E-mail: jig@radi.ac.cn Website: www.cjig.cn Tel: 010-64807995

中图法分类号: TP391.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2017)02-0147-07

论文引用格式: Zeng J X ,Yu Y L. Image defogging and edge preserving algorithm based on dark channel prior and bilateral filtering [J]. Journal of Image and Graphics 2017 22(2):0147-0153. [曾接贤 余永龙.双边滤波与暗通道结合的图像保边去雾算法[J]. 中国图象图形学报 2017 , 22(2):0147-0153.][DOI: 10.11834/jig. 20170201]

双边滤波与暗通道结合的图像保边去雾算法

曾接贤,余永龙

南昌航空大学计算机视觉研究所,南昌 330063

摘 要:目的 图像去雾领域越来重视去雾过程中对图像边缘细节的恢复和保护,针对现有主流的基于模型的有雾图像复原算法 基本都是对介质透射率进行直接求解,即先预估透射率,再细化抠图,运算量很大的问题,提出利用双边滤波方式进行介质透射率的间接求解,用以简化去雾算法时间复杂度。方法 利用双边滤波方式对介质透射率的求解,是先估算出较精确的大气散射函数及大气光值,然后间接求出透射率,其避免了采用软件抠图的方式对介质透射率进行细化的过程,提高了算法的时效性。结果 选取两组户外有雾图像进行实验,并从得出的透射率图、复原效果及运算时间进行了对比分析。本文算法能得到较为清晰的透射率分布图,并且改善了预估透射率图中的块状现象;本文算法对透射率细化的同时,还起到了平滑图像边缘的效果;耗时方面,本文算法对大小为608×456像素的图像恢复耗时为1.803 s。结论 本文算法对有雾图像进行全局清晰化处理的同时,重点恢复有雾图像的局部细节,复原结果能更好地保持图像边缘的效果,更适合运用到基于图像检测类的系统中去。关键词:图像去雾;暗通道;双边滤波;大气散射;边缘细节

Image defogging and edge preserving algorithm based on

dark channel prior and bilateral filtering

Zeng Jiexian , Yu Yonglong

 ${\it Institute~of~Computer~Vision~, Nanchang~Hangkong~University~, Nanchang} \quad 330063~, China$

Abstract: Objective It is critical to restore and preserve edge details in image defogging. In existing classical model-based defogging methods, medium transmittance is computed directly, i. e., image matting refinement follows transmittance estimation, so the computational complexity is high. In order to reduce time complexity, transmittance is indirectly computed in virtue of bilateral filtering. Method In the solution of medium transmittance based on bilateral filtering, atmospheric scattering function and light value are relatively accurately estimated; therefore, transmittance can be indirectly computed. The proposed algorithm avoids the image software matting for medium transmittance refinement, so real-time performance is improved. Result The experiments are performed on two sets of outdoor foggy image to compare transmittance map, restoration effect, and operation time. In the proposed method, transmission distribution map is clearer, and the block effect of transmittance estimation is restricted. Image edges are smoothed during transmittance refinement. The operation time of the proposed algorithm is just 1,803 second for the image with the size of 608 × 456. Conclusion In the global enhancement of foggy image of this paper, the local details are restored and the edges are preserved. Consequently, the proposed algorithm

收稿日期: 2016-07-05; 修回日期: 2016-10-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(61165011 61662049); 江西省青年科学基金项目(20132BAB211021)

第一作者简介: 曾接贤(1958—) 教授,1997年于西北工业大学获工学硕士学位,主要研究方向为图像处理、模式识别和计算机视觉。

E-mail: zengjx58@163.com

Supported by: National Natural Science Foundation of China (61165011 61662049)

中国国家国形子顶 JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

is suitable for image detection systems. The experiment results show that the proposed algorithm can protect edge details besides improving time efficiency.

