

基于色彩空间单一图像像素级去雾算法*

甘建红^a, 何童丽^b

(成都信息工程学院 a. 软件工程学院; b. 数学学院, 成都 610225)

摘要: 基于雾会降低图像对比度以及边界模糊的实际情况, 提出一种基于颜色空间的单幅图像去雾算法。首先计算每个像素在 RGB 颜色空间中距离灰阶线(原点与点(255, 255, 255)所确定的直线)的距离, 确定深度图像; 然后根据灰阶线距离计算每个像素在颜色空间中的新位置, 进而获得去雾后的图像。算法具有良好的实用性和并行计算可行性。实验结果表明: 算法显著增强了图像的对比度、颜色饱和度等, 具有良好的去雾效果。

关键词: 去雾; 灰阶线; 灰阶线距离; RGB 颜色空间

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)09-3591-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.105

Pixel-level single image dehazing algorithm in color space

GAN Jian-hong^a, HE Tong-li^b

(a. College of Software Engineering; b. College of Mathematic, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: With the fact that fog would degrade the contrast of image and the blur boundaries, this paper presented a single images dehazing algorithm with pixel level based on RGB color space. It calculated the pixels distance to gray level line (determined by (255, 255, 255) and (0, 0, 0)) every pixel in RGB color space to estimate depth image, and then calculated new position of all pixels according to distance to gray line in color space for obtaining dehazed image. The algorithm has good practicality and feasibility of parallel computation. The result shows that the algorithm significantly enhances the image contrast, color saturation, and other characters and gets a ideal effect of dehazing.

Key words: dehazing; gray line; distance to gray line; color space for RGB

在雾、霾等天气环境下, 场景中物体的反射光由于受到空气中悬浮颗粒的散射、反射、折射等因素的影响, 很大程度上降低了视频、图像的对比度, 而这些被降质的图像很大程度上制约了户外视觉系统功能的实现, 如自动监控系统、空管运行指挥系统、高速公路监控系统、遥感监测系统、室外目标识别和跟踪系统等。研究如何对这些退化、降质图像进行复原具有重要的实际应用价值。

相同雾浓度下, 物体到相机的距离决定了雾对物体图像退化影响的程度。因此, 获取深度图像对去雾的操作具有重要的意义, 也是去雾的基础, 研究人员用各种手段来获取图像的深度信息。文献[1, 2]采用基于偏振光方法, 其基本方法是采用多幅不同偏振度的图像, 根据大气光部分偏振的特性去除大气光, 达到去雾的目的。该方法有效去雾的重要条件是场景和相机不能有变化。文献[3]通过对同一场景在晴天、雾天不同天气条件的图像获取深度信息进行去雾, 图像采集过高的要求严重限制其实际应用。文献[4, 5]基于深度的方法要求一个粗糙的深度信息, 这个信息可以由用户提供, 也可以来自一个已知的 3D 模型。Narasimhan 等人^[6]提出基于用户交互方式输入雾浓度大的区域, 并提供一定粗略的深度信息进行去雾操作, 但该方法很大程度上依赖于人的手工工作。

上述去雾算法获取图像深度信息的过程比较复杂, 很大程度上限制了向实际应用的转换。文献[7, 8]对单幅雾图像进行了去雾研究并取得了重大成果, 其中暗原色优先去雾方法

(一些文献称为 He 方法)是最具有代表性方法, 该方法认为无雾的自然场景图像经暗通道优先处理后, 大部分像素亮度接近于零, 图像中存在的较高亮度的像素则认为是来自于空中的雾气或天空。暗通道算法在计算暗原色时用到像素分块(一般取 5×5 大小), 不可避免的一个缺陷是易产生斑块效应, 后续算法对其进行改进, 都是以牺牲较大时间为代价的。另一方面当场景中很大区域与大气光很相似, 也没有阴影投影在物体上时, 该方法先验知识统计效果并不好。

文献[9]对文献[10]提出的基于暗通道优先的算法进行了改进, 对不同深度区域进行分割, 判断天空、雾类似区域并进行去雾, 图像分割的结果很大程度上影响去雾结果, 同时判断雾类似目标是否准确也制约修补结果。

