

文章编号: 1673-5196(2018)04-0090-06

基于多感知特征计算的沙尘图像增强算法

李 策, 刘 昊, 陈晓雷, 潘峥嵘

(兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 沙尘天气的日益增多严重影响了获取图像的质量, 相对于晴朗天气下获取的图像, 沙尘图像存在清晰度和亮度偏低、色调偏黄等低质图像特点, 已有的图像增强算法并不能完全解决这些问题. 针对上述问题, 提出了一种基于多感知特征计算的沙尘图像增强算法. 首先, 利用伽马校正解决由于固体颗粒导致图像亮度偏低的问题; 其次, 通过动态阈值法校正沙尘图像色调偏黄的问题; 最后, 利用所提改进去雾算法提高图像的对比度. 实验对比结果表明, 所提算法利用多个特征增强不同程度的沙尘图像, 保留较多的图像细节, 校正图像的色偏问题, 大幅度提高了图像的对比度, 对沙尘图像增强效果明显.

关键词: 沙尘图像; 图像增强; 视感知特征

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Enhancement algorithm of dust image based on multi-perceptual feature calculation

LI Ce, LIU Hao, CHEN Xiao-lei, PAN Zheng-rong

(College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: The day-by-day increased dust weather has seriously affected the quality of acquired images. Compared with images obtained in sunny day, the dust images have some obvious problems such as low-quality in brightness and contrast, hue yellowing and so on. In order to solve these problems which cannot be solved completely by the image enhancement algorithms available. Aimed at fore going problems, an image enhancement algorithm is presented based on the multi-perceptual feature calculation. Firstly, the gamma correction is used to solve the lower brightness problem caused by solid particles in dust, then the automatic white balance method is employed to correct image hue, and finally, utilizing the proposed defog algorithm, the image contrast is enhance. The experimental result shows that by using the proposed algorithm with multiple features, the dust image will be enhanced to some extent, keeping more image details, resolving the contrast and hue correction problems and improving the image contrast to a great extent. This algorithm will have obvious effect for image enhancement.

Key words: dust image; image enhancement; visual perceptual feature

近年来越来越常见的沙尘天气严重影响了我们日常获取图像的质量. 在人工智能飞速发展的今天, 沙尘图像的识别依旧制约着无人驾驶汽车技术的发展, 因此沙尘图像增强已成为了一个亟待解决的重要问题.

沙尘天气是指风将地面大量的沙尘物质卷入空

中, 大量的固体颗粒使空气混浊, 从而导致能见度降低的天气. 由于空气中的沙尘颗粒增多, 对光的散射作用增强, 从而使得沙尘天气下拍摄的图像在清晰度和亮度方面明显降低且整体色调偏黄.

目前国内外沙尘图像增强算法的研究工作较少, 主要有以下几种算法. 延婷等^[1]提出了一种基于POSHE (partially overlapped sub-block histogram equalization) 算法的沙尘图像增强算法, 该算法有效地提高了沙尘图像的对比度, 但是结果图像易出现色调失真, 同时对远景图像的增强效果不佳. 李海燕

收稿日期: 2016-12-30

基金项目: 国家自然科学基金(61365003), 甘肃省基础研究创新群体项目(1506RJJA031)

作者简介: 李 策(1974-), 男, 辽宁营口人, 博士, 教授.

等^[2]利用暗原色先验的规律和图像增强方法,提出了一种单幅图像的恢复算法,该算法提高了沙尘图像的清晰度,但是恢复图像的亮度偏暗,与清晰图像存在较大的色差。Bertalmio 等^[3]提出的基于核函数的 Retinex 算法对沙尘图像有较好的增强作用,但这种方法不能有效地解决沙尘图像存在的色偏问题。江海蓉等^[4]提出了一种基于暗通道和灰度世界的沙尘图像增强算法,有效地提高了图像的对比度和清晰度,但该方法存在较为严重的色偏问题。

