

基于暗通道图像质心偏移量的去雾算法

苏畅^{1,2*}, 毕国玲¹, 金龙旭¹, 聂婷^{1,2}, 梁怀丹^{1,2}

¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

²中国科学院大学材料科学与光电技术学院, 北京 100049

摘要 提出了一种基于暗通道图像质心偏移量的去雾算法。该算法对雾天图像暗通道进行了聚类分析,按场景划分图像并分析和计算了每个场景暗通道图像的质心偏移量,以用于场景的透射率修正。结合四叉树搜索算法,提出了基于景深阶跃图的大气光值估计方法,使估算大气光值的位置不受白色或平坦物体的影响而落到景深较大的区域。实验结果表明,所提算法能有效地恢复明亮区域的原本色调和细节信息,复原图像亮度适宜且颜色自然。在主观上,复原图像有较好的视觉效果;在客观上,所提算法的复原图像评价指标整体优于暗通道先验算法。

关键词 图像处理; 图像增强; 图像去雾; 暗通道图像; 质心偏移; 景深阶跃图

中图分类号 TP391

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201939.0533001

Dehazing Algorithm Based on Dark-Channel Image Centroid Offset

Su Chang^{1,2*}, Bi Guoling¹, Jin Longxu¹, Nie Ting^{1,2}, Liang Huaidan^{1,2}

¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,

Changchun, Jilin 130033, China;

²College of Materials Science and Opto-Electronic Technology, University of Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100049, China

Abstract In this paper, we propose a dehazing algorithm based on the dark-channel image centroid offset. The algorithm clusters the dark channels of hazy images to divide these images into scenes. Further, it analyzes and calculates the centroid offset of the dark-channel image of each scene to correct the transmission rate of the scene. Combined with the quadtree search algorithm, an atmospheric light estimation method based on the depth of field step image is proposed, which enables the estimated position of atmospheric light to fall in a region with a large depth of field without being affected by white or flat objects. The experimental results reveal that the proposed algorithm can effectively restore the original hue of bright regions as well as the detail information. Moreover, the restored images have appropriate brightness and natural color. Subjectively, the restored images have relatively good visual effects. Objectively, the evaluation indexes of the restored images by the proposed algorithm are overall better than those by the dark-channel-prior algorithm.

Key words image processing; image enhancement; image dehazing; dark-channel image; centroid offset; depth of field step image

OCIS codes 100.2980; 010.1310; 100.3020; 330.4060

1 引 言

空气中的气溶胶(灰尘颗粒或液滴)将光散射到大气中。这种散射削弱了场景辐射的直接传输,并使其附加了一层先前散射的环境光(称为空气或大气光值)。在雾霾场景中,散射过程会造成图像的对比度和饱和度下降,大量细节信息丢失以及色调偏移。这不仅会影响户外摄影的视觉效果,也会影响

户外摄影的质量。因此,图像去雾技术被广泛应用于光学、天文以及遥感等众多领域。

大多数图像去雾算法通过直接恢复场景辐射来去除雾霾层。这些方法基于物理图像建立模型,该模型将模糊图像描述为场景辐射与大气光值之间的线性组合,线性组合的系数由图像中每个像素的场景透射率决定。在彩色(RGB)图像中,该模型的每个像素可用 4 个未知数表示,分别为三个颜色通道

收稿日期: 2018-11-26; 修回日期: 2018-12-28; 录用日期: 2019-01-02

基金项目: 吉林省科技发展计划(20170204029GX)

* E-mail: suchang906@163.com

0533001-1

的场景辐射和一个透射率值;而单幅模糊图像仅能为每个像素提供三个约束量,即三个通道的强度。因此,系统存在不确定性,无法完全确定透射率值和场景辐射值。

为了解决这种不确定性,许多方法借助有关场景的附加信息,如在不同条件下拍摄的多幅图像^[1]、极化角^[2]或者场景的几何特征^[3]。2008年以来,学者们提出了多种基于单幅图像的去雾算法^[4-8]。这些方法在不使用任何其他信息源的情况下,通过在雾霾场景上提出额外的假设(如假设局部透射率与表面阴影的不相关性^[4])、放松物理模型(如最大化图像的对比度^[5,8])和引入清晰图像的统计规律(如暗通道先验)来实现去雾^[6]。

