

基于信息特征耦合夹角一致性规则的图像匹配算法

付利军¹, 张福泉², 杨金劳¹

(1.山西运城农业职业技术学院, 运城 044000; 2.北京理工大学, 北京 100081)

摘要: **目的** 针对当前基于灰度特征的图像匹配算法在遇到匹配图像存在较大的光照变换时, 会引起较多的误匹配和漏匹配等问题, 提出一种基于信息特征耦合夹角一致性规则的图像匹配算法。**方法** 首先, 利用 Forstner 算子来检测图像的特征点, 接着用 Hessian 矩阵最大特征值与其最小的特征值做比值计算, 优化 Forstner 算子的检测特征点。然后, 以特征点为原点, 构建极坐标系, 将特征点的邻域进行分割。再利用信息熵模型求取每个分割块中的信息特征, 以生成特征描述子。最后, 利用特征描述子构造距离模型, 搜索指定特征点的最近邻特征点和次近邻特征点, 并通过距离比值方法完成特征点的匹配。通过匹配特征点之间形成的夹角, 建立夹角一致性规则, 对匹配特征点的可靠性进行度量, 剔除错误匹配特征点, 从而完成图像匹配。**结果** 实验结果显示, 与当前图像匹配算法相比, 所提图像匹配算法图像在旋转角度 $10^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 范围内, 识别率为 $94.6\%\sim 88\%$, 平均识别时间为 5.48 s , 具有更高的匹配精度与鲁棒性。**结论** 所提算法具有较高的检测精度, 在印刷防伪与信息安全等领域具有较好的应用价值。

关键词: 图像匹配; Forstner 算法; Hessian 矩阵; 信息特征; 距离模型; 夹角一致性规则

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0190-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.033

Image Matching Algorithm Based on Information Characteristics and Coupling Angle Consistency Rule

FU Li-jun¹, ZHANG Fu-quan², YANG Jin-lao¹

(1. Shanxi Yuncheng Agricultural Vocational College, Yuncheng 044000, China;

2. Beijing University of Technology, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an image matching algorithm based on information characteristics and coupling angle consistency rule regarding the problems of many mismatches and missing matches caused by current image matching algorithm based on grayscale feature when there is a large illumination transformation in matching images. First of all, the Forstner operator was used to detect the feature points of the image, and then the ratio of the maximum eigenvalue to the minimum eigenvalue of the Hessian matrix was calculated to optimize the feature points detected by the Forstner descriptor. Then, the polar coordinate system was constructed with the feature points as the origin, and the neighborhood of the feature points was segmented. The information feature of each segmentation block was obtained with the information entropy model to generate the feature descriptor. Finally, the distance model was constructed by feature descriptor, and the nearest neighbor feature points and the next nearest neighbor feature points of the specified feature points were searched, and the feature points were matched by distance ratio method. By matching the angle formed between the feature points, an angle consistency rule was established to measure the reliability of the matched feature points, and the wrongly matched feature points were eliminated to complete the image matching. The experimental results showed that, compared with the current image matching algorithm, when the rotation angle was $10^{\circ}\sim 100^{\circ}$, the recognition rate was $94.6\%\sim 88\%$ and the average recognition time was 5.48 s , the proposed image matching algorithm had higher matching accuracy and stronger robustness. The proposed algorithm has high detection accuracy and good application value in the field of print-

收稿日期: 2017-11-23

基金项目: 国家教育部博士点基金 (20121101110037); 山西省自然科学基金 (2013011121-1)

作者简介: 付利军 (1979—), 男, 硕士, 山西运城农业职业技术学院讲师, 主要研究方向为图形图像处理、软件工程、模式识别, 数据挖掘与信息系统、数据库等。

ing anti-counterfeiting and information security.

KEY WORDS: image matching; Forstner algorithm; Hessian matrix; information characteristics; distance function; angle consistency rule

随着数字图像的广泛应用, 数字图像处理技术也得到了迅猛发展, 图像匹配技术成为当下数字图像处理技术的研究热点之一。图像匹配技术是通过一定的方法手段, 将多幅图像中存在的相似或者相同的图像信息进行检测并标记出来^[1]。图像匹配技术已被广泛应用于包含机器视觉、航空航天、印刷防伪与信息安全等在内的多项技术领域^[2-3]。如 LI Jing-wei^[2]为了提高图像信息的真实性, 利用图像匹配技术设计了相应的图像伪造检测算法, 通过对提取图像的特征进行匹配与提纯, 准确检测图像中的伪造内容。王星^[3]为了准确检测药用玻璃瓶印刷字的缺陷, 利用 SIFT 与 RANSAC 策略设计了相应的图像匹配方法, 准确检测出印刷字的缺陷。

当前基于 SIFT 的图像匹配技术是常见的方法之一, 由于 SIFT 算法具有尺度不变性, 能够有效地适应旋转、光照等变换下的图像匹配。Sima^[4]等提出了一种基于 SIFT 的短波红外与可见光波的图像匹配算法, 利用 SIFT 检测图像的特征点, 采用特征点的欧氏距离比值法完成图像的匹配, 实验表明该方法能够实现图像匹配, 尤其是对经过尺度变换的图像匹配效果较好, 但是由于 SIFT 方法检测的特征点中存在一定的伪特征点, 使得算法的匹配正确度有所下降。程红^[5]等通过对归一化积相关方法进行研究, 提出了一种改进的快速归一化积相关图像匹配算法, 利用构造搜索矩阵的方法对搜索路径进行简化, 从而使得匹配方向得以确定, 同时避免了图像能量计算的冗余性, 继而采用 BPC 算法来进一步完成图像的匹配, 实验结果表明, 该方法具有一定的图像匹配效果, 而且匹配效率有所提高, 但是该方法匹配图像中存在较多的漏匹配现象。肖志涛^[6]等提出了一种基于相位一致性和自适应极坐标变换的图像匹配方法, 使用相位一致性对参考图像与目标图像进行特征提取, 然后进行自适应极坐标变换, 最后通过分别计算极径方向和角度方向的投影得出尺度与旋转参数实现图像匹配, 该算法通过利用极径方向和角度方向的投影信息来完成配准, 能够提高其对旋转操作的鲁棒性, 但是此技术主要是在频域中提取图像特征, 忽略了图像的空域特征, 使其提取的特征存在的伪特征点, 从而影响了其最终的匹配精度, 而且该方法的计算复杂度较高, 导致算法的匹配效率有所下降。戴宪策^[7]等通过对相位相关算法进行研究, 提出了一种基于傅里叶-梅林变换的图像匹配方法研究, 利用图像傅里叶变换幅度谱中存在的信息, 采用对数-极坐标变换和相位相关相结合计算旋转角度和缩放系数, 根据得到的结果变

