

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: 空间域滤波与傅里叶变换

同组学生姓名: _____

指导老师： 吴丹

实验地点: 教 6 - 204 实验日期: 2025 年 3 月 27 日

一、实验目的和要求

- 1、掌握空间高斯滤波器和均值滤波器的原理及实现方法，理解不同参数对滤波效果的影响。
- 2、掌握 8-邻域拉普拉斯滤波器和 3×3 Sobel 滤波器的原理及实现方法，学会利用高通滤波结果增强图像。
- 3、掌握二维快速傅里叶变换（2D FFT）的原理及实现，学会在频域实现高斯滤波器。
- 4、熟悉 MATLAB/Python 图像处理工具箱的使用。

二、实验内容和原理

1、空间低通滤波 (Project 1)

高斯滤波器：高斯滤波器是一种线性平滑滤波器，通过卷积操作对图像进行平滑处理。其核函数由高斯分布决定，公式为：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

其中 σ 是高斯分布的标准差，决定了滤波器的平滑程度。核大小通常取 $[-3\sigma, 3\sigma]$ 。

均值滤波器：均值滤波器是一种简单的线性滤波器，它用邻域内像素的平均值来代替中心像素的值，起到平滑图像的作用。

2、空间高通滤波 (Project 2)

8- 邻域拉普拉斯滤波器：拉普拉斯算子是一种二阶导数算子，用于检测图像中的边缘和细节。8- 邻域拉普拉斯滤波器的模板可以表示为：

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

当对图像应用此模板进行卷积操作时，灰度变化剧烈的区域（边缘）会产生较大的响应值，而灰度变化平缓的区域则响应值较小。

3×3 索贝尔滤波器：索贝尔算子是一种一阶导数算子，用于检测图像中的边缘。它分别在水平和垂直方向上计算梯度，模板如下：

水平方向：

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

垂直方向：

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

通过计算两个方向上的梯度幅值，可以得到图像的边缘信息。

3、2D FFT 和频域低通滤波 (Project 3)

二维快速傅里叶变换 (2D FFT)：将图像从空间域转换到频域，便于在频域进行滤波操作。

频域高斯滤波器：在频域中，高斯滤波器的传递函数为：

$$H(u, v) = e^{-\frac{D^2(u, v)}{2D_0^2}}$$

其中 $D(u, v)$ 是频域中某点 (u, v) 到原点的距离， D_0 是截止频率。

三、主要仪器设备

- 1、Windows 计算机
- 2、软件：VScode
- 3、实验数据文件：lab3_1.npy（脑部 MRI 图像）、lab3_1_noise.npy（含噪声的脑部 MRI 图像）、lab3_2.npy（X 射线图像）

四、操作方法和实验步骤

1、空间低通滤波

高斯滤波器

- (1) 加载 lab3_1.npy 中的脑部 MRI 图像。
- (2) 分别设置 $\sigma = 1, 3, 5$ ，计算对应的核大小 $[-3\sigma, 3\sigma]$ ，并生成高斯核。
- (3) 使用生成的高斯核对图像进行卷积操作。

均值滤波器

- (1) 加载 lab3_1_noise.npy 中的含噪脑部 MRI 图像。
- (2) 设计均值滤波器。
- (3) 使用 conv2 函数对图像进行卷积操作。

2、空间高通滤波

- (1) 加载 lab3_2.npy 中的 X 光图像。
- (2) 设计 8 - 邻域拉普拉斯滤波器和 3×3 索贝尔滤波器。
- (3) 使用 conv2 函数分别对图像进行卷积操作。
- (4) 将高通滤波结果与原图像相加，增强图像。
- (5) 使用 fspecial 和 imfilter 函数进行验证。

3、2D FFT 和频域低通滤波

- (1) 加载 lab3_1.npy 中的脑部 MRI 图像。

- (2) 将输入图像乘以 $(-1)^{x+y}$ ，使变换中心位于图像中心。
- (3) 计算二维 FFT (`np.fft.fft2`)，并显示原始频谱和对数变换后的频谱。
- (4) 设计频域高斯滤波器，分别设置 $D0 = 10, 30, 50$ 。
- (5) 将频域高斯滤波器与频谱相乘。
- (6) 进行逆傅里叶变换 (`np.fft.ifft2`)。
- (7) 将结果乘以 $(-1)^{x+y}$ ，取实部并显示图像。

