

基于斜率的自适应中值滤波算法

刘淑娟^{1*}, 赵 晔², 董 蕊³, 王志巍¹, 杨芳芳¹

(1. 河北师范大学 数学与信息科学学院, 石家庄 050016;

2. 石家庄铁道大学 数理系, 石家庄 050043; 3. 河北交通职业技术学院 基础教学部, 石家庄 050091)

(* 通信作者电子邮箱 lsjliu@163.com)

摘 要: 针对图像中椒盐噪声点的准确检测与去除问题, 提出一种基于斜率的自适应中值滤波算法。该算法首先用 $n \times n$ (n 为大于或等于 3 的奇数) 的模板作用于待检测图像的每一个像素, 若当前像素的灰度值为其邻域内所有像素灰度值的极值, 判断此点为准噪声点; 再利用像素灰度值序列中两段子序列斜率的差值及模板区域内像素灰度值的均值自适应地判断准噪声点是否为真正的噪声点; 最后对被判定为噪声的像素做中值滤波处理。与标准中值滤波方法相比, 该方法加强了噪声检测的条件。实验结果表明, 该算法具有较好地去除椒盐噪声和保留细节的效果。

关键词: 噪声检测; 椒盐噪声; 斜率差值; 中值滤波; 图像去噪

中图分类号: TP391.41; TP301.6 **文献标志码:** A

Adaptive median filtering algorithm based on slope

LIU Shu-juan^{1*}, ZHAO Ye², DONG Rui³, WANG Zhi-wei¹, YANG Fang-fang¹

(1. College of Mathematics and Information Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei 050016, China;

2. Department of Mathematics and Physics, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Hebei 050043, China;

3. Department of Fundamental Teaching, Hebei Jiaotong Vocational and Technical College, Shijiazhuang Hebei 050091, China)

Abstract: For estimating and removing the salt-and-pepper noise point accurately in image, a new adaptive median filtering algorithm was proposed. Firstly, if the pixel in the center of $n \times n$ (n is an odd integer not less than three) template was the extreme value of all the pixels in the window, it was supposed to be probably a noise point. The pixel gray value in the sequence difference between the two scripts and a template sequence of the slope of the pixel gray value within the region were used to determine the mean quasi-adaptive noise point to be the real noise points. Finally, mean filtering was done on the noised pixels. Compared with median filter, the condition of detecting noises with this method has been largely enhanced. And the method can both effectively restrain noises and maintain details.

Key words: noise detection; salt-and-pepper noise; slope difference value; median filtering; image denoising

0 引言

噪声的检测和滤除是图像处理中一类重要的问题。在图像生成、传输的过程中, 由于各种原因, 会在图像中产生噪声。标准中值滤波是消除椒盐噪声的经典算法, 即用 $n \times n$ (n 为大于或等于 3 的奇数) 的模板作用于当前像素, 将这 $n \times n$ 个像素灰度值的中间值作为当前像素的灰度值。此方法能在去噪的同时保护图像中的某些细节, 但也不可避免地改变了信号点的值, 造成了图像的模糊, 当模板较大时, 细节丢失情况会比较严重, 而且若图像中各区域的噪声密度存在较大差异时, 该方法很难取得良好的去噪效果。基于此, 人们提出了许多改进的中值滤波算法, 如定向开关中值滤波算法^[1]、双态中值滤波算法^[2]、Min-Max 滤波算法^[3]、模糊脉冲噪声检测及去噪方法^[4]、方向加权中值滤波^[5]、基于最小生成树的加权中值滤波算法^[6]、用于图像处理的自适应中值滤波算法^[7-9]、自适应型中心加权的中值滤波^[10-12]、基于 B-样条函数的自适应中值滤波算法^[13]、基于灰色关联度的中值滤波算法^[14-15]等。这些算法在改进标准中值滤波的性能方面做了有益的探索, 但在实际应用中都有各自的局限性。

标准中值滤波是对图像中的每一个像素进行中值替换操

作, 文献[16]提出了一种基于极值中值 (Extremum Median, EM) 的滤波算法, 即首先对滤波窗口内的像素进行判断, 只有当前像素为模板内 $n \times n$ 个像素灰度值的极值时, 才认为其为噪声, 并进行中值替换; 否则就认为当前点为信号点, 不做任何操作, 保持其原灰度值。此算法在执行速度及保留细节方面取得了比标准中值滤波更好的效果。本文针对椒盐噪声, 提出了一种基于斜率的自适应中值滤波算法, 取得了较好的滤波效果。

