

# 改进的自适应中值滤波算法<sup>①</sup>

黄文笔<sup>1</sup>, 战荫伟<sup>2</sup>, 陈家益<sup>3</sup>, 徐秋燕<sup>4</sup>

<sup>1</sup>(广东医科大学 教育技术与信息中心, 东莞 523808)

<sup>2</sup>(广东工业大学 计算机学院, 广州 510006)

<sup>3</sup>(广东医科大学 信息工程学院, 湛江 524023)

<sup>4</sup>(湛江中心人民医院 外科 ICU, 湛江 524045)

通讯作者: 陈家益, E-mail: [beyond38@163.com](mailto:beyond38@163.com)

**摘要:** 自适应中值滤波算法能有效地滤除图像的脉冲噪声, 但是, 随着噪声密度的增大, 算法的滤波性能递减. 当前对中值滤波算法进行改进的算法, 也存在着相应的局限性. 针对中值滤波算法的局限性, 提出了改进的自适应中值滤波算法. 算法根据滤波窗口的灰度极值进行噪声检测. 对噪声点, 用滤波窗口的灰度中值代替. 如果中值为噪声点, 则自适应地增大滤波窗口以取新的中值. 如果窗口增大到允许的最大尺寸时, 中值依然为噪声点, 则取滤波窗口中除灰度极值外的其他像素的灰度均值. 对标准图像和医学图像进行仿真实验, 实验结果和数据证明, 随着噪声密度的增大, 标准的自适应中值滤波算法的滤波性能递减; 改进的自适应中值滤波算法的滤波性能依然良好, 在有效滤除噪声的同时, 很好地保持图像的边缘和细节部分.

**关键词:** 噪声检测; 滤波窗口; 灰度极值; 中值滤波算法

引用格式: 黄文笔, 战荫伟, 陈家益, 徐秋燕. 改进的自适应中值滤波算法. 计算机系统应用, 2018, 27(10): 183-188. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6484.html>

## Improved Adaptive Median Filtering Algorithm

HUANG Wen-Bi<sup>1</sup>, ZHAN Yin-Wei<sup>2</sup>, CHEN Jia-Yi<sup>3</sup>, XU Qiu-Yan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>(Center of Educational Technology and Information, Guangdong Medical University, Dongguan 523808, China)

<sup>2</sup>(School of Computer Science and Technology, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

<sup>3</sup>(School of Information Engineering, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China)

<sup>4</sup>(Surgical ICU, Central People's Hospital of Zhanjiang, Zhanjiang 524045, China)

**Abstract:** The adaptive median filtering algorithm can effectively filter the impulse noise of image, however, with the noise density increasing, its filtering performance decreases progressively. For the improved median filtering algorithms of current, there are also relevant limitations. Against the limitations of the median filtering algorithm, an improved adaptive median filtering algorithm is proposed. It does noise detection based on the gray extremum of the filtering window. And it replaces the noise point with the gray median of the filtering window. If the gray median is noise point, it increases adaptively the filtering window to take a new gray median. If the filtering window has increased to the maximum size of allowed, and the gray median is still noise point, it takes the gray mean of the pixels except the gray extremum in the filtering window. Simulation experiment has been carried out for standard image and medical image, the results and datum of the filtering experiment demonstrate that, with the noise density increasing, the filtering performance

① 基金项目: 国家自然科学基金 (61170320, 11347150); 广东省自然科学基金 (2015A030310178, 2014A030310239); 广州市科技计划项目 (201604016034); 广东省医学科研基金 (B2018190); 湛江市科技攻关计划项目 (2017B01142); 广东医科大学科研基金 (M2016046)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61170320, 11347150); Natural Science Foundation of Guangdong Province (2015A030310178, 2014A030310239); Science and Technology Project of Guangzhou (201604016034); Medical Scientific Research Foundation of Guangdong Province (B2018190); Science and Technology Project of Zhanjiang (2017B01142); Technology Research Foundation of Guangdong Medical University (M2016046)

收稿时间: 2017-12-22; 修改时间: 2018-01-11; 采用时间: 2018-01-16; csa 在线出版时间: 2018-09-28

of the standard adaptive median filtering algorithm decreases progressively; and the filtering performance of improved adaptive median filtering algorithm is still good, it maintains well the edges and details of image while filtering effectively the noise.