五、实验数据记录和处理

1、空间低通滤波

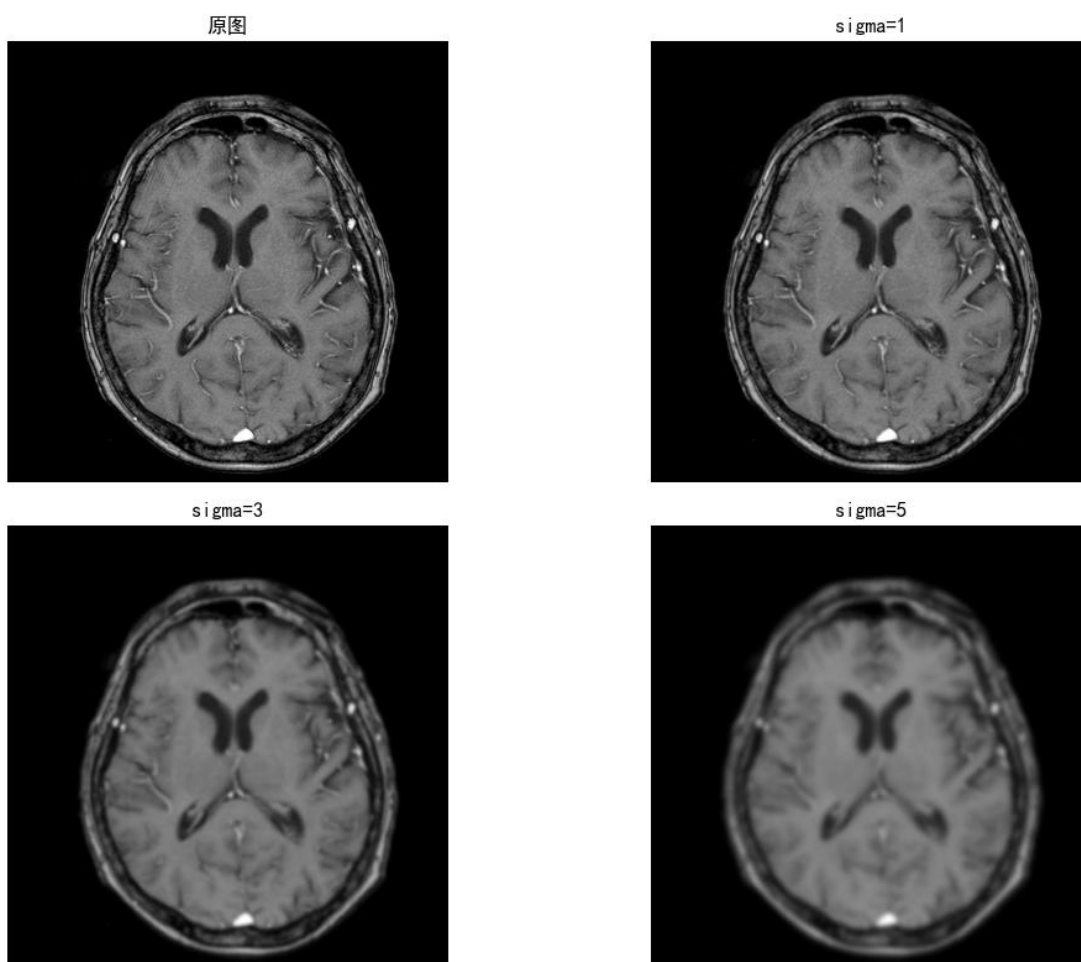


图 1 高斯滤波

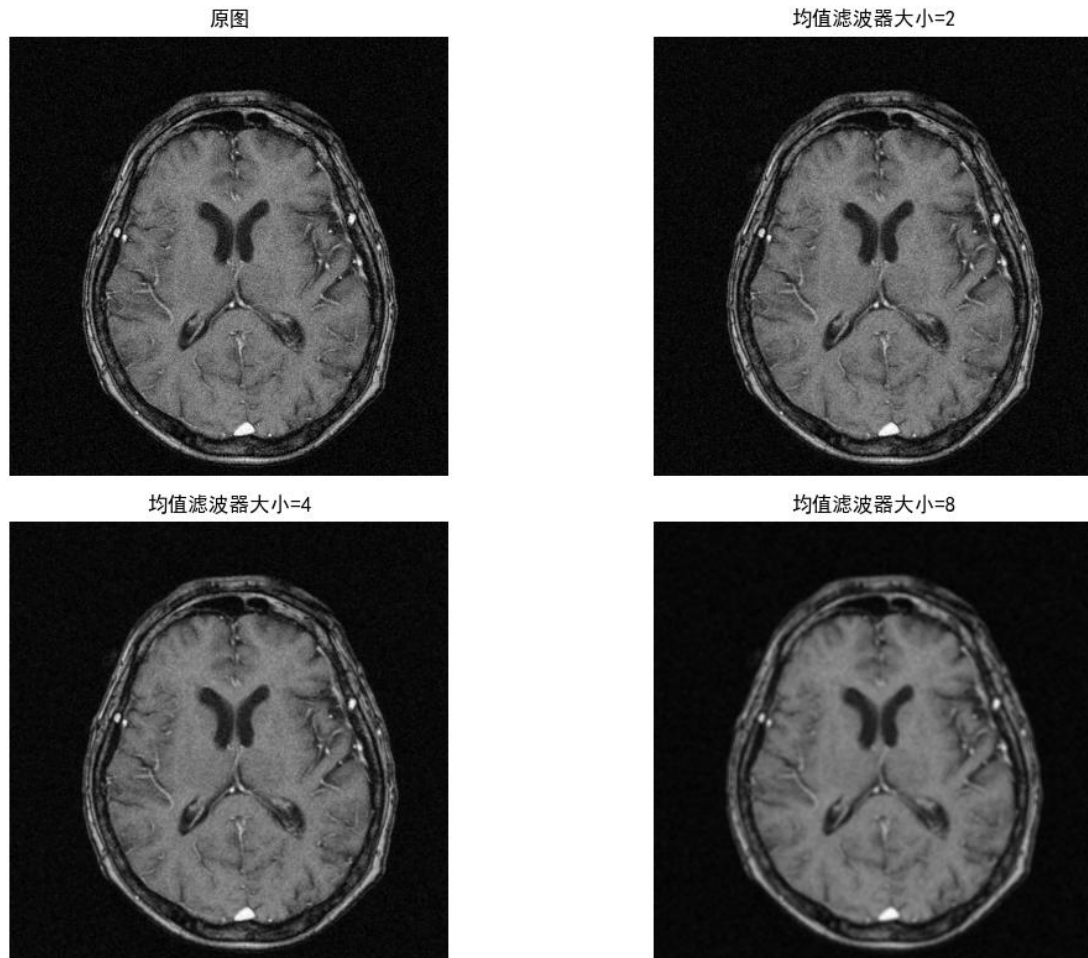


图 2 均值滤波

因为 `fspecial` 和 `imfilter` 是 MATLAB 中的函数，分别用于创建滤波器和进行图像滤波；而在 Python 中，没有直接等效的函数，所以本次实验没有进行尝试。

