

# 数字图像处理大作业

无 47 刘前\* 2014011216

2017 年 6 月 2 日

## 目录

<b>1 图像消噪</b>	<b>2</b>	3.4.3 非线性平滑滤波：中值滤波	8
1.1 问题描述	2	3.5 两种锐化滤波	8
1.2 算法分析	2	3.6 低通和高通滤波	8
1.2.1 添加噪声	2	3.6.1 巴特沃斯低通滤波器	9
1.2.2 消除噪声	2	3.6.2 巴特沃斯高通滤波器	9
1.3 实验结果及讨论分析	3	3.7 灰度图像对比度增强	9
		3.8 Gamma 校正	10
		3.9 GUI 整体设计	10
<b>2 图像水印</b>	<b>4</b>	<b>4 总结</b>	<b>10</b>
2.1 算法分析	4	<b>参考文献</b>	<b>10</b>
2.1.1 单幅迭代混合	4		
2.1.2 混合图像质量和混合参数	4		
2.2 实验结果及讨论分析	4	<b>5 附录</b>	<b>11</b>
<b>3 数码照片处理程序开发</b>	<b>5</b>	5.1 GUI 完整界面	11
3.1 直方图操作	5	5.2 程序说明	11
3.1.1 绘制灰度直方图	5	5.2.1 代码清单	11
3.1.2 直方图均衡化	5	5.2.2 函数说明	12
3.2 颜色空间变换	6	5.2.3 程序使用说明	12
3.2.1 RGB 变换到 YCbCr 空间	6		
3.2.2 RGB 变换到 NTSC 空间	6		
3.2.3 RGB 变换到 HSV 空间	6		
3.2.4 RGB 变换到 HSI 空间	7		
3.3 图像的旋转(任意角度)、缩放、平移	7		
3.4 三种平滑滤波	7		
3.4.1 线性平滑滤波：邻域平均	7		
3.4.2 线性平滑滤波：高斯平均	7		

\*(E-mail: liuqian14@mails.tsinghua.edu.cn) 清华大学  
电子工程系

## 摘要

本次数字图像处理大作业涉及两道基础题和一道综合应用题。两道基础题要求基于 MATLAB 分别实现图像消噪和图像水印，一道综合应用题要求设计开发一个功能比较全面的数码照片处理程序 GUI，对课程所学的图像处理的基本方法进行综合和实现。本文将详细分析相关图像处理算法，并给出相应的处理结果。

## 1 图像消噪

### 1.1 问题描述

#### 1. 添加噪声

要求实现对 Lena 图像添加高斯噪声和椒盐噪声，参数自定。

#### 2. 消除噪声

对上述含有高斯噪声和椒盐噪声的两幅图像分别采用均值滤波和中值滤波进行消噪处理。

要求给出：

- 1、给出添加高斯和椒盐噪声后的图像，并说明所加噪声的相关参数；
- 2、给出原始图像和对于两种噪声图像分别采用两种方法消噪后的图像；
- 3、计算消噪后的均方根误差 ( $e_{rms}$ ) 和峰值信噪比 (PSNR)。

### 1.2 算法分析

#### 1.2.1 添加噪声

##### 高斯噪声

一个高斯随机变量  $z$  的概率密度函数为：

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp -\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}$$

其中， $z$  表示图像的灰度值， $\mu$  是  $z$  的均值， $\sigma$  是  $z$  的标准差。高斯噪声的灰度值多集中在均值附近，随着离均值的距离增加而数量减少。

实现添加高斯噪声，需要生成符合高斯分布的数值，将其作为每个像素点灰度值的浮动。使用 MATLAB 生成高斯分布的函数 `normrnd()` 即可生成高斯噪声，添加到图像上即可。

##### 椒盐噪声

椒盐噪声，也称为（双极性）脉冲噪声，其概率密度函数为：

$$p(z) = \begin{cases} P_a & z = a \\ P_b & z = b \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

脉冲噪声可以是正的或者负的，因为脉冲的影响常比图像信号强度大，脉冲信号一般量化为图像中的极限灰度，显示为白或者黑。实际中，一般假设  $a$  和  $b$  分别是图像中所允许取到的最大灰度和最小灰度，比如，若  $b > a$ ，则灰度  $b$  在图像中显示为白色点，灰度  $a$  在图像中显示为黑色。

MATLAB 中灰度图像的存储数据类型为 `uint8` 矩阵，因而选取  $a = 0$ ,  $b = 255$ 。题目中的椒盐噪声应当特指双极性脉冲噪声，即  $P_a$  和  $P_b$  的取值均不为 0，此时噪声就像椒盐粒随机撒在图像中。

