

改进的多尺度 Retinex 耦合夹角约束的图像匹配算法

林宁

(南宁学院 信息工程学院, 南宁 530200)

摘要: **目的** 解决当前图像匹配算法难以适应缩放等仿射变换图像之间的匹配, 导致其鲁棒性以及匹配正确性不佳的问题。**方法** 提出基于改进多尺度 Retinex 方法耦合夹角约束法则的图像匹配算法。利用双边滤波代替多尺度 Retinex 方法中的高斯滤波, 对多尺度 Retinex 方法进行改进, 以降低图像中噪声与光晕等因素的影响。随后再引入 Harris 算法来检测图像的特征, 通过求取特征点圆域内的 Haar 小波响应向量和主方向, 并以主方向为起点构建扇区, 提取扇区内的灰度特征, 以获取相应的特征向量, 从而生成特征描述符。通过特征点对应的特征向量构成的夹角, 建立夹角约束法则, 以完成特征点匹配。最后, 利用归一化互相关函数检测错误匹配点, 并对匹配效果进行优化。**结果** 文中算法较当前图像匹配方法, 具有更好的匹配正确度以及鲁棒性能, 当缩放比例达到 50% 时, 其匹配准确率仍可维持在 90.08% 左右。**结论** 文中算法在多种几何攻击下仍具有较高的匹配精度, 在图像处理、信息安全等领域具有良好的参考价值。

关键词: 图像匹配; 多尺度 Retinex 方法; Harris 算法; Haar 小波; 夹角约束法则; 归一化互相关函数
中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)23-0191-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.23.032

An Image Matching Algorithm Based on Improved Multi-scale Retinex Coupled Angle Constraint

LIN Ning

(College of Information Engineering, Nanning University, Nanning 530200, China)

ABSTRACT: The work aims to solve such problems as poor robustness and matching accuracy induced by difficulty in adapting to the scaling of matching between affine transformed images in the current image matching algorithm. An image matching algorithm based on improved multi-scale Retinex coupled angle constraint rule was proposed. The bilateral filtering was used to replace the Gauss filter in multi-scale Retinex method. The multi-scale Retinex method was improved to reduce the influence of noise, halo and other factors in the image. Subsequently, the Harris algorithm was introduced to detect the features of the image. The Haar wavelet response vector and principal direction in the circle domain of feature points were obtained to construct the sector with the principal direction as the starting point. The grayscale feature in the sector was extracted to obtain the corresponding feature vectors, thus generating the feature descriptors. The angle constraint rule was established by the angle of feature vectors corresponding to the feature points. Finally, the error matching points were detected by normalized cross correlation function and the matching effects were optimized. The proposed algorithm had better matching accuracy and robust performance than the current image matching algorithm. When the scaling ratio reached 50%, its matching accuracy could still be maintained at around 90.08%. The proposed algorithm still has higher matching accuracy under various geometric attacks, which has good reference value in image processing, information security and other fields.

KEY WORDS: image matching; multi-scale Retinex algorithm; Harris algorithm; Haar wavelet; angle constraint rule; normalized cross correlation function

收稿日期: 2018-08-17

基金项目: 广西高校科学技术研究项目基金 (KY2015YB525); 2018 年度南宁学院科研项目 (2018XJ33)

作者简介: 林宁 (1981—), 男, 硕士, 南宁学院讲师, 主要研究方向为图像处理、信号与信息处理、算法分析。

图像匹配是一项被广泛应用于信息检索与版权保护等多项领域的图像处理技术。在商标检索领域中,为了快速准确地从图像集中寻找目标,通常需要借助图像匹配方法来获取商标图像的特征点,并完成匹配,随后基于匹配结果来完成商标检索,可见,匹配技术在商标检索过程中是不可或缺的^[1]。另外,图像匹配技术在版权保护领域中也具有重要地位,在图像水印算法中,为了提高水印图像的抗几何失真能力,通常需要利用图像匹配技术设计几何校正方法,再由匹配结果来估算几何变换参数,实现图像校正^[2]。

图像匹配是通过一定的方法,将2幅或者多幅图像间相同或相似的内容进行匹配的过程^[3-6],如CASTILLO-CARRONN S^[3]等通过引导滤波与bottom-hat变换完成图像的分割,接着引入SIFT算法来提取特征点,进而获取匹配结果。由于SIFT算法获取的特征点主要是圆状点,导致存在一定的伪特征点以及冗余特征点,使其匹配精度不理想,且SIFT的维数较高,增加了匹配时耗。陈虹^[4]等将最大相异系数方法融入SIFT算法中,在欧氏距离比值计算的基础上,加入向量相似性约束,从特征匹配的角度出发来优化算法。虽然这种基于SIFT的图像匹配算法能够实现图像的匹配,但是SIFT算法存在较多的错误检测点,使得算法的匹配正确度不高。Gao^[5]等提出了一种基于学习的图像匹配方法,集成多个学习架构,对二进制描述符进行学习。但是此技术的学习过程耗时较长,而且受所集成学习架构的限制,导致其鲁棒性能不佳。Dou^[6]等提出了一种去除级联群点的图像匹配方法,利用描述符的欧式距离实现特征匹配后,再通过Delaunay三角网约束剔除错误匹配点,实现图像匹配。但由于该方法是通过特征描述符进行单一方向上的欧氏距离度量实现特征点匹配,因此难以较好地适应缩放等仿射变换,使得匹配效果有所下降。

