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

7.4 静态互连网络

互连网络通常可以分为两大类：

- 静态互连网络

  各结点之间有固定的连接通路、且在运行中不能改变的网络。

- 动态互连网络

  由交换开关构成、可按运行程序的要求动态地改变连接状态的网络。

下面介绍几种静态互连网络。

（其中：N表示结点个数）

1. 线性阵列 一种一维的线性网络，其中N个结点用N-1个链路连成一行。

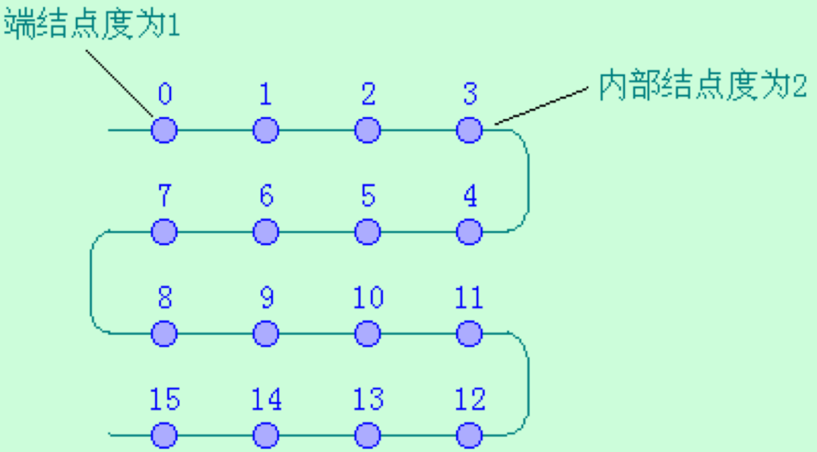
端结点的度：1

其余结点的度：2

直径：N－1

等分宽度b=1

线 性 阵 列



线性阵列

线性阵列与总线的区别：

总线是通过切换与其连接的许多结点来实现时分特性的

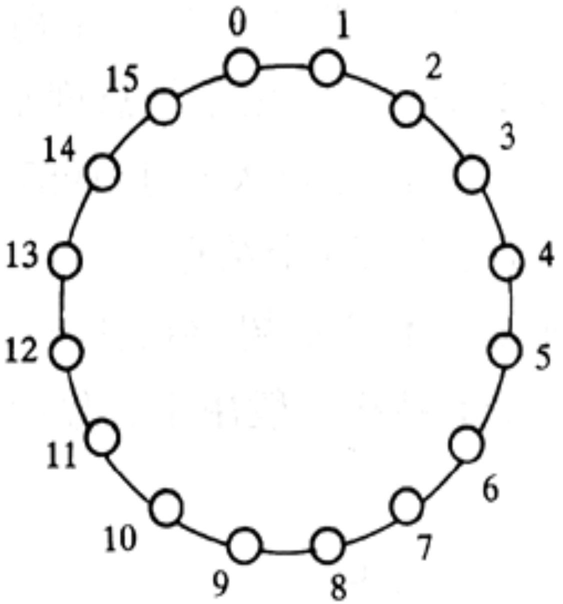
线性阵列允许不同的源结点和目的结点对并行地使用其不同的部分

2. 环和带弦环

- 环

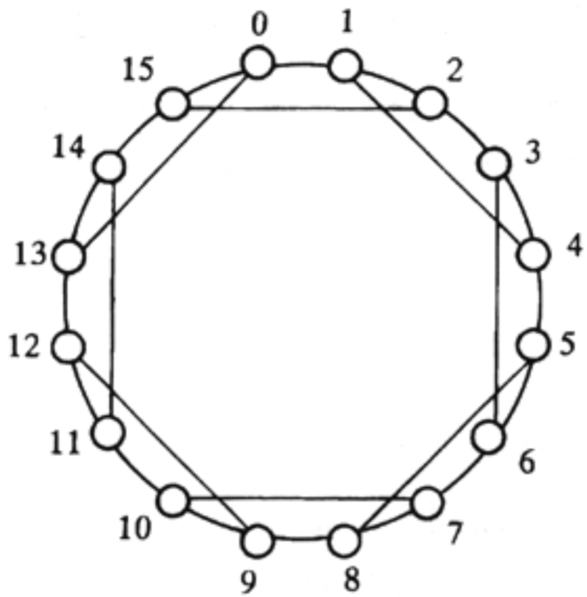
    用一条附加链路将线性阵列的两个端点连接起来而构成。可以单向工作，也可以双向工作。