#### 1.2.2 消除噪声

##### 均值滤波

均值滤波器是一大类空域噪声滤波器，包括算术均值、几何均值、调和均值和逆调和均值等滤波器。本文以算术均值滤波器为例对以上两种噪声进行滤除。

算数均值滤波器的基本思路为：给定一个  $m \times n$  的模板，对于图像  $f(x, y)$ ，模板覆盖的以  $(x, y)$  为中心的邻域记为  $N(x, y)$ ，求邻域  $N(x, y)$  的均值替换  $(x, y)$  原来的灰度值。

##### 中值滤波

中值滤波器也包括多种，均属于非线性滤波器。中值滤波依靠模板排序实现。其算法思路为：给定一个  $m \times n$  的模板，对于图像  $f(x, y)$ ，模板

覆盖的以  $(x, y)$  为中心的邻域记为  $N(x, y)$ , 对于  $N(x, y)$  包含的灰度值, 求中值作为  $(x, y)$  的新灰度值。

#### 相关说明

**1:** 模板是滤波器的重要参数, 一般选择边长为奇数的正方形模板。本文选择的模板大小为  $3 \times 3$ 。

**2:** 在使用模板处理图像时, 图像边缘处的像素领域不包含完整的 8 个邻点, 因而需要扩展图像。本文采取的扩展方法是对称法, 将像素灰度值以原图像的边界为轴进行对称操作, 先进行横向扩展, 再进行纵向扩展。对扩展后的图像进行模板操作, 最终得到与原图像大小相同的图像。

### 1.3 实验结果及讨论分析

1、给出添加高斯和椒盐噪声后的图像, 并说明所加噪声的相关参数。

解:

a) 添加高斯噪声后的图像见图1中的第 2 张图, 添加椒盐噪声后的图像见图2的第 2 张图。

b) 高斯噪声的参数为: 均值  $\mu = 20$ , 方差  $\sigma^2 = 25$ ; 椒盐噪声的参数为:  $P_a = 0.1, P_b = 0.2$ 。



图 1: 高斯噪声的添加与消除

2、给出原始图像和对于两种噪声图像分别采用

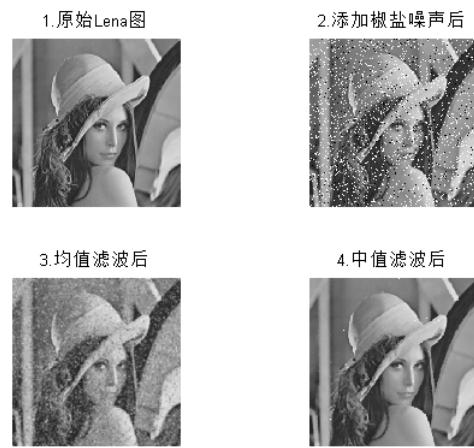


图 2: 椒盐噪声的添加与消除

两种方法消噪后的图像。

解:

图1、图2中的第 3 和第 4 张图分别是高斯噪声和椒盐噪声下使用均值滤波和中值滤波消噪后得到的图像。与均值滤波相比, 中值滤波对椒盐噪声有更好的消除效果。

3、计算消噪后的均方根误差 ( $e_{rms}$ ) 和峰值信噪比 (PSNR)。

解:

表1和表2分别是消噪后的均方根误差和峰值信噪比的结果。从两个指标上得到结论: 均值滤波和中值滤波对高斯噪声消除效果基本相同, 但对于椒盐噪声, 中值滤波效果明显优于均值滤波。

	高斯噪声	椒盐噪声
均值滤波	15.4620	9.7889
中值滤波	15.5959	3.7211

表 1: 消噪后的均方根误差 ( $e_{rms}$ )

	高斯噪声	椒盐噪声
均值滤波	24.3455	28.3161
中值滤波	24.2706	36.7174

表 2: 消噪后的峰值信噪比 (PSNR)

## 2 图像水印

### 2.1 算法分析

#### 2.1.1 单幅迭代混合

首先对图像混合进行定义。考虑载体图像  $f(x, y)$  和拟隐藏图像  $x(x, y)$ , 如果  $\alpha$  是满足  $0 \leq \alpha \leq 1$  的任一实数, 则称图像

$$b(x, y) = af(x, y) + (1 - \alpha)s(x, y)$$

为图像  $f(x, y)$  和  $x(x, y)$  的参数  $\alpha$  混合。

通过混合将拟隐藏图像隐藏到载体图像后, 可以将隐藏图像通过下式恢复出来:

$$s(x, y) = \frac{b(x, y) - af(x, y)}{1 - \alpha}$$

对于图像的单幅迭代混合, 是指将前一次混合后的结果作为新的隐藏图像, 核心是混合参数, 利用多个参数进行多次混合就可得到迭代混合。

#### 2.1.2 混合图像质量和混合参数

从理论上, 根据混合图像的定义, 当混合参数接近 1 时, 混合图像  $b(x, y)$  就接近于载体图像  $f(x, y)$ ; 当混合参数接近于 0 时, 混合图像  $b(x, y)$  就接近于隐藏图像  $s(x, y)$ 。