换图像, 计算平移量, 从而完成图像匹配。此技术是利用频域变换与对数-极坐标变换来实现匹配, 在一定程度上能够改善其对旋转操作的鲁棒性, 但其忽略了邻域特征点, 当图像遇到旋转与缩放时, 其平移量存在一定的误差, 使其匹配精度有待提高, 且傅里叶变换的复杂度较高, 导致算法的匹配耗时较多。对此, 文中提出了基于信息特征耦合夹角一致性规则的图像匹配算法。文中对图像匹配算法进行了整体概述, 详细描述检测特征点、获取特征描述子、特征点的匹配以及剔除错误匹配特征点这 4 个过程。通过实验, 从图像匹配的效果测试以及客观测试两方面对文中所提算法的匹配准确性以及匹配效率进行了实验与分析。

1 文中图像匹配算法设计

如图 1 所示, 文中图像匹配算法主要分为 4 个过程: 基于 Forstner 算子与 Hessian 矩阵的图像特征点提取优化; 基于极坐标系的特征点邻域分割, 从而求得分割块的信息熵获取其信息特征, 以生成低维度的特征描述子; 基于距离模型与夹角一致性规则的特征点匹配。

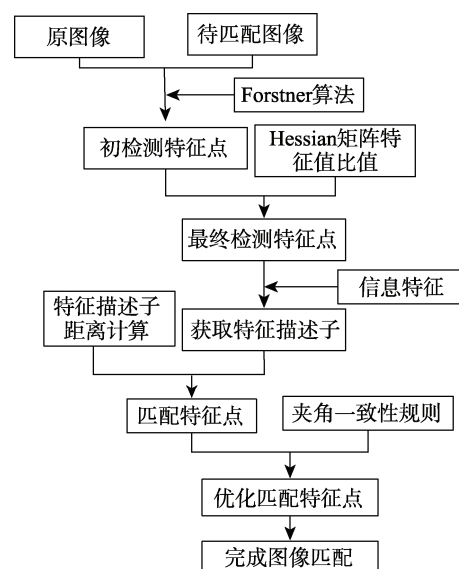


图 1 文中算法的图像匹配过程
Fig.1 The image matching process of the proposed algorithm

1.1 检测特征点

当前 SIFT 特征点检测算法、Harris 特征点检测算法以及 Forstner 特征点检测算法等都是常见的特征

点检测算法。其中 Forstner 算法具有检测速度快以及检测精度较高的特点^[8-9]，因此文中采用 Forstner 算法来检测特征点，但是 Forstner 算法检测的特征点中存在少量伪特征点。对此采用了 Hessian 矩阵特征值比值运算的方法将伪特征点剔除，形成最终的检测特征点。

Forstner 算法检测特征点的主要过程为^[10-11]：

1) 计算 Robert 梯度值。令 h_{ij} 表示像素点 $p(r, w)$ 的灰度值， R_x 及 R_y 分别为像素点 $p(r, w)$ 在 x 和 y 方向上的 Robert 梯度值， R_x 及 R_y 的计算过程为：

$$R_x = \frac{\partial R}{\partial x} = h_{i+1,j+1} - h_{i,j} \quad (1)$$

$$R_y = \frac{\partial R}{\partial y} = h_{i,j+1} - h_{i+1,j} \quad (2)$$

2) 求取 $u \times u$ 窗口的协方差矩阵 XJ 。令 JX 为 XJ 的逆矩阵，则有：

$$XJ = JX^{-1} = \begin{bmatrix} \sum R_x^2 & \sum R_x R_y \\ \sum R_x R_y & \sum R_y^2 \end{bmatrix}^{-1} \quad (3)$$

其中， R_{xy} 和 R_x^2 以及 R_y^2 的表述为：

$$R_x R_y = \sum_{i=r-k}^{r+k-1} \sum_{j=w-k}^{w+k-1} (h_{i+1,j+1} - h_{i,j})(h_{i,j+1} - h_{i+1,j})$$

$$R_y^2 = \sum_{i=r-k}^{r+k-1} \sum_{j=w-k}^{w+k-1} (h_{i,j+1} - h_{i+1,j})^2 \quad (4)$$

$$R_x^2 = \sum_{i=r-k}^{r+k-1} \sum_{j=w-k}^{w+k-1} (h_{i+1,j+1} - h_{i,j})^2$$

3) 计算兴趣值 V 和 I 。令 $\text{Det}JX$ 表示矩阵 JX 的行列式， $\text{tr}JX$ 表示矩阵 JX 的迹，则有^[12]：

$$I = \frac{\text{Det}JX}{\text{tr}JX}$$

$$V = \frac{4\text{Det}JX}{(\text{tr}JX)^2} \quad (5)$$

4) 获取初检测特征点。如果某一像素点对应的 V 和 I 值满足式 (6)，则判定该像素点为初检测特征点。

$$\begin{cases} V > T_v \\ I > T_i \end{cases} \quad (6)$$

式中： T_v 及 T_i 为预定阈值，其取值参考方法为：

$$\begin{cases} T_v = 0.5 \sim 0.75 \\ T_i = \begin{cases} \alpha I' (\alpha = 0.5 \sim 1.5) \\ \phi I_\phi (\phi = 5) \end{cases} \end{cases} \quad (7)$$

