

文章编号: 1672-8785(2011)07-0023-05

基于角点和 Hu 矩不变量的可见光和 红外图像自动配准方法

窦建方 李建勋

(上海交通大学自动化系统控制与信息处理教育部重点实验室, 上海 200240)

摘 要: 针对红外图像与可见光图像的自动配准问题, 提出了一种基于图像角点特征和透视变换模型的方法。首先采用自适应阈值对红外与可见光图像进行分割, 然后利用 Harris 因子分别在分割后的红外和可见光图像上检测角点。通过分析角点邻域在原始图像上的相关性实现角点的粗匹配。接着通过 RANSAC 算法对角点进行细匹配, 删除 outliers, 再由 Hu 矩不变量进一步提纯角点。最后利用最终匹配的角点作为透视变换的控制点, 得到透视变换模型。用该模型对待配准图像进行透视变换, 可实现图像配准。实验结果表明, 该方法的配准精度高, 可以很好地完成红外与可见光图像的自动配准。

关键词: 图像配准; 角点; Harris 因子; 透视变换; Hu 矩不变量; RANSAC 算法

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.07.004

Automatic Registration of Visible and Infrared Images Based on Corners and Hu Invariant

DOU Jian-fang, LI Jian-xun

(Department of Automation, Shanghai Jiao Tong University; Key Laboratory of System Control and Information Processing, Ministry of Education of China, Shanghai 200240, China)

Abstract: According to the automatic registration of visible and infrared images, a new method based on Harris Corner and Hu invariant is proposed. In this method, the adaptive thresholds are used to segment visible and infrared images and the Harris factors are used to detect the corners in the segmented visible and infrared images respectively. After analyzing the correlation of the corner neighborhoods in the original images, the coarse corner matching is realized. Then, the RANSAC algorithm is used to remove the outliers in the coarse matched corners and the Hu invariant is used to further filter the wrong matching. Finally, by using the matched corner as the control point of projection transformation, a projection transformation model is obtained. The model can be used to conduct the projection transformation of the images to be matched and make the images registered. The experimental result shows that the method has a high accuracy in registration and can automatically register the visible and infrared images.

Key words: image registration; corner; Harris factor; projective transformation; HU invariant; RANSAC

收稿日期: 2011-05-20

基金项目: 国家自然科学基金 (60874104)

作者简介: 窦建方 (1982-), 男, 河北定州人, 博士研究生, 主要研究方向为匹配定位和模式识别。

E-mail: specialdays2010@163.com

0 引言

作为多传感器图像融合研究中的一项关键技术,图像配准技术已广泛应用于医学成像、动态视频图像监控、模式识别、卫星遥感成像和工业探伤等领域^[1]。目前,图像配准方法总体上可以分为基于像素相似性的配准和基于几何特征的配准两大类^[2]。其中,基于像素相似性的配准方法是通过在灰度信息的统计特性空间上定义一个准则函数,使配准参数可以在准则函数的极值处取得,从而将配准问题转化为准则函数的最大最小化问题,然后通过一定的最优化方法求得配准参数来实现配准的。该方法具有较高的准确性和鲁棒性,但由于依据了整幅图像的灰度信息,其计算费用相当高。基于几何特征的图像配准方法是用图像分割和模式识别方法提取图像中稳健的特征点,并确定这些特征点之间的对应关系,然后通过寻找一个表示相似性测度的能量函数来优化求解图像之间的空间变化参数,以达到两幅图像之间的对应像素在空间位置上的对齐效果的^[3]。

