

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 512×512 、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.

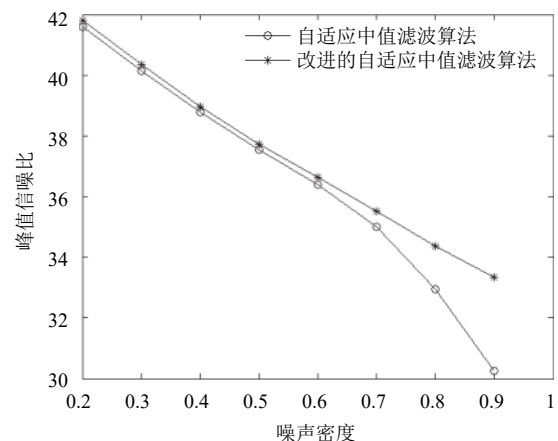


图 2 两种算法对标准图像 Lenna 滤波的 PSNR 比较

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 490×600 、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。

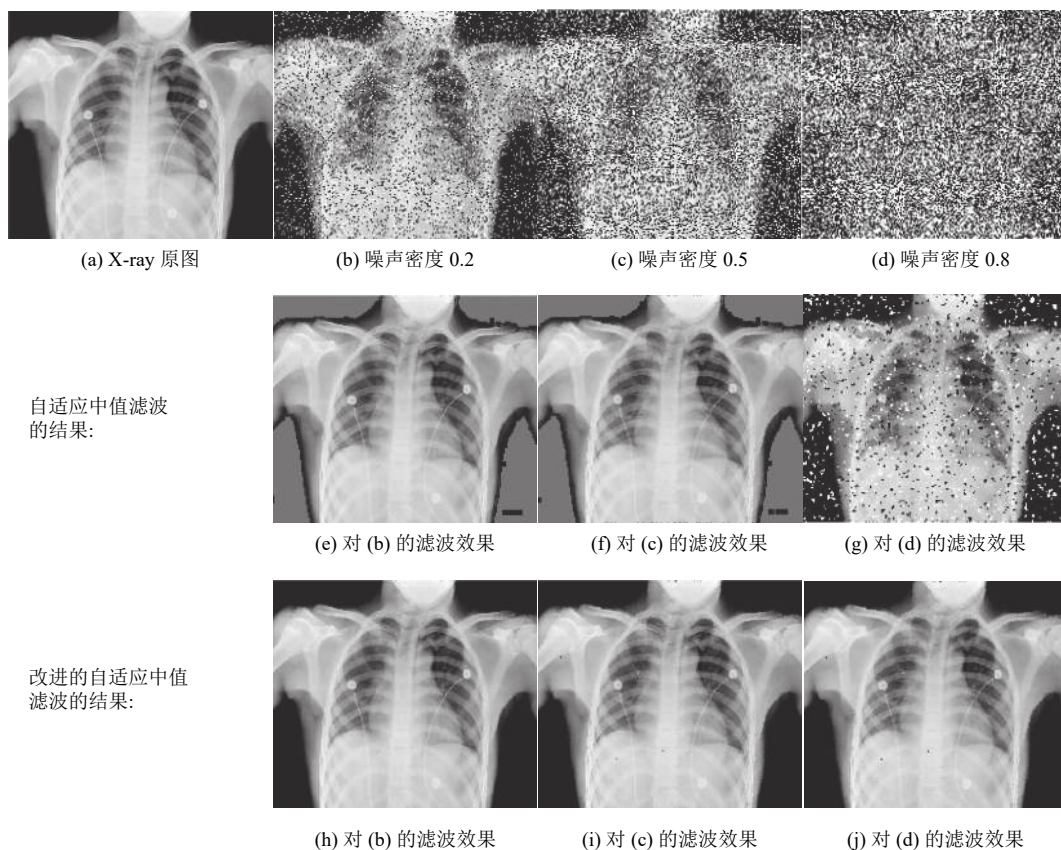


图3 两种算法对医学图像 X-Ray 的滤波效果比较

(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。

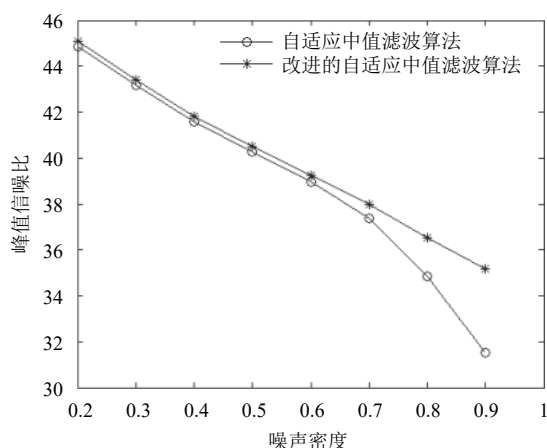


图4 两种算法对医学图像 X-Ray 滤波的 PSNR 比较

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, Tatavarti 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/jijgisp]
- 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]