

基于对齐度的电力设备红外与可见光的图像配准

余萍¹, 崔少飞¹, 葛永新², 王亚微¹, 张珂¹

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 河北 保定 071003; 2. 重庆大学计算机学院, 重庆 400044)

摘要:提出了一种全新的电力设备红外与可见光图像的配准算法,该方法基于图像的小波变换与对齐度最大化完成图像的配准过程。首先进行图像预处理,分别对红外图像取其负像以及对可见光图像取其灰度图像,从而提升两者的相似性特征;然后利用小波变换提取出图像的边缘及特征点,最后利用对齐度准则计算所有特征点对之间的对齐度,得到匹配点对。实验结果证明了此方法的有效性、精确性和适用性。

关键词:图像配准;红外与可见光图像;对齐度;电力设备在线监测

中图分类号:TP751.1

文献标识码:A

A New Method for Electrical Equipment Visual and Infrared Image Registration Based on Alignment Metric

YU Ping¹, CUI Shao-fei¹, GE Yong-xin², WANG Ya-wei¹, ZHANG Ke¹

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. College of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In this paper, we introduce a novel infrared/visual image registration algorithm that is based on wavelet transform and the maximization of alignment metric of images. First, in order to intensify the common characteristics between infrared image and visual image, we take the negative image of the former and gray image of the latter in the preprocessing step of images, then feature points and their edge are detected by using wavelet transform, and the alignment metric of all feature points are calculated at last, so matching points can be obtained. Several experiments conducted illustrate that this method has a good performance of efficiency, accuracy, and it can also be applied to many situations.

Key words: image registration; infrared/visual image; alignment metric; electrical equipment online supervision

1 引言

为了保障电力设备安全、可靠地运行,电气设备的在线监测与故障诊断已经日益受到人们的普遍重视。电气设备在线监测系统中常用的两种传感器是可见光传感器和红外传感器。红外传感器获取目标的红外辐射信息,具有非接触监测、可昼夜工作、能反映设备温度等优点,但对场景的亮度变化不敏感,成像清晰度低。可见光成像传感器反映场景的亮度细节信息,清晰度高。两者输出的信息具有互补性,为了全面监测电力设备常采用红外与可见光图像融合。在融合之前必须对两图像进行配准以消除由于

红外/可见光图像的成像机制、分辨率、视场不同造成的同一目标在两图像中的位置及强度的差异。

红外与可见光图像是目标在光谱的不同波段的固有特性的体现,因此红外与可见光图像配准属于“多模态配准”。由于图像间的相关性较小,且特定的仪器视觉系统往往产生特定的图像几何畸变,不同的传感器图像具有不同的非线性畸变,所以红外

基金项目:华北电力大学青年教师科研基金(No. QN200711005)资助。

作者简介:余萍(1963-),女,副教授,主要研究方向为语音与图像处理以及无线通信。

收稿日期:2008-01-11

与可见光图像的配准相对来说,难度更大。目前,国内外有关红外与可见光图像的配准尚无成熟的算法。由于两类图像共有的不变特征少,直接采用灰度互相关技术难以得到良好的匹配性能。傅里叶频域相关法不用提取匹配特征点,因而速度快,但不适用于灰度特性相差大的图像配准。最大互信息方法是当两幅图像达到最佳配准位置时,它们对应的灰度互信息为最大,对图像无需先验假设和预处理,适合波段相差远的图像,但实时性差^[1]。钟家强^[2]基于边缘的图像配准方法,确定匹配点对时采用了相关度准则,由于这种相关度准则是采用两幅图像的对应像素灰度差的累计和来度量它们之间的相似性的,因而受两幅图像灰度属性差异的影响。王东峰^[3]提出了基于对齐度准则的配准方法,该方法不仅不需要两幅图像之间的灰度有线性相关,并且不受两幅图像灰度属性差异的影响,从而比相关度准则具有更强的适用性。然而,多传感器图像特别是波段相距较远的相关性较小的图像,如红外与可见光图像,要实现图像配准仍然存在很大的困难。为解决红外与可见光图像的自动配准问题,本文研究的是一种面向红外与可见光图像稳健配准的探索性尝试。本文首先对红外和可见光图像进行预处理,然后将对齐度准则作为两种图像配准的相似性测度,从而把配准问题转化为准则函数的最大化问题。实验结果表明,该方法具有较强的抗噪性、适用性和精确性。

2 图像预处理

可见光图像是物体反射可见光形成的,如光滑的表面由于反射率高,就显得亮,而粗糙的表面由于反射率低就显得暗。而物体热图像是物体自身辐射所形成的,反映的是物体自身辐射的能力,如光滑的表面发射率较低,粗糙的表面发射率较高,因此相同温度物体的热图像,其光滑表面较暗,而粗糙表面较亮,从这点来看,热图像更接近于可见光图像的负像^[4]。因此本实验取红外图像的负像与可见光图像的灰度图像作为待配准图像。

