

# 一种噪声密度估计的梯度检测滤波算法

沈德海,侯建,鄂旭,刘忠杰

(渤海大学信息科学与技术学院,辽宁锦州 121000)

**摘要:**针对高密度椒盐噪声污染图像的去噪声问题,提出了一种噪声密度估计的梯度检测滤波算法。算法首先对含噪声图像进行总体噪声密度检测,计算噪声密度 $p$ ,对于低密度噪声图像( $p \leq 40\%$ ),采用 $3 \times 3$ 窗口改进的梯度检测滤波算法对图像进行滤波,对于高密度噪声污染图像,采用 $5 \times 5$ 窗口改进的梯度检测滤波算法对图像进行滤波。实验结果表明,文中算法对高密度椒盐噪声污染图像具有较强的去噪声能力和细节保持性能,具有较高的实际应用价值。

**关键词:**中值滤波;椒盐噪声;噪声密度;梯度

**中图分类号:**TP391.41

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2013)06-0082-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2013.06.021

## A Gradient Detection Filter Algorithm of Noise Density Estimation

SHEN De-hai, HOU Jian, E Xu, LIU Zhong-jie

(College of Information Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121000, China)

**Abstract:** A filter algorithm based on noise density estimation and gradient detection is proposed to remove high density salt and pepper noise in the image. Firstly, the algorithm detects noise density  $p$  of the noise image, for the low density noise image ( $p \leq 40\%$ ), the improved gradient detection filter algorithm using  $3 \times 3$  windows is applied to filter. For the higher noise image, the algorithm takes  $5 \times 5$  windows to conduct filtering. Experimental results indicate the algorithm has strong denoising ability and good detail maintained performance and has high practical value.

**Key words:** median filter; salt and pepper noise; noise density; gradient

### 0 引言

数字图像在形成、传输和处理的过程中经常会受到脉冲噪声的干扰,影响图像的质量,为后续的特征提取、图像分割等结果带来极大困难<sup>[1]</sup>。图像滤波是图像预处理的一种重要技术,其目标是滤除噪声的同时较好地保持图像的细节。目前,常用的滤波算法分为线性滤波和非线性滤波两大类,中值滤波是一种典型的非线性滤波算法,因其采用滤波窗口像素点的中值作为滤波输出,充分利用了邻域相关性原理,对随机脉冲噪声的抑制效果较好,许多学者在中值滤波算法的基础上进行了深入研究与实验,提出了很多改进算法,如加权中值(WM)滤波算法<sup>[2]</sup>、模糊中值(FM)滤波算法<sup>[3]</sup>、极值中值(EM)滤波算法<sup>[4]</sup>、自适应中值(AW)滤波算法<sup>[5,6]</sup>、多级中值(MLM)滤波算法<sup>[7,8]</sup>等。这些算法的去噪性能比传统中值滤波算法在一定程度上有

所提高,但也都有局限性。WM算法关于权值的选取不具有自适应性,对于不同污染程度的图像不具有通用性。FM算法中模糊参数需要多次实验尝试选取,且算法运行时间较长,实时性较差。EM算法对于噪声点的判断简单,算法运行速度较快,但将滤波窗口内极值点作为噪声点容易产生误判。AM算法具有较好的自适应性,但其算法复杂,速度较慢。MLM算法在保护细节特征方面具有良好的性能,但在滤除高密度噪声图像时效果不佳。文献[9]提出了一种基于梯度的滤波算法,算法采用梯度与阈值的大小关系来判断检测点是否为噪声点,对噪声点采用8邻域均值来替换,算法在速度上优势明显,但对于细节的保持效果不是很好,尤其是在高密度噪声污染的情况下。文中在梯度幅值的滤波思路<sup>[10-12]</sup>基础上进行了改进,首先对噪声图像进行噪声密度估计,根据噪声密度来决定采

收稿日期:2012-09-21

修回日期:2012-12-26

网络出版时间:2013-03-05

基金项目:博士后基金项目(2012M520158);辽宁省教育项目(L2012396, L2012397, L2012400);辽宁省高等学校实验室项目(L2012397);辽宁省“百千万人才工程”资助项目(2012921058)

作者简介:沈德海(1978-),男,讲师,硕士,研究方向为数据库技术与图像处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130305.0817.043.html>

用3×3窗口还是5×5窗口的改进梯度滤波算法,改进算法结合极值法和梯度阈值来对中心点进行双重判断,进一步减少了噪声点的误判。对于检测的噪声点,算法利用中心点邻域非噪声点的中值或均值来替换中心噪声点,达到了较好的平滑和细节保持的效果。

