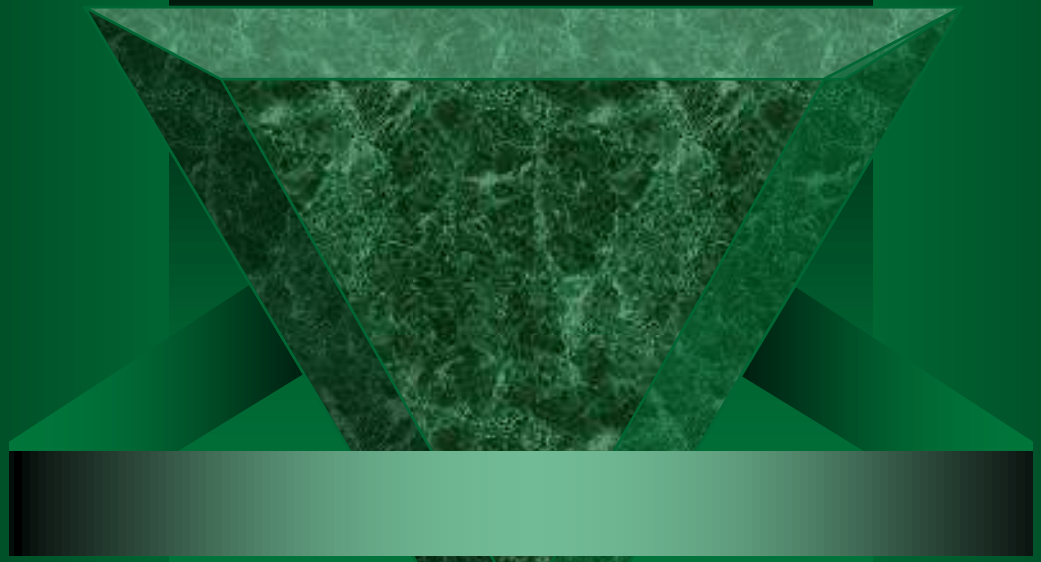


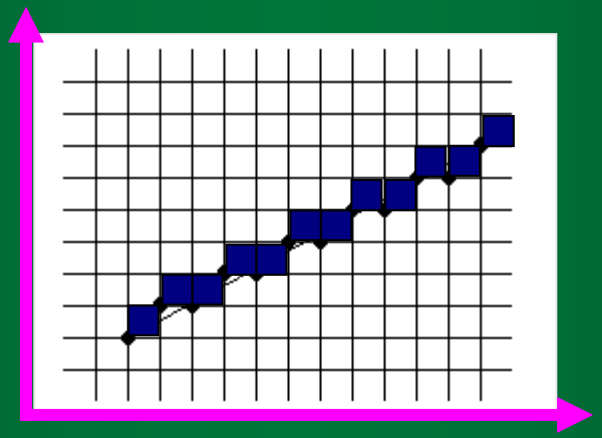
第三章 基本图形生成算法

内容提要

- 直线生成算法
- 圆弧生成算法
- 线宽和线型的处理
- 实区域填充算法
- 图形反走样技术

3.5 实区域填充算法

直线的扫描转换

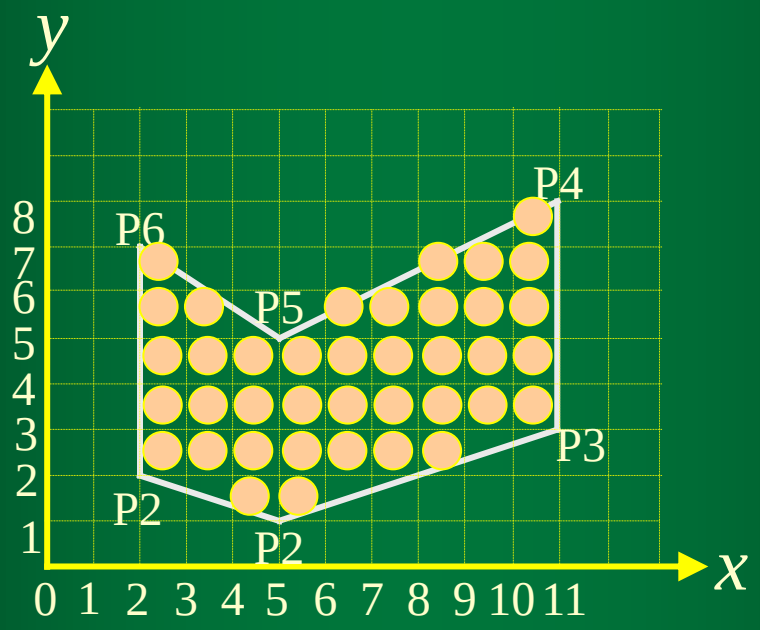


假设坐标原点位于左下角点

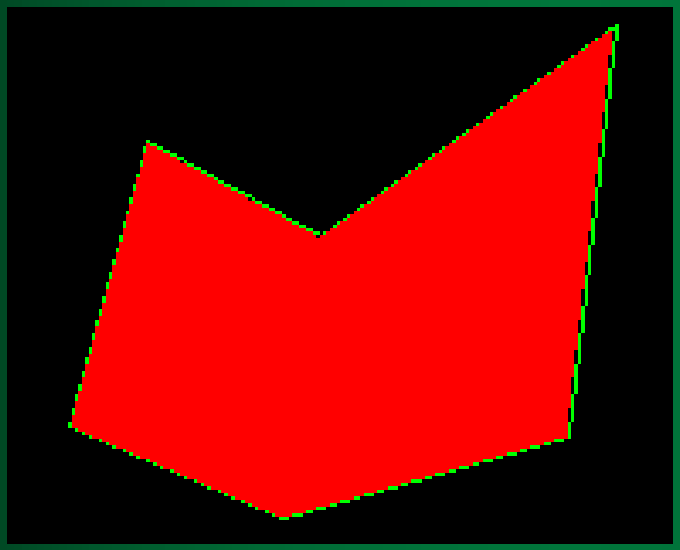
则像素由其左下角坐标表示

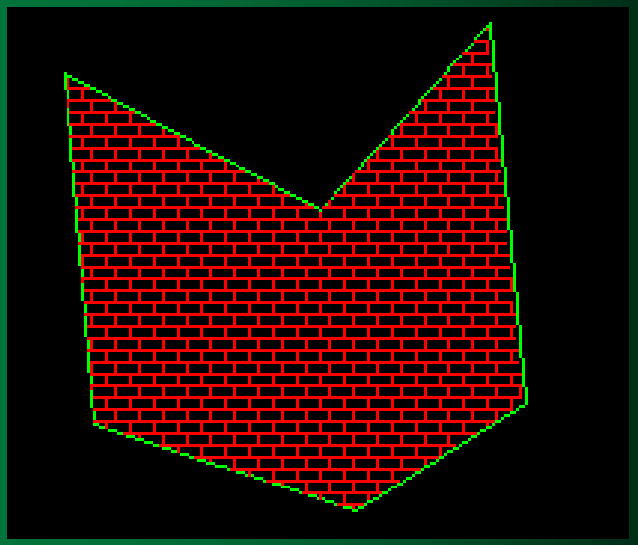
3.5 实区域填充算法

- **解决的主要问题是什么？**
  - 确定待填充的象素
  - 即检查光栅屏幕上的每一像素是否位于多边形区域内



3.5 实区域填充算法





- **图案填充**还有一个什么象素填什么颜色的问题
- **曲线围成的区域**，可用多边形逼近

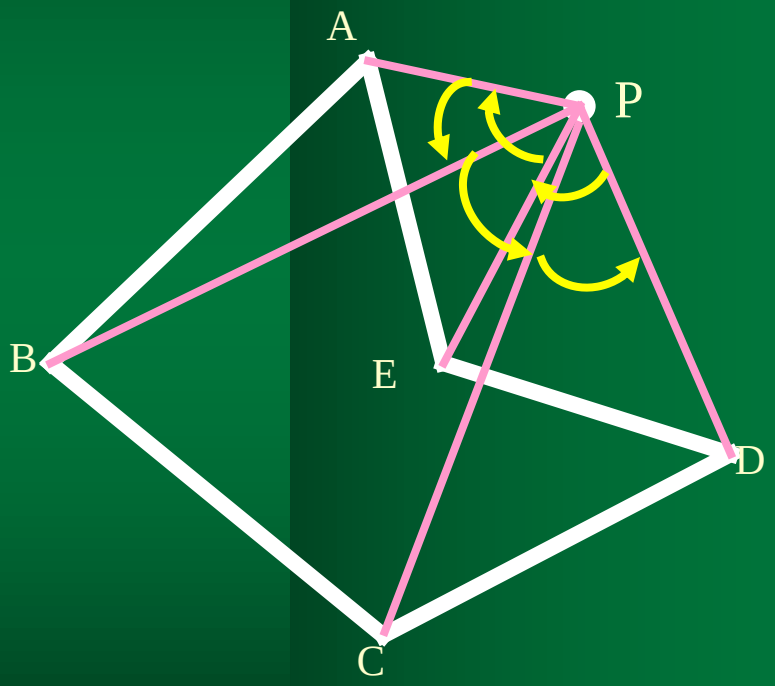
实区域填充算法

- 如何判断一个点是否位于多边形区域内？

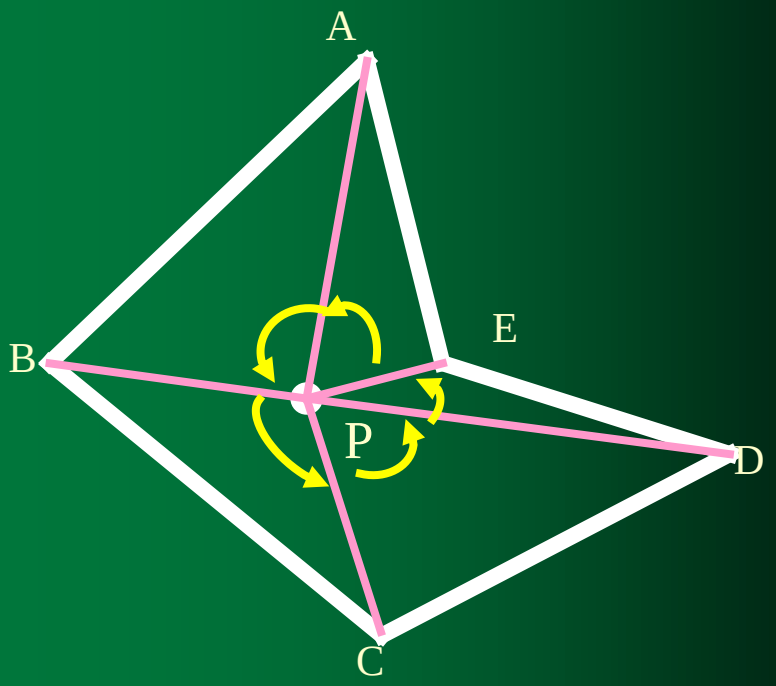
- 点在多边形内的包含性检验
  - 检验夹角之和
  - 射线法检验交点数

实区域填充算法

检验夹角之和



若夹角和为**0**，
则点p在多边形**外**

