

一种基于暗通道先验的快速图像去雾算法

张登银, 鞠铭烨, 王雪梅

(南京邮电大学物联网学院, 江苏南京 210003)

摘 要: 目前针对单幅图像去雾处理,暗通道先验算法具有较好的效果,但处理时间长,需要很大的储存资源与计算资源.本文在暗通道先验算法基础上提出一种快速去雾算法,首先用“边缘替代法”代替原算法中的抠图处理,显著降低了计算复杂度;然后针对明亮区域暗通道失效情况,提出了一种基于双阈值的明亮区域识别方法和透射率修正机制,提高了暗通道先验的适用范围;最后对去雾图像再采用非线性对比度拉伸进行增强处理,改善了去雾图像的视觉效果.实验表明:本文算法不仅极大地降低了计算复杂度,而且去雾能力优于原算法.

关键词: 图像去雾; 暗通道先验; 边缘替代; 透射率

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2015)07-1437-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.07.029

A Fast Image Daze Removal Algorithm Using Dark Channel Prior

ZHANG Deng-yin, JU Ming-ye, WANG Xue-mei

(School of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210003, China)

Abstract: While the dark channel prior algorithm works well for single image haze removal, it has to take long time to process and require expensive computational overhead and huge memory resource. In this paper, we propose a fast daze removal algorithm based on dark channel prior knowledge. In the proposed approach, edge substitution method is developed to take place of the original soft-matting operator, which will substantially reduce the computational complexity. To deal with the invalid case of the dark channel, we exploit a scheme to identify bright area based on dual threshold and develop a way to correct transmission rate, which enables the dark channel prior to be more applicable. Additionally, enhanced processing is introduced by adopting nonlinear contrast stretching, thus improving the visual effect of defogging images. Several numerical experiments demonstrate that the proposed approach outperforms the original algorithm in daze removal effect at a much lower implementation cost.

Key words: image daze removal; dark channel prior; edge substitution; transmission

1 引言

由于受到大气中漂浮水滴对光的折射、反射、自身吸收和自身成像,使得视频采集系统在雾天时所捕获的图像对比度较低,并引起色彩失真,甚至会导致机器视觉系统无法正常工作,因此图像去雾具有重要的现实意义.

当前主流的图像去雾方法可分为两类:一类是图像增强方法,通过对雾化图像锐化处理来提高对比度,经典的算法有直方图均衡算法^[1]和 Retinex 算法^[2];另一类是基于大气散射模型的方法,通常情况下雾的浓度随

着场景深度而改变,因此单幅图像去雾实质上是一个病态问题,但近年来单幅图像去雾技术取得了较大突破. Tan^[3]利用同一场景的无雾图像的对比度高于被雾化图像的对比度这一先验条件,构造边缘强度代价函数使图像局部对比度最大,从而恢复图像,由于并没有严格按照物理模型恢复,处理后的图像色彩过于饱和; Fattal^[4]假设透射率与表面色度在局部是不相关的,该算法取决于数据的统计特性,由于浓雾时颜色信息过少,极易造成统计不可靠; Tarel^[5]假设大气消散函数在某区域中可近似最大值,且局部变化缓慢,利用中值滤波估计大气消散函数,该算法去雾速度快,但效果一般; He^[6]首次

收稿日期:2013-11-26;修回日期:2014-04-25;责任编辑:孙瑶

基金项目:国家自然科学基金(No. 61071093);国家 863 高技术研究发展计划(No. 2010AA701202);瑞典-亚洲国际合作项目(No. 348-2008-6212);江苏省重大科技支撑计划(No. BE2012849);江苏省普通高校研究生科研创新计划(No. CXZZ13_0476);江苏省产学研前瞻性联合研究项目(No. BY2014014)

提出暗通道先验规律,利用该规律去雾,可取得较好的去雾效果,但由于明亮区域的透射率估计不准确,极易导致去雾后的图像失真;而且其抠图处理具有非常高的时空复杂度.

