

王焱,关南楠,刘海涛.改进的多尺度 Retinex 井下图像增强算法[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2016,35(4):440-443.  
doi:10.11956/j.issn.1008-0562.2016.04.020

WANG Yan, GUAN Nannan, LIU Haitao[J].Journal of Liaoning Technical University(Natural Science),2016,35(4):440-443.  
doi:10.11956/j.issn.1008-0562.2016.04.020

# 改进的多尺度 Retinex 井下图像增强算法

王 焱, 关南楠, 刘海涛

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

**摘 要:** 为解决煤矿井下图像质量差、图像清晰度差、可分辨率低、模糊等问题, 针对多尺度 Retinex 增强算法存在的不足, 提出一种改进的基于 S 曲线函数的多尺度 Retinex 图像增强算法, 该 S 曲线函数不同于基本的 sig 函数, 函数图像具有 S 形状, 为不对称函数. 研究表明: 应用改进后的算法, 处理后的图像在有效增强目标图像的同时也抑制了背景噪声, 图像的对比度与质量得到提高, 能够获得目标区域的最佳视觉效果.

**关键词:** 煤矿井下; 图像增强; Retinex 理论; 多尺度 Retinex 算法; S 曲线函数

中图分类号: TP 391

文献标志码: A

文章编号: 1008-0562(2016)04-0440-04

## An improved multi- scale Retinex algorithm for mine image enhancement

WANG Yan, GUAN Nannan, LIU Haitao

(Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

**Abstract:** To solve the problems of images in coal mine, such as the poor underground image quality, low resolution, blurred and indistinct. According to the defects of the multi- scale Retinex enhancement algorithm, An improved algorithm for multi- scale Retinex image enhancement based on S curve function is proposed, The S curve function is different from the basic sig function, which has the S shape, and non symmetry. The experimental results show that the improved algorithm can enhance the target image, restrain the background noise, improve the quality and the contrast of the original image, and get the best visual effects of the target zone.

**Key words:** coal mine; image enhancement; Retinex theory; MSR; S curve function

## 0 引言

井下环境存在空间狭窄、潮湿、风大、煤尘多、空气污浊、全天候人工照明等特点, 致使井下图像存在照度低、对比度低、成像不均、缺乏色彩信息、灰度范围窄、细节模糊不清、信噪比较低等缺点<sup>[1]</sup>.

煤矿生产中, 有必要对图像进行一定的增强处理, 以此来提高图像的视觉效果, 同时提升后续图像处理工作的准确度. 图像增强的传统方法有灰度变换法和直方图均衡化法等, 但是, 这两种方法在处理过程中会放大噪声, 导致目标图像模糊不清. 为此研究设计了针对煤矿井下图像特点的图像预处理方法. 该方法将多尺度 Retinex 方法与 S 曲线函数相结

合, 利用 S 曲线的特点, 实现对图像对比度的非线性增强. 实验结果显示, 该方法能够很好地保护图像的细节信息, 提高井下图像的质量, 使之能够达到较好的视觉效果<sup>[2]</sup>.

## 1 Retinex 理论

Retinex 算法的本质是补偿由于光照强度不均以及光照变化而引起的图像降质的不足, 并对感兴趣的目标图像进行有效地增强<sup>[3]</sup>. Retinex 理论在单尺度 Retinex 算法 (SSR) 基础上又发展了多尺度 Retinex 算法 (MSR) 等. 根据 Retinex 理论, 人眼感知到的物体图像信息  $I(x,y)$  可以分成两部分

收稿日期: 2015-05-12

作者简介: 王焱 (1970-), 女, 江苏 无锡人, 博士, 教授, 主要从事图像识别、模式识别、信息融合等方面的研究.

