

引用格式:党宏社,吴晨刚,孙俊龙.基于改进的FREAK算法的机器人抓取系统[J].科学技术与工程,2019,19(28):184-188

Dang Hongshe, Wu Chengang, Sun Junlong. Robotic grabbing system based on improved FREAK algorithm[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(28): 184-188

自动化技术、计算机技术

基于改进的 FREAK 算法的机器人抓取系统

党宏社 吴晨刚 孙俊龙

(陕西科技大学电气与信息工程学院,西安 710021)

摘要 为了解决工业机器人对带有复杂纹理的平面型工件的识别与定位问题,将机器视觉技术与工业机器人相结合。利用改进的FREAK算法对目标工件进行快速识别,并根据工件的形状和单应矩阵计算出工件的形心坐标和旋转角度,再结合双目视觉系统,获取机器人抓取点的三维位姿信息,引导SCARA机器人抓取目标工件。实验结果表明:在复杂的工业环境下,机器人抓取系统能够准确识别出目标工件,具有良好的鲁棒性,同时也满足工业生产的实时性要求。

关键词 机器视觉 FREAK 算法 抓取系统 工件识别

中图法分类号 TP242.2; **文献标志码** A

目前,机器视觉已被广泛应用于各种工业自动化生产中,尤其是对工件的抓取任务,极大地提高了工业生产效率和自动化程度^[1]。在工业生产的实际应用中,对工件实现快速识别和精确定位是保证工业机器人完成抓取任务的关键所在。在图像的特征提取和特征匹配方面,国内外的科研人员已经做出了许多研究工作。

钟佩思等^[2]提出了一种改进的SURF的工件定位算法,利用FAST检测器改进SURF算法的特征提取,再使用主成分分析算法进行降维,减少运算时间,提高了算法的运行速度。马庭田等^[3]提出一种基于Harris角点检测的识别方法,利用Harris角点检测方法提取图像的特征点,然后采用改进的NCC算法进行特征点粗匹配,最后采用快速聚类法进行匹配点提纯,实现对目标物体的识别。Ahsan等^[4]使用SURF算法对数据集中的图像提取特征,然后利用人工神经网络建立物体检测的模型,再利用这个模型对物体进行识别和分类。Sedaghat等^[5]将MSER和SIFT算法结合,提取图像的局部特征,并采用欧几里得距离进行特征点匹配,再利用K均值聚类法进行二次匹配,提高匹配的精确度。

现提出一种改进的FREAK工件识别算法。该

算法结合了SURF算法^[6]和FREAK算法^[7]两者的优点,将SURF算法的特征检测器代替FREAK算法原有的检测器,使获得的特征点具有尺度不变性。又采用FREAK算法对提取的特征点进行特征描述,使生成的FREAK描述子具有抗噪能力、光照不变性和旋转不变性。FREAK算法生成二进制描述子,计算速度较快,能有效地提高了特征匹配的速度。机器人抓取系统采用改进的FREAK算法,能够实现对目标工件准确、快速的识别。

1 系统组成

机器人抓取系统的实验平台主要由SCARA工业机器人,工业CMOS相机和工业控制计算机组成,如图1所示。本系统选用了东芝THL400四轴机器人,该机器人采用气动吸盘完成抓放操作,能够快速、稳定地完成平面工件的抓放任务,广泛应用于绝大多数的工业场景。选用了两个相同型号的Point



图1 实验平台组成图

Fig. 1 Composition diagram of experiment platform

2019年3月19日收到

陕西省社会发展科技攻关项目
(2015SF275)资助

第一作者简介:党宏社(1962—),男,汉族,陕西武功人,博士,教授。
E-mail:danghs@sust.edu.cn。

Grey 工业相机,组成双目视觉系统,并将其平行固定于工作区域的正上方。LED 条形光源放置于工业相机的一侧,提高工作区域内的光照射度,降低自然环境中随机光源的干扰。工控机已安装了 VS2010,相机驱动软件和 SCARA 机器人的编程软件,负责上位机控制界面的制作,实现与工业相机和机器人控制系统的通信。

