

视觉伺服机械臂手机抓取最佳位姿检测^①



田军委¹, 闫明涛¹, 丁良华², 张震¹, 张磊蒙¹, 郝阳波¹

¹(西安工业大学 机电工程学院, 西安 710021)

²(内蒙古北方重工业集团有限公司, 包头 014033)

通讯作者: 田军委, E-mail: junweitian@163.com

摘要: 针对下水道、勾缝等狭窄位置的手机拾取的问题, 本文提出一种基于机器视觉的伺服机械臂抓取方法. 首先对机械臂 eye-in-hand 上的相机进行标定, 图像预处理及目标检测等, 在位姿检测中提出一种基于二维坐标系下手机位姿解算算法, 得出解算的最佳位姿角只与夹持点的像素坐标的差值有关, 其位姿角的大小决定了手抓旋转的角度. 实验用 Matlab 软件对位姿检测进行仿真分析, 其包括 SURF 不变特征点的目标检测实验和位姿解算实验, 最后用 Rethink 双臂机器人的右臂对手机进行抓取验证. 实验表明, 在误差允许范围内, 提出的算法具有一定的有效性, 其结果为伺服机械臂抓取手机提供良好的准确性.

关键词: 视觉伺服; 位姿检测; SURF 特征点; 机械臂

引用格式: 田军委, 闫明涛, 丁良华, 张震, 张磊蒙, 郝阳波. 视觉伺服机械臂手机抓取最佳位姿检测. 计算机系统应用, 2021, 30(6): 154-161. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7965.html>

Visual Servo Manipulator to Grab Mobile Phone of the Best Pose Detection

TIAN Jun-Wei¹, YAN Ming-Tao¹, DING Liang-Hua², ZHANG Zhen¹, ZHANG Lei-Meng¹, HAO Yang-Bo¹

¹(School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

²(Inner Mongolia North Heavy Industries Group Co. Ltd., Baotou 014033, China)

Abstract: Aiming at the pickup of mobile phones in narrow locations such as sewers and jointing, this study proposes a method of servo mechanical arms for grabbing based on machine vision. Firstly, the camera on the eye-in-hand mechanical arm is calibrated, followed by image preprocessing and target detection. In the pose detection, we propose an algorithm to solve the pose of the mobile phones based on the two-dimensional coordinate system. It turns out that the best pose angle is only related to the difference in the pixel coordinates of the clamping point, and the size of the pose angle determines the rotation angle of the gripper. Then, the pose detection is simulated by Matlab, including target detection with SURF invariant feature points and pose calculation. Finally, the right arm of a two-armed Rethink robot grasps a mobile phone for verification. The results show that within the allowable error range, the proposed algorithm accurately guides the servo mechanical arms to grasp mobile phones.

Key words: visual servo; pose detection; SURF feature points; mechanical arm

机器人在对目标物体进行自动抓取之前, 首先应确定被抓物体的位姿, 即确定合适的抓取位置及抓取姿态, 而机器视觉检测是最常用的目标位姿检测方法.

典型的机器视觉位姿提取方法主要包括单目视觉和双目视觉^[1]两大类. 单目视觉操作方便, 处理数据信息速度快, 但缺乏深度信息, 难以完成测量深度的工作; 双

① 基金项目: 陕西省科技统筹创新工程 (2015KTZDGY-02-01); 陕西省教育厅产业化培育项目 (2018-14)

Foundation item: Science and Technology Coordinated Innovation Project of Shaanxi Province (2015KTZDGY-02-01); Industrialization Cultivation Project of Education Bureau, Shaanxi Province (2018-14)

收稿时间: 2020-10-08; 修改时间: 2020-11-02, 2020-11-17, 2020-11-24; 采用时间: 2020-12-01; csa 在线出版时间: 2021-06-01

目视觉利用空间同一点在两个摄像机上成像点的匹配, 可以进行深度测量, 并可以对简单环境中的形状简单的物体定位定姿, 它的缺点是计算过程涉及大量的图像匹配和目标识别算法, 只能针对具有简单几何关系的目标使用, 无法在复杂背景下应用. 本文研究是基于二维平面坐标系下进行位姿检测, 因此使用单目视觉更为简单方便.

