

文章编号:1671-251X(2017)02-0049-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.02.011

刘晓阳,乔通,乔智.基于双边滤波和Retinex算法的矿井图像增强方法[J].工矿自动化,2017,43(2):49-54.

基于双边滤波和 Retinex 算法的矿井图像增强方法

刘晓阳, 乔通, 乔智

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院,北京 100083)

摘要:针对常用的双边滤波算法易造成图像细节丢失及 Retinex 算法在光照变化剧烈时易出现光晕伪影现象等缺点,提出了一种基于双边滤波和多尺度 Retinex 算法的图像增强方法。该方法首先对图像进行小波分解,获得图像高频和低频系数;然后采用多尺度 Retinex 算法和双边滤波结合的方案对图像低频系数进行处理,采用软阈值滤波算法对图像高频系数进行处理;最后通过离散小波反变换得到增强后的空域图像,并对其局部对比度进行自适应增强处理。实验结果表明,该方法可以有效改善图像颜色失真情况,细节丰富,对比度强,为图像后续的特征提取奠定了基础。

关键词:煤矿安全;图像识别;图像增强处理;小波分解;双边滤波;软阈值滤波;Retinex

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:2017-01-22 10:34

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170122.1034.011.html>

Image enhancement method of mine based on bilateral filtering and Retinex algorithm

LIU Xiaoyang, QIAO Tong, QIAO Zhi

(School of Mechanical Electronic and Information Engineering, China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract:In view of defects that common bilateral filtering algorithm is easy to loss image details and Retinex algorithm is easy to appear phenomenon of halo artifacts when light and darkness changes violently, an image enhancement method based on bilateral filtering and multi-scale Retinex algorithm was proposed. Firstly, the image is decomposed to obtain high frequency and low frequency coefficients; then, the low frequency coefficients of the image are processed by the multi scale Rentinex algorithm and the bilateral filtering scheme, and the high frequency coefficients of the image are processed by soft threshold filtering algorithm; finally, the enhanced spatial domain image is obtained by discrete wavelet inverse transform, and the local contrast is enhanced by adaptive enhancement. The experimental results show that the method can effectively improve the image color distortion with rich details and strong contrast, which lays the foundation for the subsequent features extraction.

Key words:coal mine safety; image recognition; image enhancement process; wavelet decomposition; bilateral filtering; soft threshold filtering; Retinex

0 引言

随着矿井宽带传输系统和数字图像采集设备的不断普及,利用图像进行矿井安全监控已是热点研

究方向。利用图像技术进行安全监控具有传统安全监控技术无法比拟的优势,但是煤矿井下光照不均匀,粉尘浓度大,光照度低,易导致矿井中采集到的图像存在模糊、细节不清、整体偏暗等缺点^[1],不利

收稿日期:2016-09-13;修回日期:2016-11-14;责任编辑:张强。

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0801800);国家自然科学基金资助重点项目(51134024);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2009KJ03)。

作者简介:刘晓阳(1968—),女,山西临汾人,副教授,博士,现主要从事矿井监控与通信方面的研究工作,E-mail:liuxy1225@163.com。

于视觉观察和识别特征的提取,给矿井图像技术的应用带来了很多的困扰。

现有的矿井图像增强^[2]方法主要有 3 种:一是直方图均衡化方法,直接增强图像对比度;二是基于人体视觉的 Retinex 算法^[3-4];三是高斯滤波、双边滤波^[5-7]方法,该方法可以对图像进行滤波去噪。直方图均衡化方法可以提升矿井图像对比度,但其对有效信息无法做到有针对性的处理,容易放大噪声,使图像失真严重。Retinex 算法可以保持物体颜色恒常性,但在光照不均匀情况下图像容易出现光晕,导致图像模糊。双边滤波方法可以较好地去除矿井中粉尘、水汽等导致的图像噪声,但同时会使图像丢失大量细节,不利于特征提取。

针对上述方法存在的缺点,本文在小波变换^[8-9]基础上,提出了一种基于双边滤波和多尺度 Retinex 算法的矿井图像增强方法,克服了 Retinex 算法易产生光晕及双边滤波方法易造成细节丢失等缺点,使处理后的矿井图像边缘细节清晰,对比度强且易于辨识。

