

文算法的结果纹理清晰、对比度高以及图像复原程度好。由于 Huang 算法得到的图像在某些颜色通道上没有得到修复,色调单一,与原图都具有较低的数值,所以其均方误差小,峰值信噪比偏大。且 PSNR 并未考虑到人眼视觉系统的特性(人眼对亮度对比差异的敏感度高于色度、对低频的对比差异

敏感度相对较高以及周围邻近区域会影响人眼对一个区域的感知结果等),故经常出现参数评价结果与人的主观评价不一致的情况。在算法的时间开销上,由于本文算法与 Huang 算法都涉及到参数遍历过程,算法运行时间较长。总体相比之下,本文算法的复原效果最优。

表 1 实验结果参数对比
Table 1 Comparison of experimental results

图像	算法	参数					
		C	H	GMG	PSNR/dB	EME	时间/s
图像 1	YY	0.13	6.87	0.012	28.90	1.95	2.97
	Huang	0.14	6.84	0.016	39.52	2.40	314.84
	本文	0.32	7.45	0.031	28.33	6.51	6.20
图像 2	YY	0.18	7.44	0.010	25.29	1.87	2.45
	Huang	0.17	7.25	0.025	28.48	3.61	186.43
	本文	0.27	7.66	0.028	25.75	3.98	5.66
图像 3	YY	0.20	15.11	0.010	6.61	1.92	3.35
	Huang	0.27	13.09	0.014	18.87	2.79	629.18
	本文	0.32	15.44	0.025	10.64	5.40	8.87

本文算法从透射率图与目标反射光之间的不相关性出发,利用结构相似性合理地推导出计算水体透射率的公式,定量地估计透射率;文中不直接求取偏振度,而利用偏振差分图像来间接的计算透射率,避免了差分图像对偏振度的估计不准确导致复原失效的问题,减少处理过程中噪声。相比其他两种算法,得到的复原图像各项指标良好、对比度较高、色彩较均衡。但是算法对原图像的获取要求较高,否则在图像差分容易产生噪声。且存在对参数迭代过程,运行时间有待改善。

3 结论

本文基于对水下偏振成像模型的分析,结合透射率图与目标反射光之间的统计无关性,使用偏振差分图像计算透射率初始值,通过迭代计算结构相似性推演的关系式得到水体透射率,然后反推偏振成像模型得到目标反射光图像,有效地解决了水下偏振图像细节模糊、对比度低的问题。算法最后对目标反射光进行颜色校正得到最终复原图像,去除了原图像的颜色失真。实验结果表明,相比于 YY、Huang 两种算法,本文算法能够更大程度的提高水下偏振图像的对比度、清晰度和色彩均衡性,为水下目标的识别和分析提供了重要的基础。

参考文献(References)

[1] Du A P, Zhao Y Q, P Q, et al. Image enhancement algorithm based on polarization character[J]. Computer Measurement & Control. 2007, 15(1): 106-108. [都安平, 赵永强, 潘泉, 等. 基于偏振特征的图像增强算法[J]. 计算机测量与控制. 2007, 15(1): 106-108.]

[2] Zhao Y Q, Pan Q, Zhang H C. Calculation method of stokes images based on sequence image fusion[J]. Journal of Optoelectronics Laser. 2005, 16(3): 354-357. [赵永强,

潘泉, 张洪才. 基于图像序列融合的Stokes图像计算方法[J]. 光电子 激光. 2005, 16(3): 354-357.]

[3] Cao N W, Liu W Q, Zhang Y J. Measuring the depolarization for scattering light at several kinds of media[J]. Acta Physica Sinica. 2000, 49(4): 647-653. [曹念文, 刘文清, 张玉钧. 几种散射介质散射光解偏度的测量[J]. 物理学报. 2000, 49(4): 647-653.]