**Key words:** noise detection; filtering window; gray extremum; median filtering algorithm

图像在成像、数字化和传输过程中,常因外界噪声干扰而导致图像质量下降,因此要进行图像滤波.图像滤波就是滤除图像中的噪声,保留原图像的信号点,减少噪声对图像的影响,提高图像的信噪比<sup>[1,2]</sup>.噪声与图像的边缘和细节可能有很大的相似性,在滤除噪声的同时,有可能会把边缘和细节的信号点也当做噪声给滤除掉<sup>[3]</sup>.图像滤波的目标,是滤除噪声的同时,保持图像的边缘和细节<sup>[4]</sup>.图像滤波方法总体上分为两类,线性滤波和非线性滤波.线性滤波具有低通特性,容易模糊图像的边缘和细节,非线性滤波的典型代表是中值滤波<sup>[5,6]</sup>,自 Tukey 在 20 世纪 70 年代提出中值滤波,中值滤波被广泛应用于滤除图像的脉冲噪声<sup>[7,8]</sup>.

## 1 自适应中值滤波算法

自适应中值滤波算法 (Adaptive Median Filtering Algorithm, AMF) 使用一个邻域区域作为滤波窗口,在滤波过程中会根据一定的设定条件改变滤波窗口的大小.另外,自适应中值滤波算法主要通过判断当前滤波窗口的中心像素点的性质来决定滤波的输出:当判断窗口中心的像素是脉冲噪声时,将中心像素用滤波窗口中的像素排序后的中值代替;否则不改变当前的像素值,直接输出<sup>[9,10]</sup>.

自适应中值滤波算法分为两步进行:噪声检测和噪声滤除,基本步骤<sup>[11]</sup>如下:

$W_{ij}$  为正被处理的、中心在  $(i, j)$  处的滤波窗口,  $W_0$  为默认的初始窗口大小,  $W_{\max}$  为允许的最大窗口大小.  $f_{ij}$  为  $(i, j)$  处的灰度值,  $f_{\min}$  为  $W_{ij}$  中的最小灰度值,  $f_{\max}$  为  $W_{ij}$  中的最大灰度值,  $f_{\text{med}}$  为  $W_{ij}$  中的灰度中值. 自适应中值滤波算法工作在两个层面, 表示为 LevelA 和 LevelB:

**LevelA:** 如果  $f_{\min} < f_{\text{med}} < f_{\max}$ , 转向 LevelB, 否则, 增大窗口尺寸; 如果窗口  $W_{ij} \leq W_{\max}$ , 重复 LevelA, 否则输出  $f_{\text{med}}$ .

**LevelB:** 如果  $f_{\min} < f_{ij} < f_{\max}$ , 输出  $f_{ij}$ , 否则输出  $f_{\text{med}}$ .

在图像的噪声密度不大时, 自适应中值滤波算法可以取得较好的图像滤波效果, 同时可以较好地保持

图像的边缘和细节. 但是, 当滤波窗口内的噪声点个数大于或等于窗口元素个数的一半时, 自适应中值滤波算法的滤波效果递减<sup>[12]</sup>, 滤波后的图像出现雪花状的噪声, 同时在保持图像边缘和细节方面的能力大大下降<sup>[13]</sup>, 如图 1 所示.

赵高长等人<sup>[14]</sup>对自适应中值滤波算法进行了改进, 在噪声检测上引进阈值, 在噪声滤波上结合了均值思想, 并且采用了加权方法得出输出的中值. 但是阈值的大小难以确定, 需要反复尝试, 额外的工作量大, 同时噪声滤波采用加权而输出中值, 其思想偏向线性滤波, 在一定程度上带入了线性滤波的弊端, 即模糊了图像的边缘和细节部分. 张旭明等人<sup>[15]</sup>提出一种根据噪声干扰程度自适应地调整滤波窗口的大小的方法, 同时兼顾滤除噪声和保持图像边缘和细节的性能, 但是噪声干扰程度的判断区间不容易确定.

根据中值滤波算法存在的局限性, 本文提出了改进的自适应中值滤波算法 (Improved Adaptive Median Filtering Algorithm, IAMF).

