

一种简单快速的图像去雾算法

刘巧玲 张红英 林茂松

(西南科技大学信息工程学院 四川 绵阳 621010)

摘要 在雾、霾等天气条件下,大气粒子的散射作用导致捕获的图像严重降质。提出一种简单快速的基于物理模型的图像去雾新算法。首先从雾形成的角度出发,考虑到传播图像的低频性和单通道性,对大气散射模型进行变型化简,得到新的去雾模型。然后,利用暗原色先验方法估计大气光值 A ,并带入新的简化模型,得到去雾图像。方法不要求取过多的变量,只要求取大气光值 A ,大大提高了算法的效率。最后大量实验表明,该算法无论在处理速度还是去雾效果上都优于现有算法。

关键词 图像去雾 物理模型 暗原色先验 大气光值 A

中图分类号 TP39 文献标识码 A DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2013.07.020

A SIMPLE AND FAST IMAGE DEHAZING ALGORITHM

Liu Qiaoling Zhang Hongying Lin Maosong

(School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

Abstract The scattering function of atmospheric particles in bad weather conditions such as haze, fog and mist will significantly degrade the images captured. In this paper, we propose a simple and fast physical model-based algorithm for single image dehazing. Firstly, taking into account the low-frequency and single channel of image transmission, we simplify the atmospheric scattering model from the perspective of fog formation and obtain new dehazing model. Then, we use dark channel prior method to estimate the atmosphere light value A , and take into the new simplified model to get the dehazing image. This method does not need to deal with too much variables but only calculates the atmosphere light value A , this greatly improves the efficiency of the algorithm. Finally a large number of experiments show that the proposed algorithm has better performance in image dehazing quality and computational time than the current algorithms.

Keywords Image dehazing Physical model Dark channel prior Atmospheric light value A

0 引言

在雾天情况下,大气最显著的特征就是能见度很低,它不仅直接影响了海、陆、空运输的安全,同时也往往使户外的监测系统无法正常工作。由此可见,研究雾天条件下的图像清晰化算法在目前具有重要的实用价值。

然而,利用单幅雾天图像复原清晰场景是一个非常困难的问题。目前许多学者致力于研究单幅图像去雾。近年来,单幅图像去雾技术取得重大突破。学者提出了一些基于先验知识或假设的单幅图像去雾方法。文献[1]通过最大化局部的差异度的方法来恢复图像的色彩对比,在处理某些场景图像上取得了较好的效果,但该方法并不符合真实的物理模型,主要思路依然是颜色对比度的处理。文献[2]提出了部分符合物理规律的简单去雾模型,利用复杂的优化计算得到去雾结果,但是该方法的物理模型有所局限,不能很好处理浓雾图像。文献[3]提出了暗通道优先法则(统计结果表明绝大部分户外照片符合该法则),并利用该法则得到了很好的去雾效果,并能得到相应的深度图像,用于基于图像的三维重建等领域。这也是目前最实用有效的单幅图像去雾方法。文献[4]就是利用暗通道进行图像、视频的实时去雾,同时也对文献[3]进行了改进,利用双

边滤波器优化介质传输率,从而消除了“光晕伪影”现象。

针对目前单幅图像去雾算法存在的不足,本文提出了一种简单快速的基于物理模型的图像去雾方法。该方法仅需要单幅输入图像,避开求取变量时所需的大量计算,采用简单的方法进行去雾处理。首先对大气散射模型进行变型化简,得到新的去雾方法。本方法不要求取过多的变量,只要求取大气光值 A ,再利用简化后的新模型求取去雾图像,该方法简化了去雾过程。本方法能够处理各种单幅雾天图像,去雾后的图像更加清晰,且简单快速。

1 图像去雾简化模型

McCartney 于 1975 年提出了大气散射模型,该模型由衰减模型和大气光模型两个模型组成。其中衰减模型描述了光从场景点传播到观测点之间的削弱过程。大气光模型描述了周围环境中的各种光经过大气粒子散射后,对观测点所观测到得光强的影响。大气散射模型用公式表示为:

收稿日期:2012-05-16。国家自然科学基金青年基金项目(60802040);四川省科技厅基金项目(2011JQ0041,11zs2009)。刘巧玲,硕士生,主研领域:数字图像处理。张红英,副教授。林茂松,副教授。

$$I(x) = A\rho(x)\exp(-\beta d(x)) + (1 - \exp(-\beta d(x)))A \quad (1)$$

其中, $I(x)$ 为观测点接收到的点光强(即输入的有雾图像), $\rho(x)$ 为场景反照率, $d(x)$ 是场景点到观测点的距离, 通常称为光程。 A 为大气光, 其代表了周围环境中各种光的总强度。 β 称作大气的散射系数, 它表示单位体积的大气对光的散射能力。从数学观点来看, 图像去雾算法目的在于从 $I(x)$ 中求出 $\rho(x)$ 、 $d(x)$ 和 A 的值, 则 $\rho(x)$ 即为所求的去雾复原图像。从大气散射模型的角度出发, 定义 $t(x) = \exp(-\beta d(x))$, 则散射模型表达式变换如下:

$$1 - \frac{I(x)}{A} = t(x)(1 - \rho(x)) \quad (2)$$

其中, $t(x)$ 即为光路传播图, $1 - \rho(x)$ 为逆反照率, 其随反照率的变化而相应改变。图像去雾的目的是从式(2)中求取 $\rho(x)$ 即去雾后的图像。可以看到式(2)中存在两个未知量 A 、 $t(x)$ 。而如何从 $1 - \frac{I(x)}{A}$ 中分离出 transmission 图 $t(x)$, 是图像去雾的关键所在。

因为 transmission 信息与场景深度是反比例关系, 而场景中对象的深度表示为被观测对象到观察者的距离, 因此深度图像是一幅反应场景中对象与观察者之间距离信息的低频图像, 故 transmission 图像是与深度图像一样是一幅低频信息图。transmission 图间接地表示场景中的对象到观测者的距离。本文考虑到该图像的低频性和单通道性, 一个基本的想法是求取 $1 - \frac{I(x)}{A}$ 图像的单通道图像, 将其近似为低频信息, 也就是 $t(x)$, 即:

$$\begin{aligned} t(x) &= \exp(-\beta d(x)) \\ &= \min_{c \in \{R, G, B\}} \left(1 - \frac{I^c(x)}{A}\right) \\ &\approx 1 - \min_{c \in \{R, G, B\}} \left(1 - \frac{I^c(x)}{A}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

而由式(2)也可以得出:

$$\rho(x) = 1 - \frac{\left(1 - \frac{I(x)}{A}\right)}{t(x)} \quad (4)$$

将式(3)代入式(4), 即为:

$$\rho(x) = 1 - \frac{\left(1 - \frac{I(x)}{A}\right)}{1 - \min_{c \in \{R, G, B\}} \left(\frac{I^c(x)}{A}\right)} \quad (5)$$

化简整理式(5), 即为:

$$\rho(x) = 1 - \frac{A - I(x)}{A - \min_{c \in \{R, G, B\}} (I^c(x))} \quad (6)$$

式(6)即为化简后的新模型。观察式(6)可知, 只需要求出大气光值 A , 再代入式(6)即可得到 $\rho(x)$, 即去雾后的图像。所以, 本文去雾方法关键在于大气光值 A 的求取。同时考虑到, 去雾后的图像看上更加自然, 加入常系数 w 保留一定的雾的影响。即为:

$$\rho(x) = 1 - \frac{A - I(x)}{A - w \cdot \min_{c \in \{R, G, B\}} (I^c(x))} \quad (7)$$

本文去雾方法就是利用暗原色先验方法^[3]求出大气光值 A , 再代入式(7)就可求解出 $\rho(x)$, 即可得到去雾后的图像。本文在实验过程中, 系数 w 设置为 0.80。