- 对称
- 结点的度：2
- 双向环的直径：N/2
- 单向环的直径：N
- 环的等分宽度b=2

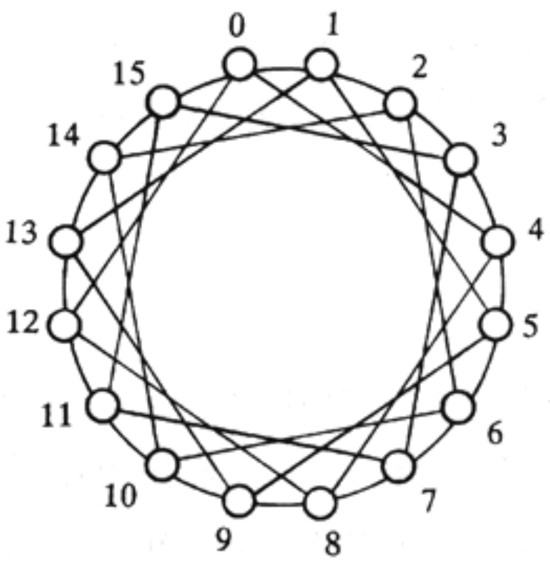


(b)环

带弦环　增加的链路愈多，结点度愈高，网络直径就愈小。

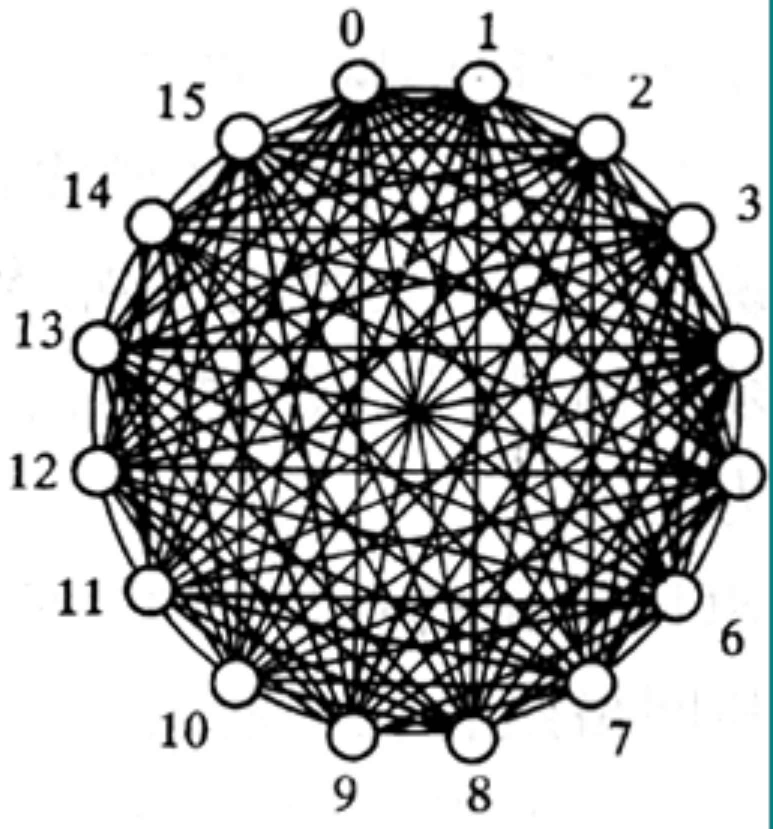


(c)度为 3 的带弦环



(d)度为 4 的带弦环(与 Illiac 网相同)

