

# 中子集型自适应中值滤波器

袁世强<sup>1)</sup> 谭永红<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(上海交通大学自动化系, 上海 200030) <sup>2)</sup>(桂林电子工业学院智能控制实验室, 桂林 541004)

**摘要** 消除脉冲噪声通常采用中值滤波算法。尽管有许多中值滤波方法做了很大改进,但是,在噪声密度较高的情况下,图像滤波的结果仍然不能令人满意,因此,提出了一种新型中值算法。首先对滤波窗口中的像素进行分类,然后确定其中多元素子集的中子集,并且根据多元素子集的个数来决定是进行滤波还是扩大滤波窗口。最后,在仿真中,将该算法分别和几种中值滤波算法在数值和视觉上进行比较,实验结果显示,该算法能够有效地降低脉冲噪声并且保留了原始图像的更多细节。

**关键词** 脉冲噪声 像素分类 中子集 中值滤波

**中图法分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)04-0608-05

## A Median-Subset-Type Adaptive Median Filter

YUAN Shi-qiang<sup>1)</sup>, TAN Yong-hong<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(Department of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

<sup>2)</sup>(Laboratory of Intelligent Control, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004)

**Abstract** The median filters have been generally adopted to reduce impulse noise. Although many existing median approaches have been greatly improved, the results of image filtering were not satisfactory at high noise density. Thus, in this paper, a novel median algorithm is proposed. First, all pixels of the filtering window are classified. Then the median subset of the multi-elements subsets is deduced. The number of the multi-elements subsets determines whether the image is filtered or whether the filtering window is extended. Finally, in simulations, the proposed algorithm is compared with several kinds of median filters in the numerical value and the vision, respectively. Experimental results show that the new filter can effectively reduce the impulse noise and preserve more details of original images.

**Keywords** impulse noise, pixels classification, median subset, median filter

## 1 引言

自从 Tukey<sup>[1]</sup> 提出中值滤波以来,它就被广泛应用在图像的降噪中。在中值滤波技术的发展过程中,首先提出的是 Standard median filter(SMF)<sup>[2]</sup>,但是在噪声密度比较高的情况下滤波图像会变得模糊,而且一些细节如图像中物体的边缘和细线容易丢失,为了克服这个缺点,各种滤波技术被引入,如: weighted median (WM)<sup>[3]</sup>、center weighted median (CWM)<sup>[4]</sup> 和模糊中值滤波技术<sup>[5]</sup>。在文献[6]中提出了拓扑中值滤波器(TMf),它可以在一定程度

上保留物体更多的边缘。鉴于脉冲噪声的特殊性,噪声像素和非噪声像素的数值差别很大,因此可以进行噪声检测,保留没有被侵蚀的像素,而用 SMF 来处理噪声像素。Sun 与 Neuvo<sup>[7]</sup> 提出了基于切换的中值滤波方法,但是这种算法使用了固定的噪声检测阈值,噪声检测的结果不能令人满意,因此一些改进的滤波算法被提了出来,如:基于同一性信息的中值滤波算法<sup>[8]</sup> 和两输出非线性滤波方法<sup>[9]</sup>。在文献[10]中提出了一种简单快速的检测过程,它可以较为正确地区分噪声像素和非噪声像素,但是,由于在高噪声的条件下,噪声检测器很容易出现识别错误,可能会过多地把噪声点视为未受侵蚀的像素,

收稿日期:2006-03-17; 改回日期:2006-04-11

第一作者简介:袁世强(1974 ~ ),男,上海交通大学控制理论与控制工程博士研究生。主要研究方向为图像滤波、信息融合。E-mail: shiqiang\_yuan@163.com

因此滤波效果也并不十分理想。

为了更好地对图像中的脉冲噪声进行处理,提出了一种新的滤波算法,这种滤波器是基于一种像素分类的自适应中值滤波方法。首先,把滤波窗口中的所有像素进行分类,如果这些像素类中多元素子集的个数少于 3 个,就扩展窗口继续分类,直到符合要求,然后根据“中子集”进行滤波。