2 大气光 A 的估计

2.1 暗原色先验

暗原色先验^[3]的提出是基于以下对清晰的户外图像观察的事实: 对于图像的很多非天空场景区域, 在某些像素点上至少存在一个色彩通道的亮度非常低。换句话说, 这些区域的最小亮度应该有非常低的值。形式上, 对于一幅图片 J , 定义:

$$J^{dark}(x) = \min_{c \in \{R, G, B\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y))) \quad (8)$$

其中: J^c 是图片 J 的一个色彩通道(即 RGB 三颜色的一种), $\Omega(x)$ 是中心在 x 处的一个局部图像模块。文献[3]提到对于一幅没有雾霾的户外景物图像, 除了天空区域, J^{dark} 的亮度非常小, 经常趋于零。因此, 称 J^{dark} 为图像 J 的暗原色通道, 并且称以上的统计观察知识为暗原色先验。

阴影、彩色的物体或表面、暗的物体或表面是造成暗原色色通道低亮度的主要原因。

由于附加的大气光的存在, 在传输率 t 小的地方, 一幅雾霾图像比无雾霾的图像更加明亮。因此, 雾霾图像的暗原色通道在雾霾厚的区域有更高的亮度, 在视觉上, 暗原色通道的亮度大致接近雾霾的厚度。

2.2 大气光 A 的估计

文献[3]中提到在很多关于单幅图像去除雾霾的方法中, 大气光的估计一般都应将图像中最高亮度的像素用来当作整体大气光。但是在真实图片中, 最亮像素可能是一辆白色的轿车或者是一栋白色的建筑。

正如在 2.1 节所讨论的那样, 一幅雾霾图像的暗原色通道亮度大致接近雾霾的厚度。因此, 可以利用黑色通道来提高大气光的估计精度。方法如下: 首先, 挑选暗原色通道中最亮像素的 0.1%, 这些像素是最朦胧的、不透明的; 然后, 将这些像素对应输入到原雾霾图像中相应的位置; 最终, 原雾霾图像中的这些像素中最亮的亮度被选作整体大气光。这种基于暗原色先验的简单方法比“最亮像素”方法具有更好的鲁棒性。

按照上述方法求出大气光值 A , 再代入式(7), 即可得到去雾后的图像。

3 实验结果及性能分析

我们在操作系统为 Windows 7、CPU 为酷睿 2 双核 2.8 GHz 处理器、系统内存 2 GB 的普通 PC 上使用 Matlab 2010 对本文所提算法进行了仿真对比实验, 并从主客观两方面评价标准来验证本文所提算法的优越性。

3.1 主观评价

为了验证所提出算法的性能, 实现从去雾效果上进行主观对比。本文将与 He 方法^[3]作比较, 并给出在更多户外场景的雾霾图像上的复原结果。图 1、图 2、图 3、图 4 为本文方法与 He 方法对多幅雾天图像处理得到的复原图。从这几幅图可以看出, 本文方法和 He 方法处理后图像比原图像都清楚, 可以看到更多信息, 所以本文方法到达了去雾效果。

仔细观察, 发现本文方法得到的复原图像比 He 方法得到的复原图像, 去雾后的图像颜色更加鲜艳, 一些地方更清晰。比如, 比较图 1(b)、(c) 中, 本文得到(c)中的树的树叶看上去更

绿一些,路上的落叶更黄;比较图 3(b)、(c)中,(c)图中道路旁的落叶更黄,路旁的树干颜色更深;这些从主观上都说明本文方法的去雾效果比 He 方法的要好,得到的复原图显得更自然,更清晰。

