

基于角点的红外与可见光图像自动配准方法

王阿妮, 马彩文, 刘爽, 柳丛, 赵欣

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

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以及仿射变换模型的方法. 利用 Harris 因子分别在红外图像和可见光图像上检测角点, 并对两幅图像进行边缘检测, 得到其边缘图像. 通过角点邻域在边缘图像上的相关性, 实现角点的粗匹配; 通过角点的细匹配, 从匹配的点中选择两对匹配最佳的点作为仿射变换的控制点, 得到仿射变换模型, 并对待配准图像进行仿射变换, 从而实现图像配准. 实验结果表明: 该方法运算速度快, 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; 仿射变换; Canny 算子

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)12-3328-5

0 引言

在目标检测、识别与跟踪领域, 由于单源传感器在成像机理和光谱特性上的限制, 使其在工作时很难摆脱一些固有缺陷的影响, 所以, 从单源向多源发展是该领域一个重要方向. 其中, 可见光摄像机和红外热像仪是实际应用中经常使用的. 可见光摄像机是靠获取场景的各种反射信息成像的, 有较高的时空分辨率, 所成的图像含有丰富的几何和纹理细节, 能够提供目标所在场景的细节信息, 有利于观察者对场景的整体认知^[1]. 红外(8~14 μm)热像仪主要是靠获取场景的红外辐射成像的, 即通过探测目标与背景间的热辐射差异来识别目标的, 因而具有很好的云雾穿透, 以及特殊的识别伪装的能力. 可见, 这两种图像的信息具有互补性, 冗余性, 可以利用它们来改变实际应用中单一成像传感器的不足. 然而, 对同一场景使用相同或不同的传感器(成像设备)在不同条件下(天候、照度、摄像位置和角度等)获取的两个或多个图像一般会有所不同, 同一场景的多幅图像的差别主要表现在: 不同的分辨率、不同的灰度属性、不同的位置(平移和旋转)、不同的比例尺、不同的非线性变形等等^[2]. 为了综合利用这些图像的信息, 实现更稳定、实时的跟踪, 其中最基本的一步就是实现两幅或多幅图像的配准.

文献[2]采用小波变换实现了视差图像配准, 文献[3]主要针对时间序列图像间的旋转, 采用小波变换实现了配准, 这两种方法都是针对同一类传感器图像的, 未涉及到不同类传感器图像间的配准. 文献[4]针对图像差异较大的光学图像与合成孔径雷达

图像(Synthetic Aperture Radar, SAR)基于线性不变矩实现了配准, 金宝刚博士利用边界相关性实现了红外与可见光图像的配准. 这两种方法都实现了不同类型间图像的配准, 然而, 在全局内进行轮廓匹配或者相关运算, 实时性较差. 文献[5]针对医学图像配准, 提出了基于均值距离测度的配准方法. 本文主要针对目标检测领域可见光与红外图像的自动配准, 提出了基于角点特征的自动配准方法, 该方法计算复杂度低、实时性好, 且适合多源图像的融合检测与协同检测技术中的图像配准.

1 图像配准的定义、应用及方法分类

图像配准的定义是: 将取自同一目标区域的两幅或多幅影像在空间位置上最佳地套合起来, 这些影像或者来自不同传感器, 或者是由同一传感器在不同时相获取的. 它可以应用在不同观察点获取的图像之间的配准(多观察点配准)、不同时间获取的图像之间的配准(时间序列配准)、不同传感器获取的图像之间的配准(多模态配准)以及场景到模型的配准(模板匹配)^[6]. 图像配准的方法包括^[7]: 1) 基于灰度相关的配准方法; 2) 基于图像特征的配准方法; 3) 基于对图像理解和解释的配准方法. 也可以按照需不需要人工参与, 分为手动配准和自动配准.

