

文章编号:1673-5005(2008)04-0157-04

基于图像融合的水下成像技术

李代林, 朱化凤, 裴红艳

(中国石油大学 物理科学与技术学院, 山东 东营 257061)

摘要:开发了一种基于偏振成像和图像融合的新型水下成像技术。该技术是利用小波的多尺度和多分辨率特性,将一组偏振方向相互垂直的两幅源图像分别分解后进行加权融合处理,最后利用小波逆变换重构融合后的偏振图像。用图像的均值、标准差、信息熵和方差等参量对融合效果进行了评价。实验和仿真结果表明该方法十分有效,可极大地提高图像质量。

关键词:偏振成像;小波变换;图像融合;水下物体

中图分类号: TN 249; TN 248.4 **文献标识码:** A

Underwater imaging technology based on image fusion

LI Dai-lin, ZHU Hua-feng, PEI Hong-yan

(College of Physics Science and Technology in China University of Petroleum, Dongying 257061,
Shandong Province, China)

Abstract: A novel underwater imaging technology based on polarization imaging and image fusion was developed. According to the characteristics of multi-scale and multi-resolution of wavelet transform, the technology can be applied to decompose a pair of orthogonally polarized images into basic blocks respectively, and then to fuse the wavelet coefficients to finally obtain the fused image by inverse wavelet transform. The fused images were evaluated by calculating the mean, standard variation, information entropy and variance to quantitatively examine the method. The results from experiments and simulations show that this method is effective and may improve the image quality substantially.

Key words: polarization imaging; wavelet transform; image fusion; underwater object

我国绝大多数油田为陆相沉积油田,油藏非均质严重,天然能量不足,采用注水方式开采的储量占总储量的 85% 以上^[1-2]。经过几十年的开发生产,注水方式开采的油田地质条件变得越来越复杂,加之频繁的油水井措施和修井施工以及井身结构、固井质量、套管材质与腐蚀等诸多因素的影响,井套管技术状况变得越来越差,仅胜利油田每年新增套管变形、穿孔、破裂、错断等套损井就近 400 口^[3-4]。油田大量套损井的存在,严重地影响了油田生产的正常进行,制约了油田高效开发。这些都要求测井从方法理论到测量技术有更新的发展。井下视频测井是利用光学成像原理,将井下情况直接反映到地面显示终端,在测井现场实时显示测井图像,具有直观性、及时性和准

确性等优点^[5]。但是,由于水介质具有强散射效应和快速吸收功率衰减的特性,直接将摄像机运用到水下时,水粒子的强散射效应使得图像的噪声很大,目视特征不明显^[6]。图像融合方法在航空遥感图像处理中已有报道^[7-8],笔者拟利用偏振成像技术和基于小波变换的图像融合技术,消除水粒子散射光对成像的影响,并突出图像的结构特征。

1 原理

1.1 偏振成像理论

光波本身是一种矢量波,光波在其垂直传播方向的平面内不同方向上振幅不同的现象称为光的偏振,它一般用斯托克斯参数来表示:

收稿日期:2008-01-15

基金项目:国家自然科学基金项目(40704021)

作者简介:李代林(1973-),男(汉族),山东济宁人,讲师,博士,主要从事光学测井与光学检测工作。

$$S = \begin{bmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle I_x^2 + I_y^2 \rangle \\ \langle I_x^2 - I_y^2 \rangle \\ 2I_x I_y \cos \gamma \\ 2I_x I_y \sin \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I(0^\circ) + I(90^\circ) \\ I(0^\circ) - I(90^\circ) \\ I(45^\circ) - I(135^\circ) \\ I(r) - I(l) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, I 为入射光的总光强; $I(0^\circ)$, $I(90^\circ)$, $I(45^\circ)$, $I(135^\circ)$, $I(r)$ 和 $I(l)$ 分别表示放置在光波传播路径上一理想偏振片在 0° , 90° , 45° , 135° 方向上的线偏振光以及左旋(l)和右旋(r)圆偏振光强。本文中采用文献[9]中的实验装置获取水中偏振图像。实验装置简图见图1。

