

文章编号: 1000-5862(2017)06-0629-04

模糊理论处理高密度椒盐噪声的新方法

刘邱云¹, 王璐璐², 谢君¹, 刘佩红¹, 罗冰辉¹

(1. 江西师范大学数学与信息科学学院, 江西 南昌 330022; 2. 江西经济管理干部学院会计系, 江西 南昌 330088)

摘要: 利用模糊数学理论对图像滤波算法进行了研究. 针对高密度椒盐噪声, 讨论 ROAD 统计量检测噪声的能力, 探讨高密度椒盐噪声的处理方法, 结合椒盐噪声的性质提出了一种噪音检测的新方法, 并基于像素相似度进行去噪. 采取分离出噪音点的处理思路, 得到了比较好的结果.

关键词: 椒盐噪声; 隶属度函数; 阈值; 相似度

中图分类号: O 159 文献标志码: A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2017.06.14

0 引言

在图像增强技术中引入了模糊理论后, 文献[1]给出了一种模糊增强算法. 近年来, 由于在图像滤波的应用领域中模糊理论的处理效果更优于传统方法, 所以基于模糊集理论设计的一些滤波器应用于图像处理领域中, 并获得了许多较好的成果, 如文献[2-3]基于 IF-THEN-ELSE 规则提出的 FIRE 滤波器, 文献[4]基于直方图信息和模糊加权平均方法提出的一种滤波器 WFM.

定义 1^[5] 设 $U = \{x\}$ 为一个论域, $A \subseteq U$, 且 A 为在不同程度上具有某种特定属性的元素的全体, 则称 A 为 U 上的模糊集合. A 的元素是不确定的, $\forall x \in U$ 结合元素 x 的性质, 采用 $[0, 1]$ 内的某个数描述 x 隶属于 A 的程度.

在传统集合论中, $\forall x \in U$, 若 $x \in P$, 则特征函数 $X_p(x) = 1$; 若 $x \notin P$, 则 $X_p(x) = 0$. 而在模糊集理论中, 根据 U 中元素属于模糊集合的程度不同, 特征函数的取值不再是 0 和 1, 而是在整个 $[0, 1]$ 闭区间^[6].

定义 2^[7] 椒盐噪声的概率密度函数为

$$p(z) = \begin{cases} P_a, & z = a, \\ P_b, & z = b, \\ 1 - P_a - P_b, & \text{其他.} \end{cases}$$

对于一幅 8 bit 图像, 这意味着 $a = 0$ (黑) 和 $b = 255$ (白)^[8-9].

1 高密度椒盐噪声的处理

1.1 基于噪声矩阵的阈值噪声处理

若椒盐的噪声密度比较大, 则噪声点将可能较多地存在于目标噪声像素点的周围, 使得图像的恢复会受到极大影响. 因此需要检测噪声点, 将非噪声点与噪声点区分出来, 以降低噪声点对去噪的影响.

先讨论 ROAD 统计量. Trilateral 滤波方法改进了 Bilateral 滤波方法^[10], 它设计了一个 ROAD 统计量, 并将该统计量用于随机椒盐噪声像素的检测和巧妙地融入于权重公式, 使得其滤波行为可由 ROAD 值的大小而进行相应地改变. 因此 Trilateral 滤波方法能够同时去除高斯噪声和椒盐噪声.

定义 3^[11] 令 $\Omega_x(N)$ 是以像素点 x 为中心的 $(2N+1) \times (2N+1)$ 邻域, 其中 Ω_x^0 为 $\Omega_x(1) \setminus \{x\}$. 对每个点 $y \in \Omega_x^0$, 记 $d_{xy} = |u_x - u_y|$, 用 $r_i(x)$ 表示第 i 个最小的 d_{xy} , 称前 m 个 $r_i(x)$ 之和为 x 点处的 ROAD 统计量, 记 $R_{OADM}(x) = \sum_{i=1}^m r_i(x)$. 一般地, 当 $N = 1$ 时, m 满足 $2 \leq m \leq 7$ 在实验中通常取 $m = 4$.

从定义 3 可知, 椒盐噪声点的 R_{OADM} 值一般较高, 非椒盐噪声像素的 R_{OADM} 值一般较低. 然而, 一些

收稿日期: 2017-04-20

基金项目: 国家自然科学基金(61762063), 江西省自然科学基金(20114BAB201038, 2017BAB202024) 和江西省教育厅科学技术研究课题(GJJ14244) 资助项目.

