

# 融合彩色不变量和 SURB 检测的特征点匹配算法

陈树, 杨天\*, 孙顺远

江南大学物联网工程学院, 江苏 无锡 214122

**摘要** 为了解决传统匹配算法运行效率低、匹配精度低等问题,在快速特征点提取和描述(ORB)算法的基础上提出一种融合彩色不变量和基于加速稳健特征和对象请求代理(SURB)检测的优化匹配方法。首先,在同一复杂场景下,通过彩色空间变换提取两幅图片的彩色不变量信息;然后,采用 SURB 算法提取彩色信息中具有尺度不变性的特征点,构建 ORB 算术描述子;最后,在  $K$  近邻算法分类和整理的基础上,采用评价函数和随机抽样一致性算法去除误匹配点对。基于标准图库 ALOI 及多组实际图像匹配的结果表明,对于复杂环境下的图像,本文算法不仅具有较高的匹配精度,而且大幅缩短了匹配时间。

**关键词** 图像处理; 特征点匹配; 彩色不变量; 信息熵; 评价函数

中图分类号 TP391 文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP55.051007

## Feature Point Matching Algorithm for Fusion of Color Invariants and SURB Detection

Chen Shu, Yang Tian, Sun Shunyu

School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China

**Abstract** Aiming at the low operating efficiency and low matching accuracy problems in image matching, we propose an optimized matching method based on the color invariants and SURB [speeded up robust features-oriented FAST and rotated BRIEF (SURF-ORB)] detection on the basis of ORB matching algorithm. First of all, we obtain the color invariance of two images in the same complex scene through the color space transformation. Then, we use SURB algorithm to extract the feature points with the scale invariance and build an ORB arithmetic descriptor in chromatic information. At last, on the basis of classification and disposal of  $K$  nearest neighbor algorithm, we use the cost function and random sample consensus algorithm to remove the mismatching pairs. Results of standard graphics library ALOI and many other real images indicate that the proposed algorithm improves the image matching accuracy and shortens the image matching time in the complex environment.

**Key words** image processing; feature point matching; color invariant; information entropy; evaluation function

**OCIS codes** 100.4993; 100.4994; 100.5010

## 1 引言

图像特征点匹配是机器视觉的重要组成部分和基础。它是在同一场景下对多幅图像进行检测,寻找多个具有相似性质的二维像素点,然后通过一定的算法处理将多个像素点进行匹配的过程。现阶段,图像特征点匹配已成为热点,在运动目标检测、图像配准等领域得到了广泛应用<sup>[1-4]</sup>。

目前使用较为广泛的匹配方法有尺度不变特征转换(SIFT)算法<sup>[5]</sup>、加速稳健性特征(SURF)算法<sup>[6]</sup>和快速特征点提取和描述(ORB)算法<sup>[7]</sup>。其中,ORB算法是EPFL大学提出的一种新的图像匹配算法,相比其他匹配算法,它采用了更加简单、快捷的方式提取角点,并进行特征描述,因其原理简单、运算高效,很快便发展成为图像匹配领域中的通用算法。但在实际运用过程中,该算法仍然存在一

收稿日期: 2017-09-25; 收到修改稿日期: 2017-11-03

作者简介: 陈树(1969—),男,博士,副教授,主要从事图像处理、目标跟踪等方面的研究。

E-mail: kjcuse@jiangnan.edu.cn

\* 通信联系人。E-mail: 1362244724@qq.com

些不足,特征点匹配精度低于 SIFT 和 SURF 算法。近几年,随着研究的不断深入,学者们除了在 SIFT 算法和 SURF 算法的基础上进行优化之外<sup>[8-9]</sup>,对 ORB 算法也进行了完善。文献[10]将 ORB 算法用于多种姿态的人脸识别,通过优化 ORB 算子在采样过程中的模式来提高稳健性;文献[11]针对经典 ORB 算法在匹配过程中出现大量错误匹配点对的问题,通过将双向匹配与  $K$  最近邻算法相结合的方式初步提纯,然后利用随机抽样一致性(RANSAC)算法进一步提纯,匹配精度达到99.9%;文献[12]为了提高图像匹配精度,针对 ORB 算法中常用的提纯算法的不足提出改进,通过缩小样本点总量和减少迭代次数的方式来优化算法,从而提高匹配精度。

以上文献都针对 ORB 算法存在的不足而提出了切实有效的优化算法,具有一定的参考价值,但上述文献都是在一般环境下进行图像匹配,没有考虑到复杂情况下图像匹配精度不高、匹配时间过长的问題。受吴攀超等<sup>[13]</sup>提出的一种新的彩色空间变换模型在图像匹配中应用的启示,本文提出一种优化的图像匹配算法,基于文献[13]中的彩色空间变换提取彩色图像的颜色不变量,将提取到的颜色不变量与 SURF-ORB(SURB)算法提取的特征描述子相结合,通过优化 RANSAC 算法完成图像的最终匹配。实验证明,本文算法能够在不同光照强度和光照角度下,获取更多的图像细节,在提高原有算法匹配精度的基础上,大幅缩短匹配时间,为后续的图像处理工作提供保障。

