

浙江大学



本科实验报告

姓名:

学院: 生物医学工程与仪器科学学院

系: 生物医学工程

专业: 生物医学工程

学号:

指导教师: 吴丹

2025 年 3 月 13 日

浙江大学实验报告

课程名称： 生物医学图像处理 实验类型：

实验项目名称： 图像空间变换、强度变换及直方图均衡化

同组学生姓名：

指导老师： Li Zhao

实验地点： 教 6 - 204 实验日期： 2025 年 3 月 13 日

一、实验目的和要求

- 掌握图像仿射变换（平移、缩放、旋转、翻转）的原理及实现方法。
- 理解对数变换、幂变换对图像灰度分布的调整作用。
- 掌握直方图均衡化算法的原理及增强效果分析。
- 熟悉 MATLAB/Python 图像处理工具箱的使用。

二、实验内容和原理

1、空间变换 (Project 1)

仿射变换：通过矩阵运算对图像进行几何变换，包括平移、缩放、旋转和翻转。

- 平移：沿垂直方向移动图像像素。
- 缩放：将图像尺寸缩小为原尺寸的 $1/2$ 。
- 旋转：绕原点逆时针旋转 45° ($\pi/4$)。
- 翻转：沿 x 轴或 y 轴镜像翻转。
- 复合变换：组合多个基本变换（如先旋转后平移）。

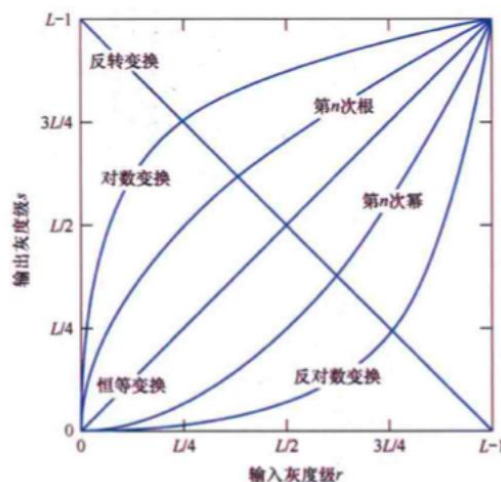
2、强度变换 (Project 2)

对数变换：增强低灰度区域对比度，公式为： $s = c * \log(1 + r)$

其中， c 为调整参数， r 为输入灰度值。

幂变换：调整图像整体明暗，公式为： $s = c * r^\gamma$

其中， γ 控制变换曲线形状。



3、直方图均衡化 (Project 3)

通过累积分布函数 (CDF) 将图像灰度分布均匀化，增强全局对比度。

三、主要仪器设备

- 1、Windows 计算机
- 2、软件：VScode
- 3、实验数据文件：lab2_CT.npy、lab2_MRI.npy (CT/MRI 脑部图像)

四、操作方法和实验步骤

1. 空间变换

- (1) 加载 MRI 图像数据。
- (2) 对图像进行垂直平移。
- (3) 缩放至原尺寸的 1/2，使用双线性插值。
- (4) 沿 y 轴翻转图像。
- (5) 绕原点旋转 45°，填充背景为黑色。
- (6) 组合变换。

2. 强度变换

- (1) 加载 CT 图像数据。
- (2) 对图像应用对数变换，调整参数 c 使视觉效果最佳。
- (3) 应用幂变换，调整 γ 值（如 0.5 或 2.0）。
- (4) 对比不同变换后的图像效果。

3. 直方图均衡化

- (1) 计算原始 CT 图像的直方图。
- (2) 对图像进行直方图均衡化。
- (3) 计算均衡化后的直方图并对比。

五、实验数据记录和处理

1、空间变换

- (1) 垂直平移

平移量：dy=50 像素

变换矩阵：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -50 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

实现效果：图像整体向下平移 50 像素，超出原图范围的区域填充黑色。

- (2) 缩放（1/2 倍）

缩放中心：图像几何中心

变换矩阵：

$$\begin{bmatrix} 2 & 0 & c_x(1-2) \\ 0 & 2 & c_y(1-2) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中 c_x 、 c_y 为原图中心坐标，采用双线性插值。

