

计算机视觉 - Homework2

姓名：陈明亮

学号：16340023

一、实验需求

1. 通过阅读附件Canny边缘检测器代码，根据学号尾数除三取余，分别根据余数改写不同的Code(本人改写Code0)。
2. 改写要求通过OOP思想封装成类，并且图像处理只依赖于CImg库，并要求代码封装接口简洁清晰。
3. 在原来的代码基础上，增加对应函数：把相邻边缘连接成长线条，并删除长度小于20的Edge。
4. 结合各项测试数据，对算法的若干组参数测试所有的图像，分析参数对结果的影响。

二、实验过程

1. 根据给定的四张jpg图片，将这些测试数据转换成bmp图像

方法：使用 `ffmpeg` 终端程序进行图片类型转换

代码：

```
$ ffmpeg -i .jpg .bmp
```

2. 改写Code0代码，使用类封装结构化Canny边缘检测器

方法：结合面向对象的编程语言 `C++`，将原本结构化架构的Code0内的各项函数都封装成类 `Edge_detector` 内部的成员方法，同时优化相应的处理步骤，明确每一步的相关操作，确定所需存储的变量作为类的内部成员。

代码：(Canny_edge_detector.h)

```
#ifndef CANNY_EDGE_DETECTOR_H
#define CANNY_EDGE_DETECTOR_H

#include "CImg.h"
#include <cmath>
#include <iostream>
#include <queue>
#include <vector>
```

```

#define abs(x) ( (x) >= 0 ? x : -x)
#define GAP_NUM 0.005f
#define MAG_SCALE 100.0f
#define MAG_LIMIT 1000.0f
#define MAG_MAX (MAG_SCALE * MAG_LIMIT)

using namespace cimg_library;
using namespace std;

class Edge_detector{
public:
    Edge_detector(CImg<unsigned char>& image, float sigma, float tlow, float thigh);
    ~Edge_detector();
    // Startup of the edge detection
    CImg<unsigned char>& edge_detection();
    void gaussian_smooth();
    void compute_gradients();
    void no_max_supp(int iX, int mX, int iY, int mY, float* xGradient, float* yGradient);
    void apply_hysteresis();
    void follow_edges(int x, int y, int i);
    void remove_less20_edges();
    static void usage(char* name);

private:
    CImg<unsigned char> srcImg;
    CImg<unsigned char> edge;
    int height, width;
    float sigma, tlow, thigh;
    int *edgeImg, *mag; // The edge image and magnitude array

    inline float hypo(float x, float y){
        return (float)sqrt(x*x + y*y);
    }
    inline float gauss(float x, float sig){
        return (float)exp(-(x*x) / (2.0 * sig * sig));
    }
};

#endif

```

分析：结合图像边缘检测方法，我们基本上可以将从输入的灰度图 -> 输出的边缘图概括为以下四大步骤：

- 采用高斯滤波器平滑图像，清除噪声。
- 从横轴和纵轴方向分别计算灰度图像中每个像素的梯度矩阵。
- 使用非最大值抑制方法，消除残余杂点的噪声影响，优化边缘检测结果。
- 应用双阈值方法确定图像上的真实边缘与潜在边缘，同时去除弱点边缘，完成检测。

3. Canny_edge_detector类中的成员方法分析

方法：结合原本给定的Code0，将对应的模块代码优化，修改Bug之后采用CImg库函数进行图像读写和数据处理。下面分别给出 `Canny_edge_detector.cpp` 内各个函数的实现，分析函数实现过程。

代码: (Canny_edge_detector.cpp)

1. 类构造函数 - Edge_detector()

```
Edge_detector::Edge_detector(CImg<unsigned char>& image, float sigma_, float tlow_, float
thigh_){
    srcImg = image;
    height = image.height();
    width = image.width();
    sigma = sigma_;
    tlow = tlow_ * MAG_SCALE + 0.5f;
    thigh = thigh_ * MAG_SCALE + 0.5f;
}
```