## 2 优化算法流程

### 2.1 传统 ORB 算法优缺点分析

传统 ORB 算法采用加速分割测试特征(FAST)算法进行特征点提取。FAST 是一种快速简单的算法,其核心思想就是找出那些卓尔不群的

点,原理如图 1 所示。

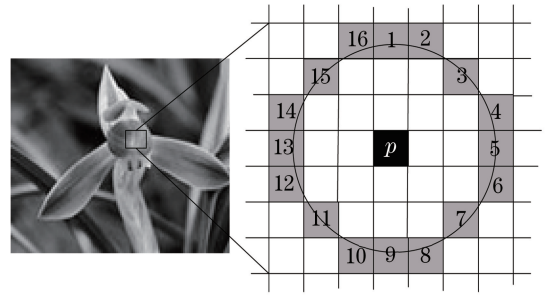


图 1 FAST 角点检测

Fig. 1 FAST corner detection

在图像中随机取一个像素点  $P$ ,以  $P$  为圆心、 $R$  为半径画圆,对圆周围的 16 个像素进行差值比较,若存在连续的  $N$  个点与  $P$  点的差值大于所设置的阈值,则判断为角点,一般  $N=12$ 。在 FAST 算法提取特征点的基础上,采用改进的具有旋转特性的二进制稳健基元独立特征(rBRIEF)算法对准确的特征点进行描述,特征点与特征点之间通过汉明距离去除误匹配点。ORB 算法特性分析如下。

1) 高效性。FAST 算法和 BRIEF 算法的结合与改进是 ORB 算法高效运行的保证。FAST 算法在提取特征时,无须将中心点与邻域圆周围所有像素点的差值一一求出,因此运算速度较快。BRIEF 算法所构建的 BRIEF 描述子是一个长度为  $n$  的二进制串,二进制方法的应用不仅节约内存空间,而且极大地缩短了运行时间。

2) 稳健性弱。在图像匹配领域,传统的匹配算法都是基于灰度图像进行匹配,将彩色图像直接转化为灰度的处理方式忽略了图像本身具有的色彩分布信息,若在较为复杂的环境下进行图像匹配,则会带来较多的错误匹配点对,降低匹配精度。图 2(a)、(b)为不同光照强度下的两张输入图像,图 2(c)为 ORB 算法匹配结果图,可以看出,图 2(c)中存在较多误匹配点对。

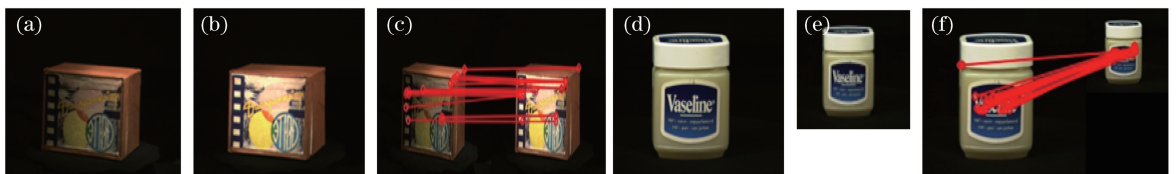


图 2 不同光照、尺度变化下 ORB 算法的匹配效果图。(a)(b)不同光照下的输入图像;(c)光照变化下的匹配效果;(d)(e)不同尺度下的输入图像;(f)尺度变化下的匹配效果

Fig. 2 Matching effects of ORB algorithm under different illuminations and scales. (a)(b) Input images under different illuminations; (c) matching effect under illumination changes; (d)(e) input images under different scales; (f) matching effect under scale changes

3) 不具备尺度不变性。ORB 算法采用 FAST 算法进行特征点提取,虽然速度上相比 SIFT 算法和 SURF 算法有了跨越性提高,但检测出的特征点不具备尺度不变性。图 2(d)、(e)为尺度变化条件下的两张输入图像,图 2(f)为 ORB 算法匹配效果图,可以看出,匹配效果很不理想。