1 图像增强方法

基于双边滤波和多尺度 Retinex 算法的图像增强方法具体步骤如下:

- (1) 将图像进行小波分解,获得图像高频和低频系数。
- (2) 采用基于双边滤波改进的多尺度 Retinex 算法对图像低频系数进行处理。
- (3) 采用软阈值滤波算法对图像高频部分进行处理。
- (4) 通过离散小波反变换公式进行小波重构,得到增强后的空域图像。
- (5) 对增强后的空域图像进行局部自适应对比度增强处理。

图像增强方法的具体流程如图 1 所示。

1.1 小波分解与重构

小波变换是对信号进行时频处理的有效工具。依据二维离散小波分解公式^[10]对图像进行小波分解,得到图像低频系数和不同尺度的高频系数。低频系数包含图像的轮廓信息,高频系数包含图像不同维度边缘、细节及噪声等信息。

二维离散小波分解公式如下:

$$W_{\varphi}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) \quad (1)$$

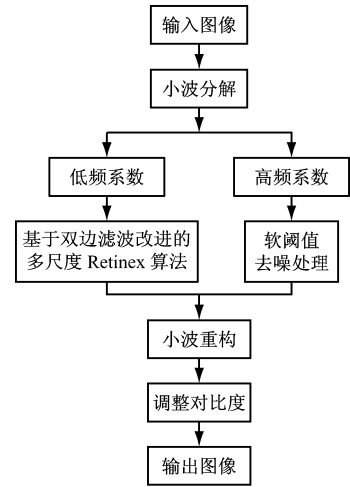


图 1 图像增强方法具体流程

$$W_{\psi}^i(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi^i(x, y) \quad (2)$$

$$i = \{H, V, D\}$$

小波重构公式:

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_m \sum_n W_{\varphi}(j_0, m, n) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) + \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{i=H, V, D} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_m \sum_n W_{\psi}^i(j, m, n) \times \psi_{j, m, n}^i(x, y) \quad (3)$$

式中: $W_{\varphi}(j_0, m, n)$ 为低频系数, j_0 为初始层数, m 与 n 为相对 (x, y) 点的偏移量; x 和 y 为空间坐标; $f(x, y)$ 为图像像素的灰度值; M 与 N 表示图像由 $M \times N$ 个像素组成; $\varphi_{j_0, m, n}(x, y)$ 为二维尺度函数; i 为假定值 H, V 和 D 的上标, 代表列方向、行方向、对角线方向; j 为小波分解层数; $W_{\psi}^i(j, m, n)$ 为高频系数; $\psi_{j, m, n}^i(x, y)$ 为对应方向的小波函数。

1.2 小波低频系数处理

根据 Retinex 理论可知, 图像由入射图像 $L(x, y)$ 和反射图像 $R(x, y)$ 形成, 入射光照到反射物体上, 形成反射光反射到人眼, 人眼看到的图像 $S(x, y)$ 的表达式为

$$S(x, y) = R(x, y)L(x, y) \quad (4)$$

近年来, Retinex 算法有了很多研究成果, 从单尺度 Retinex 算法 (Single Scale Retinex, SSR) 改进成多尺度加权平均的 Retinex 算法 (Multi-scale Retinex, MSR), 再发展成彩色恢复多尺度 Retinex 算法 (Multi-scale Retinex with Color Restoration, MSRCR)。MSR 算法是从 SSR 算法发展而来的, 可以保持图像高保真度, 压缩动态范围。但采用 MSR 算法容易出现光晕、过增强等问题, 而使用双边滤波作为中心环绕函数可有效改善这种情况, 并且双边

滤波有良好的边缘保持特性,可增强图像细节。

双边滤波应用十分广泛,它同时考虑了像素空间强度的差异,具有良好的边缘保持特性^[11],其权重系数表达式为

$$G(x, y) = \exp \left[-\frac{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2}{2\sigma_s^2} \right] \times \exp \left[-\frac{(f(x, y) - f(x_c, y_c))^2}{2\sigma_r^2} \right] \quad (5)$$