2、空间高通滤波

直接复用处理 `lab3_1.npy` 的卷积函数时失败了，因为 `lab3_2` 竟然是 3 通道的，因此对 3 个通道分别处理。

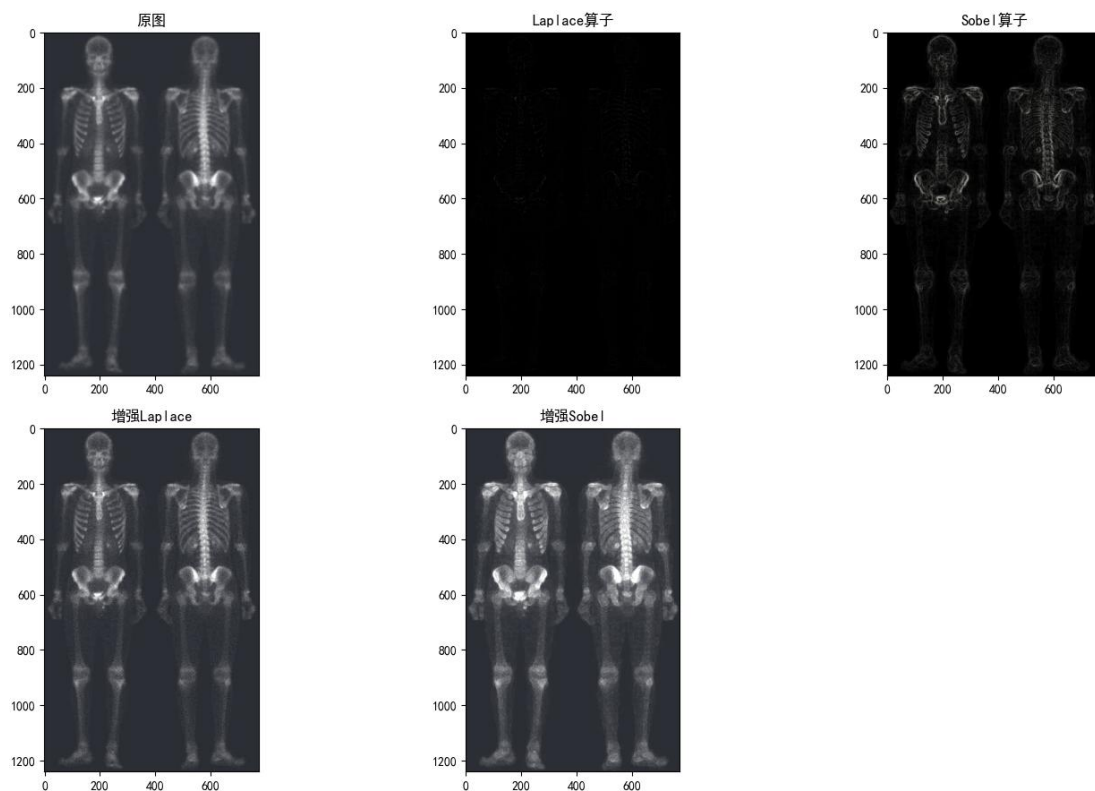


图 3 Laplace 与 Sobel 滤波

因为原图像中的大多数像素值接近 0（黑色），只有边缘区域有显著的正值或负值。而 matplotlib 默认会将数据标准化到 $[0,1]$ 范围，如果绝大多数像素接近 0，少数极端值会导致其他区域看起来都是黑色。所以尝试了几种 Laplace 滤波的改进方法：

