

文章编号:1001-9081(2011)05-01224-03

doi:10.3724/SP.J.1087.2011.01224

基于邻域相似性的暗原色先验图像去雾方法

郭 瑶¹,王孝通^{1,2},胡程鹏¹,徐晓刚³

(1.海军大连舰艇学院 光电技术研究所,辽宁 大连 116018; 2.海军大连舰艇学院 航海系,辽宁 大连 116018;

3.海军大连舰艇学院 自动化系,辽宁 大连 116018)

(guojia828@163.com)

摘要:针对雾天图像对比度和颜色严重退化的问题,提出了一种应用暗原色先验去雾的简便方法。该方法首先根据暗原色先验得到雾天透射率图;然后,通过暗原色值与邻域暗色值的差值来判断边缘,取颜色最相近点的暗色值为新的暗原色值,同时利用暗原色图像直方图自动获得大气光线值;最后,根据大气散射模型得到清晰图像。实验证明,该方法能够有效去除雾对图像的影响。

关键词:去雾;物理模型;暗原色先验;透射率;邻域相似性

中图分类号: TP751.1; TN911.73 **文献标志码:**A

Image dehazing method based on neighborhood similarity dark channel prior

GUO Jia¹, WANG Xiao-tong^{1,2}, HU Cheng-peng¹, XU Xiao-gang³

(1. Institute of Photoelectric Technology, Dalian Naval Academy, Dalian Liaoning 116018, China;

2. Department of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian Liaoning 116018, China;

3. Department of Equipment Automatization, Dalian Naval Academy, Dalian Liaoning 116018, China)

Abstract: Images acquired in bad weather have poor contrasts and colors. This paper proposed a simple method to remove haze based on dark channel priority. After acquiring the transmission, getting the difference between the dark channel and dark value of nearest eight pixels, the pixel of minimal difference was redefined as new dark channel. Besides, the air light was automatically estimated from the histogram of the dark channel. At last, the clear image could be recovered based on physical model. The experimental results show that the method can sharp the edge and improve the quality of the degraded image.

Key words: dehazing; physical model; dark channel prior; transmission; neighborhood similarity

0 引言

雾天时,由于大量悬浮粒子的散射作用,户外图像颜色和对比度严重退化,影响人们的视觉感受,妨碍图像信息的提取,更不利于交通监测、卫星遥感等应用。

模拟大气散射作用,建立雾天图像成像物理模型的去雾算法原则上可彻底消除天气作用的影响,其关键问题是获取景物的深度信息。假设深度信息已知的算法,需要用雷达或距离传感器等硬件设备来获取场景的精确深度,限制了算法在实际中的应用。利用不同天气的两幅或多幅图像求解深度的算法,在一些情况下,如实时监控时,由于无法提供多幅场景的差异图像而无法应用^[1-4]。交互式去雾方法通过人工交互来获得场景深度信息^[5-6],过多依赖人的主观性。由于雾天图像可建模为欠定方程,近几年来,利用各种最优化模型求解参数最佳估计值的方法成为研究热点,代表方法是Fattal^[7]通过假设透射率和表面投影局部不相关,利用独立成分分析估算景物透射率,再利用模型求解清晰图像。这种方法在浓雾时效果不理想,而且需要较强的假设条件。He等人^[8]利用暗原色先验(Dark Channel Prior),直接从一幅有雾的图像中估计出景物透射率,恢复出高质量的图像,但是其方法结合抠图法处理边缘,从而增加了算法的难度和复杂度。

本文基于暗原色的先验知识,提出了基于邻域相似性来

改善边缘的方法,再结合大气物理模型,可恢复出高质量的图像和深度图。

1 雾天图像物理模型

从本质上讲,恶劣天气下图像质量下降的主要原因是大气粒子的散射作用,它使从景物反射的光通量部分被微粒吸收或反射,导致到达观察者的人射光被衰减;另一方面,大气粒子的散射作用还将来自天空的自然光散射进入观察视场,附加在目标图像上。因此,雾天时户外传感器的成像模型可以用入射光衰减模型和大气光线成像模型进行描述:

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

其中: $I(x)$ 为观测图像; $J(x)$ 为景物辐射度,即所求清晰图像; $t(x)$ 为衰减项,也可以理解为光线通过介质的透射率; A 为大气光线强度。 $J(x) \cdot t(x)$ 描述了景物通过介质后衰减的剩余量,而 $A(1 - t(x))$ 为大气光线对图像的贡献。在式(1)中,已知项只有 $I(x)$,而 $J(x), t(x)$ 和 A 都是未知项,因此图像去雾问题是一个病态方程的求解问题。