## 2 像素分类

设  $Q_{M \times M} = \{p_{1,1}, p_{1,2}, \dots, p_{1,M}, \dots, p_{M,1}, \dots, p_{M,M}\}$  表示一个  $M \times M$  窗口的所有像素的集合。根据下面的规则这些像素会被分为不同的子集,首先,  $Q_{M \times M}$  中的元素从小到大排列,假定  $q_1, q_2, \dots, q_{M \times M}$  是  $Q_{M \times M}$  的一个升序。根据下面的像素分类规则,假设  $q_1, \dots, q_i, q_{i+1}$  已经被分好类。设  $\Psi_1, \dots, \Psi_{i-1}, \Psi_i$  是  $Q_{M \times M}$  中的子集,并且由  $q_1, \dots, q_i, q_{i+1}$  组成,其中  $\Psi_i = \{q_j, q_{j+1}, \dots, q_i, q_{i+1}\} (1 \leq i \text{ and } 1 \leq j \leq i+1)$ 。设  $\Psi_{i+1}$  是个空集并且  $q_{i+2}, q_{i+3}, \dots, q_{M \times M}$  还没有被分类。 $q_{i+2}$  分类规则如下:

(1) 如果  $q_{i+2} - q_{i+1} \leq 2(q_{i+3} - q_{i+2})$ , 则  $q_{i+2} \in \Psi_i$ , 否则  $q_{i+2} \in \Psi_{i+1}$ 。

(2) 如果  $q_{i+2} - q_{i+1} < \frac{1}{2}(q_{i+3} - q_{i+2})$ , 则  $q_{i+3} \in \Psi_{i+1}$ 。

(3) 如果  $\Psi_{i+1} = \{q_{i+2}\}$  or  $\{q_{i+3}\}$ , 则初始化一个新的空集  $\Psi_{i+2}$  并且  $\Psi_i$  不再参与像素分类。

注意:根据投票表决中的三分之二绝对多数原则,在  $q_{i+1}$  和  $q_{i+3}$  之间用比例数字 2 和  $\frac{1}{2}$  作为不等式的标度来衡量  $q_{i+2}$  更靠近哪一个子集。根据这 3 条规则,  $q_{i+2}, q_{i+3}, \dots, q_{M \times M}$  依次被分类。最后  $Q_{M \times M}$  就被分成若干子集:  $Q_{M \times M} = \bigcup_{i=1}^L \Psi_i$ , 其中  $L$  表示子集的数量。非噪声像素之间的差别较小,而受脉冲噪声侵蚀的像素和非噪声像素的值却明显不同,这表明非噪声像素和噪声像素是明显不同的两种像素,因此,一般情况下一个子集通常只能包含一种像素:噪声的或者是非噪声的。