## 2 改进的自适应中值滤波算法

改进的自适应中值滤波算法先进行噪声检测, 再进行噪声滤除. 算法的所有步骤按照处理方案的优先权从高到低进行部署, 如果当前条件满足, 则执行当前的处理, 结束当前像素的滤波, 否则退而求其次, 进入到下一步的处理.

改进的自适应中值滤波算法先检测当前像素是否噪声, 若非噪声则直接输出当前像素, 不用滤波. 如果当前像素是噪声, 则检测当前滤波窗口的中值是否噪声, 若非噪声则输出中值. 如果当前滤波窗口的中值是噪声, 说明当前滤波窗口的噪声密度比较大, 则增大当前滤波窗口继续进行滤波. 如果增大窗口到允许的最大尺寸, 还不能成功滤波, 说明当前滤波窗口的噪声密度非常的大, 则求最大窗口中除了所有的噪声点 (即灰度极值) 外的均值, 均值取代当前像素输出. 如果最大窗口中除了所有的噪声点之外, 已经没有像素点了, 则做最坏的打算, 折中取值, 取一个极小灰度像素和一个极大灰度像素的灰度均值取代当前像素.

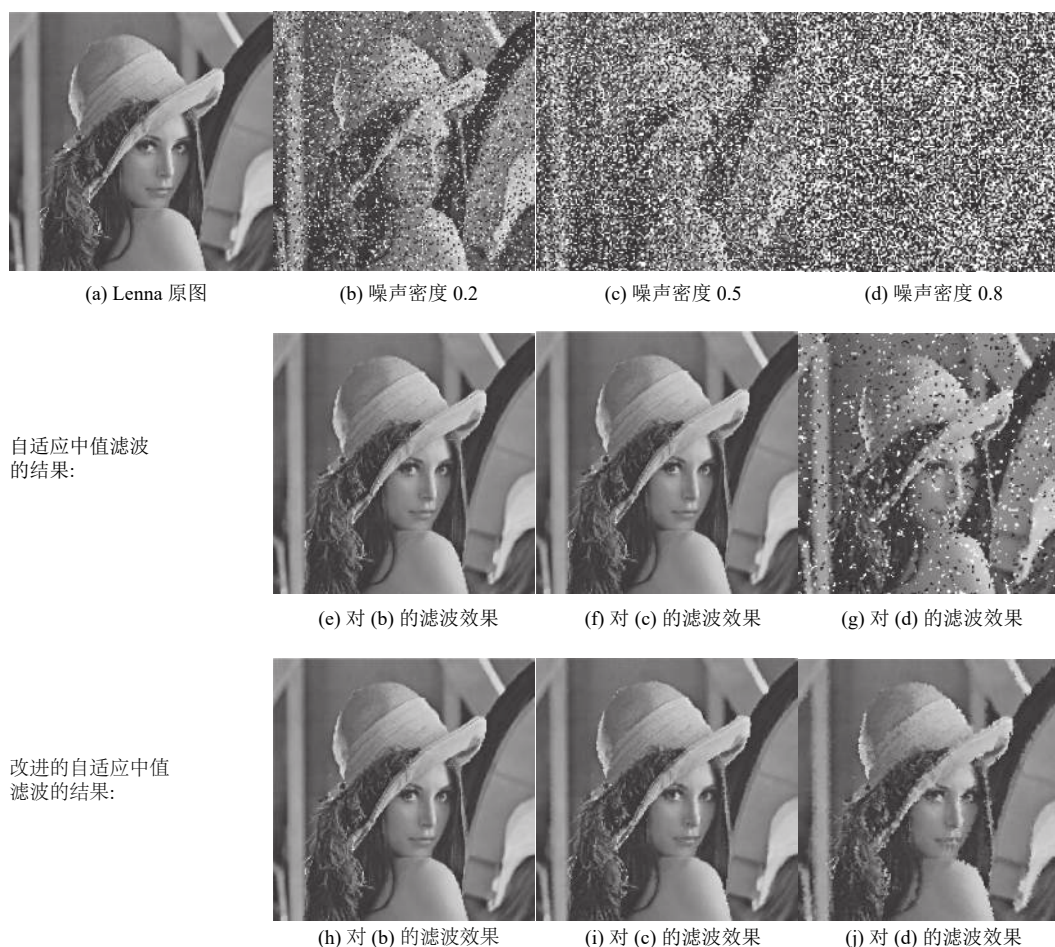


图1 两种算法对标准图像 Lenna 的滤波效果比较

改进的自适应中值滤波算法的具体步骤如下:

$W_{ij}$  为正被处理的、中心在  $(i,j)$  处的滤波窗口,  $W_0$  为默认的初始窗口大小,  $W_{max}$  为允许的最大窗口大小.  $f_{ij}$  为  $(i,j)$  处的灰度值,  $f_{min}$  为  $W_{ij}$  中的极小灰度值,  $f_{max}$  为  $W_{ij}$  中的极大灰度值,  $f_{med}$  为  $W_{ij}$  中的灰度中值.

