

# 基于传感器参数和感兴趣区域的图像配准算法研究

王世立 王学伟 李珂

(海军航空工程学院控制工程系, 山东 烟台 264001)

**摘要** 通过对光电成像型反舰导弹的成像过程分析,提出一种基于传感器参数和感兴趣区域的图像配准方法。红外和可见光图像配准时的变换模型为仿射变换,首先通过传感器参数的调整实现空间分辨率的配准,将仿射变换简化为刚体变换;然后用海天提取算法提取出感兴趣区域,对感兴趣区域用形态学边缘检测方法求取目标的轮廓中心,并以此为控制点消除图像间的平移变化,实现图像的完全配准;最后利用均方根误差原则对算法的配准效果进行评估。仿真实验表明,该算法快速、准确,配准精度满足目标识别的要求,可以较好地解决异类传感器弱小目标图像配准的难题。

**关键词** 成像系统;图像配准;传感器参数;感兴趣区域;形态学

**中图分类号** TN211 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.011103

## Research on the Registration Algorithm Based on Sensor Parameters and Region of Interest

Wang Shili Wang Xuewei Li Ke

(Department of Automatic Control Engineering, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai, Shandong 264001, China)

**Abstract** Based on the analysis of the imaging process of optoelectronic imaging anti-ship missile, an image registration algorithm based on sensor parameters and region of interest (ROI) is proposed. Originally the distortion between infrared and visible images is affine. Firstly, by adjusting sensor parameters, the scaling change between images is eliminated and the affine transform is simplified into rigid transform. Then the ROI is got by locating the horizontal region, and the center of the target's contour is computed by morphological edge detection and chosen as control point, which is used to eliminate the translational change between images and achieve complete alignment. Finally, the registration effect is assessed by using the rule of root mean square error. The simulation experiments convince that the algorithm is accurate and fast, and can meet the precision requirement for target recognition, providing a good way for solving the difficult registration problem of small target images with different sensors.

**Key words** imaging systems; image registration; sensor parameters; region of interest; morphology

**OCIS codes** 110.3080; 040.1520; 040.3060; 100.2000; 100.3008

## 1 引言

图像配准是图像融合技术的基本环节和首要问题,其主要方法有基于灰度统计的方法、基于变换域的方法和基于特征的方法3种。基于灰度统计的方法直接利用图像灰度信息,计算量大,速度较慢。基于变换域的配准方法不适用于多模态配准。基于特征的方法通过提取各类图像中保持不变的特征来实现图像配准,如边缘点、直线和区域等,计算量较少,速度较快,适用于多模态图像配准<sup>[1~3]</sup>。在红外(IR)与可见光复合寻的制导应用中,反舰导弹导引头末制导初始阶段探测的目标图像信息比较微弱,图像中的特征信息如边缘、角点等非常不明显,红外与可见光图像之间有缩放和平移变换,但难以精确获取三对特征点对,因此必须设

**收稿日期**: 2012-09-18; **收到修改稿日期**: 2012-11-09; **网络出版日期**: 2012-12-12

**基金项目**: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-08-0937)资助课题。

**作者简介**: 王世立(1988—),男,硕士研究生,主要从事复合制导和图像处理方面的研究。E-mail: wangshili00@126.com

**导师简介**: 王学伟(1973—),男,博士,副教授,主要从事复合制导、图像融合和红外传感器效应等方面的研究。

E-mail: xueweiwang@sohu.com

计实用的配准算法来解决存在的问题。本文通过对传感器安装和成像过程的分析,结合图像的特点,将传感器参数应用到配准过程,提出基于传感器参数和感兴趣区域的图像配准算法。该算法利用传感器参数的调整实现空间分辨率配准,然后提取目标所在区域[感兴趣区域(ROI)],对此区域进行形态学边缘检测,进而得到目标轮廓的中心,并以此作为控制点消除图像间的平移,实现最终配准。最后采用均方根误差原则对算法的配准效果进行了评估。