通讯作者: 关南楠 (1990-), 女, 辽宁 沈阳人, 硕士研究生, 主要从事图像处理方面的研究. 本文编辑: 朱艳华

辽宁工程技术大学 (自然科学版) 网址: <http://202.199.224.158/> <http://xuebao.lntu.edu.cn/>

$$I(x, y) = L(x, y) \cdot R(x, y), \quad (1)$$

式中,  $I(x, y)$  为人眼或传感器接收到的亮度分量  $L(x, y)$  为反应周围环境对物体造成干扰的入射分量 (又称照射分量), 表征物体表面的变化平缓, 甚至是没有变化 (低频);  $R(x, y)$  为反应目标物体本质属性的反射亮度分量, 表征的是物体表面发生的剧烈变化. 从原始图像  $I$  中分离出照度分量  $L$ , 得到反射性质  $R$ . 将式 (1) 变形, 得

$$\log R = \log I - \log L. \quad (2)$$

由于高斯函数  $G(x, y)$  具有低通滤波的性质, 不仅可以对低频的照射分量  $L(x, y)$  进行估计, 与此同时还可以去除高频噪声<sup>[4]</sup>, 即

$$L(x, y) = I(x, y) \cdot G(x, y), \quad (3)$$

式中, 二维高斯函数形式为

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\pi\sigma^2}}. \quad (4)$$

该函数只有一个变量  $\sigma$ ,  $\sigma$  越大高斯滤波函数越平坦, 卷积后的结果越光滑, 颜色越自然, 色彩保真度较高, 见图 1 (图 1 中, 曲线 1 中  $\sigma_1=0.5$ ; 曲线 2 中  $\sigma_2=1.0$ ; 曲线 3 中  $\sigma_3=1.5$ ). 因此, 选择合适的尺度参数能够平衡动态范围压缩和颜色保真之间的矛盾.

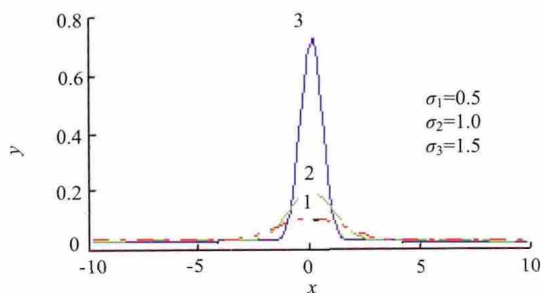


图 1 不同尺度参数的高斯函数

Fig.1 different S scale parameter of gaussian function

多尺度 Retinex 是对单尺度 Retinex 的发展和延伸, 其本质是将多个不同尺度参数的 SSR 图像处理算法的优势, 通过加权的方式综合起来, 从而提高处理的适应能力以及处理的效果<sup>[5]</sup>, 即

$$R(x, y) = \sum_{n=1}^N \omega_n [\alpha_i - \beta_{n,i}]; \quad (5)$$

$$\alpha_i = \log I_i(x, y);$$

$$\beta_{n,i} = \log[G_n(x, y) \cdot I_i(x, y)],$$

式中,  $I_i(x, y)$  为原始输入图像中第  $i$  个波段的灰度图像;  $\omega_n$  为对应第  $n$  个尺度的权重因子, 且通常取  $\omega_n=1/3$ ,  $n=1, 2, 3$ .

## 2 本文算法

MSR 算法处理后的图像仍存在图像过增强, 整体亮度偏高, 局部对比度下降、灰暗等问题, 仍不能达到理想的视觉效果. 且 MSR 处理过的彩色图像在增强过程中, 中间部分的灰度值不能被准确地加以区分, 出现光晕<sup>[6]</sup>.

采用非线性“S”函数对  $\sigma$  进行修正, 能够对原图像中较暗的区域在较大程度上进行增强, 对中间亮度区域的增强稍次之, 而对于原本较亮的区域在很小的程度上进行增强, 甚至是削弱亮度, 更符合实际应用的需求<sup>[7]</sup>.