## 2.2 优化算法原理分析

针对 ORB 匹配算法的不足,提出优化算法。工作流程主要包括颜色不变量信息的获取、特征点

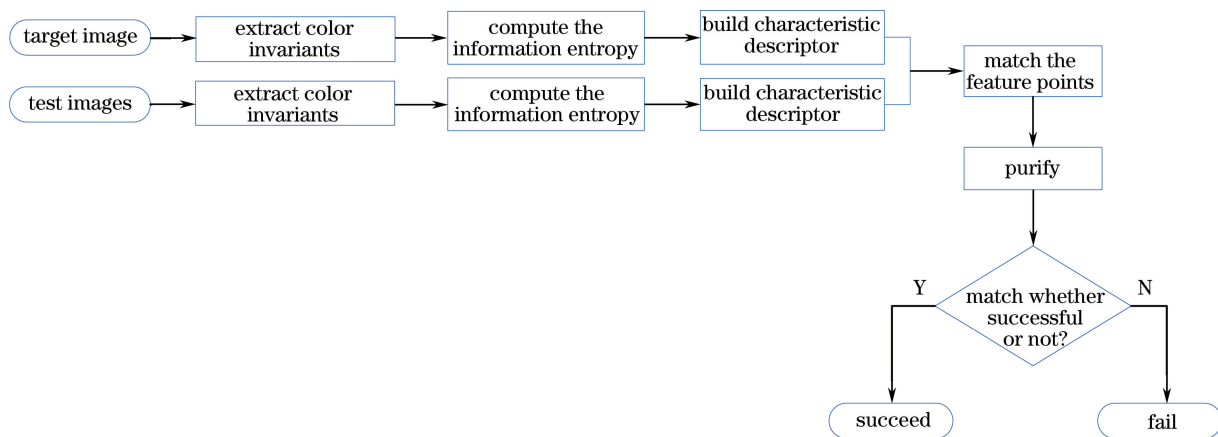


图 3 本文匹配算法流程

Fig. 3 Process of proposed matching algorithm

### 2.2.1 彩色变化模型

物理学中的光照强度变化有着很强的复杂性,一般很难通过建立一个精确的物理模型去说明。实际生活应用中,一般采用预先定义好的线性模型去模拟和逼近真实的光照强度变化。在视角和光照都发生变化的情况下,采用 von Kries 对角线光照彩色变化模型作为不同彩色图像间的彩色变化模型。该模型是对实际模型的一种线性逼近,相对于其他的彩色模型空间而言,它最突出的优势是能够在精确度和复杂度之间取得很好的平衡,可以描述彩色图像之间存在的复杂变化。在未知光源照射下同一场景两幅图像之间的光照变化可描述为

$$f_A = \mathbf{D}_{A,B} f_B + \mathbf{O}, \quad (1)$$

式中  $f_A$  和  $f_B$  分别为在未知光源照射下同一目标或者同一场景的两幅图像,  $f_A = [R_c, G_c, B_c]^T$ ,  $f_B = [R_u, G_u, B_u]^T$ ,  $R, G, B$  为 RGB 彩色空间通道的各个单通道。  $\mathbf{D}_{A,B}$  为两幅图像之间存在的光照变化对角线矩阵,  $\mathbf{D}_{A,B} = \text{diag}[a, b, c]$ 。  $\mathbf{O}$  为向量图像间对应各通道彩色值的偏移向量,  $\mathbf{O} = [O_1, O_2, O_3]^T$ 。分析对角线模型可知,分为以下 4 种情况。

1) 当对角线各元素相等且不为零 ( $a = b = c \neq$

提取、图像匹配 3 个阶段。首先,针对原有匹配算法将彩色图像转化为灰度图像,忽略图像原有彩色信息,易产生误匹配点对的问题,引入一种新的颜色空间变换获取同一场景下两幅图像的颜色不变量;然后,针对 ORB 算法不具备尺度不变性的不足,采用 SURF 算法提取特征点,利用 ORB 算法构建算术描述子;最后,在图像匹配阶段,为降低匹配时间,在随机抽样一致性算法的基础上采用  $K$  近邻、评价函数去除误匹配点。具体的算法步骤流程如图 3 所示。

0)、偏移向量为零 ( $O_1 = O_2 = O_3 = 0$ ) 时,两幅图像间存在光照强度的变化。当  $a = b = c = 1$  时,两幅图像间不存在光照变化。可以发现, CORB 算法只能在该种情况下提取一种彩色不变量:

$$[R_c, G_c, B_c] = \text{diag}[a, a, a] [R_u, G_u, B_u]^T. \quad (2)$$

2) 当对角线各元素相等且为 1 ( $a = b = c = 1$ )、偏移量相等且不为 0 ( $O_1 = O_2 = O_3 \neq 0$ ) 时,两幅图像之间存在图像彩色值的同偏移变化:

$$\begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_u \\ G_u \\ B_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_1 \\ O_1 \\ O_1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

3) 包含上述两种情况时,

$$\begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_u \\ G_u \\ B_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_1 \\ O_1 \\ O_1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