对于数字图像, 在进行图像隐藏和恢复时会产生一些取整造成的误差, 导致混合和恢复图像的质量下降。本文中使用均方根误差 RMSE 衡量误差大小, 从而体现混合图像和恢复图像的质量。

### 2.2 实验结果及讨论分析

1. 以 *Girl.bmp* 为载体图像, *Couple.bmp* 为隐藏图像实现混合参数  $\alpha$  为 0.7 的迭代混合, 并计算此时恢复图像的均方根误差。

本文使用的载体图像为图3中的第 1 幅图像, 隐藏图像为3中的第 2 幅图像, 混合参数  $\alpha$  为 0.7。

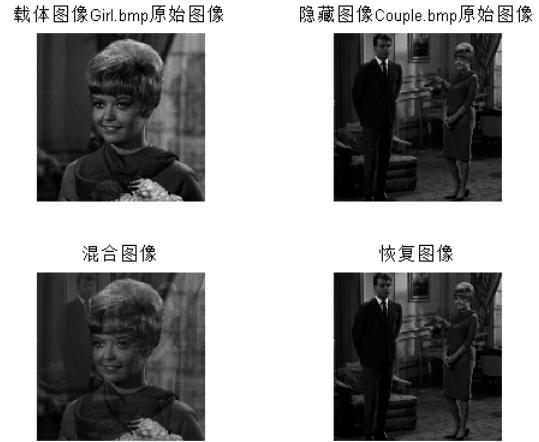


图 3: 图像隐藏与恢复

混合后, 得到图3中的第 3 幅图像。再根据恢复公式, 即可得到图3中的第 4 幅图像。

但是图3中的第 3、4 幅图像只是迭代 1 次得到的结果。为了体现单幅迭代混合中“迭代”的概念, 可以将混合后的图像继续迭代, 混合参数  $\alpha$  仍然取为 0.7。图4中展示了迭代 1、2、3 次后得到的混合图像和相应恢复得到的隐藏图像。从图中可以看出, 第 3 次迭代后恢复图像的质量已经明显比迭代 1 次的结果下降很多。表3分别给出了对应的恢复图像的均方根误差 RMSE, 以此衡量恢复图像的质量。

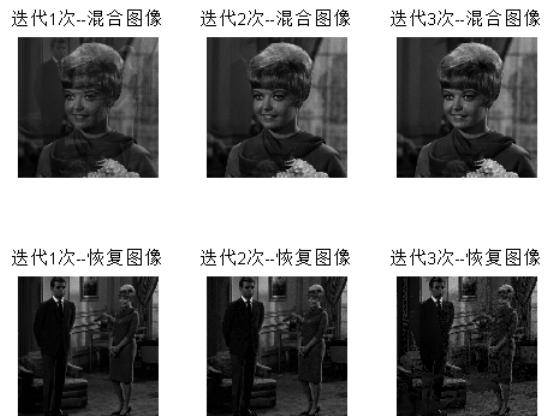


图 4: 单幅迭代混合

迭代次数	1 次	2 次	3 次
均方根误差 (RMSE)	0.972	3.204	10.607

表 3: 单幅迭代混合后恢复的 RMSE

2. 以 0.1 为间隔, 计算如教材图 11.5.2 和图 11.5.3 所示的曲线。

改变混合参数  $\alpha$ , 得到对应混合图像, 再使用恢复公式从中得到恢复图像, 计算均方根误差, 即可作出混合、恢复图像质量与混合参数的关系。

图5中, 左图为载体图像均方根误差随混合参数  $\alpha$  的变化曲线, 右图为恢复图像均方根误差随  $\alpha$  的变化曲线。图6是图5中两张图之和, 从图中可以得出当  $\alpha$  约为 0.92 时, 均方根误差和最小。

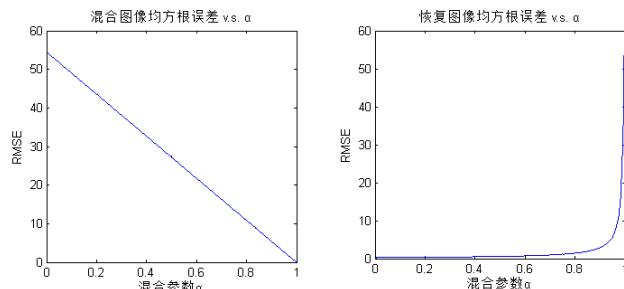


图 5: 混合图像质量和混合参数的关系

### 3 数码照片处理程序开发

本文中数码照片处理程序使用 MATLAB 进行开发, 主要是设计图形用户界面 (GUI), 并且结合一些基本的图像处理功能。后文将详细分析每个功能, 简要介绍算法及实现方法, 并以 Lena 彩色图像为例展示实现效果。