Claude 给出的建议是先将图像中心移动到原点，然后进行尺度变换，最后将图像移回原来的中心位置。

(3) 翻转

沿 x 轴翻转（上下镜像）：

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

沿 y 轴翻转（左右镜像）：

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

(4) 旋转 45°

旋转中心：图像几何中心

变换矩阵：

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & -c_x \cos \theta - c_y \sin \theta + c_x \\ -\sin \theta & \cos \theta & c_x \sin \theta - c_y \cos \theta + c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中 $\theta = 45^\circ$ 。

(5) 复合变换

执行顺序：平移 \rightarrow 缩放 \rightarrow 沿 x 轴翻转 \rightarrow 旋转

2、强度变换

(1) 对数变换

将输入图像归一化到 $[0,1]$ 范围（避免对数运算对负值无效），随后对归一化后的像素值执行 $\log(1+r)$ 运算。然后通过参数 c 调整动态范围，增强低灰度细节。

通过实验对比，最终确定 $c=2$ 时低灰度区域（如脑室、软组织）对比度最佳。

(2) 幂律变换（伽马变换）

归一化输入图像至 $[0,1]$ 范围，对像素值执行幂运算 r^γ ，并通过参数 c 调整整体亮度。

$\gamma < 1$ ：增强暗部细节（适用于高灰度图像）。

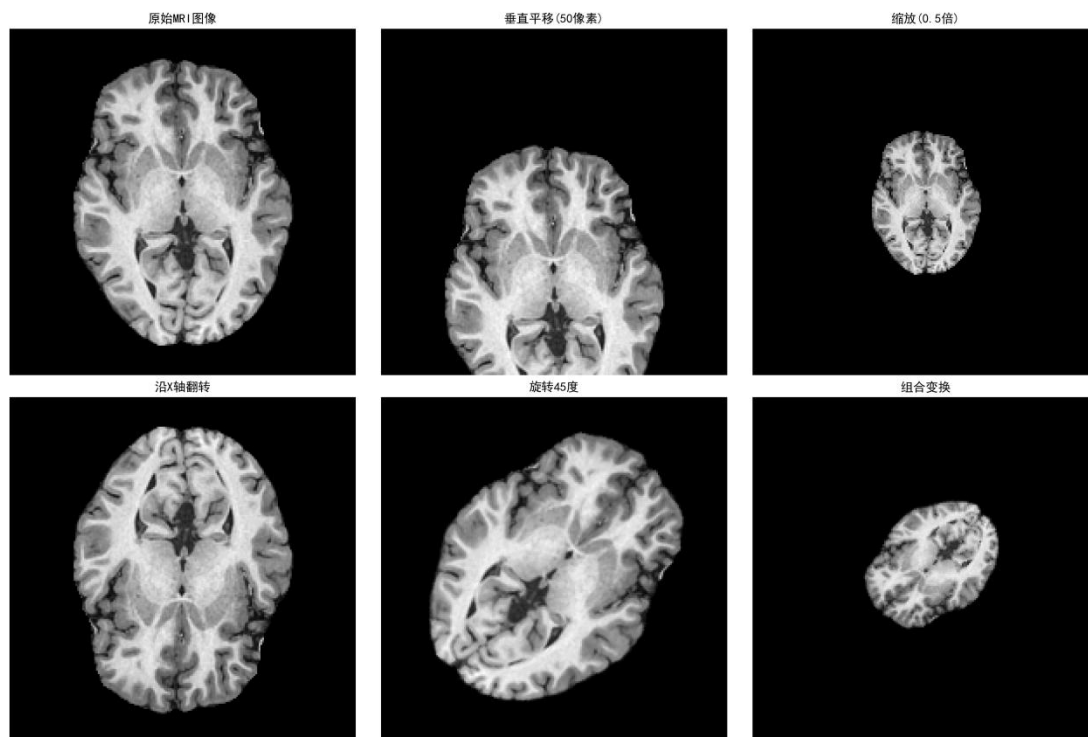
$\gamma > 1$ ：增强亮部细节（适用于低灰度图像）。

3、直方图均衡化

将图像数据归一化到 $[0,255]$ 范围并转换为 uint8 数据类型，然后设置直方图区间为 $(0, 255)$ 。对直方图进行累积求和，得到累积分布函数 CDF，然后归一化 CDF 并创建灰度映射表。