4) 当对角线中的各元素和偏移向量的各元素不相等且不为 0 时,两幅图像之间存在较为复杂的色彩偏移变化和光照变化。以上所提到的所有彩色变化情况均包含在该色彩变化中,是最为常见的一种色彩变化情况。

通过对上述模型的情况分析可知,情况4)在4种情况中最为复杂,而CORB算法在该条件下并不能寻找到彩色不变量。因此,引入一种新的提取彩色不变量方法加以解决,即将RGB空间 $(R, G, B)$ 变换为正交RGB彩色空间 $(R_0, G_0, B_0)$ <sup>[14]</sup>:

$$[R_0, G_0, B_0] = [(R - u_R)/\delta_R, (G - u_G)/\delta_G, (B - u_B)/\delta_B]^T, \quad (5)$$

式中 $u_R, u_G, u_B$ 分别为RGB彩色空间各通道值的分布均值, $\delta_R, \delta_G, \delta_B$ 分别为RGB彩色空间各通道的分布标准差。把正交的RGB彩色空间代入对角线模型,各个通道都满足(1)式,这说明新的颜色不变量模型可以在更为复杂的条件下寻找多幅图像的彩色不变量。

由于正交RGB彩色空间中的任何一个彩色单通道都可以在(1)式条件下提取彩色不变量,为了提高整个算法的运行效率,引入信息熵的概念。信息熵是衡量每幅图像所含信息量的一种度量。利用信息熵计算每幅图像各彩色单通道的信息量,选择信息量最大的彩色通道作为下一步的待处理图像。信息熵 $[E(j)]$ 的计算式如下:

$$E(j) = - \sum_{j=\min}^{\max} \rho_j \ln \rho_j, \quad (6)$$

式中 $\rho_j$ 为对应数值等级 $j$ 在图像中所出现的概率, $\rho_{\min}$ 和 $\rho_{\max}$ 为所在通道中出现的最大值和最小值。

### 2.2.2 特征提取

相对于SIFT算法和SURF算法而言,ORB算法具有较快的运行速率,是一种高效的匹配算法。但在上述研究工作中,特征点检测时都是用FAST算法进行的角点检测,得到的特征点不具备尺度不变性。为了得到具有尺度不变性的特征点,采用SURB算法中的SURF提取特征点。SURF算法是基于SIFT算法改进的,其运算速度比SIFT算法快好几倍,并且在多幅图片下具有更好的稳定性。同时,SURF算法还保持了SIFT算法的一个显著特点,提取到的特征点具有尺度不变性,对存在尺度变化的图片能够表现出良好的匹配效果。

针对ORB算法不具备尺度不变性,本文首先通过SURF算法提取出具有尺度不变性的特征点,然后结合ORB算法对提取到的特征点构建描述子,最后通过汉明距离完成图像匹配。

大量实验表明,单纯用汉明距离进行图像特征匹配存在问题:1)对所获得的匹配点对没有考虑两特征点在同一个区域的情况;2)当多个特征点较近时,算法会因为无法判别哪一个才是正确的匹配点而影响匹配精度。因此,常用RANSAC算法

或者改进后的RANSAC算法<sup>[15-16]</sup>对误匹配点进行去除,从而提高匹配准确率。

### 2.2.3 图像匹配

RANSAC算法通过遍历全部的原始匹配点对,依据一个可接受的范围误差,将所有的匹配点对分为内点和外点,然后将相对外点而言比较准的内点数据进行参数估计。但是,大量实验表明,直接使用RANSAC算法来进行参数估计,运行效率低下。RANSAC算法的随机采样次数直接体现了RANSAC的运行效率,随机采样次数的计算公式为

$$N = \frac{\lg(1-p)}{\lg[1-(1-w)^S]}, \quad (7)$$

式中 $S$ 表示模型估计所要的匹配点对数,一般取 $S=4$ 。 $p$ 表示采样的 $S$ 对匹配点全是内点的概率,多数情况下,将 $p$ 设置为0.99。 $w$ 表示外点。

由(7)式可知,当匹配点中的外点个数过多时,RANSAC算法的随机采样次数也会随之增加,大大降低了整个程序的运行效率,同时也会影响变换矩阵的精度。因此,本文对RANSAC算法进行优化。首先,对训练样本采用 $K$ 近邻算法进行分类和整理,把测试样本最大程度地压缩成一个更小的范围进行计算, $K=2$ ;随后,利用相邻特征点之间的关系剔除误匹配点;最后,用RANSAC算法进一步提纯。剔除误匹配点的原理具体如下。

