

几种滤波算法在声纳图像处理中的比较分析

雷毅¹, 谢静²

(1. 海军驻中国舰船设计中心代表室, 武汉 430064; 2. 海军驻武昌造船厂军事代表室, 武汉 430064)

摘要:为了研究比较各种滤波去噪算法在声纳图像中的优劣,介绍了分属传统空间域和频域的四种滤波算法,并在实测声纳图像的基础上进行了实验分析。实验结果表明,相比于均值加权滤波器和中值滤波器,巴特沃斯滤波器和高斯滤波器这两种频域滤波器在适当选择参数的前提下,对声纳图像的滤波效果要更好。

关键词:声纳;滤波;空间域;频域

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2012)06-0095-03

噪声可以理解成“妨碍人们的感觉器官理解信息源信息的因素”。理论上噪声是不可预测的,可以理解为“只能用概率统计方法来认识的随机误差”^[1]。噪声使图像变得模糊,甚至会淹没其中的一些图像特征,进而影响后续的图像分割、边缘检测等处理环节。

在声纳图像处理领域,噪声是影响图像质量的重要原因之一。在一幅图像中,噪声主要处于高频部分,因此传统的滤波去噪方法就是对图像的高频部分进行滤除,由于图像的细节如边缘纹理也分布在高频区域,所以在对噪声进行滤除的同时也模糊了图像的边缘部分。对成像声纳而言,它主要依靠物体对声信号的反射来对物体成像,根据目标反射特性可知,目标的边缘和拐点对声波反射最强,所以在声纳图像中它的边缘和细节信息尤其重要,如何处理好去噪和保留细节之间的关系一直是该领域的主要研究课题之一。

常见的滤波算法分为空间域和频域滤波两类,“空间域”一词是指图像平面自身,这类方法是以对图像像素的直接处理为基础的;“频域”处理技术是以修改图像的傅里叶变换为基础^[2]。

1 空间域滤波器

空间域滤波器的主要工作机理就是在待处理图像上逐点移动掩模(或窗口)。在每一点 (x, y) 处,滤波器在该点的响应通过事先定义的关系来计算。

1.1 线性空间滤波器

对于线性空间滤波器,其响应由滤波器系数与滤波掩模扫过区域的相应像素值的乘积之和给出。一般来说,在 $M \times N$ 的图像 f 时,用 $m \times n$ 大小的滤波器掩模进行线性滤波由下式给出:

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x+s, y+t)$$

这里 $g(x, y)$ 是滤波响应, $w(s, t)$ 是掩模系数, $f(x+s, y+t)$ 是像素值, $a = (m-1)/2$ 且 $b = (n-1)/2$ 。为了得到一幅完整的经过滤波处理的图像,必须对 $x=0, 1, 2, \dots, M-1$ 和 $y=0, 1, 2, \dots, N-1$ 依次应用公式。

均值滤波器是一种典型的线性空间域滤波器,本文采用 3×3 加权平均掩模,如图1所示,处于淹没中心位置的像素比其他任何像素的权值都要大,因此在均值计算中给定的这一像素显得更重要,二距离掩模中心较远的其它像素重要性会降低。这样做的目的是为了减小平滑处理中的模糊^[3]。

0	1	0
1	1	1
0	1	0

图1 滤波器掩模

计算过程如下:

$$g(x, y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x+s, y+t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)}$$

式中分母部分的 $\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)$ 表示掩模的系数总和,用以计算加权平均值。

