

文章编号:1007-2780(2016)05-0506-05

基于暗通道先验的图像去雾优化算法

王 昕*, 孙莹莹, 孟 健

(长春工业大学 计算机科学与工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要:暗通道先验算法虽然在单幅图像去雾方面取得了一定的效果,但是该算法运行时间较长,另外对环境光的计算不太准确,不适用于天空区域,会导致复原图像色彩失真、亮度偏暗。针对这些缺陷,本文提出一种改进的 White Patch Retinex 算法,对原有图像去雾算法进行优化。首先,通过改进的 White Patch Retinex 算法计算出环境光。其次通过暗通道先验算法获得透射率。最后根据得到的环境光和透射率,求解大气散射模型,从而得到去雾后的图像。实验结果表明,该算法不仅运行时间较短,对分辨率为 600×800 的图像处理时间平均为 5 s 左右,且能解决天空区域失真问题,去雾后的图像具有较高的亮度和对比度。

关 键 词:去雾;暗通道先验;改进的 White Patch Retinex 算法;引导滤波

中图分类号:TP317.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163105.0506

Optimized dehazing method based on dark channel prior

WANG Xin*, SUN Ying-ying, MENG Jian

(Changchun University of Technology, School of Computer Science and Engineering,
Changchun 130012, China)

Abstract: Although the dark channel prior algorithm is effective to some extent for single image dehazing, the algorithm has some disadvantages of running a long time. Besides, the calculation of environmental light is not very accurate, and not suitable for the sky area, which can lead to the color distortion and dim brightness for the restoration image. Aiming at these shortcomings, this paper presents an optimization algorithm. Firstly, the environmental light is calculated by the improved White Patch Retinex algorithm. Secondly, the transmittance is obtained based on the dark channel prior. Finally, according to the atmospheric scattering model, the final haze-free images are obtained. Experimental results show that the proposed algorithm has a shorter running time. The average processing time of the image (600×800 pixel) is about 5 s. The problem of color distortion for the sky area can be well solved. After defogging, the image has high brightness and contrast.

Key words: dehazing; dark channel prior; improved White Patch Retinex algorithm; guided filtering

收稿日期:2015-10-08;修订日期:2015-12-17.

基金项目:吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目([2014]第 136 号)

Supported by Jilin Province Education Department “Twelfth Five-Year” Scientific and Technological Research Plan (No. [2014]136)

* 通信联系人, E-mail: wangxin315@ccut.edu.cn

1 引言

在有雾天气条件下,大气中会漂浮着颗粒和小水滴,这些浑浊介质会对光进行吸收和散射,从而导致光学传感器捕获到的户外图像出现模糊不清,对比度下降,颜色偏灰白等退化现象,使图像失去研究及应用价值。因此通过一些图像处理算法,对有雾图像进行去雾,恢复其清晰度、保真度和对比度,具有重要的实际意义。

目前去雾方法主要分两类:非物理模型法和物理模型法^[1-3]。非物理模型法属于图像增强范围,典型方法有直方图均衡化^[4]、同态滤波^[5]、Retinex算法^[6-7]等。这类方法以对比度增强为目标,只能相对地提高图像质量,并不能实现真正意义上的去雾。基于物理模型的方法能达到较为理想的去雾效果,是近年来重点研究方向。例如Fatta^[8]假设表面模型和透射率不相关,计算出反射率和透射率,从而得到去雾图像,但是该方法不适合浓雾图像。Narasimhan^[9]方法需要两种不同天气条件下相同场景的图像,才能估算出深度信息,这对图像的采集过于苛刻。He^[10]等人提出了暗通道先验理论,对大多数户外图像都能取得良好的去雾效果,但有一些缺点:不适用于包含天空区域的图像,去雾后的图像在天空区域会出现色彩失真;优化透射率图时使用了软件抠图算法,复杂度高消耗时间长;环境光的估算值不够准确,导致结果图像偏暗,需要另外对结果图像的的进行一定的曝光增强,以增加其亮度。

本文利用改进的 White Patch Retinex 算法来计算环境光的值,然后在 He 算法的基础上求出透射率,再使用导向滤波对透射率进行快速优化,最后结合物理模型能够得到明亮的无雾图像,本文方法不需要对图像进行额外的亮度增强操作,而且在天空区域不会出现严重的颜色失真现象。

2 计算环境光

2.1 大气散射模型

本文的物理模型采用大气散射模型^[11],表达式:

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

其中: $I(x)$ 是有雾图像, $J(x)$ 是去雾后的图像, A 是环境光, $t(x)$ 是透射率。因为 $I(x)$ 为已知量,所以只需计算 A 和 $t(x)$ 的值,就可以通过反解大气散射模型求出无雾图像 $J(x)$ 。首先,本文通过改进的 White Patch Retinex 算法求出环境光 A 的值。

