

文章编号: 1674-8085(2019)02-0039-06

# 基于相似度模型耦合角度制约规则的图像匹配算法

\*宋大伟<sup>1</sup>, 马凤娟<sup>1</sup>, 赵 华<sup>2</sup>

(1. 潍坊工程职业学院, 山东, 潍坊 262500; 2. 山东科技大学, 山东, 青岛 266590)

**摘 要:** 为了克服当前图像匹配方法主要通过测量距离的方法来实现图像匹配, 忽略了图像间的相似度, 导致算法存在错误匹配较多以及鲁棒性较差的问题。本文提出了基于相似度模型耦合角度制约规则的图像匹配算法。采用 FAST 检测方法对图像特征进行检测, 快速获取鲁棒特征点, 以改善算法的匹配正确率。随后, 利用 SURF 特征描述机制, 通过计算特征圆域内的 Haar 小波响应值, 对特征点进行描述。引入结构相似度 SSIM(structural similarity index measurement)模型, 将其与欧氏距离模型相结合, 构造相似度模型, 从结构相似度与测量距离两方面出发, 将特征点进行粗匹配。最后, 利用特征点的余弦关系, 求取特征点间角度, 建立角度制约规则, 对粗匹配结果完成优化。实验结果显示: 与典型的匹配方法相比, 该算法具有更好的匹配性能较好, 在多种几何变换下仍具有理想的匹配精度。

**关键词:** 图像匹配; FAST 特征检测; SURF 机制; SSIM 模型; 相似度模型; 角度制约规则

中图分类号: TP391

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2019.02.008

## IMAGE MATCHING METHOD BASED ON SIMILARITY MODEL COUPLING ANGLE CONSTRAINT RULE

\*SONG Da-wei<sup>1</sup>, MA Feng-juan<sup>1</sup>, ZHAO Hua<sup>2</sup>

(1. Weifang engineering Career Academy, Weifang, Shandong 262500, China; 2. Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** The current image matching methods mainly achieve image matching by measuring the distance, which neglect the similarity between images and result in more mismatches and poor robustness. In this paper, an image matching algorithm based on similarity degree model and coupling angle constraint rule is proposed. High-speed and high-accuracy feature detection method is used to detect the image features, and the feature points with high accuracy can be obtained fast, which is helpful to improve the matching accuracy of the algorithm. Using the feature description mechanism, the feature points are described by calculating the wavelet response values in the feature circle domain. The structure similarity model is introduced and combined with Euclidean distance model to construct similarity model. The feature points are roughly matched from the aspects of structure similarity and measurement distance. The cosine relation of feature points is used to calculate the angle between feature points, and the angle restriction rules are established to match the feature points accurately. Experimental results show that this matching algorithm has better matching performance and higher matching accuracy compared with the typical matching method.

**Key words:** image matching; FAST feature detection; SURF mechanism; SSIM model; similarity model; angle constraint rule

收稿日期: 2018-11-23; 修改日期: 2018-12-27

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2013FQ030)

作者简介: \*宋大伟(1976-), 男, 山东潍坊人, 副教授, 主要从事图像处理、计算机网络技术、数据库技术等方面的研究(E-mail: songdiv@sohu.com);  
马凤娟(1975-), 女, 山东潍坊人, 副教授, 主要从事计算机图像、多媒体技术、数据库等方面的研究(E-mail: juanfm@tom.com);  
赵 华(1980-), 女, 山东泗水人, 副教授, 博士, 主要从事图像处理、话题检测与跟踪、网络舆情挖掘等方面的研究(E-mail: Zhaoh19SLK80S@163.com).

## 0 引言

数字图像给人们的生活带来了便利,为当代信息的传递提供了媒介<sup>[1]</sup>。人们通过数字图像可以实现快速的信息传递以及便捷的信息储存。目前,数字图像匹配技术已被应用到了刑事侦查、目标追踪以及人脸识别等多项技术范畴,是当下热门的研究技术之一<sup>[2]</sup>。