分析: 构造函数接收对应的灰度图(Main.cpp中将bmp图像转换成灰度图), 同时接收命令行参数sigma, tlow, thigh, 意义分别是: 高斯滤波器中的应用高斯函数的标准差, 最低阈值和最高阈值。

2. 边缘检测启动函数 - edge_detection()

```
CImg<unsigned char>& Edge_detector::edge_detection(){
    // Allocate buffers
    edgeImg = new int[width * height];
    mag = new int[width * height];
    /*****
    * Perform gaussian smoothing on the
    * image using the input standard deviation.
    *****/
    gaussian_smooth();

    /*****
    * Use sobel methods to find gradients
    *****/
    compute_gradients();

    /*****
    * Apply non-maximal-suppression and hysteresis
    *****/
    apply_hysteresis();

    edge = CImg<unsigned char>(width, height, 1, 1, 0);
    cimg_forXY(edge, x, y){
        int tmp = y*width + x;
        edge(x, y) = edgeImg[tmp] > 0 ? 255 : 0;
    }

    remove_less20_edges();
    edge.display();

    edge.save("lenag.bmp");
}
```

```

        return edge;
    }

```

分析：边缘检测启动函数通过顺序调用类内部的接口，实现输入灰度图像的处理和保存输出。

3. 梯度计算函数 - compute_gradients() [部分代码]

```

// Perform convolutions in x and y direction
for(int x=iX; x<mX; x++){
    for(int y=iY; y<mY; y+=width){
        int tmp = x+y;
        float sumX = srcImg[tmp] * kernel[0];
        float sumY = sumX;
        int xOffset = 1;
        int yOffset = width;
        while (xOffset < i)
        {
            sumY += kernel[xOffset] * (srcImg[tmp - yOffset] + srcImg[tmp + yOffset]);
            sumX += kernel[xOffset] * (srcImg[tmp - xOffset] + srcImg[tmp + xOffset]);
            yOffset += width;
            xOffset++;
        }

        yConv[tmp] = sumY;
        xConv[tmp] = sumX;
    }
}

for (int x = iX; x < mX; x++){
    for (int y = iY; y < mY; y += width){
        float sum = 0.0f;
        int index = x + y;
        for (int j = 1; j < i; j++)
            sum += diffk[j] * (yConv[index - j] - yConv[index + j]);

        xGradient[index] = sum;
    }
}

for (int x = i; x < width - i; x++){
    for (int y = iY; y < mY; y += width){
        float sum = 0.0f;
        int index = x + y;
        int yOffset = width;
        for (int j = 1; j < i; j++){
            sum += diffk[j] * (xConv[index - yOffset] - xConv[index + yOffset]);
            yOffset += width;
        }

        yGradient[index] = sum;
    }
}

```

```

    }
}

```

分析：建立梯度数组存储图像在x和y方向上的梯度变换，通过之前求解的高斯kernel，记录x，y方向上的卷积值，分别计算xGradient和yGradient。

4. 滞后双阈值方法函数 - apply_hysteresis()

```

void Edge_detector::apply_hysteresis(){
    int tmp = 0;
    memset(edgeImg, 0, width*height*sizeof(int));

    for(int x=0; x<height; x++){
        for(int y=0; y<width; y++){
            if(edgeImg[tmp] == 0 && mag[tmp] >= thigh)
                follow_edges(y, x, tmp);
            tmp++;
        }
    }
}

```

分析：采用follow_edges()方法连接边缘周围的，介于低阈值与高阈值之间的点，并且使其与原本的边缘连接，形成新的边缘。

5. 连接相邻的边缘函数 - follow_edges()

```

void Edge_detector::follow_edges(int x, int y, int i){
    int x0 = x == 0 ? x : x - 1;
    int x1 = x == width - 1 ? x : x + 1;
    int y0 = y == 0 ? y : y - 1;
    int y1 = y == height - 1 ? y : y + 1;
    bool follow_flag = false, keep_flag = true;

    edgeImg[i] = mag[i];
    for (int j = x0; j <= x1; j++){
        for (int k = y0; k <= y1; k++){
            int tt = j + k * width;
            if ((k != y || j != x) && edgeImg[tt] == 0 && mag[tt] >= tlow){
                follow_edges(j, k, tt);
            }
        }
    }
}

