

一种改进的三维块匹配图像去噪算法

汪祖辉, 孙刘杰, 邵雪
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 为了有效消除噪声图像中的椒盐噪声、高斯噪声甚至混合噪声, 改进三维块匹配算法, 提出一种新的图像去噪算法。 **方法** 首先, 该算法将含噪声图像用图像块之间的相似性构建三维矩阵。然后, 在图像块之间进行硬阈值滤波降低噪声, 对图像块集合加权平均重建得到初步估计去噪图像。最后, 对初步估计结果图像进行块匹配, 在图像块内和图像块之间进行维纳滤波和加权中值滤波, 得到最终去噪图像。 **结果** 仿真结果表明, 该算法对图像采集的常见噪声均表现出理想的去噪效果, PSNR 值均大于 31 dB。对比维纳滤波、中值滤波、硬阈值小波滤波, 文中算法对高斯噪声、椒盐噪声和混合噪声的去噪结果 PSNR 值为 31.5334~36.6466 dB, 均高于其他算法, 最高差值达到 12.08 dB。 **结论** 结合中值滤波和三维块匹配算法的图像去噪算法, 能够较好去除噪声图像的多种类型噪声, 是一种较为优秀的去噪算法。

关键词: 图像去噪; 块匹配; 三维变换; 中值滤波

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0198-06

An Improved Block Matching 3D Filtering Image Denoising Algorithm

WANG Zu-hui, SUN Liu-jie, SHAO Xue
(Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: In order to effectively eliminate noise image with impulse noise, Gaussian noise and even mixed noise, the work improves the 3D block-matching algorithm and puts forward a new image denoising algorithm. Firstly, the 3D matrix was constructed with the similarity between image block of noise image. Then, the noise was attenuated by hard-thresholding between the image blocks, and the initially estimated denoised images were obtained through the weighted average reconstruction of image blocks. Finally, block-matching was performed on the initially estimated denoised images, and Wiener filtering and weighted median filtering were conducted in and among image blocks, finally denoised images were obtained. Simulation results showed that the proposed algorithm had ideal denoising effect on common noise of image acquisition, and the PSNR value was more than 31 dB. Compared with Wiener filtering, median filtering and hard threshold wavelet filtering, PSNR results of Gaussian noise, impulse noise and mixed noise with this algorithm were 31.5334~36.6466 dB, higher than other algorithms. The highest difference value reached 12.08 dB. In conclusion, image denoising method combined with median filter and 3D block-matching algorithm can better reduce a variety of noises and is an excellent denoising algorithm.

KEY WORDS: image denoising; block-matching; 3D transform; median filtering

收稿日期: 2016-04-22

基金项目: 上海市教委科研创新重点资助项目 (13ZZ111)

作者简介: 汪祖辉 (1991—), 男, 安徽人, 上海理工大学硕士生, 主攻图像处理和数字水印。

通讯作者: 孙刘杰 (1965—), 男, 安徽人, 上海理工大学教授, 主要研究方向为图像处理、数字印刷和数字水印。

图像采集是图像数字化过程的基础,也是研究数字图像的前提^[1-3]。由于采集环境的影响或者感光元件自身的限制,图像采集过程中不可避免地会引入随机噪声,进而不同程度地影响图像的质量和后续的评价分析。当硬件设备的改进受到限制时,提出一种对多种类型噪声甚至混合噪声普遍适用的去噪方法显得十分重要和富有意义。图像去噪方法通常分为空域法和频域法^[4-7]。空域算法常见的有均值滤波、顺序统计滤波等,空间域滤波利用卷积模板与图像进行卷积实现去噪,但是卷积运算会使图像的纹理、边缘等细节信息在不同程度上受到损失,造成图像的模糊。频域算法有傅里叶变换法、小波变换法等,频域滤波算法实质是对噪声的频谱分布规律进行统计,设定一定的阈值进行滤波实现图像去噪。由于噪声的频谱分布与图像的频谱分布并不能完全分离,所以频域算法的去噪效果也不太理想。