2 暗原色先验

1988年,Chazev首次提出暗物体的概念(Dark-Object Subtraction, DOS)并将其运用到受大气散射影响的模糊图像恢复^[9]。方法取图像中最暗的物体,认为其颜色的改变是由

收稿日期:2010-11-09;修回日期:2011-01-12。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60975016);国家青年科学基金资助项目(61002052);辽宁省自然科学基金资助项目(20082176)。

作者简介:郭珈(1983-),女,辽宁大连人,博士研究生,主要研究方向:图像处理、信号分析; 王孝通(1962-),男,浙江义乌人,教授,博士,主要研究方向:电子海图、图像处理; 胡程鹏(1983-),男,山东济宁人,硕士研究生,主要研究方向:交通信息处理、图像处理; 徐晓刚(1967-),男,浙江永康人,教授,博士,主要研究方向:信号分析、虚拟仿真。

大气作用造成。因此,大气作用的部分可由暗物体的本色(通常黑色)减去降质图像物体颜色得到。对于空间分布均匀的雾天图像,其去雾效果较好。2009年,He等人^[8]提出的暗原色先验去雾方法,可理解为一种局部的DOS。其根据对户外图像的统计规律得出,在绝大多数非天空的局部区域里,某一些像素总会有至少一个颜色通道具有很低的值,即暗原色。一幅图像的暗原色定义为:

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in [r, g, b]} \left(\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y)) \right) \quad (2)$$

其中: J^c 为图像 J 的第 c 个颜色通道, $\Omega(x)$ 表示以像素 x 为中心的块。通过大量统计实验,对于清晰图像:

$$\min_{\Omega} \left(\min_c (J^c) \right) \rightarrow 0$$

假定在一个局部块中,透射率 $t(x)$ 是常数,根据雾天图像的成像模型,将公式变换得:

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

根据暗原色的定义,式(3)等价为:

$$t(x) = 1 - \min_c \left(\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right) \quad (4)$$

其中:最后一项恰好是用大气光线 A 归一化后的雾天图像暗原色,从而可以求得透射率 $t(x)$ 。由于附加的大气光,图像被雾干扰之后要比其本身亮度更大,透射率 $t(x)$ 一般较小。所以被浓雾覆盖图像的暗原色具有较高的强度值。视觉上看来,暗原色强度值是雾浓度的粗略近似。由于不同位置的雾,浓度往往不同,于是分块找到每个局部区域的暗原色值,利用暗原色先验估计出雾的透射率图,同时也可通过雾的浓度反映景物的深度变化。

3 基于邻域相似性暗原色先验的图像去雾

3.1 基于邻域相似性的暗原色先验

图1(b)图像显示,由暗原色得到的直接散射图包含块效应。这是由于在取得暗原色时将图像分成小块,而在局部区域内,透射率并不总是恒定的。抠图法将图像前景和背景分离,通过不同算法得到清晰的透明度估计图,能够很好地解决这一问题。本文提出一种基于邻域相似性(Neighborhood Similarity Dark Channel Prior, NSDCP)的方法来改善透射率的不连续性,可以达到抠图法的处理效果,同时避免了抠图的复杂算法。

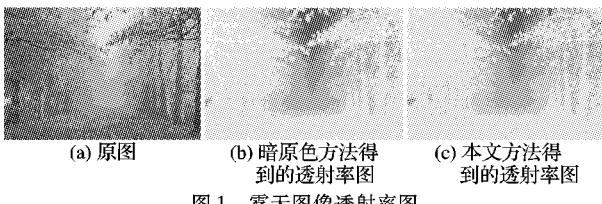


图1 雾天图像透射率图

首先,定义每一像素点的暗色,即每一像素点RGB的最小值。显然,暗原色即每一个小区域内暗色的最小值。对于雾天图像,当小区域内点为同一物体时,物体表面反射率相等,物体表面颜色近似相等,暗原色容易准确得到;当小区域内存在边界,特别是边界两边物体颜色差异较大时,位于分界线附近点的暗原色值往往被近似,因此出现了边缘不清的块效应。针对这一问题,本文构建了一个由邻域每一点暗色组成的 3×3 掩模 W ,其元素定义为:

$$w(x_i) = \min_{c \in [r, g, b]} I^c(x_i); i = 1, 2, \dots, 9$$

计算时,将所求点放在掩模中心,将中心点暗色与其余8

个点的暗色作比较,当式(5)成立时,

$$w = \min |w(x_5) - w(x_i)|; i \in [1, 4], i \in [6, 9] \quad (5)$$

取颜色最相近点的暗色值为新的暗原色值:

$$I^{\text{dark}}(x) = w(x_i)$$

接下来,在得到图像的暗原色图后,将掩模 W 依序移动,修正每一点的暗原色值。这样处理后,当小区域都为同一物体中的点时,暗原色值基本保持不变,而当小区域内含有边界,则可以判断其是否在物体边缘,并将其合并到所属物体,取得正确的暗原色值。如图1(c)所示,经过处理后图1(a)的透射率图几乎没有块效应,边缘清晰。

