

# 采用脉冲宽度检测的自适应滤波算法

林其伟

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

**摘要:**在对图像中干扰噪声模型分析的基础上,提出基于脉冲宽度和噪声模型检测的自适应噪声滤波算法,通过判定干扰噪声的脉冲宽度及分布密度来确定滤波器窗口的大小及类型,从而有效去除复合型干扰噪声.实验结果表明所提出的算法操作简单,对实际图像的处理效果优于一般常用噪声平滑滤波器的输出结果.

**关键词:**噪声模型; 噪声密度; 自适应; 滤波

**中图分类号:**TP301.6, TN911.73 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2008)06-0548-04

## An adaptive filtering algorithm with impulse width testing

LIN Qi-wei

(School of Information Science and Technology, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** An adaptive noise filtering algorithm was developed that uses impulse width and noise model detection. With this method, we determine the types and sizes of the windows of the noise filter by the impulse widths and their distribution densities, so that composite noise can be effectively removed from images and the detail of the image can be preserved. The algorithm has been tested with several images. Experimental results indicate that the proposed algorithm is easy to use and the output image quality of the proposed algorithm is superior to that of commonly used noise filters.

**Keywords:** noise model; noise density; adaptability; filtering

数字图像中的去噪是图像处理时最常见的问题,也是十分棘手的问题.对图像中噪声清除的效果好坏将直接影响后续的处理,因而在进行相应的图像处理或分析之前通常要对图像进行去噪预处理.对实际图像而言,由于传输或编、解码过程经常引入脉冲型的干扰噪声并伴随有非脉冲型的干扰噪声(如高斯白噪声等),对这两种不同类型的噪声所产生的复合噪声用单一的滤波器难以同时检出并加以消除<sup>[1]</sup>.对此,研究人员提出过多种应对措施,如文献[2]提出的自适应保细节中值滤波器,文献[3]提出的脉冲噪声去除的灰度形态学模型, Lin 和 Wilson<sup>[4]</sup>提出了基于噪声宽度检测的可变长度中值滤波器,该方案先滤除正、负向脉冲干扰噪声,然后再

对非脉冲型噪声进行处理.这些算法以数学理论为依托,同时考虑像素领域的统计特性和人眼的视觉特性以及最佳滤波准则,在去除图像中干扰噪声的基础上较好地保护了图像的边缘.上述多数算法在特定的应用场合可达到较好的效果,但算法比较费时.文献[5]提出了一种改进的自适应中值滤波算法,该算法对不同的图像区域,相应地采用不同的算子和权值,使得算法自适应于图像内容,从而在信噪比性能方面有所改善.本文在对图像中干扰噪声模型进行分析的基础上,对 Lin 等的滤波方案进行了改进和简化,提出了基于脉冲宽度和噪声模型检测的自适应滤波算法,在去除图像中的较大密度脉冲干扰和非脉冲型干扰噪声方面有较好的效果,同时可较好地保持图像的细节.实验结果表明所提出的算法操作简单,对实际图像的处理效果优于一般常用噪声滤波器的输出结果.

收稿日期:2007-10-15.

基金项目:福建省自然科学基金计划资助项目(A0610022);国务院  
侨办科研基金资助项目(06QZR03).

通信作者:林其伟. E-mail: qwlin@hqu.edu.cn.

## 1 噪声分析

设像素  $x(m, n)$  为原图像在  $(m, n)$  处的取值, 它受噪声干扰的概率为  $P$ .

当像素受噪声干扰时记为  $x'(m, n)$ , 若被脉冲型噪声干扰时,  $x'(m, n)$  的取值变为  $P_{\min}$  (受负向脉冲干扰时) 或  $P_{\max}$  (被正向脉冲干扰时).