2.2 原始 White Patch Retinex 算法

首先给出图像成像^[12]的数学表达式:

$$I_c(x,y)=G(x,y)R_c(x,y)L_c, \quad (2)$$

其中: $G(x,y)$ 是图像成像的几何尺寸因子, $R_c(x,y)$ 是物体对光的反射系数, L_c 是环境光强度, $I_c(x,y)$ 是最终所成的图像。由式(2)可知,当 $G(x,y)$ 且 $R_c(x,y)=1$ 时,有 $I_c(x,y)=L_c$ 。这就是 White Patch Retinex 算法的主要思想,即环境光在一幅图像中对应最亮的像素点:

$$A_c=L_c=\max\{L_c(x,y)\}, \quad (3)$$

根据上式求得的环境光对图像进行去雾处理,效果不太理想。下面将提出一种该改进后的算法,该算法在处理有雾图像时能取得较好的效果和鲁棒性。

2.3 根据改进的 White Patch Retinex 算法估算出环境光

改进后的方法不再单纯地使用图像中的最亮点来估计环境光,而是求原始图像每个通道的累计直方图,取累计到某一个值 $p \times n$ 时对应的图像像素值作为 L_c 。其中 p 为百分值实验中取为1%~5%, n 为图像的像素点数。数学表达式为:

$$A_c=L_c=I_c(j_c), \quad (4)$$

其中所求像素值 j_c 应满足下列限制条件:

$$pn \leq \sum_{k=j_c}^{n_b} H_c(k), \text{ 且 } pn \geq \sum_{k=j_c+1}^{n_b} H_c(k). \quad (5)$$

式(5)中的 H_c 为各个通道的直方图, k 为灰度级,根据上述理论就可以求得环境光 A 。

3 根据暗通道先验理论计算透射率

由文献[10]可知暗通道先验理论为:对于户外无雾图像,在大多数非天空的局部区域里,某些像素至少有一个颜色通道具有很低的像素值,并且这个最小的像素值接近于0。对于任意户外无雾图像 J ,其暗通道可以用式(6)表达:

$$J^{\text{dark}}(x)=\min_{y \in \Omega(x)}(\min_{c \in \{r,g,b\}} J^c(y)) \rightarrow 0, \quad (6)$$

其中: J^c 表示彩色图像的每个通道, $\Omega(x)$ 是以 x

为中心的局部区域。根据 He 算法,在环境光已知时,由式(6)可以初步求得透射率为:

$$\tilde{t}(x)=1-\omega \min _{y \in \Omega(x)}\left(\min _{c \in\{r, g, b\}} \frac{I^c(y)}{A^c}\right) . \quad (7)$$

在现实生活中,即使是晴天,空气中也存在着一些颗粒,看远处的物体能感觉到雾的存在;另外雾的存在让人类感觉到景深。因此,需要在去雾的时候保留一定程度的雾,可在式(7)中引入一个常数因子 ω 来实现,在实验中 ω 取值为 0.95。

利用式(7)得到的透射率在景深突变区域会产生光晕。He 用抠图算法对透射率进行了修正,但此算法计算复杂且运行时间长,实时性较差,所以本文改用导向滤波^[13]对透射率进行快速

优化得到最终的透射率 $t(x)$ 。

4 图像去雾

获取环境光 A 和透射率 $t(x)$ 后,根据式(1)可以求得去雾后的图像 J 为:

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

当透射率 t 的值很小时,会导致 J 的值偏大,从而使得图像整体偏白,因此一般设置一个阈值 t_0 ,当 t 值小于 t_0 时,令 $t=t_0$,实验中 t_0 取为 0.1。去雾结果如图 1 所示,由图 1(b)可知本文算法能有效去雾,并且去雾效果比较理想。



图 1 本文算法的图像去雾结果

Fig. 1 Restored images by proposed algorithms

5 实验结果的比较与评价

本实验在操作系统为 Windows XP、处理器主频为 2.53 GHz、系统内存为 1G 的 PC 机上运行。利用 Matlab R2012a 实现了本文算法、He 算法,并进行了比较。本节将从视觉效果、计算速度和对比度方面分析、比较实验结果,并对复原图像进行主观评价。

5.1 实验结果比较

图 2 对本文算法和 He 算法的实验结果进行了比较,其中图 2(a)为原始有雾图像,图 2(b)是为 He 的算法恢复结果,图 2(c)是本文算法恢复结果。图像 House 中雾较大,本文算法可以去除浓雾图像近处的雾气。由图像 City 可以看出,使用 He 算法得到的去雾图像,在天空区域会出现颜色失真,而由本文算法得到的无雾图像,天空区域的颜色过渡比较自然,说明本文算

