

改进的基于暗原色先验的图像去雾算法

李 坤^{1,2}, 兰时勇^{1,2}, 张建伟^{1,2}, 李 璐^{1,2}

(1. 四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065;

2. 四川大学 视觉合成图形图像技术国防重点学科实验室, 四川 成都 610065)

摘 要:针对暗原色先验估计透射率偏小,不适用于天空区域,致使复原图像色彩失真、亮度偏暗等问题,提出了一种基于天空区域分割的图像去雾算法。通过对天空和非天空区域的雾天图像进行有区分地复原,克服了因不满足先验规律而导致的失真问题,通过 Gray World 和 White Patch 假设对复原图像亮度进行校正处理,解决了图像偏暗的不足。此外,通过在天空区域估计大气光值,使求得的介质透射率更为精确,复原出的细节更加清晰。实验结果表明,该算法能有效解决天空区域失真问题,复原后的图像也具有较高的亮度和对比度。在时间复杂度不显著增加的条件下,能够达到良好的去雾效果。

关键词:去雾;暗原色先验;引导滤波;天空分割;白平衡

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)02-0006-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.02.002

An Improved Algorithm of Haze Removal Based on Dark Channel Prior

LI Kun^{1,2}, LAN Shi-yong^{1,2}, ZHANG Jian-wei^{1,2}, LI Lu^{1,2}

(1. College of Computer, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. National Key Laboratory of Fundamental Science on Synthetic Vision, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Dark channel prior often gives a smaller value in transmission estimation, and doesn't be suitable for the sky region, which leads to a dim image with cross-color sky regions after haze removal. To solve these problems, a new algorithm of haze removal based on sky region segmentation is proposed, which separates the sky region firstly, and use different methods to recover the scene radiance in sky and non-sky regions, overcoming the cross-color caused by failure of the prior rule. With a global White Patch adaptation in sky region and Gray World adaptation in non-sky region, it yields a brighter result, which is a good solution to solve the deficiency of the restored image's dim. In addition, with estimating the atmospheric light only in sky regions, the method gives a more precise transmission and results in more details in the final restored image. Experimental results show that this method can handle the cross-color of sky regions effectively, and the restored result keeps sufficient brightness and contrast. It yields a better result with no much cost in time complexity.

Key words: haze removal; dark channel prior; guided image filter; sky region segmentation; white balance

0 引言

雾霾天气下,光学传感器捕获到的图像严重降质,影响人类视觉感受和计算机视觉算法的正确执行,因此研究去雾算法十分必要。目前对雾天图像处理的方法主要分为雾天图像增强^[1-3]和雾天图像复原^[4-6]两类,雾天图像复原针对雾天图像降质的物理过程,建立雾天图像退化模型,通过反演运算补偿有雾图像中丢

失的信息。该方法针对性强,得到的去雾效果自然,因而得到了大量关注^[7]。

由于雾天图像复原所依赖的场景深度往往未知,因此需要借助有效假设或先验知识作为辅助信息。Fattal 通过假定透射率和物体表面阴影局部不相关来估计场景反照率,并推导出介质透射率^[4]。该方法在雾气较薄时可以产生良好的去雾效果,然而当雾气非

收稿日期:2014-03-23

修回日期:2014-06-26

网络出版时间:2014-12-27

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2013AA013802)

作者简介:李 坤(1988-),男,硕士研究生,CCF 会员,研究方向为数字图像处理;兰时勇,助理研究员,博士,研究方向为智能交通系统、图形图像处理;张建伟,博士,研究员,博士生导师,研究方向为数字图像处理与计算机图形学、空管信息处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20141227.1348.045.html>

常浓时,假设条件不成立。He 等提出了一种基于暗原色先验的去雾算法^[5]。该方法对大多数自然图像可以得到很好的去雾效果,但由于引入了抠图技术,整个算法的时间复杂度和空间复杂度都很高。Tarel 等假设大气耗散函数在可行域中逼近最大值,且局部变化平缓,使用中值滤波估计大气耗散函数^[6]。该方法容易引入 Halo 效应,且参数较多,不宜调整^[8]。以上算法中,He 等提出的算法因原理简单,效果出色,被更多人研究。针对其抠图算法较高的复杂度,Xu 等提出使用双边滤波优化透射率^[9]。但相比抠图算法,双边滤波效果较差。针对暗原色先验不适用于天空区域,复原图像容易失真,蒋建国等提出在复原图像过程中引入容差,重新计算明亮区域的透射率^[10]。然而,因明亮区域大小及亮度变化范围不确定,并不能给出一个具有普适性的容差值。容差太小,则不能完全消除复原图像中天空区域的失真;容差过大,又会导致非明亮区域复原错误,同时还降低了算法的去雾能力。