## 3 滤波过程

本文所提出的中值滤波是一个自适应的滤波过程,它是根据每个滤波窗口中像素类别的数量来确

定中值的。图像处理过程如图 1 所示,称这种滤波器为“median-subset-type adaptive median filter”(MSAM)。

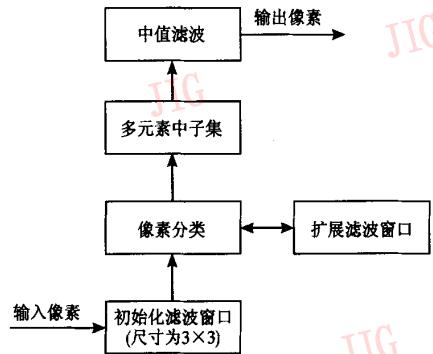


图 1 MSAM 的图像处理框架

Fig. 1 Frame of MSAM in image filtering

其滤波过程如下:开始滤波窗口的尺寸为  $3 \times 3$ , 如果滤波窗口中的多元素集合的数量至少是 3 个的话,就进行滤波,然后滤波窗口移动到下一个像素,并且采用同样的方法进行处理。如果滤波窗口中的多元素子集的数量低于 3 个,那么窗口按照  $5 \times 5$ 、 $7 \times 7$ 、 $9 \times 9$  等顺序膨胀,并且重复上述过程。注意:如果滤波窗口大于  $11 \times 11$ , 则停止扩大窗口尺寸,采用像素最多的子集的中值作为滤波窗口的中心像素的估计值。当滤波窗口的多元素子集的数量大于或等于 3 个时,其滤波算法如下所示:对于某一个  $M \times M$  的滤波窗口 ( $3 \leq M \leq 11$ ), 根据像素分类的方法,设  $Q_{M \times M} = \bigcup_{i=1}^L \Psi_i$ , 其中  $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_L$  被分成单元素子集和多元素子集。设  $\tilde{\Psi} = \{\tilde{\Psi}_l | 1 \leq l \leq N\}$ , 其中  $\tilde{\Psi}_l$  是一个多元素子集,  $N$  表示多元素子集的个数。在滤波过程中,须找出  $\tilde{\Psi}$  的“中值”, 设  $\tilde{\Psi}_{l_1}$  和  $\tilde{\Psi}_{l_2}$  是  $\tilde{\Psi}$  中的任意两个元素,  $\tilde{\Psi}_{l_1} = \{q_{l_1,1}, q_{l_1,2}, \dots, q_{l_1,k}\}$ ,  $\tilde{\Psi}_{l_2} = \{q_{l_2,1}, q_{l_2,2}, \dots, q_{l_2,m}\}$ , 其中  $q_{l_1,1} \leq q_{l_1,2} \leq \dots \leq q_{l_1,k}$  且  $q_{l_2,1} \leq q_{l_2,2} \leq \dots \leq q_{l_2,m}$ 。如果  $q_{l_1,k} < q_{l_2,1}$  (即  $l_1 < l_2$ ), 那么设  $\tilde{\Psi}_{l_1} < \tilde{\Psi}_{l_2}$ , 其中算子  $<$  表示  $\tilde{\Psi}_{l_1}$  比  $\tilde{\Psi}_{l_2}$  小。因此,  $\tilde{\Psi}$  中的元素就可以按升序排列, 即  $\tilde{\Psi}_1 < \tilde{\Psi}_2 < \dots < \tilde{\Psi}_N$ 。按照这个序列, 就可以搜索到中子集  $\tilde{\Psi}_{med}$ , 这里分为两种情形:

如果  $N$  是奇数, 则  $\tilde{\Psi}_{med} = \tilde{\Psi}_{(N+1)/2}$ 。

如果  $N$  是偶数, 则  $\tilde{\Psi}_{med} = \tilde{\Psi}_{N/2} \cup \tilde{\Psi}_{N/2+1}$ 。

然后,中子集  $\tilde{\Psi}_{med}$  中所有元素的中值替代所需处理的像素。这样就可以应用中值滤波产生滤波图像。

### 4 实验

在实验测试中,采用两幅经典图像:girl1 和 girl2。这些图像的灰度是 256 级,尺寸是 512 × 512。仿真软件是 MATLAB6.5.1。girl1 中的噪声密度是  $p = 60\%$ , girl2 被密度为  $p = 80\%$  的噪声所侵蚀。

为了说明滤波效果,在对比实验之前首先对本文所提出的滤波器进行简单的测试。图 2 显示的是在固定噪声密度条件下 (girl1 的噪声是  $p = 60\%$ , girl2 的噪声为  $p = 80\%$ ),图像滤波的重复次数对图像质量的影响,这里用 mean square error(MSE)来衡量图像的品质。从图中可以看出,在第 2 次滤波之后图像就可以达到最佳品质。

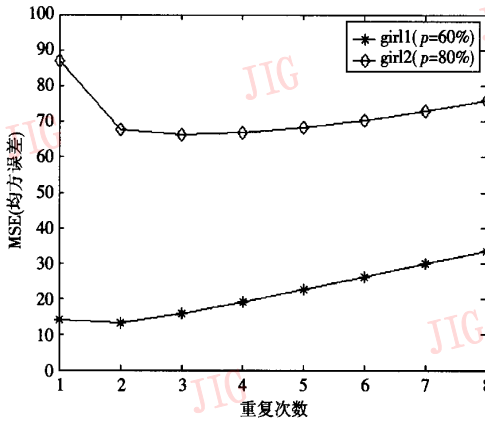


图 2 反复滤波对图像质量的影响  
Fig.2 Effect of iterations of image filtering on qualities of images

图 3 显示了对于这两幅图像在不同的噪声情况下,MSAM 的滤波效果。从图中可以看出即使噪声强度比较高,两幅图像的 MSE 值仍不是很大,这主要是得益于本文所提出的中子集,以及自适应中值滤波器对噪声图像的处理,在滤波的过程中较小的滤波窗口就可以获得足够的滤波信息。