Key words: image defogging; dark channel; bilateral filtering; atmospheric scattering; edge preserving

0 引 言

雾天是一种特殊的自然天气现象 纯粹的雾是由大量的微小水滴稳定地悬浮在空气之中而构造成的。由于在雾天情况下 ,空气中含有的这些特殊微粒成分 ,使得大气的透明度出现一定程度的降低 ,同时入射光被这些粒子散射开来 ,在人类视觉上造成了能见度的降低 ^[1]。雾还对户外图像采集设备造成了影响 ,使得设备采集的图像质量退化 ,对比度和分辨率均出现不同程度的降低 进而使得相关基于视觉的监测系统变得脆弱 ,在雾浓的时候甚至能造成这些系统完全瘫痪。因此 ,雾严重影响了图像在目标识别、目标跟踪、视频监控、智能交通等算法或系统中的应用。为了尽可能减小雾对这些设备或系统造成的影响 图像去雾或者说图像恢复就显得尤为重要。

目前图像去雾方法主要分为基于传统的图像增 强方法和基于物理模型的图像恢复方法。基于图像 增强的图像去雾方法 因为没有对图像质量退化的 原因进行分析 得到的效果并不好 尤其是对图像的 一些细节信息处理得不理想。目前,在图像去雾领 域。广泛使用的方法是基于模型的图像恢复方法。 Tan 等人[2] 利用马尔可夫随机场理论来实现复原图 像局部对比度的最大化,以此达到去雾的目的。该 方法操作起来较为简单,并且能同时适用干灰度和 彩色图像 取得的效果也较为明显 但是恢复后图像 的颜色一般会过于饱和,且景深突变处容易产生光 晕效应。Fattal^[3]通过假设物体表面色度和透射率 的局部不相关性来估计大气传递系数。该算法对一 般雾天条件下的图像进行恢复能够取得比较理想的 效果,但是这种算法不能有效地处理浓雾图像。 Tarel 等人[4]在对大气耗散函数进行操作时加入了 特殊的中值滤波理论,并且用退化图像内最小的通 道来估算大气耗散函数; 该文认为图像中除了景物 边缘外 其他的连续区域应该都是平滑的;该方法是 基于线性操作的 而且提出了以图像中的最小通道 为假设条件 在图像去雾方面开启了新的思路。但 该方法采用了较多的参数 不便实际操作。

He 等人^[5]于 2009 年的 CVPR(计算机视觉与模式识别) 会议上提出了一种基于暗通道先验的去雾方法,取得了很好的效果,并在图像去雾领域产生了很大的影响,但是这种方法也存在一些缺点。首先软抠图算法具有较高的运算量,很难用到实时的监测场合,其次是图像中大片的天空区域恢复后有较明显的失真现象。

近年来也出现了很多基于暗原色理论的改进算法。在运算量和色彩失真方面均做了有效的改进。例如,文献[6-7]均是在基于暗原色理论的基础之上改进的。这些基于暗原色理论的改进算法基本上都能在一定程度上改善运行效率和去雾效果。

本文针对图像去雾领域越来重视去雾过程中对图像边缘细节的恢复和保护问题,提出一种双边滤波与暗通道结合的图像保边去雾算法。在对有雾图像进行全局清晰化处理的同时,着重致力于最大限度地恢复有雾图像的局部细节,比如对基于某种特定颜色或是特定深度信息的局部区域的边缘等细节进行清晰化处理,使得图像在恢复后,这些局部区域的边缘等细节信息能够较为精确地被检测出来,以便用于监测或监控系统,从而使基于视觉的监测系统在有雾情况下能继续工作。

1 暗通道去雾

1.1 雾天图像退化模型

根据大气散射物理模型^[8] 可知,摄像机或是人眼接收到的光线强度由两部分组成:一部分是目标图像在传播过程中衰减后的光强;另一部分是周围的环境光,可表示为

$$I(x) = J(x) t(x) + A[1 - t(x)]$$
 (1) 式中 I 表示采集到的雾天图像; I 表示要得到的无雾的清晰图像; t 表示大气的透射率 即光线的传播率; A 表示大气光值, 一般用来表示无穷远处光照强度; x 表示图像上点的位置坐标。 $I \setminus J \setminus t$ 变量均与 x 有关。