基于此,文中提出一种新的图像去雾算法。通过使用引导滤波优化透射率,解决算法时间复杂度较高的不足,通过把天空区域从图像中分割出来并单独处理,解决了把图像整体作为处理目标导致的复原图像天空区域失真的现象,通过对复原图像应用基于 Gray World 和 White Patch 假设的色调映射,改变之前亮度较暗的缺陷,使图像整体质量获得了较大提升。

1 基于暗原色先验去雾过程

1.1 大气散射物理模型

在雾天图像复原方法中,公式(1)所表示的大气散射模型被广泛使用^[5]。

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

其中, I 表示有雾图像; J 表示无雾条件下的场景辐照度; t 表示雾气的通透程度,也称为透射率; A 是大气光,通常被认定为大气、地平线处或者天空的颜色。

使用暗原色先验实现去雾的方法是,通过先验条件估计出 A 和 t 的值,从而通过解方程从有雾图像 I 中恢复出无雾图像 J 。

1.2 暗原色先验理论

在研究过程中,He 等人观察到,在室外无雾图像中,剔除天空区域,在图像的局部块内存在强度很低,并且在至少一个通道中趋于零的像素,这些像素被称为暗原色^[5]。给定图像 J ,暗原色可以通过公式(2)求出。

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

其中, J^c 表示图像 J 的一个颜色通道; $\Omega(x)$ 表示以 x 为中心的局部块。

大量统计表明,无雾图像中 J^{dark} 的强度值很低且趋于零,该规律被称为暗原色先验。

1.3 基于暗原色先验的去雾过程

假定大气光 A 值已知,并进一步假定在图像的局部块内,介质透射率为常量。对公式(1)两边同时除以 A 进行归一化,并分别求取暗原色,于是有

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

因为场景辐照度 J 是无雾图像,根据暗原色先验,可知

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c J^c(y) \right) = 0 \quad (4)$$

带入公式(3),可以得到

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (5)$$

为了使复原图像看起来更加真实而不丢失深度感,故引入参数 ω ,保留较远处的部分雾气,因此得到透射率的最终表达式。

$$\tilde{t}(x) = 1 - \omega \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_c \frac{I^c(y)}{A^c} \right) \quad (6)$$

因估计所得的透射率比较粗糙,块效应明显,He 等使用 Soft Matting 方法对透射率进行优化。最优的 t 通过求解公式(7)得到:

$$(L + \lambda U)t = \lambda \tilde{t} \quad (7)$$

其中, L 是抠图拉普拉斯矩阵; U 是与 L 同样大小的单位矩阵; λ 是修正参数。

此时,再通过合理的方法估计出大气光 A 的值,便可通过公式(1)复原出无雾图像 J 。

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

2 改进的图像去雾方法

He 等人认为,在有雾图像中,天空区域的颜色与大气光的颜色非常相近,透射率趋于0,而天空在无穷远处,其实际透射率也很接近0,因此无须分割出天空区域单独处理^[5]。蒋建国等人认为,天空区域不满足暗原色先验,故其无雾图像的暗原色不能近似为0,其实际透射率要大于根据暗原色估计得到的透射率。而且根据公式(8)可知,天空区域像素通道间色彩值的微小差异,在除以一个较小的 t 值之后,会被严重放大,致使图像色彩失真^[10]。文中实验也同样证实了这一点。因此,认为分割天空区域是有必要的。

文中基于天空区域分割,使用公式(8)处理非天空区域,使用公式(12)处理天空区域,使用引导滤波代替 Soft Matting 对粗糙透射率进行精细化处理,并通过 Gray World 和 White Patch 机制对复原图像进行增

