第 32 卷 第 1 期 石家庄铁道大学学报(自然科学版) Vol. 32 No. 1
2019 年 3 月 Journal of Shijiazhuang Tiedao University(Natural Science Edition) Mar. 2019

Lab 色彩空间的 Retinex 轮对踏面图像增强算法

王永胜， 宋子彬， 校美玲， 马增强

(石家庄铁道大学 电气与电子工程学院，河北 石家庄 050043)

摘要：针对货车轮对踏面检测中，由于低照度和雾霾环境产生的图像清晰度差、色彩失真问题，提出了一种基于 Lab 色彩空间的改进 Retinex 图像增强算法。该算法将 RGB 空间图像先转换为 Lab 色彩空间，然后保持图像色度分量 a、b 不变，仅对亮度分量 L 进行多尺度 Retinex 变换并根据 L 通道反射分量对 a、b 通道图像自适应调整，同时在亮度分量 Retinex 变换过程中将空间域高斯函数与图像的卷积运算转换为窗口无关快速均值滤波(FMF)算法处理，最后将 Lab 模型转换为 RGB 色彩空间，使增强后的图像颜色得到保持。实验结果表明，将改进算法应用于货车轮对踏面图像增强处理中，提高了图像色彩的保真度，增强了图像处理速度，为后续踏面图像检测分析打下了基础。

关键词：轮对踏面；图像增强；Retinex；Lab 色彩空间；空间变换

中图分类号：TP391 **文献标志码**：A **文章编号**：2095-0373(2019)01-0048-08

0 引言

货车轮对踏面作为车辆与钢轨直接接触的部分，承担着车辆与钢轨间的所有作用力，工作环境复杂恶劣，使得轮对踏面缺陷成为了轨道主要故障之一[1-3]，因而加强轮对踏面状态检测对保障行车安全具有重要意义[4-5]。图像检测技术具有故障检测速度快、实时性好和准确性高的特点，成为了当前踏面状态检测技术发展和应用的重点。由于铁路现场环境复杂，货车踏面采集设备在低照度、雾霾等环境条件下，采集图像质量会发生退化，而依靠人工光源会产生光线分布不均，局部产生高光区造成图像细节的缺失，从而对后续图像分析与故障诊断产生不利影响。

图像增强技术作为图像检测技术的关键环节，合理应用可以增强轮对踏面检测系统抗环境干扰能力，提高后续故障诊断结果的准确性。文献[6]提出了一种基于自适应灰度变换和 K 邻域中值滤波相结合的预处理方法来去除踏面图像噪声，保护图像边缘信息，但其并未针对踏面图像光照环境特点对图像弱光部分进行增强处理，使得处理后的踏面图像轮廓不完整，不利于踏面缺陷精确分析与计算。文献[7]采用快速中值滤波方法平滑车轮踏面图像，其对斑点噪声和椒盐噪声有很好的去除效果，同时一定程度上保持图像边缘特性，但其在处理过程中使用了大量的数值比较和排序运算，运算效率较低，难以满足应用需求。文献[8]基于纵向区域直方图与暗区域骨架检测算法提取踏面鱼鳞伤区域，其依据图像灰度阈值自适应对缺陷区域进行预处理，但过程中未考虑光照条件下带有弧度的踏面区域图像亮度分布特点，容易产生错误分割。针对上述研究存在的问题与轮对踏面检测环境低照度的特点，在研究 Retinex 经典算法的基础上，提出了一种改进的 Lab 色彩空间的 Retinex 图像增强算法。首先，传统的踏面图像预处理方法大多基于 RGB 色彩空间，其 3 个色彩分量与亮度没有进行区分，分别处理 RGB 图像 3 通道后融合图像与原图像相比色彩有了一定失真，尤其在低照度环境下更为突出，将具有图像光照度估计与矫正的 Retinex 算法应用于转换后的 Lab 色彩空间 L 光照分量上并对 a、b 通道图像自适应调整，在恢复矫正图

