

稳健平滑算法的改进策略

李欣 孙懋珩

(同济大学信息与通信工程系, 上海 201804)

摘要 众所周知,一个优秀的平滑算法必须在去除噪声的同时,还要具有良好的边缘细节保持能力。稳健平滑算法虽然是一种很简单的算法,但存在着它的缺陷。针对稳健平滑算法只能消除空间密度不大的椒盐噪声这一不足,在分析和实现已有改进算法的基础上,提出了新的改进策略,即一种自适应的稳健平滑算法,该算法在去除密度大的噪声的同时,保持了良好的边缘信息,使处理效果得到了很大的改进。该算法用 MATLAB 编程,通过这种新的自适应稳健平滑算法与其他算法对于受椒盐噪声污染程度不同的图像的平滑效果的仿真实验对比证明,该算法具有更好的滤波性能,尤其在噪声严重时,去噪效果优于已有的稳健滤波算法和中值滤波算法。

关键词 稳健平滑 图像平滑 椒盐噪声 自适应

中图分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)04-0624-05

The Improving Strategy on Robust Smoothing Algorithm

LI Xin, SUN Mao-heng

(Department of Information and Communication, Tongji University, Shanghai 201804)

Abstract Excellent smoothing algorithm should be able to deal with images corrupted by noise and has the capability of preserving detailed information. Robust filtering is a very easy algorithm, but it has disadvantages that it cannot filter images which are highly corrupted. In this paper, both the traditional robust filtering and its existing improved algorithm are analyzed and realized. Meanwhile, a new adaptive robust filtering is proposed. Based on platform MATALB, comparing the proposed algorithm and these existing algorithms proved that this new algorithm can work properly when images are highly corrupted and preserve image details better than those present algorithms.

Keywords robust filtering, image filtering, salt and pepper, adaptive

1 引言

由于图像在获取和传输的过程中会受到椒盐噪声的污染,在图像上产生很多黑白点,从而使得图像的质量大大降低,也给以后的各种操作(如图像分割、特征提取、图像识别等)造成了不良影响,甚至会直接导致最终处理结果的失败。由于图像平滑作为去除图像噪声的增强算法是各种与图像处理相关的软件中至关重要的一项技术,因此研究图像平滑算法具有非常重要的实用意义。基于解决实际问题的需求,目前已经发展出了许多平滑算法,如传统

的均值滤波、中值滤波、稳健平滑滤波、边缘保持滤波等^[1,2],它们虽然能在一定程度上消除椒盐噪声,但对于密度较大的椒盐噪声不仅处理效果不佳,同时还使图像的细节和边缘信息丢失严重,从而降低了图像的质量。目前最为流行的平滑算法是中值滤波算法,到现在为止,对于中值滤波已有许多种不同的改进方法,如1988年Lin和Willson提出的长度自适应的改进型中值滤波器^[3],以及1995年Hwang和Haddad提出的自适应中值滤波(RAMF)^[4]等,都在一定程度上对中值滤波进行了改进。

稳健平滑算法虽然作为一种较为简单的非线性平滑算法,在去除噪声的同时,也能比较有效地保持

边缘细节信息,但是传统的稳健平滑算法只能消除密度不大的椒盐噪声,对于密度大的椒盐噪声处理效果很不佳。这一缺点就大大限制了它的广泛应用。文献[5]提出了一种很简单的、对传统的稳健算法有一定改进的算法。

本文首先分析了传统稳健平滑算法的弊病,同时介绍了已有的改进算法,在此基础上提出了一种新的自适应稳健平滑算法,该算法结合了模板自适应、均值滤波、稳健平滑等思想。经过实验的验证,已有的改进算法虽然对于传统稳健平滑算法有了一定的改进,但对于密度大的椒盐噪声其处理效果并不佳。实验表明,本文的自适应稳健平滑算法的处理效果很好,不仅能很好地消除密度很大的椒盐噪声,而且具有非常良好的边缘细节保持能力,处理效果明显优于常用的中值滤波算法,是一种很有实用价值的平滑算法。

2 稳健平滑算法及改进算法分析

2.1 传统的稳健平滑算法及其缺陷

稳健平滑滤波器^[5]是一种简单快速的非线性平滑滤波器,它可以有效地消除空间密度不大的椒盐噪声。该算法由于采用了牺牲平滑能力来保持更多边缘信息的策略,因此,在平滑的同时可以比较有效地保留边缘信息。传统算法的具体步骤如下:

- (1) 计算掩模窗口内除中心点外的其他所有像素点的最大值和最小值;
- (2) 将中心点的灰度值与掩模窗口内的最大值和最小值进行比较;
- (3) 如果中心点的灰度值介于最大值和最小值之间,那么就输出该中心点的灰度值,否则,若大于等于最大值,则输出最大值,若小于等于最小值,则输出最小值。

但是这种算法存在着严重的缺陷,即在第3步中对于大于最大值的点输出最大值,而小于最小值的点输出最小值,会使得相连的噪声点无法被消除,其对于噪声点密集的地方不能取得好的处理效果。

例如在 $\begin{pmatrix} 255 & 144 & 80 \\ 103 & 255 & 110 \\ 121 & 132 & 79 \end{pmatrix}$ 、 $\begin{pmatrix} 123 & 221 & 109 \\ 0 & 0 & 87 \\ 134 & 67 & 0 \end{pmatrix}$ 两个 3×3 的模板内,出现了相连的噪声点。在 256 级灰度级图像中,灰度值是 0 和 255 的点是椒盐噪声点,在第 1 个模板内,除去中心点以外的像素点的最大

值是 255,根据传统的稳健平滑滤波算法,最后中心点输出仍是 255;同理,对于第 2 个模板,中心点像素的灰度值是 0,而其周围邻域的最小值也是 0,最后输出仍是 0。这样,就没有消除椒盐噪声点,也没有达到平滑滤波的作用。

可见对于相连接的噪声点,使用传统稳健平滑滤波就无法消除,这说明传统稳健算法无法抑制密度较大的噪声污染,因此是非常不理想的算法。

2.2 尝试性的改进算法

针对上面不能消除相连噪声点的缺陷,本文首先尝试性地提出一种比较简单的改进方法(以后都称其为改进算法 1),即对于不介于最大最小值之间的点,输出中值。具体就是将传统算法的第 3 步改进为:如果中心点的灰度值介于最大值和最小值之间,则输出中心点本身的值,若不满足,即中心点的灰度值要么大于等于最大值,要么小于等于最小值,这时需先排除掩模窗口内和中心点灰度值相等的点,对余下的点进行排序得到中值,然后输出此中值作为中心点的灰度值。

2.3 先有的改进方法(改进算法 2)

文献[5]中的改进算法,其实质是对改进算法 1 的改进。因为改进算法 1 没有考虑排序中值是否为

椒盐脉冲噪声点的情况。例如在 $\begin{pmatrix} 255 & 255 & 255 \\ 255 & 0 & 255 \\ 17 & 34 & 255 \end{pmatrix}$ 这个 3×3 的模板内。

由于根据改进算法 1 最后中心点的灰度值输出为 255,仍然没有消除噪声点,所以改进算法 2 将传统算法的第 3 步改进为:如果中心点灰度值大于等于最大值,则再看中值是否介于最大值与最小值之间,若是,则输出中值,否则输出最大值;同样,如果小于等于最小值,则再判断中值是否介于最大值与最小值之间,若是,则输出中值,否则输出最小值。

2.4 本文的改进方法(自适应稳健平滑算法)

以上两种改进方法,都只是通过在固定大小的掩模窗口内进行比较来输出中心像素的灰度值。其实掩模窗口的大小对于噪声的滤除起着很重要的作用,即窗口越大,滤除噪声的能力越强,图像模糊程度也就越大,而掩模窗口小时,则保持图像的边缘细节效果较好,但噪声滤出能力削弱。文献[6]介绍了一种自适应中值滤波器,它是将掩模窗口改为自适应的,即遇到密度大的噪声污染,就使用相对较大的模板,而对于那些单个的噪声点,则仍使用 3×3

的模板。本文根据这个思想对掩模模板的大小进行了自适应的调整。基本原理是:

(1) 首先需要设定最大的允许掩模窗口尺寸 S_{\max} 。 S_{\max} 越大, 图像越模糊, 处理速度也越慢, 若 S_{\max} 很小, 则可能会导致许多噪声密集地方的噪声不能被消除。可见, 选择最大允许掩模窗口是至关重要的。可以根据噪声点对于图像的污染程度来设定 S_{\max} 的值。例如, 对于受椒盐噪声污染的图像, 可用 P_k (噪声点数/图像总像素点数) 来表示图像受噪声干扰的程度。考虑处理效果兼顾处理速度, 窗口尺寸 S_{\max} 经验地设定如下:

$$S_{\max} = \begin{cases} 3 & P_k \leq w_1 & w_1 = 10\% \\ 5 & w_1 < P_k \leq w_2 & w_2 = 20\% \\ 7 & w_2 < P_k \leq w_3 & w_3 = 30\% \\ 9 & w_3 < P_k \leq w_4 & w_4 = 40\% \\ \dots & \dots & \dots \end{cases}$$

先令 $S=3$, 即先从 3×3 模板开始。

(2) 在大小为 $S \times S$ 的模板内, 首先得到两个 1 维数组 A 和 B 。 A 是模板内除去中心像素点 (i, j) 以外的所有像素点的集合, 继而可得集合 A 中的最大值 A_{\max} 和最小值 A_{\min} 。 B 是在数组 A 中除去与中心点灰度值相等的点后所剩下的点的集合。

(3) 若数组 B 是空的话, 则表明该模板尺寸内所有像素点都与中心点像素的灰度值相等, 如果中心点是噪声点的话, 那么模板范围内就全是噪声点, 这样这个模板就不适用了, 所以要扩大模板尺寸 $S=S+2$; 进而判断扩大后的模板是否超出最大模板尺寸, 若 $S \leq S_{\max}$, 则进入第 2 步继续处理; 否则, 将原始值 $f(i, j)$ 作为输出值。

(4) 若数组 B 不是空的话, 继续对数组 B 排序得到中值 $medium$ 。进一步比较中心像素点像素值 $f(i, j)$ 与 A_{\max} , A_{\min} 的关系, 若介于二者之间, 则进入第 5 步; 否则, 输出数组 A 内前半像素和的均值 (模板内坐标在 (i, j) 之前的所有像素的均值), 这样做是因为坐标在 (i, j) 之前的像素点已被处理过了, 这就确保了输出值不受模板内未被处理的噪声点的影响, 从而达到较好的平滑效果。

例如, 在 3×3 模板内输出的均值为

$$f(i, j) = \frac{f(i-1, j-1) + f(i-1, j) + f(i-1, j+1) + f(i, j-1)}{4}$$

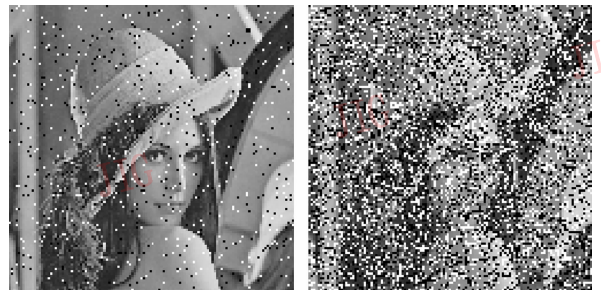
(5) 比较 $medium$ 与 A_{\max} 及 A_{\min} 的关系, 若 $medium$ 介于二者之间, 则输出原始值 $f(i, j)$; 若 $medium$ 不介于 A_{\max} 及 A_{\min} 之间, 则有可能这个模板

内全是噪声点, 所以需扩大模板尺寸 $S=S+2$; 此时若 $S \leq S_{\max}$, 则进入第 2 步继续处理; 否则, 将原始值作为输出值。

这种新的自适应稳健平滑算法结合了模板自适应思想、稳健平滑算法以及均值平滑的思想。

3 仿真结果与分析

为验证本文算法的效果, 基于 MATLAB 平台编程^[7]对传统的稳健平滑算法、两种已有的改进算法以及本文的自适应稳健平滑算法进行了比对实验。实验采用 128×128 大小, 256 级灰度级的 Lena 图像。处理的噪声图像分别为加有 5%、40% 椒盐噪声的 Lena 图像如图 1 所示, 根据椒盐噪声密度的大小, 分别使用 3×3 , 9×9 的模板进行处理。处理结果见图 2。