- ① 如果  $f_{min} < f_{ij} < f_{max}$ , 输出  $f_{ij}$ , 否则转②;
- ② 如果  $f_{min} < f_{med} < f_{max}$ , 输出  $f_{med}$ , 否则转③;
- ③ 如果  $W_{ij} + 2 \leq W_{max}$ , 增大窗口:  $W_{ij} = W_{ij} + 2$ , 转①, 否则转④;

④ 输出最大窗口中除了所有的极小灰度像素和极大灰度像素之外的灰度均值  $f_{avg}$  ( $k$  为极值灰度像素的数目):

$$f_{avg} = \frac{1}{W_{ij} \times W_{ij} - k} \left( \sum_{\substack{f(x,y) \in W_{ij} \\ f_{min} < f(x,y) < f_{max}}} f(x,y) \right) \quad (1)$$

如果  $f_{avg}$  不存在, 即  $W_{ij} * W_{ij} = k$ , 则转⑤;

⑤ 输出  $f_{avg} = (f_{min} + f_{max}) / 2$ .

相对于标准的自适应中值滤波算法, 改进的自适应中值滤波算法作了以下的改进:

(1) 改进的自适应中值滤波算法逻辑顺序清晰, 降低了算法的复杂度. 另外, 标准的自适应中值滤波算法是先检测滤波窗口的中值是否噪声, 若是则直接增大窗口, 若不是再判断当前像素是否噪声, 再决定输出当前像素, 还是中值. 在图像的噪声密度比较大的情况下, 如果当前像素不是噪声, 而中值是噪声, 就有可能用增大窗口后的中值取代当前像素, 这样的处理不合理, 会模糊图像的边缘和细节. 改进的自适应中值滤波算法克服了这个缺点.

(2) 在图像的噪声密度非常大的情况下, 标准的自适应中值滤波算法在增大滤波窗口到允许的最大尺寸之后, 如果还不能成功滤波, 即中值还是噪声, 直接用

中值取代当前像素. 这样的处理是用噪声点取代当前像素. 而改进的自适应中值滤波算法不同, 当增大滤波窗口到允许的最大后, 如果还不能成功滤波, 则退而求其次, 用当前最大窗口中剔除所有极小灰度和极大灰度像素后的均值取代当前像素. 如果当前的最大窗口剔除所有的极值灰度像素后已没有像素, 则折中取值, 用一个极小灰度像素和一个极大灰度像素的灰度均值取代当前像素.

### 3 仿真实验与数据分析

根据本文提出的改进的自适应中值滤波算法, 运用计算机软件 Matlab 2013b 进行仿真实验. 将本文所提的算法与标准的自适应中值滤波算法, 同时应用于被加了不同密度脉冲噪声的标准图像 Lenna 以及医学图像 X\_ray, 以验证本文算法的优越性. 从主观视觉和客观数据两方面, 对算法的滤波性能进行比较评价. 对于客观数据的比较, 采用峰值信噪比 (PSNR) 作为客观评价的标准.

PSNR 定义为:

$$PSNR = 10 \times \lg \frac{m \times n \times 255^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f(i, j) - g(i, j))^2} \quad (2)$$

其中,  $m, n$  为图像的大小,  $f(i, j)$  为原图像  $(i, j)$  处像素的灰度,  $g(i, j)$  为滤波图像  $(i, j)$  处像素的灰度.

#### 3.1 算法对标准图像的滤波结果的比较

对  $512 \times 512$ 、256 级灰度的标准图像 Lenna, 添加不同密度的脉冲噪声, 同时运用两种算法进行图像滤波. 从主观视觉和客观数据两方面, 对两种算法的滤波效果进行统计和比较分析.