2 利用 VC++6.0 实现可见光图像与红外图像配准

本文主要研究对同一场景的可见光图像及红外图像实现自动配准, 这两种图像存在着旋转、平移、缩放, 以及视场大小不同等特征. 具体步骤为: 1) 在红外及可见光图像上进行角点检测, 得到两组角点; 2) 对可见光和红外两种图像进行边缘检测; 3) 匹配

角点,并选择仿射变换的控制点;4)计算仿射变换参量 $T=[s,a,\Delta x,\Delta y]$,其中 s 为缩放比例, a 为旋转角度, $\Delta x,\Delta y$ 分别为 x 轴和 y 轴的平移大小;5)利用仿射变换实现红外和可见光图像的配准。

2.1 可见光和红外图像仿射变换模型

二维仿射变换的一般形式如式 1. 其中 (x',y') 和 (x,y) 分别是可见光图像和红外图像(或红外图像和可见光图像)像素点的坐标. 可见,该模型中有四个未知数,只要知道四个点的坐标 $v_1(x'_1,y'_1),v_2(x'_2,y'_2),i_1(x_1,y_1),i_2(x_2,y_2)$,就可以求出这几个参量. 其中 v_1,v_2 是可见光图像上的点, i_1,i_2 是红外图像上的点,得到式 2 中的四个等式,从而可以得到 $s,a,\Delta x,\Delta y$ 四个参量的解的表达式,如式 3.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = s \cdot \begin{pmatrix} \cos(a) & -\sin(a) & 0 \\ \sin(a) & \cos(a) & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x'_1 &= s \cdot (\cos(a) \cdot x_1 - \sin(a) \cdot y_1) + \Delta x \\ y'_1 &= s \cdot (\sin(a) \cdot x_1 + \cos(a) \cdot y_1) + \Delta y \\ x'_2 &= s \cdot (\cos(a) \cdot x_2 - \sin(a) \cdot y_2) + \Delta x \\ y'_2 &= s \cdot (\sin(a) \cdot x_2 + \cos(a) \cdot y_2) + \Delta y \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{x'_2 - x'_1}{\cos(a) \cdot (x_2 - x_1) - \sin(a) \cdot (y_2 - y_1)} \\ a &= \arctan\left\{ \frac{[(x_2 - x_1) \cdot (y'_2 - y'_1) - (x'_2 - x'_1) \cdot (y_2 - y_1)]}{(x'_2 - x'_1)(x_2 - x_1)} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= x'_1 - s \cdot (\cos(a) \cdot x_1 - \sin(a) \cdot y_1) \\ \Delta y &= y'_1 - s \cdot (\sin(a) \cdot x_1 + \cos(a) \cdot y_1) \\ &\left[\begin{array}{cc} \sum_{(x,y) \in w} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 & \sum_{(x,y) \in w} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right) \\ \sum_{(x,y) \in w} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right) & \sum_{(x,y) \in w} \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \end{array} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

2.2 基于 Harris 因子的角点检测

Harris 提出了一种仅使用一阶方向导数的特征点检测方法,该方法计算每个像素处的平均梯度平方矩阵,然后通过分析特征值得到特征点^[8-9]. 基于 Harris 因子的角点检测通过计算每一个像素 w 邻域的亮度变化矩阵 C 来检测角点,矩阵 C 的定义如式(4). 定义函数 $M = \det(C) - k \times \text{trace}(C)^2$,其中,参量 k 取 0.04,为 Harris 因子最优参量,选择该函数的局部极大值所在点为角点. 为了减少检测到的角点数量,只选取较强的角点,实验中采取了三种方法:1)非最大值抑制,计算输入图像每一个像素点的最小特征值,仅保留 3×3 邻域中具有局部最大值的点;2)角点质量控制. 设定阈值 T ,排除掉步骤 1)中特征值小于该阈值的点;3)角点间距控制. 设定最小间距 D ,最强的角点先保留,然后检查新角点与已

有角点的间距,排除间距小于最小间距的新角点^[10]. 其中,阈值 T 一般根据图像的清晰程度,以及角点多少等因素来决定,当图像比较清晰,角点数量较多时,一般取 T 大些;当图像较模糊,角点较弱时,一般取该值小些. 在阈值 D 选取时,当该图中角点丰富时,取 D 大些,以免所检测到的角点邻域重叠太多;当角点较少,或者边缘很复杂时,取该值小些,以免检测到的角点太少,无匹配角点.

2.3 Canny 边缘检测算法

红外和可见光图像处于不同的波段,像素灰度之间不具有高度的相关性,但其边缘图像具有一定的相关性^[11]. 因而,可以在它们的边缘图上实现角点匹配,进而实现图像配准.

