

一种改进的自适应中值滤波算法

郭海霞¹⁾ 解凯²⁾

¹⁾(哈尔滨师范大学数学与计算机学院计算机系, 哈尔滨 150080) ²⁾(北京印刷学院信息与机电学院, 北京 102600)

摘要 在图像的平滑处理过程中,如何在噪声滤除的同时保护图像的细节一直是人们研究的热点问题。针对这一问题,在 Hwang 和 Haddad 提出的一种自适应中值滤波算法(ranked-order based adaptive median filter, RAMF)的基础上,提出了一种改进的自适应中值滤波算法。该算法在以下3方面做了改进:①对可疑噪声点实行噪声二次检测;②对高密度噪声区的噪声点利用滤窗内的信号点进行滤波;③对低密度噪声区的噪声点根据滤窗内图像的纹理走向进行滤波。仿真实验结果表明,该算法的滤波效果理想。

关键词 自适应 中值滤波 图像处理 噪声二次检测 RAMF

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)07-1185-04

An Improved Method of Adaptive Median Filter

GUO Hai-xia¹⁾, XIE Kai²⁾

¹⁾(Department of College of Maths and Computer, Harbin Normal University, Harbin 150080)

²⁾(College of Information & Mechanical Engineering, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600)

Abstract To reserve fringe detail of an image while filtering noise in the smoothing process of image still remains a challenge. In this paper an improved adaptive median filter algorithm based on the standard median filter, the Ranked-order based adaptive median filter (RAMF) is presented. This method introduces three improved aspects: double-examine for dubious noisy pixels; noise pixels within the filter window with high density are filtered according to signal pixels; within the filter window for noise pixels with low density are filtered according to fringe detail of the image. We concluded based on the results of the computer simulation experiments on adaptive median filter that the method proposed in this paper is better than the standard median filter and RAMF.

Keywords adaptive, median filter, image processing, double-examine for dubious noisy pixels, RAMF

1 引言

图像在数字化和传输过程中,常因外界噪声干扰而导致其质量退化,因此要进行降噪处理。在图像处理中,常用的降噪方法可分为线性和非线性两类方法。中值滤波是一种非线性滤波方法,由于它在保护图像细节的同时,能更有效地滤除脉冲噪声,因此在图像降噪处理中得到更为广泛的应用。但传统的中值滤波器采用的滤波窗口是预先确定的,由于滤窗的形状和大小固定不变,在对整幅图像滤波

时,无论图像点是否受到噪声污染都要进行滤波处理,因而在滤波的同时丢失了图像的一些细节。为了解决既要降噪,又要保护图像细节这一矛盾,Hwang 和 Haddad 提出了一种自适应中值滤波算法(Ranked-order based adaptive median filter, RAMF)^[1],该算法在一定程度上缓解了降噪和保护图像细节的矛盾。

2 经典自适应中值滤波器原理

RAMF 从两个层面出发来解决问题^[2],本文中

基金项目:黑龙江省教育厅科学基金项目(10551115)

收稿日期:2006-05-18;改回日期:2006-07-06

第一作者简介:郭海霞(1976~),女,硕士研究生。主要研究方向为计算机视觉、图像处理、超分辨率重建等。E-mail: ghx381350@

简称为第 1 层和第 2 层, 变量定义如下:

p 代表坐标为 (x, y) 的像素点;

$W_{x,y}$ 代表以像素点 p 为中心的尺寸为 $N \times N$ 的方形滤波窗口 (N 的初值通常设为 3);

N_{\max} 代表滤波窗口尺寸 N 的最大取值;

$I_{x,y}$ 是像素点 p 的灰度值;

I_{\min}^W 代表滤波窗口 $W_{x,y}$ 内像素灰度的最小值;

I_{\max}^W 代表滤波窗口 $W_{x,y}$ 内像素灰度的最大值;

I_{med}^W 代表滤波窗口 $W_{x,y}$ 内像素的灰度中值;

RAMF 的具体算法如下:

第 1 层: $T_1 = I_{\text{med}}^W - I_{\min}^W$ $T_2 = I_{\text{med}}^W - I_{\max}^W$

如果 $T_1 > 0$, 并且 $T_2 < 0$, 则程序转到第 2 层执行;

否则, 增加滤波窗口 $W_{x,y}$ 的尺寸 N ;

如果 $N < N_{\max}$, 则重复执行第 1 层;

否则, 把 $I_{x,y}$ 作为输出值。

第 2 层: $U_1 = I_{x,y} - I_{\min}^W$ $U_2 = I_{x,y} - I_{\max}^W$

如果 $U_1 > 0$, 并且 $U_2 < 0$, 则把 $I_{x,y}$ 作为输出值;