收稿日期：2017-08-06 **网络出版日期**：2019-02-10 **责任编辑**：车轩玉 DOI：10.13319/j.cnki.sjztddxxbzrb.20170189
网络出版地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1402.N.20190210.1131.005.html
基金项目：国家自然科学基金(11372199，51405313，51208318)；河北省自然科学基金(A2014210142)
作者简介：王永胜(1989—)，男，硕士研究生，主要研究方向为图形图像处理。E-mail：13001499608@163.com
王永胜，宋子彬，校美玲，等. Lab 色彩空间的 Retinex 轮对踏面图像增强算法[J]. 石家庄铁道大学学报：自然科学版，2019，32(1)：48-55.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

像亮度的同时保持了图像色彩,并将多尺度 Retinex 算法在空间域高斯函数与图像卷积计算变为窗口无关快速均值滤波(Fast mean filter,FMF)算法[9]处理,减少了计算量与处理时间。结合图像平均梯度、信息熵和模糊熵的客观评价标准,与 SSR 算法[10]和 MSR 算法[11]等进行对比,验证了本算法优越性,为后续图像检测打下了基础。

1　Retinex 理论及相关算法

1.1　Retinex 理论

Retinex 是 retina(视网膜)和 cortex(大脑皮层)的简写。Retinex 理论是 E. land 等人提出的一种基于人类视觉的颜色恒常的计算模型[12],其认为人类视觉接收到的图像 $I(x,y)$ 的亮度和颜色由环境照明和物体表面对照射光的反射决定,包括亮度图像 $L(x,y)$ 和反射图像 $R(x,y)$ 两部分,在 RGB 色彩空间 3 个颜色通道可表示为

$$I_i(x,y) = L_i(x,y) \cdot R_i(x,y) \tag{1}$$

式中,$i \in (R,G,B)$,$L_i(x,y)$ 表示 i 通道在图像 (x,y) 处入射光分量,其直接决定图像中像素的动态范围;$R_i(x,y)$ 表示 i 通道在图像 (x,y) 处反射光分量,代表图像的内在属性。此模型实现了对图像灰度来源的区分,通过函数估计图像亮度的入射光分量 $L(x,y)$ 来计算反射光图像 $R(x,y)$,从而降低外界光照条件变化对图像产生的干扰,保持图像的真实色彩。为了简化运算,常把式(1)两边取对数后表示为

$$\log I_i = \log R_i + \log L_i \tag{2}$$

由于无法直接从已知图像 I 得到反射光图像 $R(x,y)$[13],所以往往通过估计入射光图像 L 后利用式(2)间接获取。

1.2　Retinex 相关算法

在 Retinex 理论基础上,Ciurea et al[10]提出了 SSR 算法,即使用高斯滤波器对图像入射光分量进行估计,可表示为

$$\log R_i(x,y) = \log I_i(x,y) - \log[F_n(x,y,c) * I_i(x,y)] \tag{3}$$

式中,$*$ 表示卷积运算,$F(x,y,c)$ 表示高斯滤波函数,c 是高斯函数的参数。

为了改进 SSR 算法由于高斯滤波器参数单一导致的图像色彩动态范围和色感难以同时兼顾的问题,Rahman et al[11]提出了 MSR 算法,即使用多个不同的高斯函数参数 c,通过加权不同尺度 SSR 算法计算反射亮度输出结果得到多尺度 Retinex 输出

$$R_{Mi}(x,y) = \sum_{n=1}^{N} \omega_n [\log I_i(x,y) - \log(F_n(x,y,c) * I_i(x,y))] \tag{4}$$

式中,N 是加权尺度个数,通常取 N 为 3;ω_n 表示第 n 个尺度的权值,且 $\sum_{n=1}^{N} \omega_n = 1$,$R_{Mi}(x,y)$ 表示第 i 通道加权多尺度得到的图像像素点 (x,y) 处反射亮度。

针对 MSR 算法图像处理后色彩容易失真的问题,带色彩恢复的 Retinex 算法(MSRCR)将 MSR 算法得到的反射亮度 $R_{Mi}(x,y)$ 乘以色彩恢复因子 C_i 来调节 RGB 图像的 3 个颜色通道的比例,具体表示为

$$R_{\mathrm{MSRCR},i} = C_i * R_{\mathrm{MSR},i} \tag{5}$$

$$C_i(x,y) = b \log\left[a \frac{R_{\mathrm{MSR},i}(x,y)}{\sum_{i \in \{R,G,B\}} R_{\mathrm{MSR},i}(x,y)}\right] \tag{6}$$

