

文章编号:1004-4213(2011)09-1419-4

单幅图像的去雾新算法

黄黎红

(莆田学院 电子信息工程系, 福建 莆田 351100)

摘 要:提出了一种基于单幅图像的去雾新算法. 首先把图像归一化后从 RGB 彩色空间转换到 HSI 彩色空间, 对色调分量运用四叉树分割法进行分割图像; 分割后图像的每一局部小方块可以认为具有相同的场景深度, 从而可以对每一局部小方块估计出空气光. 然后再对亮度分量运用雾天图像光学模型, 从雾的物理特性上去除雾对图像的影响. 最后再对图像的饱和度分量进行校正, 得到复原后的图像. 该算法的主要优点是速度快, 且不仅可以应用于彩色图像, 也可以适用于灰度图像. 通过该算法与其它几种算法的实验结果进行分析和比较, 表明该算法能有效恢复出清晰图像.

关键词:单幅图像去雾; 物理模型; 图像复原; 四叉树分割

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20114009.1419

0 引言

有雾天气下, 光在大气介质中传播时会受到悬浮颗粒散射、折射等复杂作用而发生变化, 导致户外监控系统获取的景物图像对比度下降、颜色退化, 严重影响了监控系统性能发挥. 因此, 对恶劣天气条件下(雾、霾、雨、烟等)的景物图像进行清晰化处理具有重要意义. 最近几年单幅图像的去雾方法成为研究热点, 出现了越来越多的去雾方法. 尽管如此, 由于雾对图像的影响与未知的场景深度信息有关, 基于单幅图像^[1-8]的去雾仍然面临很大的挑战. Fattal^[6]提出基于独立分量分析的方法(Independent Component Analysis, ICA), 在马尔可夫随机场(Markov Random Field, MRF)框架的约束下实现了单幅图像的去雾. 但是该方法依赖于整幅图像的颜色信息, 因此仅适用于彩色图像, 对灰度图像不成立; 且当存在较大噪音(例如: 浓雾区域), 该法会失效. 文献[3-4]中的方法都既适用于彩色图像, 也适用于灰度图像. Tan^[3]认为清晰图像应该比雾天图像具有更高的对比度, 通过最大化局部对比度来去雾, 但该法对本身饱和度较高的场景往往不能得到较好的效果, 容易造成图像色彩过饱和而失真. He^[4]等通过对大量户外自然图像的统计实验得出, 在户外无雾图像中, 绝大多数图像块中都有几个在某个色彩通道亮度值很小的像素, 于是提出

一种基于暗原色先验知识的统计方法, 并用拉普拉斯矩阵对图像进行修补, 从而达到去雾的目的; 该法对那些符合暗通道(Dark Channel Prior, DCP)假设的图像效果非常显著, 而对那些有大片白色区域的图像处理的效果会失真. 更主要的是, Tan 算法和 He 算法处理速度都较慢. He 算法由于需要对图像运用拉普拉斯修补矩阵进行修补, 并分别对三个通道(R、G、B)进行处理, 导致速度过低, 如对 600×400 图像的处理时间, Tan 算法和 He 算法分别是 5~7 min 和 10~20 s. 本文提出运用四叉树法对图像的色调(对彩色图像)或灰度(对灰度图像)进行分割, 并在 He 暗通道法的基础上加以改进, 获得图像的空气光, 只对图像的亮度进行复原处理(而不是对三个通道进行处理), 最后再对图像的饱和度(对彩色图像)进行校正, 大大提高了算法的运算速度, 该算法既适用于彩色图像, 也适用于灰度图像, 对 600×400 彩色图像的处理时间仅为 3~4 s.

1 大气退化物理模型

在有雾等恶劣天气条件下, 散射是造成图像退化的主要原因. 大气散射是一个复杂的过程, 它取决于大气中悬浮微粒的类型、大小、浓度以及光的波长、极化状态等. McCartney 于 1975 年提出了著名的大气散射模型, 即