实现边缘检测的算法很多,例如 Sobel、Prewitt、Roberts、LoG、Canny 等算法,其中,Sobel、Roberts、Prewitt 都为局域窗口梯度算子,对噪音比较敏感,所以对处理实际图像不太适用. 而 Canny 算子一般又优于 LoG 算子,所以,这里采用 Canny 算法进行边缘检测. Canny 算法进行边缘检测的步骤为:1)降噪. 将原始图像与高斯 mask 作卷积,得到的图像与原始图像相比有些轻微的模糊. 这样,单独的一个像素噪音在经过高斯平滑的图像上变得几乎没有影响. 2)寻找图像中的边缘点. 在图像中的每一点处计算局部梯度和边缘方向,边缘点定义为梯度方向上其强度局部最大的点. 3)非最大值抑制. 在步骤 2)中确定的边缘点会导致梯度幅度图像中出现脊,算法追踪所有脊的顶部,并将所有不在脊的顶部的像素设为零. 脊像素使用两个阈值 T_1 和 T_2 ($T_1 < T_2$) 来做阈值处理,值大于 T_2 的脊像素称为强边缘像素,位于 T_1 和 T_2 之间的,称为弱边缘像素. 4)链接边缘. 算法通过将 8 连接的弱边缘像素集成到强边缘像素.

2.4 角点匹配及控制点选取

得到边缘图,利用边缘的相关性,就可以对检测到的角点进行匹配. 这里先进行大邻域粗匹配,具体做法是,对检测到的两组角点 corners1 和 corners2 (假设 $\text{corners1}, \text{corners2}$ 分别存储红外图像与可见光图像中检测到角点的坐标)中的每一个角点分别建立一个以该点为中心的 $k \times k$ (k 取奇数)模板,然后选择 corners2 (针对红外图像视场较大)中的一个角点,将其模板与 corners1 中的模板进行相关运算. 设定一阈值 T' ,当相关运算结果 $\text{corners1} > T'$ 时,则认为匹配成功,得到一对匹配点. 这里存在两个问题. 首先,若将 corners2 中的一个角点模板与 corners1 中的每一个角点模板都进行相关运算,这样计算量太大,不具有实时性. 所以,这里采取两个

措施:1)对于图像边界上的角点,即其 $k \times k$ 邻域超出图像范围,不进行相关运算;2)由于在进行融合检测或协同检测时,红外图像与可见光图像是对同一场景拍摄的,所以两幅图像上相匹配角点的坐标应该相距不是很大,在这里,设定一个 R ,对于 corners2 中的每一个角点 $v(i,j)$,只与 corners1 中与该点距离不大于 R 的角点进行相关运算^[12].其次,在角点匹配时,有时会出现 corners1 中的一个点与 corners2 中不只一个点被判为是匹配的,为了解决这个问题,选择其相关运算结果最大的为一对匹配角点,舍弃其它的.

经过这一步,得到新的两组角点 newcorners1 和 newcorners2,其中的角点是逐一匹配的,即 newcorners1 $[i]$ 与 newcorners2 $[i]$ (其中 $i=0,1 \dots n$)相匹配,匹配角点的总个数为 n .

接下来再进行小邻域细匹配,并选择控制点,其具体步骤为:对 newcorners1 和 newcorners2 中的每一个角点建立以该角点为中心的 $k' \times k'$ (k' 为奇数)模板,且 $k' < k$ (一般取 3),计算每一对模板的相关系数,选取相关系数最大的两对匹配角点作为控制点.

2.5 计算仿射变换模型及插值

利用控制点的坐标值,计算出仿射变换参量,进而就可对待配准图像进行几何变换,实现配准.

图像在几何变换的过程中,会出现变换后的坐标不是整数,或者在目标图像中存在没有被原图像的点映射到的点,这些点的颜色值需要通过插值来补充进来.常见的插值方法有:最邻近插值法,双线性插值法和双三次插值法^[13].考虑到这几种算法的计算复杂度和插值效果,实验中采取双线性插值法.

3 实验结果

整个实验是在 PC 机上,利用 VC++6.0 环境实现的,实验所用图像来自文献[12].

图 1 的(a)、(b)分别是在 T 取图像像素最小特征值的最大值的 0.08 倍, D 取 30,和 T 取图像像素最小特征值的最大值的 0.05 倍, D 取 30 时,在红外和可见光图像上检测到的角点,圆心所在位置就是检测到的角点位置.

