

文章编号:1001-5078(2010)02-0215-04

· 图像与信号处理 ·

基于相似三角形匹配的红外与可见光图像配准方法

陈洁¹, 付冬梅¹, 刘燕²

(1. 北京科技大学信息工程学院, 北京 100083; 2. 装甲兵工程学院装备再制造技术重点实验室, 北京 100072)

摘要:提出了一种基于相似三角形匹配的红外与可见光图像配准方法:首先将提取出的 Harris 角点组成三角形,然后利用本文提出的搜索算法,从红外与可见光图像中找出一对最优的相似三角形,并利用相似三角形的性质,计算出相关的匹配点,最后通过 RANSAC 算法拟合出配准参数,对图像进行配准。实验结果证明:此算法与传统的基于特征点的图像配准方法相比精度更高,具有较强的鲁棒性,可以解决刚体变换下红外与可见光图像配准的问题。

关键词:图像配准;角点;相似;三角形;RANSAC

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Method of infrared and visible image registration based on similar triangles matching

CHEN Jie¹, FU Dong-mei¹, LIU Yan²

(1. School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2. National Key Laboratory for Remanufacturing, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: This paper presents a method of infrared and visible image registration based on similar triangles matching. First, Harris corner will be extracted to constitute the triangles. Second, the search algorithm this paper proposed is used to search the similar triangles which are the best matching and then some related the matching points are calculated by the nature of the similar triangles. Finally registration parameters are estimated by RANSAC algorithm. Experiments show that this method can obtain a higher registration accuracy compared with traditional method of image registration based on feature points, has better robustness, and can be used to solve the infrared and visible images registration with rigid transformation.

Key words: image registration; corner; similar; triangle; RANSAC

1 引言

图像配准是指依据一些相似性度量决定图像间的变换参数,使从不同传感器、不同视角、不同时间获取的同一场景的两幅或多幅图像,变换到同一坐标系下,在像素层上得到最佳匹配的过程^[1]。

由于红外与可见光处于不同波段,图像间的相关性较小,灰度和图像特征存在较大差异,对图像配准造成很大的困难。传统的基于图像特征点的配准方法,如利用角点、边缘点等,但提取出的角点、边缘点的信息较为孤立,很难寻找到匹配点。针对此问题,本文提出了一种在刚体变换下基于相似三角形

匹配的配准方法:首先将提取出的 Harris 角点组成三角形,通过本文的算法搜索出两幅图像中最匹配的一对相似三角形,即寻找出最匹配的三个角点,并通过相似三角形的性质,计算出相关的匹配点,这样使得匹配点的精度更高,最后利用 RANSAC 算法拟合出配准参数对图像进行配准。本算法只考虑特征

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 60573016); 国家科技支撑计划项目(No. 2007BAB27B02-04)资助。

作者简介:陈洁(1982-),男,硕士,主要研究方向为红外图像处理。

收稿日期:2009-08-04

点间的几何相似问题,对两幅图像的灰度变化,具有较强的鲁棒性,可以解决刚体变换下红外与可见光图像配准的问题。

2 变换模型

图像几何变换用来解决两幅图像之间的几何位置差别。本文针对红外与可见光图像配准中刚体变换,采用仿射变换模型:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, t_x, t_y 是 x 和 y 方向上的平移; ϕ 是旋转角度; s 是缩放比例系数。将两幅图像 I_1 和 I_2 进行匹配,就是寻找一组最优的参数 t_x, t_y, ϕ, s , 使得衡量 I_1 和 I_2 的相似的测度最小。

3 基于相似三角形匹配的配准方法

算法主要包括三个方面:①特征点提取;②搜索最佳匹配的三个特征点组成的相似三角形;③RANSAC算法拟合出配准参数。

3.1 特征点提取

本文采用 Harris 角点作为特征点, Harris 算子是 C. Harris 和 J. Stephens 在 1988 年提出的一种基于信号的点特征提取算子^[2]。Harris 角点检测子是基于图像的二阶矩矩阵进行计算的, Schmid 等人证明了在关键点检测子中, Harris 检测子比其他关键点检测子更加稳定、可靠^[3]。Harris 角点检测的方法如下:

图像进行高斯平滑后,计算每个像素的平均梯度平方矩阵:

$$M = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 & \frac{\partial I}{\partial x} \times \frac{\partial I}{\partial y} \\ \frac{\partial I}{\partial x} \times \frac{\partial I}{\partial y} & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, I 为像素点亮度; M 的两个特征值的大小反映了像素点“突显”程度,如果 (x, y) 是一个特征点,那么 M 的两个特征值在以 (x, y) 为中心的局部范围取得极大值。因此一幅图像的所有特征点对应了一个特征点函数:

$$R_{\text{Harris}} = \det M - k(\text{Trace}M)^2 \quad (3)$$

这里 \det 为矩阵的行列式; Trace 为矩阵的迹; k 为参数,一般 $0.04 \leq k \leq 0.06$ ^[4]。

3.2 搜索最优匹配三角形

假设有 n 个任意三点不在一条直线上的 Harris 角点,就会组成 C_n^3 个三角形,计算量很大,为加快计算速度,本文提出了一种搜索最优匹配三角形的算

法,也是论文的核心内容。

3.2.1 判别相似三角形

为加快计算速度,本文提取的三角形需满足三边互不相等。利用三角形三边对应成比例的判定条件,判断相似三角形,但三角形的一条边需要与另一三角形的每一条边进行匹配,才能判断出是否相似,这样计算量很大。如果三角形相似,对应长度的边应匹配:即长边对应长边,为此,先计算三角形每一条边的长度。按边长从大到小的顺序,求对应长度的边长的比值。设置误差阈值 k , 当三角形对应长度的边长比值在误差阈值内近似相等时,认为两个三角形相似。由三角形顶点与对边一一对应的关系,可以通过三角形对应长度的边,判断出三对匹配的角点。但相似三角形中会存在误匹配问题,为解决此问题,提出了位置相似三角形的概念。

3.2.2 位置相似三角形

如图 1 所示,三角形 A, B, C 相似,但由于图像间只存在缩放,平移,旋转,不存在翻转。所以三角形 A 与 C 不匹配。为有效防止误匹配,本文定义了位置相似三角形:

(1) 位置相似三角形满足一般相似三角形性质。

(2) 相似三角形对应边正向夹角相等,规定逆时针为夹角的正方向。

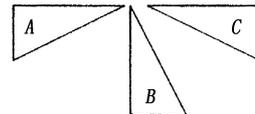


图1 位置相似三角形问题

3.2.3 平移误差问题

通过前面所定义的位置相似三角形,可以去除大量误匹配三角形,但当两幅图像间旋转角度很小或图像间仅存在平移问题时,如图 2 所示,假设三角形 ABC 与 ADE 在误差范围内相似, AB 边和对应边 AD 的正方向夹角很小,而 AC 边和对应边 AE 正方向夹角却接近 360° 。不满足位置相似三角形的条件。但由于红外与可见光图像,角点间相关度较小,如果去除掉类似这种情况的匹配三角形,可能会使配准误差变大,甚至找不到匹配点。

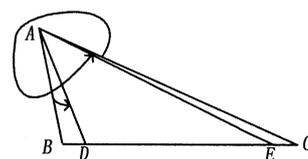


图2 平移误差问题

为解决此问题本文通过设置两个误差阈值 k_1 , k_2 来控制相似三角形匹配。即当图像间旋转角度较大时(本文设置旋转角度大于等于 2°),通过 k_1 控制相似三角形对应边正方向夹角的误差:设 α, β, γ 为对应边正方向夹角,当满足 $|\alpha - \beta|, |\alpha - \gamma|, |\beta - \gamma|$ 都小于或等于 k_1 时,两三角形位置相似。当图像间旋转角度很小或仅存在平移问题时,通过阈值 k_2 控制。即设三角形对应边的正方向夹角为 α ,当三条对应边正方向夹角同时满足 $\alpha \leq k_2$ 或 $\alpha \geq \pi - k_2$ 时,认为是位置相似三角形。即误差小于 k_1 或 k_2 时,为最优匹配三角形。

通过上述,提取出的三对匹配的角点为可疑匹配特征点。

3.2.4 估算相关匹配点

传统的特征点匹配需找出满足求取变换模型参数的特征点个数。这样在匹配的特征点中有些误差较大,会降低配准精度。本文提出利用三角形相似的相关性质,如:对应三边中点匹配,三角形内切圆圆心,外接圆圆心匹配等。通过最佳匹配的三对特征点生成的匹配点,精度会更高。本文通过三角形性质:对应三边中点匹配,外接圆圆心匹配,计算出四对匹配点,与搜索出的三对可疑匹配特征点组成一组可疑匹配点。