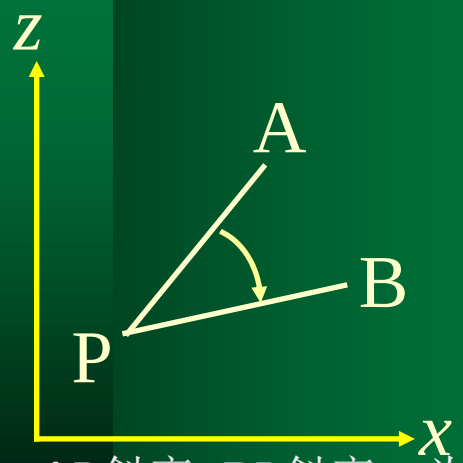


若夹角和为**360°**，
则点p在多边形**内**

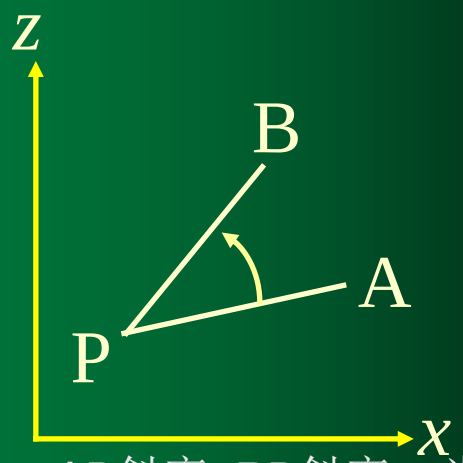
实区域填充算法

- 夹角如何计算？
  - 大小：利用余弦定理
  - 方向：令

$$T=\begin{vmatrix} x_A-x_P & z_A-z_P \\ x_B-x_P & z_B-z_P \end{vmatrix}=(x_A-x_P)(z_B-z_P)-(x_B-x_P)(z_A-z_P)$$



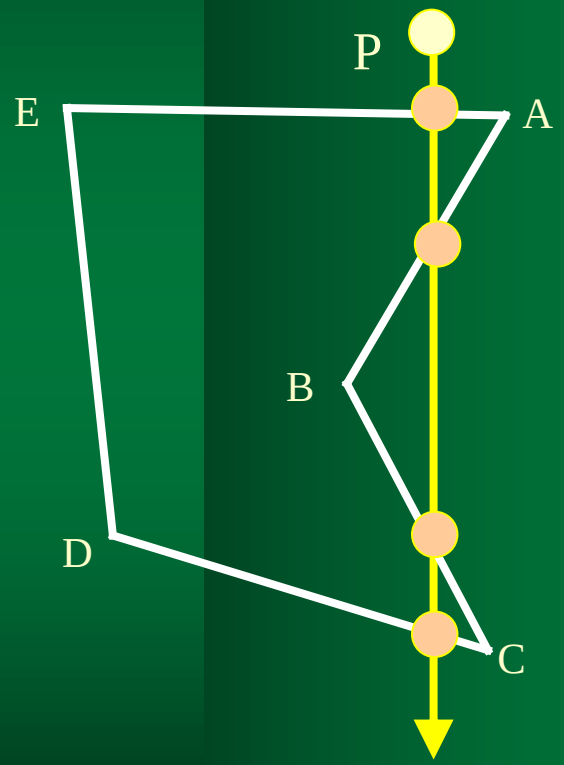
当T<0时，AP斜率>BP斜率，为顺时针角



当T>0时，AP斜率<BP斜率，为逆时针角

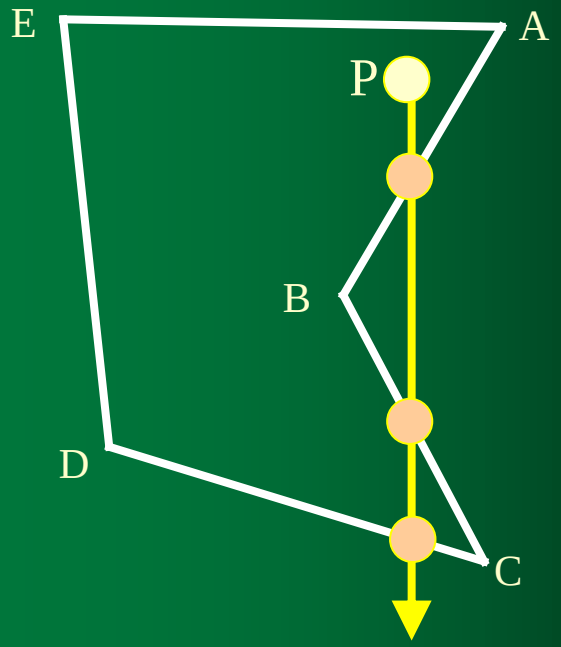
实区域填充算法

射线法检验交点数



交点数=偶数（包括0）

点在多边形之外



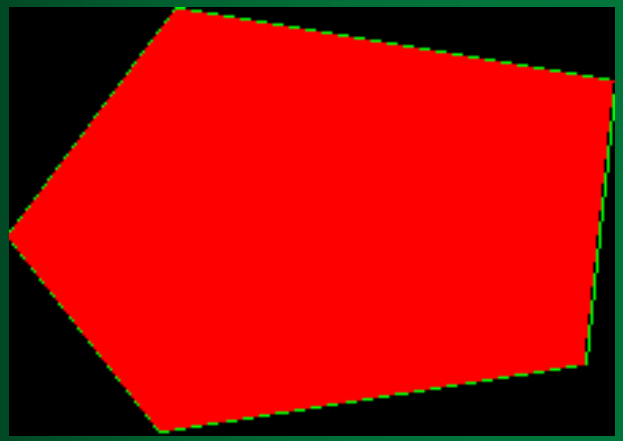
交点数=奇数

点在多边形之内

实区域填充算法

- 逐点测试的问题？
  - 效率低不实用
- 一个简单的解决方法
  - 包围盒法

测试效率仍然很低



凸多边形

凹多边形

实区域填充算法

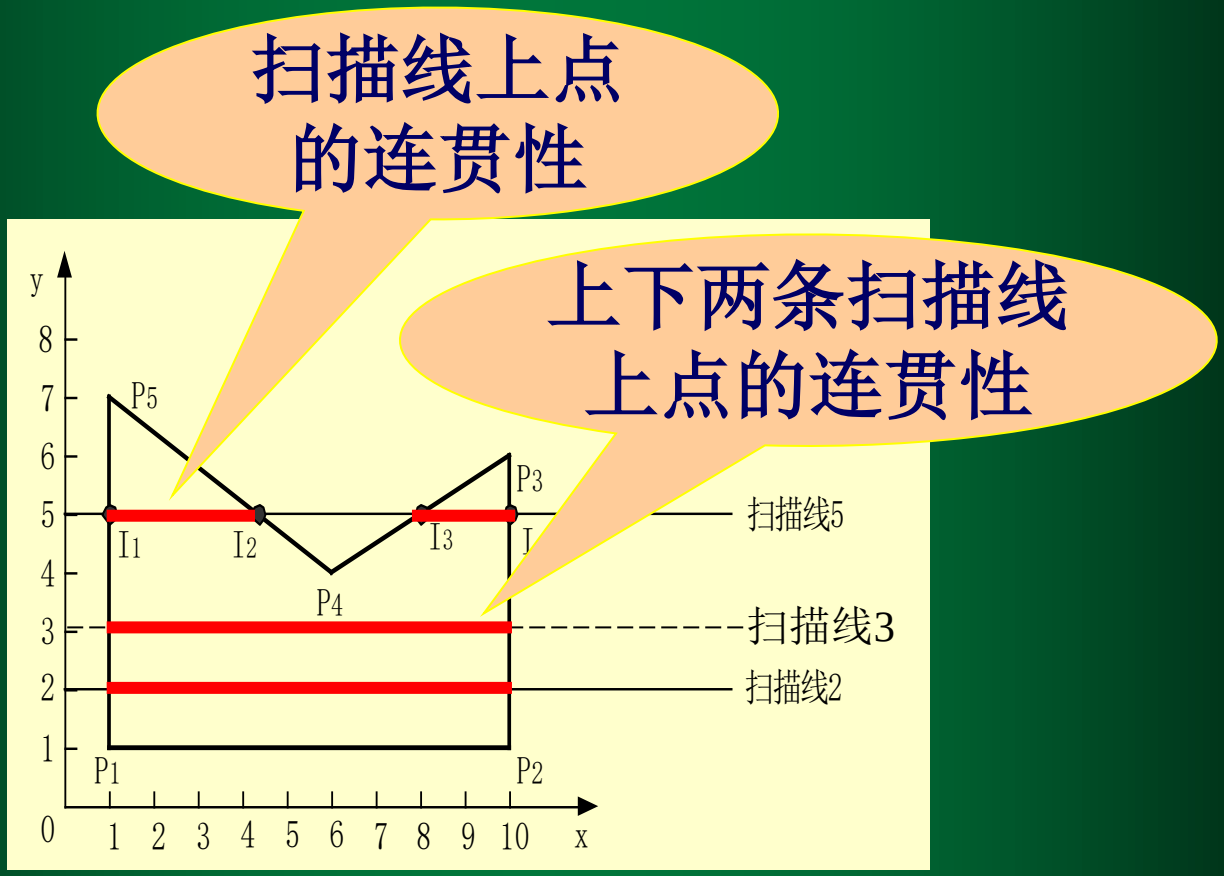
- 换一种思路：
- 考虑图形的扫描方式特点
  - 能否利用扫描线的连贯性？
- 考虑图形的特点
  - 能否利用图形的空间连贯性？