## 1 梯度算法相关概念

### 1.1 方向梯度模板

数字图像的噪声点和边缘点与相邻像素点的灰度值相比均具有跳跃性特征,所以它们具有很大的相似性,可以通过图像像素点的一阶导数进行描述<sup>[11]</sup>。在实际应用中通常将图像像素点在其邻域内划分为0°、45°、90°和135°4个方向,如图1所示。

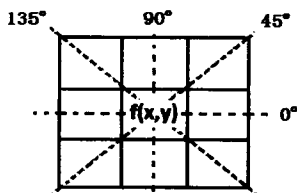


图1 像素点邻域的4个方向

### 1.2 方向梯度的计算

定义 $f(x,y)$ 为图像函数,则它在点 $f(x,y)$ 处的梯度是一个矢量<sup>[9]</sup>,其定义如式(1)所示。

$$\vec{G}[f(x,y)] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$G[f(x,y)]$ 用来表示梯度的模(也称梯度),其值可以通过式(2)计算得出。

$$G[f(x,y)] = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

4个方向梯度涉及的像素点的关系如图2所示。其中(a)是3×3窗口,(b)是5×5窗口。

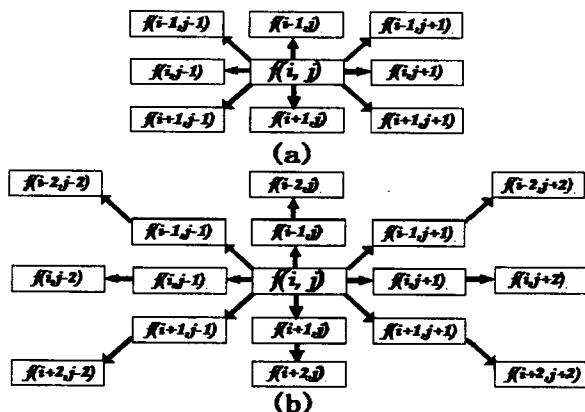


图2 窗口方向梯度

根据式(2)及图2可知3×3窗口0°方向的梯度为:

$$G_0[f(x,y)] =$$

$$\{[f(i,j) - f(i,j-1)]^2 + [f(i,j) - f(i,j+1)]^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式(3)在实际应用中可以简化为:

$$G_0[f(x,y)] = |f(i,j-1) + f(i,j+1) - 2f(i,j)| \quad (4)$$

同理,可以得到90°方向的梯度为:

$$G_{90}[f(x,y)] = |f(i-1,j) + f(i+1,j) - 2f(i,j)| \quad (5)$$

135°方向梯度为:

$$G_{135}[f(x,y)] = |f(i-1,j-1) + f(i+1,j+1) - 2f(i,j)| \quad (6)$$

45°方向梯度为:

$$G_{45}[f(x,y)] = |f(i-1,j+1) + f(i+1,j-1) - 2f(i,j)| \quad (7)$$

以上四个方向梯度算式对应的算子模板如图3(a)所示。

同理,对于5×5窗口则可以得出式(8)至式(11)的梯度计算公式及图3(b)所示的对应梯度算子。

0	0	0
1	-2	1
0	0	0

0°方向梯度算子

0	1	0
0	-2	0
0	1	0

90°方向梯度算子

1	0	0
0	-2	0
0	0	1

135°方向梯度算子

0	0	1
0	-2	0
1	0	0

45°方向梯度算子

(a)

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
1	1	-4	1	1
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

0°方向梯度算子

0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	-4	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0

90°方向梯度算子

1	0	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	-4	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	1

135°方向梯度算子

0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	-4	0	0
0	1	0	0	0
1	0	0	0	0

45°方向梯度算子

(b)

图3 算法窗口四个方向梯度算子

$$G_0[f(x,y)] = |f(i,j-2) + f(i,j-1) + f(i,j+1) + f(i,j+2) - 4f(i,j)| \quad (8)$$

$$G_{90}[f(x,y)] = |f(i-2,j) + f(i-1,j) + f(i+1,j) + f(i+2,j) - 4f(i,j)| \quad (9)$$

$$G_{135}[f(x,y)] = |f(i-2,j-2) + f(i-1,j-1) + f(i+1,j+1) + f(i+2,j+2) - 4f(i,j)| \quad (10)$$

$$G_{45}[f(x,y)] = |f(i-2,j+2) + f(i-1,j+1) + f(i+1,j-1) + f(i+2,j-2) - 2f(i,j)| \quad (11)$$

