一种噪声密度检测自适应选择策略的滤波算法 *

沈德海[1]，刘大成[2]，邢 涛[3]
(1. 渤海大学 信息科学与技术学院，辽宁 锦州 121000；2. 清华大学 工业工程系，北京 100084；3. 北京城市系统工程研究中心，北京 100089)

摘 要：针对灰度图像受椒盐噪声不同程度污染的滤波处理问题，提出了一种噪声密度检测自适应选择策略的滤波算法。先对被噪声污染图像进行噪声密度检测，然后根据检测结果判断图像为轻度污染还是严重污染。对于前者，用 3×3 窗口统计阈值(STM)的开关中值滤波算法；对于后者，采取先 3×3 窗口后 5×5 窗口统计阈值的开关中值滤波算法二次滤波。实验结果表明，该方法不但适应能力较强，而且具有较强的去噪能力和较好的图像细节保护能力。

关键词：椒盐噪声；密度检测；统计域值；中值滤波；噪声检测
中图分类号：TP391.41 **文献标志码**：A **文章编号**：1001-3695(2012)02-0761-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.096

Adaptive-selection filtering strategy algorithm on noise density detection

SHEN De-hai[1], LIU Da-cheng[2], XING Tao[3]
(1. *College of Information Science & Technology*, *Bohai University*, *Jinzhou Liaoning* 121000, *China*; 2. *Dept. of Industrial Engineering*, *Tsinghua University*, *Beijing* 100084, *China*; 3. *Beijing Research Center of Urban Systems Engineering*, *Beijing* 100089, *China*)

Abstract: This paper proposed an adaptive-selection filtering strategy algorithm on noise density detection for the filter problem that gray-scale was polluted by salt and pepper noise of different degree. Firstly, it detected the noise density of the polluted image, according to the detection results, the image was judged as either light polluted image or severe polluted image. For the former, it took 3×3 windows switching median filter algorithm based on statistical threshold. For the latter, it took first 3×3 last 5×5 windows switching median filter algorithm based on statistical threshold. Experimental results indicate that the proposed algorithm not only has strong adaptability but also has better image detail preservation and strong denoising ability.

Key words: salt and pepper noise; density detection; statistical threshold; median filter; noise detection

0 引言

数字图像在采集、传输、解码等过程中，由于受到某些条件限制和随机干扰往往会被脉冲噪声污染。其中，椒盐噪声是脉冲噪声的最主要类型[1]。椒盐噪声的特征是噪声点亮度值与邻域图像信号点的亮度值明显不同，在图像上表现为黑白亮暗点，严重影响了图像的质量，给后续的处理工作(如边缘检测、图像分割、特征提取、模式识别等)带来很大难度。抑制图像噪声是图像预处理的一项重要任务，图像去噪声算法的研究具有十分重要的现实意义。

关于图像椒盐噪声的滤波方法有很多种，其中最重要的是著名学者 Turkey 于 1971 年首次提出来的一种非线性滤波器——中值滤波器[2]。传统的中值滤波算法用中心像素点邻域的中值代替中心像素值，运算简单、速度快，在低噪声密度情况下滤波效果较好，但其存在滤除噪声的同时也将图像中的高频信息滤掉的严重问题，造成图像细节损失、图像模糊，随着噪声密度的增大，滤波性能将大幅度下降。为了改善滤波性能，近年来很多改进的中值滤波算法被提出来[3~7]，取得了较好的实际效果。Sun 等人[3]首先提出了开关中值滤波算法，其特点是首先将待处理的像素点根据一定条件进行判断，划分为噪声点和信号点，对于噪声点，用其邻域的像素点灰度值的中值代替；对于信号点保持原值不变。开关型滤波算法对噪声进行有效抑制的同时也较好地保护了图像的边缘和细节等，受到了人们的广泛关注，得到了普遍和迅速推广。在此基础上，Wang 等人[4]提出了 minmax 算法，在一定程度上改善了中值滤波器的性能，但细节模糊问题仍然没有得到较好的解决。邢藏菊等人[5]提出了极值开关策略的中值滤波(EM)算法，该算法具有与传统中值滤波算法相当的速度，对受轻度污染的图像具有较好的滤波性能和细节保护能力，但对于噪声污染较为严重的图像效果不是很好。于忠党等人[6]提出了基于回归型最小二乘

收稿日期：2011-08-04；**修回日期**：2011-09-11 **基金项目**：国家自然科学基金资助项目(70871067)；辽宁省教育厅重点实验室基金资助项目(2008S002)；北京市科学技术研究院创新团队计划项目(IG201106N)

作者简介：沈德海(1978-)，男，讲师，硕士，主要研究方向为数据库技术、图像处理(sdh25@sohu.com)；刘大成(1968-)，男，教授，博士，主要研究方向为人工智能；邢涛(1978-)，男，副研究员，博士(后)，主要研究方向为智能交通系统工程.

