

·信号与信息处理·

基于控制点的多光谱图像自动配准研究

黄立贤, 沈志学, 张大勇, 罗 飞, 骆永全

(中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要:针对同类传感器多光谱图像的配准, 提出了一种快速有效的图像自动配准方法。该方法采用Forstner算子分别从参考图像和配准图像提取控制点, 再利用基于灰度相关的算法匹配同名像点, 然后利用同名像点求解仿射变换参数, 实现多光谱图像的配准。通过液晶光谱相机成像实验对该方法进行验证, 结果证明了该方法处理速度快, 配准精度高。

关键词:多光谱; 图像自动配准; 控制点; 液晶

中图分类号: TP391.413

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)06-0066-04

Automatic Registration for Multi-spectral Images Based on Control Points Algorithm

HUANG Li-xian, SHEN Zhi-xue, ZHANG Da-yong, LUO Fei, LUO Yong-quan

(Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstracts: To process the multi-spectral images registration of the same sensors, a fast and effective automatic image registration algorithm is presented. The control points of the reference image and matching image are extracted by Forstner operator, the corresponding image points are matched by the algorithm based on the gray correlation, and then the parameter of the affine transform is calculated according to the corresponding image points. The multi-spectral images registration is achieved. The registration result of multi-spectral images of the liquid-crystal spectral camera proves that the algorithm is efficient and accurate.

Key words: multi-spectra; automatic images registration; control points; liquid crystal

图像配准是对取自不同时间、不同传感器或不同视角的同一景物的两幅或多幅图像进行匹配、叠加的过程^[1,2]。目前多光谱图像配准主要分两类, 一类是对多源图像配准, 主要有 CCD 图像之间的配准, 多光谱图像与全色图像的配准, 以及 CCD 图像与 SAR 图像之间的配准等; 另一类是同类传感器的多光谱图像配准, 具有代表性的是基于液晶可调滤光片(LCTF)的多光谱图像以及基于声光可调谐滤光片(AOTF)的多光谱图像^[3,4]。目前的图像配准算法大多数针对于多源图像的配准, 相比之下, 同类传感器的多光谱图像之间由于存在着较大的灰度变化, 对配准算法具有特殊的要求^[5]。

图像配准技术主要分基于灰度的方法和基于特征的方法。大多数基于灰度的方法采用互相关技术

或傅里叶变换技术来实现, 它的局限在于难以处理灰度特性差异较大的图像, 通常只能配准大重叠区的图像对。基于特征的方法通过提取两幅图像的共同结构来实现, 更适合不同波段、不同传感器图像的配准^[6,7]。针对同类传感器多光谱图像的特点, 提出了一种基于特征的方法, 从各波段多光谱图像中提取控制点, 并利用控制点实现多光谱图像配准的方法。

1 方法

控制点的方法是基于图像特征配准的一种方法。该类方法的主要共同点是首先要对待匹配图像进行特征提取, 再利用提取到的特征建立匹配映射变换, 再将其应用于仿射变换从而得到匹配结果。

这类方法的优点在于它提取了图像的显著特征,大大压缩了图像的信息量,计算量的剧减使得在有效配准的前提下同时兼顾了实时性^[8,9]。

1.1 控制点提取

常用的灰度图像特征点提取算子有 Moravec 算子、Forstner 算子、SUSAN 算子等。其中 Forstner 算子检测效率较高,特征点定位准确,适用于仿射变换,抗噪性强,所以采用 Forstner 算子来提取图像中的特征点^[10,11]。Forstner 算子是通过计算各像素的 Robert 梯度和以像素为中心的一个窗口的灰度协方差矩阵,在影像中寻找具有尽可能小而接近圆的误差椭圆点作为特征点。Forstner 算子提取控制点的具体步骤如下:

(1) 计算像素 (x, y) 在上下左右 4 个方向灰度差分绝对值 d_1, d_2, d_3, d_4 。

$$\begin{cases} d_1 = |f(x, y) - f(x+1, y)| \\ d_2 = |f(x, y) - f(x, y+1)| \\ d_3 = |f(x, y) - f(x-1, y)| \\ d_4 = |f(x, y) - f(x, y-1)| \end{cases} \quad (1)$$

