

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.04.008

基于航拍图像去雾增强的秸秆焚烧监测技术研究^{*}

肖明霞^{1,2} 鲁昌华¹ 韦海成² 蒋薇薇¹

(1. 合肥工业大学计算机与信息学院 合肥 230009; 2. 北方民族大学电气信息工程学院 银川 750021)

摘 要:秸秆焚烧会造成严重的大气污染,航拍检测秸秆焚烧能够实现实时监测,具有便捷、实时的特点。但秸秆焚烧点航拍监测图像受天气中悬浮粒子影响,画质退化严重。针对该问题,提出一种新的图像增强算法。算法在传统的暗通道先验算法基础上,对图像的直方图进行统计并采用自适应系数的去雾增强算法修正,并通过对比度增强最终提高航拍图像的质量。主客观实验结果表明,该算法在白天浓雾环境以及夜晚的低亮度环境下有较好的画质增强效果和较高的实用价值。

关键词:无人机航拍;暗通道先验;去雾算法

中图分类号: TN391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6030

Study on monitoring technology of straw burning based on UAV aerial image dehazing enhancement algorithm

Xiao Mingxia^{1,2} Lu Changhua¹ Wei Haicheng² Jiang Weiwei¹

(1. School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. School of Electrical and Information Engineering, Beifang University for Nationalities, Yinchuan 750021, China)

Abstract:The straw burning will cause serious atmospheric pollution. Aerial detection can achieve real-time monitoring of straw incineration conveniently. But the aerial monitoring image of straw burning point can be affected by suspended particles, which will cause the quality of the image degradation seriously. To solve this problem, a new image enhancement algorithm is proposed in this paper. Based on the traditional dark channel prior algorithm, the histogram of the image is statistically analyzed. The adaptive coefficients are used to modify the image enhancement algorithm. And the contrast enhancement is used to improve the quality of aerial image ultimately. The experimental results show that the algorithm has better image quality enhancement effect and higher practical value both in the fog environment day-time and low brightness environment night-time.

Keywords:UAV aerial image; dark channel prior; dehazing algorithm

1 引 言

现代社会经济发展导致城乡空气雾霾日趋严重^[1]。在各种雾霾成因中,因农作物收获后的秸秆焚烧引起的空气污染是一个重要因素,特别是在不利于污染物扩散气象条件下,焚烧点周边的空气质量会在短时间内出现急剧下降。

为了减少秸秆焚烧引起的污染问题,各地出台了大

量的政策法规,并加强了对雾霾的监测方法的研究。例如:冯登超等人^[2]使用资源三号卫星的遥感影像研究了秸秆焚烧火点的监测方法;赵少华等人^[3]系统的分析了卫星红外遥感在秸秆焚烧监测中的应用,促进了红外遥感监测技术在环境保护领域中的应用和发展;何敏等人^[4]通过 MODIS 研究了四川地区秸秆焚烧污染物排放及时空分布特征。

然而,现有研究主要基于过境卫星的多光谱遥感传感器数据。使用中,受过境卫星日监测次数有限、小焚烧

收稿日期:2016-09 Received Date: 2016-09

^{*} 基金项目:宁夏回族自治区青年教学改革研究项目(NXJG2016055)、国家自然科学基金(61461001,61463001)、国家重大仪器开发专项(2013YQ220643)资助项目

点捕捉困难、云雾天气不利于监测等因素的影响,使得监测的实时性和便捷性受到局限。针对上述监测过程中存在的不足,本论文拟通过无人机航拍焚烧点的可见光影像,通过图像处理完成秸秆焚烧点实时监测。该方法将会克服现有卫星监测的不足,成为现有遥感监测方案的有益补充。

在无人机低空飞行图像捕捉过程中,受到大气光散射作用,秸秆焚烧产生的雾霾对俯视图像能见度的影响较常规地面图像捕捉更为严重,导致图像清晰度和对比度更差,影响后期焚烧点目标的自动识别。为此,需要必须采用图像增强对航拍照片进行相应的图像处理,如去雾增强等。在此基础上,实现航拍图像的校正和辨识^[5]。

