

暗原色先验图像去雾算法研究

嵇晓强^{1,2*}, 戴明¹, 孙丽娜¹, 郎小龙¹, 王洪^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130083; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了减小有雾天气对户外成像系统尤其是航拍视觉系统成像的影响, 提出了一种新颖快速的基于暗原色先验和雾天图像退化模型的图像去雾方法。结合航拍图像特点, 对原暗原色先验去雾算法做了优化和改进, 选取一系列户外带雾图像进行大量实验, 结果表明, 该方法能从物理特性上快速明显的去除雾的干扰, 提高图像的清晰度, 增强图像色彩和细节, 复原得到高质量的图像。实际工程测试表明, 文中方法能有效提高雾天航拍成像系统的能见度, 降低气象条件对航空成像测量方面的限制, 对提高其雾天工作的可靠性和稳定性具有重要意义。

关键词: 能见度; 去雾; 暗原色; 复原

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2011)06-0926-05

Research on the image haze-removal algorithm based on the prior dark-channel

JI Xiao-qiang^{1,2*}, DAI Ming¹, SUN Li-na¹, LANG Xiao-long¹, WANG Hong^{1,2}

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: In this paper we propose a fast and effective method to process the haze degraded image based on prior dark channel and the physical model of hazy image in order to reduce the bad effect in the outdoor visibility system especially the aerial visibility imaging system in foggy days. The method optimizes and improves the original dark-channel prior algorithm which combines the characteristics of the aerial images. Using this method, we can recover a high quality haze-free image. The experiments of processing many outdoor foggy images have been conducted, and the results demonstrate that it can efficiently remove the haze from the physical character of the haze, increase the definition of haze degraded images, enhance the details and color, and recover high quality haze-free images. The test of project indicates that it can improve the visibility of the aerial imaging system and reduce the bad weather effect on the aerial imaging and measurement.

Key words: visibility; haze removal; dark-channel; restoration

1 引言

户外场景的光学成像往往会由于受到有雾天气的影响, 造成图像对比度降低、颜色偏灰白色、物体辨认不清, 直接限制和影响了室外目标识别、公路视觉监控和卫星遥感监测等各种视觉系统效用的发挥^[1,2]。给机载可见光成像系统带来的影响更大, 严重干扰了其工作的稳定性和可靠性, 限制了其在地质灾害监测和侦查方面的应用。因此, 为了增强航拍数据的有效性和可用性, 降低气象条件对航空成像测量的限制, 对雾天图像进行有效的去雾处理有着现实和理论的迫切需要^[3]。

国内外对去雾算法的研究已取得了一些成效, 这些方法多是利用多幅图像实现对比度增强处理^[4,5]。目前, 单幅图像去雾由于具有不需要景深和大气条件等辅助信息, 应用场合不受限制等优势, 使得研究相对热门^[6-8]。但是单幅图像由于雾所依赖的深度信息未知, 一般需要借助先验或假设来达到去雾的目的。

本文引入一个全新的先验理论, 并结合航拍图像雾的分布和景深特点, 对文献[9]的去雾方法进行了优化和改进, 实现了对户外图像尤其是航拍图像的快速有效复原。

* E-mail: zuoanmulan@163.com

收稿日期: 2010-10-10 修订日期: 2014-02-18

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2008AA121803); 国家“973”计划资助项目(2009CB72400607)

2 雾天图像退化模型

本文采用的物理模型被称作 McCamey 大气散射模型, 其广泛用于计算机视觉和图形学领域中^[9-11]。根据光在雾天传输的物理特性, 其描述为

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

式中: $I(x)$ 指输入的场景图像; $t(x)$ 描述光线透射率; A 是大气光成分; J 表示场景辐射率。式(1)揭示了图像退化的原因, 包含了雾光对图像对比度和颜色方面的影响^[1,9,10,11]。分析可知, 本文的目的是利用式(1)以及已知的参数来求解得到未知参数 J 。由式(1)可以列 n 个方程, 而求解的未知数是 $n+2$ 个, 这显然是无解的病态方程, 需要增加约束条件来求解^[10]。可以利用一个有效的先验或者假设。本文以暗原色先验作为算法的约束条件, 从而顺利求解出方程中的重要参数。

3 雾天图像复原

3.1 理论背景

暗原色先验是 HE Kai-ming 等人^[11] 最新发现的, 该理论认为, 在绝大多数户外无雾图像的局部区域里, 至少存在一些像素, 其一个颜色通道的强度值很低^[1,9,10]。通过对每个像素块 R, G 和 B 三通道同时取最小化可求得 J_{dark} , 有

$$J_{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (J_c(y))) \quad (2)$$

式中: J_{dark} 即图像 J 的强度值接近于 0 的暗原色; J_c 为 J 的 R, G, B 三通道中一个通道; Ω_c 是以 x 为中心的一块区域, 这里, 假设图像块 Ω_c 具有相同的深度。在带雾图像里, 这些暗原色的强度值会变高, 并且决定着透射率的大小^[9], 这就为我们估测透射率提供了有效途径。