针对以上算法存在的缺陷,本文提出一种对图像的亮度、色调、对比度等多个感知特征进行处理的沙尘图像增强算法。该算法首先利用添加阈值限制后的伽马校正来调整图像亮度,其次通过动态阈值法^[5]对图像进行色调增强,最后用改进后的暗通道先验去雾算法和 CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization) 算法^[6]恢复图像清晰度,提高图像对比度。该算法在对图像的多个感知特征进行处理的过程中纠正了沙尘图像存在的色偏、亮度和对比度偏低等问题,同时尽可能地保留了图像的细节信息。

1 沙尘图像模型

目前在计算机视觉和图像处理领域中广泛应用的由天气原因造成的低质量图像模型^[7]可以用下式来表示:

$$\begin{cases} I(x) = D + A \\ D = L(x)t(x) \\ A = A_{\infty}(1 - t(x)) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $I(x)$ 为观测到的图像; D 为直接衰减; $L(x)$ 为场景辐射; $t(x)$ 为介质传输; A 为空气光; A_{∞} 为全局大气光。

将沙尘图像代入到该模型中,则 $I(x)$ 为沙尘图像, D 为沙尘图像相对于清晰图像的衰减, $L(x)$ 为无沙尘图像, A 为大气光。因此沙尘图像的增强算法可以看做是求解 $L(x)$ 的过程。

由于沙尘图像和雾气图像都是由空气中各种粒子对光的散射和反射作用导致的低质量图像。因此可以将沙尘图像近似地看作色调偏黄的雾气图像。而这两种图像的不同在于沙尘中固体粒子偏多,而雾气中半透明的溶胶粒子偏多,并且沙尘本身是有颜色的,所以沙尘图像会对图像造成一定的色偏和亮度降低。因此既不能用普通的图像增强算法^[8]也不能直接用去雾算法对沙尘图像进行处理。如图1所示,暗通道先验去雾算法^[9]对雾气图像有较好的实验结果,而对于沙尘图像,暗通道算法处理结果仍

存在色调偏黄、亮度偏低等问题。因此沙尘图像的增强不仅要考虑对清晰度和对比度的增强,同时要考虑对图像色调的校正和亮度的增强。因此本文提出了一种基于多感知特征计算的沙尘图像增强算法。

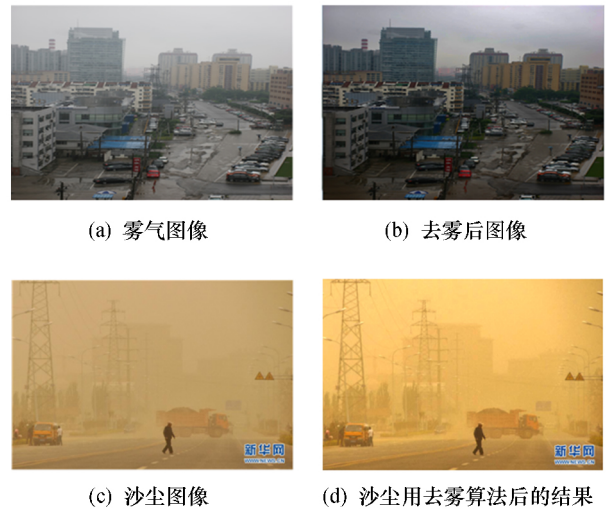


图1 暗通道先验算法^[9]处理雾气和沙尘图像的结果对比
Fig.1 Comparison of processing results of fog and dust images with dark channel prior algorithm

2 基于多感知特征计算的沙尘图像增强算法

本文提出了一种基于多感知特征计算的沙尘图像增强算法。首先利用添加阈值限制后的伽马校正增强图像亮度,然后通过动态阈值法对图像进行色调增强,最后利用改进大气光值选取方法后的暗通道先验算法和 CLAHE 算法通过去除图像中的雾气达到增强图像对比度的目的。本文提出的图像增强算法框架如图2所示。