目前许多学者提出了图像去雾的方法,针对单幅图像去雾的方法孟天佑等人^[6]、李丽荣等人^[7]使用了改进直方图增强算法,Marazzato 等人使用 Retinex^[8] 去雾算法、王少华等人^[9]、康艳梅等人^[10]使用同态滤波、王小鹏等人^[11]使用空域彩色图像增强方法,楚广生等人^[12]采用近红外透雾成像系统达到了图像透雾增强的目的。

在图像增强效果上,He 等人^[13]提出的暗通道先验算法已被验证具有较好的效果。吴笑天等人^[14]在暗通道先验算法的基础上提出的双边滤波算法,能够在处理时保持场景的边缘,不仅提升了画质而且提高了图像处理速度。Wu 等人^[15]采用小波变换增强了图像细节,得到了高速高质的去雾效果;嵇晓强等人^[16]和蒋建国等人^[17]将自适应图像分块处理算法和区间分段拉伸算法相结合,提出的方法强调了图像细节的处理。

但直接将暗通道先验算法用于航拍领域,目前仍有一定的局限性:首先针对大范围白色高亮区域图像,算法在计算过程中由于该区域亮度与大气光的亮度相近,因此难以获得精准的透射率值,较低的透射率估值会引起图像失真;此外算法在处理图像亮度会有一定的损失,在夜间航拍时处理的图像显示对比度得不到提升,图像的可辨识性也难以提高。

针对上述问题,本文提出了一种基于图像去雾增强的秸秆焚烧航测算法。基于已有的暗通道先验算法采用自适应修正系数改善原算法的灰度和色彩失真,并通过自适应直方图均衡化处理提高了显示质量。与现有算法相比,本算法具有较好的远距离图像高还原度去雾增强效果,适用于基于航拍的秸秆焚烧监测技术。

2 基于航拍图像增强的监测算法

航拍图像进行秸秆焚烧监测时,高空中所拍摄的全天候图像主要有两方面的问题:白天拍摄的高空俯视图像受空气中颗粒物散射影响变得较为模糊,其效果类似大景深的有雾图像,需要进行高还原性的去雾增强处理,

提高图像的识别率;夜间拍摄的高空俯视图像除上述问题外,受光照不足影响,图像偏暗,难以识别,需要进行高对比度的去雾增强处理,如图 1 所示。



图 1 航拍图像(白天和夜间)

Fig. 1 Aerial images (daytime and nighttime)

新的算法结合白天和晚上图像的特点,在处理过程中先采用改进暗通道先验算法实现高色彩还原性的去雾算法,然后再利用自适应直方图均衡化解决夜间图像的对比度问题。

2.1 改进暗通道先验算法

基于 Mc Cartney 提出的大气散射模型,入射光衰减后的透射光和光源散射引起的大气光的线性叠加构成了图像中物体的亮度,如式(1)所示。

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (1)$$

式中: $I(x)$ 为有雾降质图像, $J(x)$ 为待求原始无雾图像, $t(x)$ 为有雾图像的透射率, A 为大气光强度值。在实际求解过程中,该病态方程需要正则化后得到方程的近似最优解。

暗通道先验算法优化方案主要是忽略了雾化图像的大气光的景深差异。该算法认为绝大部分室外无雾图像中存在一个或多个基色通道数据值很低的暗原色像素。这种暗原色像素的亮度近似反映了浓雾引起的大气光强度,通过该亮度可以估算出雾的厚度,推算出景深信息,计算如下:

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in (R, G, B)} (\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y))) \quad (2)$$

式中: J^{dark} 为暗通道的数值, c 为 R、G、B 三基色中的一个, Ω 为像素 x 为中心的一个区域, J^c 为三基色通道中的一个通道数值。 Ω 区域内像素暗通道值较低,近似 J^{dark} 为 0,从而得到区域 Ω 范围内透射率近似值,计算如下:

$$\tilde{t} = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} (\min_c \frac{J^c(y)}{A^c}) \quad (3)$$

式中: $\tilde{t}$ 为区域内部的透射率值, A^c 为区域内该暗通道的大气光值,取值为区域内亮度排序前 0.1% 像素的最高亮度均值, $\omega \in [0, 1]$ 为景深校正系数,引入该值主要是为了引入景深,提高图像真实性。

