

文章编号:1671-251X(2015)06-0066-05 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.06.016
李新年.煤矿视频监控图像的改进非局部均值滤波算法[J].工矿自动化,2015,41(6):66-70.

煤矿视频监控图像的改进非局部均值滤波算法

李新年

(山西虹安科技股份有限公司,山西太原 030006)

摘要:针对井下光线较差、粉尘大而导致视频监控图像清晰度不佳的问题,提出了一种改进非局部均值滤波算法。首先采用 Log 边缘检测算子对图像进行边缘提取,获得边缘和非边缘图像;然后分别从相似图像块获取方法以及权重值计算方法 2 个方面对非局部均值滤波算法进行改进,用于去除非边缘图像中的噪声点;最后将边缘图像与滤波后的非边缘图像进行融合。分别采用该算法与中值滤波算法、均值滤波算法、非局部均值滤波算法对现场采集的图像进行测试,结果表明该算法的图像处理效果明显优于其他算法。

关键词:煤矿视频监控图像; Log 边缘检测算子; 非局部均值滤波算法; 改进非局部均值滤波算法

中图分类号:TD672 文献标志码:A 网络出版时间:2015-05-29 14:36

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150529.1436.016.html>

Improved non-local means filtering algorithm for video monitoring image of coal mine

LI Xinnian

(Shanxi Hongan Science and Technology Co., Ltd., Taiyuan 030006, China)

Abstract:For unclear underground video monitoring image caused by poor light and a lot of dust, an improved non-local means filtering algorithm was proposed. Firstly, video monitoring images are processed by Log edge extraction operator, so as to extract edge information of the images, and edge images and non-edge images are obtained. Then, non-local means filtering algorithm is improved from the perspective of extraction method of similar image blocks and weighting calculation method, and the improved algorithm is adopted to filter noise in the non-edge images. Finally, the edge images and the filtered non-edge images are fused. Median filtering algorithm, average filtering algorithm, non-local means filtering algorithm and the improved algorithm were used to deal with field images. The test results indicate that the improved algorithm has better image processing effect than the other algorithms.

Key words: video monitoring image of coal mine; Log edge extraction operator; non-local means filtering algorithm; improved non-local means filtering algorithm

0 引言

近年来,煤矿视频监控系统得到了大范围普及和应用,在确保矿山安全生产以及井下救灾救援方面发挥着越来越大的作用。要使该类系统的功能尽可能得到发挥,最基本的是要确保其信息来源的准确性,即获取高清晰度的监控图像^[1-2]。然而,煤矿

井下环境较为复杂,主要体现在 2 个方面:① 光线不佳;② 含有大量粉尘,特别是开采工作面附近,空气中的粉尘密度更大。这些因素在一定程度上导致煤矿视频监控系统获取的图像清晰度不高。计算机图像处理算法为该类图像的处理提供了众多方法,一些学者在该方面进行了一些有益的探索^[3-6],并取得了一些效果,使图像中的噪声得到了快速而有效

收稿日期:2014-09-29;修回日期:2015-04-22;责任编辑:李明。

基金项目:山西虹安科技股份有限公司技术创新重点资助项目(HA-2013012)。

作者简介:李新年(1974—),男,河南洛阳人,高级工程师,硕士,主要从事矿井应急救援、个人安全防护方面的研究工作,E-mail:lixinnianmaster@126.com。

的滤除,但图像中的边缘信息仍存在一定程度的模糊。本文将非局部均值滤波算法^[7-8]加以改进,使其能更有效地处理煤矿视频监控图像,并与 Log 边缘检测算子^[9-10]相结合,达到在滤除图像中噪声的同时不损坏图像边缘信息的目的。

1 Log 边缘检测算子

Log 边缘检测算子步骤:① 采用高斯函数对图像进行滤波,以排除图像中所含的噪声;② 对滤波后的图像进行边缘检测,提取图像中目标信息的边缘。对于一幅矿井视频监控图像 $f(i, j)$,采用高斯函数对图像进行卷积运算,得

$$\begin{cases} h(i, j) = \nabla^2 [G(i, j)] * f(i, j) \\ G(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp(-\frac{i^2 + j^2}{\sigma^2}) \\ \nabla^2 = \frac{\partial^2 G(i, j)}{\partial i^2} + \frac{\partial^2 G(i, j)}{\partial j^2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $h(i, j)$ 为滤波后图像; ∇^2 为拉普拉斯边缘检测算子; $G(i, j)$ 为高斯函数; $*$ 为图像卷积运算符号; σ 为平滑系数,即图像标准差。