强,最后使用合适的参数融合两种结果,得到效果出色的复原图像。具体算法流程如图1所示。

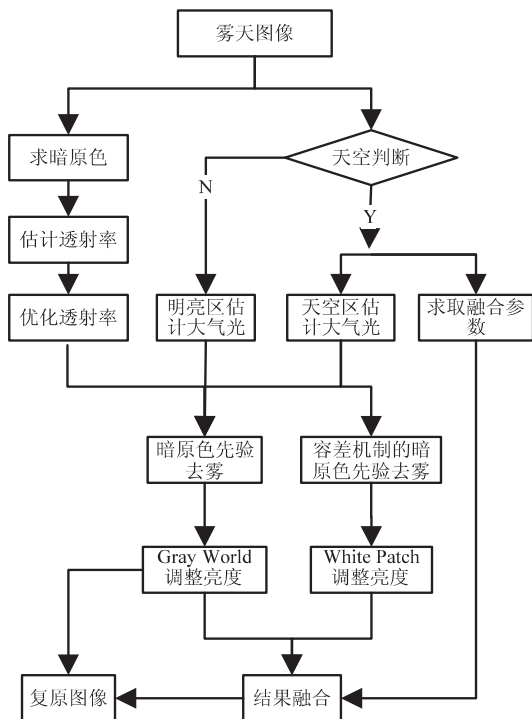


图1 改进的暗原色先验去雾流程图

2.1 天空区域存在判断及分割

禹晶等人认为,天空区域具有3个特性:亮度较高;灰度平坦;位置偏上^[11]。基于此,文中提出一种简单的分割天空区域的方法。

首先,需要对天空区域的存在性进行判断。根据上述特征,选取有雾图像的前 N_{top} 行,求该区域亮度的平均值 V_{avg} 和最大亮度值 V_{max} ,若 $V_{\text{avg}} > \mu_1 V_{\text{max}}$,则认为存在天空区域。经过多次实验,表明 μ_1 为 0.9 时,检测结果较好。

对于存在大范围天空区域的图像,对该图像进行区域分割。鉴于天空区灰度平坦,边缘检测将被用于检查天空边界。在文献[11]中,禹晶等对图像边缘进行分块统计,然而,在雾气较浓时,靠近天空的区域边缘信息相对模糊,分块边缘信息并不能有效地标记出天空区域。对此,首先提取出有雾图像的灰度分量,对该分量进行直方图均衡化,有效地增强图像中的边缘信息,之后应用 Canny 算子进行边缘检测。从上到下逐行扫描,同时在灰度图像中检查对应所得边缘处的亮度值 V_e ,若 $V_e > \mu_2 V_{\text{max}}$,则认为该边缘由日周晕造成,继续往下扫描,直到得到有效边缘或扫描到 λH 行,此时,记录该处边界位置 $Y_s(x)$ 。一般情况下, μ_2 取值为 0.95, λ 取值为 0.5。然而,对于 $Y_s(x) = \lambda H$ 的记录,很可能是边缘信息较弱导致的错误定位。这种情况下,使用该点左右邻域有效值的均值作为有效边缘,记为 $(Y_s(x-m) + Y_s(x+n))/2$ 或者 $Y_s(x+p)$ 。天空

区域检测效果如图2所示,黑色区域为标记的天空区域。



图2 天空区域分割图

2.2 估计大气光

一般认为,大气光即是天空的颜色。He 等在文献[5]中使用“先对图像暗原色进行排序,找到最亮的0.1%的像素,然后取有雾图像中对应于这些像素的最亮的像素值作为大气光值”的方法来估计大气光值,但该方法存在两个问题:无法排除大块白色物体的影响;若天空区域较小,可能无法获取天空区域暗原色值^[12]。因此,笔者使用新的方法来估计大气光。对于天空区域较小或不存在天空区域的图像,仅在靠上的位置应用 He 等提出的方法,并使用像素的平均值代替最亮值作为大气光值。对于天空区域较大的有雾图像,把天空区域中亮度最大的1%的像素灰度均值作为大气光颜色。实验结果表明,这样选取可以在一定程度上抵消天空区域白色云朵的影响,又能排除图片中可能存在的椒盐噪声引发的估值偏差。所估计的大气光更加准确,去雾效果相对自然。

2.3 使用引导滤波优化透射率

如1.3所述,粗糙的传输率会导致复原图像存在明显的块效应,Soft Matting 虽然能很好地精化透射率,却因为要使用很大的拉普拉斯矩阵进行多次计算,给算法带来了很高的时空开销。在此,使用引导滤波^[13]来优化介质透射率。引导滤波是 He 等提出的快速保边滤波,将其应用于透射率的优化能够在视觉效果无

明显差异的条件下,大幅降低算法的时间复杂度。

引导滤波在功能上类似于联合双边滤波^[14],能把不同图像的值域信息和空间信息有效地结合在一起,实现保边去噪的效果。该方法假定引导图像 I 和滤波器输出 q 之间存在局部线性关系,即