文献[13]为了便于计算, Ω 区域由 15×15 个像素构成。通过求每个 Ω 区域内的初始透射值 $\tilde{t}$ 和 A^c ,继而得到该区域无雾函数 $J(x)$ 的近似值,计算如下:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (4)$$

式中: $t_0 \in [0.1, 0.01]$, t_0 的引入是为了保证式(4)的分母不为0, 避免计算出现较大偏差。

上述算法虽然能够得到较好的去雾效果, 但在特殊场景下仍有局限性: 例如当 Ω 为全白高亮区域时, Ω 中像素亮度值较大, 透射率 $\hat{t}$ 变得很小, $I(x)$ 与 A 相近, $J(x)$ 在计算时会出现不确定性偏差, 各像素三基色通道强度值和真实值之间存在较大偏差, 导致全白高亮区域图像出现失真, 如图2所示。

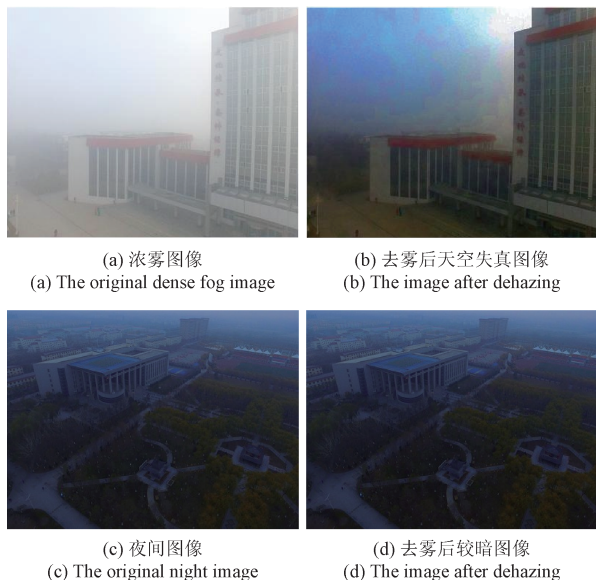


图2 暗通道先验算法^[13]

Fig. 2 Dark channel prior algorithm^[13]

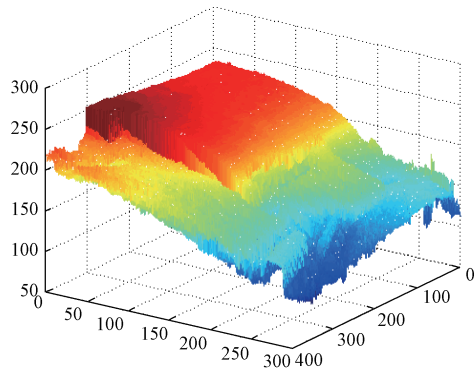
图2(a)为浓雾下的航拍图像, 图2(b)为去雾后的图像。从图中可以看到图2(b)中的天空区域在完成去雾后, 出现失真: 天空原本是白色, 结果变成了彩色图像, 而图像中本来灰度变化较小的边缘区域因算法偏差出现了灰阶的不连续变化, 显示出了灰度斑块。图2(c)为夜间航拍景色, 该图像中大部分区域的亮度较低, 去雾算法后进一步降低了图像亮度, 严重影响了图像的可辨识性, 如图2(d)所示。

上述现象表明, 传统的暗通道先验算法在航拍图像去雾处理过程中具有一定的局限性, 难以达到期望的去雾增强效果。这就无法保证航拍图像能够正确的检测到秸秆焚烧情况, 必须对该算法进行改进。

2.2 改进的航拍图像增强算法

暗通道先验算法处理图像时出现失真的主要原因是算法要假定有雾降质图像的像素具有暗通道特征, 即区域内像素三基色通道至少有一条通道的亮度近似为0, 如果区域内全部是白色高亮像素则与该假设不符, 以图

2(a)为例, 该图的亮度分布如图3(a)所示, 整个图像的天空部分亮度最高, 对应的透射率分布则取值非常小, 见图3(b)。在场经处理后出现的失真这是由于在式(1)求解时, 优化假设的 $\hat{t}$ 和 A^e 与实际值之间存在较大误差。



