

数字图像处理

第五次作业

姓名：张勤东

班级：自动化 63

学号：2160504080

日期：2019 年 4 月 1 日

摘要：本报告主要解决了数字图像处理中关于频域滤波的一些问题，测试了不同的低通滤波器和高通滤波器的频域滤波的效果。对于低通滤波器，选用了不同截止频率和阶数的巴特沃斯低通滤波器和高斯低通滤波器对图像进行平滑滤波，计算了滤波前后的功率谱比。对于高通滤波器，选用了不同截止频率和阶数的巴特沃斯高通滤波器和高斯高通滤波器对图像进行高通滤波，计算了滤波前后的功率谱比。还测试了拉普拉斯滤波器和掩模滤波器对图像的锐化效果。最后，分析比较各滤波器的优缺点，并和空域滤波器进行了比较。

1. 频域低通滤波器：设计低通滤波器包括 butterworth and Gaussian
(选择合适的半径，计算功率谱比),平滑测试图像 test1 和 2;分析各自优缺点;

解决思路：

对图像进行频域滤波，首先需要将图像变换到频域。对大小为 $M \times N$ 的原始图像进行补零操作，使其变为 $2M \times 2N$ 的图像。然后，为了使变换到频域的图像零频点在中心位置，需要将补零后的图像与 $(-1)^{x+y}$ 相乘。接着，根据以下公式，计算出对应的频域的谱。

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})}$$

然后，选取合适的截止频率和阶数，生成对应的巴特沃斯滤波器或高斯滤波器，大小为 $2M \times 2N$ 。将滤波器 $H(u, v)$ 与 $F(u, v)$ 相乘，得到滤波后的频谱 $G(u, v)$ 。最后，根据以下公式，计算出经过低通滤波器处理后的图像。

$$g_p(x, y) = \{\text{real}[\mathcal{F}^{-1}[G(u, v)]]\}(-1)^{x+y}$$

取 $g_p(x, y)$ 左上角大小为 $M \times N$ 的部分得到最终的处理图像 $g(x, y)$ 。

生成巴特沃斯低通滤波器公式为：

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

生成高斯低通滤波器的公式为：

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

其中， D_0 为滤波器的半径，即：截止频率。 n 为滤波器阶数。 $D(u, v)$ 计算公式如下：

$$D(u, v) = [(\frac{u}{2} - \frac{P}{2})^2 + (\frac{v}{2} - \frac{Q}{2})^2]^{1/2}$$

图像的功率谱表征了图像的能量大小，计算滤波后的图像与滤波前图像的功率谱比，可以比较出经过滤波后图像的能量损失情况。其中，功率谱的计算公式如下：

$$P = \sum_{u=0}^{P-1} \sum_{v=0}^{Q-1} P(u, v) = \sum_{u=0}^{P-1} \sum_{v=0}^{Q-1} |F(u, v)|^2$$

在 matlab 中，先使用 `imread()` 函数，将图像读入。然后，使用 `fft2()` 函数，对图像进行快速傅里叶变换，得到频域数据，接着用 `fftshift()` 函数，将频谱零点移动到中心位置。根据公式计算出巴特沃斯滤波器和高斯滤波器的频域函数。将滤

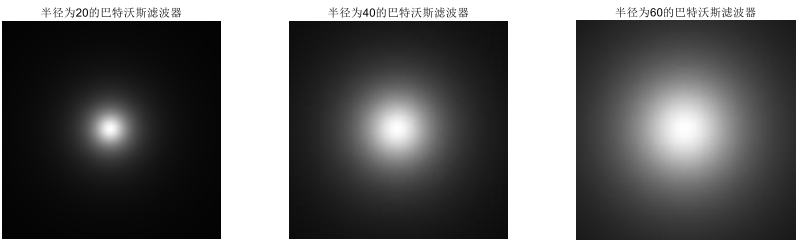
波器和图像频谱相乘，得到滤波后的频谱图。根据滤波前后的频谱图，进一步计算出滤波前后的功率谱比。对滤波后的频谱图使用 `iff2()` 函数，得到经过滤波的空域图像。

处理结果：

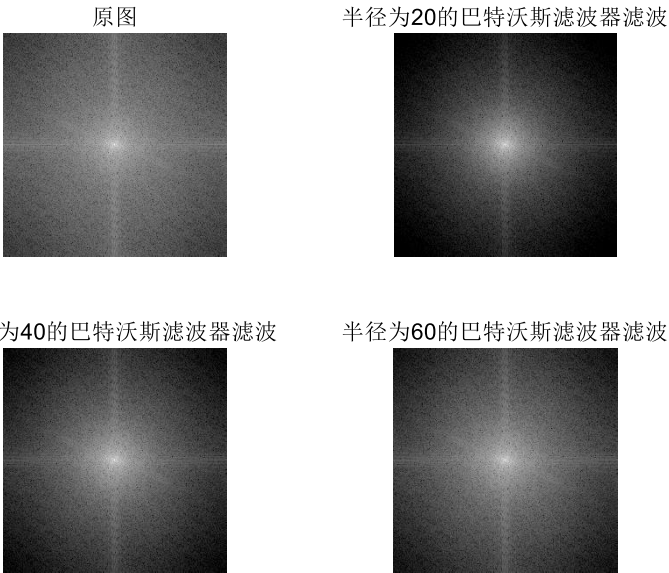
图像 *test1*

1.使用巴特沃斯滤波器，固定 $n=1$ ，取不同的半径。

滤波器频谱图：



滤波后图像的频谱图：



滤波后空域图像：



半径为 20 时，功率谱比为 0.9389，半径为 40 时，功率谱比为 0.9726，半径为 60 时，功率谱比为 0.9838。

2. 使用巴特沃斯滤波器，固定半径为 40，取不同的 n 。

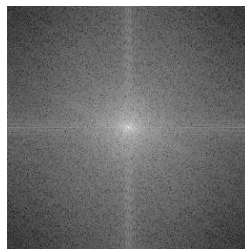
滤波器频谱图：

$n=1$ 的巴特沃斯滤波器 $n=2$ 的巴特沃斯滤波器 $n=3$ 的巴特沃斯滤波器

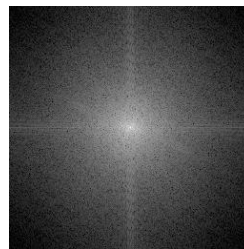


滤波后图像的频谱图：

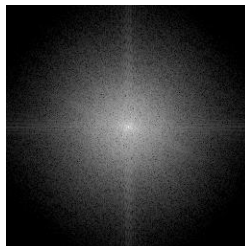
原图



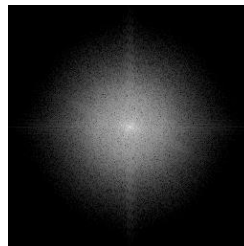
$n=1$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=2$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=3$ 的巴特沃斯滤波器滤波

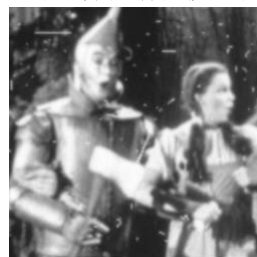


滤波后空域图像：

原图



$n=1$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=2$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=3$ 的巴特沃斯滤波器滤波