综上,文中提出基于改进多尺度Retinex方法耦合夹角约束法则的图像匹配算法。利用双边滤波方法对多尺度Retinex方法进行改进,用以对图像进行预处理。接着通过Harris算法来获取图像的特征点。通过求取特征点邻域圆内Haar小波响应向量,以及邻域圆构成扇区内的灰度特征,来获取特征点的特征描述符。利用描述符求取特征点之间的夹角,制定夹角约束法则,用以对特征点进行匹配;利用归一化互相关函数检测错误匹配点对,完成匹配优化。最后测试所设计算法的匹配正确度以及鲁棒性能。

1 鲁棒图像匹配算法

改进多尺度Retinex方法耦合夹角约束法则的图像匹配算法过程见图1。由图1发现,该算法主要分为4个过程:图像预处理及特征点检测;特征描述符

的形成;特征点的匹配;匹配特征点的提纯。

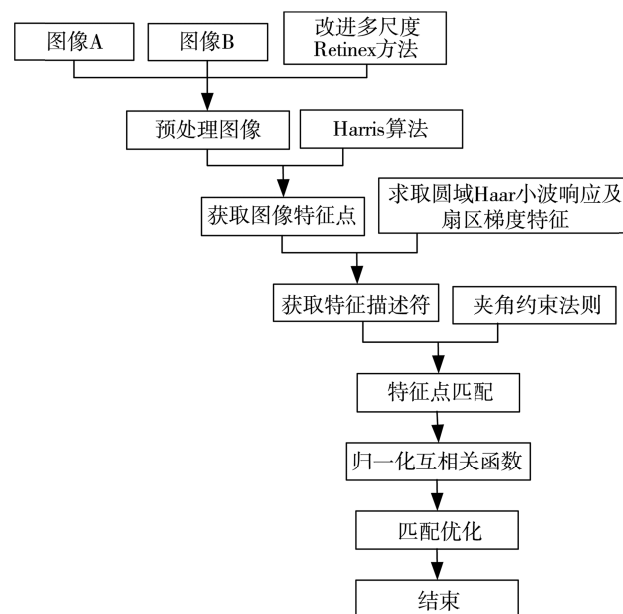


图1 文中算法的匹配过程

Fig.1 Matching process of the proposed algorithm

1.1 图像预处理及特征点检测

多尺度Retinex方法是一种能够较好地表达人眼感知亮度以及色度的视觉模型。其能够较好地完成图像动态范围的压缩,对图像颜色实现较好的协调,从而提高图像的对比度,将受到光照度变换所影响的图像细节信息显现出来。多尺度Retinex方法的表达式^[7-8]如下所示。

$$R_p = \sum_{n=1}^N \omega_n \left\{ \log S_p(x, y) - \log [G_p(x, y) \times S_p(x, y)] \right\} \quad (1)$$

式中: R_p 为像素点 p 的输出值; N 为尺度个数; ω_n 为尺度权值; n 为尺度序号; S_p 为像素点 p 的当前值。

虽然多尺度Retinex方法能够提高图像的对比度。但是多尺度Retinex方法在使用高斯滤波获取光照图像时,在图像的明暗衔接处会产生晕环效应,且在对高频图像进行归一化操作时,会将图像平滑区域噪声放大^[9-10]。双边滤波可在控制图像亮度的过程中,同时抑制噪声以及减小晕环效应,由此,用双边滤波代替高斯滤波,对多尺度Retinex方法进行改进,改进后的多尺度Retinex方法如下所示。

$$H_p = \frac{1}{V_p} \sum_{q \in l} G_d(\|p - q\|) G_r(S_p - S_q) S_q \quad (2)$$

$$V_p = \sum_{q \in l} [G_d(\|p - q\|) + G_r(S_p - S_q)] \quad (3)$$

式中: G_r 为灰度差值高斯函数; G_d 为空间距离高斯函数; q 为以 p 点为中心 l 邻域内的点。

通过式(2)对图像进行预处理,以克服光照度变换以及噪声对匹配过程的干扰。随后,对预处理后

的图像进行特征点检测。经典的特征点检测算法有 Moravec 算法、SUSAN 算法和 Harris 算法等。Harris 算法利用灰度自相关方法来检测特征点, 与其他几种技术相比, 其抗干扰性以及检测正确度都较高, 因此文中引入 Harris 算法^[11]来完成特征点的检测。

当以像素点 $w(x, y)$ 为中心的窗口 G 位移 (u, v) 后, 其对应的灰度自相关模型为^[12]:

$$U(u, v) = \sum_{x, y} G[w(x+u, y+v) - w(x, y)]^2 \quad (4)$$

其中, $[w(x+u, y+v) - w(x, y)]$ 表示图像灰度对应的梯度值。

将式 (4) 通过双线性近似计算可得:

$$U(u, v) \cong (u, v) I \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: I 为实对称矩阵。其对自相关模型在像素点 $w(x, y)$ 处的形状进行了描述, 实对称矩阵 I 的模型为:

$$I = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} = G \otimes \begin{bmatrix} w_x^2 & w_x w_y \\ w_x w_y & w_y^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: w_x 与 w_y 分别为像素点 $w(x, y)$ 在水平方向与垂直方向上的梯度值; $\otimes$ 为卷积运算。