支持向量基卷积模板的滤波算法,该算法利用 LS-SVR 良好的数据逼近能力,对窗口进行曲面拟合,实现了被污染像素点的有效恢复,体现出了较好的细节保护和去噪能力。

本文针对实际图像所受噪声污染程度不同的问题,将统计理论应用到噪声密度判别和噪声点检测,提出了一种噪声密度检测自适应选择滤波策略的滤波算法。算法首先对椒盐噪声污染图像进行随机抽取检测窗口,对各个窗口内噪声点密度进行统计,根据统计结果推测图像是轻度还是严重噪声污染(以噪声密度 40% 为分界线)。对轻度噪声污染图像采取一种改进的开关中值滤波算法——统计阈值算法进行滤波,由于污染较轻,滤波窗口选为 3×3,保持了较快的运算速度,而且在保护细节的同时具有较强的去噪能力;对于噪声污染严重的图像,采取先用统计阈值算法进行第一次滤波(窗口大小为 3×3,在滤除大部分噪声点的同时图像保持了较好的细节),然后调整滤波窗口为 5×5 或 7×7(视污染程度选择),再次执行该滤波算法,去除第一次没有滤掉的噪声点,同时有效地保持了图像的细节部分。

1　算法实现步骤及原理分析

本文算法共分为噪声密度检测及策略选择、噪声点判别、噪声消除三个步骤,算法总体流程如图 1 所示。其中:Nw 为随机抽取的检测窗口数,m 为 Nw 个检测窗口平均噪声密度,n 为噪声密度大于等于 0.4 的窗口个数。

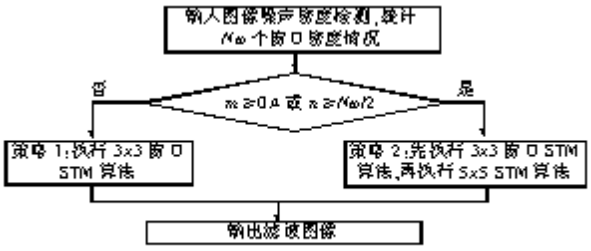

图 1　本文算法总体流程

1.1　噪声密度检测及策略选择

椒盐噪声具有随机分布的特征,采用统计方法,对于输入图像选用随机函数选取 Nw 个检测窗口中心点 $U(i, j)$,然后统计以 $U(i, j)$ 为中心,大小为 7×7 窗口内的噪声密度情况。统计时考虑到噪声点的特点以及运算速度,采取 minmax 检测算法确定噪声点。

为了保证检测窗口在图像范围内,这里 i、j 满足条件如式(1)。

$$\text{条件}=\begin{cases} i\in[4,\text{row}-3] & \text{row 为图像像素行数} \\ j\in[4,\text{col}-3] & \text{col 为图像像素列数} \end{cases} \tag{1}$$

对于统计结果,根据式(2)的条件确定滤波策略。

$$\text{策略}=\begin{cases} 2 & m\geqslant 0.4 \text{ 或 } n\geqslant Nw/2 \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \tag{2}$$

策略判定原则:"噪声平均密度大于等于 0.4"或"一半以上的被检测窗口密度大于等于 0.4 ",说明图像污染比较严重,采取策略 2,进行先 3×3 窗口后 5×5 窗口双重统计阈值滤波;否则,可认为图像为轻度污染,采取策略 1,进行一次 3×3 窗口的统计阈值滤波。

1.2　噪声点判别

滤波策略确定之后,开始进行统计域值(STM)算法的噪声点检测。椒盐噪声像素点的灰度值或者远大于周围像素点,或者远小于周围像素点[7],由此,可以实现噪声检测。文献[8]对噪声点 N 的初步判决标准如式(3)所示。

$$N_{i,j}=\begin{cases} 0 & \min(WD[f_{ij}])<f_{ij}<\max(WD[f_{ij}]) \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \tag{3}$$