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in \omega_k \quad (9)$$

其中, q 为图像 I 中以 k 为中心像素的局部窗口的线性变换。

通过对求解特定代价函数,并简化结果,可以得到最终表达式为:

$$q_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{kl \in \omega_k} (a_k I_i + b_k) = \bar{a}_i I_i + \bar{b}_i \quad (10)$$

其中, $a_k = \frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} (I_i p_i - \mu_k \bar{p}_k)$; $b_k = \bar{p}_k - a_k \mu_k$; $\bar{a}_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{k \in \omega_i} a_k$; $\bar{b}_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{k \in \omega_i} b_k$, μ_k 和 δ_k 表示图像 I 在局部窗口 ω 中的均值和方差, $|\omega|$ 是窗口 ω_k 中的像素个数。

以之前估计的粗糙透射率为引导滤波器的输入,有雾图像为引导图像,便可得到优化的透射率。

此时,通过合理的方法估计出大气光 A 的值,便可通过公式(1)复原出无雾图像 J ,见公式(8)。

2.4 融合复原图像

基于暗原色先验的去雾算法在非天空区域能得到更多细节信息,在天空区域却容易引起失真。蒋建国等通过引入一种容差机制,较好地纠正了暗原色先验在明亮区域估计透射率偏小,从而导致复原图像色彩失真的问题^[10]。该方法定义引入参数 K 作为容差,把 $|I-A|$ 小于 K 的区域作为明亮区域,重新计算透射率,若 $|I-A|$ 大于 K ,则回归到原始的暗原色先验去雾算法。该方法效果明显,但却容易在非天空区域及其交界处引发失真。通过分离天空区域,将改进的蒋方法应用于天空区域去雾,将 He 方法应用于非天空区域去雾,较好地保留了两种算法的优势。然而,倘若直接分离去雾,会导致地面物体和天空分界处出现明显的锯齿效应。为了使复原图像看起来更加自然,在复原过程中,首先对图像进行白平衡,使整体亮度趋于一致,然后在交叉区域使用归一化的权值对两种方法得到的复原结果进行融合。具体方法见公式(11)~(13)。实验结果表明,该方法融合得到的复原图像浑然一体,没有明显分界。

$$J_s(x) = \frac{I(x) - A}{\min(\frac{K \cdot \max(t(x), t_0)}{|I(x) - A|}, 1)} + A \quad (11)$$

$$J_d(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (12)$$

$$J(x) = (1 - \alpha) \cdot J_s(x) + \alpha \cdot J_d(x) \quad (13)$$

其中, J_s 为天空及交叉区域使用改进的蒋方法去雾方程; J_d 为非天空及交叉区域使用 He 方法去雾方程; K 为容差,取值 50; $\alpha = i^2/H^2$ 为归一化系数, H 为交叉区域的高度, i 为像素 y 坐标相对于交叉区域起点的纵坐标值; J_s 和 J_d 分别是使用 2.5 节中的方法调整亮度后的天空区域和非天空区域的复原图像。

2.5 亮度调整

暗原色先验规律会导致估计出来的传输率偏小,从而复原得到的无雾图像在亮度上偏暗。为了解决这一问题,使用 Gray World 和 White Patch 假设对所得无雾图像进行亮度校正。

Gray World 假设认为自然场景中所有表面反射的平均值是无色差的,即图像中的 RGB 各通道的平均值相等^[15],一般取该均值为 127 或者 128。在非天空区域应用该假设,通过应用简单的线性映射,实现复原图像亮度的提升。

$$I'_c(x) = \frac{128}{\text{avg}_c} I_c(x) \quad (14)$$

其中, $c \in \{r, g, b\}$, avg_c 为 c 通道的亮度均值。

White Patch 假设认为若图像的成像场景中存在白色斑点,则该图像的 RGB 各通道的最大值必然同时出现在该处^[15]。鉴于白平衡后的大气光值为 255,对天空区域复原图像应用该假设,进行简单线性映射。

