

一种纵横窗口关联的多级中值滤波算法

沈德海¹ 刘大成² 邢涛³

(渤海大学信息科学与技术学院 锦州 121000)¹ (清华大学工业工程系 北京 100084)²

(北京城市系统工程研究中心 北京 100089)³

摘要 针对传统中值滤波算法不能很好保护图像细节以及受较严重噪声污染时性能急剧下降的情况,提出了一种纵横窗口关联的多级中值滤波算法。算法采用开关策略,判断 $N \times N$ 窗口内像素点。对于噪声点,先求出以该点为中心的纵横 $2N$ 个窗口中每个窗口像素点的中值,再计算出这些中值点的中值,以替换噪声点像素值。对于非噪声点,保持原值不变,从而实现了噪声的去除。仿真结果表明,纵横窗口关联的多级中值滤波算法具有较好的细节保护能力和较强的去噪声能力。

关键词 纵横窗口关联,椒盐噪声,多级中值滤波,噪声检测

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Multilevel Median Filter Algorithm Based on Vertical and Horizontal Windows Relation

SHEN De-hai¹ LIU Da-cheng² XING Tao³

(College of Information Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121000, China)¹

(Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)²

(Beijing Research Center of Urban Systems Engineering, Beijing 100089, China)³

Abstract A multilevel median filter algorithm based on vertical and horizontal windows relation was proposed for the problem that traditional median filter algorithm can't protect the image detail very well, and that its performance will be in the sharp decline in dealing with high-density noise image. The algorithm determines the noise point of the image in window of $N \times N$ by using switching strategy. For the noise point, its pixel value will be replaced by the median value of the median value in every window that lies in all $2N$ windows round the noise point. The pixel value will be retained for the non noise points. Therefore, we achieved noise removal and detail preservation. Experimental results indicate that the algorithm has better image detail preservation and strong denoising ability.

Keywords Vertical and horizontal windows relation, Salt and pepper noise, Multilevel median filter, Noise detection

1 引言

数字图像在成像、传输过程中经常会被独立于图像内容的脉冲噪声所污染^[1]。椒盐噪声是脉冲噪声的一种最主要类型,对于灰度图像来说,它含有随机出现的黑白亮度值,表现为被污染的像素相对于邻域内其他点灰度值的突变,使得其与边缘细节一样具有较大的梯度,造成边缘检测中出现虚假边缘,为进一步分析图像工作带来较大的困难^[2]。因此,如何有效地去除图像椒盐噪声,同时尽可能保护图像细节信息,是当今图像处理领域中一个极为重要的技术问题。

中值滤波器是目前应用最为广泛的一种非线性滤波器,它能有效地去除图像的椒盐噪声,但在滤波的同时丢失了图像细节信息。由此许多学者在中值滤波基础上,做了深入研究与实践,提出了许多改进的中值滤波算法^[3-8]。文献[3]首先提出了开关中值滤波算法,算法首先将待处理的像素点依

据一定条件划分为噪声点和信号点。对于噪声点,用其邻域像素点灰度值的中值代替;对于信号点,保持原值不变。算法不仅有效地抑制了噪声,而且较好地保护了图像的边缘和细节,从而得到了普遍关注和迅速推广。在此基础上,文献[4]提出了Max-min算法,该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。文献[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。文献[6]提出了一种保边正则化的改进算法,其具有较好的滤波性能和细节保护能力,而且对于严重椒盐噪声污染的图像也显示出了较强的去噪声能力。文献[7,8]在很早就提出了一种多级中值滤波器,其具有较好的图像细节保护特性,但对于受严重噪声污染的图像整体去噪声效果不好。

到稿日期:2011-06-21 返修日期:2011-11-01 本文受国家自然科学基金(70871067),辽宁省教育厅重点实验室基金(2008S002),北京市科学技术研究院创新团队计划(IG201106N)资助。

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

针对传统中值滤波算法在保护图像细节和滤除密度较高椒盐噪声方面存在的问题,本文提出了一种纵横窗口关联的多级中值滤波算法。算法充分利用了滤波窗口邻域像素的相关性原理,不仅较好地保持了图像细节和边缘,而且对椒盐噪声污染比较严重的图像恢复效果良好。

