$K=2\log_2 N-1$$





***BENES*网络**

benes网络是著名的多通路网络，具有可重排无阻塞的特点。

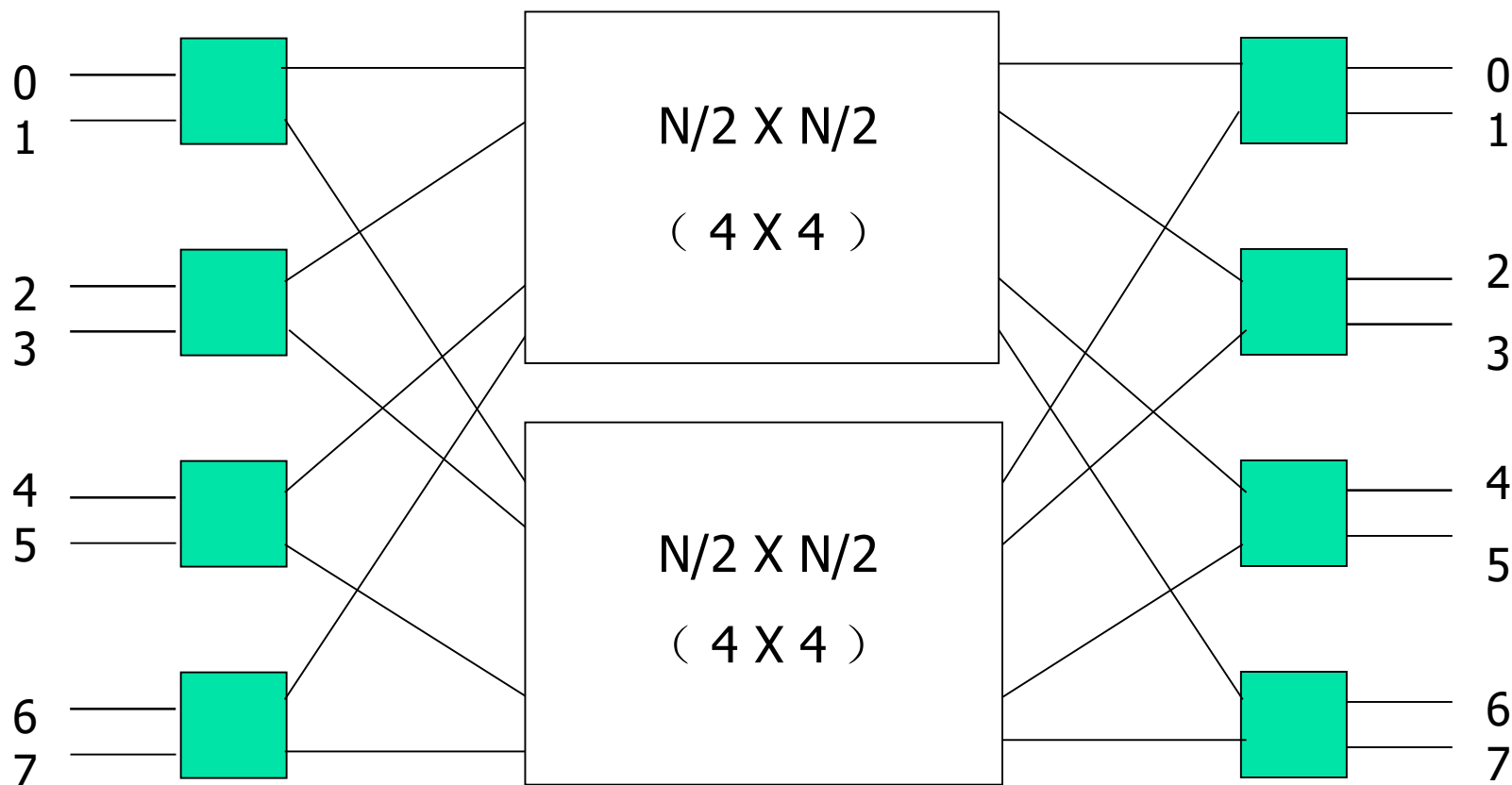
可以看出，Benes网络实际上相当于两个banyan（banyan与反转banyan）的背对背相连，并将中间相邻两级合并为1级。由于每个banyan有 $\log_2 N$ 级，因此Benes网络共有 $2\log_2 N - 1$ 级。



***BENES*网络可规律构造**

benes网络的构成也有一定的规律。使用 2×2 交换单元的 $N \times N$ benes网络的构成方法为：两侧各有 $N/2$ 个 2×2 交换单元，中间为两个 $N/2 \times N/2$ 的子网络，每个交换单元以一条链路连到每个子网络；再将中间子网络按上述方法继续分解，直到中间子网络就是 2×2 交换单元为止。

BENES 网络构成方法





学习要求：

- 结合课堂所讲内容，认真阅读教材第二章，体会本章“小结”；
- 深刻理解下列重点内容：
 - 三种典型的交换单元的结构、特性及工作原理
 - 无阻塞网络的概念，构成无阻塞网络的方法
 - TST、CLOS、BANYAN网络的结构及特性
- 完成作业



作业

1、构造16*16的交换单元：采用基本开关阵列时，需要多少个开关？采用K=4的绳路开关阵列时，需要多少个开关？采用可重排无阻塞网络时，需多少个2*2交叉单元？采用BANYAN网络时，需多少个2*2交叉单元？采用共享存贮器结构时，至少需要多少个存储单元？（画图说明）

2、P65 14、15题