式中,b 为增益常数;a 为非线性变换强度参数[14]。

分析式(6)可知 MSRCR 算法是在对数空间用原图像减去原图像与高斯函数的卷积,因而高斯函数参数 c 越小,入射光分量减去的量越多,同时保持反射分量,使得图像的细节更加突出,环境的干扰更小。但对于低照度应用环境应用虽然可以增强暗区域的细节,但是图像整体偏亮,色彩对比原图出现失真,降低了其应用效果。同时此算法运算复杂,单幅图像处理时间过长,难以适应轮对踏面检测应用要求。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 基于 Lab 空间的改进 MSRCR 图像增强算法

2.1 Lab 色彩空间及变换

Lab 色彩空间是一种基于生理特征的颜色系统，L 分量表示像素的亮度，即从纯黑到纯白的变化范围，a 表示从红色到绿色的变化范围，b 表示从黄色到蓝色的变化范围，如图(1)所示，它的色域宽阔，可以表现人眼所能感知的所有色彩，除了包含 CMYK、RGB 色彩空间的所有颜色外，还能弥补 RGB 色彩模型的不足：蓝色与绿色间的过渡色太多，而绿色与红色之间的过渡色太少[15]。

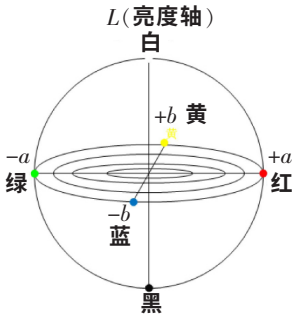


图 1 Lab 色彩空间模型

由于 Lab 色彩空间中亮度分量 L 与色彩分量 a、b 是相互独立的，仅对亮度分量 L 进行处理不会对图像的色彩产生影响，避免了对 RGB 图像 3 个分量通道分量不区分色彩和亮度直接处理导致的后期图像融合产生的色彩失真，同时 Retinex 算法是在图像亮度分量中估计和矫正初始图像的反射分量，降低入射分量对图像的影响，因而其在 L 分量上运行更具有明确的物理意义。首先将 RGB 图像转换到 Lab 空间，如式(7)所示，其中 r,g,b 为图像像素的 3 个通道，M、X_n、Y_n、Z_n 为常量。

$$\begin{cases} \begin{cases} R = \mathrm{gamma}\left(\dfrac{r}{255}\right) \\ G = \mathrm{gamma}\left(\dfrac{g}{255}\right) \\ B = \mathrm{gamma}\left(\dfrac{b}{255}\right) \end{cases} \\ \mathrm{gamma}(x) = \begin{cases} \left(\dfrac{x+0.055}{1.055}\right)^{2.4}, (x > 0.040\ 45) \\ \dfrac{x}{12.92}, (x \leqslant 0.040\ 45) \end{cases} \\ \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \\ \begin{cases} L = 116 f\left(\dfrac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a = 500\left[f\left(\dfrac{X}{X_n}\right) - f\left(\dfrac{Y}{Y_n}\right) \right] \\ b = 200\left[f\left(\dfrac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\dfrac{Z}{Z_n}\right) \right] \end{cases} \\ f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}}, t > \left(\dfrac{6}{29}\right)^3 \\ \dfrac{1}{3}\left(\dfrac{29}{6}\right)^2 t + \dfrac{4}{29}, t \leqslant \left(\dfrac{6}{29}\right)^3 \end{cases} \end{cases} \tag{7}$$

2.2 Lab 颜色空间的改进 MSRCR 算法

传统方法应用 MSRCR 算法直接对 RGB 图像的 3 个通道分别进行增强，由于 3 个通道图像增强尺度不一致导致其在后期图像融合会产生颜色失真。通过上文对 Lab 色彩空间分析可知其亮度分量 L 与色彩分量 a、b 相互独立，单独对其进行 MSRCR 增强处理可以在恢复和调节图像光照条件的同时保持图像真实色彩，有利于后续图像识别与分析的准确性。