单目视觉采集完图像, 图像需预处理, 在图像匹配研究成果中, 贾迪等^[2]对从局部不变特征点、直线、区域匹配3个方面对图像匹配方法予以综述, 其中局部不变特征点是图像匹配中发展最早也比较成熟的图像方法, 以SIFT的改进算法SURF不变特征点在图像匹配中更为常见, 图像匹配效果相对较好; 林志东等^[3]对特定条件下SIFT与SURF图像匹配算法的性能进行了对比实验, 特征点提取方面, SURF算法运算速度更快, 而SIFT算法能提取出更多的特征点; 特征匹配方面, SIFT算法在图像存在光照差异时具有更大的优势, SURF算法在处理有视角差异的图像时稳定性更好. 在位姿测量中, 徐昌源等^[4]提出了改进最小二乘法的双目视觉位姿测量技术与测试的方法, 该测量方法虽效果佳, 但仅适用于双目视觉位姿测量的数学模型中; 谷凤伟等^[1]设计出一种简易的单目视觉位姿测量方法, 但需要将一种精确的靶标检测算法与单目视觉测量方法相结合, 才能实现机器人位姿的测量, 由于该精确的靶标也需要图像处理和检测, 在计算过程中难免会造成误差积累. 在视觉伺服过程中, 徐德^[5]对单目视觉在视觉伺服研究中进行了综述, 分析了不同视觉伺服方法的特点及典型应用, 认为混合视觉伺服(基于位置的视觉伺服和基于图像的视觉伺服)在未来有很大的发展前景, 但目前, 基于图像的视觉伺服仍是当前研究的热点; 陈梅等^[6]针对无标定视觉伺服系统eye-in-hand型结构, 提出一种以图像特征为反馈的模糊控制策略, 对平面内运动物体进行跟踪, 该eye-in-hand型结构为视觉伺服奠定了一定的基础, 伺服效果相对较好, 但其反馈的模糊控制系统相对比较复杂.

针对以上文献中的图像处理算法与视觉伺服问题, 本文提出一种相机在机械臂上eye-in-hand型视觉伺服抓取手机策略, 选取SURF不变特征点匹配算法进行目标检测, 以及对二维坐标系下目标图像进行最佳位姿解算, 为伺服机械臂抓取手机提供准确性.

1 视觉伺服手机抓取策略

针对特殊环境手机拾取问题, 本文采用一种基于视觉伺服的机械臂方案, 即采用相机搜索手机, 然后引导机械臂进行抓取. 机械臂与相机位置一般有两种关系: 一种相机在机械臂上eye-in-hand, 这种可操作性高并且可以获取较高的图像数据; 一种是相机在机械臂外eye-to-hand, 其优点是相机获取的视野广、灵活性强, 但机械臂易受相机的位置影响. 本文采用相机在机械臂上eye-in-hand, 经过相机与机械臂末端执行器的标定之后可以获得固定的变换关系, $O_1O_2O_3O_4$ 分别表示机械臂坐标系、机械手抓坐标系、相机坐标系、手机坐标系的原点. 该方案原理如图1所示.

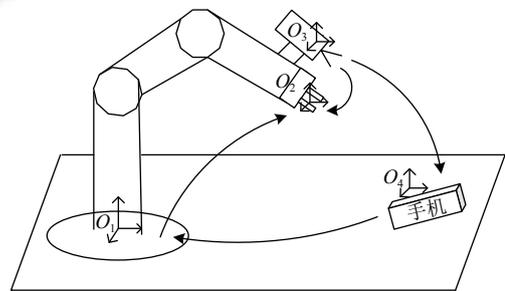


图1 机械臂抓取手机系统框图

用机械臂抓取手机方法步骤为: 第1步: 利用标定好的相机对掉进沟缝中的手机进行采样; 第2步: 将采样到的图像进行图像预处理, 并进行目标检测; 第3步: 将处理好的图像, 即采集到手机的目标状态, 进行手机位姿检测; 第4步: 将检测到手机的最佳位姿进行解算, 并伺服控制机械臂对手机进行抓取. 在抓取过程中, 抓取的准确性、安全性、适应性主要依赖于手机目标检测和位姿解算, 使机械臂及手抓按最佳方案进行抓取.

2 位姿检测方法

位姿检测是伺服机械臂抓取手机的关键, 位姿检测前对相机标定是采集图像的必要条件, 是减小误差, 提高相机匹配速度的重要步骤. 位姿检测方法包括SURF不变特征点匹配进行目标检测, 以及二维坐标系下的最佳位姿解算.

2.1 相机成像原理及相机标定

相机成像模型主要由世界坐标系 $O_w-X_wY_wZ_w$, 相机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$ 、像素坐标系 $O_p-u v$ 、图像坐标系 $O_i-X_iY_i$ 构成, P 是相机坐标系中的一点, 其坐标是

(X_c, Y_c, Z_c) , P' 是在图像中的成像点, 在图像坐标系的坐标是 (x, y) , 在像素坐标系是 (u, v) . 成像原理模型如图2所示.