否则, 把 I_{med}^W 作为输出值。

不难看出, 在该算法中, 噪声点的检测和认定是以 I_{\min}^W 和 I_{\max}^W 为基准的, 即如果像素点 p 的灰度满足 $I_{x,y} = I_{\min}^W$ 或 $I_{x,y} = I_{\max}^W$ 时, 则被认定为噪声点, 因为噪声点的灰度值通常是局部最小值或局部最大值, 而对像素点的处理则采用了以下两种处理方式: (1) 如果在滤波窗口达到最大时仍没有中值输出 (即 $I_{\max}^W > I_{\text{med}}^W > I_{\min}^W$ 的条件不能满足), 则对像素点 p 不予滤波, 仍保持原值输出, 不论它是否为噪声点; (2) 如果滤波窗口有中值输出, 那么再判断像素点 p 是否为噪声点, 如果是噪声点, 则采用标准中值滤波算法输出, 否则保持原灰度值 $I_{x,y}$ 不变, 并输出。

通过以上分析可得出 RAMF 算法存在以下不足: (1) 在进行噪声点检测时, RAMF 算法容易把灰度值等于 I_{\min}^W 或 I_{\max}^W 的点都认定为噪声点, 这样如果 N_{\max} 选得不够大的话, 那么就可能把非噪声的点也滤除了, 从而造成不必要的细节损失; (2) 对于

$N = N_{\max}$ 时, 仍没有找到滤波窗口的中值的像素点, 采取了原灰度值输出的做法, 由于这种做法会导致一部分噪声点不能被滤除, 从而影响了图像的滤波效果, 在图像噪声密度大时, 这种现象尤为明显; (3) 对于满足滤波条件的噪声点, 采取了标准中值滤波的方法, 即用滤波窗口中值 I_{med}^W 代替噪声点的灰度值输出, 因此也造成了图像的边界模糊或缺失。

3 改进的自适应中值滤波算法

通过分析, 本文针对 RAMF 算法的不足, 提出如下改进:

(1) 对图像中的可疑噪声点进行二次检测, 本文将第 2 层中不满足 $I_{x,y} - I_{\min}^W > 0$ 并且 $I_{x,y} - I_{\max}^W < 0$ 条件的像素点划定为可疑噪声点, 对于可疑噪声点采用一个以像素点 p 为中心的二次检测窗口 $M_{x,y}$ 进行检测 ($M_{x,y}$ 是以像素点 p 为中心的大小为 $M \times M$ 的滤波窗口, 并且 $M > N_{\max}$), 如果 $I_{x,y}$ 在 $M_{x,y}$ 中仍不满足 $I_{x,y} - I_{\min}^M > 0$, 并且 $I_{x,y} - I_{\max}^M < 0$ (I_{\min}^M 和 I_{\max}^M 分别是 $M_{x,y}$ 中像素点灰度的极小值和极大值), 则此时认定 p 为噪声点。这样做的好处是不仅增大了对可疑噪声点的检测窗口尺寸, 而且提高了噪声检测的准确性, 同时因为是有针对性地增大检测窗口, 不会对算法的运行时间造成大的影响。对于 $M_{x,y}$ 设定二次噪声检测窗口尺寸 M 时需要注意: 一定要大于先前所设定的可疑噪声的判定窗口的最大尺寸 N_{\max} 。 M 取得越大, 噪声点的二次检测效果越好, 且伪噪声认定的可能性会越小, 但 M 也不应无限制地增大, 否则会增加算法的运行时间, 不适用于实时处理。大量实验证明, 当 M 与 N_{\max} 差值不大于 4 时, 则对算法总体运行时间不会造成大的影响, 这可由表 1 的实验数据看出来。

(2) 如果在第 1 层的滤波窗口中找到中值, 并且在第 2 层中已被二次检测为噪声的像素点, 则采取 8 个典型纹理子窗口^[3] 的窗口进行自适应中值滤

表 1 不同中值滤波器的 MSE、MAE 和运行时间比较

Tab. 1 Comparison for MSE, MAE and run time to different median filters

滤波方法	原始窗口尺寸	最大窗口尺寸	噪声二次检测窗口	MSE	MAE	运行时间 (ms)
传统中值滤波	7 × 7	无	无	0.0078	0.0924	547
经典自适应中值滤波	3 × 3	7 × 7	无	0.0045	0.0698	651
改进后的自适应中值滤波	3 × 3	7 × 7	11 × 11	0.0037	0.0256	754
改进后的自适应中值滤波	3 × 3	7 × 7	9 × 9	0.0038	0.0274	679