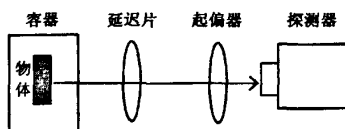


图1 实验装置简图

1.2 基于小波变换的图像处理

利用小波进行图像分解实质是2维滤波和抽取的过程,1988年Mallat在图像的分解和重构的塔式算法启发下,根据多分辨率理论,提出了小波分解与重构的快速算法,即Mallat算法^[10-11]。对于任一2维图像信号 $f(m, n)$, Mallat 图像分解算法可表示为

$$S_{i,k}^j = \sum_{n,m} h(n-2i)h(m-2k)S_{n,m}^{j-1}, \quad (2)$$

$$\alpha_{i,k}^j = \sum_{n,m} g(n-2i)h(m-2k)S_{n,m}^{j-1}, \quad (3)$$

$$\beta_{i,k}^j = \sum_{n,m} h(n-2i)g(m-2k)S_{n,m}^{j-1}, \quad (4)$$

$$\gamma_{i,k}^j = \sum_{n,m} g(n-2i)g(m-2k)S_{n,m}^{j-1}. \quad (5)$$

式中, $h(n)$ 和 $g(n)$ 分别为对应同一小波基的低通和高通滤波器; $S_{i,k}^j$, $\alpha_{i,k}^j$, $\beta_{i,k}^j$ 和 $\gamma_{i,k}^j$ 分别对应低频子图像及水平、垂直和对角方向上的子图像,它们的大小是原来图像的1/4。对低频像进一步实施小波变换,可分解成下一级4个子带分量。

基于小波变换的偏振图像融合方法是:先选取偏振方向相互垂直的两幅原始图像,分别进行图像的小波分解以形成其多尺度分解图像;然后在各小波分解图像的相应分解层上,分别进行加权融合处理,形成融合后的小波多尺度图像;最后利用小波逆变换重构融合后的偏振图像。

2 实验结果

实验物体为一枚2000年发行的壹角人民币硬币,实验时物体背面朝向电荷耦合器件(CCD)放置于盛满清水的容器中。调整检偏器的偏振方向得到4种偏振状态下的硬币背面的原始偏振图像,即 0° 偏振图像、 90° 偏振图像、 45° 偏振图像和 135° 偏振图像,再送入计算机进行图像处理。先对两组相互正交的偏振图像进行2维离散小波变换,然后按照分解后对应的层数分别进行图像的相减和相加处理,再利用小波逆变换重构融合后的偏振图像。获得的图像分别称为异或图像(相减)和或图像(相加)。实验中基小波采用“sym4”。图像融合后的结果分别如图2和图3所示。

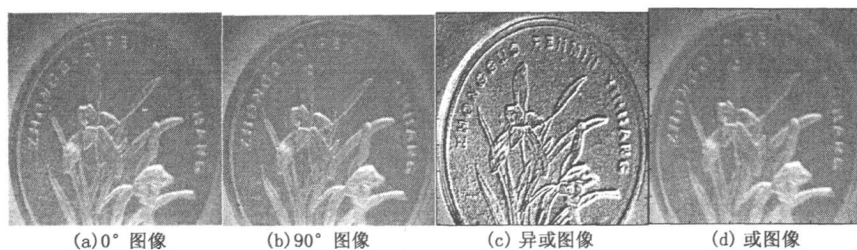


图2 0° 偏振图像、 90° 偏振图像和融合图像

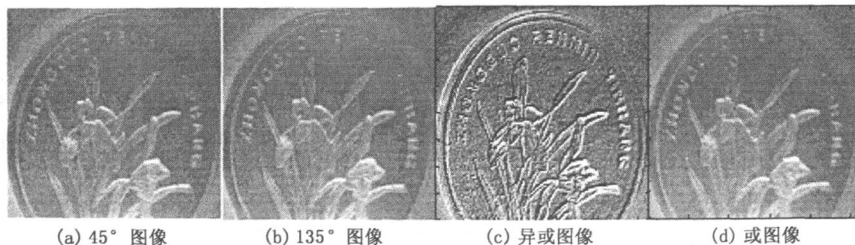


图3 45° 偏振图像、 135° 偏振图像和融合图像

比较图 2 和图 3 中原始偏振图像和融合后图像不难看出,融合后图像,尤其是异或图像,物体的兰花图案和“ZHONGGUO RENMIN YINHANG”字母等图像特征的清晰度和对比度大大增强,极大地改善了物体特征的视觉效果,有效地消除了水粒子散射光对成像的影响。

