

一种基于排序阈值的开关中值滤波方法

秦 鹏 丁润涛

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘 要 提出了一种基于排序阈值的开关中值滤波方法以克服图像滤波中去噪与细节保护的矛盾。该方法利用滤波窗口内像素点的排序信息,在极值中值滤波方法的基础上,将受脉冲噪声污染图像中的像素点进一步分为噪声点、边缘细节区和平坦区3种类型。通过对多种图像测试的统计结果,获得合适的分类器参数,然后利用类型判决,进行开关中值滤波,即对噪声点和平坦区进行中值滤波以得到良好的噪声滤除效果,而对边缘细节区不做处理以获得良好的细节保护效果。比较了标准中值滤波、极值中值滤波和本方法的结果。实验结果表明,本方法具有更好的效果。

关键词 开关中值滤波 细节保护

中图法分类号: TP391.41 TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)04-0412-05

Ordering Threshold Switching Median Filter

QIN Peng, DING Run-tao

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract This paper presents an ordering threshold switching median filter to solve the contradiction between noise attenuation and image detail-preserving. From the ordering information of the pixels in the window, and based on extremum median filtering the image corrupted by impulse noise is divided into three pixel classes, that is, noise pixels, edges and details, and smooth regions. With the statistic of a lot of standard images tested, the parameters of the classifier are properly chosen in order to deal with most images adaptively. Then switching median filtering is applied with the classifier. Therefore the smooth regions and noise pixels are filtered by median filters that have a good noise removing capability, especially with the 'salt and pepper' noise. However, most of the edges and details of the image are untouched, so that the restored image can keep details even in variable magnitude impulse noise conditions. A comparison of median filter, extremum median filter and the method in this paper is provided both in subjective images and objective MAE and MSE data. Obviously, the results indicated that the new method has better properties.

Keywords switching median filtering, detail-preserving

1 引 言

图像信号在其形成、传输和记录过程中,由于成像系统、传输介质、工作环境和记录设备的不完善均会引入噪声而使图像质量下降,或称退化。对有噪声图像来说,其后续处理(如特征提取、图像分析和识别、图像压缩等)的成败好坏往往取决于其前期处理的效果与质量。尤其是在恶劣和高噪声环境下(如军事

电子对抗、工业机器人、历史文物资料等)得到的一些低信噪比图像,如前期处理效果不佳,则后续处理往往难以为继,导致处理的失败。

中值滤波是当前应用最广的滤波方法之一。然而,中值滤波的去噪效果依赖于滤波窗口的大小及参与中值计算的像素点数目。滤波窗口对输出图像的质量有很大影响。窗口太小,去噪效果不好,窗口太大又会损失太多的图像细节,造成图像模糊。图像中的某些诸如细线、拐角等细节往往包含图像重要

的结构信息,这些结构的破坏或丢失往往比噪声本身更为不可接受。所以,保护细节的中值类滤波器的研究成为非线性滤波器研究的一个重要方面,随之出现了多种基于中值滤波的改进型算法^[1~7]。其中开关中值滤波(SM)算法^[1],递进开关滤波(PSM)算法^[2],极值中值滤波法(EM)^[3]等方法在改善中值滤波器的滤波性能和保护图像细节方面做出了有益的探索。但这几种方法都存在一定的局限性。SM 算法在噪声密度较低时效果好,其性能随着输入图像信噪比的降低逐步接近标准中值滤波;PSM 算法是循环操作,执行时间较长,而且要预先估计参数,使实际应用受到限制;EM 算法简单,但是仅对于幅度比较大的噪声效果较好。本方法在 EM 方法的基础上,将图像区域做了更细致的分类,从而达到了抑制噪声且保护细节的良好效果,而且有更好的噪声适应能力。

2 开关中值滤波和极值中值滤波

设 x_{ij} 表示一幅数字化的图像中图像点 (i, j) 的灰度值, $W_n[x_{ij}]$ 表示以点 (i, j) 为中心对图像中的点 x_{ij} 做 $n \times n = 2N + 1$ (其中 n 为奇整数, N 为正整数)窗口操作, $\text{med}(W_n[x_{ij}])$ 表示对窗口 $W_n[x_{ij}]$ 内的所有点取中值。若 y_{ij} 为像素点 x_{ij} 经过中值滤波后的输出值,即

$$y_{ij} = \text{med}(W_n[x_{ij}]) = \text{med}(x_{ij}^{(1)}, \dots, x_{ij}^{(N+1)}, \dots, x_{ij}^{(2N+1)}) \quad (1)$$