Matlab 仿真结果及结论(白色方框中为需要保留的目标图像)如图2所示。

可见,线性均值滤波器对高斯噪声有较好的平滑去噪作用,但是对其它的高频分量抑制效果较差,原图像中的许多脉冲信号干扰依然存在。

收稿日期:2012-03-05

作者简介:雷毅(1986—),男,硕士,主要从事制导与控制研究。

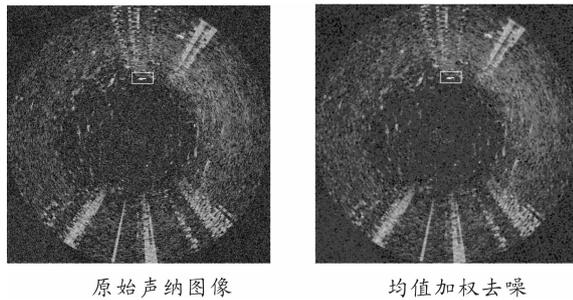


图2 线性均值加权滤波去噪声效果

1.2 非线性空间滤波器

非线性空间滤波器也是基于领域处理,且掩模滑过一幅图像的机理与线性空间滤波器是一样的,但是其处理结果必须考虑领域内各像素点的值^[4]。

中值滤波器就是非线性空间滤波器,它的领域计算类似于卷积,但并不求加权和。它首先确定一个以某像素为中心点的领域,然后将该领域中的各个像素点的灰度值进行排序,取其中间值作为中心像素点的新灰度值。例如在一个 5×5 的领域中,中值就是第13个值。领域中的一系列像素值为(10,20,20,20,15,20,20,25,100),对这些值进行从小到大的排序后变为(10,15,20,20,20,20,20,25,100),那么其中值就是20,也是中心像素点的新灰度值。Matlab 仿真结果及结论如图3所示。

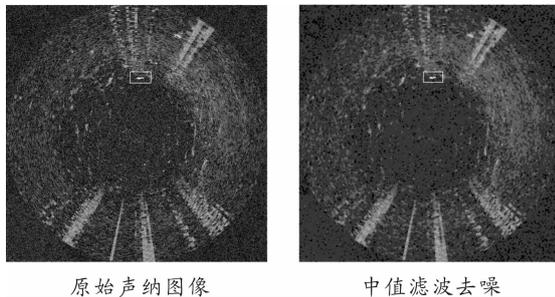


图3 非线性中值滤波去噪声效果

可见,非线性中值滤波器能够在去除噪声的同时较好地保留图像的边缘细节,对脉冲噪声的滤除效果要好于均值加权滤波,但是还不够满意。

2 空间域滤波器

频域变换的是建立在傅里叶变换的基础之上,他指出任何周期函数都可以表示为不同频率的正弦和余弦和的形式,甚至任何非周期的函数(曲线为有限的情况)也可以用正弦或余弦乘以加权函数的积分来表示。用傅里叶级数或变换表示的函数特征可以完全通过傅里叶反过程来重建,不会丢失任何信息^[5]。

滤波步骤为:

(1)用 $(-1)^{x+y}$ 乘以输入图像函数 $f(x,y)$ 进行中心变换

$$F[f(x,y)(-1)^{x+y}] = F(u - \frac{M}{2}, v - \frac{N}{2})$$

(2)由(1)式计算图像的DFT,即 $F(u,v)$;

(3)用滤波器函数 $H(u,v)$ 乘以 $F(u,v)$ 即 $G(u,v) = H(u,v)F(u,v)$;

(4)计算(3)中结果的反DFT;

(5)得到(4)中结果的实部;

(6)用 $(-1)^{x+y}$ 乘以(5)中的结果,输出即为经频域滤波处理后的最终图像。

图像大小为 $M \times N$, $f(x,y)$ 代表输入图像,离散傅里叶变换DFT, $H(u,v)$ 称为滤波器或滤波器传递函数,它能够在变换中抑制某些频率,但其他频率不受影响,滤波器函数决定了各种频域滤波器的不同。

2.1 巴特沃斯低通滤波器

n 阶巴特沃斯滤波器是一种典型的频域低通滤波器,其传递函数可表示为:

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

$D(u,v)$ 是距傅里叶变换原点的距离, D_0 是截止频率距原点的距离:

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

n 的大小决定了衰减率,它在截至频率处的值为最大值的1/2。巴特沃斯滤波器会大大减少处理后图像的模糊程度,因为它的 $H(u,v)$ 不是陡峭的截止特性,它的尾部包含了大量的高频成分。这个滤波器的带阻和通带之间有一个平滑的过渡带,没有明显的不连续性。仿真结果及结论如图4所示。

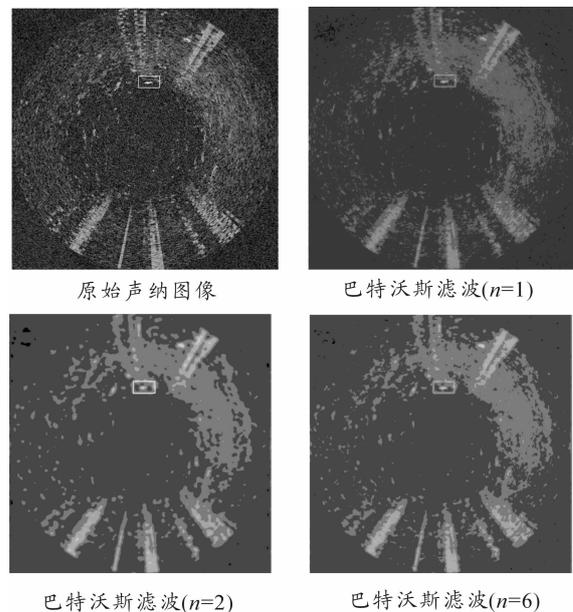


图4 巴特沃斯滤波器去噪声效果

可见,巴特沃斯频域滤波器具有更好的选择性,能在一定范围内起到抑制噪声的作用。从图3可以看出,随着 n 值由1逐渐增加到2和6,图像的振铃现象越来越严重,并且逐渐变得模糊,但滤波效果却更好,所以在实际应用中应根据