由于图像卷积与微分运算具有可交换性质,所以 $h(i, j)$ 可进一步表示为

$$\begin{aligned} h(i, j) = & \left[\frac{\partial^2 G(i, j)}{\partial i^2} + \frac{\partial^2 G(i, j)}{\partial j^2} \right] * f(i, j) = \\ & \left[\frac{1}{\pi\sigma^4} \left(\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2} - 1 \right) \exp(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}) \right] * \\ & f(i, j) \end{aligned} \quad (2)$$

因此 Log 边缘检测算子可定义为

$$\nabla^2 [G(i, j)] = \frac{1}{\pi\sigma^4} \left(\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2} \right) \exp(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}) \quad (3)$$

2 非局部均值滤波算法及其改进

2.1 非局部均值滤波算法

一幅降质图像 $\varphi = \{\varphi(a) | a \in I\}$ (I 为图像坐标域)中任一噪声点 a 的非局部均值滤波结果为

$$NL[\varphi](a) = \sum_{a' \in I} W(a, a') \varphi(a') \quad (4)$$

式中: $W(a, a')$ 为权重值,用于衡量图中像素点 a' 与噪声点 a 的相似程度, $W(a, a') \in [0, 1]$ 。

记像素点 a' , a 所在的图像局部方形区域灰度矩阵分别为 $N_{a'}$, N_a , 则该 2 点的相似程度取决定 $N_{a'}$ 和 N_a 相似程度。 $N_{a'}$ 与 N_a 的相似性可由二者灰度值向量的欧氏距离确定:

$$D(a, a') = \|\varphi(N_a) - \varphi(N_{a'})\|_{2,a}^2 \quad (5)$$

式中: $\varphi(N_a)$, $\varphi(N_{a'})$ 分别为 $N_{a'}$, N_a 的灰度值向量;

α 为高斯核函数标准差, $\alpha > 0$ 。

图像中灰度值向量间的欧氏距离越小,说明二者相似度越高,在滤波时赋予较大的权重值。

$$\begin{cases} W(a, a') = \frac{1}{Z(a)} \exp[-D(a, a')/h^2] \\ Z(a) = \sum_{a'} \exp[-D(a, a')/h^2] \end{cases} \quad (6)$$

式中: h 为调节因子,用于控制权重值 $W(a, a')$ 相对于 $D(a, a')$ 的衰减程度。

2.2 改进非局部均值滤波算法

非局部均值滤波算法的不足:① 图像块一般设定为固定尺寸的方形形式,对于矿井图像中的巷道、管线、设备等信息,会将一些无关的像素点囊括至图像块中,导致所获取的图像块间相似度不高,无法获得较为理想的滤波效果;② 图像块间的相似性主要通过二者像素灰度值向量的欧氏距离进行衡量,对于图像中结构相似信息相似的区域,因其与噪声点区域的欧氏距离较大而被赋予较小的权重值,导致滤波结果不理想。本文从图像块划分及滤波权重值计算 2 个方面对非局部均值滤波算法进行改进。

2.2.1 自适应图像块划分方法

根据图像中各像素点灰度值的相似程度,设定一定的阈值,以获取相似图像块,在某种程度上实现相似像素点的动态聚类,使划分出的相似图像块不再局限于固定尺寸,而是随着像素点灰度值的实际分布情况,自适应地调整图像块的形状和尺寸。为了便于论述,将噪声图像的搜索区域尺寸简化为 7×7 ,相似图像块的提取步骤如下。

(1) 统计图像搜索区域内所有像素点的灰度值,并计算其平均值:

$$\bar{F}(i, j) = \sum_{n=1}^{49} F_n(i, j) \quad (7)$$

式中: $F_n(i, j)$ 为图像中任意区域内任意一点的灰度值。

(2) 记 $\bar{F}(i, j)$ 为阈值 θ_1 , 将区域内所有像素点灰度值与该阈值进行比较,将小于该阈值的区域像素点记为目标信息点(记为子区域 A),大于该阈值的区域像素点记为背景信息点(记为子区域 B)。