通过实对称矩阵 I 对应的行列式值 $\text{Det}(I)$ 与迹 $\text{Tra}(I)$ 可得到特征点检测模型。

$$M = \text{Det}(I) - k \text{Tra}^2(I) \quad (7)$$

式中: k 为调节系数, 其经验值为 0.04~0.06。

为了避免调节系数取值不当对特征点的检测造成偏差, 文中采用优化后的式 (7) 为特征点检测模型。

$$M = \frac{\text{Det}(I)}{\text{Tra}(I) + \alpha} \quad (8)$$

式中: α 为任意小的正数, 用以防止式 (8) 的分母为 0。

设定阈值 R 后, 利用式 (8) 计算像素点的 M 值, 若 $M > R$ 则表示该像素点为特征点。

1.2 获取特征描述符

获取特征点后, 需要获取特征描述符以对特征点进行描述。文中通过计算 Haar 小波响应的方法生成特征点主方向, 通过求取邻域圆来构成扇区内灰度特征的方法生成特征向量, 从而获取低维度的特征描述符。

以尺度为 σ 的特征点作为圆心, 以 6σ 为半径作圆 J 。采用尺度为 4σ 的 Haar 小波求取该圆 x, y 方向上的 Haar 小波响应。在该圆内旋转角度为 60° 的同心扇形区域, 获取 Haar 小波响应向量之和。其中最长的 Haar 小波响应向量对应的方向即为特征点主方向^[13-14]。

扇区划分示意图如图 2。以主方向为起始方向, 在圆 J 内构造半径差相等的 2 个邻域圆, 并对圆形区域进行划分, 构成 17 个扇区。求取每个扇区内的灰度

和 $g_i (i=1, 2, 3 \dots 17)$, 得到一个 17 维的向量 h 。

$$h = \{g_1, g_2, g_3 \dots g_{17}\} \quad (9)$$

将向量 h 进行归一化操作, 以适应光照度的变换, 从而得到一个 17 维的特征描述符。

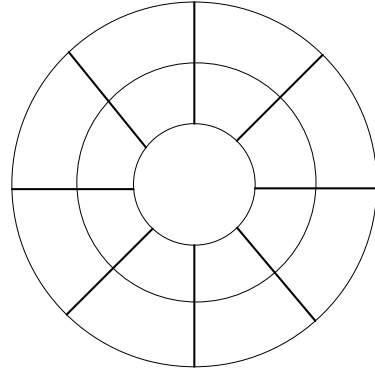


图 2 扇区划分示意

Fig.2 Schematic diagram of sector division

1.3 特征点匹配

为了增强算法对几何变换的鲁棒性, 文中将通过特征点对应的特征向量构成的夹角, 建立夹角约束法则, 随后通过特征点之间的夹角约束完成特征点匹配, 使得算法能够适应旋转、缩放等仿射变换。

令图像 A 与图像 B 的特征点集分别为 $\{A_i\} (i=1, 2, 3 \dots m)$ 与 $\{B_j\} (j=1, 2, 3 \dots n)$ 。则通过特征向量夹角形成的夹角约束法则如下所述。

首先, 在图像 B 中寻找与图像 A 中任一特征点 i 对应的候选匹配点。令图像 A 中特征点 i 对应的特征向量为 A_i , 图像 B 中特征点 j 对应的特征向量为 B_j , $\theta(A_i, B_j)$ 为向量 A_i 与 B_j 的夹角, 若满足 $\theta(A_i, B_j) < \theta(A_i, B_k)$, $1 \leq k \leq n$ 且 $k \neq j$, 则认为特征点 j 为特征点 i 的候选匹配点。

然后, 在图像 A 中寻找与图像 B 中特征点 j 对应的候选匹配点。令图像 B 中特征点 j 对应的特征向量为 B_j , 图像 A 中特征点 x 对应的特征向量为 A_x , $\theta(B_j, A_x)$ 为向量 B_j 与 A_x 的夹角, 若满足 $\theta(B_j, A_x) < \theta(B_j, A_k)$, $1 \leq k \leq m$ 且 $k \neq x$, 则认为特征点 x 为特征点 j 的候选匹配点。

最后, 判定匹配特征点。若图像 A 中点 i 与点 x 是相同点, 则将点 j 与点 i 作为匹配点对。

1.4 匹配特征点提纯

为了剔除匹配特征点中的错误匹配点, 对匹配结果进行优化。在此, 利用归一化互相关函数检测错误匹配点对, 实现匹配结果的优化, 使得匹配结果的正确度进一步提升。

令图像 A 中特征点 q 与图像 B 中特征点 p 为一对匹配特征点。分别以特征点 q 与特征点 p 为中心构造一个尺寸为 $(2n+1)$ 的矩形窗口, 且所构造窗口的灰度值分别为 $q(x, y)$ 与 $p(x, y)$, 则归一化互相关

函数 $NC(q, p)$ 为^[15-16]:

$$NC(q, p) = \frac{\sum_{x=1}^{2n+1} \sum_{y=1}^{2n+1} q(x, y)p(x, y)}{\sqrt{\sum_{x=1}^{2n+1} \sum_{y=1}^{2n+1} q^2(x, y)} \sqrt{\sum_{x=1}^{2n+1} \sum_{y=1}^{2n+1} p^2(x, y)}} \quad (10)$$

通过式(10)计算各匹配特征点对的 $NC(q, p)$ 值, 若某匹配特征点对的 $NC(q, p)$ 值小于阈值 T , 则认为该匹配特征点对为错误匹配点对, 给予剔除处理。

2 仿真结果与分析

实验中将文献[17]、文献[18]、文献[19]、文献[20]

以及文献[21]中方法作为对照组, 利用 Matlab7.10 软件进行仿真。实验中阈值 R 与 T 的取值分别为 1000 和 0.8。

2.1 匹配效果分析

不同算法的匹配效果见图 3—5。其中, 不同算法对光照度变换图像的匹配效果见图 3。不同算法对 28% 缩放变换图像的匹配效果见图 4。不同算法对 60° 旋转图像的匹配效果见图 5。从图 3 可知, 文献[17]算法(见图 3c)、文献[18]算法(见图 3d)、文献[19]算法(见图 3e)、文献[20]算法(见图 3f)、文献[21]算法(见图 3g)以及文中算法(见图 3h)的匹配结

