

SIFT 与形状上下文结合的异源图像匹配算法

张 姣¹, 李俊山¹, 朱英宏^{1,2}, 朱秋旭¹

(1. 第二炮兵工程大学 403 室, 陕西 西安 710025; 2. 武警福建总队厦门支队, 福建 厦门 361000)

摘要:针对红外图像和可见光图像灰度差异大、匹配困难的问题,提出了一种基于改进的尺度不变特征变换和形状上下文描述的局部多特征匹配算法。首先通过高斯差分检测算法分别提取两幅图像的特征点;针对特征点梯度方向存在反转现象,结合梯度镜像方法对特征点统计特征点邻域梯度方向信息;然后引入图像边缘特征生成形状上下文描述子,与梯度方向描述子级联成联合描述子;最后采用欧氏距离和卡方距离加权的联合距离和最近邻算法对特征点进行匹配。实验结果证明,在红外图像和可见光图像匹配中,该算法相比原始 SIFT 算法能有效减少误匹配特征点对,达到较高的匹配精度。

关键词:尺度不变特征变换;形状上下文;特征匹配;红外图像;可见光图像

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.11.021

Matching method of IR/Visual images based on SIFT and shape context

ZHANG Jiao¹, LI Jun-shan¹, ZHU Ying-hong^{1,2}, ZHU Qiu-xu¹

(1. 403 Depart of the Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China;

2. Xiamen Regiment, Fujian Division of the Chinese People's Armed Police Force, Xiamen 361000, China)

Abstract: A matching algorithm based on local feature descriptors is presented to solve the difficulties of IR/visual image matching. The matching process is accomplished by three steps: Firstly, the control points are extracted by the Difference-of-Gaussian corner detecting algorithm. Secondly, the statistical information of gradient direction which has been connected with gradient mirroring method is calculated, and the shape context descriptor is introduced. Then a joint descriptor combining with SIFT and shape context is applied to describe points. Finally, the matched distance of joint descriptors is obtained with the weighted average integration of Euclidean distance for SIFT and Chi square distance for Shape Context. For large number of infrared and visible images, the experimental results demonstrate that the method is more effective than the original SIFT with a higher average correct matching rate.

Key words: SIFT; shape context; feature matching; infrared image; visual image

1 引言

近年来,红外传感器和可见光传感器作为常见的图像源已被广泛用于目标识别跟踪、机器视觉、军事应用等领域^[1]。由于多传感器采集的图像信息具有很强的可靠性和互补性,因此在现代协同作战系统中,异源图像匹配得到了广泛的运用^[2]。

根据匹配中所利用的图像信息,现有的匹配方法可分为两类:基于灰度的匹配方法和基于特征的

匹配方法^[3]。由于基于灰度的匹配算法不适用于灰度差异大的图像,因此基于特征的异源图像匹配成为研究的热点。文献[4]通过计算角点的邻域特征相关性实现红外和可见光图像的有效匹配。文献

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 60772151; 61075025; 61175120)资助。

作者简介:张 姣(1988 -),女,硕士研究生,主要研究方向为图像处理。E-mail: zj8822t@163.com

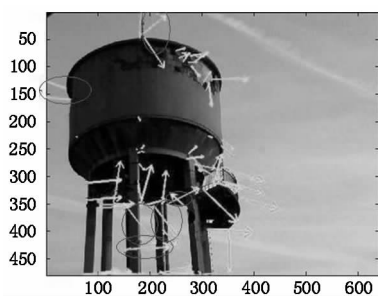
收稿日期:2012-03-26

[5]通过定义一种新的图像特征——干线对,有效地实现了红外图像与可见光遥感图像的匹配。文献[6]利用特征点构成的相似三角形计算红外和可见光图像的匹配点。文献[7]采用边缘信息对红外和可见光图像进行相似性判断。上述方法均采用了单一特征实现异源图像匹配,其对参数设定较为敏感,在一定程度上影响了算法的实用性和鲁棒性。因此,如何有效结合不同特征实现异源图像同名特征的描述是解决问题的根本。

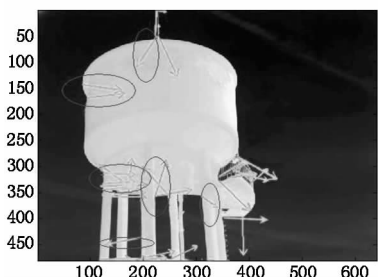
近年来,尺度不变特征变换算法^[8](scale-invariant feature transform, SIFT)在图像匹配领域取得了巨大成功^[9-10]。但处理异源图像时, SIFT 算法以图像局部特征为研究目标,不依赖轮廓,容易导致误匹配。由于在红外图像和可见光图像中相同物体的形状特征能保持较大相似性,因此人们引入了形状上下文描述。形状上下文(shape context, SC)最初由 Serge Belongie^[11]提出,是一种用于刻画目标形状的描述子,它直接对像素运算,对平移和尺度变换能保持不变性,但不具备旋转不变性。本文通过改进 SIFT 描述子,并将其与形状上下文描述子结合,提出了一种基于局部多特征描述的红外图像与可见光图像匹配算法。