基于 Lab 色彩空间改进的 MSRCR 算法流程如图 2 所示。

具体步骤主要包含：

(1)RGB→Lab 空间转换：RGB 色彩空间图像 $I_i(x,y), i \in (R,G,B)$ 代入式(7)转化为 Lab 色彩空间

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图像 $I_j(x,y)$，$j\in(L,a,b)$。

(2)对 Lab 空间图像亮度分量 L 进行 MSR 增强，由式(1)、式(4)可得

$$\begin{cases} I_L(x,y) = L_L(x,y) * R_L(x,y) \\ R_{ML}(x,y) = \sum_{n=1}^{N} \omega_n [\log I_L(x,y) - \\ \qquad \log(F_n(x,y,c) * I_L(x,y))] \end{cases} \tag{8}$$

(3) 带色彩恢复的 Retinex 算法(MSRCR)的 $R_{MSR,i}$ 运算包含图像 $I_i(x,y)$ 与高斯函数 $G_j(x,y)$ 在空间域的卷积 $I_i(x,y)*G_j(x,y)$。在 $R_{MSR,i}$ 运算基础上用 FMF 算法代替高斯滤波，即使用均值滤波利用滤波窗口与相邻窗口间的递归关系来简化计算。具体表示为

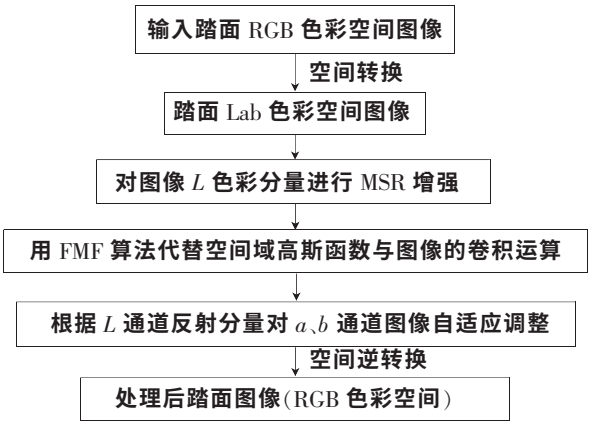


图 2　改进的 MSRCR 算法流程

$$D(x,y) = \sum_{(u,v)\in R_{x,y}} S(u,v)/T_p \tag{9}$$

其中，以图像左上角为坐标原点，像素坐标自左向右、从上到下依次递增。$x\in(o,M-1)$，$y\in(o,N-1)$；M 表示图像像素点的总行数，N 表示图像像素点的总列数；$S(i,j)$ 表示图像中像素点 $p(i,j)$ 的灰度值；R_{xy} 表示均值滤波窗口中心点与图像点 $I_i(x,y)$ 重合时，窗口内所有像素点的集合；$D(x,y)$ 表示滤波后图像点 $I_i(x,y)$ 的灰度值；$T_p=U\times V$ 表示滤波窗口像素点总数，(u,v) 为滤波窗口内像素点。

与高斯滤波不同，FMF 算法将不需要重复计算核窗口中心像素 $I(x,y)$ 按行滑动到 $I(x,y+1)$ 时的交集部分(对应点集分别为 $R_{x,y}$ 与 $R_{x,y+1}$)，只需计算窗口中心点像素第一列时的窗口所有值之和，同行其后均可利用递归公式进行计算

$$\mathrm{Sum}_{y+1} = \mathrm{Sum}_y - \sum_{v=0}^{V-1} S(PL_V) + \sum_{v=0}^{V-1} S(PR_v) \tag{10}$$

式中，$PL_v(v\in[0,V-1])$ 为 $R_{x,y}$ 最左边一列像素点灰度之和，$PR_v(v\in[0,V-1])$ 为 $R_{x,y+1}$ 最右边一列像素点灰度之和。由递归公式(10)可知，滤波处理分辨率 $M\times N$ 的图像只需要 $2V+2$ 次加减法和一次除法运算，从而将计算的复杂度从高斯卷积的 $O(V*\log V)$ 降低为 $O(2V+2)$，被处理图像的分辨率越高则运算速度提升越明显。

