

# 实现频率域图像增强

## 一、算法研究

### 1.1 频域高通滤波

#### 1.1.1 巴特沃斯高通滤波器

截至频率为  $D_0$  的  $n$  阶巴特沃斯高通滤波器的定义为：

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

其中， $D(u, v)$  由式 (1-2) 给出，其中  $(u, v)$  为图像像素点坐标， $M$  为图像高度， $N$  为图像宽度。巴特沃斯高通滤波器比理想高通滤波器更平滑，并且截止频率越大，使用巴特沃斯高通滤波器得到的结果就越平滑。

$$D(u, v) = \left[ \left( u - \frac{M}{2} \right)^2 + \left( v - \frac{N}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-2)$$

#### 1.1.2 高斯滤波器

截至频率处在距频率矩形中心距离为  $D_0$  的高斯高通滤波器的传递函数为：

$$H(u, v) = 1 - e^{-D(u, v)^2 / 2D_0^2} \quad (1-3)$$

其中， $D(u, v)$  由式 (1-2) 给出。对高斯高通滤波器得到的结果来说，它比巴特沃斯高通滤波器和理想高通滤波器更平滑。

### 1.2 高频增强滤波

高频增强滤波器的传递函数如下

$$H_{hp}(u, v) = a + bH_{hp}(u, v) \quad a \geq 0, b > a \quad (1-4)$$

其中， $H_{hp}(u, v)$  表示高通滤波器。增加  $a$  的目的是使零频率不被滤波器过滤，并且当  $b > 1$  时，高频会得到加强。这个滤波器用图像的高频成分进行增强，在保留高频分量的同时，也加入了背景的低频成分。

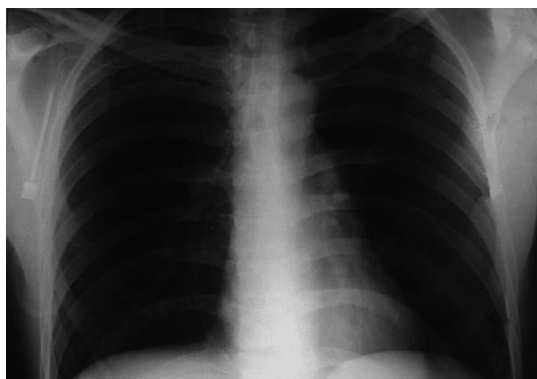


图 1 实验采用的原图像

## 二、结果说明

(1) 采用不同的截止频率，观察高斯高通滤波的结果，如图 2 所示。可以看到，随着截止频率的减小，滤除的高频成分越来越少，图像有更多的部分被保留下来。



图 (a)  $D_0$  为 5% 的图像高度



图 (b)  $D_0$  为 2% 的图像高度



图 (c)  $D_0$  为 0.5% 的图像高度

图 2 不同  $D_0$  值下的高斯高通滤波图像

(2) 使用高斯滤波器和巴特沃斯滤波器进行高频增强滤波对比实验，并进行直方图均衡化，结果如图 3 和图 4 所示，其中截止频率都为 5% 的图像高度， $a$  取 0.5， $b$  取 2，巴特沃斯滤波器的阶数为 2。

可以看到，两种滤波器下的处理结果基本一致。以高斯滤波器为例，原图像较为模糊，单纯进行高通滤波后的结果特征不明显，非常朦胧地显示了图像的主边缘。经过高频增强滤波后，增强了图像的高频成分，并保留了零频分量，但是图像整体较暗。再经过直方图均衡化后，增加了像素灰度值的动态范围，增强了图像整体对比度。

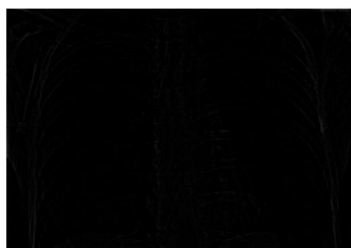


图 (a) 高通滤波



图 (b) 高频增强滤波

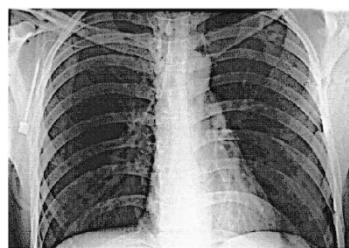


图 (c) 直方图均衡化

图 3 采用高斯滤波器的处理结果



图 (a) 高通滤波

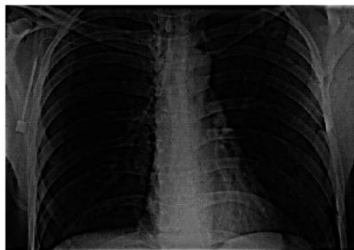


图 (b) 高频增强滤波

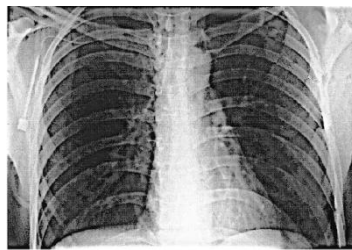


图 (c) 直方图均衡化

图 4 采用巴特沃斯滤波器的处理结果