2 特征点的提取

本文利用高斯差分检测算法(difference-of-Gaussian, DoG)分别对可见光图像和红外图像进行角点检测。图1是对一组可见光图和红外图像提取特征点的结果示意图。



(a) DoG 提取可见光图像点特征和方向



(b) DoG 提取红外图像点特征和方向

图1 可见光图像和红外图像中的特征点
梯度方向相反示意

图中提取的同名点有不少存在梯度方向相反现象,主要原因是:可见光图像由物体反射可见光形成,区域反射率高就显得亮,反射率低就显得暗;红外图像是由物体热辐射形成,温度高热辐射也高就显得亮,温度低就显得暗。相同温度的物体,光滑表面辐射率较低就显得暗,粗糙表面反之^[12]。从这个角度看,红外图像的负像在灰度特征上更接近可见光图像。

3 描述子的构成

3.1 确定特征点方向

计算特征点邻域内的像素点的梯度方向,将 $[0, 2\pi)$ 的梯度方向量化为36个方向进行梯度直方图统计。确定梯度直方图的峰值为特征点的主方向,若存在大于峰值80%以上的方向就确定为特征点的辅方向,以增强匹配时的鲁棒性。

3.2 梯度镜像的 SIFT 描述子

原始的 SIFT 算法对特征点构造描述子时,将梯度直方图平均分为8个方向进行统计,构造了一个128维的向量^[9]。但在多数情况下,红外图像可以看作是可见光图像的负像,由于两种图像中同名点的梯度方向可能相反,导致原始的 SIFT 描述子能匹配正确的同名点很少。本文在统计特征点邻域的梯度分布情况时,将梯度方向的范围限制在 $[0, \pi)$,如果某点的梯度方向 $\theta \in [\pi, 2\pi)$,则令 $\theta = \theta - \pi$,称为梯度镜像。

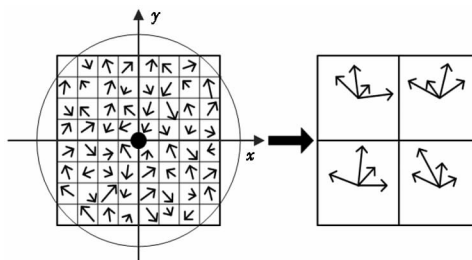


图2 改进的 SIFT 描述子

改进的 SIFT 描述子构造步骤如下:

- Step1: 将关键点的主方向确定为坐标系的轴正方向,以确保描述子具有旋转不变性;
- Step2: 以特征点为中心选取 8×8 的邻域,计算邻域中的像素点梯度方向大小 θ ,当 $\theta \in [\pi, 2\pi)$,则令 $\theta = \theta - \pi$;
- Step3: 将梯度范围 $[0, \pi)$ 平均分为4部分,并在每 4×4 的子邻域上统计4个方向的梯度方向直方图分布,采用高斯加权统计邻域上每个点的信息,形成一个 $64(4 \times 4 \times 4)$ 维的点特征;
- Step4: 对特征向量进行归一化。

虽然梯度镜像的 SIFT 描述子变为 64 维, 相比原来损失了一些信息, 但它使描述子对图像对比度反转保持了不变性, 这对红外图像和可见光图像的匹配非常重要。

3.3 形状上下文描述子

为增强特征点所在边缘信息的描述, 本文引入形状上下文对每个特征点的所有子邻域进行边缘信息描述。形状上下文是一种用于刻画目标形状的描述子, 点集中每个点的形状上下文就是其他点相对于该点的角度和对数距离直方图分布。

形状上下文算法的主要步骤如下:

Step1: 利用 Canny 算法提取 DoG 检测的角点所在的曲线;

Step2: 规定每个点的切线方向为对数极坐标轴的正方向, 以特征点为原点把圆形邻域按对数极坐标分为 60 个部分, 其中距离 $\lg\rho$ 均分为 5 部分, 角度 θ 均分为 12 部分, 如图 3 所示;

Step3: 利用对数直方图统计落在 60 个部分的点数, 计算每个部分落入点的概率 $p_{i,k}$ ($k=1, 2, \dots, 60$), 级联得到一个 60 维的向量作为特征点的形状上下文描述子;

