

区域灰度分布耦合相似判定策略的图像匹配算法

蔡鹏飞¹, 李扬波¹, 段湘煜², 孙挺³

(1.河南工学院, 新乡 453003; 2.苏州大学, 苏州 215006; 3.西北大学, 西安 710069)

摘要: **目的** 为了解决当前因图像匹配算法主要依靠提取图像的特征属性矢量进行度量, 从而利用其对应的相关系数最大的点进行匹配时导致匹配结果中存在较多的错误匹配点以及匹配误差变大的问题。**方法** 提出区域灰度分布耦合相似判定策略的图像匹配算法, 首先利用 Forstner 算子来提取图像的特征点, 以特征点为中心, 采取建立极坐标系的方法来确定特征点的主方向, 通过特征点邻域的灰度特征来生成低维度的特征描述子; 然后引入归一化互相 (NCC) 函数对特征点之间的相似度进行评估, 建立矩形窗口特征点双向匹配规则, 完成特征点的匹配, 以提高特征点之间的匹配准确度和算法鲁棒性; 最后, 根据正确匹配特征点组成的三角形具有相似性的特征, 设计相似判定策略, 对错误匹配点进行剔除, 以改善匹配精度。**结果** 实验结果表明, 与当前图像匹配技术相比, 文中匹配算法具有更高的匹配精度与效率, 有效降低了特征点的误匹配率。**结论** 所提图像匹配技术具有较高的配准精度, 在图像伪造、包装条码识别等领域具有一定的应用价值。

关键词: 图像匹配; 区域灰度分布; 相似判定策略; Forstner 算子; 双向匹配规则; 归一化互相关函数
中图分类号: TS801.3; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)19-0206-07

Image Matching Algorithm Based on Regional Gray Level Distribution Coupling Similarity Determination Strategy

CAI Peng-fei¹, LI Yang-bo¹, DUAN Xiang-yu², SUN Ting³

(1.Henan Institute of Technology, Xinxian 453003, China; 2.Suzhou University, Suzhou 215006, China;

3.Northwestern University, Xi'an 710069, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem that the measurement is currently done mainly by depending on the extraction of feature vector, thus causing many mismatching points in the matching results and the increasingly bigger matching errors during the matching by means of its maximum point of the corresponding correlation coefficient. An image matching algorithm based on the regional gray level distribution coupling similarity determination strategy was proposed. First of all, the feature points of the image were extracted with the Forstner operator. With the feature points as the center, the main direction of the feature points was determined by establishing the polar coordinate system. The feature descriptor was generated through the neighborhood gray feature of the feature points. Then, the similarity between the feature points was evaluated by introducing the normalized cross correlation (NCC) function. The bidirectional matching rule of a rectangular window feature point was established to complete the feature point matching, in order to improve the matching accuracy and robustness of the algorithm between the feature points. Finally, a similarity determination strategy was designed based on the similarity of triangles formed by accurately matched feature points, which was used to eliminate the mismatching points, so as to improve the matching accuracy. The experimental results showed that, compared to the current image matching technology, the matching algorithm herein had higher matching accuracy and efficiency, which effectively reduced the mismatching rate of the feature points. The proposed image matching technology has higher registration accuracy and provides certain application value in such fields as image forgery and pack-

收稿日期: 2017-02-17

基金项目: 国家自然科学基金 (61373095); 河南省高校科技创新人才支持计划 (13HASTIT040); 河南省教育厅科学技术研究重点资助项目 (14A520046, 13A52022)

作者简介: 蔡鹏飞 (1980—), 男, 硕士, 河南工学院实验师, 主要研究方向为计算机图形图像、信息安全。

aging bar code recognition.

