

基于序列光圈拍摄的逆光图像重建方法

李响, 马荣贵, 何逸煦
(长安大学 信息学院, 陕西 西安 710064)

摘要:逆光图像因背景光远强于前景导致前景阴暗模糊造成图像观感不佳。而在当前逆光图像研究中多数为对单一的前景灰暗背景正常的逆光图像进行还原处理,且处理效果难以控制。针对上述问题,提出一种基于序列光圈的逆光图像还原方法。该方法首先通过调节相机光圈获得一组由背景过曝前景清晰逐步转换至背景清晰前景灰暗的逆光图像并将其分为前景可用图像与背景可用图像。然后使用改进的图像阈值分割算法进行逆光图像可用部分提取,并使用基于轮廓拟合的图像拼接算法将各前景可用图像提取部分分别与各背景可用图像提取部分拼接得到非逆光图像。最后,通过图像逆光度分析与信息熵综合的筛选方法,将拼接得到的非逆光图像进行筛选,得到最终结果图像。该方法相较于传统逆光图像重建方法,不但提高了处理结果的可控性,而且在保留更多原有图像的细节的同时降低了颜色失真。

关键词:逆光图像处理;图像分割;图像拼接;图像方差;信息熵

中图分类号:TP317.4

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2022)06-0079-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2022.06.014

Backlight Image Reconstruction Method Based on Sequential Aperture Shooting

LI Xiang, MA Rong-gui, HE Yi-xu
(School of Information, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Because the background light of backlight image is far stronger than the foreground light, the foreground is dark and fuzzy, resulting in poor image appearance. However, in the current backlight image research, most of the backlight images with normal gray background are restored, and the processing effect is difficult to control. To solve the above problems, a method of backlight image restoration based on sequential aperture is proposed. Firstly, by adjusting the aperture of the camera, a group of backlight images are obtained, which are gradually converted from the background overexposed and the foreground clear to the background clear and the foreground gray, and are divided into foreground available image and background available image. Then, the improved image threshold segmentation algorithm is used to extract the available part of backlight image, and the image mosaic algorithm based on contour fitting is used to splice the available part of foreground image with the available part of background image to obtain the non backlight image. Finally, through the screening method of image backlight analysis and information entropy synthesis, the stitched non backlight image is screened to get the final result image. Compared with the traditional backlight image reconstruction method, the proposed method not only improves the controllability of the processing results, but also reduces the color distortion while retaining more details of the original image.

Key words: backlight image processing; image segmentation; image mosaic; image variance; information entropy

0 引言

在逆光条件下^[1],人眼所看到的事物与照相机所呈现的图像差别巨大。随着照相机控制快门优先将光圈由小逐渐调大时,照相机的进光量也逐渐增大,图像从前景灰暗模糊逐渐转化为背景过亮过曝,但转化过程中很难出现前景与背景亮度同时适中的情况。而逆

光图像因获取的部分图像亮度、对比度、可视质量降低,影响了对细节信息的读取而造成图像难以使用,为工程的后续研究带来难度。因此,需要一种逆光图像的重建技术改善逆光图像难以使用的情况。

常见的逆光图像重建技术^[2-3]可以分为基于灰度值变换算法^[4]和基于 Retinex 图像增强算法^[5]。基于

收稿日期:2021-07-01

修回日期:2021-11-04

基金项目:陕西省科技创新引导专项基金(2019CGXNG-042);2020年度陕西省交通运输厅科研项目(20-25K)

作者简介:李响(1997-),男,研究生,CCF会员(H5815G),研究方向为交通信息类数字图像处理;通讯作者:马荣贵(1967-),男,教授,博导,研究方向为交通信息及控制。