(4)Lab 色彩空间的颜色校正：Lab 色彩空间图像的亮度分量 L 经过改进 MSRCR 算法处理后得到图像反射分量 RML，根据新得到的亮度分量 RML 对原始图像中的 3 个通道图像进行校正。设 R_{ML} 的均值为 μ 和标准差为 δ，且 $\max=\mu+\delta$，$\min=\mu-\delta$，则 Lab 空间的 3 个通道颜色校正系数 R'_{ML} 可表示为

$$R'_{ML} = 100 * \frac{R_{ML} - \min(R_{ML})}{\max(R_{ML}) - \min(R_{ML})} \tag{11}$$

式中，系数 100 为 Lab 色彩空间 L 分量的取值范围。

设 S_L，S_a，S_b 分别为 Lab 色彩空间 3 个通道的值，对 Lab 空间图像 3 个通道校正得

$$S_i = \frac{S_i * R'_L}{L}, \quad i\in(L,a,b) \tag{12}$$

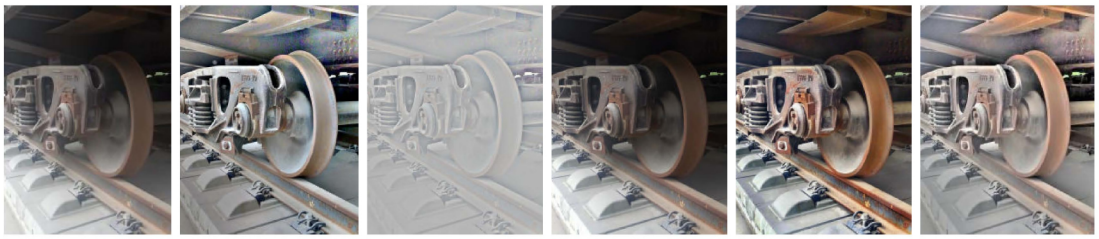
最后将校正后的 Lab 图像转换至 RGB 色彩空间得到增强图像。

3　实验结果及分析

实验软件环境：window7-64、MATLAB 2014；硬件环境：计算机(内存 8 G，cpu3.4 GHz)、采集卡(SOL2MEVCLF)、CCD 工业相机(JAI-5000C-PMCL，分辨率 2 560×2 048)、理光镜头(25 mm F/1.4)、相机支架(QZSD-620)、转向架试验台。为了检验本方法在低照度与雾霾环境下对轮对踏面图像的增强效果，将本文算法与 MSR 算法、MSRCR 算法、暗通道算法[16]、自适应直方图均衡算法[17]对轮对踏面图

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

像进行处理,结果如图 3～图 6 所示。



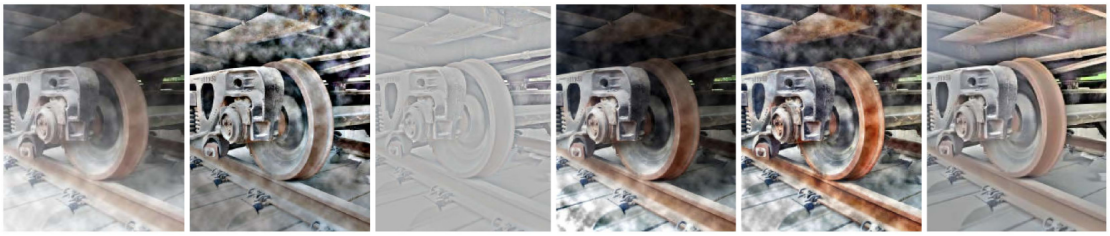
(a) 原图 (b) MSR 算法 (c)MSRCR 算法 (d) 暗通道算法 (e)自适应直方图均衡化算法 (f)本文算法

图 3 低照度环境 1 各个算法增强效果(400-500lx)



