

一种融合光照和彩色信息的图像匹配算法

张庆鹏, 曹宇*

哈尔滨理工大学自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150080

摘要 针对传统 SIFT 算法很难兼顾匹配实时性与匹配准确率这一矛盾, 提出一种融合彩色信息表征与光照补偿的 Harris-SIFT 算法。该算法在图像灰度化之前计算彩色信息补偿, 并通过高斯权重函数得出光照补偿量, 增强图像对比度, 进而提高系统的匹配准确率。通过 Harris 角点检测算法与 SIFT 算法融合提高系统的快速性并剔除表征不好的特征点, 改善系统的实时性。实验结果表明匹配算法在匹配准确率提高的同时, 还提高了算法的实时性。

关键词 图像处理; 光照补偿; 色彩补偿; Harris-SIFT; 图像匹配

中图分类号 TP391.4

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP56.191004

Image Matching Algorithm Based on Exposure and Color Information

Zhang Qingpeng, Cao Yu*

School of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang 150080, China

Abstract This study proposes a Harris-SIFT algorithm that combines the color information representation and illumination compensation to resolve the contradiction between matching real time and matching accuracy of the traditional SIFT algorithm. The algorithm calculates the color information compensation before the image is grayed. By using the Gaussian weight function, the illumination compensation amount is obtained, the image contrast is enhanced, and the matching accuracy is improved. The Harris corner detection and SIFT algorithms are combined to improve the system rapidity and eliminate badly characterized feature points, improving the real-time system performance. Further, the experimental results denote that the proposed matching algorithm improves the real-time performance of the algorithm while improving the matching accuracy.

Key words image processing; exposure compensation; color compensation; Harris-SIFT; image matching

OCIS codes 100.3008; 100.3010; 150.0155

1 引言

图像匹配算法的好坏直接影响机器视觉的识别结果, 广泛地应用于医学影像、计算机视觉、视觉导航、模式识别、图像拼接等领域^[1]。传统的 SIFT 算法等大多是在灰度化图像上进行匹配操作, 因此可能会损失图像的颜色信息。光照变化对图像匹配影响较大, 在相同场景拍摄的图片会因为光照变化而使图像中颜色直方图对应的像素点不同, 导致左视图与右视图误检和漏检特征点现象, 使后续图像匹配的难度大大增加^[2]。Lowe^[3-4]提出的 SIFT (scale-invariant feature transform, SIFT) 算法具有性能良好的局部特

征, 在图像匹配中被广泛应用。但是 SIFT 算法只能在灰度图像上进行匹配, 不考虑图像的颜色信息, 而且其计算量大、采集的特征点多、实时性较差, 因此在实时性要求较高的系统中无法使用。Harris 等^[5]提出的 Harris 算法是一种角点检测算法, 该算法计算简单、稳定, 且不受光照、旋转、噪声等影响, 具有良好的检测效果。将 Harris 算法与 SIFT 算法结合是目前一种较为理想的方案。

文献^[6]提出一种能够融合彩色和光照的 SIFT 算法, 该算法相比 SIFT 算法准确性大大提高, 提高了匹配精确度, 但由于提取出更多的特征点, 使提取匹配时间较长, 实时性较低。而许佳佳^[7]提出一种

收稿日期: 2019-04-04; 修回日期: 2019-04-11; 录用日期: 2019-04-19

基金项目: 黑龙江省普通本科高校青年创新人才培养计划项目 (UNPYSCT-2015045)

* E-mail: cyhit@163.com

多尺度的 Harris-SIFT 算法,该算法将 Harris 算法进行改进,在保持配准精度的同时,能够大大减少配准时间。侯小红等^[8]提出一种基于 Harris-SIFT 的 LBP(Local Binary Pattern)人脸表情识别算法,具有较好的识别效果。胡海燕等^[9]提出用于卫星三线阵的 Harris-SIFT 图像匹配算法,极大提高了系统实时性。目前 Harris-SIFT 有 2 种融合方法,第 1 种是将 Harris 算法提升为多尺度,能够在准确率基本不变的情况下极大提高系统的实时性,第 2 种则将 SIFT 算法降为单尺度,虽然实时性增强,但会小幅降低系统的匹配准确率^[10-12]。