本文针对 He 算法计算复杂度过高,明亮区域透射率估计不准确,且去雾后图像偏暗,提出了一种快速去雾新算法,用边缘替代法代替抠图处理,并引入透射率修正机制自适应更正明亮区域的透射率,最后对去雾后的图像进行增强处理.实验结果表明,本文算法去雾能力不仅优于 He 算法,而且显著提升了去雾速度.

2 背景

2.1 大气散射模型

在机器视觉系统中,描述雾对图像的退化过程大多使用 Koschmieder 模型^[7-9],即雾化图像

$$I(x, y) = J(x, y)e^{-kd(x, y)} + A(1 - e^{-kd(x, y)}) \quad (1)$$

式中 $J(x, y)$ 为无污染图像, A 为天空光强度, $e^{-kd(x, y)}$ 为介质透射率,表示光线透过介质到达成像系统的能力, k 为大气消光系数, $d(x, y)$ 为场景深度.为方便描述,本文将 $e^{-kd(x, y)}$ 用 $t(x, y)$ 来表示.若透射率 $t(x, y)$ 与天空光强度 A 均已知,便可利用下式进行去雾处理

$$J(x, y) = \frac{I(x, y) - A}{\max(t(x, y), t_0)} + A \quad (2)$$

2.2 暗通道先验

He 通过统计得出暗通道先验规律:在无雾户外图像中,其每个局部区域都极有可能存在阴影,因此,每个局部区域至少存在一个像素点在某一颜色通道上的强度值近似为零.

对于户外图像 J ,其暗原色定义为:

$$J^{\text{dark}}(x, y) = \min_{c \in \{R, G, B\}} \left(\min_{(x, y) \in \Omega(x, y)} (J^c(x, y)) \right) \quad (3)$$

J^c 为图像 J 中 R、G、B 三色通道中的一个颜色通道,局部区域为 $\Omega(x, y)$, J^{dark} 为图像 J 的暗原色.由暗通道先验规律可知,无雾户外图像的暗原色通常为零.

3 基于暗通道先验的快速图像去雾算法

3.1 边缘替代法

在 He 算法中,由于假设了局部区域的透射率是恒定不变的,而透射率 $t(x, y)$ 的估计需要在邻域内求最小操作,这个过程类似于形态学中的腐蚀操作,在腐蚀后的边界处有一半的暗原色被低估,进而造成计算出的透射率不准确,最终导致在场景突变处出现“光晕”现象.为得到精准的透射图,He 采用抠图算法对粗透射图进行细化处理,该方法虽能够很好的细化透射图,但其计算复杂度极高,不利于实时应用.经实验观察,缩小最小操作的邻域范围,能够有效的抑制“光晕”现象.但邻域越小,所恢复的图像质量越差,这是由于随着邻

域越小,其无雾图像的暗原色偏离零值的可能性越大,从而违背了暗通道先验规律.

为了既能保证透射图的精确性,同时又能消除“光晕”,本文提出一种边缘替代法来细化透射图,核心思想是在可能出现光晕的区域采用小邻域最小操作求其暗原色,而在其他区域仍采用大邻域进行最小操作.边缘替代法细化透射图的具体操作如下:

(1)对雾化图像以尺寸为 block_b 的卷积模板进行邻域最小值操作,得到暗原色 I_b^{dark} .

(2)对 I_b^{dark} 进行边缘检测,得到 I_b^{dark} 中梯度变化最明显边缘点;然后对这些边缘点以宽度 r 进行邻域扩展,将扩展区域记为“光晕区域”,即最有可能出现光晕的区域.为便于描述,将光晕区域对应的暗原色记为 $I_{\text{edge}}^{\text{dark}}$,非光晕区域对应的暗原色记为 $I_{\text{non-edge}}^{\text{dark}}$.

(3)设 P 点为 $I_{\text{edge}}^{\text{dark}}$ 中的任意一点,以 P 点为中心,边长为 a 的正方形作为 P 点的匹配范围 Ω ,以尺寸为 block_s ($\text{block}_s < \text{block}_b$) 的卷积模板计算其匹配范围 Ω 中所有点的暗原色,记为 I_{Ω}^{dark} ;然后在 I_{Ω}^{dark} 中寻找与 P 点原始暗原色值最接近的点,并将其值作为 P 点的新暗原色.按此操作遍历 $I_{\text{edge}}^{\text{dark}}$ 中所有点,得到细化后光晕区域的暗原色 $I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}$.