(a) 亮度分布
(a) The brightness distribution



(b) 暗通道图像
(b) The image of dark channel

图3 白色高亮图像的暗通道及其亮度分布

Fig. 3 Dark channel and brightness distribution of white high-bright image

为了避免这种雾化图像的失真, 需要对暗通道先验算法改进。算法改进主要对图像中白色高亮区域识别处理并对整幅图像进行自适应对比度增强。

识别出图像白色高亮区域方法首先将图像从RGB颜色空间转换到灰度空间, 进行有雾图像的灰度直方图统计。再通过灰度统计直方图势函数 $P_H(k)$, 见式(5)。构造算法自动从灰度由大到小变化方向选取直方图数值变化大于平均灰度值的第一谷点为直方图的阈值点 A 。

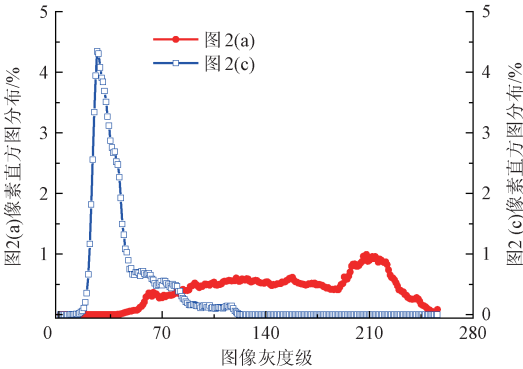
$$P_H(k) = \frac{1}{P_{\max}} \sum_{i=0}^{L-1} \frac{H(i)}{1 + \alpha(i-k)^2} \quad (5)$$

式中: $P_H(k)$ 为直方图势函数, $H(k)$ 为灰度统计直方图函数。

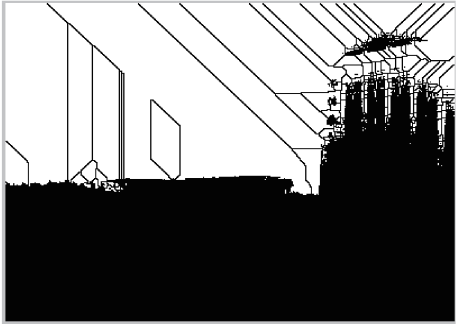
算法主要通过有雾图像直方图势函数进行自适应阈值选取。当图像直方图区域内不存在大于图像平均灰度值的极致点时, 算法就无法选取合适的阈值, 也就不能标识出不同亮度的图像, 当图像存在明显大于平均灰度值的极值点时, 算法就可以得到阈值点 A 。在此基础上,

对图像进行分割,分割参照文献[13]进行,区域面积选择 15×15 像素。然后,统计区域内三基色通道像素的强度均差来判断是否为高亮度白色信号。当灰度均值均高于阈值点 A 且强度均差小于经验阈值 20 时,可以将该区域标定为白色明亮区域。

针对图中标定为白素明亮区域的像素进行数量统计,根据统计结果与整幅图像的像素数的比值设定影响因子,再通过影响影子修正标示区域的透射率,通过透射率的修正来减少失真现象。



(a) 图2(a)和(c)的像素点直方图势函数
(a) Pixel point histogram distribution of Fig. 2(a) and (c)



(b) 有雾图像2(a)的白色高亮区域标识结果
(b) White highlight area identification results for Fig. 2(a)

图 4 有雾图像直方图势函数及白色高亮图像标识
Fig.4 Foggy image histogram potential function and white high-bright image identification

例如图 2(a) 图像的阈值点 A 为灰度级 188,其高亮度像素和总像素的比为 46.05%,而经过标识为白色高亮区域的像素点和总像素的比值为 51.76%,算得该图的修正因子为 1.94。

