



# 数字图像处理

## 第七次作业

制作成员	班级	学号
赵国梁	自动化 63 班	2160504081

摘要： 边缘检测的常用算法包括 sobel, roberts, canny 等，其中 canny 算法是目前边缘提取应用最广泛，效果最好的算法。边缘检测本质上是让原图像通过一个高通滤波器，各种算法的区别在于滤波器的构造不同。本次实验使用了多种边缘检测算子对多幅图像进行边缘检测，再在检测后的边缘图像上采用哈夫变换进行直线检测。最后比较不同边缘检测算法（2 种以上）、不同 hough 变换参数对直线检测的影响。

## 一. 边缘检测和直线检测原理

### 1. 边缘检测的基本方法:

一般图像边缘检测方法主要有如下四个步骤:

图像滤波

传统边缘检测算法主要是基于图像强度的一阶和二阶导数,但导数的计算对噪声很敏感,因此必须使用滤波器来改善与噪声有关的边缘检测器的性能。需要指出的是,大多数滤波器在降低噪声的同时也造成了边缘强度的损失,因此,在增强边缘和降低噪声之间需要一个折衷的选择。

图像增强

增强边缘的基础是确定图像各点邻域强度的变化值。增强算法可以将邻域(或局部)强度值有显著变化的点突显出来。边缘增强一般是通过计算梯度的幅值来完成的。

图像检测

在图像中有许多点的梯度幅值比较大,而这些点在特定的应用领域中并不都是边缘,所以应该用某种方法来确定哪些点是边缘点。最简单的边缘检测判断依据是梯度幅值。

图像定位

如果某一应用场合要求确定边缘位置,则边缘的位置可在子像素分辨率上来估计,边缘的方位也可以被估计出来。近 20 多年来提出了许多边缘检测算子,在这里我们仅讨论集中常见的边缘检测算子。

### 2. 常见的边缘检测算法原理

常用的边缘提取算法包括 sobel, roberts 和 canny 算法等等。所谓边缘提取,即保留变化较大的部分,滤去平滑的部分,而一幅图像变化最大的部分莫过于它的边缘,因此边缘提取的基本思想是利用边缘的变化特性进行提取。。边缘检测本质上是让原图像通过一个高通滤波器,各种算法的区别在于滤波器的构造不同。要求滤波器的和为 1,目的是在通过平滑图像邻域时,不能产生影响。

#### (1) Sobel 算子

Sobel 算子在边缘检测算子扩大了其模版,在边缘检测的同时尽量削弱了噪声。其模板大小为  $3 \times 3$ ,其将方向差分运算与局部加权平均相结合来提取边缘。在求取图像梯度之前,先进行加权平均,然后进行微分,加强了对噪声的一致。

Sobel 卷积因子为:

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

**G<sub>y</sub>**

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

**G<sub>x</sub>**

该算子包含两组 3x3 的矩阵，分别为横向及纵向，将之与图像作平面卷积，即可分别得出横向及纵向的亮度差分近似值。如果以 A 代表原始图像，G<sub>x</sub> 及 G<sub>y</sub> 分别代表经横向及纵向边缘检测的图像灰度值，其公式如下：

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A \quad \text{and} \quad G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A$$

图像的每一个像素的横向及纵向灰度值通过以下公式结合，来计算该点灰度的大小：

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

通常，为了提高效率 使用不开平方的近似值：

$$|G| = |G_x| + |G_y|$$

Sobel 算子根据像素点上下、左右邻点灰度加权差，在边缘处达到极值这一现象检测边缘。对噪声具有平滑作用，提供较为精确的边缘方向信息，边缘定位精度不够高。当对精度要求不是很高时，是一种较为常用的边缘检测方法。

## (2) Roberts 算子

Reboerts 算子是一种利用局部差分来寻找边缘的算子，Roberts 梯度算子所采用的是对角方向相邻两像素值之差，算子形式如下：

$$\begin{aligned} G_x &= f(i, j) - f(i-1, j-1) \\ G_y &= f(i-1, j) - f(i, j-1) \\ |G(x, y)| &= \text{sprt}(G_x^2 - G_y^2) \end{aligned}$$