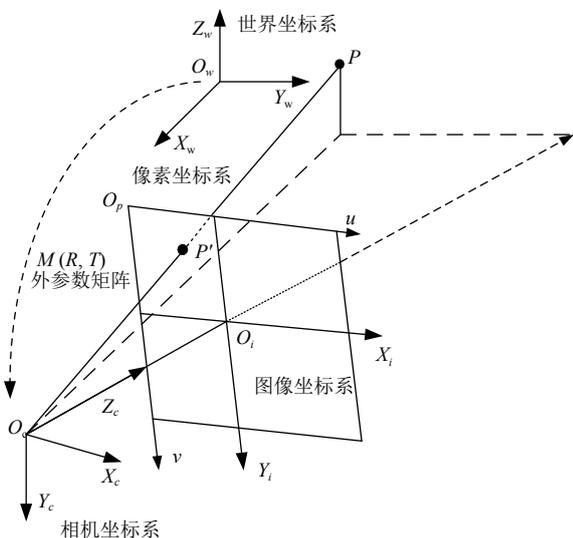


图2 摄像机成像模型

相机标定是为了确定相机坐标系、图像坐标系、像素坐标系与真实坐标系之间的关系, 具体而言即由相机的成像原理创建数学模型, 借助已知特征的像素坐标和对应的世界坐标推导相机的模型参数^[7]. 通过张正友对相机的内外参数进行标定. 张正友标定流程, 如图3所示.

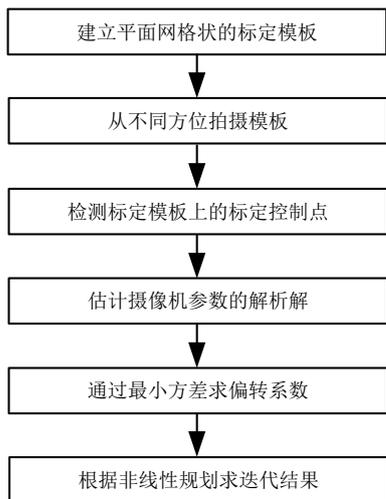


图3 张正友标记流程

利用相机标定结果和单目摄像头成像原理完成相机成像过程的坐标系变换. 确定物体相对于相机坐标

系的位姿, 进而确定相对于机械臂的位姿, 相机标定结果可以求出相机的内外参数矩阵, 相机的内参数矩阵是唯一, 而外参数矩阵不唯一^[1]. 内参数矩阵对位姿解算在视觉伺服机械臂具有重要的意义.

2.2 SURF 不变特征点匹配算法

SURF 算法^[3]在提取特征点时, 主要包含以下6个步骤.

步骤1. 建立积分图像. 通过简单的加减法去计算任一区域的像素之和. 如图4所示, 矩形 $ABCD$ 内所有像素的灰度值之和计算公式为:

$$\sum = A - B - C + D \quad (1)$$

步骤2. 建立 Hessian 矩阵. 一个像素点 (x, y) , 设函数 $f(x, y)$ 的 Hessian 矩阵定义为:

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

可以看出 H 矩阵由函数 f 的二阶偏导数构成, 每一个像素点都可以解算出一个 H 矩阵. 式中, $L_{xx}(x, \sigma)$ 为图像 f 与尺度为 σ 的高斯二阶导数的卷积其定义如下:

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

对于 $L_{xy}(x, \sigma)$ 和 $L_{yy}(x, \sigma)$, 定义相似.

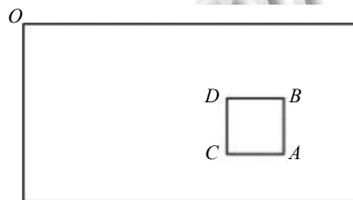


图4 利用积分图快速计算

步骤3. 建立尺度空间. SURF 特征极值点的检测算法和提取是基于尺度空间理论. 通过改变使用高斯滤波器的尺度, 不是改变图像本身来构成对不同尺度的响应.

步骤4. 提取特征点. 利用非极值去除掉确定特征点, 在海森行列式图像的每个像素点与3维邻域的26个点进行大小比较, 设定一个阈值, 用3维线性插值法得到亚像素级的特征点后, 去掉特征值小于阈值的点, 得出更稳定的点.

步骤5. 选取特征点的方向. 以特征点为中心, 检测兴趣点确定尺度 s , 统计半径扇形内所有点的 Haar 小

波响应, 并给靠近特征点的像素赋予较大的权重. 统计该区域所有 Harr 小波响应之和, 形成矢量, 即扇形的方向. 遍历所有的扇形区域, 选择最长矢量方向作为该特征点的方向.