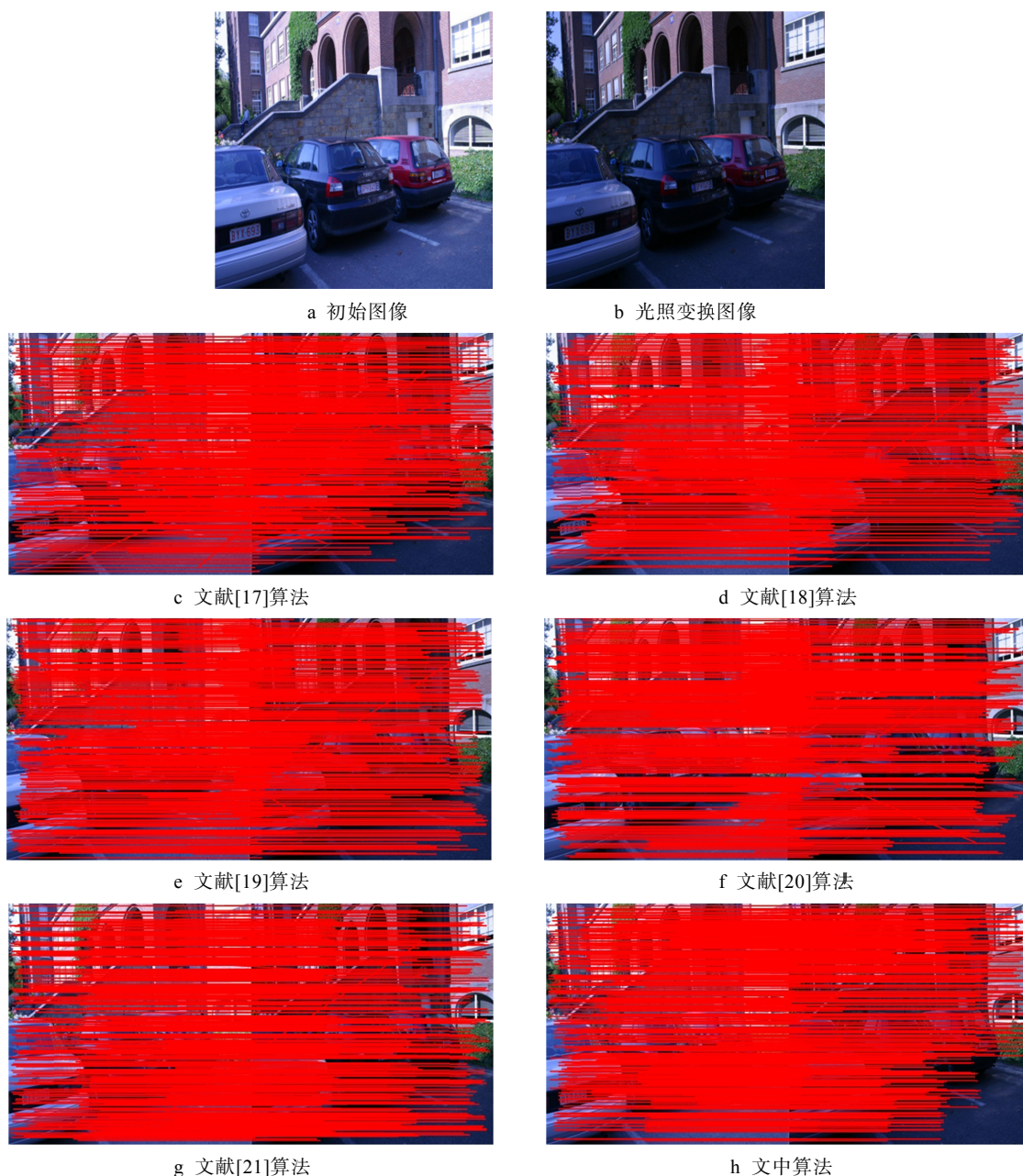


图3 不同算法对光照变换的匹配效果

Fig.3 Matching effect of different algorithms on illumination transformation

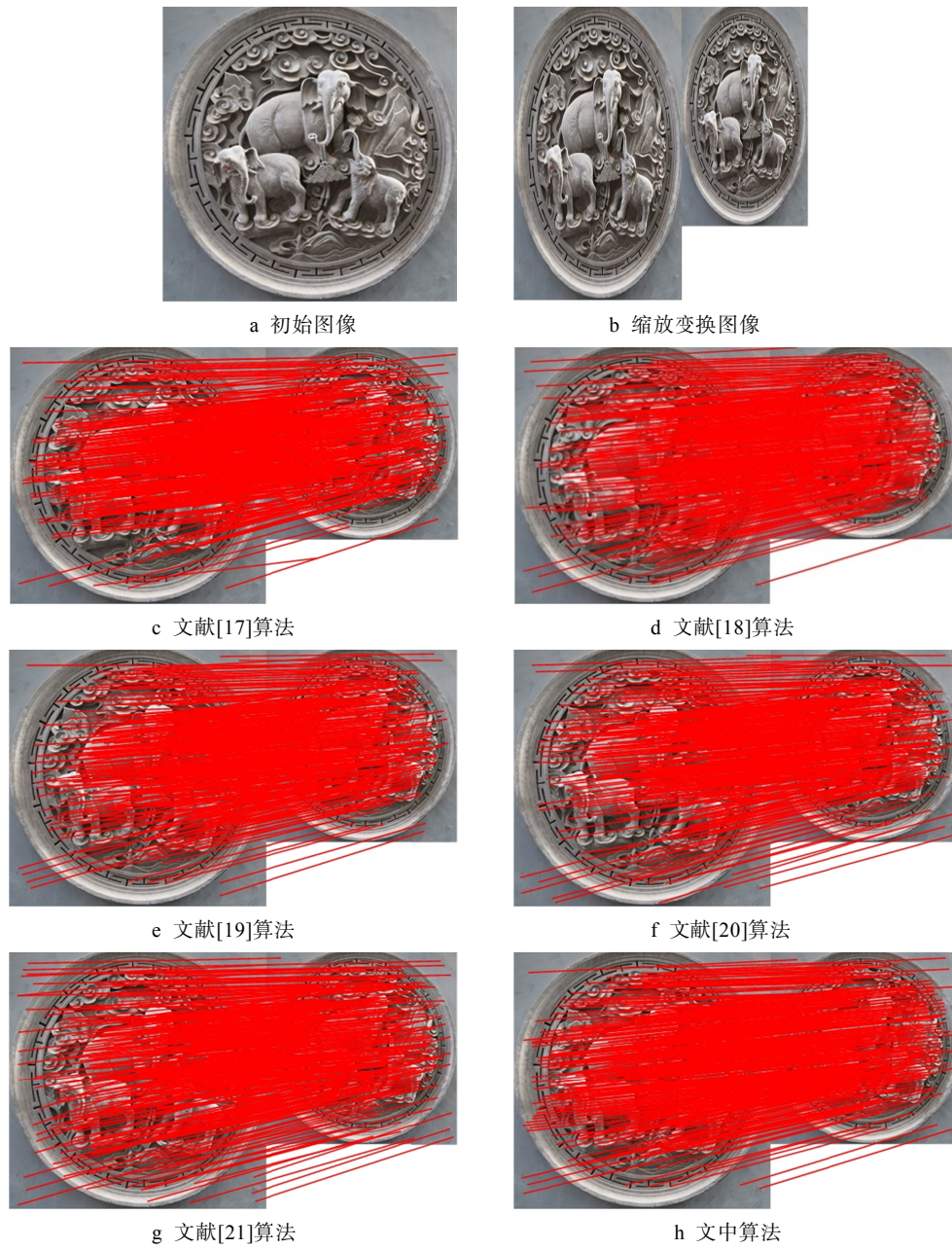


图 4 不同算法对缩放变换（28%）的匹配效果
Fig.4 Matching effect of different algorithms on scaling transformation (28%)

果都较为优秀,但通过将图 3 中不同方法的匹配结果进行对比可见,文中算法的匹配结果中存在的错误匹配最少。通过对比文献[17]算法(见图 4c)和文献[18]算法(见图 4d)、文献[19]算法(见图 4e)、文献[20]算法(见图 4f)、文献[21]算法(见图 4g)以及文中算法(见图 4h)可知,图 4h 中的正确匹配特征点最多,而且错误匹配特征点最少。通过将图 5c 的匹配结果和图 5d、图 5e、图 5f、图 5g,以及文中算法的匹配效果(见图 5h)相比发现,文中算法的匹配效果图中不仅匹配特征点数量最多,而且错误匹配特征点数量最少。表 1—3 分别对图 3—5 中不同算法的匹

配结果进行了统计,通过对比表 1、表 2 和表 3 中的数据可见,文中算法的正确匹配点数量始终高于对照组算法,且错误匹配点数是最少的。这说明文中算法具备更优的匹配精度与鲁棒性。主要是因为文中采用了改进的多尺度 Retinex 方法对图像进行预处理,克服了噪声以及光照度变化等影响,提高了算法的鲁棒性能。接着利用优化后 Harris 算法准确检测图像的特征点,提升了匹配结果的正确度。并借助归一化互相关函数对匹配特征点的相关程度进行测量,找出了错误匹配点,优化了匹配结果,因此进一步提高了算法的匹配正确度。

