

基于单角区域特征的烟标图像配准方法

王凯彬, 李莹*, 李殷昊, 何自芬

昆明理工大学机电工程学院, 云南 昆明 650500

摘要 实时图像与标准图像高效配准是保证烟标质量检测效率的关键步骤之一。根据烟标的结构和印刷工艺, 提出了一种单角区域配准方法。所提单角区域配准法包括粗配准和精配准两步: 粗配准利用烟标的边界特征调整烟标在图像中的姿态和位置, 并去除图像中的冗余像素; 精配准利用单角区域中的特征点求出实时图像与标准图像之间的单应性矩阵, 然后利用单应性矩阵完成配准。实验结果表明, 所提单角区域配准方法在烟标图像的配准速度和效果上优于尺度不变特征变换、ORB 和 AKAZE 算法, 能满足烟标质量检测的实时性要求。

关键词 图像处理; 数字图像处理; 图像配准; 单角区域特征; 烟标

中图分类号 TP751 文献标志码 A

DOI: 10.3788/LOP212461

Cigarette Package Image Registration Method Based on Feature of Single-Angle Region

Wang Kaibin, Li Ying*, Li Yinhao, He Zifen

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, Yunnan, China

Abstract Efficient registration of real-time image and standard image is one of the key steps to ensure the efficiency of cigarette package quality inspection. According to the structure and printing process of cigarette package, a single-angle region registration method is proposed. The method is divided into two steps: rough registration and accurate registration. Rough registration uses the boundary features of cigarette labels to adjust the posture and position of cigarette labels in the image, and removes redundant pixels in the image. The accurate registration uses the homography matrix between the real-time image and the standard image to complete the registration. The experimental results show that the single-angle region registration algorithm is superior than scale invariant feature transformation, ORB, and AKAZE algorithms in registration speed and effect, and can meet the real-time requirements of cigarette package quality detection.

Key words image processing; digital image processing; image registration; feature of single-angle; cigarette package

1 引言

烟标的印刷涵盖了网印、胶印、柔印、凹印、烫金、压凹凸等工艺, 多种工艺的组合形成了烟标上各种精美的图案, 同样也使得烟标缺陷种类变得繁杂, 检测难度变大。烟标的印品检测系统分为在线检测和离线检测两种: 在线检测系统监测烟标印刷生产过程, 主要起到降低次品率的作用; 离线检测系统多用于检测成品烟标, 将废品次品剔除, 保证出厂产品的质量。烟标离线检测系统采用实时图像与标准模板图像对比的方式来检测烟标质量, 由于烟标在离线检测系统中高速运

动, 会出现旋转、平移、甚至漂浮的情况, 这会影响检测效果, 造成误检, 需要人工对“废品”进行二次筛选。因此, 提高烟标实时图像与模板图像配准效率是提高检测质量、降低误检率的重要一环。

尺度不变特征变换(SIFT)^[1]是图像配准中的代表性算法之一, 其配准过程包括确定特征点和匹配特征点两步。特征点包括关键点和描述子两部分, 关键点包含特征点在图像中的位置、尺度和方向等信息, 描述子描述特征点邻域内的局部特征。后期研究人员根据用途对 SIFT 算法进行了适应性的修改。Yu 等^[2]提出了 synthetic aperture radar(SAR)图像匹配算法, 该

收稿日期: 2021-09-07; 修回日期: 2021-11-04; 录用日期: 2021-12-13; 网络首发日期: 2021-12-23

基金项目: 国家自然科学基金(61761024)

通信作者: *7114091@qq.com

算法采用非线性多尺度空间构造策略及新的局部特征检测器和描述符,并结合 Harris-Laplace 技术和指数加权平均比进行特征检测,提高了匹配精度。Guo 等^[3]将提取的二次采样特征点与原始图像融合得到原始图像的特征点,提高了计算效率。王才东等^[4]针对大型工件视觉在线检测存在的技术难题,提出了一种基于双目视觉特征点匹配的图像拼接方法。赵明富等^[5]利用特征点匹配距离趋于一致性的特点,剔除了大部分非关联点。白亚茜等^[6]对 SIFT 算法在红外图像纹理特征不明显时提取的特征点数量大量减少的情况进行了改进。赵潇洒等^[7]采用余弦相似度、双向一致性选择和 m-estimate sample consensus (MSAC) 算法对特征点进行匹配,提高了特征点匹配正确率。李泽一等^[8]通过构建基于最大相位索引描述子的匹配方法,得到了一种具有辐射不变特性、纹理特性描述性强的描述算子,解决了光学影像和 SAR 影像辐射差异导致的局部相似性差异大、难以匹配的问题。丁国绅等^[9]用高光图像作为原始算法中经高斯变换产生的图像,使得检测到的具有实际意义的特征点数量大幅增加。