Step4: 对特征向量进行归一化。

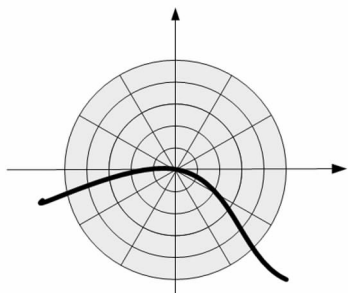


图 3 形状描述示意图

4 特征点的匹配

本文通过对特征点进行 SIFT 描述和形状上下文描述, 将两个描述子级联组成一个 124 维的特征点描述子, 称之为联合描述子。该联合描述子具有尺度、旋转、光照不变性, 考虑到 SIFT 描述子和形状上下文描述子分别描述了图像的不同信息, 这里对两者采用不同的相似性系数, 线性加权得到联合描述子的相似性系数作为匹配的依据:

$$d_{\text{SIFT}} = \sqrt{\sum_p (\text{SIFT}_{i,p} - \text{SIFT}_{p,j})^2} \quad (1)$$

$$d_{\text{sc}} = \chi^2 = \frac{1}{2} \sum_p \frac{(SC_{i,q} - SC_{j,q})^2}{SC_{i,q} + SC_{j,q}} \quad (2)$$

其中, SIFT 描述子采用欧氏距离作为相似性度量。SIFT_{i,p} 和 SIFT_{p,j} 分别为第 i 和第 j 个 SIFT 描述子, p 是 SIFT 的维数, 这里为 64。形状上下文描述子采用卡方距离进行度量, $SC_{i,q}$ 和 $SC_{j,q}$ 分别为第 i 和第 j 个 SC 描述子, 维数 q 是 60 (12×5)。两者的距离矩阵归一化后, 采用线性加权来定义描述子的联合距离作为相似性度量, 见公式 (3):

$$d = \omega d_{\text{SIFT}} + (1 - \omega) d_{\text{sc}} \quad (3)$$

其中, ω 为权值因子。

本文采用最近邻算法 (nearest neighbor, NN) 对图像进行特征点匹配。具体方法是: 在匹配图像中选取一个特征点, 在待匹配图像上找出与之联合距离最近和次近的两个特征点。若最近距离和次近距离的比值小于阈值, 则选取最小距离的点作为特征点所对应的匹配点。一般情况下, 阈值在 $[0.4, 0.8]$ 区间内取值较合理。

5 实验结果及分析

5.1 参数的设置

为了验证本文算法的有效性, 在 2 GHz CPU, 2 GB 内存的 PC 机上, 采用 Matlab 编程进行仿真实验。

本文算法进行特征匹配时, 需要设置联合距离公式中的权值 ω 和最近邻匹配算法中的阈值 threshold 以达到较高的正确匹配率。实验设定误差限为 3 个像素内的匹配点对均为正确点对, 将正确匹配对数与总匹配对数之比定义为正确匹配率。通过对多组图像进行实验, 结果如图 4 所示。权值 ω 一定时, 正确匹配率在整个阈值变化区间内先升后降。这是由于随着阈值的增大, 匹配总对数和正确对数都会增大, 阈值过大时错误匹配对迅速增多, 正确率开始下降。分析实验结果可知: 当 $\omega = 0.7$, threshold = 0.8 时匹配效果最佳。因此, 本文采用 $\omega = 0.7$ 作为联合描述子距离权值, threshold = 0.8 作为最近邻匹配阈值进行实验。

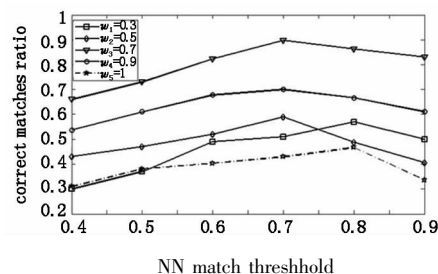


图 4 正确匹配率 ω 随和 threshold 变化曲线

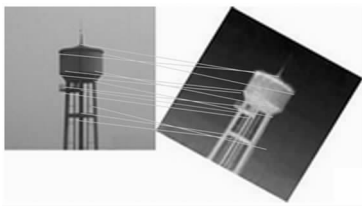
5.2 结果分析

本文对大量图像进行测试试验, 实验结果如图

5 所示。图 5(a)是同场景同尺度视角的可见光和红外图像,它们的规格都是 640×480 ;图 5(b)是原可见光图像和旋转了 30° 的红外图像,规格都是 480×480 ;图 5(c)是红外图像和视角变化下的可见光图像,规格为 640×480 ;图 5(d)是可见光图像和同场景但尺度缩小 15% 的红外图像,可见光图像规格为 640×480 ,红外图像规格为 544×391 。