法能适用于天空区域。在图像 Swan 中,He 的实验结果图像整体颜色偏暗,右侧树干不清晰,本文实验结果图像亮度、对比度都较高,右侧树干部分清晰自然。



(a)原图

(b) He 算法结果

(c)本文算法结果

(a)Original image

(b)He's results

(c)Proposed algorithm results

图 2 实验结果的比较(从上到下为 House, City, Swan)

Fig. 2 Comparison of different algorithms (Images named House, City, Swan, from top to bottom)

5.2 客观评价

本文分别从程序运行时间和图像的平均梯度这两个客观指标来评价各种算法的优劣,运行时间和算法的运算速度有关,平均梯度反映了图像微小细节反差变化的速率,即图像多维方向上密度变化的速率,表征图像的相对清晰程度。均梯度的值越大,图像的恢复效果越明显。原图像 House 的分辨率为 584×876 ,平均梯度为 2.016 4;City 的分辨率为 576×720 ,平均梯度为 2.066 1;图像 Swan 的分辨率为 557×835 ,平均梯度为 5.444 9。比较结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,本文算法的运算速度得到了大幅提升,而且去雾后的图像有较大的平均梯度。这表明,利用本文算法对图像去雾能得到有

效且快速的结果。

表 1 不同算法处理结果比较			
Tab. 1	Result obtained from different algorithms		
图像名称	算法名称	平均梯度	运行时间/s
House	He 算法	5.016 4	20.410 3
	本文算法	5.794 4	5.350 1
City	He 算法	4.870 1	17.918 9
	本文算法	5.151 3	5.241 1
Swan	He 算法	8.778 3	19.301 2
	本文算法	9.530 3	5.747 3

6 结 论

本文利用改进的 White Patch Retinex 算法求出

环境光,然后结合暗通道理论和大气散射模型计算出无雾图像。由本文算法得出的复原图像清晰自然,具有较高的亮度和对比度,且适用于具有天空区域的图像。通过大量实验也验证了本文算法的有效性,运算速度相比其他图像去雾算法有很大提高。

参 考 文 献:

[1] 禹晶,徐东彬,廖庆敏. 图像去雾技术研究进展[J]. 中国图象图形学报,2011,16(9):1561-1576.
YU J, XU D B, LIAO Q M. Image defogging: a survey [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(9): 1561-1576. (in Chinese)

[2] 孙伟,李大健,刘宏娟,等. 基于大气散射模型的单幅图像快速去雾[J]. 光学精密工程,2013,21(4):1040-1046.
SUN W, LI D J, LIU H J, *et al.* Fast single image fog removal based on atmospheric scattering model [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(4): 1040-1046. (in Chinese)

[3] 张邵阳,解源源,张鑫,等. 基于分数阶微分的模糊交通视频图像增强[J]. 光学精密工程,2014,22(3):779-786.
ZHNG S Y, XIE Y Y, ZHANG X, *et al.* Enhancement of fuzzy traffic video images based on fractional differential [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(3): 779-786. (in Chinese)

[4] KIM J Y, KIM L S, HWANG S H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2001, 11(4): 475-484.

[5] 沈文水,周新志. 基于同态滤波的遥感薄云去除算法[J]. 强激光与粒子束,2010,22(1):45-48.
SHEN W S, ZHOU X Z. Algorithm for removing thin cloud from remote sensing digital images based on homomorphic filtering [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2010, 22(1): 45-48. (in Chinese)

[6] 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*, 1997, 6(7): 965-976.

[7] BARNARD K, FUNT B. Investigations into multi-scale Retinex [C]. *Proceedings of Color Imaging in Multimedia Conference*, New York, USA: CIMC, 1999: 9-17.

[8] FATTAL R. Single image dehazing [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2008, 27(3): 72.

[9] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Removing weather effects from monochrome images [C]. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Kauai, HI, USA: IEEE, 2001: 186-193.

[10] HE K M, SUN J, TANG X O. Single image haze removal using dark channel prior [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011, 33(12): 2341-2353.

[11] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Contrast restoration of weather degraded images [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(6): 713-724.

[12] EBNER M. A parallel algorithm for color constancy [J]. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2004, 64(1): 79-88.

[13] HE K M, SUN J, TANG X O. Guided image filtering [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2013, 35(6): 1397-1409.

作者简介:王昕(1972—),女,辽宁大连人,博士,副教授,主要从事图像处理与视觉方面的研究。E-mail:wangxin315@ccut.edu.cn