3.3 RANSAC 算法

RANSAC 算法是一种鲁棒性参数估计算法^[5],基本思想是:首先根据具体问题设计出某种目标函数,然后通过反复提取最小点集估计该函数中参数的初始值,利用这些初始参数值把所有的数据分为所谓的“内点”(Inliers,即满足估计参数的点)和“外点”(Outliers,即不满足估计参数的点),最后反过来用所有“内点”重新计算和估计函数的所有参数^[6]。为方便估计参数,先将仿射变换模型变换成:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & -y_0 & 1 & 0 \\ y_0 & x_0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \theta \quad (4)$$

参数矩阵:

$$\theta = [\text{s} \cos \phi \quad \text{s} \sin \phi \quad t_x \quad t_y]^T$$

即通过 RANSAC 算法求取 θ 的最优解。步骤如下:

- (1) 选取 4 对匹配点计算参数矩阵 θ ;
- (2) 计算其他匹配点离 θ 的距离 d ;
- (3) 设定阈值计算出此对应 θ 的内点;
- (4) 找到内点最多的 θ 的估计和对应的内点;
- (5) 再应用这些得到的内点估计得到最后的参数矩阵 θ 。

3.4 算法步骤

综上所述,本算法的步骤如下:

(1) 为减少计算量先通过图像中明显的物体:如公路、山脉、河流等,将图像分区或者选取感兴趣目标物体。

(2) Harris 角点提取,区域内或目标物体上的角点数不要过多(一般 10 ~ 20 个)。如果某一区域角点数过少(本文设少于 4 个),则认为该区域角点信息不足,舍去该区域。如果图像间存在旋转,则可不考虑图像边界附近的角点。

(3) 通过控制误差阈值,产生一组位置相似三角形。

(4) 确定三角形对应匹配点。

(5) 利用相似三角形性质,计算对应匹配点。

(6) RANSAC 算法拟合仿射变换模型参数。

(7) 若配准,结束。若没有配准,放大控制误差阈值,产生下一组位置相似三角形,返回第 4 步。

4 实验结果及分析

为验证本文算法在刚体变换下红外与可见光图像配准的准确性,进行了两组实验。实验 1 的图片来自文献[7],图片大小均为 186×100 ,是对两幅遥感图像的配准。实验 2 的图片来自文献[8],图片大小均为 154×116 ,是对目标物体的配准。两组实验红外图像为基准图像,可见光图像为输入图像。

实验平台为 AMD Turion 64 \times 2, 1.6 GHz, 1 G 内存的硬件配置下,采用 Matlab 2008a 的编程环境。

实验 1 如图 3 所示,图 3(a) 为红外图像,图 3(b) 为可见光图像,实验图片中有明显的公路,所以本实验采用的是 Hough 变换,将图像分为 3 个区域。搜索出的最佳匹配角点组成的三角形在图中标出,如图 3(c) 和图 3(d) 所示,配准时间为 14.2 s,并与基于 Harris 角点配准方法(提取 Harris 角点,然后人工选取最优的匹配点对,进行图像配准)进行比较。通过计算均方根误差(RMSE)比较配准效果,如表 1 所示。均方根误差定义如下:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} \text{error}x_i^2 + \text{error}y_i^2}{N}} \quad (5)$$

其中:

$$\text{error}x_i = x_i \times s \times \cos \phi + y_i \times s \times \sin \phi + t_x - x'_i$$

$$\text{error}y_i = -x_i \times s \times \sin \phi + y_i \times s \times \cos \phi + t_y - y'_i$$