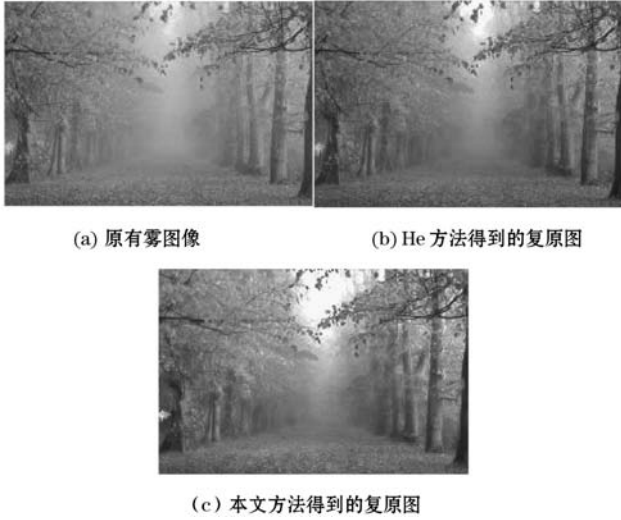


图 1 本文方法与 He 方法处理 forest.jpg 的复原图

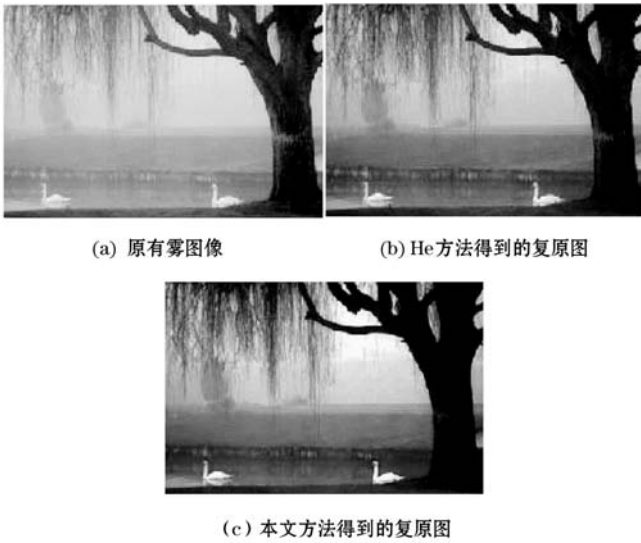


图 2 本文方法与 He 方法处理 board.jpg 的复原图



图 3 本文方法与 He 方法处理 road.jpg 的复原图

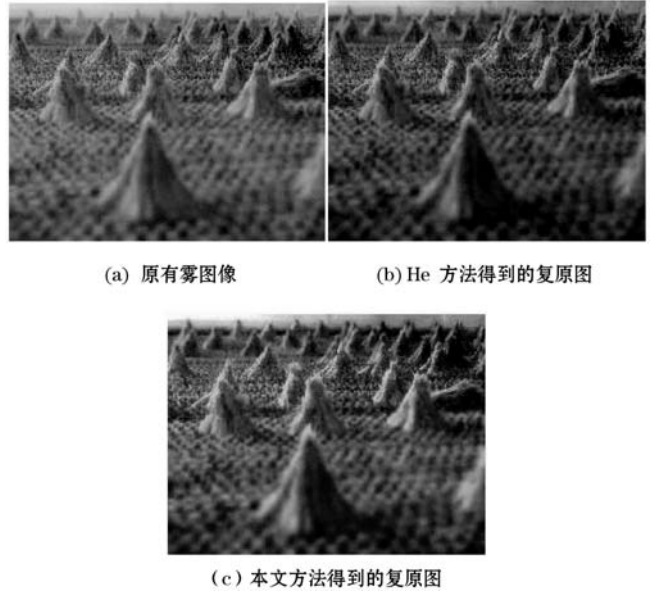


图 4 本文方法与 He 方法处理 farmland.bmp 的复原图

3.2 算法客观评价

3.2.1 计算时间

若要将算法应用到实际中,还要充分考虑算法所花的时间,同时算法处理时间的对比可以在一定程度衡量运算复杂度的差别。所以下面从算法处理时间方面来分析本文方法。表 1 为本文方法和 He 方法处理同幅图像所用时间比较结果。观察表 1 中数据,发现两种方法处理同幅图像,本文方法所用时间明显要比 He 方法的少,本文方法所用时间只有 He 方法的十分之一左右,说明本文方法在速度上比 He 方法的快,也间接说明本文方法运算复杂度也比 He 方法小,因此本文方法具有用于实时图像处理的能力。

