

高密度椒盐噪声图像的二次去噪方法

王际朝¹, 李奎平², 乔田田¹

(1 中国石油大学(华东) 理学院, 山东 青岛 266580; 2 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要: 针对高密度的椒盐噪声图像, 提出了一种基于中值滤波和均值滤波的高效的二次去噪方法 (Two-Step Denoising Algorithm, TSDA). 数值试验表明, TSDA 算法在保持图像边缘的同时能高效地去除高密度的椒盐噪声, 较 SMF 方法和 NDBA (New Decision-Based Algorithm) 方法在检验指标 MSE、PSNR 和 IEF 上都有较大改进.

关键词: 高密度; 椒盐噪声; 中值滤波; 均值滤波; 图像去噪

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)06-0053-04

Two-step Denoising Algorithm to High Density Salt & Pepper Noisy Image

WANG Ji-chao¹, LI Kui-ping², QIAO Tian-tian¹

(1 College of Science, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2 First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration (SOA), Qingdao 266061, China)

Abstract: In order to remove the high density of salt & pepper noise, this paper proposes an efficient two-step denoising algorithm (TSDA), which is based the standard median filtering and the mean filter. Numerical experiment shows that TSDA is able to preserve edges and remove the high density salt & pepper noise efficiently. TSDA has more improvement on MSE, PSNR and IEF than SMF and New Decision-Based Algorithm (NDBA).

Key words: high density; salt & pepper noise; median filtering; mean filter; image denoising

1 引言

椒盐噪声是由图像传感器, 传输信道, 解码处理等产生的黑白相间的亮暗点噪声, 亦称双极脉冲噪声. 线性滤波不能去除椒盐噪声. 作为一种非线性滤波, 标准的中值滤波 (standard median filter, SMF) 在去除椒盐噪声是同时, 能有效保持图像的边缘信息^[1]. 当滤波窗口较小时, SMF 不能充分地抑制噪声, 当滤波窗口太大时, 恢复的图像容易产生模糊现象^[2], 且 SMF 的高效性只能表现在较低的噪声水平上, 当噪声密度水平超过 50% 时, SMF 的去噪能力大大降低^[3].

为了去除高密度椒盐噪声, 同时尽可能地保持图像的细节, 已经提出了一些高效、实用的方法. SMF (switching median filter) 方法^[4-5]的去噪效果

较好, 但是算法比较复杂. NDBA (New Decision-Based Algorithm)^[6]方法是一种简单、高效的方法, 但对于更高密度噪声 (噪声密度大于 80%) 污染的图像, 该方法的去噪效果不太理想.

本文提出了一种新的二次去噪方法 TSDA (Two-Step Denoising Algorithm). 以均方根误差 (Mean Square Error, MSE)、峰值信噪比 (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) 和图像增强因子 (Image Enhancement Factor, IMF) 作为指标, 相比于 SMF 方法以及 NDBA 方法, 对于高密度的椒盐噪声, TSDA 方法的去噪效果有较大改进.

2 TSDA 去噪方法

椒盐噪声是一种乘性噪声, 其关系式为

$$r = f \cdot \eta \quad (1)$$

收稿日期: 2013-08-16; 修回日期: 2013-10-11

基金项目: 国家海洋局数据分析与应用重点实验室开放基金 (LDAA-2012-06), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (GY02-2011G22)

式中, r 为待恢复的图像, f 为真实图像, η 为椒盐噪声.

对高密度椒盐噪声图像进行二次滤波过程, 定义两个窗口, 分别命名为‘窗口 1’和‘窗口 2’, ‘窗口 1’相对较小. 在窗口滑动过程中, 若窗口中心的元素值 X 不是噪声值, 即 $X \neq 0$ or $X \neq 255$, 则不作处理; 若 X 是噪声值, 则采用窗口中值代替, 或者初次滤波时不做处理, 待二次滤波时用窗口均值代替. 这样, 初次滤波后, 未被噪声‘污染’的像素保留了原来的‘真值’, 噪声密度相对较小的地方通过‘窗口 1’的滑动, 进行了中值滤波过程, 噪声密度高的地方(‘窗口 1’内全部都是噪声)保留原来的噪声水平, 待二次滤波时, 用较大的‘窗口 2’进行中值或均值滤波过程. TSDA 去噪方法流程图见图 1.