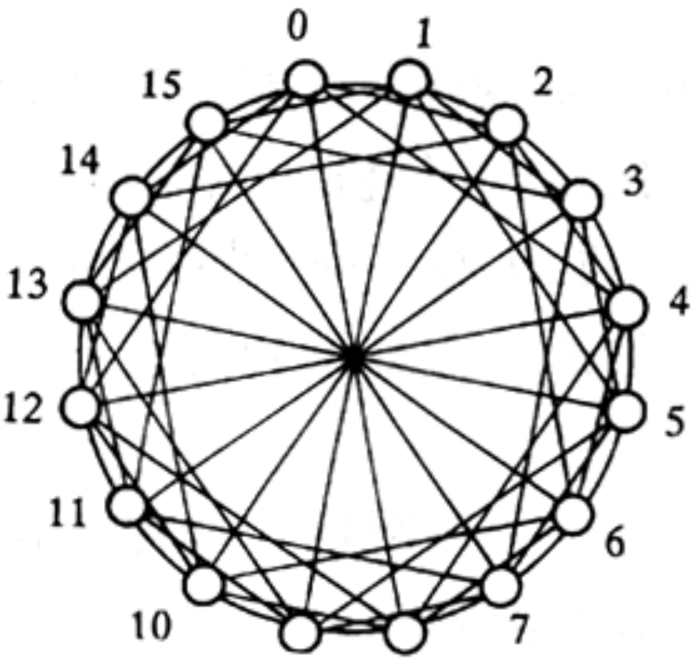
- 全连接网络
  - 结点度：15
  - 直径为1。



(f)全连接

3. 循环移数网络

- 通过在环上每个结点到所有与其距离为2的整数幂的结点之间都增加一条附加链而构成。



N=16　结点度：7;直径：2

(e)循环移数网络

1. 一般地，如果 $|j-i|=2^r$（$r=0,1,2,\ldots,n-1$，$n=\log_2 N$），则结点i与结点j连接。

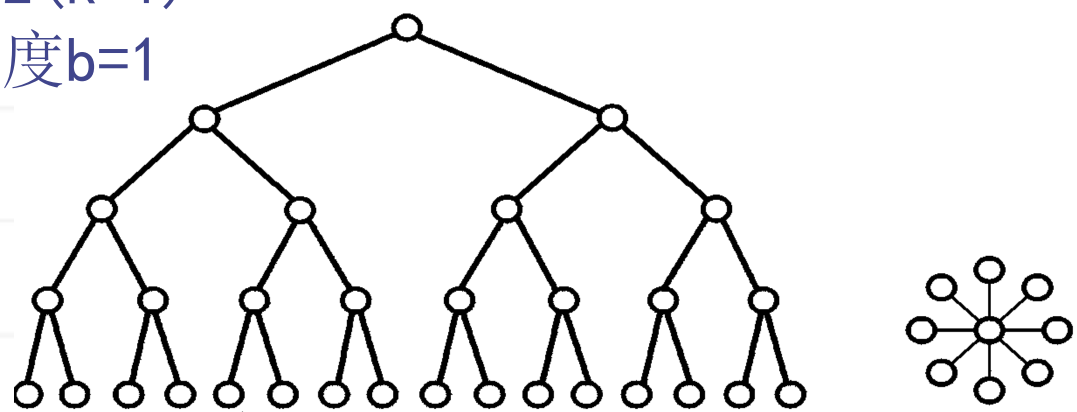
- 结点度：2n－1
- 直径：n/2
- 网络规模$N=2^n$

4. 树形和星形

树形:一棵5层31个结点的二叉树

一般，一棵k层完全平衡的二叉树有N=2k-1个结点。

- 最大结点度：3
- 直径：2(k-1)
- 等分宽度b=1

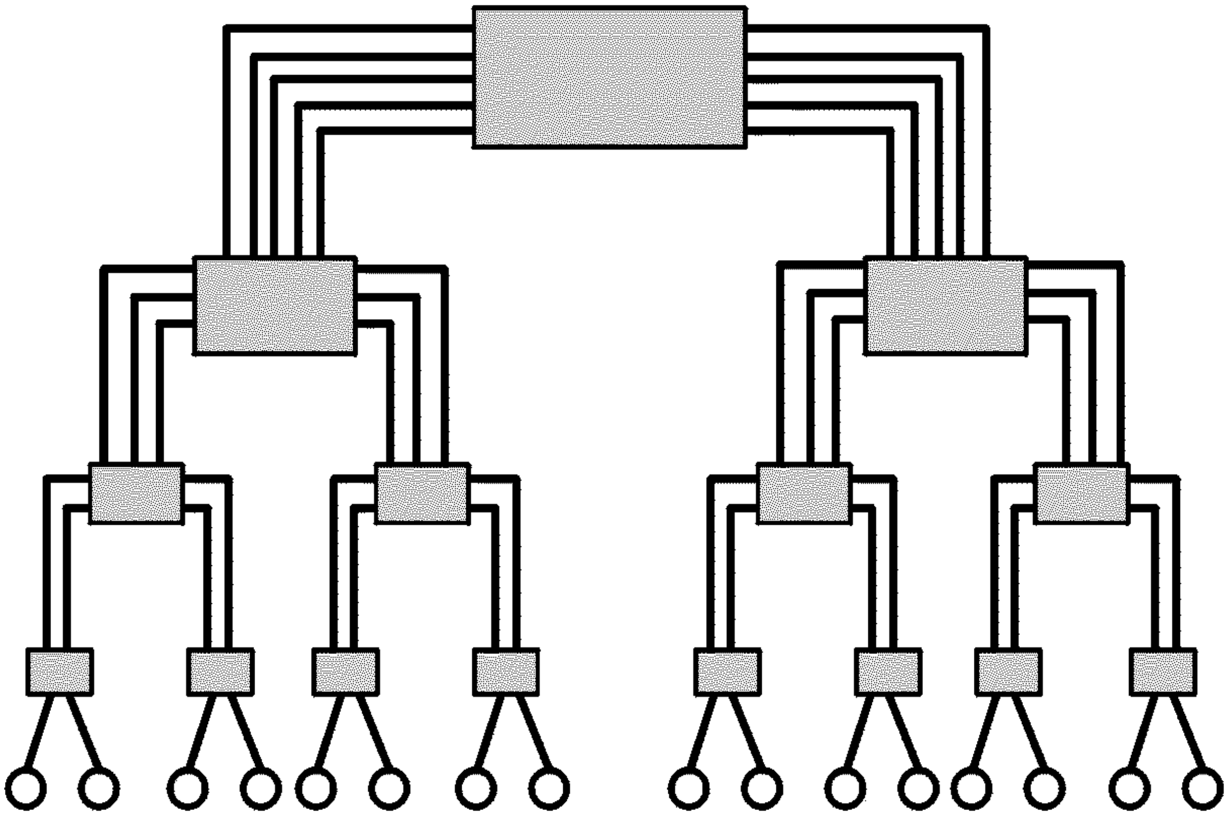