$y(m, n)$  是受干扰的图像, 则

$$y(m, n) = \begin{cases} x'(m, n), & \text{概率为 } P; \\ x(m, n), & \text{概率为 } \bar{P}. \end{cases} \quad (1)$$

已知对均值为零, 方差为  $\sigma_i^2$  的正态分布噪声而言, 当采用中值滤波器时输出的噪声方差为

$$\sigma_{\text{med}}^2 = \frac{1}{4Wf^2(\bar{m})} \approx \frac{\sigma_i^2}{W + \frac{\pi}{2} - 1} \times \frac{\pi}{2}. \quad (2)$$

式中:  $\sigma_i^2$  为输入噪声功率,  $W$  为中值滤波器的窗口,  $\bar{m}$  为输入噪声均值,  $f(\bar{m})$  为输入噪声密度函数.

若采用均值滤波器时, 输出噪声方差  $\sigma_o^2$  为

$$\sigma_o^2 = \frac{1}{m} \sigma_i^2. \quad (3)$$

从式(2)、(3)可知, 中值滤波器的输出噪声与输入噪声的密度分布状况有关, 而均值滤波器的输出噪声与输入噪声的密度分布状况无关. 中值滤波器对脉冲干扰的消除效果比较理想, 而均值滤波器则对高斯白噪声的消除有较好的效果. 因此, 对于随机噪声的抑制来说, 中值滤波器的性能不如均值平滑滤波器; 而对独立的脉冲性干扰噪声, 特别是宽度小于  $W/2$  的相对较远的脉冲干扰, 中值滤波器的噪声滤波效果较好. 在对图像中的噪声进行抑制时, 需要针对噪声的分布特性来选择合适的滤波器类型.

## 2 采用噪声脉冲宽度检测的自适应滤波算法

若希望在去除脉冲干扰的同时对非脉冲性的干扰噪声也有较好的抑制效果, 而对原图像的有用信息的影响同时又为最小, 可以通过对于干扰噪声脉冲宽度和类型的检测来设计滤波算法. 为此, 本文在 Lin 提出的自适应中值滤波器算法的基础上进行了改进和简化.

为了在检出宽度为单个像素的脉冲干扰的同时, 还能抑制具有一定宽度的脉冲干扰及高斯白噪声, 首先检测是否存在脉冲型的干扰噪声, 若不存在脉冲型的干扰噪声则直接进行平滑滤波; 若存在脉

冲型的干扰噪声, 则检测干扰脉冲的宽度. 根据检测的结果决定所用的滤波器窗口的宽度, 以达到既消除脉冲型干扰又减轻非脉冲型干扰影响, 同时也较好地保持图像细节的目的. 由上述思路得到的算法步骤如下:

1) 干扰噪声类型的检测. 对图像中是否存在非脉冲型干扰噪声的检测, 采用区域方差比较法来实现. 为此将图像分割成几个子图像, 计算各子图像的方差, 是否满足

$$\begin{cases} \sigma_i^2 > T_{h1}, i = (1, \dots, N); \\ \sigma_i^2 - \sigma_j^2 > T_{h2}, i, j = 1, \dots, N, i \neq j. \end{cases} \quad (4)$$

这里:  $\sigma_i^2 (i = 1, \dots, N)$  为各子图像计算所得方差,  $T_{h1}, T_{h2}$  为由对图像的知识所确定的两个阈值. 一般认为: 若  $\sigma_i^2$  比较大, 则图像变化剧烈, 存在脉冲型噪声干扰的可能性就大; 反之, 若  $\sigma_i^2$  小于某一阈值, 则图像变化不是很剧烈, 存在脉冲型噪声干扰的可能性就小. 而  $T_{h2}$  用于衡量相邻图像子块变化的剧烈程度是否一致, 当其变化小于某一阈值时, 则认为图像子块之间变化的剧烈程度相近, 此时对应的图像本身细节较多, 而不是由脉冲型干扰噪声所引起.

若式(4)的条件满足, 则认为所处理的图像中存在脉冲型干扰噪声, 此时进入步骤2); 若式(4)的条件不满足, 则认为所处理的图像不存在脉冲型干扰噪声, 则直接转步骤3), 使用均值平滑算法处理来降低图像中非脉冲型噪声干扰的影响.