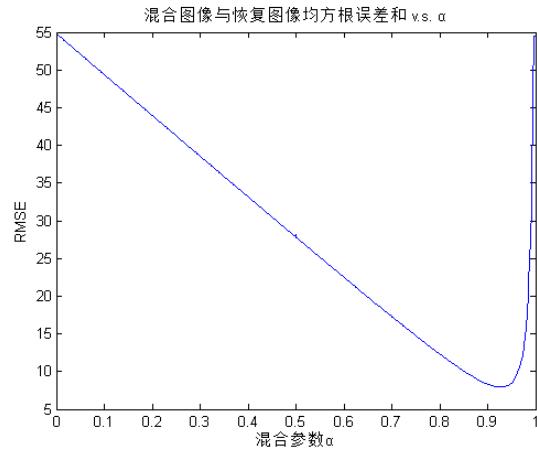


图 6: 最佳混合隐藏的曲线

#### 3.1 直方图操作

##### 3.1.1 绘制灰度直方图

MATLAB 中, 绘制灰度直方图可以直接使用 `imhist()` 函数。图7即为 Lena 彩色图转为灰度图后的直方图。

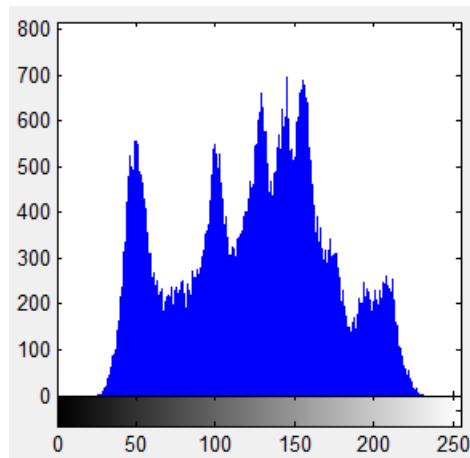


图 7: Lena-灰度直方图

##### 3.1.2 直方图均衡化

MATLAB 中, 绘制灰度直方图可以直接使用 `histeq()` 函数。图8即为 Lena 彩色图直方图均

衡化后的结果。图9展示了均衡化后的灰度图与原灰度图的对比。

## 3.2 颜色空间变换

最常用的颜色空间即为 RGB 空间和灰度空间, MATLAB 中有 `rgb2gray()` 函数将 RGB 图像转换成灰度图像。除此之外, 在图像、视频领域还有很多颜色空间或模型, 本文选取 YCbCr、NTSC、HSV 和 HSI 四种颜色模型。由于图像在读入 MATLAB 时默认为 RGB 空间模型, 因而本文实现的是 RGB 到其他空间模型的变换。

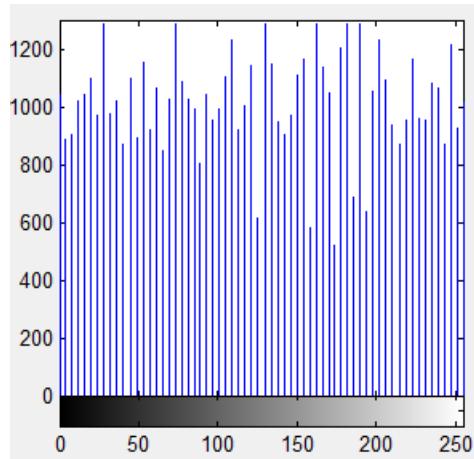


图 8: Lena–均衡化后的直方图

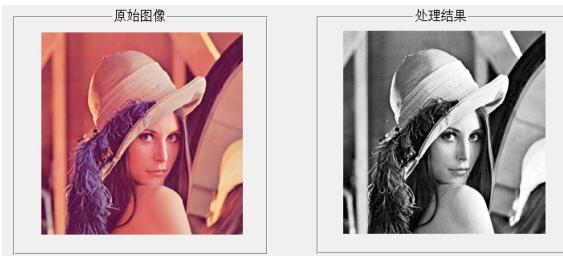


图 9: Lena–直方图均衡化前后图像

### 3.2.1 RGB 变换到 YCbCr 空间

YCbCr 是一种视频彩色模型, 其中, Y 代表亮度分量, Cb 色度分量表示蓝色部分与亮度值

之差, Cr 色度分量表示红色部分与亮度值之差。MATLAB 中有 `rgb2ycbcr()` 函数, 可以直接进行颜色空间变换。图10展示了 Lena 彩色图变换前后的结果。

