

一种改进的基于暗通道先验知识的去雾算法

方紫娟¹, 谢正祥², 吕霞付¹, 冯 鹏¹

(1 重庆邮电大学 工业物联网与网络化控制教育部重点实验室, 重庆 400065;

2 重庆医科大学 生物医学工程研究室, 重庆 400016)

摘 要: 针对上述问题首先分析了基于暗通道先验知识的去雾算法存在的缺陷与不足, 然后通过预处理把原图像转换成标准图像, 接着以引导滤波器代替软抠图来细化信息图以提高算法运行的速度, 并调整信息图来改善原算法在处理明亮区域的失真和光晕现象. 通过实验证明, 改进的暗通道先验知识去雾算法比原算法在速度上提高了 84.2%, 并避免了对明亮区域的过度处理而产生的失真现象, 增强了对色彩单一的有雾图像的处理效果.

关键词: 标准化变化; 引导滤波器; 透射率

中图分类号: TP317.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)05-0074-05

An Improved Haze Removal Algorithm Based on Dark Channel Prior

FANG Zi-juan¹, XIE Zheng-xiang², LV Xia-fu¹, FENG Peng¹

(1 Key Laboratory of Industrial Internet of Things & Network Control, MOE,

Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

(2 Laboratory of Biomedical Engineering, Chongqing University of Medical Sciences, Chongqing 400016, China)

Abstract: In order to deal with the fog image more effectively, an improved method based on haze removal using dark channel prior is presented in this paper after analyzing its defects and shortcomings. First of all, the original image is converted into a standard image through standardization transformation, and then we improve speed by replacing the soft matting with guided filter to refine transmission map and adjust transmittance in bright region to avoid the distortion and halo phenomenon. The experiment results show that the improved algorithm in speed increased by 84.2% than the original algorithm, and refrained from distortion which caused by excessive processing in bright region, and enhanced processing effects on color single foggy images.

Key words: foggy images; standardization transformation; guided filter; transmittance

1 引言

雾天极大地限制和影响了各种户外视觉系统的发挥, 因此, 研究如何对雾天条件下的图像进行有效的处理有着非常重要的现实意义.

文献[1]提出了一个重要的基本自然规律—暗通道先验知识, 被认为是目前最有效的去雾算法. 暗通道先验知识是根据外景无雾非天空区域图像分块的统计分析而提出来的, 暗通道先验知识的去雾算法对一般户外图像具有较好的去雾效果, 提高了图

像的清晰度以及视觉效果^[2]. 然而通过观察大量测试图像发现, 其存在以下三项不足: ①处理色彩单一的图像去雾效果不明显; ②对浅色及偏白的区域会造成严重的透射率误估计导致偏色和光晕现象; ③细化信息图的方法较复杂, 计算量大.

针对上述问题, 本文对基于暗通道先验知识的去雾算法进行了改进, 使其能够有效地调整偏色和光晕现象, 增强了对色彩单一的图像去雾效果, 同时减少了其计算量和运行时间.

收稿日期: 2013-06-30; 修回日期: 2013-08-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(60975008)

2 暗通道先验去雾算法

2.1 大气散射模型

在计算机视觉和图形学中,大气散射模型描述了雾化图像的退化过程^[3]:

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

式中, I 为雾化图像, J 为无雾图像, A 是无穷远处的大气光值, $t(x)$ 为透射率.去雾过程就是从 I 中恢复 J , $J(x)t(x)$ 为直接衰减项, $A(1 - t(x))$ 为大气光项.

2.2 暗通道先验知识

暗通道先验知识的中心思想:对于大部分外景图像,在非天空的局部范围内的 R, G, B 通道中,至少有一个通道存在某些点灰度值极低.换言之,在外景图像小块中,其灰度的最小值是较低的,趋近于0值^[1].即:

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{R, G, B\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y))) \rightarrow 0 \quad (2)$$

式中, J^c 为 J 的某个颜色通道,而 $\Omega(x)$ 是以 x 为中心的局部区域.