(3) 若子区域 A 中存在孤立的像素点,则保持该类像素点不变,各自作为一个图像块存在;若存在 2 个或 2 个以上的像素点聚集区,则记该类子区域为 A' ,将该类区域中像素点灰度值组成集合:

$$Q = \{F_1(i, j), F_2(i, j), \dots, F_n(i, j)\} \quad (8)$$

统计集合 Q 中所有像素点灰度值的中间值:

$$F_{\text{med}}(i, j) = \text{Med}(Q) =$$

$$\text{Med}\{F_1(i, j), F_2(i, j), \dots, F_n(i, j)\} \quad (9)$$

式中: $\text{Med}(\cdot)$ 为取中值运算。

将 $F_{\text{med}}(i, j)$ 记为阈值 θ'_1 , 进一步划分区域 A' 中的像素点。

(4) 参照步骤(3)对子区域 B 进行处理, 完成对该区域内像素点的划分。

(5) 对步骤(3)和步骤(4)划分后的图像区域中灰度值相似的图像块进行适当合并, 形成像素点集合区域。

(6) 重复步骤(1)~(5), 对整幅图像进行相似图像块划分, 获得多个形状不规则的图像块。

2.2.2 滤波权重值计算方法

非局部均值滤波算法采用相似图像块间的欧氏距离来衡量图像块间的相似程度, 即距离越小, 2 个图像块越相似, 否则相似程度小甚至不相似, 导致大量与待滤波像素点相关性较强的一些图像块无法参与滤波过程中。如果在欧氏距离准则基础上, 融入图像块间的结构信息, 势必会提高图像块间相似性衡量的准确性。结合结构相似度指标(SSIM)提出一种改进的相似图像块滤波权重值计算方法, 以提高滤波结果的准确性。SSIM 将图像中的亮度、结构、对比度等信息进行有效结合, 实现对图像质量的整体评价。图像中以像素点 a 和 a' 为中心的图像块的结构相似性可通过式(10)进行评价:

$$\text{SSIM}(a, a') = \frac{(2\sigma_{a, a'} + c_1)(2\mu_a \mu_{a'} + c_2)}{(\sigma_a^2 + \sigma_{a'}^2 + c_1)(\mu_a^2 + \mu_{a'}^2 + c_2)} \quad (10)$$

式中: σ_a^2, μ_a 分别为以像素点 a 为中心的图像块灰度方差和平均值; $\sigma_{a'}^2, \mu_{a'}$ 分别为以像素点 a' 为中心的图像块灰度方差和平均值; $\sigma_{a, a'}$ 为分别以像素点 a, a' 为中心点的图像块灰度值的协方差; c_1, c_2 为修正因子。

SSIM 对图像的评价结果区间为 $[-1, 1]$, 数值越大, 说明图像块的相近程度越大。而在经典非局部均值滤波算法中, 图像块间的欧氏距离越大, 说明二者相近程度较小。可见 2 种评价方法的单调性不一致。因此, 对 SSIM 进行适当修正, 设计了一种新的结构参数:

$$S(a, a') = 1 - |\text{SSIM}(a, a')| \quad (11)$$

由式(11)可知, $S(a, a')$ 值越小, 则图像块间相近程度越高, 且此时 $S(a, a') \in [0, 1]$ 与式(5)的单调性保持一致。在此基础上, 将式(5)与式(11)相乘, 得

$$D(a, a')' = (1 - |\text{SSIM}(a, a')|) \times$$

$$\|\varphi(\mathbf{N}_a) - \varphi(\mathbf{N}_{a'})\|_{2, a}^2 \quad (12)$$

将式(12)代入式(6), 得到改进的非局部均值滤波算法的权重计算公式:

$$\begin{cases} W(a, a') = \frac{1}{Z(a)} \exp\{-[S'(a, a')D(a, a')]/h^2\} \\ Z(a) = \sum_{a'} \exp\{-[S(a, a')D(a, a')]/h^2\} \end{cases} \quad (13)$$

3 实验结果及分析

现场采集某煤矿井下 2 幅视频监控图像作为实验数据, 对本文算法的性能进行测试。分别采用中值滤波算法、均值滤波算法、采用固定尺寸相似图像块和欧氏距离判别准则的经典非局部均值滤波算法(算法 1)、基于本文提出的图像块划分方法获取的自适应图像块与欧氏距离判别准则的算法(算法 2)以及本文算法对图像进行处理, 结果如图 1、图 2 所示。对实验结果采用峰值信噪比(Peak Signal Noise to Ratio, PSNR)指标^[11]进行评估, 结果见表 1。