3 小波变换提取边缘和特征点

多尺度边缘检测算法在 Canny^[5]算法中首先得到运用,但受算法本身的限制,它的各个尺度的信息难以得到综合应用。继而在其基础上, Mallat^[6]等把小波变换运用于多尺度边缘检测之中,充分利用了多尺度边缘检测的特性。多尺度边缘检测的基本思想就是沿梯度方向,分别用几个不同尺度的边缘检测算子在相应点上检测模极大值的变换情况,并通

过对阈值的选取,再在不同尺度上进行综合得到最终边缘图像,可以较好地解决噪声和定位精度之间的矛盾^[7]。在利用多尺度信息中,多尺度乘积不失为一种有效方法,这种算法在提取特征点的过程中不仅要消除噪声对特征点位置的影响,而且要对特征点方向进行有效的保留^[8]。因此,所提取的特征点的矢量方向受噪声的影响比较小,可以直接用特征点的矢量方向来估计图像间的旋转角度。假设 $p(x, y)$ 是从图像 $f(x, y)$ 提取出来的边缘点,其在尺度 2^j 下的小波系数的模和幅角分别记为 $M_{2^j}f(x, y)$ 和 $A_{2^j}f(x, y)$ 。

幅角 $A_{2^j}f(x, y)$ 反映的是在尺度 2^j 下当前点的梯度方向,它对噪声是比较敏感的。由文献[8]可以知道,在大尺度下边缘受噪声影响较小,而在小尺度下边缘定位准确。不同尺度下的幅角,在噪声的影响下可能相差较大。如果特征点受噪声影响较小,那么特征点在不同尺度下的幅角差值应该小于一定的阈值。这样只要增加一个约束条件就可以降低噪声对特征点方向的影响。因此,本文将不同尺度下的幅角差值作为特征点提取的一个约束条件,同时结合模的约束条件,确定 $p(x, y)$ 是边缘特征点,应满足下面3个条件:

(1) p 是边缘点,即模 $M_{2^j}f(x, y)$ 的局部极大值点,且点 p 使 $M_{2^j}f(x, y) > T$, T 为阈值。阈值 T 可以用来控制产生特征点的数量;

(2) $|f(x, y) - A_{2^{j+1}}f(x, y)| < 5^\circ$;

(3) $M_{2^j}f(x, y) = \max_{(\hat{x}, \hat{y}) \in N_p} \{M_{2^j}f(\hat{x}, \hat{y})\}$, 其中 N_p 是点 p 周围 $(2L+1) \times (2L+1)$ 大小的邻域。 L 的大小可用来控制特征点在图像中的疏密程度,以避免两个特征点距离过近。

这里条件(1)限制了特征点会落在多尺度积筛选下的强边缘上,条件(2)限制了方向受噪声影响大的点不被选中,条件(3)限制了特征点的疏密程度。

4 边缘特征点对的角度直方图

本节基于小波多尺度积来提取出所有特征点,首先定义特征点对的角度直方图,并根据特征点对的角度直方图来确定两幅待配准图像之间的旋转角度。设待配准图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 提取出来的特征点集为 $P_{f_1} = \{p_i = (p_x^{(i)}, p_y^{(i)})^T\}_{i=1,2,\dots,N_1}$ 和 $P_{f_2} = \{q_j = (q_x^{(j)}, q_y^{(j)})^T\}_{j=1,2,\dots,N_2}$ 。 θ_{p_i} 和 θ_{q_j} 分别是 p_i 和 q_j 的矢量方向,则特征点对的角度直方图 $H(\theta)$ 表示 P_{f_1} 和 P_{f_2} 中所对应的特征点对 $\{p_i \leftrightarrow q_j\}$ 在幅角差为 θ

时的个数。如果 $H(\theta)$ 在 $\hat{\theta}$ 处取得最大值,则说明图像 $f_1(x,y)$ 和 $f_2(x,y)$ 之间的旋转角为 $\hat{\theta}$ 。为了算法的精确性,可以把角度直方图 $H(\theta)$ 修改为 $\hat{H}(\theta) = \sum_{i=-2}^2 H(\theta+i)$, 这样通过寻找 $\hat{H}(\theta)$ 最大值所对应的角度就可以估计图像间的旋转角度 $\hat{\theta}$ 。这种利用统计得到旋转角度 $\hat{\theta}$ 的方法,具有计算量小的优点。