(2) 取 d_1, d_2, d_3, d_4 的中值 M , 并与给定的阈值 T 比较, 如果 $M > T$, 则 (x, y) 为一个初选点。在以初选点 (x, y) 为中心的 3×3 窗口中, 计算协方差矩阵 N 和误差椭圆的圆度 $q_{x,y}$, 保存在误差椭圆圆度数组 Q 中。协方差矩阵 N 的表达式为

$$N = \begin{bmatrix} \sum g_x^2 & \sum g_x g_y \\ \sum g_x g_y & \sum g_y^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, g_x 和 g_y 分别是沿 x 和 y 方向的偏微分。

误差椭圆圆度定义为: $q_{x,y} = 4 \det(N) / \text{tr}(N)$ 。其中, $\det(N)$ 为矩阵 N 的行列式, $\text{tr}(N)$ 为矩阵 N 的主对角线元素的代数和, 令 $Q(x, y) = q_{x,y}$ 。

(3) 计算获取所有初选点像素的误差椭圆圆度值后, 对数组 Q 进行非最大值抑制, 即如果点 (x, y) 的 5×5 邻域内误差椭圆圆度的最大值 $q_{\max} > q_{x,y}$, 则令 $Q(x, y) = 0$ 。

(4) 选取 Q 中误差椭圆圆度值最大的前 Num 个点作为提取的特征点。

1.2 同名像素点匹配

在控制点提取完成之后, 下一步工作就是要建

立两幅图像之间的对应关系, 即在参考图像和配准图像上控制点对应的同名像点。文中采用了图像匹配的方法, 通过选取参考图像控制点周围一个领域的窗口做模板, 在配准图像中搜索与之相匹配的窗口, 那么匹配最合适的窗口中心也就是控制点的同名像素点^[12]。这种典型基于灰度相关的匹配算法, 具有不受比例因子误差的影响和抗白噪声干扰能力强等特点, 且计算量小, 可以快速准确地进行匹配^[7]。其相似度量定义如下

$$R = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I_1(i, j) I_2(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I_1(i, j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n I_2(i, j)^2}} \quad (3)$$

式中, I_1, I_2 分别是两幅灰度图像。

同名像点匹配算法步骤如下:

步骤 1: 对参考图像提取的每一个控制点 p_i , 选择一个以它为中心, 半径为 d 的窗口 w_i ;

步骤 2: 对待配准图像中选择提取的每一个控制点 q_i , 选择一个以它为中心, 半径为 d 的窗口 w_i' 作为搜索区域;

步骤 3: 将参考图像的窗口 w_i 在待配准图像上的窗口 w_i' 做匹配搜索, 找到相似度最大的匹配窗口 w_i' , 那么 w_i' 的中心点 q_i 就是 p_i 的同名像点。

1.3 仿射变换参数求解与影像匹配

最小二乘法利用了影像窗口内的信息进行平差计算, 使影像匹配可以达到 0.1~0.01 像素的高精度, 是一种高精度的影像匹配方法。

两幅图像之间服从仿射变换, 变换模型如下

$$\begin{cases} x' = a_1 x + b_1 y + c_1 \\ y' = a_2 x + b_2 y + c_2 \end{cases} \quad (4)$$

那么通过上面的 n 对控制点 $\{p_i\}^n, \{q_i\}^n$ 用最小二乘法可以得到精确的仿射变换参数, 并对图像进行配准。

2 实验

2.1 地面成像

实验图像采用液晶多光谱相机地面成像实验图像数据, 成像过程中相机存在一定程度的晃动。图 1 中的图像为中心波长为 550 nm 和 630 nm 的灰度图

像,其他参数如下:成像距离约500 m,图像分辨率为3 296×2 472,光谱范围为400~750 nm,通道数为20。



(a) 550 nm



(b) 630 nm

图1 原始图像



(b) 630 nm

图2 控制点对应后图像



(a) 550 nm



(b) 630 nm

图3 图像配准结果

2.2 配准流程

图像配准流程如下:

(1)利用Forstner算子分别对参考图像和配准图像提取图像控制点;

(2)建立两幅图像控制点对应关系,完成同名像点匹配,结果如图2所示,红色标记为同名像点,共30对;

(3)采用最小二乘法求解仿射变换参数并完成配准图像与参考图像的匹配,结果如图3所示。



(a) 550 nm

以第10组图像(中心波长为550 nm)为参考图像,按照配准流程分别对20组图像进行配准,其中单张图像配准时间为1.23 s,20组图像配准总时间为24.6 s。相比基于灰度的配准方法,配准速度要快一个量级。

3 结果分析

为直观演示配准效果,选取红绿蓝3个波段的灰度图像,分别对配准前后的图像进行彩色合成。配准前后的效果对比,如图4所示,配准前图像由于3个多光谱图像之间空间位置存在偏差,使得图像之间的色彩重叠现象很严重,合成后的图像质量非常差。经配准后,图像3个波段严格对准,合成后图像



(a) 配准前合成图像



(b) 配准后合成图像

图4 合成图像

接近真实场景。

为了定量说明图像配准后的精度,选择10个检验点进行检验,误差如表1所示。结果表明配准误差能控制在1个像素以内。

表1 图像的配准误差(单位为像素)

| | X方向 | Y方向 | 总误差 |
|---------------|------|------|------|
| 红色波段与绿色波段配准误差 | 0.51 | 0.42 | 0.65 |
| 红色波段与蓝色波段配准误差 | 0.64 | 0.47 | 0.79 |

4 结论

利用基于控制点的配准算法可以实现多光谱图像波段间配准的自动化处理,并且能够获得很高的配准精度,图像整体配准误差在一个像元以内。算法应用到液晶多光谱相机地面成像试验中,取得了

令人满意的配准结果。基于控制点的自动配准算法的不足之处是计算量比较大,在处理高光谱图像配准时(波段数大于100),会花费比较长的计算时间,为缩短计算时间需考虑并行系统来解决这个问题。通过进一步的扩展,该算法可以推广到图像对图像的自动几何精校正等应用中,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 金星, 马艳华, 舒嵘. 遥感图像的图像配准方法[J]. 红外, 2004(9):23-30.
- [2] 李国胜. 多源地理信息高精度纠正与配准的技术和方法[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2000.
- [3] BROWN L G. A survey of image registration techniques [J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325-376.
- [4] Reddy B Srinivasa. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(8): 1266-1271.
- [5] ZITOVA B, FLUSSER J. Image registration methods: A survey[J]. Image and Vision Computing, 2003, 21: 977-1000.
- [6] VIOLA P, WELLS W. Alignment by maximization of mutual information [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 24(2):137-154.
- [7] 王娟, 慈林林, 姚康泽. 特征选择方法综述[J]. 计算机工程与科学, 2005:12.
- [8] MOLINA L C, BELANCHE L, NEBOT A. Feature selection algorithms: A survey and experimental evaluation[C]// IEEE Computer Society Press, 2002:306-403.
- [9] ROCHE A, MALANDAIN G, AYACHE N. Unifying maximum likelihood approaches in medical image registration [J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, Special issue on 3D imaging, 2000, 11:71-80.
- [10] 蔡志锋, 卢汉清, Jaeger M. 用混合弹性模型解决图像变形匹配问题[J]. 中国图形图像学报, 2003, 8(7):753-758.
- [11] 郑明玲, 刘衡竹. 遥感图像配准中特征点选择的高性能算法研究及其实现[J]. 计算机学报, 2004, 27(9): 1284-1289.
- [12] C Schmid, R Mohrand, C Bauckhage. Evaluation of interest point detectors[J]. Comput, 2000, 37(2): 151-172.

欢迎订阅! 欢迎刊登广告!

欢迎使用 nloe@vip.163.com 邮箱投稿。