本文中“S”函数采用修正的 Sigmoid 函数<sup>[8]</sup>:

$$f(\sigma) = \frac{g\sigma}{\sigma + e^{-a\sigma+c}},$$

式中, 参数  $a$ 、参数  $c$  共同决定了曲线的位置, 曲线 1、曲线 2、曲线 3 的参数<sup>[8]</sup>分别为  $(-0.09, 3)$ 、 $(-0.06, 9)$ 、 $(-0.02, 9)$ .

图 2 为不同参数的“S 曲线”函数. 图 2 中曲线不以拐点对称, 灵活性好, 可对不同区间的灰度值进行放大, 以提高对比度.

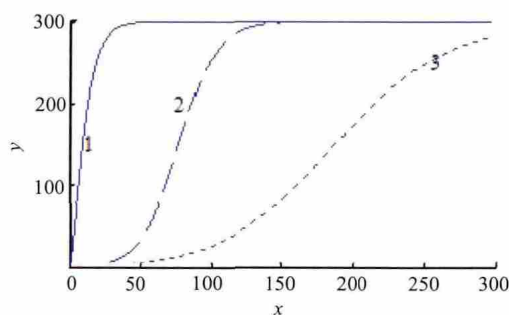


图 2 不同参数的“S 曲线”函数

Fig.2 different parameters of “S curve” function in matlab

利用“S”曲线来依次调整  $G(x, y)$  中的尺度参数  $\sigma$ , 并以  $\omega_j$  来确定大、中、小度参数下所估计出的照度分量的加权系数, 改进后的 MSR 法表示为

$$R(x, y) = \sum_{n=1}^N W_n \{\log I_i(x, y) - \omega_j \log[G_n(x, y) \cdot I_i(x, y)]\}, \quad (6)$$

式中,  $R_i(x, y)$  为改进后 MSR 的输出;  $W_n$  为对应第  $N$  个尺度的权重因子, 且  $\sum_{n=1}^N W_n = 1$ ;  $I_i(x, y)$  为原始输

入图像中第  $i$  个波灰度图像;  $\omega_j$  为大、中、小尺度亮度图像加权系数,  $\omega_j \in (0,1)$  ( $j=1,2,3$ ) 且  $\sum_{n=1}^N \omega_j \geq 1$ , 式中,  $j$  分别表示大、中、小尺度。

设原图像为  $I(x,y)$ , 二维高斯函数为  $G(x,y)$ , 其标准差为  $\sigma$ , 算法的具体步骤如下:

(1) 照度估计, 应用式 (3) 获得照度分量  $L(x,y)$ ;

(2) 获取反射分量, 利用式 (6) 得到实数域的反射分量  $R(x,y)$ ;

(3) 利用 S 曲线传递函数改变不同  $\sigma$  下的权重值  $\omega_j$ ;

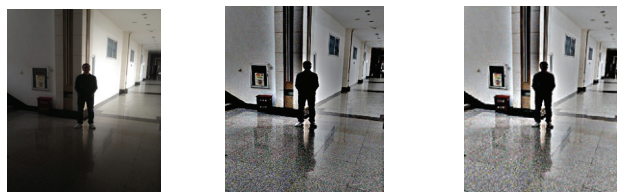
(4) 采用修正的权重  $\omega_j$  和尺度参数  $\sigma$ , 运算得到的反射分量相叠加, 得到反射分量  $R$ ;

(5) 输出图像。

能够实现对图像亮度的平滑处理, 凸出了图中过亮、过暗区域的细节信息。处理结果在高保真度的前提下, 提高了亮度, 消除了光晕, 且整体效果比较均衡。

### 3 实验及结果

实验中对图像分别进行 MSR 和基于 S 曲线的 MSR 处理, 结果见图 3。



(a) 原图 (b) MSR 算法 (c) “S” 曲线 MSR 算法

图 3 低照度图像试验结果对比

Fig.3 contrast of experimental results of low illumination image

由图 3 可知, 处理前图像昏暗, 可识别度低; 经过 MSR 处理, 可将前景和背景进行分离, 且在亮度上也有所提升, 但是清晰度仍不理想, 背景墙信息、地面和人影仍难以区分; 经本文算法处理后, 图像的可识别度和亮度得到明显提高, 图像的清晰度进一步加强, 前景和背景得到有效分离, 原图中昏暗不清的背景墙面信息、地面的人影信息也能清楚得到。

