

DOI: 10.11992/tis.201406003

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.tp.20150930.1556.006.html>

改进的彩色图像去雾效果评价方法

陈珂¹, 柯文德¹, 许波¹, 张良均²

(1. 广东石油化工学院 计算机科学与技术系, 广东 茂名 525000; 2. 广州太普信息技术有限公司, 广东 广州 510663)

摘要:针对当前对图像去雾效果评价的不足,提出了一种改进的评价彩色图像去雾效果的方法。该方法同时考虑了对图像边缘的评价以及对颜色失真的评价,基于图像雾化的大气散射模型,通过将原始图像转换到相对色彩空间,提出了度量颜色失真的标准;结合对比度增强的评价方式,提出了一个统一的评价指标,从而实现很好地给出一个符合人眼视觉判断的客观评价结果。实验中基于多种去雾算法的去雾结果,对基于可见边比的评估方法、CNC评价指标和本文提出的评价指标进行了对比,结果表明本文改进的评价标准能更好地体现去雾的质量,获得与视觉判定更加接近的结论。

关键词:图像去雾;去雾效果评价;大气散射模型;相对色彩空间;可见边对比度

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-4785(2015)05-0803-07

中文引用格式:陈珂,柯文德,许波,等.改进的彩色图像去雾效果评价方法[J].智能系统学报,2015,10(5):803-809.

英文引用格式:CHEN Ke, KE Wende, XU Bo, et al. An improved assessment method for the color image defogging effect[J].

CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2015, 10(5): 803-809.

An improved assessment method for the color image defogging effect

CHEN Ke¹, KE Wende¹, XU Bo¹, ZHANG Liangjun²

(1. Department of Computer Science and Technology, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, China;

2. Guangzhou TipDM Information Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Currently, there is no adequate evaluation method for image defogging effect. Aiming at this, an improved method for the color image defogging effect assessment is proposed. By this method, either the edge's contrast enhancement or the color distortion is considered. Based on the atmospheric scattering model of an atomized image, the method first converts the original image to the opponent color space, thus deriving a standard for measuring the color distortion. Then, by combining the evaluation means for contrast enhancement, a unified assessment index for color image is generated, with objective evaluation results and good human visual perception. The defogging effects of many defogging methods were evaluated by comparison among the visible edge ratio, CNC value, and the criteria proposed in this paper. The results show that the improved assessment criteria can better reflect defogging quality and is closer to expected visual judgment.

Keywords: image defogging; defogging effect assessment; atmospheric scattering model; opponent color space; contrast of visible edges

在雾天情况下,由于空气中大量悬浮粒子的散射作用,使得周围场景的能见度很低,给户外交通运

行以及安全监控显示设备等带来了很大的影响,因此近年来国内外学者对图像去雾展开了深入的研究,提出了很多的去雾方法,也取得了一定的去雾效果,但在该领域比较欠缺的是对去雾效果的评价。目前在评价去雾效果的研究中,比较著名的是 Hautière 提出的基于可见边对比度的评价方法^[1],

收稿日期:2014-06-05. 网络出版日期:2015-09-30.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61272382);广东省科技计划资助项目(2012B0101100037);广东省高等学校科技创新项目(2013kjex0132).

通信作者:陈珂. E-mail: chenke2001@163.com.