2) 进行脉冲宽度的检测. 定义检测指标  $h_{-1}, h_i, v_{-1}, v_i$  为

$$\begin{cases} h_i = x_{n, m+i-1} - x_{n, m+i}, \\ h_{-1} = x_{n, m} - x_{n, m-1}, \\ v_i = x_{n+i-1, m} - x_{n+i, m}, \\ v_{-1} = x_{n, m} - x_{n-1, m}. \end{cases} \quad (5)$$

这里,  $i = 1, 2, \dots, x_{n, m-1}$  和  $x_{n-1, m}$  分别为滤波器窗口在位置  $(n, m-1)$  和  $(n-1, m)$  处的灰度值.

下面以水平方向为例, 说明对脉冲宽度进行检测的操作.

利用  $h_{-1}$  和  $h_i$ , 可检出脉冲宽度为“1”的噪声.

a) 如果  $h_{-1} > T_1$  且  $h_i > T_1$ , 或  $h_{-1} < -T_1$  且  $h_i < -T_1$ . 则说明在位置  $(n, m-1)$  处的像素值远大于  $(n-1, m-1)$  及  $(n+1, m-1)$  的像素值, 所以认为在位置  $(n, m-1)$  处存在一个宽度为1的脉冲干扰, 这时用宽度为3的中值滤波器可将其滤除, 程序转向对下一像素 (即  $(n+1, m-1)$  处) 的检测. 上述  $T_1$  为检测阈值.

b) 如果  $h_2 > T_2$  且  $h_{-1} > T_2$ , 或  $h_2 < -T_2$  且  $h_{-1} < -T_2$ , 则认为在位置  $(n, m-1)$  及  $(n+1, m-1)$  处存在有一个宽度为 2 的脉冲干扰, 这时可用宽度为 5 的中值滤波器将其滤除, 程序转向对下一像素 (即  $(n+2, m-1)$  处) 的检测。

c) 同理, 如果  $h_3 > T_3$  且  $h_{-1} > T_3$ , 或  $h_3 < -T_3$  且  $h_{-1} < -T_3$ , 则认为在位置  $(n, m-1)$ ,  $(n+1, m-1)$  和  $(n+2, m-1)$  处存在有一个宽度为 3 的脉冲干扰, 这时可采用宽度为 7 的中值滤波器, 程序转向对下一像素 ( $(n+3, m-1)$  处) 的检测。这里  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  的取值根据实际图像的不同来进行调整, 如二值图像可取  $T_1 = T_2 = T_3 = 256$ , 而其他的灰度图像可取  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  为小于 256 的数值, 且  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  一般取不同的值。

对于更宽的脉冲干扰, 可用同样的方法检出。

若没检出脉冲干扰, 则认为在  $(n, m-1)$  处不存在脉冲型的噪声, 此时程序直接转向对下一像素的检测, 上述过程循环至所有像素点都处理完为止。

3) 使用均值平滑算法处理图像中非脉冲型噪声干扰的影响。

### 3 实验结果及分析

对新的自适应滤波算法进行了测试, 测试图像分别为人工制作的二值图像、灰度图像和国际通用标准测试图像, 测试图像的大小为  $256 \times 256$ 。图 1 为原始无噪声图像; 图 2 为加噪声图像 (脉冲型噪声 (salt & pepper) 密度为 10%; 高斯噪声 (Gaussian) 均值为 0, 方差为 10); 图 3 为用标准  $3 \times 3$  中值滤波器对加噪声图像进行处理的结果, 由于脉冲型噪声密度较大, 在结果图中存在明显的未去除噪声; 图 4 为用标准  $3 \times 3$  均值滤波器对加噪声图像进行处理的结果, 由结果图可看到对 Gaussian 噪声有较好的抑制, 但对于脉冲型噪声则效果很差; 图 5 为本文算法进行处理的结果, 从直观观察结果显见算法在去除噪声与保持图像细节之间获得了很好的平衡。从滤波器输出结果图的直观观察结果表明: 基于脉冲宽度检测的自适应滤波算法在同时滤除脉冲型噪声和高斯型噪声方面, 性能均优于标准的中值滤波器和均值滤波器, 对复合型噪声有较好的抑制作用。