TSDA 方法的步骤如下:

(1) 读入图像 f 并添加椒盐噪声 η 得到待恢复图像 r ;

(2) 按照窗口 1 的大小扩充 r 得到 r_1 ;

(3) 用窗口 1 遍历 r_1 , 对窗口内的像素进行如下操作:

(3a) 取窗口内的所有值, 排列为一向量, 计算此向量的中值 Median, 窗口中心值记为 X ;

(3b) 如果 X 不等于 0 或者 255, 则 X 不变, 滑动窗口到下一位置;

(3c) 如果 X 等于 0 或者 255, 且 Median 不等于 0 或者 255, 则 X 的值用 Median 代替, 否则 X 的值保持不变;

(4) 窗口 1 遍历 r_1 后得到初次滤波结果, 去除边框后得 d_1 ;

(5) 按照窗口 2 的大小扩充 d_1 得到 r_2 ;

(6) 用窗口 2 遍历 r_2 , 对窗口内的像素进行如下操作:

(6a) 取窗口内的所有值, 排列为一向量, 计算此向量的中值 Median 和均值 Mean, 窗口中心值记为 X ;

(6b) 如果 X 不等于 0 或者 255, 则 X 不变, 滑动窗口到下一位置;

(6c) 如果 X 等于 0 或者 255, 且 Median 不等于 0 或者 255, 则 X 的值用 Median 代替, 否则 X 的值用 Mean 代替;

(7) 窗口 2 遍历 r_2 后得到最终滤波结果 d_2 , 去除边框后得恢复图像.

对于高密度的椒盐噪声图像进行滤波时, ‘窗口 1’应该选取较小的数值, 否则, 滤波后的图像就会变

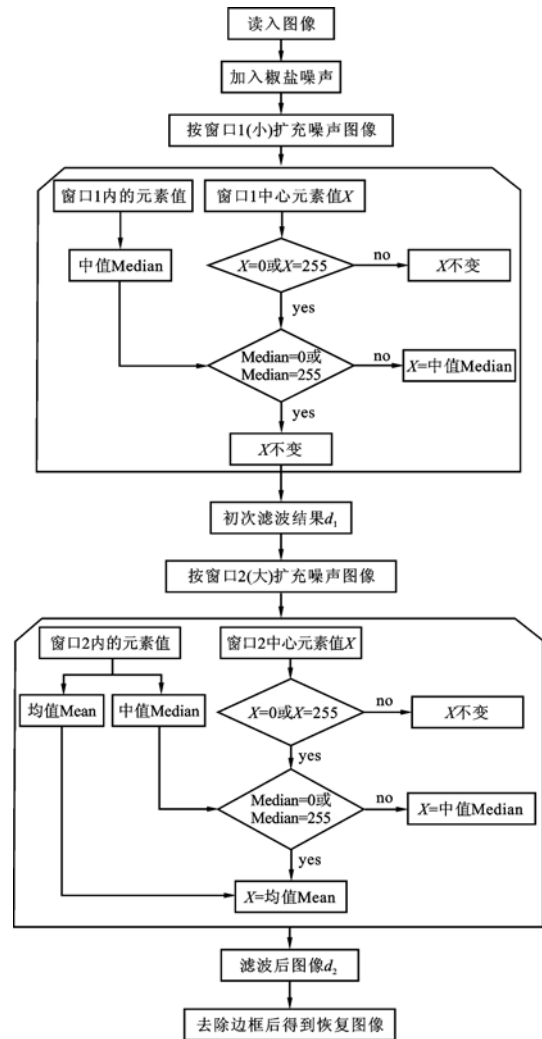


图 1 TSDA 去噪方法流程图

的太过平滑, 容易产生模糊现象^[1], 而‘窗口 2’的大小以接近‘窗口 1’大小的两倍为宜. 通过大量的实验, 在噪声水平小于 80% 时, ‘窗口 1’和‘窗口 2’的大小为 3×3 和 7×7 . 当噪声水平大于 80% 时, 因为密度太大, 若‘窗口 1’的大小仍然选择为 3×3 , 则易出现窗口内全部都是噪声的情况, 进而影响去噪效果, 此时的‘窗口 1’的大小选择为 5×5 , ‘窗口 2’的大小选择为 9×9 .

