

# 作业二：边缘检测和边缘链接

姓名：欧阳鸿荣  
学号：161220096  
邮箱：[895254752@qq.com](mailto:895254752@qq.com)  
手机：13055644369

## 1. 实现细节

### 1.0 综述

本次实验分为两个部分：边缘检测和边缘链接。其中，边缘检测我实现了5种方法，分别是：

- Roberts算子法
- Prewitt算子法
- Sobel算子法
- Marr-Hildreth法
- Canny法

边缘链接实现了一种方法：

- Moore边界追踪法

由于本次实验所用方法较多，因此代码也分为多个模块，具体如下，其中加粗部分为框架代码：

文件名	功能
<b>edge_test</b>	边缘检测和边缘链接的测试入口
<b>my_edge</b>	边缘检测入口，整合了各种方法
my_roberts	Roberts算子
my_prewitt	Prewitt算子
my_sobel	Sobel算子
my_marr	Marr方法
my_canny	Canny方法
Threshold	阈值确定函数
<b>my_edgelingking</b>	基于Moore边界追踪法的边缘链接

下面分别介绍各种方法的实现：

## 1.1 Robert

Robert算子是一个具有对角优势的二维模板，是本次实验中采用的最简单的方法，其模板如下：

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

通过该梯度算子，卷积计算 $g_x, g_y$ ，从而得到梯度幅度 $M(x, y)$ ，采用单阈值法，将 $M(x, y)$ 同阈值 $thresh$ 进行对比，当大于阈值时则认为点 $(x, y)$ 为边缘。

阈值的选择上，这里给出了一个简单的自适应函数，可以根据灰度平均值对不同的图进行优化。

```
function [threshold] = Threshold(input_image, scale)
% 根据灰度平均值，来得到阈值的确定
means = mean(input_image(:));
cutoff = scale*means;
threshold = sqrt(cutoff);
end
```

下面给出 Robert 算子的代码

```
function [output] = my_roberts(input_image)
%MY_ROBERTS ROBERTS算子下的边缘检测算法
[m,n] = size(input_image);
res = zeros(m,n);
thresh = Threshold(input_image, 0.30); %设定阈值
img = input_image;

for i=1:m-1
    for j=1:n-1
        Gx = img(i,j) - img(i+1,j+1);
        Gy = img(i+1,j) - img(i,j+1);
        robertsNum = sqrt(Gx^2+Gy^2);
        res(i,j) = (robertsNum > thresh);
    end
end

output = logical(res);
end
```

Prewitt和Sobel算子也是基于同样的原理，只是选取的算子模版不同，因此在原理上不多赘述。

## 1.2 Prewitt算子

Prewitt算子考虑了中心点对端数据的性质，并携带有关边缘的更多信息，是对Robert算子的优化，其模板如下

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```
function [output] = my_prewitt(input_image)
%MY_PREWITT PREWITT算子下的边缘检测算法
[m,n] = size(input_image);
res = zeros(m,n);
thresh = Threshold(input_image,1.8);%设定阈值
img = input_image;
for i=2:m-1
    for j=2:n-1
        Gx = img(i-1,j+1)-img(i+1,j+1)+img(i-1,j)-img(i+1,j)+img(i-1,j-1)-img(i+1,j-1);
        Gy = img(i-1,j+1)+img(i,j+1)+img(i+1,j+1)-img(i-1,j-1)-img(i,j-1)-img(i+1,j-1);
        PrewittNum= sqrt(Gx^2+Gy^2);
        res(i,j) = (PrewittNum > thresh);
    end
end
output = logical(res);
end
```

## 1.3 Sobel算子

Sobel算子对权值进行了调整，使得其能更好地抑制平滑噪声，其模板如下

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

```
function [output] = my_sobel(input_image)
%MY_SOBEL 索贝尔算子下的边缘检测算法
% input_image = gauss_filter(input_image);
[m,n] = size(input_image);
res = zeros(m,n);
thresh = Threshold(input_image,2.8);
img = input_image;
for i=2:m-1
    for j=2:n-1
        Gx = img(i-1,j+1)+2*img(i,j+1)+img(i+1,j+1)-img(i-1,j-1)-2*img(i,j-1)-img(i+1,j-1);
        Gy = img(i-1,j-1)+2*img(i-1,j)+img(i-1,j+1)-img(i+1,j-1)-2*img(i+1,j)-img(i+1,j+1);
        sobelNum= sqrt(Gx^2+Gy^2);
        res(i,j) = (sobelNum > thresh);
    end
end
output = logical(res);
end
```

## 1.4 Marr-Hildreth边缘检测算法

Marr-Hildreth是一种更为高级的方法，由于该方法考虑了边缘本身的性质，通过二阶导的方法使得边缘检测的效果更加良好。其使用的算子是拉普拉斯算子。这里结合代码讲述该算法的实现：

**(1) 使用  $n \times n$  的高斯低通滤波器对输入图像滤波，并计算滤波后图像的拉普拉斯。**

这里采用的是一种经验法则：一个大小为  $n \times n$  的LoG离散滤波器，其  $n$  值应是大于等于  $6\sigma$  的最小奇整数

