

消除图像中的噪声成分叫作图像的平滑化或滤波操作。信号或图像的能量大部分集中在幅度谱的低频和中频段是很常见的，而在较高频段，感兴趣的信息经常被噪声淹没。因此一个能降低高频成分幅度的滤波器就能够减弱噪声的影响。

滤波的目的有两个:一是抽出对象的特征作为图像识别的特征模式;另一个是为适应图像处理的要求，消除图像数字化时所混入的噪声。

对滤波处理的要求有两条:一是不能损坏图像的轮廓及边缘等重要信息;二是使图像清晰视觉效果好。

图像的滤波方法很多，主要可以分为频率域法和空间域法两大类。频率域法的处理是在图像的某种变换域内，对图像的变换系数值进行运算，然后通过逆变换获得增强图像。这是一种间接的图像滤波方法。空间滤波方法是一类直接的滤波方法，它在处理图像时直接对图像灰度作运算。

频率域滤波是将图像从空间或时间域转换到频率域，再利用变换系数反映某些图像特征的性质进行图像滤波的方法。傅立叶变换是一种常用的变换。在傅立叶变换域，频谱的直流分量正比于图像的平均亮度，噪声对应于频率较高的区域，图像实体位于频率较低的区域。图像在变换具有的这些内在特性可被用于图像滤波。可以构造一个低通滤波器，使低频分量顺利通过而有效地阻于高频分量，即可滤除图像的噪声，再经过反变换来取得平滑的图像。

低通的数学表达式如下式所示:

$$G(u,v)=F(u,v)H(u,v)$$

式中  $F(u, v)$ —含有噪声的原图像的傅立叶变换;

$H(u, v)$ —为传递函数，也称转移函数（即低通滤波器）;

$G(u, v)$ —为经低通滤波后输出图像的傅立叶变换。

$H$  滤波滤去高频成分，而低频信息基本无损失地通过。滤波后，经傅立叶变换反变换可得平滑图像，即

选择适当的传递函数  $H(u, v)$ ，对频率域低通滤波关系重大。常用的传递函数有梯形函数、指数函数、巴特沃思函数等。

频域常用的几种低通滤波器为理想低通滤波器(Ideal circular low-passfilter)、巴特沃思(Butterworth)低通滤波器、指数低通滤波器及梯形低通滤波器。这些低通滤波器，都能在图像内有噪声干扰成分时起到改善的作用。

常用的平面空间域滤波法有两类:一类是拟合图像的方法，包括  $n$  阶多项式拟合、离散正交多项式拟合、二次曲面拟合等多种方法;另一类是平滑图像的方法，包括领域平均法、中值滤波法、梯度倒数加权法、选择式掩模法等。

**首先是高斯滤波器。** 高斯滤波器是平滑线性滤波器的一种，线性滤波器很适合于去除高斯噪声。而非线性滤波则很适用于去除脉冲噪声，中值滤波就是非线性滤波的一种。平滑滤波器就是用滤波掩模确定的邻域内像素的平均灰度值去替代图像的每个像素点的值，这很容易用硬件实现。而高斯滤波器是带有权重的平均值，即加权平均，中心的权重比邻近像素的权重更大，这样就可以克服边界效应。高斯滤波如果采用  $3 \times 3$  掩模的具体公式如下:

$$g(x,y)=\{f(x-1,y-1)+f(x-1,y+1)+f(x+1,y-1)+f(x+1,y+1)+[f(x-1,y)+f(x,y-1)+f(x+1,y)+f(x,y+1)]*2+f(x,y)*4\}/16;$$

其中， $f(x,y)$ 为原图像中  $(x,y)$ 像素点的灰度值， $g(x,y)$ 为经过高斯滤波和的值。

上述的公式可以结构化为  $3\times 3$  的掩模如下：

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 1 |
| 2 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 1 |

×1/16

从结构化掩模中可以看到，处于掩模中心的位置比其他任何像素的权值都大，因此在均值计算中给定的这一像素显得更为重要。而距离掩模中心较远的像素就显得不太重要，这样做是为了减小平滑处理中的模糊。当然可以采取其他的权重达到相同的目的，其中  $16=1+2+1+2+4+2+1+2+1$ 。但是由于 1、2、4、16 都是 2 的整数次幂很便于硬件的实现。

我在网上搜到一篇在 FPGA 上实现高斯滤波器的具体方法，上传到我的分享中了。

地址是 <http://www.openhard.org/down.php?menuid=1767>。

具体的参考数字图像处理的经典书——冈萨雷斯的《数字图像处理（matlab 版）》借此机会希望有更多喜欢“图像处理+FPGA”的同学一同探讨这本书上的精华。

**其次是中值滤波器。** 中值滤波器是统计滤波器的一种，属于非线性的的空间滤波器。正如其名，它是将像素（中值计算中包括的原像素值）邻域内灰度的中值代替该像素的值。中值滤波器的使用非常普遍，这是因为对于一定类型的随机噪声，它提供了优秀的去噪能力，比小尺寸的线性平滑滤波器的模糊程度明显要低。中值滤波器对处理脉冲噪声非常有效。中值滤波器在 FPGA 上实现起来相对高斯滤波的难度更大一点。因为它要对相邻的像素进行排序，需要用到一些比较器。

虽然说中值滤波器对脉冲信号很有效，但是仅采用简单的中值滤波将不可避免的丢失图像的细节，造成视觉效果模糊。于是后来又有人提出了一些改进的方法，如基于个数判断的脉冲噪声的中值滤波器、自适应门限的中值滤波器、多窗口下的自适应中值滤波器等等。