倘若 $(P_i, Q_i)$ 和 $(P_j, Q_j)$ 是两对正确的匹配点对,那么 $P_i$ 和 $P_j$ 的距离 $d(P_i, P_j)$ 应该相似于 $Q_i$ 和 $Q_j$ 的距离 $d(Q_i, Q_j)$ 。因此,用 $P_i$ 与输入图像中所有兴趣点 $P_j$ 的关系和 $Q_i$ 与测试图像中所有兴趣点 $Q_j$ 的相似性评价两点的对应关系,提出如下评价函数:

$$w(i) = \sum_{j=1}^N \frac{r(i, j)}{1 + D(i, j)}, \quad (8)$$

式中 $N$ 为内点个数, $D(i, j) = [d(P_i, P_j) + d(Q_i, Q_j)]/2$ ,是 $P_i$ 和 $Q_i$ 与每对兴趣点的平均距离, $r(i, j) = \exp(-u_{ij})$ , $u_{ij} = |d(P_i, P_j) - d(Q_i, Q_j)|/D(i, j)$ ,是 $P_i$ 和 $Q_i$ 与每对兴趣点距离的相对差异。

根据(8)式,若想提取更加稳定的特征点, $P_i$ 和 $Q_i$ 与每对兴趣点距离的相对差异以及兴趣点之间的距离应该尽可能地小,因此可以尽量地提高分母 $r(i, j)$ 、降低分子 $D(i, j)$ ,让对应的兴趣点更加接近。(8)式中 $1 + D(i, j)$ 的作用是为了防止分母为0。

优化后的RANSAC算法步骤如下:

1) 用 $K$ 近邻算法对样本进行初处理。

2) 计算评价函数 $w(i)$ 的所有值并求平均,均值记为 $\bar{w}$ 。



3) 对  $w(i)$  进行条件判断,若  $w(i) > 0.8 \bar{w}$ ,就将  $(P_i, Q_i)$  匹配点保留下来,否则将其去除。

经过 1)~3) 的处理后,删除了绝大多数外点,内点所占总体比例提高。接着将保留下来的初始点作为 RANSAC 算法的原始迭代点,进行图像的精确匹配并计算其对应的单应性矩阵  $H$ 。

4) 从处理后的样本集中随机选择一个 RANSAC 样本,本文取 8 个匹配点对。

5) 根据样本集,变换矩阵  $H$ ,通过误差度量函数计算满足当前变换矩阵的一致集,然后返回一致集中元素个数。本文误差度量函数中 RANSAC 算法的容错度设置为 3 pixel。

6) 根据当前一致集中元素个数判断是否为最优一致集,若是则更新当前最优一致集。

7) 对当前错误概率进行更新,若大于允许的最小错误概率,则重复 4)~6) 继续迭代,直到当前错误概率小于最小错误概率时终止迭代。本文最小错误概率取 0.01。

## 3 实验结果

### 3.1 数据库介绍

为了验证本文算法的优越性,采用 ALOI(阿姆斯特丹图像数据库)标准图库中的图像进行匹配效果比较,并结合 OpenCV2.4.4 和 VS2010 平台

进行仿真。所有实验都是在 Windows 7 32 位操作系统、CPU 3.6 GHz、内存 2 GB 的条件下进行的。实验通过实现 ORB 算法、CORB 算法、文献[13]算法以及本文算法进行对比仿真,对匹配的结果采用误匹配率、匹配时间这两个评价准则进行匹配效果判断。

### 3.2 实验结果的定性分析

#### 3.2.1 不同光照强度的对比实验

在复杂环境下,本文算法仍然能够提取出优质的特征点,并得到较高的匹配精度。在 ALOI 标准图库中,对存在光照变化的一组图像进行测试,如图 4 所示。

采用三幅光照强度不同的测试图像和一幅输入图像进行匹配。通过图 4(e)可以看出,在光照强度差异比较小的情况下,每种匹配算法都得到了较好的匹配效果,后两种算法得到的匹配点数更多。在光照强度变化较明显的情况下,如图 4(f)和图 4(g)所示,ORB 算法的匹配点对数减少,且匹配结果不理想,而其他四种算法都得到了较多匹配点,其中,文献[13]方法得到的匹配点最多,而其他三种算法紧随其后,但是可以明显看出,本文算法的误匹配点最少。因此,当目标图像存在光照强度变化时,本文算法可以得到更多、更为稳定的特征点,在性能上优于其他 4 种匹配算法。

