

高密度椒盐噪声图像开关自适应滤波算法

陈从平, 王 健, 秦 武

(三峡大学机械与材料学院, 湖北 宜昌 443002)

摘 要:针对现有算法普遍对高密度椒盐噪声滤波不足的问题,提出一种自适应高密度椒盐噪声滤波算法。该算法首先在分析窗口中确定信号点与可能的信号点分布情况并据此进行噪声检测,然后计算出图像的噪声密度。对于低密度椒盐噪声图像采用邻域信号点均值滤波方法,对于高密度噪声图像(噪声密度大于30%),则根据窗口中信号点的分布情况采用加权迭代滤波方法。实验结果表明,本文算法比其他算法具备更好的去噪能力,尤其在较高密度(90%)噪声情况下与其他算法相比获得的峰值信噪比(PSNR)仍高出10 dB左右。

关键词:图像;椒盐噪声;开关自适应滤波;高密度

中图分类号:TN911.73 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.07.023

Switched adaptive filtering algorithm for removing high density salt-pepper noise

CHEN Cong-ping, WANG Jian, QIN Wu

(College of Machinery & Materials, Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: A switched adaptive filtering algorithm is proposed for removing the high density salt-pepper noise. At first, the algorithm performs noise detection based on the window's signal pixels and the probable noise pixel distribution, then the noise density is calculated. The filtering method to average adjacent signal pixels' value is applied to low noise density image area. The filtering method of weighted iteration is applied to high noise density(30%) image area. Experimental results show that this algorithm can suppress noise effectively. Especially for high noise density(90%) cases, the PSNR is about 10 dB higher than other methods.

Key words: image; salt-pepper noise; switched adaptive filter; high noise density

1 引言

椒盐噪声是数字图像在采集、传输、处理过程中经常产生的黑-白点子噪声,会严重影响图像质量,对后续图像分割和特征提取等处理结果会产生很大的影响。尤其对受到高密度椒盐噪声“污染”的图像的去噪,还没有一个理想的算法能达到很好的效果^[1]。

目前去除椒盐噪声常用的算法有标准中值(TM)滤波算法,极值中值(EM)滤波算法^[2],自适应加权(AW)滤波算法^[3]等。标准TM算法简单,速度快,但不能保持图像细节;EM对噪声密度敏感,随着噪声密度增大其滤波性能会明显变差;AW滤波算法一般要经过反复的验证才能选取出合适的

权值。为提高滤波算法对噪声密度的鲁棒性,文献[4]在滤波窗口中去除具有最大和最小灰度值的像素,然后求取其余像素的平均值,将均值与对应像素灰度值的差值设为阈值对窗口图像进行滤波,但由于阈值的选取受图像噪声密度的影响,所以该滤波方法不理想;文献[5]采用先定位后滤波的思想,但当噪声密度比较高时,其保护细节能力不好。为了使图像在噪声密度比较高时能获得较好的细节保

基金项目:中国水利水电科学研究院开放基金(No. IWHKRF201010)资助。

作者简介:陈从平(1976-),男,副教授,博士,主要从事电子制造与机器视觉检测与应用方面研究。E-mail:mechenp@163.com

收稿日期:2010-12-21; **修订日期:**2011-03-25

护,文献[6]提出一种自适应权值迭代滤波算法,但迭代次数需要人工设置,会产生滤波过深和滤波不足的问题。

针对上述算法存在的不足,本文提出了一种开关自适应加权滤波算法,重点在于提高高密度噪声情况下的去噪能力,其原理如图1所示。该算法分为噪声检测和噪声滤波两个步骤,即首先确定图像的噪声密度,然后对低密度($\leq 30\%$)噪声图像进行均值滤波,而对高密度($> 30\%$)噪声图像采用自适应加权迭代滤波,从而对不同噪声密度的图像都可以进行滤波,并保护了图像细节信息。

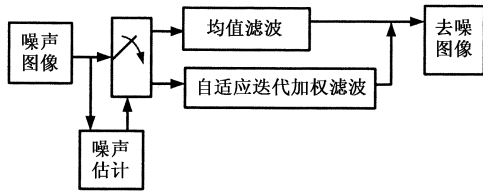


图1 开关自适应滤波算法原理图

2 开关自适应加权算法

2.1 噪声检测

定义预处理图像 I 的大小为 $M \times N$, 像素 $P(i, j)$ 的灰度值为 $x_{i,j}$, 受噪声污染情况为 $f_{i,j}$, 即:

$$f_{i,j} = \begin{cases} 1 & 255 - \delta \leq x_{i,j} \leq 255 \\ -1 & 0 \leq x_{i,j} \leq \delta \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