1.2 暗通道原理

He 等人^[5]从研究无雾图像的统计特征出发 ,发现了一个在绝大多数无雾图像中广泛存在的一条规

律 暗原色先验 ,也称暗通道先验 ,即在任意清晰 图像的某些局部区域内总是存在这样一些特殊的像 素点 ,这些像素点至少在某一个颜色通道上的强度 值非常小 ,接近于零 ,直观表现就是图像的这些局部 区域非常黑暗。这些特殊的像素点被称为暗原色点 ,即

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{R, G, B\}} \left[\min \left(\int_{y \in \Omega(x)}^{c} (y) \right) \right]$$
 (2)

式中 J^{dark} 为图像 J 的暗原色 J^c 表示 J 的 $R \times G \times B$ 3

个颜色通道中的任意一个通道 $\Omega(x)$ 表示以像素点 x 为中心的局部区域或称为一个窗口 y 表示图像局部区域 $\Omega(x)$ 上点的位置坐标 ρ 表示颜色通道。

根据暗通道先验理论 有

$$J^{\text{dark}} \to 0 \tag{3}$$

1.3 暗原色先验去雾方法

暗原色先验去雾方法是建立在大气散射模型之 上的 具体流程如图 1 所示。

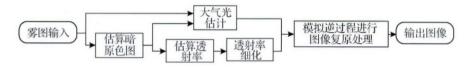


图 1 暗原色先验去雾算法流程图

Fig. 1 Flow chart of defogging algorithm based on dark channel prior

先对式(1)进行简单变形

$$\frac{I^{c}(x)}{A^{c}} = t(x) \frac{J^{c}(x)}{A^{c}} + 1 - t(x)$$
 (4)

1) 求解透射率。首先不妨假设大气光值 A 是已知的(后面将会对其进行求解);同时假设在一个局部区域内大气的透射率是恒定不变的 ,那么式(4) 两边在大小为 $\Omega(x)$ 区域内进行最小值滤波运算 ,可得

$$\min_{y \in \Omega(x)} \frac{I^{c}(y)}{A^{c}} = \tilde{t}(x) \min_{y \in \Omega(x)} \frac{J^{c}(y)}{A^{c}} + 1 - \tilde{t}(x)$$
(5)
式中, $\tilde{t}(x)$ 表示透射率。

然后再对式(5)两边进行3个颜色通道上的最小值滤波运算。得

$$\min_{c} \left[\min_{y \in \Omega(x)} \frac{f'(y)}{A^{c}} \right] =$$

$$\tilde{t}(x) \min_{c} \left[\min_{y \in \Omega(x)} \frac{J^{c}(y)}{A^{c}} \right] + 1 - \tilde{t}(x)$$
(6)

根据暗通道先验规律 ,无雾的户外图像暗原色 J^{dark} 是接近于 0 的。又根据式(2) (3) ,且 A^c 为正值 则有

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r \in B\}} \left[\left(\int_{y \in \Omega(x)}^{c} (y) \right) \right] \approx 0$$
 (7)

在不影响实验效果的情况下,计算时不妨将式(7) 取等号来处理。那么将式(7) 代入式(6) 则有

$$\tilde{t}(x) = 1 - \min_{c} \left[\min_{y \in \Omega(x)} \frac{I^{c}(y)}{A^{c}} \right]$$
 (8)

这便是透射率 $\tilde{t}(x)$ 的预估值。

2) 估算大气光。前面在求解透射率时,假定大 气光值 A 是已知的,但事实上要对大气光值进行预 先估计。大气光值 A 一般在同一幅图像中是一个定值,而且是一个 3 维值,它包含 $R \times G \times B$ 3 个通道的大气光值。式(4) 一式(8) 中 A^c 表示 3 个通道中任意一个通道的大气光值。对于大气光值 A 的估算,常采用以下步骤:

- (1) 求取暗通道图。在暗通道图中选取前 0.1% 最亮的像素点 并且记录它们在原始图像中所对应的坐标位置。
- (2) 估算大气光值 A。在原始输入图像中找到对应步骤(1) 中所述坐标的像素点 ,分别求出它们在 $R \times G \times B$ 3 个颜色通道上最大强度值 ,即为全局大气光值 A 在 3 个通道的值。
- 3) 图像复原。在求得透射率分布图及大气光值 A 之后,可以利用式(1) 的逆变换来对有雾图像进行复原处理,输入有雾图像 I(x),就可以求得去雾后的图像 J(x),即