2.3 暗通道先验知识去雾

假设大气光 A 为定值,并且在一个局部区域的透射率恒定不变,对方程(1)取最小运算符,并同时除以 A :

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

然后在三个颜色通道中使用最小运算符,得到

$$\min_c \left(\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right) = t(x) \min_c \left(\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right) + (1 - t(x)) \quad (4)$$

根据暗通道先验知识式(2)和 A^c 为正数,可知

$$\min_c \left(\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{J^c(y)}{A^c} \right) \right) \rightarrow 0 \quad (5)$$

则式(4)简化为

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

如果彻底去除雾的存在,图像会因为过度处理而看起来不真实.所以在方程(6)中引入一个常数 $\omega(0 < \omega \leq 1)$,保留一部分远景的雾^[1]:

$$t(x) = 1 - \omega \min_c \left(\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(y)}{A^c} \right) \right) \quad (7)$$

由上式估计出透射率是较粗略的,得到的信息图具有很严重的块效应,为了提高精度,应用软抠图算法来细化信息图.记细化后的透射率函数为 $\tilde{t}(x)$,通过求解下面的稀疏线性系统得到^[4]

$$(L + \lambda U)\tilde{t} = \lambda t \quad (8)$$

式中, λ 是一个修正参数, L 为抠图拉普拉斯矩阵.根据优化后的透射函数 $\tilde{t}(x)$,由下式计算去雾后的图像 $J(x)$:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(\tilde{t}(x), t_0)} + A \quad (9)$$

式中, t_0 是为了避免 $\tilde{t}(x)$ 太小而设置的阈值.大气光 A 的估计方法为:先取暗通道 J^{dark} 中0.1%亮度最大的像素,然后取这些像素对应应在原图 I 中的最大值作为 A 的值.

对于大部分户外有雾图像,上述算法能取得非常好的效果.是因为图像中的大部分像素点都满足暗通道先验知识,即 $J^{\text{dark}} \rightarrow 0$,恢复的去雾效果明显且色彩自然真实.

3 改进算法

虽然暗通道去雾算法对色彩鲜艳,空白区域较小的图像有较好的去雾效果,但该算法也存在着很多不足:①对色彩较单一的图像,此算法去雾效果不明显或者不彻底;②空白天空的区域易出现失真和光晕现象;③对于细化信息图,原算法选用软抠图来处理,需要大量的时间和内存.本文对此依次做了改进,具体流程图如图1所示.

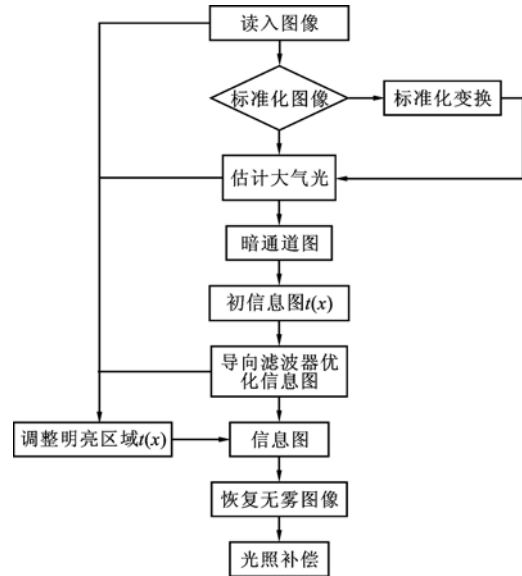


图1 改进算法的流程图

3.1 预处理

谱带的宽度不同,图像的质量明显不同;灰度/色度谱较宽的图像,具有较好的视觉效果^[5].我们把具有谱宽为256的图像称为标准化图像(Standardized image).图像的标准化变换如下:

$$T(i, x, y) = K \frac{O(i, x, y) - Left(i)}{Right(i) - Left(i)} \quad (10)$$

Theta $\in [0, 255]$ 和 Delta $\in [1, \infty]$ 称为图像标准化变换参数. Right 和 Left 分别是图像的灰度 / 色度谱的右、左边界值. $i = 0, 1, 2$ 代表红、绿、蓝三通道的颜色成分. K 称为扩张或收缩因子. 在此, 令 $K = 255$. $O(i, x, y)$ 表示变换前某个像素点的灰度 / 色度值, $T(i, x, y)$ 代表标准化变换后的某个像素点 i 通道的灰度 / 色度值. 经过标准化变换后, 图像灰度 / 色度谱占有整个带宽, 为接下来的去雾算法做准备. 经过预处理的有雾图像如图 2 所示.