为了减少噪声点漏判,本文采取统计阈值(statistical threshold)方法进行判别。假设输入噪声图像 U,采用 3×3 检测窗口,$U(i,j)$ 表示窗口中心点(检测点)的灰度值,$W[ij]$ 表示检测窗口矩阵,则该窗口内的所有像素值构成如式(4)所示的集合,本文对噪声点判别的标准如式(5)所示。

$$W[ij]=\{U(i+k,j+r)\mid k=-1,0,1\} \tag{4}$$

$$N_{i,j}=\begin{cases} 1 & U(i,j)\geqslant 255-\alpha \text{ 或 } U(i,j)\leqslant\alpha \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \tag{5}$$

根据式(5)则可将像素值 $U(i,j)$ 落在 255 ~ 255 − α 区间或 0 ~ α 区间内的像素点划分为噪声点,否则为信号点,式中的 α 称为统计阈值。考虑到邻域相关性及统计原理,即噪声点在检测窗口内分布较多时,应该扩大检测门限,否则缩小检测门限,因此本文将其值确定为窗口 $W[ij]$ 内所有像素点灰度值的标准差,如式(6)所示。

$$\alpha=\sqrt{\frac{\sum_{k=-1}^{1}\sum_{r=-1}^{1}[U(i+k,j+r)-\text{mean}(W[i,j])]^2}{n\times n}} \tag{6}$$

其中:mean($W[ij]$)表示检测窗口内像素点灰度值的平均值,$n\times n$ 表示检测窗口尺寸。多次实验证明,其效果较好。

1.3　噪声消除

噪声消除的同时还要尽量保护图像的细节,应采取开关滤波处理算法。根据式(5)的判断结果,对信号点保持原值不变,对于噪声点,本文使用该点邻域内像素点(去掉噪声点)灰度值的中值来代替,有效地利用了邻域相关性原理。如式(7)所示,U' 代表被检测像素点的灰度值,$U(i,j)$ 表示被检测点原值,N 表示噪声点,S 表示信号点。

$$U'(i,j)=\begin{cases} U(i,j) & U'\in S \\ \text{med}(W[f_{ij}]) & U'\in N, f_{ij}\in N \end{cases} \tag{7}$$

本文算法中,噪声点检测和噪声消除过程中的窗口 W 大小是一致的,但针对不同策略,W 是有变化的。对于噪声污染较轻的图像,执行一次 STM 滤波算法,窗口大小为 3×3;对于噪声污染严重的图像,执行两次 STM 滤波算法,第一次窗口为 3×3,第二次窗口为 5×5,体现了较好的自适应性。

2　仿真实验与结果分析

在 MATLAB 平台上进行仿真实验,选取 512×512 的标准灰度图像 Lena,分别输入 1%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70% 的椒盐噪声,分别采用标准中值(SM)、极值中值(EM)和本文算法对图像进行滤波处理。图 2 ~ 4 给出了标准中值(SM)滤波、极值中值(EM)开关滤波和本文滤波算法对不同程度噪声密度污染图像滤波后的对比效果。为了进一步验证几种滤波算法的效果,计算出了每种滤波算法的峰值信噪比(PSNR),对图像质量进行了仔细分析。

2.1　实验效果比较

图 2 显示了在椒盐噪声密度为 30% 的情况下几种滤波算法的滤波结果。本文算法根据检测结果判定图像为轻度污染,

选择了策略 1,滤波窗口为 3×3,其他两种算法也采用 3×3 滤波窗口。从图中可以看出,标准中值滤波算法仍有一部分噪声点未去除,极值中值 EM 算法和本文算法去除噪声效果较好,而且图像细节也保持得很好,但仍有少量的噪声点。经仔细观察,本文算法去噪效果略好于极值中值算法。可见,在轻度噪声污染情况下,本文算法的滤波效果比标准中值 SM 算法性能优越,比极值中值 EM 算法略好。

(a) 加 30%椒盐噪声图像　(b) 传统中值滤波图像,W=3×3　(c) 极值中值滤波图像,W=3×3　(d) 本文算法滤波图像

图 2　30%椒盐噪声污染图像及各种算法滤波后效果

图 3 显示了在椒盐噪声密度为 60% 的情况下各种算法的滤波结果。不难看出,随着噪声密度的增大,标准中值和极值中值算法在窗口不变(3×3)的情况下,滤波性能明显下降;而本文算法则根据检测结果选择了策略 2,执行先 3×3 窗口后 5×5 窗口双重统计阈值滤波,显示出了较好的自适应性,滤波效果很好,图像比较平滑无噪声点,图像细节保持较好。