$$I_c(x) = \frac{255}{\max_c} I_c(x) \quad (15)$$

其中, $c \in \{r, g, b\}$, \max_c 为 c 通道的亮度最大值。

通过使用 Gray World 和 White Patch 假设对复原图像进行映射调整,图像亮度明显增强,图像的整体品质得到大幅提高,表现为亮度适中,色彩鲜明。

3 实验结果分析

文中所用图片来源于网络。在实验中,限定的局部块状区域 Ω 均取为 15×15 大小,使用滑动窗口的方式求取暗原色。明亮区域容差取值为 50。

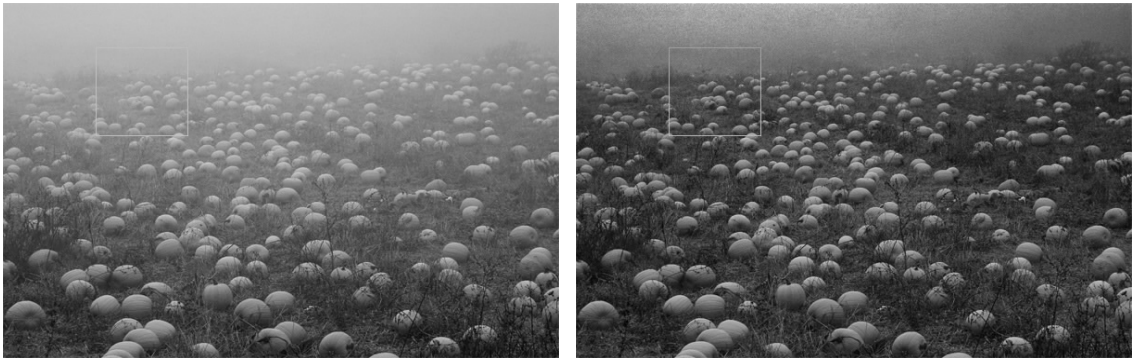
图 3 和图 4 为文中算法与其他算法的去雾效果比较。在图 3 中,通过 He 方法得到的复原图像(b)在天空区域存在明显的失真,图像整体灰暗,日周晕明显;蒋方法得到的图像(c)天空区域复原较好,但同样存在色彩暗淡的问题,而且偏远处的景物不够清晰;文中方法得到的结果(d),因为结合了 He 方法和蒋方法的优势,同时进行了亮度调整,复原图像色彩鲜明,纹理清晰,整体品质较好。在图 4 中,可以看到蒋方法的局限性,当非天空区域与天空区域亮度相近时,非天空区域的复原将会受到影响,图像(c)在交界处存在明显

失真,图像(a)和图像(c)同时存在偏色现象,而文中方法恢复出来的效果更加逼真。



(a) 原图 (b) He方法复原图 (c) 蒋方法复原图 (d) 文中方法复原图

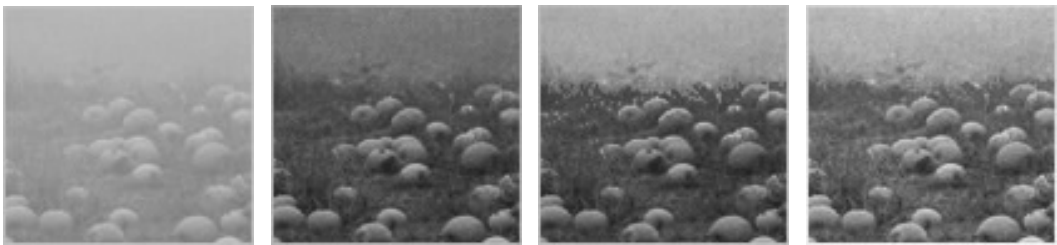
图3 去雾效果对比图(1)



(a) 原图 (b) He方法复原图



(c) 蒋方法复原图 (d) 文中方法复原图



(e) 图(a)局部放大图 (f) 图(b)局部放大图 (g) 图(c)局部放大图 (h) 图(d)局部放大图

图4 去雾效果对比图(2)

文中使用李大鹏等在文献[16]中提出的方法对复原图像质量进行对比,使用 Canny 算子和亮通道检测去雾图像的有效边缘强度,使用直方图相似性度量去雾图像的色彩还原能力,使用反射图像的结构信息

评价去雾图像的结构保持能力^[16]。

从表1和表2可以看出,相对于He方法和蒋方法,文中在细节增强和结构保持方面存在明显优势,而在色调还原能力介于He方法和蒋方法之间,但考虑

到文中对复原图像应用了白平衡技术,尽管在直方图上存在较大偏移,但色彩和色调效果却更加自然,通过图3中白色的墙面和图4中绿色的草叶均能看出文中方法的优势。

表1 图3中各方法去雾质量评价

	He 方法	蒋方法	文中方法
有效细节强度	0.458 5	0.453 8	0.471 3
色调还原程度	0.747 8	0.936 6	0.893 5
结构信息保持	0.958 6	0.922 6	0.967 3