上述配准算法都不能针对烟标某一印刷工序印刷出的图案提取特征点,影响产品套印误差的检测。另外,计算量较大,无法满足烟标检测的实时性要求。针

对这些问题,本文提出了一种单角区域配准算法 (SRR)。所提算法包括粗配准和精配准两步:粗配准利用烟标的边界特征调整烟标在图像中的姿态和位置,并去除图像中的冗余像素;精配准利用单角区域中的特征点求出实时图像与标准图像之间的单应性矩阵,然后利用单应性矩阵完成配准。

2 基本原理

烟标的每一步印刷工序都会在烟标的表面印刷出相同的特征,但是不同工序印刷出的图案之间存在套印误差。在提取特征点时,SIFT 等经典特征点提取算子无法针对某一工序印刷出的图案提取特征点,如图 1(a)所示。虽然金色龙纹印制歪斜,但很多局部特征没有变,从这些局部特征提取的特征点在匹配时仍然被判定为正确的[图 1(b)],这会严重影响图像配准结果,如图 1(c)所示。SRR 提取的特征点来自相同工序印刷出的图案,这些特征点之间的相对位置是固定的,具有更强的参考性。SRR 算法的实现包括粗配准和精配准:粗配准利用烟标的边界特征调整烟标在图像中的角度和位置,并去除图像中的冗余像素;精配准利用单角区域中的特征点求出待配准图像与标准图像之间的单应性矩阵,然后利用单应性矩阵完成配准。

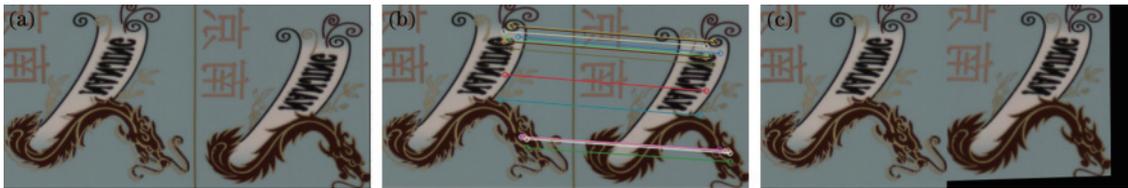


图 1 SIFT 配准。(a)原图;(b) SIFT 特征点匹配;(c)配准结果

Fig. 1 SIFT registration. (a) Original image; (b) SIFT feature point matching; (c) registration result

2.1 粗配准

2.1.1 图像预处理

将图像 I_0 由 RGB 图转化为灰度图,再将灰度图二值化,如图 2 所示。

2.1.2 烟标边缘点的提取

在图像上以间隔 f 获取列像素,然后对取到的行进行操作,以第 i 列为例,沿 x 轴的正方向遍历第 i 列中

像素的值(图像坐标系:图像的左上角为原点,垂直向下为 x 轴的正方向,水平向右为 y 轴的正方向),当出现第 1 个像素值突变时(由 0 变为 1,或者由 1 变为 0),记这个像素的 x 坐标为 j ,将 (j, i) 点作为烟标边缘候选点,重复这个操作直到获得所有行边界候选点。令行边界候选点集合为 C_0 , C_0 中元素在图中的位置如图 3 所示。



图 2 图像预处理。(a)原图;(b)灰度图;(c)二值图

Fig. 2 Image preprocessing. (a) Original image; (b) grayscale; (c) binary image

2.1.3 烟标边缘函数的拟合

利用随机采样一致性法 (RANSAC) 对集合 C_0 中的元素进行筛选,得到实际边缘点集合 C_1 ,然后进行最小二乘拟合获得烟标上边界函数 l_1 ,如图 4 所示。重复上述步骤得到左边界的函数 l_2 。

RANSAC 筛选边界点的具体步骤如下:

- 1) 设集合 C_0 中有 g 个元素,从 C_0 随机选择两个不相同的两个元素 p_1 和 p_2 ;
- 2) 求过 p_1 和 p_2 的直线 l ;
- 3) 计算 C_0 中剩余 $g-2$ 个边缘候选点到直线 l 的距离 d ,统计距离 d 小于阈值 v 的点的个数并记为 m ;
- 4) 重复步骤 1)、2) 和 3) k 次,当 m 取最大时,保留

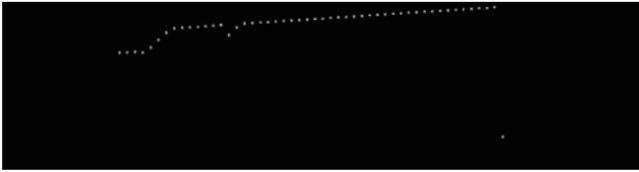


图 3 烟标上边界点

Fig. 3 Upper boundary point of cigarette package

所有距离 d 小于阈值 v 的边缘候选点作为实际边缘点,组成实际边缘点集合 C_1 ,如图 4(a)所示;

5) 采用最小二乘法拟合集合 C_1 中的点,得到烟标边界直线 l 。

参数 k 的确定:

$$k = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - \omega^n)}, \quad (1)$$

式中: k 为迭代次数; p 为迭代过程中从数据集内随机选取出的点均为局内点的概率; ω 为从数据集中选取的点为局内点的概率; n 为每次迭代时随机选出的点个数。

2.1.4 倾斜角度和边缘交点的计算

获得边界函数 l_1 和 l_2 后,利用 l_2 的斜率求解出烟标在图像中的倾斜角度 θ ,计算 l_1 和 l_2 的交点 p_0 。

2.1.5 图像的坐标变换

已知烟标的倾斜角 θ ,以此作为图像的旋转角度,围绕图像中心点旋转图像 I ,得到图像 I_1 ,此时烟标的

姿态变为水平状态,如图 5(a)所示。同理边缘线交点 p_0 也围绕图像中心旋转 θ 角度,得到旋转后的边缘线的交点 p_1 。旋转公式为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中: (x, y) 为图像 I_0 中的点坐标; (x_0, y_0) 为图像旋转变换的旋转中心; (x', y') 为 (x, y) 在图像 I_1 中对应点的坐标。

2.1.6 裁剪图像

除了统一烟标在图像中的姿态,还需要统一烟标在图像中的位置,所提算法通过裁剪的方式统一了烟标在图像中的位置,且去掉图像中多余的背景信息。裁剪图像之前需要计算出感兴趣区域(ROI)的参数,即烟标最小外接矩形的长和宽,分别记为 A 和 B 。首先将图像 I_1 二值化,从 p_1 开始,沿 x 的正方向获取图像整行像素并求此行像素的值之和,当搜索到第 x_i 行时,其行像素的值之和从非零变为零,则第 x_i 行为距离烟标边界最近的一行,外接矩形宽 B 为 $x_i - x_{p_1}$ 。同理沿 y 的正方向可以计算出 A 的值。利用 A 、 B 和 p_1 裁剪图像 I_1 ,裁剪后的图像 I_3 如图 5(b)所示。

在检测同种烟标时, A 和 B 的值只需要在制作模板时计算一次即可,在烟标实时图像粗配准时可直接使用 A 和 B 的值,不需要重复计算。

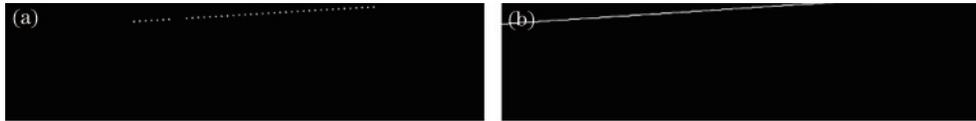


图 4 烟标上边缘。(a)边缘点;(b)边界直线

Fig. 4 Upper edge of cigarette package. (a) Edge point; (b) edge line



图 5 粗配准的结果。(a)旋转;(b)裁剪

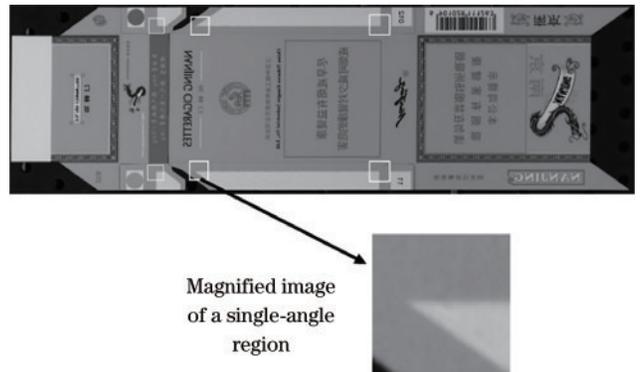
Fig. 5 Result of rough image registration. (a) Rotation; (b) cutting