机器人抓取系统的工作流程如图 2 所示。首先进行相机标定以及手眼标定,建立相机、工件和机器人三者之间的坐标变换关系式。然后,工业相机开始拍摄工作区域的图像,并将采集的图像发送给工控机的上位机。上位机对图片进行图像预处理,接着利用改进的 FREAK 算法提取特征,与模板图匹配,识别出目标工件,并且计算出目标工件在相机坐标系中的三维坐标和旋转角度。再根据坐标变换关系式,计算出目标工件的抓取点在机器人坐标系中的三维位姿信息。最后,上位机通过 SOCKET 通信将抓取点位姿信息发送给机器人的控制柜,引导 SCARA 机器人抓取目标工件。

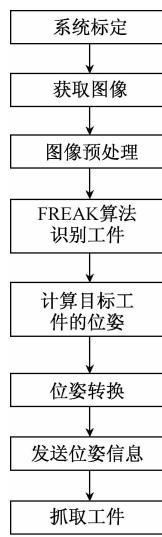


图 2 系统工作流程图

Fig. 2 Workflow diagram of the system

2 视觉系统标定

在机器视觉应用中,相机标定是机器视觉的基础,其标定结果的好坏直接影响工件定位的精度^[8]。本系统先采用双目立体标定法,分别对左、右相机进行相机标定,获取左、右工业相机的内外参数以及相对位置关系,确定相机坐标系与工件坐标系的转换矩阵。然后采用双目 eye-to-hand(眼到手)视觉模型^[9]进行手眼标定,确定相机坐标系和机器人坐标系的转换矩阵,从而可以将相对于相机坐标系的三维位姿信息转换为相对于机器人坐标系

的相对位姿。

3 工件识别

在实际工业场景应用中,散乱放置的工件,实时变化的光照射度,不同的拍摄角度等因素都会给工件的识别带来不同程度的影响,因此要求工件的识别算法必须具有较强的环境适应性,能够克服光照变化、旋转、缩放和噪声的影响。同时为了保证工业生产效率,对于工件的识别与定位必须达到实时的要求。

基于特征的工件识别方法^[10]是利用图像中的角点、边缘、轮廓等特征进行匹配,需要选取的特征数量较少,匹配速度快,能满足大部分工业场景的实时性要求,且具有一定的光照射度、尺度、旋转不变性。因此,本系统采用改进的 FREAK 算法,实现对目标工件准确、快速的识别,工作流程如图 3 所示。

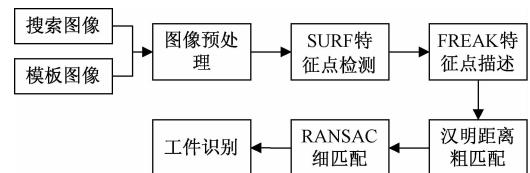


图 3 识别算法流程图

Fig. 3 Workflow diagram of recognition algorithm

3.1 SURF 特征点检测

SURF 特征检测算法是一种快速、高稳定性的局部特征点检测器,采用黑塞(Hessian)矩阵来检测特征点。SURF 算法提出了积分图像的概念,其定义如下。

积分图像与原图像的大小相同,在积分图像中的任意一点 $I(x, y)$,其值等于原图像中原点到该点的矩形区域内所有点的灰度之和:

$$I(x, y) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} X(x, y) \quad (1)$$

式(1)中: $I(x, y)$ 为积分图像中点 (x, y) 的灰度; $X(x, y)$ 为原图像中点 (x, y) 的灰度。

图像中任意一点 $I(x, y)$ 在 σ 尺度下的 Hessian 矩阵可定义为

$$\mathbf{H}(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$L_{xx}(x, \sigma) = \frac{\partial^2 g(\sigma)}{\partial x^2} I(x, y) \quad (3)$$

$$L_{xy}(x, \sigma) = \frac{\partial^2 g(\sigma)}{\partial x \partial y} I(x, y) \quad (4)$$

$$L_{yy}(x, \sigma) = \frac{\partial^2 g(\sigma)}{\partial y^2} I(x, y) \quad (5)$$

