

水平重迭区（带区）

- 垂直约束图是对竖直方向的限制，那么对水平方向的约束就是通道区布线的水平限制条件，可描述为在任何一个可行的布线中，不同线网的水平线段不允许发生重迭。
- 为了描述水平限制条件，将布线通道化成若干水平重迭区。
- 重迭区是通道区中一个尽可能大的连续的列的集合，通过重迭区（包括通过重迭区中某些列）的任何二条线网都不允许在同一条水平布线通道上。



水平重迭区

(鼠标滑过播放视频)

水平重迭区（带区）

- 垂直约束图是对竖直方向的限制，那么对水平方向的约束就是通道区布线的水平限制条件，可描述为在任何一个可行的布线中，不同线网的水平线段不允许发生重迭。
- 为了描述水平限制条件，将布线通道化成若干水平重迭区。
- 重迭区是通道区中一个尽可能大的连续的列的集合，通过重迭区（包括通过重迭区中某些列）的任何二条线网都不允许在同一条水平布线通道上。

划分的过程

- 自左向右扫描，当某列上有线网结束时，做个记号。如在后面的第 j 列上有新的线网开始时，则新的重迭区从第 j 列开始，而前一个重迭区在 $j-1$ 列结束。也有一些特殊情况，若同一列既有线网结束又有线网开始，则可以划分为一个独立的区；若此时前面的分区没有划分，则合并为一个分区。

示例

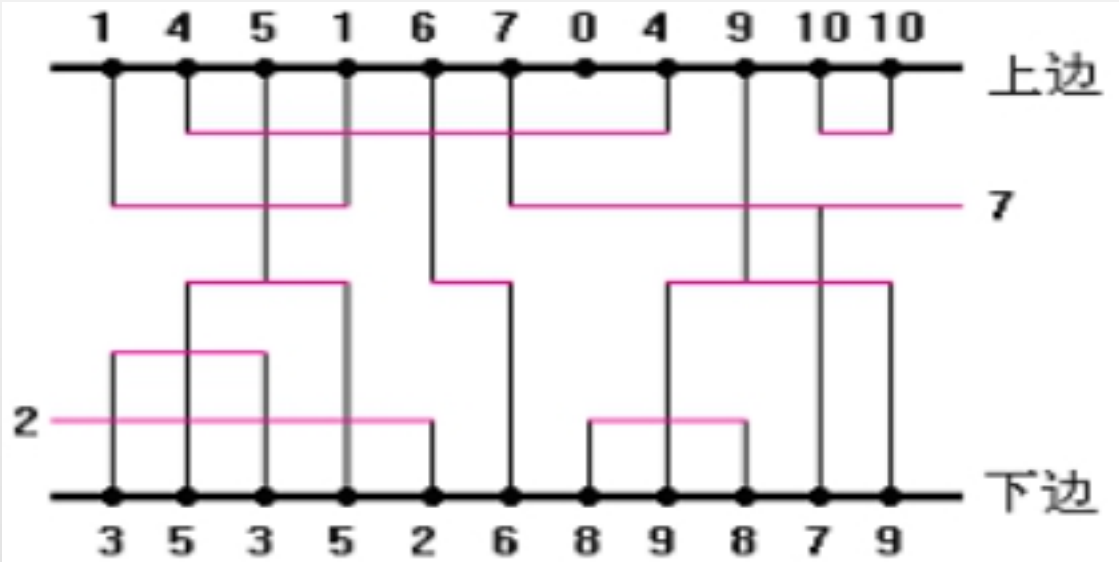
划分的过程

- 自左向右扫描，当某列上有线网结束时，做个记号。如在后面的第 j 列上有新的线网开始时，则新的重迭区从第 j 列开始，而前一个重迭区在 $j-1$ 列结束。也有一些特殊情况，若同一列既有线网结束又有线网开始，则可以划分为一个独立的区；若此时前面的分区没有划分，则合并为一个分区。