##### (1) 主观视觉的比较

两种算法同时对不同密度的标准噪声图像进行滤波的效果如图 1 所示. 当噪声密度比较小时, 比如 0.2 或 0.5, 两种算法的滤波效果几乎没有差别, 如 (e) 和 (h), (f) 和 (i), 并且所有滤波后的图像与原图几乎是一样的. 当噪声密度比较大时, 比如 0.8, 两种算法的滤波效果差别很大. 噪声密度为 0.8 的图像已经看不出任何图像信号了, 用标准的自适应中值滤波算法进行滤波后, 原图像的大部分像素信号得以恢复, 但是出现一些失真, 并且出现了雪花状的斑点, 而用改进的自适应中值滤波算法进行滤波后, 除了一些小的失真外, 绝

大部分的图像像素信号得以恢复. 通过滤波效果的比较, 显而易见, 在噪声密度较大时, 相对标准的自适应中值滤波算法, 本文提出的改进的自适应中值滤波算法的滤波效果更好.

##### (2) 客观数据的比较

两种算法同时对不同密度的标准噪声图像进行滤波的 PSNR 如图 2 所示. 对照图 1, 对 3 种不同密度的噪声图像进行滤波后的具体 PSNR 数值如表 1 所示. 对两种算法进行图像滤波后的 PSNR 进行统计和比较分析, 显而易见, 当噪声密度比较小时, 比如 0.2 或 0.5, 改进的自适应中值滤波算法与标准的自适应中值滤波算法的 PSNR 差别很小, 前者比后者略大一点, 但不明显. 当噪声密度比较大时, 比如 0.8, 两种算法滤波的 PSNR 差别很大, 改进的自适应中值滤波算法的 PSNR 明显大于标准的自适应中值滤波算法, 并且从图 2 看, 两种算法的 PSNR 差距随噪声密度的增大呈递增走势.

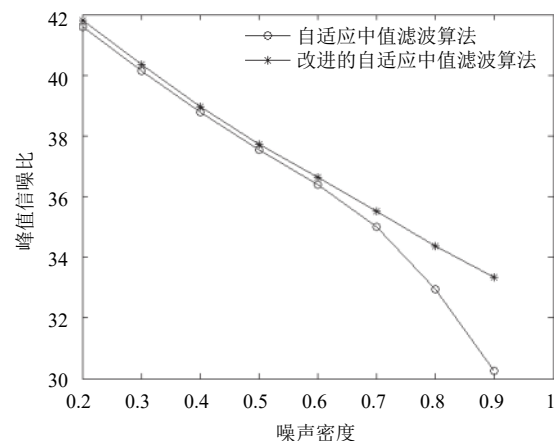


图 2 两种算法对标准图像 Lenna 滤波的 PSNR 比较

表 1 两种算法对标准图像 Lenna 滤波的 PSNR 比较 (单位: dB)

噪声密度	自适应中值滤波	改进的自适应中值滤波
0.2	41.5912	41.7912
0.5	37.5301	37.7362
0.8	32.9558	34.3733

#### 3.2 算法对医学图像的滤波结果的比较

对  $490 \times 600$ 、256 级灰度的医学图像 X\_ray, 添加不同密度的脉冲噪声, 同时运用两种算法进行图像滤波. 从主观视觉和客观数据两方面, 对两种算法的滤波效果进行统计和比较分析.

##### (1) 主观视觉的比较

两种算法同时对不同密度的医学噪声图像进行滤波的效果如图3所示. 当噪声密度比较小时, 比如0.2或0.5, 用标准的自适应中值滤波算法进行滤波后, 人体的边缘轮廓出现锯齿状阴影, 而改进的自适应中值滤波算法的滤波效果比较清晰. 如(e)和(h), (f)和(i)的比较. 当噪声密度比较大时, 比如0.8, 两种算法的

滤波效果差别很大. 标准的自适应中值滤波算法的滤波效果出现了大量雪花状的白色斑点, 而改进的自适应中值滤波算法的滤波效果, 除了边缘的一些细小的失真外, 绝大部分的图像像素信号得以恢复. 通过滤波效果的比较, 相对标准的自适应中值滤波算法, 本文提出的改进的自适应中值滤波算法具有良好的滤波性能.