步骤 6. 构造 SURF 的特征点描述子. 以特征点为中心, 构造出以 $20s$ 为边长的正方形窗口, s 为特征点所在的尺度. 将其分为 16 个 4×4 的子区域, 每个子区域统计包含有 25 个像素元的水平 x 和垂直 y 的 Haar 小波特征之和分别为 $\sum H_x$ 和 $\sum H_y$. 统计出每个子区域的 4 维描述子 $V = [\sum H_x, \sum H_y, \sum |H_x|, \sum |H_y|]$. 得出特征向量长度为 64 维的特征描述子.

2.3 最佳位姿检测

2.3.1 算法原理

手机的最佳位姿检测包括 SURF 不变特征点匹配的目标检测和其位姿解算. 对机械臂上相机标定完, 解出相机的内外参数矩阵, 对 SURF 不变特征点匹配检测到手机图像在二维坐标系下进行最佳位姿检测与解算, 解算原理过程如图 5 所示.

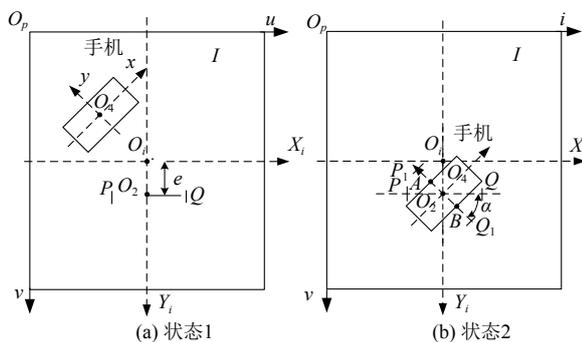


图 5 位姿解算原理图

原理过程如下: 在图像坐标系 $O_i-X_i Y_i$ 中, 设手机的质心坐标为 $O_4(s_x, s_y)$, 设机械臂末端手抓中心 $O_2(z_x, z_y)$ 与相机光轴中心 O_i 所标定的偏差距离 e , 标定机械手抓的手指姿态为 PQ , 与相机的成像的投影关系如图 5(a) 所示, 其中 $O_p-u v$ 是像素坐标系.

伺服机械臂从图 5(a) 移动至图 5(b) 状态, 使其手抓的中心 O_2 与手机的质心 O_4 重合, 如图 5(b) 所示. 手机姿态的 y 轴与图像坐标系 $O_i-X_i Y_i$ 的 X_i 轴夹角是 α , 手机不动, 驱动机械手抓旋转 α 角度, 使其手指 PQ 与手机姿态的 y 轴在投影上重合, 即机械手抓旋转 α 角度后手指 PQ 的新姿态为 $P_1 Q_1$, 抓取点为 $A(x_1, y_1)$ 和 $B(x_2, y_2)$ 两点. 旋转角度 α 和手指的新姿态 $P_1 Q_1$ 为伺服

机械臂抓取手机提供了准确性.

2.3.2 算法设计

位姿解算是将图像在像素坐标系 $O_p-u v$ 中位置关系转化为图像的物理坐标 $O_i-X_i Y_i$, 其目的是在图像的物理坐标系中可以进行几何关系的计算, 转化公式为矩阵形式 (4)^[1]:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{dx} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dy} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, (u, v) 是在水平方向和垂直方向的像素, 设 $O_i(u_0, v_0)$ 是图像的坐标系中心的像素, dx 和 dy 是每个像素在 x 轴和 y 轴的方向上的实际物理尺寸, 由相机的标定可以知 u_0, v_0, dx, dy . SURF 不变特征点算法匹配到的手机矩形框 CDEF 中利用图像算法可求出手机的质心 $O_4(u_s, v_s)$ 和 CDEF 的像素坐标, 根据几何关系进而可以求出手机的抓持点 $A(u_1, v_1)$ 和 $B(u_2, v_2)$ 的像素坐标, 其匹配到的手机矩形框, 如图 6 所示.

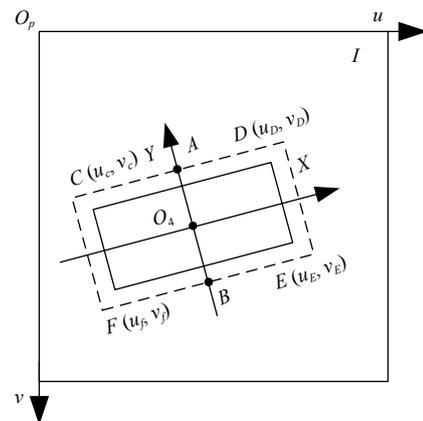


图 6 匹配到手机矩形框

将手机的抓持点 $A(u_1, v_1)$ 和 $B(u_2, v_2)$ 的像素坐标带入式 (4) 推导可得 A 和 B 的物理坐标, 如式 (5) 和式 (6):

$$\begin{cases} x_1 = dx(u_1 - u_0) \\ y_1 = dy(v_1 - v_0) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} x_2 = dx(u_2 - u_0) \\ y_2 = dy(v_2 - v_0) \end{cases} \quad (6)$$