(a) 二叉树　　(b) 星形

星形:

- 结点度较高，为N－1。
  - 直径较小，是一常数2。等分宽度$b=\lfloor N/2 \rfloor$
  - 可靠性较差，中心结点出故障，整个系统就会瘫痪。

5. 胖树形

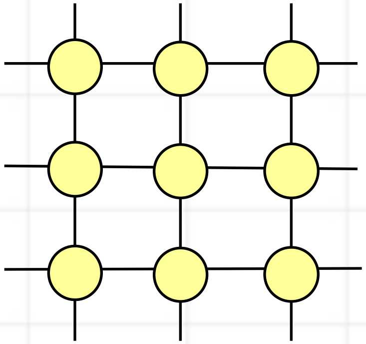


(c) 二叉胖树

6. 网格形和环网形

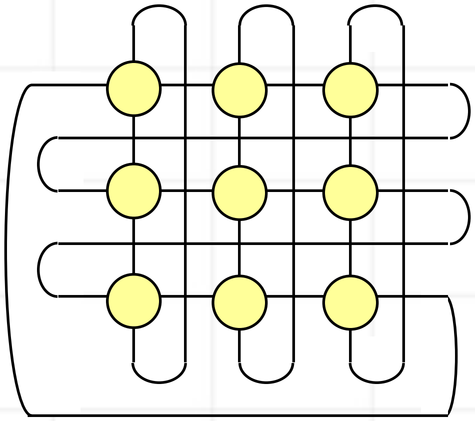
- 网格形

  - 一个3×3的网格形网络
  - 一个规模为N=n×n的2维网格形网络
    - 内部结点的度d=4
    - 边结点的度d=3
    - 角结点的度d=2
    - 网络直径D=2（n-1）
    - 等分宽度b=n
  - 一个由$N=n^k$个结点构成的k维网格形网络（每维n个结点）的内部结点度d=2k，网络直径D=k(n-1)。



