

基于地理同名点配准的机载红外移动小目标检测方法

贾桂敏, 卢薇冰, 路玉君, 杨金锋

(中国民航大学 天津市智能信号与图像处理重点实验室, 天津 300300)

摘要: 在飞行器等移动载体条件下的红外光电系统中, 由于场景条件复杂, 目标特征不明显, 弱小移动目标检测是自动目标检测领域的一大难点。因此, 针对复杂地面场景条件下的移动小目标检测问题, 提出了一种无关图像内容的基于帧间地理同名点区域配准的机动目标检测方法。该方法通过综合飞行器惯性组合导航信息, 解算视场中像素点对应的地理位置, 获取帧间图像地理同名点对, 完成图像配准工作, 区域配准获得帧间背景的移动量, 并对帧间图像进行运动补偿, 然后进行帧间差分将背景干扰去除, 突出运动目标, 最后利用目标运动信息的反向验证对目标进行确认。通过试验结果可以看出, 该算法能够取得较好的检测效果。

关键词: 地理位置解算; 地理位置配准; 红外运动目标; 区域配准; 自动检测

中图分类号: TP391.4; TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201645.0804002

New method for airborne infrared moving and dim targets detection based on the geographical corresponding points registration

Jia Guimin, Lu Weibing, Lu Yujun, Yang Jinfeng

(Tianjin Key Laboratory for Advanced Signal Processing, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Target characteristics is not obvious for infrared opto-electronic systems due to the complex scene under the conditions of mobile carriers such as aircrafts, as a result in this situation weak moving target detection is a big difficulty in the field of automatic target detection. A new method was proposed for this problem which was independent of image content. Through the combination of aircraft's inertial integrated navigation information, the geographical location of the pixel points in the image was calculated and then the corresponding points between the consecutive frames were obtained. So the movement of the background was acquired and the motion compensation was conducted, and the target was highlighted. Finally, the target was confirmed by backward verification using target motion information. The experiments show that the new algorithm can obtain a better detection results.

Key words: geographical location calculation; geographical location registration; infrared moving target; regional registration; automatic detection

收稿日期: 2015-12-05; 修订日期: 2016-01-03

基金项目: 国家民航联合基金(U1433120); 青年科学基金(61502498); 中国民航大学科研启动基金(2013QD26X)

作者简介: 贾桂敏(1982-), 女, 讲师, 博士, 主要从事光电探测与成像、计算机视觉与模式识别等方面的研究。

Email: gmjia_cauc@163.com

0 引言

在飞行器移动载体条件下的红外光电系统中,由于场景条件复杂,目标特征不明显,在此应用场合下的弱小移动目标检测是自动目标检测领域的一大难点^[1-2]。利用传统基于图像内容的图像配准方法提取小目标^[3-5],当背景是沙漠、海面、田野、草原等无明显纹理特征的场景时,则无特征点对可提取,从而无法开展有效的配准工作。

文中方法利用的图像源数据为两帧或多帧相隔时间较短的图像,成像器和目标同时处于运动状态^[6-8],图像中的场景由于成像器的相对运动产生变化,运动目标相对于场景运动^[9-10]。在红外图像序列中,目标的运动方式与背景的运动方式存在差异。当目标背景较为复杂时,单帧图像中的小目标非常不明显,有时人眼进行识别仍存在困难,在此情况下,若利用帧间目标的运动信息,则可以较为容易发现目标。同时,文中方法结合飞行器惯性组合测量参数,利用图像帧间地理同名点关系,对场景的移动目标进行检测,最后通过对疑似运动区域进行运动特征的反向验证对目标进行确认。