KEY WORDS: image matching; regional gray level distribution; similarity determination; Forstner operator; bidirectional matching rule; normalized cross correlation function

图像匹配技术是一项重要的图像处理技术,是图像修复、图像识别的基础,已被广泛应用于飞行器导航、遥感探测等多项领域中^[1-3]。它是通过一定的算法对不同成像设备或不同时间、不同角度等获取的同一场景的图像进行匹配的一个过程^[4]。

图像匹配的精度以及匹配效率是图像匹配技术中的重要指标,为了寻找优秀的图像匹配方法,人们对图像匹配技术进行了深入的研究。如 Lourenco^[5]等利用改进的 SIFT 算法来提取特征点,完成了存在径向畸变的图像的匹配。又如任伟建^[6]等提出了基于改进 SIFT 算法的无人机遥感图像匹配,利用 SURF 特征点检测算子对 SIFT 进行了改进,并采用 Hessian 矩阵提取特征点,完成图像匹配。其算法计算较复杂,导致算法效率低下。对此,彭勃宇^[7]等提出了面向增强现实的 SUSAN-SURF 快速匹配算法,利用 SUSAN 算子进行角点检测,接着利用 SURF 来生成特征描述子,以降低特征描述子的维度,减小算法的计算量,最后通过统计特征点距离误差快速剔除误匹配点,完成图像匹配。该方法的匹配精度也较好,而且对光照变化、噪声干扰等具有较强的抗干扰性,但是基于 SUSAN 算子的匹配方法,图像存在小区域重叠度较高时,匹配错误度较高。Mubarak^[8]采用广义最小图选取单一最邻近点的方式进行图像匹配,对图像上的位置实现较为准确的匹配。该方法能对图像匹配有一定的效果,算法的效率也较高,但当图像存在噪声干扰、旋转变换等干扰时,图像匹配结果存在的错误匹配点较多。

文中提出区域灰度分布耦合相似判定策略的图像匹配算法,首先采用提取精度高、耗时少的 Forstner 算子对特征点进行提取,以提高算法的匹配精度;然后,利用特征点邻域的区域灰度差异来生成低维度的特征描述子,以提高算法的效率,建立矩形窗口特征点双向匹配法则,对矩形窗口内的特征点进行相似度量,完成特征点的匹配,利用匹配特征点来构成三角形,对构成三角形的相似性进行判断,若匹配特征点组成的 2 个三角形不具有相似性,则将选定的观测匹配特征点进行剔除;最后,测试文中匹配算法的精度与效率。

1 图像匹配算法整体设计

设计的图像匹配算法的整体流程见图 1。文中算法主要由 4 部分组成:利用 Forstner 算子对特征点进行提取;利用特征点的区域灰度特性来生成低维度的

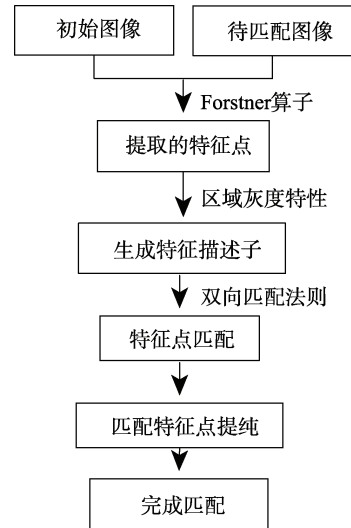


图 1 图像匹配算法过程

Fig.1 The process of image matching algorithm

特征描述子;构建矩形窗口特征点双向匹配法则,对窗口内特征点的相似度进行评估,完成特征点的匹配;利用正确匹配特征点组成的三角形之间具有相似性的特征,对错误匹配特征点进行剔除,完成图像的匹配。

2 图像匹配算法

2.1 特征点的提取

为了提高特征点的检测精度与鲁棒性,文中采用 Forstner 算子对特征点进行提取,与目前较多的特征点提取算子相比^[9-11],Forstner 算子具有提取精度较高,提取耗时较短的特点。首先选择图像中的一个像素点,计算其对应的 Robert 梯度值,其示意图见图 2,计算过程如下所述^[12]。

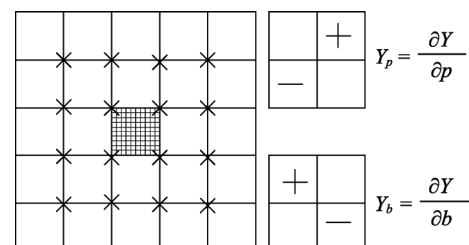


图 2 像素点的 Robert 梯度

Fig.2 Robert gradient of pixel point

$$Y_p = \frac{\partial Y}{\partial p} = Y(i+1, j+1) - Y(i, j) \quad (1)$$

$$Y_b = \frac{\partial Y}{\partial b} = Y(i, j+1) - Y(i+1, j) \quad (2)$$

式中: p, b 均为方向; Y 为 Robert 梯度值; (i, j) 为像素点坐标。

接着计算 $W \times W$ 窗口的灰度协方差矩阵, 见式 (3)。

$$A = \begin{bmatrix} \sum Y_p^2 & \sum Y_p Y_b \\ \sum Y_b Y_p & \sum Y_b^2 \end{bmatrix}^{-1} \quad (3)$$