其中 $x_{ij}^{(k)}$ 为窗口内排序后相应位置的图像点灰度值。在上述的操作中,所有像素采用统一的处理方法。该过程既滤除了噪声,也改变了真正信号点的值,造成了图像模糊。假如可以知道哪些点是信号点,哪些点已被噪声污染,就可以只处理噪声点而保留未被噪声污染的点。如图 1 所示,开关中值滤波就是一种通过一个分类器(或者是噪声检测器)来控制

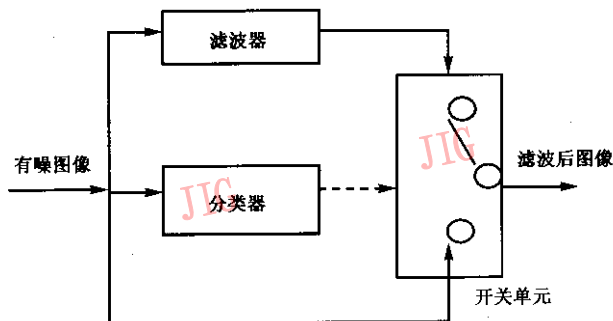


图 1 开关中值滤波

开关单元选择性地处理图像,从而达到去噪同时又保留细节的一种新型的滤波器。

从经验可知,对于自然图像,邻点之间存在着很大的相关性。除了孤立点(一般认为是噪声)外,某一点的灰度值与其周围点的灰度值非常接近。在一幅图像中,如果一个像素点的值远大于或小于其邻域的值,也就是说,该像素点与其邻域的相关性很小,那么,该点很可能已被噪声污染了,否则,如果其值与其邻点值接近,就应该是一个有效的信号点。据此,文献^[1]提出了极值中值算法。

$$y_{ij} = \begin{cases} \text{med}(W_n[x_{ij}]) & x_{ij} = \min(W_n[x_{ij}]), \max(W_n[x_{ij}]) \\ x_{ij} & \min(W_n[x_{ij}]) < x_{ij} < \max(W_n[x_{ij}]) \end{cases} \quad (2)$$

该算法处理幅度比较大的脉冲噪声简单有效,但是将细线等窄边缘细节也判断为噪声点加以处理,会造成细节的损失或者移位。

3 基于排序阈值的开关中值滤波(OTSM)

考虑窗内排序后的像素点,如果按照极值中值的方法取噪声点,可能包含了孤立噪声、窄的边缘、细线和部分平坦灰度区域,它们的 x_{ij} 都有可能等于窗内的极值,而对边缘细节点却不希望使用中值滤波。同时,根据人眼的特性,对于所有平坦灰度区域,又需要有效地抑制噪声,即使是其值与邻点的灰度值接近的非孤立的噪声点,也一样需要得到处理。所以基于对滤波窗口内像素点的排序,在 EM 基础上,将图像区域进一步细分为 3 类,即:噪声点、边缘细节区和平坦区。本着确定出噪声点和平坦区采用中值滤波方法处理,保留边缘细节区不做处理的原则,通过以下步骤判断噪声点和平坦区:

(1) 对 $W_n[x_{ij}]$ 中像素点排序,得到 $x_{ij}^{(1)}, \dots, x_{ij}^{(N+1)}, \dots, x_{ij}^{(2N+1)}$, 其中

$$\begin{aligned} x_{ij}^{(1)} &= \min(W_n[x_{ij}]) \\ x_{ij}^{(2N+1)} &= \max(W_n[x_{ij}]) \end{aligned} \quad (3)$$

(2) 将 x_{ij} 与 $x_{ij}^{(1)}$ 和 $x_{ij}^{(2N+1)}$ 比较,如果相等,则通过下式判断噪声点

$$\begin{cases} x_{ij}^{(1+a)} - x_{ij} \geq TA & x_{ij} = x_{ij}^{(1)} \\ x_{ij} - x_{ij}^{(2N+1-a)} \geq TA & x_{ij} = x_{ij}^{(2N+1)} \end{cases} \quad (4)$$

其中 a 为排序的位置偏移量(正整数), TA 为阈值。

(3) 判断平坦区方法为

$$|x_{ij}^{(1+b)} - x_{ij}^{(2N+1-b)}| \leq TB \quad (5)$$

其中, b 为排序的位置偏移量(正整数), TB 为阈值。

保留区域即认为是边缘细节区。

可见, 如果等于极值的窗口内中心点与排序后位置上相邻一定距离 a 的像素点的差超过界限 TA , 则将该点判断为噪声点; 同样道理, 如果距离排序后窗口内两个极值一定距离 b 的两点(考虑到噪声的影响)的差在阈值 TB 的范围内, 则判断为平坦灰度区域的像素点。由参数 a 和 b 的定义可知, 在已知噪声密度为 d , 采用 $w \times w$ 的矩形窗口滤波时, 可得

