

doi: 10.3788/gzxb20124102.0195

舰船小目标图像配准算法

郭明, 周晓东

(海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

摘要:当舰船目标距离红外/可见光复合导引头较远的时候, 红外与可见光图像中的目标信息微弱, 可供提取的特征较少且差异较大, 传统的图像配准算法很难适用. 针对该问题, 本文提出一种基于传感器参量的图像配准算法, 首先根据红外与可见光传感器的成像模型将图像配准分解简化为视场配准与平移配准两个相对分离的步骤; 然后利用传感器参量进行图像的视场配准; 最后基于海天线和水平高通能量分布确定匹配点完成平移配准. 仿真实验结果表明, 该算法具有较高的配准准确度, 可以应用于实际远距离海上舰船的红外和可见光图像配准.

关键词:图像配准; 海天线; 高通能量分布

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)02-0195-5

0 引言

依托于图像融合技术, 红外成像/可见光双模复合导引头能够融合来自红外成像和可见光传感器的互补信息, 进行优势互补. 因此, 相比于单一的红外成像或电视制导的导引头来说, 复合导引头拥有更好的目标检测和抗干扰性能, 已成为目前各国研究的热点.

图像配准是图像融合的基础, 高效准确的图像配准方法是进行图像融合的前提. 目前的图像配准方法主要可以分为两类^[1-2]: 一类是基于区域的图像配准方法, 这类方法通常基于图像间的灰度相关性来进行图像配准, 一般来说运算量较大, 容易受噪音干扰, 而且由于不同模态传感器成像之间的灰度信息不同, 因此该类方法更适用于单模图像的配准; 另一类是基于特征提取的配准方法^[3-7], 与基于区域的图像配准方法相比, 这类方法具有较好的鲁棒性, 但一般要求图像中具有容易提取且比较稳定的特征. 反舰导弹复合末制导中的可见光与红外图像配准属于典型的多模图像配准, 但是末制导初始阶段, 目标距离导引头较远, 红外与可见光探测的目标信息比较微弱, 可供提取的特征非常有限, 传统的图像配准算法很难应用, 因此必须要根据具体对象设计实用的配准算法. 文献[8-10]对类似问题进行了研究, 文献[8]基于目标轮廓中心作为匹配点进行图像配准, 然而由于目标较小, 尤其是在红外图像中, 目标可能

仅为一些高亮特征点, 很难获得较全的轮廓, 而且目标轮廓的提取与边缘提取算法有很大的关系, 即使相同的算法, 参量不同得到的结果也会有较大不同. 因此, 对于包含小目标的红外与可见光图像, 基于目标轮廓中心的配准算法的稳定性并不高. 文献[9]提出以角点作为控制点进行图像配准, 但与文献[8]类似, 文献[9]也要求目标在红外与可见光图像中具有较为明显且一致的轮廓, 否则可供配对的角点会迅速下降, 造成图像配准的失败. 文献[10]利用相关匹配来进行配准, 其仅适用于同质传感器图像配准, 对于成像灰度差异较大且背景复杂的海上小目标的红外与可见光图像配准来说基本不适用.

本文提出一种基于传感器参量的图像配准算法, 首先根据红外与可见光传感器的成像模型将图像配准分解简化为视场配准与平移配准两个相对分离的步骤; 然后利用传感器参量进行图像的视场配准; 最后基于海天线和水平高通能量分布确定匹配点完成平移配准. 仿真实验结果表明, 该算法简单有效, 而且较以往的算法具有更好的配准准确度, 可以应用于实际远距离海上舰船的红外和可见光图像配准.

1 算法描述

1.1 配准变换模型简化

红外/可见光复合导引头成像简化模型如图 1 所示, 可见光与红外成像传感器一般呈上下安装, 在

基金项目: 国家自然科学基金(No. 51005242)和学院青年基金(No. 01D028)资助

第一作者: 郭明(1979-), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向为计算机仿真、图像处理、信息融合. Email: gm_tougao@sina.com

收稿日期: 2011-07-14; 修回日期: 2011-08-08

观察远距离目标时,可以近似认为两者的光轴是平行的,因此可认为可见光与红外图像之间不存在旋转变化.同时,由于可见光与红外成像传感器一般焦距不同以及视场中心不重合,因此两者成像之间存在比例缩放与像平面间的平移.所以,配准变换模型可以用一个不考虑旋转的刚体变换来表达,具体配准过程可以将其进行分解,即先通过缩放与灰度插值,进行视场配准,使红外与可见光图像中的舰船目标具有相同的尺度,然后在同视场配准的基础上进行平移配准.