式中: A 为灰度协方差矩阵。然后对兴趣值进行计算:

$$Z = \frac{1}{tr(A)} = \frac{Det(N)}{tr(N)} \quad (4)$$

$$G = \frac{4Det(N)}{(tr(N))^2} \quad (5)$$

式中: G 为某椭圆的圆度; $Det(N)$ 为矩阵 N 的行列式; $tr(N)$ 为矩阵 N 的迹。

对阈值 T_f 和 T_v 进行设定, 其中不失一般性 T_f 取值范围为 0.5 至 0.75^[13], T_v 的设置可通过式 (6) 获得。

$$T_v = \begin{cases} \xi J(\xi = 0.5 \sim 1.5) \\ \phi J_\phi(\phi = 5) \end{cases} \quad (6)$$

并将式 (4) 和式 (5) 中计算出来的兴趣值 Z 和 G 分别与 T_v 和 T_f 进行比较, 若满足式 (7) 关系, 则判定该像素点为候选点。

$$\begin{cases} G > T_f \\ Z > T_v \end{cases} \quad (7)$$

选择一个合适的窗口, 将窗口内的所有候选点进行比较, 取最大的候选点作为特征点。

2.2 特征描述子的生成

特征描述子可以使得特征点之间具有有效的区别性, 为此, 文中以特征点为中心建立极坐标系来确定特征点的主方向, 然后利用特征点邻域的灰度差异来生成描述子向量, 从而完成低维特征描述子的生成, 有效地降低了复杂度。首先, 选取坐标为 (x, y) 的特征点作为中心, β 为极半径以及 θ 作为极角, 其中 β 和 θ 的计算过程为:

$$\beta = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (8)$$

$$\theta = \rho \tan\left(\frac{x - x_i}{y - y_i}\right) - \theta_1 \quad (9)$$

式中: (x_i, y_i) 为特征点的邻域点坐标; ρ 为常数; θ_1 为选定特征点对应的主方向。

接着在特征点主方向 $\theta_1 = 0$ 的条件下建立极坐标系, 并且以其为起始角度将特征点的邻域划分为 32 个子区域, 以保证后续生成的特征描述子具备旋转不变性的特性。该过程见图 3。

在划分好区域后, 再对各个子区域的灰度差异均值进行计算, 从而完成特征描述子的生成。设特征点 (x, y) 对应的灰度值为 $U(x, y)$, 其邻域点 (x_i, y_i) 对应的灰度值为 $U(x_i, y_i)$, 则该 2 点间的灰度差异为:

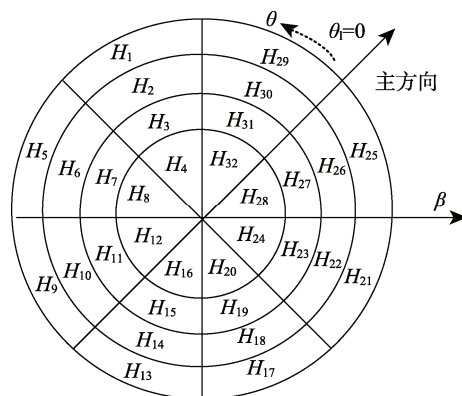


图3 特征点极坐标系下邻域划分

Fig.3 Neighborhood division of the polar coordinate system of the feature points

$$C = U(x_i, y_i) - U(x, y) \quad (10)$$

再依据式 (10), 对区域 H_i 中各特征点的灰度差异均值进行计算:

$$E_{H_i} = \frac{\sum_{(x,y) \in H_i} U(x_i, y_i) - U(x, y)}{D_i} \quad (11)$$

式中: D_i 为区域 H_i 中灰度差异值大于 0 的像素点的数目。

再将 32 个子区域中所有灰度差异均值进行联合, 形成特征向量:

$$W = [E_{H_1}, E_{H_2}, \dots, E_{H_{32}}] \quad (12)$$

对特征向量 W 进行归一化处理, 即可得到生成的特征描述子。

2.3 特征点匹配

为了防止匹配过程中因门限值选取不当而导致匹配特征点中存在较多的错误匹配点的问题, 文中提出了基于矩形窗口的双向匹配法则, 通过构建矩形窗口, 利用归一化互相关函数对特征点之间的相似度进行测量, 完成特征点的匹配。