在对比试验中,SMF、拓扑中值滤波器 (TMF)<sup>[6]</sup> 和一种改进切换的中值滤波器 (ISM)<sup>[10]</sup> 作为参照算法。在图 4 和 5 中,图 (c) 表示由 SMF 滤波的图像,图 (d) 表示由 TMF 处理过的图像,图 (e) 是由 ISM 处理过的图像,图 (f) 采用的是 MSAM 滤波。

除了在视觉上的比较外,峰值信噪比 (PSNR) 和均绝对差 (MAE) 作为数值性能指标,其中  $x_{i,j}$  和  $y_{i,j}$  分别表示原始图像和滤波图像的像素值 (其中

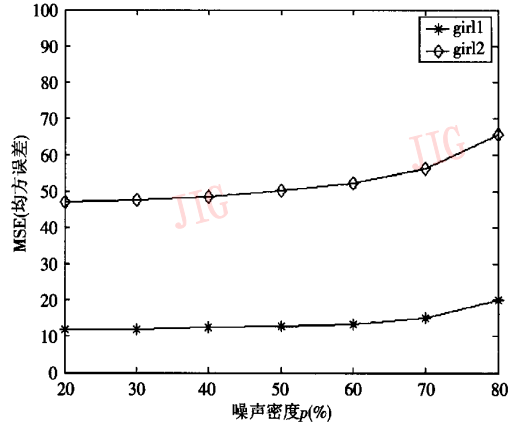
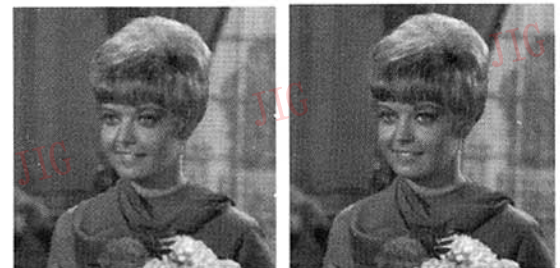
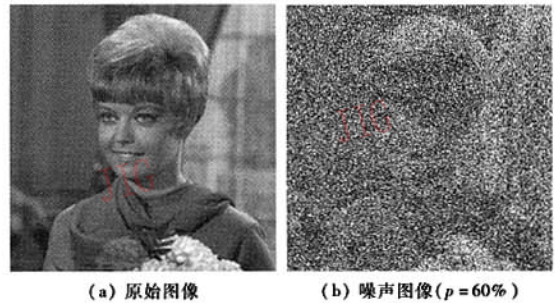


图 3 在不同噪声密度下 MSAM 滤波图像的 MSE 曲线  
Fig.3 MSE curves of images filtered by MSAM at different noise densities



(a) 原始图像 (b) 噪声图像 ( $p = 60\%$ )  
(c) 由 SMF 滤波的图像 (d) 由 TMF 处理的图像  
(e) 由 ISM 处理的图像 (f) 由 MSAM 滤波的图像

图 4 对 girl1 图像滤波结果  
Fig.4 Results of "girl1" filtered



图 5 对 girl2 图像滤波结果  
Fig. 5 Results of "girl2" filtered

$i = 1, 2, \dots, 512$  并且  $j = 1, 2, \dots, 512$  )。这些指标的方程如下

$$MAE = \frac{1}{512^2} \sum_{i=1}^{512} \sum_{j=1}^{512} |x_{i,j} - y_{i,j}| \quad (1)$$

$$\begin{cases} MSE = \frac{1}{512^2} \sum_{i=1}^{512} \sum_{j=1}^{512} (x_{i,j} - y_{i,j})^2 \\ PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right) \end{cases} \quad (2)$$