3.2 估计大气光线

在模型方程中还有一个未知参数大气光线 A 需要从图像中得到。大多数单幅图像去雾方法当中,大气光成分 A 通常是从含雾的像素中简单测得。如文献[5–6],人工选定天空区域值为大气光线的颜色;文献[10]大气光的颜色被赋值为图像最大强度值,但在实际的图像中,最明亮的像素点有可能是一辆白色的汽车或者是白色的建筑物;文献[7,11–12]将景物表面反射率看做RGB空间里的向量,通过三维空间几何结构和最优化的方法来估计大气光线的方向和大小。这种方法较为复杂同时需要较强的假设条件,当假设不满足时,效果有限。

本文中,利用暗原色图来得到大气光线的估测。首先,由于晴朗天气时,图像暗原色接近于黑色,因此可以用雾天图像的暗原色图来粗略表征雾的浓度,将暗原色图中亮度大的区域看做雾浓度大的区域。当图像存在大面积天空区域时,首先提取该图像暗原色图的直方图,然后通过观察直方图灰度聚集分布范围,找到突变值,合理设定灰度空间[s1,s2],确定天空区域的大致范围,最后将天空区域中灰度值出现频率最高的值对应像素点颜色作为大气光线值。当图像没有天空区域或天空区域较少时,图像暗原色图灰度通常是连续的,这里使用He等人^[8]的求取方法,取暗原色图中亮度最大的0.1%像素,在这些像素当中取强度最大的像素点,对应输入图像的颜色被确定为大气光线值。这两种基于暗原色先验的方法可以自动地估测所有图像中的大气光线值,而且比最亮像素方法更加准确。

3.3 基于NSDCP的图像去雾

得到每一点的直接散射 $t(x)$ 和大气光线 A 后,清晰图像可通过式(1)求得,即:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A \quad (6)$$

综上所述,基于NSDCP的图像去雾方法如图2所示。

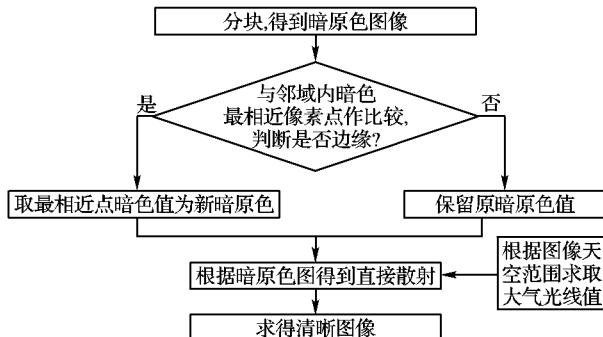


图2 基于NSDCP的图像去雾方法流程

当物体距相机较远位置时,大气光线在成像时贡献较大,物体表面辐射量衰减严重,相当于得到的图像包含噪声。极端情况当直接散射 $t(x)$ 近似为0时,式(6)没有意义,同时,为增强图像的真实感,实际运算时为直接散射 $t(x)$ 设置一个下限,例如 $t(x) = \max(t(x), 0.1)$ ^[8],以避免这种情况的发