[4] Cao N W, Liu W Q, Zhang Y J. Quantitative study of improvements of the imaging contrast and imaging range by the polarization technique[J]. Acta Physica Sinica. 2000, 49(1): 61-66. [曹念文, 刘文清, 张玉钧. 偏振成像技术提高成像清晰度、成像距离的定量研究[J]. 物理学报. 2000, 49(1): 61-66.]

[5] Liu W Q, Cao N W. Laser polarization image of underwater objects[J]. Chinese Journal of Quantum Electronics. 1997(6): 520-526. [刘文清, 曹念文. 水下物体的激光偏振成像研究[J]. 量子电子学报. 1997(6): 520-526.]

[6] Zhao R, Gu G H, Yang W. Visible light image enhancement based on polarization imaging[J]. Laser Technology. 2016, 40(2): 227-231. [赵蓉, 顾国华, 杨蔚. 基于偏振成像的可见光图像增强[J]. 激光技术. 2016, 40(2): 227-231.]

[7] Ma W Y. Underwater target detection based on the polarization features[J]. Electronic Measurement Technology. 2014, 37(12): 90-92. [马伟英. 基于偏振特征的水下目标检测[J]. 电子测量技术. 2014, 37(12): 90-92.]

[8] Li H L, Wang X, Zhang C T, et al. The development and analysis of target detection research based on polarization imaging technology[J]. Optical Technique. 2009, 35(5): 695-700. [李海兰, 王霞, 张春涛, 等. 基于偏振成像技术的目标探测研究进展及分析[J]. 光学技术. 2009, 35(5): 695-700.]

[9] Schechner Y Y, Karpel N. Clear underwater vision[C]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on IEEE, 2004:I-536-I-543 Vol.1.

[10] Cronin T W, Marshall J. Patterns and properties of polarized light in air and water[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 2011, 366(1565): 619-626.

- [11] Cronin T W, Chiou T H. Polarization signals in the marine environment[J]. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2003, 5158: 85-92.
- [12] Schechner Y Y, Karpel N. Recovery of underwater visibility and structure by polarization analysis[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2005, 30(3): 570-587.
- [13] Huang B, Liu T, Hu H, et al. Underwater image recovery considering polarization effects of objects[J]. Optics Express. 2016, 24(9): 9826.
- [14] Zhou M. Research of polarization-based analysis of hazy image[D]. Hefei University of Technology.2012. [周明. 偏振信息在雾天图像分析中的应用研究[D]. 合肥工业大学, 2012.]
- [15] Guo J C, Li C Y, Guo C L, et al. Research progress of underwater image enhancement and restoration methods[J]. Journal of Image and Graphics, 2017, 22(3): 273-287. [郭继昌, 李重仪, 郭春乐, 等. 水下图像增强和复原方法研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2017, 22(3): 273-287.]
- [16] Ma J X, Fan X N, Wu Z X, et al. Underwater dam crack image enhancement algorithm based on improved dark channel prior[J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(12): 1574-1584. [马金祥, 范新南, 吴志祥, 等. 暗通道先验的大坝水下裂缝图像增强算法[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(12): 1574-1584.]
- [17] Yu C Y, Xu X D, Lin H X, et al. Low-illumination image enhancement method based on a fog-degraded model[J]. Journal of Image and Graphics, 2017, 22(9): 1194-1205. [余春艳, 徐小丹, 林晖翔, 等. 应用雾天退化模型的低照度图像增强[J]. 中国图象图形学报, 2017, 22(9): 1194-1205.]
- [18] 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): 147-153. [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): 147-153.]
- [19] Treibitz T, Schechner Y Y. Active polarization descattering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence. 2009, 31(3): 385.
- [20] Fattal R. Single image dehazing[C]. ACM SIGGRAPH Conference 2008, 27(3): 1-9.
- [21] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society. 2004, 13(4): 600-612.
- [22] Di H W, Liu X F. Image fusion quality assessment based on structural similarity[J]. Acta Photonica Sinica. 2006, 35(5): 766-771. [狄红卫, 刘显峰. 基于结构相似度的图像融合质量评价[J]. 光子学报. 2006, 35(5): 766-771.]