

文章编号: 1001-3806(2013)03-0289-04

基于小波变换的红外偏振图像融合算法

虞文俊 顾国华* 杨蔚

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院 南京 210094)

摘要: 为了改善红外图像质量、提高人造目标的可识别率,基于偏振度图像能够较好地凸显人造目标,偏振角较好地描述不同物体表面取向, I 图像能反映场景的强度信息的特征,采用对红外图像进行偏振图像融合的算法,即先通过红外热像仪和偏振片拍摄到偏振角度为 0° 、 60° 和 120° 3幅红外图像,再通过计算得到 I 、 Q 、 U 图像,进而得到偏振度图像和偏振角图像,最后对 I 图像、偏振度和偏振角图像进行红外偏振图像融合,得到高质量的红外偏振图像,由理论分析得到了各个图像的性能指标数据。结果表明,基于小波变换的红外偏振图像融合算法得到的图像数据合理,达到了改善红外图像质量和提高图像中的人造目标的可识别率的目的。

关键词: 图像处理; 红外偏振图像; 图像融合算法; 小波变换; 斯托克斯图像

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.03.004

Fusion algorithm of infrared polarization images based on wavelet transform

YU Wen-jun, GU Guo-hua, YANG Wei

(College of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Technology and Engineering, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to improve the quality of the infrared image significantly and improve the recognition rate of an artificial target, because the degree of polarization of the image can better highlight the artificial target, the polarization angle can better describe the different objects surface alignment and image I reflects the information about the intensity of the scene, the fusion algorithm of infrared polarization images based on wavelet transform was put forward. Firstly, three infrared images at polarization angle of 0° , 60° and 120° were collected with an infrared camera and a polarizer. Secondly, after calculating the I , Q , U images, the images of polarization and polarization angle were obtained. Finally, high-quality infrared polarization images were obtained by fusing image I , the images of degree of polarization and polarization angle together. After analyzing the performance data of each image, the results show that the obtained image data by means of fusion algorithm of infrared polarization image based on wavelet transform is reasonable, the quality of the infrared image and the recognition rate of the artificial objects were improved.

Key words: image processing; infrared polarization image; image fusion algorithm; wavelet transform; Stokes image

引言

红外偏振测量能够通过测量物体辐射在不同的偏振方向上的对比度解决了传统热像仪只能测量物体辐射强度的问题,但是传统热像仪不能区别辐射强度相同而偏振特性不同的物体,而红外偏振成像可以很好地解决这个问题。红外偏振成像的显著特

点就是在复杂背景下很好地区别人造目标和自然物体。红外偏振成像在军事上的应用也很广泛。

要获得高精度的红外偏振图像,即突出人造目标的高频成分以改善图像质量,需要对红外偏振图像进行图像融合。现在国内外的偏振融合方法为:一类是直接对斯托克斯(Stokes^[1-2]) 矢量进行融合;另一类是由 Stokes 矢量导出的偏振度图像、偏振角图像^[3]、Stokes 各矢量图像进行小波融合。由于直接对 Stokes 矢量进行融合没有考虑每幅图像中每个像素点和它周围像素点之间的相关性,从而丢失了图像中的一些特征信息,不能很好地在红外图像中区别人造目标和自然物体。本文中提出了一种可以充分考虑每个像素点之间的相关性、每幅图像之间

基金项目: 总装预研基金资助项目(62301020303); 江苏省青蓝工程基金资助项目

作者简介: 虞文俊(1988-),男,硕士研究生,主要研究方向为图像处理和图像融合。

* 通讯联系人。E-mail: gghnjust@jssmail.com.cn

收稿日期: 2012-08-22; 收到修改稿日期: 2012-09-10

的相关性和各个 Stokes 矢量之间的相关性的图像融合算法——基于小波变换的红外偏振图像融合算法,来得到高质量的 Stokes 参量图像。参考文献 [4] 中的融合规则过于简单,没有充分利用各参量之间的互补性,使得融合的图像整体对比度增加但图像模糊不清楚,而本文中的融合规则较合理,融合速度和效果都较参考文献 [4] 中的有所提高。