表2 图4中各方法去雾质量评价

	He 方法	蒋方法	文中方法
有效细节强度	0.339 4	0.339 9	0.356 8
色调还原程度	0.200 8	0.457 9	0.302 7
结构信息保持	0.940 8	0.933 1	0.955 5

由于 He 方法和蒋方法均使用了 Soft Matting 抠图算法用于透射率的修复,运算量极大,导致运算时间急剧增长,故对比运算时间没有显著意义。若将 He 方法和蒋方法中的 Soft Matting 算法使用引导滤波替代,则文中算法时间稍长,主要用于天空区域的分割、交叉区域的计算以及亮度的调整,但由于增加运算量较小,时间增长并不明显。

4 结束语

通过对暗原色先验的研究,发现该先验规律存在估计透射率偏低,不适用于天空区域等缺陷,而且在优化透射率时,使用软抠图的方法,大大增加了时空开销。文中针对这些问题,首先分割出天空区域,使用容差机制对天空区域进行处理,改变了天空区域失真的不足。通过对天空区域进行 White Patch 白平衡,对非天空区域应用 Gray World 假设,实现图像整体亮度的提升,又使用引导滤波优化透射率,使算法执行效率得到了明显提高。此外,文中算法还改进了大气光的估计方法,通过在天空区域求最亮像素均值,使大气光估值更加准确。

由于地空分界线并不规则,雾气分布也较复杂,致使天空区域分割在雾气特别浓的时候可能失效,交叉区域里对不同方法处理结果的融合效果也不够好,这也是下一步需要研究的内容。

参考文献:

[1] Abdullah-Al-Wadud M,Kabir M H,Dewan M A A,et al. A dynamic histogram equalization for image contrast enhancement[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,2007, 53(2):593-600.

[2] Rizzi A,Gatta C,Marini D. From retinex to automatic color equalization:issues in developing a new algorithm for unsupervised color equalization[J]. Journal of Electronic Imaging, 2004,13(1):75-84.

[3] Kimmel R,Elad M,Shaked D,et al. A variational framework for retinex [J]. International Journal of Computer Vision, 2003,52(1):7-23.

[4] Fattal R. Single image dehazing[J]. ACM Transactions on Graphics,2008,27(3):1-9.

[5] He Kaiming,Sun Jian,Tang Xiaoou. Single image haze removal using dark channel prior[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33 (12): 2341 - 2353.

[6] Tarel J P,Hautiere N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image[C]//Proceedings of the 12th IEEE international conference on computer vision. [s. l.]: IEEE, 2009:2201-2208.

[7] 郭 璠,蔡自兴,谢 斌,等. 图像去雾技术研究综述与展望[J]. 计算机应用,2010,30(9):2417-2421.

[8] 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.

[9] Xu Haoran,Guo Jianming,Liu Qing,et al. Fast image dehazing using improved dark channel prior [C]//Proc of 2012 IEEE international conference on information science and technology. [s. l.]:[s. n.],2012:663-667.

[10] 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.

[11] 禹 晶,李大鹏,廖庆敏. 基于物理模型的快速单幅图像去雾方法[J]. 自动化学报,2011,37(2):143-149.

[12] 徐 晶,刘 鹏,唐降龙. 大气光估计对单幅图像去雾复原的影响[J]. 智能计算机与应用,2012,2(3):68-71.

[13] He Kaiming,Sun Jian,Tang Xiaoou. Guided image filtering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2013,35(6):1397-1409.

[14] 王 峰. 图像引导滤波器在单幅图像复原中的应用[D]. 合肥:合肥工业大学,2012.

[15] 王 丛. 自动图像白平衡技术的研究[D]. 北京:北京工业大学,2012.

[16] 李大鹏,禹 晶,肖创柏. 图像去雾的无参考客观质量评测方法[J]. 中国图象图形学报,2011,16(9):1753-1757.

改进的基于暗原色先验的图像去雾算法

作者:

李坤, 兰时勇, 张建伟, 李璐, [LI Kun](#), [LAN Shi-yong](#), [ZHANG Jian-wei](#), [LI Lu](#)

作者单位:

[四川大学 计算机学院, 四川 成都 610065; 四川大学 视觉合成图形图像技术国防重点学科实验室, 四川 成都 610065](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#)

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2015(2)

引用本文格式: [李坤](#). [兰时勇](#). [张建伟](#). [李璐](#). [LI Kun](#). [LAN Shi-yong](#). [ZHANG Jian-wei](#). [LI Lu](#) [改进的基于暗原色先验的图像去雾算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(2)