

# 《数字图像处理与分析》实验内容

**实验总学时：**20 学时

**实验目的：**本实验的目的是通过实验进一步理解和掌握数字图像处理与分析的原理和方法。通过分析、实现现有的图像处理算法，学习和掌握常用的图像处理与分析技术。

**实验内容：**数字图像处理的实验内容主要包括五个方面：（1）图像几何变换。（2）对图像进行空间域滤波，提高图像视觉质量，以便于人眼观察、理解或用计算机对其进一步处理。（3）对图像作频域变换，进行频率域滤波增强处理。（4）在空间域和频域提取、描述和分析图像中所包含的特征，便于计算机对图像作进一步的分析和理解，经常作为模式识别和计算机视觉的预处理。这些特征包括很多方面，如图像的频域特性、边界特征等。（5）了解常见的图像退化模型和相应的图像恢复算法，从本质上改善图像质量；对图像进行分析，采用阈值法、区域分裂合并法等分割算法，获取图像中感兴趣目标区域。

## 实验一 图像几何变换

实验内容及实验原理：

### 1、 图像的平移

图像平移就是将图像中所有的点都按照指定的平移量水平、垂直移动。如：设  $(x_0, y_0)$  为原图像的一点，图像水平平移量为  $tx$ ，垂直平移量为  $ty$ ，则平移后坐标变为  $(x_1, y_1)$ ，显然， $(x_0, y_0)$  和  $(x_1, y_1)$  有如下关系：

$$\begin{cases} x_1 = x_0 + tx \\ y_1 = y_0 + ty \end{cases}$$

用矩阵表示如下：

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & tx \\ 0 & 1 & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

要求：输入一幅图像，根据输入的水平 and 垂直平移量，显示平移后的图像。

### 2、图像的旋转

图像绕中心点（原点）旋转的公式如下：

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

图像如果绕一个指定点  $(a, b)$  旋转，则先要将坐标系平移到该点，再进行旋转，然后平移回新的坐标原点。则旋转变换表达式为：

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a \\ 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -a \\ 0 & 1 & -b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

要求：输入一幅图像，根据输入的旋转角度参数，绕图像中心点旋转，分别用最近邻插值和双线性插值显示旋转后的图像。

### 3、图像的缩放

假设图像  $x$  轴方向缩放比率为  $c$ ， $y$  轴方向缩放比率为  $d$ ，那么原图中，点  $(x_0, y_0)$  对应于新图中的点  $(x_1, y_1)$  的转换矩阵为：

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

要求：输入一幅图像，根据输入的水平 and 垂直缩放量，分别用最近邻插值和双线性插值，显示缩放后的图像。

#### 4、图像几何失真校正

要求：输入图像 alphabet1.jpg 及几何失真图像 alphabet2.jpg，设置控制点进行几何失真校正，显示校正后的图像。

## 实验二 图像点处理增强

实验内容及实验原理：

#### 1、灰度的线性变换

灰度的线性变换就是将图像中所有的点的灰度按照线性灰度变换函数进行变换。该线性灰度变换函数是一个一维线性函数：

$$f(x) = f_A \cdot x + f_B$$

灰度变换方程为：

$$D_B = f(D_A) = f_A \cdot D_A + f_B$$

其中参数  $f_A$  为线性函数的斜率， $f_B$  为线性函数的在 y 轴的截距， $D_A$  表示输入图像的灰度， $D_B$  表示输出图像的灰度。

要求：输入一幅图像，根据输入的斜率和截距进行线性变换，并显示。

#### 2、灰度拉伸

灰度拉伸和灰度线性变换相似。不同之处在于它是分段线性变换。表达式如下：

$$f(x) = \frac{y_1}{x_1} x ; \quad x < x_1$$

$$f(x) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 ; \quad x_1 \leq x \leq x_2$$

$$f(x) = \frac{255 - y_2}{255 - x_2} (x - x_2) + y_2 ; \quad x > x_2$$

其中， $(x_1, y_1)$  和  $(x_2, y_2)$  是分段函数的转折点。

要求：输入一幅图像，根据选择的转折点，进行灰度拉伸，显示变换后的图像。

#### 3、灰度直方图

灰度直方图是灰度值的函数，描述的是图像中具有该灰度值的像素的个数，其横坐标表示像素的灰度级别，纵坐标表示该灰度出现的频率(像素的个数)。

要求：输入一幅图像，显示它的灰度直方图，可以根据输入的参数（上限、下限）显示特定范围的灰度直方图。

#### 4、直方图均衡：要求

- 1) 显示一幅图像 pout.bmp 的直方图；
- 2) 用直方图均衡对图像 pout.bmp 进行增强；
- 3) 显示增强后的图像及其直方图。
- 4) 用原始图像 pout.bmp 进行直方图规定化处理，将直方图规定化为高斯分布；
- 4) 显示规定化后的图像及其直方图。