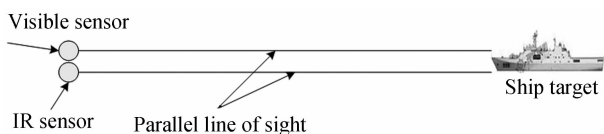


图1 复合导引头传感器成像简化模型

Fig.1 The simplified imaging model of compound seeker's sensors

图2为在较远距离上同一时刻拍摄的包含同一目标的红外与可见光图像,也验证了以上的结论.从图中可以看出,目标与图像视场大小都不一样(红外图像中右下方可以看见树枝,而可见光图像没有),说明图像间存在尺度变化;目标在图像中的位置不一样,说明图像间存在平移变化;而红外图像与可见光图像中的海天线是平行的,说明图像间不存在旋转变化.

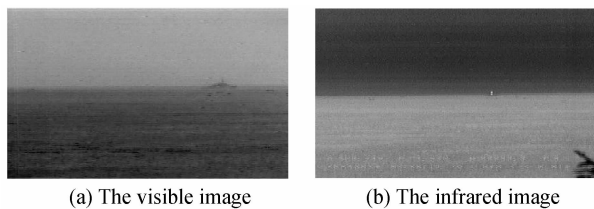


图2 具有相同舰船小目标的红外与可见光图像

Fig.2 The infrared and visible image with the same small ship target

1.2 视场配准

目标识别跟踪系统中,不同传感器得到的视场大小一般是不一样的.视场系指传感器能观察到的区域.视场的大小是由镜头焦距及CCD成像靶面的大小确定的,可以用线视场或角视场来描述.角视场大小与观测距离无关,而线视场大小与观测距离有关,本文采用角视场的定义.

由于目标距离较远,红外成像传感器与可见光传感器与目标之间的距离可认为相等.因此,红外图像与可见光图像中目标大小不一样的主要是由两个传感器的视场角不同造成的.根据可见光与红外成像传感器的视场角,可以由式(1)计算出红外与可见光图像在水平和垂直方向上的尺度缩放因子.

$$\begin{cases} k_H = \frac{W_{TV}}{W_{IR}} = \frac{\tan(\beta_H/2)}{\tan(\alpha_H/2)} \\ k_V = \frac{H_{TV}}{H_{IR}} = \frac{\tan(\beta_V/2)}{\tan(\alpha_V/2)} \end{cases} \quad (1)$$

式中 k_H 、 k_V 分别为水平和垂直方向比例缩放因子; W_{TV} 、 W_{IR} 分别为目标在可见光和红外成像传感器像平面水平方向上的成像宽度; H_{TV} 、 H_{IR} 分别为目标在可见光和红外成像传感器像平面垂直方向上的成像高度; α_H 、 α_V 为可见光传感器的水平和垂直视场; β_H 、 β_V 为红外成像传感器的水平和垂直视场.

成像时可见光传感器视场较小,因此可见光图像观察范围较小,在相同图像大小的情况下,目标成像尺寸较大;红外成像传感器视场较大,因此观察范围相对较大,目标成像尺寸较小.

1.3 平移配准

复合导引头获取的图像一般包括舰船目标和由天空与大海组成的海天背景.由于复合导引头一般是处于掠海飞行,因此舰船目标在图像中一般都处于海天线附近.与一般图像融合系统不同的是复合导引头图像融合的主要目的是用于目标识别与跟踪,所以在图像配准与融合中应该更关注于目标即感兴趣区域,而不是整个图像.本文首先对海天线进行提取,在此基础上寻找匹配点完成平移配准.

1.3.1 海天线提取

本文采用文献[11]提出的一种快速海天线检测算法.具体步骤是:先用方向梯度算子得到差分图像,然后基于边缘阈值策略二值化图像,最后方向细化并采用 Hough 变换检测海天线.该算法鲁棒性强,而且具有较高的定位准确度.

