《计算机图形学基础》

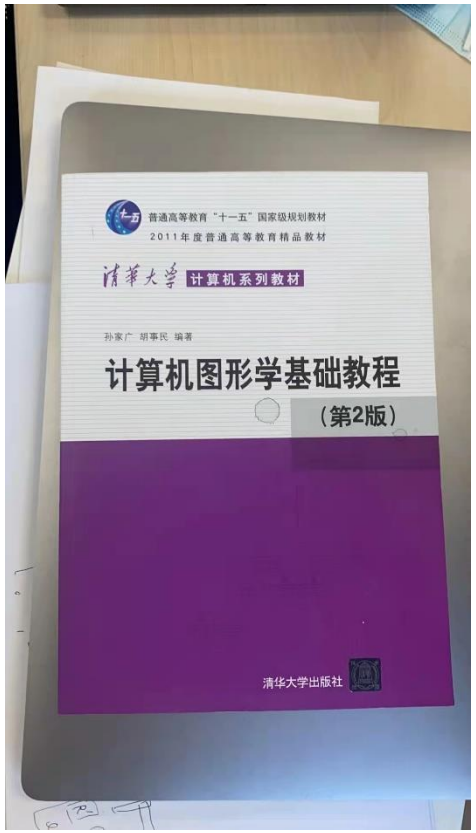
习题课1

助教　曹耕晨

2023年3月12日

联系方式

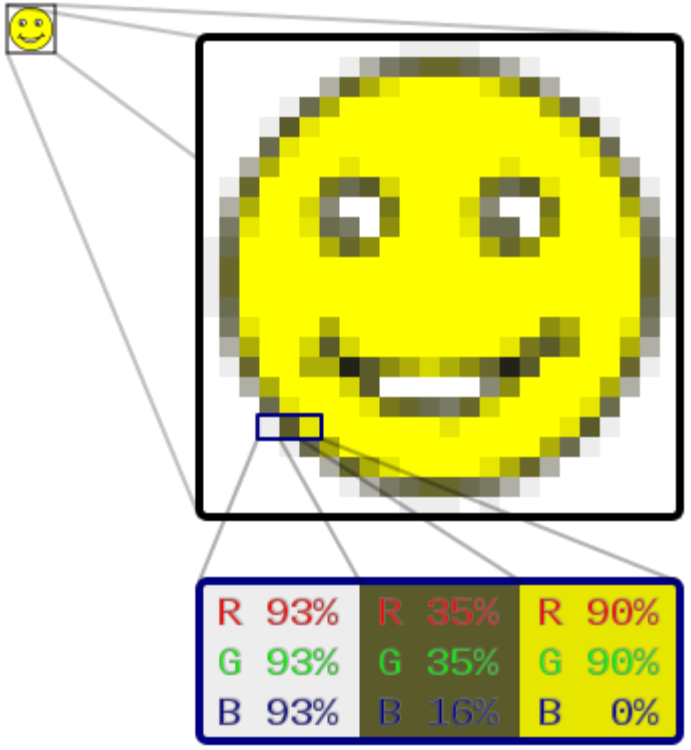
- 邮箱：
  - cgc21@mails.tsinghua.edu.cn
  - phy22@mails.tsinghua.edu.cn
- 位置：FIT 楼 3 区 524



主要内容

- 光栅图形学
  - 直线段光栅化
  - 多边形光栅化
  - 字符光栅化
  - 裁剪
  - 反走样
  - 裁剪
- PA0:RasterGraphics
  - 实现细节
  - 环境配置

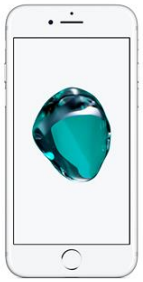
光栅图形学介绍
Raster Graphics



光栅图形学

- 全是像素点（Pixels）

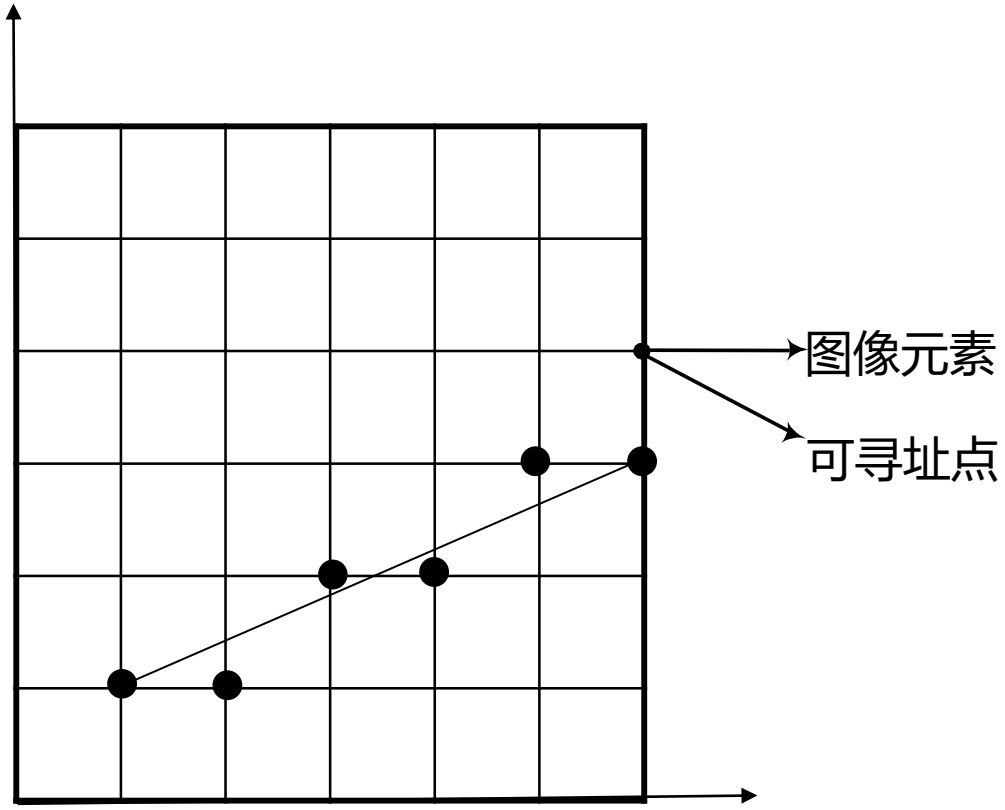





- 光栅化 Rasterizing
  - 确定最佳逼近图形的像素集合
- 裁剪 Cropping
  - 图形哪些部分该显示
- 反走样 （抗锯齿）Anti-aliasing
  - 有限屏幕分辨率下，减少畸变
- 消隐 Blanking
  - 留近不留远