```
function [output] = my_marr(input_image,sigma)
%MY_MARR Marr-Hildreth边缘检测算法
% 此处显示详细说明
[m,n] = size(input_image);
res = zeros(m,n);
nsize = ceil(3*sigma)*2+1; % 滤波器尺寸n为大于等于6sigma的最小奇整数
% 产生LoG滤波器,并使得滤波器的系数之和为0
LoG = fspecial('log',nsize,sigma);
LoG = LoG - mean(LoG(:));%矩阵每一项减去均值，则滤波器系数之和为0
% 利用Log滤波器对图像滤波
b = filter2(LoG,input_image);
```

**(2) 找到步骤 (1) 中图像的零交叉点**

在滤波后的图像  $g(x, y)$  的任意像素  $p$  处，寻找零交叉的一种方法是用以  $p$  为中心的一个  $3 \times 3$  邻域。  $p$  点的零交叉意味着至少有两个相对的邻域像素符号不同。有四种要测试的情况：左右、上下和两个对角。如果  $g(x, y)$  的值与一个阈值比较，那么不仅相对邻域的符号不同，而且他们的数值差的绝对值还必须超过这个阈值。此时，我们称  $p$  为一个零交叉点。

```
% 设置零交叉阈值（基于均值或者最大值的百分比）
% thresh = 0.75*mean(abs(b(:)));
thresh = 0.05*max(abs(b(:)));
% 寻找滤波后的零交叉点：寻找零交叉的一种方法是以p为中心的一个3*3邻域，如果g(x,y)的值与一个阈值比较，
% 则不仅相对邻域的符号不同，并且他们数值差的绝对值还超过阈值
op1 = [0, -1; -1, 0; -1, -1; -1, 1]; %分别代表左右、上下和两个对角
op2 = [0, 1; 1, 0; 1, 1; 1, -1];
for i = 2:m-1
    for j = 2:n-1
        p = [i,j];
        for k = 1:4
            xy1 = p + op1(k,:);
            xy2 = p + op2(k,:);
            x = b(xy1(1),xy1(2)); %相对邻域的两个值
            y = b(xy2(1),xy2(2));
            t = b(i,j);
            if (x*y<0)&&(abs(x-y)>thresh) %相对邻域的符号不同，并且他们数值差的绝对值还超过阈值
                res(i,j)=1;
                break;
            end
            if (t<0&&x>0)&&(abs(x-t)>thresh) %相对邻域的符号不同，并且他们数值差的绝对值还超过阈值
                res(i,j)=1;
                break;
            end
        end
    end
end
```

```

        if (t<0&&y>0)&&(abs(y-t)>thresh) %相对邻域的符号不同，并且他们数值差的绝对值还超过阈值
            res(i,j)=1;
            break;
        end
    end
end
end
end

```

这里注释掉的地方为我原本对于书上P461页（也就是上面那段文字）的理解，但是这样做出来的效果并非书上所说的像素级。查阅资料后发现貌似能作出像素级效果的与那段文字有所差异，可能是我理解上有所偏差。

## 1.5 Canny边缘检测器

Canny边缘检测器是上述讨论过的方法中最优秀的。但是我实现时并没有实现出连接分析来连接边缘，导致图像断断续续。但是除去这个断断续续，其边缘连接效果还是很好的。其原理结合代码说明如下

### (1) 用一个高斯滤波器平滑输入图像

```

function [output] = my_canny(input_image)
%MY_CANNY Canny边缘检测算法
% 1.用一个高斯滤波器平滑输入图像
imgsrc = im2uint8(input_image);
sigma = 3;
N = 3;
N_row = 2*N+1;
gausFilter = fspecial('gaussian', [N_row,N_row], sigma);
img= imfilter(imgsrc, gausFilter, 'replicate');

[m,n] = size(img);
img = double(img);
M = zeros(m, n);
sector = zeros(m, n); %表示角度幅值图像
canny1 = zeros(m, n); %非极大值抑制后图像
res = zeros(m, n); %结果图像

```

### (2) 计算梯度幅值图像和角度图像