n=1 时，功率谱比为 0.9726，n=2 时，功率谱比为 0.9869，n=3 时，功率谱比为 0.9895。

3. 使用高斯滤波器，取不同的半径。

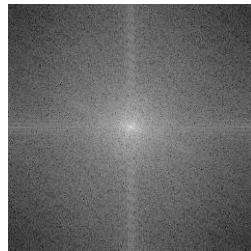
滤波器频谱图：

半径为20的高斯滤波器 半径为40的高斯滤波器 半径为60的高斯滤波器

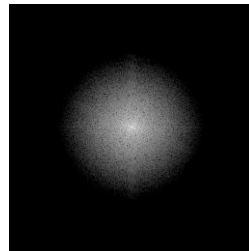


滤波后图像的频谱图：

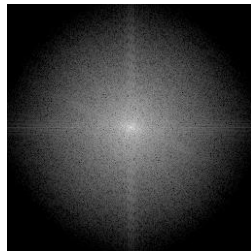
原图



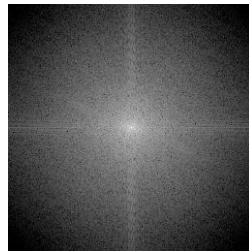
半径为20的高斯滤波器滤波



半径为40的高斯滤波器滤波



半径为60的高斯滤波器滤波



滤波后空域图像：

原图



半径为20的高斯滤波器滤波



半径为40的高斯滤波器滤波



半径为60的高斯滤波器滤波

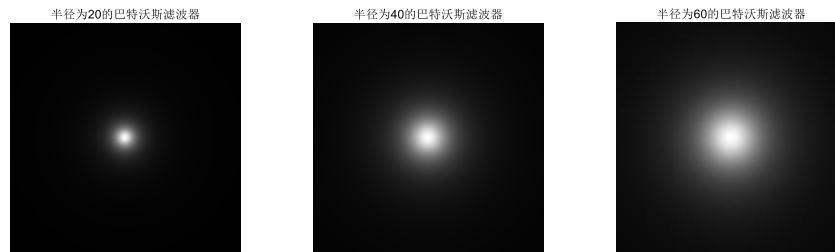


半径为 20 时，功率谱比为 0.9553，半径为 40 时，功率谱比为 0.9812，半径为 60 时，功率谱比为 0.9894。

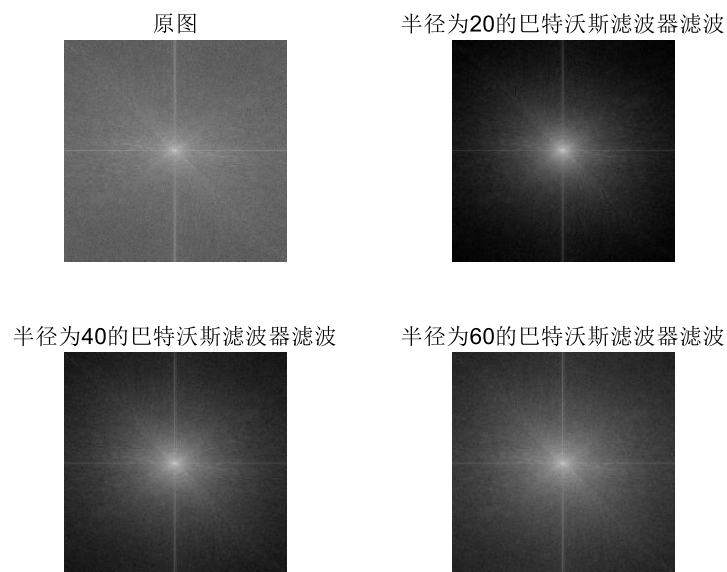
图像 test2

1.使用巴特沃斯滤波器，固定 $n=1$ ，取不同的半径。

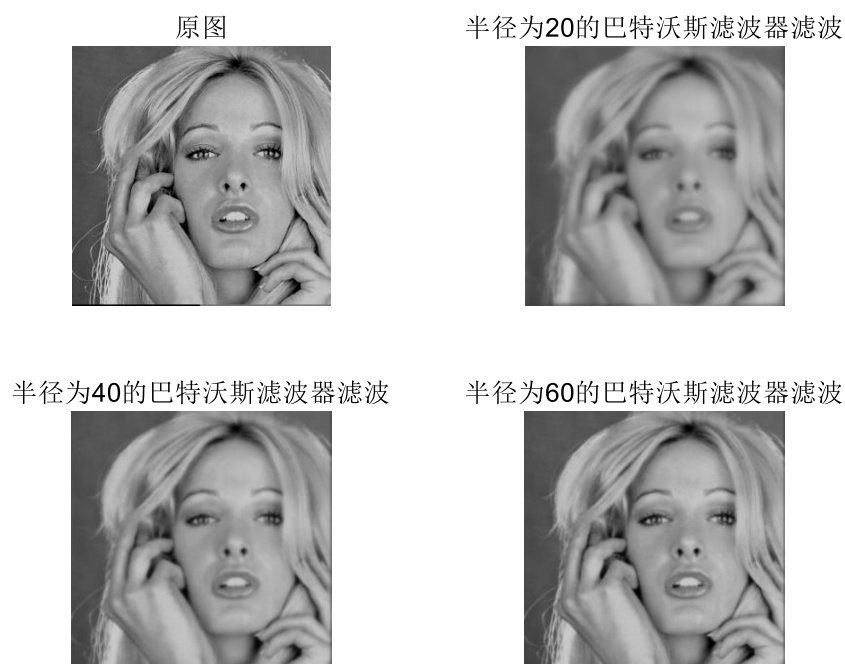
滤波器频谱图：



滤波后图像的频谱图：



滤波后空域图像：

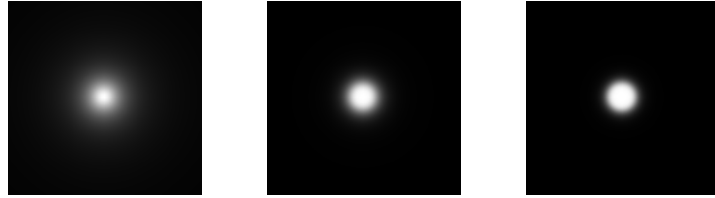


半径为 20 时，功率谱比为 0.9607，半径为 40 时，功率谱比为 0.9791，半径为 60 时，功率谱比为 0.9852。

2. 使用巴特沃斯滤波器，固定半径为 40，取不同的 n 。

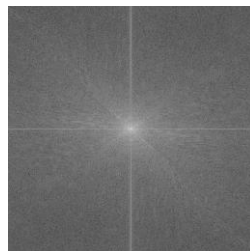
滤波器频谱图：

$n=1$ 的巴特沃斯滤波器 $n=2$ 的巴特沃斯滤波器 $n=3$ 的巴特沃斯滤波器

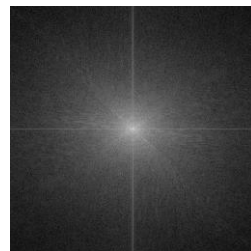


滤波后图像的频谱图：

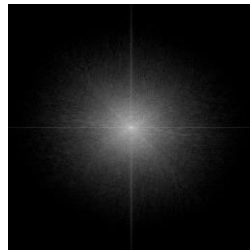
原图



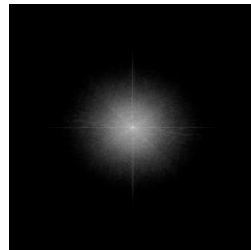
$n=1$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=2$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=3$ 的巴特沃斯滤波器滤波

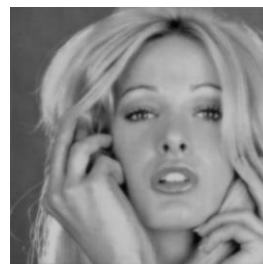


滤波后空域图像：

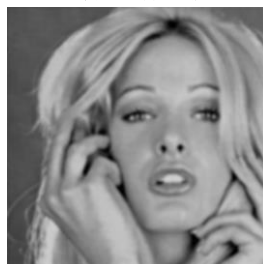
原图



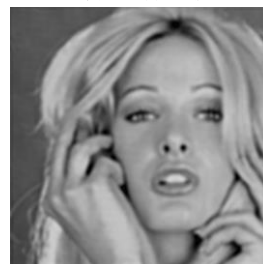
$n=1$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=2$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=3$ 的巴特沃斯滤波器滤波