实区域填充算法

- 分类：
- 扫描线填充算法
  - 按扫描线顺序，测试点的连贯性
- 种子填充算法
  - 从内部一个种子点出发
  - 测试点的连贯性

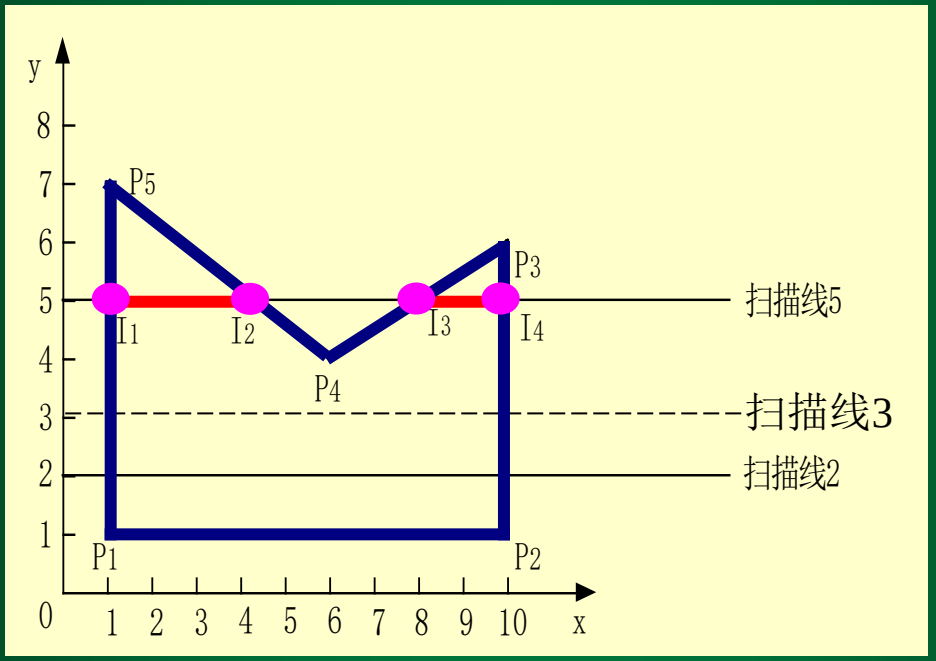
扫描线填充算法

扫描线的连贯性

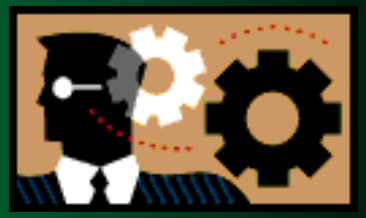


扫描线填充算法

- 求交：I_4, I_3, I_2, I_1
- 排序：I_1, I_2, I_3, I_4
- 交点配对：$(I_1, I_2), (I_3, I_4)$
- 区间填色