式中:\$(x_c, y_c)\$为图像中心点位置;\$(f(x_c, y_c))\$为图像中心点像素灰度值;\$\sigma_s\$为空域高斯函数的标准差;\$\sigma_r\$为值域高斯函数的标准差。

使用双边滤波代替高斯滤波作为 MSR 算法中心环绕函数,可以保持图像边缘特性,消除光晕现象。

基于双边滤波理论的多尺度 Retinex 算法公式为

$$r(x, y) = \log_2 R(x, y) = \log_2 S(x, y) - \log_2 L(x, y) \quad (6)$$

$$r(x, y) = \sum_{i=0}^K w_i \{ \log_2 S(x, y) - \log_2 [G_i(x, y) S(x, y)] \} \quad (7)$$

式中:\$K\$为权重的个数;\$w_i\$为对应第\$i\$个尺度的权重;\$G_i(x, y)\$为采用双边滤波算法的中心环绕函数。

对式(7)进行反对数变换,得到反射图像\$R(x, y)\$。

1.3 小波高频系数软阈值滤波处理

小波高频系数包含了图像噪声、边缘及细节等信息,通过对高频系数进行阈值滤波,可有效去除噪声。

常见的阈值滤波方法有硬阈值滤波、软阈值滤波和半阈值滤波方法^[12-13]。硬阈值滤波方法对边缘细节保持最好,但容易振铃,引起视觉失真;软阈值滤波方法细节保持相对平滑,可改善失真现象;半阈值滤波方法在细节平滑处效果最好,但需确定2个阈值,计算量较大。综合考虑,本文采用软阈值滤波方法,其表达式如下:

$$Y = \begin{cases} \text{sign}(X)(|X| - T) & |X| > T \\ X & |X| \leq T \end{cases} \quad (8)$$

式中:\$Y\$为处理后的高频系数;\$X\$为高频系数;\$T\$为阈值,\$T = \sqrt{2 \log_2(l) \delta}\$,\$l\$为信号长度,\$\delta\$为噪声方差。

1.4 自适应对比度调整

由于煤矿井下光线弱且光照不均匀,所以要对矿井图像进行对比度增强处理。常见的处理方法有直方图均衡化^[14]、局部对比度增强^[15]等。但用传统

方法进行对比度调整时局部处理效果一般,故本文提出一种根据局部方差变化自动调整图像对比度的方法。

自适应对比度调整公式如下:

$$g(x, y) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \{ b(x, y) + \ln \{ [\eta \sigma^2(x) + 1] \times [f(x, y) - b(x, y)] \} \} \quad (9)$$

式中:\$g(x, y)\$为输出图像强度;\$k\$为增益系数的个数;\$b(x, y)\$为局部均值;\$\eta\$为增益系数;\$\sigma^2(x)\$为局部方差。

2 实验结果及分析

为验证基于双边滤波和多尺度 Retinex 算法的图像增强方法的有效性,在 Matlab 2014a 平台上用本文算法、经典直方图均衡化、MSR、双边滤波等算法对煤矿图像进行增强处理,并从主观效果和客观评价两方面对各种算法进行分析。实验图像大小为\$500 \times 375\$。各种算法参数设置:权重\$w_i\$均取值为\$1/3\$;\$K\$取3;值域高斯函数的标准差为\$\sigma_{r1}=1, \sigma_{r2}=5, \sigma_{r3}=10\$;空域高斯函数的标准差为\$\sigma_{s1}=15, \sigma_{s2}=80, \sigma_{s3}=250\$;\$\eta_i\$分别为0.1, 1, 10。实验结果分别如图2和图4所示,其相对应的灰度直方图如图3和图5所示。

通过上述4组图片不难发现,矿井原始图像存在亮度低、对比度差及噪声多等缺点,不利于特征提取和图像识别,经过直方图均衡化处理,虽然可以提高图像亮度,但是却导致图像颜色与原图出现巨大差异,严重失真。经双边滤波处理的图像很好地去除了图片噪声,但同时丢失了细节,处理效果一般。经 MSR 算法处理得到的图像对比度和细节表现很好,但光照变化处模糊且图像整体偏暗。经本文算法处理后的图像细节清晰,对比度好,便于提取特征和图像识别。