作者简介: 刘邱云(1976-), 女, 江西铜鼓人, 讲师, 主要从事信息融合、Rough 集理论及应用的研究. E-mail: lqy@jxnu.edu.cn

实验表明:当噪声密度非常大时 R_{OAB} 值的滤波效果并不是很理想.实验模拟了噪声密度为 0.5 的图像,图 1(a) 为原图像的一部分灰度值,图 1(b) 是比较坐标所对应的噪声图像一部分,图 1(c) 是计算出的 $R_{OAB}(f(x, y))$ 的矩阵的一部分.由图 1(c) 可知,若以矩阵左上角的坐标为 (1, 1), 则 $f(1, 3)$ 、 $f(1, 4)$ 、 $f(2, 3)$ 、 $f(2, 4)$ 的 R_{OAB} 值均为 0, 这说明 4 个像素点没有被噪声污染,且 $f(2, 5)$ 的 R_{OAB} 值也不大.然而,上述的 5 个点都被噪声污染.

为了避免出现上述情况,基于像素的连续性提出了椒盐噪声检测的邻域极值法.首先,生成矩阵 R , 其与图像大小相等,且所有元素初始化为 0. 然后,

152	157	157	129	67	40	36	41
155	157	142	86	46	42	45	44
159	147	103	51	45	67	65	52
160	125	62	42	45	48	47	44
144	90	43	38	38	44	44	44
112	55	44	37	38	42	44	49

(a) 原图像对应的灰度值

15	14	0	0	162	70	122	6
9	17	0	0	82	75	792	15
193	53	93	162	605	161	57	38
57	174	607	18	603	147	792	30
270	187	24	10	9	52	130	49
218	120	365	7	855	10	6	16

(c) 对应图像的 R_{OAB} 矩阵

对图像像素点 (a, b) 进行分析.以 (a, b) 为中心作 3 阶矩阵,邻域中灰度值的极小值和极大值分别取为 \min 和 \max . 若 $f(a, b) = \min$ 或 $f(a, b) = \max$, 则像素点 (a, b) 被噪声污染.当像素点 (i, j) 被认为受噪声污染时 $R(i, j) = 1$, 否则 $R(i, j) = 0$. 最后,运用该方法遍历图像的所有像素点,以噪音隶属度赋值于矩阵 R , 这里矩阵 R 为图像受噪声污染的隶属度矩阵,其取值为

$$R(i, j) = \begin{cases} 1 & (i, j) \text{ 为邻域内极值点,} \\ 0 & \text{其他.} \end{cases}$$

图 1(d) 给出上述实验中的噪音隶属度矩阵 R , 从实验结果可看出,该方法寻找到了椒盐噪声点.

152	157	0	0	67	40	0	41
155	157	0	0	0	42	255	44
255	147	0	51	255	67	65	52
160	125	255	42	255	0	255	44
0	90	43	38	38	44	0	44
0	55	255	37	255	42	44	49

(b) 噪声图像对应的灰度值

0	0	1	1	0	0	1	0
0	0	1	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	1	1	1	0	0	0

(d) 受噪声污染的隶属度矩阵 R

图 1 噪声密度为 0.5 的图像模拟结果

基于噪声隶属度矩阵 R , 本文提出一种新的去噪方法,其基本思想是对图像中受污染的像素点进行标识和恢复,以达到图像去噪的目的.具体过程为:先检测出图像噪声点,再处理矩阵 R 中 $R(i, j) = 1$ 的图像像素点 (i, j) .

图像中的区域分为灰度频率大的区域和灰度频率小的区域.频率大的区域一般为噪声点和边界,频率小的区域往往是平滑点.因此 2 种区域内噪声的处理方式有所不同.当区域内非噪声点的方差较小时,采取中值定理,这能够减少计算量^[8];当区域内非噪声点的方差较大时,采用均值方法^[12],原因是在该情况下中值可能会使噪声产生较大的偏差.在具体实施过程中可用一个阈值来选择是用中值还是用均值去噪.

1.2 实验模拟

本文算法采用的是开关滤波处理的策略^[13-16],即在滤波操作之前先利用噪声检测器将图像像素划分为受污染的像素和未污染的像素 2 类,再利用算

法仅对受污染的像素进行有效处理.