### 实验三 图像空间域滤波增强

实验内容及实验原理：

1. 用均值滤波器（即邻域平均法）去除图像中的噪声；
2. 用超限邻域平均法去除图像中的噪声；
3. 用中值滤波器去除图像中的噪声；
4. 用超限中值滤波器去除图像中的噪声；
5. 比较四种方法的处理结果。
6. 利用常用的边缘检测算子提取图像边缘。

实验步骤：

用原始图像 lena.bmp 或 cameraman.bmp 分别加产生的 3%椒盐噪声、高斯噪声、随机噪声合成有噪声的图像并显示；

1. 用均值滤波器去除图像中的噪声（选 3x3 窗口）；

$$f(x_0, y_0) = \frac{1}{N \times N} \sum f(x, y)$$

2. 用超限邻域平均法去除图像中的噪声：如果某个像素的灰度值大于其邻域像素的平均值，且达到了一定水平，则判断该像素为噪声，继而用邻域像素的均值取代这一像素值，

$$g(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{N \times N} \sum_{(x, y) \in A} f(x, y), & \left| f(i, j) - \frac{1}{N \times N} \sum_{(x, y) \in A} f(x, y) \right| > T \\ f(i, j), & \text{其它} \end{cases}$$

T 为某一阈值

3. 用中值滤波器去除图像中的噪声(选 3x3 窗口做中值滤波)；

$$f(x_0, y_0) = \text{Med}\{f(x, y) \mid x \in [x_0 - N, x_0 + N], y \in [y_0 - N, y_0 + N]\}$$

4. 用超限中值滤波器去除图像中的噪声：当某个像素的灰度值超过窗口中像素灰度值排序中间的那个值，且达到一定水平时，则判断该点为噪声，用灰度值排序中间的那个值来代替；否则还是保持原来的灰度值。
5. 将四种处理方法的结果与原图比较，注意不同处理方法对边缘的影响。
6. 边缘检测主要有以下几种常用的算子：

- 1) Roberts 算子
- 2) Sobel 算子
- 3) Prewitt 算子
- 4) 拉普拉斯算子
- 5) Canny 算子

- 1) Roberts 算子

它由下式给出：

$$G[F(x, y)] \approx |F(x, y) - F(x+1, y+1)| + |F(x+1, y) - F(x, y+1)|$$

其中  $F(x,y)$  是具有整数像素坐标的输入图像。

## 2) Sobel 算子

图像中的每个点都用下面的两个模板做卷积，一个对通常的垂直边缘响应最大，另一个对水平边缘响应最大，两个卷积的最大值作为该点的输出位。

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

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

## 3) Prewitt 算子

下面的两个模板形成了 Prewitt 算子，和使用 Sobel 算子的方法一样。

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

## 4) 拉普拉斯算子

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(i-1, j) + f(i+1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - 4f(i, j)$$

分别用模板：

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ 和 } \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \text{ 进行边缘检测}$$

(用拉普拉斯算子：将输出图灰度值范围通过尺度变换变回到：0—255 范围；)

## 5) Canny 算子

- ①用高斯滤波器平滑图像；
- ②用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向；
- ③对梯度幅值进行非极大值抑制；
- ④用双阈值算法检测和连接边缘。

要求：要求对 blood.bmp、lena.bmp，分别用前面所述的算子进行边缘检测，显示边缘检测结果图像。

# 实验四 图像变换及频域滤波增强

掌握 Fourier 变换、反变换的算法实现，并验证 Fourier 变换的性质，初步理解 Fourier 变换的物理意义。掌握频域空间的各种滤波器。

1. 用 Fourier 变换算法对图像作二维 Fourier 变换。
2. 用 Fourier 反变换算法对图像作二维 Fourier 反变换。
3. 评价人眼对图像幅度特性和相位特性的敏感度。
4. 设计频域平滑滤波器，对图像进行滤波。
5. 设计频域锐化滤波器，对图像进行滤波。