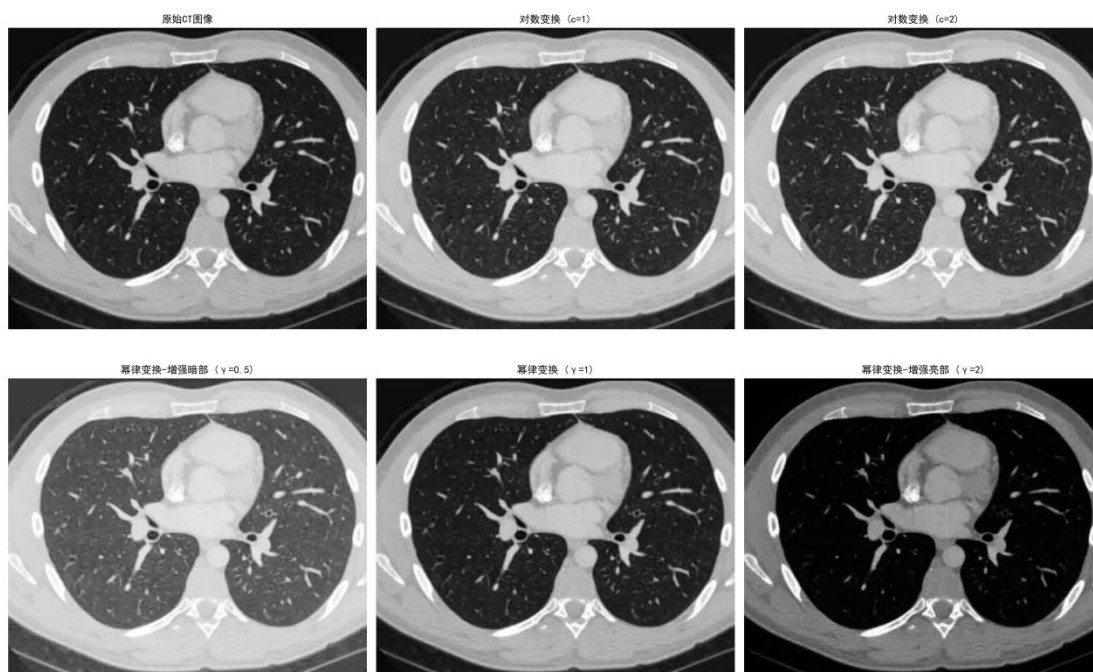
六、实验结果与分析

1、空间变换



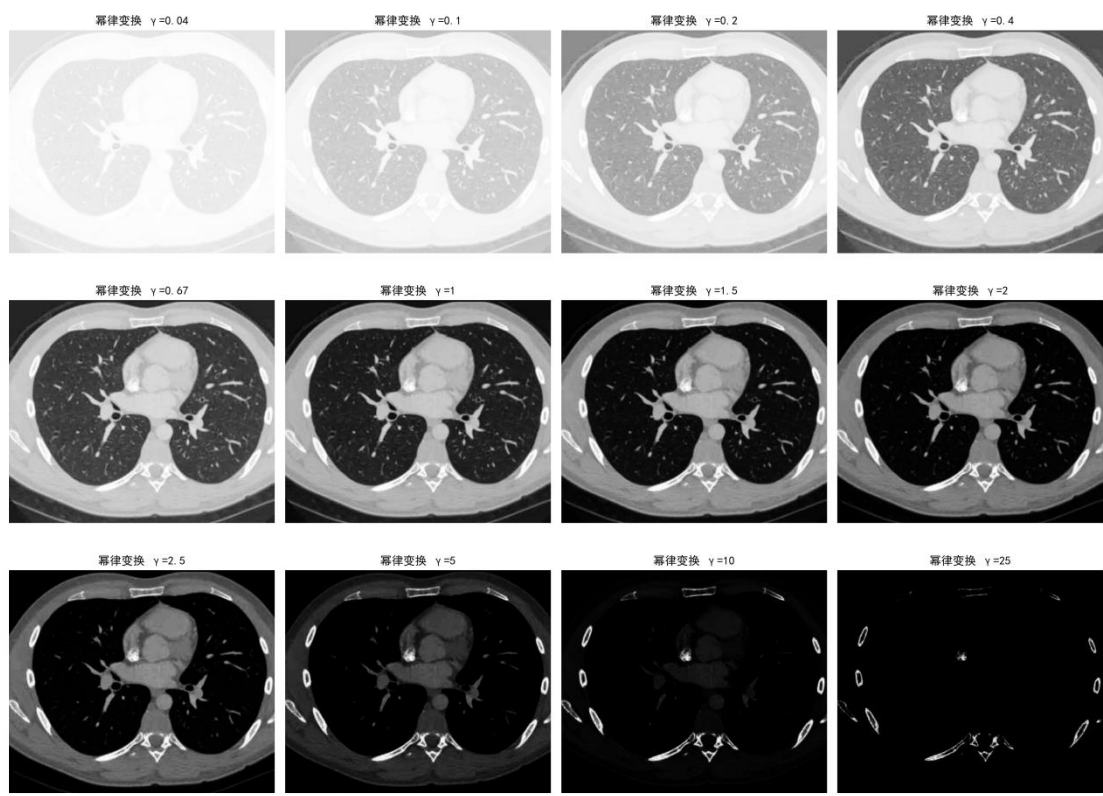
这里因为如果继续平移 50 像素会导致组合变换的图像信息丢失，所以改成了平移 10 像素。