(4)由于上述步骤都是基于块操作的,直接细化光晕区域中的暗原色,会导致恢复图像中出现格子效应;再者,虽步骤(3)中所得暗原色 $I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}$ 能够很好地消除光晕,但 $I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}$ 中纹理细节丰富,而透射率与纹理细节无关,只与场景深度有关,因此纹理信息将会引入新的噪声.据此,必须对 $I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}$ 进行平滑操作,以便消除格子效应的同时,平滑掉纹理信息,并保留场景深度信息.由于双边滤波器具有良好的“去噪保边”功能,本文将其用于 $I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}$ 平滑操作.平滑表达式如式(4)所示.

$$I_{\text{edge-smooth}}^{\text{dark}}(x) = \frac{\sum_{y \in \Omega(x)} f(\|x - y\|) \cdot g(\|I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}(x) - I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}(y)\|) \cdot I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}(y)}{\sum_{y \in \Omega(x)} f(\|x - y\|) \cdot g(\|I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}(x) - I_{\text{new-edge}}^{\text{dark}}(y)\|)} \quad (4)$$

式中 $f(x) = \frac{e^{-x^2}}{2\sigma_s^2}$, $g(x) = \frac{e^{-x^2}}{2\sigma_r^2}$ 分别为空域和值域上的权重核函数, x 为待平滑暗原色, $\Omega(x)$ 表示以 x 为中心的邻域, $I_{\text{edge-smooth}}^{\text{dark}}(x)$ 为点 x 平滑后的暗原色.于是经平滑后,新的暗原色可表示为 $I^{\text{dark}} = I_{\text{non-edge}}^{\text{dark}} + I_{\text{edge-smooth}}^{\text{dark}}$.

图1为消除光晕前后的效果对比,由图可见,本文算法去雾处理后的图像不仅消除了光晕现象,而且去雾能力强于 He 算法.在计算速度上,边缘替代法具有绝对的优势,就图1而言,其图像分辨率为 345×282 ,边缘替代法的细化时间仅为抠图处理的 14%.

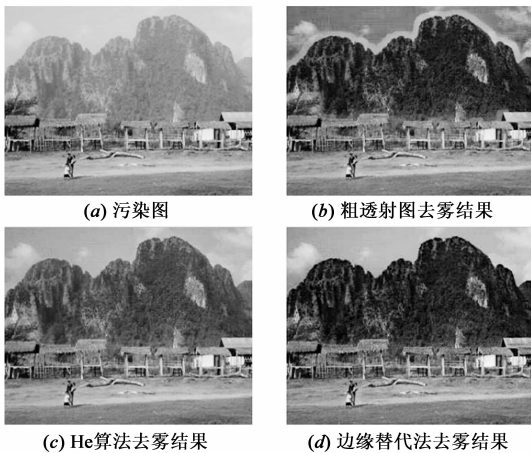


图1 消除光晕效果对比

3.2 基于双阈值的透射率修正机制

在无雾图像中,其明亮区域的暗原色是大于零的,并不满足暗通道先验规律,He 算法将其所有暗原色均设置为零,导致在明亮区域所求透射率被错误估计,进而引起去雾后的图像出现色偏.若能够在图像中识别出明亮区域,并修正其对应透射率就能有效消除色偏现象.

太阳光以球面方式向四周辐射,辐射强度随着球面半径的增大而逐渐衰减,图像中的天空区域也满足此规律.我们将天空区域按亮度值均匀划分为 Q 个区间,每一个区间用同一灰度表示.当 $Q = 3$ 时,图 2(a) 的划分结果如图 2(b) 所示,黑色部分为非明亮区域,其余部分为明亮区域.可见,亮度相对较低的部分(白色)只包含较小的面积,这是由于地面物体遮挡了这部分光线而造成的,而亮度相对较高部分(灰白色)覆盖面积较大.图 2(c) 为天空区域的亮度直方图,在亮度相对较低时能量较低,这也进一步说明了天空中亮度相对较暗部分覆盖面积非常小,相反,当亮度相对较高时,存在某区域的能量非常集中.图 2(d) 和 2(e) 分别为非明亮区域的亮度直方图和亮度直方图.比较直方图 2(c)、2(d) 和 2(e) 可发现,明亮区域与非明亮区域很少具有相同的亮度值,即明亮区域与非明亮区域的亮度值几乎不交界.