灰度变换的直方图均衡化^[6-7]方法将灰度值高度集中在过亮或过暗区域的逆光图像的灰度级分布调整为近似于均匀分布,以抵消一部分图像逆光效果,但该方法易使图像大面积失真。而图像的直方图匹配方法^[8-9]通过将逆光图像直方图控制成为某个特定需要的形状以减少失真所带来的负面影响,但该方法需要不停调整图像灰度直方图,操作复杂费时且图像还原度不高。Retinex 算法将逆光图像 S 分解为入射图像 L 和反射图像 R ,通过去除逆光图像中入射光照 L 保留反射光照 R 以消除逆光对于图像带来的影响。SSR 算法^[10]假设入射光 L 具有缓变平滑性,但是逆光图像的入射光通常难以达到缓慢平滑变化,因此 SSR 算法会在改善的暗部轮廓处出现光晕现象而影响图像观感。MSR 算法^[11]通过联合多尺度的滤波结果来补偿光晕现象。但处理后存在阴影边界突兀、部分颜色失真等缺陷。MSRCR 算法^[12-13]通过加入色彩恢复因子消除了图像色彩失真的缺陷。但 MSRCR 方法在图像 RGB 三个通道上分别引入不同色彩因子值而使图像计算量大大增加。为提高逆光图像还原方法的运行速度,田文启等人提出一种基于阈值分割的自适应的逆光恢复算法^[14]。该算法先对逆光图像进行分割处理,将分割后的图像分为逆光区与非逆光区。对逆光区进行 Retinex 算法进行亮度变换,对非逆光区进行亮度提升,将两类区域进行融合输出图像。

在上述提到的多种方法中,都只能对前景阴暗模糊背景正常的逆光图像进行增强处理而无法对前景正常背景过曝的逆光图像进行较好的还原,且处理效果与失真程度都有不同程度的不可控性。基于此提出一种基于光圈序列的逆光图像还原方法。

1 改进的逆光图像重建方法

改进的逆光图像重建方法主要采用以多张图片交叉融合的方式,实现更易于控制的效果。具体操作流程如图 1 所示。

1.1 实验图像分类

当拍摄主体位于照相机与照相机之间时,照相机所呈现的图像前景反射光较弱,背景反射光较强,导致图像背景亮度远高于前景形成逆光图像。逆光图像由于背景光强造成灰度直方图为双峰图像。前景可用图像由于背景过度曝光,其灰度直方图的右峰居于 220 到 255 之间。当峰 2 居于该峰 1 右侧且远高于峰 1 时为前景可用图片,代表背景过曝;当峰 2 居于该峰 1 左侧且略低于峰 1 时为背景可用图片,代表前景阴暗。基于此规则将图像分为前景图像与背景图像。

该文选择 Canon EOS R 照相机在同一位置同一角度对逆光下物件进行拍摄。将光圈从小到大连续调

节成像并标号,其具体信息如表 1 所示,成像如图 2 所示,其中图 2 下半部分展示了编号 4 与编号 9 实验图像的灰度直方图。

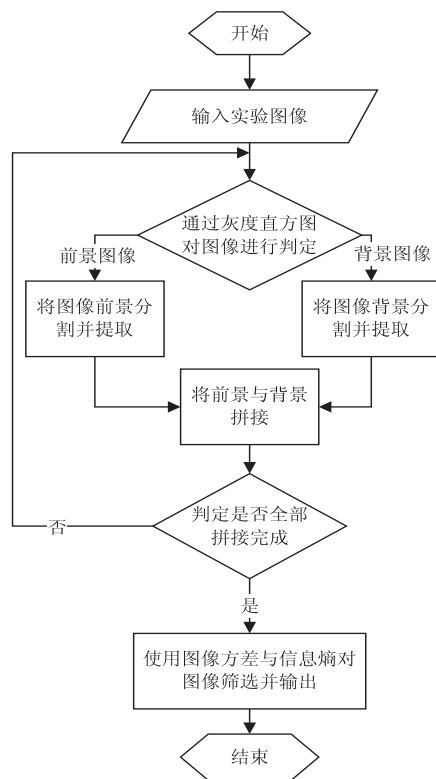


图 1 逆光图像方法流程

表 1 实验图像基础信息

前景图像		背景图像	
编号	光圈	编号	光圈
1	f/2.5	6	f/6.3
2	f/2.8	7	f/8
3	f/3.2	8	f/10
4	f/3.5	9	f/13
5	f/4	10	f/16