2.2 精配准

完成粗配准操作后,还需要进行精配准。首先需要选定单角区域并利用单角检测法提取单角区域中角点的位置信息,然后根据实时烟标图像与标准烟标图像中特征区域的对应关系匹配角点,最后利用角点计算实时烟标图像和标准烟标图像之间的单应矩阵完成精配准。具体步骤如下:

1) 单角区域选择

单角区域是指在图像区域内仅含有一个角特征,且该角特征含有两条直线边界的区域。单角区域中的内容需要由相同且单一的印刷工序印制。图 6 白框中的 6 个单角区域的内容都属于底色凹印工序,不包含



Magnified image of a single-angle region

图 6 单角区域

Fig. 6 Single-angle region

其他工序。

2) 单角区域边界点提取

利用 Canny 算子提取单角区域图像的边界, 获得边界坐标点集合 C_2 , 如图 7 所示, 在集合 C_2 中存在着干扰点和两条角边上的点, 这些点在 C_2 中无序排列。

3) 边界点筛选和分离

①从 C_2 中随机选取两个不相同的点, 利用式(3)~

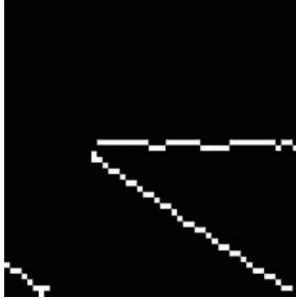


图 7 Canny 算子边缘提取结果

Fig. 7 Edge extraction results of Canny operator

(5) 求出穿过这两个点的直线 l , 计算 C_2 中的点到直线 l 的距离 d , 并统计这些点中 d 小于阈值 d_s 的点的个数 m , 重复这个操作 n 次, m 取最大时, 将所有与 l 距离小于 d_s 的点添加到点集合 C_3 , 得到角的一个边界点集合 C_3 , 如图 8(a) 所示;

②对点集合 C_2 与点集合 C_3 进行差运算得到集合点 C_4 , 如图 8(b) 所示;

③按照步骤①的方法从点集合 C_4 选出点集合 C_5 , 即角的另一个边界点集合 C_5 , 如图 8(c) 所示。

$$\sin \theta = \frac{y_1 - y_2}{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (3)$$

$$\cos \theta = \frac{x_1 - x_2}{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (4)$$

$$y \sin \theta - x \cos \theta - \rho = 0, \quad (5)$$

式中: θ 为直线与 x 轴正向的夹角; ρ 为直线到原点的距离。

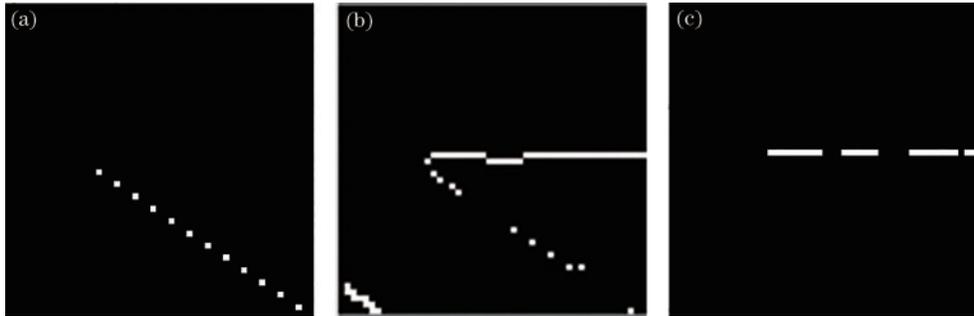


图 8 边界点筛选和分离的结果。(a) 边界点; (b) C_4 中的点; (c) 边界点;

Fig. 8 Results of boundary point screening and separation. (a) Boundary points; (b) points in C_4 ; (c) boundary points