为进一步评价融合效果,利用图像的统计特性,即均值、标准差、信息熵和方差等参数进行了融合图像分析及效果评价。其中,图像均值为像素的灰度平均值,对人眼反映为平均亮度。标准差则反映了灰度相对于灰度均值的离散情况,标准差越大,则灰度级分布越分散。图像的熵和方差是衡量图像信息丰富程度的 2 个重要指标。如果融合图像的熵和方差值越大,说明融合图像的信息量增加。两组图像的统计特性参量分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 0°图像和 90°图像与融合图像的统计特性

图像类别	均值 m	标准差 s	信息熵 e	方差 σ^2
0°图像	119.331 3	21.969 8	6.073 3	59.478 0
90°图像	118.440 1	22.129 2	6.023 8	60.404 2
异或图像	125.569 6	102.770 2	7.107 1	$1.056 2 \times 10^4$
或图像	118.885 7	20.999 3	6.178 6	440.971 5

表 2 45°图像和 135°图像与融合图像的统计特性

图像类别	均值 m	标准差 s	信息熵 e	方差 σ^2
45°图像	118.796 1	22.105 0	6.055 7	58.934 6
135°图像	119.399 8	22.384 3	6.072 2	60.746 6
异或图像	123.626 1	86.788 1	7.130 4	7 532.2
或图像	119.097 9	21.517 7	6.207 9	463.009 6

由表 1,2 中数据可以看出,偏振融合图像特点及对应的评价指标如下:

① 异或图像均值都比原始偏振图像高,使图像的平均亮度增加,改善了视觉效果,而或图像的均值基本不变。

② 异或图像标准差都比原始偏振图像提高大约 4 倍左右,说明图像的灰度分布分散程度大大增加,而或图像的标准差和原始图像相比稍微减小。

③ 异或图像和或图像的熵值和方差均比原始图像大,说明融合图像从原始图像提取的信息量变大。以表 2 数据为例,异或图像和或图像的信息熵分别增加 17.50% 和 2.38%,其方差分别是原图像的 125.87 倍和 7.74 倍。

由以上各项分析可以看出,融合后的图像均可不同程度地改善图像的品质,偏振相减图像技术对提高水下物体成像品质效果更为明显,更适合水下图像技术处理。

3 结束语

采用基于小波变换的偏振图像融合技术,给出了两种融合方式的不同融合结果。实验结果表明,偏振方向相互垂直的偏振图像相减技术,能够有效地消除水粒子散射光对成像的影响,改善目视效果和增大图像的信息量,突出目标的主要特征。该技术方案算法简单易行,可方便在 DSP 等硬件中实现,在水下成像系统中有较为广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 林博,戴俊生,陆先亮,等. 河流相储集层夹层的三维空间分布研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2006,30(4):17-20.
LIN Bo, DAI Jun-sheng, LU Xian-liang, et al. Study on three dimensional spatial distribution model for interlayer in fluvial facies reservoir[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2006,30(4): 17-20.

[2] 石晓军,王立杰,邵春伟. 我国油田随机前沿技术效率与全要素生产率研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(5):125-129.
SHI Xiao-jun, WANG Li-jie, SHAO Chun-wei. Study of technical efficiency measurement and total factor productivity of China's oil fields by stochastic frontier method [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2006,30(5):125-129.

[3] 赵洪山,管志川. 油层出砂引起采油套管损坏的力学分析[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2006,30(5):53-56.
ZHAO Hong-shan, GUAN Zhi-chuan. Mechanical analysis of production casing damage due to sand production [J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2006,30(5):53-56.

[4] 郝金克,刘文龙,李元宝,等. 光纤井下电视测试技术在套损井治理工作中的应用[J]. 石油仪器,2005,19(4):20-23.
HAO Jin-ke, LIU Wen-long, LI Yu-bao, et al. Application of fiber down-hole televiewer used for casing-damaged wells[J]. Petroleum Instruments, 2005,19(4):20-23.

[5] 陶果,张向林,王兵,等. 数字油田中的光纤技术[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(1):173-176.
TAO Guo, ZHANG Xiang-lin, WANG Bing, et al. Optical fiber technology in digital oil field[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2007,31(1):173-176.