快门值:1 000,图像分辨率:6 720 * 4 480

由逆光图像灰度直方图特性可知,本组实验图像均属于灰度直方图。通过光圈由小向大调节,实验图像从前景正常背景曝光逐步转化到背景正常前景阴暗。

1.2 用于处理光照不均图像的改进分割算法

文献[14]论证了使用 Otsu 阈值分割算法处理逆光图像的可行性。Otsu 算法的假设 TH 是存在阈值,将图像所有像素分为两类,类 $(C_1 < TH)$ 的概率为 p_1 、均值为 m_1 ;类 $(C_2 > TH)$ 的概率为 p_2 ,均值为 m_2 。图像全局均值为 m_G ,则有:

$$\begin{cases} p_1 m_1 + p_2 m_2 = m_G \\ p_1 + p_2 = 1 \end{cases} \quad (1)$$

图像类间方差表达式为:

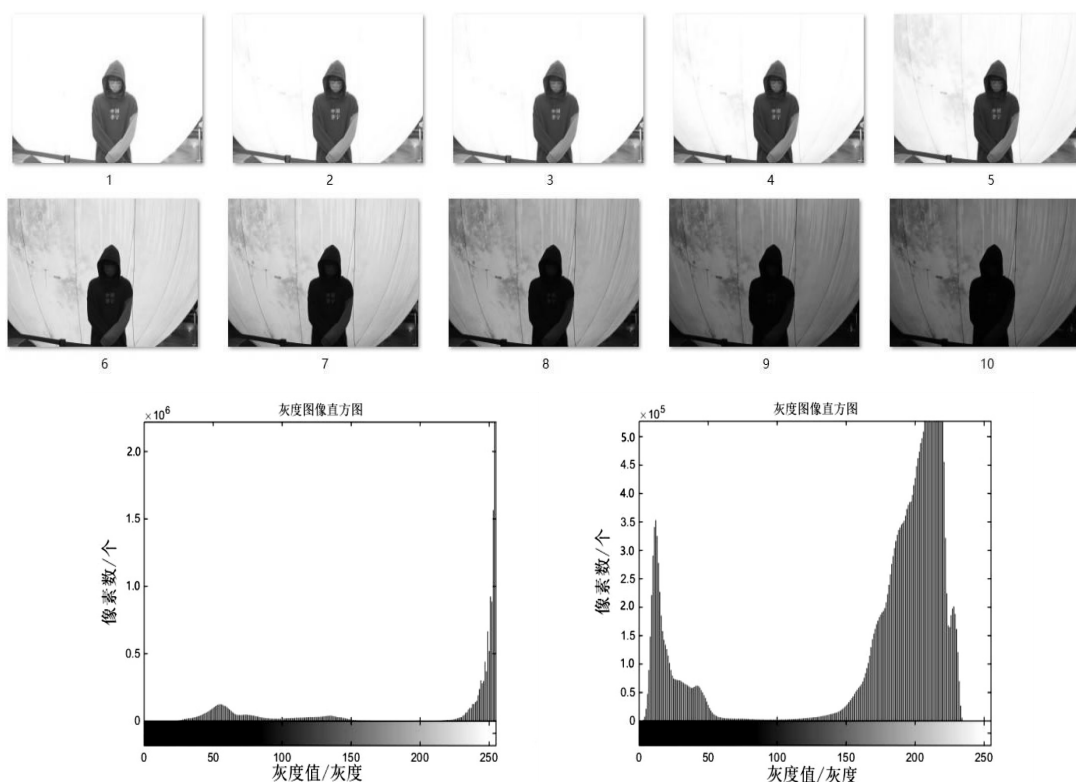


图2 前景图像、背景图像以及编号4(左)与编号9(右)的灰度直方图

$$\sigma^2 = p_1 (m_1 - m_c)^2 + p_2 (m_2 - m_c)^2 \quad (2)$$

将两式整理有:

$$\sigma^2 = p_1 p_2 (m_1 - m_2)^2 \quad (3)$$

其中, $p_1 = \sum_{i=1}^k p_i$ 、 $m_1 = \frac{1}{p_1} \sum_{i=1}^k i p_i$ 、 $m_2 = \frac{1}{p_2} \sum_{i=k+1}^{L-1} i p_i$ 。遍历