实验内容及实验原理：

1. 用 Fourier 变换算法，对 rect1.bmp 和 rect2.bmp 图像作二维 Fourier 变换；并显示其频谱。要求对幅度作变换（由于高、低频幅度相差很大），将低频移到中心点。
2. 用 Fourier 系数的幅度进行 Fourier 反变换，并显示其图像；
3. 用 Fourier 系数的相位进行 Fourier 反变换，并显示其图像；比较 3、4 的结果，评价人眼对图像幅频特性和相频特性的敏感度。
4. 将图像的 Fourier 变换置为其共轭后进行反变换，显示其图像，并与原始图像比较其差异。
5. 对图像 pout.bmp、Gir1.bmp 分别采用理想低通滤波器、巴特沃斯低通滤波器和高斯低通滤波器（截止频率自选），再做反变换，观察不同截止频率下采用不同低通滤波器得到的图像与原图像的区别，特别注意振铃效应。
6. 对原始图像 Gir1.bmp 分别加椒盐噪声、高斯噪声，产生有噪声图像，利用上述低通滤波器进行去噪，对比去噪效果。
7. 对图像 pout.bmp、Gir1.bmp 分别采用高通滤波器、巴特沃斯高通滤波器和高斯高通滤波器（截止频率自选），再做反变换，观察不同截止频率下采用不同高通滤波器得到的图像与原图像的区别，特别注意振铃效应。
8. 对图像 pout.bmp 经过高频增强滤波，再进行直方图均衡化，显示结果图像；对图像 pout.bmp 先进行直方图均衡化，再经过高频增强滤波，显示结果图像；观察对比不同处理顺序对结果图像的影响。

## 实验五 图像恢复与图像分割

掌握常见的图像退化模型，以及利用逆滤波和维纳滤波来消除运动模糊；掌握图像分割的基本方法和用阈值法、区域分裂合并法进行图像分割的算法实现。

实验内容及实验原理：

1. 对图像 flower2.jpg 加高斯噪声，产生有噪声图像，分别对其采用逆滤波和维纳滤波进行恢复，显示、对比分析恢复结果图像。
2. 对图像 lena.bmp 采用大津法（OTSU）自动选取阈值进行分割，显示分割二值化结果图像。

OTSU 是基于最大类间方差的自适应阈值选取法，Matlab 工具箱提供的 graythresh 函数求取阈值采用的正是 Ostu 法。

OTSU 算法步骤如下：

- 1) 统计灰度级中每个像素在整幅图像中的个数。
- 2) 计算每个像素在整幅图像的概率分布。
- 3) 对灰度级进行遍历搜索，计算当前灰度值下前景背景类间概率。
- 4) 通过目标函数计算出类内与类间方差下对应的阈值。

对于图像  $I(x,y)$ ，前景(即目标)和背景的分割阈值记作  $T$ ，属于前景的像素点数占整幅图像的比例记为  $\omega_0$ ，其平均灰度  $\mu_0$ ；背景像素点数占整幅图像的比例为  $\omega_1$ ，其平均灰度为  $\mu_1$ 。图像的总平均灰度记为  $\mu$ ，类间方差记为  $g$ 。

假设图像的背景较暗，并且图像的大小为  $M \times N$ ，图像中像素的灰度值小于阈值  $T$  的像素个数记作  $N_0$ ，像素灰度大于阈值  $T$  的像素个数记作  $N_1$ ，则有：

$$\omega_0 = N_0 / (M \times N) \quad (1)$$

$$\omega_1 = N_1 / (M \times N) \quad (2)$$

$$N_0 + N_1 = M \times N \quad (3)$$

$$\omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (4)$$

$$\mu = \omega_0 * \mu_0 + \omega_1 * \mu_1 \quad (5)$$

$$g = \omega_0 * (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 * (\mu_1 - \mu)^2 \quad (6)$$

将式(5)代入式(6)，得到等价公式： $g = \omega_0 * \omega_1 * (\mu_0 - \mu_1)^2$  (7)

采用遍历的方法可以得到类间方差最大的阈值  $T$ 。

3. 对图像 `cameraman.bmp` 采用二叉树表达的迭代区域分裂合并算法进行分割。显示分割结果图像。

## 实验报告要求

每一项实验内容完成后，程序和结果由助教当面检查验收。所有实验内容完成后，请网上提交实验文档、实验程序和结果。提交方式：[zhumeng@mail.ustc.edu.cn](mailto:zhumeng@mail.ustc.edu.cn)。请同学们将所有的实验完成之后提交一个完整的实验报告，不接收单个实验的报告！

提交的实验报告需要包括以下几个部分：

1. 文档：对所做的工作给出一个文档化的详细说明，最好给出结果图或表。对于自己定义的函数一定要给出说明。如果觉得某个部分做得特别好，或者是有特色有创意的地方，请文档中说明。
2. 原程序：要求用 `MATLAB` 来完成整个实验的编码工作，源程序必须给出注释，便于检查验收。
3. 提交的实验报告的标题和附件的命名格式：学号\_姓名\_图像处理上机报告。