

全局图像配准的目标快速定位方法

王志强, 程红, 杨 枕, 李 成, 吴 迪

(空军航空大学 航空航天情报系, 吉林 长春 130022)

摘 要: 目标定位技术作为信息化战争中实施目标精确打击的前提, 是情报保障工作的重要内容。目前主要是采用基于图像配准的方法来实现目标的快速定位, 而传统的方法通常都是基于单一特征的图像配准算法, 无法保证图像配准结果的可靠性, 进而影响目标的定位精度。针对以上问题, 提出了一种全局图像配准的目标快速定位方法, 该方法采用图像斑点特征和角点特征相结合的配准方法, 通过度量两种特征配准结果的相似性来保证目标定位精度。最后利用航空遥感图像数据进行了图像配准性能和目标定位精度实验。实验表明: 该方法定位精度高, 速度快, 能够稳定并快速地完成航空遥感图像的目标定位。

关键词: 目标定位; 图像配准; 小波分解

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)S-0225-05

Fast target location method of global image registration

Wang Zhiqiang, Cheng Hong, Yang Guang, Li Cheng, Wu Di

(Aeronautics & Astronautics Intelligence Department, The Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: As the precondition of carrying out the target precision strike in the information war era, target location is an important part of information security work. At present, the fast target location is achieved for image registration, but the traditional methods are single image feature registration, the registration result can not be assured, and then the target location precision can be effected. To solve these problems, a fast target location method of the global image registration was proposed, the image registration method based on the combination of spot and corner features was adopted, the target location precision can be assured through measuring the similarity of two feature matching. Finally, the experiment of image registration performance and target location precision was realized which use of aerial remote sensing images. Experiments show that the improved methods are steady and the aerial remote sensing images can be located effectively.

Key words: target location; image registration; wavelet decomposition

收稿日期: 2015-10-20; 修订日期: 2015-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(61301233)

作者简介: 王志强(1982-), 男, 讲师, 硕士, 主要从事航空航天成像侦察情报处理方面的研究工作。Email: kaola0811@163.com

0 引言

“精确作战”作为信息化战争时代的全新作战样式和未来战争的发展趋势,其“信息引导、火力打击”的精确打击思想,受到了世界各国以及军队的高度重视,实时或准实时地获取战场上目标的位置信息,是实施目标精确打击的基本前提。

20 世纪以来,随着各类成像侦察平台以及成像设备的迅速发展,遥感图像因为其信息丰富、形象直观、准确度高的特点得到了越来越多的应用,战争中的指挥、作战以及评估等环节越来越依赖图像情报,而目标定位技术则是军事情报人员通过图像处理和判读生成图像情报过程中的一项重要工作。其中,航空侦察依赖于机动灵活的侦察平台(如无人侦察机、有人侦察机),借助于机载光电测量系统与导航定位系统,采用基于图像配准的目标定位技术,能够完成对战场上地面“时敏目标”的快速准确定位,并进而实施对目标的精确打击。

基于图像配准的目标定位技术是将当前实时的航空图像与预先存储在计算机中的基准图像进行空间位置上的配准,基准图像通常为经过几何精校正的遥感图像,并且标注有准确的地理位置信息^[1],在完成航空图像与基准图像的准确配准后,便可依据基准图像的地理信息实现航空图像中感兴趣目标的地理定位。基于图像配准的目标定位技术可以大大提高目标的地理定位精度,具有目标定位精度高、可多点同时定位等优点,目标定位的精度完全取决于配准算法的配准精度和基准图像像素的位置精度,实际中基准图像像素的位置精度通常能够达到米级。因此,基于图像配准的目标定位技术一直是国内外的研究热点。

迄今为止,在国内外的图像处理研究领域,研究出不少图像配准的目标定位方法^[2-6]。各种方法都是面向一定范围的应用领域,也具有各自的特点。文中针对传统的基于单一特征的图像配准目标定位算法无法保证图像全局配准以及目标定位结果可靠性的问题,提出了一种采用图像斑点特征和角点特征相结合的参与配准运算的配准定位方法,通过度量两种特征配准结果的相似性来保证配准定位结果的可靠性,能够完成航空侦察图像中的目标快速定位。

