

文章编号:1001-9081(2016)S1-0146-03

基于 Harris 算子和方向场的图像配准算法

曾新贵, 陶 卫, 颜发才, 赵 辉*

(上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

(* 通信作者电子邮箱 huizhao@sjtu.edu.cn)

摘要:为解决光照剧烈变化情况下图像难以精确配准的问题,结合 Harris 角点提取和方向场算法方向提取特征稳定的优势,提出了一种对光照剧烈变化不敏感的图像配准算法。首先使用 Harris 算子提取特征点,接下来使用方向场算法计算特征点及其邻域像素点的方向特征,以提高特征点的抗光照变化特性,并构建特征点的描述向量。再使用双向最近邻算法匹配特征点,根据相对偏移量计算,剔除误配点,最后使用随机抽样一致(RANSAC)算法提高特征点匹配精度,得到图像间的几何变换参数,完成图像配准。实验表明,该算法可以实现像素级精度的图像配准。相比尺度不变特征变换(SIFT)算法,该算法可以提取更多的特征点,配准成功率提高 22%,配准精度提高 2.34%,在光照剧烈变化且在 SIFT 算法无法配准的情况下依然能准确配准图像,具有更好的抗光照变化特性。

关键词:图像配准; Harris 算子; 方向场; 尺度不变特征变换; 随机抽样一致性

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A

Image registration algorithm based on Harris operator and direction field

ZENG Xingui, TAO Wei, YAN Facai, ZHAO Hui*

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A new image registration algorithm was proposed to solve the problem that images were difficult to be accurately resistered when the light intensity changed, which combined the advantages of the Harris corner detection and direction field. First using the Harris operator to extract the feature points, and the direction field algorithm was used to compute the directional characteristics of the feature points and their neighbors, which could improve the anti-illumination change characteristics of the feature points, then constructing the feature description. The two-way nearest neighbor algorithm was used to match the feature points and eliminate the false matching points according to the relative offset calculation. Finally RANdom Sample Consensus (RANSAC) algorithm was used to improve the matching accuracy, calculate image transform parameters to accomplish the image registration process. Experiments show that the algorithm can achieve pixel level accuracy of image registration and extract more feature points than Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm. The registration success rate and the registration accuracy are improved by 22% and 2.34% respectively compared with the SIFT algorithm, and has better anti-illumination change characteristics.

Key words: image registration; Harris operator; direction field; Scale Invariant Feature Transform (SIFT); RANdom Sample Consensus (RANSAC)

0 引言

图像配准作为图像处理领域的一个重要技术,目前广泛应用于医学图像处理、计算机视觉、模式识别和遥感图像处理等领域。目前,通用的图像配准方法可以大致分为三类:基于区域的配准方法、基于特征的配准方法、基于混合模型的配准和基于物理模型的配准^[1]。其中基于特征的配准方法目前应用得最为广泛,它将一幅图像的信息整合压缩为对某些特征的分析,大幅降低了计算量,而且对图像的灰度变化、噪声等都有很好的鲁棒性^[2-5]。

尺度不变特征变换(Scale-Invariant Feature Transform, SIFT)作为一个公认的最为稳定的特征匹配算法,对旋转、算法保持不变性,且对视角变换、仿射变换、噪声也能保持较好的稳定性^[6-8]。然而在某些光照剧烈变化的场合, SIFT 算法却无法稳定地提取特征,导致最终无法配准。因此,本文结合

方向场算法的优点和 Harris 算子建立点特征,然后使用双向最近邻和随机抽样一致性(RANdom Sample Consensus, RANSAC)算法进行匹配,获得变换参数,最终实现了对光照剧烈变化不敏感的图像配准算法。

1 Harris 角点检测和方向场算法

Harris 角点检测算法由 C. Harris 和 M. J. Stephens 提出^[9],作为当前常用的一种角点检测方法^[10],具有一定的局部特征不变性,它通过微分矩阵 M 和角点响应函数 CRF 来检测角点。

自相关矩阵 M 为:

$$M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} = G(\sigma) * \begin{bmatrix} G_x^2 & G_x G_y \\ G_x G_y & G_y^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: G_x 为 x 方向的梯度, G_y 为 y 方向上的梯度, $G(\sigma)$ 为高斯滤波器。