1 基于地理同名点位置的计算方法

对于任务载荷观察场景中的目标 T , 设任务载荷摄像机坐标系与像平面坐标系重合, 任务载荷摄像机像面中心位置为无人机飞行高度。设大地坐标系原点为 $(0, 0, H)$, 任务载荷成像焦距为 f , 任务载荷的方位角为 θ , 任务载荷相对于无人机平台的俯仰角为 α 。对于视场中的任意目标 T , 像面成像点坐标 (x, y) 与地面目标点 (X, Y) 的成像解算模型为:

$$X = K_1 \frac{x}{f} \cos \theta \left(\frac{x}{f} \cos \theta \sin \alpha - \sin \theta \right) \frac{K_1 y + H f \sin \alpha}{y \sin \alpha - f \cos \alpha} + D_x \quad (1)$$

$$Y = (X - D_x) \tan \theta - \frac{K_1 y + H f \sin \alpha}{(y \sin \alpha - f \cos \alpha) \cos \theta} + D_y \quad (2)$$

式中: $K_1 = H \cos \alpha + f$; D_x, D_y, H 为任务载荷摄像机的 GPS 水平方位信息和测高值。

2 算法设计流程

利用帧间运动信息进行目标检测时,若成像是静止的,那么图像中的背景部分也为静止的,则对于运动的目标,进行帧间差分即可以得到。而在运动

载体上进行目标检测时,由于载体在运动过程中,因此图像中的背景也是运动的。因此在进行帧间差分,首先应对两帧图像进行配准,之后对相邻帧之间的图像进行运动补偿。

图像配准指依据某一相似性测度来确定图像间的变换参数,将从不同传感器、不同视角、不同时间获取的同一场景两幅或多幅图像,变换到同一坐标系下,在像素层上得到最佳匹配的过程。文中与传统的基于图像特征配准算法不同,而是基于地理同名点对的方法,寻找相邻帧图像地理坐标位置点相同的点对,将其作为标志位,分别在参考图像和待匹配图像中提取出它们,然后再找到两幅图像的标志位之间的匹配关系,继而完成空间对位。基于地理同名点对的配准方法,不需要提取图像显著特征,大大压缩了图像信息数据量,准时计算量小,速度较快,应用前景更加广泛。

基于以上分析,对复杂背景下的红外弱小移动目标检测采用帧间图像配准的方法进行帧间图像的运动补偿,然后对运动补偿后的帧间图像进行差分,再对差分图像进行分割检测获取疑似运动目标,最后对疑似点进行运动特征的反向验证。算法流程如图 1 所示。

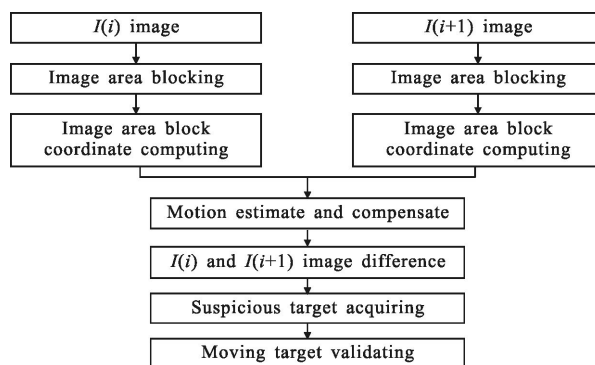


图 1 算法流程图

Fig.1 Algorithm flowchart

图 2 为两幅相邻帧图像,其中背景道路中存在运动的车辆目标。背景在两幅图中存在位移。图 T_1 为前帧图像,图 T_2 为后帧图像。

在对两幅图像进行配准时,如图 3(a)所示,将图 T_1 均分为若干图像子块,计算区域内坐标,匹配图像子块,将这些图像块进行编号后,选取位移位置较大的方框区域,在图 T_2 中进行坐标配准。选定图 T_1 的匹

配区域后, 分别将这些匹配区域在图 T_2 中进行匹配, 图 T_1 中各图像子块在图 T_2 中的匹配结果如图 3(b) 所示; 相关匹配完成后即可获得匹配参考点列 P_1 和 P_2 , 共获得匹配点对数为 N 。获得匹配参考点列后, 进行空间变换矩阵的求取。