针对简单场景的可见光和红外图像的配准,本文首先采用自适应阈值分割算法分别对原始的可见光和红外图像进行分割,提取出前景目标。然后采用 Harris 角点检测算子在分割后的红外与可见光图像上进行角点检测,并采用角点邻域相关在原始图像上进行粗匹配。为了删除 outliers,采用 RANSAC 算法过滤匹配点。针对红外与可见光图像之间尽管差异很大,但是其轮廓还是存在一定的相似性的特点,利用 Hu 矩不变量进一步提纯角点。最后利用匹配的角点以透视变换模型建模,配准可见光图像。一般的可见光和红外图像配准方法大多数采用相似/仿射变换模型。本文考虑到两者之间的配准是多传感器之间的配准,存在一定的透视影响,所以采用透视变换模型。实验结果表明,通过在分割图像上进行角点检测,利用 RANSAC 算法和 Hu 矩不变量进行角点提纯以及采用透视变换的方法,能够使简单场景的红外和可见光图像实现自动配准,在一定程度上提高其配准精度。

1 图像配准的定义方法及分类

简而言之,图像配准就是使待配准图像与参考图像在灰度和空间几何上对准。由于同一场景拍摄的图像是真实的三维世界在不同时间内对成像平面的一系列投影,而图像与图像之间具有较大的相关性和信息冗余,所以无论所处理的图像发生了何种形式的变化或者由何种传感器获得,人们总可以利用图像中不变的部分和共性信息对其进行配准,然后再根据需要对变化的部分进行处理。典型图像配准方法的基本步骤^[2]主要包括特征检测、特征匹配、变换模型参数估计以及图像重采样与变换。(1) 特征检测是指从图像中提取出用于匹配的信息。这里的特征是广义的特征,包括图像灰度、角点、边缘、轮廓、图像描述符、频率信息和小波系数等。(2) 特征匹配是指建立两幅图像中共有特征之间的对应关系的过程,即使用特征向量和相似性度量对特征进行匹配。(3) 变换模型是指根据待配准图像与参考图像之间的几何畸变,选择可拟合两幅图像之间变化的最佳几何变换模型。而变换模型参数估计是指应用优化策略求取两幅图像之间的最佳变换参数。(4) 得到变换参数后,需要对待配准图像进行相应变换,以使其与参考图像处于同一坐标系下。随后得到的像素点坐标不一定是整数,应进行重采样与插值处理。常见的插值方法有最近邻域法、双线性法和双三次卷积法。

2 基于角点和 Hu 不变量的配准方法

2.1 Harris 角点检测算法

Harris 角点检测算法^[4]是在 Moravec 算法的基础上发展起来的。Moravec 角点检测算法的基本思想是,在图像中设计一个局部检测窗口,当该窗口沿各个方向作微小移动时,考察窗口的平均能量变化;当该窗口的变化值超过设定的阈值时,就提取窗口的中心像素点作为角点。设像素点 (x, y) 的灰度值为 $f(x, y)$, 图像的每一个像素点移动的强度变化则为

$$E_{u,v} = \sum_{u,v} W_{u,v} [f(x+u, y+v) - f(x, y)]^2 \quad (1)$$

式中, 像素的移动 (u, v) 取值为 $(1,0), (1,1), (0,1), (-1,1), (-1,0), (-1,-1), (0,-1), (1,-1)$; $W_{u,v}$ 表示窗口的含义。显然, Moravec 算法只检测了窗口函数在 8 个方向上移动的强度变化, 不能准确提取出全部角点, 而且它对孤立像素点、噪声和边缘较为敏感。因此, 该算法中定义的角点响应函数 $C(x, y) = \min(E_{u,v}(x, y))$ 也不具有旋转不变性。为改进 Moravec 算法, Harris 算法通过微分运算和自相关矩阵来检测角点, 并且用微分算子重新定义了灰度强度变化的公式:

$$E_{u,v} = \sum_{u,v} W_{u,v} \left[f(x+u, y+v) - f(x, y) \right]^2 \approx W_{u,v} \left(u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \quad (2)$$