2 多级中值滤波算法

多级中值滤波器作为中值滤波器的一种扩展,它简单高效,保持图像边缘(如各种细线结构)效果更好^[9]。文献[7,8]中定义了多级中值滤波器的结构,被认为是比较优秀的,其中包括单向多级中值滤波器(MLM-)和双向多级中值滤波器(MLM+)。

文献[7,8]中多级滤波器算法包括子窗口定义和滤波输出,子窗口定义如式(1)所示。

$$\left. \begin{aligned} W_1(n_1, n_2) &= \{A(n_1+k, n_2); -N < k < N\} \\ W_2(n_1, n_2) &= \{A(n_1, n_2+k); -N < k < N\} \\ W_3(n_1, n_2) &= \{A(n_1+k, n_2+k); -N < k < N\} \\ W_4(n_1, n_2) &= \{A(n_1+k, n_2-k); -N < k < N\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中,滤波窗口为 $(2N+1) \times (2N+1)$ 的方形窗, $A(\#, \#)$ 为离散图像信号,窗口 $W_i(n_1, n_2) \{i=1, 2, 3, 4\}$ 是方形窗被划分的4个子窗口,分别表示沿水平、垂直和对角方向的一维窗口,成“米”字型,如图1所示。滤波器输出 $Y_{MLM}(n_1, n_2)$ 如式(2)所示。

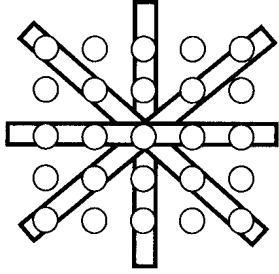


图1 传统多级中值滤波窗口图

$$Y_{MLM}(n_1, n_2) = \text{med}[Y_{\max}(n_1, n_2), Y_{\min}(n_1, n_2), A(n_1, n_2)] \quad (2)$$

式中, $Y_{\max}$ 、 $Y_{\min}$ 的定义如式(3)、式(4)所示。

$$Y_{\max}(n_1, n_2) = \max[Z_i(n_1, n_2)] \quad (3)$$

$$Y_{\min}(n_1, n_2) = \min[Z_i(n_1, n_2)] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Z_i(n_1, n_2) &= \text{med}[A(\#, \#) \in W_i[n_1, n_2]] \\ i &= 1, 2, 3, 4 \end{aligned} \quad (5)$$

式中, $Z_i(n_1, n_2) (i=1, 2, 3, 4)$ 分别表示 W_1 至 W_4 4个窗口所有像素点的中值。式(3)、式(4)中的 $Y_{\max}(n_1, n_2)$ 、 $Y_{\min}(n_1, n_2)$ 分别表示式(5)中 Z_1 至 Z_4 的最大值、最小值。

3 纵横窗口关联的多级中值滤波算法

3.1 算法原理

本文算法中所定义的多级中值滤波器的算法采用开关策略,充分利用了中心点邻域像素的相关性。从水平和垂直两个方向的所有子窗口中取中值,再用所取的中值的中值替代噪声点,达到了较好的噪声去除效果和细节保护能力。纵横窗口关联的多级中值滤波算法的子窗口定义如式(6)、式(7)所示, m, n 表示滤波窗口中心点的横、纵坐标值。

$$\left. \begin{aligned} W_{x_1}(m, n) &= \{A(1, n+j), -N < j < N\} \\ W_{x_2}(m, n) &= \{A(2, n+j), -N < j < N\} \\ &\vdots \\ W_{x_{2N+1}}(m, n) &= \{A(2N+1, n+j), -N < j < N\} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中, $W_{x_1}(m, n)$ 至 $W_{x_{2N+1}}(m, n)$ 为横向的 $2N+1$ 个子窗口,式(7)中 $W_{y_1}(m, n)$ 至 $W_{y_{2N+1}}(m, n)$ 为纵向的 $2N+1$ 个子窗口,各子窗口如图2所示。

$$\left. \begin{aligned} W_{y_1}(m, n) &= \{A(m+i, 1), -N < i < N\} \\ W_{y_2}(m, n) &= \{A(m+i, 2), -N < i < N\} \\ &\vdots \\ W_{y_{2N+1}}(m, n) &= \{A(m+i, 2N+1), -N < i < N\} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