式中： I' 及 I_ϕ 分别为权的平均值以及中值。

通过 Forstner 算法检测到的特征点中会夹杂少量伪特征点，对此，接下来将通过 Hessian 矩阵特征值比值运算的方法将伪特征点剔除，形成最终的检测特征点，具体过程如下所述。

首先，令通过特征点邻域差分运算方法求得的特

征点偏导数为 C_{xx} ， C_{xy} ， C_{yy} ，则该特征点对应的 Hessian 矩阵为：

$$H = \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} \\ C_{xy} & C_{yy} \end{bmatrix} \quad (8)$$

然后，令该 Hessian 矩阵对应的最大特征值为 β ，最小特征值为 ε ， $\text{Det}(H)$ 表示矩阵 H 的行列式， $\text{Tr}(H)$ 表示矩阵 H 的迹。则通过 $\text{Det}(H)$ 和 $\text{Tr}(H)$ 可求得 β 与 ε 形成的比值运算：

$$H_s = \frac{\text{Tr}(H)^2}{\text{Det}(H)} = \frac{(\beta + \varepsilon)^2}{\beta \varepsilon} \quad (9)$$

若某一个特征点满足式 (10) 情况，则表示该特征点应保留，否则剔除。

$$H_s \leq \frac{(\eta + 1)^2}{\eta} \quad (10)$$

式中： η 为比例因子， $\eta = \frac{\beta}{\varepsilon}$ 。

1.2 获取特征描述子

利用特征点对应的特征描述子有助于提高算法的鲁棒性能^[13-14]。图像所包含的信息特征可以通过信息熵来描述，因此，文中将通过构建极坐标分割特征点邻域的方法，获取分割块，再通过求取分割块对应的信息熵来获取特征描述子，具体过程如下所述。

首先，选取任意特征点 $v(x_i, y_i)$ 为中心，按照极半径 r 以及极角 ζ 建立极坐标系。

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

$$\zeta = \alpha \tan\left(\frac{x - x_i}{y - y_i}\right) - \zeta_z \quad (11)$$

式中： ζ_z 为特征点的主方向； α 为调节因子。调节因子 α 越大，则极角 ζ 越大，分割块的数量就少，会导致特征描述子的鲁棒性降低；反之，调节因子 α 越小，则极角 ζ 越小，此时包含分割块的数量就多，可利用的信息也就越丰富，有助于提高算法的匹配精度，但是，会增加特征描述子的计算量，影响匹配效率，因此，需要通过多次实验确定一个较优值。在文中，取 $\alpha = 0.9$ 。

沿着 $\zeta_z = 0$ 对应的方向为起始方向，对特征点邻域进行分割，分割方法见图 2。利用求取信息熵的方法，对形成的 16 个分割块所包含的信息特征进行计算。

令分割块 D_x ($1 \leq x \leq 16$) 中具有 N 个灰度级，其中第 j 个灰度级出现的概率为 g_j ，则该分割块的信息熵表述为^[15-16]：

$$XS_{D_x} = \sum_{j=0}^{N-1} g_j \log\left(\frac{1}{g_j}\right) \quad (12)$$

最后，将每个分割块中所求的信息熵按照分割块

的编号进行排序, 形成一个 16 维的特征向量, 并将该向量进行归一化处理后, 便生成了特征描述子 P_M 。其过程为: 将 16 维的特征向量中的各个向量进行累加求和; 将各个向量分量与累加和进行除法运算, 形成新的 16 维特征向量 P_M 。

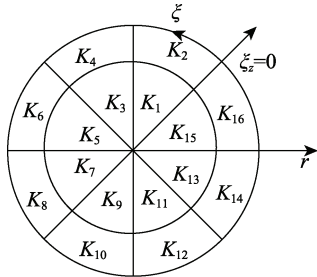


图 2 生成特征描述子过程

Fig.2 Process of generating feature descriptor

1.3 特征点的匹配

获取特征描述子后, 将采用对特征描述子进行距离计算, 根据计算结果采用距离比值的方法实现特征点的匹配, 有利于降低算法的计算复杂度^[17-18]。

令特征点 H 对应的特征描述子为 $P_{M_H} = \{K_{H_1}, K_{H_2}, K_{H_3} \dots K_{H_{16}}\}$, 特征点 J 对应的特征描述子为 $P_{M_J} = \{K_{J_1}, K_{J_2}, K_{J_3} \dots K_{J_{16}}\}$, 则 P_{M_H} 与 P_{M_J} 的距离为:

$$Dis(P_{M_H}, P_{M_J}) = \sum_{j=1}^{16} |K_{H_j} - K_{J_j}| \quad (13)$$

通过式 (13) 找出特征点 H 对应的最近邻特征点 J 和次近邻特征点 E 。若式 (14) 成立, 则表示 H 和 J 为一对匹配特征点。

$$\frac{Dis(P_{M_H}, P_{M_J})}{Dis(P_{M_H}, P_{M_E})} < F_p \quad (14)$$

式中: F_p 为预设阈值。该阈值过大, 则导致匹配精度较低; 若阈值太小, 虽然匹配精度能大幅提升, 但是算法的耗时会增大。由此, 需要对阈值 F_p 进行实验优化, 从兼顾匹配精度与效率两方面来确定一个较优值。在文中通过多次实验, 取 $F_p=0.95$ 。