光栅化算法(线)

- 确定图形的最佳像素逼近

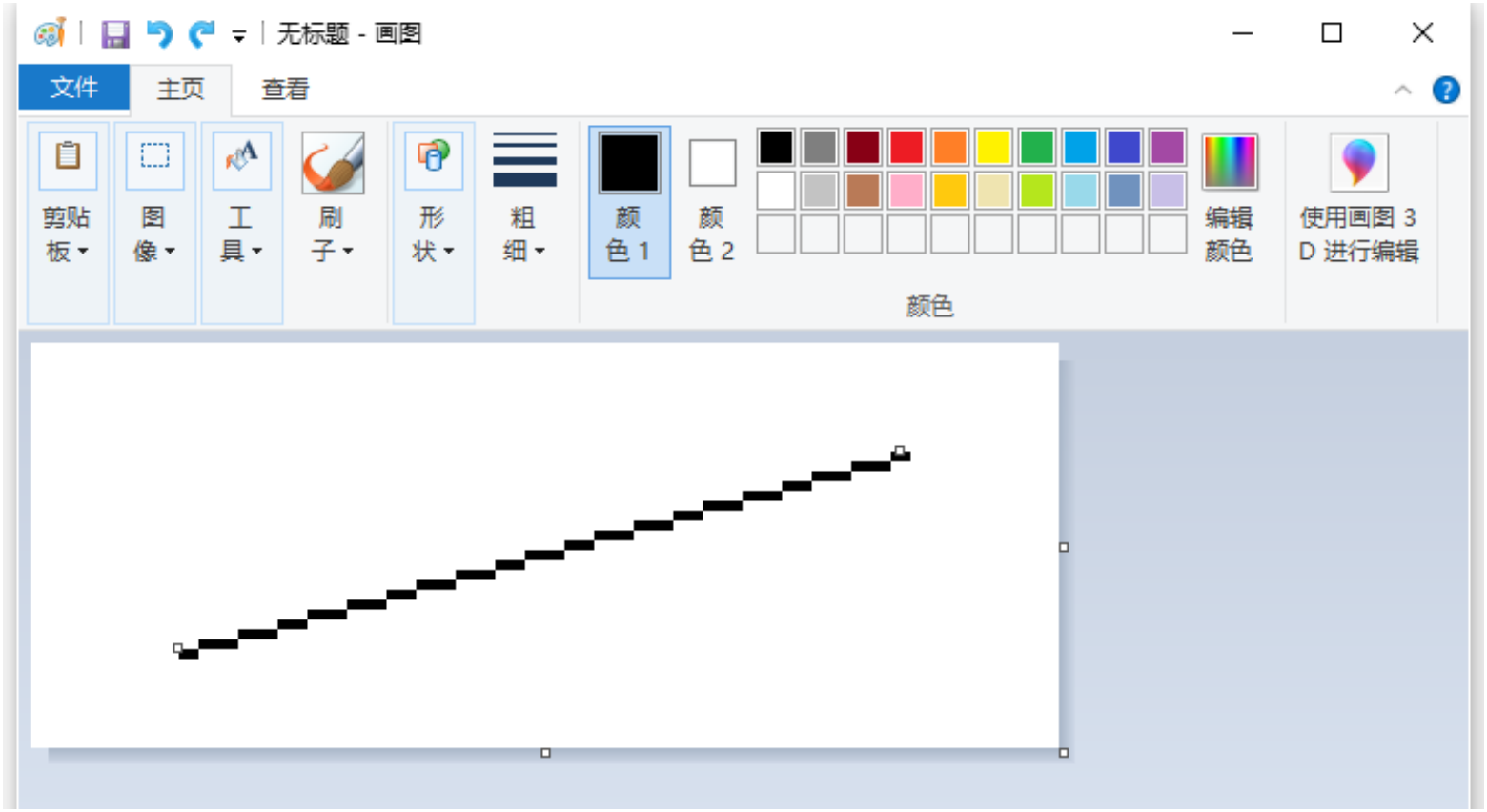


$y = 0.4x + 0.6, x \in [1,6]$

(1,1)，(2,1)，(3,2)
(4,2)，(5,3)，(6,3)

光栅化算法(线)

- Windows – 画图工具



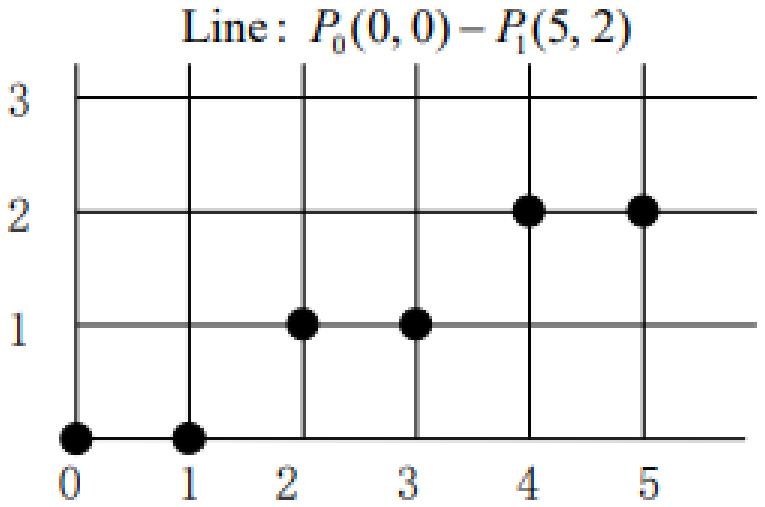
光栅化算法(线)

- 数值微分（DDA）
- 中点画线
- Bresenham

光栅化算法(线) – 数值微分法

- 从 x 的左端点开始，向右端点步进。
- 步长为 1 像素，每步按y=kx+b计算相应的 y 坐标。
- 并取像素点(x, round(y))作为当前点的坐标。

x	int(y+0.5)	y+0.5
0	0	0
1	0	0.4+0.5
2	1	0.8+0.5
3	1	1.2+0.5
4	2	1.6+0.5
5	2	2.0+0.5



光栅化算法(线) – 数值微分法

```
void DDALine(int x0, int y0, int x1, int y1, int color) {
  int x;
  float dx, dy, y, k;
  dx = x1-x0, dy=y1-y0;
  k=dy/dx, y=y0;
  for (x=x0; x<=x1, x++) {
    drawpixel (x, int(y+0.5), color);
    y=y+k;
  }
}
```