示例

- ①自左向右扫描，第1区起始有线网4，1，5，3，2，当扫描到第3列、第4列时有线网3，5，1结束；当第5列时有线网6开始，则I区是第1列到第4列。
- ②II区从第5列开始，同时有线网2结束；在第6列上线网开始，故II区为第5列。
- ③第6列开始第III区，有线网7开始，同时线网6结束；到第7列，线网8开始，故III区为第6列。
- ④IV区从第7列开始，到第8列线网9开始，同时线网4结束；第IV区到第8列结束。
- ⑤V区从第9列开始，第9列有线网8结束；到第10列，线网10开始，第V区到第9列结束。
- ⑥第VI区剩余的第10，11列。



重迭区划分的情况

列：通过重叠区线网						重叠区
1	<u>1</u>	2	<u>3</u>			I
2	1	2	3	<u>4</u>	<u>5</u>	
3	1	2	<u>3</u>	4	5	
4	<u>1</u>	2	4	<u>5</u>		
5	<u>2</u>	4	<u>6</u>			II
6	4	<u>6</u>	<u>7</u>			III
7	4	7	<u>8</u>			IV
8	<u>4</u>	7	8	<u>9</u>		
9	7	<u>8</u>	9			V
10	7	9	<u>10</u>			VI
11	7	<u>9</u>	<u>10</u>			

带图

4	4	4	4		10
1	6	6	8	8	
5		7	7	7	7
3			9	9	9
2	2				
I	II	III	IV	V	VI

注：A表示此区有线网A结束；
A表示此区有线网A开始。



面向布线区的布线方法

- 面向布线区的布线是将线网打散，分配在各个布线通道内进行布线。这种方法一般还是要分两步进行：第一步进行总体布线，第二步进行通道线。

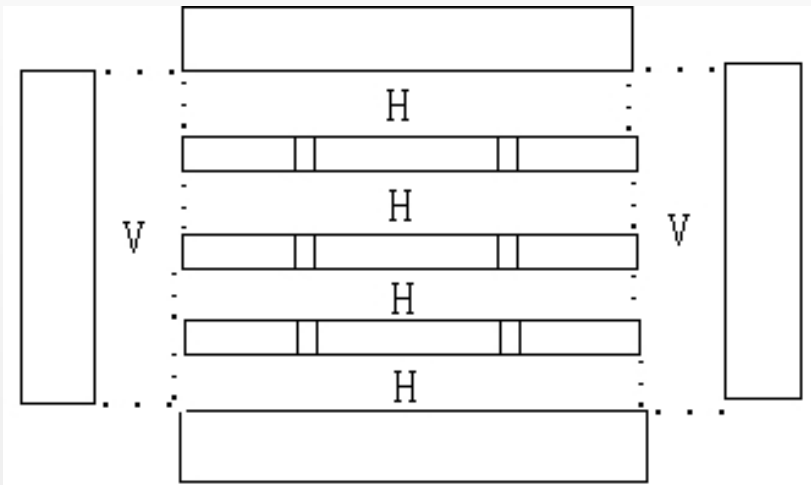
- 总体布线

总体布线是将布线区划分成通道及线网区的分配。



①通道划分

- 如图所示，对于行式结构的芯片形式，如门阵列、标准单元等结构的划分很简单，其单元区间的区域即为水平通道区。同时单元的硅栅或预留的穿线道即为垂直通道。垂直通道一般只是作为两个水平通道区的桥。线网的分配和布线主要在水平通道内进行。



②线网在各通道的分配

- 将线网分配到各个通道的算法的主要依据是对两点间路径的分配。最早开始使用的有grid-expansion算法，或者称为迷宫布线算法；然后是一个更有效的线搜索算法。