He等^[9]提出基于暗通道先验和抠图方法的去雾算法,之后又提出用引导滤波代替抠图的方法,进一步提升了算法的速度。该课题组通过研究发现清晰的室外图像在局部总会存在一些颜色通道值较低的点,当有雾霾时这些点的亮度值因受到大气光值的影响而改变,用这种改变来估算透射率值,进而复原出无雾图像。该算法能有效消除雾霾对大多数室外图像的影响,从而可获得较好的去雾效果。但该方法仍存在局限性:1)对于暗通道不接近零的明亮区域,暗通道先验求解的透射率往往过小,使得复原图像出现色彩偏移和过饱和现象;2)当图像中存在亮度较大的物体时,对大气光值的估算容易出现偏差。

随后,学者们对该算法做了许多改进。Fang等^[10]利用图像分割方法将图像按景深进行分块并通过假设每个图像块内的景深不变来求解透射率。刘海波等^[11]结合暗通道先验和Retinex理论,对透射率进行动态修正。郭翰等^[12-13]提出将场景中的明亮区域隔离出来以避免出现色调偏移。宋颖超等^[14]提出一种自适应地调节暗通道尺度范围的方法来抑制光晕现象和色彩失真。武昆等^[15]提出将引导滤波与提升小波相结合的方法,并将其应用于暗通道先验算法。Bi等^[16]通过融合暗通道与最大亮度图来估计透射率。这些算法虽然在一定程度上提高了透射率估算的准确度,但对场景具有较强的针对性,复原图像在天空等明亮区域仍存在色彩偏移的问题。

针对暗通道算法对明亮区域透射率和大气光值估计不准确的问题,本文提出一种基于暗通道图像质心偏移量和场景景深阶跃图的改进算法。该算法对图像的场景进行聚类分析,根据场景暗通道图像

的质心偏移量来更加准确地估算场景的透射率值,并利用图像亮通道与暗通道的差值推算出场景景深阶跃图,突出场景纹理与景深的变化,使大气光值的估计位置稳健地落在无限远处,从而获得更加可靠的估计值。与He等提出的暗通道算法相比,所提算法复原的图像整体更为明亮且较好地保持了图像原有的色调,尤其对于天空等明亮区域,颜色更加真实自然,且客观评价指标更优。

2 基本理论

2.1 大气散射模型

将光经大气中的气溶胶从线性传播方向偏转到其他方向的过程称为光散射。通过创建半透明的环境光层(大气光值)来降低介质中多次散射后的可见度。该场景可以由以下大气散射模型表示:

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

式中: $I(x)$ 为雾天成像设备接收到的光强; $J(x)$ 为真实场景(需要复原的无雾图像)的辐射强度; $x = (m, n)$ 为位置坐标; $t(x)J(x)$ 为场景中景物表面反射并直接到达成像设备的辐射,透射率 $t(x) = \exp[-\beta \cdot d(x)]$ (其中 $d(x)$ 为场景深度)描述的是光线通过大气媒介传播到成像设备的过程中没有被散射的部分,其中 β 为大气散射系数,与波长有关,对于尺寸与波长相比较大的粒子(如雾、气溶胶等), β 可视为常数; A 为环境大气光值,对应于取代直接场景辐射的环境光,描述了环境光的强度,通常视为全局常量。

分析(1)式可知,若透射率 $t(x)$ 和大气光值 A 已知,去雾后的清晰图像 $J(x)$ 可以表示为

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A. \quad (2)$$

因而,基于大气散射模型的去雾算法的关键在于如何准确地估算雾天场景的透射率 $t(x)$ 和大气光值 A 。所提算法将从这两个方面进行改进,从而提高透射率和大气光值估计的准确性。

2.2 暗通道先验

为了估算透射率 $t(x)$,He等^[6]将无雾图像的最小化(暗通道)图像的统计规律作为先验来求取透射率 $t(x)$,并对图像进行复原。He等将暗通道图像定义为

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \{ \min_{y \in \Omega(x)} [J^c(y)] \}, \quad (3)$$

式中: $J^{\text{dark}}(x)$ 为暗通道图像; $J^c(y)$ 为图像 J 的RGB三个色彩通道(r, g, b)中的一个通道的图像; y 为位置坐标; $\Omega(x)$ 为以 x 为中心的邻域。