(a) 加5%椒盐噪声的图像

(b) 加40%椒盐噪声的图像

图 1 加有椒盐噪声的 Lena 图像

Fig. 1 Two images with 5% and 40% salt-pepper noises respectively

对于几种算法的处理效果, 首先只从直观观察来看, 在都使用 3×3 大小的模板处理加有 5% 的椒盐噪声时, 传统的稳健算法没有消除掉相连的噪声点, 这就证明了上述传统稳健算法的缺陷, 其余 3 种改进算法效果都不错, 尤其是本文提出的自适应稳健平滑算法, 不但消除了噪声点, 还很好地保持了边缘细节信息。而这一优良的性能更加表现在处理密度大的椒盐噪声上 (加有 40% 的椒盐噪声), 各算法均使用 9×9 的模板, 从实验结果可见, 传统的稳健算法几乎没有去除掉任何噪声, 前两种改进算法虽然基本上去除了噪声, 但是图像的模糊程度较大, 而新的自适应稳健平滑算法的处理效果最好, 其在去除高密度椒盐噪声的同时, 还很好地保持了边缘细节信息。

从客观上看, 对于处理效果的评价, 本文是使用峰值信噪比 (PSNR) 来衡量不同改进方法去除噪声



(a)传统的稳健平滑滤波算法的滤波效果(分别用3×3, 9×9模板)



(b)改进算法1分别用3×3(左)和9×9(右)模板的处理结果



(c)改进算法2分别用3×3(左)和9×9(右)模板的处理结果



(d)自适应稳健平滑算法分别使用 $S_{max}=3$ (左)和 $S_{max}=9$ (右)的处理结果

图 2 传统算法与各种改进算法的滤波结果

Fig. 2 The results of traditional and the other improving algorithms

后图像的质量。由表 1 可以清晰地看出,用本文的自适应稳健平滑算法处理得到的图像质量最佳,相应的 PSNR 值均大于传统稳健算法和前两种改进算法。

表 1 本文算法与已有的稳健平滑算法的性能比较

Tab. 1 Comparison of effects of the proposed algorithm and the existing robust filtering algorithms

算法	滤波后图像的 PSNR 值 (dB)	
	5% 椒盐噪声	40% 椒盐噪声
传统稳健滤波算法	24.337	9.337
改进算法 1	25.842	21.833
改进算法 2	26.069	22.136
本文算法	28.883	24.927

下面比较本文的自适应稳健平滑算法和几种常用的平滑算法(传统的均值滤波、Hwang 等提出的 RAMF 算法^[4]以及文献[8]的自适应滤波算法)对于分别含 30% 和 60% 椒盐噪声图像(见图 3)的处理效果(见图 4)。由图 4 可见,对于加有 30% 和 60% 椒盐噪声的图像传统的均值滤波处理后的图像严重模糊,效果很差。相比较,RAMF 滤波算法较为简单,其处理效果比传统的均值滤波好很多。文献[8]中提出了一种结合选择式过滤器和 RAMF 滤波算法的自适应平滑算法,由于其对一个点要先计算 9 个不同的模板,再通过比较选择合适的模板来得到输出值,因此去噪效果稍好一些,但该方法复杂度较高,处理速度较慢。同时,RAMF 滤波算法和文献[8]中的算法对于高密度噪声(含 60% 的椒盐噪声)的处理效果一般,处理后的图像都有一定程度的模糊。而本文提出的自适应稳健平滑算法则不仅简单快速,同时对于高密度的椒盐噪声处理效果也颇佳,且细节信息保持较好。