表 1 为各种算法处理结果与原始输入图像的相似性的比较, 这里利用归一化相关系数 (normalized correlation coefficient, NC) 来评判滤波器处理结果与原始图像的相似程度。NC 值的定义如下:

$$R_{NC} = \frac{\sum_{i,j} x_{out}(i,j) \times x_{original}(i,j)}{\sum_{i,j} x_{original}(i,j) \times x_{original}(i,j)} \quad (6)$$

其中:  $x_{original}$  为原始无噪声图像,  $x_{out}$  为滤波器输出图像。

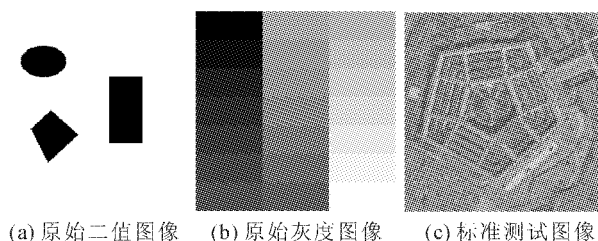


图 1 原始无噪声图像

Fig. 1 Original images

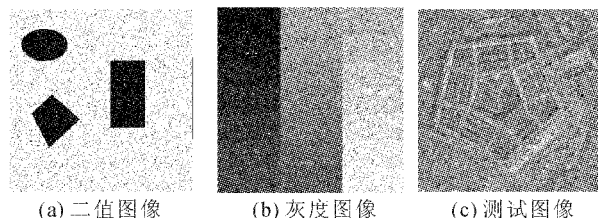


图 2 加噪声图像 (salt & pepper, 10%; gaussian, 0, 10)

Fig. 2 Noise images (salt & pepper, 10%; gaussian, 0, 10)

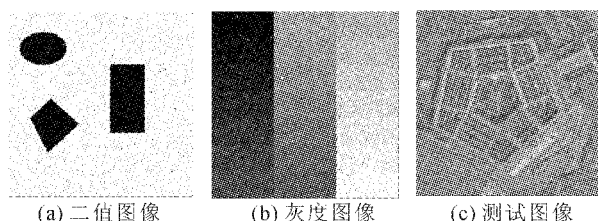


图 3 用  $3 \times 3$  中值滤波器对加噪声图像进行处理的结果

Fig. 3 Images after median filtering ( $3 \times 3$ )

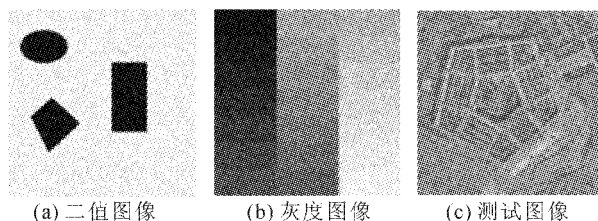


图 4 用  $3 \times 3$  均值滤波器对加噪声图像进行处理的结果

Fig. 4 Images after averaging filtering ( $3 \times 3$ )

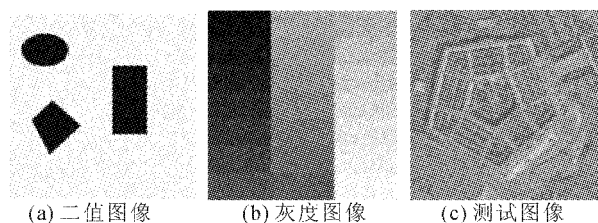


图 5 本文算法对加噪声图像进行处理的结果

Fig. 5 Images of proposed algorithm

表 1 滤波器处理结果与原图像相似性的比较(NC 值)

Table 1 The normalized comparability between the original image and filtering image(NC)