2.1 亮度增强

不同于雾气,沙尘大多为固体粒子,因此根据沙尘的严重情况,沙尘图像的亮度会受到一定的影响,所以本文首先对图像的亮度进行校正。

伽马校正^[10]是对图像进行非线性色调编辑的一种常用方法。本文提出的算法相对于单纯的伽马校正添加了阈值限制,选取图像熵最大时的亮度作为校正后的亮度。改进后的伽马校正不仅增强了图像亮度,防止过曝光现象的产生,同时保证了增强后的图像能保留尽可能多的图像细节信息。

首先将图像转换到 YCbCr 颜色空间,然后利用滑动窗对图像 Y 通道的亮度值进行局部校正。滑动窗的大小为 20×20 。然后根据下式可以计算出图像校正后的亮度值:

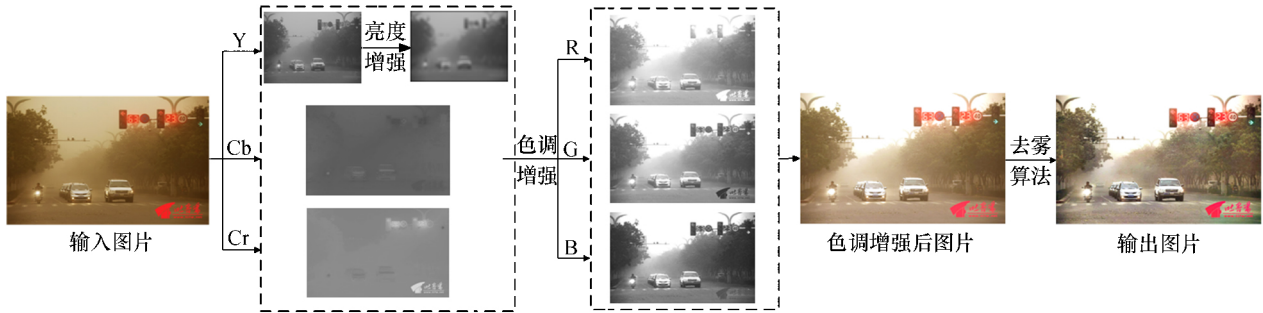


图 2 本文所提算法框图

Fig.2 Block diagram of algorithm presented in this article

$$L' = L + \alpha L(1 - L) \quad (2)$$

式中: L 为原图像的亮度值; L' 为校正后的亮度值; $\alpha \in [0, 1]$, 用来控制图像亮度的校正程度。

为了使亮度校正算法适用于不同程度的沙尘天气, 本文计算不同参数下的图像熵, 选取图像熵最大时的亮度作为图像校正后的亮度. 通过这种方法得到的校正亮度不仅适用于不同的沙尘图像, 同时能够尽可能地保留图像本身的信息。

在实验过程中发现, 通过上述算法得到的图像往往会发生过曝光现象, 如图 3c 所示. 由于沙尘图像的亮度值与正常图像的亮度值相差不会太大, 所以根据下式对校正后的亮度值设置一个阈值, 来解决图像过曝光的问题:

决图像过曝光的问题:

$$L'' = \begin{cases} L, & L' - L \geq \beta \\ L', & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: L'' 为最终亮度值; $\beta = 0.015$ 为经验值。

亮度增强过程如图 3 所示, 相对于输入图像, 经过伽马校正后的图像虽然增强了亮度但存在明显的过曝光问题, 而添加阈值限制后的图像则在增强图像亮度的同时解决了过曝光问题. 从亮度图中可以看出, 输入图像的亮度值偏低, 伽马校正后图像的亮度值太过集中, 存在过曝光的问题, 而添加阈值限制后的图像亮度图不仅扩大了亮度值的范围, 而且解决了亮度值过于集中的问题。

2.2 色调增强

动态阈值法^[5]是目前常用的一种色调增强算法. 本文使用该算法有效地对沙尘图像进行了色调增强. 步骤如下:

步骤 1) 计算图像在 Cb 和 Cr 通道中的均值 M_b 、 M_r , 并根据下式计算绝对差的累积值 D_b 和 D_r :

$$D_b = \sum_{x,y} (C_b(x,y) - M_b) / N \quad (4)$$

$$D_r = \sum_{x,y} (C_r(x,y) - M_r) / N$$

式中: (x, y) 为像素点坐标; N 为像素点的总数。

步骤 2) 根据下式选取图像的近白区域, 并在近白区域中选取亮度值为前 10% 的点为白色参考点:

$$\begin{cases} |C_b(x,y) - (M_b + D_b \text{sign}(M_b))| < 1.5D_b \\ |C_r(x,y) - (1.5M_r + D_r \text{sign}(M_r))| < 1.5D_r \end{cases} \quad (5)$$

步骤 3) 按照下式分别计算每个通道的增益值:

$$\begin{aligned} R_z &= \frac{Y_{\max}}{R_m} \\ G_z &= \frac{Y_{\max}}{G_m} \\ B_z &= \frac{Y_{\max}}{B_m} \end{aligned} \quad (6)$$

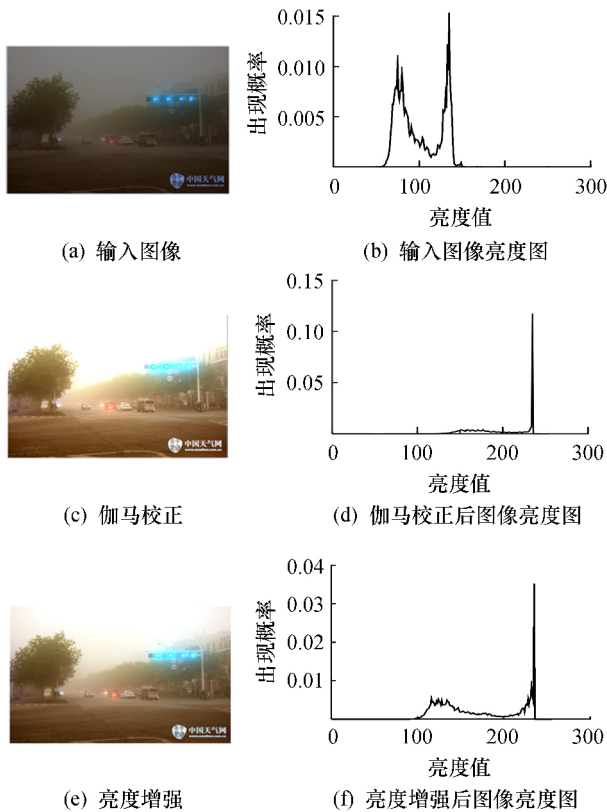


图 3 图像亮度增强过程

Fig.3 Image brightness enhancement process

式中: Y_{\max} 为 Y 通道中的最大值; R_m 、 G_m 、 B_m 分别为白色参考点 RGB 三个通道的均值.

步骤 4) 按照下式分别计算每个通道的颜色值:

$$\begin{aligned} R' &= R \times R_z \\ G' &= G \times G_z \\ B' &= B \times B_z \end{aligned} \quad (7)$$

式中: R 、 G 、 B 为原始图像的颜色值.

色调增强过程如图 4 所示, 该算法解决了沙尘图像色调偏黄的问题. 从 RGB 分布图中可以看出输入图像的 RGB 值分布不在一个区间内, 而色调增强后图像的 RGB 值分布一致, 同样客观地说明了该算法对图像色调的有效增强.