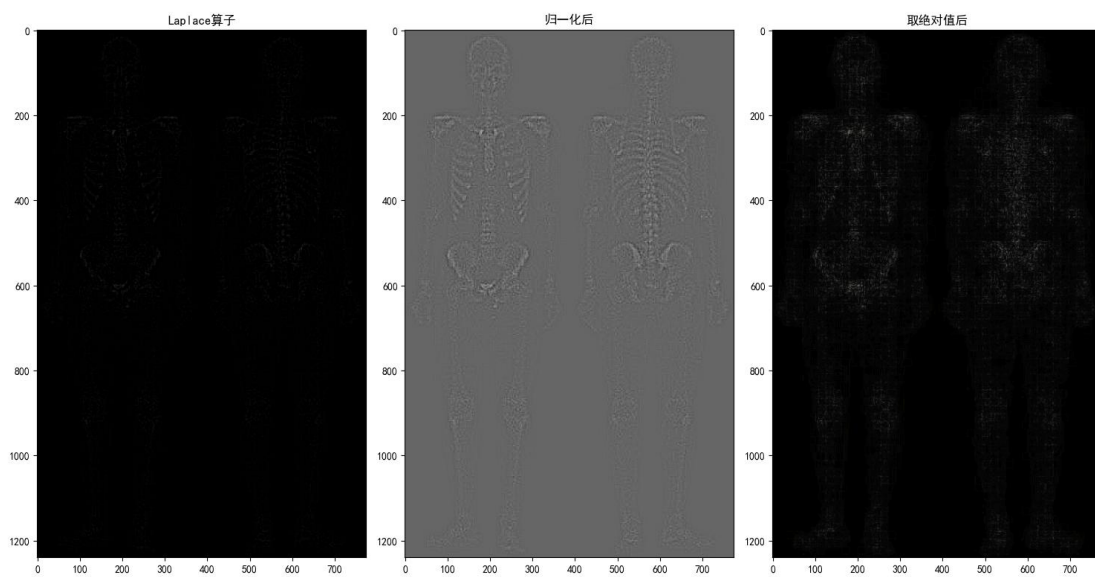


图 4 不同 Laplace 滤波器后处理结果

改进后，进一步对取绝对值后的结果进行二次归一化，显著增强了边缘与背

景的对比度。结果如下：

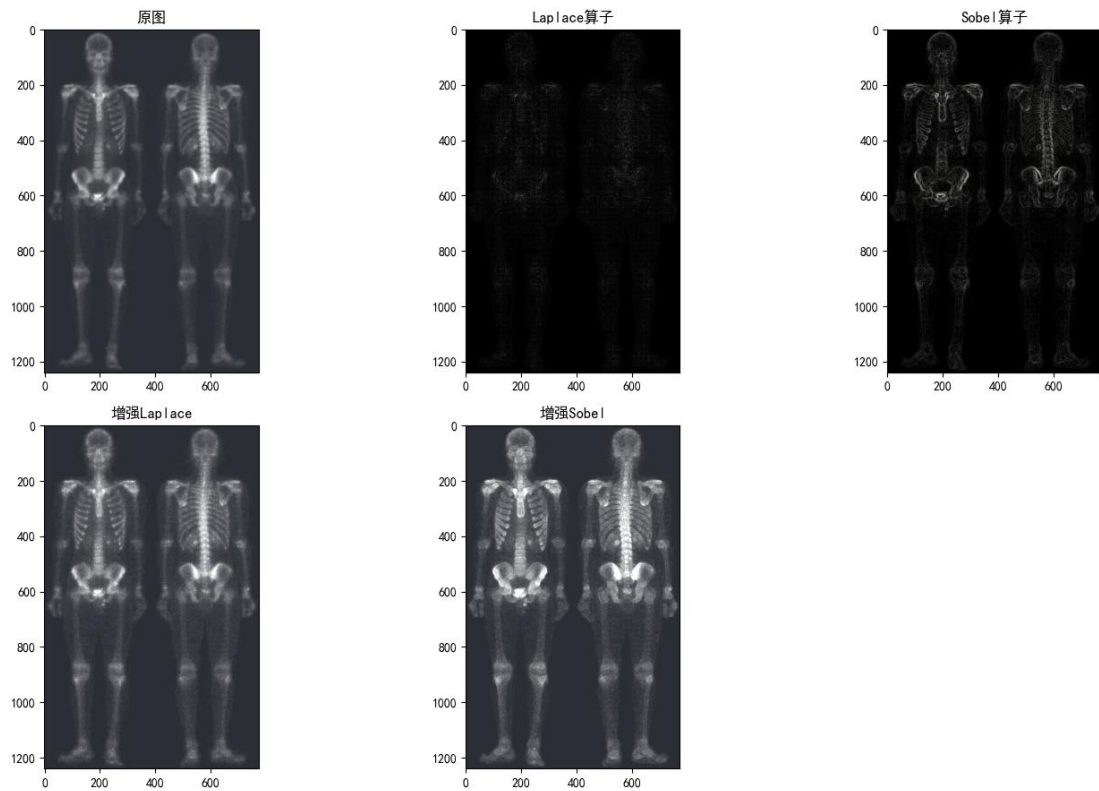


图5 修改 Laplace 后的实验结果

在实际做的时候，将高通滤波结果与原图像相加时，需要使用 `np.clip` 函数将像素值限制在 `[0, 255]` 范围内，避免越界。

3、2D FFT 和频域低通滤波

`fftshift` 是用于将傅里叶变换结果的零频率分量移到频谱中心的函数。在进行二维傅里叶变换之后，零频率分量处于频谱的左上角，这会让频谱的观察和分析变得不便。`fftshift` 函数把零频率分量移到频谱的中心，让低频成分集中在中心，高频成分分布在边缘，后续尝试结果类同。