式(3)中: $g(\sigma)$ 为二阶高斯函数。

为了简化计算的过程,采用盒式滤波器代替二阶高斯滤波器。将盒式滤波模板与图像卷积,可得到 D_{xx} 、 D_{yy} 、 D_{xy} ,则 Hessian 矩阵行列式的计算公式如下:

$$\det(H) = D_{xx}D_{yy} - (\omega D_{xy})^2 \quad (6)$$

式(6)中: ω 为权重系数,根据大量实验表明, ω 取 0.9 比较合理。

通过保持原有图像的大小不变,将尺寸逐步增大的盒式滤波器与图像进行卷积运算,求取 Hessian 矩阵的响应图像,建立尺度空间。然后根据 Hessian 矩阵行列式为正,确定极值点的位置,并在极值点的 $3 \times 3 \times 3$ 邻域上进行非极大值抑制,当该极值点的 Hessian 矩阵特征值都大于或小于周围 26 个点时,则可确定该点为特征点。

3.2 FREAK 特征点描述

为了使特征点能很好地进行区分,需要对检测出的特征点进行描述和分配方向。本系统采用 FREAK 算法对特征点进行描述,生成 FREAK 描述子。

FREAK 算法的采样模型近似于人眼视网膜对图像的采样方式。如图 4 所示,以特征点为圆心,形成 7 层同心圆环,每个圆环上均匀取 6 个采样点,以采样点为圆心作圆,每个圆代表了采样点的感受野。对每个采样点进行高斯平滑处理,使得 FREAK 描述子具有一定的抗噪能力,而高斯模糊的标准差由各采样点的圆半径确定。

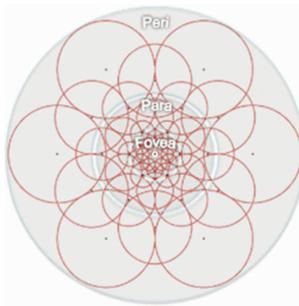


图 4 视网膜采样模型图

Fig. 4 Retinal sampling model

FREAK 描述子是采用二进制比特串对特征点进行描述,计算公式如下:

$$F = \sum_{0 \leq a \leq N} 2^a T(P_a) \quad (7)$$

$$T(P_a) = \begin{cases} 1, & I(P_a^{r1}) - I(P_a^{r2}) > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中: N 为特征向量的维数; P_a 为采样点对; $I(P_a^r)$ 为采样点经过高斯模糊后得到的灰度值。

在一个特征点的周围有 43 个采样点,那么可生成 903 个采样点对。但是,并不是所有的采样点对

都包含图像相关信息,有些采样点对是多余的,只会增加计算的时间。所以,要对所有的采样点对进行筛选,保留信息量较大的采样点对,生成更具辨识度的 FREAK 描述子。

为 FREAK 描述子添加方向信息,可以使 FREAK 描述子具有方向不变性。由于每个特征点周围有 43 个采样点,可以生成 903 对采样点对,而 FREAK 算法通常只选取其中 45 对距离长的,对称的采样点对,并根据局部梯度求和确定特征点的主要方向:

$$O = \frac{1}{M} \sum_{P_0 \in G} [I(P_0^{r1}) - I(P_0^{r2})] \frac{P_0^{r1} - P_0^{r2}}{\|P_0^{r1} - P_0^{r2}\|} \quad (9)$$

式(9)中: O 为特征点局部梯度; M 为采样点对的对数; G 为采样点对集合; P_0 为采样点对; P_0^{r1} 和 P_0^{r2} 分别为采样点对中前后采样点二维向量。

3.3 特征点匹配

由于 FREAK 特征描述子是 512 bit 的二进制比特串,一般采用汉明距离作为相似性度量。汉明距离的定义为

$$D_{\text{hm}}(H_1, H_2) = \sum_{i=1}^{512} (x_i \oplus y_i) \quad (10)$$

式(10)中: H_1, H_2 为两个特征点描述子; \oplus 为异或运算; x 和 y 为 0 或 1。

D_{hm} 越小,说明两个特征描述子之间相似程度越高,反之越低。

在经过最近邻汉明距离的粗匹配后,不可避免存在一些误匹配,因此采用 Ransac 算法对匹配后的特征点对进行二次细匹配,剔除错误的匹配点对,实现对目标工件的准确识别。

4 工件定位

在完成目标工件的识别后,需要对工件进行定位,计算出机器人抓取点的位姿信息,而本系统使用的是 SCARA 四轴机器人,采用气动吸盘抓放工件,所以只需计算出目标工件的三维空间坐标以及旋转角度,就能确定工件抓取点的位姿。