该方法主要评估在去雾前后每个图像细节对比度增强的情况,具体用 3 个指标(新增可见边比、可见边的规范化梯度均值和饱和黑色或白色像素点的百分比)来衡量图像对比度的变化。该方法得到了广泛应用,能很好地体现去雾前后图像细节边缘的清晰化程度,但也存在明显的问题,即无法对由过增强等引起的颜色失真进行评估。进一步,国内有研究者综合了对颜色失真的评估,提出了色调极坐标直方图、直方图相似度和色彩还原系数等指标来评估去雾后图像的颜色质量^[2-4],但这些指标有的只部分反映了色彩的还原能力或者自然度等特性,且存在计算复杂的问题。没有很好的对比和评价标准,会影响在实际应用中对去雾算法的选择,也不能给去雾算法的研究提供一个良好的前进方向,因此提出合理的去雾评价标准具有重要的研究意义和价值。但是提出客观实用的去雾效果评价标准又存在着很大的难度,一方面因为用来参考的无雾时的清晰图像难以获得,无法实现直接客观的对比;另一方面是基于一些常规的对图像质量进行评价的指标,它们得到的评估结果与人眼直观感受的结果会出现不一致的情况,不能很好地体现出去雾效果的好坏。因此,目前已提出的对图像去雾效果进行评价的准则较少。考虑到评价去雾效果的重要性,以及已有评价准则所存在的问题,本文提出了一个改进的评价方式,对图像雾化原因进行分析,并基于雾天成像的大气散射模型,提出评价颜色失真的方法;结合对颜色失真的评估和对边缘对比度的评估,提出一个综合的评价准则,以获得对去雾后清晰化图像比较客观的评价。

1 已有评价标准的介绍

目前对于去雾效果的评价主要从 2 方面进行考虑,一是去雾前后图像细节边缘的变化,另一个是去雾后图像颜色发生的变化。对这 2 方面的评估目前都有相应的准则,其中比较引人关注的是用于评估对比度增强的基于可见边对比度的方法^[1]和用于评估颜色失真程度的直方图相似度、色彩丰富度等指标^[3,5]。以下详细介绍这 2 类评价方法。

1.1 基于可见边对比度的评价方法

基于可见边对比度的评价方法重点评估在去雾前后图像细节的对比度增强^[1]。在雾、霾天气时,由于大气中悬浮粒子的散射作用,使得场景的对比度很低,而经过一定的去雾算法对图像进行清晰化处理后,场景中的细节就会清晰起来,边缘的对比度也相应提高,因此评估去雾前后图像细节边缘的对

比度变化能很好地体现出相应去雾算法的性能。

文献[1]中详细介绍了可视度水平(visibility level, VL)的概念,并基于 Adrian 提出的经验目标可视模型来估测亮度的差异阈值^[6],根据这些概念提出了基于可见边对比度来度量能见度水平的指标。具体地,文献[1]中提出了 3 个评价参量来衡量去雾前后图像可见边对比度的变化,分别为新增的可见边之比(e)、可见边的规范化梯度均值(\bar{r})和饱和黑色或白色像素点的百分比(σ)。

新增的可见边之比可表示为

$$e = \frac{n_r - n_o}{n_o} \quad (1)$$

式中: n_o 为原图像中可见边的数目, n_r 为去雾后的图像中可见边的数目。如果去雾效果好,去雾后的图像变得清晰,会有更多的边缘可见,则很好地体现了图像细节对比度增强的效果。

可见边的规范化梯度均值可表示为

$$r = \frac{VL_r}{VL_o} = \frac{\Delta I_r}{\Delta I_o} \quad (2)$$

$$\bar{r} = \exp \left[\frac{1}{n_r} \sum_{P_i \in \varphi_r} \log r_i \right] \quad (3)$$

式中: r 表示可见边的相关系数, VL_r 和 VL_o 分别代表去雾图像和原图像中目标的能见度水平, ΔI_r 和 ΔI_o 表示去雾图像和原图像中可见边上像素点的梯度值, φ_r 为去雾图像中所有可见边的集合, P_i 为在可见边上的像素点。通过加权所有位于可见边上的像素点的 Sobel 梯度比值,获得对可见边对比度所增加强度的衡量。

对于饱和黑色或白色像素点的百分比 σ ,可表示为

$$\sigma = \frac{n_s}{\dim_x \times \dim_y} \quad (4)$$

式中: n_s 为去雾后的图像中饱和的白色或黑色像素点的数目, \dim_x 和 \dim_y 分别表示图像的宽和高。 σ 体现了去雾后图像中饱和像素点所占的比例,即图像过增强的强度。