（a）网格形

➢ Illiac网络

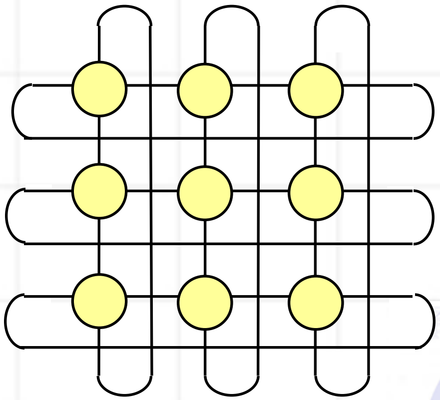


- 名称来源于采用了这种网络的Illiac Ⅳ计算机
- 把2维网格形网络的每一列的两个端结点连接起来，再把每一行的尾结点与下一行的头结点连接起来，并把最后一行的尾结点与第一行的头结点连接起来。
- 一个规模为n×n的Illiac网络
  - 所有结点的度d=4
  - 网络直径D=n-1

    Illiac网络的直径只有纯网格形网络直径的一半。
  - 等分宽度：2n

环网形

- 可看作是直径更短的另一种网格。
- 把2维网格形网络的每一行的两个端结点连接起来，把每一列的两个端结点也连接起来。
- 将环形和网格形组合在一起，并能向高维扩展。
- 一个n×n的环网形网
  - 结点度：4
  - 网络直径：$2\times\lfloor n/2\rfloor$
  - 等分宽度**b=2n**



（c）环网形

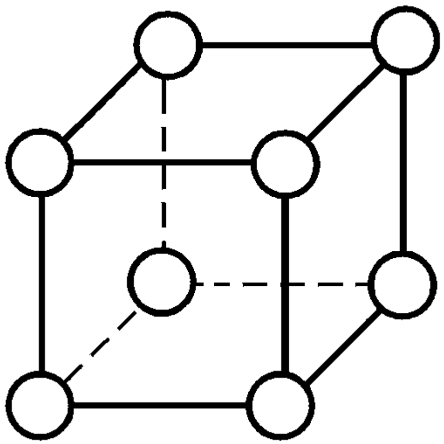
7. 超立方体

- 一种二元n-立方体结构
- 一般来说，一个二元n-立方体由$N=2^n$ 个结点组成，它们分布在n维上，每维有两个结点。

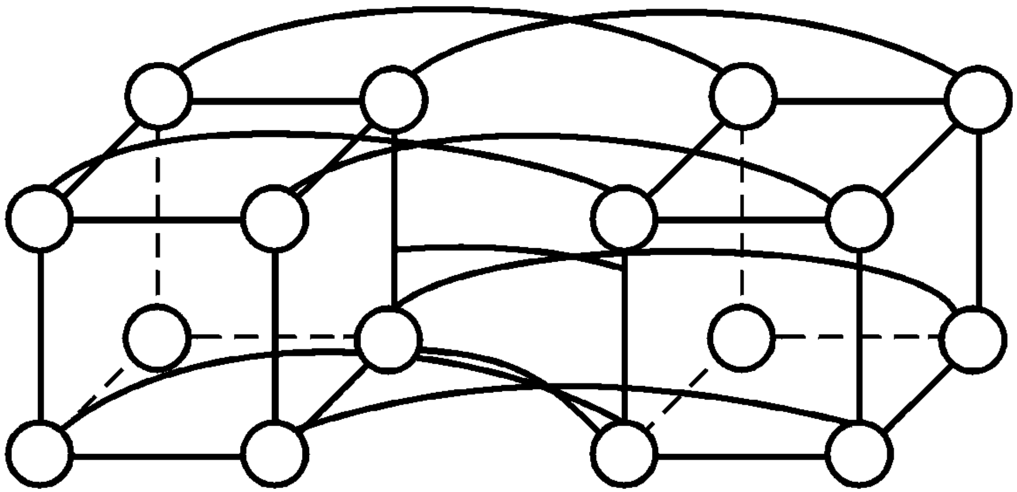
  例　8个结点的3维立方体

  　　4维立方体

- 为实现一个n-立方体，只要把两个（n—1）立方体中相对应的结点用链路连接起来即可。共需要2^{n-1}条链路。
- n-立方体中结点的度都是n，直径也是n，等分宽度为$b=N/2$ 。