1.3.2 确定匹配点

舰船的上层建筑一般靠近舰船的中部,具有一定高度且形状比较尖锐,同时这些上层建筑又往往具有较高温度,因此无论是在红外图像还是在可见光图像中,这些上层建筑在所处的区域都是水平方向高频能量比较集中的地方.图像的水平方向高通能量分布图能够较好表现其水平方向高频能量的分布状况.在红外与可见光图像中,可以分别寻找在列方向具有最大投影高通能量的列坐标作为匹配点的列坐标.确定列坐标后,将该列对应的直线与提取的海天线相交,其交点即为所要寻找的匹配点.具体步骤如下:

1) 根据提取的海天线,选取海天线上下一定范围的图像作为感兴趣区域 R^I ($I = IR$ 或 VI , 表示视场配准后的红外或可见光图像).

2)分别计算红外与可见光图像感兴趣区域的水平高通能量分布图.图像 I 的高通能量分布图 $I'(r, c) = G(I(r, c))$, G 是高通滤波与 Gaussian 平滑算子的复合操作.本文水平高通能量分布图的高通滤波模板为

$$H_S = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Gaussian 模板为

$$H_G = \frac{1}{16} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \text{令}$$

$$I_{\text{temp}}(r, c) = \frac{255 \times \left| \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 H_S(i, j) I(r+i, c+j) \right|}{\max_{(r, c) \in I} \left\{ \left| \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 H_S(i, j) I(r+i, c+j) \right| \right\}} \quad (2)$$

为克服原图像灰度极性相反的情况,在水平高通滤波时对于负的像素灰度值先取绝对值操作.图像 I 的水平高通能量图像 $I'(r, c)$ 可表示为

$$I'(r, c) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 H_G(i, j) \cdot I_{\text{temp}}(r+i, c+j) \quad (3)$$

将 R^I 替换式(2)、式(3)中的 I , 可得到感兴趣区域的水平高通能量图像,对其进行阈值分割,得到二值化的水平高通能量图 R_B^I .

3)将 R_B^I 在列向求和并进行宽度为 w (w 一般取 3 或 5)的一维均值滤波得行向量 V^I ,取最大值所对应的列坐标即为所求的图像 I 的对应列坐标 c^I .

4)则海天线上列坐标为 c^I 的点即为匹配点.

确定红外与可见光图像各自的匹配点后,下一步的工作是求出两图像间的行、列偏移量,消除图像之间存在的平移变化,并对视场调整后的红外图像进行裁剪,使其具有与可见光图像相同的尺寸,最终完成图像配准.配准完成后,红外图像中的匹配点与可见光图像中的匹配点具有相同的坐标.

2 实验结果分析

为验证算法的有效性和适应性,对两组不同舰船类型的红外与可见光图像进行了配准实验.图像获取条件为:季节:秋季;地点:秦皇岛某海域;天气情况:阴;能见度:4 km;弱小目标距离:10 km.参与配准的图像,已经过对比度拉升处理.

2.1 实验一

实验一对图 2 所示的舰船小目标红外与可见光图像进行了配准,其结果如图 3.其中,图 3(a)为视场配准以后的红外图像;图 3(b)和(d)分别为提取的红外和可见光图像的感兴趣区域;图 3(c)和(e)分别为红外和可见光图像感兴趣区域的高通能量二

值化图 R_B^{IR} 、 R_B^{VI} ,图 3(b)~(e)中水平方向的直线为提取的海天线,垂直方向的直线表示具有最大投影高通能量的列坐标,其与海天线的交点为对应的匹配点;图 3(f)经过裁剪后的红外图像,同时也是最终配准图像.