(a) 加 60%椒盐噪声图像　(b) 传统中值滤波图像,W=3×3　(c) 极值中值滤波图像,W=3×3　(d) 本文算法滤波图像

图 3　60%椒盐噪声污染图像及各种算法滤波后效果

图 4 是对标准中值和极值中值进行窗口调整为 5×5 后与本文算法的对比。本次实验图像噪声密度仍为 60%,在此情况下,执行标准中值滤波算法的图像仍存在大量的椒盐噪声,而且出现了较大的黑白斑块,而本文算法图像细节的整体效果与极值中值算法相当。可见,在较严重噪声污染的情况下,本文算法显示出了良好的去噪性能和自适应性。

(a) 加 60%椒盐噪声图像　(b) 传统中值滤波图像,W=5×5　(c) 极值中值滤波图像,W=5×5　(d) 本文算法滤波图像

图 4　60%椒盐噪声污染图像及改变窗口滤波后效果

2.2　PSNR(峰值信噪比)分析

PSNR 是目前应用最广泛的图像质量评价指标。表 1 给出了几种滤波算法在不同的噪声密度干扰下对图像处理后的峰值信噪比(PSNR),滤波窗口为 3×3。一般情况下,PSNR 值高的图像质量相对较高。设一幅数字图像 f 大小为 $M\times N$,f_0 为其参考图像,$f(i,j)$ 和 $f_0(i,j)$ 为图像在坐标点 (i,j) 处的幅度值,$f_{\max}$ 为其最大幅值,则被测图像 $f(i,j)$ 的 PSNR 定义如式(8)所示。

$$\mathrm{PSNR}=10\log 10\left\{\frac{f_{\max}{}^2}{\frac{1}{M\times N}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(f(i,j)-f_0(i,j))^2}\right\} \tag{8}$$

表 1 是三种滤波算法对噪声密度分别为 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70% 的图像滤波后的 PSNR 值。传统中值滤波算法和极值中值滤波算法分别计算了在 3×3 窗口和 5×5 窗口滤波时的 PSNR 值。从表中数据可以看出,本文算法的 PSNR 值均高于标准中值滤波算法和极值中值滤波算法在任何一种窗口下的 PSNR 值。这表明,基于噪声密度检测自适应选择滤波策略的方法在去噪能力和细节保护能力方面优于其他两种算法。从表中数据也不难看出,随着噪声密度的增大,尤其在高密度噪声干扰的情况下,本文算法的 PSNR 值明显高于 SM 算法,略高于 EM 算法,说明本文算法在较高密度噪声处理方面性能仍然较好,体现出了稳健的滤波性能和很好的自适应性。

表 1　几种滤波方法的 PSNR 值比较

滤波方法	噪声密度						
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
中值滤波[3×3]	33.24	29.04	23.65	18.94	15.26	12.29	9.98
[5×5]	30.50	28.94	27.24	25.40	22.81	18.71	14.07
极值中值[3×3]	33.87	31.32	29.46	27.25	24.27	20.93	17.57
滤波[5×5]	32.15	29.37	27.62	26.30	25.04	23.80	22.25
本文算法滤波	40.00	36.07	32.60	30.94	29.23	26.74	24.04

3　结束语

本文采用统计原理,结合开关中值滤波算法,提出了一种基于噪声密度检测自适应选择策略的滤波算法。算法首先对噪声图像进行检测,根据检测结果选择滤波策略,具有较强的灵活性。对于噪声点的判别,本文算法采用了一种新的方法——统计域值法,实验证明其效果较好。通过对比实验,本文算法显示出了良好的自适应性、噪声去除能力和细节保护能力,而且在噪声污染较为严重的图像去噪方面,也显示出了稳健的性能。

参考文献:

[1]　BOVIKA. Handbook of image and video processing[M]. [S. l.]: Academic Press, 2000: 1-1372.

[2]　GALLAGHER N C, WISE G L. A theoretical analysis of the properties of the median filters[J]. IEEE Trans on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1981, 29(6): 1136-1141.

[3]　SUN T, NEUVO Y. Detail preserving median based filters in image processing[J]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15(4): 341-347.

[4]　WANG Jung-hua, LIN Lian-da. Improved median filter using minmax algorithm for image processing[J]. Electronics Letters, 1997, 33(16): 1362-1363.

[5]　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.

[6]　于忠党,王龙山. 基于回归型最小二乘支持向量机卷积模板的椒盐噪声开关滤波器[J]. 光学学报, 2009, 29(1): 163-168.

[7]　谢剑斌,刘通,任勇,等. 一种自适应的快速去除椒盐噪声滤波算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 843-847.

[8]　孙艳霞,马莹巍. 基于细节保留的严重椒盐噪声滤波算法[J]. 中国电力教育, 2009(1): 436-437.