3.2 图像的自适应分块

文献[9]利用暗原色先验得到了一种简单而有效的去雾方法。关键的一步是将图像分块, 因为其直接影响了透射率的估计。块较小则透射率 t 估计图的细节较多, 层次感好, 但是平滑太少, 局部错误明显增多^[1], 且估计大气光 A 时会出错; 而块

Ω_c 选取的较大时局部错误减少, 但会得到分布过于单一的暗原色图, 致使 t 估计图的细节和层次感不够明显, 不能有效区分距离的远近。由于多数真实图像的雾气浓度分布不均, 使得去雾效果不明显。文献[9]中选取的大小为固定值: 15×15 。但是, 由于 Ω_c 大小已经固定, 对于尺寸不同的带雾图像, 去雾效果比较单调, 不能针对不同图像自适应的处理。考虑到航拍图像往往雾的分布较为均匀, 故航拍图像透射率 t 的分布更为平滑^[10]。针对这种情况, 为达到在细节多和错误间的平衡, 本文在对图像分块处理时, 选取图像的行和列的 3% 的最大值作为块的大小。如果一幅图像尺寸为 $m \times n$, 则块大小为 $block \times block$, 其中 $block = \max(m, n) \times 3\%$ 。这样就可以自适应的为图像分块, 避免了用整齐划一的方式去雾对大小不同图像造成的去雾效果的影响。

3.3 快速求取透射率

利用暗原色值和雾天图像退化模型可以估计出成像时刻的雾浓度和透射率 t 。假设大气光 A 已知并且在局部区域 Ω_c 内, 在透射率保持一致的条件下, 由式(1)两端进行最小化操作可求得带雾图像的暗原色为

$$\min(\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I_c(y)}{A_c})) = t(x) \min(\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{J_c(y)}{A_c})) + (1 - t(x)) \quad (3)$$

已知无雾图像的暗原色值趋近于零, 则

$$t(x) = 1 - \min(\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I_c(y)}{A_c})) \quad (4)$$

其中, 等式右侧最小值项即带雾图像在局部区域的暗原色值, 是可以求取的, 故可以求得 t 。由于在一个块内 t 的取值并不总相同以及相邻子块之间存在差异, 会使 t 的估测图存在一些小方块^[9], 在视觉上达不到满意效果。文献[9]为解决这个问题利用软件抠图来细化透射率 t , 耗费了大量的运算时间和资源。而航空成像与测量系统通常是大幅面的, 而且对系统处理的实时性要求很高, 因此本文出于对节约时间和资源角度考虑, 在优化透射率 t 传输图时参照文献[10]的思想, 采用内插算法^[10], 可在一定程度上提高运算速率。图1是利用文中方法

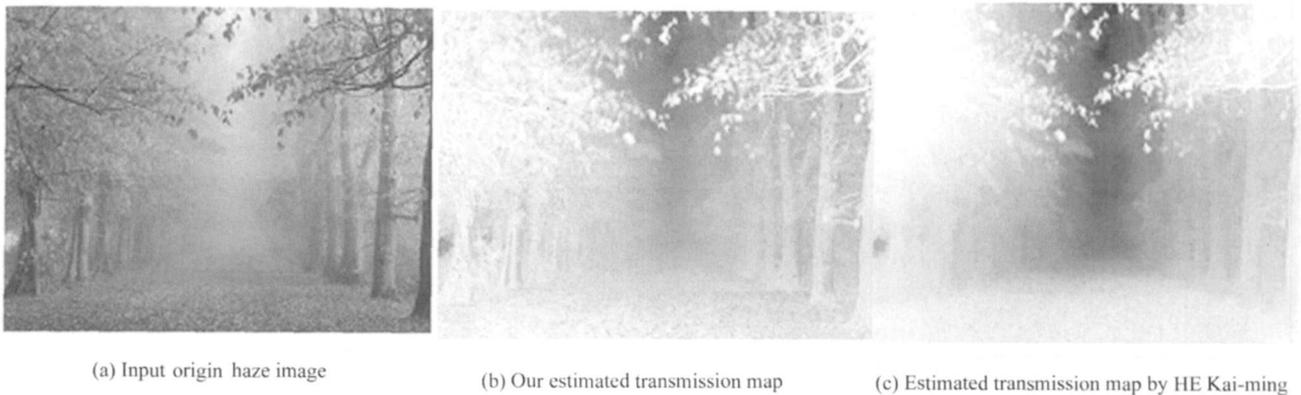


图 1 雾化图像及其透射率 t 估测图

Fig. 1 Haze image and it's estimated transmission map

以及文献[9]中方法求得的最终透射率的估测图。

3.4 复原无雾图像

得到透过滤 t 后, 式(1)中还有参数大气光 A 未得到。对

于大气光 A 的估计, 采用文献[3]和文献[9]的方法, 并辅以自适应调节的方法, 从而能快速、准确、自适应的估测 A 的值。首先提取暗原色通道中最亮的 0.1% 个像素, 并将它们在输入