波,这样做主要是基于以下考虑:①由于在滤窗内可以找到中值,这说明该噪声点所在区域的噪声密度不会超过 0.5,据此本文将这样的噪声点划定为低密度噪声区的噪声点,从而使得对这样的噪声点在充分考虑其局部细节特征的前提下进行中值滤波成为可能;②对于 8 个子窗口分别计算其中值和均值,并选择中值均方差最小的子窗口的中值作为噪声点的最后输出值,本文中这 8 个子窗口的设定主要是依据在以像素点 p 为中心的滤窗内的图像局部可能出现的纹理走向而设定的,若某个子窗口的中值均方差最小,则说明图像在该方向存在纹理走向的可能性最大,而基于该方向的滤波则可以最大程度上保护图像的细节。

(3) 对于在第 1 层中,当 N 达到最大时,对仍没有找到滤窗中值的像素点做如下处理:①造成滤窗没有中值输出的原因是像素点 p 所在的滤窗内噪声点的密度过大,噪声密度一定是超过了 0.5,据此,本文将该滤窗所在区域划分为高密度噪声区;②由于像素点 p 本身也存在两种可能的情况,即它是噪声点还是信号点?因而需要用是否满足 $I_{x,y} - I_{min}^w > 0$,并且 $I_{x,y} - I_{max}^w < 0$ 的条件加以判断,若满足上述条件,则像素点 p 是信号点,可输出原灰度值 $I_{x,y}$;否则认定 p 是可疑噪声点,并采用二次检测窗口 $M_{x,y}$ 对该点进行进一步检测。如果其满足 $I_{x,y} - I_{min}^M > 0$,并且 $I_{x,y} - I_{max}^M < 0$ 的条件,则认定像素点 p 是信号点,并输出该点的原灰度值 $I_{x,y}$;否则认定像素点 p 是高密度噪声区的噪声点,并对这样的噪声点采取如下方法滤波:①对于 $M_{x,y}$ 内每个像素进行标识:对于满足 $I_{i,j} = I_{min}^M$ 或 $I_{i,j} = I_{max}^M$ 的像素点标识为噪声点 ($p \in M_{x,y}$),其他点标识为信号点;②利用滤窗内的信号点,本文根据线性内插法^[4]来确定 $I_{x,y}$:假设滤窗内有 n 个信号点,分别为 p_1, p_2, \dots, p_n ,每个信号点到像素点 p 的距离为 $d_m (1 \leq m \leq n)$,即

$$d_m = \sqrt{(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2} \quad (1)$$

则滤窗的最终输出为

$$I_{x,y} = \frac{\sum \sum I_{x_m,y_m} / d_m}{\sum \sum 1/d_m} \quad (2)$$

此时 $M_{x,y}$ 的输出值是由 $M_{x,y}$ 中信号点的灰度值决定,并以信号点距离中心点的距离 d_m 作为权值决定该信号点对中心点贡献的大小,这从一定程度上缓解了 RAMF 算法中当噪声点密度过大时,滤波后局部噪声点无法消除的现象,同时在一定程度上保

护了图像的细节。

下面是改进后的自适应中值滤波器的具体执行算法:

第 1 层: $T_1 = I_{med}^w - I_{min}^w \quad T_2 = I_{med}^w - I_{max}^w$

如果 $T_1 > 0$, 并且 $T_2 < 0$, 则程序转到第 2 层执行;

否则,增加滤波窗口 $W_{x,y}$ 的尺寸 N ;

如果 $N < N_{max}$, 则重复执行第 1 层;

否则,判断像素点 p 是否为可疑噪声点。

如果像素点 p 不是可疑噪声点,则输出像素点 p 的原灰度值 $I_{x,y}$;

否则,利用 $M_{x,y}$ 对像素点 p 进行噪声二次检测。

如果二次检测结果判断像素点 p 不是噪声点,则输出像素点 p 的原灰度值 $I_{x,y}$;

否则,将像素点 p 划分为高密度噪声区的噪声点,对 $M_{x,y}$ 内的所有像素点进行信号标识,并利用 $M_{x,y}$ 内的信号点对点 p 进行滤波输出。

第 2 层: $U_1 = I_{x,y} - I_{min}^M \quad U_2 = I_{x,y} - I_{max}^M$

如果 $U_1 > 0$, 并且 $U_2 < 0$, 则把 $I_{x,y}$ 作为输出值;

否则,利用 $M_{x,y}$ 对 p 进行二次检测。

如果经二次检测像素点 p 不是噪声,则输出原值 $I_{x,y}$;

否则,将点 p 划分为低密度噪声区的噪声点,并分别计算以点 p 为中心的 8 个典型纹理子窗口的中值和均值,然后选择中值均方差最小的子窗口的中值作为噪声点的最后输出值。