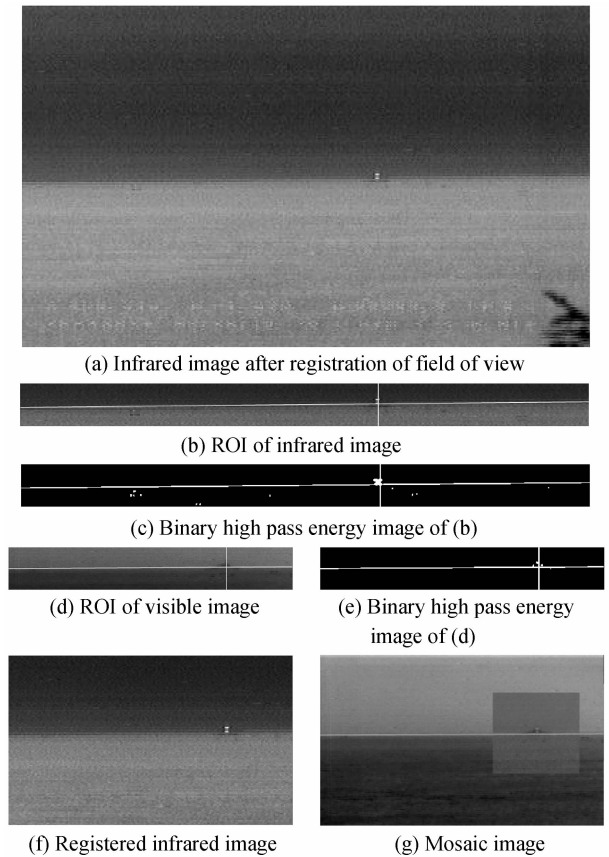


图 3 实验一图像配准结果

Fig. 3 Registration result of experiment 1

在缺少参考图像的情况下,对图像配准的定量评估可通过先手工选取同名控制点来对图像进行人工配准,然后以手工配准的图像作为参考图像来进一步对图像配准算法进行定量评估.在舰船小目标红外与可见光图像配准中,由于异类传感器本身获取的图像本身具有较大差异,同时目标较小,尤其是红外图像中,目标基边缘信息非常弱,在这样的图像中,选取同名控制点的难度是很大的.因此,对于弱小舰船目标的红外与可见光图像配准的效果,主要从视觉效果上来分析.为了更好观察图像配准的效果,将配准以后含有目标的红外图像一部分以 40% 的透明度镶嵌到可见光图像中,如图 3(g).从图中可看出,红外图像与可见光图像的海天线是重合的,而且红外图像中舰船的高亮区域也与船体得到了较好吻合.

2.2 实验二

实验二原始可见光和红外图像如图 4(a)和图 4(b),图中,可见光图像具有相对清晰的边缘信息,

红外图像中,高亮点比较明显,在靠近海天线附近有微弱的边缘信息.图 5 为对图 4(a)和(b)图像配准的结果,其中图 5(a)为视场配准以后的红外图像;图 5(b)和(d)分别为提取的红外和可见光图像的兴趣区域;图 5(c)和(e)分别为红外和可见光图像感兴趣区域的高通能量二值化图,图 5(b)~(e)中水平方向的直线为提取的海天线,垂直方向的直线表示具有最大投影高通能量的列坐标,其与海天线的交点为对应的匹配点;图 5(f)经过裁剪后的红外图像,同时也是最终配准图像;图 5(g)为部分可见光图像镶嵌到红外图像中得到的图像,其中海天线,目标及图像左侧海天线以下的漂浮物都得到了较好的配准.