综上,可以得出以下结论:

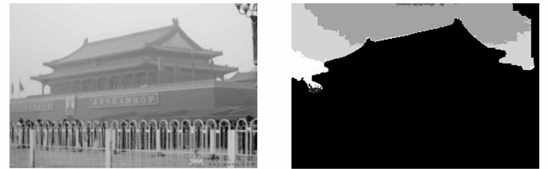
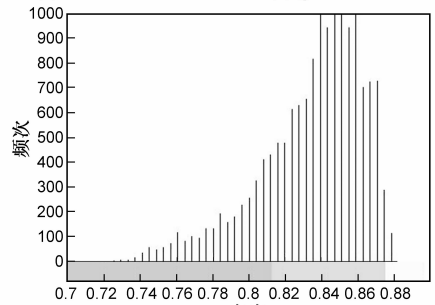
(1) 图像中明亮区域的亮度直方图在亮度相对较低时具有较低的能量.在亮度相对较高时,存在某部分的能量非常集中.

(2) 明亮区域的亮度明显高于非明亮区域的亮度,即亮度值几乎不会交界.

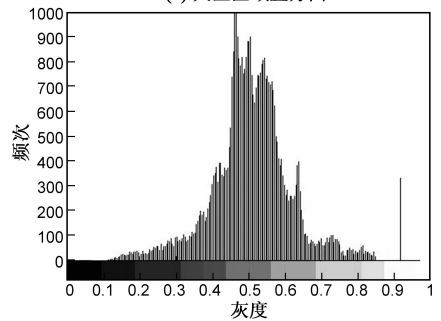
(3) 透射率与亮度值存在线性关系^[6],因此透射率也具有类似的逆向规律.

利用以上结论,可以精准判断出图像中的明亮区

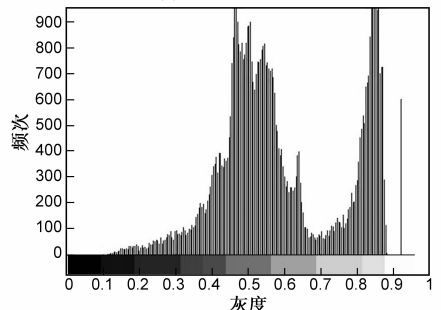
域.以图 3(a) 为例,对其分别求透射率和亮度的直方图(亮度已归一化处理),并将直方图均匀划分成 20 等份,其划分结果如图 4、5 所示.显然,我们可以假定明亮区域的判定条件为 $t(x, y) \leq 0.3 \cap I(x, y) \geq 0.8$,用此条件识别出的明亮区域如图 3(b) 所示,其中黑色部分为识别出的明亮区域,可以看出该方法几乎无偏差的识别出了天空部分.基于上述分析,本文提出一种结合亮度和透射率识别图像明亮区域的方法(简称双阈值识别法),依据雾化图像自适应的得出明亮区域的判断条件,即亮度下限阈值和透射率上限阈值.

(a) 原始图像 (b) $Q=3$ 时亮度区间划分

(c) 天空区域直方图



(d) 非明亮区域直方图

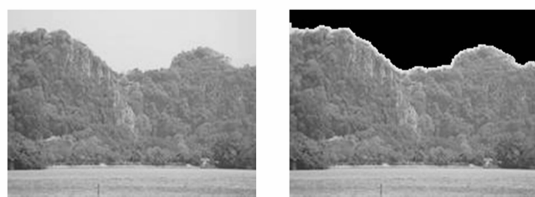


(e) 原始图像直方图

图2 分析与比较

亮度下限阈值 L_l 的计算步骤如下:

(1) 计算图像的亮度直方图,并划分 20 等份,在亮



(a) 原始图像 (b) 识别结果

图3 明亮区域的识别

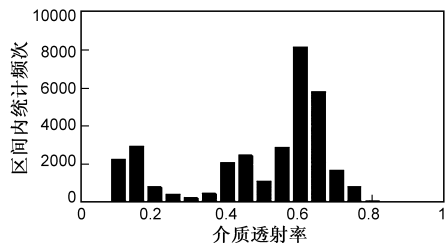


图4 透射率直方图

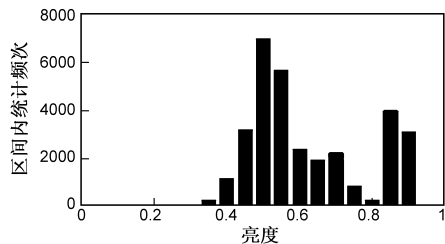


图5 亮度直方图

度较高区域 $[0.75, 0.80, \dots, 1]$ 找出频次最大的值 F_{max} , 并将其对应的亮度记为 L_1 .

(2)在亮度为 $[0.6, \dots, L_1 - 0.05, L_1]$ 的区域,找出最小频次 F_{min} 对应的亮度 L_2 ,设亮度 $L_2 - 0.05$ 对应频次为 F_1 ,亮度 $L_2 + 0.05$ 对应频次为 F_2 ,判断 F_1, F_2 与 F_{min} 的相关程度,其相关度计算公式为:

$$\alpha_n = \frac{|F_{min} - F_n|}{F_{min}}; n = 1, 2 \quad (5)$$

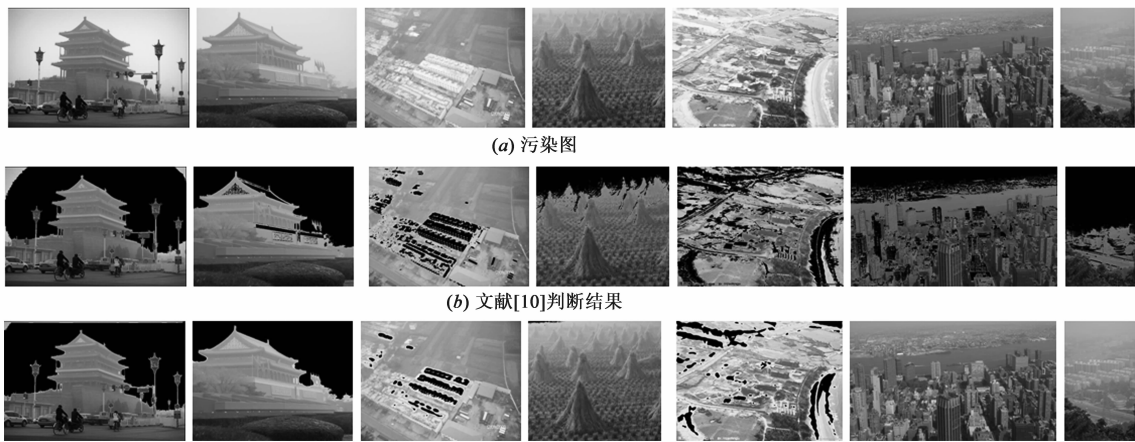
式中 α 为相关度, α 越小相关度越大,反之越小.当 $\alpha \leq 0.3$ 时,则认为相关的.

(3)若 $\alpha_1 < 0.3, \alpha_2 < 0.3$ 或 $\alpha_1 > 0.3, \alpha_2 > 0.3$ 则亮度下限阈值 $L_l = L_2$;若 $\alpha_1 < 0.3, \alpha_2 \geq 0.3$,则 $L_l = L_2 - 0.03$;否则 $L_l = L_2 + 0.03$.

对于透射率上限阈值 H_t ,可按上述方法进行类似的反方向判断.我们利用该方法还测试了其他大量图像,并与文献[10]的固定阈值法作了比较(固定阈值取 50).图 6 给出了部分测试结果,其中图 6(a)为污染图,图 6(b) - (c)分别为固定阈值法与自适应双阈值识别法的判断结果(黑色部分为判断的明亮区域),从图中可看出,固定阈值法判断的精确性并不高,对于包含浓雾的图像,极易造成大面积的误判,而自适应双阈值识别法判断结果更为准确.