3 方法说明

为了对图像的 4 条边上的元素进行滤波, 需要对加噪声后的图像 r 进行扩充, 即在噪声图像四周加上 p 行 p 列虚拟的元素, $p = (n-1)/2$, 其中 n 为滤波窗口的大小. 以 $n=5$ 为例(5×5 的窗口), 需要在 r 的上下各加两行, 左右各加两列. ‘上面的两行’中的第一行选用 r 的第二行的数据, 第二行选用 r 的第一行数据, 角上的元素值赋为 122 (0 ~ 255 的中间值), 其他行列元素类似处理. 扩充规则如图 2 所示.

122	122	r_{21}	r_{22}	...	r_{2M}	122	122
122	122	r_{11}	r_{12}	...	r_{1M}	122	122
r_{12}	r_{11}	r_{11}	r_{12}	...	r_{1M}	$r_{1,M-1}$	
r_{22}	r_{21}	r_{21}	r_{22}	...	r_{2M}	$r_{2,M-1}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	
r_{N2}	r_{N1}	r_{N2}	r_{N2}	...	r_{NM}	$r_{N,M-1}$	
122	122	r_{N1}	r_{N2}	...	r_{NM}	122	122
122	122	$r_{N-1,1}$	$r_{N-1,2}$	...	$r_{N-1,M}$	122	122

图 2 噪声图像扩充规则示意图

黑色方框中为扩充之前的噪声图像

假如采用 3×3 的窗口在噪声图像上进行滑动,如图 3(a)所示,窗口中心是 0 或者 255,整个窗口的元素升序排列在一个向量中为 $[0 \ 120 \ 152 \ 155 \ 155 \ 159 \ 161 \ 255 \ 255]$,此向量的中值为 155,则窗口中心的元素值 255 用中值 155 代替。

如图 3(b)所示,窗口中心不是 0 或者 255,尽管向量 $[0 \ 120 \ 167 \ 190 \ 220 \ 298 \ 255 \ 255]$ 的中值为 205,但是窗口中心的元素值 208 保持不变,这是对 SMF 方法的改进,即原来噪声图像中未被污染的像素还保留原来的值,而不是被窗口的中值所代替。

如图 3(c)所示,窗口中心是 0 或者 255,且向量 $[0 \ 0 \ 0 \ 255 \ 255 \ 255 \ 255 \ 255]$ 的中值还是 255,这说明整个窗口中的像素都是噪声,这样的情况在初次滤波时不做处理,待用更大的‘窗口 2’进行滤波时,有两种可能出现,一是窗口 2 中的中值不再是 0 或 255,这时用中值代替窗口中心值,二是窗口 2 中的中值仍然是 0 或 255,这时用窗口的均值代替窗口中心值。

这里提出的选用的较大窗口进行第二次滤波的思想不同于自适应中值滤波的思想,它是在第一次用较小窗口滤波完成的基础上,针对保留下来的‘大片’的 100%密度的噪声进行滤波的过程。