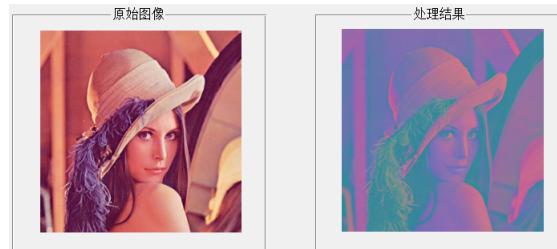


图 10: Lena–RGB 空间转换到 YCbCr 空间

### 3.2.2 RGB 变换到 NTSC 空间

NTSC 是一种不同制式的色度三角形。MATLAB 中有 `rgb2ntsc()` 函数, 可以直接进行颜色空间变换。图11展示了 Lena 彩色图变换前后的结果。

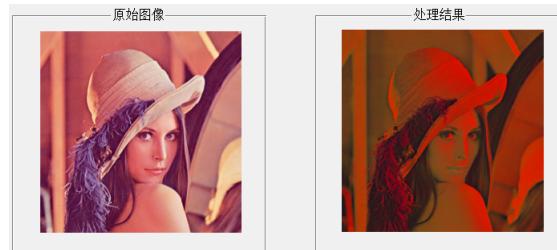


图 11: Lena–RGB 空间转换到 NTSC 空间

### 3.2.3 RGB 变换到 HSV 空间

HSV 模型中颜色的参数分别是:色调 (H), 饱和度 (S) 表示颜色接近光谱色的程度, 明度 (V) 表示颜色明亮的程度。MATLAB 中有 `rgb2 hsv()` 函数, 可以直接进行颜色空间变换。图12展示了 Lena 彩色图变换前后的结果。



图 12: Lena–RGB 空间转换到 HSV 空间

### 3.2.4 RGB 变换到 HSI 空间

HSI 模型中颜色的参数分别是: 色调 (H), 饱和度 (S) 表示颜色接近光谱色的程度, 强度 (I)。

MATLAB 没有对应的空间变换函数, 因而自己根据相应的转换公式完成了 `rgb2hs()` 函数, 直接进行颜色空间变换。具体变换公式如下:

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)[\min(R, G, B)]}$$

$$H = \arccos \left\{ \frac{[(R - G) + (R - B)]/2}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

图13展示了 Lena 彩色图变换前后的结果。

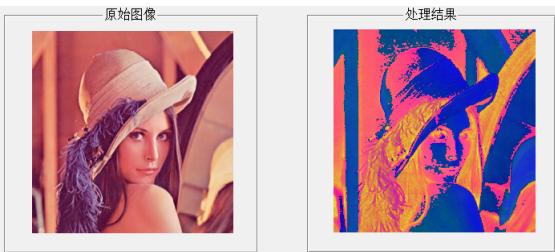


图 13: Lena–RGB 空间转换到 HSI 空间

## 3.3 图像的旋转(任意角度)、缩放、平移

旋转、缩放和平移是图像最常用的坐标变换, 并且在 MATLAB 中均有对应的函数(如表4所示)。

在 GUI 设计中, 所有函数的参数都通过 GUI 中的 slider 进行控制输入。并且旋转和缩放还有

变换	函数
旋转	<code>imrotate()</code> : 最近邻插值, 双线性插值
缩放	<code>imscale()</code> : 最近邻插值, 双线性插值
平移	<code>translate()</code>

表 4: MATLAB 中旋转、缩放、平移函数

“最近邻插值”“双线性插值”两个选项。各函数的效果如图14至16所示。

## 3.4 三种平滑滤波

本文实现了彩色图像的三种平滑滤波, 其中两种线性平滑滤波, 一种非线性平滑滤波。

### 3.4.1 线性平滑滤波: 邻域平均

彩色图像的均值滤波也采用模板操作进行邻域平均。MATLAB 中图像的滤波可以由两个函数组合实现: 首先函数 `fspecial()` 可以设计出所需的模板, 模板大小为  $3 \times 3$ , 邻域平均下, 模板的类型选择为 “average”。将模板作为 `imfilter()` 函数的输入参数, 进行滤波操作。滤波时需要选择边界的处理方式, 本文同一选择 “replicate” 方式。图17展示了邻域平均平滑滤波前后的 Lena 图像。

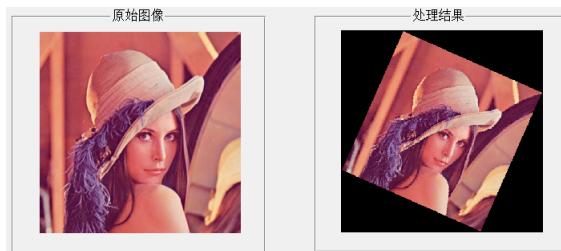


图 14: 旋转

### 3.4.2 线性平滑滤波: 高斯平均

与邻域平均平滑滤波类似, 首先使用函数 `fspecial()` 设计出所需的模板, 模板大小为  $3 \times 3$ , 模板的类型选择为 “gaussian”。然后将模板作