添加了强度为 15% 的随机噪声后的图像如图 1(b)、图 2(b)所示。图 1(c)、图 2(c)为采用中值滤波算法(3×3 滤波窗口)处理后的图像, 其清晰度相对于噪声图像有一定程度的改善, 但整体上模糊程度较严重, 与图 1(d)、图 2(d)均值滤波算法处理结果较为接近, 说明中值滤波算法和均值滤波算法对于该类图像处理效果不佳。2 种非局部均值滤波算法处理结果如图 1(e)、图 1(f)和图 2(e)、图 2(f)所示, 可看出图像清晰度优于中值滤波算法和均值滤波算法的处理结果, 但算法 2 的处理结果却劣于算法 1, 原因是尽管对图像中的各类信息进行了自适应划分, 但如果仍将图像块间的欧氏距离作为唯一的相似度判别准则, 则与待滤波点所在的图像块结构信息差异较大的图像块也会参与到滤波过程中, 无助于提高去噪效果。采用本文算法处理后的图像如图 1(g)、图 2(g)所示, 可看出图像清晰度在 5 类算法中最优, 图像中基本不存在残留噪声, 相对于原始图像, 其视觉效果也得到了很大提升。

由表 1 可知, 当图像中叠加强度为 5% 的随机噪声时, 本文算法的 PSNR 值略小于非局部均值滤波算法 1, 说明本文算法对于含有低强度噪声的图像容易出现过滤波现象, 即将图像中部分有用信息当作噪声滤除。而随着图像中叠加噪声强度的增大, 本文算法的优势则显现出来, 特别是噪声强度达