1) 引入归一化互相关函数:

$$NC = \frac{R(x, y) - \overline{R(x, y)}}{\sqrt{R(x, y) - \overline{R(x, y)}}} \times \frac{J(q, p) - \overline{J(q, p)}}{\sqrt{J(q, p) - \overline{J(q, p)}}} \quad (13)$$

式中: $R(x, y)$ 和 $J(q, p)$ 分别为待匹配的 2 个特征点。

2) 从图像 I_1 中选取任一特征点 (x, y) , 以此作为中心, 构建大小为 $(2L+1) \times (2L+1)$ 的矩形窗口。在图像 I_2 上以特征点 $(x-m, y)$ 为中心, 也构建一个大小为 $(2L+1) \times (2L+1)$ 的矩形窗口。

3) 将图像 I_2 中的矩形窗口依次向左移动 $1 \sim m$ 个像素, 每移动一次都将利用归一化互相关函数计算当前特征点与图像 I_1 中特征点 (x, y) 的相似度。对获取的相似度进行从大到小排序, 取前 n ($n < m$) 个相似度值对应的特征点组成备选特征点集合。

4) 将图像 I_2 中选出的备选特征点按照上述方法

进行逆匹配,若其中某个备选特征点与图像 I_1 中的特征点 (x, y) 匹配成功,则判定这 2 个特征点为匹配特征点,若备选特征点集中有多个特征点与图像 I_1 中的特征点 (x, y) 匹配成功,则选取其中相似度最大的特征点作为匹配特征点。重复上述匹配过程,直到图像的特征点匹配完成。

2.4 剔除误匹配点

为了进一步提高算法的匹配精度以及鲁棒性,需要对匹配的特征点进行提纯,将错误的匹配特征点进行剔除^[14—15],因此,文中制定了相似判定策略对匹配特征点进行提纯,以提高算法的效率及鲁棒性。在 2 幅图像中分别选取任意 3 个正确的匹配特征点构成的三角形具有相似的关系,而错误匹配特征点不能满足该特性。故制定相似判定策略对匹配特征点进行提纯步骤如下所述。

1) 从图像 I_1 和 I_2 中选取 3 对相邻的匹配特征点,并验证其组成三角形的相似性,如果为相似三角形则选取 2 对匹配特征点作为各自图像中的参考点。

2) 从图像 I_1 和 I_2 中选取任意一对匹配特征点,将其分别与各自图像中对应的参考点组成三角形,然后判断组成的 2 个三角形的相似性,若为相似三角形则选取的这一对匹配特征点为正确匹配点,否则为错误匹配点将其剔除。

3) 迭代上述过程,完成匹配特征点的提纯。

3 实验结果及分析

在 Matlab 平台上对文中设计的图像匹配算法的合理性进行测试,测试中对比对象为文献[16]、文献[17]和文献[18]中的图像匹配算法。测试方法分为对图像匹配的匹配效果测试以及图像匹配的性能测试。实验环境为双核 2.5 GHz 处理器,4 GB 内存,500 GB 硬盘的 PC 机。采用 VC6.0 软件,结合 OpenCV 库函数编写实验代码进行测试。

3.1 匹配效果测试

采用不同算法对经过噪声和模糊叠加,以及亮度变换后的图像进行匹配测试,对应的图像匹配测试效果分别见图 4—5。另外,算法的鲁棒性是衡量一个图像匹配算法优劣的重要指标,故采用不同算法对经过旋转、缩放和噪声叠加后的图像以及旋转+噪声叠加后的图像进行匹配测试,测试效果分别见图 6—8。

通过观察图 4 和图 5 中的图像匹配效果可知,对照组方法的匹配效果以及文中方法的匹配效果都较好。在图 4 中通过将文中方法匹配图像的效果(图 4f)与对照组方法匹配的效果(图 4c—e)相比较可知,文中方法匹配图像中的匹配特征点比对照组方法匹配图像中的匹配特征点多。在图 5 中通过将文中方