为 `imfilter()` 函数的输入参数，进行滤波操作。图18展示了高斯平均平滑滤波前后的 Lena 图像。

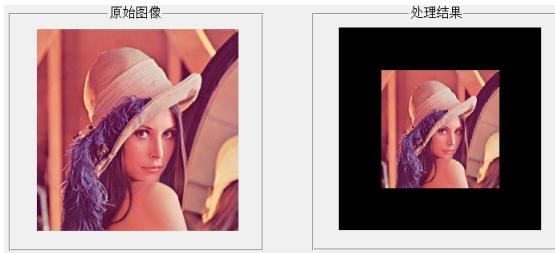


图 15: 缩放



图 18: 高斯平均平滑滤波前后

### 3.4.3 非线性平滑滤波：中值滤波

MATLAB 中只有针对灰度图像的中值滤波函数 `medfilt2()`，模板大小设定为  $3 \times 3$ 。对于彩色图像，可以分别对 R、G、B 三个维度进行中值滤波。图19展示了中值滤波前后的 Lena 图像。

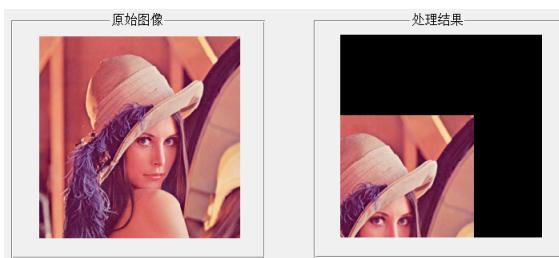


图 16: 平移

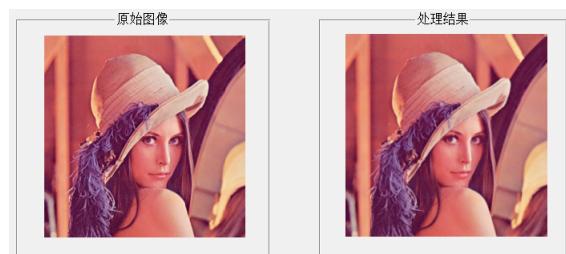


图 19: 中值滤波前后

## 3.5 两种锐化滤波

本文使用两个算子实现锐化滤波：Laplace 算子和 Sobel 算子。在 MATLAB 中，两种算子在 `fspecial` 函数对应的参数分别为 “`laplace`” 和 “`sobel`”，再使用 `imfilter()` 函数实现模板卷积操作即可实现锐化滤波。图20和21分别展示了两种锐化滤波在 Lena 图上的效果。

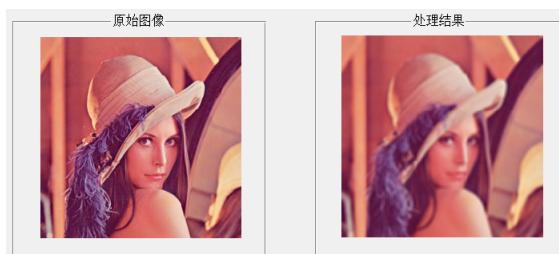


图 17: 邻域平均平滑滤波前后

### 3.6 低通和高通滤波

理想低通滤波会产生振铃现象，本文实现的低通和高通滤波器均为巴特沃斯滤波器，使得高

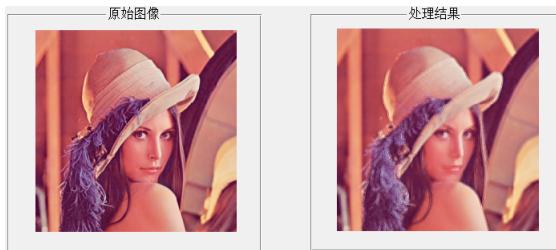


图 20: Laplace 滤波前后

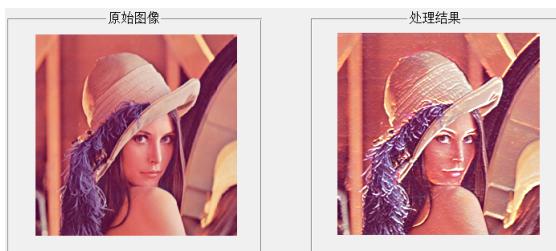


图 21: Sobel 滤波前后

低频率之间的过渡更加光滑。

### 3.6.1 巴特沃斯低通滤波器

n 阶巴特沃斯低通滤波器的滤波函数为:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}}$$

其中  $D(u, v)$  是从点  $(u, v)$  到频率平面原点的距离。本文根据上式实现了灰度图像的低通滤波。图22展示了 4 阶巴特沃斯低通滤波器在 Lena 图上的滤波效果。