这 3 个指标一定程度上能反映出去雾后图像边缘对比度的变化,并取得了广泛的应用。但此方法存在 2 方面的问题,一是用 3 个指标来度量去雾后图像的效果,理论上说,当 e 和 \bar{r} 越大而 σ 越小时,对算法的去雾效果越好,但实际上有时它们不能达到统一,出现度量不一致的现象;另一方面,当去雾图像出现过增强时,图像边缘处的对比度能得到很大的增强,但往往同时也会出现颜色失真,从而极大地影响可视性,而基于可见边比的方法并不能

反映这一现象,因为其评价参量都没有考虑对颜色失真的度量。因此,基于该方式的评价准则还需要进一步完善。

1.2 结合颜色失真的评估方法

雾天拍摄的图像看起来像是蒙上了一层白纱,饱和度低,存在色调的偏移。图像在进行去雾处理后,色彩强度得到了增强,但也经常会伴有部分区域的颜色失真,因此考虑对去雾前后颜色变化的度量,具有很大的必要性。已有学者对其进行了研究,并提出了一些结合颜色失真的评估方法^[3,5]。

文献[3]提出基于直方图相似度来衡量去雾图像的色彩还原能力,该方法认为输入图像和去雾后图像直方图的形状大体上是一致的,因此通过定量计算去雾前后 2 个直方图分布的相似系数,可以合理的度量去雾后图像的色彩还原程度。该方法重在评估去雾后图像的自然真实度,而对色调的丰富度衡量不足。文献[5]提出了综合图像对比度、色彩自然度和丰富度 3 个指标的 CNC 评价体系,通过无参考的方式获得对去雾后图像的全面评价,该方法虽然获得了与人眼视觉感受相接近的评价结果,但其评价过程计算复杂,尤其评价函数中重要参数的选取,对于某些具体场景的评估不一定适用。

本文通过分析探索去雾前后图像在色彩等属性方面的共性,从新的角度提出对颜色失真度的评估,获得简单有效的评价准则。

2 结合相对色彩空间的去雾效果评价方法

在雾、霾天气情况下,由于大气中悬浮的大量粒子的散射作用,摄像头采集到的图像饱和度、对比度较低,并且存在着一定的色调偏移。Narasimhan 和 Nayar 基于对 McCartney 的衰减模型^[7]和大气光模型的研究,提出了雾天成像的大气散射模型^[8-9],具体表示为

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (5)$$

$$t(x) = e^{-\beta d(x)} \quad (6)$$

式中: $I(x)$ 表示采集装置观测到的有雾图像, $J(x)$ 为对应的理想天气时的清晰图像, A 表示周围的环境光,又称大气光值, $t(x)$ 为场景的透射率, β 为大气粒子的散射系数, $d(x)$ 表示场景的景深。从该模型可以看出,在雾天采集到的图像由 2 部分组成,一部分是物体表面的反射光经直接衰减后进入到成像传感器的光强,又称为直接衰减项;另一部分是周围的环境光经大气粒子散射后进入到采集装置的光强,又称为大气光成分。基于该雾天成像的物理模

型可以分析得到,对于图像中的每个像素点,加载到其 3 个通道中由大气光成分带来的颜色值偏移量是相同的,且该点每个通道中反射光直接衰减的系数也是相同的,对应的用矩阵形式来表示图像中每个点在去雾前后像素值的变化关系为

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_G \\ I_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t & 0 & 0 \\ 0 & t & 0 \\ 0 & 0 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_R \\ J_G \\ J_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_1 \\ c_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$c_1 = A(1 - t) \quad (8)$$

式中: I_R, I_G, I_B 为有雾图像中某一点的 R/G/B 通道值, J_R, J_G, J_B 则为对应的无雾图像中 3 通道的像素值, c_1 为大气光带来的偏移值。从对应关系可以看出,对于每个像素点,可通过一定的图像变换去除在每个颜色通道中由相同的乘性因子和加性因子带来的变化值,即可以在图像的某个变换空间中找到图像在去雾前后存在的不变参量。