(a) 窗口中心像素值是噪声	(b) 窗口中心像素值不是噪声	(c) 新窗口是噪声																											
<table border="1"> <tr><td>255</td><td>152</td><td>120</td></tr> <tr><td>155</td><td>255</td><td>155</td></tr> <tr><td>159</td><td>0</td><td>161</td></tr> </table>	255	152	120	155	255	155	159	0	161	<table border="1"> <tr><td>255</td><td>167</td><td>190</td></tr> <tr><td>220</td><td>208</td><td>155</td></tr> <tr><td>255</td><td>120</td><td>0</td></tr> </table>	255	167	190	220	208	155	255	120	0	<table border="1"> <tr><td>255</td><td>0</td><td>255</td></tr> <tr><td>255</td><td>0</td><td>255</td></tr> <tr><td>0</td><td>255</td><td>0</td></tr> </table>	255	0	255	255	0	255	0	255	0
255	152	120																											
155	255	155																											
159	0	161																											
255	167	190																											
220	208	155																											
255	120	0																											
255	0	255																											
255	0	255																											
0	255	0																											

图 3 三种情况

4 数值试验

为了比较、验证 TSDA 方法,采用 MSE, PSNR 和 IEF 三个指标检验恢复图像的效果。三个指标的定义如下:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{ij} - r_{ij})^2 \quad (2)$$

$$PSNR = 10 \times \log_{10}(255/MSE) \quad (3)$$

$$IEF = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (n_{ij} - r_{ij})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_{ij} - r_{ij})^2} \quad (4)$$

式中, M 和 N 为图像的行数和列数, f 为真实的未被污染的图像, r 为恢复图像, n 为添加了不同密度的噪声的图像。由上述公式可知, MSE 越小, PSNR 和 IEF 越大, 则算法的效果越好。

采用 512×512 大小的图像‘lenna’进行另外一组数值试验。添加 70%、80% 和 90% 的椒盐噪声, 分别采用 SMF、NDBA 和 TSDA 方法进行去噪, 三种方法的去噪效果图见图 4, 三种验证指标的数据见表 1。本次试验中, ‘窗口 1’ 的大小为 5×5 , ‘窗口 2’ 的大小为 11×11 。图 4 中, (a) 为未被噪声污染的 cameraman 图像以及添加了 70%、80%、90% 的椒盐噪声后的待恢复图像; (b) 为 SMF 方法处理三幅噪声图像的结果; (c) 为 NDBA 方法处理三幅噪声图像的结果; (d) 为 TSDA 方法处理三副噪声图像的结果, 自上而下分别对应于 70%、80%、90% 的噪声图像的滤波结果。

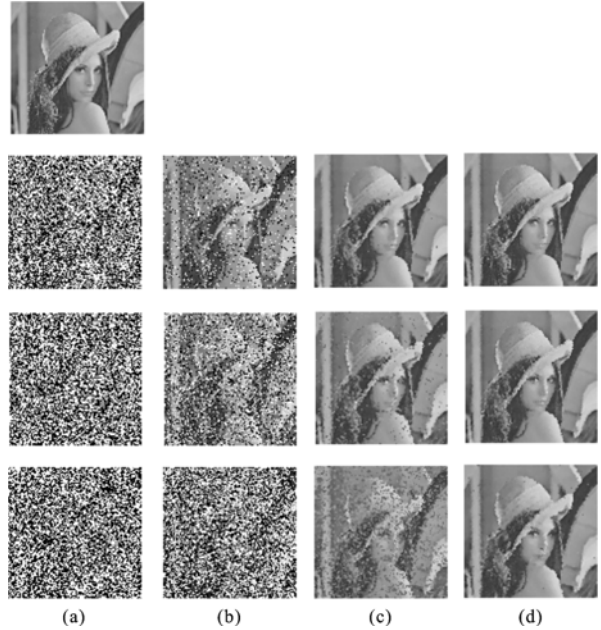


图 4 去噪效果

从表 1 和图 4 中可以看出, TSDA 方法在效果上是最优的, 且噪声的密度越大, 相对于其他算法的优势越明显, 由于滤波窗口较小, TSDA 方法很好地保持了图像的边缘信息。

为了比较窗口大小的选择对去噪效果的影响程度, 本文做了若干实验。选取大小分别为 128×128 、 256×256 和 512×512 的三幅图像 lenna_128, cameraman_256, lenna_512, 选取‘窗口 1’和‘窗口 2’的

大小分别为(3,7)、(5,9)、(5,11)、(7,13)、(7,15)和(9,17)进行实验,其中(3,7)表示‘窗口 1’大小为 3

×3 和‘窗口 2’的大小为 7×7. 实验结果表明,本文方法去噪效果较其他两种方法有大幅提高.