1 算法的基本思想及实现

用 $n \times n$ 的模板对图像进行噪声检测时, 若当前像素点为椒盐噪声, 则其灰度值应为滤波窗口内所有像素灰度值的极值, 但反之不一定成立, 即若当前像素点的灰度值为滤波窗口内所有像素灰度值的极值时, 它并不一定是噪声, 本文称之为准噪声。一般情况下, 那些既是准噪声同时又与模板内其他像素的灰度值差别较大的像素, 才被认为是真正的噪声。而这正是本文算法的基础。

1.1 基本思想

设当前像素的灰度值为 $f(i, j)$, 将 $f(i, j)$ 与滤波窗口内其他像素的灰度值按升序排列后, 存放在数组 a 中。若 $f(i, j)$

收稿日期: 2011-08-15; 修回日期: 2011-11-16。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10771049)。

作者简介: 刘淑娟 (1970-), 女, 河北定州人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 图形图像处理; 赵晔 (1977-), 女, 河北石家庄人, 讲师, 博士, 主要研究方向: 计算几何与图形学; 董蕊 (1979-), 女, 河北石家庄人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 图形图像处理; 王志巍 (1960-), 男, 辽宁北镇人, 副教授, 主要研究方向: 算法设计、图像处理; 杨芳芳 (1984-), 女, 河北廊坊人, 硕士研究生, 主要研究方向: 图形图像处理。

不是数组 a 中元素的极值,则判定当前像素为信号点,不做任何操作;若 $f(i, j)$ 为数组 a 中元素的极大或极小值,则当前点为准噪声点。此时,准噪声点与模板内其他像素的灰度值之间的关系有图 1 ~ 2 所示的两种情形(以 3×3 模板为例),其中 X 轴为数组 a 的下标, Y 轴为 a 中各元素对应的灰度值 f 。图 1 中当前像素 $f(i, j) = a[0]$, 图 2 中 $f(i, j) = a[8]$, 显然,图 1(a) 和图 2(a) 中的 $f(i, j)$ 可判定为噪声点,图 1(b) 和图 2(b) 中的 $f(i, j)$ 可判定为信号点。为便于区分噪声点和信号点,按下列原则定义斜率 k_1 和 k_2 :

1) 当前点为极小值点,即 $f(i, j) = a[0]$ 时,

$$k_1 = a[1] - a[0]$$

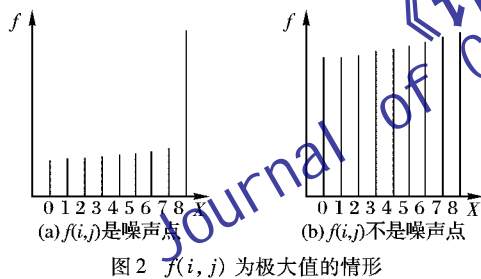
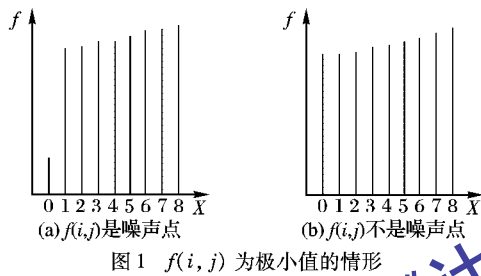
$$k_2 = (a[n \times n - 1] - a[1]) / (n \times n - 2)$$

2) 当前点为极大值点,即 $f(i, j) = a[n \times n - 1]$ 时,

$$k_1 = a[n \times n - 1] - a[n \times n - 2]$$

$$k_2 = (a[n \times n - 2] - a[0]) / (n \times n - 2)$$

因为数组 a 是升序排列,所以保证了 $k_1 \geq 0, k_2 \geq 0$ 。然后根据 k_1, k_2 的值对当前点是否为噪声点进行判断:若 $k_1 - k_2 > T$ (T 为阈值),判定当前点为噪声,进行中值替换;否则,判定当前点为信号点,不做任何操作。



1.2 阈值 T 的选取

在判定准噪声点 $f(i, j)$ 是否为真正的噪声点时,需对阈值 T 进行赋值。而 T 的选取应与 $f(i, j)$ 的 $n \times n$ 邻域内所有相邻像素灰度值的均值有关。对每一个准噪声点,设:

$$f_{\text{mean}} = \frac{1}{n \times n - 1} \sum_{k, l \in z} f(k, l)$$

$$T = f_{\text{mean}} / I$$

其中: z 为以 $f(i, j)$ 为中心的 $n \times n$ 模板中不包含 $f(i, j)$ 的区域, I 为正整数。由此,在对噪声点的判断上可以根据 f_{mean} 的值自适应地选取 T 的值,以达到更好去噪的目的。