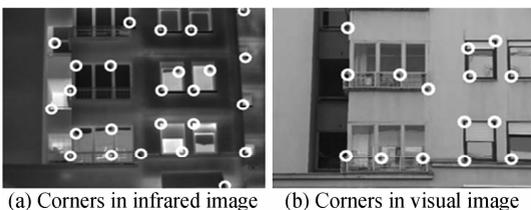


图 1 基于 Harris 因子的角点检测

Fig.1 Corner detection based on Harris

图 2 是角点匹配的结果,其中 $T' = 0.05, k = 15$.从图中可以看出,最终有七对角点相互匹配,其中四对角点几乎完全匹配,另外三对角点所在位置也相差不远.

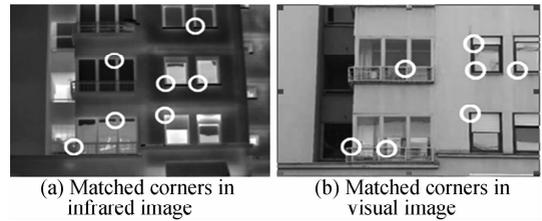


图 2 角点匹配结果

Fig.2 The result of corner matching

图 3 和图 4 给出了两组红外和可见光图像的配准结果,都实现了很好的配准.其中,图 4 中原红外图像(a)较暗,对比度很低,实验中先对红外图像进行直方图均衡化处理,然后再进行配准.

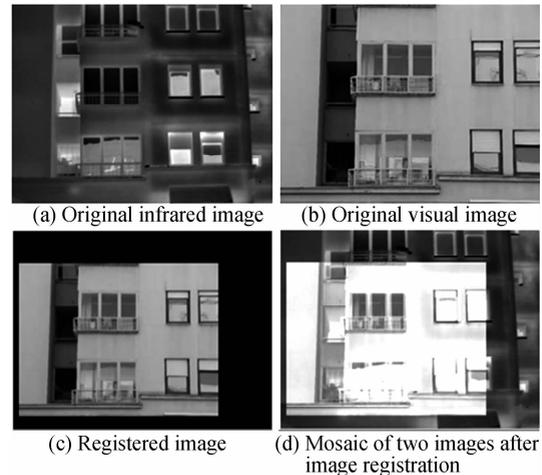


图 3 基于角点的图像配准实例一

Fig.3 The image registration example one based on corners

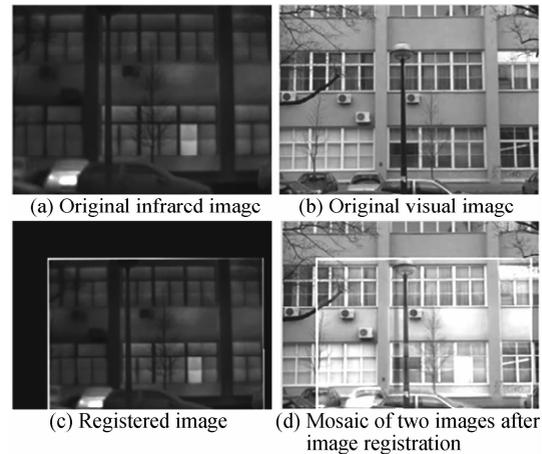


图 4 基于角点的图像配准实例二

Fig.4 The image registration example two based on corners

实验中,对多组图像进行了配准,有些图像在进行了一些预处理后,也用该方法实现了较好的配准.

4 结论

从本文的实验结果可以看出,采用在边缘图上角点邻域相关匹配以及仿射变换的方法,对红外图像和可见光图像实现了很好的自动配准.该方法对存在着旋转、缩放、平移以及视场大小不同等差异的两幅或多幅图像都能实现较好的配准.较之传统的图像配准方法,具有原理简单、计算复杂度低、实时性好,在参量最优的条件下具有无须手动且稳定可靠等特点.但是该方法仿射变换控制点的选取是在边缘图上进行的,所以若边缘检测效果不理想,就会影响到控制点的选取,进而不能实现图像配准.因而,在以后的研究中,应致力于好的边缘检测算法,以及各类参量的最优化自动选取上.