## 2 基于传感器参数的配准

红外传感器和可见光电视传感器上下安装且距离很近。在反舰导弹末制导初始阶段,目标距传感器较远,故在探测目标时可认为光轴是平行的,且距离相同,传感器的简化模型如图1所示。两传感器虽然安装位置平行,但视场中心不重合且成像时焦距不同,所以可以认为可见光图像与红外图像之间有 $x$ 、 $y$ 方向比例缩放和平移,无旋转变化,从而得知图像之间的变换模型为仿射变换。

图2为原始图像(可见光和红外图像)。分析图像可知,由于两传感器焦距不同,图像之间的差别表现在:目标的大小不同和场景的内容不同,说明图像间有比例缩放;图像中目标不在同一水平位置,说明存在平移变换。通过分析图像进一步验证了图像之间的变换模型为仿射变换这一结论。

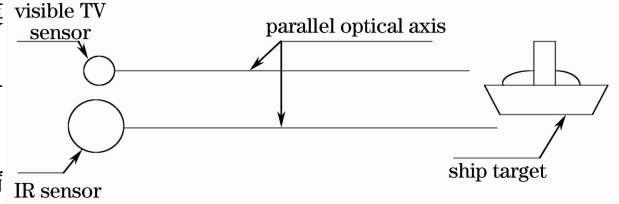


图1 传感器成像的简化模型

Fig. 1 Simplified model of sensor imaging

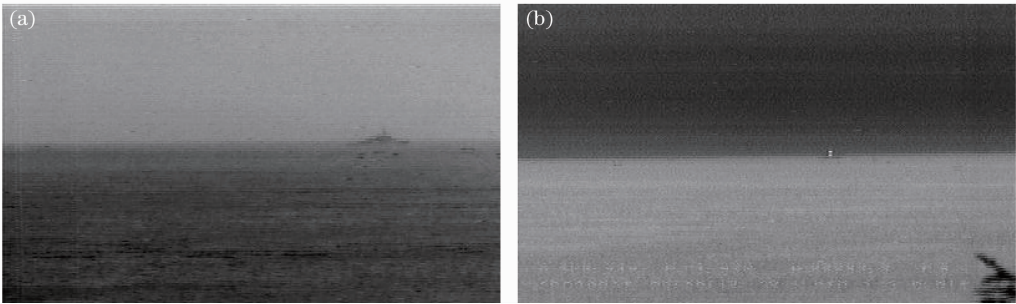


图2 原始图像。(a)可见光图像;(b)红外图像

Fig. 2 Original image. (a) TV image; (b) IR image

由几何成像原理可知,目标所成像的大小 $L$ 与视场角 $\theta$ 有如下关系<sup>[4]</sup>:

$$L \propto \cot \frac{\theta}{2}. \quad (1)$$

图像间的水平和垂直缩放因子可由下式确定:

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

式中 $k_H$ 和 $k_V$ 为水平和垂直方向的比例缩放因子; $W_{TV}$ 和 $H_{TV}$ 为目标在电视传感器像平面水平和垂直方向上的成像宽度; $W_{IR}$ 和 $H_{IR}$ 为目标在红外传感器像平面水平和垂直方向上的成像高度; $\alpha_H$ 和 $\alpha_V$ 为电视传感器的水平和垂直视场角; $\beta_H$ 和 $\beta_V$ 为红外传感器的水平和垂直视场角。

图像配准的目的是图像融合,而最终目的是目标检测和识别,所以配准时选取目标较大的可见光图像为参考图像,则红外图像为待配准图像。根据传感器的参数,由(2)式可以求出水平和垂直方向上的比例缩放因子,将红外图像分别进行水平和垂直方向插值放大,就可实现空间分辨率的配准。

常用的插值方法主要有最近邻域法、线性插值法和三次插值法。最近邻域法精度较低,但是速度最快;三次插值法精度最高,但速度较慢;线性插值折衷了两个因素。故本文选用线性插值方法<sup>[5]</sup>。