光栅化算法(线) – 数值微分法

- 此算法当|k| > 1时应把x与y互换。
- 这个算法每一步都要进行浮点运算和四舍五入，不利于加速。

光栅化算法(线) – 中点画线法

- 通过观察可以发现，画直线段的过程中，当前像素点为 (x_p, y_p)，下一个像素点有两种可选择点 (x_p+1, y_p) 或 (x_p+1, y_p+1)。
- 直线方程为 $F(x,y)=ax+by+c=0$

  其中 $a=y_0-y_1$， $b=x_1-x_0$， $c=x_0y_1-x_1y_0$
- 有：

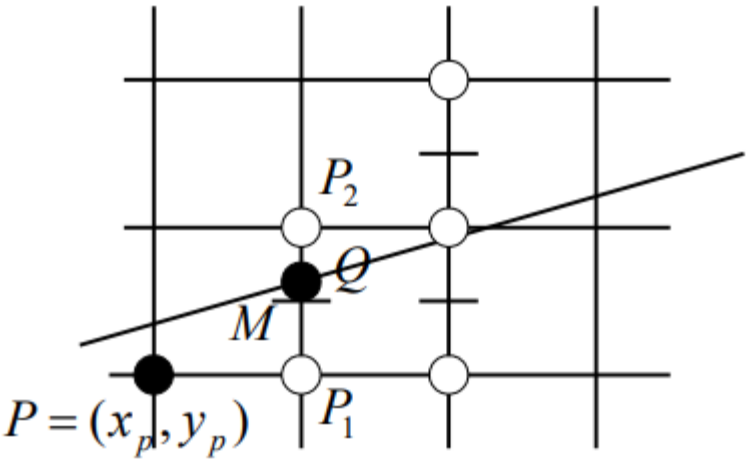
$$\begin{cases} \text{线上：} & F(x,y)=0 \\ \text{上方：} & F(x,y)>0 \\ \text{下方：} & F(x,y)<0 \end{cases}$$

光栅化算法(线) – 中点画线法

- 通过判断 $(x_p + 1, y_p + 0.5)$ 与线的关系，即可判断出下一个点绘制在哪一个点。
- 即判断下式的正负：

$$d = F(M) = F(x_p + 1, y_p + 0.5) = a(x_p + 1) + b(y_p + 0.5) + c$$

- 为减少浮点运算，可以把该式乘2。

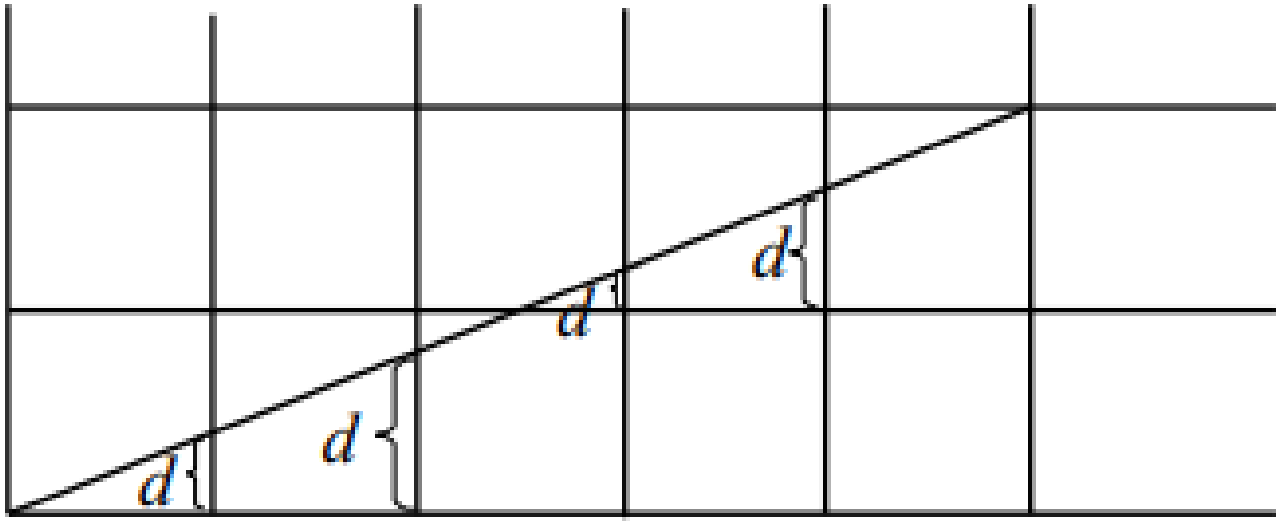


光栅化算法(线) – 中点画线法

```
void Midpoint_Line (int x0, int y0, int x1, int y1, int color) {
  int a, b, d1, d2, d, x, y;
  a=y0-y1, b=x1-x0, d=2*a+b;
  d1=2*a, d2=2* (a+b);
  x=x0, y=y0;
  drawpixel(x, y, color);
  while (x<x1) {
    if (d<0)
      {x++, y++, d+=d2; }
    else
      {x++, d+=d1;}
    drawpixel (x, y, color);
  }
}
```

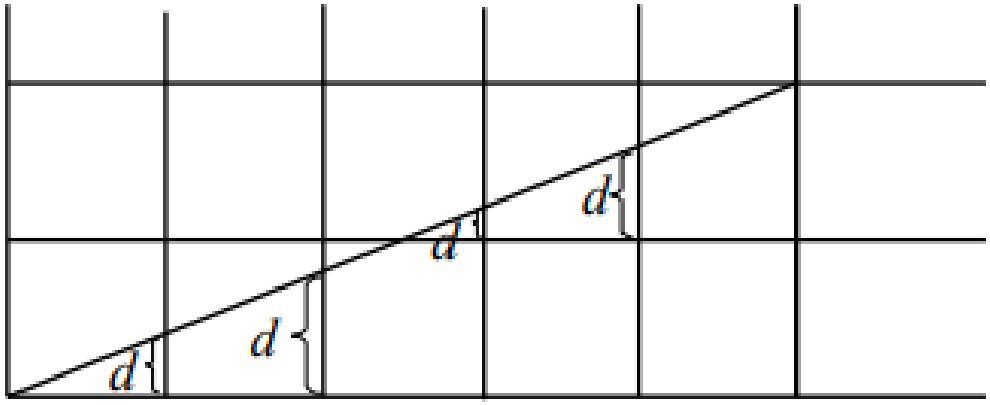
光栅化算法(线) – Bresenham算法

- 该方法类似于中点法，由误差项符号决定下一个像素取右边点还是右上 点。



光栅化算法(线) – Bresenham算法

```
void Bresenhamline (int x0, int y0, int x1, int y1, int color)
{
  int x, y, dx, dy;
  float k, e;
  dx = x1-x0, dy = y1- y0, k=dy/dx;
  e=-0.5, x=x0, y=y0;
  for (i=0; i<=dx; i++) {
    drawpixel (x, y, color);
    x=x+1, e=e+k;
    if (e>=0) { y++, e=e-1;}
  }
}
```