2007 年 Dabov 等提出的三维块匹配(BM3D)算法^[8-10]能够在保留图像细节纹理的前提下,实现图像精准去噪,是当前较为杰出的去噪算法。三维块匹配算法只适用于高斯噪声去噪,而采集得到的噪声图像会随机含有高斯噪声、椒盐噪声,甚至 2 个噪声的混合噪声^[11]。文中对三维块匹配算法进行优化,提出一种适用于多种类型噪声的图像去噪算法。该算法同样通过块匹配构建图像相似结构的三维矩阵,然后对三维矩阵变换后的三维数组进行滤波处理,在已有滤波操作的基础上,加入中值滤波处理,最后将处理结果逆变换返回原图像,得到去噪后图像。

1 三维块匹配算法

三维块匹配方法是一种基于图像块相似性的三维滤波算法^[12],其核心思想是对图像窗口化得到多个图像块,利用图像块之间的相似性构建三维矩阵进行三维滤波去噪,从而估计得到去噪后图像。算法过程主要分为 2 个阶段,即初步估计和最终估计。

1.1 初步估计

首先把噪声图像分成一定尺度大小的图像块,然后以距离作为图像间结构相似性的度量,将距离小于某一阈值的若干图像块叠加组成一个三维矩

阵 $\mathbf{Z}$ 。然后对三维矩阵 $\mathbf{Z}$ 进行三维变换,利用硬阈值滤波对三维矩阵进行变换系数收缩,降低噪声^[13]。再对处理后的三维矩阵进行逆三维变换得到处理后的图像块集合 $\mathbf{Y}$ 。最后对每一组 $\mathbf{Y}$ 中的所有图像块加权平均,得到初步估计的去噪图像 $\mathbf{Y}_b$:

$$\mathbf{Y}_b = \frac{\sum \sum \omega_h \mathbf{Y}}{\sum \sum \omega_h X} \quad (1)$$

式中: X 表示一个图像块在 $(0, 1)$ 区间内的特征函数。图像块集合 $\mathbf{Y}$ 和权重函数 ω_h 如式(2)—(3):

$$\mathbf{Y} = \mathbf{T}_{3d}^{-1} \{h[\mathbf{T}_{3d}(\mathbf{Z})]\} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{T}_{3d}$ 为三维变换; $\mathbf{T}_{3d}^{-1}$ 为逆三维变换; h 为硬阈值收缩系数。

$$\omega_h = \begin{cases} \frac{1}{\sigma^2 N_h} & \text{if } N_h \geq 1 \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

式中: σ^2 为零均值高斯噪声方差; N_h 为硬阈值滤波后保留的非零系数。

1.2 最终估计

最终估计建立在初步估计结果的基础之上。首先对去噪图像 $\mathbf{Y}_b$ 进一步分组,匹配得到三维矩阵 $\mathbf{Y}_w$, 根据 $\mathbf{Y}_w$ 的坐标信息对原噪声图像块匹配得到三维矩阵 $\mathbf{Z}_w$ 。然后对 $\mathbf{Y}_w$ 和 $\mathbf{Z}_w$ 进行三维统一变换,并且执行经验维纳滤波。再对处理后的三维矩阵进行逆三维变换得到处理后的图像块集合 $\mathbf{Y}_{wi}$ 。最后对将 $\mathbf{Y}_{wi}$ 中的图像块加权平均,得到最终估计的去噪图像 $\mathbf{Y}_f$:

$$\mathbf{Y}_f = \frac{\sum \sum \omega_{wi} \mathbf{Y}_{wi}}{\sum \sum \omega_{wi} X} \quad (4)$$

图像块集合 $\mathbf{Y}_{wi}$ 和权重函数 ω_{wi} 如式(5)—(6):

$$\mathbf{Y}_{wi} = \mathbf{T}_{3d}^{-1} \{W[\mathbf{T}_{3d}(\mathbf{Z}_w)]\} \quad (5)$$

$$\omega_{wi} = \sigma^{-2} \|W\|_2^{-2} \quad (6)$$

$$W = \frac{|\mathbf{T}_{3d}(\mathbf{Y}_w)|^2}{|\mathbf{T}_{3d}(\mathbf{Y}_w)|^2 + \sigma^2} \quad (7)$$