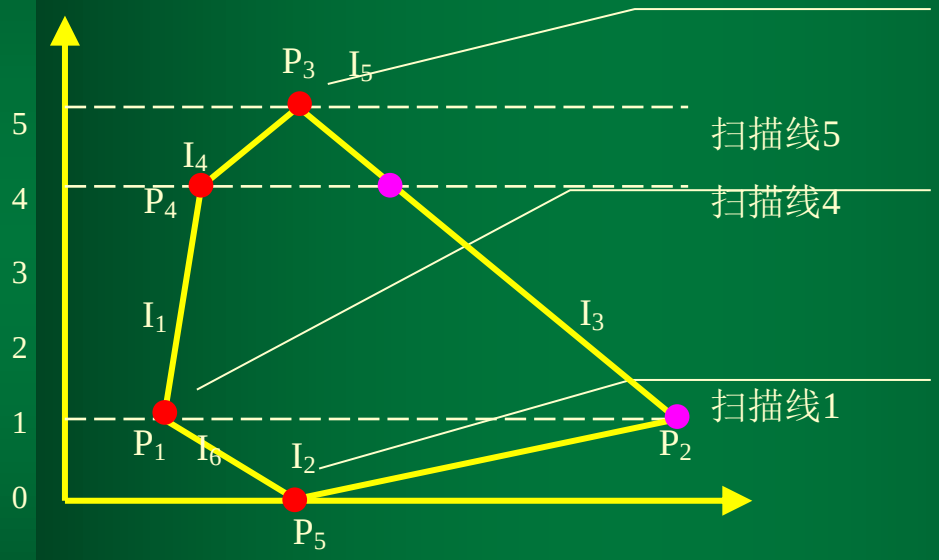
扫描线填充算法



- 思考第一个问题：
- 交点配对时可能出现的问题？
  - 会不会出现奇数个交点？

扫描线填充算法

- 顶点交点的计数问题



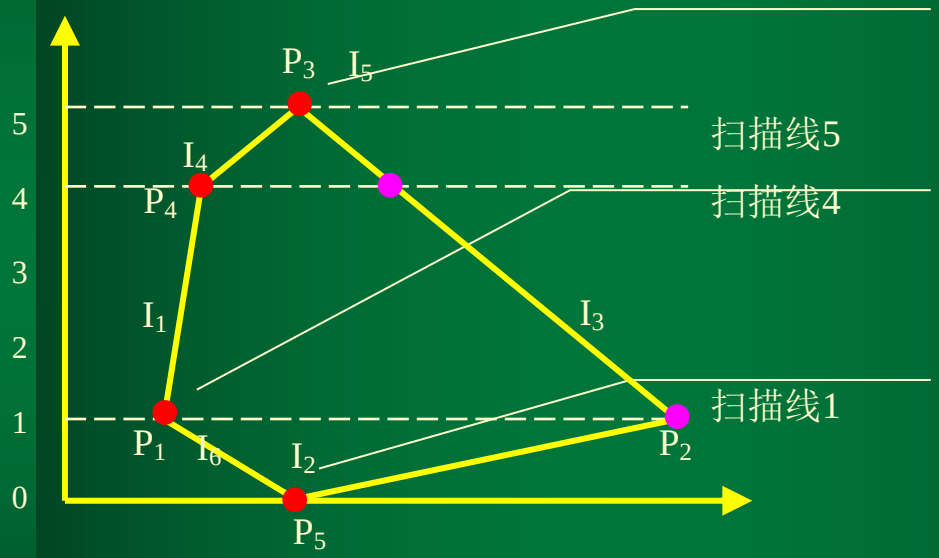
也计数1次吗？

应该计数1次

也计数1次吗？

扫描线填充算法

- 顶点交点的计数问题



也计数1次吗？

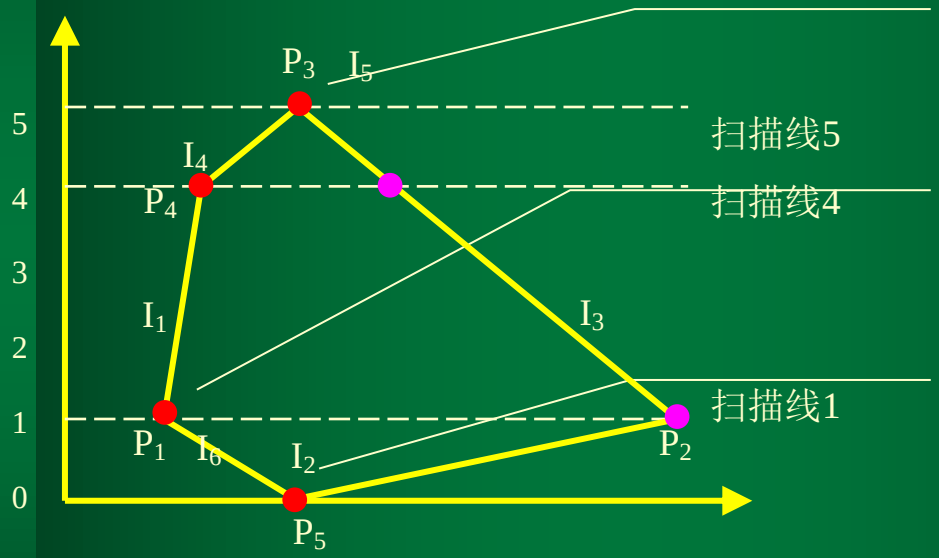
应该计数1次

也计数1次吗？

- 局部最高点和局部最低点的交点计数问题？
- 如何判断局部最高点和局部最低点？

扫描线填充算法

- 顶点交点的计数问题



计偶数次

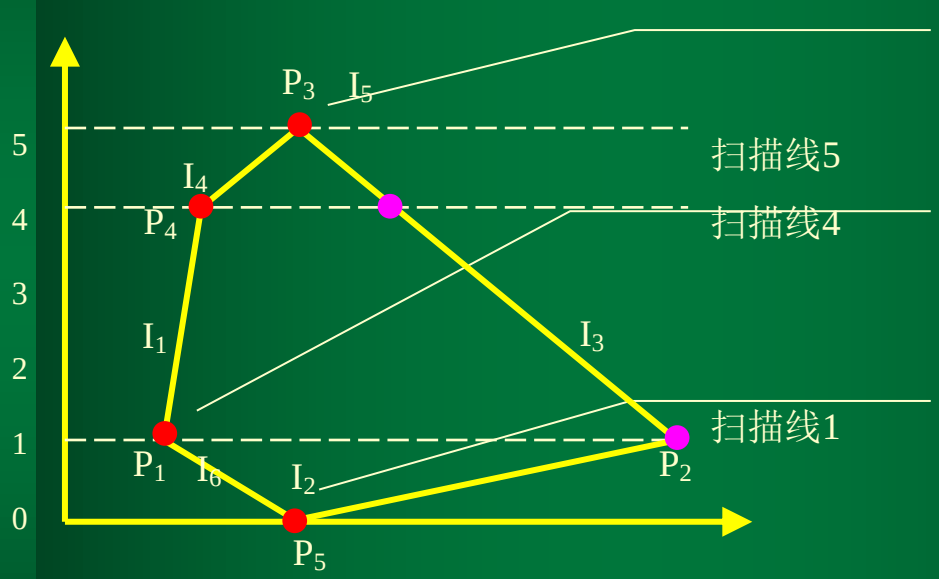
应该计数1次

计偶数次

- 局部最高点和局部最低点计偶数次交点

扫描线填充算法

- 顶点交点的计数问题



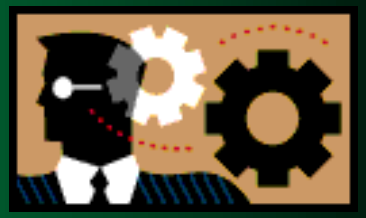
计数0次

计数1次

计数2次

– 检查交于该顶点的两条边的另外两个端点的y坐标值大于该顶点y坐标值的个数

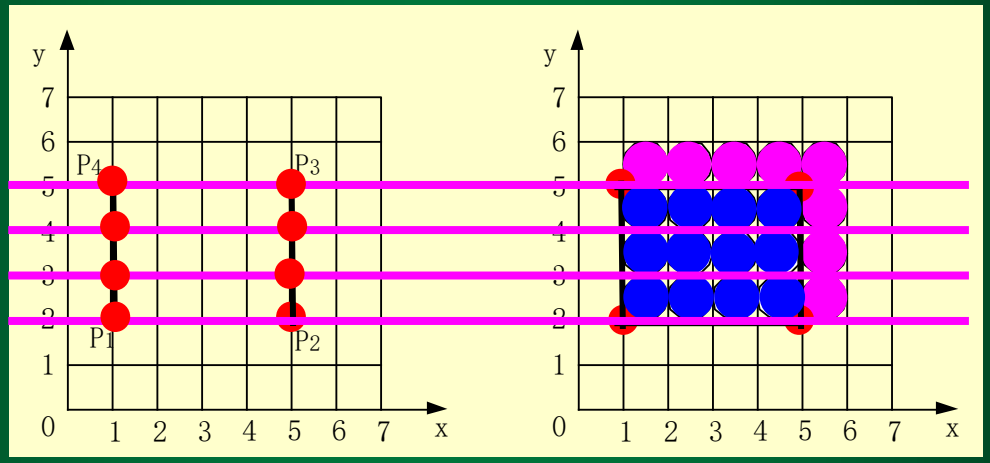
扫描线填充算法



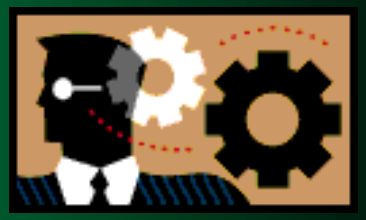
- 思考第2个问题
- 区间填色时可能出现的问题？
  - 会不会填充到区域之外呢？

扫描线填充算法

- **填充扩大化**问题
  - 求出交点的坐标为：x_l=1, x_r=5
  - 有5个点在配对区间内
  - 即满足：$x_l \le x \le x_r$

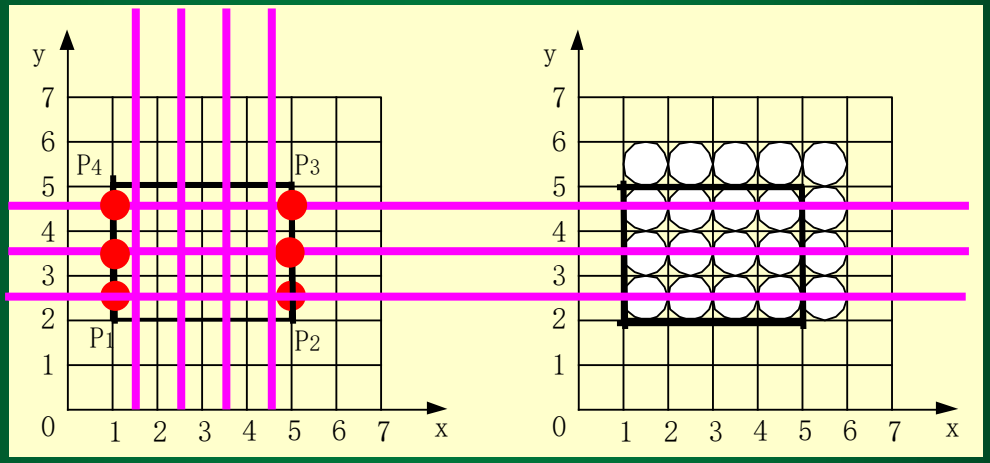


扫描线填充算法



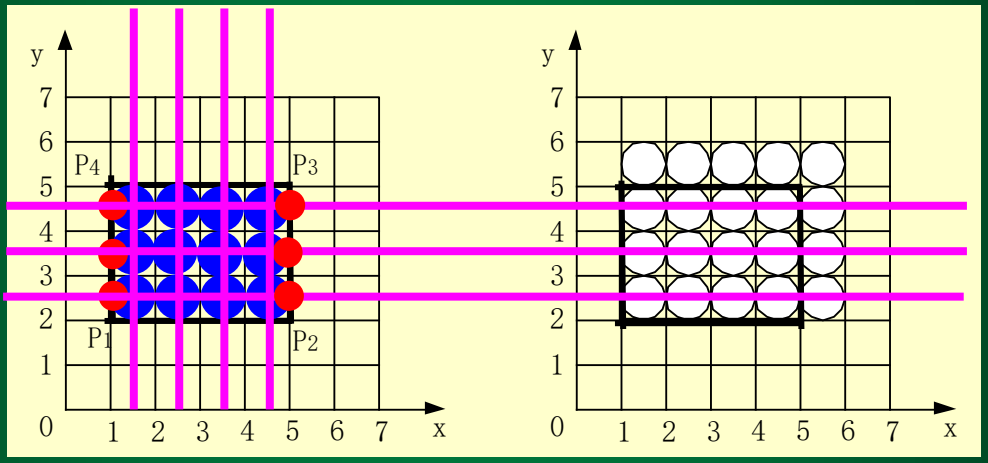
- 如何解决**填充扩大化**问题？
  - 取**中心扫描线** $y+0.5$
  - 检查**交点右方像素的中心**是否落在区间内

$$x_l \le x+0.5 \le x_r$$

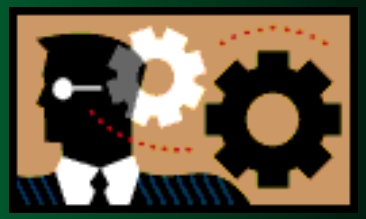


扫描线填充算法

- 填充过程
  - 求出交点的坐标为：x_l=1, x_r=5
  - 有4个点在配对区间内
  - 即满足：$x_l \leq x+0.5 \leq x_r$

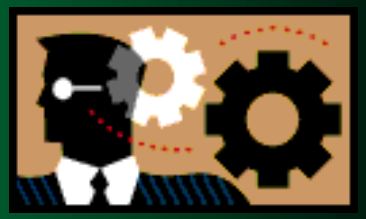


扫描线填充算法



- 思考第3个问题：
- 效率问题

扫描线填充算法



- 影响算法效率的因素是什么？
  - 求交和交点排序
  - 把多边形所有边放在一个表中
  - 按顺序取出
  - 分别计算与当前扫描线求交点

扫描线填充算法

- 并非所有的边都与当前扫描线有交点？
- 如何提高效率？
  - 尽量减少和简化求交计算

扫描线填充算法

- 如何减少和简化求交计算？
- 对每条扫描线，建立一个活性边表
  - 何谓活性边？
  - 仅与当前扫描线有交点的边
- 活性边表
  - 把所有与当前扫描线有交点的边放到一个表中存储