1.3 算法实现

设待去噪图像为 $f(x, y)$, 对图像 $f(x, y)$ 中的每一个像素点 $f(i, j)$ 按如下步骤进行处理:

第 1 步 将当前像素点 $f(i, j)$ 滤波模板内的 $n \times n$ 个像素的灰度值按升序排列,存放在数组 a 中,其元素为: $a[0], a[1], \dots, a[n \times n - 1]$ 。

第 2 步 若 $f(i, j) \neq a[0]$ 且 $f(i, j) \neq a[n \times n - 1]$, 则结束本像素的执行,对下一像素进行处理;否则转第 3 步。

第 3 步 若 $f(i, j) = a[0]$, 设:

$$k_1 = a[1] - a[0]$$

$$k_2 = (a[n \times n - 1] - a[1]) / (n \times n - 2)$$

若 $f(i, j) = a[n \times n - 1]$, 设:

$$k_1 = a[n \times n - 1] - a[n \times n - 2]$$

$$k_2 = (a[n \times n - 2] - a[0]) / (n \times n - 2)$$

第 4 步 计算 f_{mean} , 进而确定 T 值。若 $k_1 - k_2 > T$, $f(i, j)$ 的值由 $a[(n \times n - 1)/2]$ 代替;否则,对下一像素进行处理。

整幅图像处理完毕后, $f(x, y)$ 中保存的即为去噪后的图像。

2 实验与结果分析

本文以一幅椒盐噪声密度为 4% 的 256×256 的图像为例,用不同窗口 ($3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$) 的模板分别进行标准中值滤波、EM 中值滤波^[16] 和本文提出的基于斜率的中值滤波,滤波效果如图 3 所示。图 3 中,图 (c) ~ (k) 为不同算法及模板对图 (b) 去噪后的结果。



图 4 为阈值 T 根据 I 的变化取不同的值时峰值信噪比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) 的变化趋势。从图 4 可看出,当 $I = 47$ 时, PSNR 最大,为 34.8892,去噪效果最好; $I < 47$ 时, PSNR 大致是递增的; $I > 47$ 时, PSNR 大致是递减的,但递减的速度较慢,这说明 I 的取值较大时,基本上能保证较好的去噪效果。利用以下公式分别计算出标准中值滤波、EM 极值滤波和本文中值滤波用不同的模板作用于噪声密度不同的 Lena 图像的 PSNR 及均方差 (Mean Squared Error, MSE)。

$$PSNR = 10 \lg \left[\frac{\sum_{i,j} f^2(i, j)}{\sum_{i,j} (f(i, j) - g(i, j))^2} \right]$$

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i,j} (f(i, j) - g(i, j))^2$$

其中: $f(i, j)$ 表示未加噪声的原始图像各像素的灰度值, $g(i, j)$ 表示处理后的输出图像各像素的灰度值, M, N 表示图像的宽和高。表1为PSNR和MSE的比较。

从图3和表1可看出:无论是从直观效果上还是从PSNR和MSE的大小比较上,本文算法都要优于另外两种算法。这是因为本文算法加强了噪声检测的条件,使得噪声点的判断更为准确,从而减少了细节的丢失。另外,通过算法分析和实验结果得知,随着模板的增大,本文算法滤波结果中细节丢失的速度明显低于标准中值滤波和EM中值滤波算法。如图3中,当模板为 7×7 时,采用本文提出的中值滤波得到的结果明显好于采用标准中值滤波得到的结果。另外,将本文中的表1与文献[15]中的表1进行比较,就会发现用相同的模板作用于噪声密度相同的Lena图像,基于斜率的自适应中值滤波算法优于基于灰色绝对关联度的图像中值滤波算法。

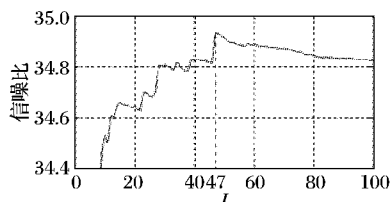


图4 图3(b)图像在 l 取不同值时信噪比的变化趋势

3 结语

本文提出一种基于斜率的自适应中值滤波算法,通过计算斜率 k_1, k_2 并比较它们的差值来判断噪声点是否为真正的噪声点,其间,利用以当前噪声点为中心的 $n \times n$ 模板内所有相邻像素灰度值的平均值自适应地选取阈值的大小。该算法简单易行,滤波效果较好。

对于同一幅含有噪声的图像使用中值滤波方法,去噪效果与模板大小和噪声密度有关,这从表1可以看出。噪声密度较小时,使用较小模板去噪;反之,噪声密度较大时,使用较大模板去噪。用本文算法分别进行处理,整体上随着噪声密