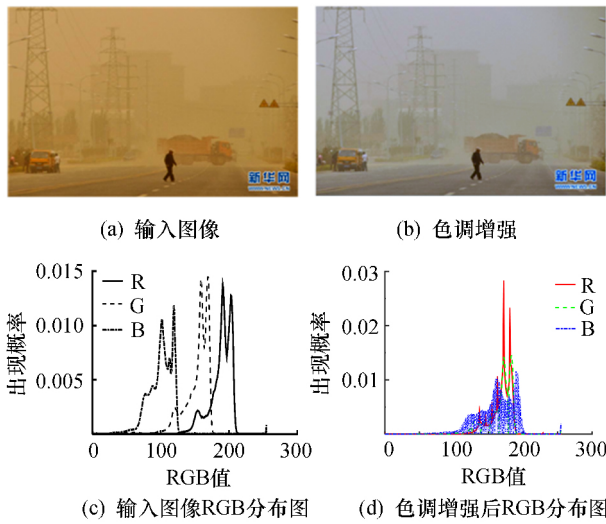


图 4 色调增强过程

Fig.4 Hue enhancement process

2.3 暗通道先验去雾

由于沙尘可以近似地看作黄色的雾气, 因此在解决了亮度和色调的问题后, 还需要对沙尘图像进行去雾处理来解决图像对比度偏低的问题. 本文利用暗通道先验算法^[9]进行去雾处理来提高沙尘图像的对对比度.

暗通道指的是在无雾图像中每个像素点总会有至少一个颜色通道的值趋近于零. 而在雾气图像中, 雾气对大气光的散射使得原本的暗通道像素点变亮, 导致雾气图像比无雾图像亮度值更高. 因此可以根据无雾图像暗通道的值来估计透射率, 从而去除图像中的雾气, 恢复出清晰的无雾图像. 暗通道算法如下式所示:

$$J = \frac{I - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (8)$$

式中: I 为雾气图像; J 为无雾图像; A 为大气光值; t_0 为透射率的下限; $t(x)$ 为根据暗通道估算的透射率.

透射率的估算如下式所示:

$$t(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (9)$$

式中: $\Omega(x)$ 为对应于 x 的图像块; y 为属于 $\Omega(x)$ 中的像素点; ω 为阈值; $c \in \{1, 2, 3\}$, 表示 RGB 颜色空间的三个颜色通道.

暗通道算法中大气光值的估计分为三步. 第一步统计暗通道中亮度值最大的 0.1% 的像素; 第二步在原图中寻找这些点中亮度最高的点; 第三步将该点的亮度值与给定的大气光下限值比较, 选较小的作为大气光值. 这种算法通常会导致图像天空区域的颜色失真.

本文改进了暗通道算法中大气光值的选取, 在第三步中采用像素点亮度的中值与给定的大气光下限值比较, 选较小的作为大气光值. 这种方法可以有效降低图像中天空区域的颜色失真, 达到较好的实验效果. 在实验过程中发现, 暗通道算法仅对图像中近处的物体有较好的去雾效果, 而远处的物体仍保留了大量的雾气, 不利于对图像进一步的处理. 因此下一步需要去除图像中的远景雾, 以便获取更多的图像信息.

2.4 CLAHE 算法去雾

暗通道算法^[9]通常只能去除沙尘图像中的近景雾, 如图 5a 所示. 因此本文采用 CLAHE 算法^[6]对图像进行进一步处理, 达到提高沙尘图像的对对比度并去除图像中远景雾的目的.

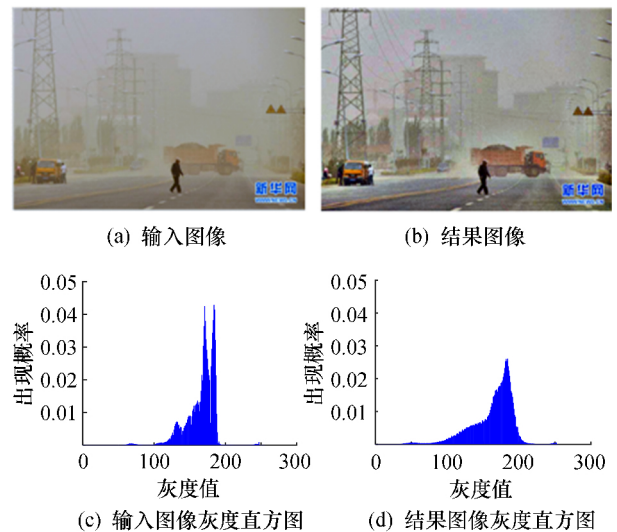


图 5 CLAHE 算法去雾过程

Fig.5 Process of defogging with CLAHE algorithm

CLAHE 算法^[6]通过计算图像的局部直方图, 然后根据设置好的对比度限幅重新分布亮度来改变图像对比度. 这种算法能提高图像的局部对比度以

便于获得更多的图像细节。

去除远景雾的过程如图 5 所示,图 5b 不仅去除了图像中的远景雾,还提高了图像的对比度和清晰度,提供了更多的图像细节信息.从这两幅图像对应的灰度直方图中可以看出,图 5d 中的灰度范围更大,灰度变化更平缓,同样说明了结果图像的清晰度和对比度优于输入图像。