(a) 原图 (b) MSR 算法 (c) MSRCR 算法 (d) 暗通道算法 (e)自适应直方图均衡化算法 (f)本文算法

图 4 低照度环境 2 各个算法增强效果(100-200lx)



(a) 原图 (b) MSR 算法 (c) MSRCR 算法 (d) 暗通道算法 (e)自适应直方图均衡化算法 (f)本文算法

图 5 雾霾环境 1 各个算法增强效果($PM_{2.5}$=300～500 μg/m^3)



(a) 原图 (b) MSR 算法 (c) MSRCR 算法 (d) 暗通道算法 (e)自适应直方图均衡化算法 (f)本文算法

图 6 雾霾环境 2 各个算法增强效果($PM_{2.5}$=700～1 000 μg/m^3)

3.1 主观图像质量评价

直观分析图 3～图 6 可知,本算法对比其它算法在低照度与雾霾环境下具有处理图像清晰度高,细节与轮廓更加明显,易于特征识别的优点。MSR 算法虽然改善了图像光照效果,提高了图像细节清晰度,但其色彩明显失真,不利于图像特征识别。标准 MSRCR 算法提高了图像亮度,但图像细节丢失严重,不能恢复踏面的基本轮廓。暗通道法由图 5 和图 6 可知其具有良好的去雾效果,但不能改善图 3 与图 4 的灰度特征,显示效果过于昏暗。自适应直方图均衡化算法改善了图像的亮度与清晰度,但图像对比度过高,色调失真,尤其影响对图 5 与图 6 条件下踏面区域色斑的判断。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

采用的图像分辨率均为 2 560×2 048,对比各算法在各个环境条件下的处理时间,结果如表 1 所示。

表 1　各算法处理时间对比　　s

图序	MSR 算法	MSRCR 算法	暗通道算法	自适应直方图均衡化算法	本文算法
3	0.903 5	2.088 6	0.208 8	0.142 6	1.485 3
4	1.248 2	2.523 6	0.426 4	0.205 1	1.375 0
5	1.246 4	2.441 5	0.257 0	0.204 4	1.479 6
6	0.658 3	1.565 8	0.154 6	0.098 0	1.336 3

由表 1 可知在保证图像增强效果的前提下,本文算法相较 MSRCR 算法处理时间明显减少,增强了算法的实用性。

3.2　客观图像质量评价

平均梯度用来描述图像特征边界的灰度变化,反映图像区域细节变化的速率,用来表现图像的清晰度,一般情况下平均梯度值越大表明图像清晰度越高,图像边缘特性越好。应用平均梯度对上述算法在各个环境下的处理效果进行分析,结果如表 2 所示。

表 2　各算法处理结果的平均梯度对比

图序	原图	MSR 算法	MSRCR 算法	暗通道算法	自适应直方图均衡化算法	本文算法
3	1.673 4	7.174 6	2.525 1	1.920 4	4.271 6	5.871 3
4	1.964 2	7.262 0	2.843 8	1.250 3	2.653 7	6.553 8
5	1.404 1	5.891 9	2.344 0	2.092 1	3.838 2	4.676 8
6	1.916 2	5.628 9	0.635 1	2.110 3	2.996 9	5.525 3

由表 2 可知,MSRCR 算法与暗通道算法对于改善图像清晰度无明显效果,MSR 算法处理结果平均梯度值最大,但其对比度与色调明显失真,出现了类似图像锐化的效果。自适应直方图均衡化算法处理图平均梯度值在暗光与中雾条件下增加不大,在弱光与薄雾条件下增加有限。本文算法处理图平均梯度值是原图 3 倍左右且显示效果趋近于真实色彩。

信息熵用于表征图像灰度分布的聚集特性,但不能反映图像灰度分布的空间特性。信息熵越大表明图像灰度分布越分散,图像纹理越复杂。应用信息熵对上述算法在各个环境下的处理效果进行分析,结果如表 3 所示。