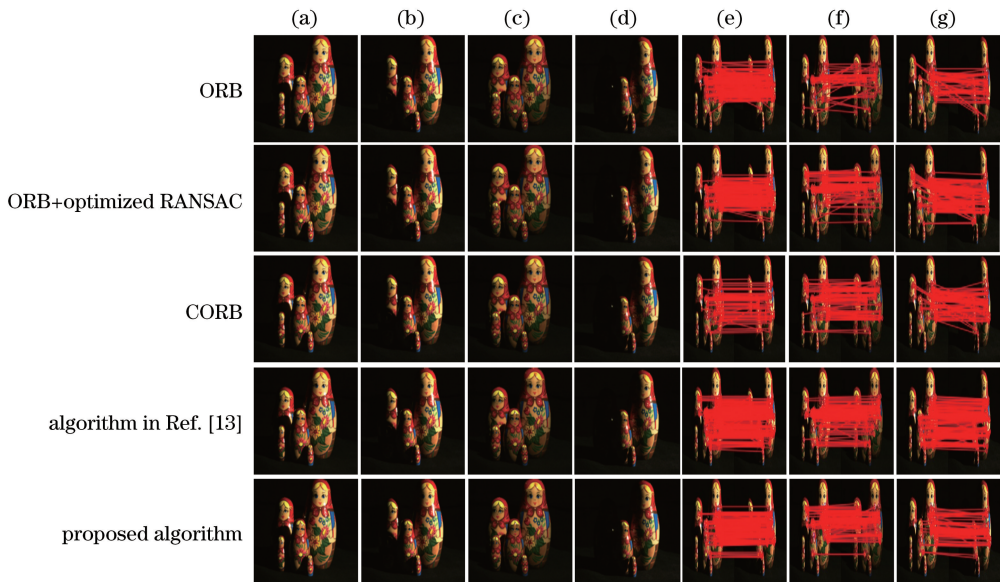


图 4 不同光照变化条件下图像匹配效果。(a)输入图像;(b)待检测图像 1;(c)待检测图像 2;(d)待检测图像 3;(e)匹配结果图 1;(f)匹配结果图 2;(g)匹配结果图 3

Fig. 4 Image matching effect under different illuminations. (a) Input image; (b) test image 1; (c) test image 2; (d) test image 3; (e) match image 1; (f) match image 2; (g) match image 3

### 3.2.2 不同旋转角度的对比实验

在 ALOI 标准图库中,选取存在旋转角度变化的一组图像进行匹配结果检测,如图 5 所示。

从图(5)可以看出,ORB 算法得到的匹配点质量低下,出现大量的误匹配点。相比 ORB 算法,CORB 算法与改进的 RANSAC 算法误匹配点相对

减少,文献[13]方法和本文算法都获得了较好的匹配结果。对比实验表明,本文算法通过将熵值最大的彩色不变量单通道作为待检测图像,提取到了更具有代表性的信息。通过观察匹配结果图可以看出,大多数特征点的提取都是在颜色变化明显的地方,为提取更加稳定的特征点带来了保障。

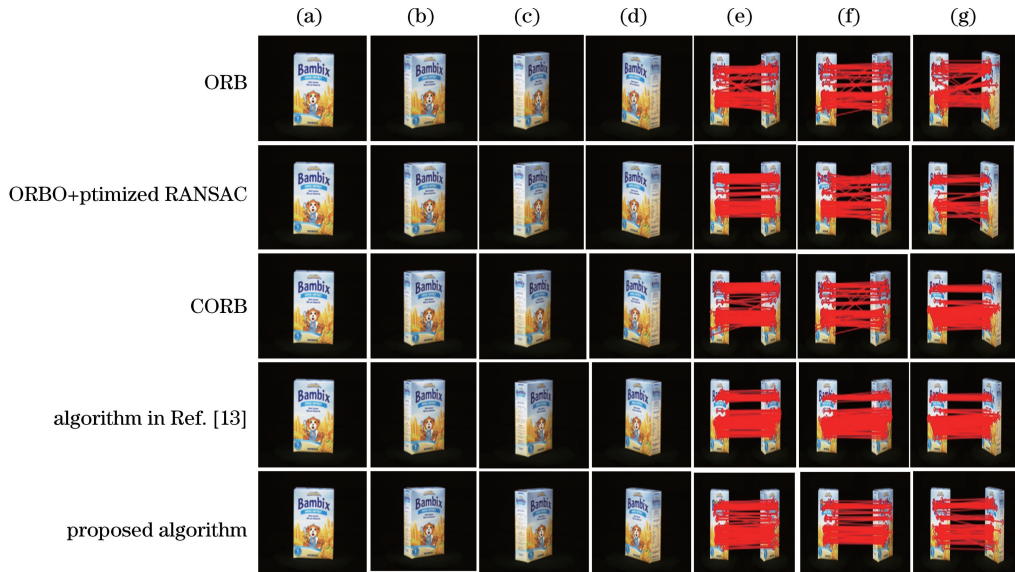


图 5 角度变化条件下图像匹配效果。(a)输入图像;(b)待检测图像 1;(c)待检测图像 2;(d)待检测图像 3;(e)匹配结果图 1;(f)匹配结果图 2;(g)匹配结果图 3