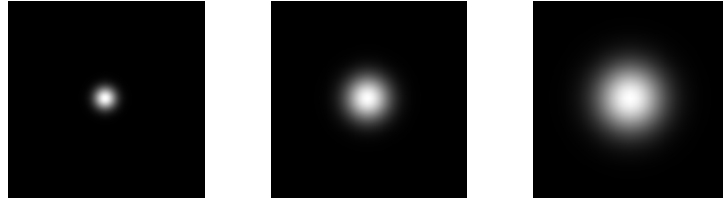


n=1 时，功率谱比为 0.9791，n=2 时，功率谱比为 0.9863，n=3 时，功率谱比为 0.9875。

3. 使用高斯滤波器，取不同的半径。

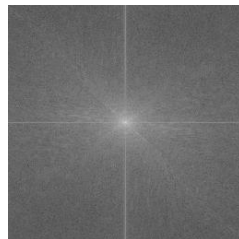
滤波器频谱图：

半径为20的高斯滤波器 半径为40的高斯滤波器 半径为60的高斯滤波器

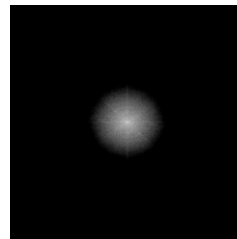


滤波后图像的频谱图：

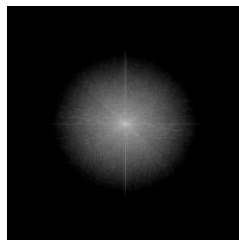
原图



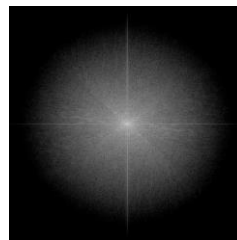
半径为20的高斯滤波器滤波



半径为40的高斯滤波器滤波

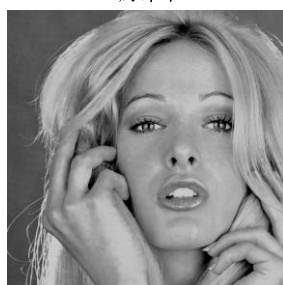


半径为60的高斯滤波器滤波

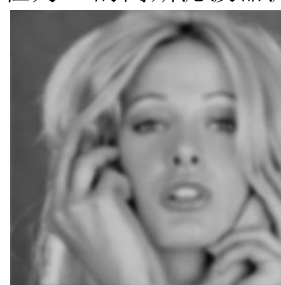


滤波后空域图像：

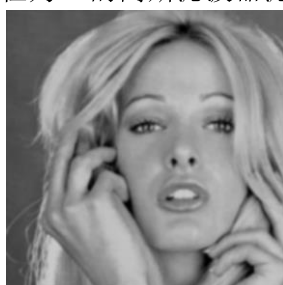
原图



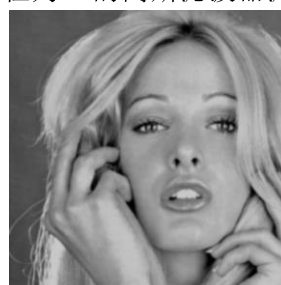
半径为20的高斯滤波器滤波



半径为40的高斯滤波器滤波



半径为60的高斯滤波器滤波



半径为 20 时，功率谱比为 0.9701，半径为 20 时，功率谱比为 0.9835，半径为 20 时，功率谱比为 0.9882。

结果分析：

观察滤波前后图像，可以发现，在频率域将图像的频谱与低通滤波器频谱相乘实现了对图像的低通滤波功能，使图像达到了平滑的效果。观察低通滤波器频谱图可以发现低通滤波器保留半径以内的频率分量，而将半径以外的高频分量滤除。低通滤波器半径越小，滤除高频分量越多，图像就越模糊。并且，滤除的高频分量越多，滤波后的功率谱比就越低，图像含有的能量就越少。

观察对比相同阶数、半径不同的巴特沃斯滤波器和高斯滤波器，可以发现半径越小，滤除高频分量越多，图像就越模糊。并且，在频域半径越小，对应的空域滤波器模板边长就越大，平滑效果越明显。此外，低通滤波器半径越小，滤除的高频分量越多，滤波后的能量越低，功率谱比越低。

对比相同半径、不同阶数的巴特沃斯滤波器，可以发现阶数越高，滤波器在半径处的阶跃就越明显，对半径内的低频量保留越多，对半径外的高频量的滤除越多。从滤波后的图像来看，阶数越高，图像会稍微模糊一些，会出现轻微的振铃现象。阶数越高，功率谱比会略大一些。但总体上，对图像的平滑效果较为接近。

对比相同半径的巴特沃斯滤波器和高斯滤波器，可以发现两者在平滑效果上较为接近，相同半径的高斯滤波器滤波后功率谱比略大一些。

对比 test1 和 test2，低通滤波器对含有较多边缘的原始图像的滤波效果会更加明显。而对较为平滑的图像，滤波后功率谱比会比含有较多边缘的图像更大一些。

2. 频域高通滤波器：设计高通滤波器包括 **butterworth and Gaussian**，在频域增强边缘。选择半径和计算功率谱比，测试图像 test3,4：分析各自优缺点；

解决思路：

对图像进行频域滤波，首先需要将图像变换到频域。对大小为 $M \times N$ 的原始图像进行补零操作，使其变为 $2M \times 2N$ 的图像。然后，为了使变换到频域的图像零频点在中心位置，需要将补零后的图像与 $(-1)^{x+y}$ 相乘。接着，根据以下公式，计算出对应的频域的谱。

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})}$$

然后，选取合适的截止频率和阶数，生成对应的巴特沃斯滤波器或高斯滤波器，大小为 $2M \times 2N$ 。将滤波器 $H(u, v)$ 与 $F(u, v)$ 相乘，得到滤波后的频谱 $G(u, v)$ 。最

后，根据以下公式，计算出经过高通滤波器处理后的图像。

$$g_p(x,y) = \{\text{real}[\mathcal{F}^{-1}[G(u,v)]]\}(-1)^{x+y}$$

取 $g_p(x,y)$ 左上角大小为 $M \times N$ 的部分得到最终的处理图像 $g(x,y)$ 。

生成巴特沃斯高通滤波器公式为：

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

生成高斯高通滤波器的公式为：

$$H(u,v) = 1 - e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$$

其中， D_0 为滤波器的半径，即：截止频率。 n 为滤波器阶数。 $D(u,v)$ 计算公式如下：

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

从本质上来说，产生的高通滤波器实际上是在频域用 1 减去相应低通滤波器后得到的。

图像的功率谱表征了图像的能量大小，计算滤波后的图像与滤波前图像的功率谱比，可以比较出经过滤波后图像的能量损失情况。其中，功率谱的计算公式如下：

$$P = \sum_{u=0}^{P-1} \sum_{v=0}^{Q-1} P(u,v) = \sum_{u=0}^{P-1} \sum_{v=0}^{Q-1} |F(u,v)|^2$$

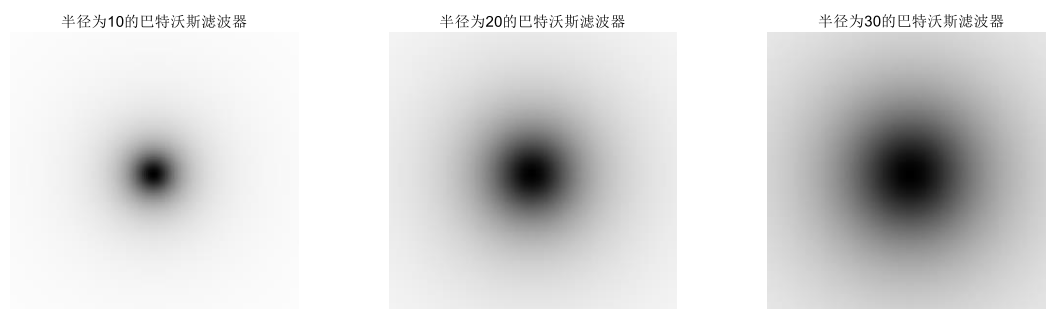
在 matlab 中，先使用 `imread()` 函数，将图像读入。然后，使用 `fft2()` 函数，对图像进行快速傅里叶变换，得到频域数据，接着用 `fftshift()` 函数，将频谱零点移动到中心位置。根据公式计算出巴特沃斯滤波器和高斯滤波器的频域函数。将滤波器和图像频谱相乘，得到滤波后的频谱图。根据滤波前后的频谱图，进一步计算出滤波前后的功率谱比。对滤波后的频谱图使用 `ifft2()` 函数，得到经过滤波的空域图像。