最后使用图像评价指标如对比度、信息熵、亮度均值、清晰度和峰值信噪比等指标来评价图像处理的效果。对比度可以很好地表现出图像的灰度层次,其表达式为

$$c = \sum \delta(i, j)^2 P(i, j) \quad (10)$$

式中:\$\delta(i, j)\$为相邻两像素间灰度差;\$P(i, j)\$为灰度差为\$\delta(i, j)\$的概率。

亮度表现了图像的明暗程度,其表达式为

$$a = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m g(i, j)}{mn} \quad (11)$$

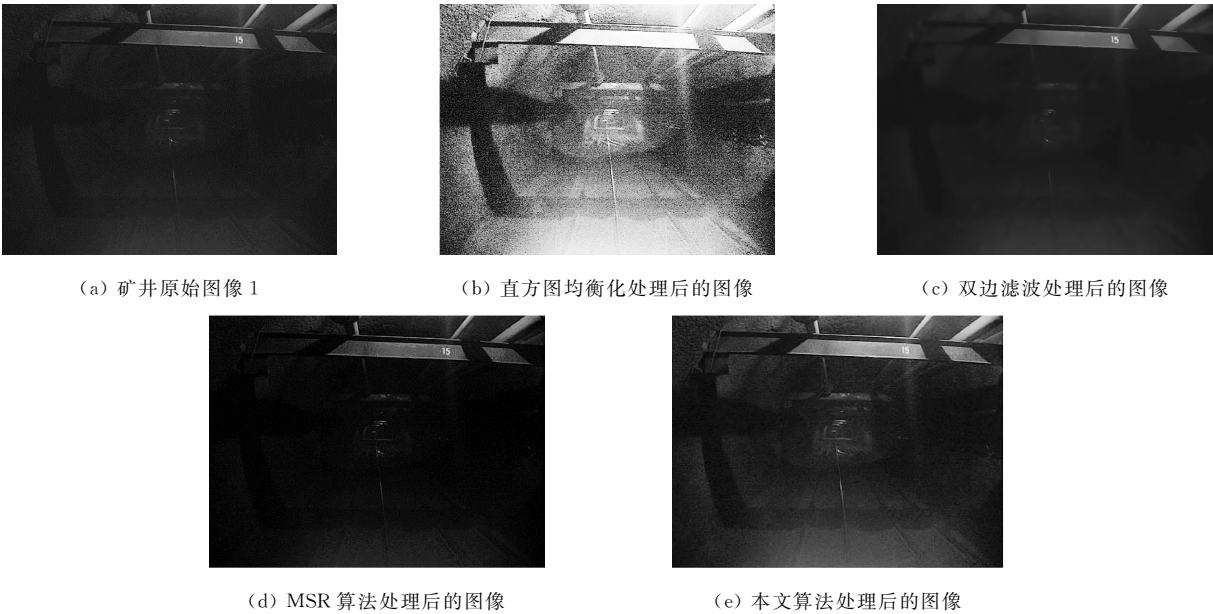


图 2 各种算法对矿井原始图像 1 的增强处理效果

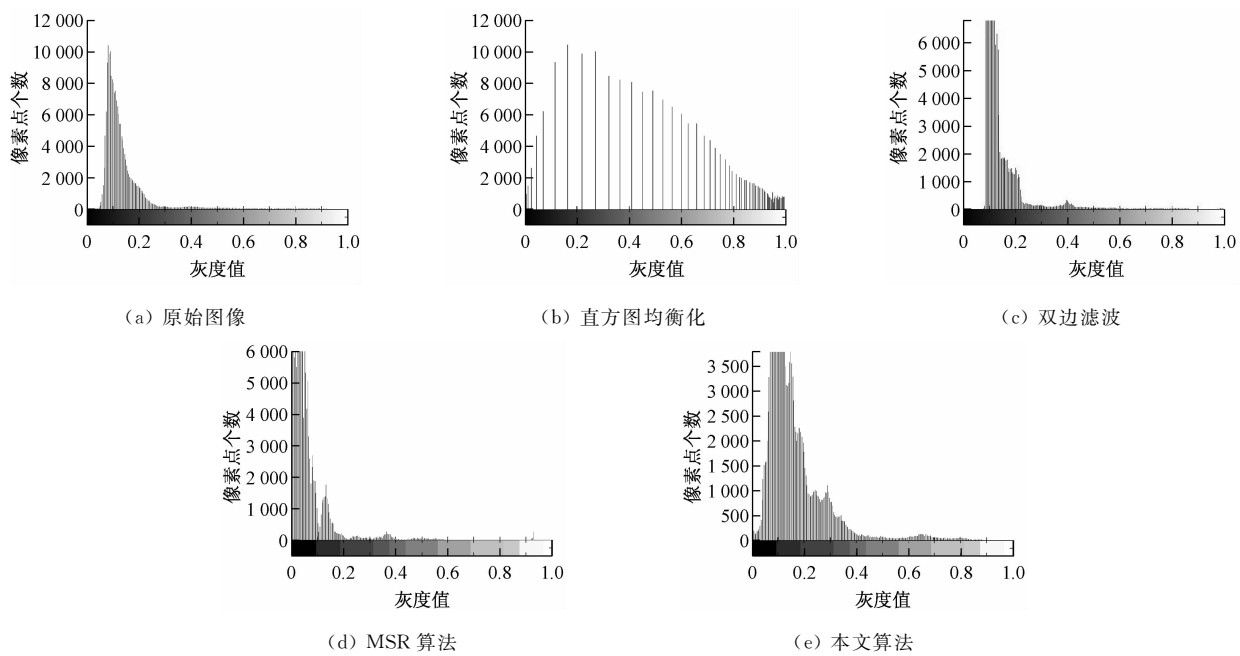


图 3 各种算法对矿井原始图像 1 的增强处理效果直方图

式中 $g(i, j)$ 为坐标 (i, j) 处的像素值。

信息熵用来表示图像的信息量多少,其表达式为

$$H(p) = - \sum_{i=0}^{255} p_i \log_2 p_i \quad (12)$$

式中 p_i 为第 i 个灰度级出现的概率。

本文中清晰度指标是根据图像灰度梯度边缘检测算法实现的,其数值越大,说明图像细节越丰富,相邻像素灰度值差越大。峰值信噪比反映增强后的图像失真程度,值越大失真程度越低。各种算法对

图 2(a) 的处理结果见表 1。各种算法对图 4(a) 的处理结果见表 2。

从表 1 和表 2 可以看出,直方图均衡化方法的显著优点是提升了图像的整体亮度,但从信噪比及信息熵可发现图像严重失真,视觉效果很差。双边滤波算法在图像对比度、信息熵提升等方面都表现良好,且从信噪比可看出较好的保真效果,但其清晰度很低,存在细节丢失的情况。MSR 算法可以有效消除光照不均带来的影响,提高信息熵与对比度,但处理后图像亮度降低,不利于观察。本文算法对图