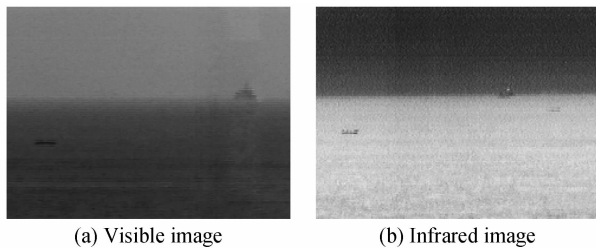


图 4 实验二原始可见光与红外图像
Fig. 4 Original infrared and visible image of experiment 2

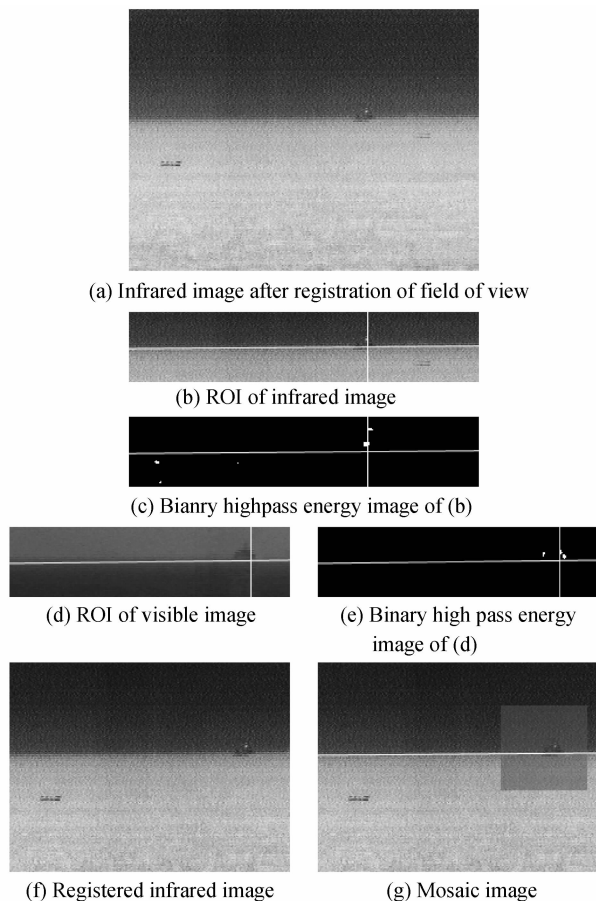


图 5 实验二图像配准结果
Fig. 5 The registration result of experiment 2

为了对比算法性能,将以上的配准结果与文献[8]提出的配准算法对以上两组图像进行配准得到的结果进行比较,将配准以后红外与可见光图像进行镶嵌.图 6 为各镶嵌图像在目标处的局部放大.其中图 6(a)、(c)分别为利用文献[8]算法对图 2 和图 4 所示的两组红外与可见光图像进行配准,得到镶嵌图像在目标处的局部放大;图 6(b)、(d)分别为利用本文算法得到镶嵌图像在目标处的局部放大.

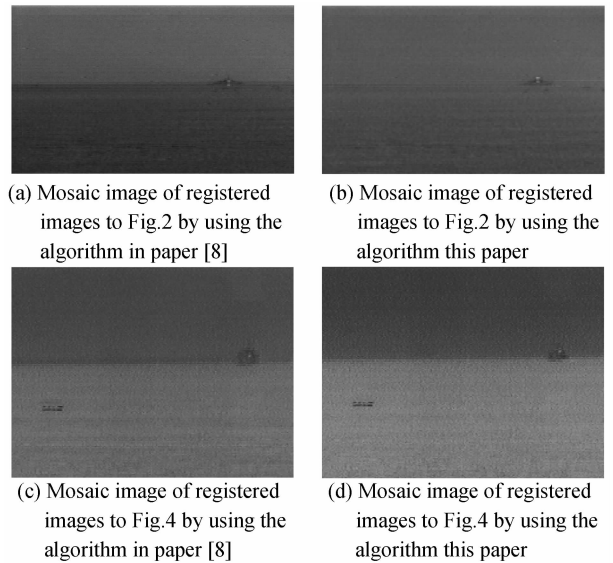


图 6 不同算法配准后得到的镶嵌图像对比
Fig. 6 The comparison of mosaic images by using different algorithms

观察图 6 可以看出,利用文献[8]算法进行图像配准以后镶嵌得到的图像在垂直方向上有 3~5 个像素的偏差,具体表现在:图 6(a)所示的镶嵌图像中,红外图像目标处下半部的有部分高亮点处于可见光图像海天线以下,并且超出了可见光图像中船体的下边缘;在图 6(c)所示的镶嵌图像中,虽然红外高亮点在可见光图像船体的内部,但整个船体的轮廓非常模糊,这主要也是由于红外与可见光图像在垂直方向上的偏差所造成的.产生偏差的根本原因是,文献[8]的方法以红外与可见光图像中目标轮廓中心作为配准匹配点,当提取轮廓的边缘算子阈值加大时,红外图像中目标轮廓将大大减少,仅能保留了烟囱及上方高温排气等高亮处的边缘,使得整个红外图像目标轮廓中心相对于可见光图像中的目标轮廓中心上移,从而使得配准匹配点的选取出现了偏差.