因此,本文提出一种能融合光照和色彩信息的 Harris-SIFT 算法,首先在灰度化之前计算光照和彩色补偿量,然后迅速提取图像中的角点,角点作为特征点,采用 SIFT 算法对特征点进行匹配,最后通过特征点特征向量的欧氏距离判定指定图像中特征点的相似性,并采用投票策略对匹配点提纯,实现指定图像的特征点匹配^[13-14]。该方法能较好地保留彩色图像中彩色之间的差异性,同时兼顾匹配算法的准确率与实时性。

2 融合光照和彩色信息补偿量算法

2.1 彩色补偿量的提取

文献^[15]提出一种彩色补偿量的方法,很多彩色空间都可以通过 2 个颜色分量与 1 个亮度分量代表所有颜色,如 CIELUV、CIELAB、YIQ、 $Y_C B_C R_C$ 等。CIELAB 与 GIELUV 由 1931 年制定的 CIE XYZ 颜色空间基础上建立,其中字母 L 在 CIELAB 与 GIELUV 中代表亮度, A 、 B 、 U 和 V 都代表色度, U 与 A 、 V 与 B 相似。YIQ 和 $Y_C B_C R_C$ 是由 RGB 颜色空间直接线性变换得到,其中字母 Y 在 YIQ 与 $Y_C B_C R_C$ 中代表亮度, I 、 Q 分别代表橙色到蓝色的变化程度、紫色到绿色的变化程度, C_B 、 C_R 分别表示颜色蓝色、红色分量与参考值之差。为使彩色补偿量能准确表示颜色变化特性,同时对灰度图增加对比度,这里使用 YIQ 彩色空间代表颜色。

RGB 颜色空间和 YIQ 彩色空间的变换关系为

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.253 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中, R 表示红色分量, G 表示绿色分量, B 表示蓝色分量, Y 分量代表亮度, I 代表色度信号, Q 代表饱和度信号。在原始灰度值的基础上增加彩色补偿量得到灰度值 P ,即

$$P = Y + Y_C, \quad (2)$$

式中, Y_C 为彩色补偿量,用来调整灰度值和反映彩色图像的颜色特征。为保证灰度的连续性和彩色图像的颜色特性,彩色补偿量的提取方式为

$$Y_C = k \cdot \text{sgn}(200 \times I) \cdot |200 \times I|^{\alpha} + k \cdot \text{sgn}(50 \times Q) \cdot |50 \times Q|^{\alpha}, \quad (3)$$

式中: k 为对比参数,取值范围为 $[1, 4]$,本文取值为 2; α 是范围参数,取值范围为 $[0.4, 0.6]$,本文取值为 0.5。由(3)式可知 Y_C 是 I 和 Q 的比例函数,它会将颜色变化转换成亮度变化,是非线性变换过程。在 YIQ 彩色空间中, I 分量的数值大小表征彩色图像中蓝色分量和橙色分量的分布, I 以 0 为分界点,当 $I > 0$ 时代表彩色图像的橙色分量多于蓝色;当 $I < 0$ 时则颜色分量正好相反;当 $I = 0$ 时表示两种颜色分量相等,通过计算得出图片所提取的彩色补偿量,主要是从蓝色到橙色的变化反映亮度变化特征。

2.2 光照补偿量的提取

当前方法大都采用高斯权重函数调整图像光照强度,因此为保持更多的图像细节和增加对比度,采用的光照补偿量的提取方程式^[16]为

$$Y_E = \lambda \times P \times \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