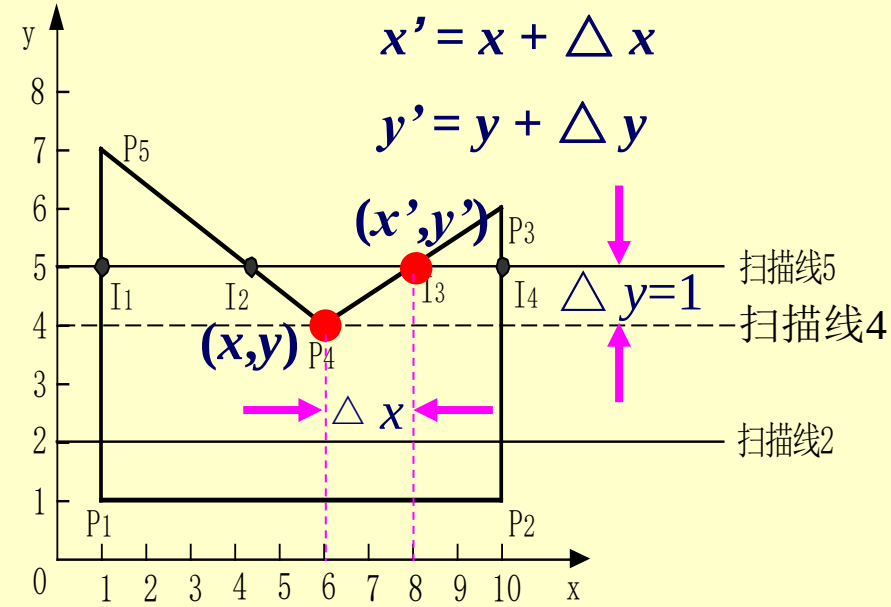
扫描线填充算法

- 存储活性边的哪些信息呢？
  - 目的是要保证存储的这些信息，对计算活性边与扫描线的交点有用
  - 最有用的信息莫过于当前扫描线与活性边的交点x
  - 为了下一条扫描线与活性边求交方便
  - 我们还需要知道什么信息呢？

扫描线填充算法

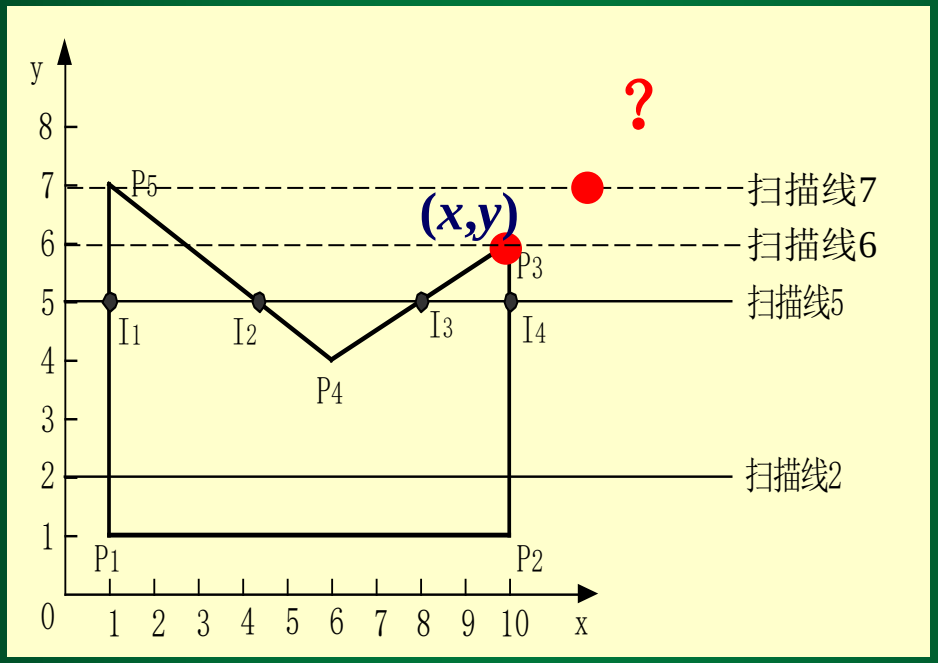
- 为下一条扫描线与活性边求交方便
  - 从当前扫描线到下一条扫描线的x增量
  - $\triangle x$ = ？

$\triangle x = 1/k$



扫描线填充算法

- 下一条扫描线是否与活性边总有交点呢？
  - 记录活性边所交的最高扫描线号 y_{max}
  - 当$y > y_{max}$时，将活性边从活性边表中删除



扫描线填充算法

- 活性边表的建立
- 结点信息

  x：当前扫描线与边的交点

  △*x*：从当前扫描线到下一条扫描线之间的*x*增量

  y_{max}：边所交的最高扫描线号

x	△ *x*	*ymax*	

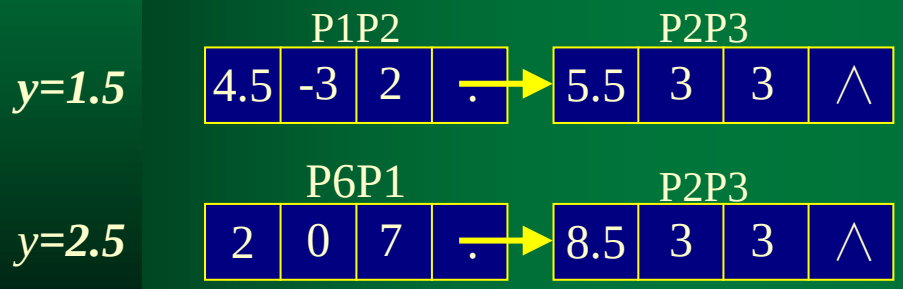
扫描线填充算法

- 活性边表的更新
- 结点信息的更新
- 旧边的删除
- 新边的插入

x	$\triangle x$	$ymax$	

x'	$\triangle x$	$ymax$	

$x' = x + \triangle x$



扫描线填充算法

- 如何解决新边插入的问题？
- 对每条扫描线建立一个新边表
- 新边表需要什么结点信息？
- 以方便建立活性边表的结点信息为目的
- 最好是可以将新边表中的信息直接插入到活性边表中

扫描线填充算法

- 由于是新边，扫描线与边的交点应为
- *扫描线与边的初始交点*

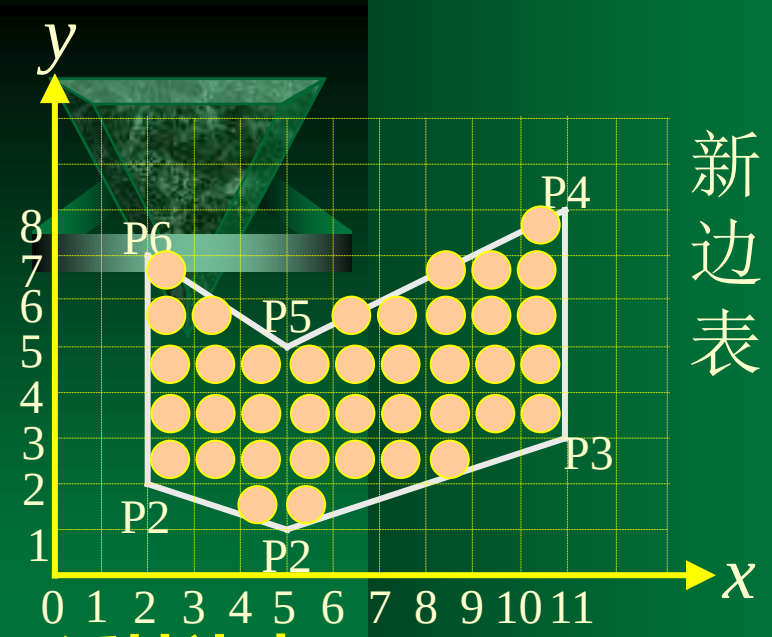
- 结点信息

x_0：*扫描线与边的初始交点*

$\triangle x$：*从当前扫描线到下一条扫描线之间的x增量*

y_{max}：*边所交的最高扫描线号*

x_0	$\triangle x$	ymax	



新边表

8.5	∧								
7.5	∧								
6.5	∧								
5.5		→	6	2	8	.	→	4.25	-1.5	7	∧
4.5	∧								
3.5		→	11	0	8	∧			
2.5		→	2	0	7	∧			
1.5		→	4.5	-3	2	.	→	5.5	3	3	∧
0.5	∧								

P4P5　P5P6　P3P4　P6P1　P1P2　P2P3

活性边表

y=1.5	P1P2					P2P3							
	4.5	-3	2	.	→	5.5	3	3	∧				
y=2.5	P6P1					P2P3							
	2	0	7	.	→	8.5	3	3	∧				
y=3.5	P6P1					P3P4							
	2	0	7	.	→	11	0	8	∧				
y=5.5	P6P1					P5P6				P4P5			P3P4
	2	0	7	.	→	4.25	-1.5	7	→	6	2	8	. →	11	0	8	∧
y=6.5	P6P1					P5P6				P4P5			P3P4
	2	0	7	.	→	2.75	-1.5	7	→	8	2	8	. →	11	0	8	∧
y=7.5	P4P5					P3P4							
	10	2	8	.	→	11	0	8	∧				