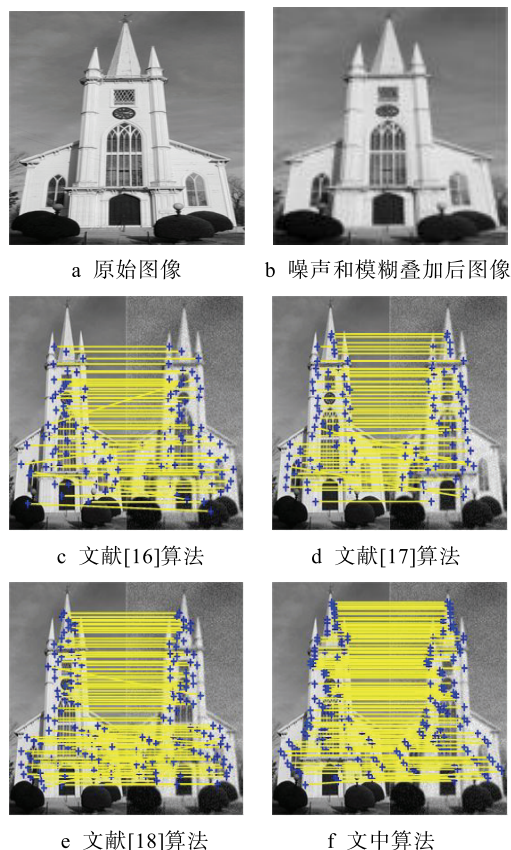


图 4 噪声和模糊叠加图像的匹配效果

Fig.4 The matching effect of noise and fuzzy overlay image

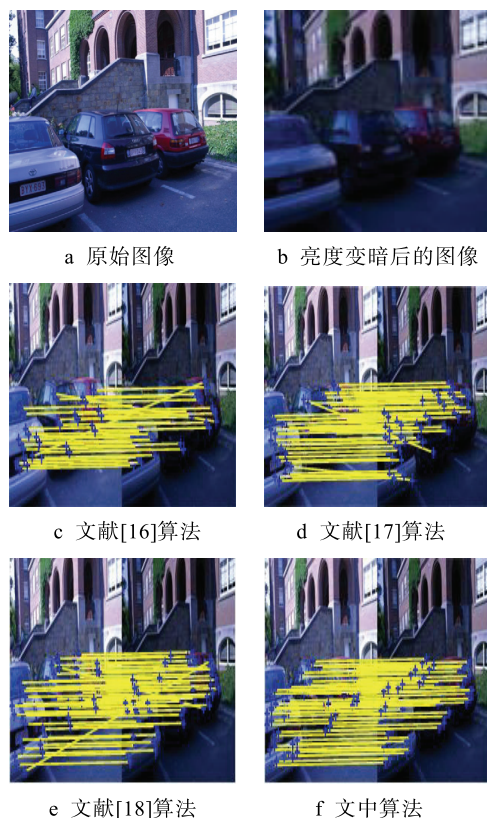


图 5 亮度变换图像的匹配效果

Fig.5 Matching effect of luminance transformation image

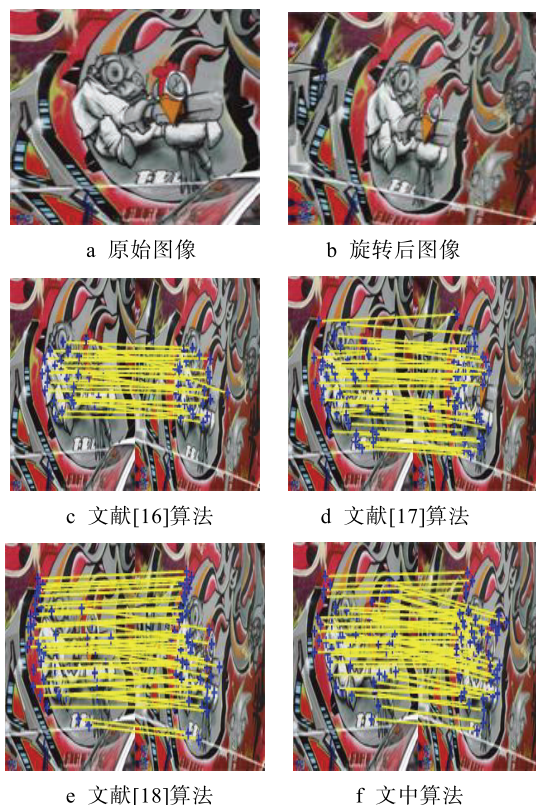


图6 旋转图像的匹配效果

Fig.6 Matching effect of rotating image

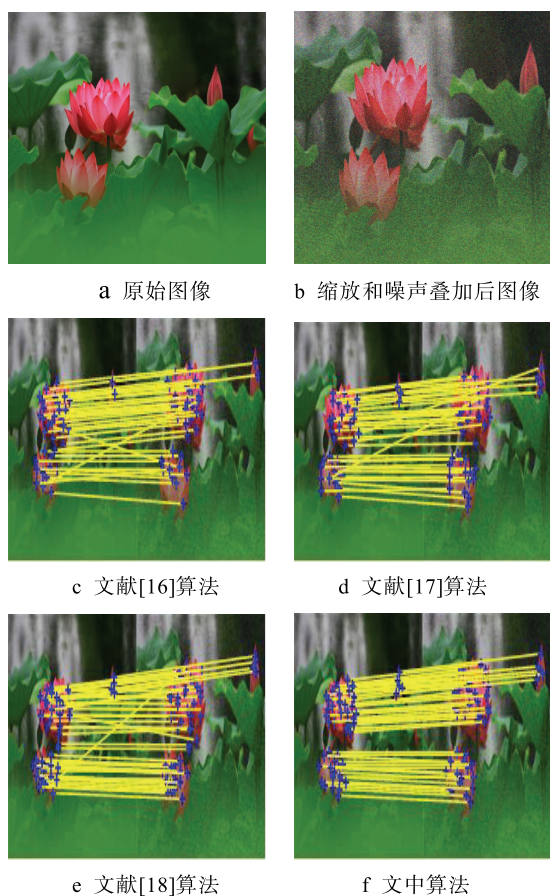


图7 缩放和噪声叠加图像的匹配效果

Fig.7 The matching effect of scaling and noise overlay image

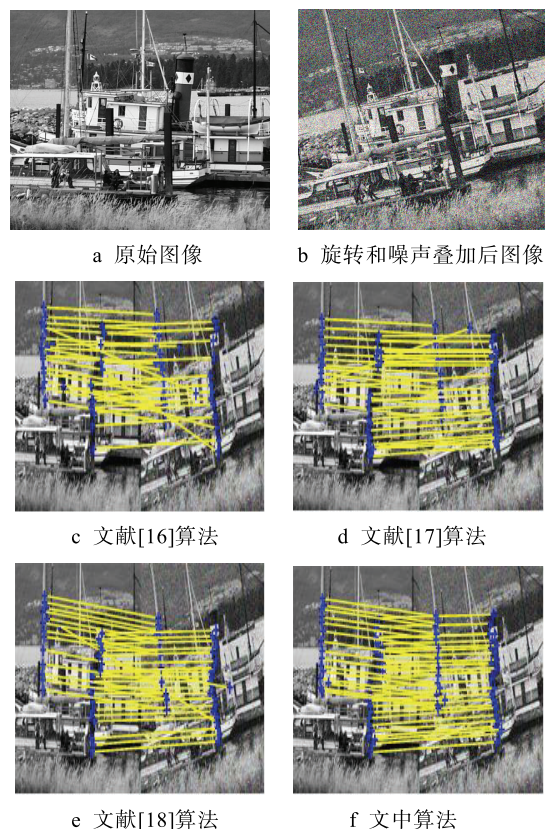


图8 旋转和噪声叠加图像的匹配效果

Fig.8 The matching effect of rotation and noise overlay image

法匹配图像的效果(图5f)与对照组方法匹配的效果(图5c—e)相比较可知,不仅文中方法匹配图像中的匹配特征比对照组方法多,而且存在的错误匹配点也较少。说明了文中设计的图像匹配算法的匹配效果较对照组具有更高的匹配精度以及匹配正确度。将图6—8中的图像匹配效果进行对比可知,文中方法图像匹配的匹配结果(图6f,图7f以及图8f)比文献[16]方法(图6c,图7c以及图8c),文献[17]方法(图6d,图7d以及图8d)以及文献[18]方法图像匹配的匹配结果(见图6e,图7e以及图8e)具有匹配特征点数目最多且错误匹配点数目最少的特点。说明文中设计的图像匹配算法相比对照组方法具有更好的鲁棒性能,能对外界复杂的干扰信号进行较好地抵抗。