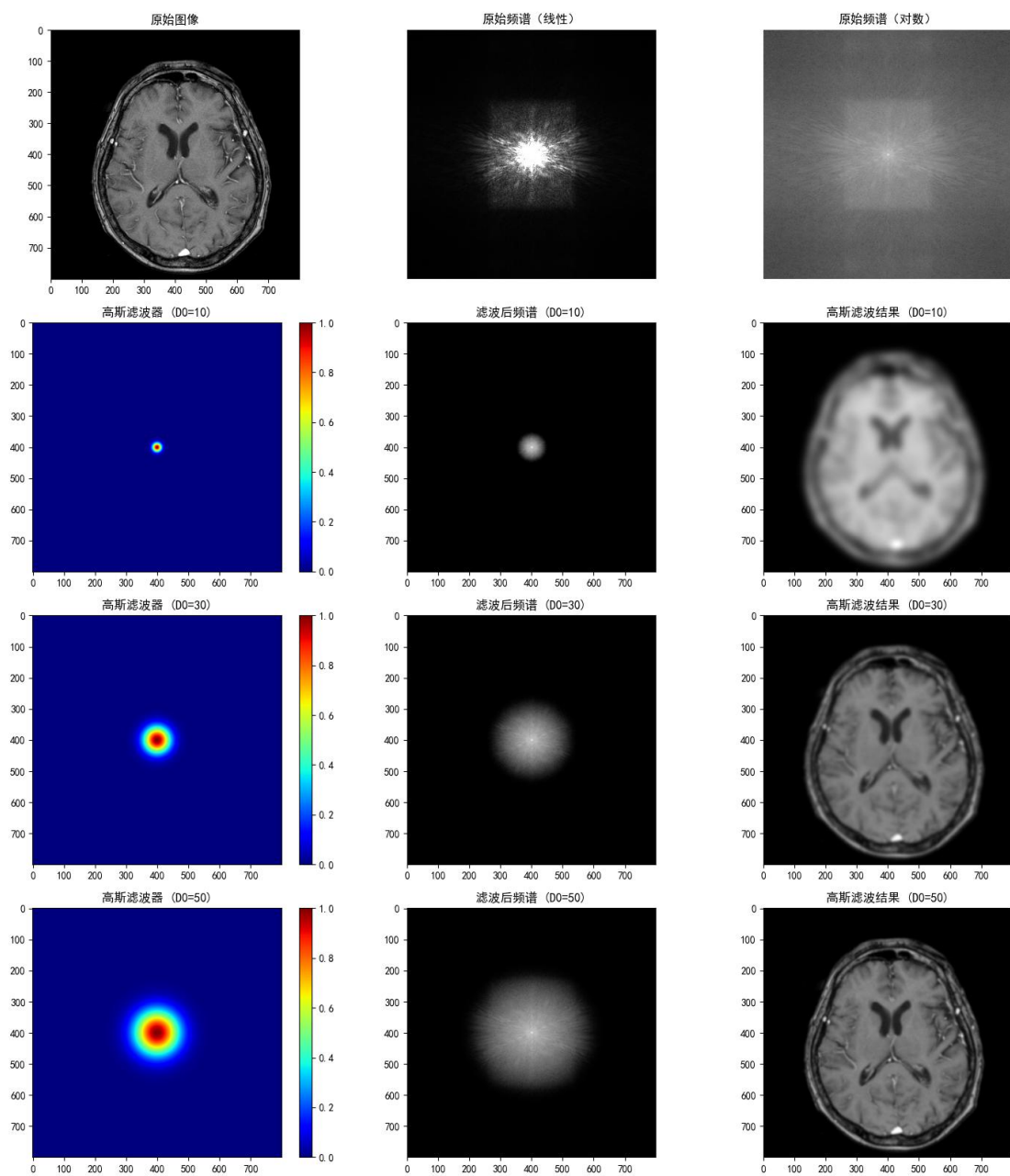


图 6 2D FFT 滤波结果

六、实验结果与分析

1、空间低通滤波

高斯滤波器的 σ 值越大，平滑效果越强，但图像细节丢失越多。这是因为 σ 决定了高斯分布的宽度， σ 越大，高斯核越宽，对周围像素的加权平均作用越明显。均值滤波器虽然能有效去除噪声，但会使图像变得模糊，因为它简单地用邻域平均值代替中心像素值，没有考虑像素的局部特性。

2、空间高通滤波

8 - 邻域拉普拉斯滤波器通过二阶导数检测图像中的边缘和细节，但直接卷积结果中存在大量负值且动态范围大（ $[-1, 8, -1]$ 模板导致）。通过后处理（如取绝对值、归一化），增强了图像的对比度。

3×3 索贝尔滤波器通过一阶导数在水平和垂直方向上检测边缘，能够突出图像的边缘信息，且比拉普拉斯做的更加明显。

3、2D FFT 和频域低通滤波

由图 6 可知，频域高斯滤波器的 $D0$ 值越小，低通效果越强，图像越模糊。这是因为 $D0$ 决定了滤波器的截止频率， $D0$ 越小，只允许低频成分通过，高频成分被抑制。

同时，通过观察原始频谱的线性和对数显示方式可以发现，线性显示的频谱中，低频成分的能量占据主导，高频成分可能由于能量较弱而难以观察到；而对数显示的频谱能够增强高频成分的显示效果，使得频谱的细节更加清晰，便于分析滤波前后频谱的变化。

七、讨论、心得

通过本次实验，我深入理解了空间滤波和频域滤波的原理和实现方法。在空间滤波中，不同的滤波器具有不同的特点和适用场景，需要根据具体需求选择合适的滤波器。在频域滤波中，通过 FFT 将图像转换到频域，可以更方便地进行滤波操作，但需要注意频谱的中心位置和滤波函数的设计。

八、实验参考

豆包

Copilot Claude Sonnet 3.7