对于质量与厚度均匀的平面型工件,通常以工件形状的形心作为工件的抓取点。在采用改进的 FREAK 算法对目标工件识别后,可以得到模板图与搜索图特征点之间的单应矩阵。单应矩阵表示了模板图中像素点与搜索图中像素点的转换关系。根据单应矩阵,可以计算出模板图中像素点在搜索图中对应像素点的坐标。

对模板图进行图像预处理,并利用 Canny 算子提取出工件的最外层的轮廓,并根据工件的外层轮廓计算出工件的形心坐标,然后根据单应矩阵计算

出搜索图中对应点的形心坐标。再结合双目视觉得到的视差图,计算出抓取点在 Z 轴方向的坐标,可获得工件抓取点在相机坐标系中的三维空间坐标。

在模板图的工件上任取两个特征点作为方向定位点,记作 $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$,构建向量 \overrightarrow{AB} 。通过单应矩阵,计算出在搜索图上对应的两个定位点的坐标,记作 $C(X_1, Y_1)$ 、 $D(X_2, Y_2)$,同样构建向量 \overrightarrow{CD} 。在根据如下公式,即可计算出搜索图中工件相对于模板图的旋转角度:

$$\theta = \arccos \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{CD}}{|\overrightarrow{AB}| |\overrightarrow{CD}|} \quad (11)$$

在计算出工件在相机坐标系的三维空间坐标和旋转角度后,根据相机坐标系和机器人坐标系的转换关系式,求出机器人抓取点的位姿信息,并通过 SOCKET 通讯发送给机器人的控制柜,引导 SCARA 机器人抓取目标工件。

5 实验结果与分析

实验在 Visual Studio 2010 开发平台下,结合 OpenCV 设计了抓取系统的控制界面,采用两个相同型号的 Point Grey 工业相机组成双目视觉系统。在特殊情况下对本文算法进行比较,验证本文算法的有效性。同时又对比了在相同情况下 SURF、FREAK 和本文算法的运行时间和准确度。

从图 5 的工件识别结果得出,本文算法在不同的光照亮度、噪声,工件发生旋转和缩放等特殊情况下都能准确识别出目标工件,说明本文算法鲁棒性强,能在复杂的工业环境下完成对工件的识别任务。

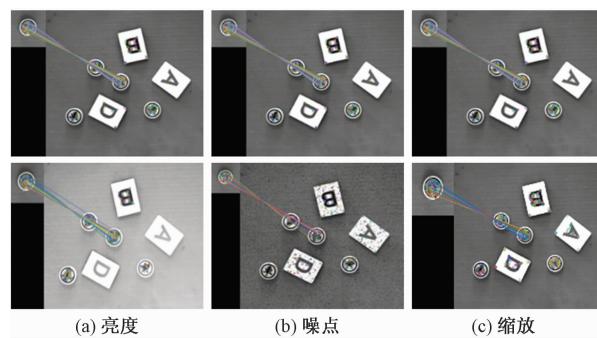


图 5 特殊情况下工件识别结果

Fig. 5 Workpiece recognition results under special circumstances

对比图 6 中三种算法的工件识别结果,SURF 算法和本文算法都采用的是 SURF 特征点检测器,检测时间都大于 FREAK 算法,但匹配的特征点对数多于 FREAK 算法,并且本文算法采用 FREAK 描述子,特征点对的匹配时间较短。FREAK 算法的特征点对的匹配准确度低于 SURF 和本文算法。从

表 1 和表 2 的对比结果可以看出本文算法的匹配准确度最好,算法运行时间介于两者之间,可以说明本文算法能够准确地识别出目标工件,识别速度较快,能够满足工业生产的实时性要求。

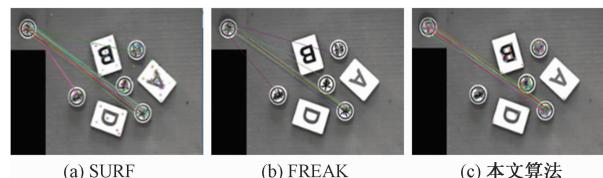


图 6 象棋卒的识别结果比较

Fig. 6 Comparison of the recognition results of chess pawns

表 1 三种算法运行时间对比

Table 1 Run time comparison of three algorithms

算法	检测时间/ms	匹配时间/ms	总时间/ms
SURF	482	340	822
FREAK	83	45	128
本文算法	456	56	512

表 2 三种算法识别准确度对比

Table 2 Recognition accuracy comparison of three algorithms

算法	匹配总对数	正确匹配对数	准确度/%
SURF	26	22	84.6
FREAK	12	8	66.7
本文算法	24	23	95.8

6 结论

针对带有复杂纹理的平面型工件的特征识别和定位问题,提出了一种改进的 FREAK 算法,实现对目标工件进行特征点的提取、描述和匹配,并根据形心法和单应矩阵计算出目标工件的位姿信息,实现对目标工件的定位。从实验结果可以得到以下结论。