处理结果：

图像 test3

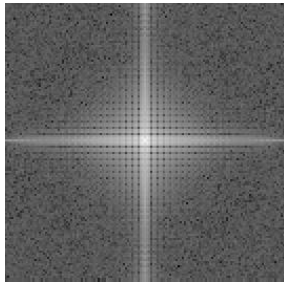
1.使用巴特沃斯滤波器，固定 $n=1$ ，取不同的半径。

滤波器频谱图：

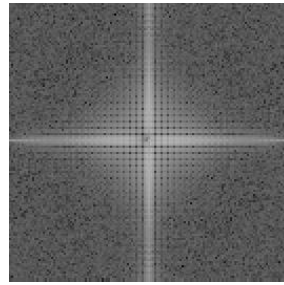


滤波后图像的频谱图：

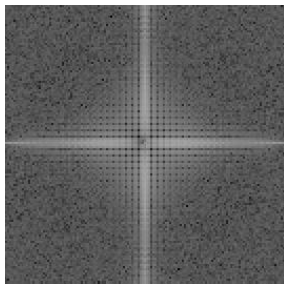
原图



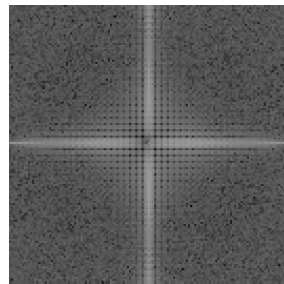
半径为10的巴特沃斯滤波器滤波



半径为20的巴特沃斯滤波器滤波

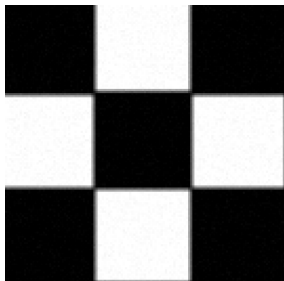


半径为30的巴特沃斯滤波器滤波

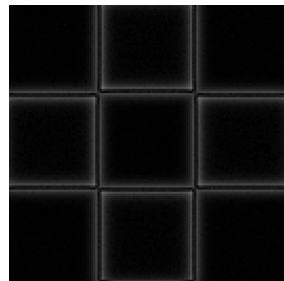


滤波后空域图像：

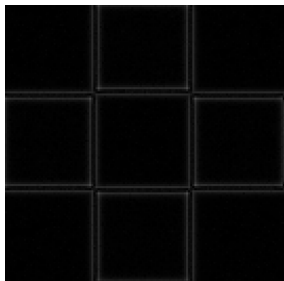
原图



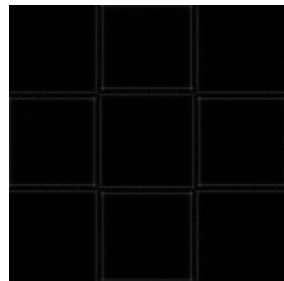
半径为10的巴特沃斯滤波器滤波



半径为20的巴特沃斯滤波器滤波



半径为30的巴特沃斯滤波器滤波



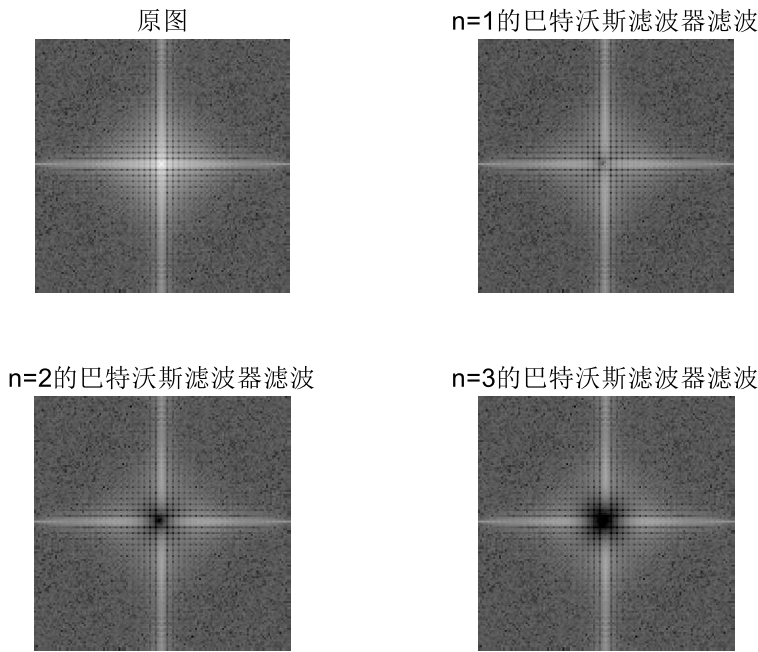
半径为 10 时，功率谱比为 0.0195，半径为 20 时，功率谱比为 0.0052，半径为 30 时，功率谱比为 0.0021。