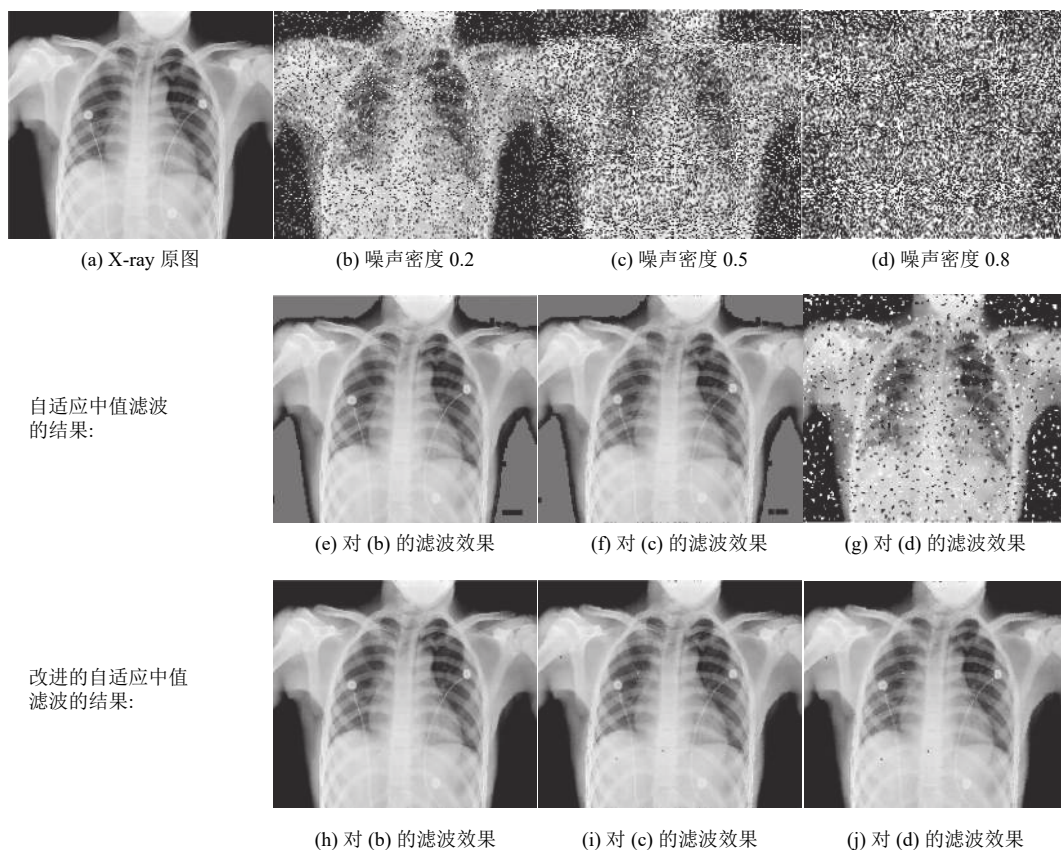


图3 两种算法对医学图像 X-Ray 的滤波效果比较

## (2) 客观数据的比较

两种算法同时对不同密度的医学噪声图像进行滤波的  $PSNR$  如图4所示. 对照图3, 对3种不同密度的噪声图像进行滤波后的具体  $PSNR$  数值如表2所示. 对两种算法进行图像滤波后的  $PSNR$  进行统计和比较分析, 当噪声密度比较小时, 比如0.2或0.5, 改进的自适应中值滤波算法的  $PSNR$  一直高于标准的自适应中值滤波算法, 但差别不大. 当噪声密度比较大时, 比如0.8, 两种算法滤波的  $PSNR$  差别很大, 改进的自适应中值滤波算法的  $PSNR$  明显大于标准的自适应中值滤波算法, 并且从图4看, 两种算法的  $PSNR$  差距随噪声密

度的增大呈递增走势.

## 4 结束语

自适应中值滤波算法能有效地滤波图像的脉冲噪声, 但是, 随着噪声密度的增大, 算法的滤波性能递减, 图像出现雪花状的斑点. 针对中值滤波算法的局限性, 本文提出了改进的自适应中值滤波算法. 在噪声密度增大的情况下, 算法的滤波性能依然良好, 在滤除噪声的同时, 很好地保持图像的边缘和细节部分. 仿真实验的结果和数据证明, 相对标准的自适应中值滤波算法, 改进的自适应中值滤波算法具有较好的滤波性能.