1 偏振成像的理论

1.1 偏振光的斯托克斯表示法

偏振是各种矢量波共有的一种性质,通常选用电场强度 E 来定义偏振态^[5],而描述偏振态经常使用斯托克斯矢量描述法^[6]。Stokes 描述法是由 I, Q, U, V 4 个参量来描述^[7]。因为自然中圆偏振很少,所以假设 $V=0$ 。则 I, Q, U 的具体表达式为^[8]:

$$\begin{cases} I = \frac{2}{3} [I(0^\circ) + I(60^\circ) + I(120^\circ)] \\ Q = \frac{4}{3} [I(0^\circ) - \frac{1}{2}I(60^\circ) - \frac{1}{2}I(120^\circ)] \\ U = \frac{2}{\sqrt{3}} [I(60^\circ) - I(120^\circ)] \end{cases} \quad (1)$$

偏振度 D 和偏振角 A 的表达式如下所示^[8]:

$$\begin{cases} D = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \\ A = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{U}{Q}\right) \end{cases} \quad (2)$$

1.2 偏振 CCD 地面实验装置

在偏振图像的采集过程中,所用的偏振器件、光学成像器件、相应的主控设备、显示设备等的连接关系如图 1 所示,分别得到 $0^\circ, 60^\circ$ 和 120° 红外偏振图像。

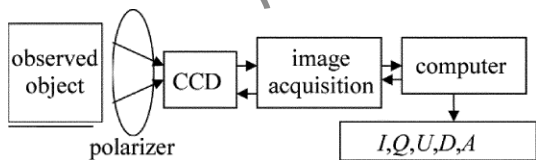


Fig. 1 Polarization system components

2 融合算法

图像融合是将多个或者单个图像传感器在不同的工作模式下所获取的图像信息加以综合,以获得高清晰高质量的图像。图像融合的方法有很多^[9],如像素层的融合方法、基于多尺度变换的融合方法、基于区域的融合方法、基于神经网络的融合方法以及基于调制的融合方法等。小波变换的

融合方法是属于多尺度变换的融合方法。利用小波变换可以将图像分解成不同尺度上的低频近似信息和高频细节信息,使用不同的融合规则对小波进行融合,最后小波反变换得到融合后的图像,小波变换融合的方法^[10]见图 2。

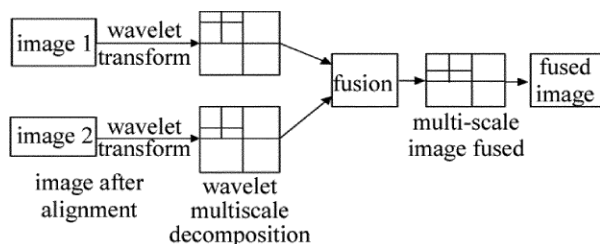


Fig. 2 Wavelet transform fusion process

由于离散小波存在平移敏感性,方向有限的缺陷,DAUBECHIES 和 SWELDENS 提出了利用提升方案构建小波。提升方案由 3 个步骤组成:分裂、预测和更新。提升方案的分解与重构^[11]见图 3。

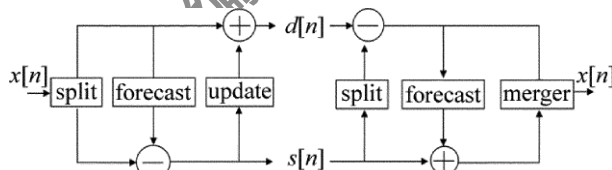


Fig. 3 Enhance the decomposition and reconstruction

因为各个偏振参量在表达偏振信息方面是冗余的、互补的,利用其直接的冗余性和互补性,偏振角图像能较好地描述不同的表面取向,偏振度图像包含了物体的偏振信息,能较好地表征人造目标、提高目标与背景的对比度, I 图像反映了场景的强度信息,所以首先将偏振度和偏振角进行融合得到偏振特征图像,再对偏振特征图像和 I 图像进行融合,得到最终的融合图像。在此提出了利用提升方案构建小波对红外偏振进行融合的算法,具体算法如下所述。