图像 I 中对应的最大亮度值作为 A 值^[9,10]。最后, 加入一个调整参数, 适当的弱化一些计算区域。在参数 A 和 t 求得后由式(1)即可还原去雾图像 J 。为避免结果图像包含噪声^[9,10], 设定一个透射率的下限值 t_0 。求得 J 的公式为

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (5)$$

最后, 考虑到物体光线的亮度通常不及大气光线, 会导致去雾处理后的图像亮度降低。所以, 为提高图像质量需要增强图像亮度。图像对比度和亮度增强的方法有许多^[12-15], 本文

通过对图像像素区间进行分段拉伸的方法, 来达到加大亮暗区域的对比度, 突出图像的细节信息, 自适应的增强亮度的目的。

4 实验结果与分析

通过对网上下载的雾天降质图像以及现场拍摄的户外场景图像进行大量对比性实验, 来验证算法的有效性和可靠性。图2~图6给出了实验结果图。可以看出, 原本受雾影响模糊不清、颜色不真实的图像在细节上更清晰, 颜色上更真实, 视觉



图2 去雾结果图(I)
Fig. 2 Haze removal results(I)



图3 去雾结果图(II)
Fig. 3 Haze removal results(II)



图4 去雾结果图(III)

Fig. 4 Haze removal results(III)

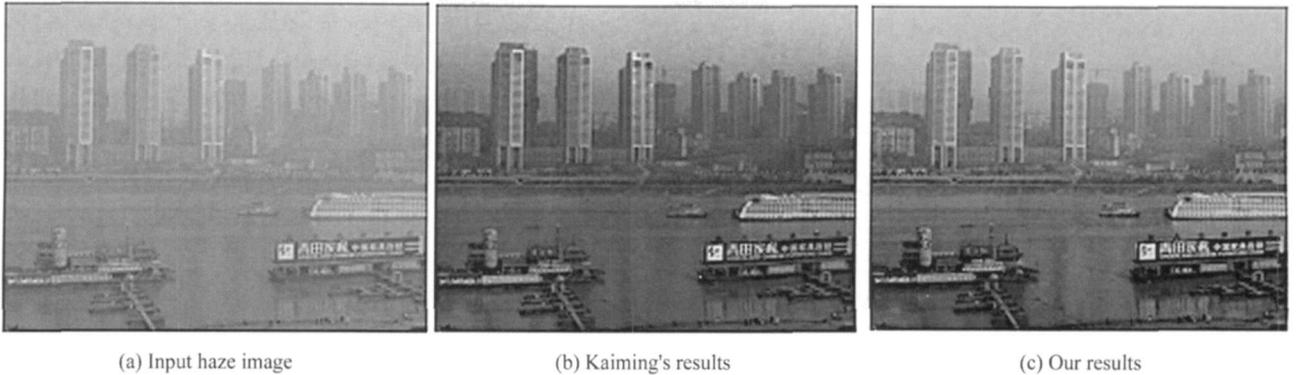


图5 去雾结果图(IV)

Fig 5 Haze removal results(IV)

效果上更令人满意。而且,对比文献[9]方法的结果图可看出,两种方法处理后的图像景物都比较清晰,并且还还原了真实色彩。

为了验证本文算法在处理时间上的优势,在同一台计算机、同一软件平台上处理一系列带雾图像,实验数据表明,本文方法在运算时间上较文献[9]大大减小。

在完成去雾处理后需要对其效果进行评价。本文引入标准差、灰度熵以及直方图等作为去雾效果的定量评价指标^[3]。大量的验证试验表明去雾前后的清晰度各项指标均有所提高。

5 结论

对 HE Kai-ming 等提出的暗原色先验理论进行了深入的分析,针对实际航拍图像特点,对基于暗原色先验的图像去雾算法进行了优化。结合雾天图像退化模型,实现了一种快速有效的雾天航拍图像去雾处理方法。重点讨论了自适应分块的方法以及如何快速估计透过率 t 的分布,并且针对大量户外及航拍带雾图像进行了实验,给出了实验结果和质量评价分析。

本文方法能够快速明显提高雾天户外图像对比度、层次感和颜色的保真度。实际工程测试表明,该方法在提高雾天机载航拍系统的能见度方面具有一定的理论价值,给计算机视觉领域或计算机图像领域的很多应用带来了极大的方便。

本文算法存在一定的局限性,在浓雾情况下,目标物体淹没在噪声中,对和雾类似目标判断的准确度存在一些不足,而且在处理时间上利用内插算法代替文献[9]的抠图算法,降低了算法的复杂度,但对于实现硬件平台的实时去雾还是有限制。下一步将寻求更好的插值算法,在保证去雾效果的基础上,减小运算时间,并尝试利用硬件 FPGA 实现机载成像系统的控制^[6]和实时去雾处理。

参考文献:

[1] FANG Shuai, WANG Yong, CAO Yang, et al. Restoration of image degraded by haze[J]. Acta Electronic 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.