式中: Y_E 为原始灰度值 Y 进行调整而得到的灰度值; λ 为对比参数,取值范围为 $[1, 3]$,本文取值 1.5; P 是初步得到的灰度值; Y 是原始灰度值; σ 是标准差,取值 0.2。

最终的灰度值 W 由原始灰度值、彩色补偿量和光照补偿量 3 部分组成,即

$$W = Y + Y_C + Y_E. \quad (5)$$

补偿前后的对比图片如图 1 所示,可见原图片经过补偿后的图片细节处效果更好,图像更为清晰。

3 图像快速匹配算法

3.1 特征点提取

首先采用 Harris 算法提取角点,然后对角点的质量进行检查。1)判断其是否为边缘点,2)判断角点所包含的信息是否正确,3)对较差的角点去除,4)对保留下来的特征点进行特征描述来建立特征向量并匹配。

首先,对两幅图像提取角点,公式为

$$\mathbf{H}(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

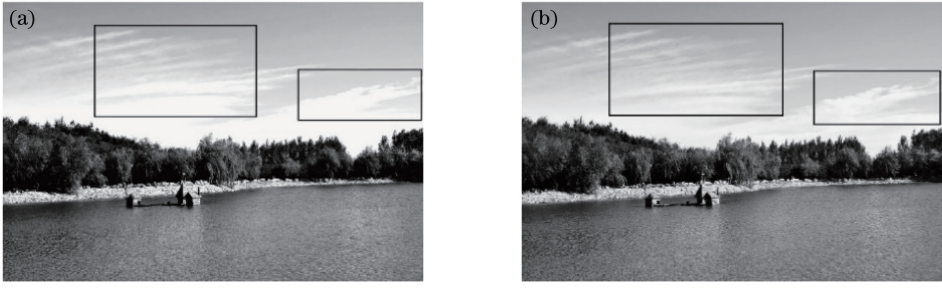


图1 灰度图对比。(a)原始灰度图;(b)经过算法补偿后的灰度图

Fig. 1 Grayscale contrast. (a) Original grayscale image; (b) grayscale image after algorithm compensation

式中, $\mathbf{H}(x, y)$ 为黑塞矩阵, f 为 $f(x, y)$ 函数。通过计算图像中每一个像素点的二阶导数, 形成一个 Hessian 矩阵。

$$\mathbf{M}(x, y) = \text{Det}[\mathbf{H}(x, y)] - k \times \{\text{Tr}[\mathbf{H}(x, y)]\}^2, \quad (7)$$

式中, $\text{Tr}(\mathbf{H})$ 为矩阵 \mathbf{H} 的迹, $\text{Det} \mathbf{H}$ 为矩阵 \mathbf{H} 的行列式值, $k = 0.04$, 函数的局部极大值点即为角点, $\mathbf{M}(x, y)$ 为函数的局部极大值矩阵。

然后去除边缘点, 可表示为

$$\frac{\text{Tr}[\mathbf{H}(x, y)]^2}{\text{Det}[\mathbf{H}(x, y)]^2} < \frac{(r+1)^2}{r}, \quad (8)$$

式中, r 为主曲率域值。令 $r = 10$, 对不满足(8)式的点, 判断为边缘点, 进行去除。

最后, 将图像中所含信息较低的角点删除, 图像携带信息量的多少与图像熵值的大小成正比, 具有较大熵值的角点相比具有较小熵值的角点拥有更高的匹配准确率, 去掉熵值低的角点, 可以大大减少一些不必要的操作, 从而提高算法的性能, 所用公式为

$$p_{i,j} = f(i, j) / N^2, \quad (9)$$

$$H_f = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p_{i,j} (1 - p_{i,j}), \quad (10)$$

式中, $p_{i,j}$ 为某像素位置上的灰度值与其周围像素的灰度分布的综合特征, $f(i, j)$ 为特征二元组 (i, j) 出现的频数, N 为图像的尺度, H_f 为图像二维熵, m, i, j 分别为像素的灰度值。