生。

4 实验结果

本文算法和文献[7-8]进行去雾效果比对。图3给出了图像的比对结果,可以看出本文算法在色彩和细节上毫不

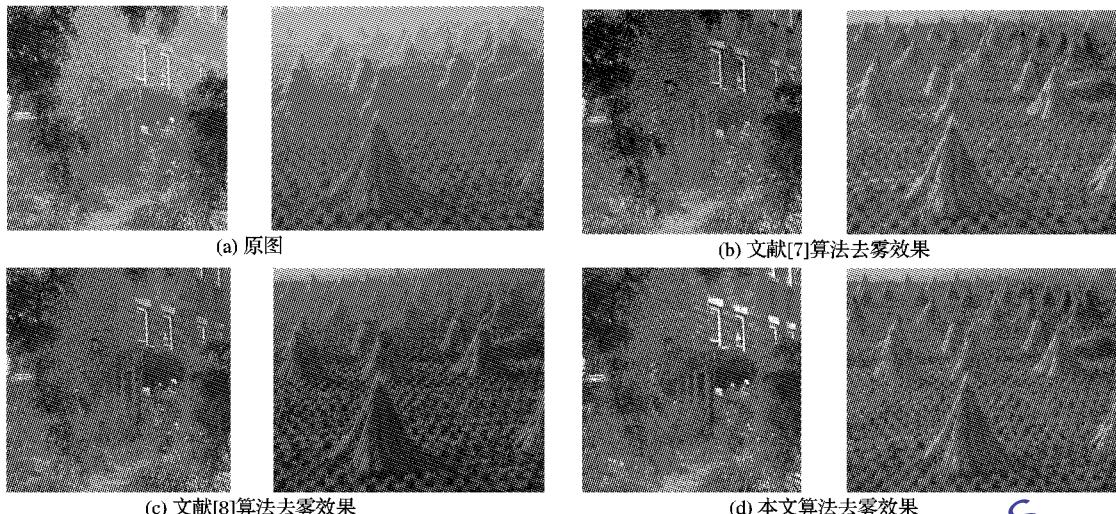


图3 去雾效果对比

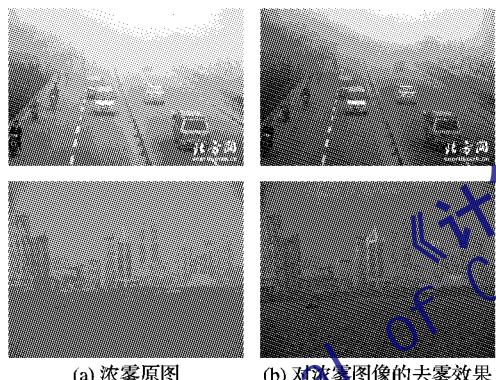


图4 浓雾图像去雾效果

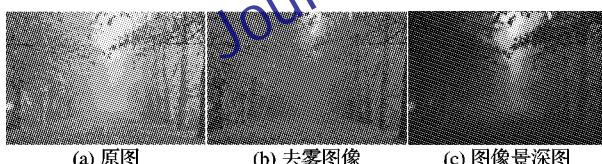


图5 图像去雾效果及景深图

5 结语

本文基于暗原色去雾的基本思想,提出了一种基于邻域相似性的暗原色图像去雾方法。该方法充分利用暗原色的优点获取透射率信息,通过暗色图像邻域像素之间的灰度相似性来改善边缘,同时在大气光线的选取上更加合理。本文方法克服了抠图的复杂算法,去雾效果毫不逊色。但是,本文方法也存在暗原色方法的固有缺陷,对于景物颜色和大气光线差别不大的图像,例如对于海上图像效果有限。在改善边缘时的近似处理,牺牲了图像边缘的部分暗原色值,使得雾被少量保留。下一步工作将提高算法速度同时研究更为合理的大气成像模型。

参考文献:

- [1] NARASIMHA 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.
- [2] NARASIMHA S G. Vision in bad weather [C]// Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999, 2: 820-827.
- [3] SCHECHNER Y Y, NARASIMHA S G, NAYAR S K. Polarization-based vision through haze [J]. Applied Optics, 2003, 42(3): 511-525.
- [4] SCHECHNER Y Y, NARASIMHA S G, NAYAR S K. Instant dehazing of images using polarization [C]// Proceedings of IEEE CVPR. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2001, 1: 325-332.
- [5] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Interactive (de)weathering of an image using physical models [EB/OL]. [2010-05-10]. http://ljk.imag.fr/membres/Bill.Triggs/events/iccv03/cdrom/cpm-cv03/31_narasimhan.pdf.
- [6] 芮义斌,李鹏,孙锦涛.一种图像去薄雾方法[J].计算机应用,2006,26(1):154-156.
- [7] FATTAL R. Single image dehazing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 1-9.
- [8] HE KAIMING, SUN JIAN, ZHOU XIAOOU. Single image haze removal using dark channel prior [EB/OL]. [2010-05-10]. http://research.microsoft.com/en-us/people/jiansun/papers/dehaze_cvpr2009.pdf.
- [9] CHAVEZ P. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data [J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 24(3): 450-479.
- [10] 祝培,朱虹,钱学明,等.一种有雾天气图像景物影像的清晰化方法[J].中国图象图形学报,2004,9(1):124-128.
- [11] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Vision and the atmosphere [J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 48(3): 233-254.
- [12] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Chromatic framework for vision in bad weather [C]// Proceedings of IEEE CVPR. Washington, DC: IEEE, 2000, 1: 598-605.
- [13] TAN R T. Visibility in bad weather from a single image [C]// Proceedings of IEEE CVPR. Washington, DC: IEEE, 2008, 1: 1-8.
- [14] KOPF J, NEUBERT B, CHEN B, et al. Deep photo: Model-based photograph enhancement and viewing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(5): 116:1-116:10.