[2] WU Xia-yue, GUO Bao-long, LI Lei-da. A new image denoising method based on the nonsubsampled Contourlet transform[J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2009, 20(5): 658-661.
武晓玥,郭宝龙,李雷达.一种新的基于非采样 Contourlet 变换的图像去噪方法[J].光电子·激光,2009,20(5):658-661.

[3] JI Xia-qiang, FENG Yu-ping, DAI Ming, et al. Real-time defogging processing of aerial images[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing[C]. Chengdu, China, 2010, 9: 1556-1600.

[4] SHI Wen-xuan, WU Min-yuan, DENG De-xiang, et al. Implementation of eliminating cloud and mist noise from remote sensing images[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(1): 266-272.
石文轩,吴敏渊,邓德祥.遥感图像去云雾噪声的实现[J].光学精密工程,2010,18(1):266-272.

[5] WU Jia-wei, WU Chun-ferg, TUO wen-bo. Design of real-time infrared image enhancing system[J]. Optics and Precision Engineering, 2009, 17(10): 2612-2619.
吴家伟,武春风,虞文波.红外图像实时显示增强系统设计[J].光学精密工程,2009,17(10):2612-2619.

[6] Tan R. Visibility in bad weather from a single image[A]. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. Alaska, USA, 2008, 1: 1-8.

[7] Fatah R. Single image dehazing[J]. ACM Transactions on Graphics, SIGGRAPH, 2008, 3(27): 1-9.

[8] Jean-Philippe Tarel. Fast visibility restoration from a single color or gray level image[A]. Proceedings of IEEE Conference on International Conference on Computer Vision[C]. Kyoto, Japan, 2009, 10: 20-28.

[9] HE Kai-ming, SUN Jian, TANG Xiao-ou. Single image haze removal using dark channel prior[A]. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C]. MI-

- ami, 2009, 1956-1963.
- [10] YANG Jing-yu, ZHANG Yong-sheng, ZOU Xiao-liang, et al. Using dark channel prior to quickly remove haze from a signal image[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2010, 11(35): 1292-1295.
杨靖宇, 张永生, 邹晓亮, 等. 利用暗原色先验知识实现航空影像快速去雾[J]. 武汉大学学报. 信息科学版, 2010, 35(11): 1292-1295.
- [11] ZHANG Li, YANG An-Hong, LI Xi-tao. Model and realization for island area images dehazing[J]. Journal of Geomatic Science and Technology, 2010, 27(8): 265-269.
张丽, 杨安洪, 李新涛, 等. 海岛区域影像薄雾处理模型与实现[J]. 测绘科学技术学报, 2010, 27(8): 265-269.
- [12] Narasimhan S G, Nayar S K. Contrast restoration of weather degraded images[A]. Proceedings of IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence[C]. Berlin, Germany, 2003, 7: 713-724.
- [13] ZHANG Da-qi, QU Shi-ru, HE Li. Application of automatic image enhancement technique to road defect detection systems [J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(8): 1869-1876.
张大奇, 曲仕茹, 何力. 路面病害检测系统中的图像增强技术 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(8): 1869-1876.
- [14] GE Wei, LI Gui-ju, CHENG Yu-qi, et al. Face image illumination processing based on improved Retinex[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(4): 1011-1020.
葛微, 李桂菊, 程宇奇, 等. 利用改进的 Retinex 进行人脸图像光照处理[J]. 光学精密工程, 2010, 18(4): 1011-1020.
- [15] CHEN Zhi-gang, YIN Fu-chang. Enhancement of remote sensing image based on Contourlet transform[J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16(10): 2030-2037.
陈志刚, 尹福昌. 基于 Contourlet 变换的遥感图像增强算法 [J]. 光学精密工程, 2008, 16(10): 2030-2037.
- [16] WANG Rui, YU Yong-jiang, LI Bao-hua, et al. Dual laser synchronization control system based on FPGA[J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2010, 2(21): 200-203.
王睿, 于永江, 李宝华, 等. 基于 FPGA 的双激光器同步控制的实现 [J]. 光电子·激光, 2010, 2(21): 200-203.

作者简介:

嵇晓强 (1982-), 女, 吉林德惠人, 博士研究生, 主要从事机载视频图像处理及实时图像增强技术的研究。