通过前期对“基于色彩空间 3D GIS 中雾可视化方法”的研究^[11], 退化图像与晴天图像之间的关系可以在色彩空间进行描述。本文针对目前各种去雾技术中存在的不足, 提出了一种基于色彩空间单一图像像素级去雾算法。

1 基于色彩空间的雾天图像去雾算法

1.1 RGB 色彩空间

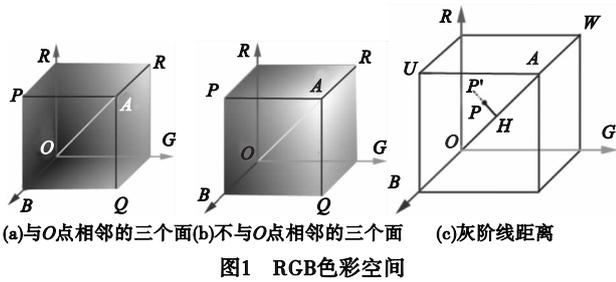
RGB 模型为图像中每一个像素的 RGB 分量分配一个 0 ~ 255 范围内的强度值。RGB 图像只使用三种颜色就可以使它们按照不同的比例混合, 在屏幕上重现 16 777 216 种颜色。图 1 是颜色空间图, 为了便于描述, 将 OA 线段称为灰阶线, 任意

一点 P 到灰阶线的距离称为灰阶线距离,如图 1(c)中, PH 为 P 点的灰阶线距离, H 为垂足。算法主要涉及 RGB 色彩空间如下特性:

a) 对于任意像素,距离灰阶线 OA 越近,颜色深度越浅,色彩三个分量的最大值与最小值之差越小,即 $\Delta C = \max(r, g, b) - \min(r, g, b)$ 越小。

b) OA 之间颜色特点是三个分量值相等,即 $r = g = b$ 。

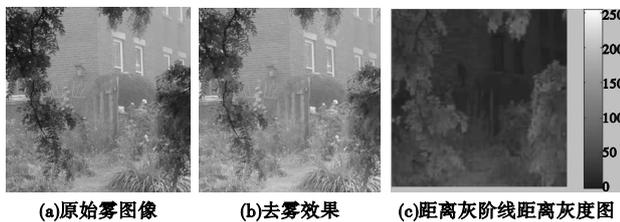
c) 在灰阶线 OA 呈灰色变化,从原点 O 为黑色点 $(0, 0, 0)$ 向 A 点为白色点 $(255, 255, 255)$ 过渡渐变。



1.2 雾图像与颜色空间的关系

烟雾会不同程度降低图像对比度,距离相机越远的物体图像对比度越低、越模糊、越接近灰色;反之,物体距离相机越近,物体所成的图像像素颜色深度更深,图像对比度更高。从像素角度分析,对于 $\Delta C = \max(r, g, b) - \min(r, g, b)$ 表达式而言,距离相机越远, ΔC 越小;距离相机越近,则 ΔC 越大。 ΔC 从一定程度上反映了像素颜色深度情况。表达式 ΔC 与灰阶线距离两者可以等效地描述像素在颜色空间中与灰阶线的距离。据此分析可得雾图像与颜色空间的关系:图像中雾浓的地方,其像素在颜色空间中的灰阶线距离越小;图像对比度越大,则雾浓度小,像素在颜色空间中灰阶线距离越大。

由于距离相机越远的物体受雾影响越大,在色彩空间中像素距离灰阶线越近,因此,灰阶线距离反映了物体与相机的距离情况,由此可得图像的深度图,如图 2(c)为(a)深度图。在此深度图中,越暗表示物体越远;反之,物体越近。



2.3 算法实现

算法实现的基本思想是在色彩空间中每个像素沿着垂直于灰阶、远离灰阶线方向移动一定的距离,从而获得新的色彩深度像素 R, G, B 值,即为颜色更深、对比度更高的像素值,所有像素新的色彩值即为去雾后的图像。算法主要经过两步实现:

a) 计算灰阶线距离,即为本算法近似的深度图。它决定了像素偏灰色的程度,越远的物体形成图像的像素越接近灰色,因此灰阶线距离也能近似描述物体的远近,从而可以得到图像对应的近似深度图像。在此,以图 1(c)为例说明如何计算任意像素的灰阶线距离。对于任意一点 $P(r, g, b)$,为了将