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

基金项目:福建省教育厅科技研究项目(No. JB10142)资助

第一作者:黄黎红(1971-), 女, 副教授, 硕士, 主要研究方向为光学测试与混合图像处理. Email: hhhlll009@yahoo.com.cn

收稿日期:2011-01-01; **修回日期:**2011-03-16

$$t(x) = e^{-\beta d} \quad (2)$$

式中, $I(x)$ 是输入的含雾图像(灰度图像或 RGB 图像)的辐射信息; $J(x)$ 为来自目标的辐射信息; x 代表二维空间位置; A 为全局大气光, 通常假设为全局常量; $t(x)$ 为传输衰减函数, 表示目标辐射信息的透过率; β 为空气的散射系数; d 为场景深度. 设空气光为 $V(x)$, 即

$$V(x) = A[1 - t(x)] \quad (3)$$

则式(1)改为

$$I(x) = J(x) \left[1 - \frac{V(x)}{A} \right] + V(x) \quad (4)$$

假如能够估算出空气光 $V(x)$ 和大气光 A , 则复原后的图像为

$$J(x) = \frac{I(x) - V(x)}{1 - \frac{V(x)}{A}} \quad (5)$$

2 图像复原算法

2.1 基于四叉树法的图像局部小方块的分割

假设大气光 A 为全局恒定. 假设局部小区域内雾对图像造成的退化程度相同, 即传输值 $t(x)$ 和空气光 $V(x)$ 相同. 因此, 对图像分割的要求是, 分割出的局部小方块应具有相同的场景深度. 文献[2~6, 8]都是采用平均分割法把图像分割成相等的几个小方块, 后对每个小方块内的传输值进行估计, 再用图像修补的方法对传输图进行平滑操作, 而修补方法往往需要复杂的算法, 是造成处理速度不够快的主要原因. 文献[1]采用基于颜色直方图的聚类算法(如 Mean Shift 算法), 这种算法只考虑图像中像素的颜色信息, 而忽略了颜色分布在图像中空间位置关系, 分割时容易出现颜色错分, 边缘不平滑等缺点. 四叉树分割法^[9]是在区域增长方法的基础上, 用人工智能方法进行优化, 具有算法简单、速度快、分割准确、边缘平滑等优点, 目前已广泛应用于各种图像分割中, 它递归地将图像分成许多子块, 直到子块中所有元素满足要求为止. 考虑到同一色调区域内的自然景物可看成具有同样场景深度的同一物体, 因此可以把 RGB 图像归一化后转换到 HSI 彩色空间, 对色调分量 H 运用四叉树法进行分割, 则分割出的小方块($\omega(x)$)内色调相同, 散射系数 β 基本相同, 则 $V(x)$ 相同.

2.2 大气光的估计

文献[3]首先对暗原色强度从高到低排序, 然后选择排序为第 n 的值作为全局大气光 A , n 的取值为图像的像素个数乘以 0.1%. 虽然该方法对大气光的估计做了一定的改进, 但还不够准确. 因为实际

图像大小不定, 图像上亮度较大的目标占像素数目不确定. 本文对此方法进行改进, 认为天空区域(若图像中没有天空, 则为场景深度较远处)一定在整幅图像的上方, 故可在 HIS 空间, 对亮度分量取图像的前 1/10 行的像素, 把它从高到低排序, 前第 1% 个像素的值作为大气光 A 的值.

2.3 空气光的估计

对输入的 RGB 图像 $I(x)$ 求最小值

$$W(x) = \min [I(x)] = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \omega(x)} I^c) \quad (6)$$

由式(3)可知

$$V(x) \geq 0, V(x) \leq A^c, \text{ 且 } V(x) \leq W(x) \quad (7)$$

考虑到图像强度值恒为正, 则图像在小方块内的局部标准偏差应该恒小于局部平均值, 即

$$\text{std}(J) \leq \bar{J} \quad (8)$$

由于在局部小方块内, $V(x)$ 和 A 为常量, 则由(5)知, $J(x)$ 与 $I(x)$ 成线性关系, 得

$$\text{std}(J) = \frac{\text{std}(I)}{1 - \frac{V(x)}{A}} \quad (9)$$

$$\bar{J} = \frac{\bar{I} - V(x)}{1 - \frac{V(x)}{A}} \quad (10)$$

由式(8)~(10)联立得

$$V(x) \leq \bar{I} - \text{std}(I) \quad (11)$$

由式(7)、(11)联立得

$$V(x) = \max \{ p * \min_{y \in \omega(x)} [W(x), \bar{I} - \text{std}(I), A^c], 0 \} \quad (12)$$

参量 p ($0 < p \leq 1$) 用于保留少量的雾存在, 以使处理后的图像具有一定的透视深度感, 一般取 0.95.