对(2)式两边作最小值操作,可以得到透射率的表达式为

$$t(x) = \frac{1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} \{ \min_{y \in \Omega(x)} [I^c(y)] \}}{1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} \{ \min_{y \in \Omega(x)} [J^c(y)] \}} \quad (4)$$

根据暗通道先验,在大多数不覆盖天空的局部区域中,总有像素在至少一个颜色通道中具有非常低的辐射强度,即 $J^{\text{dark}}(x) \rightarrow 0$,将其代入(4)式可得到透射率的估算值为

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} \{ \min_{y \in \Omega(x)} [I^c(y)] \} \quad (5)$$

当图像场景中存在物体的阴影、彩色物体或表面以及暗色物体或表面(下文中称其为暗场景)时,则暗通道图像(最小化图像)的强度趋近于零,暗通道先验成立。但当图像中存在大面积的明亮区域时,如灰白色天空或物体,暗通道先验算法难以准确求解明亮区域的透射率,导致去雾图像明亮区域色彩偏移。针对这一问题,提出一种基于暗通道图像质心偏移量的改进算法。

3 基于质心偏移量和景深阶跃图的图像去雾算法

3.1 基于暗通道图像质心偏移量的透射率估计

在估算透射率时,暗通道先验算法^[6]假设 $J^{\text{dark}}(x) = 0$,使得算法对天空区域的估算值往往过

小,复原后出现色彩偏移和过饱和现象。一些算法也针对天空区域做出相应改进,但分析满足暗通道先验的场景可知,(5)式求解的先决条件不在于图像中是否包含大面积的天空,而在于在最小化的局域内是否含有阴影或色彩饱和度较高的场景。图1为暗通道先验算法对两幅均含有大片天空的雾天图像的去雾效果,其中图1(a)为两幅雾天图像,图1(b)为两幅雾天图像的暗通道图像,像素值位于 $[0, 1]$,图1(c)为暗通道先验算法的结果。由图1可以看出,色调饱和度较高的天空区域在处理后有较好的视觉效果,而灰白色的天空区域则出现明显的色彩偏移。另外,暗通道图像中的天空区域亮度均值明显高于暗场景区域的亮度均值,区域性明显且趋向于不同的亮度中心。基于此,提出基于聚类分析和图像质心偏移量的透射率估计方法,用于更加准确地估计场景的透射率,从而解决复原图像在明亮区域色彩失真和过饱和的问题。

基于场景分析,可以将暗通道先验扩展为全场景先验,即 $J^{\text{dark}}(x) \rightarrow \alpha$ 。当 $\alpha = 0$ 时,满足暗场景的暗通道先验;当 $\alpha \in (0, 1)$ 时,满足明亮区域场景的先验。将其代入(4)式可以得到透射率的估算公式为

$$\tilde{t}(x) = \frac{1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} \{ \min_{y \in \Omega(x)} [I^c(y)] \}}{1 - \alpha/A} \quad (6)$$