在图像的变换空间相对空间中,通过进一步处理可以获得图像变化前后不变的量。首先对于图像的变换空间相对空间与 RGB 空间的变换关系为

$$\begin{bmatrix} O_1 \\ O_2 \\ O_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R - G}{\sqrt{2}} \\ \frac{R + G - 2B}{\sqrt{6}} \\ \frac{R + G + B}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

该变换空间中的 O_1 和 O_2 2 个对立色通道能有效去除添加在每个颜色通道上由大气成分带来的偏移量;进一步,通过分析 O_2/O_1 ,可以获得去除乘性因子的量,具体过程可表示为

$$\frac{O_{2I}}{O_{1I}} = \frac{I_R + I_G - 2I_B}{\sqrt{3}(I_R - I_G)} = \frac{J_R + J_G - 2J_B}{\sqrt{3}(J_R - J_G)} = \frac{O_{2J}}{O_{1J}} \quad (10)$$

式中: $\frac{O_{2I}}{O_{1I}}$ 和 $\frac{O_{2J}}{O_{1J}}$ 分别表示有雾图像和对应无雾图像中相应的 O_2 和 O_1 2 个对立色通道的比值。此外,为了取值方便,用 H 来表征该不变属性,计算方式如下:

$$H = \arctan \left(\frac{O_2}{O_1} \right) \quad (11)$$

式中: H 对应图像的色调(hue),用角度来表征,取值范围为 $-1.57 \sim 1.57$ 。

基于上述雾天成像的大气散射模型,以及对图像相对色彩空间的分析,可以得出,在理想情况下,有雾图像与其对应的无雾图像之间存在着属性不变的参量 H ,因此,可通过计算该不变量的变化程度来

衡量去雾后的效果。具体地,对于依据雾天图像的物理模型进行理想去雾后的图像,与相应的有雾图像的 H 会非常接近;而对于实际中的去雾算法,去雾后的图像很难达到预期的效果,其对应的 H 会在某些区域出现偏差。因此,通过计算去雾前后 H 的绝对差,并将所有区域的绝对差进行累加获得总的偏色值 H_s ,以此获得衡量不同去雾算法颜色性能的指标。

为了最大程度地体现出图像中颜色发生的变化,对相对色彩空间进行了扩展,除 O_1 和 O_2 对立式通道外,又增加了 2 组对立式通道 $O_{1'}$ 和 $O_{2'}$, $O_{1''}$ 和 $O_{2''}$,表示如下:

$$\begin{bmatrix} O_{1'} \\ O_{2'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R - B}{\sqrt{2}} \\ R + B - 2G \\ \sqrt{6} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} O_{1''} \\ O_{2''} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{G - B}{\sqrt{2}} \\ G + B - 2R \\ \sqrt{6} \end{bmatrix} \quad (13)$$

参照式(10)和(11)的方式,计算在这 2 组对立式通道下去雾前后图像的 H 的绝对差。最后,将这 3 组对立式通道下获得的 H 的绝对差进行取最大值操作,并进行区域求和以获得能更好表征图像颜色失真的偏色值 H_s 。

为了更好地评价去雾后图像的清晰化效果,还需要考虑图像细节的变化,对图像的边缘及对比度进行评估。因此,将可见边对比度方法进行改进,并融合评价颜色失真的统计值 H_s ,本文提出一个统一的对去雾效果进行评价的指标,具体形式为

$$C = \frac{e' + \bar{r}}{r_e + \sqrt{H_s}} \quad (14)$$

$$e' = \frac{n_r}{n_o} \quad (15)$$

式中: C 为本文提出的改进的综合评价指标, e' 为改进的去雾前后图像的可见边数目比,对比式(1)的 e ,该值不会为负; \bar{r} 对应于平均的可见边梯度比值,表征图像的可见边对比度增加的强度; r_e 为可见边梯度比大于 5 的可见边集合的平均梯度比值,添加该项作为惩罚量,能更加有效地削弱一些过增强边缘对评估结果的影响。此外,为了使所有参数能很好的结合,达到比较接近的取值范围及作用权重,本文用 $\sqrt{H_s}$ 代替 H_s 作为惩罚项。