其移动到 $P'(r', g', b')$,需要计算灰阶线距离 $|PH|$ 。假设垂足坐标为 $H(r^*, g^*, b^*)$,由于 H 在 $X = Y = Z$ 直线上,则

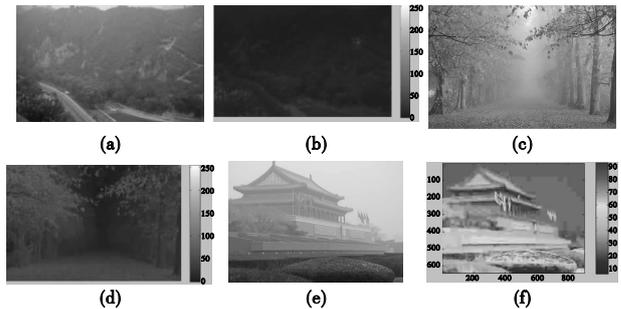
$$\begin{cases} r^* = g^* = b^* \\ (r - r^*, g - g^*, b - b^*) \cdot (255, 255, 255) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

从而,垂足为 $H(\frac{r+g+b}{3}, \frac{r+g+b}{3}, \frac{r+g+b}{3})$,即

$$r^* = g^* = b^* = \frac{r+g+b}{3} \quad (2)$$

$$\vec{HP} = P - H = (\frac{-2r+g+b}{3}, \frac{r-2g+b}{3}, \frac{r+g-2b}{3}) \quad (3)$$

\vec{HP} 即为 $P(r, g, b)$ 对应的灰阶线距离。显然,灰阶线距离 \vec{HP} 的最大值为 $\frac{\sqrt{3}}{2} \times 255 \approx 219.36$,且最大值比 255 小。因此,一幅图像所有像素的灰阶线距离就可以构成一幅灰度图像,即对应的深度图像。如图 3 所示,(a)(c)(e)为原始图像,(b)(d)(f)为其对应的由灰阶线距离组成的深度图像。由图可知,深度图像与实际情况总体一致。



b) 计算每个像素新的 RGB 值(根据灰阶线)。本算法通过一定方法让像素在色彩空间中移动来增强图像的对比度,从而实现去雾效果。为了在增强对比度同时,保证每个像素色调不变,使图像不失真,算法让像素沿着垂直于灰阶线方向运动,运动的距离长度将直接影响图像去雾质量。

由于大气颗粒散射作用,场景中物体反射的部分光(入射光)会被空气中微粒所吸收和反射,达到相机的入射光被衰减。Duntley 在文献[12]中,首先通过对成像逆过程的分析,给出退化图像对比度随物体深度增加呈指数型衰减的规律。根据大气散射模型,物体辐射衰减程度随距离的增加呈指数规律变化,即雾在图像的强度与距离的关系为指数关系^[10]。据此,本算法假定每个像素远离灰阶线方向运动矢量大小与灰阶线距离也成指数关系。

$$|PP'| = e^{-\beta|PH|} \quad (4)$$

$$P' = P + \frac{HP}{|HP|} e^{-\beta|PH|} \quad (5)$$

其中, $| \cdot |$ 为欧式范数。 β 的取值是关键,决定了对不同深度区域去雾效果。

图 4 是指数函数 $e^{-\beta x}$ 的参数 β 分别为 $\beta = 1, 0.1, 0.01$ 的曲线图。当 $\beta = 1$,灰阶线距离从 10 开始曲线变化太小,在颜色空间中像素位移太小,对图像的影响太小,不可能有明显的去雾效果。如果 β 取值太小,将导致反向移动后会移动到有效空间之外,改变图像的本来面目。根据图 3 的深度图像中“图例”可知,需要处理的灰色线距离范围主要集中在 100 以内,甚至可以是 50 以内,因此,本算法粗略对 β 取 0.01。图 5 是图 2 雾图对应的色彩空间的运动矢量场。