1 算法概述

为了完成基准图像和待配准图像的全局配准以实现图像目标的快速定位,首先依据两幅图像的尺寸对两幅图像进行适当层级的小波分解得到低频子带图像和高频子带图像,进而检测低频图像中 SIFT 斑点特征和利用高频子带系数检测角点特征并采用性能优异的 SIFT 特征描述符描述两种类型的特征,然后匹配两幅图像中同类型的特征得到两个匹配点对集并计算出两个图像变换模型,如果两个变换模型相差较大,则利用相关参数直接解算出目标的粗略位置,如果两个变换模型相等或近似,则合并匹配点对集,再计算出新的图像变换模型,从而完成待配准图像和基准图像在全局范围内的配准,实现目标的快速定位。方法的具体流程如图 1 所示。

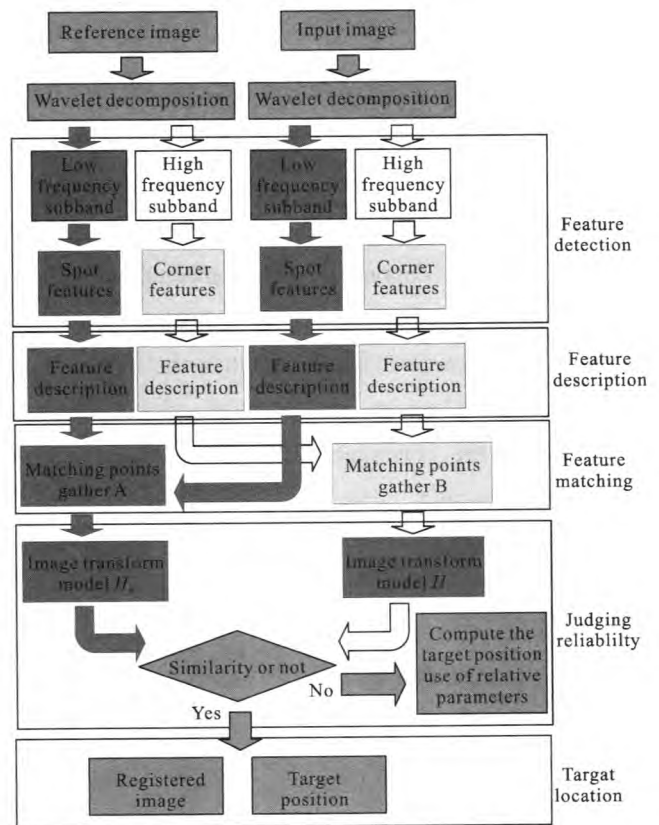


图 1 全局图像配准的目标快速定位方法流程图

Fig.1 Flow of fast target location method of global image registration

2 算法实现

2.1 小波分解

考虑到基准图像和待配准图像数据量较大,如

果小波分解层数较低,分解得到的低分辨率图像的特征信息量可能依然较大,图像配准时计算依然较为复杂耗时;如果小波分解的层数过多,分解得到的低分辨率图像中的特征信息可能太少,后续无法提取到足够的特征完成图像配准。

这里规定小波分解的层数 L 满足下式:

$$L = \text{floor}(\log_2(\min(M_1, N_1, M_2, N_2) - 8)) \quad (1)$$

式中: floor 表示向下取整; M_1, N_1, M_2, N_2 表示基准图像(待配准图像)的行列数,公式(1)要求小波分解的低分辨率图像的行列数均不得低于 256。

对基准图像(待配准图像)进行 L 层小波分解后,在第 L 层可以得到 1 幅低频子带 $LL_1(LL_2)$ 和 3 幅高频子带 $HL_1, LH_1, HH_1(HL_2, LH_2, HH_2)$ 。

2.2 特征检测

在小波低频子带图像中检测 SIFT 斑点特征,由于低频子带图像滤除了大量的高频噪声,图像整体的相似度更高,检测到的斑点特征受高频噪声的影响降低,鲁棒性变得更好^[7];同时,利用小波分解后的高频子带系数检测图像中的角点特征。

2.3 特征描述

采用精细的 SIFT 特征描述符在两幅低频子带中对检测到的斑点特征和角点特征进行特征描述, SIFT 特征描述符采用梯度统计方法构造,拥有良好的光照不变性,独特性、鲁棒性出色,能够降低基准图像和待配准图像之间的灰度差异给后续特征匹配带来的困难。由于基准图像和待配准图像之间的旋转角度很小(这里将其看作为 0°),因此无需计算特征主方向来保证特征的旋转不变性。