(1) 对偏振度、偏振角和 I 图像进行归一化和滤波处理。

(2) 对偏振度和偏振角图像分别进行三邻域求取每个像素点的能量,取能量绝对值大的作为融合后的偏振特征图像;求像素点能量为公式^[4]:

$$E_p = \frac{1}{M \times N} \sum_1^m \sum_1^n F(x, y)^2 \quad (3)$$

式中 $F(x, y)$ 表示图像 (x, y) 处的灰度值, M 和 N 表示邻域大小, E_p 表示像素点的能量。

$$P = \begin{cases} E_{p,D} & (|E_{p,D}| \geq |E_{p,A}|) \\ E_{p,D} \times 0.8 + E_{p,A} \times 0.2 & (|E_{p,D}| < |E_{p,A}|) \end{cases} \quad (4)$$

式中 $E_{p,D}$ 是偏振度的能量 $E_{p,A}$ 是偏振角图像能量, P 为融合后偏振特征图像。

(3) 对偏振特征图像和 I 图像利用小波变换提升方案, 进行图像融合。将偏振特征图像 P 和 I 图像进行小波提升分解得到小波系数 $P_j(P_{j,LL}, P_{j,LH}, P_{j,HL}, P_{j,HH})$ 和 $I_j(I_{j,LL}, I_{j,LH}, I_{j,HL}, I_{j,HH})$ j 表示小波分解的层数($j = 1, \dots, N$), 下标 L 表示小波变换的低频成分, H 表示小波变换的高频成分。

(4) 变换域系数进行小波系数融合, 融合规则如下。

低频部分采用直接加权平均:

$$W(F_{j,LL}) = \frac{P_{j,LL} + I_{j,LL}}{2} \quad (5)$$

式中 $F_{j,LL}$ 是小波变换后低频成分融合的图像。

高频成分系数融合: 对分解后的高频小波系数 $P_j(P_{j,LH}, P_{j,HL}, P_{j,HH})$ 和 $I_j(I_{j,LH}, I_{j,HL}, I_{j,HH})$ 分别利用(3)式(其中(3)式中的 M, N 分别代表各个高频子代图像的长和宽), 求得高频系数的能量 $E_{P_j}(E_{P_{j,LH}}, E_{P_{j,HL}}, E_{P_{j,HH}})$ 和 $E_{I_j}(E_{I_{j,LH}}, E_{I_{j,HL}}, E_{I_{j,HH}})$, 利用下式求得各个高频子代融合后的图像 $W_{F_j}(W_{F_{j,LH}}, W_{F_{j,HL}}, W_{F_{j,HH}})$ 。

$$W_{F_j} = \frac{E_{P_j} \cdot P_j + E_{I_j} \cdot I_j}{E_{P_j} + E_{I_j}} \quad (j = 1, \dots, N) \quad (6)$$

(5) 将融合后得到的小波系数 $W_{F_{j,LL}}, W_{F_{j,LH}}, W_{F_{j,HL}}$ 和 $W_{F_{j,HH}}$ 进行小波反变换, 得到最终的融合图像。

3 融合结果算法评价

为验证本文中算法的可行性和有效性, 对室外景物分别通过偏振片为 $0^\circ, 60^\circ$ 和 120° 拍摄 3 幅红外图像。图 4 为拍摄到的 0° 红外图像, 图 5 为利用(1)式计算得到的 I 图像, 图 6 为偏振度 D 的图像, 图 7 为偏振角 A 的图像, 利用本文中的算法得到最后的偏振图像见图 8, 用参考文献 [4] 中融合算法得到的图像见图 9。