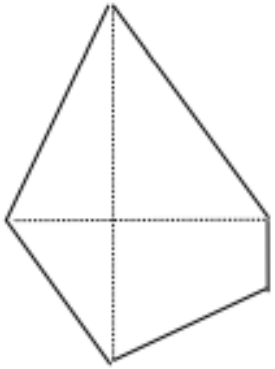
光栅化算法(线) – Bresenham算法

- 为避免除法与小数，
  可以用 $e' = 2 \cdot dx \cdot e$ 替代。

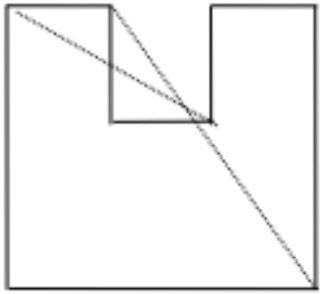
```
void IntegerBresenhamline (int x0, int y0, int x1, int y1, int color) {
    int x, y, dx, dy, e;
    dx = x1-x0, dy = y1- y0, e=-dx;
    x=x0, y=y0;
    for (i=0; i<=dx; i++) {
      drawpixel (x, y, color);
      x++, e=e+2*dy;
      if (e>=0) { y++; e=e-2*dx;}
    }
}
```

光栅化算法(形)

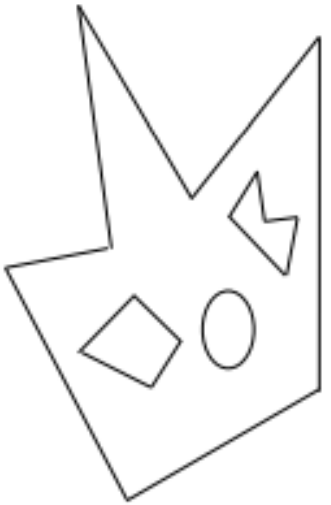
- 多边形有凸多边形、凹多边形和含内环的多边形等。
- 算法主要研究多边形的填色问题。



(a) 凸多边形



(b) 凹多边形



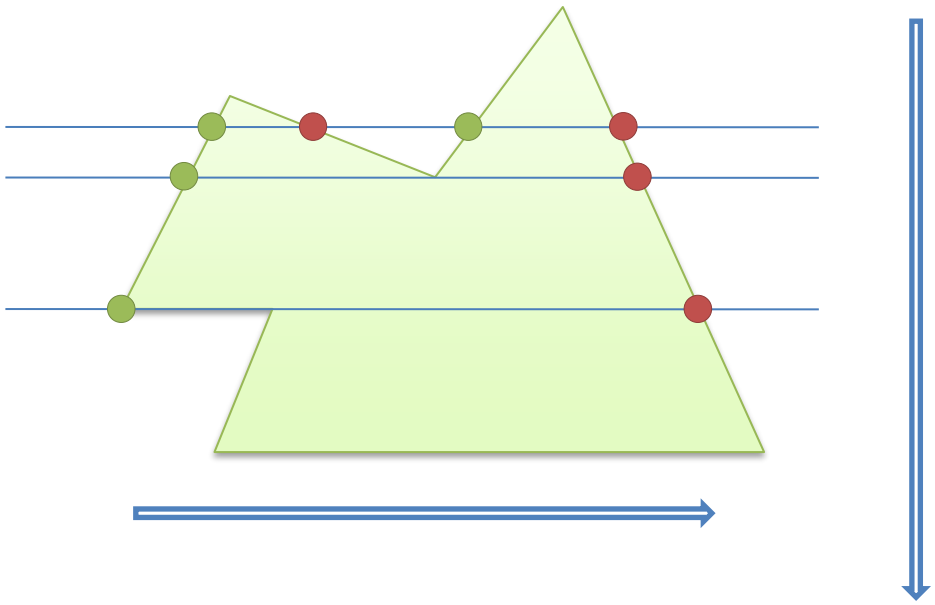
(c) 含内环的多边形

光栅化算法(形)

- 扫描线算法
- 边界标志算法
- 区域填充算法

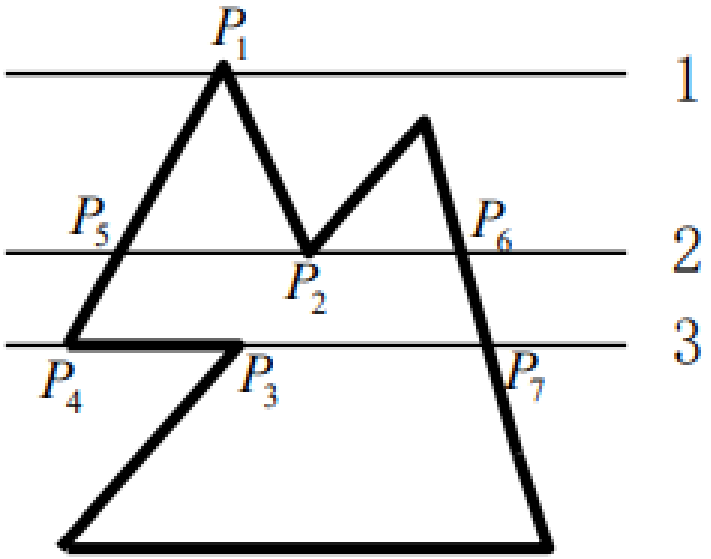
光栅化算法(形) - 扫描线算法

- 按扫描线顺序，计算扫描线与多边形的相交区间
- 再用要求的颜色显示这些区间的像素，以完成填充工作。



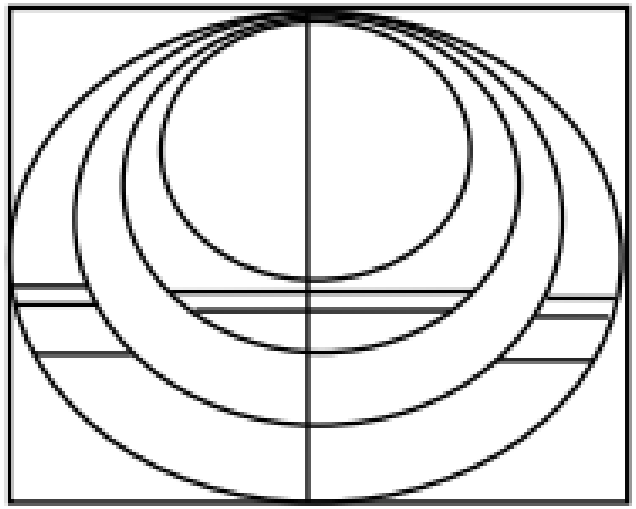
光栅化算法(形) - 扫描线算法

- 若扫描线与多边形相交的边分处扫描线的两侧，则计一个交点，如P5。
- 若扫描线与多边形相交的边分处扫描线同侧，则计零个交点，如P1, P2。
- 若扫描线与多边形边界重合，则计1个交点，如边P3P4。