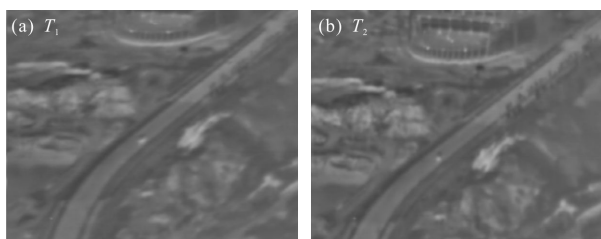
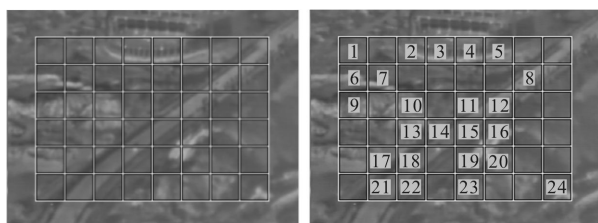


图 2 序列红外图像
Fig.2 Serial infrared image



(a) 图像块 (b) 图像坐标参考
(a) Image block (b) Image coordinate reference

图 3 地理同名点配准

Fig.3 Geographical corresponding points registration

2.1 求取仿射变换矩阵

由以上计算可以获得图 T_1 和图 T_2 中的相关匹配点对系列 P_1 和 P_2 。通过如下运算获得一个仿射矩

阵 I , 使得 $P_2=P_1*I$, 即 P_1 与 I 相乘得到 P_2 。

设定仿射变换矩阵 $I=[a_1, a_2, a_3; a_4, a_5, a_6]$, 设图 T_1 中 (X_1, Y_1) 在图 T_2 中对应的点为 (X_2, Y_2) , 则满足关系公式(3)和公式(4)^[11-12]:

$$X_2=a_1 \times X_1+a_2 \times Y_1+a_3 \quad (3)$$

$$Y_2=a_4 \times X_1+a_5 \times Y_1+a_6 \quad (4)$$

对 I 的求解, 相当于在 N 个 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2)$ 点对条件下的一个超定方程组。对于该方程组的求解采用最小二乘法, 首次计算获得 I 后, 计算 $P_1 \times I$ 获得新的序列 P_{2_New} , 同时计算 P_2 与 P_{2_New} 的误差, 若误差在要求范围内则完成迭代过程, 若超出误差范围则对每个点的点误差进行单独计算, 若该点误差较大则将此点剔除, 并进行下次迭代过程, 直至符合误差条件要求。流程如图 4 所示。

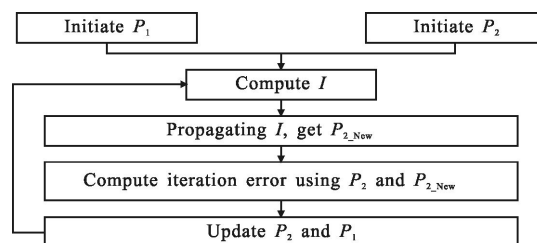


图 4 仿射矩阵计算流程图

Fig.4 Affine matrix computation flowchart

获得空间变换矩阵 I 后, 即可由公式(3)和公式(4)对图 T_1 进行图像变换, 图 5 为变换后的结果, 变换后的图像即为运动补偿后的图像 T_3 。



(a) 变换后图像 (b) 变换前图像 (c) 变换图像 T_3
(a) Transformed image (b) Pre-transform image (c) Transform image T_3

图 5 利用地理参考的运动补偿结果图像

Fig.5 Moving compensation result images using geo-reference

2.2 差分图像检测与目标反向验证

由图 T_2 和图 T_3 进行差分运算, 可获得帧间差分

图像。在进行帧间差分, 选择差值点的邻域最小值作为该点的帧间差值。通过此处理, 可以进一步减少

由于匹配误差带来的异常差分。图 6 所示为图 T_2 与图 T_3 的差值图像。

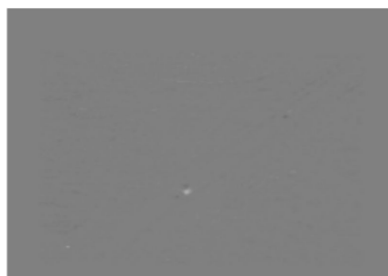


图 6 图像差分结果
Fig.6 Image difference result

对以上图像进行分割处理可以较为明显地突出运动目标,背景被有效地抑制^[13]。从差分图像中可以较为容易地将图像中的明显目标分割出来。在分割检测出目标后,为了进一步验证运动信息的有效性,提高对运动目标检测的准确程度,需对检测到的目标进行反向验证,验证过程流程如图 7 所示。