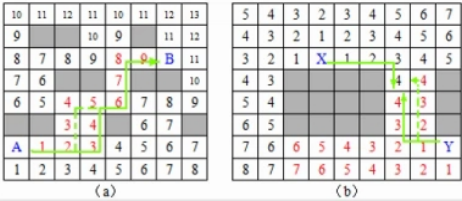
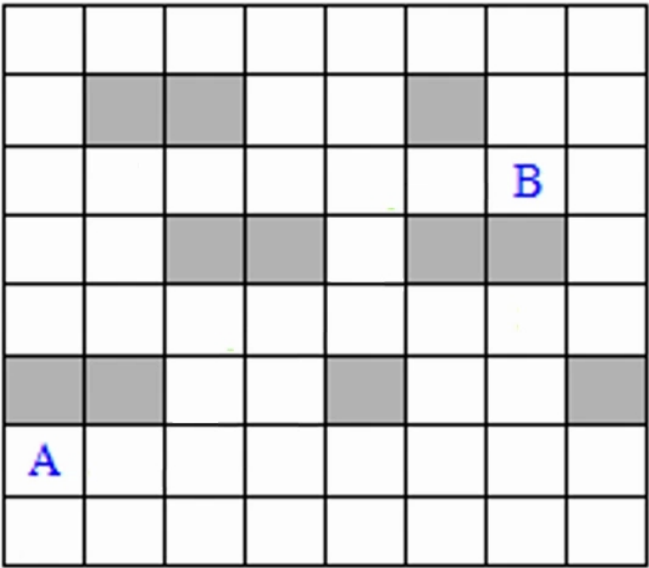


线网分配方法

(鼠标滑过播放视频)

I . 李氏算法

- 迷宫法就是两点李氏算法。
- 李氏算法有 (a)、(b) 两种方法，(a) 现要连接 A→B，通过李氏算法的单源波扩散可以找出一条无任何阻挡的最短路径 (阴影部分是布线障碍区)，可见从 A 到 B 的最短路径为 10 步，共有两种走法。
- (b) 为双源波扩散的李氏迷宫算法，为源 X 和目标 Y 之间寻找一条最短路径。在 X 源端和 Y 目标端同时发出一个波，向外扩散，在每个格子上编号，一旦两个扩散波相遇，即可完成连接，如果有两个格子编号一样，优先选择不拐弯的格子，图中实线为优先的选择。李氏算法最初使用单个波的扩散方法。