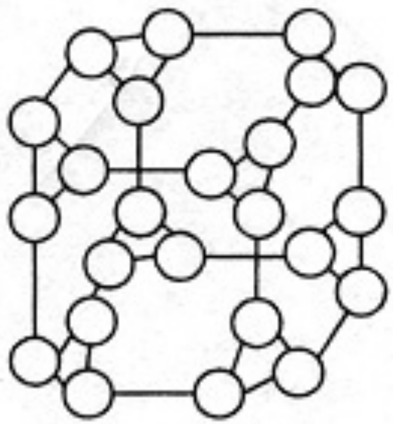
(a) 3–立方体



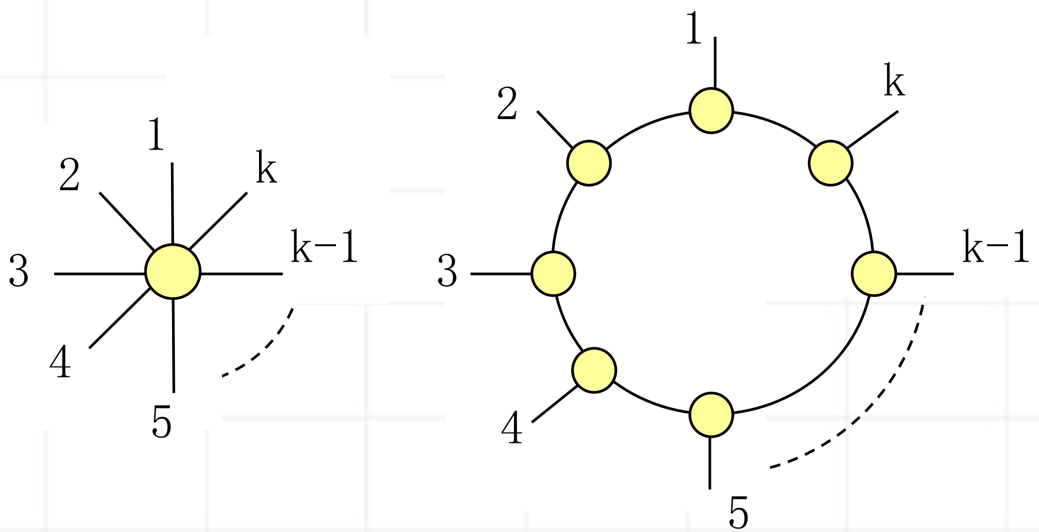
(b) 由 2 个 3– 立方体组成的 4– 立方体

8. 带环立方体 （简称3-CCC）

- 把3-立方体的每个结点换成一个由3个结点构成的环而形成的。
- 带环k-立方体（简称k-CCC）
  - k-立方体的变形，它是通过用k个结点构成的环取代k-立方体中的每个结点而形成的。
  - 网络规模为$N=k\times 2^k$
  - 网络直径为$D=2k-1+\lfloor k/2 \rfloor$
    - 比k-立方体的直径大一倍
  - 等分宽度为$b=N/(2k)$