自适应得到阈值 L_l, H_t 后,将满足条件 $t(x, y) \leq L_l \cap I(x, y) \geq H_t$ 的区域认为是明亮区域,由于明亮区域的透射率要比实际值偏小,本文将满足此条件的区域按下式自适应修正其对应的透射率:

$$t'(x, y) = \min\left(\max\left(K \cdot \frac{L_l \cdot I(x, y)}{H_t \cdot t(x, y)}, 1\right), \max(t(x, y), t_0), 1\right) \quad (6)$$



(a) 污染图

(b) 文献[10]判断结果

(c) 自适应双阈值划分法判断结果

图6 明亮区域划分结果比较

式中 $I(x, y)$ 为亮度值, K 为修正因子, t_0 为透射率下限值.从式(6)可知透射率修正强度与亮度值成正比,与透射率成反比.也就是说,对于越亮的像素值其修正幅度越大.以图 3(a)为例,对其去雾处理,其修正前后的

透射图以及对应的去雾图像如图 7 所示.从图中可以看出,修正后的去雾结果在天空区域已完全消除了色偏现象,显得更加真实自然.上述明亮区域透射率修正机制可以看成是暗通道先验的容差,目的是增加其适用

范围,增加鲁棒性.

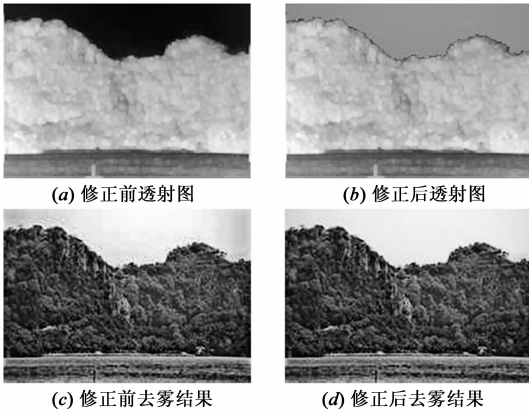


图7 明亮区域去雾结果比较

3.3 去雾处理后图像增强

由于受雾的影响,大气光成分参与成像,从而复原出来的图像比实际要偏暗,因此需要对图像进行增强处理.图像增强的算法较多,如 gamma 校正、直方图均衡、对比度拉伸等,其中对比度拉伸方法处理速度快、效果好.本文根据去雾后图像的特性,提出了一种非线性对比度拉伸的图像增强方法,在亮度较低时采用较大幅度的对比度拉伸,而在亮度较高时采用较小幅度的拉伸,其表达式如下:

$$I'(x, y, c) = I(x, y, c) \cdot \left(2 - \frac{\text{mean}(I(x, y, :))}{255} \right) \quad (7)$$

其中 c 表示颜色通道, $\text{mean}(I(x, y, :))$ 表示像素亮度.由式(7)可知,随着像素亮度的提高,对比度拉伸强度逐渐减弱,与此同时,由于各像素中 RGB 分量所占比重并未改变,因此拉伸之后的图像颜色也没有改变,只是亮度有所提高.

4 实验结果与分析

在普通计算机上,使用 matlab (R2010b)仿真本文算法.运行环境为 Windows XP,计算机配置为 Intel (R) Pentium (R) CPU G2030 @3.00GHz with 1.87 GB RAM.本文算法所涉及参数:最小操作的模板大小分别为 $\text{block}_b = 15$, $\text{block}_s = 3$,匹配区域边长 $a = 3$,边缘检测阈值为 0.01,去雾能力系数 $w = 0.95$,介质透射率下限值 $t_0 = 0.1$,透射率修正因子 $K = 1.0$,双边滤波器核参数 $\sigma_s = 8.0$, $\sigma_r = 0.3$,滤波窗口大小为 $\text{win} = 15$,光晕扩展宽度 $r = 15$,其余参数均已在文中给出.