(a) 同场景同尺度视角下的匹配结果



(b) 旋转变换下的匹配结果



(c) 视角变换下的匹配结果



(d) 尺度变换下的匹配结果

图 5 本文算法实验结果

图 5(a) 匹配对数为 27, 正确 23 对, 正确率 85.19%; 图 5(b) 匹配对数为 12, 正确 9 对, 正确率 75%; 图 5(c) 匹配对数为 21, 正确 17 对, 正确率 80.95%; 图 5(d) 匹配对数为 26, 正确 22 对, 正确率 84.62%。可以看出, 本文算法在同条件以及存在旋转、视角和尺度变换条件下均具有良好的匹配结果。表 1 给出了本文算法与 SIFT 算法在相同图像下匹配性能对比结果。从中可知, 虽然改进后的 SIFT 和形状上下文联合描述子得到的匹配点对有所减少, 但是误匹配点也随之减少, 对旋转、尺

度和视角变化下的异源图像匹配提高了准确度, 算法稳定可靠。

表 1 本文算法和 SIFT 实验数据比较

组别	应用算法	匹配对数	正确匹配对数	正确匹配率/%
(a)	SIFT	34	8	23.53
	本文算法	27	23	85.19
(b)	SIFT	17	4	23.59
	本文算法	12	9	75.00
(c)	SIFT	23	6	26.09
	本文算法	21	17	80.95
(d)	SIFT	31	8	25.81
	本文算法	26	22	84.62

6 总 结

针对红外与可见光图像间灰度特征差异对图像匹配造成困难的问题, 本文提出了一种多描述组合的匹配方法。该方法针对红外图像和可见光图像中同名特征点存在梯度翻转的现象, 提出限制 SIFT 描述子的梯度范围为 $[0, \pi)$; 然后引入形状上下文描述子与梯度镜像的 SIFT 描述子组合构造联合描述子, 通过定义联合描述子的联合距离对特征点对进行匹配。实验证明: 本文算法在不增加复杂度的基础上, 能明显提高匹配准确率, 对存在旋转、平移、尺度变化的情况也能取得比较稳定可靠的匹配结果。

参考文献:

- [1] Krotosky S J, Trivedi M M. Person surveillance using visual and infrared imagery [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18(8): 1096 - 1105.
- [2] Ribaric S, Marcetic D, Vedrinar D S. A knowledge-based system for the non-destructive diagnostics of facade isolation using the information fusion of visual and IR images [J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(2): 3812 - 3821.
- [3] Wang K P, Xu Y D, Yu Q F. Classification and state of IR/Visible image registration methods [J]. Infrared Technology, 2009, 31(5): 270 - 275. (in Chinese)
王鲲鹏, 徐一丹, 于起峰. 红外与可见光图像配准方法分类及现状 [J]. 红外技术, 2009, 31(5): 270 - 275.
- [4] Wang A Ni, Ma Caiwen, Liu Shuang, et al. Infrared-visual images automatic registration based on corners [J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(12): 3328 - 3332. (in Chinese)
王阿妮, 马彩文, 刘爽, 等. 基于角点的红外与可见光

- 图像自动配准方法[J]. 光子学报, 2009, 38(12): 3328 - 3332.
- [5] Gao F, Wen G J, Lü J. An optimal algorithm for IR/Visual image registration based on main-line-pairs[J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(6): 1015 - 1023. (in Chinese)
高峰, 文贡坚, 吕金. 基于干线对的红外与可见光最优图像配准算法[J]. 计算机学报, 2007, 30(6): 1015 - 1023.
- [6] Chen J, Fu D M, Liu Y. Method of infrared and visible image registration based on similar triangles matching[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(2): 215 - 218. (in Chinese)
陈洁, 付冬梅, 刘燕. 基于相似三角形匹配的红外与可见光图像配准方法[J]. 激光与红外, 2010, 40(2): 215 - 218.
- [7] Li Z, Zhu X W. Matching multi-sensor images based on edge similarity[J]. Journal of Spacecraft TT & C Technology, 2011, 30(2): 37 - 41. (in Chinese)
李壮, 朱宪伟. 基于边缘相似性的异源图像匹配[J]. 飞行器测控学报, 2011, 30(2): 37 - 41.
- [8] Lowe David G. Object recognition from local scale-invariant features[C]. The Second Proceedings of the International Conference on Computer Vision, 1999: 1150 - 1157.
- [9] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91 - 110.
- [10] Mikolajczyk, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615 - 1630.
- [11] S Belongie, J Malik, J Puzicha. Shape matching and object recognition using Shape contexts[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(24): 509 - 521.
- [12] Tian Y P. Infrared detection and diagnosis[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 140 - 145. (in Chinese)
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.