- [6] 孔捷, 张保民. 激光水下成像技术及其进展[J]. 光电技术, 2006, 26(2): 129-132.
KONG Jie, ZHANG Bao-min. The review of under-water laser imaging technology and its development[J]. Optoelectronic Technology, 2006, 26(2): 129-132.
- [7] ROCKINGER O, FECHNER T. Pixel-level image fusion: The case of image sequences: Signal Processing, Sensor Fusion and Target Recognition Conference No7, Orlando FL, ETATS-UNIS[C]. c1998, 3374: 378-388.
- [8] 赵永强, 张洪才, 潘泉. 基于偏振特征的目标检测[J]. 量子电子学报, 2003, 20(6): 685-688.
ZHAO Yong-qiang, ZHANG Hong-cai, PAN Quan. Object detection through polarization characteristics [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics, 2003, 20(6): 685-688.
- [9] WOLFF L B. Applications of polarization camera technology [J]. IEEE Expert, 1995, 105: 30-38.
- [10] MALLAT S G. Multifrequency channel decomposition of images and wavelet models[J]. IEEE Trans Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1989, 37: 2091-2110.
- [11] MALLAT S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7): 674-693.

(编辑 修荣荣)

(上接第 151 页)

- [8] 赵曙光, 王宇平, 焦李成, 等. 基于自适应遗传算法的无源电力滤波器的综合优化方法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 173-176.
ZHAO Shu-guang, WANG Yu-ping, JIAO Li-cheng, et al. Adaptive genetic algorithm based optimal design approach for passive power filters [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 173-176.
- [9] 赵勇, 邓红英, 李建华, 等. 基于机会约束规划的配电网滤波装置优化配置[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(1): 12-17.
ZHAO Yong, DENG Hong-ying, LI Jian-hua, et al. Chance-constrained programming based optimal allocation of harmonic filter on a distribution network [J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(1): 12-17.
- [10] GB/T14549 - 1993 电能质量公用电网谐波[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [11] 林志清, 秦东, 杨洪耕. 基于灵敏度分析的网络固有结构理论的应用研究[J]. 四川电力技术, 2005, 28(B11): 15-18.
LIN Zhi-qing, QIN Dong, YANG Hong-geng. Study on application of the inherent structure theory of network based on sensitivity analysis [J]. Sichuan Power Technology, 2005, 28(B11): 15-18.
- [12] WALKIEH George J. 电力系统谐波——基本原理、分析方法和滤波器设计[M]. 徐政, 译. 北京: 机械工业出版社, 2003: 95-107.

(编辑 修荣荣)

(上接第 156 页)

- [3] 赵敏. 随机建模方法及其在储层建模中的应用[D]. 成都: 成都理工大学学院, 2005.
- [4] 王家华, 张团峰. 油气储层随机建模[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 45-67.
- [5] 王家华, 高海余, 周叶. 克里金地质绘图技术——计算机的模型和算法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 45-112.
- [6] 刘永社, 印兴耀, 贺维胜. 空间相关分析因素对储层建模中克里金估计结果的影响[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(2): 24-27.
LIU Yong-she, YIN Xing-yao, HE Wei-sheng. Effects of the factors for spatial correlation analysis on Kriging estimation in reservoir modeling [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(2): 24-27.
- [7] W3C Working Group. Web services architecture [EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/ws-arch/wsa.pdf>, February 2004.
- [8] HEATHER K, IBM Software Group. Web services conceptual architecture [EB/OL]. <http://www-3.ibm.com/software/solutions/webservices/pdf/WSCA.pdf>, May 2001.
- [9] 杨涛, 刘锦德. Web Services 技术综述——一种面向服务的分布式计算模式[J]. 计算机应用, 2004, 24(8): 1-4.
YANG Tao, LIU Jin-de. Survey of Web Services: a service-oriented distributed computing paradigm [J]. Computer Applications, 2004, 24(8): 1-4.
- [10] KHANH H D, MICHAEL W. Comparing agent-oriented methodologies [EB/OL]. <http://www.cs.rmit.edu.au/agents/Papers/aois2003.pdf>, May 2003.
- [11] DAVID K, MICHAEL G. Modelling and design of multi-agent systems [EB/OL]. <http://www.upv.es/sma/teoria/metodologias/articulos/technote59.pdf>, May 2006.

(编辑 修荣荣)