2.4 图像复原

在 HSI 颜色空间, 仅对亮度分量 I^{HSI} 运用式(5), 即可求出复原后的亮度分量 $J^{\text{HSI}}(x)$

$$J^{\text{HSI}}(x) = \frac{I^{\text{HSI}}(x) - V(x)}{1 - \frac{V(x)}{A}} \quad (13)$$

2.5 图像饱和度的校正

由于雾的漂白作用, 图像的饱和度会降低. 参考文献[5, 10], 饱和度 S 的复原为

$$U(x) = S(x) \frac{d_I}{d_J} e^{a_I - a_J \frac{d_I}{d_J}} \quad (14)$$

式中, a_I 、 d_I 分别是输入图像亮度分量的对数(即 $\log(I^{\text{HSI}}(x))$)的平均值和标准偏差, a_J 、 d_J 分别是输出图像亮度分量的对数(即 $\log(J^{\text{HSI}}(x))$)的平均值和标准偏差.

3 算法流程

本文算法流程如图 1. 首先在 RGB 颜色空间提

取大气光;再把图像从 RGB 空间转换到 HSI 空间,提取色调分量 H ,利用二叉树法把图像进行分割成许多小方块,在 RGB 空间对每一小方块估计出空气光,对亮度分量 I 进行复原;最后对图像的饱和度进行校正,得到最终复原效果.

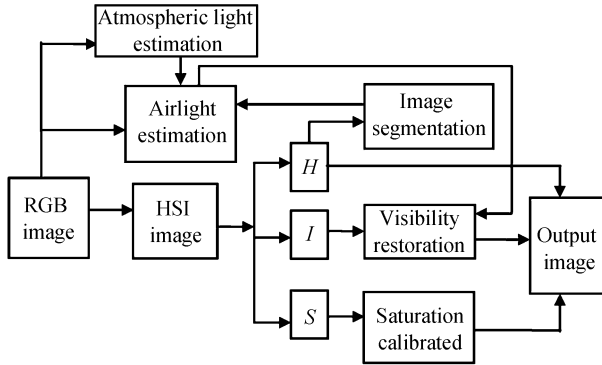


图 1 去雾算法流程图
Fig. 1 Flow chart of the defog algorithm

4 实验结果及性能分析

为了验证算法的有效性以及实用性,将本文算法和国内外最新提出的一些算法做了对比实验,如图 2~7.从图 2(b)可以看出 Tan 算法由于饱和度过饱和导致了图像颜色的失真,而本文算法不仅能很好地恢复图像的对比度,而且色彩较自然.

从图 3(b)可以看出 Fattal 处理后的图像前方的草地还存在较多的雾,而本算法的去雾的去雾更彻底.

从图 4(b)可以看出 He 等处理后图像的饱和度过大,且图像偏暗;从图 4(d)可以看出本算法处理后的图像更真实、柔和,但与 Fattal 比较,远处的雾并没有完全去掉,这是因为在本算法中,在远处保留一定程度的雾,是为了增强处理后的图像的透视深度感.

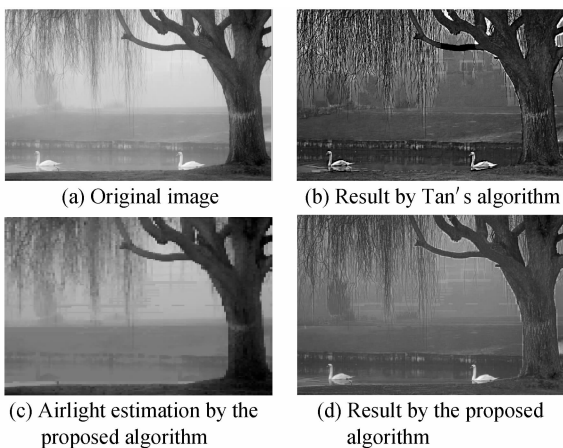


图 2 本文算法和 Tan 实验结果比较
Fig. 2 Comparison between Tan's algorithm and the proposed algorithm