5 边缘特征点对齐度

对两幅图像的特征点进行匹配时,选择恰当的相似性算法对匹配定位精度至关重要。王东峰等^[3]提出了对齐度准则,该准则不需要配准图像的灰度之间有线性的相关,也不受两幅图像灰度属性差异的影响,因此有较强的适用性。前面已经得到了特征点,并估计了旋转角度,故可以提取以边缘特征点为中心的特征子图,然后计算特征子图间的对齐度。

设待配准图像 $f_1(x,y)$ 和 $f_2(x,y)$ 提取出来的边缘特征点集为 $P_{f_1} = \{p_i = (p_x^{(i)}, p_y^{(i)})^T\}_{i=1,2,\dots,N_1}$ 和 $P_{f_2} = \{q_j = (q_x^{(j)}, q_y^{(j)})^T\}_{j=1,2,\dots,N_2}$ 。对任意边缘特征点对 (p_i, q_j) , 假设其提取的特征子图分别为 $I_1(x,y)$ 和 $I_2(x,y)$ 。其中子图 $I_2(x,y)$ 的提取和旋转角度 $\hat{\theta}$ 有关,大小同为 $M \times N$ 。可计算得特征子图 $I_1(x,y)$ 和 $I_2(x,y)$ 间的对齐度 (alignment metric, AM), 记为 $AM(p_i, q_j)$ 。

6 算法步骤

本文提出的基于对齐度准则的红外与可见光配准算法,主要由以下 5 步组成:

(1) 图像预处理,归一化,采用红外图片的负像以及可见光图片的灰度图像进行匹配。

(2) 边缘图像和特征点的提取,即利用小波多尺度积快速准确地从待配准图像 f_1 和 f_2 中提取出边缘图像 f_1^E, f_2^E 和特征点集。

$$P_{f_1} = \{p_i = (p_x^{(i)}, p_y^{(i)})^T\}_{i=1,2,\dots,N_1}$$

$$P_{f_2} = \{q_j = (q_x^{(j)}, q_y^{(j)})^T\}_{j=1,2,\dots,N_2}$$

(3) 旋转角度的估计,即通过定义特征点对的角度直方图 $\hat{H}(\theta)$ 来估计 f_1 和 f_2 之间的旋转角度 $\hat{\theta}$ 。

(4) 特征点匹配,即先根据旋转角度 $\hat{\theta}$, 对任意特征点对 (p_i, q_j) , 在 f_1^E 和 f_2^E 中分别提取以 (p_i, q_j) 为中心的特征子图 I_1, I_2 ; 然后计算这些特征点对的对齐度来得到候选匹配点对,再利用线性加权的方

法消除掉错误匹配,即得到真正的匹配点对。

(5) 估计图像间的变换参数,即利用得到的匹配点对,用最小二乘法估计来求出图像 f_1 和 f_2 之间的精确变换参数。

7 实验效果及分析

监视场景是两个传感器(红外和可见光)的空间位置相对固定,在采像过程中静止不动,两个传感器的视场大部分相重合,图 1 和图 2 为两个传感器采集的图像,图 3 为两图像的角度直方图。

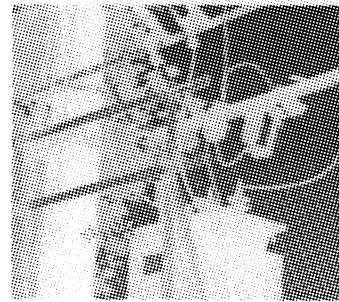


图 1 红外图像

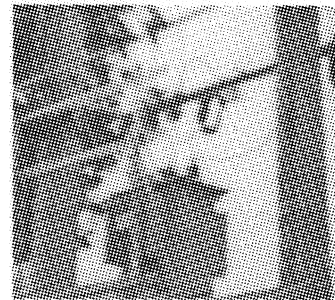


图 2 可见光图像

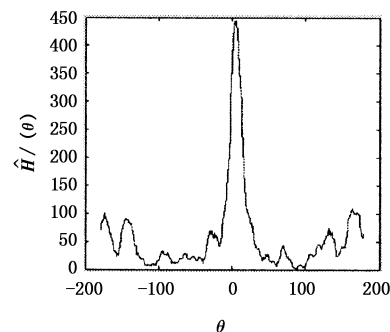


图 3 两图像的角度直方图

从图 3 给出的本文方法的特征点对的角度直方图可以看出,基于特征点对的角度直方图在某个角度差处会出现明显的峰值,而在其他角度差时,对应点的数目很少,从而可以准确地得到旋转角度。图 4 和图 5 分别为待配准的红外图像负像及可见光灰度图像,图 6 为配准结果。由此可以看出,该方法抗噪性强、匹配精度高。