256个灰度级,求出使式最大的 k 即为Otsu算法阈值。虽然Otsu阈值分割算法不受图像亮度和对比度的影响,但是当处理强亮度背景的逆光图像时,由于这类图像的背景过于明亮,部分前景轮廓处被背景吞噬而造成错误分割,导致分割后前景出现一部分缺失^[15]。为解决上述问题,提出一种基于阈值的改进分割算法。该算法首先对输入的待分割逆光图像进行预处理,将图像灰度级进行归一化,灰度级为 i 的概率为 p_i ,对图像整个灰度级从小到大进行遍历,并记录 st 为第一个不为零的灰度级、 nd 为最后一个不为零的灰度,则阈值 TH 取值一定处于 st 与 nd 之间。假定阈值 TH 已知,累计1到 TH 处的总概率和:

$$w_0 = \sum_{i=1}^{TH} p_i \quad (4)$$

计算整幅图像的前景均值与背景均值:

$$\begin{cases} \text{avg}_1 = \frac{\sum_{i=0}^{TH} p_i \ln(\frac{p_i}{w_0})}{w_0}, \text{前景均值} \\ \text{avg}_2 = \frac{\sum_{i=0}^{TH} p_i \ln(\frac{p_i}{1-w_0})}{1-w_0}, \text{背景均值} \end{cases} \quad (5)$$

将平均值相加 $\text{avg} = \text{avg}_1 + \text{avg}_2$ 。TH从灰度级 st 遍历到 nd ,当 avg 最大时,TH即为分割阈值。图3为用Otsu算法和改进阈值算法分割后的结果。

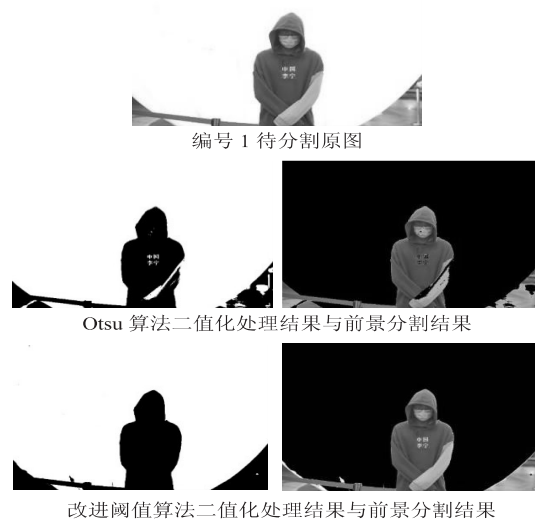


图3 Otsu算法与改进阈值算法对比

通过图3可以看出,改进阈值算法相较于Otsu算法而言,减小了前景中某部分灰度值过高而被当作背景误分的情况,使前景分割的更完整。

1.3 基于轮廓的图像拼接方法

受照相机抖动、参照物位移、光源不稳定等诸多因素,照相机难以保证呈现的每张照片前景与背景的相对位置的统一,可能会出现前景参照物体与背景相对位置的偏移,因此需要图像拼接技术减少前景与背景

位置偏移所带来的干扰^[16]。本实验中照相机在确定光圈后的拍照过程中仅改变了光圈的大小,而对于前景参照物体,相机位置,背景位置等一概不做更改。因此,对于任意一组前景背景图像所分割出的轮廓边界形状是完全一样或者高度相似的,可以使用基于轮廓的图像配准方法将分割后的前景与背景进行图像拼接。以编号 1 前景图像和编号 7 背景图像进行拼接为例:首先将前景图像与背景图像的二值化模板进行边界提取。结果如图 4 上半部分所示,在前景边界图像中提取长宽比为 3:2 的特征区域。文中特征区域选定为 150 * 100 像素的前景帽子部分。将特征区域内所有轮廓点坐标进行提取并使用多项式逼近法进行曲线拟合得到拟合曲线 a 拟合结果如图 4 中部所示。

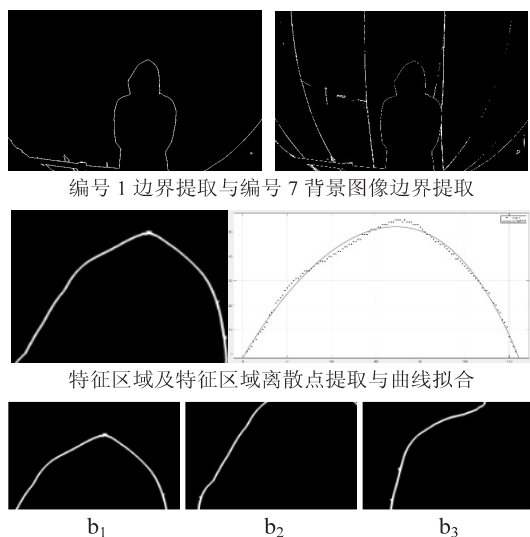


图 4 图像边界提取及特征区域曲线拟合
在图 4 中拟合出的曲线结果为:

$$(2.551 \cdot 10^{-8}x^5 - 9.255 \cdot 10^{-6}x^4 + 1.194 \cdot 10^{-3}x^3 + 7.836 \cdot 10^{-2}x^2 + 3.357x - 33.11)$$