其中, δ 为设定的阈值, 根据椒盐噪声分布在极大和极小值附近的特点可知, $f_{i,j} = 0$ 表示该像素为信号点, $f_{i,j} \neq 0$ 表示该像素为可能的噪声点。因为在一幅图像中确实存在一些灰度值在 0 或 255 附近的信号点, 所以需要对 $f_{i,j} \neq 0$ 的像素点进行进一步判别。经过对 40 幅图像实验发现, 采用 5×5 的窗口进行噪声点检测效果最好, 所以本文采用 5×5 窗口检测。

若 $f_{i+s,j+t} (|s, t| \leq 2 \text{ 且 } s, t \neq 0)$ 不全为零, $P(i, j)$ 表示所在窗口邻域内存在一些信号点, 设定阈值 T , 如果 $x_{i,j}$ 与该点窗口邻域中信号点灰度的均

值 $\overline{x_{i,j}}$ 之差大于 T , 则视为噪声点, 否则为信号点。即:

$$f_{i,j} = \begin{cases} f_{i,j} & |x_{i,j} - \overline{x_{i,j}}| > T \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

若 $f_{i+s,j+t} (|s, t| \leq 2 \text{ 且 } s, t \neq 0)$ 全为零, 表示 $P(i, j)$ 所在窗口邻域内均为可能的噪声点。设 m 和 n 分别表示该窗口中椒噪声和盐噪声点的个数, 如果 $f_{i,j}$ 属于该窗口邻域中椒噪声或盐噪声中较多的一方, 我们则认为该点为信号点, 否则为噪声点。即:

$$f_{i,j} = \begin{cases} f_{i,j} & m > n \text{ 且 } f_{i,j} = -1 \text{ 或 } m < n \text{ 且 } f_{i,j} = 1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

2.2 噪声滤波

在滤波过程中, 对信号点保持不变, 只对噪声点进行处理。根据图像噪声密度不同采用不同滤波方法。当图像噪声密度 $p \leq 30\%$ 时, 采用邻域信号点均值滤波; $p > 30\%$ 时采用倒数和位置权重相结合迭代滤波。具体步骤如下:

(1) 初步估计图像噪声密度 p :

$$p = \frac{f_{i,j} \neq 0 \text{ 的像素个数}}{M \times N} \quad (4)$$

(2) 当 $p \leq 30\%$ 时, 因为图像噪声密度小噪声点周围信号点比较多, 采用邻域信号点均值滤波比较好。若 $f_{i,j} = 0$ 则保持该像素不变; 若 $f_{i,j} \neq 0$ 则以 $P(i, j)$ 为中心的 3×3 窗口 W_3 中信号点均值 $\text{Mean}_{i,j}$ 赋予噪声点, 即:

$$x_{i,j} = \begin{cases} \text{Mean}_{i,j} & f_{i,j} \neq 0 \\ x_{i,j} & f_{i,j} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

(3) 当 $p > 30\%$ 时, 若 $f_{i,j} = 0$ 则保持该像素不变; 若 $f_{i,j} \neq 0$ 则统计中 W_3 信号点个数 S_3 。如果 $S_3 = 0$ 表示窗口中全部为噪声点, 则将窗口中心移到下一个 $f_{i,j} \neq 0$ 的像素点; 如果 $S_3 \neq 0$ 表示窗口中存在一些信号点, 则计算出窗口每个信号点与该窗口信号点均值差的倒数 $U_{a,b}$:

$$U_{a,b} = \begin{cases} \frac{1}{x_{i+a,j+b} - \text{Mean}_{i,j}} & \delta \leq x_{i+a,j+b} \leq 255 - \delta, |a, b| \leq 1 \text{ 且 } a \cdot b \neq 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

由于图像像素之间的相关性依赖于像素点之间的空间位置关系, 一般而言, 两个像素之间距离越近, 则两个像素之间的相关性越高; 反之, 距离越远, 则两个像素之间的相关性越差。所以可以利用邻域像素与中心像素的空间位置关系来决定邻域像素的位置权重 $V_{a,b}$, 具体取值如图2所示。