2. 使用巴特沃斯滤波器，固定半径为 20，取不同的 n 。

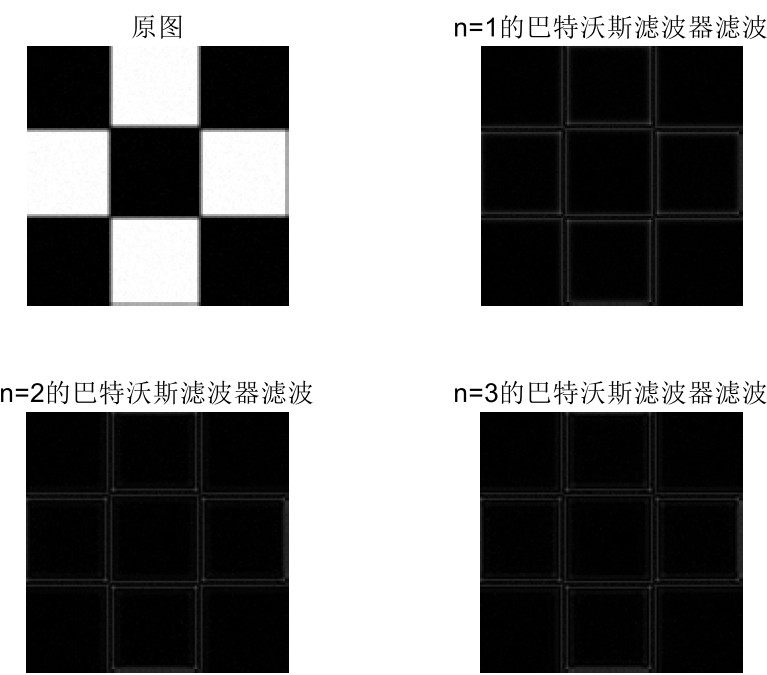
滤波器频谱图：



滤波后图像的频谱图：



滤波后空域图像：

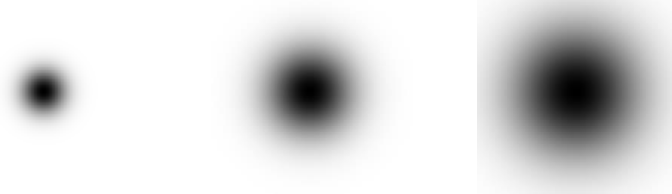


n=1 时，功率谱比为 0.0052，n=2 时，功率谱比为 0.0041，n=3 时，功率谱比为 0.0041。

3. 使用高斯滤波器，取不同的半径。

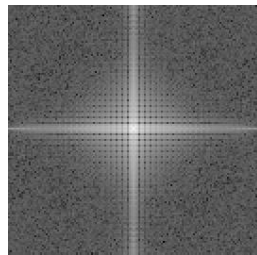
滤波器频谱图：

半径为10的高斯滤波器 半径为20的高斯滤波器 半径为30的高斯滤波器

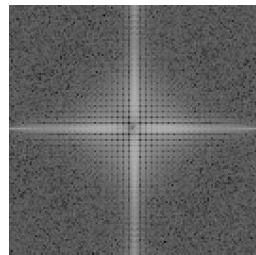


滤波后图像的频谱图：

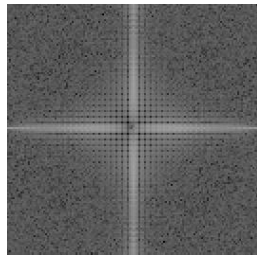
原图



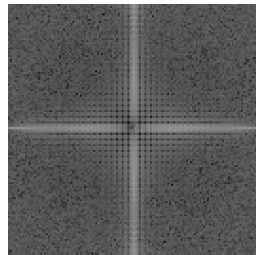
半径为10的高斯滤波器滤波



半径为20的高斯滤波器滤波

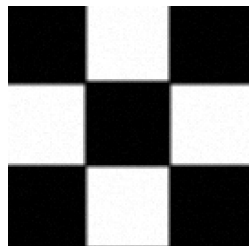


半径为30的高斯滤波器滤波

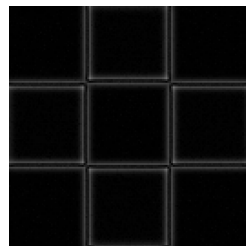


滤波后空域图像：

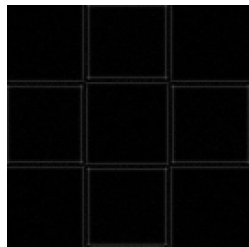
原图



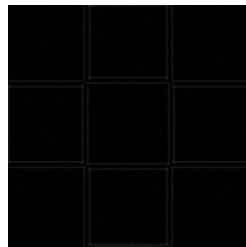
半径为10的高斯滤波器滤波



半径为20的高斯滤波器滤波



半径为30的高斯滤波器滤波



半径为 10 时，功率谱比为 0.0152，半径为 20 时，功率谱比为 0.0034，半径为 30 时，功率谱比为 0.0012。

图像 test4

1.使用巴特沃斯滤波器，固定 $n=1$ ，取不同的半径。

滤波器频谱图：

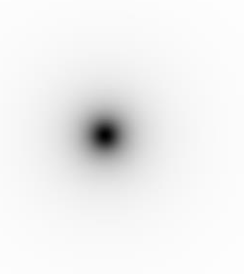
半径为10的巴特沃斯滤波器



半径为20的巴特沃斯滤波器

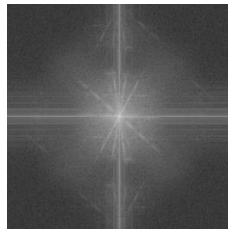


半径为30的巴特沃斯滤波器

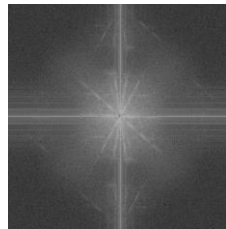


滤波后图像的频谱图：

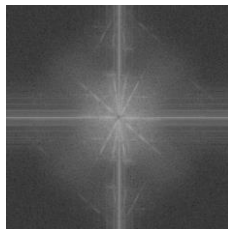
原图



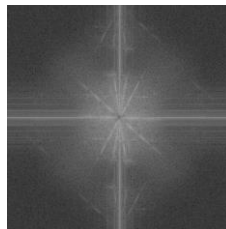
半径为10的巴特沃斯滤波器滤波



半径为20的巴特沃斯滤波器滤波



半径为30的巴特沃斯滤波器滤波



滤波后空域图像：

原图



半径为10的巴特沃斯滤波器滤波



半径为20的巴特沃斯滤波器滤波



半径为30的巴特沃斯滤波器滤波



半径为 10 时，功率谱比为 0.0220，半径为 20 时，功率谱比为 0.0094，半径为 30 时，功率谱比为 0.0051。

2. 使用巴特沃斯滤波器，固定半径为 20，取不同的 n 。

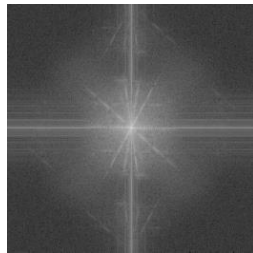
滤波器频谱图：

$n=1$ 的巴特沃斯滤波器 $n=2$ 的巴特沃斯滤波器 $n=3$ 的巴特沃斯滤波器

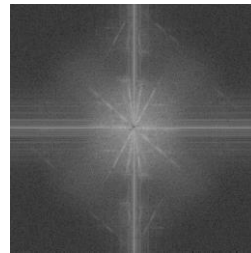


滤波后图像的频谱图：

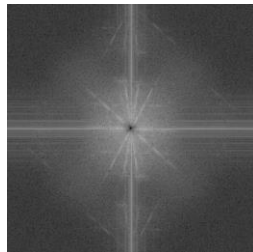
原图



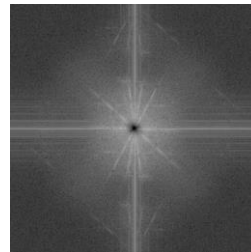
$n=1$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=2$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=3$ 的巴特沃斯滤波器滤波

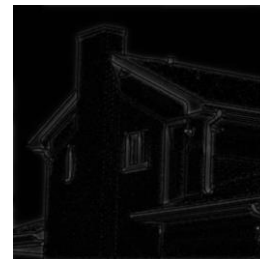


滤波后空域图像：

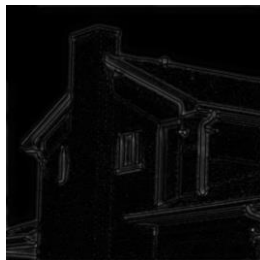
原图



$n=1$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=2$ 的巴特沃斯滤波器滤波



$n=3$ 的巴特沃斯滤波器滤波



n=1 时，功率谱比为 0.0094，n=2 时，功率谱比为 0.0102，n=3 时，功率谱比为 0.0109。

3. 使用高斯滤波器，取不同的半径。

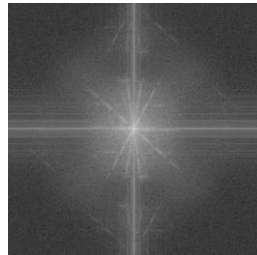
滤波器频谱图：

半径为10的高斯滤波器 半径为20的高斯滤波器 半径为30的高斯滤波器

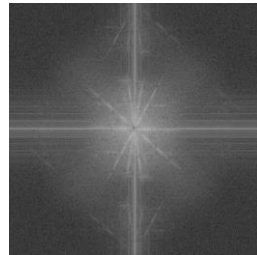


滤波后图像的频谱图：

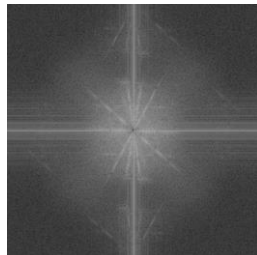
原图



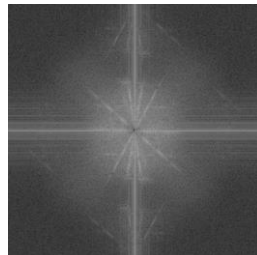
半径为10的高斯滤波器滤波



半径为20的高斯滤波器滤波



半径为30的高斯滤波器滤波

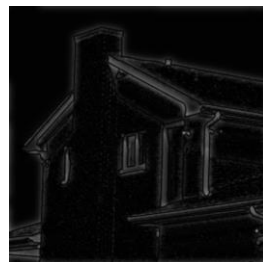


滤波后空域图像：

原图



半径为10的高斯滤波器滤波



半径为20的高斯滤波器滤波



半径为30的高斯滤波器滤波



半径为 10 时，功率谱比为 0.0211，半径为 20 时，功率谱比为 0.0082，半径为 30 时，功率谱比为 0.0041。

结果分析：

观察滤波前后图像，可以发现，在频率域将图像的频谱与高通滤波器频谱相乘实现了对图像的高通滤波功能，达到了突出图像边缘的效果。观察高通滤波器频谱图可以发现高通滤波器保留半径以外的高频分量，而将半径以内的低频分量滤除。高通滤波器半径越大，滤除低频分量越多，图像边缘突变的部分就越明显。并且，滤除的低频分量越多，滤波后的功率谱比就越低，图像含有的能量就越少，会导致图像越暗。

观察对比相同阶数、半径不同的巴特沃斯滤波器和高斯滤波器，可以发现半径越大，滤除低频分量越多，图像边缘就越清晰。并且，在频域半径越大，对应的空域滤波器模板边长就越小，边缘越明显。此外，高通滤波器半径越大，滤除的低频分量越多，滤波后的能量越低，功率谱比越低。

对比相同半径、不同阶数的巴特沃斯滤波器，可以发现阶数越高，滤波器在半径处的阶跃就越明显，对半径内的低频量滤除越多，对半径外的高频量的保留越多。从滤波后的图像来看，阶数越高，图像边缘会更加清晰。但总体上，对图像边缘的突出效果较为接近。

对比相同半径的巴特沃斯滤波器和高斯滤波器，可以发现两者在突出图像边缘效果上较为接近，相同半径的巴特沃斯滤波器滤波后功率谱比略大一些。

对比 test3 和 test4，高通滤波器对含有较多边缘、有较多阶跃变化的原始图像的滤波效果会更加明显。而对较为平滑的图像，滤波后功率谱比会比含有较多边缘的图像更小一些。

3. 其他高通滤波器：拉普拉斯和 Unmask，对测试图像 test3,4 滤波；

分析各自优缺点；

解决思路：

对图像使用拉普拉斯和非锐化掩蔽的方式进行增强，首先用对应的模板对原图像进行频域的高通滤波，然后将经过高通滤波后突出边缘信息的图像与原图像相加，达到对原图像锐化的效果。

对图像进行频域滤波，首先需要将图像变换到频域。对大小为 $M \times N$ 的原始图像进行补零操作，使其变为 $2M \times 2N$ 的图像。然后，为了使变换到频域的图像零频点在中心位置，需要将补零后的图像与 $(-1)^{x+y}$ 相乘。接着，根据以下公