4) 角点坐标计算

采用最小二乘法分别对点集合 C_3 和 C_5 中的点进行直线拟合, 得到边界直线 l_3 和 l_4 , 如图 9(a) 和 (b) 所示。求出直线 l_3 和 l_4 的交点 p , p 就是单角区域中的特征角点, 如图 9(c) 所示。

5) 仿射变换

按照上述步骤, 找出一组特征点 (至少 4 对特征角点), 通过最小二乘的方式计算出单应性矩阵 T :

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_1 x_1 & x'_1 y_1 & x'_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & y'_1 x_1 & y'_1 y_1 & y'_1 \\ & & & & & & \vdots & & \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_n x_n & x'_n y_n & x'_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & y'_n x_n & y'_n y_n & y'_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \\ k_4 \\ k_5 \\ k_6 \\ k_7 \\ k_8 \\ k_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$T = \begin{bmatrix} k_1 & k_2 & k_3 \\ k_4 & k_5 & k_6 \\ k_7 & k_8 & k_9 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

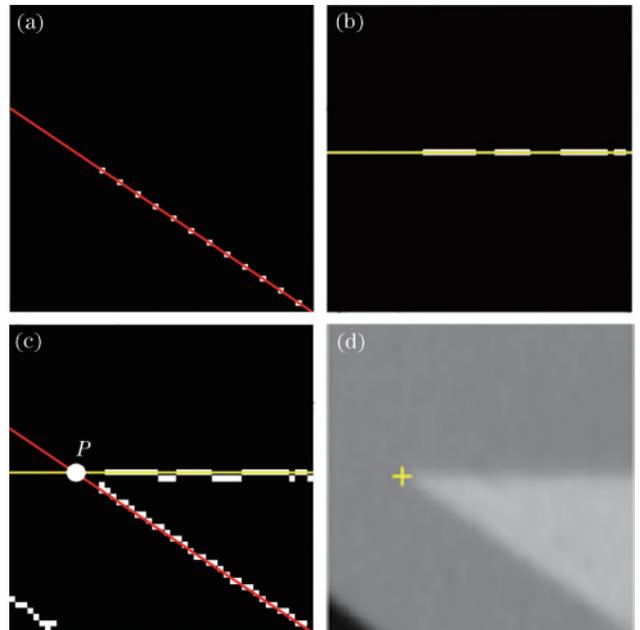


图 9 直线拟合的结果与角点位置。(a) (b) 直线 l_3 和 l_4 ; (c) l_3 和 l_4 的交点 p ; (d) 角点位置

Fig. 9 Result of line fitting and corner position. (a) (b) line l_3 and l_4 ; (c) intersection of l_3 and l_4 ; (d) position of corner

式中: k_h 为单应性矩阵的待定参数, 其中 $h=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$; (x_i, y_i) 为实时图像上的点, 其中 $i=1, 2, 3, \dots, n$; (x'_i, y'_i) 为实时图像经过仿射变换后 (x_i, y_i) 对应的点。最后对烟标实时图像进行坐标变换, 实现烟标实时图像与模板图像的配准:

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} k_1 & k_2 & k_3 \\ k_4 & k_5 & k_6 \\ k_7 & k_8 & k_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

3 实验与结果

为了检验所提方法的实用性, 利用印品质量检测机(DH-HSJP420)获取烟标图像, 然后在硬件配置为 Inter core i7-10750H(2.60 GHz)CPU、16 GB 内存及开发环境为 Matlab2018b 的笔记本计算机上对配准算法进行验证, 图 10 为工作中的图像采集设备。

3.1 粗配准稳定性

粗配准成功是精配准成功的基础和前提。使用

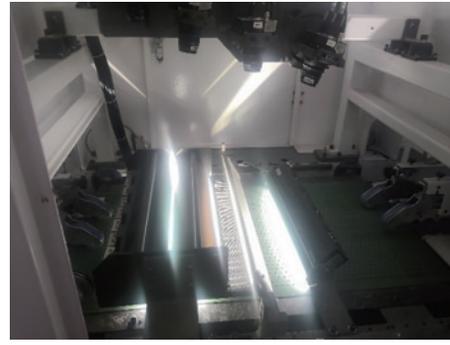


图 10 运行中的烟标图像采集设备

Fig. 10 Cigarette package image acquisition equipment in operation

3 种品牌的烟标进行粗配准稳定性实验, 炫赫门、黄果树和天下秀的图像各 100 张, 每种烟标图像中都包含 10 张存在遮挡、边界破损缺陷的干扰图像。实验结果表明, 所提方法的粗配准成功率为 100%, 具有很强的稳定性, 粗配准效果如图 11 所示。