2.4 特征匹配

首先采用最近邻特征匹配策略完成特征初始匹配,得到两个初始匹配点对集 A 与 B ;然后利用方向一致性约束策略剔除明显错误的匹配点对;最后采用 RANSAC 算法完成对匹配点对集 A 与 B 的提纯。虽然 RANSAC 算法容错能力较好,但是由于基准图像和待配准图像之间的灰度差异通常较大,误匹配较多,此时, RANSAC 算法的性能可能会受到影响^[8]。考虑到两幅图像之间的缩放比例近似为 1, 旋转角度近似为 0° , 因此,图像中正确匹配点对的运动方向应该趋于一致(近似平行关系),因此可以利用方向一致性约束策略在 RANSAC 算法提纯之前先进

行一次正确匹配点对筛选。

以初始匹配点对集 A 为例,方向一致性约束策略的具体实施步骤如下。

(1) 计算所有匹配点对的运动方向:

$$\text{Theta}(i) = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x + \gamma} \quad (2)$$

式中: $i=1, 2, \dots, \text{num}$, num 为匹配点对集 A 中的匹配点对数目; $\Delta y = y_2(i) - y_1(i)$; $\Delta x = x_2(i) - x_1(i)$; $(y_1(i), x_1(i))$ 和 $(y_2(i), x_2(i))$ 表示匹配点对集 A 中第 i 对匹配点对的行、列坐标。为了避免式中分母为 0 的情况,令 $\gamma = \max(n_1, n_2)$, n_1, n_2 分别为低频图像 LL_1, LL_2 的列数,则 $\Delta x + \gamma$ 一定大于 0。

(2) 将所有匹配点对的运动方向移动到区间 $[0^\circ, 180^\circ]$, 表达式如下:

$$\text{Theta}(i) = \frac{180 \times \text{Theta}(i)}{\pi} + 90 \quad (3)$$

(3) 建立匹配点对的运动方向直方图:

$$\text{Theta}(i) = \text{ceil}(\frac{\text{Theta}(i)}{5}) \quad (4)$$

ceil 表示向上取整。匹配点对的运动方向直方图以 5° 为一个区间,共 36 个区间,当 $\text{Theta}(i)$ 落入某个区间时,该区间对应的统计值加 1。

(4) 保留运动方向直方图峰值所在的区间和左右相邻的区间内对应的匹配点对,至此完成了利用匹配点对的空间几何关系剔除错误匹配点对的过程。

2.5 可靠性判定

对于两个匹配点对集 A 与 B , 利用最小二乘法计算出两个投影变换模型 $H_1 = [a_1, a_2, x_1; a_3, a_4, y_1; a_5, a_6, 1]$, $H_2 = [b_1, b_2, x_2; b_3, b_4, y_2; b_5, b_6, 1]$ 。为了保证图像粗配准结果的可靠性,该算法要求两个图像变换模型必须相同或相近才能认为图像变换模型均是可靠的。利用下式来衡量投影变换模型中近似位移分量 x_i 与 $y_i, i=1, 2$ 的相似性:

$$\begin{cases} |x_1 - x_2| < \varepsilon \\ |y_1 - y_2| < \varepsilon \end{cases} \quad (5)$$

式中: ε 为阈值。当两个投影模型的近似位移分量满足公式(5)时,判定图像变换模型均是可靠的,此时合并匹配点对集 A 与 B , 计算出新的投影变换模型 H ; 并利用图像的附属支持数据直接解算出目标位置信息,此时目标的位置信息可为目标精确打击提

供决策依据。

2.6 目标定位

以低分辨率图像之间的投影变换矩阵 H 为基础, 计算出基准图像和待配准图像之间的投影变换矩阵 H_0 , 计算方式如下:

$$H_0=P \cdot H^L \cdot P^{-1} \tag{6}$$

式中: L 为小波分解的层数; $P=[2,0,0;0,2,0;0,0,1]$ 。

依据投影变换矩阵 H_0 对待配准图像进行重采样和插值操作, 完成待配准图像全局范围内的配准工作, 得到一幅配准图像; 同时, 计算出航空图像中的目标点在基准图像上的位置, 完成目标快速定位工作。