对图像 I_1 和图像 I_2 初步检测出所有特征点, 采用(10)式在以特征点为中心的 $m \times m$ 邻域内迅速计算图像块的局部熵值, 并将图像 I_1 和 I_2 中所有达到设定熵值的特征点进行去除。

3.2 SIFT 特征点匹配

Harris 算法所提取的角点仅仅能获得位置信息, 而采用 SIFT 算法进行匹配时需要 3 方面信息, 即尺度信息、位置信息和方向信息。

要获得特征点的方向信息, 首先要计算出图像

像素点的所有梯度方向和模值, 其计算公式为

$$m(x, y) = \{[L(x+1, y) - L(x, y-1)]^2 +$$

$$[L(x, y+1) - L(x, y-1)]^2\}^{\frac{1}{2}}, \quad (11)$$

$$q(x, y) = \arctan\{[L(x, y+1) - L(x, y-1)] / [L(x+1, y) - L(x-1, y)]\}. \quad (12)$$

根据 3σ 的采样原则, 梯度模使用 1.5σ 的高斯分布加权, 将邻域窗口半径设置为 $3 \times 1.5\sigma$, 并通过梯度直方图统计邻域范围以内的梯度方向。

3.2.1 特征点的描述

由以上步骤可计算出特征点的位置和方向信息, 从而生成需要的特征描述子。在关键的特征点邻域划分一个 4×4 的子区域, 并将该子区域的中心点作为一个种子点, 每一个种子点都拥有 8 个不同的方向, 对该种子点取第 1 组的第 1 层, 即可生成 128 维的特征描述符。

3.2.2 特征点匹配

特征点的匹配采用特征向量的欧氏距离作为判断, 利用欧氏距离判定两个特征向量间的相似性, 计算公式为

$$D = \| \mathbf{l}_m - \mathbf{l}_n \|, \quad (13)$$

式中, $\mathbf{l}_m, \mathbf{l}_n$ 分别为图像 1 的匹配特征向量和图像 2 的待匹配特征向量, D 为距离函数, 它的值越小代表匹配向量的相似度越高。取一幅图像中的特征点与另一幅图像中的特征点中欧氏距离最近的前两个特征点, 也就是取 D 值中最小的两个点, 两个特征点分别用最近的距离除以次近的距离, 如果比值低于设定的比例阈值, 则接受该对匹配点。比例阈值的大小与特征点匹配点的数量成正比, 也就是说, 阈值越小, 匹配点的数量越少, 这里比例阈值设定为 0.50。最后采用投票策略^[17]提纯匹配点。算法流程如图 2 所示。