## 2 改进的梯度检测滤波算法

### 2.1 算法思想

针对传统梯度算法中对于高密度噪声去除效果不理想的问题,文中算法采用了先估计噪声密度,再选择滤波窗口的策略,对于低密度污染图像,采用 $3 \times 3$ 窗口滤波,对高密度噪声污染图像,采用 $5 \times 5$ 窗口滤波,使得图像在任何情况下的滤波效果均达到最佳。算法在噪声点检测时结合了极值检测和梯度检测,先在检测窗口内判断中心点是否为极值,如果是极值则认为该点是疑似噪声点(也有可能是边缘点),然后再求出该点的四个方向梯度,如果四个梯度均大于给定阈值 $T$ ,则判断该点为噪声点,否则为边缘点。对于噪声点,采用中值均值滤波算法,即窗口内非噪声点的个数为奇数,则用这些非噪声点的中值替换中心噪声点,如果为偶数,则用这些非噪声点的均值替换中心噪声点。

### 2.2 算法步骤

(1) 噪声密度估计及选择滤波窗口。

设噪声污染图像 $I$ 的大小为 $M \times N$ ,采用 $3 \times 3$ 窗口对整幅图像进行噪声点密度估计。则图像可检测区域大小为 $(M-2) \times (N-2)$ ,检测点 $W(i,j)$ 如果是窗口内的极值(极大值或极小值),同时满足式(12)中的条件则判断为噪声点。

$$\text{condition} = \begin{cases} G_0 > T \text{ and} \\ G_{90} > T \text{ and} \\ G_{135} > T \text{ and} \\ G_{45} > T \end{cases} \quad (12)$$

式中 $T$ 为梯度判断阈值,根据多次实验 $T$ 取值在10~50比较合适,文中算法 $T$ 取值为10。统计满足条件的噪声点个数 $C_n$ ,根据式(13)计算整幅图像的噪声密度 $P_n$ 。如果 $P_n \leq 40\%$ ,则采用 $3 \times 3$ 窗口滤波,否则采用 $5 \times 5$ 窗口滤波。

$$P_n = \frac{C_n}{(M-2) \times (N-2)} \times 100\% \quad (13)$$

(2) 噪声点判别。

无论采用 $3 \times 3$ 窗口还是用 $5 \times 5$ 窗口,噪声点判别依然使用上一步中的判别方法。即同时满足两个条件:一是窗口内的极值;二是窗口内的四个方向梯度均小于指定阈值 $T$ 。判别方法在一定程度上减少了对边缘点的误判。

(3) 噪声点滤除。

在滤除噪声的过程中,采用开关策略,只对噪声点

进行处理,对信号点保持不变。文中算法采用窗口内信号点的中值或均值来替换噪声点,即如果窗口内信号点的个数为奇数,则用这些信号点的中值来替换中心噪声点,如果信号点个数为偶数,则用这些信号点的平均值来替换中心噪声点。

## 3 仿真实验结果及分析

在 Matlab 2010 平台下进行仿真实验,选用大小为 $512 \times 512$ 的标准灰度图像“lena”,在图像中分别加入20%、40%、50%、80%的椒盐噪声,将文中算法与 TM 和 EM 算法进行比较,滤波效果对比如图4所示。



图4 算法噪声图像滤波效果

从图4(a)可以看出,在噪声密度较低的情况下, TM 算法和 EM 算法的去噪效果较好,但明显不如文中算法。从图4(b)和(c)可以看出,随着噪声密度的增大, TM 算法和 EM 算法的去噪性能明显下降, TM 算法出现了大量的噪声点, EM 算法也有一些噪声点未被滤除,而文中算法处理的图像依然非常清晰,且细节保持较好。图4(d)是将 TM 算法和 EM 算法在扩大滤波窗口至 $5 \times 5$ 的滤波效果,可以看出 TM 算法有了一定改进,但仍然有一些噪声点未被滤除, EM 算法的滤波效果较好和文中效果相当。图4(e)是噪声密度为80%的效果图,从图中不难看出, TM 算法效果最差,几乎失去了去噪能力。 EM 算法的滤波图像出现了严重的模糊,边缘等细节失真严重,而文中算法的滤波图像

仍然较为清晰,且边缘等细节保持的很好,显示出在高密度噪声污染下较强的去噪能力和细节保持性能。

表1是几种算法的PSNR值对比表,从表中的数据可以看出TM算法在较低密度噪声下的PSNR值较高,随着噪声密度的增大,PSNR值明显下降。EM算法尤其是在5×5滤波窗口下PSNR值整体较高,明显高于TM算法。而文中算法无论是在低密度噪声还是在高密度噪声情况下,PSNR值均比EM算法在5×5滤波窗口情况下高出1到2个点,显示出文中算法高效而稳定的去噪能力及细节保持性能。

表1 几种滤波方法的PSNR值比较

噪声密度	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
TM 算法	32.81	28.50	23.50	18.91	15.19	12.33	9.95	8.16	6.65	[3×3]
	29.98	28.16	27.15	25.51	22.53	18.54	14.07	10.36	8.81	[5×5]
EM 算法	36.71	34.95	32.66	29.85	25.76	21.80	18.08	14.21	10.08	[3×3]
	36.52	34.98	33.39	31.66	29.73	27.90	25.11	22.29	20.51	[5×5]
文中算法	37.40	36.21	34.43	33.14	30.91	29.19	27.06	24.93	23.49	

参考文献:

[1] 陈从平,王健,秦武. 高密度椒盐噪声图像开关自适应滤波算法[J]. 激光与红外,2011,41(7):817-821.