经过运动目标反向验证,可以去除一部分背景中

的虚假目标和因为匹配差分误差导致的背景目标。反向验证完成后可获得最终的运动目标检测结果。

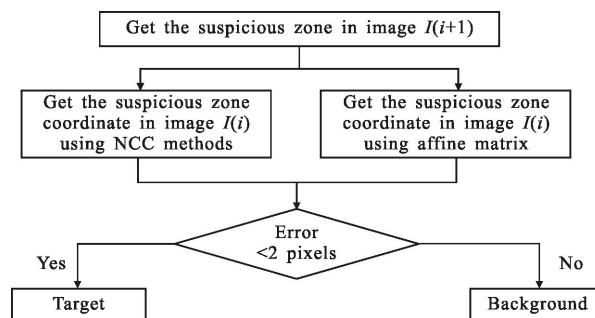


图 7 验证流程图
Fig.7 Validating flowchart

3 试验验证

通过以上方法对运动目标的检测过程中,对载体的运动速度,目标相对于背景的移动速度及图像场景的复杂程度均存在一定要求。对以下几种典型条件下的运动目标场景进行验证。验证过程图像如图 8~11 所示。

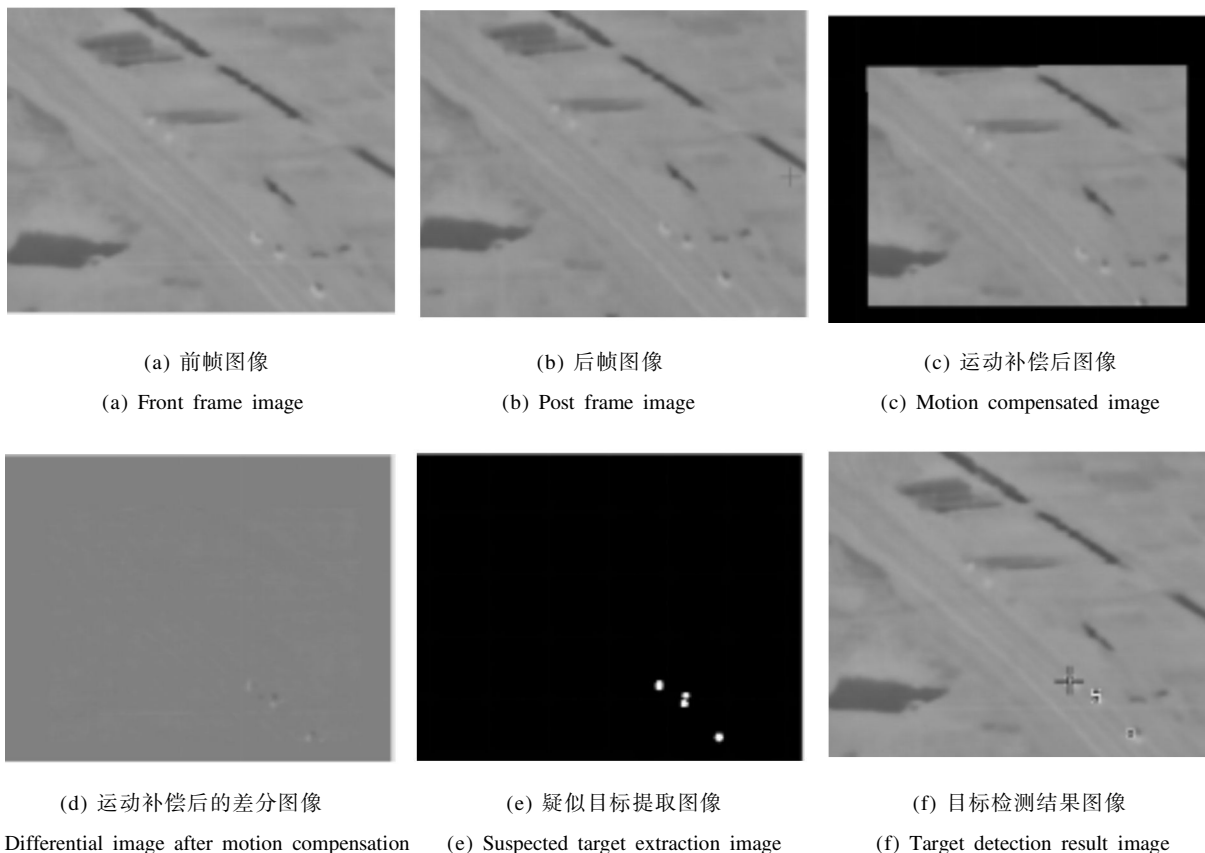


图 8 挂飞验证 1 过程图像