$V_{-1,-1}(\frac{1}{4})$	$V_{-1,0}(\frac{1}{2})$	$V_{-1,1}(\frac{1}{4})$
$V_{0,-1}(\frac{1}{2})$	$V_{0,0}(0)$	$V_{0,1}(\frac{1}{2})$
$V_{1,-1}(\frac{1}{4})$	$V_{1,0}(\frac{1}{2})$	$V_{1,1}(\frac{1}{4})$

图2 位置权重系数

初始权值 $T_{a,b} = U_{a,b} \times V_{a,b}$, 归一化系数求出最终相应位置权值 $d_{a,b}$, 即:

$$d_{a,b} = \frac{T_{a,b}}{\sum_{a=-1}^1 \sum_{b=-1}^1 T_{a,b}} \quad (7)$$

将窗口模板上的权重 $d_{a,b}$ 与 $x_{i+a,j+b}$ 相乘并累加, 有:

$$x'_{i,j} = \sum_{a=-1}^1 \sum_{b=-1}^1 x_{i+a,j+b} \times d_{a,b} \quad (8)$$

将 $x'_{i,j}$ 的值赋予 $x_{i,j}$, 且以后将该点作为信号点处理:

$$x_{i,j} = \begin{cases} x'_{i,j} & f_{i,j} \neq 0 \text{ 且 } S_3 > 0 \\ x_{i,j} & \text{else} \end{cases} \quad (9)$$

$$f_{i,j} = \begin{cases} f_{i,j} & S_3 = 0 \\ 0 & S_3 \neq 0 \end{cases} \quad (10)$$

求得输出图像 I' 后, 检测 I' 中是否还有噪声点。如果 I' 中存在噪声点, 则将图像 I' 作为原始输入图像并且重复(3)的过程, 直至 I' 中不包含噪声点, 则循环结束。

3 仿真与实验分析

采用一幅 256×256 的 Lena 图像, 将本文提出算法与 TM, EM, AW 算法进行比较。在 Lena 图像中分别加入 20%, 40%, 60%, 70%, 80% 和 90% 的椒盐噪声, 如图 3 所示, 处理后的结果分别如图 4 ~ 图 9 所示。