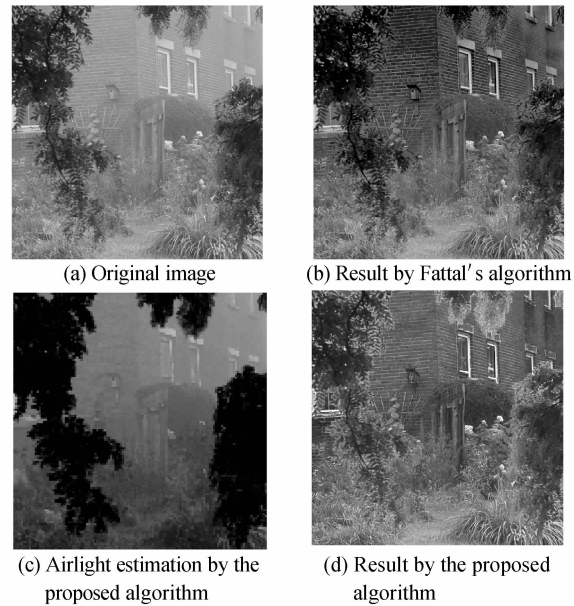


图 3 本文算法和 Fattal 实验结果比较
Fig. 3 Comparison between Fattal's algorithm and the proposed algorithm

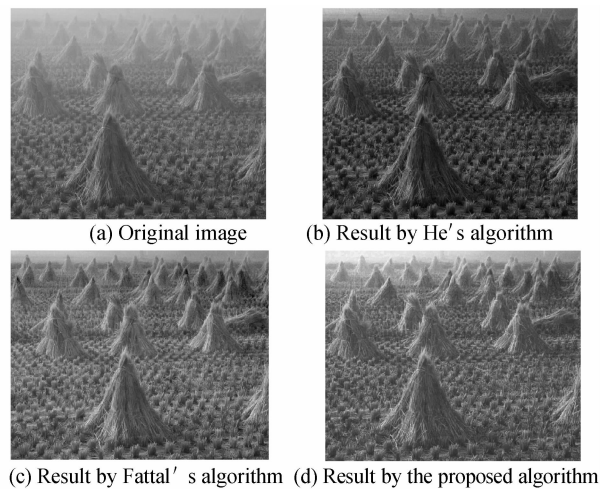


图 4 本文算法和 He、Fattal 的实验结果比较
Fig. 4 Comparisons among He's algorithm, Fattal's method and the proposed algorithm

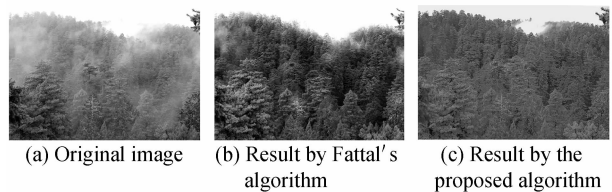


图 5 本文算法和 Fattal 算法对不均匀雾处理效果比较
Fig. 5 Comparison result in presence of inhomogeneous fog between Fattal's algorithm and the proposed algorithm

在图 5(b)中 Fattal 处理后的图像上方造成部分信息(树木)的丢失,而本算法较完整地恢复了去雾后的图像,但本算法的缺点是图像的颜色不如 Fattal 自然,这是以后需要进一步改进的地方.

图 6 分别是 Fattal、He 等、直方图均衡化以及本算法的处理效果比较.注意到我们处理后的图像细节更丰富.图 7 分别是原始图像及我们处理后的

效果图对比,表明我们算法的有效性,且能保留图像的深度透视感,色彩较真实自然.