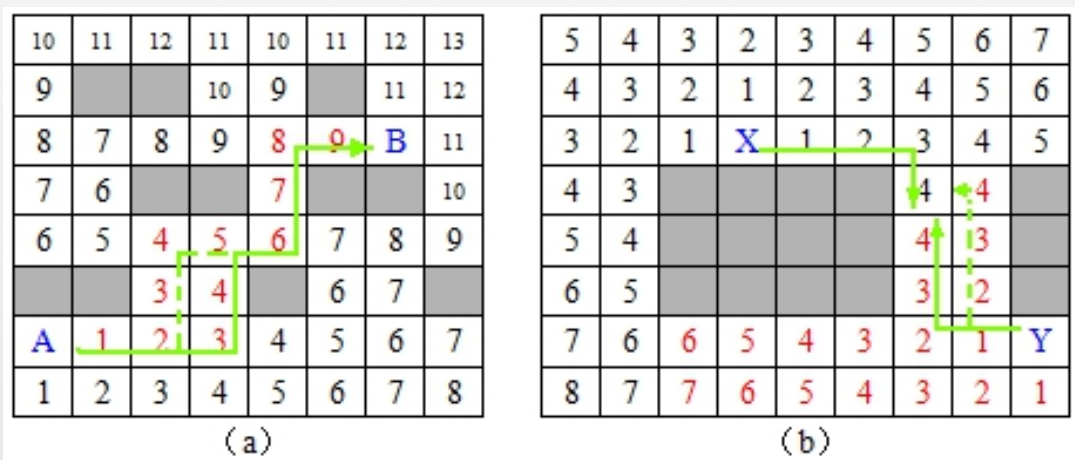


II . 海塔算法

海塔算法是一种基于广度优先搜索的算法，用于寻找最短路径。

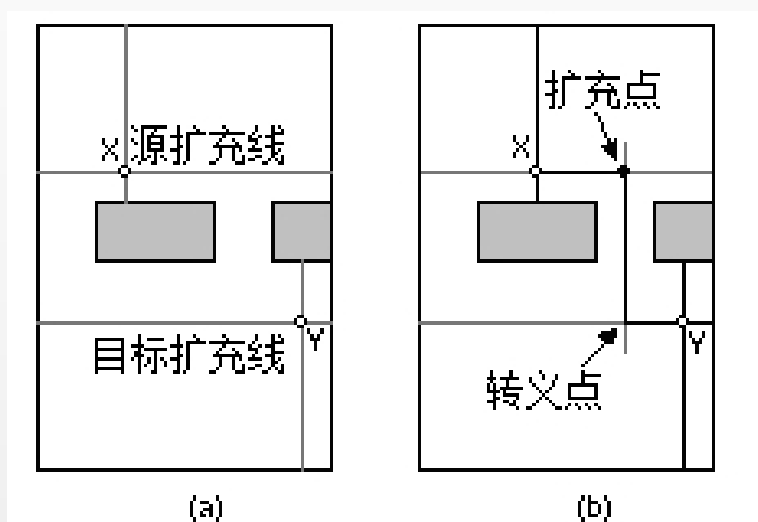
I. 李氏算法

- 迷宫法就是两点李氏算法。
- 李氏算法有 (a)、(b) 两种方法，(a) 现要连接A→B，通过李氏算法的单源波扩散可以找出一条无任何阻挡的最短路径（阴影部分是布线障碍区），可见从A到B的最短路径为10步，共有有两种走法。
- (b) 为双源波扩散的李氏迷宫算法，为源X和目标Y之间寻找一条最短路径。在X源端和Y目标端同时发出一个波，向外扩散，在每个格子上编号，一旦两个扩散波相遇，即可完成连接，如果有两个格子编号一样，优先选择不拐弯的格子，图中实线为优先的选择。李氏算法最初使用单个波的扩散方法。



II. 海塔算法

- 是一种线搜索算法（或线探测算法），使用线而非波来寻找连接。这种算法称为海塔算法，比基于李氏算法的方法更有效率。



III. 线网分配

- 面向线网的布线方法就是李氏算法的改进。
- 其第一步就是将线网按李氏算法分配到各个通道。如是多点线网，则进行分解，两两连接，这样产生的线网分配无疑会出现分配不均的问题。有的通道区还要求走的线特别多，其数量超过通道容量，而有的通道则可能线很少，远远达不到其通道容量。那些超过通道容量的通道是无法完成所有线网布线的，这些通道称为关键通道。当用李氏算法分配完成线网到各通道后便可发现所有的关键通道；
- 第二步便是将线网中的一些线网拆除，一般对溢出最大的线网先拆，对有多种走线方案的线网也要先拆，拆除的线网在关键通道之外再找一条路径重新分配走线通道。这个拆线、重布线的过程一直进行到所有通道线网密度小于通道容量为止（有时这个过程进行到所有通道的线网分布比较均匀时为止）。



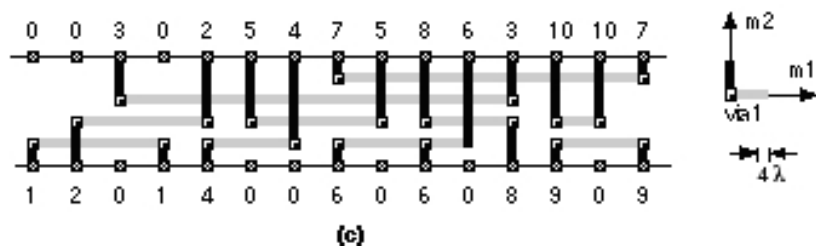
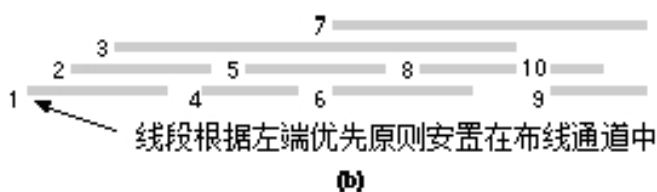
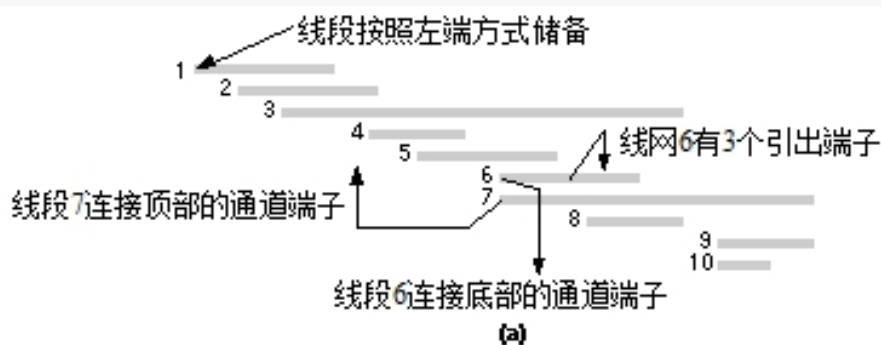
通道布线