2、强度变换



基于公式 $s = c * \log(1+r)$ 的归一化特性，当输入图像归一化到 $[0,1]$ 时，最大输出值为 $c * \log(2)$ 。实验发现当 $c=2$ 时，输出动态范围 $s \in [0, 1.386]$

可被归一化到 $[0,1]$ 且保留足够对比度。从**实验报告第二部分**对数曲线的形状也可以看出,对数变换会将输入中范围较窄的低灰度值映射为输出中范围较宽的灰度级。例如区间 $[0, L/4]$ 中的输入灰度级映射到 $[0, 3L/4]$ 中的输出灰度级;相反输入中的高灰度级被映射为输出中范围较窄的灰度级。



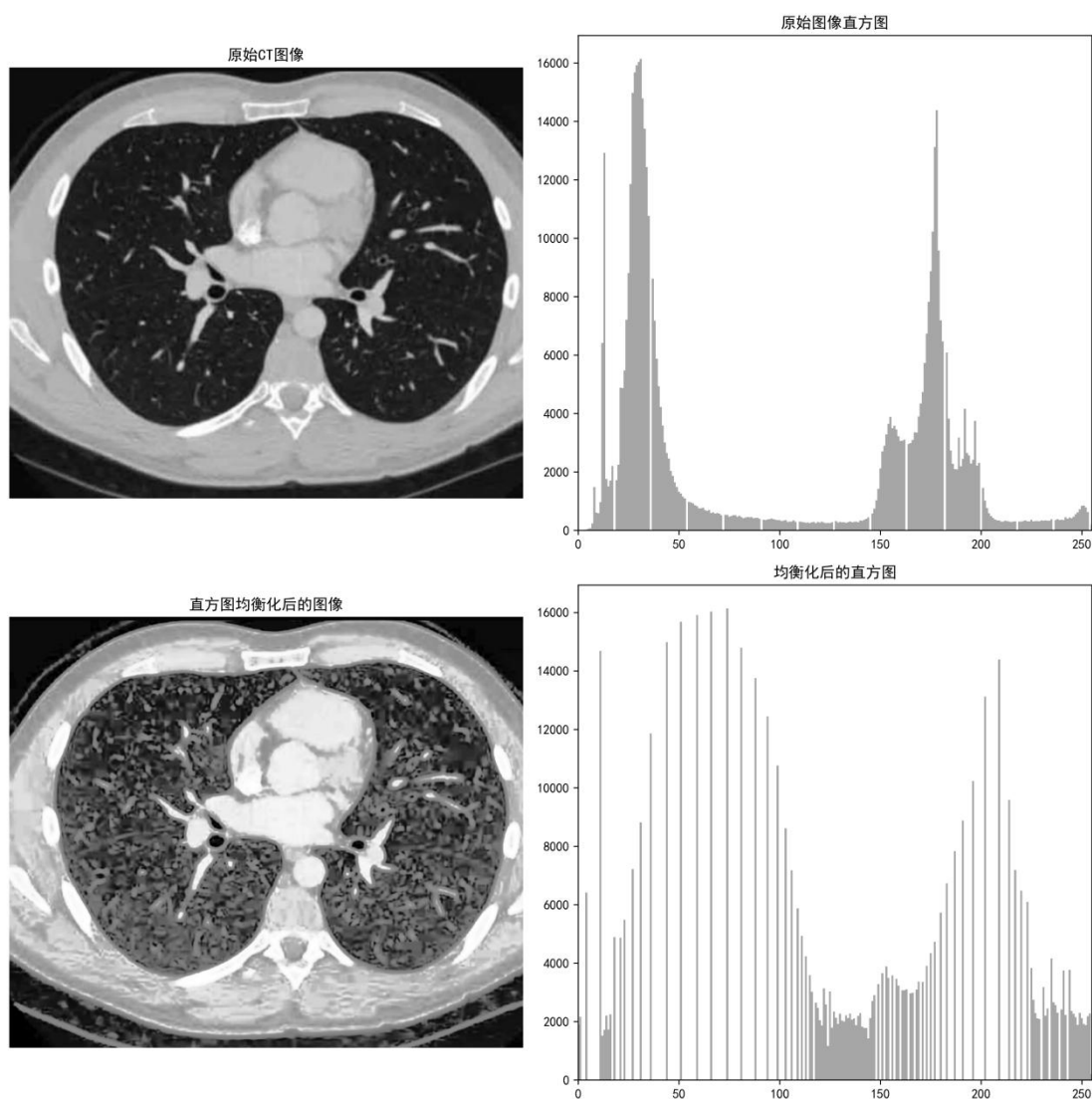
$0 < \gamma < 1$, 斜率前期变化越快, 也就是说特别黑的地方会很白, 原来很白的地方变化不大。整体变白。

$\gamma > 1$, 斜率后期变化越快, 也就是说特别白的地方会很黑, 原来很白的地方变化不大。整体变黑。

维度	对数变换	幂律变换
----	------	------

数学特性	对低灰度值敏感 ($\log(1+r)$ 斜率随 r 增大而减小)。	对全灰度范围可控 (r^γ 的敏感度由 γ 全局调节)。
适用场景	低灰度区域占主导的图像 (如 MRI T1 加权像、CT 软组织成像)。	任意灰度分布图像, 通过 γ 灵活适应不同需求。