Fig. 4 0° infrared image

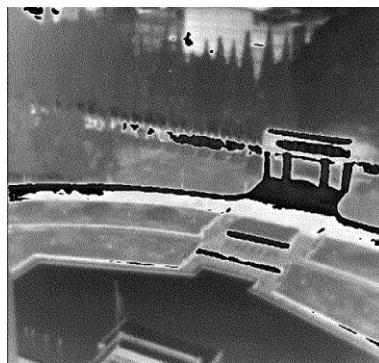


Fig. 5 I image

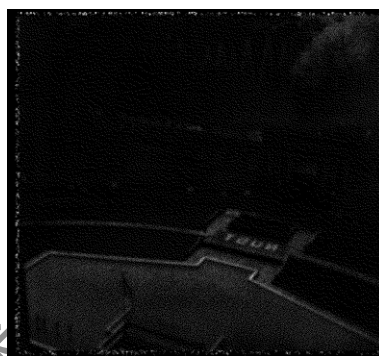


Fig. 6 Polarization image

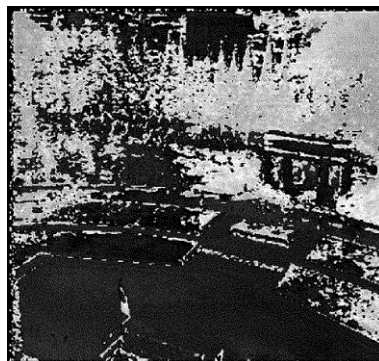


Fig. 7 Polarization angle image



Fig. 8 Fusion algorithm of this article

偏振度图像的人造目标和自然物体的对比度不是很高, 人造目标的分辨率不高, 通过本文中的融合算法, 人造目标和自然物体分辨率提高了, 能在图像中很好地分辨出和凸显出人造目标, 如图像中的石

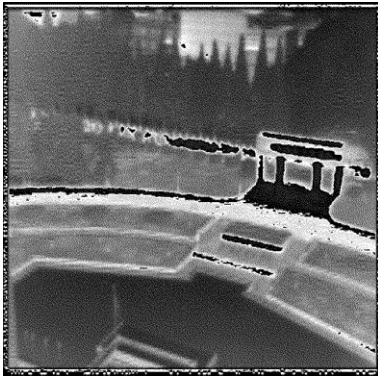


Fig.9 Fusion algorithm in reference [4]

柱、水泥路和旗杆的对比度都比周围树木的偏振度高,所以它们在图像中也很明显地被凸显出来了。而参考文献[4]中的融合算法虽然最后的熵很大,整体的对比度很大,但整体的清晰度不高,图像不清楚。

融合后图像的性能指标如表1所示。

Table 1 Fusion performance indicators

	standard deviation	average gradient	entropy	signal-to-noise ratio
0° infrared image	0.1557	0.0058	5.0280	0.0238
I image	0.2901	0.0180	6.4713	0.1089
polarization image	0.0859	0.0092	5.0488	0.0438
polarization angle image	0.3626	0.0852	6.1220	0.3139
fusion algorithm of this article	0.1442	0.0228	5.6910	0.1437
fusion algorithm in reference [4]	0.1889	0.0204	6.6934	0.1274

通过本文中的算法融合后的图像各性能指标都大于原来偏振图的指标,能较好地凸显出人造目标。本融合算法得到的图像较参考文献[4]中得到的图像清晰。

4 结论

充分利用了偏振参量在表达偏振信息之间的冗

余性和互补性,并且在提升小波框架下进行融合。对偏振角和偏振度进行融合是人工目标的边缘信息更丰富并且保留了物体本身的偏振特征,将偏振特征图和I图像进行融合,使融合后的图像的对比度增加,使人工目标看起来更明显。本融合算法获得的图像较参考文献[4]中融合后的图像更清晰。

参 考 文 献

- [1] ZENG H F. Key technology research about infrared polarization imaging[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2012: 19-40(in Chinese).
- [2] ZHAO Y Q, PAN Q, CHEN Y M. Imaging polarization spectral remote sensing and application[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2011: 22-245(in Chinese).
- [3] LIAO Y B. Polarization optics[M]. Beijing: Science Press, 2003: 45-63(in Chinese).
- [4] DU A P. Imaging polarization detection of a number of key technical research[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006: 33-44(in Chinese).
- [5] WOLFF L B. Applications of polarization camera technology[J]. IEEE Export, 1995, 10(5): 30-38.
- [6] WALRAVEN R. Polarization imagery[J]. Optical Engineering, 1981, 20(1): 14-18.
- [7] WOLFF L B, ANDREOU A. Polarization camera sensors[J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(6): 497-510.
- [8] ZENG H F, GU G H, HE W J, et al. Adaptive fusion algorithm of polarization images in visible light[J]. Photonics Reported, 2011, 40(1): 132-135(in Chinese).
- [9] JIA Y H. Digital image processing[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2007: 10-95(in Chinese).
- [10] WU Y, LIU B H, LI G, et al. Adaptive wavelet transforms using lifting[J]. Application Research of Computers, 2002, 6(1): 18-20(in Chinese).
- [11] ZHAO Y Q, PAN Q, ZHANG H C. Method of stokes images calculation based on adaptive unsubsampling lifting scheme[J]. Photonics Reported, 2005, 34(8): 1270-1273(in Chinese).