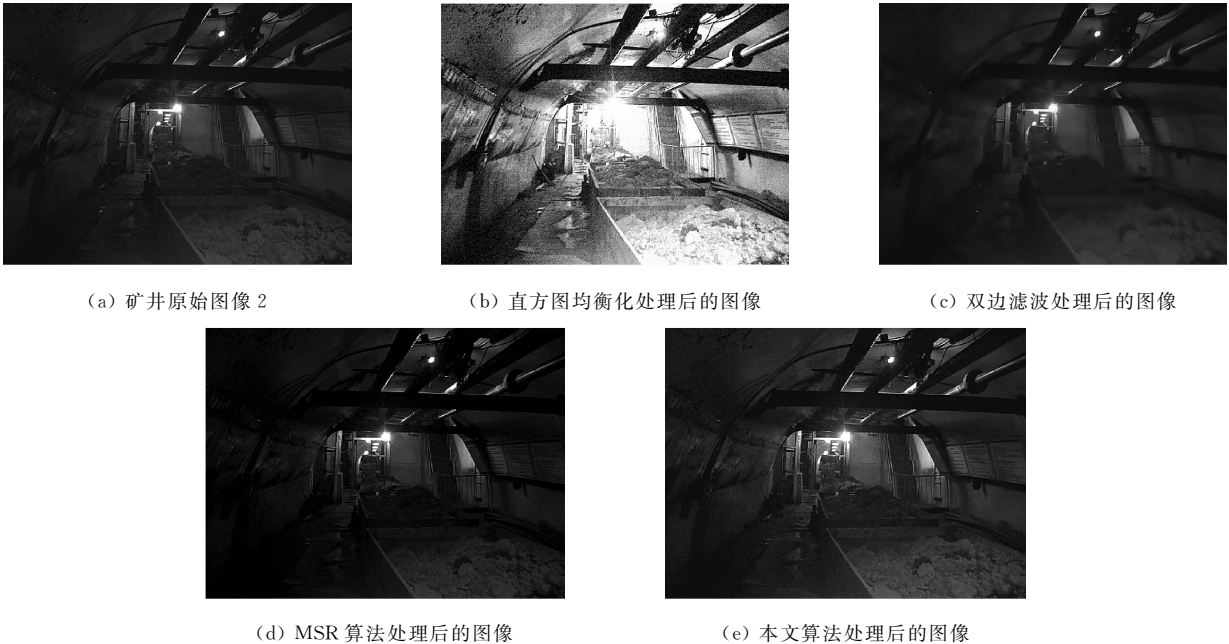


图4 各种算法对矿井原始图像2的增强处理效果

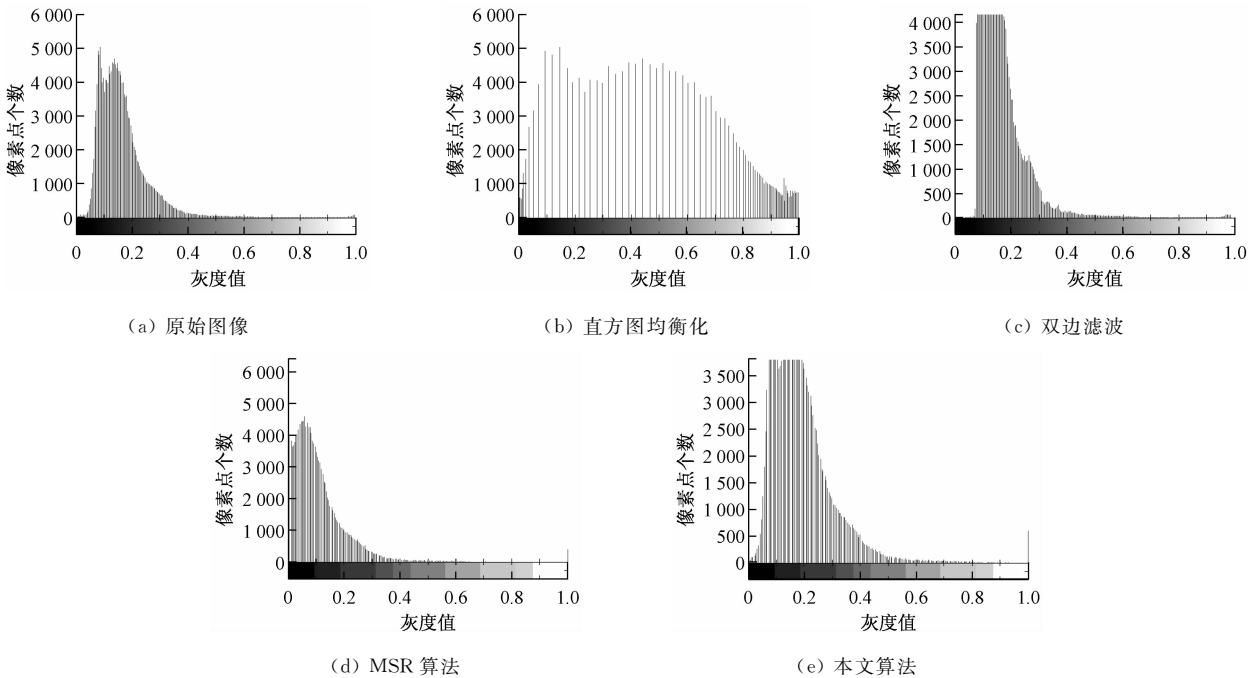


图5 各种算法对矿井原始图像2的增强处理效果直方图

表1 各种算法对图2(a)的处理结果

处理方法	信息熵	亮度	对比度	清晰度	信噪比
原图	2.504 6	33.803 5	41.733 4	19.183 5	0
直方图均衡化	5.333 1	127.638 2	50.230 4	196.056 0	6.528 1
双边滤波	4.869 4	32.834 5	16.562 3	6.095 4	35.480 2
MSR	5.126 5	14.675 4	131.569 9	26.268 2	21.857 8
本文算法	6.363 4	52.192 1	144.312 5	34.477 2	24.279 0