应用获得的修正因子对图 2 的两种情况进行修正,并对修正后的图像结果进行自适应对比度增强,以提高图像的夜间可辨识度。最终图像的改进效果如图 5 所示。

对比本文提到去雾增强算法和文献[13]提出的暗通道先验可知,在白天浓雾图像去雾处理中,原算法图像天空部分的颜色出现了明显失真,使得图像识别难度有



(a) 去除白天浓雾效果
(a) New algorithm in daytime
(b) 去除夜间有雾效果
(b) New algorithm in nighttime

图 5 改进算法结果

Fig. 5 Results of improved algorithm

所增加,而经过改进算法处理后,这种颜色失真就得到了明显的改善,图像的色调和色度上和原始图像相近没有出现明显的偏差,其图像对比度和清晰度有了一定程度的提升。

图 2(c) 的有雾图像,因傍晚亮度较低,原有算法对图像细节的增强并不明显。特别是建筑的柱子、林间小道以及体育场跑道都很难辨识,图像的色彩都与实际物体有较大差异,跑道的红色无法较好辨识;而改进算法中上述情况得到了明显改善,不仅图像细节得到了体现,相应的颜色失真也得到纠正。

3 实验结果及讨论

为了验证算法效果,选择文章最初提到的航拍图像,用改进算法进行对比处理。图 6(a) 和 6(c) 为采用文献[13]所提的算法。而图 6(b) 和图 6(d) 为本文所述针对航拍图像的改进增强算法。可以看出,改进算法处理的图片清晰度更高,图像细节更易辨识,且颜色失真较小。



(a) 文献[13]提出算法
(a) The algorithm of artical [13]
(b) 本文提出算法
(b) The algorithm in this paper



(c) 文献[13]提出算法
(c) The algorithm of artical [13]
(d) 本文提出算法
(d) The algorithm in this paper

图 6 实验结果对比

Fig. 6 Experimental results contrast

改进暗通道先验图像增强算法较好的改善图像质量,增加图像细节和层次,确保了图像色彩的真实性和完整性。针对所处理的图像进行去雾前后的 MSE 和 PSNR 等画质客观评价指标进行对比(表 1)。

表 1 两种算法 PSNR 和 MSE 结果

Table 1 PSNR and MSE with two algorithms

图像	算法	PSNR	MSE
图像 1	暗通道先验	24.14	250.37
	改进算法	24.78	216.34
图像 2	暗通道先验	32.49	36.66
	改进算法	38.24	9.75

实验结果表明,改进算法的失真小于原算法,即改进算法在客观上确实能够明显增强航拍图像的画质。

以实际焚烧秸秆的航拍图像为例,原图像本身很难辨识下面的田地、树木以及田间道路,如图 7(a)所示;即使采用文献[13]提出的去雾算法也很难达到较好的去雾效果,如图 7(b)所示;而采用本文所述的算法后,图像中的田地等细节可以明显辨识,如图 7(c)所示;最终,更容易识别到图像中的焚烧点,如图 7(d)所示。

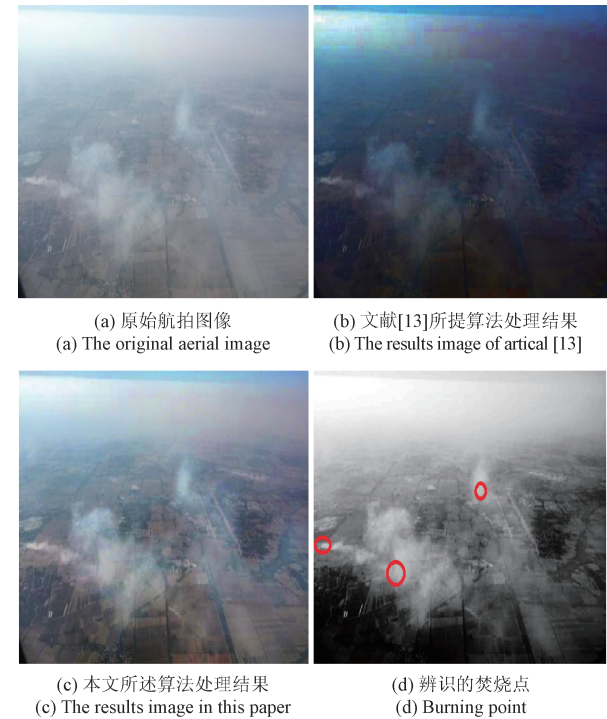
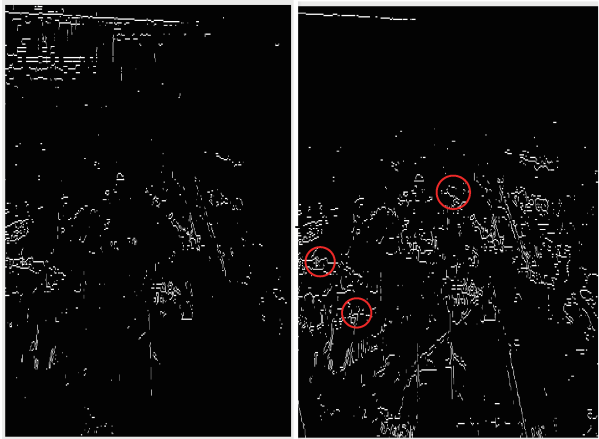