扫描线填充算法

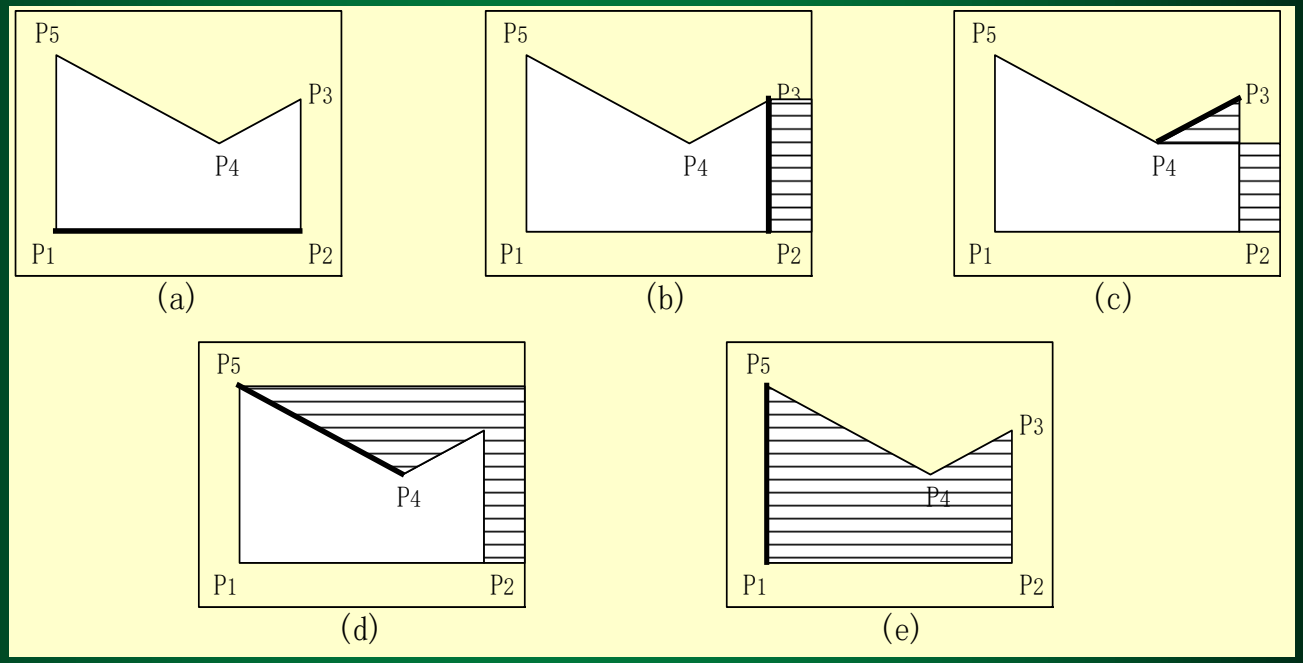
- 称为：有序边表算法
- 优点：
  - 对每个像素只访问一次
  - 与设备无关
- 缺点：
  - 数据结构复杂，表的维护、排序开销大
  - 只适合软件实现

边填充算法 Edge Fill Algorithm

- 优点：
  - 无需复杂的链表结构
- 涉及到屏幕像素的异或写操作
- 异或写操作有什么特点？
  - 第一次异或写操作，像素被置成前景色
  - 第二次异或写操作，像素恢复为背景色

边填充算法

- **基本思想**
  - 对每一条与多边形相交的中心扫描线
  - 将像素中心位于交点右方的全部像素取补（异或写）



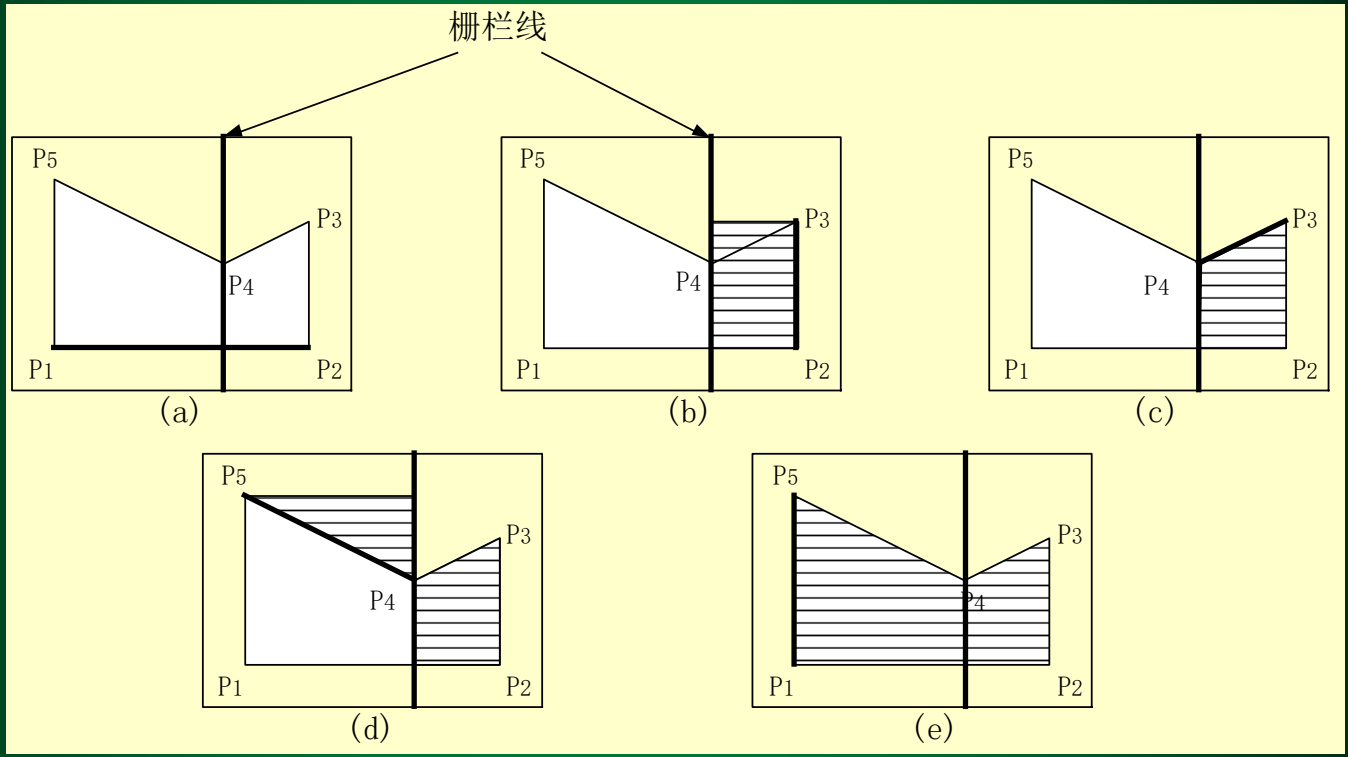
算法演示

边填充算法

- **优点：**
  - 最适合于有帧缓存的显示器
  - 可按任意顺序处理多边形的边
  - 仅访问与该边有交点的扫描线上右方的像素，算法简单
- **缺点：**
  - 对复杂图形，每一像素可能被访问多次，输入/输出量大
  - 图形输出不能与扫描同步进行，只有全部画完才能打印