用相同大小的特征框遍历背景边界图像,可以得到多条拟合曲线 b_n 。将多条曲线 b_n 与曲线 a 进行相似度对比。其中,相似度对比公式为:

$$Y(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} |y_b(x) - y_a(x)| dx \quad (6)$$

由公式可知,值最小的区域即为待拼接区域。该文截取匹配过程中三处有代表性背景框图 b_1 、 b_2 、 b_3 , 如图 4 下半部分所示,并给出各拟合曲线与特征区域拟合曲线 a 的相似度,其中 b_1 的拟合曲线为:

$$(5.19 \cdot 10^{-9}x^5 - 2.453 \cdot 10^{-6}x^4 + 1.5x^3 + 3.683 \cdot 10^{-4}x^3 - 3.408 \cdot 10^{-2}x^3 + 2.426x - 14.83)$$

曲线拟合度为 152.718; b_2 的拟合曲线为:

$$(-1.152 \cdot 10^{-2}x^2 + 2.555x - 26.47)$$

曲线拟合度为 354.17; b_3 的拟合曲线为:

$$(1.214 \cdot 10^{-7}x^5 - 4.673 \cdot 10^{-5}x^4 + 7.291 \cdot 10^{-3}x^3 - 5.788 \cdot 10^{-1}x^2 + 23.78x - 329.5)$$

曲线拟合度为 400.598。通过此方法,将图像中的边界转化成一条直观的可用函数表示的曲线,使前景与背景匹配更加准确。相较于传统的边界点重合的轮廓匹配方法,曲线匹配不受前后背景图像像素值差异的限制。但是,当原图像存在缩放问题时,该方法无法很好地解决。前景与背景拼接后的图像集合如图 5 所示。



图 5 前景图像与背景图像拼接集合

图 5 中各图像中的编号表示该子图像是由哪两张原始图像拼接而成,例如图 1-6 表示由编号 1 前景图像与编号 6 背景图像拼接而成。集合中共计 25 张子图像,其中多张图像差别不大,需要进一步筛选。

1.4 基于图像逆光度分析与信息熵结合的图像筛选方法

多张前景可用图像与背景可用图像进行拼接后的合成图像会出现拼接边缘处不自然、图像区分度低人眼无法直观辨别等问题。为解决上述问题,采用图像逆光度分析与信息熵结合的图像筛选方法以得出视觉效果最好的合成图像。

1.4.1 图像逆光度分析

逆光场景和非逆光场景的灰度直方图分布是完全不同的。逆光场景的灰度直方图分布是极亮和极暗灰度级上的像素分布高,其灰度级分布的方差 σ 很大;非逆光场景的像素主要集中在中间的灰度级上,其灰度级分布的方差 σ 较小。逆光环境的灰度直方图有良好的统计特性,可以在很大程度上反映图像的逆光情况。因此,通过方差 σ 描述两类直方图的差异,其计算公式为:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_{256})^T \quad (7)$$

$$\mu = \sum_{i=1}^{256} ix_i \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{256} x_i (i - \mu)^2 \quad (9)$$

其中, X 为灰度直方图归一化后的 256 维向量; x_i 表示第 i 个灰度级在图像中出现的概率; μ 表示总体均值; σ^2 表示方差。在逆光图像处理中,令图像 n 的逆光度为: $DBL_n = \sigma_n$, 当 $(DBL_{x-y} < DBL_x) \cap (DBL_{x-y} < DBL_y)$ 时,代表拼接图像 $x - y$ 逆光还原有效果。但