(1) 改进的 FREAK 算法引入 SURF 特征检测器,能提取更多,更具有辨识度的特征点,提高了特征点对匹配的准确率,同时使得提取的特征点具有尺度不变性。

(2) 提出的工件识别算法对光照变化、噪声和缩放等情况均有很好的鲁棒性,工件的识别准确度高,同时又能满足工业应用的实时性要求。

参 考 文 献

- 孟明辉,周传德,陈礼彬,等.工业机器人的研发及应用综述[J].上海交通大学学报,2016,50(增刊1): 98-101
Meng Minghui, Zhou Chuande, Chen Libin, et al. A review of the research and development of industrial robots[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2016, 50(S1): 98-101

- 2 钟佩思, 刘敬华, 刘 梅, 等. 基于改进的加速鲁棒特征算法的工件定位方法[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(5) : 197-202
Zhong Peisi, Liu Jinghua, Liu Mei, et al. Workpiece positioning method based on improved speeded up robust features algorithm [J]. ScienceTechnology and Engineering, 2019, 19(5) : 197-202
- 3 马庭田, 叶文华, 叶华欣. 面向图像匹配的基础矩阵估计改进算法[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(9) : 2133-2139
Ma Tingtian, Ye Wenhua, Ye Huaxin. Improved algorithm of fundamental matrix estimation for image matching [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(9) : 2133-2139
- 4 Ahsan A M, Mohamad D B. Machine learning technique for object detection based on SURF feature[J]. International Journal of Computational Vision and Robotics, 2017, 7(1) : 6-10
- 5 Sedaghat A, Ebadi H. Very high resolution image matching based on local features and k-means clustering[J]. The Photogrammetric Record, 2015, 30(150) : 166-186
- 6 Bay H, Ess A, Tuytelaars T, et al. Speeded-up robust features (SURF)[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110 (3) : 346-359
- 7 Alahi A, Ortiz R, Vandergheynst P. FREAK: Fast retina keypoint [C]// 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Providence: IEEE, 2012 : 510-517
- 8 Li W, Shan S, Liu H. High-precision method of binocular camera calibration with a distortion model [J]. Applied Optics, 2017, 56 (8) : 2368-2377
- 9 王才东, 李志航, 王新杰, 等. 机器人平面工具 TCP 的双目视觉标定方法[J]. 机械设计与制造, 2019, 1(1) : 239-244
Wang Caidong, Li Zhihang, Wang Xinjie, et al. Calibration method for planar tool center point of robot based on binocular vision [J]. Machinery Design & Manufacture, 2019, 1(1) : 239-244
- 10 黎卫波, 韩卫光. 特征提取算法在工件识别中的研究[J]. 计算机系统应用, 2018, 27(2) : 236-239
Li Weibo, Han Weiguang. Research on feature extraction algorithm in workpiece recognition [J]. Computer Systems & Applications, 2018, 27(2) : 236-239

Robotic Grabbing System Based on Improved FREAK Algorithm

DANG Hong-she, WU Chen-gang, SUN Jun-long

(School of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

[Abstract] In order to solve the problem of recognition and localization of planar workpieces with complex texture by industrial robots, machine vision technology was combined with industrial robots. An improved FREAK algorithm was used to quickly identify the target workpiece. And according to the shape of the workpiece and the homography matrix, the centroid coordinates and rotation angle of the workpiece were calculated. Then obtained the three-dimensional position information of the grasping point of the robot with the binocular vision system, and the SCARA robot was guided to grasp the target workpiece. The experimental results show that in complex industrial environment, the robot grasping system can accurately identify the target workpiece, has good robustness, and also meets the real-time requirements of industrial production.

[Key words] machine vision FREAK algorithm grab system workpiece identification