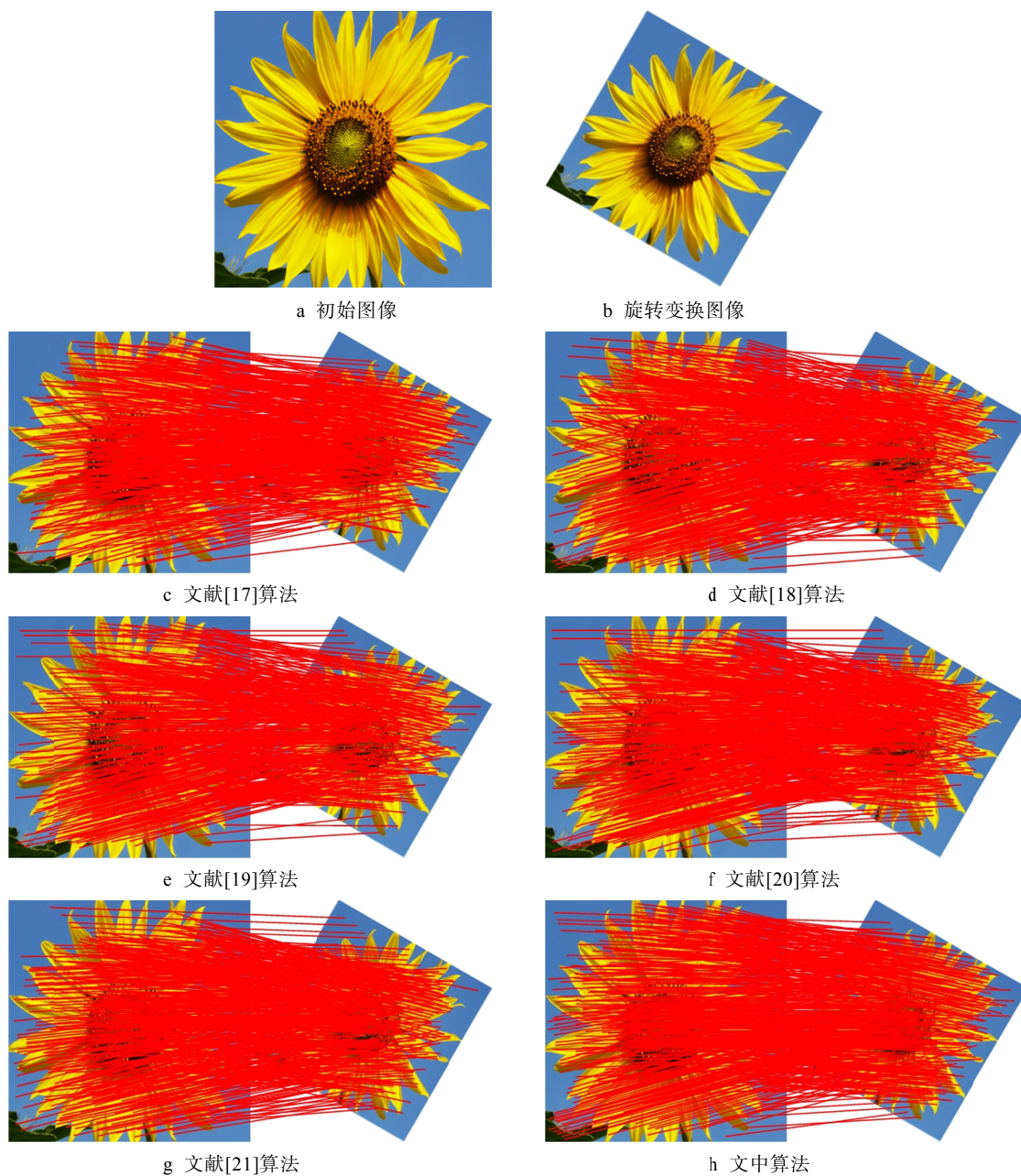


图 5 不同算法对 60° 旋转的匹配效果
Fig.5 Matching effect of different algorithms under 60° rotation

表 1 图 3 中不同算法的匹配结果
Tab.1 Matching results of different algorithms in Fig.3

所用 算法	特征点 总数	正确 匹配点数	错误 匹配点数	正确 匹配率/%
文献[17]算法	380	328	24	86.32
文献[18]算法	380	332	18	87.37
文献[19]算法	380	342	12	90.00
文献[20]算法	380	356	10	93.68
文献[21]算法	380	362	8	95.26
文中算法	380	368	3	96.84

表 2 图 4 中不同算法的匹配结果
Tab.2 Matching results of different algorithms in Fig.4

所用 算法	特征点 总数	正确 匹配点数	错误 匹配点数	正确 匹配率/%
文献[17]算法	360	306	35	85.00
文献[18]算法	360	317	26	88.05
文献[19]算法	360	324	25	90.03
文献[20]算法	360	329	19	91.39
文献[21]算法	360	332	11	92.22
文中算法	360	337	6	93.61

表 3 图 5 中不同算法的匹配结果

Tab.3 Matching results of different algorithms in Fig.5

所用 算法	特征点 总数	正确 匹配点数	错误 匹配点数	正确 匹配率/%
文献[17]算法	350	266	41	76.00
文献[18]算法	350	291	32	83.14
文献[19]算法	350	305	29	87.14
文献[20]算法	350	309	20	88.28
文献[21]算法	350	314	13	89.71
文中算法	350	325	10	90.27

2.2 匹配性能分析

在 Intel Core i5、双核 CPU、内存 4 Gb 与 200 Gb 硬盘的微型机中，利用 Matlab 语言对各算法的匹配性能完成测试。从常用的图像匹配数据库 Mikolajczyk05 数据库的 graf 子集中选取一组图像作为不同算法的匹配性能测试样本^[22]。并将测试组图像中的任一幅图像进行不同程度的缩放与旋转，以不同算法对缩放和旋转图像的匹配正确率以及匹配平均耗时作为依据，对不同算法的匹配性能进行分析。

不同算法的匹配平均耗时见表 4。由表 4 可知，文中算法的匹配平均耗时为 2.02 s，较对照组算法该算法耗时最少。不同算法的匹配正确率见图 6—7。通过对比图 6 数据可知，缩放比例增大时，3 种方法匹配图像的正确率都有所下降，尽管如此，文中算法匹配图像的正确率始终要大于对照组。在缩放比例为 35% 时，文中算法的匹配正确率为 90.67%，文献[17]、文献[18]、文献[19]、文献[20]及文献[21]的匹配正确率分别为 75.14%，82.45%，83.41%，85.20%，88.13%。图 7 所提算法与其他对照组算法表现出不同的鲁棒性，当旋转角度较小时（<40°），文献[19]与文献[20]的匹配精度要高于文献[21]，但略低于所提技术。在旋转角度为 100° 时，文中算法具有更大的优势，其匹配正确率为 90.16%，文献[17]、文献[18]、文献[19]、文献[20]及文献[21]中算法的匹配正确率分别为 72.88%，78.06%，82.26%，84.67%，86.49%。由此可见，文中算法具有较好的匹配性能，不管是大尺度缩放，还是大角度旋转，其正确匹配率均在 90% 以上。这是因为文中算法通过计算 Haar 小波响应以及求取邻域圆构成扇区内的灰度特征的方法，生成了 17 维度的特征描述符。同时，文中还利用特征向量间的夹角，建立夹角约束法则，通过特征点向量之间的夹角约束完成特征点匹配，使得算法能够适应旋转、缩放等仿射变换，从而提升了文中算法的效率以及匹配正确度。文献[17]算法首先利用小波变换对图像进行分解，然后再利用 Harris 算法对每层图像检测特征点，最后利用快速 NCC 算法获取匹配结果。因为文献[17]算法中需要利用 Harris 操作对每层图像检测特征点，