下面分别计算清晰度  $p$  和保真度  $W$ , 采用量化指标客观评价算法质量。

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{m \times n} \sum_{a=1}^8 |df/dx|}{m \cdot n}, \quad (8)$$

式中,  $p$  为图像清晰度;  $m$ 、 $n$  分别为图像的长度和宽度; 8 表示每点取 8 个邻域点来进行计算,  $df/dx$  为边缘法相的灰度变化率<sup>[10]</sup>。

$$W = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [\text{gray\_after}(i,j) - \text{gray\_before}(i,j)]^2}{m \cdot n}, \quad (8)$$

式中,  $W$  为图像保真度;  $m$ 、 $n$  分别为图像的长度和宽度;  $\text{gray\_after}(i,j) - \text{gray\_before}(i,j)$  为两幅图像在同一波段的灰度差<sup>[9]</sup>。

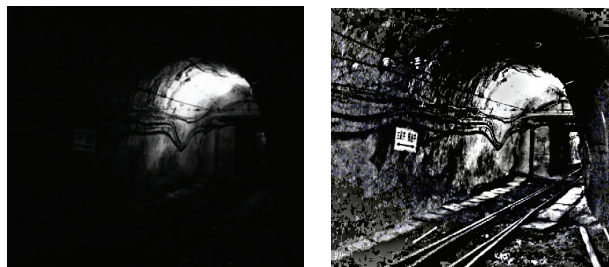
在实验中选取 3 个尺度因子分别为  $\sigma_1=54$ 、 $\sigma_2=10.33$ 、 $\sigma_3=167$ 。“S”曲线的参数选择<sup>[10]</sup>分别是  $a=0.09, 0.6, 0.07$ ;  $c=5, 3, 6$ 。

图像质量比较(见表 1)的数据显示, 经过 MSR 处理过的图像的清晰度比照原图提高了 524.033%, 保真度为 0.011 4, 说明图像质量有所改善。而经过本文算法处理后图像的清晰度比照原图提高了 813.259%, 保真度比 MSR 算法处理的图像提高了 50%。以上数据表明, 基于 S 曲线的 MSR 算法具有显著的图像增强效果, 在改善图像质量的同时, 也能提高图像的保真度。

表 1 图像质量比较

Tab.1 quality of imagines

图像	图像 清晰度	清晰度提高 百分比/%	图像 保真度	保真度提高 百分比/%
原图像	0.036 2			
MSR 处理的图像	0.225 9	524.033	0.011 4	
基于“S”曲线的 MSR 处理后的图像	0.330 6	813.259	0.017 1	50



(a) 基于 MSR 算法 (b) 基于 S 曲线的 MSR 算法

图 4 煤矿井道图像试验结果对比

Fig.4 contrast of experimental results of mine well rode

图 4 (a) 为煤矿井道图像, 该图片整体偏黑, 无法获取有效信息。量化得到该幅图片的清晰度为 0.001 0; 图 4 (b) 为经本文算法增强后的图像, 可

以看出明显的增强效果, 原本黑暗无法辨别的环境细节信息得到显现, 清晰度得到提高, 图像纹理细节信息更加凸显, 能够获得轨道和墙壁的细节信息.

图像质量比较 (见表 2) 的数据显示, 经过本文算法处理过的图像的清晰度比照原图提高了 239.00%, 保真度为 0.039 5, 可以说明基于 S 曲线的 MSR 算法具有显著的图像增强效果, 不仅改善了图像质量, 也提高了图像的保真度, 整体增强效果明显提升.