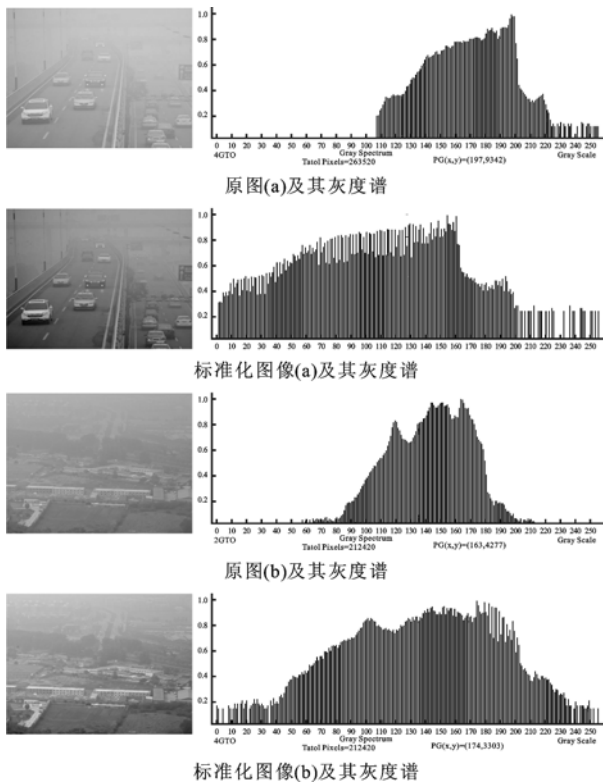


图 2 经过预处理的有雾图像

3.2 大气光估计

由于白色物体占图像的大小不定, 因而取图像亮度最大值或者取固定阈值的方法都不具有通用性或者不够准确, 而大气光的估计值直接影响透射率 $t(x)$ 的计算, 进而影响去雾的效果^[6]. 因此, 对大气光的准确估计是必要的.

首先大气光应该是雾最浓的区域, 对应位置为天空或者无穷远处^[6], 而天空区域常常位于图像的上部, 因此可使用像素点的高度坐标作为衡量是否接近天空位置的参数. 令图像的高度值为 H , 像素 x 位置高度坐标值为 $h(x)$, 则该点接近天空的概率函数为

$$p(x) = h(x) / H \quad (11)$$

其次, 在雾最浓的区域, 物体的对比度很小, 表现为该区域所有点的亮度值在 RGB 通道分量值的最大值和最小值之差接近于 0, 故此亮度限制概率函数为

$$f(x) = 1 - (I_{\max}(x) - I_{\min}(x)) \quad (12)$$

当区域为雾最浓的部分时, $p(x)$ 与 $f(x)$ 的乘积趋近于 1. 通过此限制条件, 能够较准确地估计出大气光值.

3.3 引导滤波器优化信息图

在何恺明的 best paper 里, 使用了软抠图 (soft matting) 来去除原信息图的块效应, 一方面在进行抠图时需要使用预处理共轭梯度 (PCG) 来求解大型稀疏矩阵, 给整个处理过程带来了巨大的运算量, 占用了大量的时间和内存^[7]. 另一方面图像抠图中求取掩像值的目的, 是为了柔化前景与背景的过渡区域边缘, 其值是自然连续变化的^[8], 而透射率是场景辐射的指数衰减因子. 因此将软抠图算法用于透射率的修复并不是十分合理的.

引导滤波器也是基于一个假设: 在局部范围 ω_k 内, 引导图像和滤波器输出存在线性对应关系. 即:

$$\tilde{t}_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in \omega_k \quad (13)$$

式中, (a_k, b_k) 在局部范围内是恒定的系数. 上式的线性关系表明输出图像 $\tilde{t}$ 与引导图像 I 的边缘能够很好地保持一致. 在文献^[8]里定义了 a_k, b_k 的求解:

$$a_k = \frac{\frac{1}{|\omega|} \sum_{i \in \omega_k} I_i \tilde{t}_i - \mu_k \bar{t}_k}{\sigma_k^2 + \epsilon} \quad (14)$$

$$b_k = \bar{t}_k - a_k \mu_k \quad (15)$$

式中, μ_k 和 σ_k^2 分别是引导图像在窗口 ω_k 内的均值和方差, ϵ 是防止 a_k 过大的正规化参数. $|\omega|$ 是窗口中的像素总数. $\bar{t}_k$ 是输入图像 t 在窗口中的均值.