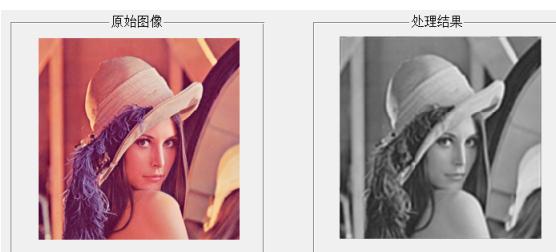


图 22: 4 阶巴特沃斯低通滤波前后

### 3.6.2 巴特沃斯高通滤波器

对应地, n 阶巴特沃斯高通滤波器的滤波函数为:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u, v)]^{2n}}$$

图23展示了 4 阶巴特沃斯高通滤波器在 Lena 图上的滤波效果。

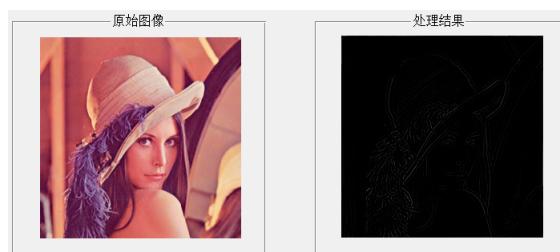


图 23: 4 阶巴特沃斯高通滤波前后

### 3.7 灰度图像对比度增强

增强图像对比度可以通过增强图像中各部分之间的反差, 具体来说可以通过增加图像中某两个灰度值之间的动态范围来实现。MATLAB 中, imadjust() 函数包含所需参数, 能够实现对比度增强。图24是 Lena 灰度图像对比度增强后的结果。

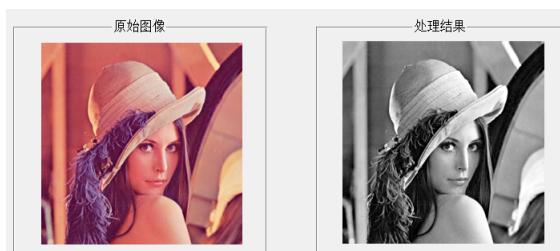


图 24: 灰度图像对比度增强

### 3.8 Gamma 校正

伽马 (Gamma) 校正借助指数变换进行灰度映射，一般形式可以表示为：

$$t = Cs^\gamma$$

当  $\gamma > 1$  时，输入中较宽的低灰度范围被映射到输出中较窄的灰度范围； $\gamma < 1$  时，将输入中较窄的低灰度范围映射到输出中较宽的灰度范围。

MATLAB 中 gamma 校正可以通过 `imadjust()` 函数实现，第 5 个参数即为参数  $\gamma$  的值。图25给出了某一  $\gamma$  下校正的结果。

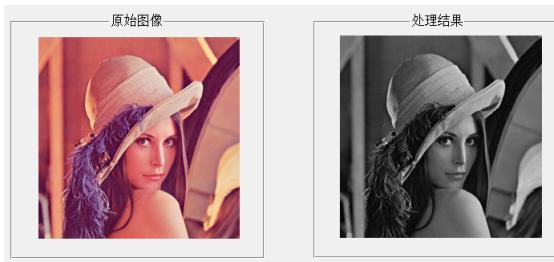


图 25: Gamma 校正

### 3.9 GUI 整体设计

本文使用 MATLAB 实现图形用户界面 (GUI)，并将以上功能全部添加到 GUI 中，实现对输入图像的简单处理。

附录中图26给出了 GUI 的整体界面。现针对 GUI 有以下几点说明：

1. GUI “打开图片”默认为 RGB 图片，因为很多功能要求对彩色图像进行处理；如果打开灰度图像，界面会弹出提示框。
2. GUI 支持将处理得到的图像另存，只需像普通软件一样，点击“保存图片”，输入文件名并确认保存即可。
3. GUI 在对比度增强功能下支持手动调整输入参数的功能。
4. GUI 中用户的交互主要分为三类。第 1 类是“按钮”类型，只需点击写有相应文字的按钮，即

可对图像进行处理；第 2 类是输入框，只需在框内填写需要的数字（比如巴特沃斯滤波器的阶数）即可；第 3 类是“slider”类型，通过点击和拖动即可调整输入参数的大小，包括位置偏移、角度、方向等等。

## 4 总结

本次数字图像处理大作业，基础题中不依赖 MATLAB 自带的图像处理函数实现了图像消噪和图像水印，研究了不同滤波方法消噪的性能和适用情形。

综合应用题设计开发了一个功能全面的数字图像处理程序 GUI，使用 MATLAB 自带函数和自己编写的函数实现图像处理的不同功能。

通过本次大作业，学习掌握了图像处理的基本方法和常用函数，并提高了 GUI 设计的能力，在数字图像处理理论的应用上积累了一定经验。

## 参考文献

- [1] 章毓晋. 图像处理 (图像工程上册) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 马奎斯, 章毓晋 (译). 实用 MATLAB 图像和视频处理 [M]. 清华大学出版社, 2013.