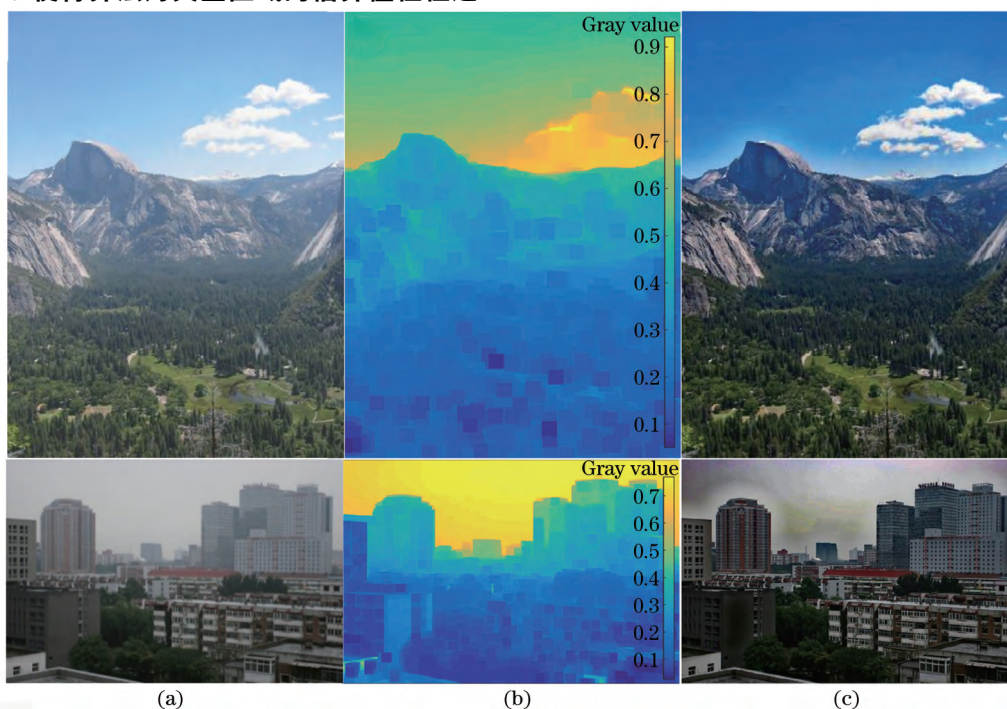


图1 暗通道先验算法复原效果。(a)雾天图像;(b)暗通道图像;(c)暗通道先验算法的结果

Fig. 1 Restoration effects of dark-channel prior algorithm. (a) Hazy images; (b) dark-channel images; (c) results of dark-channel prior algorithm

为了合理估算 α , 提出了基于聚类分析和质心计算的透射率估计方法, 流程如图 2 所示。对有雾图像的暗通道图像进行聚类分析, 将其聚成 Q 簇,

计算每簇的质心, 并根据聚类间质心的偏移量估算 α 值, 进而得到透射率。



图 2 透射率估计流程图

Fig. 2 Flow chart of transmission rate estimation

不同场景在暗通道图像上表现出明显的区域性, 使得聚类方法对聚类结果的影响不大, 所以采用运算较为简单的 K-means 方法对有雾图像的暗通道图像进行聚类, 聚成 Q 个类, 计算得到每个类的质心为

$$\mu_q = \frac{\sum_x 1\{c(x) = q\} I^{\text{dark}}(x)}{\sum_x 1\{c(x) = q\}}, \quad q = 1, 2, \dots, Q, \quad (7)$$

式中: $I^{\text{dark}}(x)$ 为有雾图像的暗通道图像; $c(x)$ 为 $I^{\text{dark}}(x)$ 的类别, q 为标签, $c(x)$ 和 q 取值范围均为 $1 \sim Q$; $1\{\cdot\}$ 为判别函数, 大括号内等式成立时函数值为 1, 反之为 0。每个类的质心是这个类亮度分布的平均位置, 即有雾图像的暗通道图像中不同场景的统计均值。

当简单地将一幅图像划分为暗场景和明亮场景时, $Q=2$ 。由暗通道先验可知, 无雾时暗场景的暗通道图像的统计均值为 0, 而通过 (7) 式可求得对应于同一场景的有雾时暗通道图像的统计均值为 μ_{dark} , 即雾霾对其暗通道图像的亮度均值产生一个质心偏移量 μ_{dark} 。

明亮场景受雾的影响程度通常会大于 (长景深处) 或等于 (浅景深处) 暗场景, 所以明亮场景的雾量通常不小于暗场景, 即雾霾使天空等区域的

整体亮度增加量大于或等于暗场景的增加量。同理, 对于暗通道图像亮度的质心偏移量, 明亮场景也大于或等于暗场景, 但难以定量计算两者的偏差, 只能近似估计。当两者受影响程度相同时, 明亮场景的质心偏移量与暗场景相同; 当明亮场景受影响程度大于暗场景时, 以暗场景的质心偏移量作为明亮场景的偏移量所估计的雾量略小于实际雾量, 有利于保留一部分深度信息, 使复原图像更有层次感^[6]。因此, 将暗场景的暗通道图像亮度的质心偏移量作为整幅图像质心偏移量的估计值。那么, 根据有雾时明亮场景的统计均值, 近似估计无雾时明亮场景的统计均值为 $\mu_{\text{light}} - \mu_{\text{dark}}$, 即 $\alpha = \mu_{\text{light}} - \mu_{\text{dark}}$ 。同时, 对于场景较复杂的图像, Q 可以取更大的值, 但分析过程相同。经过多次实验, 得到 $Q=2$ 适用于大多数雾天场景的结论, 后文中的 Q 值均设置为 2。