```

% 2.计算梯度幅值图像和角度图像
for i = 2:(m-1)
    for j = 2:(n-1)
        %用Sobel算子进行卷积计算梯度幅值和方向
        Gx = img(i-1,j+1)+2*img(i,j+1)+img(i+1,j+1)-img(i-1,j-1)-2*img(i,j-1)-img(i+1,j-1);
        Gy = img(i-1,j-1)+2*img(i-1,j)+img(i-1,j+1)-img(i+1,j-1)-2*img(i+1,j)-img(i+1,j+1);
        M(i,j) = sqrt(Gx^2+Gy^2);
        tem = atand(Gx/Gy);
        if (tem<22.5)&&(tem>-22.5)
            sector(i,j) = 1; %水平边缘
        elseif (tem<-157.5)|| (tem>157.5)
            sector(i,j) = 2; %垂直边缘
        elseif (tem<-22.5)&&(tem>-67.5)
            sector(i,j) = 3; %左上-右下
        else

```

```

        sector(i,j) = 4;      %右上-左下
    end
end
end

```

### (3) 对梯度赋值图像应用非最大抑制

```

% 3.对梯度赋值图像应用非最大抑制
op1 = [0,-1; -1,0; -1,-1; -1, 1]; %分别代表水平、垂直和左上右下, 左下右上
op2 = [0, 1;  1,0;  1, 1;  1,-1]; %分别代表水平、垂直和左上右下, 左下右上
for i = 2:(m-1)
    for j = 2:(n-1)
        canny1(i,j) = 0;
        k = sector(i,j);
        a = [i,j] + op1(k,:);
        b = [i,j] + op2(k,:);
        x = M(a(1),a(2)); %相对邻域的两个值
        y = M(b(1),b(2));
        if ( M(i,j)>x )&&( M(i,j)>y)
            canny1(i,j) = M(i,j);
        end
    end
end
end

```

### (4) 用双阈值处理来检测边缘

```

% 4.用双阈值处理来检测边缘
ratio = 2.5;
lowTh = 15;
highTh = ratio*lowTh;
neighbour=[0 1;1 1;1 0;1 -1;0 -1;-1 -1;-1 0;-1 1]; %和当前像素坐标相加得到八个邻域坐标
for i = 2:(m-1)
    for j = 2:(n-1)
        if canny1(i,j)<lowTh %低阈值处理
            res(i,j) = 0;
        elseif canny1(i,j)>highTh %高阈值处理
            res(i,j) = 1;
        else %介于之间的看其8邻域有没有高于高阈值的, 有则可以为边缘
            for k =1:8
                b = [i,j] + neighbour(k,:);
                if canny1(b(1),b(2))> highTh
                    res(i,j) = 1;
                    break;
                end
            end
        end
    end
end
end
end

```

## 1.6 Moore边界追踪法

Moore边界追踪法是一个基本的边界追踪算法，对一个二值区域 $R$ 或给定边界的算法如下：

1. 令起始点 $b_0$ 为图像中左上角标记为1的点（在代码实现中由于给定起点因此没有用到这条性质）。使用 $c_0$ 表示 $b_0$ 西侧的邻点。从 $c_0$ 开始顺时针方向考察 $b_0$ 的八个邻点。令 $b_1$ 表示所遇到的值为1的第一个邻点，令 $c_1$ 是序列中 $b_1$ 之前的点。存储 $b_0$ 和 $b_1$ 的位置。
2. 令 $b = b_1, c = c_1$
3. 从 $c$ 开始顺时针方向前进，令 $b$ 的八个邻点为 $n_1, n_2, \dots, n_8$ 。找到第一个标为1的点 $n_k$
4. 令 $b = n_k, c = n_{k-1}$ ，同时标记 $n_k$ 为0（避免死循环）
5. 重复步骤3、4，直到找不到邻点中标为1的点

其代码实现如下：

```
function output = my_edgelingking(binary_image, row, col)
[m,n] = size(binary_image);
b = [row,col];
img = binary_image;

if img(row,col)~=1
    display('这个点不在边界上');
    output = [];
end

curr_d = 1; %当前探索方向
res=[row,col];
img(row,col) = 0;
neighbour=[0 1;1 1;1 0;1 -1;0 -1;-1 -1;-1 0;-1 1]; %和当前像素坐标相加得到八个邻域坐标

while true
    for i = 1:8 %不断探索八邻域上的点
        curr_d = mod(curr_d-1,8)+1;
        c = b + neighbour(curr_d,:); %八邻域上的点
        x = c(1);
        y = c(2);
        if x>=1 && x<=m && y>=1 && y<=n
            if img(x,y)==1
                curr_d = curr_d -1; %更新当前方向
                res = [res;x,y]; %将点加入结果
                img(x,y) = 0; %避免死循环
                b = c;
                break;
            end
        end
        curr_d = curr_d + 1;
    end
    if i == 8 %其八邻域上都没有边界点了，退出返回
        break;
    end
end
output = res;
end
```

## 2. 结果

---

### 2.1 实验设置

实验环境为 **Matlab R2018a**，代码放在 `code` 目录下。其中 `test_histeq.m` 为测试的入口，`hist_equal.m` 实现

### 2.2 实验结果