Roberts 算子采用的是用对角线方向上相邻两像素的差近似梯度幅值来检测边缘，它的定位精度高，对于水平和垂直方向的边缘，检测效果较

好，而对于有一定倾角的斜边缘，检测效果则不理想，存在着许多的漏检。另外，在含噪声的情况下，Roberts 算子不能有效的抑制噪声，容易产生一些伪边缘。因此，该算子适合于对低噪声且具有陡峭边缘的图像提取边缘。

### **(3) prewitt 算子**

Prewitt 算子是一种一阶微分算子的边缘检测，利用像素点上下、左右邻点的灰度差，在边缘处达到极值检测边缘，去掉部分伪边缘，对噪声具有平滑作用。其原理是在图像空间利用两个方向模板与图像进行邻域卷积来完成的，这两个方向模板一个检测水平边缘，一个检测垂直边缘。

经典 Prewitt 算子认为：凡灰度新值大于或等于阈值的像素点都是边缘点。即选择适当的阈值  $T$ ，若  $P(i, j) \geq T$ ，则  $(i, j)$  为边缘点， $P(i, j)$  为边缘图像。这种判定是欠合理的，会造成边缘点的误判，因为许多噪声点的灰度值也很大，而且对于幅值较小的边缘点，其边缘反而丢失了。

Prewitt 算子对噪声有抑制作用，抑制噪声的原理是通过像素平均，但是像素平均相当于对图像的低通滤波，所以 Prewitt 算子对边缘的定位不如 Roberts 算子。

因为平均能减少或消除噪声，Prewitt 梯度算子法就是先求平均，再求差分来求梯度。

### **(4) Canny 算子**

1986 年，Canny 从边缘检测算子应该满足的三个准则出发，推导出了最优边缘检测算子 Canny 算子，该算子是目前理论上相对最完善的一种边缘检测算法。

**Canny 提出的评价边缘检测性能优劣的三个准则分别是：**

- (1) 好的信噪比准则。即将非边缘点判为边缘点的概率要低，将边缘点判为非边缘点的概率要低；
- (2) 好的定位性能准则。即检测出的边缘点要尽可能在实际边缘的中心；
- (3) 单边缘响应准则。即单一边缘具有唯一响应，单一边缘产生的多个响应的概率要低，并且对虚假边缘的响应应得到最大抑制。

**Canny 边缘检测分为四个步骤：**

- (1) 采用高斯滤波器进行平滑滤波；
- (2) 求出梯度的一阶梯度或二阶梯度，初步得到边缘；
- (3) 对梯度图形进行非最大值抑制，并进行双阈值处理；
- (4) 用双阈值算法检测和连接边缘。

**Canny 算子也存在不足之处：**

- (1) 为了得到较好的边缘检测结果，它通常需要使用较大的滤波尺度，这样容易丢失一些细节
- (2) canny 算子的双阈值要人为的选取，不能够自适应

最后，对非极大值抑制后的图像进行高低阈值的判断，设低阈值为  $T_1$ ，高阈值为  $T_2$ ，根据判断的情况分为以下三种情况进行处理：

1) 如果某一像素位置的梯度幅值超过  $T_2$ ，则该像素被保留为边缘像素；

2) 若某像素位置的梯度幅值小于  $T_1$ ，则直接置零；

3) 若某一像素位置的梯度幅值介于  $T_1, T_2$  之间，则判断该像素 8 邻域空间的像素是否存在高于  $T_2$  的像素。如果存在则该像素保留，否则置零。

### 3. 哈夫变换实现直线检测

哈夫变换方法是利用图像得全局特性而对目标轮廓进行直接检测的方法，在已知区域形状的条件下，哈夫变换可以准确地捕获到目标的边界（连续的或不连续的），并最终连续曲线的形式输出变换结果，该变换可以从强噪声环境中将已知形状的目标准确得分割提取出来。