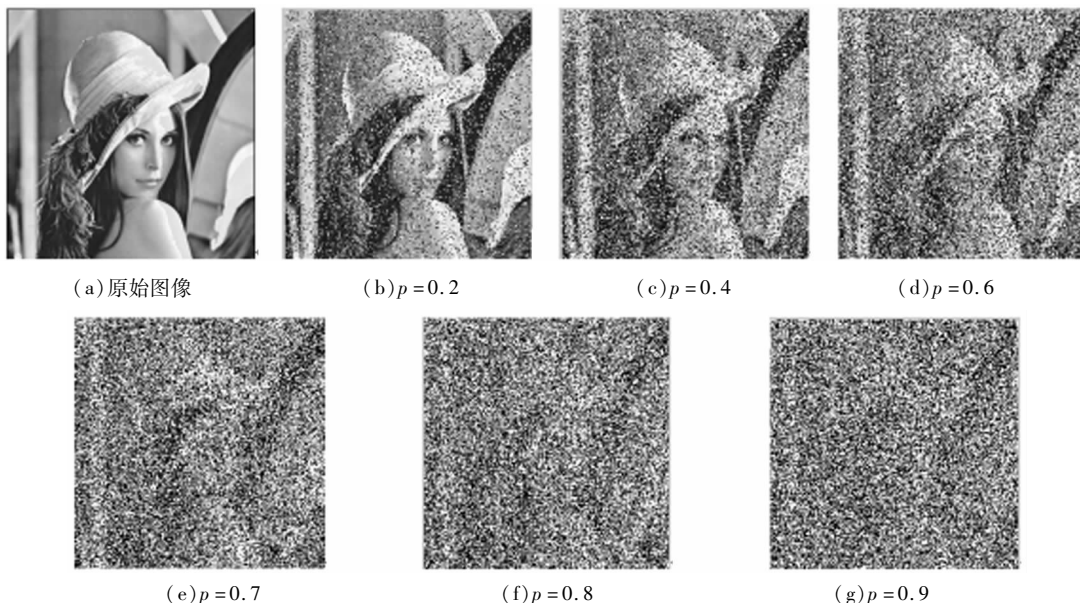


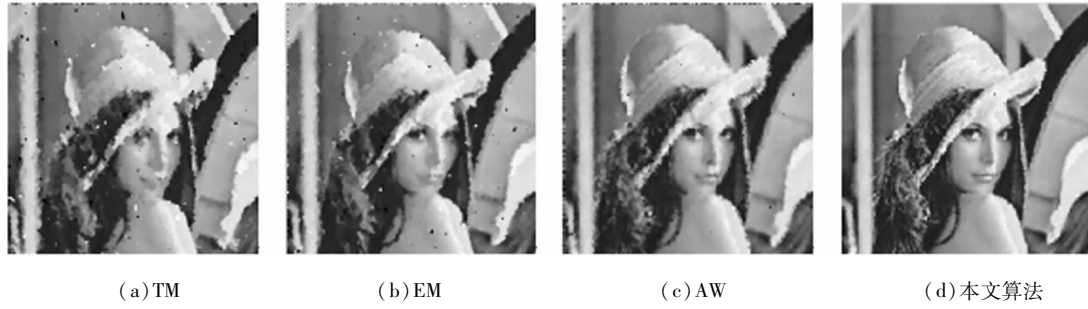
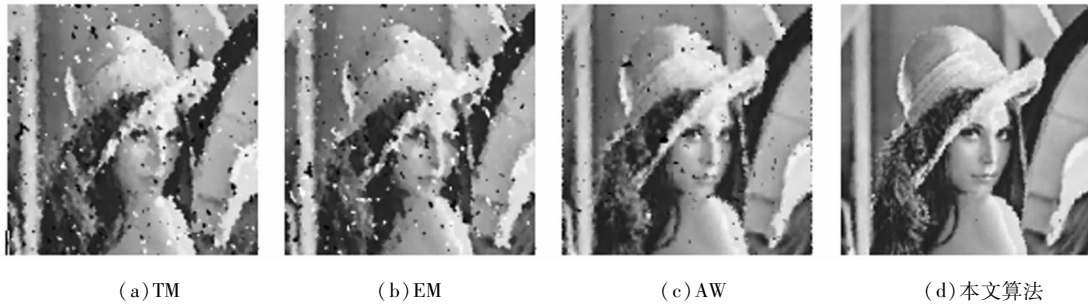
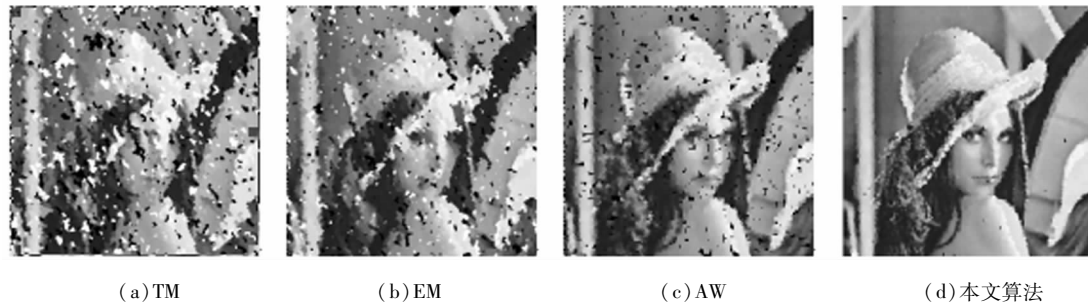
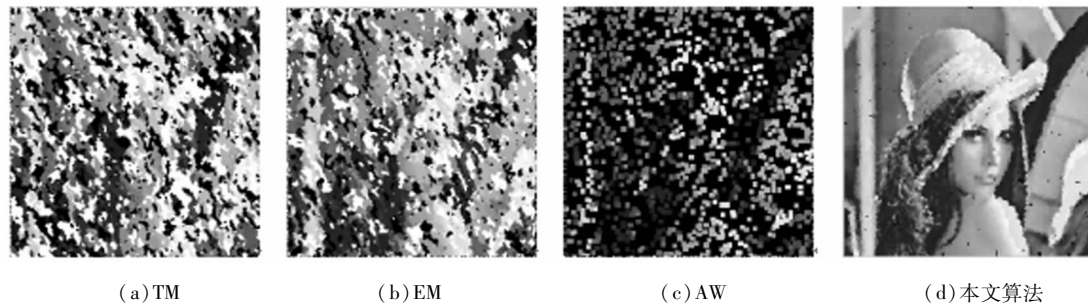
图3 原始 Lena 图像及椒盐噪声图像