光栅化算法(形) - 边界标志算法

- 对多边形边界所经过的像素打上标志。
- 对每条与多边形相交的扫描线依从左到右的顺序，逐个访问该扫描线上的像素。
- 遇到标志则将inside属性取反。
- 根据inside属性决定是否染色。

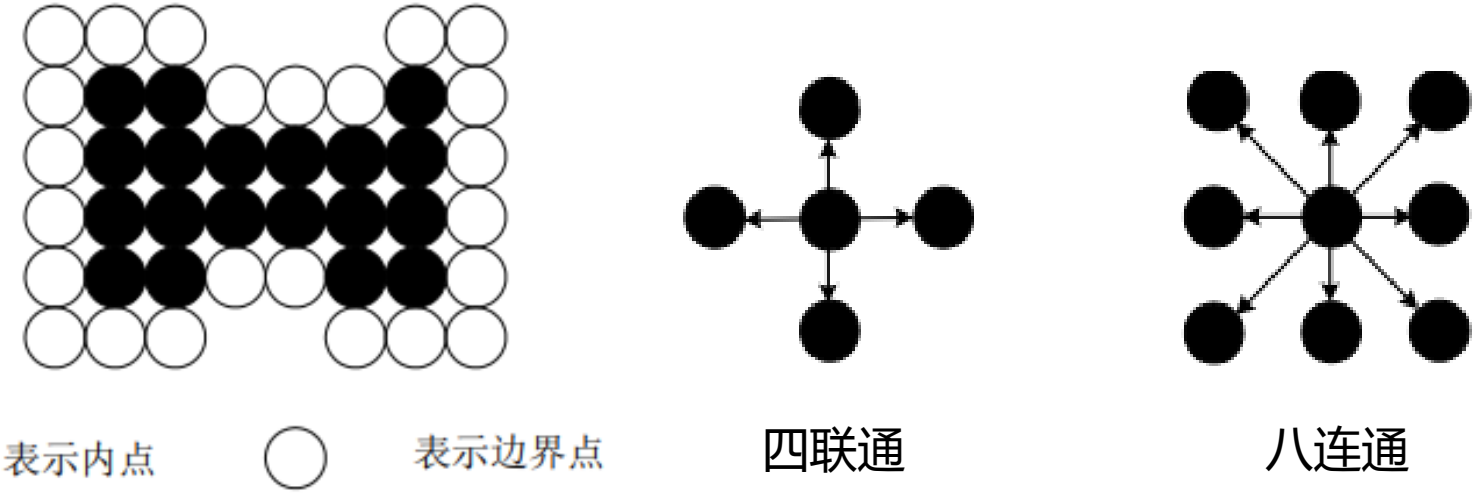


光栅化算法(形) - 边界标志算法

```
void edgemark_fill(多边形定义 polydef, int color) {
    对多边形 polydef 每条边进行直线扫描转换;
    for (每条与多边形 polydef 相交的扫描线 y) {
        inside = FALSE;
        for (扫描线上的每个像素 x) {
            if (像素 x 被打上边标志) inside = !inside;
            if (inside)
                drawpixel (x, y, color);
            else
                drawpixel (x, y, background);
        }
    }
}
```

光栅化算法(形) - 区域填充算法

- 区域填充指先将区域的一点赋予指定的颜色，然后将该颜色扩展到整个区域的过程。
- 区域可分为四连通区域和八连通区域。



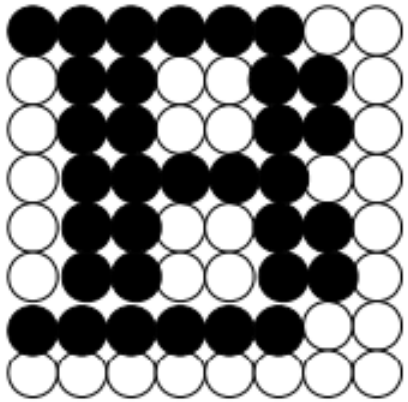
光栅化算法(形) - 区域填充算法

- 四联通填充算法

```
void FloodFill4(int x,int y,int oldcolor,int newcolor) {
  if (getpixel(x, y)==oldcolor) {
    drawpixel(x,y,newcolor);
    FloodFill4(x, y+1, oldcolor,newcolor);
    FloodFill4(x, y-1, oldcolor,newcolor);
    FloodFill4(x-1, y, oldcolor,newcolor);
    FloodFill4(x+1, y, oldcolor,newcolor);
  }
}
```

光栅化算法(字符)

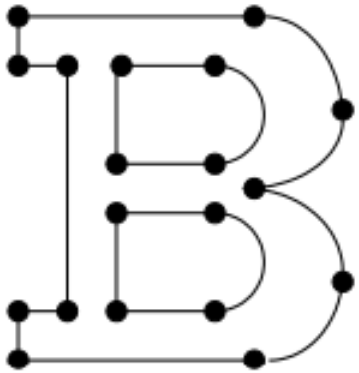
- 为了在显示器等输出设备上输出字符，系统中必须装备有相应的字库。
- 字库中存储了每个字符的形状信息，分为点阵和矢量型两种。



(a) 点阵字符

1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

(b) 点阵字库中的位图表示



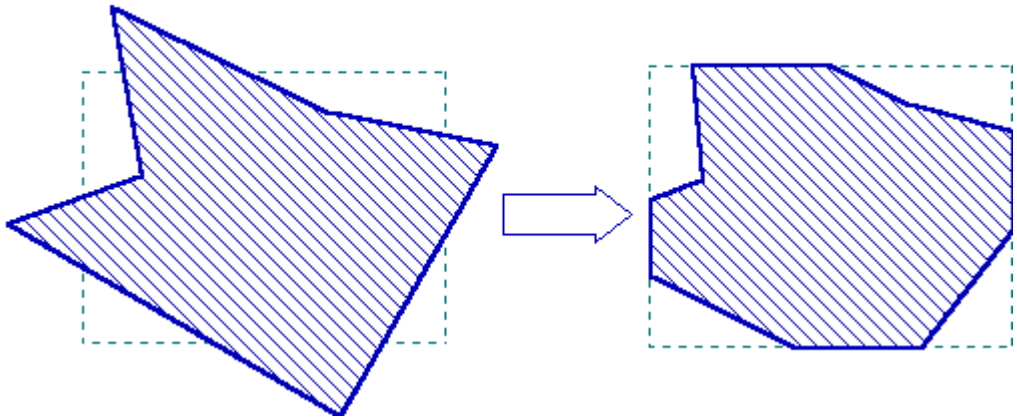
(c) 矢量轮廓字符

光栅化算法(字符)