增加了算法的匹配耗时，且小波分解受到方向性的限制，以及该方法没有对错误匹配点进行检测，因此导致其匹配效率以及匹配正确度不佳。文献[18]算法中利用 BRISK 算法获取图像的特征点，并生成特征描述符，接着通过汉明距离度量方法实现特征匹配，最后通过设计分类环的方法对匹配结果进行优化，实现图像匹配。该方法中 BRISK 算法生成特征描述符的过程较为复杂，且通过汉明距离度量实现特征匹配时忽略了特征点的分布情况，难以适应缩放等仿射变换，导致算法的匹配耗时有所增加、匹配正确度不佳。

表 4 不同算法的平均耗时统计结果

Tab.4 Average time-consuming statistical result of different algorithms

名称	平均耗时/s
文献[17]	3.91
文献[18]	3.37
文献[19]	3.95
文献[20]	3.13
文献[21]	3.01
文中算法	2.02

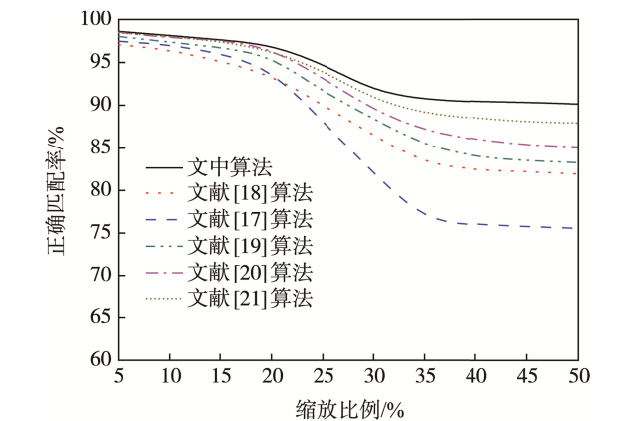


图 6 不同缩放比例下的正确匹配率测试
Fig.6 Correct matching rate test under different scaling ratios

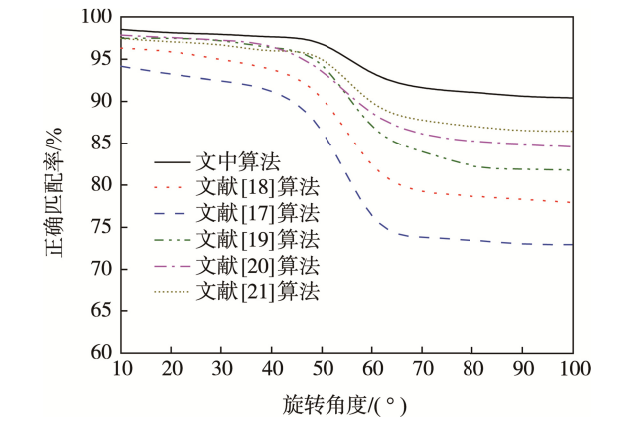


图 7 不同旋转角度下的正确匹配率测试
Fig.7 Correct matching rate test under different rotation angles

文献[19]是通过 SIFT 算法获取特征点与特征描述符,再利用基于均值的自适应 RANSAC 算法完成匹配。由于 SIFT 算法获取的特征点中存在一定的伪特征点,而且其获取的特征描述符高达 128 维,使得算法的匹配正确度与匹配效率不理想。文献[20]算法中通过 FAST 算子与 SURF 算法完成特征描述符的获取和特征匹配。由于 FAST 算子的尺度及仿射性能不佳,导致算法的匹配正确度下降,且 SURF 算法获取的特征描述符为 64 维,使其匹配效率不高。文献[21]算法中通过 Hessian 矩阵与尺度制约规则获取特征点,利用 Haar 小波响应获取特征描述符,并通过空间相似法则与距离约束模型完成特征匹配,使其可以消除误匹配,从而具有较高的正确匹配度。该方法中的特征点提取过程较为复杂,而且距离约束模型忽略了特征点之间的相关性,使得算法匹配正确度与效率有所下降。

3 结语

文中提出了一种基于改进多尺度 Retinex 方法耦合夹角约束法则的图像匹配算法。利用双边滤波改进的多尺度 Retinex 方法对图像进行预处理,以提高算法的鲁棒性以及匹配正确度;利用 Harris 算法获取图像的特征点;通过求取特征点邻域圆内的 Haar 小波响应向量和扇区内的灰度特征,获取特征描述符;通过不同特征点的夹角关系,建立夹角约束法则;通过特征点之间的双向角度约束关系,获取匹配特征点。最后,利用归一化互相关函数,检测错误匹配点,优化匹配结果,完成图像匹配。实验结果显示,文中所设计的算法不仅具有较好的匹配正确度,而且还具有较好的鲁棒性。