收稿日期:2015-07-22;修回日期:2015-08-28。

作者简介:曾新贵(1992—),男,江西南康人,硕士研究生,主要研究方向:相机标定、图像配准、模式识别;陶卫(1975—),女,辽宁大连人,副教授,博士,主要研究方向:光电视觉检测、生物信息传感;颜发才(1990—),男,四川三台人,硕士研究生,主要研究方向:模式识别、图像配准;赵辉(1965—),男,辽宁阜新人,教授,博士,主要研究方向:现代传感器、光电与视觉检测技术。

角点响应函数为:

$$CRF = \text{Det}(M) - k \text{Trace}^2(M) \quad (2)$$

当 CRF 很大且为正数时,该点为角点,否则为边缘区域或者平滑区域。

基于梯度的方向场算法最早由 Rao 等^[11]提出,该算法主要是分析分块图像的块内最优方向值。其主要计算过程如下:

首先计算图像的梯度 G_x 和 G_y ,然后计算 $n * n$ 大小的块内平均方向作为该点的方向,计算方法如式(3)所示:

$$\theta = \theta_0 + \frac{1}{2} \arctan(G_M(x, y) / G_S(x, y)) \quad (3)$$

其中:

$$G_M(x, y) = \sum_{i=x-n/2}^{x+n/2} \sum_{j=y-n/2}^{y+n/2} 2G_x(i, j) * G_y(i, j)$$

$$G_S(x, y) = \sum_{i=x-n/2}^{x+n/2} \sum_{j=y-n/2}^{y+n/2} [G_x(i, j)^2 + G_y(i, j)^2]$$

$$\theta_0 = \begin{cases} \pi/2, & G_S(x, y) \geq 0 \\ \pi, & G_S(x, y) < 0 \text{ 且 } G_M(x, y) \geq 0 \\ 0, & G_S(x, y) < 0 \text{ 且 } G_M(x, y) < 0 \end{cases}$$

2 特征点匹配

2.1 改进的 SIFT 特征描述向量构建方法

针对 Harris 算法提取的特征点,特征点及其邻域像素的纹理走向具有很好的独特性和唯一性,使用其方向特性来表征该特征点,可以使得特征点的描述符也具有较好的唯一性。

本文采用类似于 SIFT 算法中特征点的描述方法对特征点构建描述向量,利用一个 32 维的向量对其进行描述,首先特征点为中心,取 $r * r$ 大小的邻域,并将其分为等大且互不重合的 4 个子邻域,如图 1(a)所示,接下来使用方向场算法计算该邻域内所有像素点的方向,如图 1(b)所示,然后利用梯度直方图分别统计每个子邻域内 8 个方向上的像素个数,得到整个邻域数据的方向梯度直方图,如图 1(c)所示,最终四个子邻域共 32 个方向的像素个数,按照其空间位置和角度大小顺序排序构成特征点的向量。

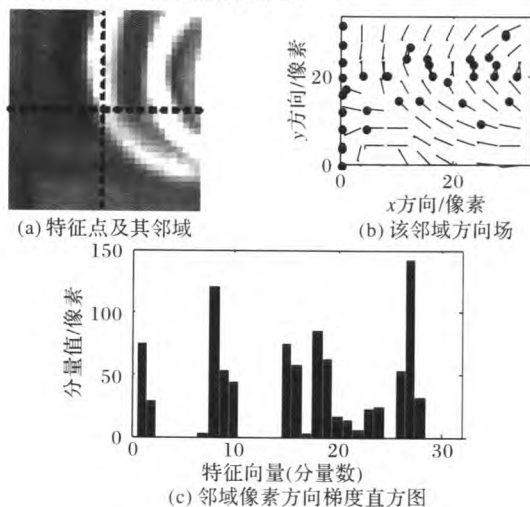


图 1 特征点描述向量构建示意图

采用该算法来构建特征点的描述向量,对于提高算法的抗光照特性,具有两大优点:

1)采用方向场算法计算像素点的方向,根据 Rao 的方向场理论,纹理图像在有限的局部块内,所有点的方向几乎一致,可以用像素点为中心的邻域块的方向来代替该像素点的万方数据

方向,因此这使得像素点的方向特征具有很好的稳定性。

2)SIFT 算法通过统计某一方向上的梯度幅值之和作为描述向量中该方向分量的值,使得特征点的描述向量依然受该特征点及其邻域像素的幅值影响。而本算法使用同方向像素点的个数作为向量中该方向分量的值,使得特征点向量有更好的抗光照变化特性。