(a) 带环3-立方体



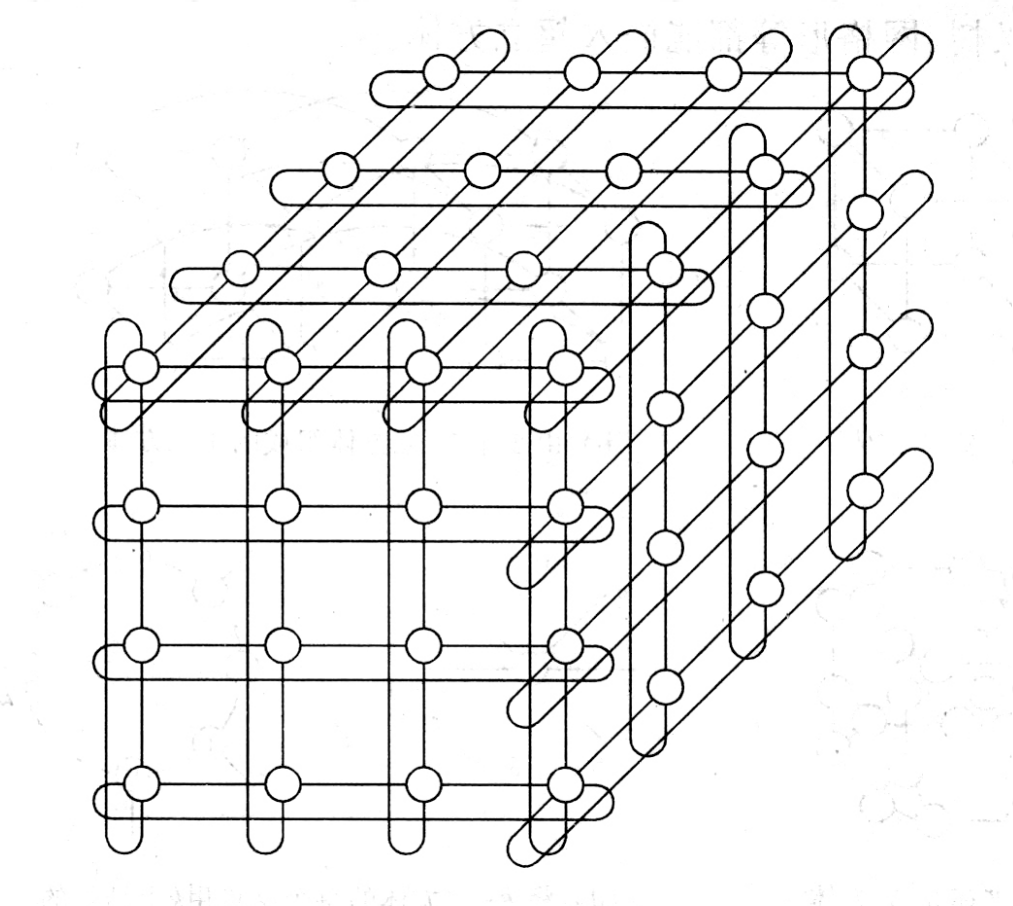
(b) 将k-立方体的每个结点用由k个结点的环来代替，组成带环k-立方体

9. k元n-立方体网络

- 环形、网格、环网形、二元n-立方体（超立方体）和Omega网络都是k元n-立方体网络系列的拓扑同构体。
- 在k元n-立方体网络中，参数n是立方体的维数，k是基数，即每一维上的结点个数。

  N=k^n，（$k=\sqrt[n]{N}$，**n=log_k N**）

  $N=k^n$，（$k=\sqrt[n]{N}$，$n=\log_k N$）
- k元n-立方体的结点可以用基数为k的n位地址$A=a_1a_2\ldots a_n$来表示。
  - 其中a_i表示该结点在第i维上的位置
- 通常把低维k元n-立方体称为环网，而把高维k元n-立方体称为超立方体。