图像处理方法	二值图像	灰度图像	测试图像
加噪声	0.983 4	0.964 4	0.964 9
3×3 中值滤波	0.996 0	0.991 8	0.989 2
3×3 均值滤波	0.998 3	0.996 5	0.994 5
本文算法	0.998 7	0.998 1	0.996 2

从表 1 的定量测试结果数据可以看到本文算法对二值图像或是灰度图像、自然图像或是人造图像在滤波处理结果与原图像相似性比较方面也都显示出其优势,特别对自然图像的处理效果最为明显.由于进行了噪声类型的判断,可充分利用中值滤波器和均值滤波器的优势,在各自的特长上发挥其作用.采用了噪声脉冲宽度的检测,可以较好地抑制噪声密度较大的脉冲干扰,而同时达到较好地保持原图像细节的目的.

表 2 为加入密度为 10% ( $D=10\%$ ) 的椒盐噪声和均方差为 10 ( $\sigma=10$ ) 的高斯噪声后,本文算法与改进中值滤波<sup>[5]</sup>处理结果的比较,采用信噪比改善因子  $S$  作为客观评判标准.信噪比改善因子  $S$  定义如下<sup>[5]</sup>:

$$S = 10 \cdot \lg \frac{\sum_{i,j} (x_{out}(i,j) - x_{original}(i,j))^2}{\sum_{i,j} (x_{in}(i,j) - x_{original}(i,j))^2}. \quad (7)$$

其中: $x_{original}$  为原始无噪图像, $x_{out}$  为滤波器输出图像, $x_{in}$  为滤波器输入图像.

表 2 对 Lena 图滤波效果的比较

Table 2 The filtering effect of Lena

方法	$S/\text{dB}$
中值滤波	-4.262
改进中值滤波 <sup>[5]</sup>	-6.018
本文算法	-6.211

从表 2 可以看出,本文算法在信噪比的改善方面具有一定的优势.

表 3 为运行速度的比较,运行环境为 Pentium 4.3GHz 主频,1GB 内存,MATLAB7.0.文献[4]的运行时间为本机模拟的结果,以具备可比性.

表 3 运行速度的比较

Table 3 The operating speed comparison

方法	运行时间/ms
Lin 算法 <sup>[4]</sup>	817.2
本文算法	612.4

由表 3 可见,本文算法在运行速度方面也具有一定的优势.

4 结束语

本文算法综合利用中值滤波器和均值平滑滤波的优点,在滤除较宽脉冲噪声和白噪声方面比标准的中值滤波器和改进中值滤波器优越,在相应的环境下可得到较好的滤波效果.在空间域中进行处理,比较 Lin 等人提出的算法更简单,更有利于实际应用.

参考文献:

[1] PITAS I, VENETSANOPOULOS A N. Nonlinear mean filters in image processing[J]. IEEE Trans Acoustics, Speech and Signal Processing, 1986, 34(3): 573-584.

[2] 朱菊华,杨 新,李 俊. 一种改进的自适应保细节中值滤波算法[J]. 计算机工程与应用,2001,37(3):93-95. ZHU Juhua, YANG Xin, LI Jun. The improved adaptive minutiae preserving median filter [J]. Computer Engineering and Applications, 2001, 37(13): 93-95.

[3] 孙忠贵,王 玲. 一个关于脉冲噪声去除的灰度形态学模型[J]. 计算机应用与软件,2006,23(6): 31-32. SUN Zhonggui, WANG Ling. A new gray-scale morphological model for eliminating pulse noises of images[J]. Computer Applications and Software, 2006, 23(6): 31-32.

[4] LIN H M, WILSON A N. Median filters with adaptive length [J]. IEEE Trans Circuits System, 1988, 35(6): 593-599.

[5] 张 恒,雷志辉,丁晓华. 一种改进的中值滤波算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(4): 408-411. ZHANG Heng, LEI Zhihui, DING Xiaohua. An improved method of median filter[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(4): 408-411.

作者简介:



林其伟,男,1957 生,副教授. 主要研究方向为信号与信息处理、智能仪器仪表、智能信息处理、计算机通信与网络安全等. 发表学术论文 30 余篇.