DBL 并非越小越好,当图像在某一灰度级过度集中时 DBL 值虽然小,但图像传递的信息也会随之变少。因此,还需要图像信息熵来表达图像所传达的信息量。

1.4.2 图像信息熵

当逆光度作为单一判别逆光图像还原效果时,会出现几张合成后的非逆光图像在人眼识别上都可用,且逆光度的数值上下差别变化不大的情况。同时,逆光度不能给出合成图像在分割后的结果是否自然,分割结果是否清晰等确定性结果。而图像信息熵代表图像混乱程度,其值越大,代表信息含量越大,包含的内容越多在一定程度上也能反映图像的清晰程度与平滑度越高。因此,可以使用信息熵作为逆光度分析后的补充。其具体公式为:

$$H(x) = - \sum p(x) \log p(x) \tag{10}$$

并规定 $0\log(0) = 0$ 。从上式中可以得出,信息熵具有单调性,发生概率越高的事件,其携带的信息量越低;同时具有非负性和累加性,即多随机事件同时发生存在的总不确定性的量度是可以表示为各事件不确定性的量度和^[17]。表 2 为实验图像与拼接图像的逆光度与信息熵值汇总。

图像甄选规则为,合成图像首先与合成它的两张父图像进行逆光度与信息熵的对比,合成图像要同时低于两张父图像,信息熵要同时高于两张父图像。所有满足条件的图像取信息熵最大的图像为本方法的结果图像。文中结果图像为 5-7,其最终结果如图 6 文中方法所示,该结果相较于其他图像,具有最高的信息熵,即该图像表达的内容最为丰富。

表 2 实验图像与拼接图像逆光度与信息熵

编号	逆光度	信息熵	编号	逆光度	信息熵
1	54.87	2.20	2-9	24.87	7.21
2	61.09	2.90	2-10	23.02	7.09
3	62.64	2.65	3-6	50.78	7.24
4	67.09	3.83	3-7	47.67	7.52
5	69.22	5.63	3-8	33.39	7.22
6	69.98	7.25	3-9	24.74	7.17
7	67.56	7.23	3-10	22.64	7.03
8	56.21	7.22	4-6	55.04	7.27
9	42.63	7.06	4-7	51.52	7.55
10	39.15	6.82	4-8	36.71	7.22
1-6	45.12	7.19	4-9	25.71	7.14
1-7	43.07	7.49	4-10	22.88	6.99
1-8	30.41	7.26	5-6	59.02	7.29
1-9	25.25	7.26	5-7	55.26	7.59
1-10	24.11	7.12	5-8	40.01	7.27
2-6	49.49	7.20	5-9	27.43	7.12
2-7	46.50	7.50	5-10	24.49	6.91
2-8	32.64	7.23			

2 仿真结果分析与比较

文中所给出的运行结果和运行时间均在同一台电脑下得到,其内存为 8 GB,显卡为 Inter HD Graphics 530,CPU 为 Inter Core i3-6100 3.70 GHz,操作系统为 Windows 10,使用软件为 Python 3.6.5 和 Matlab R2014b。结果如图 6 与表 3 所示。



图 6 各方法对比结果图像

表 3 多种方法图像处理结果对比

方法	图像信息熵值	平均梯度	色调失真度	亮度均值
原图	7.528 32	0.006 7	0	169.152 7
直方图均衡化	7.986 04	0.015 8	35.834 9	129.107 4
直方图匹配化	6.310 72	0.006 5	13.043 5	212.320 7
SSR 算法	6.086 15	0.006 0	3.420 8	222.417 0

续表 3

方法	图像信息熵值	平均梯度	色调失真度	亮度均值
MSR 算法	6.086 30	0.005 9	3.361 0	222.313 6
MSRCR 算法	6.339 25	0.006 2	3.191 2	212.287 5
文献[10]算法	7.424 20	0.006 0	1.388 4	186.157 1
文中算法	7.554 61	0.006 8	0.042 9	178.920 5