4 实验及分析

为验证融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法

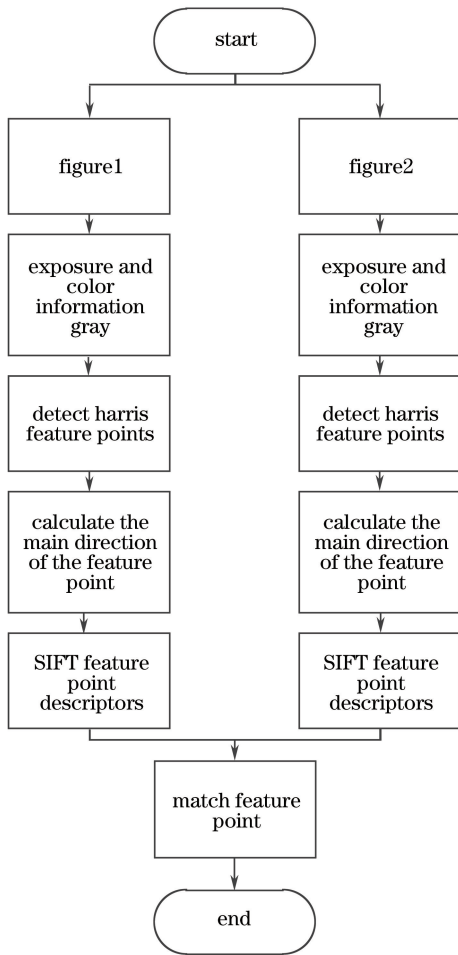


图2 算法流程图

Fig. 2 Algorithmic framework

相比 Harris-SIFT 算法在匹配准确率上的优势,选取不同的图片进行配准实验。实验采用 Intel Core i7-6700, 2.6 GHz CPU, 8 G RAM 的计算机, Windows 10 64 位操作系统, Matlab 2018b 软件实现本算法, 实验所用的图像均为实拍图像, 其中图 3(a)(b) 为手持单反相机拍摄的书籍图片, 大小为 $1080 \text{ pixel} \times 1920 \text{ pixel}$, 图 3(c)(d) 为手机拍摄教学楼前广场的图片, 大小为 $960 \text{ pixel} \times 1280 \text{ pixel}$, 图 3(e)(f) 为手机拍摄风景建筑照片, 大小为 $960 \text{ pixel} \times 1280 \text{ pixel}$ 。

首先, 通过实验比较融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法在特征点检测时间与单一 Harris-SIFT 算法实时性的变化。对融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法及 Harris-SIFT 算法进行特征点检测对比实验, 将两种方法对图 3 的 3 组图片的检测时间进行统计, 结果如表 1 所示。表 1 结果表明, 采用融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法进行特征检测时没有改变系统的实时性, 甚至由于优化小幅度减少了匹配所需时间。在图 3 的 3 组测试图像中, 融合



图3 实验测试图片。(a)(b)书籍匹配图片;
(c)(d)不同角度广场图片;(e)(f)不同角度风景建筑图片
Fig. 3 Experimental test images. (a)(b) Book matching images; (c)(d) square images with different angles; (e)(f) scenery building images with different angles

光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法特征检测时间比只含有 Harris-SIFT 算法用时最少减少了 8.05%, 最多减少了 14.70%。这是因为单角度 SIFT 需要计算的像素量减少, 在特征点提取与匹配上节约了计算时间。此外, 通过比较两种方法在相同图像中提取的特征点分布, 可以看到: 融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法虽然提取出更多的特征点, 但是也提取出一些特征表现较差的点, 导致在匹配环节增加了计算量, 从而影响了系统的实时性。

表 2 和表 3 分别为本文算法与 Harris-SIFT 算法匹配正确率和总时间, 融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法与 Harris-SIFT 算法的匹配结果如图 4 和图 5 所示。

由实验结果可见, 融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法成功解决了实时性与匹配准确率这一互相矛盾的问题。

1) 比较 Harris-SIFT 算法, 融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法由于匹配前先采用 Harris 算法检测出角点, 同时去除一些特征表现不好的点, 从而为后边 SIFT 算法减少匹配阶段的计算量, 进

表1 两种算法特征点检测时间统计

Table 1 Statistic of feature point detection time of two algorithms

Figure	Number of feature points		Time of feature points detection /s	
	Harris-SIFT	Proposed algorithm	Harris-SIFT	Proposed algorithm
Fig.3 (a)	643	987	3.31	2.94
Fig.3 (c)	315	526	1.49	1.37
Fig.3 (e)	884	1245	3.47	2.96

表2 本文方法的准确率和所用时间

Table 2 Accuracy and cost time of the proposed algorithm

Figure	Number of feature points	Number of matches	Number of correct matches	Percent of correct matches /%	Total time /s
Fig.3 (a)	987	232	214	92.24	4.53
Fig.3 (b)	1186				
Fig.3 (c)	526	103	92	89.32	1.56
Fig.3 (d)	476				
Fig.3 (e)	1245	146	129	88.36	4.09
Fig.3 (f)	1023				