式，计算出对应的频域的谱。

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})}$$

然后，根据频域的拉普拉斯滤波器和非锐化掩蔽滤波器公式，产生大小为 $2M \times 2N$ 的滤波器 $H(u, v)$ 。将滤波器 $H(u, v)$ 与 $F(u, v)$ 相乘，得到滤波后的频谱 $G(u, v)$ 。最后，根据以下公式，计算出经过高通滤波器处理后的图像。

$$g_p(x, y) = \{\text{real}[\mathcal{F}^{-1}[G(u, v)]]\}(-1)^{x+y}$$

取 $g_p(x, y)$ 左上角大小为 $M \times N$ 的部分得到经过高通滤波处理的图像 $g_0(x, y)$ 。

进行锐化加强的图像为：

$$g(x, y) = f(x, y) + k \times g_0(x, y)$$

拉普拉斯滤波器公式为：

$$H(u, v) = -4\pi^2 D^2(u, v)$$

以巴特沃斯高通滤波器为模板生成非锐化掩蔽滤波器公式为：

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

以高斯高通滤波器为模板生成非锐化掩蔽滤波器的公式为：

$$H(u, v) = 1 - e^{-D^2(u, v)/2D_0^2}$$

其中， D_0 为滤波器的半径，即：截止频率。 n 为滤波器阶数。 $D(u, v)$ 计算公式如下：

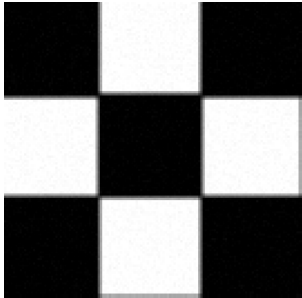
$$D(u, v) = [(\frac{u}{2})^2 + (\frac{v}{2})^2]^{1/2}$$

在 matlab 中，先使用 `imread()` 函数，将图像读入。然后，使用 `fft2()` 函数，对图像进行快速傅里叶变换，得到频域数据，接着用 `fftshift()` 函数，将频谱零点移动到中心位置。根据公式计算出拉普拉斯滤波器和非锐化掩蔽滤波器的频域函数。其中，非锐化掩蔽滤波器的模板分别取半径为 10 的巴特沃斯滤波器和高斯滤波器。将滤波器和图像频谱相乘，得到滤波后的频谱图。对滤波后的频谱图使用 `ifft2()` 函数，得到经过滤波的空域图像。再将该图像与原始图像相加，得到进行锐化增强的图像。

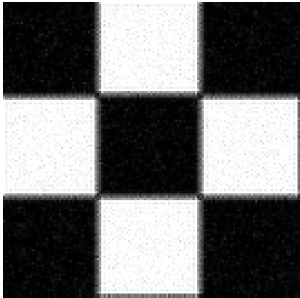
处理结果:

图像 *test3*

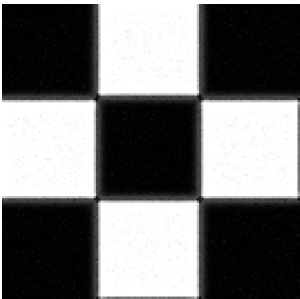
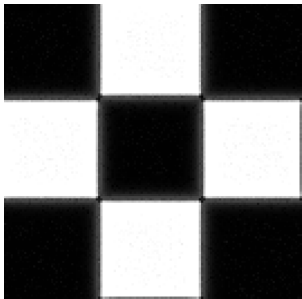
原图



拉普拉斯滤波



以巴特沃斯滤波器为模板的非掩蔽滤波 以高斯滤波器为模板的非掩蔽滤波



图像 *test4*

原图



拉普拉斯滤波



以巴特沃斯滤波器为模板的非掩蔽滤波 以高斯滤波器为模板的非掩蔽滤波



结果分析：

观察以上图像，可以发现使用拉普拉斯滤波器和非锐化掩蔽滤波器都可以实现对一幅图像进行锐化增强的效果，在保留原图像低频信息的同时，实现对图像高频边缘部分的加强，。

对于非锐化掩蔽滤波器，分别选取了半径为 10 的巴特沃斯滤波器和高斯滤波器作为钝化模板。但由于相同半径的巴特沃斯滤波器和高斯滤波器在滤波效果上较为相似，因此以它们作为钝化模板对图像进行锐化的效果几乎是一样的。

在图像 test3 中，比较拉普拉斯滤波器和非锐化掩蔽滤波器的滤波效果可以发现拉普拉斯滤波器对高频噪声会有些敏感。

在图像 test4 中，比较拉普拉斯滤波器和非锐化掩蔽滤波器的滤波效果可以发现拉普拉斯滤波器锐化后对图像的高频区域有一定的加强，而非锐化掩蔽滤波器对高频部分的加强有些过量，以致图像中有些部分有些失真。

4. 比较并讨论空域低通高通滤波（Project3）与频域低通和高通的关系；

对比上次作业中，使用空域低通高通滤波器对图像进行滤波处理的结果和这次作业中使用频域低通高通滤波器对图像进行处理的结果，可以发现，不论是空域低通滤波器还是频域低通滤波器都实现了对图像的平滑处理，不论是空域高通滤波器还是频域高通滤波器都可以对图像的边缘进行突出。两者实现的功能是一致的。

并且，空域滤波器和对应相同种类的频域滤波器互为傅里叶变换对。在空域中，对一幅图像进行处理是将原始图像与滤波器相卷积，而在频域中，对一幅图像的处理是将原始图像的频谱与滤波器频谱进行乘积操作。这两种操作相互对应，通过傅里叶变换可以实现相互转换。

此外，空域的尺度和频域的尺度是相反的。频域滤波器半径越小，对应的空域滤波器的边长就越大。因此，空域滤波器和频域滤波器有相互对应的关系，相互对应的滤波器的滤波效果和优缺点是几乎一样的。

附录

第一题代码

对 test1 处理的代码:

```
t1=imread('test1.pgm');
```

```
T1=cell(9,6);
```

```
p=zeros(1,9);
```

```
T1{1,1}=fftshift(fft2(t1));
```

```
[x,y]=size(T1{1,1});
```

```
butter20=zeros(x,y);
```

```
butter40=zeros(x,y);
```

```
butter60=zeros(x,y);
```

```
butter41=zeros(x,y);
```

```
butter42=zeros(x,y);
```

```
gauss1=zeros(x,y);
```

```
gauss2=zeros(x,y);
```

```
gauss3=zeros(x,y);
```

```
for u=1:x
```

```
    for v=1:y
```

```
        d=((u-x/2)^2+(v-y/2)^2)^0.5;
```

```
        butter20(u,v)=1/(1+(d/20)^2);
```

```
        butter40(u,v)=1/(1+(d/40)^2);
```

```
        butter60(u,v)=1/(1+(d/60)^2);
```

```
        butter41(u,v)=1/(1+(d/40)^4);
```

```
        butter42(u,v)=1/(1+(d/40)^6);
```

```
        gauss1(u,v)=exp(-d^2/(2*20^2));
```

```
        gauss2(u,v)=exp(-d^2/(2*40^2));
```

```
        gauss3(u,v)=exp(-d^2/(2*60^2));
```

```
    end
```

```
end
```

```
b1=uint8(butter20*255);
```

```
b2=uint8(butter40*255);
```

```
b3=uint8(butter60*255);
```

```
b21=uint8(butter41*255);
```

```
b22=uint8(butter42*255);
```

```
g1=uint8(gauss1*255);
```

```
g2=uint8(gauss2*255);
```

```
g3=uint8(gauss3*255);
```

```

figure(1)
subplot(1,3,1)
imshow(b1)
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(b2)
title('半径为 40 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(b3)
title('半径为 60 的巴特沃斯滤波器')

```

```

figure(2)
subplot(1,3,1)
imshow(b2)
title('n=1 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(b21)
title('n=2 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(b22)
title('n=3 的巴特沃斯滤波器')

```

```

figure(3)
subplot(1,3,1)
imshow(g1)
title('半径为 20 的高斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(g2)
title('半径为 40 的高斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(g3)
title('半径为 60 的高斯滤波器')

```

```

T1{2,1}=T1{1,1}.*butter20;
T1{3,1}=T1{1,1}.*butter40;
T1{4,1}=T1{1,1}.*butter60;
T1{5,1}=T1{1,1}.*butter41;
T1{6,1}=T1{1,1}.*butter42;
T1{7,1}=T1{1,1}.*gauss1;
T1{8,1}=T1{1,1}.*gauss2;
T1{9,1}=T1{1,1}.*gauss3;

```

```

T=log10(1+abs(T1{1,1}));

```

```

for i=1:9
    T1{i,2}=log10(1+abs(T1{i,1}));
    T1{i,2}=255*(T1{i,2}-min(min(T)))/(max(max(T))-min(min(T)));
    T1{i,3}=uint8(T1{i,2});
    T1{i,4}=uint8(abs(fftshift(fftshift(T1{i,1})))));
    T1{i,5}=abs(T1{i,1}).^2;
    T1{i,6}=sum(sum(T1{i,5}));
    p(1,i)=T1{i,6}/T1{1,6};
end