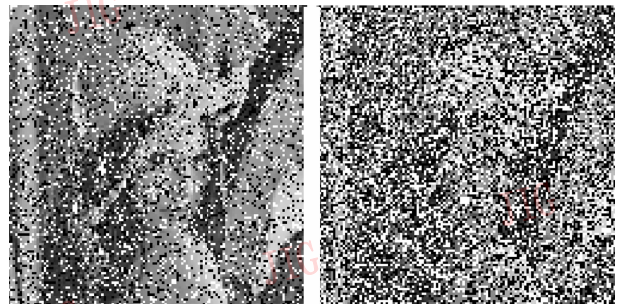


图 3 分别加有 30% (左)和 60% (右)椒盐噪声的图像

Fig. 3 Two images with 30% and 60% salt-pepper noises respectively

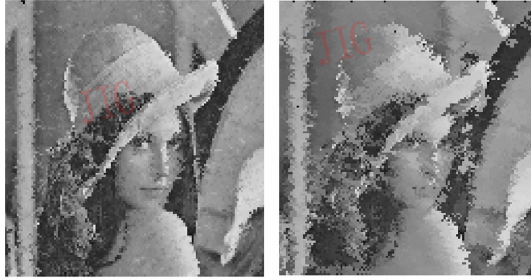
表 2 是使用峰值信噪比这个参数来衡量前面几种算法和本文的自适应稳健平滑算法对于带有密度为 30% 和 60% 的椒盐噪声的 Lena 图像的处理结果。由表 2 可以看出,本文的滤波算法优于其他的算法。



(a) 传统中值滤波分别用5×5(左)和11×11(右)的模板的滤波结果



(b) RAMF算法的滤波结果(最大模板分别是5×5(左)和11×11(右))



(c) 文献[8]算法的滤波结果(最大模板分别是5×5(左)和11×11(右))



(d) 本文算法的滤波结果(最大模板分别是5×5(左)和11×11(右))

图 4 各种算法对含 30% (左) 和 60% (右) 椒盐噪声图像的滤波结果

Fig. 4 The results of different algorithms filtering noise images with 30%, 60% salt and pepper

表 2 本文算法与其他 3 种常用滤波算法的性能比较

Tab. 2 Comparison of effects of the proposed algorithm and the other three popular filters

各种算法	评价参数 PSNR 值 (dB)	
	加有 30% 椒盐噪声	加有 60% 椒盐噪声
传统中值滤波	20.786	16.262
RAMF 算法 ^[4]	23.968	20.356
文献[8]算法	23.557	20.307
本文算法	25.797	22.742

4 结 论

本文在分析和实现了传统的稳健平滑滤波算法和已有的改进算法的基础上,提出了一种新的很简单的自适应稳健平滑算法,该算法结合传统稳健平滑算法的基本思想,根据椒盐噪声的疏密分布进行了模板大小的自适应,同时还结合了最基本的均值滤波的思想。经实验验证,这种新的自适应稳健平滑算法较传统的稳健算法和已有的改进算法具有很大的优势,其不仅能消除密度很大的椒盐噪声,同时也能很好地保持边缘细节信息。通过该算法和几种比较常用的中值滤波算法的实验对比表明,该算法在滤除密度很大的椒盐噪声时效果更为理想,是一种很有实用价值的平滑算法。

参考文献 (References)

- 1 Castleman Kenneth R. Translated by Zhu Zhi-gang, *et al.* Digital Processing [M]. Beijing: Electronic and Industrial Press, 1998. [Castleman Kenneth R 著. 朱志刚等译. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,1998.]
- 2 Ruan Qiu-qi. Digital Image Processing [M]. Beijing: Electronic and Industrial Press, 2001. [阮秋琦著. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2001.]
- 3 Lin Homing, Willson A N. Median filters with adaptive length [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 1988, 35 (6): 675 ~ 690.
- 4 Hwang H, Haddad R A. Adaptive median filters: New algorithms and results [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(4): 499 ~ 502.
- 5 Qin Zhi-yuan, Wu Bing, Wang Yan, *et al.* The comparison study on image smoothing algorithms & improve strategy [J]. Institute of Surveying and Mapping, 2005, 22(2): 103 ~ 106. [秦志远, 吴冰, 王艳等. 图像平滑算法比较研究及改进策略[J]. 测绘学院学报, 2005, 22(2): 103 ~ 106.]
- 6 Zhang Xu-ming, Xu Bin-shi, Dong Shi-yun. Adaptive median filtering for image processing [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(2): 295 ~ 299. [张旭明, 徐滨士, 董世运. 用于图像处理的自适应中值滤波[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2005, 17(2): 295 ~ 299.]
- 7 Gonzalez Rafael C, Woods Richard E, Eddins Steven L. Digital Image Processing Using MATLAB [M]. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 2004.
- 8 Rui Jie, Qin Zhi-yuan, Wu Bing, *et al.* A robust adaptive image smoothing algorithms [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1): 54 ~ 58. [芮杰, 秦志远, 吴冰等. 一种稳健的自适应图像平滑算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(1): 54 ~ 58.]