- 上面所述的只是线网在各通道的分配，并未涉及线网在通道中的排列方式和布线顺序。
- 在通道布线中主要是考虑线网的排列顺序和如何走线。有多种算法，这里只考虑二边通道布线的算法，主要介绍左端算法LEA (left-edge Algorithm) 。



无约束左端算法

- 各线网间不存在垂直约束关系，每个线网在通道内只有一条水平线。
- 只要决定这个水平线的位置，便完成了该线网的安置。因为不存在垂直约束，两个线网的垂直线不会相交。垂直线可以从出线端所在列连接所对应的水平线。



有约束的左端算法

- 通道布线在大部分情况下是有垂直约束的布线。
- 可以进行布线的是活动线网，针对有约束的情况，在垂直约束图中处于最下面的线网为活动线网。
- 有约束的左端算法的思想是：
当前能布的线网是活动线网，如果活动线网中有线网已布线，就要修改垂直约束图；然后又产生新的活动线网，布线中新产生的活动线网与原有的活动线网同等的参加布线；布线仍按水平布线线道顺序进行，布线集始终由活动线网组成。



有约束左端算法

(鼠标滑过播放视频)

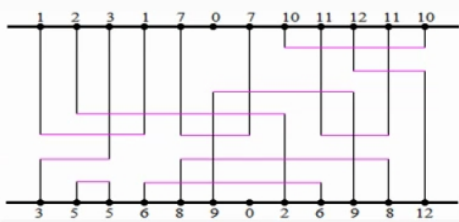
有约束的左端算法

- 通道布线在大部分情况下是有垂直约束的布线。
- 可以进行布线的是活动线网，针对有约束的情况，在垂直约束图中处于最下面的线网为活动线网。

有约束的左端算法的思想是：

当前能布的线网是活动线网，如果活动线网中有线网已布线，就要修改垂直约束图；然后又产生新的活动线网，布线中新产生的活动线网与原有的活动线网同等的参加布线；布线仍按水平布线线道顺序进行，布线集始终由活动线网组成。