算法的具体步骤:

Step 1 对噪声图像由邻域极值法建立矩阵 R .

Step 2 对矩阵 R 标记出的图像噪声点进行去噪.将 $R(i, j) = 1$ 所对应的图像像素点进行噪声点恢复.这里只依靠噪声点周围的非噪声点来恢复噪声点.由矩阵 R 可得像素点 (i, j) 的向量 v , 其元素由像素点 (i, j) 周围 8 个点 $(N_8(R))$ 的灰度值和 $(1 - R(i, j))$ 的乘积来表示,即 $f(i + i_1, j + j_1) (1 - R(i + i_1, j + j_1))$, 其中 $i_1, j_1 = -1, 0, 1$, 且至多一个为 0.

Step 3 对向量 v 降维.去除向量 v 中的零值,得到不含零值的新向量.计算每个向量中元素与向量均值差的平方和,然后将平方和相加.若其值小于 200, 则选取中值法对向量进行处理,将结果赋予 (i, j) , 否则选取均值法计算出向量的均值,得到 (i, j) 的值.

图 2(c) 是本文算法对图 2(b) 的去噪结果,图

2(d) 为中值去噪算法对图 2(b) 的去噪结果. 从图 2 可以看出 2 个算法得出的去噪效果具有显著差异.

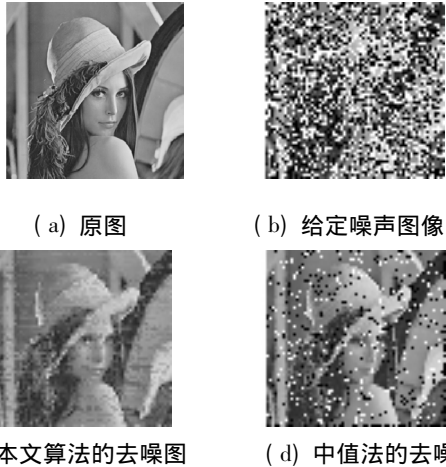


图 2 当噪声密度为 0.5 阈值 200 时模拟实验的去噪效果对比

在此基础上, 通过归一化均方误差(NMSE) 和峰值信噪比(PSNR) 2 个参数对 2 个算法的去噪效果给出了数值结果(见表 1) . 由表 1 可知, 本文算法的效果优于中值去噪的效果.

表 1 当噪声密度为 0.5 时去噪方法的 NMSE 和 PSNR 的比较

参数	中值去噪法	本文算法
NMSE	0.114 3	0.022 9
PSNR	15.115 5	22.089 8

1.3 基于噪声矩阵的相似度去噪

对上述实验模拟的结果进行分析, 可以发现: 因为图像是高噪声的图像, 所以当图像处于边界时, 用中值和均值并不能很好地复原噪声点的灰度值. 距离的大小不同, 像素间的像素度也不一样, 距离越远, 像素的相似度也越小^[17].

下面对前述的算法进行改进. 为了得到更好的去噪效果, 将采用模糊相似性来度量距离.

定义 4 设 $A(x_1, y_1)$ $B(x_2, y_2)$ 为图像 F 的 2 个像素点, 它们之间的距离为

$$D(A, B) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}.$$

该定义的依据是图像的连续性: 距离近的图像的相似度会比距离远的图像的相似度更高. 这意味着近的像素间的影响会比远的像素更高, 即近距离的像素的相似度高, 远距离的像素的相似度低.

这里定义像素间的相似度为

$S(A, B) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} = \sqrt{D(A, B)}$, 然后引入相似度作为权值进行噪声像素的恢复, G 为去噪后的图像, 且

$$G(x, y) = \frac{\sum_{i=-1}^1 f(x+i, y+j) R(x+i, y+j) S(x+i, y+j)}{\sum_{i=-1}^1 S(x+i, y+j) R(x+i, y+j)},$$

其中 $x = 0$ 和 $y = 0$ 不同时成立.

1.4 算法实现

选取椒盐噪声为 0.5 的 lena 图像^[18] (见图 2(b)) 进行实验, 图 3 为采用改进算法给出的实验结果. 由图 3 可以看出图像去噪效果比较好, 基本上恢复了受椒盐噪声重度污染的图像.