3 实验结果与分析

为了验证文中方法的有效性, 在内存 4 GB、处理器 3.40 GHz 的平台上, 在 Matlab2014a 的环境下进行了仿真实验并进行了实验结果分析。

实验图像为预处理后的基准航空遥感图像和待配准航空遥感图像。

3.1 算法匹配性能对比分析实验

将 SIFT 算法、Harris+SIFT 算法 (即采用 Harris 角点检测算法结合 SIFT 特征描述符)、FAST+SIFT 算法以及文中方法共 4 种算法进行了对比实验。由

图 2 的实验图对比发现: 文中方法由于联合了图像中两种类型的特征点, 匹配特征的分布最为均匀, 均匀分布的特征有利于提高后续图像配准的精度。

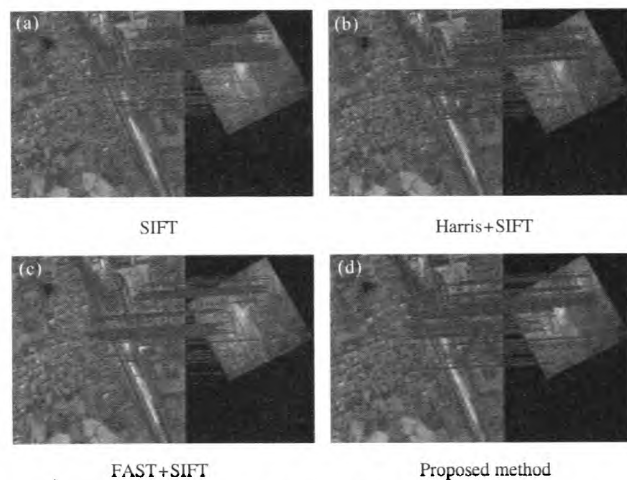


图 2 4 种算法的配准结果

Fig.2 Registered result of four algorithms

为了客观评价各个算法的匹配性能, 文中采用正确匹配点对、匹配正确率、算法总耗时、单个正确匹配点对耗时 4 个评价指标来定量分析算法的效率 (见表 1), 其中匹配正确率 (Correct Rate) 定义^[9]如下:

$$Correct\ Rate=\frac{matches}{\min(N_1+N_2)} \tag{7}$$

式中: $matches$ 表示正确的匹配点对数目; N_1 表示图像 1 中检测到的特征数目; N_2 表示图像 2 中检测到的特征数目。

表 1 匹配结果数据对照表

Tab.1 Data table of matching result

Algorithm	Correct matching points	Accuracy of matching	Total time/s	Time of alone correct matching point/s
SIFT	133	0.040 9	21.451	0.161 3
Harris+SIFT	107	0.055 4	12.064	0.112 7
FAST+SIFT	89	0.045 0	8.471	0.095 2
Proposed method	76	0.067 5	3.797	0.050 0

由表 1 可以看出: 文中方法由于在小波分解的低分辨率图像上进行, 图像特征信息量降低, 所以算法得到的特征匹配点对相对较少, 但算法在匹配正确率、总耗时、单个匹配点对耗时 3 个性能指标上均要优于其他 3 种算法。

文中充分利用了小波低频信息与高频信息, 联合图像中两种类型的特征参与图像配准运算, 在保证配准算法可靠性的同时, 配准速度也得到了显著提高, 仅耗时 3.797 s 便完成了基准图像与待配准图像的配准, 有效克服了配准图像数据量大、配准算法复杂度高的问题, 表明了文中配准定位方法的时效性、可行性。

3.2 目标定位精度分析实验

图 3 所示的航空图像以及感兴趣目标在图像中的位置, 白色框中的黑色圆点表示的是目标点, 其像素坐标为 (683, 278)。

目标定位的结果如图 4 所示, 图中黑色圆点表示全局配准后确定的目标在基准图像中的位置, 白色圆点表示目标在基准图像中的真实位置, 像素坐标为 (743, 647), 图 4 右侧显示的白色框中目标局部区域的放大图像。