参考文献:

- [1] 黄友文, 黄雅兰. 一种基于 Harris 与 SIFT 算子结合的商标搜索方法[J]. 电视技术, 2014, 38(3): 35—39.
HUANG You-wen, HUANG Ya-lan. A Trademark Search Method Based on Combination of Harris and SIFT Operator[J]. Television Technology, 2014, 38(3): 35—39.
- [2] 王祥青, 张锋辉, 赵江东. 一种新的抗 JPEG 压缩半脆弱图像水印算法[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2013, 34(1): 59—64.
WANG Xiang-qing, ZHANG Feng-hui, ZHAO Jiang-dong. A New Semi Fragile Image Watermarking Algorithm Against JPEG Compression [J]. Journal of Jinggangshan University (Natural Science Edition), 2013, 34(1): 59—64.
- [3] CASTILLO-CARRONN S. SIFT Optimization and Automation for Matching Images From Multiple Temporal Sources[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2017, 57(3): 113—122.
- [4] 陈虹, 肖越, 肖成龙. 基于 SIFT 算子融合最大相异系数的自适应图像匹配算法[J]. 计算机应用, 2017, 26(12): 1—6.
CHEN Hong, XIAO Yue, XIAO Cheng-long. Adaptive Image Matching Algorithm Based on SIFT Operator with Maximum Dissimilarity Coefficient[J]. Journal of Computer Applications, 2017, 26(12): 1—6.
- [5] GAO Y L, HUANG W L, QIAO Y. Learning Multiple Local Binary Descriptors for Image Matching[J]. Neurocomputing, 2017, 266(4): 239—246.
- [6] DOU J F, QIN Q, TU Z M. Robust Image Matching with Cascaded Outliers Removal[J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2017, 27(3): 480—493.
- [7] HUANG L H, TAO C Y, YU J D. Modelling the Microstructure Random Fields of Soft Soil Under the Scale Optimized Retinex Algorithm and Microscopic Image Enhancement[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2017, 33(5): 2913—2923.
- [8] SI L, WANG Z B, XU R X. Image Enhancement for Surveillance Video of Coal Mining Face Based on Single-scale Retinex Algorithm Combined with Bilateral Filtering[J]. Symmetry, 2017, 9(6): 1—15.
- [9] LECCA M, RIZZI A. GREAT: a Gradient-based Color-sampling Scheme for Retinex[J]. Journal of the Optical Society of America A, 2017, 34(4): 513—522.
- [10] TAO F Y, YANG X M, WU W. Retinex-based Image Enhancement Framework by Using Region Covariance Filter[J]. Soft Computing, 2018, 22(5): 1399—1420.
- [11] MANORANJITHAM R, DEEPA P. Efficient Invariant Interest Point Detector Using Bilateral-harris Corner Detector for Object Recognition Application[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(8): 9365—9378.
- [12] MAHMOUD E, HAN Q, ZHANG H L. Two-stage Keypoint Detection Scheme for Region Duplication Forgery Detection in Digital Images[J]. Journal of Forensic Sciences, 2018, 63(1): 102—111.
- [13] LI J Y, HU Q W, AI M Y. Robust Feature Matching for Geospatial Images Via an Affine-Invariant Coordinate System [J]. The Photogrammetric Record, 2017, 32(159): 317—331.
- [14] BAHRAMI Z, AKHLAGHIAN-TAB F. A New Robust Video Watermarking Algorithm Based on SURF Features and Block Classification[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(1): 327—345.
- [15] 邢培锐, 童敏明, 张俊升. 基于 NCC 改进算法的 SMT 电路器件定位[J]. 计算机应用, 2017, 37(S1): 194—197.
XING Pei-rui, TONG Min-ming, ZHANG Jun-sheng. Circuit Element Location in SMT Based on Improved NCC Algorithm [J]. Journal of Computer Applications, 2017, 37(S1): 194—197.
- [16] WAN X, LIU J G, YAN H S. Illumination-invariant

- Image Matching for Autonomous UAV Localisation Based on Optical Sensing[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016, 119(2): 198—213.
- [17] 吴鹏, 徐洪玲, 宋文龙. 结合小波金字塔的快速 NCC 图像匹配算法[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2017, 38(5): 791—796.
WU Peng, XU Hong-ling, SONG Wen-long. A fast NCC Image Matching Algorithm Based on Wavelet Pyramid Search Strategy[J]. *Journal of Harbin Engineering University*, 2017, 38(5): 791—796.
- [18] TSAI C H, LIN Y C. An Accelerated Image Matching Technique for UAV Orthoimage Registration[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 128(1): 130—145.
- [19] HOSSEIN-NEJAD Z, NASRI M. An Adaptive Image Registration Method Based on SIFT Features and RANSAC Transform[J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2017, 62(1): 524—537.
- [20] LI A M, JIANG W L, YUAN W H. An Improved FAST Plus SURF Fast Matching Algorithm[J]. *Advances in Information and Communication Technology*, 2017, 107(1): 306—312.
- [21] 吴文亮, 张福泉. 基于尺度制约规则耦合距离约束的图像匹配算法[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 43(6): 126—133.
WU Wen-liang, ZHANG Fu-quan. Image Matching Algorithm Based on Scale Restriction Rule and Distance Constraint[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 2018, 43(6): 126—133.
- [22] 薛金龙. 基于角点的图像特征提取与匹配算法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
XUE Jin-long. Study of Image Feature Extraction and Matching Algorithms Based on Corner Points[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2014.