### 3 基于感兴趣区域的配准

无论可见光还是红外图像,其中的海天线都特别明显,而且舰船目标必定位于海天线上,因此提取出目标所在的海天线区域(感兴趣区域),对此区域进行配准不仅可以减少计算量,而且可以避免非目标区域带来的干扰,提高配准精度。基于感兴趣区域的配准是指:首先利用海天线提取算法提取海天线,确定感兴趣区域,然后采用形态学边缘检测算子检测出目标轮廓,并采用投影法确定目标轮廓中心,最后用模板匹配的思想消除偏移量,实现平移配准。文献[6]中基于 Hough 变换的海天线提取算法不涉及复杂运算且定位精确,能够满足复杂战场环境的需要,故本文采用此方法对图像提取海天线。

对于单尺度形态梯度算子,结构元素  $B$  的大小决定其性能。当  $B$  过小时,优点是梯度算子有较高的空间分辨率,缺点是对边缘产生的输出结果很小,难于检测出边缘。当  $B$  足够大时,优点是输出即是边缘高度,缺点是大的结构元素会造成边缘间严重的相互影响,导致梯度极大值与边缘不一致。

因为形态结构元素的形状可以确定边缘的方向,所以采用多方位的形态结构元素来提高对图像边缘的方向敏感性。本文构造了 4 个方向不同的结构元,对图像的任一点求 4 个结构元的膨胀腐蚀之差,最小的差值对应的结构元的方向为该点的方向,其垂直方向对应的结构元素的膨胀腐蚀之差认为是该点的梯度。

采用多尺度多方位形态学梯度算子检测边缘不仅能检测到好的边缘细节,而且具有较强的去噪能力。结合大、小结构元素的优点和多方位结构元素对边缘方向的敏感性,采用基于多尺度多方位的形态梯度算法对图像进行边缘检测<sup>[7]</sup>,其中多尺度多方位梯度  $G_m(f)$  为

$$\begin{cases} G_m(f) = f_1 - f_2 \\ f_1(x, y) = \max\{[f(x, y) \oplus B_i] - [f(x, y) \ominus B_i]\}, \quad i = 1, 2, 3, 4 \\ f_2(x, y) = \max\{[f_1(x, y) \oplus B_i] - [f_1(x, y) \ominus B_i]\}, \quad i = 5, 6, 7, 8 \end{cases} \quad (3)$$

构造的结构元素形状如图 3 所示,其原点在中心位置。

经边缘检测方法得到边缘图像后,利用最小误差法<sup>[8]</sup>对其进行分割,将目标分离出来。

综上,多结构元形态学边缘检测的计算过程为:

- 1) 利用大小为  $5 \times 5$  的结构元素求原始图像的梯度图像  $f_1$ ;
- 2) 利用大小为  $3 \times 3$  的结构元素求梯度图像  $f_1$  的梯度图像  $f_2$ ;
- 3) 求  $f_1$  和  $f_2$  两图像的差值,其值为原始图像的边缘图像;
- 4) 对边缘图像采用最小误差法进行分割。

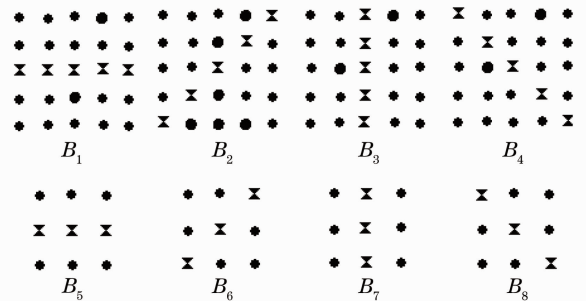


图 3 结构元素形状图

Fig. 3 Diagram of structuring elements shape

### 4 基于传感器参数和感兴趣区域的图像配准算法实现

前面分析得到图像配准的变换模型为仿射变换模型,下面介绍本文配准算法的实现过程。

1) 空间分辨率配准。利用基于传感器参数的配准方法获取水平和垂直缩放因子,对红外图像进行比例缩放并插值,得到空间分辨率配准的红外图像。此时,配准模型由仿射变换模型简化为刚体变换模型,只需一对特征点就可以确定图像的平移量。

2) 提取图像的兴趣区域。首先利用文献[6]中的海天线提取算法提取海天线,并将以海天线为中心,高度为 40 pixel,宽度为图像整个宽度的区域作为感兴趣区域,也就是目标潜在区域。