## 5 附录

### 5.1 GUI 完整界面

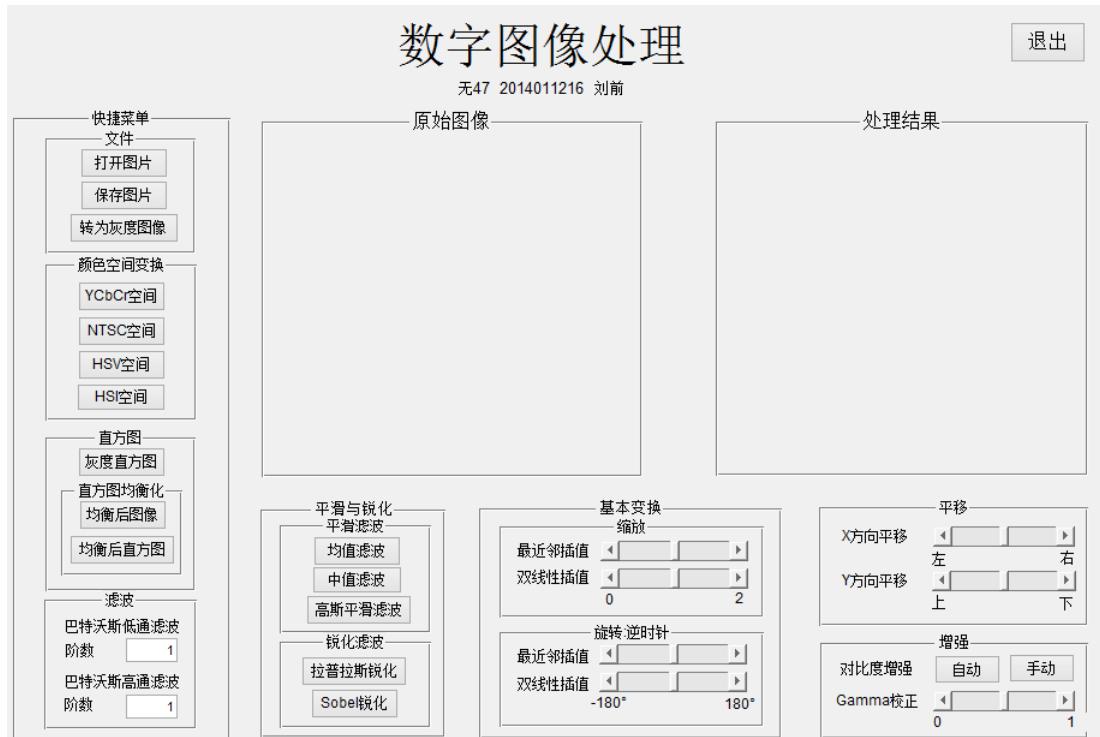


图 26: 数字图像处理程序-图形用户界面

## 5.2 程序说明

### 5.2.1 代码清单

文件夹名	脚本名称	说明
第 2 题图像消噪	meanfilter.m	均值滤波函数
第 2 题图像消噪	medifilter.m	中值滤波函数
第 2 题图像消噪	basic2.m	核心脚本, 得出结论
第 8 题图像水印	basic8.m	核心脚本, 得出结论
综合题	butterhp.m	巴特沃斯高通滤波器
综合题	butterlp.m	巴特沃斯低通滤波器
综合题	rgb2hsim.m	RGB 到 HSI 空间转换
综合题	GUI.m	综合功能, 运行得到 GUI 界面

表 5: 代码清单

### 5.2.2 函数说明

函数名称	输入参数	参数说明	输出
meanfilter.m	(img, n)	img: 输入图像; n: 模板边长	处理后图像
medifilter.m	(img, n)	img: 输入图像; n: 模板边长	处理后图像
butterhp.m	(img_gray, n)	img: 输入图像; n: 高通滤波器阶数	处理后图像
butterlp.m	(img_gray, n)	img: 输入图像; n: 低通滤波器阶数	处理后图像
rgb2hsim.m	(rgb)	输入 RGB 彩色图像	HSI 图像

表 6: 函数说明

### 5.2.3 程序使用说明

为了方便老师/助教检验代码的正确性，现对代码的使用进行以下说明。

基础题 2，请运行“基础题/第 2 题图像消噪”文件夹内的 basic2.m 脚本，即可得到结果。

基础题 8，请运行“基础题/第 8 题图像水印”文件夹内的 basic8.m 脚本，即可得到结果。

综合题，请运行“基础题/第 8 题图像水印”文件夹内的 GUI.m 脚本，即可得到图形用户界面进行操作。

如果出现问题，请联系 17888833508 或 liuqian14@mails.tsinghua.edu.cn。谢谢！