- 字符属性包括：
  - 字体　　例如：宋体　仿宋体　楷体　黑体　隶书
  - 字高　　例如：宋体 宋体 宋体 宋体
  - 字宽因子(扩展/压缩)　　例如：大海　大海 大海 大海
  - 字倾斜角　　例如：倾斜 *倾斜*
  - 对齐　　左对齐、中心对齐、右对齐
  - 字色　　对字符设置各种颜色
  - 写方式　“替换”方式时，对应字符掩膜中的空白区被置成背景色；“与”方式时，这部分区域的颜色不受影响。

裁剪

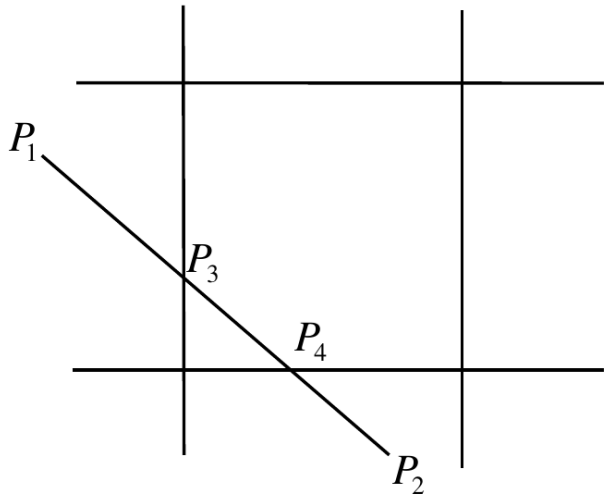
- 线段裁剪
- 多边形裁剪
- 字符裁剪



裁剪：直线段

- Cohen-Sutherland裁剪
- 三种情况：完全在外，完全在内，与边界相交
- code1 | code2 == 0 → 完全在内，保留
- code1 & code2 != 0 → 完全在外，删除
- otherwise → 求交点

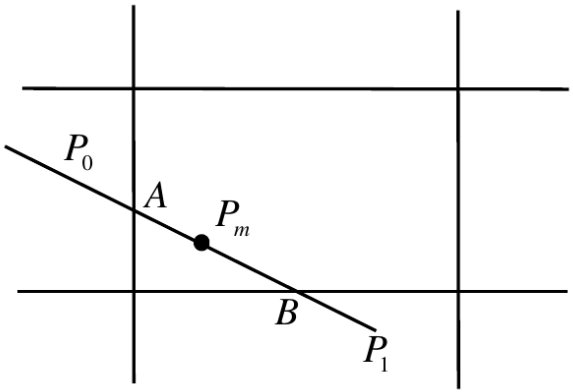
1001	1000	1010
0001	0000	0010
0101	0100	0110