参考文献

- [1] YANG Cui. Research on the fusion technologies of multi-spectral electro-optical images[D]. Xi'an: Xidian University, 2006:5-7.
杨翠. 多波段光电图像融合技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2006:5-7.
- [2] YANG Bi-wu, GUO Xiao-song, ZHAO Jing-min, *et al.* An algorithm on geometric global registration of parallax images based on wavelet transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(3):574-576.
杨必武, 郭晓松, 赵敬民, 等. 基于小波变换的视差图像全局几何配准新算法[J]. 光子学报, 2007, **36**(3):574-576.
- [3] DENG Zi-jian, LI Bi-cheng, CAO Wen. An image registration method based on wavelet transformation [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2004(2):16-19.
邓子健, 李弼程, 曹闻. 一种基于小波变换的图像配准方法[J]. 测绘通报, 2004(2):16-19.
- [4] YANG Jing, QIU Jiang, WANG Yan-fei, *et al.* Feature-based image registration algorithm using invariant line moments[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(9):1114-1117.
- [5] YANG Jin-bao, LIU Chang-chun, HU Shun-bo, *et al.* Mean divergence measures for medical image registration[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(5):1046-1051.
- [6] LÜ Hai-xia. Research on the automatic image registration technologies[D]. Xi'an: Northwest Polytechnical University, 2007:6-10.
吕海霞. 自动图像配准技术研究[D]. 西安:西北工业大学, 2007:6-10.
- [7] PENG Zhen-ming, ZHANG Qi-heng, WEI Yu-xing, *et al.* Image matching based on multi-features fusion [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(3):281-285.
彭真明, 张启衡, 魏宇星, 等. 基于多特征融合的图像匹配模式[J]. 强激光与粒子束, 2004, **16**(3):281-285.
- [8] JIAO Yu-long, LUO Xiu-juan, MA Jian-kang. An approach of extracting reliable feature points for image matching[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(2):312-315.
焦玉龙, 罗秀娟, 马健康. 一种凹凸边界上特征点的提取方法[J]. 光子学报, 2006, **35**(2):312-315.
- [9] YANG Gen. Research on moving target cooperative-detection under complex background[D]. Xi'an: Northwest Polytechnical University, 2007:17-21.
杨根. 复杂背景下运动目标的协同检测技术研究[D]. 西安:西北工业大学, 2007:17-21.
- [10] LIU Rui-zhen, YU Shi-qi. OpenCV tutorial basis [M]. Beijing:Beihang University Press, 2007:243-258.
刘瑞祯, 于仕琪. OpenCV 教程基础篇[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2007:243-258.
- [11] JIN Bao-gang, WANG Xiao-lei. A method of automatic registration of ir and visible images[J]. *Optics and Optoelectronic Technology*, 2007, **5**(6):60-62.
金宝刚, 王晓蕾. 一种红外与可见光图像的自动配准方法[J]. 光学与光电技术, 2007, **5**(6):60-62.
- [12] HRKAC T, KALAFATIC Z, KRAPAC J. Infrared-visual image registration based on corners and hausdorff distance [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2007, **4522**:383-392.
- [13] SHI Zhi, ZHENG Jian-guo. M-scale function and its applications to image zooming [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(8):1548-1551.
石智, 郑建国. M 尺度函数及其在图像缩放处理中的应用[J]. 光子学报, 2007, **36**(8):1548-1551.

Infrared-Visual Images Automatic Registration Based on Corners

WANG A-ni, MA Cai-wen, LIU Shuang, LIU Cong, ZHAO Xin

(Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China)

Abstract: A new method based on the corner feature and affine transformation is presented in order to realize automatic registration of infrared image and visual image, including corner extraction, edge extraction, corner match and affine transformation. Harris factor is used to detect the corners, and Canny operator is used to extract the edges in two images. The correlation of corner neighborhood is used in edge images to realize coarse corners match. Corners match is refined, and two pairs of corners are chosen as reference point of affine transformation, which are the best in matched corners. The affine transformation model is obtained, and affine transformation in the image prepared for registration is carried out. The experiment results show that the method can well complete automatic registration of infrared image and visual image at a faster registration speed.

Key words: Image registration; Corner; Harris factor; Affine transformation; Canny operator



WANG A-ni was born in 1982. She received her B. S. degree from Xi'an Jiaotong University in 2006. Now she is pursuing the M. S. degree at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS, and her major research interests focus on image processing, target detection and track.