把上述局部线性关系应用到整幅图像中, 会发现同一个像素点在不同的模块里求出的不同的输出值, 此时, 我们采取最简单的方法, 取平均值. 所以在计算出图像所有窗口系数 (a_k, b_k) 后, 得到的滤波器输出为

$$\tilde{t}_i = \bar{a}_i I_i + \bar{b}_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{k \in \omega_k} a_k I_i + \frac{1}{|\omega|} \sum_{k \in \omega_k} b_k \quad (16)$$

引导滤波器细化信息图如图 3 中所示, 从图中可看出引导滤波器的优化效果在细节上面更优于软抠图优化, 并且算法复杂度和运行时间都较其有明显的降低, 运行时间对比如表 1 所示.

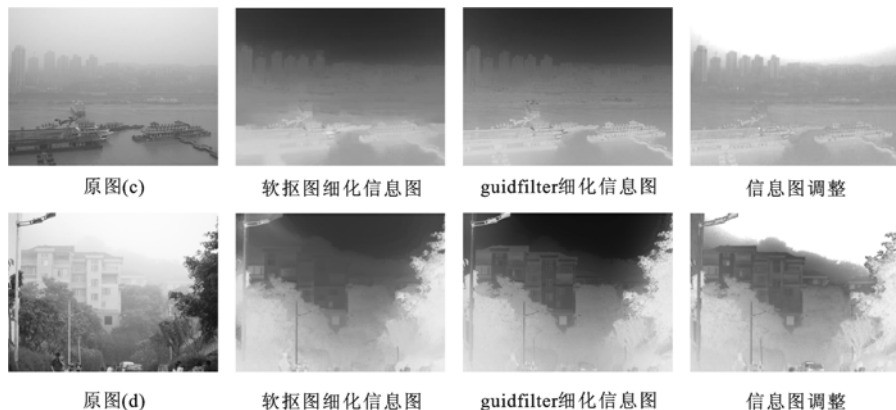


图 3 信息图优化对比

表 1 综合评价函数评价和时间对比

评价参数	NNF	APCL	AIE	AHF	ABWF	CAF	Time/s
图 4(e) 原图	0.905	3.449	7.469	1	1	23.325	—
He 的结果	0.926	4.634	7.807	1	1	33.502	34.764
本文的结果	0.997	4.115	7.119	0.895	1	26.135	5.991
图 4(f) 原图	0.594	1.854	7.200	0.917	0.917	6.665	—
He 的结果	0.952	2.153	7.166	0.928	1	13.631	48.456
本文的结果	0.997	2.266	7.314	1	1	16.528	7.225
图 4(g) 原图	0.650	2.383	7.368	0.947	0.947	10.227	—
He 的结果	0.932	2.635	7.395	1	0.981	17.799	45.872
本文的结果	0.970	2.706	7.296	1	0.999	19.122	7.072
图 4(h) 原图	0.876	1.146	6.385	0.625	0.781	3.128	—
He 的结果	0.922	1.708	6.895	0.789	1	8.569	40.796
本文的结果	0.999	2.606	6.766	0.599	1	10.546	6.644

3.4 透射率调整

通过分析去雾效果图,发现对接近天空的明亮区域,由于透射率过小导致在处理这些区域时会产生色彩失真,为解决此问题,本文首先找出透射率较小的明亮区域,当 $\frac{I}{A} > 1$,认为是不满足暗通道先验知识的明亮区域,否则认为是满足暗通道先验知识的非明亮区域,即需要对其透射率进行调整,调整公式为

$$t'(x) = L * \frac{I}{A} \tilde{t}(x) \quad (17)$$

如图 3 所示,调整后的信息图轮廓更清晰,天空区域更真实,利于色彩恢复。

4 实验结果分析

本文引用了一个通用的综合图像质量评价函数 (Comprehensive Image Quality Assessment Func-

tion, CAF)来评价去雾效果图的质量^[9]:

$$CAF = AIE * APCL * AHF * NNF * ABWF \quad (18)$$

式中 AIE、APCL、AHF、NNF 和 ABWF 分别表示平均信息熵、平均物理对比度级、平均层次因子、平均亮度归一化邻近距离和平均带宽因子。CAF 的值越大,图像视觉质量越好。实验结果表明本文方法的去雾效果图的 CAF 值均大于 He 的结果,即本文方法的效果图质量优于 He 的效果图。见图 4。