表 3　各算法处理结果的信息熵对比

图序	原图	MSR 算法处理图	MSRCR 算法处理图	暗通道算法处理图	自适应直方图均衡化算法处理图	本文算法处理图
3	12.815 0	17.165 9	12.419 6	13.479 8	16.014 7	14.620 7
4	10.802 6	17.106 4	12.902 6	10.907 1	13.468 4	14.696 4
5	12.590 0	16.673 4	11.639 0	14.420 8	16.337 6	15.210 9
6	11.198 3	16.940 7	7.801 9	13.313 2	14.639 3	14.733 4

本文算法处理结果的信息熵增加值在 3～4 之间,可以对比看出处理后原图的灰度变化增加,图像纹理更加清晰且色彩接近人的视觉感受。MSRCR 算法处理结果仅在图 4 条件下信息熵略有增加,在图 3、图 5 和图 6 条件下信息熵均变小,图像灰度变化较少,整体呈现高曝光状态,踏面图像细节不可分辨。暗通道算法处理图 5、图 6 的信息熵均增加 2 左右,图像清晰度获得一定改善,但在弱光图 3、图 4 条件下几乎没有变化,未能改变图像亮度。MSR 算法和自适应直方图均衡化算法处理结果信息熵都得到了很大提升,特别对于 MSR 算法在弱光情况下图 4 增加值高于 6,局部灰度变化呈颗粒状且色彩失真,而自适应直方图均衡化算法处理与本文算法接近,但从 4 幅图对比发现其局部区域亮度并未增加,部分区域灰度剧增,色彩整体失真。

模糊熵描述图像对应的二阶邻域系统像素集构成的模糊集的模糊性程度。人的视觉感知对图像信息存在许多模糊不确定性引入模糊集理论描述模糊不确定性大小客观评价,使主观感受与客观评价相一致。图像边缘、边界、区域与纹理等定义具有模糊性,各算法处理后的图像的模糊熵相较于原图增加越大则图像越模糊,图像变化越大。应用模糊熵对上述算法在各个环境下的处理效果进行分析,结果如表 4

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

所示。

表4 各算法处理结果的模糊熵对比

图序	原图	MSR算法处理图	MSRCR算法处理图	暗通道算法处理图	自适应直方图均衡化算法处理图	本文算法处理图
3	0.498 7	0.725 6	0.656 2	0.459 5	0.568 4	0.767 8
4	0.322 8	0.694 8	0.662 3	0.213 4	0.470 6	0.771 9
5	0.573 7	0.699 4	0.661 8	0.476 0	0.644 4	0.788 6
6	0.584 0	0.714 5	0.658 7	0.558 0	0.711 2	0.765 8

由表4可知本文算法模糊度增加最大,则相较于原图边界纹理细节变化最大。暗通道算法处理图像后模糊度反而减小,自适应直方图均衡化算法增大图像模糊熵在1左右相对较小,MSR算法与MSRCR算法可以增大处理后图像模糊熵,改变图像细节的复杂度。

3.3 改进算法的稳定性与适用性评价

为了进一步检验本算法在低照度与雾霾环境下对轮对踏面图像增强效果的稳定性和适用性,在光照100～500lx,可见度$PM_{2.5}$=300～1 000 $\mu g/m^3$条件下随机选取30张踏面样本图像运用平均值、标准差和A类不确定度(贝塞尔)分析各个图像评价指标值的变化,结果如表5所示。

表5 改进算法的稳定性与适用性分析

类别	平均值/mm	标准差	A类不确定度(贝塞尔)
平均梯度	6.096 8	0.232 3	0.294 6
信息熵	14.709 6	0.150 8	0.113 4
模糊熵	0.772 1	0.007 9	0.010 4

通过表5中数据可知本算法处理样本图像的各个评价指标的平均值较为理想,运用标准差、A类不确定度(贝塞尔)分析数据分布较为集中,算法的稳定性较高,可以适应光照100-500lx,可见度$PM_{2.5}$=300～1 000 $\mu g/m^3$低照度环境下的图像增强要求。