表 1 SMF,NDBA 和 TSDA 方法处理不同噪声密度(70%,80%,90%)图像 lena 的三种数据指标值

Noise Density	MSE			PSNR			IEF		
	SMF	NDBA	TSDA	SMF	NDBA	TSDA	SMF	NDBA	TSDA
70%	31.101	18.931	17.902	21.040	26.005	26.563	2.868	4.712	4.982
80%	46.611	28.551	22.393	16.994	21.896	24.325	2.187	3.571	4.553
90%	78.646	60.710	27.668	11.763	14.352	22.210	1.454	1.884	4.134

5 结束语

提出了一种去除高密度椒盐噪声的 TSDA 方法. 实验结果表明,TSDA 方法在保持图像边缘的同时,其去除高密度椒盐噪声的能力优于其他两种方法,TSDA 方法较之 SMF 方法和 NDBA 方法在检验指标 MSE、PSNR 和 IEF 上都有较大改进.

参考文献:

- [1] Astola J, Kuosmanen P. Fundamentals of nonlinear digital filtering[M]. Florida:Boca Raton, CRC, 1997.
- [2] Pomalaza-Racz C A, Macgille C D. An adaptive non-linear edge preserving filter [J]. IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Process, 1984 (ASSP-32): 571-576.
- [3] Chan R H, Chung W H, Nikolova M. Salt and pepper

noise removal by median type noise detectors and detail preserving regularization[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(10):1479-1485.

- [4] Zhang S, Karim M A. A new impulse detector for switching median filters [J]. IEEE Signal Process, Letters, 2002, 9 (11): 360-363.
- [5] Kenny K V T, Nor A M. Noise adaptive fuzzy switching median filter for salt and pepper noise reduction[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(3):281-284.
- [6] Srinivasan K S, Ebenezer D. A new fast and efficient decision-based algorithm for removal of high-density impulse noises [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(3):189-192.

作者简介:

王际朝 男,(1979-),博士研究生,讲师. 研究方向为图像处理、数值计算等.

(上接第 52 页)

参考文献:

- [1] Denning P J. The locality principle[J]. Communication of. ACM, 2005, 48(7):19-24.
- [2] Jeffrey R Spirn, Peter J Denning. Experiments with program locality[C] // Proceedings of the Fall Joint Computer Conference. Anaheim, California: ACM, 1972(part D):611-621.
- [3] Jaleel A, Borch E, Bhandaru M, et al. Achieving non-Inclusive cache performance with inclusive caches: temporal locality aware (TLA) cache management policies[C] // Proceedings of Annual IEEE/ACM International Symposium on Micro Architecture (MICRO 2010). Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 2010:151-162.
- [4] Tran Ngoc Minh, Lex Wolters. Modeling parallel system workloads with temporal locality[C] // Proceedings of International Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing (JSSPP 2009). Heidelberg, Berlin: Springer, 2009: 101-115.
- [5] Torrellas J, Lam H S, Hennessy J L. False sharing

and spatial locality in multiprocessor caches[J]. IEEE Transactions on Computers, 1994, 43(6):651-663.

- [6] Xiaoning Ding, Song Jiang, Feng Chen. A buffer cache management scheme exploiting both temporal and spatial localities[J]. ACM Transaction on Storage, 2007, 3(2):5.
- [7] Vanichpun Somparing. Strength of locality of reference - popularity majorization and some folk theorems[C] // Proceedings of Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2004). Toronto, Canada, IEEE Computer Society, 2004(2):838-849.

作者简介:

侯 昉 男,(1975-),博士,讲师. 研究方向为计算机体系结构、计算机存储系统.

黄承慧 女,(1976-),博士,讲师. 研究方向为文本挖掘、信息检索.

陆寄远 男,(1977-),博士,系统分析师. 研究方向为计算机图形图像.