Fig.8 Flight test 1 images

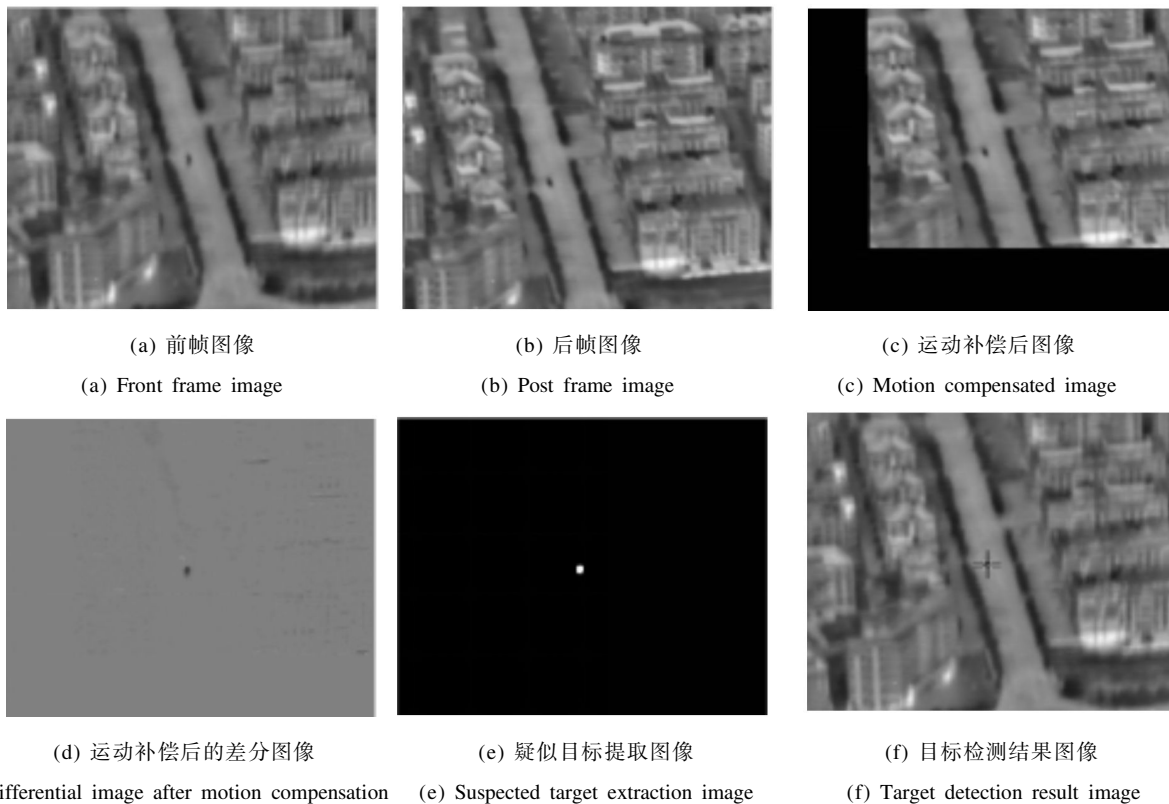


图 9 挂飞验证 2 过程图像

Fig.9 Flight test 2 images

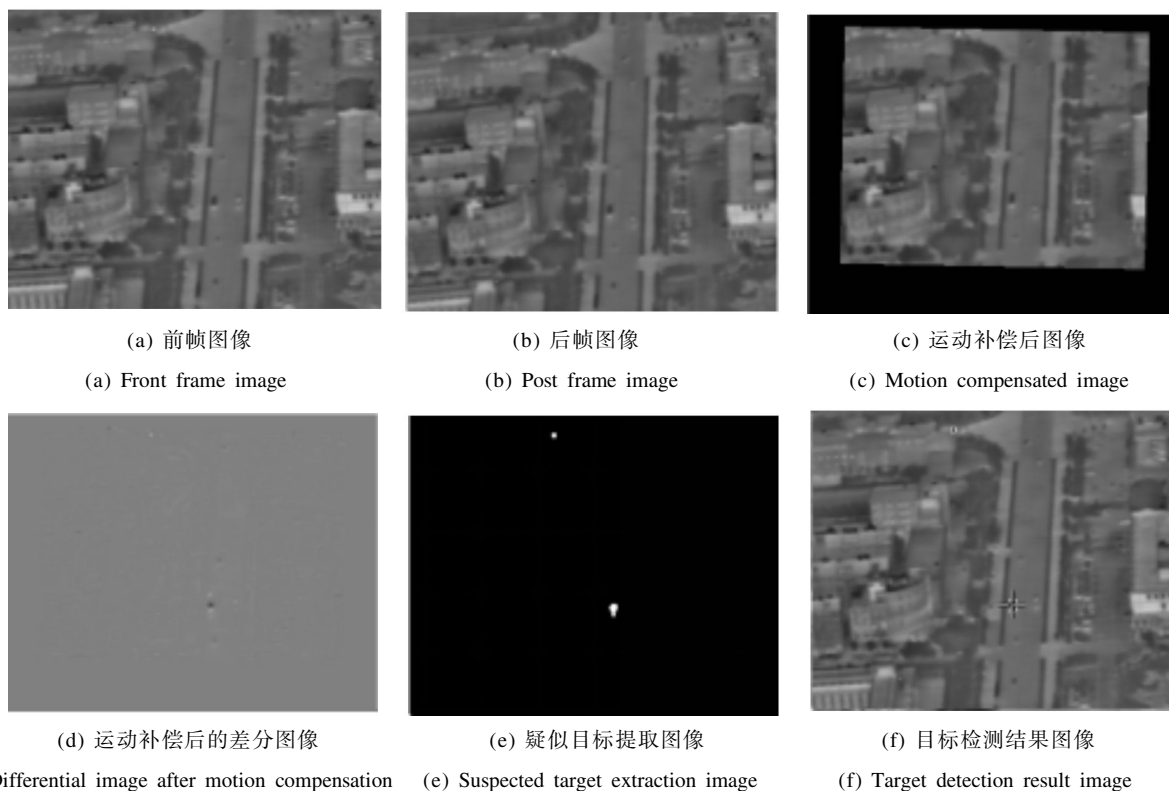


图 10 挂飞验证 3 过程图像

Fig.10 Flight test 3 images

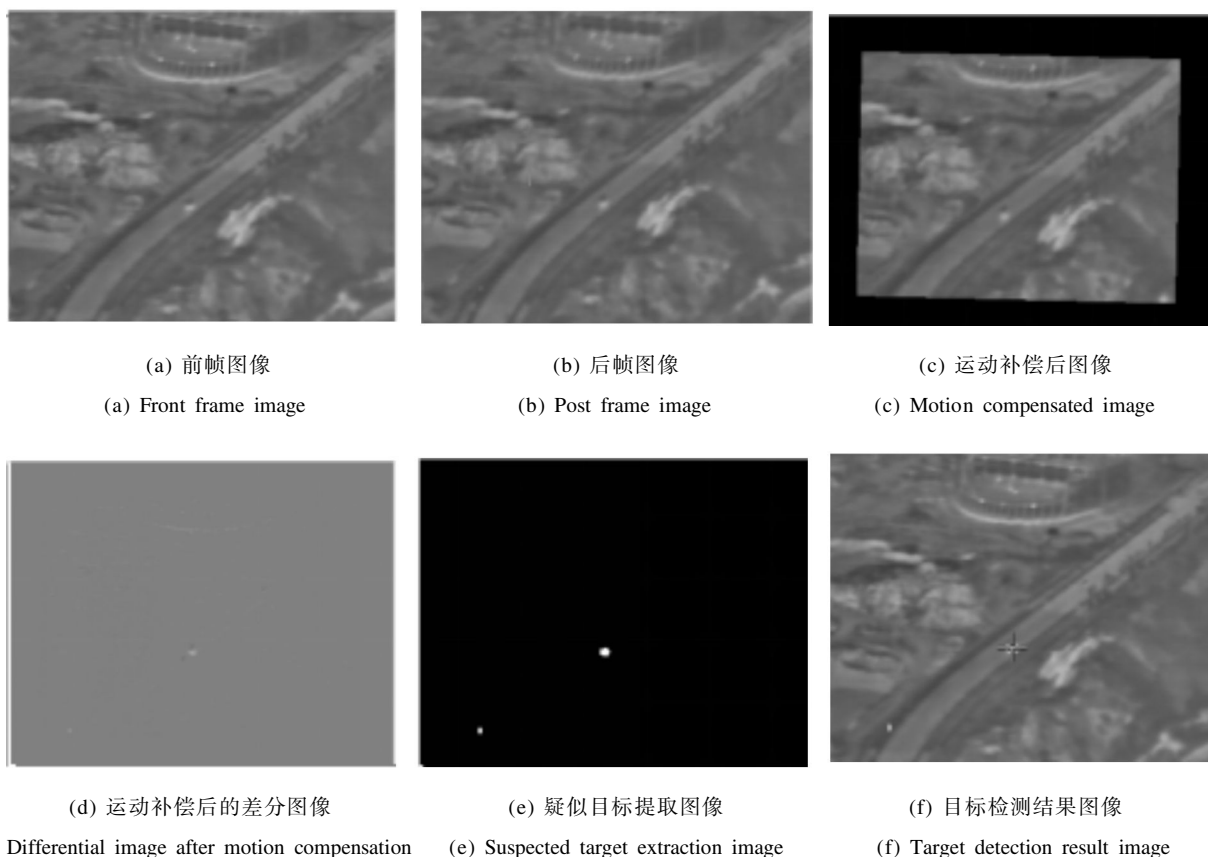


图 11 挂飞验证 4 过程图像

Fig.11 Flight test 4 images