表 2 各种算法对图 4(a)的处理结果

处理方法	信息熵	亮度	对比度	清晰度	信噪比
原图	2.504 6	42.617 6	128.314 2	39.483 2	0
直方图均衡化	3.359 8	117.651 0	55.346 1	387.216 6	6.923 9
双边滤波	6.004 7	42.450 0	166.100 8	15.828 3	24.645 3
MSR	5.561 6	23.671 9	215.779 5	37.292 2	21.928 0
本文算法	6.200 0	49.313 4	288.722 2	46.064 7	26.482 0

像亮度、对比度、清晰度都有很好的增强效果,信噪比很高且图像细节清晰,不失真,综合优化效果最好。

3 结语

基于双边滤波和 Retinex 算法的矿井图像增强方法有效改善了 Retinex 算法易产生光晕伪影现象和双边滤波丢失细节的缺陷。该方法首先通过对图像进行小波分解得到高频细节系数与低频近似系数,然后对低频系数进行基于双边滤波的 MSR 算法处理,以消除光照不均匀的影响,对高频系数进行软阈值滤波去噪,最后通过自适应对比度调整方法,使图像层次感增强。主观效果和客观评价结果表明,该方法可以有效去除图像噪声,克服了光照不均匀产生的颜色失真影响,提高了图像识别度,图像细节丰富、对比度强。

参考文献:

[1] 赵谦,王奕婷,曾召华,等.一种矿井巷道图像边缘检测算法[J].工矿自动化,2013,39(2):71-75.

[2] 夏海波.基于 Visual C++的图像增强和轮廓提取研究[J].工矿自动化,2011,37(3):44-47.

[3] 汪荣贵,朱静,杨万挺,等.基于照度分割的局部多尺度 Retinex 算法[J].电子学报,2010,38(5):1181-1186.

[4] 黄黎红.一种基于单尺度 Retinex 的雾天降质图像增强新算法[J].应用光学,2010,31(5):728-733.

[5] PARIS S, DURAND F. A fast approximation of the bilateral filter using a signal processing approach[J].

International Journal of Computer Vision, 2009, 81(1):24-52.

[6] 孙抗,汪渤,周志强,等.基于双边滤波的实时图像去雾技术研究[J].北京理工大学学报,2011,31(7):810-813.

[7] 陈晓明,蒋乐天,应忍冬.基于 Kinect 深度信息的实时三维重建和滤波算法研究[J].计算机应用研究,2013,30(4):1216-1218.

[8] 尹士畅,喻松林.基于小波变换和直方图均衡的红外图像增强[J].激光与红外,2013,43(2):225-228.

[9] 王剑平,张捷.小波变换在数字图像处理中的应用[J].现代电子技术,2011,34(1):91-94.

[10] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理 [M]. 3 版.阮秋琦,阮宇智,译.北京:电子工业出版社,2011:317-318.

[11] ZHANG Y, WANG X, PENG L. Text based bilateral filter for color image edge preserving[C]//IEEE International Conference on Broadband Network & Multimedia Technology, 2013:49-52.

[12] 陈晓曦,王延杰,刘恋.小波阈值去噪法的深入研究[J].激光与红外,2012,42(1):105-110.

[13] 王拴中,朱玉田.改进小波阈值去噪法的对比性仿真实验与分析[J].噪声与振动控制,2012,32(1):128-132.

[14] 李锦,王俊平,万国挺,等.一种结合直方图均衡化和 MSRCR 的图像增强新算法[J].西安电子科技大学学报,2014,41(3):103-109.

[15] 马银平,江伟.基于局部均值和标准差的图像增强算法[J].计算机工程,2009,35(22):205-206.