4.1 主观比较

基于以上参数设置,将所得去雾结果与目前去雾速度最快的 Tarel 算法和去雾效果最好的 He 算法作比较,图 8 给出了不同场景下不同算法去雾效果对比(从

左往右分别为输入图,以及 Tarel 算法、He 算法、本文算法的效果图). (a)、(b)组实例为包含了密集型深度突变场景的图像,这更能考验消除光晕的能力,图中可见本文算法不仅很好的消除了光晕现象,而且去雾能力优于 He 算法,较 Tarel 算法颜色更为逼真. (c)、(d)组实例包含深度变化剧烈的图像,从结果可看出,边缘替代法与抠图处理达到了近似效果,同时本文算法去雾更加完全. (e)组实例选取包含天空的图像, Tarel 算法与 He 算法处理后的图像在天空部分出现了明显的色偏,而本文算法很好的克服了该问题,天空部分的颜色与实际场景较为接近. (f)组实例中包含了浓雾, Tarel 算法去雾效果不明显, He 算法去雾后的图像颜色偏暗,层次感不强,本文算法恢复结果层次感强,颜色生动逼真.

4.2 客观评估

为进一步验证本文算法的有效性,采用标准差、平均梯度以及信息熵作为恢复图像质量的度量指标.限于文章篇幅,本文以图 8 中 (a)、(c)、(e)、(f)四组不同类型的实例作为讨论对象,其度量结果如表 1 所示.从表中可看出,本文算法的各项性能指标大多高于 He 算法与 Tarel 算法,表明本文算法去雾处理后的图像具有更高的对比度,图像自身信息更加丰富.此外,我们还测试了该四组实例在不同分辨率下三种去雾处理方法的计算速度曲线,如图 9 ~ 图 12 所示.可以看出,当图像分辨率较低时,本文算法计算时间略慢于 Tarel 算法;但当图像分辨率较高时,本文算法处理时间将会快于 Tarel 算法.与 He 算法相比,本文算法的去雾时间仅为其 15% - 25%.

表 1 各算法去雾效果客观评价

实例	去雾算法	标准差	平均梯度	信息熵
(a)组	输入图	40.0981	6.7719	6.9947
	Tarel 算法	33.2037	13.5982	7.0558
	He 算法	41.7451	11.7531	7.3638
	本文算法	56.5322	20.4186	7.7993
(c)组	输入图	30.3380	7.0447	6.8596
	Tarel 算法	27.6410	13.5928	6.6897
	He 算法	30.0264	8.6473	6.6829
	本文算法	41.6127	17.7503	7.2293
(e)组	输入图	71.8096	4.5950	7.2319
	Tarel 算法	34.1947	8.5111	6.8272
	He 算法	64.3675	4.7709	7.3561
	本文算法	89.6740	9.2835	7.1309
(f)组	输入图	21.6207	3.1585	6.3808
	Tarel 算法	20.3396	8.8228	6.1596
	He 算法	29.3413	5.4592	6.8803
	本文算法	41.9985	13.6563	7.3858