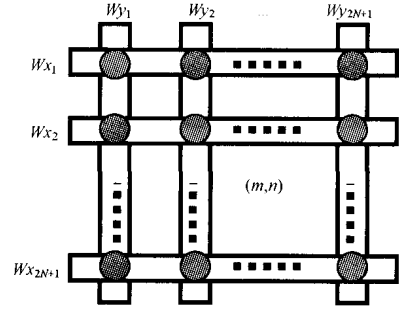


图2 本文算法滤波窗口图

本文算法的输出如式(8)所示。

$$Z(m, n) = \text{med}[Z_i(m, n)] \quad (8)$$

式中, $Z_i(m, n)$ 是式(6)和(7)各子窗口中像素点的中值, $i = \{x_1, x_2, \dots, x_{2N+1}, y_1, y_2, \dots, y_{2N+1}\}$ 。 $Z(m, n)$ 则是各子窗口中值点 $Z_i(m, n)$ 的中值。

3.2 噪声判别

受椒盐噪声污染的图像具有如下特性:

(1)图像中只有部分像素受到污染,而其他像素灰度值保持不变;

(2)噪声点像素灰度值远大于周围像素点,或者远小于周围像素点。

因此,根据此特点可以判别椒盐噪声。文献[10]采用式(9)方法判断噪声, $N_{i,j}$ 表征像素点 (i, j) 受噪声污染的情况,满足式(9)。

$$N_{i,j} = \begin{cases} 0, & \min(WD[f_{ij}]) + \delta < f_{ij} < \max(WD[f_{ij}]) - \delta \\ 1, & \text{其它} \end{cases} \quad (9)$$

式中, $\min(WD[f_{ij}])$ 表示窗口区域内像素点的最小灰度值, $\max(WD[f_{ij}])$ 表示窗口区域内像素点的最大灰度值, δ 表示噪声判别门限。本文采用式(10)条件判别噪声,可以减少对噪声点的漏判。

$$U(m, n) >= 255 - \alpha \text{ 或 } U(m, n) <= \alpha \quad (10)$$

将符合式(10)条件的像素点 $U(m, n)$ 判断为噪声点,否则为信号点。其中的 α 称为检测阈值,根据多次实验,本文将其值确定为滤波窗口 $W[m, n]$ 内所有像素点灰度值标准差的 $1/9$,如式(11)所示。其中 $\text{mean}(W[m, n])$ 表示检测窗口内像素点灰度值的平均值, $(2N+1) \times (2N+1)$ 表示检测窗口尺寸, N 为大于1的整数。

$$\alpha = \frac{1}{9} \sqrt{\frac{\sum_{k=-N}^N \sum_{r=-N}^N [U(m+k, n+r) - \text{mean}(W[m, n])]^2}{(2N+1) \times (2N+1)}} \quad (11)$$

3.3 噪声消除

为了尽量保护图像的细节,本文采取开关策略,根据式(10)的判断结果,将噪声点用式(8)的输出像素值 $Z(m,n)$ 替代,对于信号点保持原值不变。在噪声消除过程中,本文算法对于确定噪声点替代值 $Z(m,n)$ 经历了两次中值的选择:第一次是从中心点邻域的纵横 $4N+2$ 个子窗口选择像素中值;第二次是从第一次选出的中值中选取中值。两次筛选,都以噪声点为中心,充分利用了邻域相关性原理。

4 仿真实验效果对比与分析

为了验证算法的效果,在 Matlab R2010a 平台上进行仿真实验,选取 512×512 的标准灰度图像“Umbrella”,依次加入 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70% 的椒盐噪声,分别采用传统中值滤波(SM)、Max-min 开关中值滤波和本文算法对图像进行滤波处理。几种滤波算法的滤波窗口大小均为 5×5 。图 3 至图 5 分别给出了各种算法对不同噪声密度污染图像滤波后的对比效果图。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),对图像质量进行分析。