究其原因因为文中采用了特征点提取精度较高的Forstner算子对特征点进行提取,同时还设计了矩形窗口特征点双向匹配法则,用以特征点匹配,使得文中算法在提高了匹配正确率以及匹配精度的同时还保证了算法的鲁棒性。文献[16]中利用Harris算子提取特征点,然后在特征点中搜索一阶特征点,最后根据特征点的灰度值特征完成图像匹配。由于Harris算子提取特征点时容易受到噪声等干扰,导致其提取的特征点正确率不高,在图像存在灰度差异较大时,依靠特征点的灰度特征来进行匹配,将出现较多的错误匹配点,因此该方法匹配效果较文中算法匹配效果

差，算法鲁棒性不理想。文献[17]中利用 SIFT 方法提取特征点，然后利用双向匹配方法对 SIFT 进行改进，实现水下图像的匹配，由于 SIFT 方法提取的特征点中存在较多的错误特征点，故导致文献[17]方法匹配的图像效果不是很理想。文献[18]利用 Hessian 矩阵的行列式特性提取特征点，然后再用 SURF 算法生成特征描述子，最后利用 FLANN 算法完成图像匹配。由于 FLANN 算法容易受到光照变化等影响，导致匹配特征点中存在较多的误匹配点，使得算法匹配效果受到一定的影响。

3.2 匹配效率与精度的量化测试

为了对文中算法的性能进行测试，从 USI-SIPI 大型图像库中选取了 8 组图片进行实验，测试结果见表 1。由表 1 可知，文中算法的正确匹配特征点数最多，有 238 个，其错误匹配特征点仅为 8 个，耗时仅 9.79 s，表明文中所设计的图像匹配算法具有较好的匹配性能。文中采用了特征点区域灰度特性的方法来生成特征描述子，该特征描述子具有维度较低的特性，使得算法效率有所提高，同时，文中还设计相似判定策略，能对匹配特征点进行有效提纯，从而提高了匹配特征点的正确度。文献[16]中通过在特征点中搜索一阶特征点，最后根据特征点的灰度值特征完成图像匹配，该过程计算量较大，导致算法效率不理想。文献[17]中利用 SIFT 算法生成特征描述子，该方法生成的特征描述子维度较高，使得算法计算量较大。文献[18]中采用 SURF 算法生成的特征描述子维度较 SIFT 算法生成的特征描述子维度较低，但是与文中算法相比维度还是较高，而且 FLANN 算法计算复杂度较高，从而导致该算法耗时较长。