需求选择合适的 n 值。

2.2 巴特沃斯低通滤波器

高斯低通滤波器是基于高斯函数的滤波,所以它的形状易于确定,而且高斯函数的傅里叶变换和反傅里叶变换均为实高斯函数。高斯滤波器有两个优势:(1)变换后的高斯曲线直观且易于操作,这非常有助于分析;(2)正反傅里叶变换有相互之间的作用。二维高斯滤波器的传递函数可表示为:

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

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

σ 表示高斯曲线扩展的程度。使 $\sigma = D_0$, 可以将滤波器表示为更熟悉的形式:

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

其中 D_0 是截止频率,当 $D(u, v) = D_0$ 时,滤波器下降到它最大值的 0.607 倍处。

Matlab 仿真结果及结论如图 5 所示。

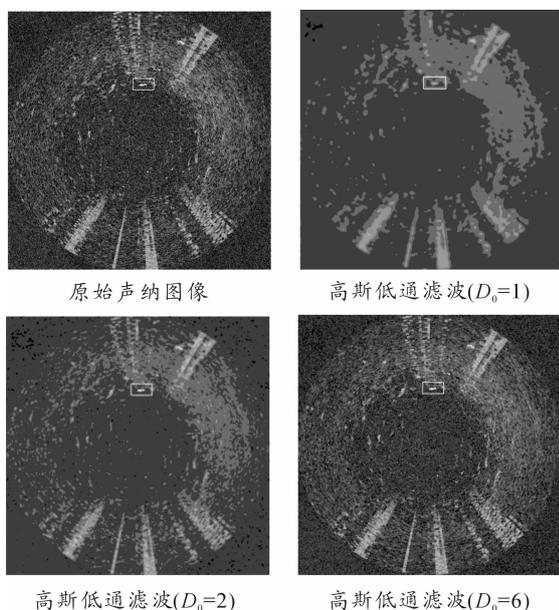


图 5 高斯滤波器去噪声效果

可见,无论截止频率为多少,由于高斯低通滤波器的傅里叶反变换也是高斯的,所以图像都没有发生振铃现象。在一定的截止频率范围内,高斯低通滤波器的效果要优于前面提到的三种方法,但是随着频率的提高,这一优势逐渐减少,

但却保留了更多的图像细节。

3 结束语

滤波去噪是图像处理中一个很重要的预处理环节,直接影响到后续图像分割和边缘提取的效果,因此在各种滤波算法在减少图像噪声的同时,尽可能地追求保留图像的边缘和纹理信息。本文利用几幅实测声纳图像数据,实验对比常用的几种滤波算法在声纳图像中的应用效果,可得出如下结论:

- 1) 均值加权空域滤波器适用于消除图像中的颗粒噪声,但是会模糊图像的细节部分,但是对脉冲信号的抑制效果较差;
- 2) 中值空域滤波器相比于均值加权滤波器在滤除脉冲信号方便效果要更好,但同时也剔除了目标物的一些毛刺,在具体使用时应有针对性地进行选择;
- 3) 巴特沃斯频域滤波器对噪声的滤除效果较好,但受 n 值影响较大,随着 n 值的逐渐增大,图像的振铃现象更加明显,但滤波效果却更好,如何确定一个坚固两方面影响的 n 值是下一步工作中需要重点研究的地方;
- 4) 高斯频域滤波器则没有振铃现象的干扰,但是截止频率的选择也必须兼顾滤波效果和保留细节这两个方面,在下一步的工作中需要重点研究。

参考文献:

- [1] 盛仲飙. 基于 Matlab 的图像去噪算法研究[J]. 河南科学, 2010(10): 18-20.
- [2] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [3] 王小兵, 孙久远. 一种新型高斯噪声滤波算法[J]. 北华大学学报, 2011(5): 606-609.
- [4] 李剑侠, 郭吉丰. 基于数学形态学的图像快速去噪方法[J]. 中国医疗器械杂志, 2006(3): 167-169.
- [5] 赵春晖, 李誉斐. 基于偏微分方程的声纳图像去噪[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2008(1): 10-14.

(责任编辑 周江川)