1.4 剔除错误匹配特征点

由于正确的匹配特征点对形成的夹角具有一致性特征^[19-20], 因此文中将利用匹配特征点形成的夹角特征建立夹角一致性规则, 对错误匹配特征点进行剔除。

夹角一致性规则的建立过程见图 3, 其表述为: 令 $a, a'; b, b'; c, c'; d, d'$ 为 3 对匹配特征点, 若 ab 与 ac 形成的夹角, 与 $a'b'$ 与 $a'c'$ 形成的夹角都为 θ 。则 ad 与 ab 形成的夹角 ρ , 应该要与 $a'd'$ 与 $a'b'$ 形成的夹角 ρ' 相等, 否则判定 d, d' 为错误匹配特征点, 给予剔除。

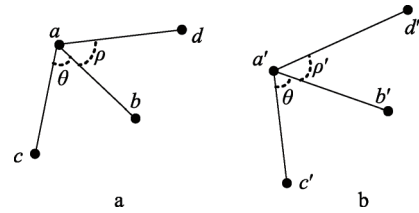


图 3 夹角一致性规则的建立过程

Fig.3 The establishment process of angle consistency rule

2 实验结果与分析

实验的硬件平台: Intel I3 主频为 3.2 GHz 的 CPU, 4GB 内存的联想 PC 机, 操作系统采用 Windows XP, 仿真工具采用 Matlab7.0。为了对照文中所设计算法的图像匹配效果, 将文献[21]以及文献[22]、文献[23]、文献[24]、文献[25]中的匹配算法作为对照组。其中, 文献[21]中将归一化互相关方法与 SIFT 进行结合, 对传统的 SIFT 技术进行改进, 有效改善匹配精度。SIFT 技术是当前图像匹配技术中较为经典的方法, 被诸多国内外学者用于实现特征点配准, 且此方法利用归一化互相关来约束 SIFT 技术, 与所提算法较为接近, 具有良好的代表性与新颖性。文献[22]中利用 SURF 方法提取特征点以及生成特征描述子, 再通过近邻比值法以及全约束条件完成图像匹配。SURF 是当前图像匹配技术中最为常用的方法之一, 且文献[22]中的技术对其进行了优化, 提高了匹配精度, 具有很好的代表性。文献[23]中利用梯度方向直方图来优化 SURF 方法中的特征描述符, 显著提高了匹配正确度, 而图像梯度特征以及 SURF 方法都是当前图像匹配技术较为常用的手段, 具有较好的代表性与新颖性。文献[24]主要是将分割图像转换成区域邻接图, 再通过分段边缘线以及区域特征完成图像匹配, 该方法是一种基于区域特征的匹配方法, 具有良好的新颖性。文献[25]中利用最大稳定极值区域算法 (MSER) 和 Hessian 方法来获取经过投影变换后图像的特征, 通过 K-NN 搜索方法以及第一几何不一致最近邻方法实现粗匹配, 再基于 RANSAC 方法来优化匹配精度, 该方法联合投影变换以及几何校准来实现图像匹配, 具备较高的匹配正确度以及鲁棒性, 具有较好的新颖性。为此, 文中将文献[21]与文献[22]、文献[23]、文献[24]、文献[25]视为对照组。实验中相关主要参数设置为: $T_v=0.65$, $\alpha=0.9$, $F_p=0.95$ 。

2.1 图像匹配测试结果

图像匹配效果的测试分为对光照变换图像的匹配效果测试以及对旋转变换图像的匹配效果测试。对不同算法对光照变换图像的匹配结果对比见图 4, 不同算法对旋转变换图像的匹配结果对比见图 5。从图 4 可见, 文中算法以及对照组算法的匹配效果都较好,

但是将文中图像匹配算法的匹配结果(图 4h)分别与文献[21]、文献[22]、文献[23]、文献[24]、文献[25](图 4c—g)进行对比可见,文献[21]和文献[22]中算法的匹配结果中存在较多的漏匹配点以及错误匹配点,文献[23]和文献[24]中算法的匹配结果中也存在一定的错误匹配点,文献[25]中算法的匹配结果中存在少许错误匹配点与漏匹配点,文中算法的匹配结果中匹配特征点数量最多且错误匹配点最少。通过对比图 5 的匹配试验结果可以发现,文献[25]算法对旋转具有更强的鲁棒性,其匹配精度最高,错误匹配点以及漏匹配点数量最少,见图 5g,所提算法的匹配正确度要略低于文献[25],但是与文献[21]、文献[22]、文献[23]和文献[24]相比,文中方法同样具有更高的

匹配精度,其匹配结果中的错误匹配点以及漏匹配点数量均要低于这 4 种技术,分别见图 5c—h。为了客观地对图 4 和图 5 中不同算法的匹配正确度进行量化,不同算法的匹配正确度见表 1 和表 2。从表 1 可见,对于光照变换,文中算法的匹配正确特征点个数为 123 个,匹配正确度为 94.6%,比较对照此方法匹配正确度最高。从表 2 可见,对于旋转变换,由于文献[25]具有几何校正能力,使其匹配精度最高,约为 95.5%;文中算法的匹配正确特征点个数为 103 个,匹配正确度为 93.6%,略低于文献[25]。另外,文献[21]算法的匹配正确度最低,其匹配正确特征点个数为 92 个,正确度为 83.6%。这些测试数据说明文中算法具有较高的匹配正确度以及鲁棒性能。