3) 确定轮廓中心。采用基于多结构元的形态学算子对感兴趣区域检测,获得目标的轮廓,然后采用投影法<sup>[9]</sup>确定轮廓中心。投影法可以去除孤立噪声点的影响,提高准确性。对于所有可能的轮廓点,全部在  $x$  轴上投影,统计时忽略频数低于 1 的点,然后求有效点的中心坐标,轮廓中心的  $x$  坐标即为中心坐标。同理求出  $y$  坐标,最终得到目标的轮廓中心  $(x, y)$ 。

4) 消除平移量。采用模板匹配的方法消除平移变化。将可见光图像(只含目标轮廓中心)为模板图像,相应地,空间分辨率调整后的红外图像为输入图像。当两幅图像每个像素灰度差的绝对值之和最小时,图像匹配。匹配后,以满足匹配原则的点为关键点,按照可见光图像的尺寸对空间分辨率调整后的红外图像进行剪切,最终结果为经图像配准后的红外图像。

## 5 仿真实验

以图 2 中的可见光和红外图像作为仿真对象,对配准算法性能进行研究。首先对红外图像[图 2(b)]进行空间分辨率配准,如图 4 所示。然后,对可见光图像和空间分辨率配准后的红外图像进行海天线提取,如图 5 所示。为了便于观察,将非感兴趣区域灰度置零,感兴趣区域固定在原图像中的位置进行处理,这样便于求图像的位移,如图 6 所示,后续的处理只对感兴趣区域操作。接着对图 6 中的海天线区域进行形态学边缘检测,结果如图 7 所示。为了清楚地观察边缘的细节,放大图 7 中的目标区域,如图 8 所示。观察图 8 可知,目标的边缘不是很连续,因检测边缘的目的是求取轮廓中心,故其精度可满足需求。图 9 分别为可见光图像和红外图像的目标轮廓中心,作为消除平移量和红外图像剪切所用的控制点对。控制点对得到后,对红外图像进行平移量消除和图像剪切,得到配准的红外图像,如图 10 所示。