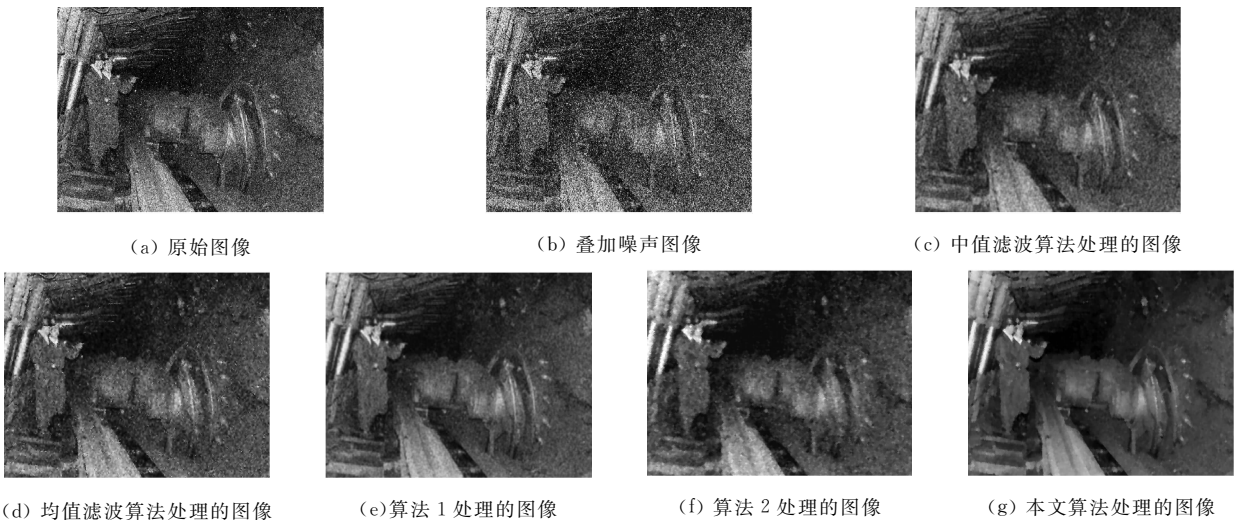


图 1 第 1 幅图像实验结果

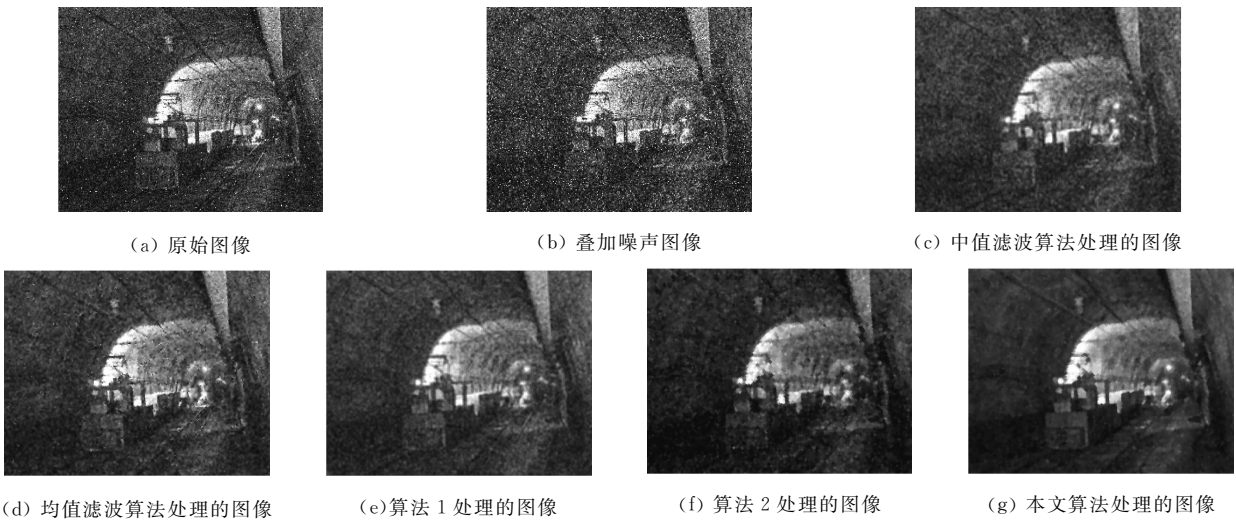


图 2 第 2 幅图像实验结果

表 1 实验结果的 PSNR 值

测试 图像	叠加噪 声强度/ %	PSNR				
		中值 滤波 算法	均值 滤波 算法	非局部均值 滤波算法		本文 算法
				算法 1	算法 2	
第 1 幅 图像	5	24.901	25.108	26.390	25.329	26.009
	10	22.039	23.878	24.691	23.601	25.689
	15	19.770	20.014	21.785	20.477	25.178
第 2 幅 图像	5	23.663	24.213	25.518	24.138	25.289
	10	21.308	22.118	23.440	22.497	25.004
	15	18.992	19.027	20.312	19.083	24.766

到 15% 时,本文算法的 PSNR 值远大于其余 4 种算法。

4 结语

提出了一种针对煤矿视频监控图像的改进非局部均值滤波算法,首先采用 Log 边缘检测算子对图像进行边缘提取,获得边缘和非边缘图像;对于非边缘图像采用改进非局部均值滤波算法进行处理,从而获得高质量的非边缘图像;最后将滤波后的非边缘图像与边缘图像进行融合,获得最终的高清晰度图像。相关测试结果证明了该算法的有效性,对于煤矿视频监控图像的处理具有一定的借鉴价值。

参考文献：

[1] 赵艳芹,王振翀,付喜辉. 基于煤矿视频监控系统的图像增强方法研究[J]. 煤矿机械,2012,33(5):63-65.

[2] 孙继平,田子建. 矿井图像监视系统与关键技术[J]. 煤炭科学技术,2014,42(1):65-68.

[3] 王震威,冯瑾,卢兆林. 基于耦合偏微分方程的煤矿图像去噪算法[J]. 工矿自动化,2013,39(10):81-85.

[4] 张谢华,张申,方帅,等. 煤矿智能视频监控中雾尘图像的清晰化研究[J]. 煤炭学报,2014,39(1):198-204.

[5] 冯卫兵,胡俊梅,曹根牛. 基于改进的简化脉冲耦合神经网络的煤矿井下图像去噪方法[J]. 工矿自动化,2014,40(5):54-58.

[6] 孙继平,江静. 基于 PURE-LET 的激光光斑图像快速去噪算法[J]. 煤炭学报,2013,38(9):1710-1714.

[7] 张权,罗立民,桂志国,等. 一种基于优化参数的非局部均值滤波算法[J]. 计算机应用与软件,2012,29(3):87-81.

[8] 易子麟,尹东,胡安洲,等. 基于非局部均值滤波的 SAR 图像去噪[J]. 电子与信息学报,2012,34(4):950-955.

[9] 陈银平,涂碧海,张毅,等. 改进型 LOG 算子在偏振片绝对角度中的应用[J]. 计算机技术与发展,2014,24(5):164-167.

[10] 董雪,林志贤,郭太良. 基于 LoG 算子改进的自适应阈值小波去噪算法[J]. 液晶与显示,2014,29(2):275-280.

[11] 王小兵,孙久运,汤海燕. 基于小波变换的图像混合噪声自适应滤波算法[J]. 微电子学与计算机,2012,29(6):91-95.