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A$$
 (9)

另外 ,为了防止 t(x) 取零值 ,要设置一个下限 $t_0(-mt_0)$ 取 0.1 较为合适 ,当求得的透射率值大于 t_0 时保持不变 ,当透射率小于 t_0 值时 取为 t_0 。 实际运算中用 $t_{max}(x)$ 代替 t(x) , $t_{max}(x)$ 为

$$t_{\text{max}}(x) = \max[t(x) \ t_0] \tag{10}$$

那么,式(9)可以表示为

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t_{\text{max}}(x)} + A \tag{11}$$

由于透射率在一个局部区域内并非一直保持不变 所以由以上公式得出的透射率图中往往会产生

一些白边现象,尤其是图像中近景与远景的交汇处,白边现象更为明显。为了改善这一状况,需要对透射率图进行细化和平滑处理。He 等人^[5]最初采用的是一种软件抠图方法来对粗略的透射率图进行精细化处理,其效果很好,但是整个过程复杂度过高。

2 结合双边滤波和暗通道的保边去雾算法

考虑到采用软抠图方法^[5]来细化介质透射率耗时多的问题 将在细化介质透射率的方式上进行改进 以提升算法时效性。分析发现 未细化的透射率图有大量块状及白边现象。造成这一现象的原因是在求暗通道图时设定了局部区域 Ω ,且在同一局部区域内透射率假设是相同的 ,因此求得的暗通道图中这一局部区域内的像素点灰度值都被设定为相同的值。显然 ,这种假设会造成这些小区域中部分点的像素值被低估 ,这也是造成未细化透射率的复原图中景深突变处出现白边的原因。为了消除这种现象 ,可以采用最大值滤波方法^[9] 对这些被低估的暗像素点的值进行修复。

综合考虑 将采用双边滤波和最大值滤波的联合方式来对透射率进行细化求解 ,其本质是对暗通道图进行处理。

2.1 双边滤波理论及分析

双边滤波(bilateral filter)属于非线性滤波方法^[10]。双边滤波和传统的高斯滤波类似,它也利用局部加权平均的原理。但是二者也有明显的区别。双边滤波的加权系数是由两部分决定的,一部分是像素间空间距离之差,可称为空间邻近度因子;另一部分是像素间的灰度值之差,可称之为灰度相似度因子^[11]。

相对高斯滤波,双边滤波在原理上更为复杂,这也决定了后者在功能上有更多的优势。即双边滤波对输入图像进行平滑处理的同时还能有效保持图像边缘细节信息。对输入图像进行双边滤波后,图像中的每个像素的灰度值是等于其邻域范围内像素的加权平均。加权系数是空间临近度因子和灰度相似度因子的乘积。

假设输入图像 I 中目标像素为 p ,其坐标为 (x,y) ,它的灰度值用 I_p 表示。滤波之后得到的输出图像为 BI ,此时 p 点的灰度值定义为 BI_p 。另外

假设用 q 表示中心像素点 p 的邻域像素点 其坐标为(u p) ,并且设 p 的领域像素点集合为 Ω 则双边滤波可为

$$BI_{p} = BF(I_{p}) = \frac{1}{W_{p}} \sum_{q \in \Omega} G_{\sigma_{d}}(\|p - q\|) G_{\sigma_{r}}(|I_{p} - I_{q}|) I_{q} \quad (12)$$

式中 W_p 为归一化因子 G_{σ_d} 表示空间邻近度因子 , G_{σ_r} 表示灰度相似度因子 G_{σ_r} 表示灰度相似度因子 G_{σ_r} 是基于高斯函数距离 标准差 F_{σ_r} 决定滑动窗口的大小 F_{σ_r} 是基于高斯函数的灰度标准差。而且

$$W_{p} = \sum_{q \in \Omega} G_{\sigma_{d}}(\|p - q\|) G_{\sigma_{r}}(|I_{p} - I_{q}|) \quad (13)$$