通过上述方式,本文提出的改进的评价标准能

有效地结合对颜色失真的度量和对边缘对比度增强的评估,并提出了对图像去雾效果进行客观评价的一个综合性的指标。

3 实验分析与对比

基于几种比较常用的单幅图像去雾算法(如 Tan 方法^[10]、Tarel 方法^[11]、He 方法^[12]、Fattal 方法^[13]、Kopf 方法^[14]等)对输入的雾天图像进行去雾处理,获得对应原图的多幅去雾后的清晰化图像,如图 1 所示。

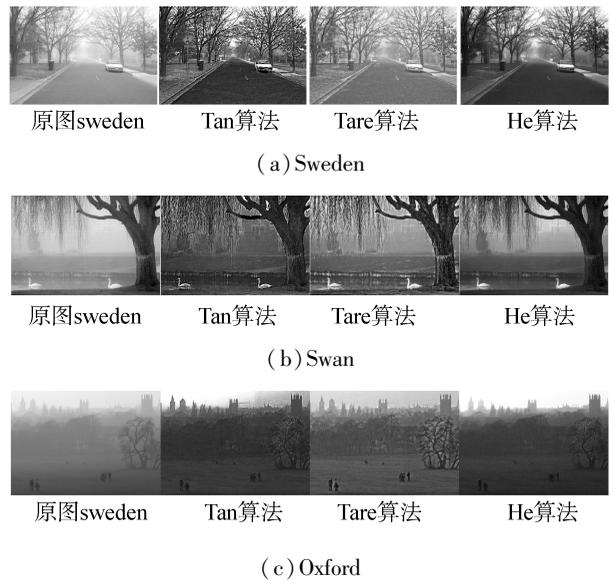


图 1 不同算法对雾天图像的去雾效果对比

Fig.1 Image defogging results based on different algorithms

分别对原图和去雾后的图像基于相对色彩空间的 3 组对立式通道计算它们的 H 参量。在具体的计算中,由于是对每个像素点进行处理和对比,一些噪声点会带来干扰,因此在计算之前对所有图像进行预处理,用高斯函数对图像进行小窗口的平滑。

对于每一对原图和去雾后的图,基于以上 3 组 H 参量在对应位置作差,并对比获得每个位置上最大的 H 绝对差值。计算所有区域的 H 绝对差值的总和,获得评估颜色失真的参量 H_s 。需注意的是,图像中还有些灰白区域,因为没有明显的颜色属性,会在计算时出现分母过小的情况,导致出现很大的比值和相应的 H ,最终干扰统计的结果,因此对这些区域需采取一定的措施,在本文的实验中,根据统计分析具体将 H 绝对差值大于 1 的位置置零,不计入评估范围。

表 1 给出了对应图 1 中各去雾图像的评估颜色失真的 H_s 值。

表1 对应图1中各去雾图像的评估颜色失真的 H_s
Table 1 H_s values for defogging images in Fig. 1

图1	Tan 算法	Tarel 算法	He 算法
(a)	0.189	0.127	0.087
(b)	0.180	0.130	0.077
(c)	0.175	0.104	0.042

由图1可知,基于Tan算法的结果有明显的颜色失真,而Tarel算法相比He算法也出现了局部颜色失真的情况,因此理论上评估颜色失真程度的值应该Tan算法的最大,而He算法的最小。从表1可以看出,本文提出的基于累加每个位置 H 绝对差值的评估颜色失真的方法,很好地体现了去雾后图像相对于原图的颜色变化,与理论分析相符,能客观的表示图像去雾后发生颜色失真的程度。