此外, Moravec 角点算子对边界十分敏感, 因为其响应值只考虑了 E 的最小值。Harris 角点算子则利用了 E 在平移方向上的变化。在平移方向上, 某个像素点 (x, y) 的 E 可以表示为

$$E(x, y) = (x, y) M(x, y)^T \quad (3)$$

$$R(u, v) = \frac{\sum_{x=u}^{u+U-1} \sum_{y=v}^{v+V-1} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}] [t(x-u, y-v) - \bar{t}]}{\sqrt{\sum_{x=u}^{u+U-1} \sum_{y=v}^{v+V-1} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}]^2 \sum_{x=u}^{u+U-1} \sum_{y=v}^{v+V-1} [t(x-u, y-v) - \bar{t}]^2}} \quad (7)$$

式中, x, y 为搜索图像的大小, U, V 为模板大小, u, v 为匹配点, $f(x, y)$ 为图像中匹配区域的像素灰度值, $t(x-u, y-v)$ 为模板中的像素灰度值, $\bar{t}$ 为模板的灰度均值, $\bar{f}_{u,v}$ 为图像中匹配区域的均值。

2.3 RANSAC 精匹配

为了考虑周围点的匹配结果的一致性, 本文采用 RANSAC 原理进行精匹配。RANSAC 方法是一种具有高鲁棒性的参数估计方法^[6]。它首先根据具体问题设计出某种目标函数, 然后通过重复提取最小点集来估计该函数中参数的初始值, 再利用这些初始参数值把所有的数据分为满足估计参数的点和不满足估计参数的点, 最后反过来利用所有满足估计参数的点来重新

这里, M 可表示为

$$M = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中,

$$I_x = \frac{\partial f}{\partial x}, \quad I_y = \frac{\partial f}{\partial y} \quad (5)$$

Harris 角点检测算法是通过定义 $Tr(M)$ 、 $Det(M)$ 以及 R 来判定某个像素是否为角点的。

$$Tr(M) = I_x^2 + I_y^2$$

$$Det(M) = I_x^2 I_y^2 - (I_x I_y)^2$$

$$R = Det(M) - Tr(M)^2 \quad (6)$$

2.2 归一化相关粗匹配

去均值的归一化相关算法^[5]的定义如下:

计算和估计函数的参数。本文取初始参数值为 0.001, 并利用此阈值判断提取的点是否为满足估计参数的点。

下面用间接图像配准法即运用图像间的单应性矩阵关系来进行配准。由摄影几何学可知, 如果空间点位于同一平面上且该平面不通过两台摄像机的任一光心, 那么此时两幅图像对应点之间将会存在一一对应关系, 而且这种关系可以用一个称为单应矩阵的变换矩阵来表示。单应矩阵是两幅图像之间的一个对应矩阵, 利用它可以确定两幅图像上的特征点之间的一一对应关系^[7]。令 $X_i = (x_i, y_i, 1)$, $X'_i = (x'_i, y'_i, 1) (1 \leq i \leq n)$ 为两幅待配准图像的 n 组对应点, 则这两组图像点之间有如下关系: $X'_i = H X_i$ 。其中, H 为

两幅图像间的单应矩阵, 是一个 3×3 的矩阵。

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.4 Hu 形状不变矩

基于空间位置关系的图像检索是利用图像空间位置关系作为检索条件的。利用图像对象之间的空间位置关系来区别图像, 符合人们识别图像的习惯, 而且空间关系特征很容易与其它视觉特征相结合, 便于实现多视觉特征融合的图像综合检索。融合方法是未来图像检索研究的方向, 因此很多研究人员通过图像空间位置关系来进行图像检索。对形状特征进行一系列计算, 得到一组几何矩特征不变量的集合, 然后用该集合对在不同大小和不同方向上可能具有相同特征的某一类图像进行识别。

1962 年, Hu M K 将代数不变量理论应用于归一化的中心矩, 构造出了 7 个平移、旋转和尺度不变矩。利用 Hu 不变矩是进行图像识别与匹配的一个重要方法。Hu 不变量可以用 7 个公式 [8] 表示。