栅栏填充算法 Fence Fill Algorithm

- 算法的改进
  - 引入**栅栏线**

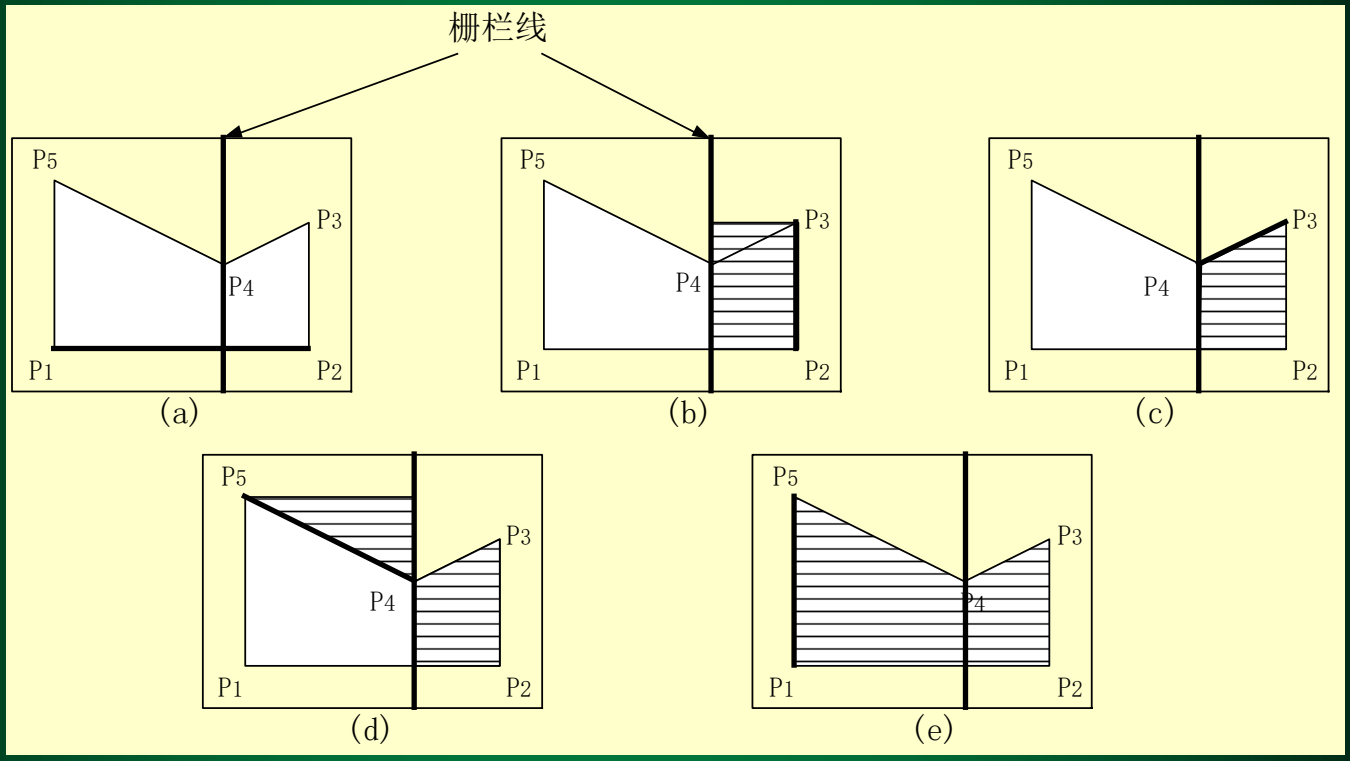


栅栏填充算法

- **基本思想**
  - 将像素中心位于**交点和栅栏线之间**的全部像素取补

算法演示1

算法演示2



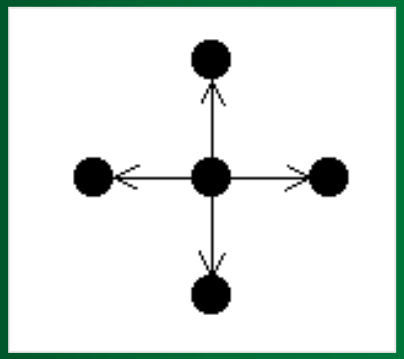
种子填充算法

- **Seed Fill Algorithm**
- 另外一种思路:
- 假设多边形区域内至少有一个像素已知
- 由该像素出发找出区域内部的所有像素

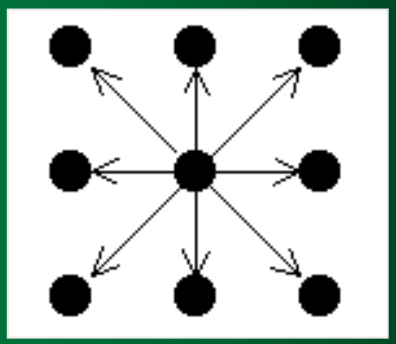
种子填充算法

- 假定区域采用**边界定义法**

- **区域连通方式：**



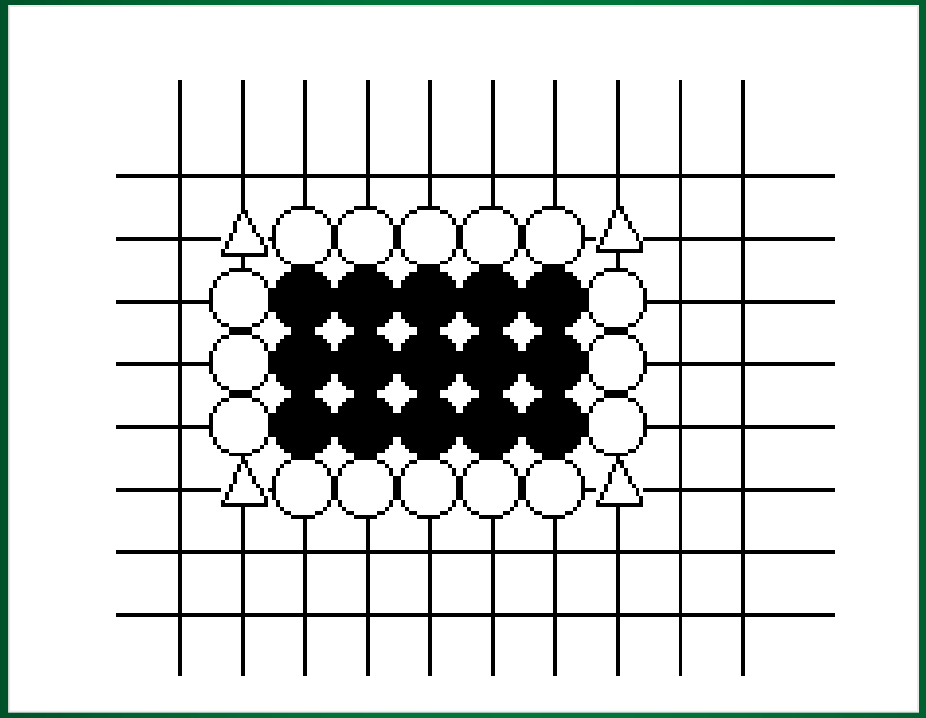
4-connected



8-connected

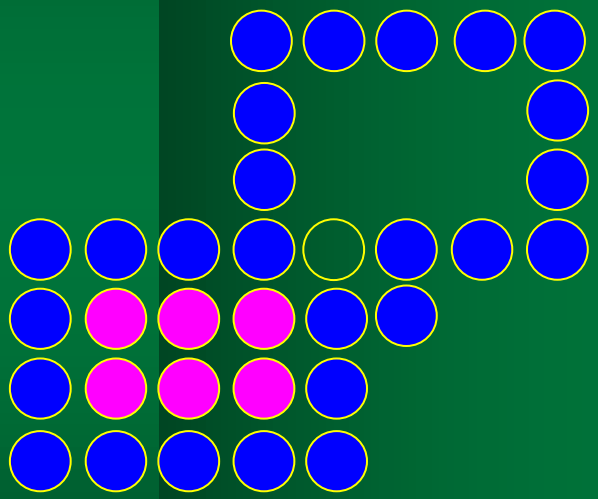
种子填充算法

- 4连通与8连通区域的区别
  - 连通性
  - 对边界的要求

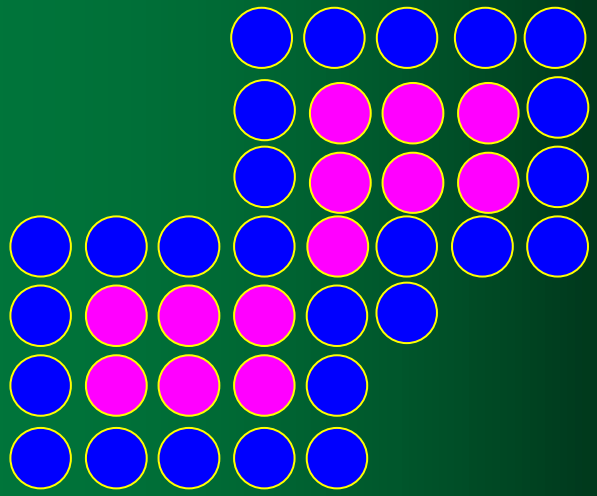


种子填充算法

区域连通方式对填充结果的影响



4连通区域边界填充算法的填充结果



8连通区域边界填充算法的填充结果

简单的种子填充算法

- 4连通边界算法步骤：
- 种子像素入栈
- 当栈非空时，重复以下步骤：
  - 栈顶像素出栈
  - 将出栈象素置成填充色
  - 按左、上、右、下顺序检查与出栈象素相邻的四象素，若其中某象素不在边界上且未被置成填充色，则将其入栈

种子填充算法的递归实现

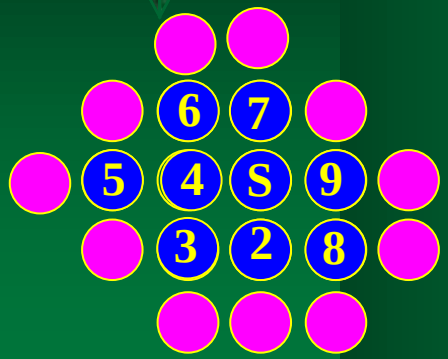
4-connected boundary-fill

```
void BoundaryFill4(int x,int y,int fill,int
     boundary)
{
  int current;
  current = getpixel(x, y);
  if ((current != boundary) && (current != fill))
   {
      putpixel(x, y, fill);
      BoundaryFill4(x+1, y, fill, boundary);
      BoundaryFill4(x-1, y, fill, boundary);
      BoundaryFill4(x, y+1, fill, boundary);
      BoundaryFill4(x, y-1, fill, boundary);
   }
}
```

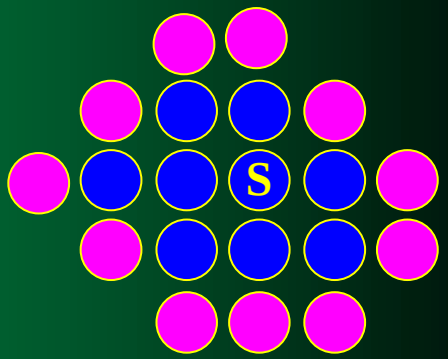
4-connected flood-fill

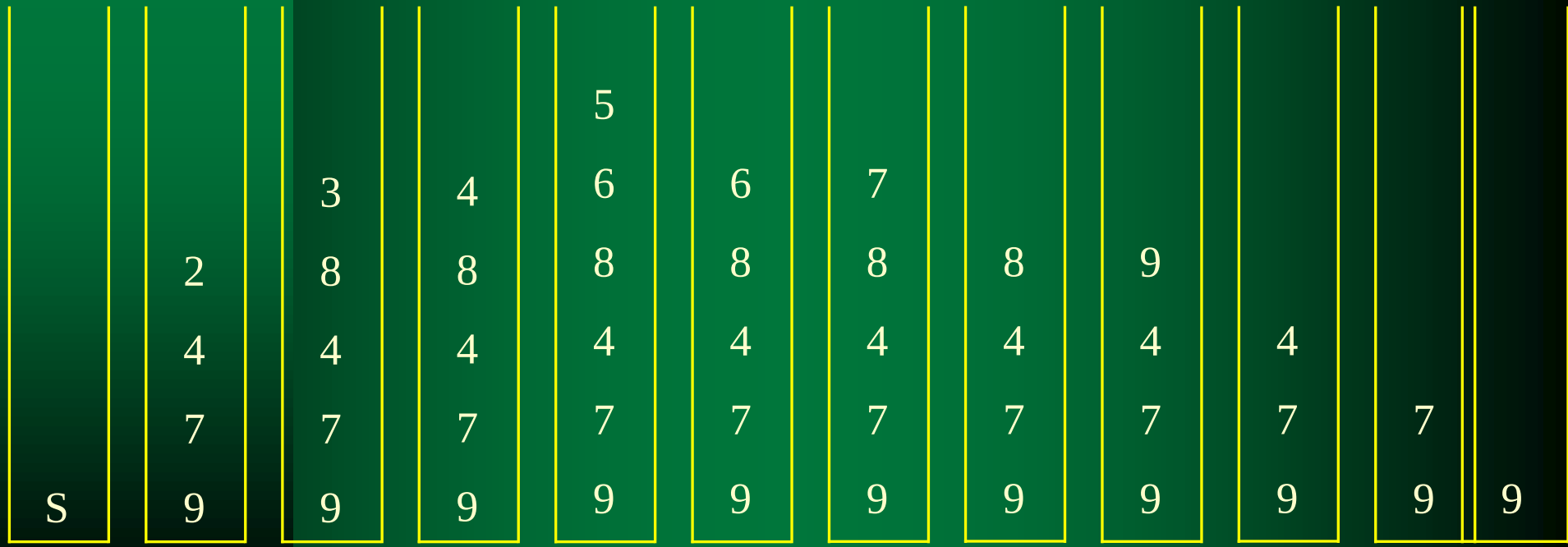
```
void FloodFill4(int x,int y,int fillColor,int
     oldColor)
{
  int current;
  current = getpixel(x, y);
  if (current == oldColor)
   {
      putpixel(x, y, fillColor);
      BoundaryFill4(x+1, y, fillColor, oldColor);
      BoundaryFill4(x-1, y, fillColor, oldColor);
      BoundaryFill4(x, y+1, fillColor, oldColor);
      BoundaryFill4(x, y-1, fillColor, oldColor);
   }
}
```