表 1 不同算法匹配性能测试

Tab.1 Matching performance testing of different algorithms

图像匹配 算法	设置特征 点总数	正确匹配 特征点数	错误匹配 特征点数	时间/s
文献[16]	300	132	31	14.38
文献[17]	300	179	19	12.64
文献[18]	300	196	12	10.96
文中	300	238	8	9.79

4 结语

为了兼顾匹配精度与效率，文中提出了区域灰度分布耦合相似判定策略的图像匹配算法。利用 Forstner 算子提取特征点后，通过利用特征点区域灰度特性来生成低维度特征描述子，有效改善了算法的匹配效率。再设计矩形窗口特征点双向匹配法则，对特征点进行匹配，继而提高算法的匹配精度与鲁棒性，并构建相似判定策略，对匹配结果进行提纯，剔

除错误匹配特征点，提高算法的匹配精度。实验结果验证了所提算法的合理性与优异性。

参考文献：

[1] 李胜辉, 史瑞芝, 叶辉. 结合颜色不变量和 ORB 特征的图像匹配算法[J]. 包装工程, 2016, 23(15): 18—23.
LI Sheng-hui, SHI Rui-zhi, YE Hui. An Image Matching Algorithm Based on Color Invariants and ORB Features[J]. Packaging Engineering, 2016, 23(15): 18—23.

[2] HUANG Li-qin, CHEN Cai-gan, SHEN Heng-hua. Adaptive Registration Algorithm of Color Images Based on SURF[J]. Measurement, 2015, 66(1): 118—124.