N 是控制点对的数目; $(x_i, y_i), (x'_i, y'_i)$ 是控制点对

的坐标。 $s\cos\phi, s\sin\phi, t_x, t_y$ 为配准参数。

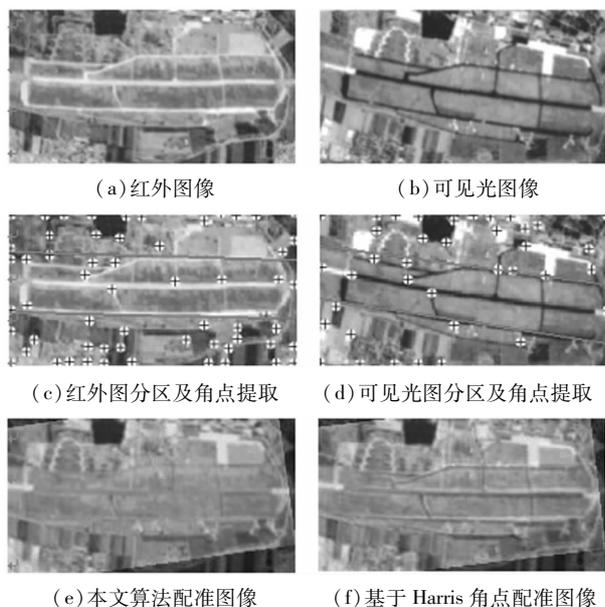


图3 实验1相关图片

表1 实验1结果比较

配准方法		基于 Harris 角点配准	本文算法
配准参数	$s\cos\phi$	0.9955	0.9908
	$s\sin\phi$	-0.1189	-0.1402
	t_x	-11.6539	-11.9233
	t_y	7.4383	8.2066
RMSE		1.1385	0.6134

通过实验2,验证当两幅图像旋转角度很小或仅存在平移时的配准问题,对目标物体配准。搜索出的最佳匹配角点组成的三角形在图中标出,如图4(c)和图4(d)所示,配准时间为13.1s,实验结果如图4所示,并与基于Harris角点配准方法比较配准效果,如表2所示。

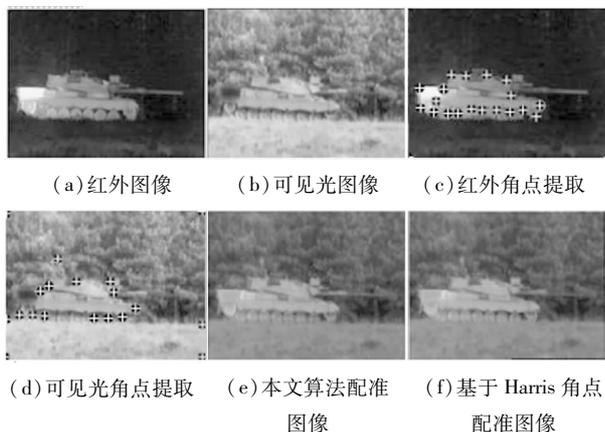


图4 实验2相关图片

表2 实验2结果比较

配准方法		基于 Harris 角点配准	本文算法
配准参数	$s\cos\phi$	1.0013	1.0001
	$s\sin\phi$	-0.0126	-0.0042
	t_x	-1.6618	-0.2297
	t_y	-0.1533	0.3589
RMSE		2.6773	0.8118

通过两组实验比较,从表1和表2中可以看出本文所提算法在解决刚体变换下红外与可见光图像配准问题时,配准精度更高。

5 结论

针对红外与可见光图像间的相关性较小,灰度和图像特征存在较大差异,对图像配准造成很大困难的问题,本文提出一种基于相似三角形匹配的红外与可见光图像配准方法。该方法的主要特点是:①利用一种新的图像间特征:位置相似三角形进行配准;②通过最优的三个匹配角点计算出相关的匹配点,使匹配点精度更高;③本文算法只考虑特征点间的几何性质,所以对图像间的灰度变化、缩放、旋转、平移具有较强的鲁棒性,可以较好地解决在刚体变换条件下红外与可见光图像配准的问题。

参考文献:

- [1] 苑津莎,赵振兵,高强,等. 红外与可见光图像配准研究现状与展望[J]. 激光与红外,2009,7(39):693-699.
- [2] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]//Proc of 4th Alvey Vision Conference. Manchester, 1988:147-151.
- [3] Schmid C, Mohr R, Bauckhage C. Evaluation of interest point detectors[J]. International Journal of Computer Vision, 2000, 37(2):151-172.
- [4] 程邦胜,唐孝威. Harris尺度不变性关键点检测子的研究[J]. 浙江大学学报,2009,4(35):855-859.
- [5] P H S Torr, A Zisserman. Feature based methods for structure and motion estimation[J]. Proc of Workshop on Vision Algorithms, 1999:278-294.
- [6] Richard Hartley, Andrew Zisserman. Multiple view geometry in computer vision[M]. Cambridge: The Press Syndicate of the University of Cambridge, UK, 2000.
- [7] 陈桂友,徐胜男,李振华,等. 刚体变换下基于轮廓的多传感器图像配准算法[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(7):1169-1173.
- [8] 文伟. 红外图像伪彩色模型的研究与应用[D]. 北京: 北京科技大学, 2007.