简单的种子填充算法



缺点？





扫描线种子填充算法

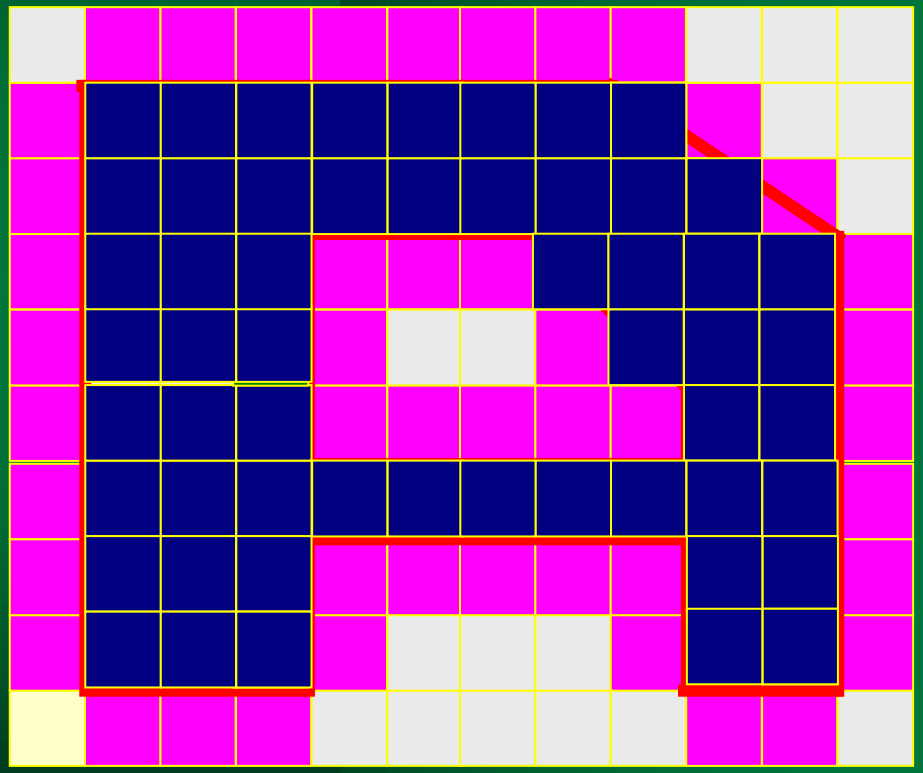
- **基本思想：**
  - 利用扫描线的连贯性，每次填充一行像素
  - 减少压入堆栈的像素数目

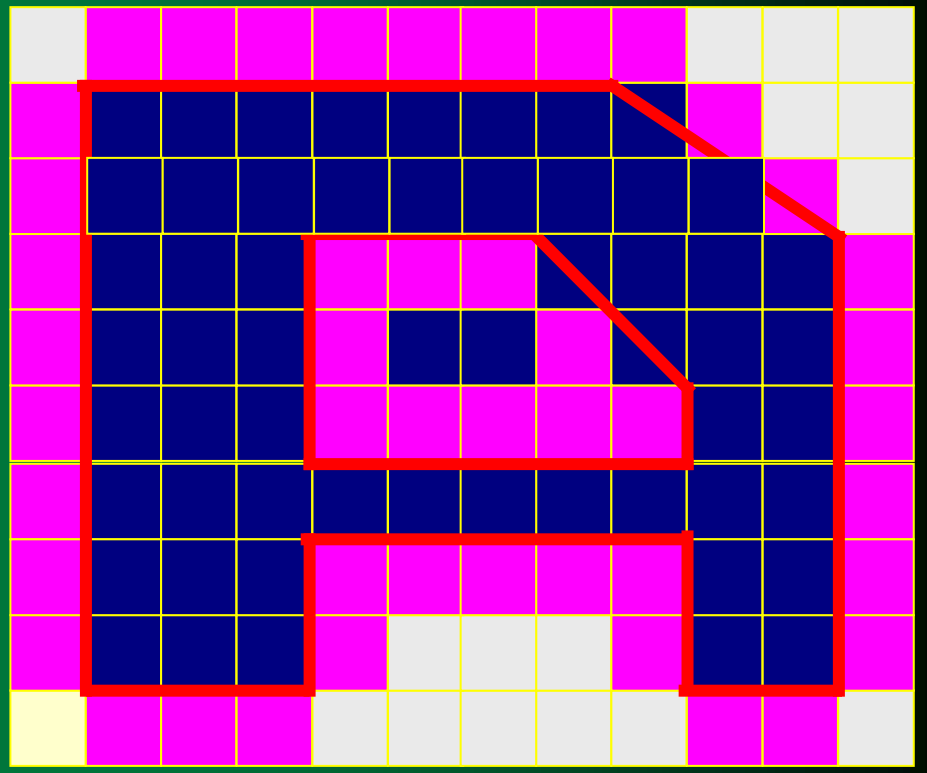
扫描线种子填充算法

- 种子像素入栈
- 当栈非空时，重复以下步骤：
  - 栈顶像素出栈
  - 沿扫描线对出栈像素的左右像素进行填充，直到遇到边界像素为止
  - 将上述区间内最左、最右像素记为x_l和x_r
  - 在区间$[x_l,x_r]$中检查与当前扫描线相邻的上下两条扫描线是否全为边界像素、或已填充的像素，若为非边界、未填充的像素，则把每一区间的最右像素取为种子像素入栈

扫描线种子填充算法

如何填充这个有孔的多边形?

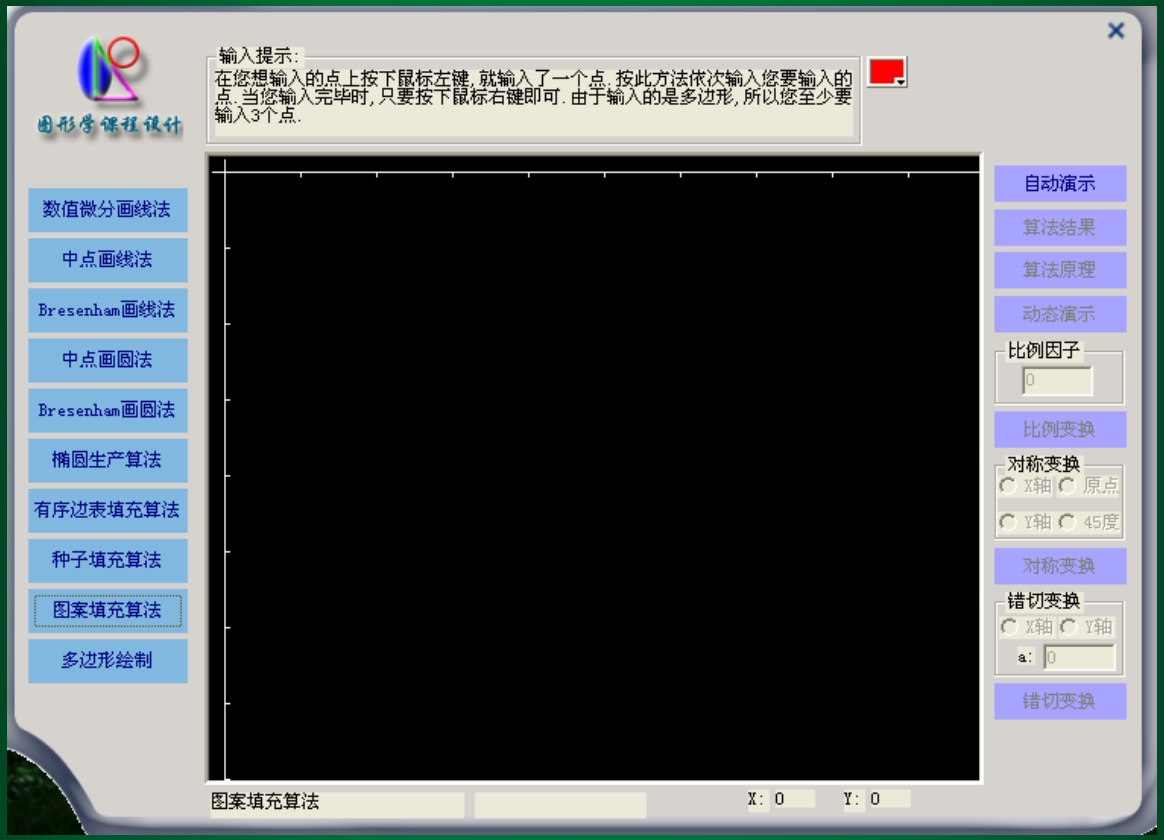




优点是什么?

算法演示

扫描线种子填充算法



程序演示