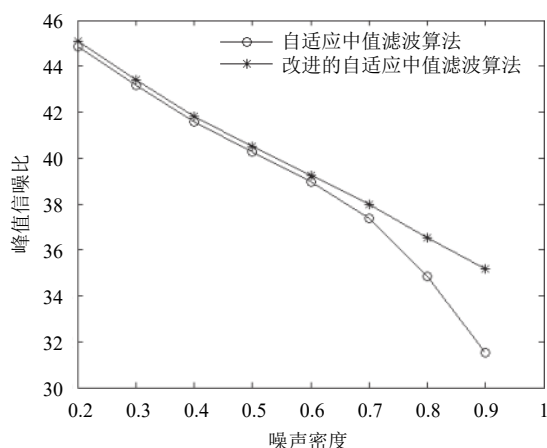


图4 两种算法对医学图像 X-Ray 滤波的 PSNR 比较

表2 两种算法对医学图像 X-Ray 滤波的 PSNR 比较 (单位: dB)

噪声密度	自适应中值滤波	改进的自适应中值滤波
0.2	44.8569	45.0805
0.5	40.2658	40.4877
0.8	31.5410	35.1741

## 参考文献

- Nair MS, Revathy K, Tatarvarti R. An improved decision-based algorithm for impulse noise removal. 2008 Congress on Image and Signal Processing. Sanya, China. 2008. 426–431.
- Wang XT, Shen SS, Shi GM, *et al.* Iterative non-local means filter for salt and pepper noise removal. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2016, 38: 440–450. [doi: 10.1016/j.jvcir.2016.03.024]
- Shen ZY, Ni JQ, Chen CL. Blind detection of median filtering using linear and nonlinear descriptors. *Multimedia Tools and Applications*, 2016, 75(4): 2327–2346. [doi: 10.1007/s11042-014-2407-2]
- Vijaykumar VR, Mari GS, Ebenezer D. Fast switching based median-mean filter for high density salt and pepper noise removal. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 2014, 68(12): 1145–1155. [doi: 10.1016/j.aeue.2014.06.002]
- Li ZY, Liu GH, Xu Y, *et al.* Modified directional weighted filter for removal of salt & pepper noise. *Pattern Recognition Letters*, 2014, 40: 113–120. [doi: 10.1016/j.patrec.2013.12.022]
- Xu JT, Wang L, Shi ZF. A switching weighted vector median filter based on edge detection. *Signal Processing*, 2014, 98: 359–369. [doi: 10.1016/j.sigpro.2013.11.035]
- Lin TC. A new adaptive center weighted median filter for suppressing impulsive noise in images. *Information Sciences*, 2007, 177(4): 1073–1087. [doi: 10.1016/j.ins.2006.07.030]
- 葛仕奇, 丁泽刚, 陈亮, 等. 基于模数的干涉相位自适应中值滤波法. *电子与信息学报*, 2012, 34(4): 917–922.
- Vijayarajan R, Muttan S. Analysis of FCM clustering on pre and post iterative relaxed adaptive center weighted median filter in MRI & CT brain images. *International Journal of Computer Science Issues*, 2012, 9(3): 134–141.
- Patel P, Majhi B, Jena B, *et al.* Dynamic adaptive median filter (DAMF) for removal of high density impulse noise. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 2012, 4(11): 53–62. [doi: 10.5815/ijigsp]
- Villar SA, Torcida S, Acosta GG. Median filtering: A new insight. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 2017, 58(1): 130–146.
- Ibrahim H, Kong NSP, Ng TF. Simple adaptive median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2008, 54(4): 1920–1927. [doi: 10.1109/TCE.2008.4711254]
- He P, Zhang HJ, Liu C, *et al.* An improved method of adaptive median filter based on noise density. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 530–531: 403–406.
- 赵高长, 张磊, 武风波. 改进的中值滤波算法在图像去噪中的应用. *应用光学*, 2011, 32(4): 678–682. [doi: 10.3969/j.issn.1002-2082.2011.04.017]
- 张旭明, 徐滨士, 董世运. 用于图像处理的自适应中值滤波. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2005, 17(2): 295–299. [doi: 10.3321/j.issn:1003-9775.2005.02.017]