3 实验仿真

整个实验是在 PC 机上利用 Matlab7.1 环境进行的。实验所用图像由本实验室的可见光和红外摄像机拍摄获得。

图 1 为实验所用的原始可见光与红外图像。其中, 实际场景为发光的台灯。由于该图像上的台灯的角点比较明显, 同时考虑到背景的影响, 先对可见光与红外图像进行自适应阈值分割, 从而提取出前景目标。图 2 所示为图像分割结果。在去除背景干扰以后, 利用 Harris 角点检测算子在分割后的图像上进行角点检测。图 3 所示为分别对图 2 进行检测的结果。对于图 2(a), Harris 角点阈值为 200, 一共检测到 86 个角点; 对于图 2(b), Harris 角点阈值为 200, 一共检测到 21 个角点。在进行角点检测以后, 采用归一化相关系数对原始图像的角点进行粗匹配。角点邻域

窗口大小为 7×7 , 得到 14 对匹配点, 如图 4 所示。此时仍然会有误匹配点, 所以采用 RANSAC 进一步删除 outliers, 内点阈值为 0.002, 得到 5 对匹配点, 如图 5 所示。考虑到可见光与红外图像的配准是多模态配准, 两者的成像机理不同且差异很大, 但是两者在轮廓上还是具有一定的相似性, 采用 Hu 矩不变量再次提纯角点, 从而得到准确的匹配角点。图 6 所示为 Hu 矩不变量提纯的结果, 得到 4 对匹配点。对于可见光与红外图像的配准问题, 一般文献采用的是相似 / 仿射变换模型。然而可见光与红外图像是采用不同的传感器拍摄的, 应该考虑透视变换的影响, 所以本文采用透视变换模型进行建模, 对可见光图像进行配准, 然后再将其与红外图像进行加权融合。图 7(a) 为利用透视变换模型配准的红外图像, 图 7(b) 所示为与原始红外图像进行加权融合的结果。