式中: W 为经验维纳滤波收缩系数; σ^2 为零均值高斯噪声方差。

2 基于梯度的加权中值滤波

2.1 中值滤波

中值滤波^[14]是基于排序统计理论的一种非线性

性噪声处理技术,能够在保护信号边缘的前提下对脉冲噪声有良好的滤除作用^[15],其原理是将图像区域所包含的像素统计排序,用像素邻域内灰度的中值代替该像素的值。假设一个 $n \times n$ (n 是大于等于 3 的奇数) 邻域内所有的像素值统计排序后的数列为 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_{n^2}\}$, 那么序列的中值为:

$$y = \text{med}(x) = x_{(n^2+1)/2} \quad (8)$$

2.2 基于梯度的加权中值滤波

未受噪声污染的原始图像,像素点之间的灰度值很接近,表现出较强的梯度相关性^[16]。利用图像固定窗口内各个像素点灰度值的差异,可以有效区分图像的椒盐噪声点和信号点。求出固定窗口内原始像素点梯度值后,去除固定窗口内原始像素点灰度值的极值,用梯度相似性保留下来的像素点的中值代替,加权平均即可去除图像椒盐噪声干扰。该算法对比中值滤波,图像的细节得到更精确的保留,同时算法滤波能力有较大的提高。

图像像素 (x, y) 处的梯度 $G(x, y)$ 计算公式:

$$G(x, y) = dx(i, j) + dy(i, j) \quad (9)$$

$$dx(i, j) = \frac{I(i+1, j) - I(i-1, j)}{2} \quad (10)$$

$$dy(i, j) = \frac{I(i, j+1) - I(i, j-1)}{2} \quad (11)$$

式中: (x, y) 为图像的坐标; (i, j) 为像素点的坐标。

假设 $n \times n$ (n 是大于等于 3 的奇数) 窗口内,加权平均后像素 (x, y) 处的中值为:

$$I(x, y) = \sum \omega_m I(i, j) \quad (12)$$

$$\omega_m = \frac{I(i, j)}{\sum I(i, j)} \quad (13)$$

式中: ω_m 为权重函数; $I(i, j)$ 为去除极值后剩下点的灰度值。

3 改进的三维块匹配算法

三维块匹配算法的去噪功能主要通过初步估计中的硬阈值滤波和最终估计中的经验维纳滤波来实现,而硬阈值滤波和维纳滤波都只适用于去除图像的随机噪声,但对脉冲噪声没有影响。面对图像采集得到的椒盐噪声、混合噪声,原有的三维块匹配去噪算法就无法适用。文中对三维块匹配算法进行改进,利用基于梯度的加权中值滤波能很好去

除图像椒盐噪声的特点,对最终估计中 Y_{wi} 图像块加权平均后的结果计算梯度值,进行加权中值滤波,得到最终去噪结果,实现去噪。由于三维块匹配算法加权平均的权重函数 ω_h 和 ω_{wi} 都是基于图像方差进行构造的,因此基于梯度的加权中值滤波权重函数 ω_m 也必须与方差相关。对基于梯度的加权中值滤波权重函数 ω_m 进行重新构建:

$$\omega_m^* = \frac{I^*(i, j)}{\sum I^*(i, j)} \quad (14)$$

式中: $I^*(i, j)$ 为去除方差极值后剩下点的灰度值。改进的算法流程见图 1。

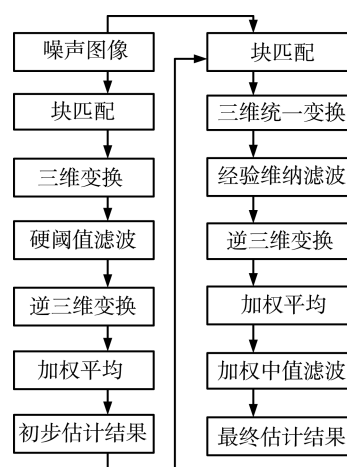


图 1 算法流程

Fig.1 Algorithm flow chart

4 实验验证

该实验通过 Matlab 2009a 软件进行仿真,选用像素大小为 512×512 的 Lena 图像作为实验图像,图像格式为 bmp, 见图 2; 选用 PSNR^[17] 作为去噪结果的客观评价指标。根据噪声图像会随机含有高斯噪声、椒盐噪声、混合噪声的事实,对实验图像分别添加标准差大小分别为 10, 15, 20, 25 的高斯噪声、椒盐噪声和两者混合噪声进行仿真,利用