图 7 航拍秸秆焚烧图像的增强结果

Fig. 7 The results of burning straw aerial image enhancement

对比图 7 中两种结果分别提取文献[13]与本文所述方法的结果图像轮廓信息,如图 8 所示。从图 8 可以看出,同样的图像均采用 Prewitt 算子进行边缘提取后,在焚烧点附近图像细节更加丰富真实,图像具有更多的信

息。而在天空部分图像的细节更少,表明该区域图像失真得到了很好的抑制。



(a) 文献[13]算法边缘提取结果
(a) Edge extraction results of artical [13] algorithm
(b) 本文所述算法边缘提取结果
(b) Edge extraction results by this paper

图 8 航拍图像增强结果边缘提取对比
Fig. 8 Contrast of aerial image enhancement results of edge extraction

4 结 论

相对卫星遥感监测,无人机航拍技术应用于秸秆焚烧监测,具有投入成本低,简易、灵活、实时的特点。但在使用过程中,航拍图像受空气中细小颗粒的影响,画质有所降低。针对于此,本文所述的基于航拍图像增强技术将自适应去雾算法和对比度增强算法结合在一起,在白天浓雾以及夜晚的低亮度等复杂环境下,均能够有效提升显示画质,增强拍摄图像细节。算法能够很好地提高焚烧点的辨识性,具有较高的实际应用价值。

参考文献

[1] 何佳晶,周晖,刘婷婷,等. 一种考虑湿度修正的雾霾检测系统[J]. 电子测量技术,2015,38(10):96-100.
HE J J, ZHOU H, LIU T T, et al. Mist haze detection system considering humidity correction, Electronic Measurment Technology, 2015,38(10):96-10.
[2] 冯登超,秦焕禹,杨晓冬,等. 基于资源三号卫星影像的秸秆焚烧火点监测研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015,29(4):616-621.
FENG D CH, QIN H Y, YANG X D, et al. Research on straw burning fire point monitoring based on ZY-3 satellite image [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015,29(4):616-621.
[3] 赵少华,王桥,游代安,等. 卫星红外遥感技术在我国环保领域中的应用与发展分析[J]. 地球信息科学学报, 2015,17(7):855-861.
ZHAO SH H, WANG Q, YOU D AN, et al. Preliminary