图 3 基于相似度的改进算法的去噪效果

在此基础上, 计算改进算法和中值去噪的归一化均方误差(NMSE) 与峰值信噪比(PSNR) (见表 2) , 由表 2 可看出改进算法的效果优于中值去噪法.

表 2 当噪声密度为 0.5 时去噪方法的 NMSE 和 PSNR 的比较

参数	改进算法	中值去噪法
NMSE	0.012 0	0.115 9
PSNR	24.890 9	15.020 5

2 结论

在去除椒盐噪声方面, 基于模糊理论的去噪方法能够达到较好效果, 尤其是在高密度的情况下.

3 参考文献

[1] Pal S k, King R A. Image enhancement using smoothing with fuzzy sets [J]. IEEE Trans Syst Man Cybern, 1981, 11(7) : 494-501.

[2] Russo F. A new class of fuzzy operators for image processing: design and implementation [J]. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1993, 2: 815-820.

[3] Russo F, Ramponi G. A new operators for the enhancement of blurred and noisy images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(8) : 1169-1174.

[4] Lee C S, Kuo Y H, Yu P T. Weighted fuzzy mean filters for image processing [J]. Fuzzy Sets Syst, 1997, 89(2) : 157-180.

[5] 马英超. 关于经典集合、模糊集合与可拓集合问题的探

- 讨 [J]. 辽宁教育学院学报, 1998, 15(5): 31-33.
- [6] 马生全, 李生刚. 复模糊集值复模糊积分及其收敛性定理 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2015, 39(1): 20-26.
- [7] 肖蕾, 何坤, 周激流, 等. 改进自适应中值滤波的图像去噪 [J]. 激光杂志, 2009, 30(2): 44-46.
- [8] 王芳, 满益云. 基于模糊中值滤波的椒盐噪声去除方法 [J]. 模糊系统与数学, 2012, 26(1): 166-174.
- [9] 周佳慧, 史再峰, 王晶波, 等. 基于方向信息自适应 2 次噪点检测的降噪方法 [J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2017, 50(2): 53-58.
- [10] Garnett R, Huegerich T, Chui C, et al. A universal noise removal algorithm with an impulse detector [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(11): 1747-1754.
- [11] 马丽, 罗晓军, 王世秀. 基于局部统计特征的滤波算法 [J]. 信阳师范学院学报, 2008, 21(4): 597-600.
- [12] 何一鸣, 张刚兵, 钱显毅. 基于邻域均值的去椒盐噪声算法 [J]. 南京理工大学学报, 2011, 35(6): 764-767.
- [13] Sun Tong, Neuvo Y. Detail-preserving median based filters in image processing [J]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15(4): 341-347.
- [14] Wang Zhou, Zhang David. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images [J]. IEEE Transactions on Circuits System, 1999, 46(1): 78-80.
- [15] Hamza A B, Luque-Escamilla P L, Aroza J M, et al. Removing noise and preserving details with relaxed median filters [J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 1999, 11(2): 161-177.
- [16] 陈初侠, 丁勇, 刘栋莉. 去除椒盐噪声的自适应开关加权均值滤波 [J]. 计算机工程, 2010, 36(4): 210-212.
- [17] 宋宇, 李满天, 孙立宁. 基于相似度函数的图像椒盐噪声自适应滤波算法 [J]. 自动化学报, 2007, 33(5): 474-479.
- [18] 吕宗伟, 唐治德, 周林. 一种高效快速的高密度椒盐噪声消除算法 [J]. 电子学报, 2011, 39(8): 192-196.

The New Methods of Fuzzy Theory to Deal with Salt and Pepper Noise

LIU Qiuyun¹, WANG Lulu², XIE Jun¹, LIU Peihong¹, LUO Binghui¹

(1. College of Mathematic and Informatics, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China;

2. Department of Accounting, Jiangxi Institute of Economic Management, Nanchang Jiangxi 330088, China)

Abstract: The image filtering algorithm based on the fuzzy information processing technology is studied, and some new ideas are put forward. The high density salt and pepper noise, first and foremost to the discussion of ROAD statistics detection ability of testing noise are talked about, the treatment of high density salt and pepper noise are investigated. Through the understanding of the nature of the salt and pepper noise, a new noise detection method is put forward, and the separation of noise points ideas are adopted to denoising noise based on the noise pixel similarity, and better results are obtained.

Key words: salt and pepper noise; membership functions; the threshold; similarity

(责任编辑: 曾剑锋)