```

```

figure(4)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,3})
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,3})
title('半径为 40 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,3})
title('半径为 60 的巴特沃斯滤波器滤波')

```

```

figure(5)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{3,3})
title('n=1 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{5,3})
title('n=2 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{6,3})
title('n=3 的巴特沃斯滤波器滤波')

```

```

figure(6)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)

```

```
imshow(T1{7,3})
title('半径为 20 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{8,3})
title('半径为 40 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{9,3})
title('半径为 60 的高斯滤波器滤波')
```

```
figure(7)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,4})
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,4})
title('半径为 40 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,4})
title('半径为 60 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(8)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{3,4})
title('n=1 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{5,4})
title('n=2 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{6,4})
title('n=3 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(9)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{7,4})
title('半径为 20 的高斯滤波器滤波')
```



```

subplot(2,2,3)
imshow(T1{8,4})
title('半径为 40 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{9,4})
title('半径为 60 的高斯滤波器滤波')

```

p

对 test2 处理的代码:

```
t2=imread('test2.tif');
```

```

T1=cell(9,6);
p=zeros(1,9);
T1{1,1}=fftshift(fft2(t2));

```

```
[x,y]=size(T1{1,1});
```

```

butter20=zeros(x,y);
butter40=zeros(x,y);
butter60=zeros(x,y);
butter41=zeros(x,y);
butter42=zeros(x,y);
gauss1=zeros(x,y);
gauss2=zeros(x,y);
gauss3=zeros(x,y);

```

```

for u=1:x
    for v=1:y
        d=((u-x/2)^2+(v-y/2)^2)^0.5;
        butter20(u,v)=1/(1+(d/20)^2);
        butter40(u,v)=1/(1+(d/40)^2);
        butter60(u,v)=1/(1+(d/60)^2);
        butter41(u,v)=1/(1+(d/40)^4);
        butter42(u,v)=1/(1+(d/40)^6);
        gauss1(u,v)=exp(-d^2/(2*20^2));
        gauss2(u,v)=exp(-d^2/(2*40^2));
        gauss3(u,v)=exp(-d^2/(2*60^2));
    end
end

```

```

b1=uint8(butter20*255);
b2=uint8(butter40*255);

```

```
b3=uint8(butter60*255);
b21=uint8(butter41*255);
b22=uint8(butter42*255);
g1=uint8(gauss1*255);
g2=uint8(gauss2*255);
g3=uint8(gauss3*255);
```

```
figure(1)
subplot(1,3,1)
imshow(b1)
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(b2)
title('半径为 40 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(b3)
title('半径为 60 的巴特沃斯滤波器')
```

```
figure(2)
subplot(1,3,1)
imshow(b2)
title('n=1 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(b21)
title('n=2 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(b22)
title('n=3 的巴特沃斯滤波器')
```

```
figure(3)
subplot(1,3,1)
imshow(g1)
title('半径为 20 的高斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(g2)
title('半径为 40 的高斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(g3)
title('半径为 60 的高斯滤波器')
```

```
T1{2,1}=T1{1,1}.*butter20;
T1{3,1}=T1{1,1}.*butter40;
T1{4,1}=T1{1,1}.*butter60;
T1{5,1}=T1{1,1}.*butter41;
```

```

T1{6,1}=T1{1,1}.*butter42;
T1{7,1}=T1{1,1}.*gauss1;
T1{8,1}=T1{1,1}.*gauss2;
T1{9,1}=T1{1,1}.*gauss3;

T=log10(1+abs(T1{1,1}));

for i=1:9
    T1{i,2}=log10(1+abs(T1{i,1}));
    T1{i,2}=255*(T1{i,2}-min(min(T)))/(max(max(T))-min(min(T)));
    T1{i,3}=uint8(T1{i,2});
    T1{i,4}=uint8(abs(iff2(fftshift(T1{i,1})))));
    T1{i,5}=abs(T1{i,1}).^2;
    T1{i,6}=sum(sum(T1{i,5}));
    p(1,i)=T1{i,6}/T1{1,6};
end

```

```

figure(4)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,3})
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,3})
title('半径为 40 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,3})
title('半径为 60 的巴特沃斯滤波器滤波')

```

```

figure(5)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{3,3})
title('n=1 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{5,3})
title('n=2 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{6,3})
title('n=3 的巴特沃斯滤波器滤波')

```

```
figure(6)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{7,3})
title('半径为 20 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{8,3})
title('半径为 40 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{9,3})
title('半径为 60 的高斯滤波器滤波')
```

```
figure(7)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,4})
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,4})
title('半径为 40 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,4})
title('半径为 60 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(8)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{3,4})
title('n=1 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{5,4})
title('n=2 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{6,4})
title('n=3 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(9)
```

```

subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{7,4})
title('半径为 20 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{8,4})
title('半径为 40 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{9,4})
title('半径为 60 的高斯滤波器滤波')

```

p

第二题代码

对 test3 处理的代码:

```
t3=imread('test3_corrupt.pgm');
```

```
T1=cell(9,6);
```

```
p=zeros(1,9);
```

```
T1{1,1}=fftshift(fft2(t3));
```

```
[x,y]=size(T1{1,1});
```

```
butter20=zeros(x,y);
```

```
butter40=zeros(x,y);
```

```
butter60=zeros(x,y);
```

```
butter41=zeros(x,y);
```

```
butter42=zeros(x,y);
```

```
gauss1=zeros(x,y);
```

```
gauss2=zeros(x,y);
```

```
gauss3=zeros(x,y);
```

```
for u=1:x
```

```
    for v=1:y
```

```
        d=((u-x/2)^2+(v-y/2)^2)^0.5;
```

```
        butter20(u,v)=1/(1+(10/d)^2);
```

```
        butter40(u,v)=1/(1+(20/d)^2);
```

```
        butter60(u,v)=1/(1+(30/d)^2);
```

```
        butter41(u,v)=1/(1+(20/d)^4);
```

```
        butter42(u,v)=1/(1+(20/d)^6);
```

```
        gauss1(u,v)=1-exp(-d^2/(2*10^2));
```

```
        gauss2(u,v)=1-exp(-d^2/(2*20^2));  
        gauss3(u,v)=1-exp(-d^2/(2*30^2));  
    end  
end
```

```
b1=uint8(butter20*255);  
b2=uint8(butter40*255);  
b3=uint8(butter60*255);  
b21=uint8(butter41*255);  
b22=uint8(butter42*255);  
g1=uint8(gauss1*255);  
g2=uint8(gauss2*255);  
g3=uint8(gauss3*255);
```

```
figure(1)  
subplot(1,3,1)  
imshow(b1)  
title('半径为 10 的巴特沃斯滤波器')  
subplot(1,3,2)  
imshow(b2)  
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器')  
subplot(1,3,3)  
imshow(b3)  
title('半径为 30 的巴特沃斯滤波器')
```

```
figure(2)  
subplot(1,3,1)  
imshow(b2)  
title('n=1 的巴特沃斯滤波器')  
subplot(1,3,2)  
imshow(b21)  
title('n=2 的巴特沃斯滤波器')  
subplot(1,3,3)  
imshow(b22)  
title('n=3 的巴特沃斯滤波器')
```

```
figure(3)  
subplot(1,3,1)  
imshow(g1)  
title('半径为 10 的高斯滤波器')  
subplot(1,3,2)  
imshow(g2)  
title('半径为 20 的高斯滤波器')  
subplot(1,3,3)
```

```
imshow(g3)
title('半径为 30 的高斯滤波器')
```

```
T1{2,1}=T1{1,1}.*butter20;
T1{3,1}=T1{1,1}.*butter40;
T1{4,1}=T1{1,1}.*butter60;
T1{5,1}=T1{1,1}.*butter41;
T1{6,1}=T1{1,1}.*butter42;
T1{7,1}=T1{1,1}.*gauss1;
T1{8,1}=T1{1,1}.*gauss2;
T1{9,1}=T1{1,1}.*gauss3;
```

```
T=log10(1+abs(T1{1,1}));
```

```
for i=1:9
    T1{i,2}=log10(1+abs(T1{i,1}));
    T1{i,2}=255*(T1{i,2}-min(min(T)))/(max(max(T))-min(min(T)));
    T1{i,3}=uint8(T1{i,2});
    T1{i,4}=uint8(abs(iff2(fftshift(T1{i,1})))));
    T1{i,5}=abs(T1{i,1}).^2;
    T1{i,6}=sum(sum(T1{i,5}));
    p(1,i)=T1{i,6}/T1{1,6};
end
```

```
figure(4)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,3})
title('半径为 10 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,3})
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,3})
title('半径为 30 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(5)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{3,3})
```

```
title('n=1 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{5,3})
title('n=2 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{6,3})
title('n=3 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(6)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{7,3})
title('半径为 10 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{8,3})
title('半径为 20 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{9,3})
title('半径为 30 的高斯滤波器滤波')
```

```
figure(7)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,4})
title('半径为 10 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,4})
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,4})
title('半径为 30 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(8)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{3,4})
title('n=1 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
```



```

imshow(T1{5,4})
title('n=2 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{6,4})
title('n=3 的巴特沃斯滤波器滤波')

figure(9)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{7,4})
title('半径为 10 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{8,4})
title('半径为 20 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{9,4})
title('半径为 30 的高斯滤波器滤波')