数字图像匹配技术的发展对人们有着重要的影响,目前出现了较多的数字图像匹配方法。如 Hossain 等人<sup>[3]</sup>设计了利用局部信息获取特征描述子的方法,通过局部信息的灰度等特征实现匹配,实验结果表明,这种方法能够较好地获取图像的特征信息,较准确地对图像特征进行匹配。Zhao 等人<sup>[4]</sup>设计了一种利用线段方法对多模态图像进行匹配的技术,通过多模态鲁棒线段描述符对图像特征进行区分,并通过描述符的相似性检测获取匹配结果。张焕龙等人<sup>[5]</sup>对布谷鸟算法进行研究,将其引入图像匹配,通过获取图像的 HOG 特征,利用布谷鸟搜索方法获取特征匹配结果。Tsai 等人<sup>[6]</sup>将不同图像的特征描述符进行比较,设计了分类环机制,将未校正的匹配对进行滤除,提高匹配结果的正确性。

虽然上述方法在各种几何变换下均可获取较好的匹配精度,但其都没有考虑图像间的相似性,其匹配准确率有待提升。为了解决这个不足,本文设计了相似度模型耦合角度制约规则的图像匹配算法,引入 FAST 方法对图像特征实现精确快速的检测。通过计算图像特征邻域圆内的 Haar 小波响应值,获取特征描述符,对图像特征进行描述。利用图像的特征描述符实现特征点的欧氏距离测量,并引入 SSIM 模型,将其与欧氏距离模型联合,构造相似度模型,以对图像特征进行粗匹配。通过特征点间的角度值,建立角度制约规则,对粗匹配特征点进行精匹配,以提高算法的匹配结果。最后,对所提方案进行了匹配效果测试。

## 1 所提图像匹配算法设计

所提算法的匹配过程如图 1 所示。该算法利用

FAST 方法的快速、精确的检测特性,检测出图像的特征点,使得算法的匹配正确率得到提高。获取图像特征后,通过 SURF 特征描述机制,利用 Haar 小波计算法,对图像特征进行描述。通过欧氏距离模型与结构相似度模型,构造相似度模型,从距离以及相似度双维度出发,对特征点进行粗匹配。以提高算法的鲁棒性及匹配正确率。通过特征点间角度,建立角度制约规则,对特征粗匹配的结果进行优化,进一步提高了算法的鲁棒性及匹配正确率。

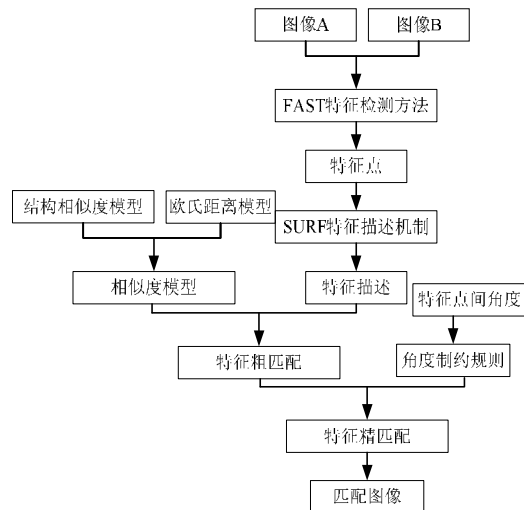


图 1 所提算法的匹配过程

Fig.1 The matching process of the proposed algorithm

### 1.1 图像特征检测

FAST 方法检测图像的特征是在像素点的 Bresenham 圆上进行的。首先,对像素点  $r$  构成的  $3 \times 3$  Bresenham 圆上的 16 个邻域点从 1 开始进行顺时针编号<sup>[7]</sup>。然后,将像素点  $r$  的灰度值  $h_r$  与各邻域点的灰度值  $h_i (i=1,2,3,\dots,16)$  进行比较,对邻域点的属性进行划分。

$$Ge = \begin{cases} \text{亮点}, & h_r - h_i \geq t \\ \text{暗点}, & h_r + t < h_i \\ \text{相似点}, & h_r - t < h_i \leq h_r + t \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $t$  为比较因子。

最后,统计具有“相似点”属性的邻域点数量  $nu$ 。若像素点  $r$  的 16 个邻域点中,连续具有“相似点”属性的邻域点数量  $nu \leq 4$ ,则认为像素点  $r$  为特征点<sup>[8]</sup>。

### 1.2 图像特征描述

SURF 特征描述机制生成的特征描述符具有良

好的旋转不变性以及光照度不变性。因此,在通过FAST方法完成图像特征检测后,将引入SURF特征描述机制用于对特征点进行描述。

SURF特征描述机制是通过计算特征点邻域圆内的Haar小波响应值来实现的,具体过程为:

首先,将特征点设为中心,将其尺度值 $\alpha$ 的6倍设为半径,建立一个邻域圆。再利用尺度值 $\alpha$ 的4倍大小的Haar小波,对邻域圆在 $x$ 和 $y$ 轴上的Haar小波值进行计算<sup>[9-10]</sup>。

然后,在邻域圆内转动一个 $\frac{\pi}{3}$ 角度的扇区,将扇区滑动过区域的Haar小波值进行统计。最大Haar小波值所指的方向即为特征点的主方向<sup>[11]</sup>。

最后,以主方向为起点,建立一个大小为 $20\alpha$ 的方形区域。将该区域均分为 $4 \times 4$ 等份。利用 $2\alpha$ 大小的Haar对每个等份在 $x$ 和 $y$ 轴上的Haar小波值进行计算,令计算结果分别为 $E_x$ 与 $E_y$ <sup>[12]</sup>。通过求取该等份上的 $E_x$ 与 $E_y$ 以及 $[E_x]$ 与 $[E_y]$ 值,形成向量 $G$ :

$$G = \left[ \sum E_x, \sum E_y, \sum |E_x|, \sum |E_y| \right] \quad (2)$$

将每个等份上的向量 $G$ 进行组合后,再对组合结果采用归一化操作,以抵御光照度等变换,形成64维的特征向量。

### 1.3 图像特征匹配

当前较多图像匹配方法主要通过测量距离的方法来实现图像匹配,忽略了图像间的相似度,导致算法存在错误匹配较多以及鲁棒性较差的问题。对此,本文将结构相似度(SSIM)模型与欧氏距离模型相结合,构造相似度模型,从测量距离与测量相似度二维空间出发,用于图像特征的粗匹配。

对于特征点 $a$ 与 $b$ ,令其特征向量分别为 $G_a$ 和 $G_b$ ,则特征点 $a$ 与 $b$ 的欧氏距离模型为<sup>[13]</sup>:

$$E(a,b) = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=64} |G_a - G_b|^2} \quad (3)$$

特征点 $a$ 与 $b$ 的SSIM模型为<sup>[14]</sup>:

$$SSIM(D_a, D_b) = l(D_a, D_b) \times c(D_a, D_b) \times s(D_a, D_b) \quad (4)$$

其中, $D_a$ 和 $D_b$ 分别代表特征点 $a$ 与 $b$ 的邻域块。

$l(D_a, D_b)$ 、 $c(D_a, D_b)$ 和 $s(D_a, D_b)$ 分别表示图像的亮

度、对比度以及结构因子,其表述如下<sup>[15]</sup>:

$$l(D_a, D_b) = \frac{2\beta_a\beta_b + C_1}{\beta_a^2 + \beta_b^2 + C_1} \quad (5)$$

$$c(D_a, D_b) = \frac{2\delta_a\delta_b + C_2}{\delta_a^2 + \delta_b^2 + C_2} \quad (6)$$

$$s(D_a, D_b) = \frac{\eta_{a,b} + C_3}{\delta_a\delta_b + C_3} \quad (7)$$

其中, $\beta$ 为图像块像素均值, $\delta^2$ 为图像的方差, $\eta$ 为图像的协方差。 $C_i(i=1,2,3)$ 为任意小的常数。

若两个特征点为匹配点,其对应的欧氏距离应该最小。从SSIM模型看,若两个特征点为匹配点,其对应的SSIM值应该最大。由此,可将特征点间最小 $E(a,b)$ 值与特征点间最大SSIM( $D_a, D_b$ )值相结合,构造的相似度模型XS( $a,b$ ):

$$XS(a,b) = \left[ (\min E(a,b)) \& (\max SSIM(D_a, D_b)) \right] \quad (8)$$

其中, $\&$ 表示逻辑与运算符。从式(8)可见,其判断两个特征点为匹配点,必须要这两个特征点具有最小欧氏距离值以及最大结构相似度值。通过相似度模型式(8)对特征点以距离与结构相似度测量,完成特征点的粗匹配。

对于匹配正确的特征点而言,其与特征点间构成的角度具有一定的接近度。为了进一步提高图像特征匹配的正确率,在此,将利用特征点间角度,建立角度制约规则,对特征点进行精匹配。