5 结束语

本文在理论分析并结合实验观察了基于暗通道先验知识去雾算法的基础上,针对其存在的三个不足之处,提出了改进方法,实验结果可知,本文改进的暗通道去雾算法在处理速度上有很大的提高,在处理存在大面积空白区域和色彩单一的图像时能有效避免失真和光晕现象,并能增强对其的去雾效果。

通过客观和主观评价,验证了去雾效果图质量的改善.但是对于调整信息图,本文参数 L 需要手动调

整,并且对于去雾效果图没有统一的评价函数,因此,这两点将成为我们接下来的工作.

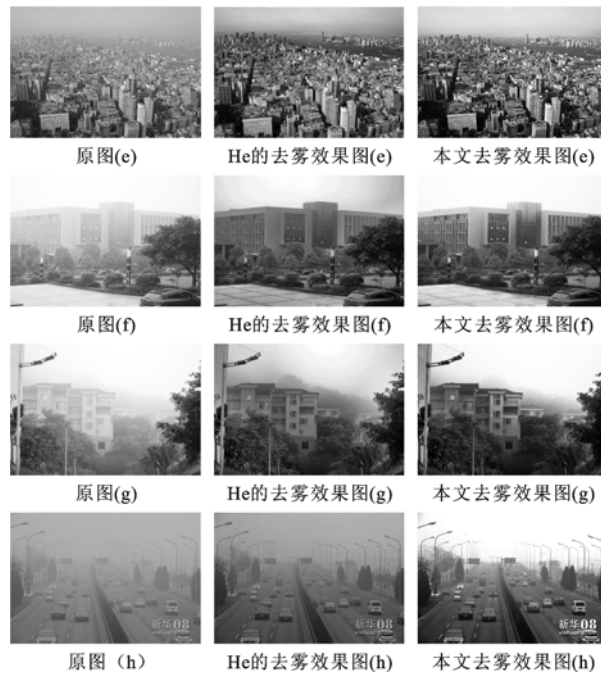


图4 实验结果图与 He 的结果对比

参考文献:

- [1] He Kaiming, Sun jian, TangXiaoou. Single image haze removal using dark channel prior[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(12): 2341-2353.
- [2] 孙红光, 房超, 张慧杰. 一种自适应基于暗通道先验的去雾方法[J]. 吉林大学学报, 2012, 50(5): 987-992.
- [3] Fattal R. Single image dehazing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 721-729.
- [4] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. A closed form solution to natural image matting[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Computer Society, 2008, 30(2): 228-242.
- [5] 陈勇, 李愿, 谢正祥. 标准化变化在视频隐形图像重现中应用[J]. 半导体光电, 2013, 34(2): 307-310.
- [6] 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.

- [7] 郭璠. 图像去雾方法和评价及其应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [8] He K M, Sun J, Tang X O. guided image filter[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(6): 1307-1409.
- [9] 陈勇, 李愿, 吕霞付, 等. 视觉感知的彩色图像质量积极评价[J]. 光学精密工程, 2013, 21(3): 742-750.

作者简介:

方紫娟 女, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为视频图像处理及应用.

谢正祥 男, (1938—), 教授, 博士生导师. 研究方向为生物学信号和图像处理.

吕霞付 男, (1966—), 教授, 研究生导师. 研究方向为视频图像处理及应用.

冯 鹏 男, (1987—), 硕士研究生. 研究方向为视频图像处理及应用.

(上接第 73 页)

- [5] Jeremy Yung, Shern Low, Chiphong Chang. A new RNS scaler for[J]. IEEE Symposium on Circuits and Systems, 2011(59): 1431-1434.

作者简介:

赵英旭 男, (1989—), 硕士研究生. 研究方向为 SoC 的设计.

李 磊 男, (1982—), 博士. 研究方向为 ASIC 和 SoC 的设计.