裁剪：直线段

- 中点分割裁剪算法

  跟 Cohen-Sutherland 裁剪方法相似，但是使用另一种求交算法。

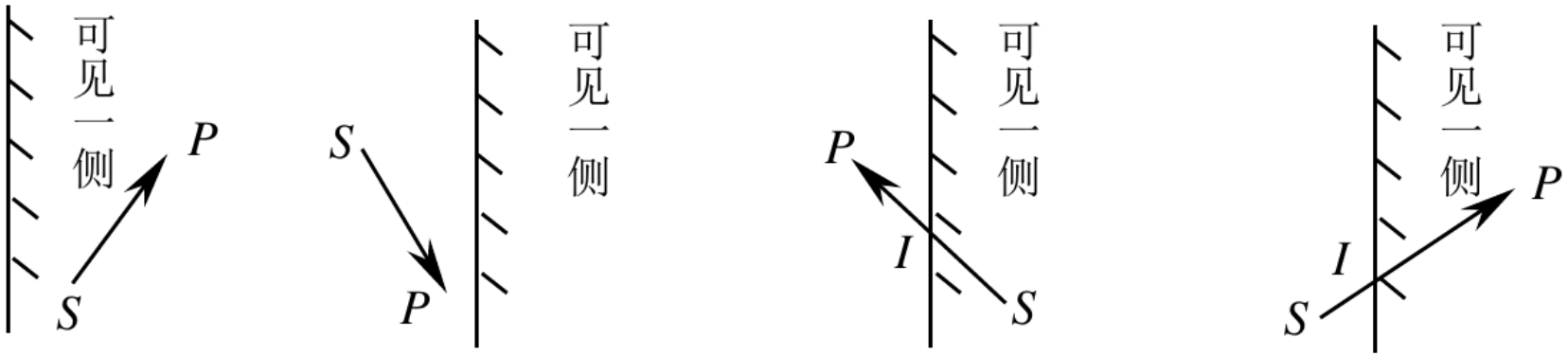


- 梁友栋－Barskey算法

  不做展开

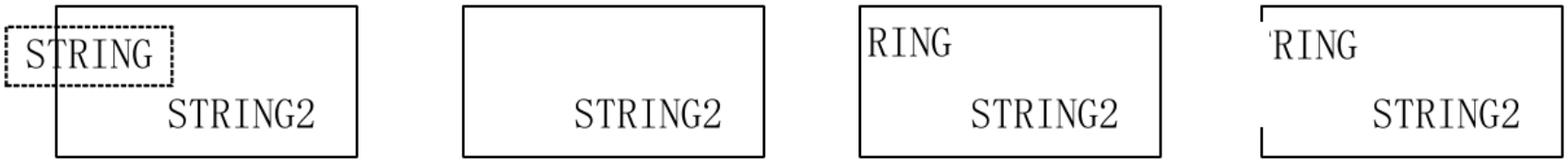
裁剪：多边形

- Sutherland-Hodgeman 算法
  - 一次裁剪一个屏幕边界
  - 给多边形顶点规定顺序（顺时针或逆时针），按顺序裁剪边，得到新的顶点序列。



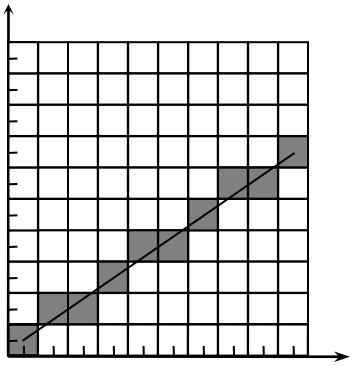
裁剪：字符

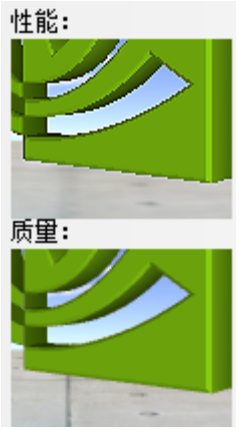
- 串精度裁剪
- 字符精度裁剪
- 笔画或像素精度裁剪

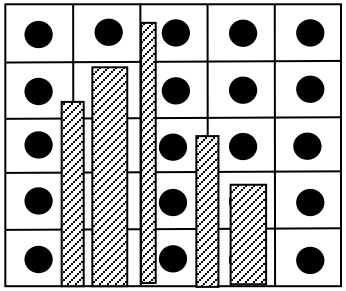


反走样：走样现象

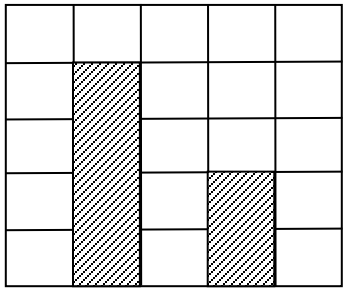
- 阶梯状边界
- 细节失真与遗失 (小于 1 pixel)



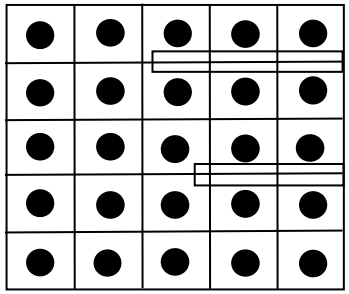




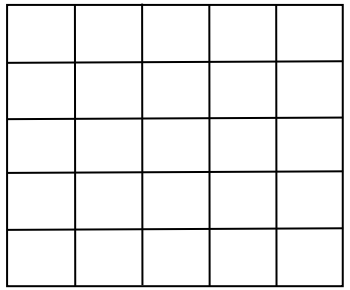
（a） 待显示的细小图形



（b） 显示结果



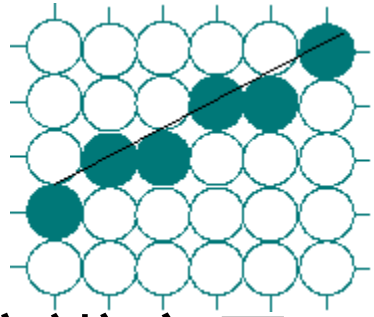
（a）待显示的狭小矩形

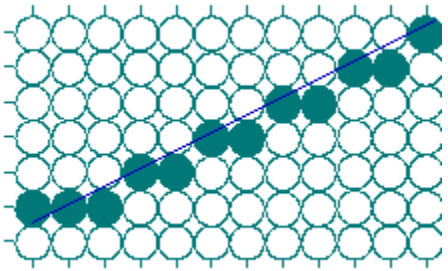


（b） 显示结果

反走样：提高分辨率

- 更高分辨率的屏
  - 4倍存储，2倍光栅化

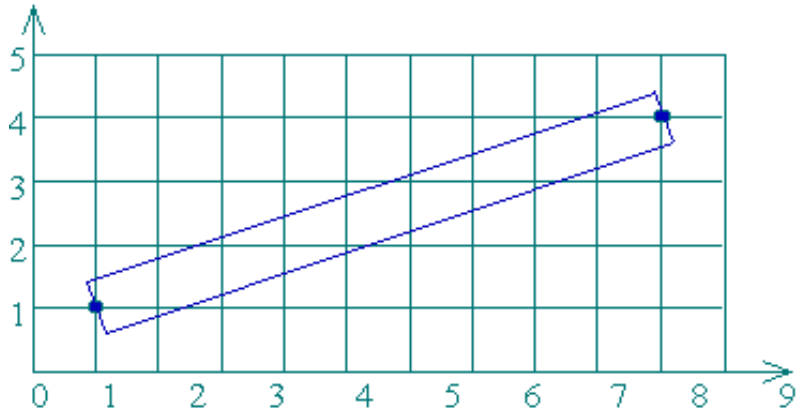


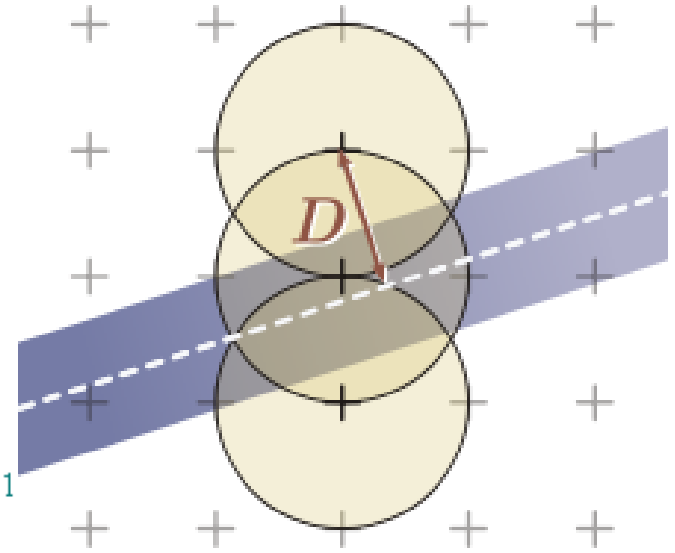


- 高分辨率计算，低分辨率显示
  - SSAA [全视窗提高分辨率渲染]
  - MSAA [仅对模型边缘区域提高]