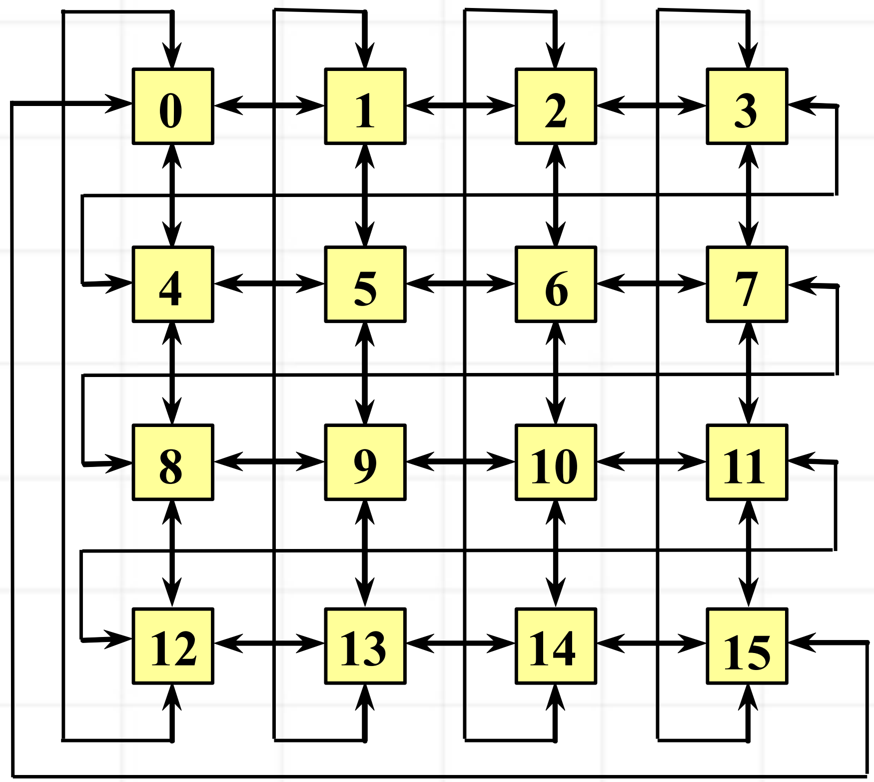


4元3-立方体网络

静态互连网络特征一览表

网络类型	结点度d	网络直径D	链路数l	等分宽度B	对称性	网络规格说明
线线阵列	2	N-1	N-1	1	非	N个结点
环形	2	[N/2]	N	2	是	N个结点
全连接	N-1	1	N(N-1)/2	$(N/2)^2$	是	N个结点
二叉树	3	2(h-1)	N-1	1	$r=\sqrt{N}$ 非	树高$h=[\log_2 N]$
星形	N-1	2	N-1	[N/2]	非	N个结点
2D网格	4	2(r-1)	2N-2r	r	非	r×r网格，
Illiac网	4	r-1	2N	2r	非	与 $r=\sqrt{N}$ 的带弦环等效
2D环网	4	2[r/2]	2N	2r	是	r×r环网，$r=\sqrt{N}$
超立方体	n	n	nN/2	N/2	是	N个结点，$n=[\log_2 N]$（维数）
CCC	3	2k-1+[k/2]	3N/2	N/(2k)	是	$N=k\times 2^k$结点 环长k≥3
k元n-立方体	2n	n[k/2]	nN	$2k^{n-1}$	是	$N=k^n$个结点

例 已知有16个处理器用Illiac网络互连，写出Illiac网络的互连函数，给出表示任何一个处理器PU_i（$0 \le i \le 15$）与其他处理器直接互连的一般表达式。



用移数函数构成ILLIAC Ⅳ 阵列机的互连网络

解：Illiac网络连接的结点数N=16，组成4×4的阵列。每一列的4个处理器互连为一个双向环，第1列～第4列的双向环可分别用循环互连函数表示为：

（0 4 8 12）　（12 8 4 0）

（1 5 9 13）　（13 9 5 1）

（2 6 10 14）　（14 10 6 2）

（3 7 11 15）　（15 11 7 3）

传送方向为顺时针的4个单向环的循环互连函数可表示为：

$$PM2_{+2}(X) = (X + 2^2) \bmod N = (X + 4) \bmod 16$$

传送方向为逆时针的4个单向环的循环互连函数可表示为：

$$PM2_{-2}(X) = (X - 2^2) \bmod N = (X - 4) \bmod 16$$

16个处理器由Illiac网络的水平螺线互连为一个双向环，用循环互连函数表示为：

（0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15）

（15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0）

传送方向为顺时针的单向环的循环互连函数可表示为：

$$PM2_{+0}(X) = (X + 2^0) \bmod N = (X + 1) \bmod 16$$

传送方向为逆时针的单向环的循环互连函数可表示为：

$$PM2_{-0}(X) = (X - 2^0) \bmod N = (X - 1) \bmod 16$$

所以，N=16的Illiac网络的互连函数有4个：

$PM2_{\pm 0}(X)$和$PM2_{\pm 2}(X)$