```

分析：采用八邻阈检测强点周围的非弱点，完成递归式的边缘点之间的连接操作。

6. 去除小于长度20的边缘函数 - remove_less20_edges()

```

void Edge_detector::remove_less20_edges(){
    queue<pair<int, int> > store;
    CImg<bool> visited(srcImg.width(), srcImg.height(), 1, 1, 0);
    for(int i=0; i<srcImg.width(); i++){
        for(int j=0; j<srcImg.height(); j++){
            if(visited(i, j) == true) continue;
            store.push(make_pair(i, j));
            vector<pair<int, int> > path;
            while(!store.empty()){
                int xx = store.front().first, yy = store.front().second;
                path.push_back(make_pair(xx, yy));
                store.pop();
                for(int x=xx-1; x<xx+2; x++){
                    for(int y=yy-1; y<yy+2; y++){
                        if(x < 0 || y < 0 || x >= edge.width() || y >= edge.height())
                            continue;
                        else if(!visited(x, y) && edge(x, y) > 0){
                            store.push(make_pair(x, y));
                            visited(x, y) = true;
                        }
                    }
                }
            }
            if(path.size() < 20){
                for(int i=0; i<path.size(); i++)
                    edge(path[i].first, path[i].second) = 0;
            }
        }
    }
}

```

分析：使用广度优先搜索算法实现图片边缘的扫描，首先设置访问数组visited，对于访问过的像素点置为已访问，并且在每一次搜寻到路径上的节点时进行访问判断，若未访问过则将其添加到队列中。对于队列中的路径拓展，采用八邻阈方法进行强点像素扫描，若符合条件则加入路径。完成拓展之后判断路径长度，小于20则删除路径上的所有强点。

4. 针对编写完的边缘检测器，更改各项参数，分析其对结果的影响

方法：通过终端执行编译完的可执行程序 `Edge_detector`，输入不同的高斯标准差sigma，以及不同的低高阈值 -- lowthreshold, highthreshold，对四张测试图片进行测试，分析结果。

代码：(使用终端命令运行可执行程序，并输入对应参数，参数输入不规则者会得到相应的提示信息，相关参数含义可以查看类内部成员定义)

```

$ ./Edge_detector lena.bmp 1.0 2.5 7.5 #params are: image_name, sigma, lowthreshold,
highthreshold

```

结果：

1. lena.bmp

- bmp原图:



- 采用默认参数的处理结果图(sigma: 1.0, lowthreshold: 2.5, highthreshold: 7.5):



说明：此处的默认参数并不是边缘检测的最佳参数，实际上在接下来的分析中会有许多优化样例，此处由于连接操作的增添，实际上看起来边缘会有些许粗。

1. 通过修改高斯函数标准差 `sigma`，输出对应边缘图像：

- 采用 $\sigma = 2.0$ ，其余参数不变的情况：



- 采用 $\sigma = 0.5$, 其余参数不变的情况:



- 分析：原本采用的sigma参数为高斯正态分布的标准差，实际上直接影响到高斯平滑操作时的噪声过滤，从以上对比我们可以看到：
 1. 当sigma取1.0时为高斯正态分布，此时噪声边缘不多；而当sigma增大为2.0时，标准差增大，此时很多强边缘的像素会被误认为噪声，所以此时图像上看到的边会明显减少。
 2. 当sigma减少为0.5时，对噪声的过滤不足，导致图像上的很多噪声弱边缘没有被过滤掉，所以出现上图所示的密密麻麻的边缘图。
- 2. 通过修改双阈值中的最低阈值，输出对应边缘检测图像：
采用lowthreshold = 3.5, 其余参数不变的情况：



- 采用`lowthreshold = 1.5`, 其余参数不变的情况:



- 分析：低阈值的增加，实际上可以抑制很多噪声的干扰，但同时也丢失了相应的范围外的强；同时低阈值的减小就不可避免地带来噪声的增加。

3.通过修改双阈值中的最高阈值，输出对应边缘检测图像：

- 采用 $\text{highthreshold} = 8.5$, 其余参数不变的情况:



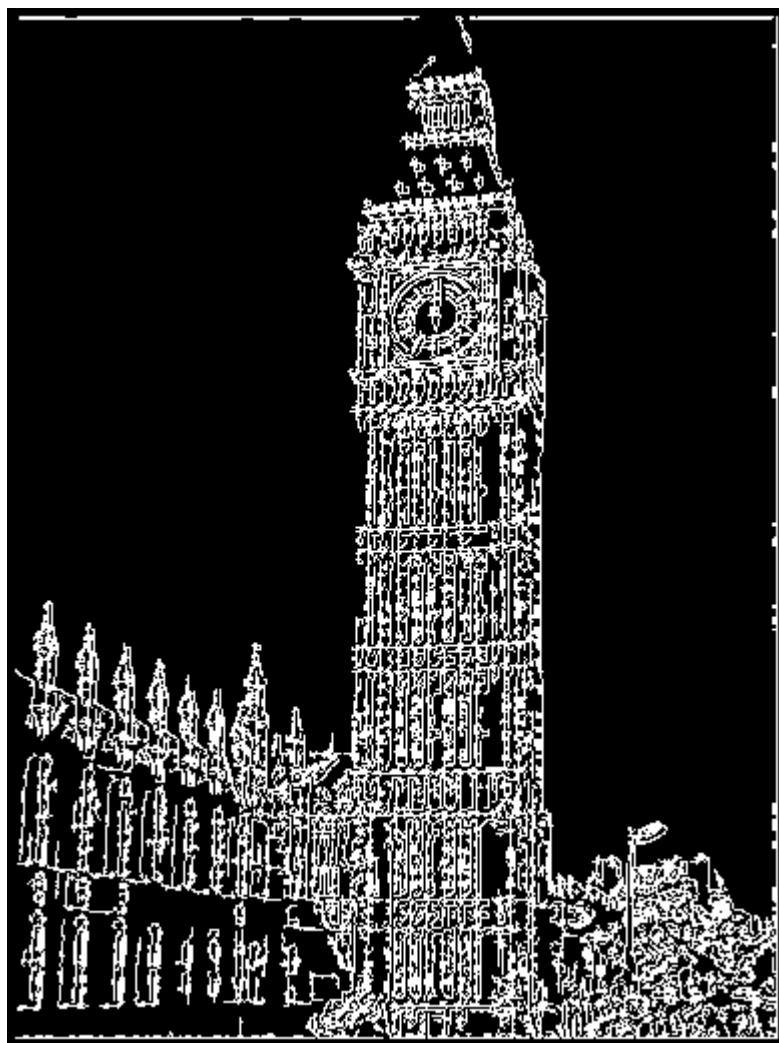
- 采用`highthreshold = 6.5`, 其余参数不变的情况:



- 分析: 通过增加高阈值, 我们可以看到对应的噪声减少了一些, 同时原本的强边缘像素也会转换成弱边缘像素, 但同时也会丢失原本的边缘像素。高阈值减少, 对应的判定为强边缘的数量会增加。

2. `bigben.bmp`

- 根据默认参数所得图



三、实验感想

1. 实际上，本次实验我觉得做的不是很理想，因为从结果部分可以看到，边缘检测到的各条边实际上比较粗，而且实际上最佳显示参数也把握的不是太准确，所以本次作业预测分数为84分。
2. 同时，不得不说实验过程挺辛苦的，不仅要修改代码中的bug，还需要不断地寻找资料，然而对于计算机视觉方面不太了解的新手的确是很痛苦的，这次实验我也是在煎熬中度过，完成函数得到结果，优化的过程是很艰辛的。