表3 Accuracy and cost time of Harris-SIFT algorithm

Table 3 Harris-SIFT 算法的准确率和所用时间

Figure	Number of feature points	Number of matches	Number of correct matches	Percent of correct matches /%	Total time /s
Fig.3 (a)	643	192	167	86.97	4.99
Fig.3 (b)	746				
Fig.3 (c)	315	117	98	83.76	1.72
Fig.3 (d)	376				
Fig.3 (e)	884	279	239	85.66	4.39
Fig.3 (f)	832				

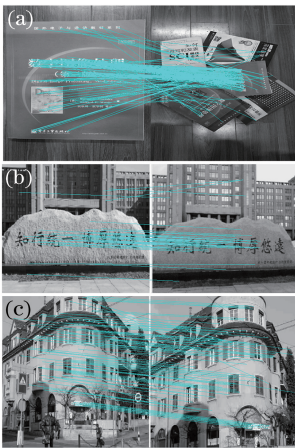


图4 融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法匹配结果。(a)图3中(a)(b)匹配;(b)图3中(c)(d)匹配;(c)图3中(e)(f)匹配

Fig. 4 Image matching results of Harris-SIFT algorithm with exposure and color information. (a) Matching of Figs. 3 (a) and (b); (b) matching of Figs. 3 (c) and (d); (c) matching of Figs. 3 (e) and (f)

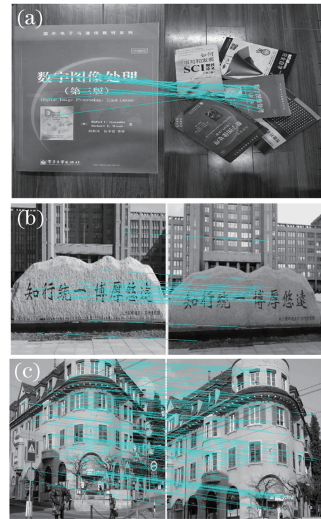


图5 Harris-SIFT 算法匹配结果。(a)图3中(a)(b)匹配;(b)图3中(c)(d)匹配;(c)图3中(e)(f)匹配

Fig. 5 Image matching results for Harris-SIFT algorithm. (a) Matching of Figs. 3 (a) and (b); (b) matching of Figs. 3 (c) and (d); (c) matching of Figs. 3 (e) and (f)

而提高系统的实时性。所以虽然增加了补偿量的计算,但并没有让系统的实时性变差,而且略有提升。

2) 融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法,由于在灰度化之前增加了彩色和光照补偿量,解决了灰度化之后对原图像彩色信息表征不明显的问题,能够充分反映原彩色图像的结构,使得特征集合性较为显著,提高了正确匹配率。

5 结 论

针对传统的 Harris-SIFT 图像匹配算法灰度化之后不能很好地表征原彩色图像信息,提出一种融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 图像快速匹配方法。该方法首先在灰度化过程中加入彩色补偿量和光照补偿量,然后采用改进的 Harris-SIFT 算法进行特征点匹配,最后对 3 组图像进行特征点匹配实验,结果表明相较于之前的 Harris-SIFT 算法,融合光照和彩色信息的 Harris-SIFT 算法在不影响实时性的情况下,准确率要优于传统的 Harris-SIFT 图像匹配算法。

参 考 文 献

- [1] Yan L, Wang R, Liu H, *et al.* Stereo matching method based on improved cost computation and adaptive guided filter[J]. *Acta Optica Sinica*, 2018, 38(11): 1115007.
闫利, 王芮, 刘华, 等. 基于改进代价计算和自适应引导滤波的立体匹配[J]. *光学学报*, 2018, 38(11): 1115007.
- [2] Shan B H, Huo X Y, Liu Y. A stereovision measurement method using epipolar constraint to correct digital image correlation matching [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2017, 44(8): 0804003.
单宝华, 霍晓洋, 刘洋. 一种极线约束修正数字图像相关匹配的立体视觉测量方法[J]. *中国激光*, 2017, 44(8): 0804003.
- [3] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110.
- [4] Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]//*Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, September 20-27, 1999, Kerkyra, Greece. New York: IEEE, 1999, 2: 6365386.
- [5] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [C]//*Proceedings of the Alvey Vision Conference 1988*, September, August 31-September

2, 1988, Manchester, UK. [S. l.: s. n.], 1988: 147-151.