图 3 为暗通道先验算法与所提改进算法对透射率的估计结果比较。如图 3 所示, 所提算法可以更为准确地估算明亮区域的透射率, 并在边缘位置与明亮区域呈现较好的过渡性。这种基于质心偏移量的透射率估计算法一方面分析了亮场景与暗场景之间的关联性, 根据它们的暗通道图像质心偏移量对透射率进行修正, 解决了暗通道先验算法因透射率估计过小而导致的色彩过饱和问题, 拓展了算法的

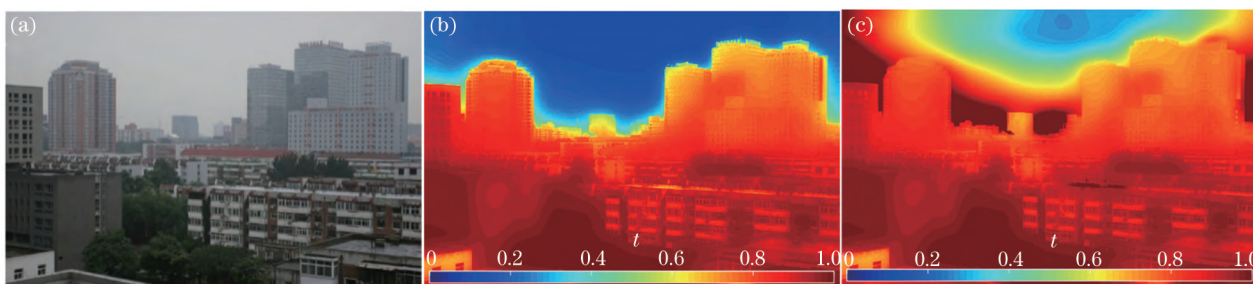


图 3 透射率估计结果比较。(a) 雾天图像; (b) 暗通道先验算法的透射率估计结果; (c) 所提算法的透射率估计结果

Fig. 3 Comparison of transmission rate estimation results. (a) Hazy image; (b) transmission rate estimated by dark-channel prior algorithm; (c) transmission rate estimated by proposed algorithm

适用范围;另一方面,偏移量的计算过程与有雾图像强度紧密相关,使得所提算法充分利用了场景和光照等拍摄条件的独特性,更贴近于真实透射率值。

3.2 基于景深阶跃图的大气光值估计

根据米氏散射理论,大气中的气溶胶会将各波长的光大致均等地散射,使得雾天的景物整体呈现一个发亮(发白)的颜色,因而通常将图像中亮度最大的值作为大气光值 A 的估值。但当图像中出现亮度高于大气光值的物体时,这种方法就会出现错误估计。

针对这个问题, Kim 等^[8]提出了一个基于四叉树搜索的大气光值估计方法。该算法把雾天图像划分成 4 个矩形区域,将每个子区域内像素的平均值减去这些像素的标准差作为该区域的评分。然后,将评分最高的区域继续划分成更小的 4 个子矩形。重复这个过程,直到被选中区域的面积小于某个阈值。最后,选择这个小区域中颜色最接近纯白色的像素的亮度值作为大气光值的参考值。但这种方法仍然难以避免会受到光照、明亮或平滑物体的影响,使大气光值的估计位置出现偏差,如图 4(a)所示。

为此,在 Kim 搜索方法的基础上,提出将图像场景景深阶跃图作为分割和数值评价的输入图像,来更加可靠地估计大气光值。利用雾天图像的亮通道图像和暗通道图像的差值推算场景的景深阶跃图:

$$I^{\text{depth}}(x) = I^{\text{light}}(x) - I^{\text{dark}}(x), \quad (8)$$

式中: $I^{\text{light}}(x)$ 和 $I^{\text{dark}}(x)$ 分别为有雾图像的亮通道图像和暗通道图像。类似于(3)式暗通道图像的定义,将亮通道图像定义为

$$I^{\text{light}}(x) = \max_{c \in \{r, g, b\}} \{ \max_{y \in \Omega(x)} [I^c(y)] \}. \quad (9)$$