3 实验结果

为了验证算法的有效性,本文与 Retinex 算法^[3]、江海蓉算法^[4]从主观视觉效果和客观数据两方面进行对比测试.所用图像为互联网中获取的沙尘图像.所有测试结果均在相同的计算机环境下(Intel(R) Core(TM) i5-4590CPU@ 3.30 GHz, 8.00 GB RAM)得到。

3.1 主观结果对比

本文算法和 Retinex 算法^[3]、江海蓉算法^[4]、以及原始图像的主观视觉效果对比如图 6 所示.相对于这两种算法,本文算法有效去除了图像中的沙尘,



输入图像 Retinex算法^[3] 江海蓉算法^[4] 本文算法

图 6 沙尘图像增强算法的主观结果对比

Fig.6 Comparison of subjective result of dust image enhancement algorithm

提高了图像的亮度、对比度和清晰度.如第 5 幅图像,Retinex 算法^[3]结果偏黄不能有效去除沙尘的颜色,而本文算法结果有效增强了图像色调.如第 4 幅图像,江海蓉算法^[4]结果的天空区域明显偏蓝,而本文算法的天空区域则是正常的白色。

同时为了检验实验结果是否符合主观评价,本文将图 6 中三种算法的结果图像顺序打乱,找来 20 位对图像处理领域不太熟悉的人员对图像的清晰程度按照最清晰打 10 分,最模糊打 0 分的标准进行打分.实验图像的主观评价结果见表 1,每幅图像的分数为 20 个分数的均值.从表 1 可以看出,本文算法的评分最高。

表 1 沙尘图像增强算法的主观结果对比

Tab.1 Comparison of subjective result of dust image enhancement algorithm

图像编号	Retinex 算法 ^[3]	江海蓉算法 ^[4]	本文算法
图像 1	4.62	5.25	7.62
图像 2	4.96	5.25	7.61
图像 3	4.18	5.68	8.37
图像 4	5.34	6.81	9.21
图像 5	4.17	5.46	7.53
图像 6	4.39	5.98	8.84
图像 7	4.65	5.56	9.81
图像 8	5.37	4.68	7.62

3.2 客观结果对比

信息熵、平均梯度和对比度三个指标来评价增强后的图像质量.具体数据见表 2~4。

图像信息熵通常用来衡量图像信息的丰富程度.平均梯度可用来表示图像的相对清晰程度.而高对比度对于图像的清晰度、细节表现、灰度层次表现有很大帮助.因此,这三个图像客观质量评价指标能较为全面地反映一幅图像的质量。

表 2 本文算法与其他算法的局部信息熵比较

Tab.2 Comparison of local information entropy between algorithm presented in this article and other ones

图像编号	输入图像	Retinex 算法 ^[3]	江海蓉算法 ^[4]	本文算法
图像 1	2.672 5	3.045 5	3.325 0	4.043 9
图像 2	1.835 7	2.946 4	2.807 2	3.453 3
图像 3	2.797 8	2.845 5	3.461 3	4.096 5
图像 4	3.616 2	3.816 8	3.782 5	4.174 3
图像 5	2.810 7	2.878 0	3.225 5	3.968 4
图像 6	3.108 0	3.260 5	3.806 2	4.128 5
图像 7	2.836 8	3.170 1	3.227 5	3.785 3
图像 8	2.316 6	3.162 1	3.013 9	3.829 0

表3 本文算法与其他算法平均梯度比较

Tab.3 Comparison of mean gradient between algorithm presented in this article and other ones