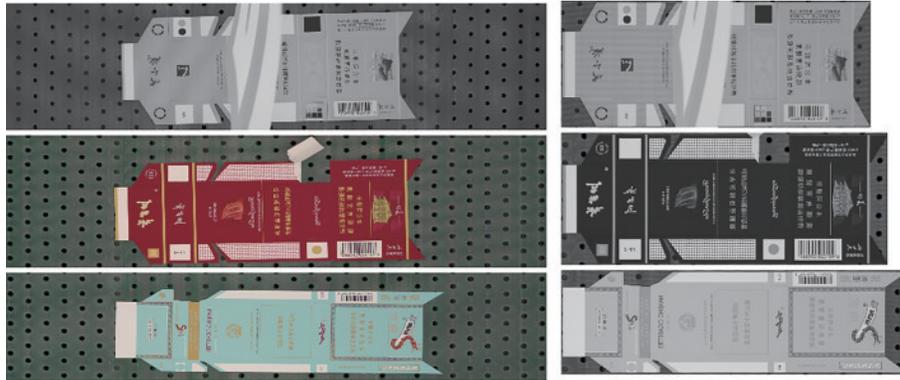


图 11 粗配准效果图

Fig. 11 Rough registration rendering

3.2 精配准稳定性

从 100 张烟标图像中截取 600 张单角区域作为检测数据, 再从检测数据中随机选出 96 张, 并对其中 10 张单角区域图像进行污损处理, 最后利用所提单角

检测方法和 Harris 算子检测单角区域图像中的角点, 检测结果如图 12 所示。检出的角点已用“+”在单角区域中标出。从图中可以看出, 所提单角检测方法相对于 Harris 具有更高的准确性和更强的抗干扰能力。

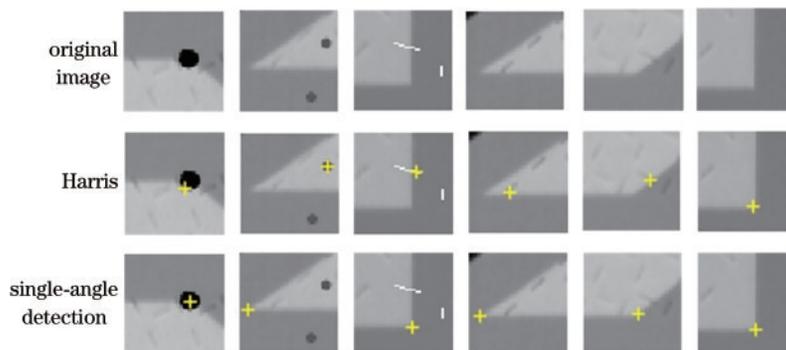


图 12 角点检测效果

Fig. 12 Corner detection effect

3.3 配准速度与效果

采用 SRR、SIFT、ORB^[10] 和 AKAZE^[11] 算法对 100

张实时图像与模板图像进行配准(在使用 SIFT、AKAZE 和 ORB 算法进行配准之前对图像进行了粗

配准),配准速度如表1所示。

为了方便观察配准效果,将配准后的实时图像灰度图与模板图像灰度图进行差影处理。配准效果如图13所示。

表1 配准速度
Table1 Registration speed

Algorithm	Running time /s	Speed / (frame·s ⁻¹)
SIFT(no rough registration)	124.79	0.801
SIFT	98.59	1.014
AKAZE	44.17	2.26
ORB	9.37	10.67
SRR	4.05	24.69