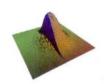
$$G_{\sigma_d}(\|p-q\|) = e^{-[(x-u)^2 + (y-v)^2]/2\sigma_d^2}$$
 (14)

$$G_{\sigma_r}(|I_p - I_q|) = e^{-[I_p - I_q]^{2/2}\sigma_r^2}$$
 (15)

由式(13)—(15)可以看出,空间域滤波核函数以及灰度滤波核函数的径向作用范围分别是由空间邻近度因子和灰度相似度因子控制,而且在邻域像素中,只有空间距离较近且灰度值相差较小的像素点才会在滤波时对中心像素点的影响比较大。

为了更直观地表示出双边滤波与经典高斯滤波的区别,下面通过几组实验来进行说明。如图 2 所示,选取一幅左右区域分明的带有噪声的图像,并用蓝色框表示出目标像素的位置。







(a) 含有噪声的原图 (b) Bilateral采样的权重 (c) 高斯采样的权重

图 2 双边权重与高斯权重因子 3D 图对比

Fig. 2 Three dimensional comparison diagram between Bilateral weight and Gaussian weight ((a) original image with noise; (b) weight of Bilateral sampling; (c) weight of Gaussian sampling)

从图 2 可以看出,双边滤波加入了像素点的灰度相似性权重之后,可以将原图目标区域内左侧那些跟当前像素灰度值差异过大的点滤去,这样就能很好地保持边缘,如图 2(b)给人一种突变的感觉,而图 2(c)却没有这种效果。

实际图像进行对比实验。取一幅 Lena 灰度图像 ,分别对原图和加入标准差为 20 的高斯噪声的图像进行双边滤波和高斯滤波处理 ,实验结果如图 3 所示。由实验结果可知 ,两种滤波方式均有平滑和

去噪的功效,而且对比图 3(b)和图 3(c),以及图 3 (e) 和图 3(f) 可以发现,双边滤波方式还可以更好 地保持图像的边缘细节,而高斯滤波方式处理的结 果就显得模糊了很多。







(b) 双边滤波后图像 (c) 高斯滤波后图像







(d) 加入高斯噪声的原图 (e) 双边滤波后图像 (f) 高斯滤波后图像

图 3 双边滤波与高斯滤波效果对比

Fig. 3 Contrast effects of bilateral filter and Gaussian filter ((a) original image; (b) image after Bilateral filtering;

- (c) image after Gaussian filtering; (d) original image with Gaussian noise; (e) image after Bilateral filtering;
 - (f) image after Gaussian filtering)

2.2 透射率细化方法改进

根据 2.1 节对双边滤波器的论述可以发现,双 边滤波方式在对图像进行平滑的同时具有保持图像 边缘细节的功能。因此,采用双边滤波和最大值滤 波联合的方式来对介质透射率进行细化处理,而且, 先进行最大值滤波 再进行双边滤波 以便更好保持 图像边缘部分。算法具体步骤如下:

1) 根据输入的原始有雾图像 求出暗通道图 $I^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} \left[\min_{y \in \Omega(x)} (I^c(y)) \right]$

2) 对暗通道图像先后做最大值滤波和双边滤 波处理。该处理的目的是对图像中景深突变处的暗 像素点进行修复 以达到对图像进行平滑的同时保 持图像边缘细节。

最大值滤波结果用 $I_{\max}^{\text{dark}}(x)$ 表示 ,双边滤波结果 用 BImax 表示 则

$$I_{\max}^{\text{dark}}(x) = \max_{y \in \Omega(x)} [I^{\text{dark}}(y)]$$
 (17)
 $BI_{\max}^{\text{dark}}(x) =$

$$\frac{\sum\limits_{q \in \Omega(x)} G_{\sigma d}(\parallel p - q \parallel) \ G_{\sigma r}(\mid I_{\max}^{\operatorname{dark}}(p) - I_{\max}^{\operatorname{dark}}(q) \mid) \ I_{\max}^{\operatorname{dark}}(q)}{\sum\limits_{q \in \Omega(x)} G_{\sigma d}(\parallel p - q \parallel) \ G_{\sigma r}(\mid I_{\max}^{\operatorname{dark}}(p) - I_{\max}^{\operatorname{dark}}(q) \mid)}$$