设第 $k (1 \leq k \leq 8)$ 个典型纹理子窗口 G_k 中像素点的中值为 m_k , 则第 k 个典型纹理子窗口的中值均方差定义为

$$D_k = \sum (I_{i_k,j_k} - m_k)^2 \quad (p_k \in G_k) \quad (3)$$

8 个典型纹理子窗口^[5]如图 1 所示。

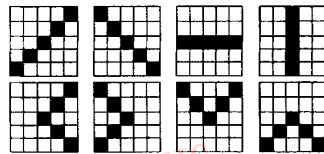


图 1 以像素点 p 为中心的滤窗内 8 个典型纹理

Fig. 1 Eight gray line windows for p

4 实验结果及分析

本文采用了以下两种方法来验证本文所提出的

算法的效果:①应用均方误差 (mean square error, MSE) 和平均绝对误差 (mean absolute error, MAE) 准则来评价滤噪效果;②与多种中值滤波算法滤噪的效果进行比较。

均方误差和平均误差分别定义为^[5]

$$MSE = \frac{\sum \sum (I_{x,y} - F_{x,y})^2}{\sum \sum I_{x,y}^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum \sum |I_{x,y} - F_{x,y}|}{\sum \sum |I_{x,y}|} \quad (5)$$

式中, $F_{x,y}$ 代表受到噪声污染后的图像中坐标为 (x,y) 处像素点的灰度值, 其中 $0 < x < w, 0 < y < h, w$ 和 h 分别代表图像的宽度和高度。

表 1 列出了图像 Lena 在加入椒盐噪声后经过不同滤波器 (传统的中值滤波器, RAMF 滤波器和改进后的自适应中值滤波器) 处理后的滤波效果的均方误

差和平均绝对误差及运行时间比较。由表 1 可以看出, 本文提出的改进后的自适应中值滤波算法与 RAMF 算法及其他算法相比, 在运行时间相差甚少的情况下, 它的均方误差和平均绝对误差值是最小的。

图 2 是以大小为 $256 \times 256 \times 8\text{bits}$ 的标准测试图像 Lena 为例来验证几种滤波算法的处理效果图。图 2(a) 为原始图像; 图 2(b) 为加入了椒盐噪声的图像; 图 2(c) 为经过 7×7 的中值滤波后的效果图像; 图 2(d) 为经过自适应中值滤波器滤波后的效果图像, 其最大滤波窗口尺寸为 7×7 , 初始尺寸为 3×3 ; 图 2(e) 为经过改进后的中值滤波器滤波后的效果图像, 其最大滤波窗口尺寸为 7×7 , 初始尺寸为 3×3 , 对噪声进行二次检测的窗口尺寸为 11×11 ; 图 2(f) 为经过改进后的中值滤波器滤波后的效果图像, 其最大滤波窗口尺寸为 7×7 , 初始尺寸为 3×3 , 对噪声进行二次检测的窗口尺寸为 9×9 。



图 2 几种滤波效果的比较

Fig. 2 Results for different median filters

5 结 论

改进后的自适应中值滤波算法采取了对可疑噪声点进行二次检测的方法及对高密度噪声区进行区别滤波和对低密度噪声区依据图像纹理进行滤波的方法, 这种处理方式在很大程度上缓解了既要滤除噪声又要保护图像细节的矛盾, 在滤除噪声的同时, 更好地保护了图像的细节, 不仅较原有自适应滤波算法有一定的优势, 而且更优于传统的中值滤波算法。

参考文献 (References)

- Hwang H, Haddad R A. Adaptive median filters; New algorithms and results [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4 (4): 499 ~ 502.
- Jia Hong-tao, Zhu Yuan-chang, Wang Jian-hua. The principle and

implementation for extended adaptive median filter [J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(8): 948 ~ 950. [贾洪涛, 朱元昌, 王建华. 扩展自适应中值滤波器的原理与实现 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(8): 948 ~ 950.]

- Gou Zhong-kui, Zhang Shao-jun, Li Zhong-fu, et al. New adaptive median filter algorithm based on extreme value [J]. Infrared and Laser Engineering, 2005, 34(1): 98 ~ 101. [苟中魁, 张少军, 李忠富等. 一种基于极值的自适应中值滤波算法 [J]. 红外与激光, 2005, 34(1): 98 ~ 101.]
- Rong Guan-ao. Computer Image Processing [M]. Beijing: Tsinghua Publisher, 2000: 163 ~ 165. [容观澳. 计算机图像处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 163 ~ 165.]
- Zhang Xu-ming, Xu Bin-shi, Dong Shi-yun, et al. Adaptive median-weighted mean hybrid filter [J]. Optical Technique, 2005, 17(2): 295 ~ 299. [张旭明, 徐滨士, 董世运等. 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学报, 2005, 17(2): 295 ~ 299.]