令特征匹配后形成的不同特征点集分别为 $p$ 与 $q$ , $p_x(x_1, x_2)$ 、 $p_y(y_1, y_2)$ 、 $p_z(z_1, z_2)$ 为 $p$ 中与 $q$ 中 $q_x(x'_1, x'_2)$ 、 $q_y(y'_1, y'_2)$ 、 $q_z(z'_1, z'_2)$ 三个特征点的匹配点。 $p$ 中 $p_x$ 、 $p_y$ 、 $p_z$ 特征点的形成的角度值 $\theta_p$ 为:

$$\theta_p = \arccos \left( \frac{(x_1 - y_1) \times (x_1 - z_1) + (x_2 - y_2) \times (x_2 - z_2)}{\sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2} \times \sqrt{(x_1 - z_1)^2 + (x_2 - z_2)^2}} \right) \quad (9)$$

$q$ 中 $q_x(x'_1, x'_2)$ 、 $q_y(y'_1, y'_2)$ 、 $q_z(z'_1, z'_2)$ 三个特征点形成的角度值 $\theta_q$ 为:

$$\theta_q = \arccos \left( \frac{(x'_1 - y'_1) \times (x'_1 - z'_1) + (x'_2 - y'_2) \times (x'_2 - z'_2)}{\sqrt{(x'_1 - y'_1)^2 + (x'_2 - y'_2)^2} \times \sqrt{(x'_1 - z'_1)^2 + (x'_2 - z'_2)^2}} \right) \quad (10)$$

通过角度值 $\theta_q$ 与角度值 $\theta_p$ 建立的角度制约规则如下:

1) 利用式(9)求取特征点集 $p$ 中任意三个特征

点  $p_x(x_1, x_2)$ 、 $p_y(y_1, y_2)$ 、 $p_z(z_1, z_2)$  形成的角度值  $\theta_q$ ；利用式 (10) 求取特征点集  $q$  中  $p_x(x_1, x_2)$ 、 $p_y(y_1, y_2)$ 、 $p_z(z_1, z_2)$  相对应的匹配特征点  $q_x(x'_1, x'_2)$ 、 $q_y(y'_1, y'_2)$ 、 $q_z(z'_1, z'_2)$  形成的角度值  $\theta_p$ 。斌求取  $\theta_q$  与  $\theta_p$  的差值  $\theta_{pq}$ ：

$$\theta_{pq} = |\theta_p - \theta_q| \quad (11)$$

2) 设定角度阈值  $\Delta\theta$ ，将  $\theta_{pq}$  与阈值  $\Delta\theta$  进行比较。若  $\theta_{pq} \leq \Delta\theta$ ，则表示  $\theta_q$  与  $\theta_p$  较为相近， $p_x(x_1, x_2)$ 、 $p_y(y_1, y_2)$ 、 $p_z(z_1, z_2)$  与  $q_x(x'_1, x'_2)$ 、 $q_y(y'_1, y'_2)$ 、 $q_z(z'_1, z'_2)$  为三对正确匹配点。反之，则说明该三对匹配点存在错误匹配点，应该再从特征点集  $p$  与  $q$  中，再次寻找新的三对匹配点，并继续执行步骤(1)~步骤(2)，直到找到正确匹配的三对匹配点为止。

3) 将三对正确匹配点中的一组替换成一对新的匹配点，并返回步骤(1)，若新加入的匹配点组成的角度差值满足步骤(2)的判断条件，则判定新加入的匹配点对为正确匹配点对，否则为错误匹配点对给予剔除，从而实现特征的精匹配。

## 2 实验结果

利用 AMD 双核 CPU，500 GB 硬盘的计算机，配以 Matlab2013 软件对所提算法进行测试，同时将文献[16]与文献[17]中算法作为对照组，与所提算法在同样环境下进行测试，与对比体现所提算法的匹配性能。其中文献[16]方法利用小波变换获取子图，再通过归一化互相关变换完成匹配。小波变换为一种使用较为广泛的图像处理方法，因此文献[16]方法具有一定的普适性与典型性。文献[17]方法 Hessian 矩阵获取图像特征，并利用 SIFT 方法获取特征描述符，进而完成图像匹配。SIFT 方法为一种较为经典的图像匹配方法，因此文献[17]方法也具有一定的普适性与典型性。

图 2 为不同算法对光照度变化图像的匹配效果。通过图 2 可见，所提算法匹配的图像较对照组算法匹配的图像具有更多的匹配点与更少的错误匹配点。图 3 为不同算法对旋转图像的匹配效果。从图 3 可见，文献[16]算法的结果中具有一定的误配点，文献[17]算法的结果中具有一定的漏配点，