$$(18)$$

式中 p 为目标像素点 q 表示 p 的邻域像素点 邻域 像素点集合用 Ω 表示。

- 3) 大气光值 A 计算方式的改进。He 算法 $^{[5]}$ 中 A 是取暗通道图中的前 0.1% 的最亮像素点 然后在 原图中找到对应的点,分别取这些像素点中B、G、R 3个通道的最大值作为3个通道的大气光值。对于 一般的图像,这样的取法会造成各通道的 A 值很接 近255 这样就容易造成处理后的图像偏色以及天 空部分出现色斑的现象。本文在计算 A 时作了一 些修改,即在暗通道图中取灰度值在区间[220, 255]的像素点,然后在原图中找到相应的这些点, 分别计算这些点在 B、G、R 3 个通道的均值,作为整 幅图 3 个通道的大气光值,并用于后续计算。这样 做有两个好处: 一是能够解决处理后图像的色偏及 天空色斑的问题; 二是直接取强度值在 [220,255] 的像素点 避免了在编码实现中使用排序的方法找 出前 0.1% 的最亮像素点 降低了计算时间复杂度。
- 4) 根据式(1)(2)(7)(8) 可得到改进后的透 射率

$$t(x) = 1 - \omega \min_{c} \left[\min_{y \in \Omega(x)} \frac{BI_{\max}^{\text{dark}}(y)}{A^{c}} \right] \quad (19)$$

式中 ω 为强度系数 ,其值根据实际情况确定 ,对于 一般图像去雾通常取 0.95 或 0.98 较为合适。

算法实验及结果分析 3

采用 2.2 节方法求出透射率后,再结合暗通道 方法求出大气光值 A 以及图像复原式(10)(11) 便 可对有雾图像进行复原。选取两组户外有雾图像进 行实验 并从得出的透射率图、复原效果及运算时间 进行对比分析。实验编程环境为 Matlab7.0 版本, 操作系统为 Windows XP SP3,计算机硬件配置为 Intel(R) Core(TM) 2 Quad CPU Q8400 @ 2.66 GHz 及 4 GB RAM。实验结果如图 4一图 6 所示。

从图 4 可以看出 本文算法和 He^[5] 软抠图的修 复算法均能得到较为清晰的透射率分布图,并且改 善了预估透射率图中的块状现象。另外本文算法采 用了最大值滤波和双边滤波联合的方法对透射率图 进行计算 因此对透射率细化的同时 还起到了平滑 图像边缘的效果。

从图 5 可以看出,本文算法和 He 的抠图算法 均能很好地改善未细化透射率的复原图中的光晕或 拱的位置来观察,区别较为明显。另外,从耗时方面,对本文算法与 He 算法^[5] 细化透射率前后的恢复算法进行了对比,如表 1 所示。

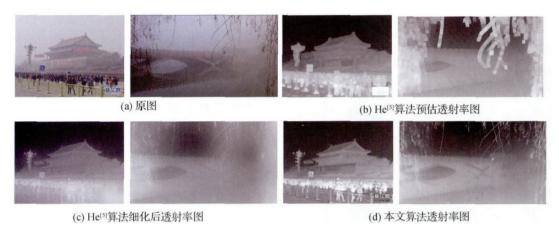


图 4 本文算法与 He^[5] 算法细化前后透射率图对比

Fig. 4 Comparison of transmittance after refining between proposed algorithm and He^[5] algorithm ((a) original images; (b) prediction transmittance images of He algorithm; (c) transmittance images refined by He algorithm; (d) transmittance images refined by the proposed algorithm)



图 5 本文算法与 He^[5] 算法去雾效果对比

Fig. 5 Defogging effect comparison between proposed algorithm and He^[5] algorithm ((a) original images;
(b) restored images with unrefined transmittance;
(c) restored images with refined transmittance by He;
(d) restored images of the proposed algorithm)