Fig. 5 Image matching effect under different angles. (a) Input image; (b) test image 1; (c) test image 2; (d) test image 3; (e) match image 1; (f) match image 2; (g) match image 3

### 3.2.3 不同尺度的对比实验

为了验证本文算法对不同尺度图像匹配效果的优

越性,分别采用 ORB 算法、文献[13]算法和本文算法对日常生活中的三组图片进行对比实验,如图 6 所示。

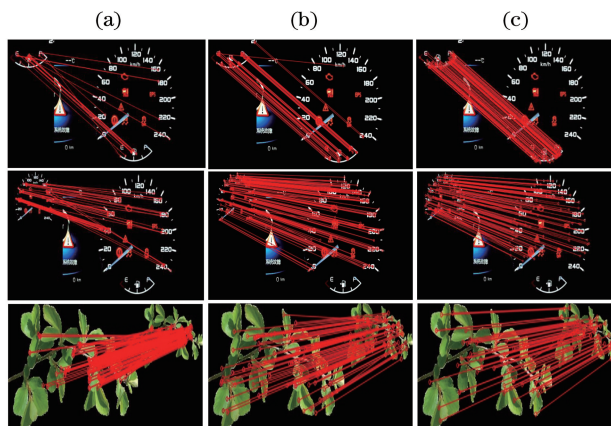


图 6 尺度变化条件下图像匹配效果。(a) ORB 算法;(b)文献[13]算法;(c)本文算法

Fig. 6 Image matching effect under different scales. (a) ORB algorithm; (b) algorithm in Ref. [13]; (c) proposed algorithm

通过图 6 可以看出,ORB 算法在具有尺度变化的图像匹配过程中存在较多误匹配点,而本文算法和文献[13]算法都获得了较多的稳定的匹配点。在不同的尺度变换情况下,本文算法表现出了很好的稳健性,且匹配过程中几乎没有出现误匹配点。

### 3.3 实验结果的定量分析

为了更好地阅读各个算法的差别,引入误匹配率  $R$  和总匹配时间  $T$  两个参数对匹配结果进行量化分析,其中第一个参数反映的是图像匹配结果的稳健性,后一个参数反映的是匹配过程中的

实时性。选用标准图库中具有光照变化和旋转角度变化的 30 对测试图片进行对比实验。为实现各个参数的可视化,分别从光照和旋转角度变化的测试图片中随机选择 3 组图片进行数据采集和参数对比。

表 1 和表 2 分别展示在不同光照强度和旋转角度条件下对应的各种匹配算法的实验数据。从匹配时间角度来看:改进后的 RANSAC 算法在两种条件下的平均匹配时间为 0.27 s;本文优化算法的平均匹配时间为 0.42 s,较文献[13]方法的平均匹配速度提高了 23 倍,和 CORB 算法的匹配时间基本持平,略高于 ORB 算法的平均匹配时间,保持了

ORB 算法简单快速的特点。相对于改进的 RANSAC 算法采用灰度图像进行特征点提取来说,本文方法中颜色不变量的引入加大了算法的复杂度,降低了程序的运行效率。从匹配精度角度来看:基于 RANSAC 提纯算法得到的特征匹配中存在很多的误匹配;使用了改进的 RANSAC 提纯算法后,平均匹配精度从 69.5% 提高到 86.4%,但依然存在较多误匹配点;经过本文算法提纯后,匹配精度达到 94.3%,比 CORB 提高 4.5%,较文献[13]方法提高 2.13%。相比于其他四种匹配算法,本文算法在匹配精度和实时性上取得了良好的平衡,为后续图像匹配的应用提供了保证。

表 1 光照变化条件下各算法误匹配率的比较

Table 1 Comparison of mis-matching rates of each algorithm under different illuminations

Data	ORB+RANSAC		ORB+optimized RANSAC		CORB		Algorithm in Ref. [13]		Proposed method	
	T /s	R /%	T /s	R /%	T /s	R /%	T /s	R /%	T /s	R /%
Data 1	0.41	11.42	0.32	5.56	0.46	8.56	10.52	4.21	0.45	4.15
Data 2	0.43	21.58	0.31	11.53	0.47	11.73	10.49	11.38	0.44	8.65
Data 3	0.42	58.40	0.34	22.86	0.47	18.86	10.53	14.07	0.45	10.38

表 2 旋转角度变化条件下各算法误匹配率的比较

Table 2 Comparison of mis-matching rates of each algorithm under different rotating angles