而所提算法的匹配结果中漏配点与误配点最少。图 4 为不同算法对缩放图像的匹配效果。从图 4 可见，所提算法的匹配结果较文献[16]以及文献[17]算法的匹配结果，误配点及漏配点都最少。由此说明，所提算法的匹配性能较好，能够较为准确的实现图像匹配。因为本文算法利用高准确度的 FAST 方法获取图像的特征，使得获得的特征点纯度较高。同时本文算法还构造了相似度模型，对图像特征进行匹配，使得特征匹配正确度得以提高，从而提高了算法的匹配性能。

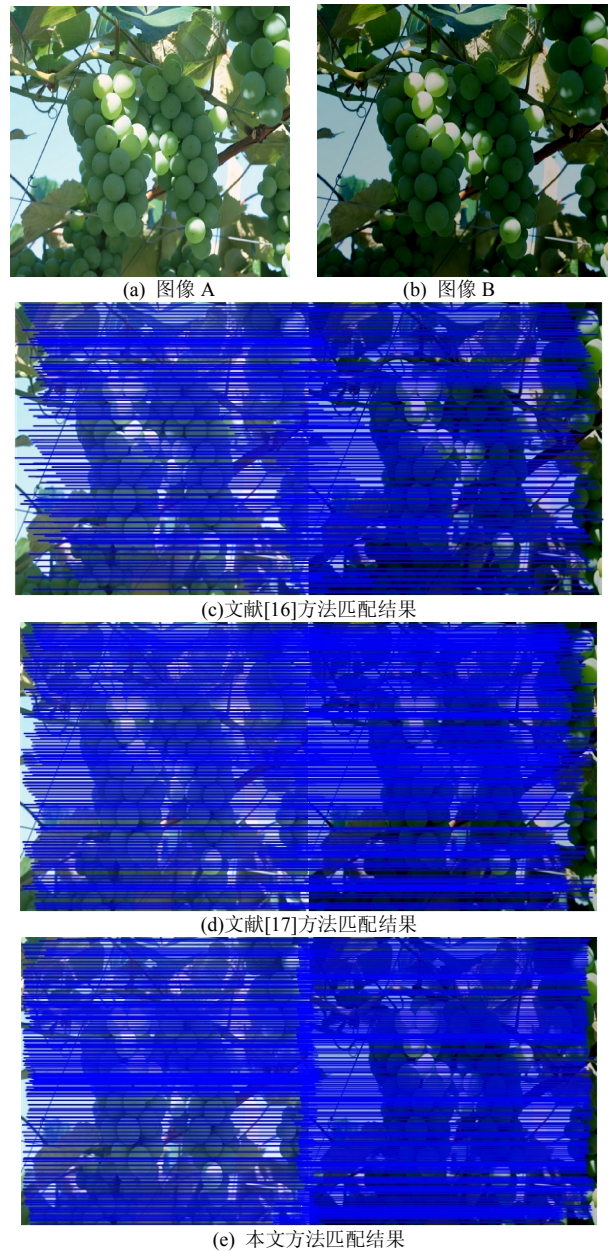


图 2 不同算法对光照度变化图像的匹配效果