表 1 本文方法与 He 方法所用时间比较

图像名称	forest.jpg	board.jpg	road.jpg	farmland.bmp
图像大小	221 × 144	278 × 149	600 × 400	512 × 384
所用时间/s	本文方法	0.7056	1.30941	3.896865
	he 方法	11.0253	19.6788	72.13166

3.2.2 客观质量评价

人眼观察是一种有效的图像质量评价标准,但它是一种主观的标准,为了更确定性的说明问题,本文还采用客观质量评价标准来检验算法的有效性。数字图像的客观评价标准比较多,其中标准差、均值和熵是评价图像视觉质量的重要指标。所以本文采用标准差、均值、熵这三个简洁而有效的标准作为评价指标。从整体上讲,在成像的各个波段薄雾的反射率高,增加了图像的整体亮度。经过去雾处理图像的均值下降说明取得了去雾效果;图像标准差大小表征了图像的可分辨度,值越大则图像清晰度越高;熵反映了图像的信息量,去雾后的熵值上升说明获得到更多的图像信息,图像更加清晰。

表 2 为本文方法和 He 方法对三幅彩色图像处理得到复原图的客观质量评价结果。从表 2 中数据可以看出:两种图像去雾方法得到的复原图像的标准差比原图像都有所提高,说明得到的复原图的清晰度比原图像的高,起到了较好的去雾效果,且本文方法得到标准差比 He 方法高,说明本文方法比 He 方法更好;观察均值,发现两种方法的均值都比原始图像都低,说明两

者都取得了去雾效果,且本文方法的均值比 He 的更低,说明本文方法具有更好的去雾效果。观察熵值,He 方法和本文方法处理后图像的熵比原图像都有所提高,得到了比原始图像更多的边缘细节信息,这也说明去雾后的图像更加清晰。

综合以上主观视觉和客观评价,本文方法达到了去雾效果,且本文方法在主观视觉、速度、客观质量三面都比 He 方法更为优秀。

表 2 图像客观质量评价

	Board. jpg		
	原图像	He 方法	本文方法
标准差	54.5658	56.0054	65.8452
均值	142.8268	113.0513	111.4339
熵	7.4466	7.6031	7.5092
	Road. jpg		
	原图像	He 方法	本文方法
标准差	41.8935	52.3048	53.8140
均值	167.6431	127.9720	106.6707
熵	7.2576	7.4601	7.2716
	Farmland. bmp		
	原图像	He 方法	本文方法
标准差	32.1812	36.3049	53.4043
均值	96.0510	75.8830	86.0139
熵	6.5687	6.4853	6.5740

4 结 语

本文提出了基于物理模型的简单快速图像去雾方法。算法从单幅图像出发,自动恢复场景反照率,无需任何场景的附加信息。通过实验仿真证明,与现有的去雾算法相比,本文提出的算法新颖、有效,而且鲁棒性较好。鉴于本文方法从主客观评价都取得了较好的去雾效果且算法处理时间短,因而可以用于实时图像处理。

参 考 文 献

- [1] Tan R T. Visibility in bad weather from a single image [C]//IEEE Press. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'08). 2008;1-8.
- [2] Fattal R. Single image dehazing [J]. ACM Siggraph, 2008;1-9.
- [3] Kaiming He, Jian Sun, Xiaoou Tang. Single image haze removal using dark channel prior [C]//2009, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2009;1956-1963.
- [4] Xingyong Lv, Wenbin Chen, I-fan Shen. Real-time Dehazing for Image and Video [C]//2010 18th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. 2010;9;62-69.
- [5] 杨万挺,汪荣贵,方帅,等.滤波器可变的 Retinex 雾天图像增强算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(6):965-971.
- [6] 黄黎红. 一种基于单尺度 Retinex 的雾天降质图像增强新算法 [J]. 应用光学, 2010, 31(5):728-733.
- [7] Jean-Philippe Tarel, Nicolas Hautière. Fast visibility restoration from a single color or gray level image [C]//IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'09). 2009;2201-2208.
- [8] Kaiming He, Jian Sun, Xiaoou Tang. Guided Image Filtering [C]//The 11th European Conference on Computer Vision (ECCV 2010);1-14.