[3] OLIVA D, CUEVAS E, PAJARES G. Template Matching Using an Improved Electromagnetism-like Algorithm[J]. Applied Intelligence, 2014, 41(3): 791—807.

[4] 李胜辉, 张保龙, 史瑞芝. 基于实时图像获取的两种匹配算法的比较[J]. 包装工程, 2016, 23(10): 22—27.
LI Sheng-hui, ZHANG Bao-long, SHI Rui-zhi. Comparison of Two Matching Algorithms Based on Real-time Image Acquisition[J]. Packaging Engineering, 2016, 23(10): 22—27.

[5] LOURENCO M, BARRETO J P, VASCONCELOS F. Key Point Detection and Matching in Images With Radial Distortion[J]. Robotics, IEEE Transactions on, 2012, 28(3): 752—760.

[6] 任伟建, 王子维, 康朝海. 基于改进 SIFT 算法的无人机遥感图像匹配[J]. 计算机科学, 2015, 42(11): 179—182.
REN Wei-jian, WANG Zi-wei, KANG Chao-hai. Remote Sensing Image of UAV Registration Based on Improved SIFT Algorithm[J]. Computer Science, 2015, 42(11): 179—182.

[7] 彭勃宇, 王崴, 周诚. 面向增强现实的 SUSAN-SURF 快速匹配算法[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(8): 2538—2542.
PENG Bo-yu, WANG Wei, ZHOU Cheng. SUSAN-SURF Fast Matching Algorithm for Augmented Reality[J]. Application Research of Computers, 2015, 32(8): 2538—2542.

[8] SHAH M. Image Geo-Localization Based on Multiple Nearest Neighbor Feature Matching Using Generalized Graphs[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2014, 36(8): 1546—1558.

[9] SEDAGHAT A, EBADI H. Very High Resolution Image Matching Based on Local Features and K-means Clustering[J]. The Photogram Metric Record, 2015, 150(30): 166—168.

[10] ZHU Min-chen, WANG Wei-zhi, LIU Bing-han. Efficient Video Panoramic Image Stitching Based on an

- Improved Selection of Harris Corners and a Multiple-Constraint Corner Matching[J]. PLoS ONE, 2013, 32(8): 1—15.
- [11] SHEN Xing-xing, BAO Wen-xing. The Remote Sensing Image Matching Algorithm Based on the Normalized Cross-Correlation and SIFT[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2014, 24(2): 417—422.
- [12] ZHANG Jun, LUO Ting-jin, GUI Gao. Junction Point Detection Algorithm for SAR Image[J]. International Journal of Antennas and Propagation, 2013, 2(52): 861—870.
- [13] 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—53.
- XU Jia-jia, ZHANG Ye, ZHANG He. Fast Image Registration Algorithm Based on Improved Harris-SIFT Descriptor[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(1): 48—53.
- [14] HUA Xiang-qian, ZHAO Qiu-shi, BU Wei Bu. A SIFT-based Contactless Palmprint Verification Approach Using Iterative RANSAC and Local Palmprint Descriptors[J]. Pattern Recognition, 2014, 47(10): 3314—3326.
- [15] 谷宗运, 谭红春, 殷云霞. 基于 SURF 和改进的 RANSAC 算法的医学图像配准[J]. 中国医学影像学杂志, 2014, 22(6): 470—475.
- GU Zong-yun, TAN Hong-chun, YIN Yun-xia. Medical Image Registration Based on SURF and Improved RANSAC Algorithm[J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2014, 22(6): 470—475.
- [16] 唐烁, 缪源. 基于 Harris 角点的图像匹配算法[J]. 微型机与应用, 2013, 32(2): 41—43.
- TANG Shuo, MIAO Yuan. An Image Matching Algorithm Based on Harris Corner[J]. Microcomputer & Its Applications, 2013, 32(2): 41—43.
- [17] LIN Yan, Bo Liu. Underwater Image Bidirectional Matching for Localization Based on SIFT[J]. Journal of Marine Science and Application, 2014, 13(2): 225—229.
- [18] 冯亦东, 孙跃. 基于 SURF 特征提取和 FLANN 搜索的图像匹配算法[J]. 图学学报, 2015, 36(4): 650—654.
- FENG Yi-dong, SUN Yue. Image Matching Algorithm Based on SURF Feature Extraction and FLANN Search[J]. Journal of Graphics, 2015, 36(4): 650—654.