由(6)式可知,图像透射率与局部暗通道值负相关,随着图像暗通道值的减小,透射率值不断增大;由上文提到的透射率公式 $t(x) = \exp[-\beta \cdot d(x)]$ 可知,透射率与图像中的场景景深 $d(x)$ 呈负指数相关,随着透射率值不断增大,场景景深估计值变小。所以,图像中暗通道值小的位置,景深较小。又由(3)、(9)式可知,对雾天图像进行局部最小化即是对窗口内纹理和景深进行最小值平滑滤波,使得暗处(景深小)向亮处(景深大)延展。同理,局部最大化会使图像的亮处(景深大)向暗处(景深小)延展。因此,亮通道图像与暗通道图像的差值图像可以最大化地呈现场景的局部景深阶跃信息。

大气光值的理想估计位置在景深无限远处。在景深无限远处,景深变化较为平缓,在图像景深阶跃

图上表现为较为平滑的区域,局部方差较小。近景处的物体,即使表面较为平坦,也会有表面细微的纹理和景深变化,而这些变化在由亮通道与暗通道图像差值估算的景深阶跃图上体现为较为丰富的纹理,局部方差较大。因而,采用图像景深阶跃图与四叉树搜索算法相结合的方法,一方面可以突出近景处物体景深的细小变化、避免受到平坦物体的影响,另一方面可以充分利用四叉树搜索方法的优势,避免受到白色物体的影响,获得更加准确的估计值。

如图 4(b)所示,这种差值图像虽然只是对景物景深变化的粗略估计,但能有效地突出物体的纹理细节,减少数值评价和四叉树搜索过程中的误判,使大气光值的估计位置稳健地落到景深较大的区域,从而获得更加可靠的估计值。这种基于景深阶跃图的四叉树搜索方法能有效改善因大气光值估计值不合理而导致的复原图像偏暗的问题,提升复原图像的整体明亮度和视觉效果。

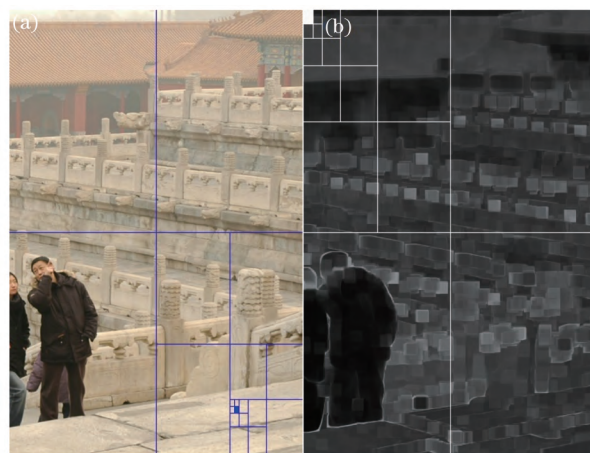


图 4 估计大气光值。(a) Kim 算法;(b)所提算法

Fig. 4 Atmospheric light estimation, (a) Kim's algorithm; (b) proposed algorithm

4 实验结果与对比分析

为了说明所提复原算法的有效性及实用性,主要选取包含大片灰白色天空或物体的图像作为实验图像,并从定性和定量两方面评价算法的去雾效果。暗通道先验算法与所提算法的各项可变参数值同文献^[6]。

4.1 主观视觉评价

定性评价以主观评价为主。主观评价虽然带有主观性,却也是最直接和最符合人类视觉的评价方式。图 5 为暗通道先验算法^[6]与所提算法的结果对比,可以看出,暗通道先验算法对于暗场景有较好的处理效果,但在天空等明亮区域出现明显色差和过

饱和现象,且去雾后图像整体亮度偏低;而所提算法复原的图像在暗场景区域的颜色更为明亮,天空区

域色彩更为自然,有较好的视觉效果,具有更强的场景适用性。



图 5 去雾结果对比。(a)雾天图像;(b)暗通道先验算法的结果;(c)所提算法的结果

Fig. 5 Dehazing effect comparison. (a) Hazy images; (b) results of dark-channel prior algorithm; (c) results of proposed algorithm