增强效果	仅增强低灰度区域, 高灰度区域动态范围被压缩。	可选择性增强暗部 ($\gamma < 1$) 或亮部 ($\gamma > 1$)。
噪声影响	低灰度区域的噪声可能被放大 (需配合滤波)。	$\gamma > 1$ 时亮区噪声抑制, $\gamma < 1$ 时暗区噪声增强。

3、直方图均衡化



可见原始直方图峰值位于高灰度区，而均衡后直方图所有灰度级均有显著像素覆盖。

七、讨论、心得

通过手动实现仿射变换、强度变换和直方图均衡化算法，我将课堂中学习的图像处理理论转化为实际代码操作。例如，在仿射变换中，通过构建齐次坐标变换矩阵，直观理解了平移、旋转、缩放等操作的数学本质；在直方图均衡化中，通过计算累积分布函数（CDF），深刻体会到“将灰度分布均匀化”这一核心思想的实现路径。这种从公式推导到代码落地的过程，显著加深了对算法原理的理解，尤其是对双线性插值、灰度映射等细节问题的认知。

本次实验不仅巩固了图像处理的核心理论，更培养了从问题分析、算法实现到效果评估的系统化工程能力。医学图像增强的复杂性让我意识到，优秀的算法

需在数学严谨性、计算效率与临床实用性之间找到平衡点。这种跨学科的综合视角，将为后续医学影像分析研究奠定坚实基础。

八、实验参考

Copilot Claude Sonnet 3.7

[数字图像处理笔记 - 知乎](#)