图像编号	输入图像	Retinex算法 ^[3]	江海蓉算法 ^[4]	本文算法
图像1	0.019 0	0.019 1	0.020 3	0.033 2
图像2	0.004 9	0.010 9	0.007 8	0.013 5
图像3	0.021 6	0.022 6	0.024 4	0.033 7
图像4	0.031 4	0.038 3	0.043 4	0.062 0
图像5	0.027 1	0.028 0	0.029 7	0.039 4
图像6	0.049 7	0.049 8	0.055 2	0.073 6
图像7	0.015 9	0.021 0	0.020 3	0.030 3
图像8	0.006 0	0.015 0	0.008 0	0.022 8

表4 本文算法与其他算法对比度比较

Tab.4 Comparison of contrast between algorithm presented in this article and other ones

图像编号	输入图像	Retinex算法 ^[3]	江海蓉算法 ^[4]	本文算法
图像1	66.153 4	64.327 1	81.805 4	156.863 4
图像2	6.480 3	18.991 6	13.004 6	31.193 8
图像3	64.456 5	70.590 4	80.728 9	153.949 5
图像4	62.493 7	90.455 6	120.361 1	236.389 2
图像5	99.342 3	106.456 5	117.974 5	206.832 0
图像6	155.573 8	155.692 5	194.608 3	341.564 9
图像7	34.894 7	60.831 0	61.522 3	128.693 1
图像8	9.443 2	48.631 4	22.001 6	119.624 1

从表2~4可以看出,这三个指标比较结果中本文算法明显优于Retinex算法^[3]和江海蓉算法^[4],并且与主观评价结果相符,进一步反映了本文算法的有效性。

4 结语

本文所提算法针对沙尘图像亮度和对比度偏低,存在较大色调偏差等问题,提出了一种基于多感知特征计算的沙尘图像增强算法。所提算法首先针对沙尘图像中固体颗粒对光线的遮挡从而导致的图像亮度偏低问题,通过阈值伽马校正算法增强图像亮度;其次根据动态阈值法调整沙尘本身颜色导致

的图像色偏;然后通过所提改进的暗通道算法和CLAHE算法解决了雾气对图像对比度的影响;本文所提算法通过对沙尘图像色调、亮度和对比度等多个感知特征的增强,最终实现了增强沙尘图像的目的。从主观和客观实验结果对比表明,本文算法优于传统算法。今后将进一步研究如何将该算法应用于交通标志的检测和识别等计算机视觉任务中。

参考文献:

- [1] 延婷,汪烈军,王佳星.沙尘环境下视频图像增强方法的研究[J].激光杂志,2014,35(4):23-25.
- [2] 李海燕,钟梦之.基于暗原色先验的沙尘天气图像恢复算法研究[J].喀什大学学报,2016,37(3):42-45.
- [3] BERTALMIO M,CASELLES V,PROVENZI E.Issues about retinex theory and contrast enhancement [J].International Journal of Computer Vision,2009,83(1):101-119.
- [4] 江海蓉.极端天气条件下低质图像增强算法研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2016.
- [5] WENG C C,CHEN H,FUH C S.A novel automatic white balance method for digital still cameras [C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems.[S.l.]:IEEE,2005:3801-3804.
- [6] REZA A M.Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement [J].Journal of VLSI Signal Processing Systems for Signal,Image and Video Technology,2004,38(1):35-44.
- [7] ZHOU P,ZHOU Y.Single image haze removal using dark channel prior and fields of experts model [C]//IEEE International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery.[S.l.]:IEEE,2014:820-824.
- [8] 张海朝,完颜丹丹,孙士保,等.一种自适应红外图像增强算法[J].兰州理工大学学报,2012,38(3):102-106.
- [9] HE K,SUN J,TANG X.Single image haze removal using dark channel prior [J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2011,33(12):2341-2353.
- [10] KLEIHORST R P,LAGENDIJK R L,BIEMOND J.An adaptive order-statistic noise filter for gamma-corrected image sequences [J].IEEE Transactions on Image Processing,1997,6(10):1442-1446.