4 结论

基于Lab空间亮度分量与色彩分量相独立的特点将RGB空间图像转换为Lab色彩空间图像,提出了一种基于Lab色彩空间的改进Retinex踏面图像增强算法。该算法将仅对亮度分量L进行多尺度Retinex变换并根据L通道反射分量对a、b通道图像自适应调整,使增强后的图像颜色得到保持,同时在亮度分量Retinex变换过程中将空间域高斯函数与图像的卷积运算转换为频域方法处理来减少算法的运算量。实验结果表明,本文改进的算法较好地解决了货车轮对踏面图像在低照度和雾霾环境产生的图像清晰度差、色彩失真问题,提高了处理图像色彩的保真度,增强了图像处理速度,为后续踏面图像检测分析打下了基础。

参 考 文 献

[1]Wang Pu,Gao Liang. Numerical simulation of wheel wear evolution for heavy haul railway[J]. Journal of Central South University, 2015, 22(1):196-207.

[2]Caprioli S, Vernersson T, Handa K, et al. Thermal cracking of railway wheels: Towards experimental validation[J]. Tribology International, 2016, 94:409-420.

[3]Nikas D, Ahlströ M J, Malakizadi A. Mechanical properties and fatigue behaviour of railway wheel steels as influenced by mechanical and thermal loadings[J]. Wear, 2016, 366/367:407-415.

[4]Yuan L, Yang S. Influence of crack geometric properties on its propagation tendency of rail surface crack under rolling contact fatigue for the port machines[J]. Journal of Coastal Research, 2015, 73:188-192.

[5]Karttunen K, Kabo E, Ekberg A. Numerical assessment of the influence of worn wheel tread geometry on rail and wheel deterioration[J]. Wear, 2014, 317(1/2):77-91.

[6]宋志明. 列车车轮踏面擦伤图像检测算法研究[D]. 成都:西南交通大学,2012.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[7]Zhao Y. Research on peeling defect location method of wheel tread based on vision[J]. Application of Electronic Technique, 2011,37(8):139-146.
[8]郝晓莉,李斌. 基于机器视觉的钢轨表面损伤检测算法[J]. 北京交通大学学报,2015,39(2):28-34.
[9]王科俊,熊新炎,任桢. 高效均值滤波算法[J]. 计算机应用研究,2010,27(2):434-438.
[10]Ciurea F, Funt B. Tuning Retinex parameters[J]. Proceedings of SPIE -The International Society for Optical Engineering, 2004, 119(C):209-228.
[11]Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Multi-scale retinex for color image enhancement[C]//International Conference on Image Processing, 1996. Proceedings. IEEE, 2002,3:1003-1006.
[12]李菊霞,余雪丽. 雾天条件下的多尺度 Retinex 图像增强算法[J]. 计算机科学,2013,40(3):299-301.
[13]Jobson D J, Rahman Z, Woodell G A. Properties and performance of a center/surround retinex[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462.
[14]Jobson D J, Rahman Z U, Woodell G A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes[J]. IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society, 1996, 6(7):965-976.
[15]许可. 基于多特征的图像轮廓检测算法研究[D]. 西安:长安大学,2014.
[16]He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using dark channel prior[C]//Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on. IEEE, 2009:1956-1963.
[17]张懿, 刘旭, 李海峰. 自适应图像直方图均衡算法[J]. 浙江大学学报:工学版, 2007, 41(4):630-633.

Wheel Tread Image Enhancement Algorithm Based on Retinex in Lab Color Space

Wang Yongsheng, Song Zibin, Xiao Meiling, Ma Zengqiang

(School of Electrical and Electronic Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: A modified Retinex image enhancement algorithm based on Lab color space is proposed for the detection of freight wheel pair tread due to poor image resolution and color distortion caused by complex illumination environment. The algorithm converts the RGB space image to the Lab color space, and then the image chromaticity component a and b are maintained and the brightness component L is used for multi-scale Retinex transform. In the process of brightness component Retinex transformation, spatial Gaussian function and image convolution are processed by the fast mean filter algorithm. Finally, the Lab model is converted to RGB color space, so that the enhanced image color is maintained. The experimental results show that the improved algorithm is applied to the image enhancement of freight wheel pair tread, which enhances the fidelity of image color, and enhances the image processing speed, so as to lay a foundation for subsequent tread image detection and analysis.

Key words: wheel tread; image enhancement; Retinex; Lab color space; space transformation

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net