文中方法与其他 6 种方法在图像信息熵、平均梯度、色调失真度、亮度均值四类评价标准中进行对比。其中,色调失真度是图像与原图在 HSV 颜色模型空间中色调(H)的偏差程度,该值越大代表颜色失真程度越高,原图的色调失真度为 0。平均梯度表示图像中细节处反差与纹理变化特征,该值越大代表图像层次越丰富,图像清晰度越高。图像信息熵值代表图像包含内容含量,该值越大代表图像中的内容越丰富。从多种方法对比中可以看出,虽然直方图均衡化方法的信息熵与平均梯度最大,但直方图均衡化方法颜色失真程度严重远高于其他方法且暗部改善很小。直方图匹配化相较于直方图均衡化在暗部改善上虽有提升,但信息熵值远不如直方图均衡化。Retinex 算法的三种逆光图像还原方法虽然可以大幅度改善暗部,但相应地也损失掉了一些原有背景的内容,处理后的图像相较于原图较为模糊。文献[10]方法大幅度提升了图像的质量,但是前景与背景像素色温差别较大,显得图像整体不够自然。除直方图均衡化外,文中方法熵值与平均梯度都最大,色调失真度最小且亮度均值适中,表明文中方法对比其他方法,可以更多地保留图像信息,取得的效果最自然,是最好的逆光图像还原方法。

3 结束语

针对当前诸多逆光图像重建方法都仅针对单一图像进行还原,且重建效果不易控制等问题,该创新性提出了将多张逆光图像结合并筛选的图像重建方法并取得了较好的图像重建效果。并且,该方法改进的阈值分割算法相较于传统 Otsu 分割算法,对逆光图像的前景分割更为完整。

同时,采用了基于曲线拟合的图像拼接方法,不但可以更好地对前景背景图像边界进行拼接配准,还可以减少因不同逆光图像间像素不一致带来的影响。最后,引入了图像逆光度分析与图像信息熵交叉的筛选图像方法,使筛选出的重建图像在亮度适中时保留最多的图像细节。对比其他现有的逆光图像重建方法,该方法相较于传统逆光图像重建方法,重建效果易于控制、图像色彩失真度较低并且保留了较高的图像细节。在不考虑图像时间复杂度的情况下是最好的逆光图像重建方法。

参考文献:

- [1] 杨 薇,赵冬梅. 逆光船舶图像恢复方法[J]. 舰船科学技术,2018,40(12):79-81.
- [2] 祝思文. 光照不均匀图像增强研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2017.
- [3] 梁 琳,何卫平,雷 蕾,等. 光照不均图像增强方法综述[J]. 计算机应用研究,2010,27(5):1625-1628.
- [4] 张 岩,崔晓萌. 基于灰度变换的图像增强实现[J]. 包装工程,2010,31(19):95-98.
- [5] LAND E H, MCCANN J J. Lightness and retinex theory[J]. Journal of the Optical Society of America,1971,61(1):11.
- [6] 冈萨雷斯. 数字图像处理:Matlab 版[M]. 北京:电子工业出版社,2013:20-40.
- [7] 齐 卉,孙 超,苏 通,等. 基于 MATLAB 的图像去雾技术研究[J]. 江汉大学学报:自然科学版,2020,48(6):84-90.
- [8] 张 莽,张艳梅,蒙 印. 基于直方图匹配的多源遥感影像匀色研究[J]. 地理空间信息,2020,18(12):54-57.
- [9] CHANG Shi-Kuo, WONG Yin-Wah. Optimal histogram matching by monotone gray level transformation[J]. Communications of the ACM,1978,21(10):835-840.
- [10] 刘家朋,赵宇明,胡福乔. 基于单尺度 Retinex 算法的非线性图像增强算法[J]. 上海交通大学学报,2007,41(5):685-688.
- [11] 李明刚,李海山,李 恒. 基于 Retinex 算法和视觉感知质量评价的逆光图像增强[J]. 计算机与数字工程,2020,48(4):952-955.
- [12] JOBSON D J, RAHMAN Z, WOODDELL 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, 1997,6(7):965-976.
- [13] SAHU G, SEAL A, KREJCAR O, et al. Single image dehazing using a new color channel[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation,2020,74(5):103008.
- [14] 田文启,李 震,段新涛,等. 一种基于阈值分割的自适应逆光图像处理算法[J]. 计算机与数字工程,2020,48(10):2465-2470.
- [15] 宋森森. 彩色图像分割算法研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2019.
- [16] 张志刚,周术诚,马 君,等. 基于曲率特征的轮廓匹配方法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(14):57-58.
- [17] 孙君顶,丁振国,周利华. 基于图像信息熵与空间分布熵的彩色图像检索方法[J]. 红外与毫米波学报,2005,24(2):135-139.