为了进一步验证所提算法的性能,选取 4 幅典型的雾天图像,将所提算法分别与暗通道先验算法^[6]、目前对明亮区域去雾处理效果较好的 Kim 算法^[8]以及 Bi 等^[16]提出的暗通道改进算法进行对比,实验结果如图 6 所示。Kim 的方法对含大面积明亮区域的图像的去雾效果较好,但在明亮区域产生色彩偏差,图像颜色偏黄。Bi 等的方法虽然在一定程度上抑制了明亮区域的色彩过饱和现象,但对图像细节特征和对比度的增强存在欠缺。相比之下,所提算法能够更加准确地估计明亮区域的透射率,保持原图像的色调,并且在细节处有清晰的结构边缘(图 6 中方框区域)。

4.2 客观评价

由于算法主要解决去雾图像容易出现颜色饱和度过高和色调偏移的问题,所以采用文献^[17-18]中的方法对图像的色调偏移程度进行客观评价。文献^[17]以原图像和复原图像 RGB 颜色分量的直方图

相似性来度量去雾图像的色调偏移程度:

$$d'_{\text{correl}}(h', h) = \frac{\sum_j (h'_j - \bar{h}'_j)(h_j - \bar{h}_j)}{\sqrt{\sum_j (h'_j - \bar{h}'_j)^2 \sum_j (h_j - \bar{h}_j)^2}}, \quad (10)$$

式中: h_j 、 h'_j 分别为原图像和复原图像的一个颜色分量的直方图, j 为直方图的灰度级; $\bar{h}_j$ 和 $\bar{h}'_j$ 分别为 h_j 和 h'_j 的均值,将计算结果进行归一化。将 RGB 三个分量的相关性系数 d'_{correl} 的均值 d_{correl} 用于评价两幅图像整体色调的相似度,即 d_{correl} 越大,两者直方图的形状匹配度越高,色调越自然。

为了使计算的颜色差异与人眼视觉感知的差异一致,文献^[18]在 CIE Lab 颜色空间计算图像色度的平均值和图像色度分布,色偏程度可表示为

$$K = \frac{100 \sqrt{\mu_a^2 + \mu_b^2}}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2} \max\{|\min[(\sigma_L^2 - T_{\text{hres}}), 1]|, 1\}}, \quad (11)$$



图 6 图像去雾对比结果。(a)雾天图像;(b)暗通道先验算法;(c) Kim 算法;(d) Bi 算法;(e)所提算法

Fig. 6 Image dehazing comparison. (a) Hazy images; (b) dark-channel prior algorithm; (c) Kim's algorithm; (d) Bi's algorithm; (e) proposed algorithm

式中: μ_a 、 μ_b 分别为 CIE Lab 颜色空间中分量 a 和 b 的均值; σ_a 、 σ_b 和 σ_L 分别为分量 a 、 b 和 L 的标准差; T_{hres} 为阈值,与图像纹理有关; $\max(\cdot)$ 和 $\min(\cdot)$ 分别为最大值和最小值函数。 K 越大,图像偏色越严重。

表 1、2 分别为图 6 中不同算法的去雾图像的直方图的形状相似度 d_{correl} 和色偏程度 K 。由表 1、2 可知,所提算法复原的图像具有较高的直方图匹配度 d_{correl} 和较低的色偏程度值 K ,整体呈现较高的色彩保真度,复原图像能够较好地保持图像原本的颜色,尤其是天空等明亮区域,且亮度适宜,色彩自然。

表 1 图 6 中各图的 d_{correl}

Table 1 d_{correl} of each image in Fig. 6

Image	He's result	Kim's result	Bi's result	Our result
Bridge	0.7093	0.6037	0.5743	0.7344
Building	0.6579	0.5879	0.7057	0.7344
Shore	0.5694	0.7104	0.6328	0.6604
Palace	0.5942	0.4292	0.8646	0.8751

表 2 图 6 中各图的 K 值

Table 2 K of each image in Fig. 6

Image	He's result	Kim's result	Bi's result	Our result
Bridge	1.6975	2.3930	1.9261	1.4075
Building	1.9491	1.4948	2.7350	1.3579
Shore	1.2662	1.8173	0.9474	0.5101
Palace	1.1083	0.2947	1.2356	0.2604

5 结 论

在基于暗通道先验的算法框架下,提出了一种基于暗通道图像质心偏移量和场景景深阶跃图的图像去雾算法。根据明亮场景与暗场景在暗通道图像中呈现出的区域性,分别分析了明亮场景与暗场景受雾霾影响时,暗通道图像亮度质心偏移程度,并利用质心偏移量修正了透射率函数。同时,将图像场景景深阶跃图与二叉树搜索相结合,提高了大气光值估计的准确性,有效地解决了明亮区域色彩失真