Data	ORB+RANSAC		ORB+optimized RANSAC		CORB		Algorithm in Ref. [13]		Proposed method	
	T /s	R /%	T /s	R /%	T /s	R /%	T /s	R /%	T /s	R /%
Data 1	0.41	11.52	0.28	3.16	0.46	8.36	10.49	6.58	0.44	2.50
Data 2	0.32	21.35	0.19	18.74	0.35	4.95	9.46	4.21	0.34	3.48
Data 3	0.34	58.79	0.19	10.86	0.39	8.70	9.68	5.68	0.36	5.31

## 4 结 论

图像匹配是图像处理领域研究的热点。针对原始匹配算法在复杂环境中存在时间复杂度高和匹配精度不够等问题,提出一种新的图像匹配算法,该算法融合了彩色空间模型与 ORB 特征点检测。选取彩色空间模型提取图像的颜色不变量,既能提高彩色信息对物体的识别效应,又可以提高彩色图像的匹配精度。与传统匹配算法相比,在图像匹配阶段,使用  $K$  近邻算法对图像进行范围缩小,再使用评价函数和 RANSAC 算法对图像进一步提纯,大幅度降低了图像的匹配时间。实验结果证明,本文算法在复杂环境下的平均匹配精度为 94.3%,单幅图像的平均匹配时间为 0.42 s,验证了本文算法的可行性和实时性。

## 参 考 文 献

[1] Chen S, Wu C D, Yu X S, *et al.* Fast scene

recognition based on saliency region and SURF[C]. International Conference on Intelligent Control and Information Processing, IEEE, 2011: 863-866.

[2] Abiantun R, Prabhu U, Savvides M. Sparse feature extraction for pose-tolerant face recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2014, 36(10): 2061-2073.

[3] Liu R, Wang D J, Jia P, *et al.* Point target detection based on omnidirectional morphology filtering and local characteristic criterion[J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(11): 1104001.

刘让, 王德江, 贾平, 等. 基于全方位形态学滤波和局部特征准则的点目标检测[J]. 光学学报, 2017, 37(11): 1104001.

[4] He F Y, Zhao W. Image registration of synthetic aperture radar including body of water [J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(9): 0928001.

贺飞跃, 赵伟. 含水体的合成孔径雷达图像配准[J]. 光学学报, 2017, 37(9): 0928001.

[5] Lowe D G. Distinctive image features from scale-

- invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [6] Bay H, Ess A, Tuytelaars T, *et al.* Speeded-up robust features [J]. Computer Vision & Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [7] Rublee E, Rabaud V, Konolige K, *et al.* ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF [C]. IEEE International Conference on Computer Vision, 2011: 2564-2571.
- [8] Huang L, Chen C, Shen H, *et al.* Adaptive registration algorithm of color images based on SURF [J]. Measurement, 2015, 66:118-124.
- [9] Jing J F, Xie J, Li P F. Application of SURB combined with random sample consensus algorithm in shoe uppers matching [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2018, 55(1): 011005.  
景军锋, 谢佳, 李鹏飞. 基于 SURB 结合随机抽样一致算法在鞋面匹配中的应用 [J]. 激光与光电子学进展, 2018, 55(1): 011005.
- [10] Zhou K T, Zheng L X. Multi-attitude face recognition based on improved ORB feature [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2015, 27(2): 287-295.  
周凯汀, 郑力新. 基于改进 ORB 特征的多姿态人脸识别 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(2): 287-295.
- [11] Liu W, Zhao W J, Li D J, *et al.* Feature points matching algorithm based on ORB detection [J]. Laser and Infrared, 2015, 45(11): 1380-1384.  
刘威, 赵文杰, 李德军, 等. 一种基于 ORB 检测的特征点匹配算法 [J]. 激光与红外, 2015, 45(11): 1380-1384.
- [12] Xing K S, Ling Y Z, Chen M Y. Mismatching points elimination algorithm for ORB feature matching [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30(8): 1255-1262.  
邢凯盛, 凌有铸, 陈孟元. ORB 特征匹配的误匹配点剔除算法研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8): 1255-1262.
- [13] Wu P C, Wang Z Y, Liu T. Color SIFT matching algorithm under changing complex illumination [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2011 (5): 100-104.  
吴攀超, 王宗义, 刘涛. 复杂光照变化条件下的彩色 SIFT 匹配算法 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2011(5): 100-104.
- [14] van de Sande K E A, Gevers T, Snoek C. Evaluation of color descriptors for object and scene recognition [C]. IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2008: 1-8.
- [15] Xu M, Lu J. Distributed RANSAC for the robust estimation of three-dimensional reconstruction [J]. IET Computer Vision, 2012, 6(4): 324-333.
- [16] Hossein-Nejad Z, Nasri M. An adaptive image registration method based on SIFT features and RANSAC transform [J]. Computers & Electrical Engineering, 2017, 62: 524-537.