基于本文改进的将颜色失真和可见边对比度增强进行综合评估的方法,依据式(14)计算对应的去雾前后图像的综合指标 C 作为客观评价常用去雾算法效果的准则。根据此改进方式,对图1中各算法的去雾效果进行评估,表2~4分别给出了对应于图1(a)~(c)的综合指标 C ,基于文献[5]中评价方法的各项指标值。结合图1和表2~4,分析基于本文改进的评估准则对多个去雾算法的评估结果。表2~4反映He算法的去雾效果最好,从对应的图1看,也很好地证实了该结果与人眼视觉观察的评判结果比较一致。对于文献[5]提出的综合指数CNC对不同去雾算法的评估效果,表2显示He算法最好,但Tan算法好于Tarel算法,这表明其度量颜色的侧重点与本文方法不一样;表3和4中基于CNC的方法都反映Tarel算法的效果最好,这与实际有偏差,虽然基于Tarel算法去雾的图像局部清晰度较好,但同时存在过增强引起的失真,比如图1(b)中的树木、图1(c)中穿插的白雾等。对于基于可见边对比度方法的各项指标,其结果一方面会出现评价不一致的情况,如表2和4所示, e 较大时而 \bar{r} 略小,对于类似不一致的评价结果,无法直接对多种算法的去雾效果作出统一的判断;另一方面会忽略对颜色失真的度量,如表3所示。如果依据 e 和 \bar{r} 越大而 σ 越小则效果越好的准则,则Tan算法要优于He算法,然而实际从图1(b)观察到的结果并不是如此, Tan算法的结果虽然使边缘的对比度得到了很大的增强,但颜色有一定的失真,局部过增强明显,使整体色调偏离原始图像,由此引起的对可视性的破坏,使人眼很难接受其效果优于He算法。因此,基于本文所提出方法的度量结果总体上比较令人满意。

表2 基于不同指标对图1(a)中各算法去雾效果的评估
Table 2 Assessment for the defogging results in Fig.1 (a) based on the different index

指标	Tan 算法	Tarel 算法	He 算法
本文 C	2.561 0	7.056 0	8.947 0
CNC ^[5]	1.490 0	1.210 0	1.950 0
e	0.532 2	0.785 0	0.658 9
可见边比 ^[1] \bar{r}	3.126 9	2.067 3	1.611 2
σ	0.849 2	0	0.207 1

表3 基于不同指标对图1(b)中各算法去雾效果的评估
Table 3 Assessment for the defogging results in Fig. 1 (b) based on the different index

指标	Tan 算法	Tarel 算法	He 算法
本文 C	2.398 0	4.020 0	8.062 0
CNC ^[5]	0.940 0	1.390 0	1.260 0
e	0.686 2	0.739 2	0.344 2
可见边比 ^[1] \bar{r}	2.869 6	3.008 3	1.202 3
σ	0.495 4	0.001 3	1.595 2

表4 基于不同指标对图1(c)中各算法去雾效果的评估
Table 4 Assessment for the defogging results in Fig. 1 (c) based on the different index

指标	Tan 算法	Tarel 算法	He 算法
本文 C	7.856 1	6.704 7	17.601 8
CNC ^[5]	1.130 0	1.160 0	1.060 0
e	10.239 0	10.219 7	6.503 6
可见边比 ^[1] \bar{r}	2.702 9	3.880 1	1.287 6
σ	0	0	0.013 9

图2进一步给出了多组基于本文改进的评估方法获得的对比结果,更加充分地表明了本文改进的评估方法的有效性和适用性。

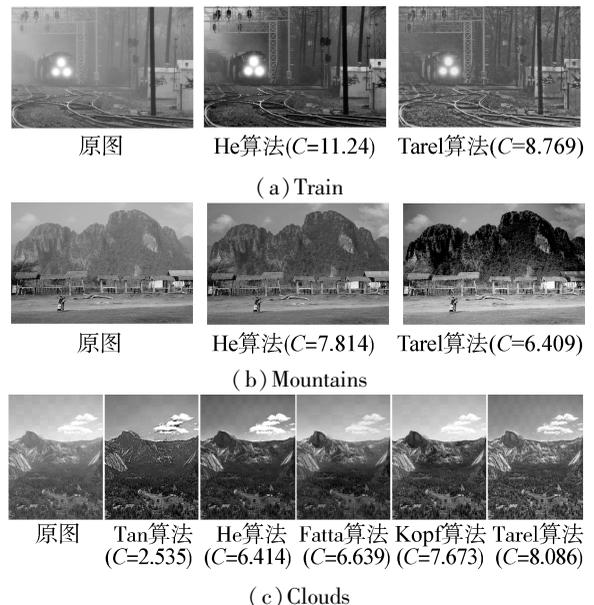


图2 基于本文改进的指标 C 对去雾效果的对比评价
Fig.2 Assessment of defogging effect by improved index C