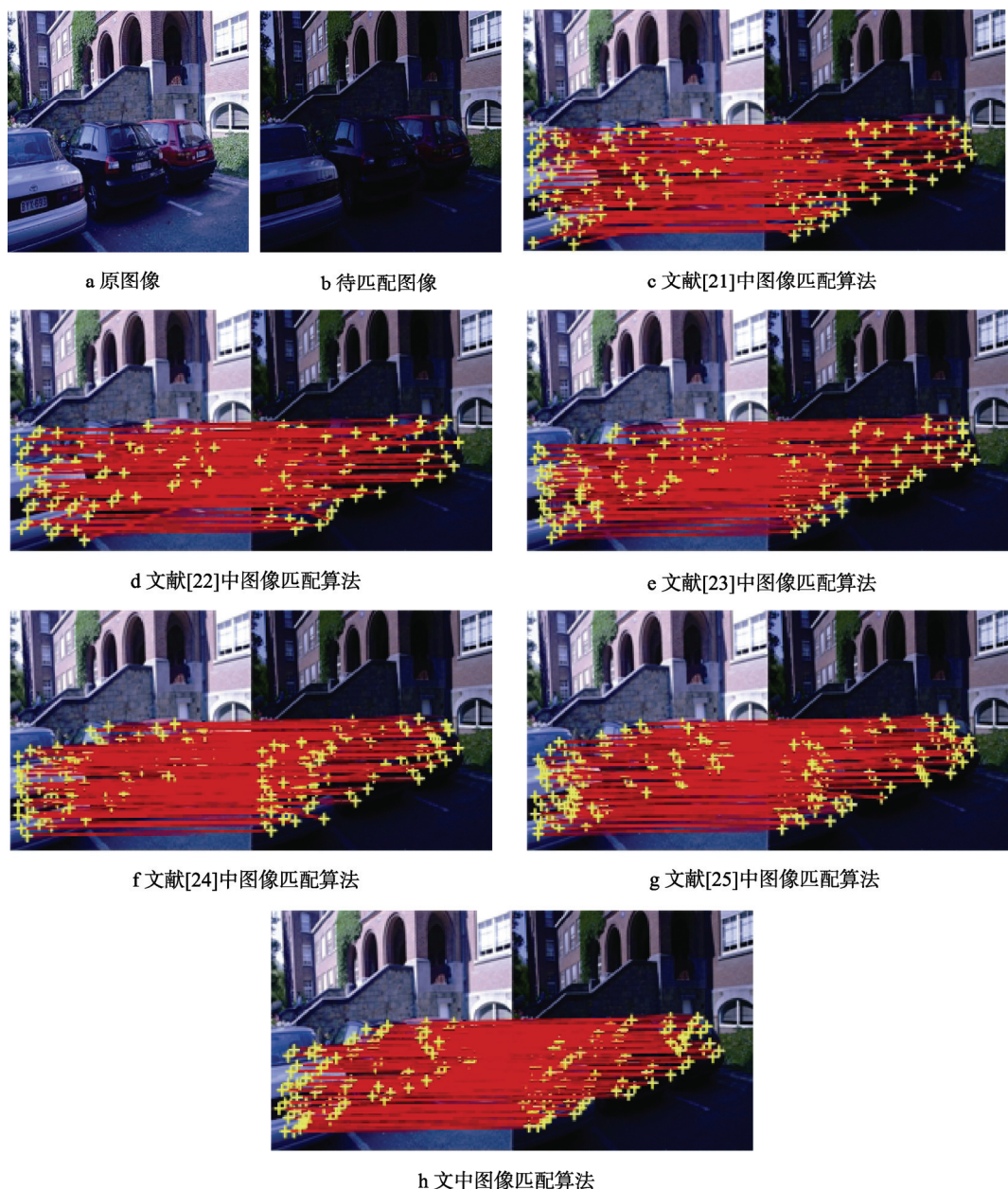


图 4 不同算法对光照变换图像的匹配结果

Fig.4 Matching results of different algorithms for light transformation images

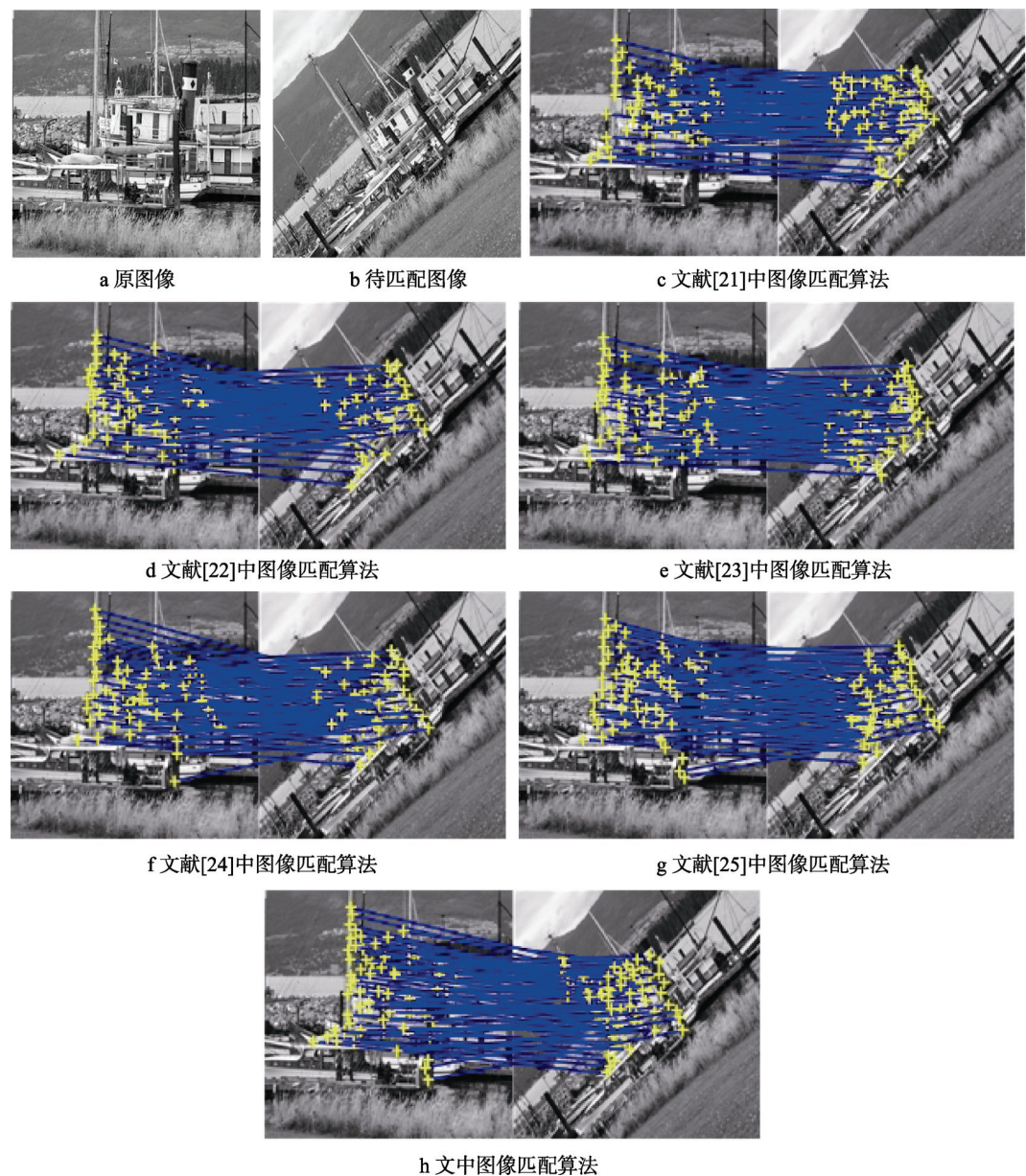


图 5 不同算法对旋转变换图像的匹配结果
Fig.5 Matching results of different algorithms for rotation transform images

表 1 图 4 中不同算法的匹配正确度
Tab.1 Matching correctness of different algorithms in Fig.4

算法	特征点 总数/个	匹配正确 特征点数量/个	匹配 正确度/%
文献[21]算法	130	111	85.4
文献[22]算法	130	115	88.5
文献[23]算法	130	116	89.2
文献[24]算法	130	119	91.5
文献[25]算法	130	121	93.1
文中算法	130	123	94.6

为了进一步客观量化 3 种匹配技术的性能，从 Mikolajczyk05 图像数据集^[23]中任意选取 50 幅图像作为目标。该数据集包含了含有视角变换、尺度变换以

及旋转变换等在内的不同仿射变换的多个子集，并且每个子集内又含有 6 张图片，每个子集内的图片都是同一环境下的不同拍摄情况的图片，可满足匹配实验

表 2 图 5 中不同算法的匹配正确度
Tab.2 Matching correctness of different algorithms in Fig.5

算法	特征点 总数/个	匹配正确 特征点数量/个	匹配 正确度/%
文献[21]算法	110	92	83.6
文献[22]算法	110	96	87.3
文献[23]算法	110	98	89.1
文献[24]算法	110	100	90.9
文献[25]算法	110	105	95.5
文中算法	110	103	93.6