Fig.2 Matching effects of different algorithms on illumination change images

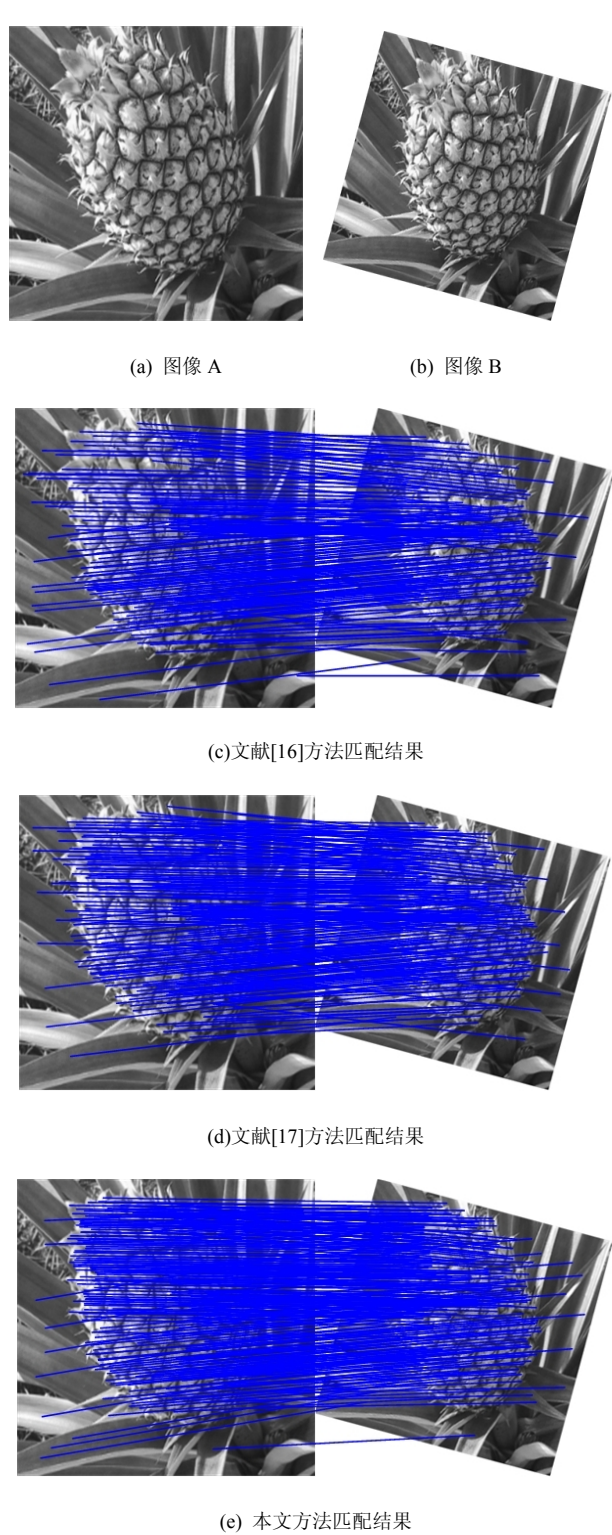


图 3 不同算法对旋转图像的匹配结果  
Fig.3 Matching effects of different algorithms on rotation images

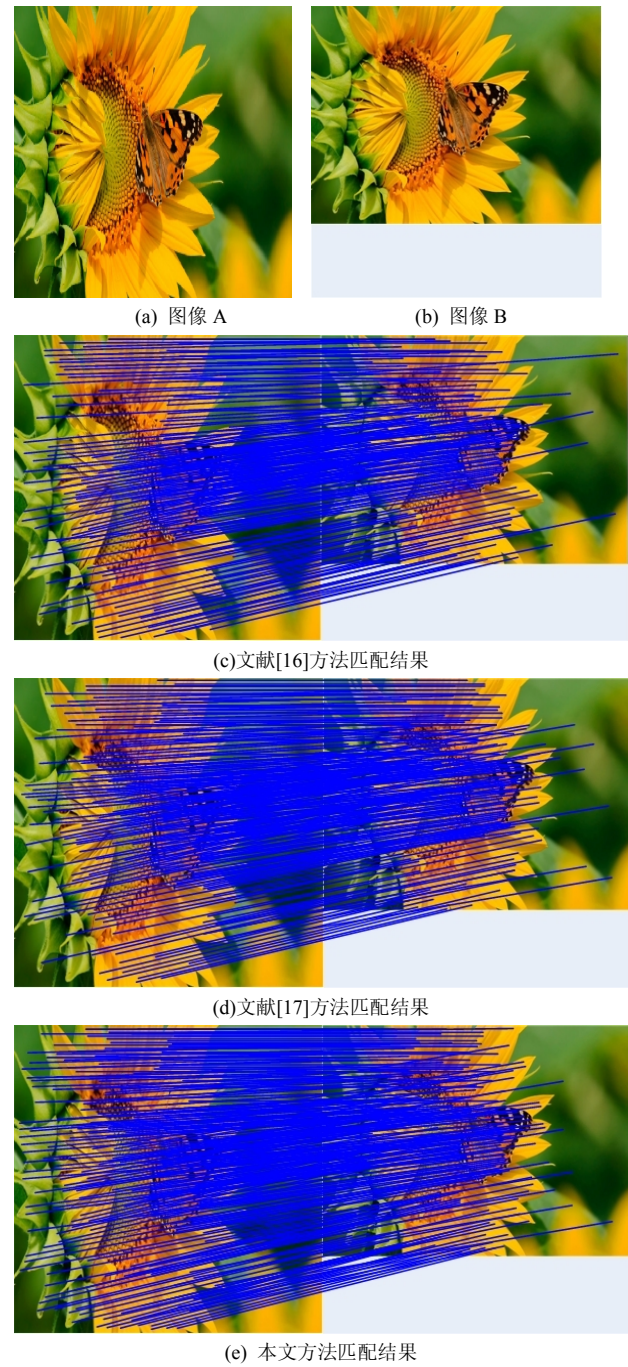


图 4 不同算法对缩放图像的匹配结果  
Fig.4 Matching effects of different algorithms on scaling images