2.2 特征点匹配

对构建的特征点描述向量,采用绝对距离来作为特征点相似性的测度,对所有特征点描述向量进行匹配。对于 A, B 两个特征点,其绝对距离为:

$$D(A, B) = \sum_{i=1}^{32} |A_i - B_i| \quad (4)$$

然后采用双向最近邻法初步剔除一些无效的特征点。

2.3 剔除误配点

本文结合图像间特征点的距离关系^[12]并使用 RANSAC 算法来剔除误配点,具体步骤为:首先计算所有待匹配点的坐标差集 $P: \{(\Delta x_1, \Delta y_1), (\Delta x_2, \Delta y_2), \dots, (\Delta x_n, \Delta y_n)\}$,然后对每对坐标差 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ 统计 P 中满足式(5)的点的个数 n_i ,选出现次数最多的点 $(\Delta x_{\max}, \Delta y_{\max})$ 作为图像偏移,所对应的匹配点集作为正确匹配点。

$$\sqrt{(\Delta x_i - \Delta x_j)^2 + (\Delta y_i - \Delta y_j)^2} < \Delta r \quad (5)$$

针对上述方法中筛选出的正确匹配点再使用 RANSAC 算法,剔除部分匹配误差较大的点,保证匹配精度,得到图像间的变换参数。

2.4 算法流程

对于本文提出的图像配准方法,算法流程如图 2 所示,其算法流程如下:

- 1)使用 Harris 算法提取参考图像和待配准图像的点。
- 2)方向场算法求两幅图像中的每个特征点及其邻域像素点的方向特征,建立特征向量。
- 3)双向最近邻算法对两幅图像中的特征点进行匹配。
- 4)依据距离关系和 RANSAC 算法剔除误配点,并求解变换参数。

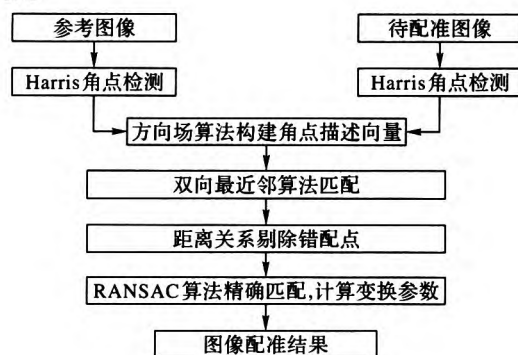


图 2 算法流程

3 实验结果

为了验证本文算法的配准效果和其对光照变化不敏感的优势,在 Intel Core i3-2100, 3.1 GHz CPU, 4 GB 内存, Windows 7 32 位操作系统的 PC 机上,使用 Matlab 实现本文的算法程序,对图像进行配准实验。

首先,通过实验验证本文算法的配准效果,参考图像和待配准图像大小均为 $160 * 240$,两者之间的偏移量为 $(80, 80)$,图 3 为图像的配准结果,配准结果中,共成功匹配 95 对特征点,匹配计算得到的偏移量也为 $(80, 80)$,与实际吻合,说明

本文算法可以精确地实现像素级图像配准。

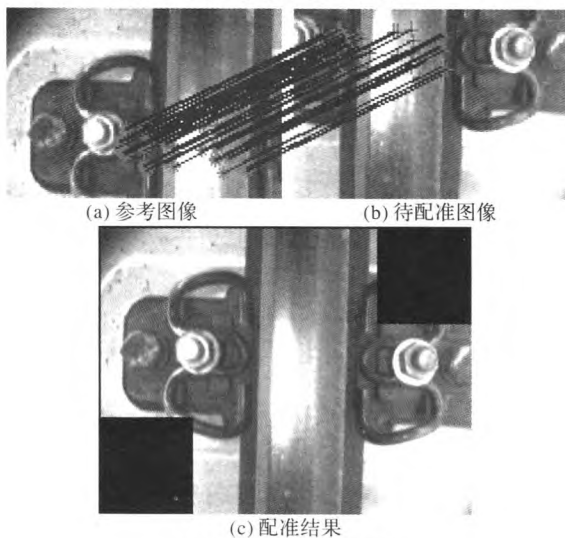


图3 本文算法配准结果

然后为验证本算法的效率与性能,选取 50 组互相存在偏移的图像进行配准,图像大小均为 240×160 ,并与 SIFT 算法相比较,表 1 为两种方法的性能对比结果。结果表明,采用本文算法相比 SIFT 算法可以成功匹配更多的特征点,这也就直接导致了本文算法的配准成功率比 SIFT 算法提高 22%,而且由于本文的方向场特征具有更好的稳定性和唯一性,因此特征点匹配精度相比 SIFT 算法提高 2.34%,然而因 Harris 角点检测算法计算量较大,因此相比 SIFT 算法,本文算法的配准时间为 SIFT 的 1.48 倍。