由图 4 中基准图像中目标所处的局部区域图像

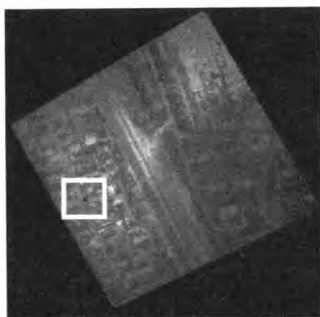


图3 航空图像与感兴趣目标

Fig.3 Aerophoto and the target of interest

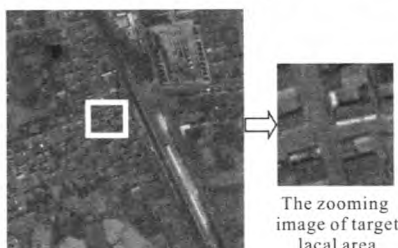


图4 目标定位结果

Fig.4 Target location result

的放大图像可以看出:全局图像配准后确定的目标位置与真实的目标位置偏移量很小。全局图像配准之后确定目标点在基准图像中的像素坐标为(743.68,641.16),计算得知与真实目标点位置之间的偏移量为(0.68,-0.74),实际地面距离相差约为1.3 m,目标定位精度已经能达到米级。

以上实验结果表明:文中提出的全局图像配准的目标快速定位方法能得到较高的目标定位精度。

4 结束语

通常航空图像与基准图像数据量大,直接进行配准定位计算,以现有的硬件水平难以保证实时或准实时的图像配准定位,传统的方法都是基于图像单一特征的配准算法,虽然可以改善算法实时性,但是图像全局配准结果的可靠性无法得到保证。针对上述问题,文中提出了结合小波变换的全局图像快速可靠的配准定位算法,算法联合两种图像特征参与配准运算并通过度量两种特征配准结果的相似性来保证目标定位的精度。

参考文献:

[1] Zhao Shubin, Wang Qiang. Study on combined exploitation of aerial surveillance images[J]. *Command Control & Simulation*,

2011, 33(1): 88-91. (in Chinese)

赵书斌,王强. 侦察图像综合利用技术研究[J]. 指挥控制与仿真, 2011, 33(1): 88-91.

- [2] Qiao Liyong, Xu Lixin, Gao Min. Infrared target tracking using bandwidth adaptive mean shift [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(1): 355-362. (in Chinese)
乔立勇,徐立新,高敏. 带宽自适应均值偏移红外目标跟踪[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(1): 355-362.
- [3] Xiao Zhitao, Lu Xiaofang, Geng Lei, et al. Sub-pixel matching method based on epipolar line rectification [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43: 226-230. (in Chinese)
肖志涛,卢晓方,耿磊,等. 基于极线校正的亚像素相位立体匹配方法[J]. 红外与激光工程, 2014, 43: 226-230.
- [4] Han Yanli, Liu Feng. Small targets detection algorithm based on triangle match space[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(9): 3135-3139.
韩艳丽,刘峰. 基于三角形匹配的空间小目标检测算法[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(9): 3135-3139.
- [5] Shen Tongsheng, Zhang Jian, Lou Shuli. Precise registration of space observation images for target detection[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(8): 2206-2212. (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): 2206-2212.
- [6] Huang Weiguo, Gu Chao, Zhu Zhongkui. PCA-SC shape matching for object recognition [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(8): 2104-2109. (in Chinese)
黄伟国,顾超,朱忠奎. 用于目标识别的PCA-SC形状匹配算法[J]. 光学精密工程, 2013, 21(8): 2104-2109.
- [7] Wu Jianming, Tian Zheng, Liu Xiangzeng, et al. Proposing an effective method for image multi-scale registration by combining SIFT with wavelet transform [J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2011, 29(1): 17-21.
武建明,田铮,刘向增,等. 图像多尺度配准的小波域SIFT方法[J]. 西北工业大学学报, 2011, 29(1): 17-21.
- [8] Bai Tingzhu, Hou Xibao. An improved image matching algorithm based on SIFT [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2013, 33(6): 622-627.
白廷柱,侯喜报. 基于SIFT算子的图像匹配算法研究[J]. 北京理工大学学报, 2013, 33(6): 622-627.
- [9] Gauglitz S, Höllerer T, Turk M. Evaluation of interest point detectors and feature descriptors for visual tracking [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2011, 94 (3): 335-360.