所求出 $A(x_1, y_1)$ 和 $B(x_2, y_2)$ 的图像物理坐标, 可以解出夹角 α 即最佳位姿角, 理论上伺服给机械手抓的旋转角度也应为 α , 但由于机械臂的系统误差使得旋转角

度小于或大于 α ,故取旋转角度为 β .取机械手抓相对手机顺时针旋转为正,逆时针旋转为负,利用在坐标系中由两点之间的几何关系可求其斜率,可得式(7):

$$\alpha = \arctan \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (7)$$

由式(5)~式(7)可得式(8):

$$\alpha = \arctan \frac{dy(v_2 - v_1)}{dx(u_2 - u_1)} \quad (8)$$

求出式(8)中的角度 α ,取值范围 $[0, 90^\circ]$,若为正则机械手抓顺时针旋转,负则逆时针旋转. α 是手机在二维平面的位姿角也是机械手抓旋转的夹持角,其夹持点为 A 和 B 两点.由式(8)可知, dx, dy 是相机内参数,故 α 只与夹持点 A 和 B 两点的像素点的差值有关,简化了图像中复杂的计算,从而提高视觉伺服效果.

从算法的设计原理和求解结果来看,相比传统的位姿检测算法,在计算上有较大的改进.如最早由Fischler等于1981年提出典型PNP问题^[8],是其根据目标点的图像坐标和相机成像模型解算目标相对于相机的位姿问题,而在其平面PNP问题的求解过程中会用到非线性求解算法,该算法虽法精度较高,但一般需要迭代,计算量较大,且存在稳定性问题.而在后期的研究深入过程中如典型的算法有Oberkampf^[9]提出的POSIT算法;Schweighofer^[10]提出的平面目标位姿估计算法(SP);Lepetit等^[11]提出的EPnP算法, Lu等^[12]提出的正交迭代算法等.这些典型算法在位姿求解过程中都属于非线性求解,因此会占用图像解算过程中的资源问题,而本算法的提出可以良好的避免复杂的迭代问题,减少占用资源问题.

2.4 算法实现步骤

具体过程如下:

- (1) 读取照片;
- (2) 提取SURF特征点;
- (3) 根据特征点生成图像的特征向量;
- (4) 初步建立一个匹配对(含野值);
- (5) 预测仿射变化,去除不满足变化的野值;
- (6) 获取目标物的多边形框;
- (7) 二维坐标系下其最佳位姿解算;
- (8) 伺服控制机械臂抓取手机.

3 实验及分析

相机标定和目标检测实验选用Matlab 2018b版

软件,以及Matlab硬件支持包usbwebcams,操作系统为64位Win 10系统.位姿解算与伺服机械手抓抓取实验选用Rethink双臂机器人的右臂,其操作系统为64位Linux系统Ubuntu 16.04,进行抓取验证.

Rethink双臂机器人的右臂进行位姿检测和手机抓取实验之前需要先完成以下4点:(1)右臂上相机的内外参数的标定;(2)手抓中心与相机中心的位置校正;(3)将双臂机器人的UI显示界面窗口大小标定为640×480像素;(4)右臂末端初始位置的标定,使其在沿水平面方向移动搜索^[13-16].

3.1 相机标定实验

机械臂上的摄像头最大分辨率为1280×800像素的摄像头,标定板为10×7的棋盘格,各格边长28mm×28mm,其采集20张像素尺寸为480×640图片,导入到Matlab工具箱中进行摄像机标定^[17,18].

Matlab工具箱标定实验中,需对相机标定结果进行评估,可以通过相机的投影误差分析、以摄像机为中心和以标定板为中心的三维外部参数可视化进行分析,标定过程具体如图7所示.

在Matlab工具箱标定实验后,在其命令行中输入cameraParams.IntrinsicMatrix,可以求出相机内参数矩阵,输入RadialDistortion和TangentialDistortion可以求出相机的径向畸变和切向畸变系数^[19,20],具体相机的物理参数如表1所示.

3.2 SURF特征点目标检测与位姿解算实验

为了验证提出算法对伺服机械臂抓取手机的有效性,完成位姿检测实验,该实验包括SURF不变特征点的目标检测实验和位姿解算实验.同时为使实验更具说服力,笔者完成单一背景下和复杂背景(没有遮挡)下的两组位姿检测对比实验,观察复杂背景下是否会影响到位姿检测的算法实验效果.分别取五组单一背景和五组复杂背景下的位姿检测实验的实验结果进行分析对比及评价,实验结果分析表,如表2所示.单一背景下位姿检测实验过程和复杂背景下位姿检测实验过程,如图8和图9所示.