$$a = b = w \times w \times d \quad (6)$$

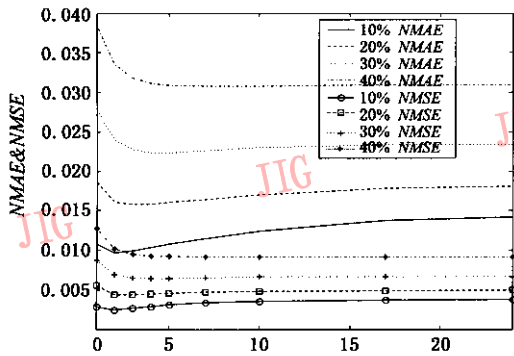
其中, 取 d 而不是 $d/2$ (因为亮噪声与暗噪声具有相同概率) 是因为在滤波窗口中而非对整个图像的条件下, 考虑到其极限情况(即窗内分布噪声全部为亮噪声或者暗噪声)也要满足滤波的要求。但是一般图像噪声密度是未知的, 所以为了适应复杂情况, 对于参数 a, b, TA 和 TB 具体值的选取, 将通过实验得出。

4 实验结果分析及讨论

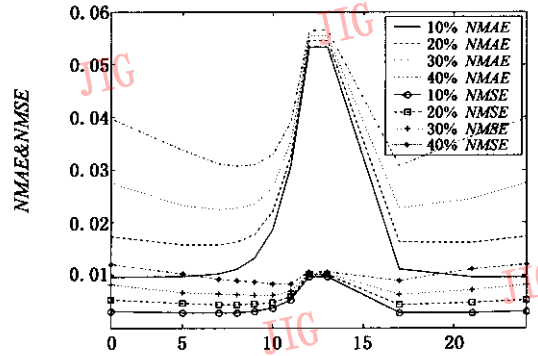
图像采用 8bit 即 256 灰度级的灰度图像。加幅度均匀分布且极大值为正负 128 个灰度级, 位置随机分布的脉冲噪声。窗口为 5×5 的矩形窗口。

由式(6)可知, 在本实验条件下, 不妨以 20% 的噪声密度为标准(高噪声情况可以采用本方法迭代处理), a 和 b 的取值应为 $5 \times 5 \times 20\% = 5$, 即大于或等于 5 就可以有效地分离出噪声。

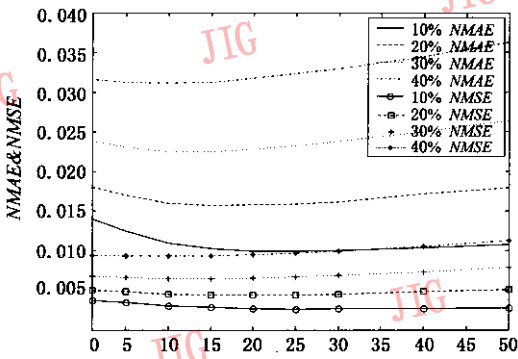
为了使本方法具有普遍性和自适应性, 可以用于多样的图像与噪声分布, 减少人为的选择, 实验采用了多个标准图像进行处理。根据多次实验采集数据, 在不同噪声密度下(分别为 10%, 20%, 30% 和 40%), a, b, TA, TB 取值(其中 TA, TB 以灰度级为单位)以滤波效果参数 $NMAE$ (归一化均方差) 和 $NMSE$ (归一化平均绝对误差) 为标准得到。多个图像实验结果表明, 其曲线分布相似。图 2 以图像“桥”为代表, 列出了各个参数的曲线图。



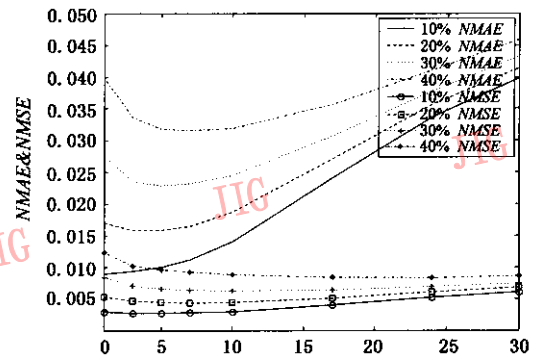
(a) 参数 a 的曲线图



(b) 参数 b 的曲线图



(c) 参数 TA 的曲线图



(d) 参数 TB 的曲线图

图 2 各参数曲线图

根据图 2, 这里以低噪声环境下(噪声密度为 10% 和 20%) 为优先考虑, 综合多个图像, 折衷各条

曲线, 分别探讨各个参数的选取。

(1) 参数 a 的选取 由图 2(a) 可以看到, 在

$a < 3$ 的情况下, 曲线变化比较剧烈, 在 $a > 5$ 以后曲线在低噪声情况下呈上升趋势。结合主观图像效果后, $a = 5$ 可以在多种图像条件下得到最优的效果。