将图 5 作为图像 A, 将其进行不同角度的旋转, 形成图像 B。利用不同算法对图像 A 与旋转形成的图像 B 进行匹配, 并对匹配结果的正确度进行统计, 以测试所提算法的匹配性能。

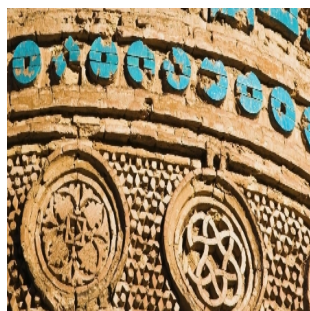


图 5 测试目标

Fig.5 Test target

不同算法匹配结果正确度测量结果如图 6 所示。从图中可见,所提算法匹配的结果正确度最高。在旋转角度为  $40^\circ$  时,其匹配正确度为 97.12%。由此说明,所提算法的匹配正确度以及抗干扰性能度较高。因为所提算法引入了 SURF 特征描述机制,通过计算 Haar 小波值生成的特征描述符具有较好的鲁棒性。同时所提算法还建立了角度制约规则,用于特征点的精匹配,使得匹配结果正确度以及算法抗干扰性得以提升。文献[16]中方法通过小波变换对图像进行分解,建立小波金字塔搜索方法,利用归一化互相关变换获取匹配结果。由于小波变换的方向性不佳,使得分解图像有所丢失,导致算法的匹配正确度以及鲁棒性都不太理想。文献[17]方法将 SIFT 方法引入图像匹配,通过 Hessian 方法获取图像特征,利用直方图取大法实现特征描述,利用距离测量法完成特征匹配。由于 Hessian 方法检测的特征点中具有较强的错误点,而且距离测量法没有考虑图像的相似性,使得算法的匹配性能及鲁棒性能都有所下降。

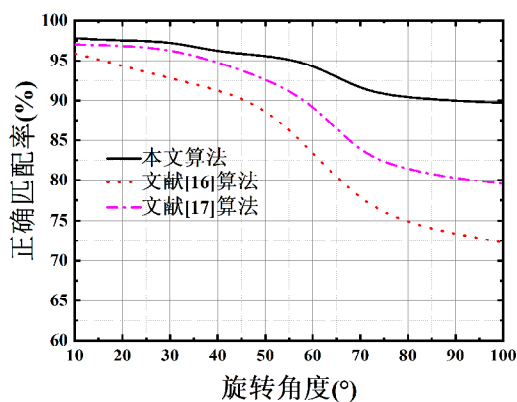


图 6 匹配正确度的测试结果

Fig.6 Test results of matching accuracy

### 3 结论

本文将 FAST 特征检测方法引入图像匹配,用于获取纯度较高的图像特征,以改善算法的匹配正确率。通过计算图像特征邻域圆中的 Haar 小波值对图像特征进行描述,以提高算法的匹配效率。通过构造相似度模型,对图像特征进行距离与相似度双重测量,获取特征粗匹配结果。利用特征点间的角度,构造角度制约规则,对粗匹配结果进行精匹配,使得算法的抗干扰性能以及匹配正确率得以提升。实验结果表明,所提算法具有匹配正确率较高、漏匹配较少的特点,具有良好的匹配性能。

在所提算法需要借助角度阈值  $\Delta\theta$  来完成匹配优化,对算法的精度影响较大,后续将引入人工蜂群算法,对  $\Delta\theta$  实施优化,确定一个最佳的阈值,以进一步提高算法的抗旋转性能。

### 参考文献:

- [1] 汤鹏杰,谭云兰,李金忠. 基于双流混合变换 CNN 特征的图像分类与识别[J]. 井冈山大学学报:自然科学版, 2015, 36(5): 53-59.
- [2] Tony L. Image Matching Using Generalized Scale-Space Interest Points[J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2015, 52(1): 3-36.
- [3] Hossain M T, Shyh W T. Multimodal Image Registration Technique Based on Improved Local Feature Descriptors[J]. Journal of Electronic Imaging, 2013, 1(24): 1-17.
- [4] Zhao C Y, Zhao H C, Lv J F. Multimodal Image Matching Based on Multimodality Robust Line Segment Descriptor[J]. Neurocomputing, 2016, 177(1): 290-303.
- [5] 张焕龙,张秀娇,贺振东. 基于布谷鸟搜索的图像匹配方法研究[J]. 郑州大学学报:理学版, 2017, 49(4): 51-56.
- [6] 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.
- [7] 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.