表 2 图 4 中的图像质量比较

Tab.2 quality of images			
图像	图像清晰度	清晰度提高百分比/%	图像保真度
原图像	0.001 0		
基于 S 曲线的 MSR 处理后的图像	0.240 0	239.00	0.039 5

4 结 论

提出基于 S 曲线的多尺度 Retinex 算法对煤矿井下图像进行增强.结果如下:

- (1) 应用本文提出算法能提高图像的亮度、对比度、清晰度、保真度;
- (2) S 曲线的应用, 有效地突出了目标图像的细节信息, 做到前景与背景分离;
- (3) 二维高斯函数的应用在一定程度上去除了尖端噪声, 使图像的整体视觉质量得到提高;
- (4) 量化分析表明, 应用本文提出的算法, 可以使清晰度比原图像提高 3~20 倍, 且保真度比 MSR 算法提高 50%, 使处理后的图像兼具高质量与高准确度的优点.

参考文献:

[1] 牛聚粉,程五一,王成彪.可视化煤矿安全信息共享平台的构建[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2010,29(3):381-384.  
NIU Jufen,CHENG Wuyi,WANG Chengbiao.Construction of visualization platform for coal minesafety in formation sharing[J].Journal of Liaoning Technical University(Natural Science),2010,29(3):381-384.

[2] 孙继平.煤矿安全生产监控与通信技术[J].煤炭学报,2010,35(11):1 926-1 931.  
SUN Jiping.Technologies of monitoring and communication in the coal mine[J].Journal of China Coal Society,2010,35(11):1 926-1 931.  
[3] 王焱,熊飞雪.结合 Retinex 增强的井下图像拼接方法[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2015,34(2):228-232.doi:10.11956/j.issn. 1008-0562.2015.02.017  
WANG Yan,XIONG Feixue.Underground mine image mosaic technique in combination with Retinex[J].Journal of Liaoning Technical University (Natural Science),2015,34(2):228-232. doi:10.11956/j.issn. 1008-0562.2015.02.017  
[4] 李学明.基于Retinex理论的图像增强算法[J].计算机应用与研究,2005, 22(2):235-237.  
LI Xueming.Image enhancement algorithm based on Retinex theory[J].Application Research of Computers,2005, 22(2):235-237.  
[5] 彭佳琦,刘秉琦,董伟,等.基于多尺度Retinex的图像增强算法[J].激光与红外,2008,38(11):1 160-1 163.  
PENG Jiaqi,LIU Bingqi,DONG Wei,et al.Method of image enhancement based on multi-scale Retinex theory[J].Laser & Infrared,2008,38(11): 1 160-1 163.  
[6] 李建存,周丽梅,刘军.基于多尺度 retinrx理论的遥感图像增强算法[J]. 西安工业大学学报,2014,1(34):27-33.  
LI Jiancun,ZHOU Limei,LIU Jun.Algorithm for remote sensing image enhancement based on multi-scale Retinex theory[J].Journal of Xi'an Technological University,2014,1(34):27-33.  
[7] CHEN Zhigang,YIN Fuchang.Remote sensing image enhancement algorithm based on contourlet transform[J].Optics and Precision Engineering,2008,10(8):87-91.  
[8] PARK Y K,PARK S L,KIM J K.Retinex method based on adaptive smoothing for illumination invariant face recognition[J].Signal Processing,2008,88(8):1 929-1 945.  
[9] 王鸿南,钟文,汪静.图像清晰度评价方法研究[J].中国图像图形学报,2004,9(7):828-831.  
WANG Hongnan,ZHONG Wen,WANG Jing.Research of measurement for digital image definition[J].Journal of Image and Graphics,2004,9(7): 828-831.  
[10]Brian Funt,Florian Ciurea,John McCann.Retinex in Matlab[J].Systems and Applications,2000,8(5):112-121.