和亮度整体偏暗的问题,拓展了算法的适用范围。实验结果表明,所提算法能有效地解决复原图像在明亮区域的色彩失真和过饱和问题,复原图像亮度适宜且颜色过渡自然。通过分析暗场景与明亮场景之间的统计特性来进一步获得更加全局化的约束,将是下一步的研究方向。

参 考 文 献

- [1] Narasimhan S G, Nayar S K. Chromatic framework for vision in bad weather [C]//Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2000 (Cat. No. PR00662), 15—15 June 2000, Hilton Head Island, SC, USA, 2000: 598-605.
- [2] Schechner Y Y, Narasimhan S G, Nayar S K. Instantdehazing of images using polarization [C]//Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2001, 8—14 Dec. 2001, Kauai, HI, USA, 2001: 325-332.
- [3] Kopf J, Neubert B, Chen B, *et al.* Deep photo[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(5): 1-10.
- [4] Fattal R. Single image dehazing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 1-9.
- [5] Tan R T. Visibility in bad weather from a single image [C]//2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 23-28 June 2008, Anchorage, AK, USA, 2008: 1-8.
- [6] He K M, Sun J, Tang X O. Single image haze removal using dark channel prior [C]//2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 20—25 June 2009, Miami, FL, USA, 2009: 1956-1963.
- [7] Tarel J P, Hautière N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image [C]//2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision, 29 Sept.—2 Oct. 2009, Kyoto, Japan, 2009: 2201—2208.
- [8] Kim J H, Jang W D, Sim J Y, *et al.* Optimized contrast enhancement for real-time image and video dehazing[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2013, 24(3): 410-425.
- [9] 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.
- [10] Fang S, Zhan J Q, Cao Y, *et al.* Improved single image dehazing using segmentation [C]//2010 IEEE International Conference on Image Processing, 26—29 Sept. 2010, Hong Kong, China, 2010: 3589-3592.
- [11] Liu H B, Yang J, Wu Z P, *et al.* A fast single image dehazing method based on dark channel prior and retinex theory[J]. Acta Automatica Sinica, 2015, 41(7): 1264-1273.
刘海波, 杨杰, 吴正平, 等. 基于暗通道先验和Retinex 理论的快速单幅图像去雾方法[J]. 自动化学报, 2015, 41(7): 1264-1273.
- [12] Guo H, Xu X T, Li B. Study on image dehazing methods based on dark channel prior[J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(4): 0410002.
郭翰, 徐晓婷, 李博. 基于暗原色先验的图像去雾方法研究[J]. 光学学报, 2018, 38(4): 0410002.
- [13] Wang X M, Ju M Y. Fast image haze removal based on dark channel prior [J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(20): 66-72.
王雪梅, 鞠铭烨. 基于暗通道先验的快速图像去雾[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(20): 66-72.
- [14] Song Y C, Luo H B, Hui B, *et al.* Haze removal using scale adaptive dark channel prior[J]. Infrared and Laser Engineering, 2016, 45(9): 0928002.
宋颖超, 罗海波, 惠斌, 等. 尺度自适应暗通道先验去雾方法 [J]. 红外与激光工程, 2016, 45(9): 0928002.
- [15] Wu K, Han G L, Yang H, *et al.* Multi-scale guided filter and its application in image dehazing[J]. Optics and Precision Engineering, 2017, 25(8): 2182-2194.
武昆, 韩广良, 杨航, 等. 多尺度引导滤波及其在去雾中的应用[J]. 光学 精密工程, 2017, 25(8): 2182-2194.
- [16] Bi G L, Ren J Y, Fu T J, *et al.* Image dehazing based on accurate estimation of transmission in the atmospheric scattering model [J]. IEEE Photonics Journal, 2017, 9(4): 1-18.
- [17] Li D P, Yu J, Xiao C B. No—reference quality assessment method for defogged images[J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16(9): 1753-1757.
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.
- [18] Li F, Wu J Y, Wang Y K, *et al.* A color cast detection algorithm of robust performance [C]//2012 IEEE Fifth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), 18—20 Oct. 2012, Nanjing, China, 2012: 662-664.