```

p

对 test4 处理的代码:

```
t4=imread('test4 copy.bmp');
```

```
T1=cell(9,6);
```

```
p=zeros(1,9);
```

```
T1{1,1}=fftshift(fft2(t4));
```

```
[x,y]=size(T1{1,1});
```

```
butter20=zeros(x,y);
```

```
butter40=zeros(x,y);
```

```
butter60=zeros(x,y);
```

```
butter41=zeros(x,y);
```

```
butter42=zeros(x,y);
```

```
gauss1=zeros(x,y);
```

```
gauss2=zeros(x,y);
```

```
gauss3=zeros(x,y);
```

```
for u=1:x
```

```
    for v=1:y
```

```
        d=((u-x/2)^2+(v-y/2)^2)^0.5;
```

```

        butter20(u,v)=1/(1+(10/d)^2);
        butter40(u,v)=1/(1+(20/d)^2);
        butter60(u,v)=1/(1+(30/d)^2);
        butter41(u,v)=1/(1+(20/d)^4);
        butter42(u,v)=1/(1+(20/d)^6);
        gauss1(u,v)=1-exp(-d^2/(2*10^2));
        gauss2(u,v)=1-exp(-d^2/(2*20^2));
        gauss3(u,v)=1-exp(-d^2/(2*30^2));
    end
end

```

```

b1=uint8(butter20*255);
b2=uint8(butter40*255);
b3=uint8(butter60*255);
b21=uint8(butter41*255);
b22=uint8(butter42*255);
g1=uint8(gauss1*255);
g2=uint8(gauss2*255);
g3=uint8(gauss3*255);

```

```

figure(1)
subplot(1,3,1)
imshow(b1)
title('半径为 10 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(b2)
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(b3)
title('半径为 30 的巴特沃斯滤波器')

```

```

figure(2)
subplot(1,3,1)
imshow(b2)
title('n=1 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(b21)
title('n=2 的巴特沃斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(b22)
title('n=3 的巴特沃斯滤波器')

```

```

figure(3)
subplot(1,3,1)

```

```

imshow(g1)
title('半径为 10 的高斯滤波器')
subplot(1,3,2)
imshow(g2)
title('半径为 20 的高斯滤波器')
subplot(1,3,3)
imshow(g3)
title('半径为 30 的高斯滤波器')

```

```

T1{2,1}=T1{1,1}.*butter20;
T1{3,1}=T1{1,1}.*butter40;
T1{4,1}=T1{1,1}.*butter60;
T1{5,1}=T1{1,1}.*butter41;
T1{6,1}=T1{1,1}.*butter42;
T1{7,1}=T1{1,1}.*gauss1;
T1{8,1}=T1{1,1}.*gauss2;
T1{9,1}=T1{1,1}.*gauss3;

```

```

T=log10(1+abs(T1{1,1}));

```

```

for i=1:9
    T1{i,2}=log10(1+abs(T1{i,1}));
    T1{i,2}=255*(T1{i,2}-min(min(T)))/(max(max(T))-min(min(T)));
    T1{i,3}=uint8(T1{i,2});
    T1{i,4}=uint8(abs(iff2(fftshift(T1{i,1})))));
    T1{i,5}=abs(T1{i,1}).^2;
    T1{i,6}=sum(sum(T1{i,5}));
    p(1,i)=T1{i,6}/T1{1,6};
end

```

```

figure(4)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,3})
title('半径为 10 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,3})
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,3})
title('半径为 30 的巴特沃斯滤波器滤波')

```

```
figure(5)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{3,3})
title('n=1 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{5,3})
title('n=2 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{6,3})
title('n=3 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(6)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,3})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{7,3})
title('半径为 10 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{8,3})
title('半径为 20 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{9,3})
title('半径为 30 的高斯滤波器滤波')
```

```
figure(7)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,4})
title('半径为 10 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,4})
title('半径为 20 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,4})
title('半径为 30 的巴特沃斯滤波器滤波')
```

```
figure(8)
subplot(2,2,1)
```

```

imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{3,4})
title('n=1 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{5,4})
title('n=2 的巴特沃斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{6,4})
title('n=3 的巴特沃斯滤波器滤波')

figure(9)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{7,4})
title('半径为 10 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{8,4})
title('半径为 20 的高斯滤波器滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{9,4})
title('半径为 30 的高斯滤波器滤波')

p

```

第三题代码

对 test3 处理的代码:

```
t3=imread('test3_corrupt.pgm');
```

```
T1=cell(4,4);
```

```
p=zeros(1,4);
```

```
T1{1,1}=fftshift(fft2(t3));
```

```
[x,y]=size(T1{1,1});
```

```
lapla=zeros(x,y);
```

```
butter20=zeros(x,y);
```

```
gauss1=zeros(x,y);
```

```
for u=1:x
```

```

        for v=1:y
            d=((u-x/2)^2+(v-y/2)^2)^0.5;
            lapla(u,v)=4*pi^2*d^2;
            butter20(u,v)=1/(1+(10/d)^2);
            gauss1(u,v)=1-exp(-d^2/(2*10^2));
        end
    end

lapla=(lapla-min(min(lapla)))/(max(max(lapla))-min(min(lapla)));

T1{2,1}=T1{1,1}.*(1+10*lapla);
T1{3,1}=T1{1,1}.*(1+butter20);
T1{4,1}=T1{1,1}.*(1+gauss1);

T=log10(1+abs(T1{1,1}));

for i=1:4
    T1{i,2}=log10(1+abs(T1{i,1}));
    T1{i,2}=255*(T1{i,2}-min(min(T)))/(max(max(T))-min(min(T)));
    T1{i,3}=uint8(T1{i,2});
    T1{i,4}=uint8(abs(iff2(fftshift(T1{i,1})))));
end

figure(1)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,4})
title('拉普拉斯滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,4})
title('以巴特沃斯滤波器为模板的非掩蔽滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,4})
title('以高斯滤波器为模板的非掩蔽滤波')

```

对 test4 处理的代码:

```
t3=imread('test4 copy.bmp');
```

```
T1=cell(4,4);
```

```
p=zeros(1,4);
```

```
T1{1,1}=fftshift(fft2(t3));
```

```

[x,y]=size(T1{1,1});

lapla=zeros(x,y);
butter20=zeros(x,y);
gauss1=zeros(x,y);

for u=1:x
    for v=1:y
        d=((u-x/2)^2+(v-y/2)^2)^0.5;
        lapla(u,v)=4*pi^2*d^2;
        butter20(u,v)=1/(1+(10/d)^2);
        gauss1(u,v)=1-exp(-d^2/(2*10^2));
    end
end

lapla=(lapla-min(min(lapla)))/(max(max(lapla))-min(min(lapla)));

T1{2,1}=T1{1,1}.*(1+10*lapla);
T1{3,1}=T1{1,1}.*(1+butter20);
T1{4,1}=T1{1,1}.*(1+gauss1);

T=log10(1+abs(T1{1,1}));

for i=1:4
    T1{i,2}=log10(1+abs(T1{i,1}));
    T1{i,2}=255*(T1{i,2}-min(min(T)))/(max(max(T))-min(min(T)));
    T1{i,3}=uint8(T1{i,2});
    T1{i,4}=uint8(abs(fft2(fftshift(T1{i,1})))));
end

figure(1)
subplot(2,2,1)
imshow(T1{1,4})
title('原图')
subplot(2,2,2)
imshow(T1{2,4})
title('拉普拉斯滤波')
subplot(2,2,3)
imshow(T1{3,4})
title('以巴特沃斯滤波器为模板的非掩蔽滤波')
subplot(2,2,4)
imshow(T1{4,4})
title('以高斯滤波器为模板的非掩蔽滤波')

```