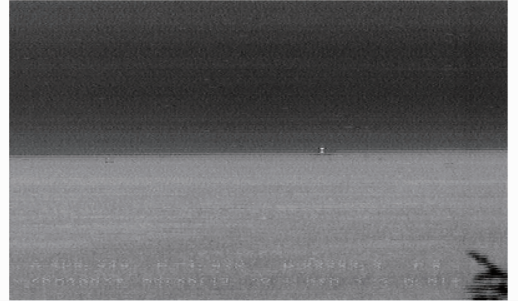


图 4 空间分辨率配准后的红外图像

Fig. 4 IR image after spatial resolution registration

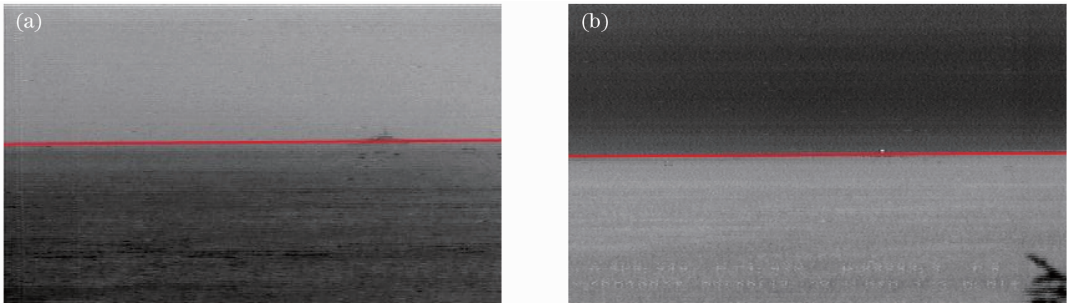


图 5 海天线提取后的图像。(a)可见光图像;(b)红外图像

Fig. 5 Images containing sea horizon. (a) TV image; (b) IR image

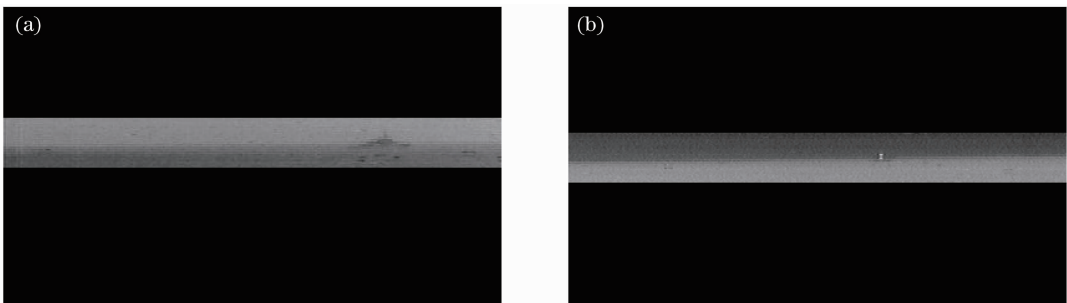


图 6 图像感兴趣区域。(a)可见光图像;(b)红外图像

Fig. 6 Regions of interest of the images. (a) TV image; (b) IR image

均方根误差原则<sup>[10]</sup>是目前通用的评价方法,本文采用此方法对提出的配准算法进行全面评价。在配准后的可见光图像和红外图像上选取  $m$  对同名点集,计算同名点集之间的均方根误差。仿真实验中, $m$  取为 10,计算得到的均方根误差值为 0.9346。通过评价得知,该方法的配准精度达到了像素级水平,可满足后续图像融合的要求。