实验表明,单一背景中的SURF不变特征点提取的特征点数相对较多,但易出现交叉点;复杂背景中的提取的特征点数虽较少,但出现的交叉点也较少;二者在特征点匹配的正确率、匹配时间上相当,在匹配效果上单一背景的总体稍好于复杂背景,但从整体的实验结果而言,复杂背景下该算法可以满足检测到手机.

无论是在单一背景下还是在复杂背景下,其 SURF 不变特征点匹配实验的特征点匹配速度和效果都相对准确稳定,并且可以匹配到手机在 $o-xy$ 平面上的任意偏

转角度,即手机在二维平面上的位姿,利用图像算法和提出的位姿解算算法可以求解出两个理论的机械手指夹持点 A 和 B ,进而得到位姿角 α 。

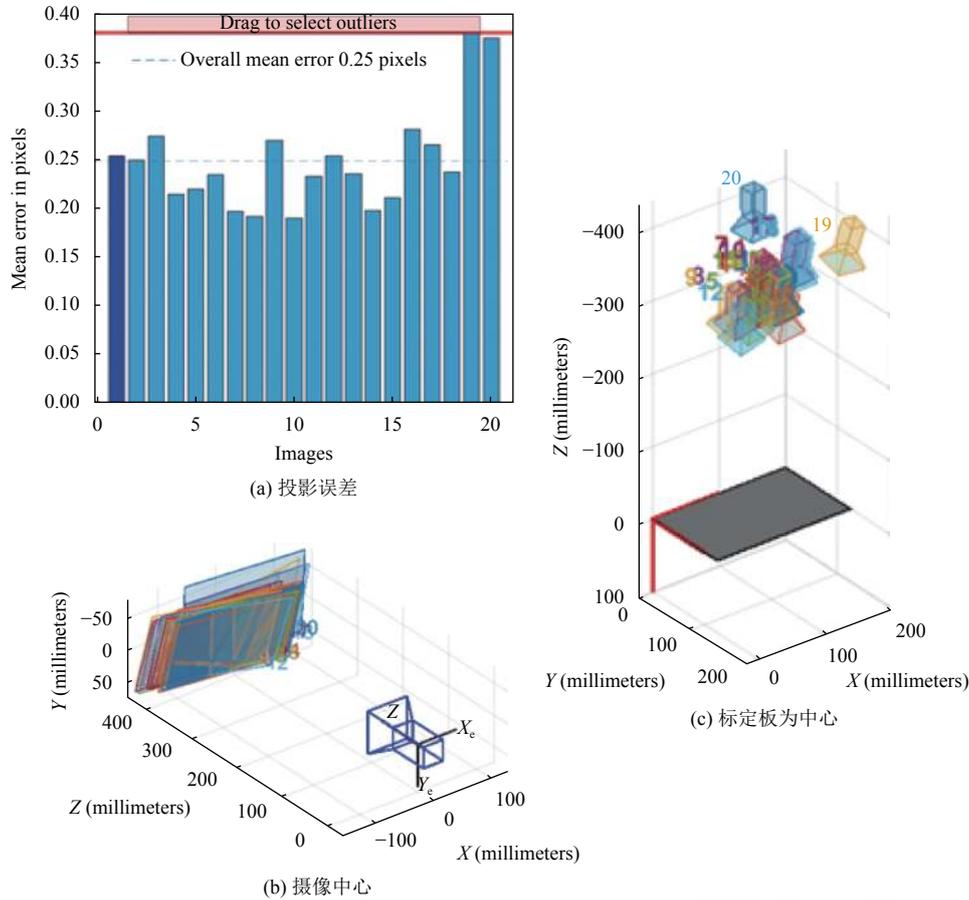


图7 Matlab 工具箱标定实验

表1 相机标定结果

物理参数	校准值	畸变系数	校准值
f (mm)	1.506	K_1	-6.374×10^{-3}
u_0 (pix)	324.819	K_2	5.861×10^{-4}
v_0 (pix)	246.326	P_1	4.048×10^{-5}
dx (um)	2.509	P_2	-5.861×10^{-5}
dy (um)	2.509	—	—

通过手机的抓取实验来验证解算出的位姿角 α 的准确性,其中抓取实验是以手抓为参考对象,取顺、逆时针手机状态各 6 张,其像素尺寸为 640×480 像素,是其在复杂背景下的二维坐标系的位姿状态.由相机标定实验和 SURF 特征点匹配实验可求出相机的内参数 u_0, v_0, dx, dy 及机械手抓抓取手机的两个夹持点 A 和 B ,代入式 (8) 解出最佳位姿角 α ,即机械臂末端手抓应旋转角度 β .解算出的位姿角 α 和机械臂末端手抓旋转

的角度 β 存在一定的误差,为验证该误差是否会影响手机抓取,列出位姿角与手抓旋转角度误差分析表,如表 3 所示.