本文搜集了在各种典型去雾算法中常用的测试图像,并采用 He 算法和 Tarel 算法对它们进行去雾,然后基于本文所提出的评估方法对这 2 个算法的去雾效果进行评估。图 3 给出了对 24 幅典型测试图像进行计算评估指标 C 得到的曲线。从图 3 可以看出,在大多数情况下,本文评估方法反映出 He 算法的去雾效果更好一些,这也说明了 He 算法的通用性更好一些,兼顾边缘增强和颜色变化。基于本文评估方法得到的结论,与文献[5]通过计算 CNC 得到的结论相一致,均表明 He 算法更优,但本文方法明显比文献[5]方法更加简单易实现,不需要调节复杂的参数。

需要说明的是,由于本文的方法是基于相对色彩空间对立色通道的比值而提出,在有些特殊情况下该评估方法会不适用,评估结果出现异常,比如之前提到的非彩色区域(灰、白区域等),它们的 R/G/B 通道值比较接近,导致式(10)比值异常;当图像中出现单色时,比如蓝色,也会出现比值异常,影响最终的评估结果。在这方面我们还需要进一步完善,并结合对灰度图像去雾效果进行评估的方法,提出适用性更好的评价准则。

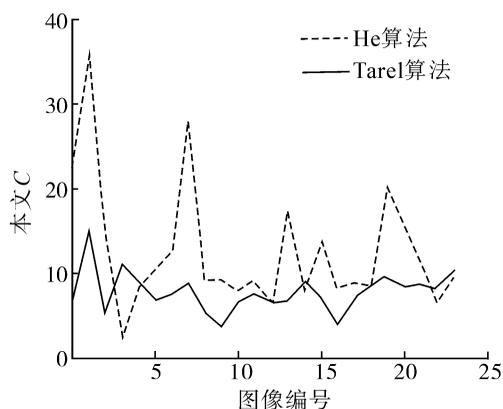


图3 基于本文 C 对 24 幅典型图像评估 He 算法和 Tarel 算法的去雾效果

Fig.3 Assessment of He's and Tarel's defogging effect by index C on 24 typical images

4 结束语

本文提出了一种改进的对彩色图像去雾效果进行评估的方法,基于相对色彩空间提出度量颜色失真的准则,并结合评估边缘对比度增强的方法构建了一个比较客观的综合评价指标。通过对多组图像的去雾效果进行评价,实验证实了本文改进的评价准则能更好的获得与人眼直观感受较一致的评估结果,融合了对颜色失真和对比度增强的度量,能全面

地反应去雾后图像的变化,有一定的理论支持和很好的实用性。该方法在评价彩色图像的去雾效果上取得了明显的优势,但也有些不适用的情况,比如彩色图中的灰白色区域或单色区域,对于这些部分度量颜色失真的值会出现异常。进一步研究中可考虑结合评价灰度图像去雾效果的方法,提出更加完善适用性更强的准则。

参考文献:

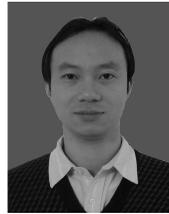
- [1] HAUTIERE N, TAREL J P, AUBERT D, et al. Blind contrast enhancement assessment by gradient ratioing at visible edges[J]. *Image Analysis and Stereology Journal*, 2008, 27(2): 87-95.
- [2] 禹晶, 徐东彬, 廖庆敏. 图像去雾技术研究进展[J]. *中国图象图形学报*, 2011, 16(9): 1561-1576.
YU Jing, XU Dongbin, LIAO Qingmin. Image defogging: a survey[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(9): 1561-1576.
- [3] 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.
LI Dapeng, YU Jing, XIAO Chuangbai. No-reference quality assessment method for defogged images[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(9): 1753-1757.
- [4] 姚波, 黄磊, 刘昌平. 去雾增强图像质量客观比较方法的研究[C]//中国模式识别会议论文集. 南京, 中国, 2009: 1-5.
YAO Bo, HUANG Lei, LIU Changping. Research on an objective method to compare the quality of defogged images [C]//Proceedings of Chinese Conference on Pattern Recognition. Nanjing, China, 2009: 1-5.
- [5] 郭播, 蔡自兴. 图像去雾算法清晰化效果客观评价方法[J]. *自动化学报*, 2012, 38(9): 1410-1419.
GUO Fan, CAI Zixing. Objective assessment method for the clearness effect of image defogging algorithm[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2012, 38(9): 1410-1419.
- [6] ADRIAN W. Visibility of targets; model for calculation[J]. *Lighting Research & Technology*, 1989, 21(4): 181-188.
- [7] MCCARTNEY E J. Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles [M]. New York: John Wiley and Sons, 1976: 123-129.
- [8] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Vision and the atmosphere[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2002, 48(3): 233-254.
- [9] NARASIMHAN 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.
- [10] TAN R T. Visibility in bad weather from a single image [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).Anchorage, USA, 2008: 1-8.
- [11] TAREL J P, HAUTIMERE N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image[C]// Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision. Kyoto, Japan, 2009: 2201-2208.
- [12] HE Kaiming, SUN Jian, TANG Xiaou. Single image haze removal using dark channel prior[C]// Proceedings of the 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami, USA, 2009: 1956-1963.
- [13] FATTAL R. Single image dehazing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 721-729.
- [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.

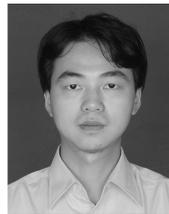
作者简介:



陈珂,男,1964年生,副教授,主要研究方向为机器学习、数据挖掘和图像处理等。主持广东省科技计划项目2项,广东省教育厅科技创新项目1项。发表学术论文20余篇,其中SCI收录1篇,EI收录9篇。



柯文德,男,1976年,教授,博士,主要研究方向机器视觉、人工智能和智能机器人等。主持广东省自然科学基金项目1项,广东省科技计划项目2项。发表学术论文40余篇,其中SCI收录4篇,EI收录20篇。



许波,男,1986年,讲师,主要研究方向为计算智能、机器学习。

第7届全国模式识别会议

The 7th Chinese Conference on Pattern Recognition (CCPR 2016)

第7届全国模式识别会议将于2016年在电子科技大学召开。会议面向国内外同行征集模式识别领域的高质量学术论文,任何促进模式识别技术发展、进步和应用的相关成果都属于征集的范畴。同时,鼓励探讨本领域研究热点、长远规划和学科前沿的论文投稿。会议论文集将由Springer出版,电子版将在Springer CCIS系列发布并被EI数据库检索。

论文主题包括但不限于以下内容:

- 1) 模式识别基础理论:统计与结构模式识别,神经网络、核方法,多分类器系统,特征提取、降维与特征选择,无监督学习、聚类,模型选择与适应,半监督学习等;
- 2) 图像与视频处理:图像处理与增强,图像与视频分割,图像特征提取,基于内容的图像/视频检索,信息隐藏与数字水印等;
- 3) 计算机视觉:视觉感知模型,场景分析,摄像机标定、三维视觉,目标检测与识别,运动目标检测与跟踪,行为分析与识别,视频内容语义理解等;
- 4) 语音语言、多媒体与应用:语音识别与说话人识别,文本分析与检索,文字识别与文档分析,医学图像分析,遥感图像分析,生物特征识别,多模态人机交互,多媒体分析与检索,工业应用等。

开始日期:2016-12-03

结束日期:2016-12-05

全文截稿日期:2016-06-10

会议网站:<http://www.uesterobot.net/ccpr2016/>