而利用本文算法图像配准时,由于匹配点都选取在了相对较稳定的海天线上,所以能够很好地克服文献[8]算法产生的问题,这从得到的镶嵌图像中也能得到很好的体现.图 6(b)中,红外的高亮区域

全部在海天线以上,基本都在可见光图像船体的内部,有少量像素位于可见光图像船体的外部主要原因是烟囱口的高温气体及传感器的衍射效应造成的;而在图 6(d)中,目标的轮廓明显比图 6(c)中更加清晰,而且海天天线以及图形左侧海天天线以下的漂浮物的图像也得到了较好的吻合.可见,本文图像配准算法具有更好的配准效果.

3 结论

异类传感器图像配准是一个棘手的问题,特别是军事领域中的红外和可见光图像配准,由于图像对比度差,缺乏一致性特征,技术难度更大.本文以红外/可见光复合导引头的图像配准为研究内容,提出了一种基于传感器参量的图像配准算法,充分利用先验知识,简化了配准流程.最后的仿真实验也表明,算法能够对小目标舰船红外与可见光图像进行正确配准,可为下一步的图像融合打下良好的基础.

参考文献

- [1] ZITOVA B, FLUSSER J. Image registration methods: a survey[J]. *Image and Vision Computing*, 2003, **21**(11): 977-1000.
- [2] MEDHA V W, PRADEEP M P, HEMANT K. A. Image registration techniques: an overview [J]. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 2009, **2**(3): 11-28.
- [3] PENG Wen. medical image registration based-on points, contour and curves [C]. *International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*, 2008: 132-136.
- [4] JIAO Yu-long, LUO Xiu-juan, MA Jian-kang. An approach of extracting reliable feature points for image matching[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(2): 312-315.
- [5] YANG Jing, QIU Jiang, WAMG Yan-fei, et al. Feature-based image registration algorithm using invariant line moments[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(9): 1114-1117.
- [6] PENG Zhen-ming, ZHANG Qi-heng, WEI Yu-xing. Image matching based on multi-features fusion [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(3): 281-285. 彭真明, 张启衡, 魏宇星, 等. 基于多特征融合的图像匹配模式[J]. *强激光与粒子束*, 2004, **16**(3): 281-285.
- [7] YANG Jing, QIU Jiang, WANG Yan-fei, et al. Feature-based image registration algorithm using invariant line moments[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(9): 1114-1117.
- [8] LIU Song-tao, WANG Xue-wei, ZHOU Xiao-dong. Automatic registration algorithm based on sensor parameters and target's contour centroid [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2005, **13**(3): 354-363.
- [9] HAN Yan-li, YANG Fan, LI Heng. TV/IR Image registration of small target [J]. *Computer Measurement & Control*, 2007, **15**(11): 1608-1610. 韩艳丽, 杨樊, 李恒. 一种小目标的电视/红外图像配准方法[J]. *计算机测量与控制*, 2007, **15**(11): 1608-1610.
- [10] TAO Bing-jie. Research on method of multisensors image registration and fusion[D]. Chengdu: The Institute of Optics and Electronics of the Chinese Academy of Sciences, 2006. 陶冰洁. 多源图像配准与融合方法研究[D]. 成都: 中国科学院光电技术研究所, 2006.
- [11] LIU Song-tao, ZHOU Xiao-dong, WANG Cheng-gang. Robust sea-sky-line detection algorithm under complicated sea-sky background[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, **33**(8): 5-10. 刘松涛, 周晓东, 王成刚. 复杂海空背景下鲁棒的海天线检测算法研究[J]. *光电工程*, 2006, **33**(8): 5-10.

A Novel Registration Algorithm for Images with Small Ship Target

GUO Ming, ZHOU Xiao-dong

(Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai, Shandong 264001, China)

Abstract: When the ship target is far away from infrared/visible compound seeker, the target information and features are very weak which can be extracted from the infrared and visible images, and conventional image registration algorithms are hard to take effect on the registration of infrared and visible image with small target. To solve the problem, an infrared and visible image registration algorithm is presented based on sensor parameters. Firstly, according to the imaging model of compound seeker, the image registration is decomposed to two independent steps (field of view registration and shift registration). Secondly, the field of view for different sensors are registered using the sensor parameters. Finally, the shift registration is performed by matching point located based on horizontal high pass energy image and sea-sky line. The experimental results prove that the method is feasible and effective, and can be used in the actual registration of infrared and visible image with small ship target.

Key words: Image registration; Sea-sky line; High pass energy distribution