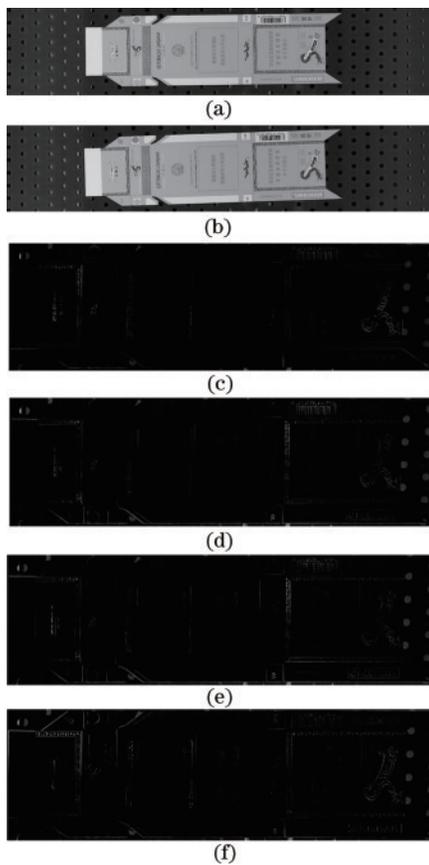


图13 原图和配准效果。(a)模板图像;(b)实时图像;(c)SRR;(d)SIFT;(e)AKAZE;(f)ORB

Fig.13 Original image and registration effect. (a) Template image; (b) real-time image; (c) SRR; (d) SIFT; (e) AKAZE; (f) ORB

4 结 论

单角检测方法与Harris角点检测算法相比具有更强的抗干扰能力。SRR去除了经典特征点提取算子中的多尺度特征点筛选、描述子构建和特征点匹配的步骤,配准速度是ORB配准算子的2倍,能够达到实时性需求。SRR利用属于相同印刷工序的单角区域

特征进行配准,特征点具有基准功能,配准效果优于SIFT、AKAZE和ORB算法。其缺点在于需要人工选取单角区域,无法实现单角区域的自动识别。因此,需要深入研究如何实现特征区域的自动选取及提高该方法配准精度和速度。

参 考 文 献

- [1] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [2] Yu Q Z, Zhou S, Jiang Y X, et al. High-performance SAR image matching using improved SIFT framework based on rolling guidance filter and ROEWA-powered feature[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2019, 12(3): 920-933.
- [3] Guo C, Jia F X, Tang W, et al. A fast method for image matching and registration based on SIFT algorithm and image pyramid[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1449(1): 012119.
- [4] 王才东, 刘丰阳, 李志航, 等. 基于双目视觉特征点匹配的图像拼接方法研究[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(12): 1211002.
Wang C D, Liu F Y, Li Z H, et al. Research on image mosaic method based on binocular vision feature point matching[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58(12): 1211002.
- [5] 赵明富, 陈海军, 宋涛, 等. 改进RANSAC-SIFT算法在图像匹配中的研究[J]. 激光杂志, 2018, 39(1): 114-118.
Zhao M F, Chen H J, Song T, et al. Research on image matching based on improved RANSAC-SIFT algorithm [J]. Laser Journal, 2018, 39(1): 114-118.
- [6] 白亚茜, 刘著平, 凌建国. 基于纹理特征的SIFT算法改进[J]. 红外技术, 2016, 38(8): 705-708.
Bai Y X, Liu Z P, Ling J G. Improved SIFT algorithm based on texture features[J]. Infrared Technology, 2016, 38(8): 705-708.
- [7] 赵潇洒, 陈西江, 班亚, 等. 融合改进SURF和Cell加速的幂函数加权图像拼接方法[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(24): 241018.
Zhao X S, Chen X J, Ban Y, et al. Power function-weighted image stitching method involving improved SURF and cell acceleration[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(24): 241018.
- [8] 李泽一, 赵薇薇, 喻夏琼, 等. 基于最大相位索引图的异源影像配准方法[J]. 中国激光, 2021, 48(15): 1509002.
Li Z Y, Zhao W W, Yu X Q, et al. Registration of heterologous images based on maximum phase index map [J]. Chinese Journal of Lasers, 2021, 48(15): 1509002.
- [9] 丁国坤, 乔延利, 易维宁, 等. 基于高光谱图像的改进SIFT特征提取与匹配[J]. 光学精密工程, 2020, 28(4): 954-962.
Ding G S, Qiao Y L, Yi W N, et al. Improved SIFT feature extraction and matching technology based on

- hyperspectral image[J]. Optics and Precision Engineering, 2020, 28(4): 954-962.
- [10] Rublee E, Rabaud V, Konolige K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF[C]//2011 International Conference on Computer Vision, November 6-13, 2011, Barcelona, Spain. New York: IEEE Press, 2011: 2564-2571.
- [11] Alcantarilla P, Nuevo J, Bartoli A. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces [C]//Proceedings of the British Machine Vision Conference 2013, September 9-13, 2013, Bristol, UK. London: British Machine Vision Association, 2013.