的客观测试需求,同时,也被众多国内外学者用于完成图像匹配测试实验^[26]。测试过程中对待匹配图像进行不同角度的旋转,通过不同算法对其进行匹配,并将匹配结果形成旋转匹配正确度曲线,作为客观测试结果。同时为了考虑算法的匹配效率,将不同算法对旋转图像匹配时的匹配耗时进行记录,最后通过计算获取平均耗时,作为客观测试结果。通过统计 3 种算法的平均耗时可知,文中算法的平均耗时为 5.48 s,文献[21]、文献[22]、文献[23]、文献[24]、文献[25]算法的时耗分别为 10.53, 8.03, 9.12, 3.67, 7.19 s。

不同算法的旋转匹配正确度曲线见图 6。通过对比图 6 中曲线可见,文中算法的匹配正确度最高,对旋转操作更理想、更稳健,即使出现了 100°的大角度旋转,其正确匹配率仍维持在 88%左右。文献[21]、文献[22]、文献[23]、文献[24]以及文献[25]在遇到 100°的大角度旋转时,其正确匹配率分别为 75%, 56%, 77%, 79%, 84%。

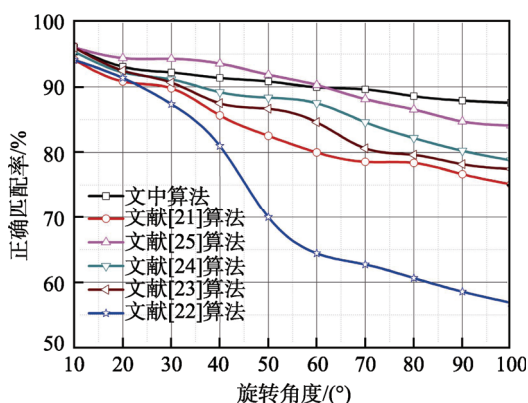


图 6 不同算法的旋转匹配正确度测试结果

Fig.6 Testing results of rotation matching accuracy of different algorithms

2.2 分析与讨论

依据上述实验结果可知,所提算法兼顾了匹配精度与效率,对旋转以及光照变换具有良好的鲁棒性,即使是大角度旋转,所提算法仍然具有良好的稳定性。因为文中算法采用了 Forstner 算法对图像的特征点进行提取,接着再利用 Hessian 矩阵特征值的比值运算,对 Forstner 算法检测的特征点去伪求真,从而改善了算法的匹配正确度以及鲁棒性。并以特征点为中心,构造极坐标系对特征点邻域分割,通过求取分割块的信息熵获取其信息特征,生成了低维度的特征描述子(16 维),同时文中还利用匹配特征点之间的夹角特征,建立夹角一致性规则,剔除错误匹配特征点,提高了算法的匹配正确度,使其对旋转操作具有很好的鲁棒性,显著提高了算法的匹配效率。文献[21]中算法利用 SIFI 方法提取特征点,以及生成特征描述子,接着利用归一化互相关的方法完成特征的匹