[2] Brownrigg D R K. The weighted median filter[J]. Commun. Assoc. Computer,1984,27(8):807-818.

[3] 陶剑锋,殷志祥,廖光洪. 基于模糊中值的图像处理方法[J]. 信息与电子工程,2007,5(5):391-394.

[4] 邢藏菊,王守觉,邓浩江,等. 一种基于极值中值的新型滤波算法[J]. 中国图象图形学报,2001,6(6):533-536.

[5] 张旭明,徐滨士,董世运,等. 去除脉冲噪声的自适应开关中值滤波[J]. 光电工程,2006,33(6):78-83.

[6] 许国威,马胜前,危淑平. 自适应滤波 RLS 算法研究与 DSP 实现[J]. 计算机技术与发展,2010,20(10):35-38.

4 结束语

文中分析了现有一些滤波算法的优缺点,针对它们的缺点提出了一种噪声密度估计的梯度检测滤波算法,算法结合极值检测及梯度阈值检测方法对噪声点进行判断,提高了噪声点判断的准确率,同时根据噪声密度选择滤波窗口,在滤除噪声的同时充分地保持了图像原始信息,从仿真实验的效果图 PSNR 值可以看出,算法优于传统中值滤波算法和极值中值滤波算法,具有一定的实用性。

[7] Nieminen A,Heinonen P,Neuvo Y. A new class of detail preserving filters for image processing[J]. IEEE Trans on PAMI, 1987,9(1):74-90.

[8] Arce G R,Foster R E. Detail preserving ranked order based filters for image processing[J]. IEEE Trans on ASSP,1989, 37(1):83-98.

[9] 李伟,管燕. 一种基于梯度的图像滤波算法[J]. 南通纺织职业技术学院学报(综合版),2005,5(3):17-20.

[10] 刘建磊,赵景秀,李波. 基于梯度幅值的自适应边缘检测算法[J]. 光电子技术,2007,27(3):174-177.

[11] 赵京东,赵景秀. 改进的机遇梯度幅值的自适应边缘检测算法[J]. 光电子技术,2009,29(2):98-105.

[12] 姚刚,刘勇,雷帮军,等. 自适应梯度幅值和形态学组合滤波算法[J]. 计算机应用,2010,30(12):3241-3245.

(上接第81页)

该算法进行了仿真验证,证明了该算法在故障诊断中的可行性和有效性。

参考文献:

[1] 周东华,李钢,李元. 数据驱动的工业过程故障诊断与预测技术-基于PCA与PLS的方法[M]. 北京:科学出版社,2011.

[2] 李晗,萧德云. 基于数据驱动的故障诊断方法综述[J]. 控制与决策,2011,26(1):1-9.

[3] Hwang I, Kim S, Kim Y, et al. A survey of fault detection, isolation, and reconfiguration methods[J]. IEEE Trans. on Control Systems Technology,2010,18(3):636-653.

[4] 肖应旺,徐保国. 改进PCA在发酵过程监测与故障诊断中的应用[J]. 控制与决策,2005,20(5):571-574.

[5] 张沐光,宋执环. LPMVP算法及在故障诊断中的应用[J]. 自动化学报,2009,35(6):766-772.

[6] Shao J D, Rong G. Nonlinear process monitoring based on maximum variance unfolding projections[J]. Expert Systems with Applications,2009,36(8):11332-11340.

[7] 李国祥,夏国恩,齐天. 非参数核密度估计的动态目标识别与定位[J]. 计算机技术与发展,2012,22(5):89-93.

[8] Hu K, Yuan J. Batch process monitoring with tensor factorization[J]. Journal of Process Control,2009,19(2):288-296.

[9] Cho J H, Lee J M, Choi S W, et al. Fault identification for processes monitoring using kernel principal component analysis[J]. Chemical Engineering Science, 2005, 60(1): 279-288.

# 一种噪声密度估计的梯度检测滤波算法

作者：[沈德海](#)，[侯建](#)，[鄂旭](#)，[刘忠杰](#)，[SHEN De-hai](#)，[HOU Jian](#)，[E Xu](#)，[LIU Zhong-jie](#)  
作者单位：[渤海大学信息科学与技术学院, 辽宁锦州, 121000](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)  
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)  
年，卷(期)：2013, 23(6)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201306021.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201306021.aspx)