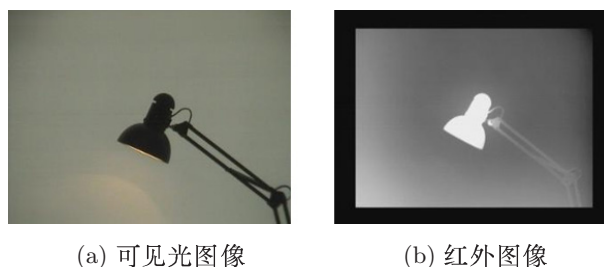


图 1 原始红外与可见光图像

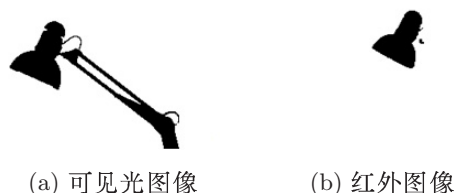


图 2 图像分割结果

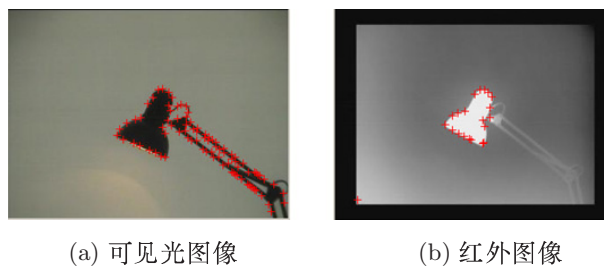


图 3 Harris 角点检测结果

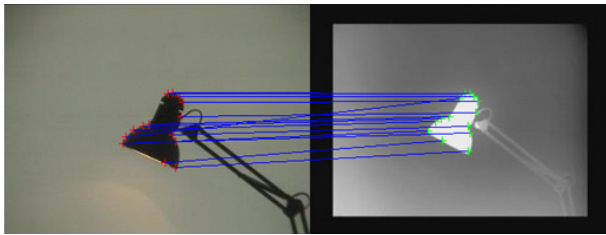


图 4 归一化相关粗匹配结果

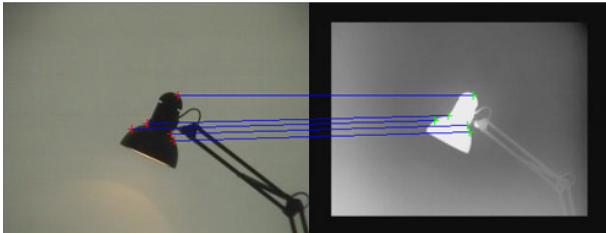


图 5 RANSAC 去除结果

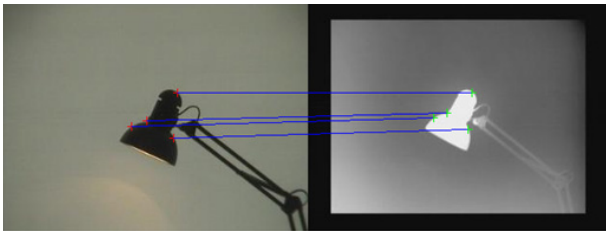
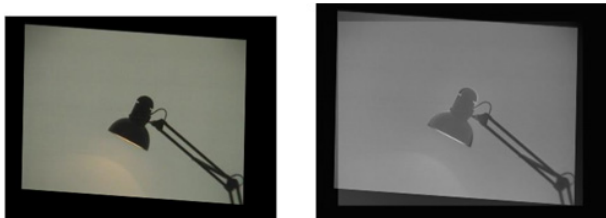


图 6 Hu 矩提纯结果



(a) 配准结果

(b) 简单加权融合

图 7 图像配准与融合结果

4 结论

实验结果表明, 在分割图像上进行角点检测, 再利用 RANSAC 算法和 Hu 矩不变量进行角点提纯, 然后再采用透视变换方法进行变换, 能够使简单场景的红外和可见光图像实现自动配

准。该方法对存在旋转、缩放、平移以及不同视场大小等差异的两幅或多幅图像都能实现较好的配准。与传统的图像配准方法相比, 该方法的原理简单, 配准精度高, 并且在参量最优的条件下具有无须手动和稳定可靠等特点。但是其透视变换控制点的选取是在分割图像上进行的。若图像分割效果不理想, 则会影响到控制点的选取, 使得不能实现图像配准。因此, 以后的研究应该致力于更好的图像分割算法和更稳健的图像匹配算法。

参考文献

- [1] Brown L G. A Survey of Image Registration Techniques [J]. *ACM Computing Surveys*, 1992, **24**(4): 325-376.
- [2] Barbara Zitova, Jan Flusser. Image Registration Methods: A Survey [J]. *Image and Vision Computing*, 2003, **21**(3): 977-1000.
- [3] Anuta P E. Spatial Registration of Multispectral and Multitemporal Digital Imagery Using Fast Fourier Transform Techniques [J]. *IEEE Trans Geosci Electron*, 1975, **8**(6): 353-368.
- [4] Harris C, Stephens M. A Combined Corner and Edge Detector [C]. Manchester: In *Aley Vision Conference*, 1988.
- [5] Brechle Kai. Template Matching Using Fast Normalized Cross Correlation, *Optimal Pattern Recognition XII* [C]. *SPIE*, 2001, **4387**: 95-102.
- [6] 单欣, 王耀明, 董建萍. 基于 RANSAC 算法的基本矩阵估计的匹配方法 [J]. *上海电机学院学报*, 2006, **9**(4): 66-69.
- [7] Jain P K, Jawahar C V. Homography Estimation from Planar Contours [J]. *Third International Symposium*, 2006, **77**(15): 877-884.
- [8] Hu M K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants [J]. *IRE trans Information Theory*, 1962, **8**(7): 179-187.