配。由于 SIFI 方法是在尺度空间的基础上建立的,在图像的尺度空间上找出图像的局部极值点作为待选关键点,这些极值点并不全是稳定的关键点,存在低对比度的关键点和不稳定的边缘响应点,且其 SIFT 特征是基于目标上的一些局部的兴趣点,而不是图像的全部特征,当整个目标的旋转角度逐步增大时,图像的全局特征会出现有较大的变动,使其提取的特征点中存在较多的伪特征点,因此,该技术会随着旋转角度的增大,其匹配精度会逐渐降低,且 SIFT 方法在获取特征描述符时,以关键点为中心取(16×16)像素的窗口,在窗口中取(4×4)像素的区域形成一个种子点,共 4×4 个种子点,在每个种子点区域内分别计算 8 个方向的梯度累加值,绘制梯度方向的方向直方图,最终获得一个 4×4×8=128 维的特征描述符。这种特征描述子维度较高,导致该算法对旋转匹配的精度较低,且匹配耗时较高。文献[22]中算法在 RGB 空间对图像进行分割后,利用 Hessian 矩阵检测特征点,再利用 SURF 方法生成特征描述子,最后利用欧氏度量方法完成图像匹配。由于 SURF 描述子只利用了特征点周围 3/8 的信息量(即特征点周围 8 个邻居中的 3 个:右方、下方和右下方子块),由此导致其描述能力不强,不能很好地满足图像大幅旋转的需求,且 SURF 算法采用矩形区域进行特征描述符的计算,矩形区域不能较好地适应大角度旋转,因此,随着旋转角度的增大,其匹配精度越低,当旋转角度达到 100°时,其匹配正确度仅有 56%左右。另外, SURF 算法在获取特征描述符时以特征点为中心,沿着基准方向选取 20t×20t(t 表示特征点对应的尺度)的矩形区域,划分为 4×4 的子区域,设计 2t×2t 的 haar 模板,分别对每个子区域进行相对于基准方向的 x, y 方向的响应值计算,最后对每个子区域的响应值统计,得到在每个子区域的四维矢量,因此,形成了由 4×(4×4)=64 维的特征矢量组成的 SURF 特征描述符,使其生成特征描述子维数较高,导致其匹配效率最低。文献[23]中算法利用 SURF 算法获取特征点后,再通过求取方形图像块梯度方向直方图的方法来获取特征描述符进而完成图像匹配。该方法在获取特征描述符时虽然能够较好地利用特征点的邻域信息,但是 SURF 只利用了特征点周围 3/8 的信息量,使其描述能力不足,且这种矩形区域难以适应大角度的旋转,由此随着旋转角度的增加将导致算法的匹配正确度下降。另外,依据文献[23]的测试结果可知,通过求取方形图像块梯度方向直方图的方法来获取特征描述符时,需要将特征描述符的维度控制在 81 维才能具有较好的匹配效果,而且求取图像块的梯度方向直方图也较为耗时,从而导致其生成特征描述符维数较高,降低了算法的效率。文献[24]的算法是通过将分割的图像块转换成区域邻接图,接着利用区域特点以及分段边缘

线的一致性来完成图像匹配。由于在分段边缘线实现匹配的过程中易造成边缘线的丢失, 而且随着图像旋转角度的不断增加, 图像块的分段边缘线特征也会随之变化, 导致分段边缘线的一致性约束存在较大的误差, 从而使其匹配精度逐步降低, 但是这种匹配方法具有较高的效率, 不需要较高维度的描述符。文献[25]中算法中对原始图像进行投影变换后, 联合 MSER 和 Hessian 方法来提取图像特征点, 并对其进行描述, 再通过 K-NN 搜索放大以及第一几何不一致最近邻方法完成特征点的粗匹配, 借助 RANSAC 方法完成匹配优化。该方法虽然能够较好地适应旋转等仿射变换, 但随着旋转角度的增加, 其 RANSAC 方法存在单应矩阵估计精度会逐渐降低, 而且迭代次数较多的不足, 导致算法的匹配正确度与效率均有所下降。

3 结语

通过对当前图像匹配算法进行研究, 提出了一种基于信息特征耦合夹角一致性规则的图像匹配算法。算法中利用 Forstner 算法以及 Hessian 矩阵特征值的比值提取图像的特征点。通过求取分割块的信息熵获取特征描述子。利用最近邻以及次近邻的比值方法实现特征点的匹配。利用夹角一致性规则剔除错误匹配特征点完成图像的匹配。从匹配效果测试以及客观测试 2 个方面对文中算法的匹配准确性以及匹配效率进行了验证, 实验结果表明了文中算法能够实现对图像进行快速、准确的匹配, 适用于对实时性以及匹配准确度要求较高的图像间的匹配, 并为后续图像匹配算法的研究提供了参考。

参考文献:

- [1] ZEINAB G, JAMSHID S, AMIN S. An Efficient Approach for Robust Multimodal Retinal Image Registration Based on UR-SIFT Features and PIIFD Descriptors[J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2013, 22(1): 1—16.
- [2] LI Jing-wei, YANG Fan, LU Wei. Keypoint-Based Copy-Move Detection Scheme by Adopting MSCRs and Improved Feature Matching[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(20): 20483—20497.
- [3] 王星, 刘朝英, 宋雪玲. 基于图像配准的药用玻璃瓶印刷字缺陷检测[J]. 包装工程, 2017, 38(21): 180—185.
WANG Xing, LIU Chao-ying, SONG Xue-ling. Printed Word Defect Detection of Medicinal Glass Bottle Based on the Image Registration[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(21): 213—218.
- [4] SIMA A, BUCKLEY S. Optimizing SIFT for Matching of Short Wave Infrared and Visible Wavelength Images[J]. Remote Sensing, 2013, 5(5): 2037—2056.
- [5] 程红, 陈文剑, 孙文邦. 一种改进的快速归一化积相关图像匹配算法[J]. 光电工程, 2013, 40(1): 118—125.
CHENG Hong, CHEN Wen-jian, SUN Wen-bang. An Improved Fast Normalized Cross Correlation Algorithm for Image Matching[J]. Opto-Electronic Engineering, 2013, 40(1): 118—125.
- [6] 肖志涛, 邱虹, 耿磊. 基于相位一致性和自适应极坐标变换的图像匹配方法[J]. 河北工业大学学报, 2014, 43(3): 21—27.
XIAO Zhi-tao, QIU Hong, GENG Lei. Image Matching Method Based on Phase Congruency and Adaptive Polar Transform[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2014, 43(3): 21—27.
- [7] 戴宪策, 谢奇. 基于傅里叶-梅林变换的图像匹配方法研究[J]. 红外技术, 2016, 38(10): 860—863.
DAI Xian-ce, XIE Qi. Research on Image Matching Algorithm Based on Fourier-Mellin Transform[J]. Infrared Technology, 2016, 38(10): 860—863.
- [8] ZHANG Jun, LUO Ting-jin, GAO Gui. Junction Point Detection Algorithm for SAR Image[J]. International Journal of Antennas and Propagation, 2013, 2013(1): 1—9.
- [9] LI Li-chun, ZHOU Jian-liang, SUN Jun. Matching Method of the Vision Image Captured by the Lunar Rover Exploring on Lunar Surface[J]. Optical Metrology and Inspection for Industrial Applications, 2014, 92(6): 1012—1023.
- [10] BEBES B, ROGOZAN A, RUS A M. Pedestrian Detection in Far-Infrared Daytime Images Using a Hierarchical Codebook of SURF[J]. Sensors (Basel), 2015, 15(4): 8570—8594.
- [11] 谢志江, 吕波, 刘琴. 旋转不变性图像模板匹配快速算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2013, 43(3): 711—717.
XIE Zhi-jiang, LYU Bo, LIU Qin. Rotation-invariant and Fast Image Template Matching Algorithm[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2013, 43(3): 711—717.
- [12] MA Chi, ZHU Yong-yong, TIAN Ying. Ear Recognition Based on Forstner and SIFT[J]. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2013, 12(11): 7131—7137.
- [13] YAN Xue-song, SONG Tao, WU Qing-hua. An Improved Cultural Algorithm and Its Application in Image Matching[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(13): 14951—14968.
- [14] JASON L, JAMES G H. Medical Image Registration Using the Fourier Transform[J]. International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology, 2014, 3(1): 49—55.
- [15] MUBARAK S. 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): 1—11.

- 1546—1558.
- [16] LUCCHINI M, PINIS N, FIFER W. Entropy Information of Cardiorespiratory Dynamics in Neonates during Sleep[J]. *Entropy*, 2017, 19(5): 1—10.
- [17] 陈剑虹, 韩小珍. 结合 FAST-SURF 和改进 k-d 树最近邻查找的图像配准[J]. *西安理工大学学报*, 2016, 32(2): 213—217.
- CHEN Jian-hong, HAN Xiao-zhen. Image Matching Algorithm Combining FAST-SURF and Improved k-d tree Nearest Neighbor Search[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2016, 32(2): 213—217.
- [18] CRAIG H, EBROUL I. Robust Feature Matching in Long-Running Poor-Quality Videos[J]. *IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology*, 2016, 26(6): 1161—1174.
- [19] 陈莉, 龙光利. 基于稀疏差分 and Mean-Shift 滤波的 Retinex 算法在人脸识别中的应用[J]. *计算机应用研究*, 2015, 32(3): 934—937.
- CHEN Li, LONG Guang-li. Application of Retinex Algorithm in Face Recognition Based on Sparse Difference and Mean-Shift Filtering[J]. *Application Research of Computers*, 2015, 32(3): 934—937.
- [20] SONG C L, GURU A S, KELVIN H K. Characterization and Optimization of Illumination Vector for Contouring Surface Form and Feature Using DSPI[J]. *Review of Scientific Instruments*, 2016, 87(6): 116—125.
- [21] 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, 42(2): 417—422.
- [22] 张志斌, 赵帅领, 罗锡文. 基于 SURF 算法的绿色作物特征提取与图像匹配方法[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(14): 172—178.
- ZHANG Zhi-bin, ZHAO Shuai-ling, LUO Xi-wen. Matching Method of Green Crops Based on SURF Feature Extraction[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(14): 172—178.
- [23] MANISH I P, VISHVJIT K T, SHISHR K S. Image Registration of Satellite Images with Varying Illumination Level Using HOG Descriptor Based SURF[J]. *Procedia Computer Science*, 2016, 93(6): 382—388.
- [24] LUO Sheng, ZHOU Hong-ming, XU Jing-hua. Matching Images Based on Consistency Graph and Region Adjacency Graphs[J]. *Signal, Image and Video Processing*, 2017, 11(3): 501—508.
- [25] ROTH L, KUHN A, MAYER H. Wide-Baseline Image Matching with Projective View Synthesis and Calibrated Geometric Verification[J]. *PFG-Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 2017, 85(2): 85—95.
- [26] DOU Jian-fang, LI Jian-xun. Image Matching Based Local Delaunay Triangulation and Affine Invariant Geometric Constraint[J]. *Optik*, 2014, 125(1): 526—531.