在数值比较的过程中为了公平地评价图像质量,图像边缘要忽略掉。指标如表 1 所示。

girl1 图像滤波的结果如 4 图所示。对于 SMF 来说,采用被  $5 \times 5$  SMF 滤波的图像。从这些图像的整体来看由 MSAM 处理的图像最为清晰,特别是女孩的头发和眼睛。在数值上,由 MSAM 处理过的图像的 PSNR 和 MAE 也明显好于其他 3 种滤波器的效果。实验结果说明新滤波器是较为出色的。

girl2 由于脉冲噪声的密度较高,所以对 SMF 来说采用被  $9 \times 9$  SMF 滤波的图像。在图 5 中由 SMF、TMF 和 ISM 滤波的图像质量是比较差的,而由 MSAM 处理过的图像却是比较理想的。从数值上看,由 MSAM 处理过的图像的 PSNR 和 MAE 明显地优于其他 3 种滤波器。实验结果显示 MSAM 善于处理高噪声图像。

根据上述仿真结果,在噪声密度较高的情况下 MSAM 的性能是令人满意的,滤波效果得到了比较明显的提升,图像中更多细节得以保留。由于这种滤波器应用的是中值滤波,所以滤波速度也很快。

表 1 4 种滤波器的性能指标

Tab. 1 The performance indices of four filters

			SMF			TMF	ISM	MSAM	
			$5 \times 5$	$7 \times 7$	$9 \times 9$				
girl1	噪声图像	PSNR	7.01	31.44	31.11	30.05	30.83	31.91	36.92
	噪声密度 $p = 60\%$	MAE	76.07	3.51	3.69	4.11	3.69	3.18	2.03
girl2	噪声图像	PSNR	6.43	16.62	22.01	24.32	22.08	24.48	29.92
	噪声密度 $p = 80\%$	MAE	102.04	16.47	10.10	9.20	11.79	9.17	5.69

## 5 结 论

在脉冲噪声比较高或者噪声分布不是很均匀的情况下,噪声图像上容易形成斑点,这说明滤波窗口

中的某些像素类占有比较明显的优势,为了在一定程度上抑制这种情况的出现,提出了一种新的中值滤波算法,这种算法是基于对滤波窗口中的像素进行分类,然后判断其中多元素子集的数量是否达到要求,如果达到要求就推导出滤波窗口的多元素中

子集,然后用中子集的中值来替换所处理的像素。在仿真中,几个经典的中值滤波器作为参照方法和本文滤波算法进行了比较,实验结果显示新的算法在所有的测试项目中都优于其他几种算法,这说明本文滤波算法是有效的。

### 参考文献 (References)

- 1 Tukey John Wilder. Nonlinear ( nonsuperposable ) methods for smoothing data [ A ]. In: Congress Records, EASCON' 74—IEEE Electronics and Aerospace Systems Convention [ C ], Washington, DC, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1974: 673 ~ 681.
- 2 Nodes Thomas A, Gallagher Neal C Jr. Median filters: some modifications and their properties [ J ]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1982, 30 ( 5 ): 739 ~ 746.
- 3 Brownrigg D R K. The weighted median filter [ J ]. Communications of Association for Computing Machinery, 1984, 27 ( 8 ): 807 ~ 818.
- 4 Ko Sung-Jea, Lee Yong Hoon. Center weighted median filters and their applications to image enhancement [ J ]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 1991, 38 ( 9 ): 984 ~ 993.
- 5 Agaian Sos, Choi David S, Noonan Joseph. Image compression using fuzzy subband decomposition [ A ]. In: Yeneds John, FUZZ-IEEE 2000—9th IEEE International Conference on Fuzzy Systems [ C ], San Antonio, TX, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2000: 894 ~ 899.
- 6 Senel Hakan Guray, Peters II Richard Alan, Dawant Benoit. Topological median filters [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11 ( 2 ): 89 ~ 104.
- 7 Sun Tong, Neuvo Yrjo. Detail-preserving median based filters in image processing [ J ]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15 ( 4 ): 341 ~ 347.
- 8 Pok Gouchol, Liu Jyh-Charn, Nair Attoor Sanju. Selective removal of impulse noise based on homogeneity level information [ J ]. IEEE Transactions Image Processing, 2003, 12 ( 1 ): 85 ~ 92.
- 9 Russo Fabrizio. Impulse noise cancellation in image data using a two-output nonlinear filter [ J ]. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 2004, 36 ( 3 ~ 4 ): 205 ~ 213.
- 10 Zhang Shu-qun, Karim Mohammad A. A new impulse detector for switching median filters [ J ]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9 ( 11 ): 360 ~ 363.