- analysis on the application of satellite infrared remote sensing techniques in environmental protection of China[J]. Journal of Geo-information Science, 2015, 17(7):855-861.
- [4] 何敏,王幸锐,韩丽,等. 四川省秸秆露天焚烧污染物排放清单及时空分布特征[J]. 环境科学. 2015, 36(4):1208-1216.
- HE M, WANG X R, HAN L, et al. Emission Inventory of crop residues field burning and its temporal and spatial distribution in Sichuan province [J]. Environmental Science, 2015, 36(4):1208-1216.
- [5] 冯登超,陈刚,肖楷乐,等. 遥感图像的几何精校正研究[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(5):41-43.
- FENG D CH, CHENG G XIAO K L, et al. Study on geometric precision correction of the remote sensing image[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2012, 31(5):41-43.
- [6] 孟天佑,汪云甲. 遥感图像理想均衡化及图像质量定量评价[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5):729-739.
- MENG T Y, WANG Y J. Ideal equalization of remote sensing images and quantitative assessment of image quality [J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(5):729-739.
- [7] 李利荣,汪蒙. 一种高效的图像增强去雾算法[J]. 湖北工业大学学报, 2013, 28(5):72-75
- LI L R, WANG M. An algorithm of image enhancement for haze removal [J]. Journal of Hubei University of Technology, 2013, 28(5):72-75.
- [8] 林笑君,梁凤梅. 基于 Retinex 的一种图像去雾算法[J]. 电视技术, 2013, 37(17):155-158.
- LIN X J, LIANG F M. Method of foggy image removing algorithm based on retinex theory [J]. Video Engineering, 2013, 37 (17):155-158.
- [9] 汪少华,赵天忠,王鑫,等. 利用同态滤波提取高分辨率遥感影像树冠信息[J]. 遥感信息, 2015(3):60-64.
- WANG SH H, ZHAO T ZH, WANG X, et al. Extraction of tree-crown information from high spatial resolution remotely sensed imagery based on homomorphic filtering[J]. Remote Sensing Information, 2015 (3):60-64.
- [10] 康艳梅,陈名松,何志毅. 基于 LED 辅助照明的水下图像增强算法研究[J]. 电视技术. 2013, 37 (15):211-214.
- KANG Y M, CHEN M S, HE ZH Y. Underwater image enhancement algorithms based on LED auxiliary lighting[J]. Video Engineering, 2013, 37 (15):211-214.
- [11] 王小鹏,陈璐,魏冲冲,等. 一种改进的 Retinex 彩色图像增强方法[J]. 兰州交通大学学报, 2015, 34(1):259-270.
- WANG X P, CHEN L, WEI CH CH, et al. Color Image Enhancement Based on Improved Retinex Algorithm [J], Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2015, 34(1):259-270.
- [12] 楚广生,宋玉龙,李祥琛,等. 基于 SC MOS 的近红外透雾成像系统[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(6):138-141.
- CHU G SH, M SONG Y, LI X CH, et al. Near infrared dehazed imaging system based on SC MOS sensor [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(6):138-141.
- [13] HE K, SUN J, TANG X O. Single image haze removal using dark channel prior [C] Proceedings of IEEE CVPRP09, IEEE Computer Society, 2009:1956-1963.
- [14] 吴笑天,丁兴号,吴奎. 基于暗通道理论的雾天图像复原的快速算法[J]. 长春理工大学学报:自然科学版, 2012, 35(1):100-104.
- WU X T, DING X H, WU K. A fast haze removal algorithm using dark channel prior [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2012, 35(1):100-104.
- [15] WU S, ZHANG H, CHENG W. Research for image haze-removal algorithm using the dark-channel prior based on wavelet transform [J]. Open Cybernetics & Systemics Journal, 2015, 9(1):1378-1384.
- [16] 嵇晓强,戴明,孙丽娜,等. 暗原色先验图像去雾算法研究[J]. 光电子·激光, 2011, 22(6):926-930.
- JI X Q, DAI M, SUN L N, et al. Research on the image haze-removal algorithm based on the prior dark-channel [J], Journal of Optoelectronics · Laser, 2011, 22(6):926-930.
- [17] 蒋建国,侯天峰,齐美彬. 改进的基于暗原色先验的图像去雾算法[J]. 电路与系统学报, 2011, 16(2):7-12.
- JIANG J G, HOU T F, QI M B. Improved algorithm on image haze removal using dark channel prior [J]. Journal of Circuits and Systems, 2011, 16 (2):7-12.

作者简介



肖明霞, 1978 年出生, 2008 年毕业于西北工业大学, 获得硕士学位。现为北方民族大学副教授, 合肥工业大学博士研究生。目前主要研究领域为微弱信号检测、图像处理等。

E-mail: xiao_xiao963@163.com

Xiao Mingxia was born in 1978, and graduated from Northwest University of Technology in 2008. She is an associate professor in Beifang University for Nationalities and Ph. D. candidate in Hefei University of Technology now. Her present research interests include weak signal processing, digital image processing and so on.