哈夫变换的核心思想是：点—线的对偶性(duality)。通过变换将图像从图像控件转换到参数空间，在图像空间中一条过点  $(x, y)$  的直线方程为  $y=px+q$ ，通过代数变换可以转换为另一种形式  $p=-px+y$ ，即参数空间中过点  $(p, q)$  的一条直线，如果在图像空间中保持直线的斜率和截距的不变，其在参数空间必定过点  $(p, q)$ ，这也就说明，在图像空间中共线的点对应参数空间共点的线。哈夫变换就是根据上述点—线的对偶性把在图像空间中存在的直线检测问题转换为参数空间中存在的点检测问题，后者的处理要比前者简单易行得多，只需简单地累加统计即可实现对边缘的检测。

哈夫变换不仅能检测直线等一阶曲线的目标，对于圆、椭圆等高阶的曲线都可以检测出来。

直线到直线的参数方程存在一个问题，如果直线接近竖直方向，会由于  $p$  和  $q$  的值都接近无穷而使计算量大增。因此实际中大量采用的是直线的极坐标方程：

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta$$

根据这个方程，原图像空间中的点对应新参数空间中的一条正弦曲线，即原来的点—直线对偶性变成了现在的点—正弦曲线对偶性。检测在图像空间中共点的线需要在参数空间里检测正弦曲线的交点。具体的检测步骤如下：

1) 在参数空间  $\rho - \theta$  里建立一个两维的累加数组——哈夫矩阵。设这个累加数组为  $H(\rho, \theta)$ ；

2) 开始时置数组  $H$  为零，然后对每一个图像空间中的给定点  $(x, y)$ ，让  $\theta$  取遍  $\theta$  轴上所有可能的值，并算出对应的  $\rho$  ( $x, y$  固定)；

3) 再根据  $\rho$  和  $\theta$  的值（设都已经取整）对  $H$  累加： $H(\rho, \theta) = H(\rho, \theta) + 1$ ；

4) 累加结束后，根据  $H(\rho, \theta)$  处共线点的个数。同时  $(\rho, \theta)$  值

也给出了参数方程，使我们得到了点所在三角函数曲线的方程；

5) 如果两个点  $(x_1, y_1)$  和  $(x_2, y_2)$  共线，则有相同的  $\rho$ ， $\theta$ ， $H(\rho, \theta)$  则可以不断累加；

6) 根据哈夫矩阵  $H$  选择值最大的  $N$  个点，得到  $xy$  平面上的  $N$  条直线。

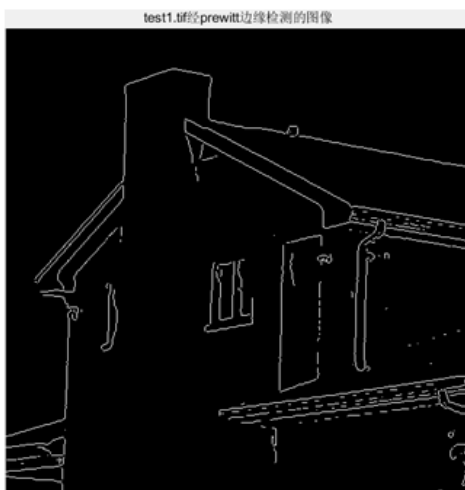
## 二. 实验结果（检测得到的直线使用绿色标出）:

1. test1 边缘检测结果:

Sobel 算法:



Prewitt 算法:

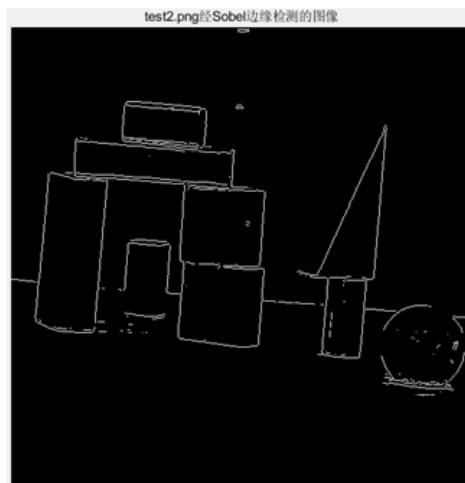


Canny 算法:

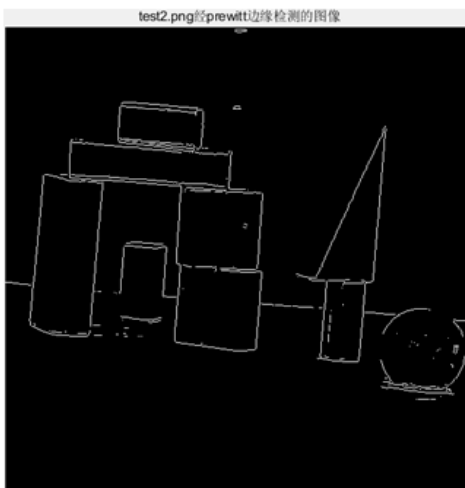


2. test2 边缘检测结果:

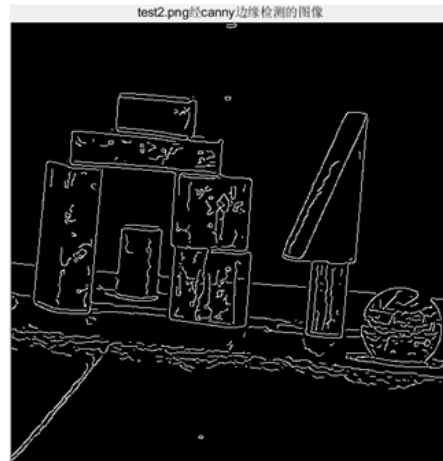
Sobel 算法:



Prewitt 算法:

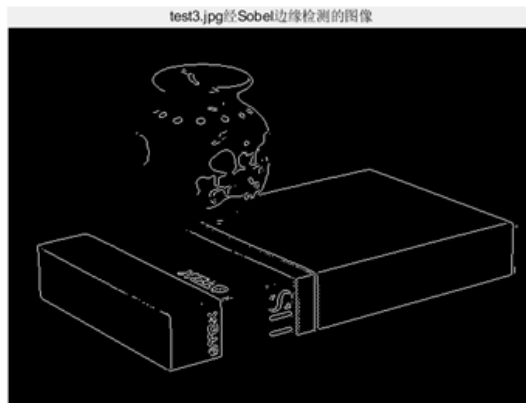


Canny 算法:

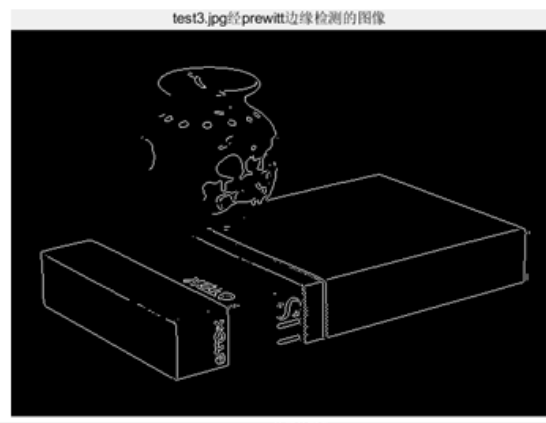


3. test3 边缘检测结果:

Sobel 算法:



Prewitt 算法:

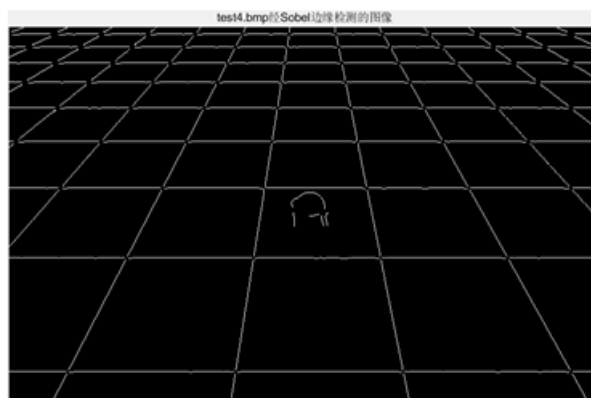


Canny 算法:

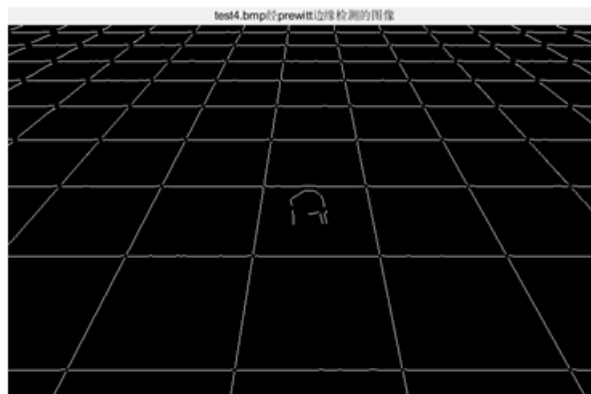




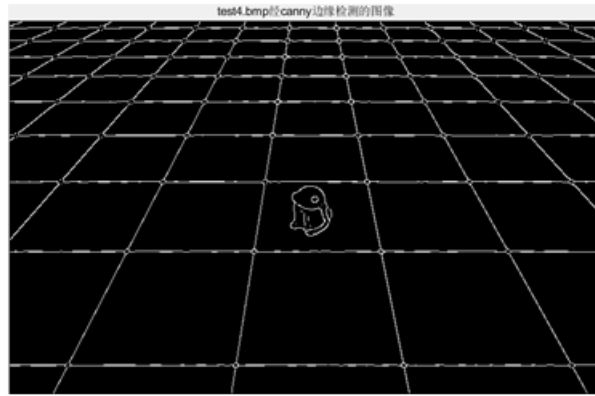
4. test4 边缘检测结果:  
Sobel 算法:



Prewitt 算法:



Canny 算法:



5. test5 边缘检测结果:

Sobel 算法:



Prewitt 算法:



Canny 算法:



6. test6 边缘检测结果:

Sobel 算法:



Prewitt 算法:



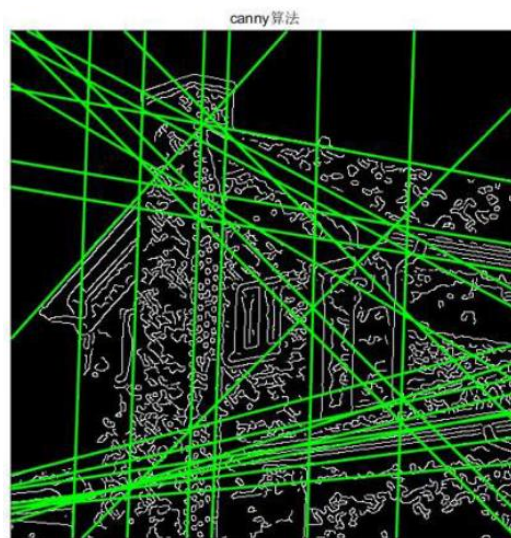
Canny 算法:



1. test1 直线检测结果:  
Sobel 算法:



Canny 算法:

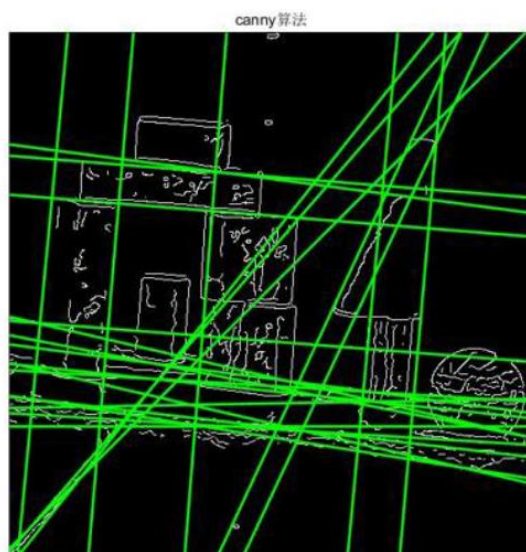


2. test2 直线检测结果:

Sobel 算法:

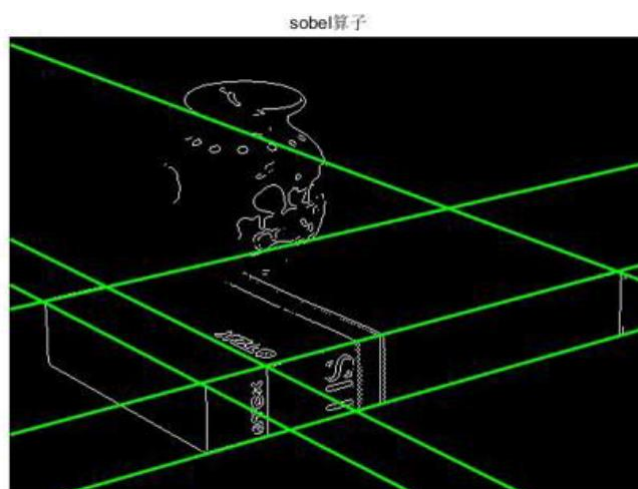


Canny 算法:

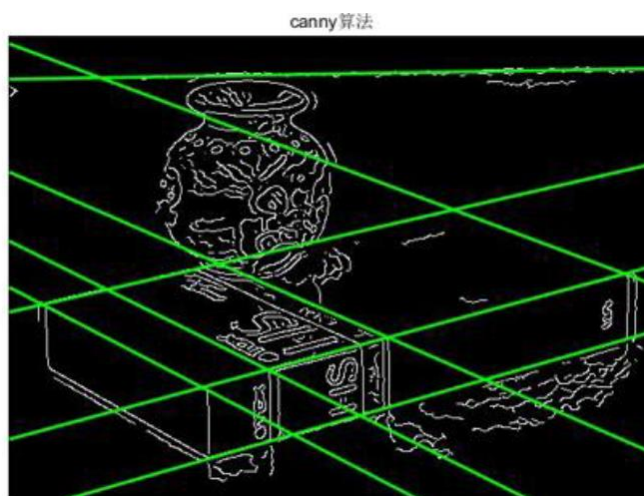


3. test3 直线检测结果:

Sobel 算法:

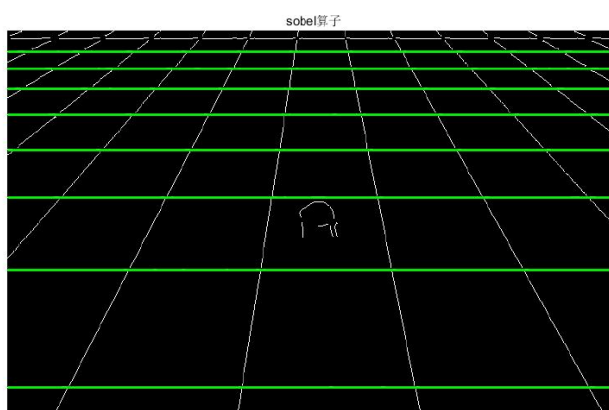


Canny 算法:

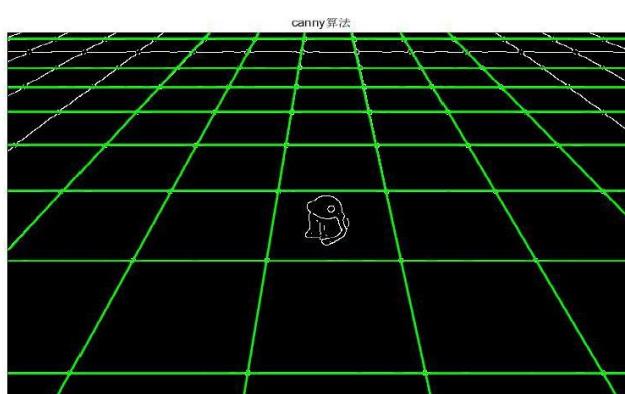


4. test4 直线检测结果:

Sobel 算法:

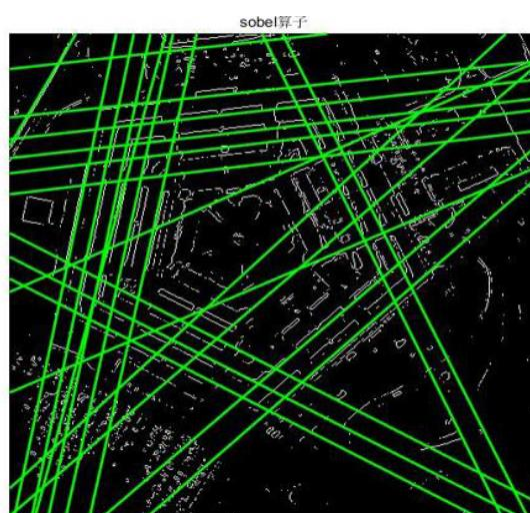


Canny 算法:



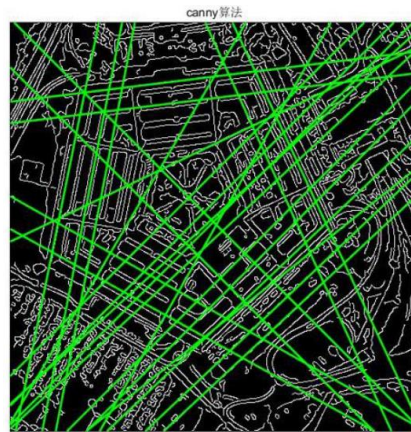
5. test5 直线检测结果:

Sobel 算法:

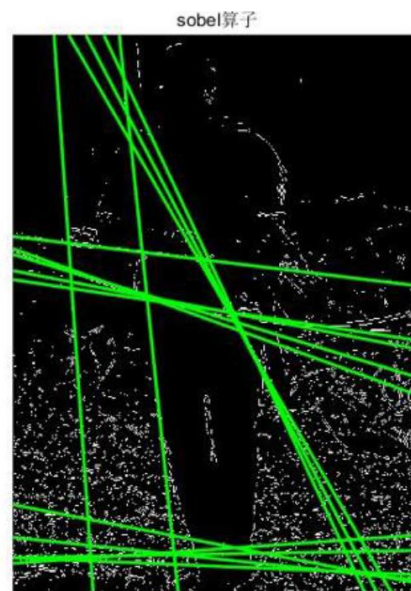


Canny 算法:

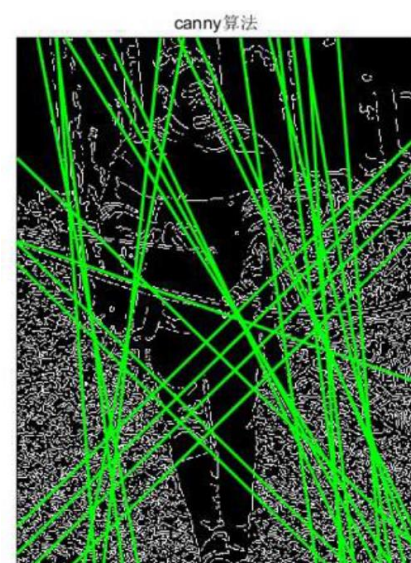




6. test6 直线检测结果:  
Sobel 算法:



Canny 算法:





### 三. 结果分析:

根据以上实验结果,对三种边缘检测的算子的优缺点进行对比分析得到各种算子的适用情况:

#### 1. Sobel 算子:

Sobel 算子检测方法对灰度渐变和噪声较多的图像处理效果较好, Sobel 算子对边缘定位不是很准确, 图像的边缘不止一个像素; 当对精度要求不是很高的时候, 是一种较为常用的边缘检测方法。对比不难发现, Sobel 算法提取的边缘较 Roberts 算法提取的边缘更为清晰明显, 同时提取得到的边缘也更为连续, 且相比之下有更多的细节被提取出来。相比而言, Sobel 算法提取得到的边缘效果更好。