表 1 本文算法与 SIFT 算法性能对比

性能指标	本文算法	SIFT 算法
配准时间/s	57.82	38.95
配准成功组数	48	37
配准成功图像特征点数	1 286	473
匹配成功图像误配点数	10	14
配准成功率/%	96	74
特征点匹配精度%	99.38	97.04

最后,通过实验验证在保证图像配准结果正确的情况下,本文提出的算法比 SIFT 算法有更好的抗光照变化特性。实验选取两张灰度差异较大的图像进行配准,两幅图之间的平均灰度差为 97,分别采用 SIFT 算法和本文算法对这两幅图像进行配准。

从图 4 的实验结果可以看出,在光照剧烈变化导致图像间灰度差异巨大的情况下,本文算法依然可以准确地对两幅图像的特征点进行匹配,且能得到较好的匹配结果,而 SIFT 算法此时匹配的特征点对极少,且有错配点,无法对两幅图像进行配准。

4 结语

针对光照剧烈变化的情况下,本文提出了一种基于 Harris 角点检测算法和方向场算法的图像配准方法,该算法通过提取特征点邻域内像素点的方向特征来构建描述向量,使得特征点描述向量具有很好的稳定性和唯一性,可以极大地抑制光照变化对配准结果的影响。实验表明,相比 SIFT 算法,本文算法具有更好的抗光照变化特性,且有配准成功率可以提高 22%,特征点匹配精度提高 2.34%。然而目前本文所提出的配准方法中因 Harris 角点检测计算复杂,计算量大,导

致配准时间较长,后续可研究使用快速的特征点检测方法,另外该算法尚不具备旋转的不变性,在后续的研究中,可以将方向场算法所构建的描述向量可按主方向旋转后再进行匹配,实现算法的旋转不变性。

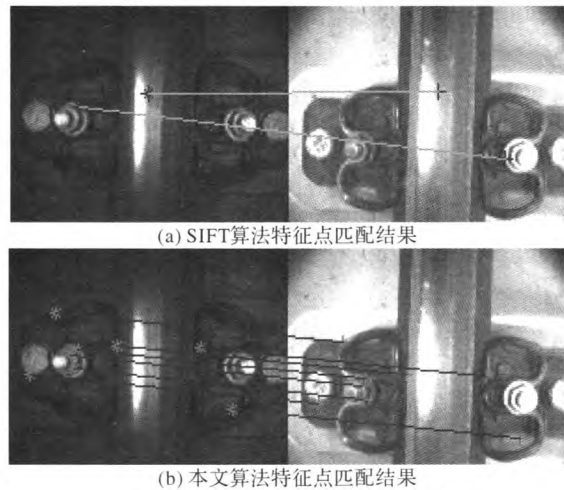


图4 光照剧烈变化图像配准结果

参考文献:

- [1] 余先川,吕中华,胡丹. 遥感图像配准技术综述[J]. 光学精密工程, 2013, 21(11): 2960-2972.
- [2] ZITOVA B, FLUSSER J. Image registration methods: a survey [J]. Imaging and Vision Computing, 2003, 21(11): 977-1000.
- [3] BROWN L G. A survey of image registration techniques [J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325-376.
- [4] WANG F, WANG X. Registration technology based on image feature[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Application and System Modeling. Paris: Atlantis Press, 2012: 296-298.
- [5] THANGAVEL P, KOKILA R. An extension of FFT based image registration[C]// Proceedings of the Second International Conference on Advances in Computing and Information Technology, Advances in Intelligent Systems and Computing 177. Heidelberg: Springer Berlin, 2012, 2: 729-737.
- [6] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]// ICCV '99: Proceedings of the International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999, 2: 1150-1157.
- [7] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [8] 许佳佳,张叶,张赫. 基于改进 Harris-SIFT 算子的快速图像配准算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1): 48-54.
- [9] HARRIS C G, SATEPHENS M J. A combined corner and edge detector[C]// Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. Romsey, UK: The Plessey Company, 1988: 147-151.
- [10] SCHIMID C, MOHR R, BAUCKHAGE C. Evaluation of interest point detectors [J]. International Journal on Computer Vision, 2004, 37(2): 151-172.
- [11] RAO A. R, SCHUNCK B G. Computing oriented texture fields [C]// Proceedings of the 1989 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1989: 61-68.
- [12] 陆凯,李成金,赵勋杰,等. 一种快速的亚像素图像配准算法[J]. 红外技术, 2013, 35(1): 27-30.