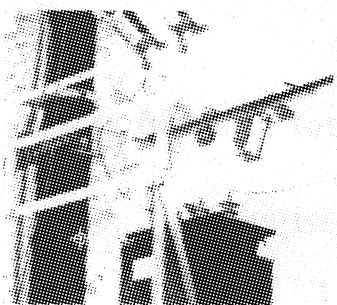


图4 红外图像负像

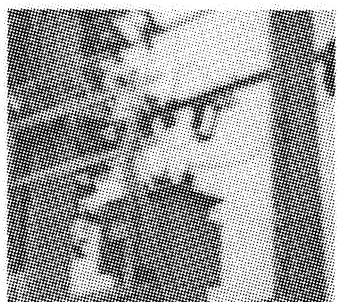


图5 可见光灰度图像

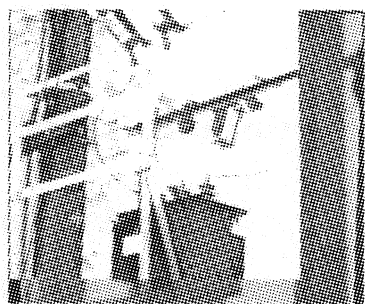


图6 配准后的结果

8 结束语

本文将对齐度准则应用于红外与可见光图像的

配准,是对电力设备红外与可见光图像配准的一次全新的尝试。实验表明该方法在两类图像具有平移、旋转、比例变化、分辨率变化等情况下,仍然可以准确地匹配到大量的稳定特征,具有解析力高、精度高、鲁棒性强、稳定性高、速度快等优点。作为图像融合必需的基础工作,在对红外图像与可见光图像进行配准后,不但可以显示电力设备的热像,还可以利用可见光图像进行精确定位,能真正做到全面实时的在线监测,从而提高监测的准确性与有效性。

参考文献:

- [1] 王忆锋,张海联,李灿文,等. 多传感器数据融合中的配准技术[J]. 红外与激光工程,1998,27(1):38-41.
- [2] 钟家强,王润生. 基于边缘的图像配准改进算法[J]. 计算机工程与科学,2001,23(6):25-28.
- [3] 王东峰,邹谋炎. 基于最大化对齐度的多模态图像自动配准[J]. 电子与信息学报,2003,25(6):755-762.
- [4] 田裕鹏. 红外检测与诊断技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006:140-145.
- [5] Canny J. A computational approach edge detection[J]. IEEE TransPAMI,1986,PAMI-8:679-698.
- [6] Mallat S G,Zhong S. Characterizing of signals from multi-scales edges[J]. IEEE Trans PAMI,1992,14(2):710-732.
- [7] 田岩岩,齐国清. 基于小波变换模极大值的边缘检测方法[J]. 大连海事大学学报,2007,33(1):102-105.
- [8] 杨丹,张小洪. 基于小波多尺度积的边缘检测算法[J]. 计算机科学,2004,31(1):133-135.

(上接第731页)

随着加入高斯噪声的逐渐增大,由重心算法和本文算法所得的参数可知:在噪声方差较小时,传统的重心算法和基于插值的非线性加权的质心算法都能将目标定位在亚像素级。当噪声加至 $N(0,10)$ 时,传统重心算法的精度已下降至0.1像素以下,而基于插值的非线性加权的质心算法在噪声为 $N(0,20)$ 的情况下精度为0.04像素,约为1/25个像素大小,仍保持了较高的精度。

5 结论

本文在光斑位置的高精度提取问题中,运用权值的非线性,增强了灰度值大的像素点在像点定位中的贡献,降低了随机噪声,利用线性插值,增加了像点信息,使结果更加稳定。实验表明:与传统的重心算法相比,基于插值的非线性加权的质心算法测量精度更高、结果更稳定、抗噪声能力更强。

参考文献:

- [1] 陈晓东,李为民,李静,等. 利用重心法求光斑信号位置的误差分析[J]. 光学技术,2000,26(1):5-8.
- [2] H C van Assen,M Egmont-Petersen,J H C Reiber. Accurate object localization in gray level images using the center of gravity measure: accuracy versus precision[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2002,11(12):1379-1384.
- [3] 雷志辉,于起峰. 亚像素图像处理技术及其在网格法中的应用[J]. 国防科技大学学报,1996,18(4):17-20.
- [4] Kris Jensen,Dimitris Anastassiou. Subpixel edge localization and the interpolation of still images[J]. IEEE Trans. On Image Processing,1995,4(3):285-295.
- [5] 谢伦治,卞洪林,王振华. 面阵探测器的像点亚像素定位研究[J]. 光学与光电技术,2003,1(2):51-56.