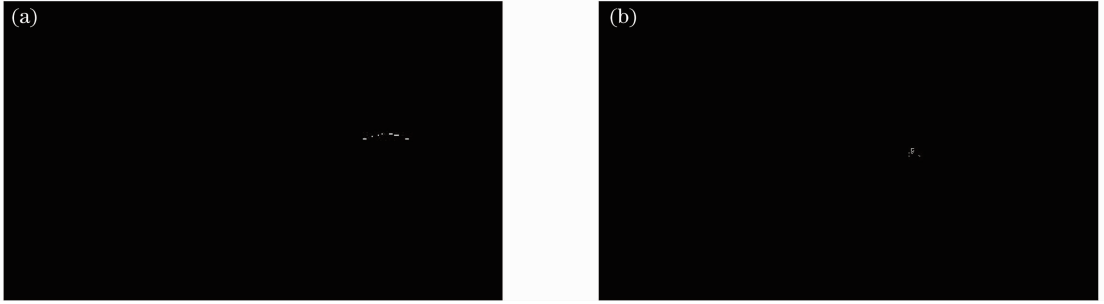


图 7 图像目标边缘。(a)可见光图像;(b)红外图像

Fig. 7 Edge of image target. (a) TV image; (b) IR image

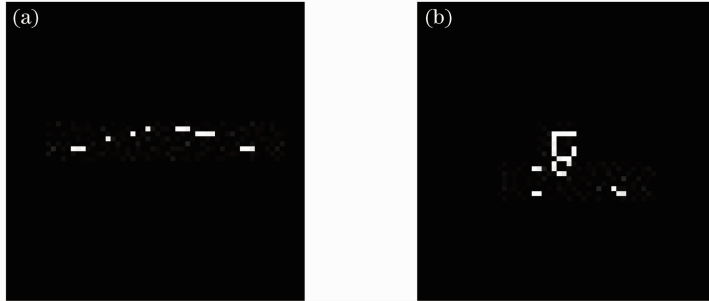


图 8 边缘局部放大。(a)可见光图像;(b)红外图像

Fig. 8 Partially enlarged edge. (a) TV image; (b) IR image

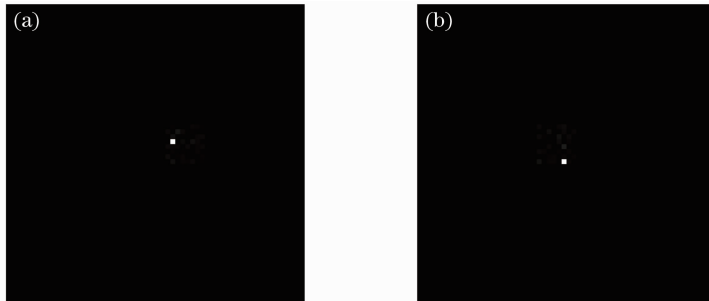


图 9 目标轮廓中心。(a)可见光图像;(b)红外图像

Fig. 9 Target contour center. (a) TV image; (b) IR image

## 6 结 论

以战场环境中获取的红外和可见光舰船目标图像为研究对象,通过对传感器的成像过程和图像特性的分析,提出一种基于传感器参数和感兴趣区域的图像配准方法。其核心思想是将变换模型分解,逐步简化,从而将复杂问题简单化。算法克服了传统的基于特征的配准方法需要人工选取特征点的缺点,且不涉及复杂的运算,故算法是自动、快速的。将海天线区域引入到配准中,可以消除区域外的干扰,且边缘检测对图像质量要求不高,所以算法也是稳健的。仿真实验表明,本文算法可以实现快速、有效的配准,较好地解决异类传感器弱小目标图像配准的难题。



图 10 红外图像配准结果

Fig. 10 IR image registration results

## 参 考 文 献

1 Jing Zhongliang, Xiao Gang, Li Zhenhua. Image Fusion-Theory & Application[M]. Beijing: Higher Education Press, 2007

- 敬忠良, 肖刚, 李振华. 图像融合: 理论与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007
- 2 Chen Zhigang, Yin Fuchang, Sun Fu. Registration technique for high resolution remote sensing images based on nonsubsampling contourlet transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(10): 2744~2750
- 陈志刚, 尹福昌, 孙孚. 基于非采样 Contourlet 变换高分辨率遥感图像配准[J]. 光学学报, 2009, **29**(10): 2744~2750
- 3 Chen Qinfang, Li Yingcai, Ma Zhen *et al.*. Alignment of off-axis conic aspheric mirrors in stigmatic null test[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(2): 0222001
- 陈钦芳, 李英才, 马臻等. 离轴二次非球面反射镜无像差点法检测的误差分离技术[J]. 光学学报, 2011, **31**(2): 0222001
- 4 Liu Songtao. Automatic registration algorithm based on sensor parameters and target's contour centroid[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2005, **13**(3): 354~363
- 刘松涛. 基于传感器参数和目标轮廓中心的自动配准算法研究[J]. 光学精密工程, 2005, **13**(3): 354~363
- 5 M. Lehmann Thomas, Claudia Gonner, Klaus Spitzer. Survey: interpolation methods in medical image processing[J]. *IEEE Trans. Medical Imaging*, 1999, **18**(11): 1049~1075
- 6 Liu Songtao, Shen Tongsheng, Han Yanli *et al.*. Research on locating the horizontal region of ship target[J]. *Laser & Infrared*, 2003, **33**(1): 51~53
- 刘松涛, 沈同圣, 韩艳丽等. 舰船目标海天线提取方法研究[J]. 激光与红外, 2003, **33**(1): 51~53
- 7 Xu Dongyan, Fu Zhongliang, Ruan Bo. Weak contrast image edge detection method based on the multi-structural element [J]. *Computer Applications*, 2004, **24**(6): 108~110
- 徐东燕, 付忠良, 阮波. 一种基于多结构元的弱对比度图像的边缘检测方法[J]. 计算机应用, 2004, **24**(6): 108~110
- 8 P. K. Sahoo, S. Soltani, A. K. C. Wong *et al.*. A survey of thresholding techniques[J]. *Computer Vision Graphics Image Process.*, 1988, **41**(2): 223~260
- 9 Qiu Jiang, Yang Jing, Liu Bo. Image object segmentation system based on the TMS320C50[J]. *Application of Electronic Technique*, 2001, **24**(12): 62~64
- 丘江, 杨静, 刘波. 基于 TMS320C50 的图像目标分割系统[J]. 电子技术应用, 2001, **24**(12): 62~64
- 10 Hui Li, B. S. Manjunath. A contour-based approach to multi-sensor image registration [J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 1995, **4**(3): 320~334