(a) 密集型深度突变的场景比较



(b) 密集型深度突变的场景比较



(c) 深度变化剧烈的场景比较



(d) 深度变化剧烈的场景比较



(e) 明亮区域比较



(f) 深度变化平缓的场景比较

图8 各算法去雾效果综合对比

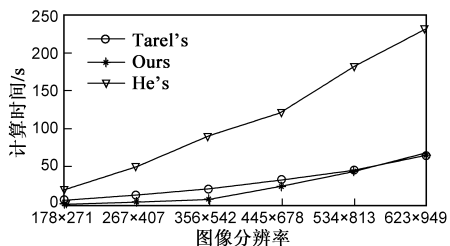


图9 图8(a)组计算速度曲线

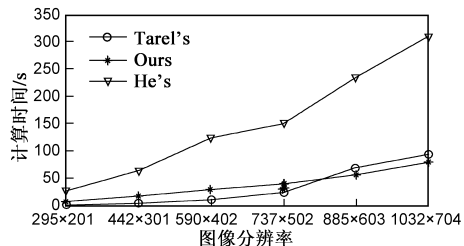


图10 图8(c)组计算速度曲线

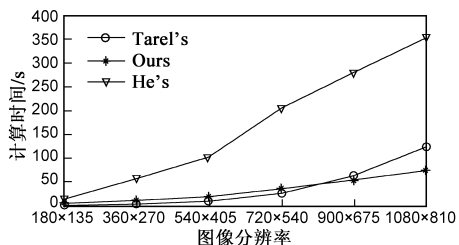


图11 图8(e)组计算速度曲线

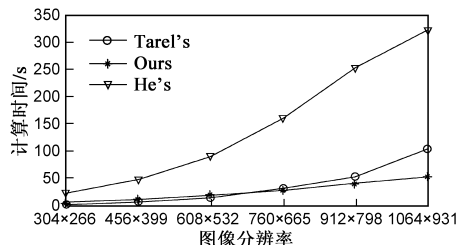


图12 图8(f)组计算速度曲线

5 总结

本文基于暗通道先验模型,在 He 算法基础上提出若干改进,首先利用边缘替代法代替了时空复杂度极高的抠图处理,显著的降低了计算复杂度,随着深度突变部分越小,图像尺寸越大,本文算法去雾速度提升越明显;然后针对明亮区域透射率估计不准确,提出了采用双阈值识别明亮区域的透射率修正机制,该机制能够自动识别出明亮部分并自适应修正其错误的透射率;最后,由于处理后的图像与实际场景相比,较为偏暗,采用对比度拉伸方法对其增强处理,有效的提高去雾后图像的视觉效果.实验结果表明本文算法不仅有效的提高了去雾能力,而且去雾速度也得到了显著的提升.

参考文献

- [1] 吴成茂.直方图均衡化的数学模型研究[J].电子学报,2013,41(3):598-602.
WU Cheng-mao. Studies on mathematical model of histogram equalization[J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(3): 598-602. (in Chinese)
- [2] Provenzi E, Fierro M, Rizzi A, et al. Random spray Retinex: a new Retinex implementation to investigate the local properties of the mode[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(1): 162-471.
- [3] Tan R T. Visibility in bad weather from a single image[A]. Proceedings of the IEEE CVPR[C]. USA: IEEE, 2008. 1-8.
- [4] Fattal R. Single image dehazing[J]. Proceedings of SIGGRAPH, 2008, 27(3): 1-9.
- [5] Tarel J, Hauti N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image[A]. Proceedings of the IEEE CVPR[C]. USA: IEEE, 2009. 2201-2208.
- [6] K He, J Sun, X O Tang. Single image haze removal using dark channel prior[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and

Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.

- [7] T M Bui, H N Tran, W Kim, S Kim. Segmenting dark channel prior in single image dehazing[J]. Electronics Letters, 2014, 50(7): 516-518.
- [8] Bo Li, Shuhang Wang, Jin Zheng, Liping Zheng. Single image haze removal using content-adaptive dark channel and post enhancement[J]. IET Computer Vision, 2014, 8(2): 131-140.
- [9] 褚宏莉,李元祥,周则明,等.基于黑色通道的图像快速去雾优化算法[J].电子学报,2013,41(4):791-797.
Chu Hong-li, Li Yuan-xiang, ZHOU Ze-ming, et al. Optimized fast dehazing method based on dark channel prior[J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(4): 791-797. (in Chinese)
- [10] 蒋建国,候天峰,齐美斌.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.
Jiang Jian-guo, Hou Tian-feng, Qi Mei-Bin. Improved algorithm on image haze removal using dark channel prior[J]. Journal of Circuits and Systems, 2011, 16(2): 7-12. (in Chinese)

作者简介



张登银 男,1964年11月出生,江苏靖江人,研究员、博士生导师.1986年、1989年和2004年在南京邮电大学分别获工学学士、硕士和博士学位,2008年瑞典 UMEA 大学数字媒体实验室博士后出站.主要研究领域是下一代信息网络、信号与信息处理、网络信息安全.
E-mail: wangxm@njupt.edu.cn



鞠铭辉 男,1989年1月出生,江苏靖江人,博士生.2013年毕业于天津工程师范学院,获工学硕士学位,研究方向为数字图像处理、视频压缩.