表2 单一背景下与复杂背景下的位姿检测结果分析

实验对象	SURF 特征点个数 n_1	没有交叉点且正确的特征点个数 n_2	特征点正确率 (%)	匹配时间 (s)	是否检测到手机及效果	
单一背景位姿检测	①	15	13	86.7	1.7146	是且效果好
	②	23	19	82.6	2.0538	是且效果好
	③	14	12	85.7	1.3981	是且效果佳
	④	16	14	87.5	1.5763	是且效果佳
	⑤	19	16	84.2	1.6798	是且效果好
复杂背景位姿检测	①	9	8	88.0	1.7572	是且效果好
	②	8	7	87.5	1.6947	是且效果一般
	③	11	10	90.9	2.0098	是且效果佳
	④	13	11	84.6	2.1032	是且效果佳
	⑤	10	8	80.0	1.5439	是且效果好

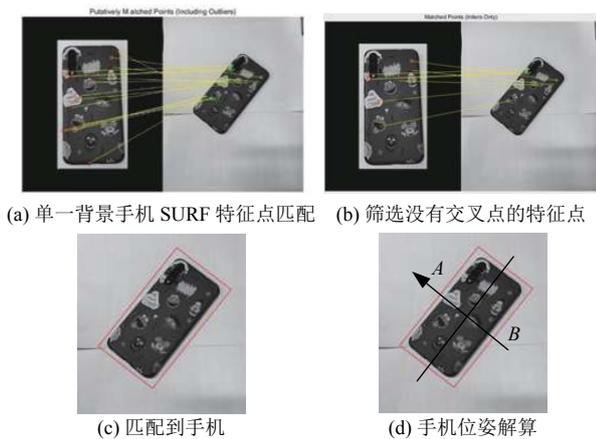


图8 单一背景下位姿检测实验

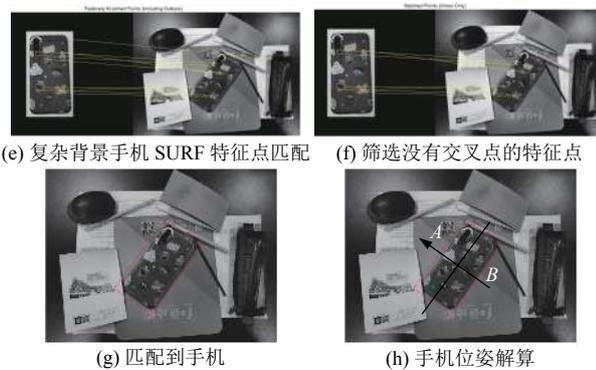


图9 复杂背景下位姿检测实验

表3 位姿角与手抓旋转角度误差分析表

组数	夹持点(u, v)(像素)	位姿角 $\alpha(^{\circ})$	手抓旋转角度 $\beta(^{\circ})$	误差 Δ
1	A(297, 180), B(375, 376)	68.299	68.3	0.001
2	A(306, 169), B(450, 337)	49.399	49.4	0.001
3	A(285, 160), B(460, 311)	40.790	40.8	0.010
4	A(261, 151), B(440, 292)	37.919	37.9	0.019
5	A(248, 146), B(409, 260)	32.861	32.9	0.039
6	A(193, 155), B(375, 249)	27.316	27.3	0.016
7	A(293, 346), B(371, 144)	-68.886	-68.9	0.014
8	A(245, 325), B(380, 148)	-52.667	-52.7	0.033
9	A(245, 309), B(395, 156)	-45.567	-45.6	0.033
10	A(255, 303), B(413, 156)	-42.934	-42.9	0.034
11	A(246, 280), B(428, 161)	-32.333	-32.3	0.033
12	A(238, 262), B(456, 180)	-20.614	-20.6	0.014

在表3中, 位姿角 α 与输出给机械手抓旋转角度 β 存在一定的误差, 分析出主要误差来源是双臂机器人机械臂的末端手抓中舵机旋转的精度, 该舵机的旋转精度只能精确到0.1位, 属于系统的绝对误差, 其不可避免; 经过实验抓取发现其相对误差来源于光线、手机表面的纹理等. 实验抓取过程中发现, 误差小于1~2°, 不影响手机的抓取. 为避免机械臂在抓取中出现碰

撞, 笔者先在PC端仿真抓取手机模拟, 最后将编译的代码下载到双臂机器系统中. 选取的12组手机抓取实验, 良好的验证了提出算法的有效性, 为视觉抓取提供了准确性. 位姿解算与抓取手机实验, 如图10所示.