- [6] Zhao Y, Zhai Y W, Dubois E, *et al.* Image matching algorithm based on SIFT using color and exposure information[J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2016, 27(3): 691-699.
- [7] Xu J J. Fast image registration method based on Harris and SIFT algorithm [J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(4): 574-581.
许佳佳. 结合 Harris 与 SIFT 算子的图像快速配准算法[J]. *中国光学*, 2015, 8(4): 574-581.
- [8] Hou X H, Guo M. LBP algorithm for facial expression recognition based on Harris-SIFT feature point detection[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2017, 47(2): 209-214.
侯小红, 郭敏. 一种基于 Harris-SIFT 特征点检测的 LBP 人脸表情识别算法[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(2): 209-214.
- [9] Hu H Y, Zhao X A, Hou L L, *et al.* ZY-3 three-line image-matching based on improved Harris-SIFT algorithm[J]. *Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture*, 2015, 31(4): 51-57.
胡海燕, 赵西安, 侯莉莉, 等. 基于改进 Harris-SIFT 的 ZY-3 卫星三线阵影像匹配[J]. *北京建筑大学学报*, 2015, 31(4): 51-57.
- [10] Shang M S, Wang K C. Advanced image registration method based on Harris and SIFT algorithm [J]. *Microelectronics & Computer*, 2018, 35(6): 132-134, 140.
尚明珠, 王克朝. 一种改进的 Harris 与 SIFT 算子结合的图像配准算法[J]. *微电子学与计算机*, 2018, 35(6): 132-134, 140.
- [11] Zhao Q J, Zhao D B, Wei H. Harris-SIFT algorithm and its application in binocular stereo vision [J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2010, 39(4): 546-550.
赵钦君, 赵东标, 韦虎. Harris-SIFT 算法及其在双目立体视觉中的应用[J]. *电子科技大学学报*, 2010, 39(4): 546-550.
- [12] Zhang X, Jin Y X, Xue D. Image matching algorithm based on SICA-SIFT and particle swarm optimization [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2017, 54(9): 091002.
张鑫, 靳雁霞, 薛丹. SICA-SIFT 和粒子群优化的图像匹配算法[J]. *激光与光电子学进展*, 2017, 54(9): 091002.
- [13] Yu Z J, Wang S B. Improved PCA-SIFT algorithm for matching stereo system [J]. *Laser &*

- Optoelectronics Progress, 2016, 53(3): 031501.
于之靖, 王韶彬. 改进 PCA-SIFT 算法的立体匹配系统[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(3): 031501.
- [14] Zhao L R, Zhu W, Cao Y G, *et al.* Application of improved SURF algorithm to feature matching [J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(12): 3263-3271.
赵立荣, 朱玮, 曹永刚, 等. 改进的加速鲁棒特征算法在特征匹配中的应用[J]. 光学精密工程, 2013, 21(12): 3263-3271.
- [15] Lee T H. Converting color images to grayscale images by reducing dimensions [J]. Optical Engineering, 2010, 49(5): 057006.
- [16] Zha Z S, Tian Q J, Wang J Z, *et al.* Image match using distribution of colorful SIFT [C]//2010 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, July 11-14, 2010, Qingdao, China. New York: IEEE, 2010: 150-153.
- [17] Wang Y, Ding M M. Entropy-based cylindrical panoramic image mosaicing algorithm and its robustness analysis [J]. Journal of Chinese Mini-Micro Computer Systems, 2007, 28(1): 148-150.
王琰, 丁明明. 基于熵的柱面全景图拼接算法及其鲁棒性分析[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(1): 148-150.