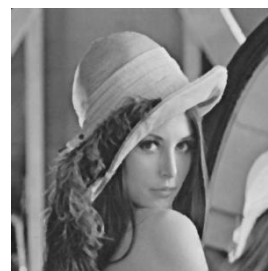


图 2 实验图像

Fig.2 Test image

文中算法对噪声图像进行去噪,得到的去噪结果见图 3—5。同时用维纳滤波、中值滤波、硬阈值小波滤波和文献[8]的 BM3D 算法对噪声图像进行去噪,与文中算法进行客观评价对比,结果见表 1—3。



图 3 不同标准差大小高斯噪声图像去噪结果
Fig.3 Local graphs of noise image denoising results with different standard deviation of Gauss noise

表 1 不同算法高斯噪声去噪结果对比					dB
Tab.1 Comparison of different algorithms for Gauss noise denoising results					
高斯噪声标准差	维纳滤波	中值滤波	硬阈值小波滤波	文献[8] BM3D	文中算法
10	33.5491	32.0804	28.2417	35.9278	35.3541
15	31.1019	30.0832	24.6352	34.2066	33.9579
20	29.0479	28.3821	22.1762	33.0145	32.8796
25	27.2669	26.8522	20.2508	31.9713	31.9523



图 4 不同标准差大小椒盐噪声图像去噪结果
Fig.4 Local graphs of noise image denoising results with different standard deviation of impulse noise

表 2 不同算法椒盐噪声去噪结果对比
Tab.2 Comparison of different algorithms for impulse noise denoising results dB

椒盐噪声标准差	维纳滤波	中值滤波	硬阈值小波滤波	文献[8] BM3D	文中算法
10	32.4459	35.375	33.0267	33.4995	36.6466
15	29.8591	34.8465	29.8983	32.5233	35.3044
20	27.9723	34.2956	27.6747	31.6057	34.5123
25	26.2956	33.8366	25.6983	30.9729	33.9684



图 5 不同标准差大小混合噪声图像去噪结果

Fig.5 Local graphs of noise image denoising results with different standard deviation of mixed noise

表 3 不同算法混合噪声去噪结果对比
Tab.3 Comparison of different algorithms for mixed noise denoising results dB

混合噪声标准差	维纳滤波	中值滤波	硬阈值小波滤波	文献[8] BM3D	文中算法
10	30.8977	32.0753	27.1174	32.6909	35.3291
15	28.2503	30.0763	23.6022	31.4963	33.7842
20	26.0935	28.2771	21.0412	31.0157	32.5486
25	24.5946	26.7161	19.1572	29.9729	31.5334

从实验结果可知,文中算法对含有不同标准差大小的高斯噪声、椒盐噪声和混合噪声 Lena 图像进行去噪,去噪结果的 PSNR 值均大于 31.5334 dB,去噪效果十分理想。对比文献[8]中的 BM3D 算法,文中算法对椒盐噪声和混合噪声去噪结果的 PSNR 值高出 1.5329 ~ 3.1471 dB,去噪能力更为优秀,对高斯噪声去噪结果稍差,PSNR 值低 0.019 ~ 0.5737 dB,但在可接受范围。对比维纳滤波、中值滤波、硬阈值小波滤波,文中算法对高斯噪声、椒盐噪声和混合噪声去噪结果的 PSNR 值为 31.5334 ~ 36.6466 dB,均高于其他算法,最高差值达到 12.3762 dB,效果更佳。

5 结语

针对噪声图像随机含有椒盐噪声、高斯噪声甚至两者的混合噪声的特性,对三维块匹配算法进行改进,提出一种新的图像去噪算法。实验结果表明,该算法对图像采集的常见噪声均表现出理想的去噪效果,PSNR 值均大于 31 dB。对比其他算法,文中算法对高斯噪声的去噪效果稍差于文献[8]中的 BM3D 算法,但在可接受范围之内。椒盐噪声和混合噪声去噪结果的 PSNR 值为 31.5334 ~ 36.6466 dB,均高于其他算法,最高差值达到

12.3762 dB, 效果较好。

参考文献:

- [1] SHI R Z, FAN K B, ZHOU X, et al. Study on the Model of Chromaticity Closed-loop Control for Print Online Detection[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013(2): 291—296.
- [2] 徐敏, 郑元林. 基于 SSIM 的印刷图像质量评价研究[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 98—101.
XU Min, ZHENG Yuan-lin. Research of Printed Image Quality Based on SSIM[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 98—101.
- [3] 马赛, 曹春平, 孙宇. 基于 CCD 的金属薄板印刷墨层厚度在线检测研究[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 120—125.
MA Sai, CAO Chun-ping, SUN Yu. Online Detection of the Ink Film Thickness of Metal Sheet Printing Based on CCD Method[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 120—125.
- [4] 肖杨波. 基于 LIFTINGScheme 小波的图像自适应去噪研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
XIAO Yang-bo. Adaptive Image Denoising Based on LiftingScheme Wavelet[D]. Nanchang: Nanchang University, 2007.
- [5] 刘祝华. 图像去噪方法的研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2005.
LIU Zhu-hua. Research on Image De-noising Methods [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2005.
- [6] 黄果, 蒲亦非, 陈庆利. 基于分数阶积分的图像去噪[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(4): 925—932.
HUANG Guo, PU Yi-fei, CHEN Qing-li. Research on Image Denoising Based on Fractional Order Integral[J]. Systems Engineering and Electronics, 2011, 33(4): 925—932.
- [7] ERCELEBI E, KOC S. Lifting-based Wavelet Domain Adaptive Wiener Filter for Image Enhancement[J]. IEEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing, 2006(1): 31—36.
- [8] DABOV K, FOI A, KATKOVNIK V, et al. Image Denoising by Sparse 3D Transform-domain Collaborative Filtering[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(8): 2080—2095.
- [9] DABOV K, FOI A, KATKOVNIK V, et al. A Nonlocal and Shape-adaptive Transform-domain Collaborative Filtering[C]// Lausanne: Image Process Workshop on Local and Non-Local Approx, 2008.
- [10] DABOV K, FOI A, KATKOVNIK V, et al. BM3D Image Denoising with Shape-adaptive Principal Component Analysis[C]// Saint-Malo: Signal Processing with Adaptive Sparse Structured Representations, 2009.
- [11] 刘苏阳, 唐万有. 图像去噪在印刷品质量检测上的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 83—86.
LIU Su-yang, TANG Wan-you. Application of Image Denoising in Print Quality Detection[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(15): 83—86.
- [12] 王永兴, 蒲亦非, 巩晓倩, 等. 分数阶三维块匹配去噪算法[J]. 计算机应用研究, 2015(1): 287—290.
WANG Yong-xing, PU Yi-fei, GONG Xiao-qian, et al. Fractional Block Matching Three-dimensional Filter[J]. Application Research of Computers, 2015(1): 287—290.
- [13] 刘向乐, 冯象初. 小波域三维块匹配图像去噪[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(16): 185—187.
LIU Xiang-le, FENG Xiang-chu. Image Denoising by Mixing Wavelet Transformation with Sparse 3D Collaborative Filtering[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(16): 185—187.
- [14] CONZALEZ R, WOODS R. Digital Image Processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.
- [15] 徐锋, 刘云飞, 宋军. 基于中值滤波-SVD 和 EMD 的声发射信号特征提取[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(12): 2712—2719.
XU Feng, LIU Yun-fei, SONG Jun. Feature Extraction of Acoustic Emission Signals Based on Median Filter-singular Value Decomposition and Empirical Mode Decomposition[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(12): 2712—2719.
- [16] 李迅波, 蒋东升, 王振林. 梯度相似性的椒盐图像加权中值滤波算法[J]. 电子科技大学学报, 2012(1): 114—119.
LI Xun-bo, JIANG Dong-sheng, WANG Zhen-lin. A Similar Gradient Image Weighted Median Filtering Algorithm[J]. Journal of University of Electronic Science & Technology of China, 2012(1): 114—119.
- [17] 熊顺清, 王玉红, 周卫红. 一种基于尺度不变特征变换 SIFT 的图像水印算法[J]. 云南民族大学学报, 2012, 21(5): 361—364.
XIONG Shun-qing, WANG Yu-hong, ZHOU Wei-hong. A New Anti-geometric Attack Digital Watermarking Algorithm Based on SIFT Transform[J]. Journal of Yunnan University of Nationalities, 2012, 21(5): 361—364.