从以上 4 组图像的检测效果来看,基于地理同名点的帧间图像配准方法对复杂背景下的移动小目标检测具有一定的检测能力。当背景较为简单时,常规图像内容的配准往往因为参考配准点较少,从而使得配准精度较低甚至错误,这样获得的差分图像比较混乱。由于文中方法采用无关图像内容的配准方法,即使图像中存在固定重复模式或者图像无纹理时,都能保持较好的精度,达到较好的配准效果。同时该方法涉及坐标解算过程,耗用时间少,在硬件上大大减少了系统延迟时间和软件的处理负担,提高了检测效率。匹配的精度取决于地理位置解算的精度,若获取的惯性组合导航数据如高度、经纬度、随动框架角度都能保持高精度,则配准能达到较好效果。

4 结 论

文中针对移动载体成像系统对复杂场景条件下的红外移动目标检测问题,提出了一种基于地理同名点定位的帧间图像区域匹配移动目标检测方法。

该方法主要是综合飞行器信息,对地理同名点在视场中位置的对应关系实现配准,利用目标的移动特征,对场景的移动目标进行检测。

文中方法首先通过区域配准的方法对帧间图像的运动进行补偿,再进行运动补偿后的图像差分运算获得帧间差分图像,然后在帧间差分图像中提取运动目标,之后对疑似运动区域进行运动特征的反向验证。通过以上处理可以达到有效突出运动目标和抑制运动背景的效果。文中方法对一些典型背景条件下的图像进行了验证,验证结果说明方法是有效可行的,能明显提高红外移动弱小目标在复杂背景中的检测概率,同时能够显著降低检测的虚警概率。