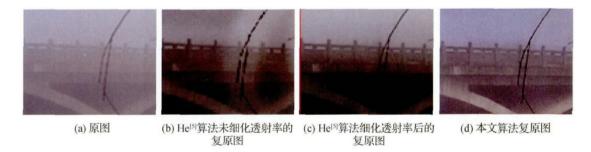


图 6 本文算法与 He^[5] 算法复原图局部放大对比

Fig. 6 Local magnified effect comparison of restored image between proposed algorithm and He^[5] algorithm ((a) original images; (b) restored images with unrefined transmittance; (c) restored images with refined transmittance by He^[5]; (d) restored images of the proposed algorithm)

表 1 两组雾图采用不同算法去雾耗时对比

Table 1 Time consumption comparison of different defogging algorithms for two foggy images

图像	图像大小/像素	He ^[5] 未细化透射率恢复耗时/s	He ^[5] 细化透射率恢复耗时/s	本文算法恢复耗时/s
天安门	608×456	1.246	36.390	1.803
桥	380×214	0.425	12.854	0.798

根据表 1 中的数据可以得出 "He^[5] 算法采用软件抠图方法对透射率进行修复过程耗时较多 "而本文算法是从暗通道图直接进行滤波处理而得到透射率的 避开了修复透射率的过程 "所以节省了运行时间。

4 结 论

本文所提出的双边滤波与暗通道结合的图像保边去雾算法。在对有雾图像进行全局清晰化处理的同时。着重致力于最大限度地恢复有雾图像的局部细节,比如对基于某种特定颜色或是特定深度的局部区域的边缘等细节,进行清晰化处理。通过引入双边滤波和最大值滤波联合的方法对暗通道方法中透射率修复算法进行有针对性的改进,在提升时效性的同时,有效地保持了图像边缘细节信息。但是要使本文改进算法运用到实时系统中,其运行效率还需继续提升。另外,本文算法得出的复原结果能更好地保持图像边缘的效果,更适合运用到基于图像检测类的系统中去。

参考文献(References)

- [1] 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. [DOI: 10.1109/TPAMI.2003.1201821]
- [2] Tan R T. Visibility in bad weather from a single image [C]//
 Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern
 Recognition. Anchorage, AK: IEEE, 2008: 1-8. [DOI: 10.
 1109/CVPR.2008.4587643]
- [3] Fattal R. Single image dehazing [J]. ACM Transactions on Graphics , 2008 , 27 (3): #72. [DOI: 10. 1145/1360612. 1360671]

- [4] Tarel J P, Hautière N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image [C]//Proceedings of IEEE the 12th International Conference on Computer Vision. Kyoto: IEEE ,2009: 2201-2208. [DOI: 10.1109/ICCV.2009.5459251]
- [5] He K M, Sun J, Tang X O. Single image haze removal using dark channel prior [C]//Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Miami ,FL ,USA: IEEE , 2009: 1956-1963. [DOI: 10.1109/CVPR.2009.5206515]
- [6] Zhang B B, Dai S K, Sun W Y. Fast image haze-removal algorithm based on the prior dark-channel [J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(2): 184-188. [张冰冰,戴声奎,孙万源. 基于暗原色先验模型的快速去雾算法[J]. 中国图象图形学报,2013,18(2): 184-188.] [DOI: 10.11834/jig.20130208]
- [7] Sun X M, Sun J X, Zhao L R, et al. Improved algorithm for single image haze removing using dark channel prior[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(3): 381-385. [孙小明,孙俊喜,赵立荣,等. 暗原色先验单幅图像去雾改进算法[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(3): 381-385.] [DOI: 10.11834/jig.20140306]
- [8] Ji X Q. Research on fast image defogging and visibility restoration [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2012. [嵇晓强、图像快速去雾与清晰度恢复技术研究[D]. 长春: 长春光学精密机械与物理研究所, 2012.]
- [9] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 185-189.
- [10] Tomasi C , Manduchi R. Bilateral filtering for gray and color images [C]//Proceedings of the 6th International Conference on Computer Vision. Bombay: IEEE , 1998: 839-846. [DOI: 10. 1109/ICCV. 1998. 710815]
- [11] Li J F. Fast implementation of bilateral filter with application in image processing [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2013. [李俊峰. 双边滤波算法的快速实现及其在图像处理的应用[D]. 广州: 南方医科大学,2013.] [DOI: 10.7666/d. Y2405815]