度的增大,去噪后图像的峰值信噪比逐渐降低。这是因为对高噪声密度图像而言,当前噪声点的 $n \times n$ 邻域中会存在多个极值点,而本文算法主要针对单个极值点的情况进行讨论。对较大模板的利用及高密度噪声图像去噪的情形,作者将应用斜率的思想做进一步的研究。

参考文献:

- [1] NASIMUDEEN A, NAIR M S, TATAVARTI R. Directional switching median filter using boundary discriminative noise detection by elimination [EB/OL]. [2010-10-25]. <http://www.springerlink.com/content/345311085vh74545/>.
- [2] CHEN T, MA K K, CHEN L H. Tri-state median filter for image denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(12): 1834-1838.
- [3] WANG JUNGHUA, LIN LIANDA. Improved median filter using minmax algorithm for image processing [J]. Electronics Letters, 1997, 33(16): 1362-1363.
- [4] SCHULTE S, NACHTEGAEL M. A fuzzy impulse noise detection and reduction method [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(5): 1153-1162.
- [5] DONG YIQIU, XU SHUFANG. A new directional weighted median filter for removal of random-valued impulse noise [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(3): 193-196.
- [6] 崔承宗, 马汉杰. 基于最小生成树的加权中值滤波算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(12): 209-211.
- [7] 张旭明, 徐滨士, 董世运. 用于图像处理的自适应中值滤波[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(2): 295-299.
- [8] 刘茗. 基于噪声检测的自适应中值滤波算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(2): 390-392.
- [9] SREE P S J, KUMAR P, SIDDAVATAM R, et al. Salt-and-pepper noise removal by adaptive median-based lifting filter using second-generation wavelets [C]// Signal, Image and Video Processing. Berlin: Springer-Verlag, 2011: 1-8.
- [10] 金良海, 熊才权, 李德华. 自适应型中心加权的自适应中值滤波器[J]. 华中科技大学学报, 2008, 36(8): 9-12.
- [11] 李敏. 图像的多图加权求和去噪[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(3): 633-634.
- [12] 杨宁, 张培林, 任国全. 一种自适应加权中值滤波方法的研究[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(12): 37-39.
- [13] PAN MEI - SEN, TANG JING-TIAN, YANG XIAO-LI. An adaptive median filter algorithm based on B-spline function[J]. International Journal of Automation and Computing, 2011, 8(1): 92-99.
- [14] 李艳玲, 黄春艳, 赵娟. 基于灰色关联度的图像自适应中值滤波算法[J]. 计算机仿真, 2010, 27(1): 238-240.
- [15] 杨芳芳, 张有会, 王志巍, 等. 基于灰色绝对关联度的图像中值滤波算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(12): 3357-3359.
- [16] 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.

表1 几种算法的PSNR和MSE的比较

噪声密度/%	模板尺寸	PSNR/dB			MSE		
		标准中值滤波	EM中值滤波	本文中值滤波	标准中值滤波	EM中值滤波	本文中值滤波
4	3×3	30.0644	33.4875	34.8892	65.5720	29.3580	21.2598
	5×5	26.9429	32.7477	33.5620	132.4908	34.8105	28.8590
	7×7	25.0430	32.2345	33.2448	205.2029	39.1773	31.0452
10	3×3	27.9015	30.8372	31.4956	106.2511	54.0453	46.4430
	5×5	25.6138	30.1382	30.6136	179.9277	63.4834	56.9006
	7×7	23.7925	29.0184	29.5016	273.6711	82.1566	73.5062
20	3×3	21.8822	23.7182	24.1699	424.8759	278.3923	250.8966
	5×5	22.9956	26.3705	26.6862	328.7901	151.1574	140.5592
	7×7	21.5653	25.3749	25.6120	457.0309	190.1013	180.0050
30	3×3	16.8319	18.4234	18.8940	1359.2000	942.1943	845.4295
	5×5	19.7698	22.4893	22.7227	691.0388	369.4438	350.1116
	7×7	19.4880	22.6483	22.8274	737.3604	356.1655	341.7724
40	3×3	12.7521	14.1748	14.6503	3477.5000	2506.1000	2246.2000
	5×5	14.1126	16.3910	16.5683	2542.2000	1504.5000	1444.3000
	7×7	15.0210	17.6103	17.7202	2062.5000	1136.2000	1107.8000
50	3×3	10.1437	11.3720	11.8312	6340.3000	4778.4000	4299.0000
	5×5	9.9735	12.0275	12.1686	6593.7000	4109.0000	3977.6000
	7×7	9.8109	12.1550	12.2270	6845.2000	3990.0000	3924.4000