有约束左端算法示例1

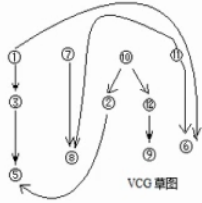


- 按要求写出垂直约束图
- 根据写垂直约束图的原则，先将通道上下边的出现端子进行对应的排列，略去0号端子。



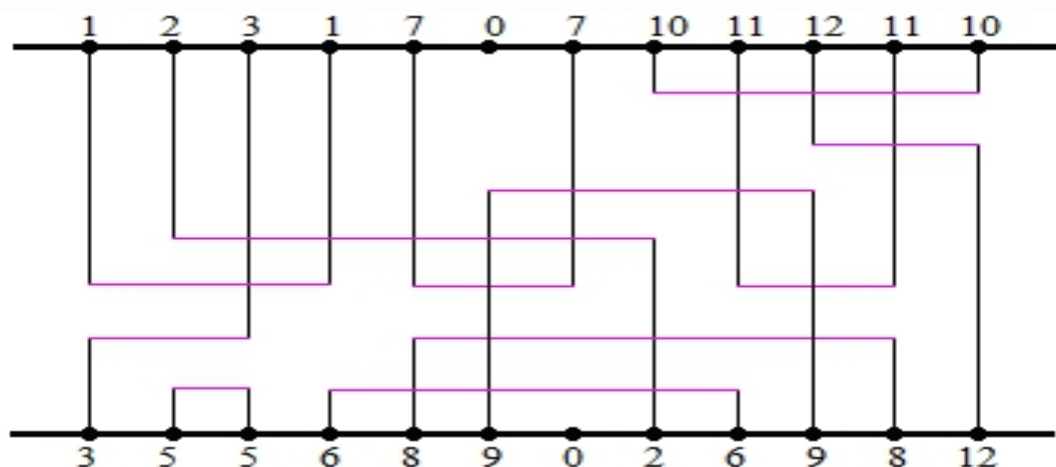
VCG 简明规则：

第一层：上无下无
第二层：上有下无
第三层开始：与第二层规则相同
直至上边的端子均写入VCG
最下层：上无下有



经过整理的VCG图

有约束左端算法示例1



- 按要求写出垂直约束图
- 根据写垂直约束图的原则，先将通道上下边的出现端子进行对应的排列，略去0号端子。



VCG 简明规则:

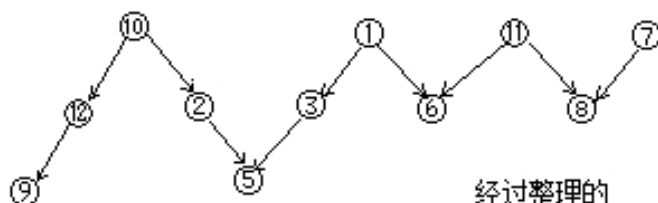
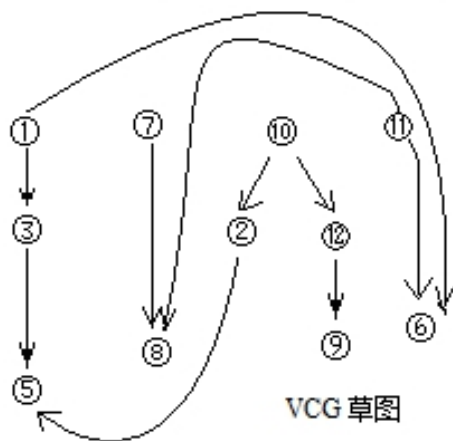
第一层：上有下无。

第二层：上有下有

第三层开始：与第二层规则相同

直至上边的端子均写入VCG

最下层：上无下有



经过整理的
VCG图



进行有约束的左端布线

布线是自下而上进行，VCG的最下层是活动线网的集合A。具体步骤如下：

活动线网A= {5, 6, 8, 9} , 布⑤, 修改VCG;

活动线网A= {2, 3, 6, 8, 9} , 布⑥, 修改VCG;

活动线网A= {2, 3, 8, 9} , 布③, 修改VCG;

活动线网A= {1, 2, 8, 9} , 布⑧, 修改VCG;

活动线网A= {1, 2, 7, 9, 11} , 布①, 修改VCG;

活动线网A= {2, 7, 9, 11} , 布⑦, 修改VCG;

活动线网A= {2, 9, 11} , 布⑪, 修改VCG;

活动线网A= {2, 9} , 布②, 修改VCG;

活动线网A= {9} , 布⑨, 修改VCG;