但该方法对图像内容无要求,主要取决于地理同名点定位精度,采用帧图像配准的方法,在复杂的场景下可以利用连续帧中目标与场景的相对运动信息,有效地获取运动目标的位置区域。准确的地理同名点配准,是该方法能够进行可靠运动目标检测的关键,因此检测效果对地理同名点求解精度要求较

高,同时对飞行器一体化传感与解算水平要求较高。

参考文献:

- [1] Fu Qiang, Shi Guangwei, Zhang Xin. Modeling and evaluation of infrared point-target operating range [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(8): 1991–1996. (in Chinese)
付强, 史广维, 张新. 红外点目标作用距离数学建模与评估[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(8): 1991–1996.
- [2] Wang Gang, Chen Yongguang, Yang Suochang, et al. Detection of infrared dim small target based on image patch contrast [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(5): 1424–1433. (in Chinese)
王刚, 陈永光, 杨锁昌, 等. 采用图像块对比特性的红外弱小目标检测[J]. 光学精密工程, 2015, 23(5): 1424–1433.
- [3] Wang Xinhua, Huang Wei, Ouyang Jihong. Real-time image registration of the multi-detectors mosaic imaging system[J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(2): 211–219. (in Chinese)
王新华, 黄玮, 欧阳继红. 多探测器拼接成像系统实时图像配准[J]. 中国光学, 2015, 8(2): 211–219.
- [4] Wang Ningming, Zhu Zhenfu. Digital image tracking algorithm based on electronic image stabilization [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, (z2): 234–237. (in Chinese)
王宁明, 朱振福. 一种稳定可靠的电子稳像方法 [J]. 红外与激光工程, 2007, (z2): 234–237.
- [5] Shen Tongsheng, Zhang Jian, Lou Shuli. Precise registration of space observation images for target detection [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(8): 2205–2213. (in Chinese)
沈同圣, 张健, 娄树理. 面向目标检测的空间观测图像精确配准[J]. 光学精密工程, 2014, 22(8): 2205–2213.
- [6] Ke Hongchang, Sun Hongbin. A saliency target area detection method of image sequence [J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(5): 768–774. (in Chinese)
柯洪昌, 孙宏彬. 图像序列的显著性目标区域检测方法[J]. 中国光学, 2015, 8(5): 768–774.
- [7] Williams T L. Evaluation of the effect of image stabilisation in a digital camera on the quality of images [J]. *The Imaging Science Journal*, 2008, 56(2): 104–106.
- [8] Li J, Wang J, Wang S. A novel method of fast dynamic optical image stabilization precision measurement based on CCD[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2011, 122(7): 582–585.
- [9] Wang Peng, Zhao Yuejin, Kong Lingqin, et al. Improved fast block-matching algorithm for sensor electronic imaging stabilization [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, 41(9): 1065–1070. (in Chinese)
王鹏, 赵跃进, 孔令琴, 等. 改进块匹配宏块的快速传感器电子稳像方法[J]. 光子学报, 2012, 41(9): 1065–1070.
- [10] Chen Xiaolu, Dai Ming, Ge Ming, et al. Fast smoothing point-feature trajectories for digital image stabilization [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(6): 1988–1993. (in Chinese)
陈晓露, 戴明, 葛明, 等. 快速平滑点特征轨迹电子稳像[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(6): 1988–1993.
- [11] Brown L G. A survey of image registration techniques [J]. *ACM Comput Surv*, 1992, 24(4): 325–376.
- [12] Zitov B, Flusser J. Image registration methods: a survey [J]. *Image and Vision Computing*, 2003, 21(11): 977–1000.
- [13] Lavdie R, Ke C. On a variational model for selective image segmentation of features with infinite perimeter [J]. *Journal of Mathematical with Applications*, 2013, 33(3): 253–272.