图4 p=0.2 滤波结果



图5 p=0.4 滤波结果

图 6 $p=0.6$ 滤波结果图 7 $p=0.7$ 滤波结果图 8 $p=0.8$ 滤波结果图 9 $p=0.9$ 滤波结果

从四种算法的滤波结果可以看出, TM 算法适合于低噪声密度的情况; EM 滤波算法随着图像噪声密度的增大, 其滤波性能越接近 TM; 而 AW 算法由于其权值选取的准确性对噪声密度极为敏感, 在高噪声密度情况下, 尽管该算法滤波效果较 TM 和 EM 算法效果要好, 但相比与本文算法, 无论其滤波效果还是对图像细节的保护能力仍有明显不足。

设 $x_{i,j}$ 和 $y_{i,j}$ 分别表示原图像和滤波后图像各像素点的灰度值, 图像大小为 $M \times N$, 定义图像峰值信噪比 (PSNR) 为:

$$\text{PSNR} = 10 \times \lg \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (y_{i,j} - x_{i,j})^2} \quad (11)$$

计算 TM, EM, AW 及本文算法对不同噪声密度的 Lena 图滤波后的 PSNR, 其结果如图 10 所示, 可以看出在任何噪声密度的情况下, 本文算法得到的 PSNR 明显较大, 表明利用本文算法复原的图像质量更高; 当噪声密度大 60% 时, 其他算法获得的信噪比急剧下降, 此后随着噪声密度增加, 本文算法与其他算法获得的 PSNR 之差越大, 当噪声密度达

90%时,该差值达到 10 dB 左右,表明相比于其他算法,本文算法对高密度噪声具有更好的去噪能力和细节保护能力。

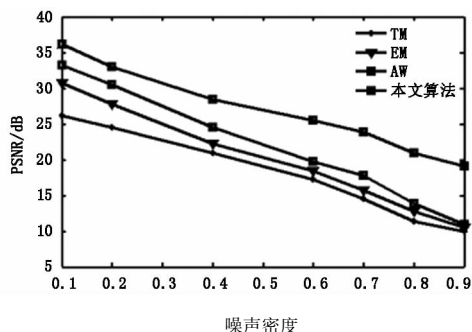


图 10 几种滤波输出的 PSNR

4 结论

本文提出了一种在不同椒盐噪声密度下都能有效去除图像椒盐噪声的算法,该算法首先进行噪声点检测,然后根据图像不同噪声密度采用不同的滤波方法。实验证明该算法对高密度噪声具有更好的去噪能力和细节保护能力,尤其在较高密度噪声情况下,本算法的优势更加明显。

参考文献:

- [1] Li Wei, Yang Shaoqing, Liu Songtao. Cellular automata for image serious salt-pepper noises filtering[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(5): 563 - 567. (in Chinese)
李伟, 杨绍清, 刘松涛. 元胞自动机在图像高密度椒盐噪声去噪中的应用[J]. 激光与红外, 2010, 40(5): 563 - 567.
- [2] Wang Hongmei, Li Yanjun, Zhang Ke. An image filtering algorithm based on extremum detection[J]. Laser & Infrared, 2007, 37(10): 1117 - 1119. (in Chinese)
王红梅, 李言俊, 张科. 基于极值检测的图像滤波算法[J]. 激光与红外, 2007, 37(10): 1117 - 1119.
- [3] Deng Xiuqin, Xiong Yong, Peng Hong. Effective adaptive weighted median filter algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(35): 185 - 187. (in Chinese)
邓秀勤, 熊勇, 彭宏. 一种有效的自适应加权中值滤波算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(35): 185 - 187.
- [4] Li Shutao, Wang Yaonan. Non-linear adaptive removal of salt and pepper noise from images[J]. Journal of Image and Graphics, 2000, 5(12): 999 - 1001. (in Chinese)
李树涛, 王耀南. 图像椒盐噪声的非线性自适应滤除[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(12): 999 - 1001.
- [5] Wang Hongmei, Li Yanjun, Zhang Ke. An improved image filtering method for salt and pepper noise[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2007, 18(1): 113 - 116. (in Chinese)
王红梅, 李言俊, 张科. 一种改进型椒盐噪声滤波算法[J]. 光电子·激光, 2007, 18(1): 113 - 116.
- [6] Dong Jiyang, Zhang Junying. A nonlinear algorithm for the removal of salt and pepper noise from highly corrupted images[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2003, 14(12): 1336 - 1339. (in Chinese)
董继扬, 张军英. 严重椒盐噪声污染图像的非线性滤波算法[J]. 光电子·激光, 2003, 14(12): 1336 - 1339.