(2) 参数 b 的选取 由 b 的定义, 可以知道其曲线是中心对称的, 即 b 和 $25 - b$ (因为是 5×5 的矩形窗口) 是一样的效果, 这里只考虑其左半条曲线。由图 2(b) 可见, 在 $b > 9$ 的情况下, 曲线将陡升, 在 $b < 7$ 时, 低噪声情况下变化平稳, 高噪声情况下有缓变。这里取 $b = 7$ 可以适应多种噪声环境下对平坦区域的判定。

(3) 参数 TA 的选取 由图 2(c) 可见, $NMSE$ 曲线在高噪声环境下和低噪声环境下都比较平稳, 但是发展趋势不同, $15 < TA < 25$ 时是折衷的选择;

$NMAE$ 曲线在 $TA > 20$ 时, 低噪声情况下将取得良好效果, 再结合高噪声情况和 $NMSE$ 曲线, 选 $TA = 20$ 。

(4) 参数 TB 的选取 由图 2(d) 中曲线可以看出 $TB = 5$ 左右是综合各条曲线后最优的选择。以低噪声环境优先考虑的话, 这里选取 $TB = 4$ 。

由此得到 $a = 5, b = 7, TA = 20, TB = 4$ 。对于高噪声环境下处理, 可使用本方法多次迭代来达到满意的效果。实验结果证明, 一次迭代后可以很好地提高客观参数指标, 两次迭代后可以得到良好的主观图像效果。实际中, 如果已知噪声密度, 就可以根据图 2 调整各个参数, 达到最优的滤波效果。图 3 给出了滤波效果比较图像。具体客观结果见表 1。



(a) Lena 原图像



(b) 加 10% 噪声后图像



(c) 5×5 中值滤波图像



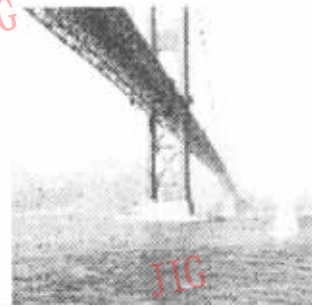
(d) EM 滤波图像



(e) OTSM 滤波图像



(f) 桥原图像



(g) 加 40% 噪声后图像



(h) EM 迭代两次后图像



(i) OTSM 迭代两次后图像

图 3 各滤波器的滤波效果比较

表 1 实验结果数据

图像	滤波方法	NMAE	NMSE
加 20% 噪声图像 桥	5×5 中值滤波	0.0609	0.0122
	EM 滤波	0.0200	0.0059
	OTSM 滤波	0.0159	0.0047
加 40% 噪声图像	EM 迭代两次滤波	0.0333	0.0090
	OTSM 迭代两次滤波	0.0270	0.0076
加 10% 噪声图像 Lena	5×5 中值滤波	0.0484	0.0088
	EM 滤波	0.0100	0.0028
	OTSM 滤波	0.0101	0.0023
加 40% 噪声图像	EM 迭代两次滤波	0.0283	0.0075
	OTSM 迭代两次滤波	0.0282	0.0072

从主观图像和客观数据可以看出,在低噪声且噪声幅度很大的情况下,OTSM 滤波效果接近于 EM 滤波。而在噪声幅度多样的情况下,OTSM 有着良好的去噪效果,尤其是在人眼敏感的平坦灰度区域可以很好地滤除噪声,并且在边缘细节的保持上具有优势。

参 考 文 献

- 1 SUN T, Neuvo Y. Detail-preserving median based filters in image processing[J]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15(4): 341~347.
- 2 Wang Zhou, Zhang David. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images [J]. IEEE Transactions on Circuits System II, 1999, 46(1): 78~80.

- 3 邢藏菊,王守觉,邓浩江等.一种基于极值中值的新型滤波算法[J].中国图象图形学报,2001,6(6):533~536.
- 4 Li Xiangji, Ding Runtao. An adaptive estimating detail-preserving filter for image processing [J]. Transactions on Tianjin University, 1998, 4(2): 176~179.
- 5 Arce G R, Foster R F. Detail-preserving ranked-order based filters for image processing [J]. IEEE Transactions on ASSP, 1989, 37(1): 83~98.
- 6 Wang Xin. Adaptive multistage median filter [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1992, 40(4): 1015~1017.
- 7 Himayat, Kassam S A. A structure for adaptive order statistics filtering [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3(3): 265~280.



秦 鹏 1978 年生,天津大学电子信息工程学院信号与信息处理专业 2001 级硕士研究生。研究方向为图像前期处理、视频处理和模式识别。



丁润涛 1938 年生,教授,博士生导师,现任中国电子学会会士,信号处理分会委员。主要从事信号与信息处理方面研究。