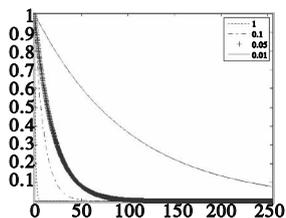
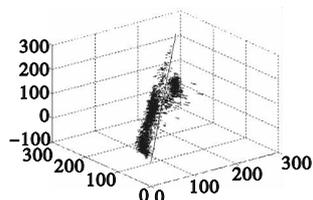
图4 e^x 指数曲线

图5 RGB色彩空间像素运动矢量图

2 实验结果与分析

基于暗原色的方法是目前去雾常用的方法,文献[6]的He方法是典型方法,国内的很多算法都是基于此方法改进的。本文提出的方法与He方法是完全不同的方法和模型,因此将本文算法结果与He方法(即暗原色优先)进行比较。图6(a)(d)(g)(j)是退化的原始图像,(b)(e)(h)(k)是He方法去雾的结果,(c)(f)(i)(l)是本文算法结果。本文算法图像更清晰,饱和度更好,对比度更强,每种颜色更加接近物体本来颜色,其中天安门前金色字体细节比暗原色优先算法更加清晰。

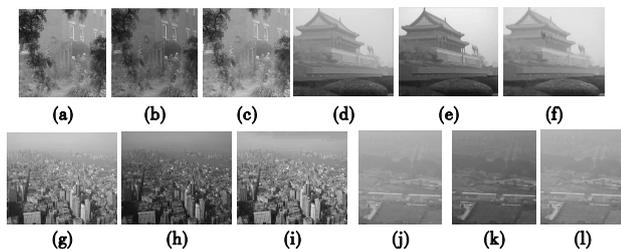


图6 实验结果对比

3 结束语

本文提出基于色彩空间的去雾算法,实验结果与He方法(暗原色优先算法)相比具有一定优良性,但还需完善,即进一步研究色彩空间中方向移动与灰阶线距离的关系,从而增强去雾效果和图像保真;研究雾浓度与灰阶线距离的关系,更加科学地描述雾图像中雾浓度程度与灰阶线距离的联系。

参考文献:

- [1] HWARTZ S, NAMER E, SCHECHNER Y Y. Blind haze separation [C]//Proc of IEEE conference on Computer vision and Pattern Recognition, Washington DC: IEEE Computer Society, 2006: 1984-1991.
- [2] 王勇,薛模根,黄勤超.基于大气背景抑制的偏振去雾算法[J].计算机工程,2009,35(4):271-175.
- [3] 陈功,王唐,周荷琴.基于物理模型的雾天图像复原新方法[J].中国图像图形学报,2008,13(5):888-893.
- [4] KOPE J, NEUBERT B, CHEN B, *et al.* Deep photo: model-based photograph enhancement and viewing [C]//Proc of SIGGRAPH Asia. New York: ACM, 2008: 1-10.
- [5] 孙玉宝,肖亮.基于偏微分方程的户外图像去雾方法[J].系统仿真学报,2007,19(16):3739-3744.
- [6] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Interactive (de) weathering of an image using physical models [C]//Proc of ICCV Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision. France: IEEE Computer Society, 2003: 713-723.
- [7] TAN R. Visibility in bad weather from a single image [C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 2008: 2347-2354.
- [8] FATTAL R. Single image dehazing [C]//Proc of ACM SIGGRAPH. 2008: 1-9.
- [9] 方帅,王勇,曹洋,等.单幅雾天图像复原[J].电子学报,2010,38(10):2279-2284.
- [10] HE Kai-ming, SUN Jian, TANG Xiao-ou. Single image haze removal using dark channel prior [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.
- [11] GAN Jian-hong, HE Tong-li. A kind of fog visualization methods in three-dimensional geographic information system [C]//Proc of International Symposium on Information Science and Engineering. 2010: 142-144.
- [12] DUNTLEY Q. The reduction of apparent contrast by the atmosphere [J]. Journal of the Optical Society of America, 1948, 38(2): 179-191.
- [13] 孙抗,汪渤,周志强,等.基于双边滤波的实时图像去雾技术研究 [J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(7): 810-813, 822.