反走样：区域采样

- 像素有面积，根据覆盖面积或中心距离确定亮度值（公式见教材）



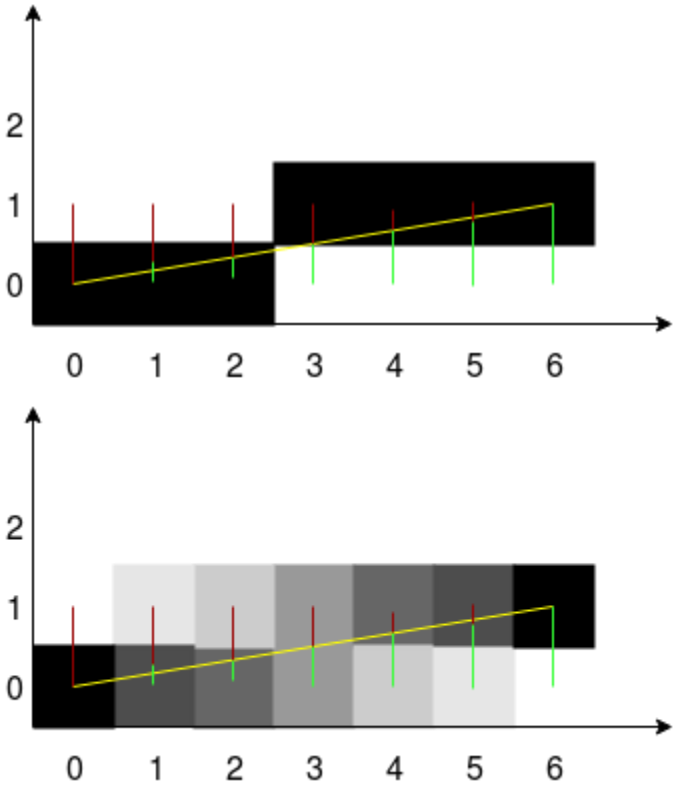


反走样：区域采样加速

- 将像素分成子像素，计算落入直线区域的子像素比例

反走样：区域采样加速

- Anti-aliasing version of Bresenham



反走样：加权区域采样

非加权区域采样方法的缺点

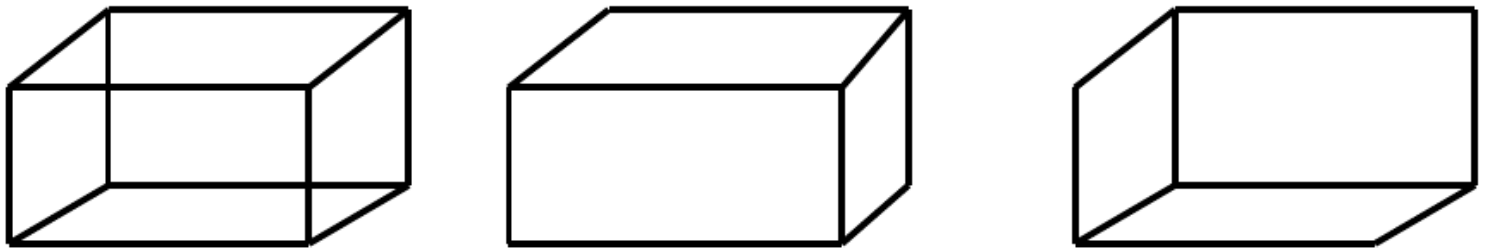
- 像素的亮度与相交区域位置无关，仍会导致锯齿效应
- 相邻两个像素有时会有较大的灰度差

反走样：加权区域采样

- 使相交区域对像素亮度的贡献依赖于该区域与像素中心的距离，权重函数可以取高斯函数
- 积分计算量大，一般采用离散计算方法，将像素分成子像素计算

消隐

- 未经处理的投影图具有二义性，需要消除被遮挡的不可见的线或面，简称为 **消隐。**



具有二义性的长方体投影图

消隐：分类

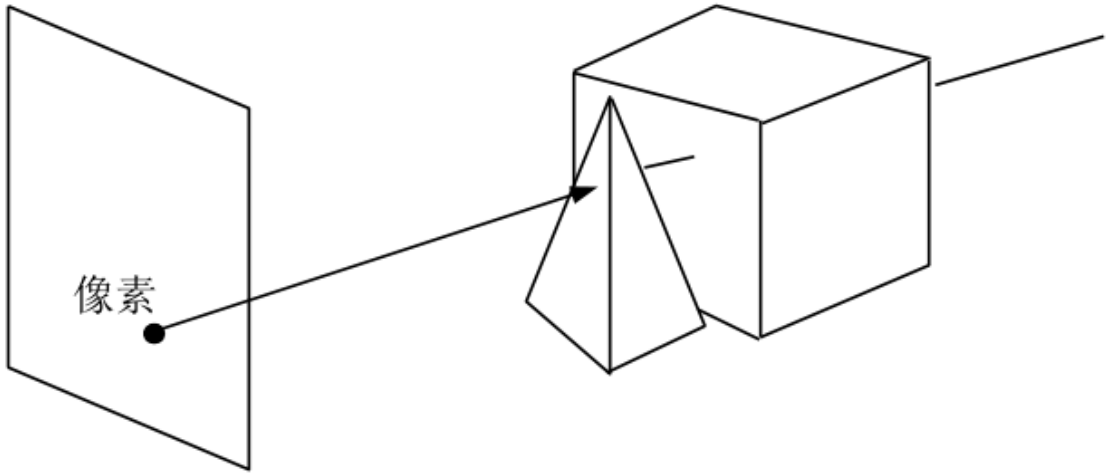
- 按消隐对象分类：
  - 线消隐
  - 面消隐
- 按消隐空间分类：
  - 物体空间的消隐算法
  - 图像空间的消隐算法
  - 物体空间和图像空间的消隐算法

消隐：面消隐

- 画家算法
- **Z-buffer 算法**
- 扫描线 Z-buffer 算法
- 区间扫描线算法
- 区域子分割算法
- 光线投射算法
- …

消隐：面消隐

- 光线投射算法



PA0: RasterGraphics

作业形式

- 给定一个代码框架，我们移除了一些核心部分的算法实现，需要你补充完整
- 每一个需要补充的位置都会加上TODO标记

```
class Line : public Element {

public:
    int xA, yA;
    int xB, yB;
    Vector3f color;
    void draw(Image &img) override {
        // TODO: Implement Bresenham Algorithm
        printf("Draw a line from (%d, %d) to (%d, %d) using color (%f, %f, %f)\n", xA, yA, xB, yB,
                color.x(), color.y(), color.z());
    }
};
```

代码讲解

- deps/vecmath：矩阵和向量计算库
- image.hpp/cpp：主要看图像是如何存储的

```
private:

    int width;
    int height;
    Vector3f *data;
const Vector3f &GetPixel(int x, int y) const {
    assert(x >= 0 && x < width);
    assert(y >= 0 && y < height);
    return data[y * width + x];
}
void SetPixel(int x, int y, const Vector3f &color) {
    assert(x >= 0 && x < width);
    assert(y >= 0 && y < height);
    data[y * width + x] = color;
}
```

代码讲解

- canvas_parser.hpp/cpp：需要绘制的图形在testcases文件夹中以txt的形式描述，其读取的代码已完整给出
- element.hpp：定义了三种几何元素（线段/圆/区域填充），你需要实现其绘制算法。
  - 比如这个代码就画出了线段的两个端点。

```
class Line : public Element {

public:
    int xA, yA;
    int xB, yB;
    Vector3f color;
    void draw(Image &img) override {
        img.SetPixel(xA, yA, color);
        img.SetPixel(xB, yB, color);
    }
};
```

框架代码环境配置

- Linux
  - Cmake/make
- Windows
  - 虚拟机/双系统安装Linux

Thank You！
Any Questions?