(参考文献[8]-[17]转第 51 页)

- [2] Wu Q L, Liang Y. Factors Acquisition and Content Estimation of Farmland Soil Organic Carbon Based upon Internet of Things[J]. Chinese Geographical Science, 2017, 27(3): 431-440.
- [3] Wang Y B, Gong B. Trust Attestation Mechanism for the Sensing Layer Nodes of Internet of Things[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2017, 22(4): 337-345.
- [4] Zhi P C, Anu B, Wei T T. Guest Editorial: Special Issue on Internet of Things[J]. Tsinghua Science and Technology, 2017, 22(4): 343-344.
- [5] Catalina A S, Mihaela C. Distributed Algorithms for Event Reporting in Mobile-Sink WSNs for Internet of Things[J]. Tsinghua Science and Technology, 2017, 22(4): 413-426.
- [6] Liu X Y, Jiang J. SINR Driven Joint Network Selection Policy in the Heterogeneous Internet of Things[J]. Chinese Journal of Electronics, 2017, 26(4): 842-848.
- [7] 马荣飞. 基于物联网技术网络自适应移动节点资源监测研究[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(5): 1725-1728.
- [8] Ma R F. Research on the Monitoring of Adaptive Mobile Node Resources Based on Internet of Things Technology [J]. Computer Engineering and Design, 2012, 33(5): 1725-1728.
- [9] 杨斌,郝杨杨. 面向监测应用的传感网节点布局方法研究[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(7): 1255-1261.
- [10] Yang B, Hao Y Y. Study on the Layout of the Internet of Things for Monitoring Applications [J]. Computer Engineering and Science, 2014, 36(7): 1255-1261.
- [11] Zhen X L. A Survey on Data Dissemination in Wireless Sensor Networks [J]. Journal of Computer Science & Technology, 2014, 3(11): 470-486.
- [12] Bei G, Yu B W. A Trusted Attestation Mechanism for the Sensing Nodes of Internet of Things Based on Dynamic Trusted Measurement[J]. Chinese Geographical Science, 2018, 15(2): 100-121.
- [13] Ding Z, Ching C C, George Y Z. Enabling Industrial Internet of Things(IIoT) towards an emerging smart energy system[J]. Global Energy Interconnection, 2018, 1(1): 39-47.
- [14] Shen W Z, Wang S Y, Nagi E B E. Design of Greenhouse Environment Control System Based on Internet of Things[J]. Journal of Northeast Agricultural University (English Edition), 2018, 25(2): 54-64.
- [15] Wu Z, Liu L H. A Community Health Service Architecture Based on the Internet of Things on Health-Care[J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2016, 25(3): 114-120.

(上接第 44 页)

- [8] Jia D, CAO J, Song W D. Colour FAST (CFAST) Match: Fast Affine Template Matching for Colour Images [J]. Electronics Letters, 2016, 52(14): 1220-1221.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Beatriz O, Eva R, Jacint V. SURF-Based Mammalian Species Identification System[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(7): 10133-10147.
- [12] Zhang E L, Ma J, Wang X T. Improved SURF Algorithm for Color Remote Sensing Image Registration[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2017, 32(2): 144-152.
- [13] Sun Y W, Li H, Sun L. Use of Satellite Image for Constructing the Unmanned Aerial Vehicle Image Matching Framework[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2017, 11(1): 1-12.
- [14] Bo Y, Bahetiyaer B, Ke L. Learning Quality Assessment of Retargeted Images[J]. Signal Processing: Image Communication, 2017, 56(1): 12-19.
- [15] Seonyeong P, Siyong K, Byongyong Y. A Novel Method of Cone Beam CT Projection Binning Based on Image Registration[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2017, 36(8): 1733-1745.
- [16] 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.
- [17] Sebastián C C, José G G. SIFT Optimization and Automation for Matching Images from Multiple Temporal Sources[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2017, 57(1): 113-122.