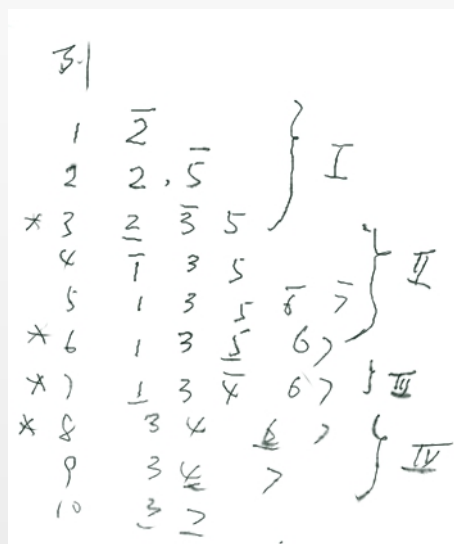
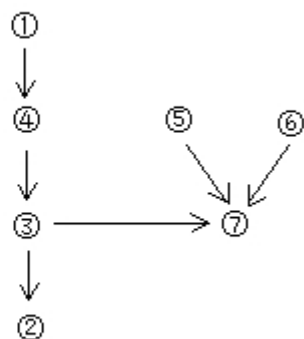
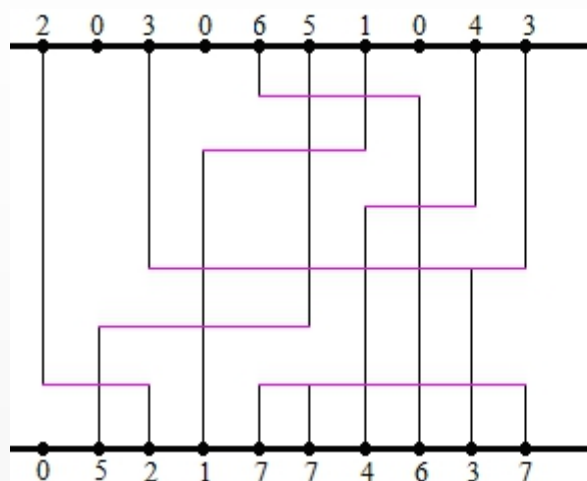
活动线网A= {12} , 布⑫, 修改VCG;

活动线网A= {10} , 布⑩, 修改VCG;

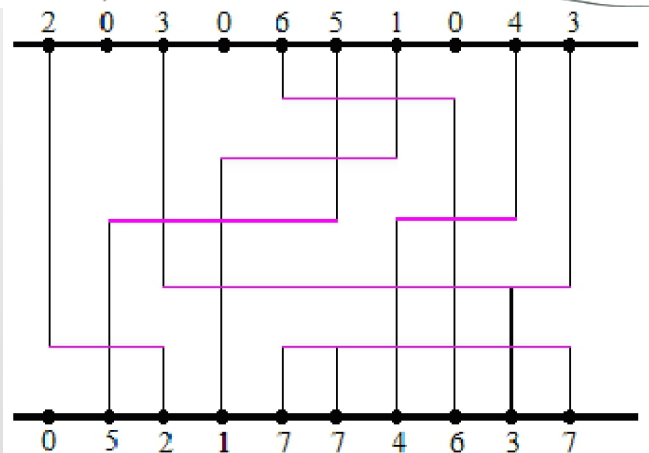
结束。



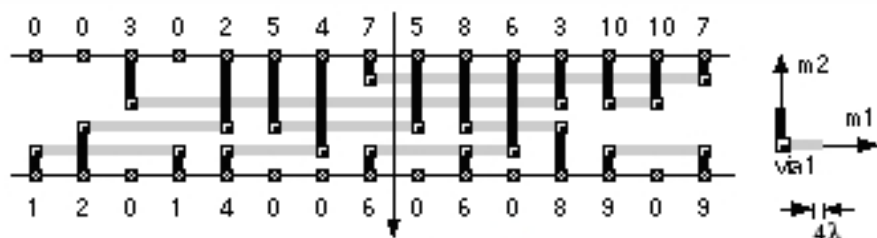
有约束左端算法示例2



I	II	III	IV
2			
3	3	3	3
5	5		
	1	1	
	6	6	6
	7	7	7
		4	4

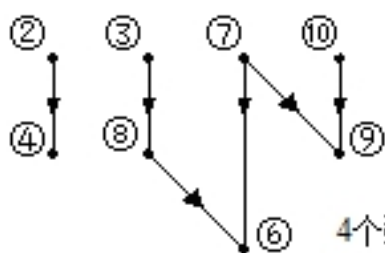


有约束左端算法示例3



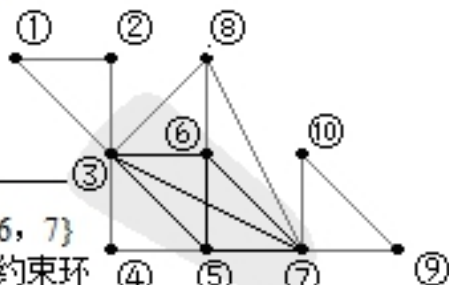
(a)