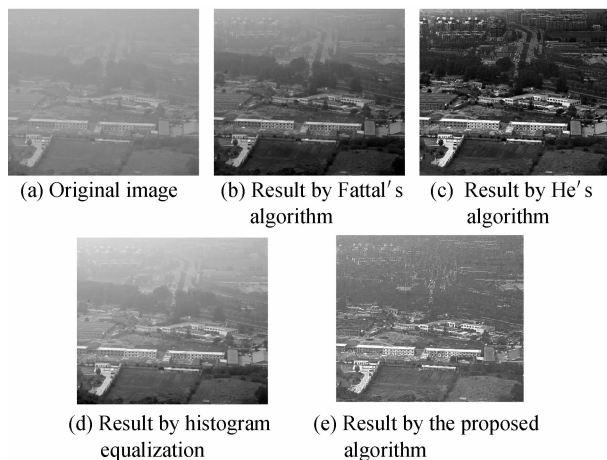


图 6 不同算法下的图像比较

Fig. 6 Comparisons for images dealed by different algorithms

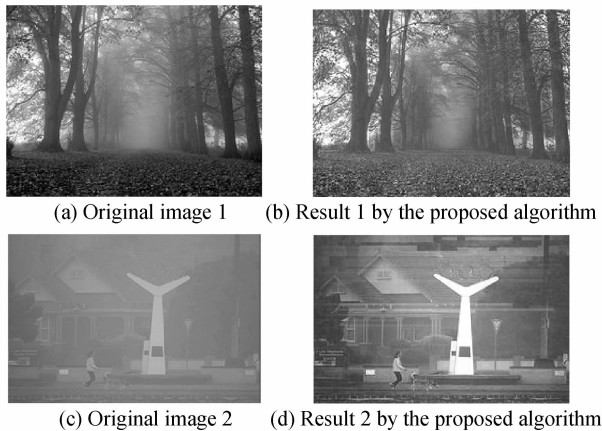


图 7 去雾效果

Fig. 7 Haze removal results

5 结论

本文提出一种基于单幅图像的雾天图像分割复原方法,利用四叉树法对图像进行分割,通过改良的暗通道法对大气光和空气光进行估计,结合雾天图像的光学模型对图像进行复原,最后再对图像的饱和度进行校正,得出最终的复原效果.从实验效果可

知本算法的有效性,且色彩真实自然.本算法具有简单、快速的优点,但也有一定的局限性,就是对空气光的估计还不是很精确,对于大雾和浓雾天气,处理效果不太理想.今后,本课题组将进一步改进算法或寻找更有效的模型应用于雾图的复原.

参考文献

- [1] CHU C T, LEE M S. A content-adaptive method for single image dehaing[C]. PCM2010, Berlin: LNCS, 2010: 350-361.
- [2] FANG Fa-ming, LI Fang, YANG Xiao-mei, *et al.* Single image dehazing and denoising with variational method[C]. IEEE Image Analysis and Signal Processing, Xiamen, Fujian, China: IEEE Press, 2010: 1-4.
- [3] TAN R T. Visibility in bad weather from a single image[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'08), Anchorage, USA: IEEE Press, 2008: 1-8.
- [4] HE Kai-ming, SUN Jian, TANG Xiao-ou. Single image haze removal using dark channel prior[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, USA: IEEE Press, 2009: 1956-1963.
- [5] TAREL J-P, HAUTIERE N. Fast visibility restoration from a single color or gray level image[C]. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'09), Kyoto, Japan: IEEE Press, 2009:1-8.
- [6] FATTAL R. Single image dehazing[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2008, **27**(3): 1-9.
- [7] WANG Duo-chao, WANG Yong-guo, DONG Xue-mei, *et al.* Single image dehazing based on bayesian framework [J]. *Journal of Computer Aided Design & computer Graphics*, 2010, **22**(10): 1756-1761.
王多超,王永国,董雪梅,等.贝叶斯框架下的单幅图像去雾算法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2010, **22**(10): 1756-1761.
- [8] FANG Shuai, WANG Yong, CAO Yang, *et al.* Restoration of image degraded by haze[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2010, **38**(10): 2279-2284.
方帅,王勇,曹洋,等.单幅雾天图像复原[J]. *电子学报*, 2010, **38**(10): 2279-2284.
- [9] YANG Bin-wei, LU Xi-qun. Anti textur noise segmentation technique for color textile images[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2009, **43**(4): 668-672.
杨彬蔚,陆系群.抗纹理噪音干扰的纺织印染图像分割技术[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2009, **43**(4): 668-672.
- [10] SHIRLEY P, FERWERDA J, REINHARD E, *et al.* Photographic tone reproduction for digital images[J]. *ACM Siggraph*, 2002(2): 267-276.

A Novel Algorithm for Single Image Dehazing

HUANG Li-hong

(*Electronics & Information Engineering Department, Putian University, Putian, Fujian 351100, China*)

Abstract: A novel algorithm for single image dehazing was proposed. Firstly, the color space is converted from RGB to HIS after the image normalization. The quadtree-segmentation is applied in hue component divided the image into elementary square units which had the same scene depth. The local airlight could be estimated from each square unit. To employ the characteristics of fog, the effects of fog on images are erased by using the optical model of foggy weather. Then the image of the restoration is obtained after the saturation component correction. The main advantage of this algorithm is reat time performance that is can be used in defogging both for color images and gray images. Compared with other algorithms, it is shown that this algorithm is able to restore foggy images effectively.

Key words: Single image dehazing; Physics model; Image restoration; Quadtree-segmentation