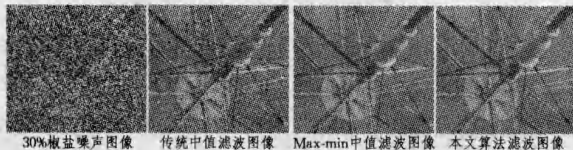


图 3 30%椒盐噪声污染图像及各种算法滤波后效果

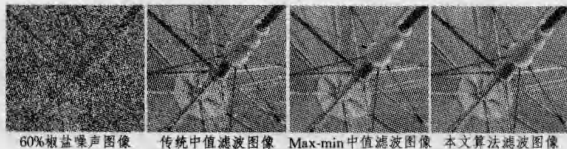


图 4 60%椒盐噪声污染图像及各种算法滤波后效果



图 5 70%椒盐噪声污染图像及各种算法滤波后效果

4.1 实验效果图比较

图 3 是各算法对加 30% 椒盐噪声图像的滤波效果对比图。从图中能够看出,在低噪声污染情况下,几种算法都显示了较好的细节保护能力和去噪能力,但本文算法的图像更清晰。图 4 是各算法对加 60% 椒盐噪声图像的滤波效果对比图。可以看出,随着图像椒盐噪声密度的增大,SM 算法的去噪效果开始下降,图像很多噪声点没有被滤除,图像细节保护性能也开始快速下降,边缘处出现了模糊;而本文算法和 Max-min 算法仍然较好地保持了图像的细节和边缘等处,而且图像比较清晰。图 5 是各算法对加 70% 椒盐噪声图像的滤波效果对比图。可以看出,在比较严重噪声污染下,SM 算法的滤波性能急剧下降,效果图像由于存在过多的噪声点显得非常模糊;而本文算法去除了大部分噪声点,滤波图像依然比较清晰,显示出本文算法具有较强的去噪能力。

4.2 PSNR(峰值信噪比)分析

滤波算法性能的量化评价方式很多。一般情况下,

PSNR 值高的图像质量相对较高。PSNR 是目前用于图像质量评价的最常用指标^[10]。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, $f_{\max}$ 为其最大幅度,则被测图像 $f(i,j)$ 的 PSNR 定义如式(12)。表 1 列出了几种滤波算法对不同密度的椒盐噪声污染图像处理后的峰值信噪比,滤波窗口为 5×5 。

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{f_{\max}^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f(i,j) - f_0(i,j))^2} \right\} \quad (12)$$

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%
SM 中值滤波	30.52	28.83	27.37	25.57	22.86	18.57	14.00
Max-min 算法	37.11	35.71	33.87	31.85	30.05	27.81	25.38
本文算法滤波	39.77	36.25	34.01	31.83	30.08	27.46	24.75

从表 1 中的数据来看,在噪声密度低于 60% 的情况下,本文算法的 PSNR 值均高于 SM 算法和 Max-min 算法,说明了本文算法在噪声密度 60% 以下具有稳定的噪声点识别能力和较强的去除噪声能力。在噪声密度高达 70% 的情况下,本文算法的 PSNR 值比 SM 算法高出 10 个百分点,略低于 Max-min 算法,说明本文算法在较严重噪声污染情况下仍然具有良好的去噪能力,性能接近 Max-min 算法,而 SM 算法的性能却急剧下降。

结束语 纵横窗口关联的多级中值滤波算法采用了开关策略。为了减少对噪声点的误判,根据多次实验的结果确定了检测阈值 α 。在噪声消除方法中,充分利用了滤波窗口邻域像素的相关性原理,对滤波窗口中心的噪声点用该窗口内所有纵横子窗口像素点中值的中值来替代,有效地恢复了受损数据。仿真实验证明,本文算法在去除图像较严重椒盐噪声方面取得了较好的效果,在一定程度上也达到了保护图像细节的目的。

参考文献

- [1] BOVIKA. Handbook of image and video processing [M]. Academic Press, 2000
- [2] 柳树,于忠党. 一种改进的中值滤波算法[J]. 微计算机应用, 2009, 30(12): 1-6
- [3] Sun T, Neuvo Y. Detail preserving median based filters in image processing[J]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15(4): 341-347
- [4] Wang J-H, Lin Lian-da. Improved median filter using min-max 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] Dong Yi-qiu, Xu Shu-fang. An Efficient Salt and Pepper Noise Removal[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(5): 604-612
- [7] Nieminen A, Heinonen P, Neuvo Y. A new class of detail preserving filters for image processing [J]. IEEE Tran 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 Tran on ASSP, 1989, 37(1): 83-98
- [9] 蒋立辉,赵春晖. 基于多级非线性加权平均中值滤波算法的散斑噪声抑制[J]. 激光与红外, 2003, 33(5): 380-382
- [10] 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