- [9] 杨国强. 图像和视频去雾技术的研究 [D]. 天津大学, 2011.
- [10] 郭璠, 蔡自兴, 谢斌. 基于雾气理论的视频去雾算法 [J]. 电子学报, 2011(9):2019-2025.

(上接第 65 页)

加其他相关施工信息的采集需求,在软件设计时,充分考虑了系统的规范性和扩展性。系统具有图形界面友好、操作简便、采集数据速度快等特点。系统的运用简化了数据采集的工作流程,可及时通过无线网络将数据传输到服务器端计算机,减少了数据采集过程中表格填写、计算机录入等中间环节,减轻了施工现场工作人员的工作量,缩短了后期数据处理时间,有效提高了大坝混凝土信息采集的工作效率与施工监控的实时性,对大坝施工质量监控水平的提升有重要的意义和使用价值。

参 考 文 献

- [1] 赵志仁,赵永,程君敏. 大坝安全监测设计与施工技术的研究 [J]. 大坝观测与土工测试, 2001, 25(1):28-32.
- [2] 朱伯芳. 大坝数字监控的作用和设想 [J]. 大坝与安全, 2009(6):8-11.
- [3] Cui Bo, Zhong Denghua. Theory and application of system integration for Real-Time monitoring of Core Rock-Fill dam filling construction quality [J]. Transactions of Tianjin University, 2012, 18:173-179.
- [4] 王润英. 大坝安全监测的内涵及扩展 [J]. 四川水利发电, 2002, 21(4):88-91.
- [5] Helder Rodrigues, Telmo Gaspar, Jose C Metrolho, et al. PDA as surveillance device in monitoring system [C]. 2003 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2003(1):478-480.
- [6] Wikipedia. Personal digital assistant [EB/OL]. (2011). http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_digital_assistant.
- [7] 曾松伟,李光辉,胡海根,等. 基于 PDA 的森林资源数据采集系统的设计与实现 [J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(1):111-115.
- [8] 陈宏,赵建,邱荣洲,等. 基于 PDA 的外来入侵物种数据采集系统设计 [J]. 农机化研究, 2011(4):62-66.
- [9] Wu Peng, Yi Xiaomei, Li Jian, et al. Research on PDA-based distributed field data acquisition method [C]//Proceedings of the First International Conference on Networking and Distributed Computing, 2010:317-320.
- [10] 张斌,李超,刘波. 基于 PDA 的垂线、引张线数据采集系统设计 [J]. 人民长江, 2010, 41(20):49-52.
- [11] Cui Bo, Zhong Denghua, Zhong Guiliang. Research and application of web-based 3D visualization of monitoring over materials haulage to dam [J]. Advanced Materials Research, 2012, 440:6770-6775.
- [12] 王炫,唐靖寅,马蔚纯,等. 基于 PDA 的港口港政监督管理信息系统设计与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(5):101-103,125.
- [13] 王长元,赵莉,王淑蓉. 软件工程与建模 [M]. 西安:西安交通大学出版社, 2010:66-68.
- [14] Yang Jinsheng, Liu Xiaohui. Design and implementation of dam construction multi-level verification system on PDA platform [C]//2010 2nd International Conference on E-Business and Information System Security, 2010:378-381.
- [15] 朱玉玺,袁文翠. GPS 服务平台的定位数据采集 [J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(1):188-189,191.