总体通道密度=4



(b)

4个端子{3, 5, 6, 7}
构成最大的一个约束环



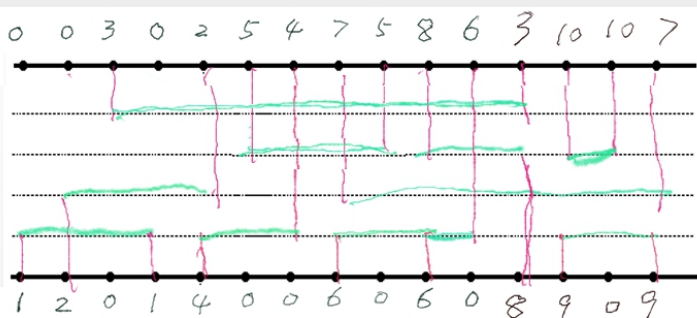
(c)

列

1	1	I
2	1 2	
3	1 2 3	
4	1 2 3	II
5	2 3 4	
6	3 4 5	
7	3 4 5	III
8	3 5 6 7	
9	3 5 6 7	
10	3 6 7 8	IV
11	3 6 7 8	
12	3 7 8	
13	7 8 10	V
14	7 9 10	
15	7 9	

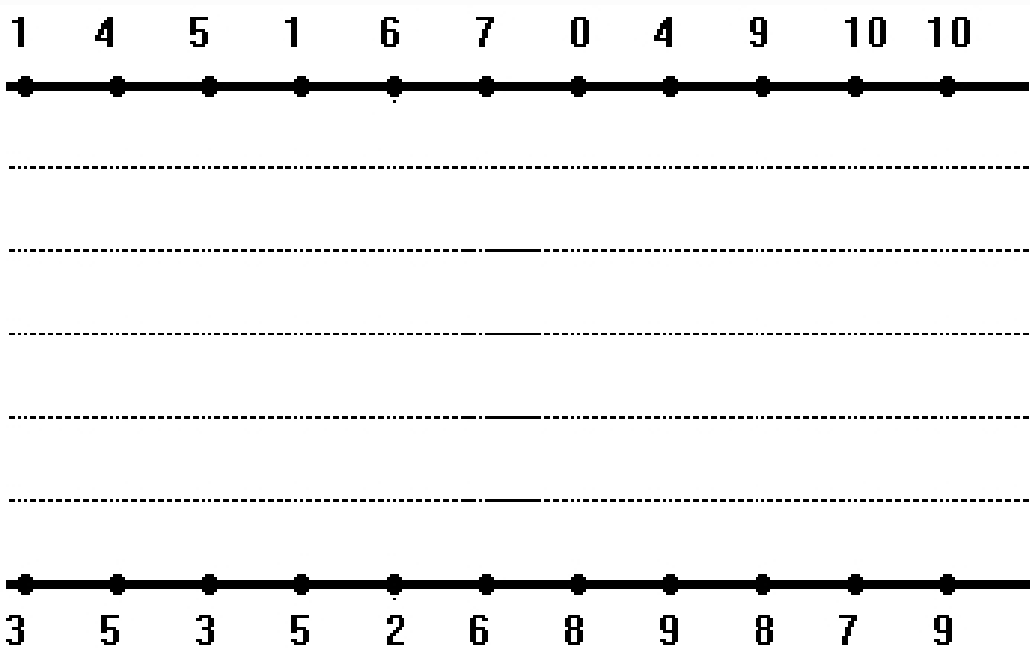
2	3	4	5	6
1	2	3	4	5
2	3	4	5	6
3	4	5	6	7
				8
				9
				10

通量最大约束
{3, 5, 6}
和 {3, 6, 7, 8}
2-最大环



思考题

1. 用左端算法为下面二边通道布线，并说明通道容量是多少？通道最大密度是多少？



- 2. 自动布图包含哪些内容，分别涉及哪些常用的算法？
- 3. 如何处理总体布线和通道布线的关系，李氏算法主要解决什么问题。