#### 2. Roberts 算子:

Roberts 算子是最简单的边缘提取算子, 相较于其他的边缘提取算子, Roberts 算子提取得到的边缘点是最少的, 也是最粗糙的, 仅仅能提取大致的较明显的边缘。Roberts 算子检测方法对具有陡峭的低噪声的图像处理效果较好, 但是利用 Roberts 算子提取边缘的结果是边缘比较粗, 因此边缘的定位不是很准确。从直线检测的结果图来看, 检测得到的直线数量也是三种边缘提取算子中最少的, 原因是因为 Roberts 算子提取得到的边缘点是最少的。

#### 3. Canny 算法:

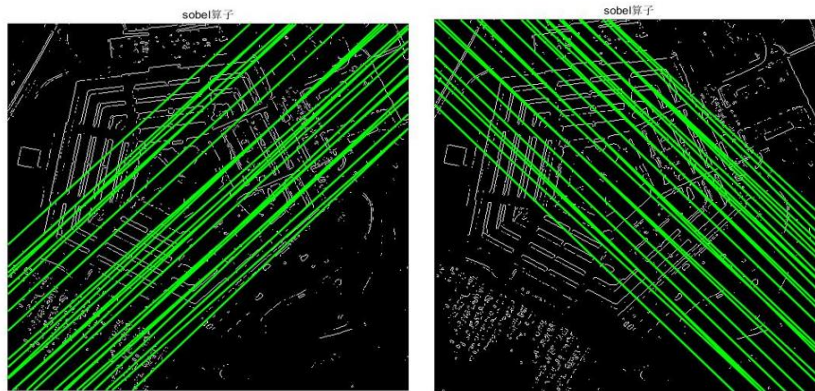
Canny 方法不容易受噪声干扰, 能够检测到真正的弱边缘。优点在于, 使用两种不同的阈值分别检测强边缘和弱边缘, 并且当弱边缘和强边缘相连时, 才将弱边缘包含在输出图像中。Canny 算法提取的边缘效果则是优于以上所述的 2 种算法, 既清晰不模糊, 又准确地提取出了边缘, 这也是它广泛应用在边缘提取上的原因。观察实验结果可以看到, Canny 算法提取得到的边缘点远远多于其他两种算子, 将图像中大量的细节边缘都提取出来了, 从而使用哈夫变换检测直线时也会检测出更多数量的直线。

通过对比每组图像得到的 sobel 和 prewitt 边缘检测结果, 可以得到结论: sobel 得到的边缘检测结果含有的噪声比 prewitt 边缘检测结果少, 所得到的结果更加平滑。分析可得正是因为他们之间计算上的小差别导致了这一结果, sobel 模板更够较好地抑制平滑噪声。Canny 边缘检测算法得到的边缘更加平滑, 细节也更加丰富, 整体的效果是最好的。不同的边缘检测算子都有自己的优缺点, 在不同的情况下应根据实际情况选择合适的边缘检测算子, 才能得到想要的图片处理效果。

#### 四. Matlab 实现以及参数改进

本次实验使用 matlab 自带函数，例如边缘提取函数 `edge`，直线检测的函数，包括 `hough`, `houghpeaks` 以及 `houghlines`。

`hough` 用于对输入图像进行哈夫变换，求得边缘点相对应的参数方程的哈夫矩阵  $H$ 。当设置 `value` 为 `44:0.5:46` 时，检测得到的直线将是接近  $45^\circ$  角的直线，当设置 `value` 为 `-46:0.5:-44` 时，检测得到的直线将是接近  $-45^\circ$  角的直线。



#### 五. 实验感想：

本次实验使用了多种边缘检测算子对多幅图像进行边缘检测，在检测后的边缘图像上采用哈夫变换进行直线检测。通过本次实验，我对多种边缘检测的算子的原理有了一定的了解，也学会了使用 matlab 来实现各种算子，同时也学会了采用哈夫变换来进行直线检测。在对比分析了各个模板的优缺点后，对何种情况选择何种边缘提取模板也更清楚。这是最后一次数字图像处理实验，通过这几次的大作业，我对数字图像这门课程也有了一定的了解，受益匪浅。