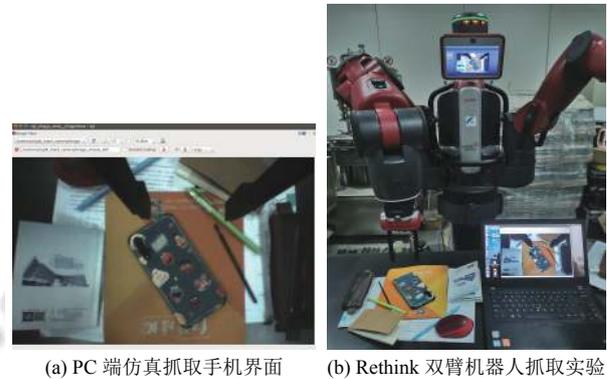


图10 位姿解算与手机抓取实验

4 结论与展望

本文提出一种二维平面坐标系下利用单目视觉系统测量手机的最佳位姿检测算法, 该算法将单目视觉与伺服机械臂相结合, 通过相机标定, 图像采集、图像预处理等过程, 实现SURF不变特征点匹配到目标物体, 完成目标检测. 通过摄像机成像原理, 计算出从像素坐标系到图像坐标系的位置变换关系, 利用两点间求斜率的几何关系进而求出目标物体的最佳位姿角, 即伺服机械手抓应旋转的角度, 本算法简单易行, 可有效避免双目视觉位姿测量过程中图像匹配资源占用问题. 实验验证了该算法的有效性和准确性, 可以完成手机最佳位姿检测及机械手抓持点的确定, 满足视觉伺服机械臂抓取要求. 同时, 该测量算法可以应用到工业零件定位、码垛机器人搬运等领域, 具有广阔的应用前景.

参考文献

- 谷凤伟, 高宏伟, 姜月秋. 一种简易的单目视觉位姿测量方法研究. 光电技术应用, 2018, 33(4): 64-70. [doi: 10.3969/j.issn.1673-1255.2018.04.015]
- 贾迪, 朱宁丹, 杨宁华, 等. 图像匹配方法研究综述. 中国图象图形学报, 2019, 24(5): 677-699.
- 林志东, 杜滢钊. 特定条件下SIFT与SURF图像匹配算法的性能对比. 厦门理工学院学报, 2019, 27(3): 30-36.
- 徐昌源, 全燕鸣, 郭清达. 改进最小二乘法双目视觉位姿测量技术与测试. 中国测试, 2016, 42(9): 27-30, 35. [doi: 10.11816/cn.2016.4209027]

- 10.11857/j.issn.1674-5124.2016.09.006]
- 5 徐德. 单目视觉伺服研究综述. 自动化学报, 2018, 44(10): 1729–1746.
 - 6 陈梅, 车尚岳. 无标定视觉伺服机器人跟踪控制策略研究. 控制工程, 2019, 26(6): 1055–1059.
 - 7 付俊美, 沈永良, 王一光. 基于视觉的清洗机械臂位姿检测系统. 黑龙江大学学报, 2019, 10(1): 59–66.
 - 8 Hung YB, Yeh PS, Harwood D. Passive ranging to known planar point sets. Proceedings of 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation. St. Louis, MO, USA. 1985. 80–85.
 - 9 Oberkampf D, DeMenthon DF, Davis LS. Iterative pose estimation using coplanar feature points. Computer Vision and Image Understanding, 1996, 63(3): 495–511. [doi: 10.1006/cviu.1996.0037]
 - 10 Schweighofer G, Pinz A. Robust pose estimation from a planar target. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(12): 2024–2030. [doi: 10.1109/TPAMI.2006.252]
 - 11 Lepetit V, Moreno-Noguer F, Fua P. EPnP: An accurate $O(n)$ solution to the PnP problem. International Journal of Computer Vision, 2009, 81(2): 155. [doi: 10.1007/s11263-008-0152-6]
 - 12 Lu CP, Hager GD, Mjolsness E. Fast and globally convergent pose estimation from video images. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(6): 610–622. [doi: 10.1109/34.862199]
 - 13 董锦涛, 陈水忠, 徐恺, 等. 基于 SIFT 的图像匹配实时性改进. 电光与控制, 2020, 27(3): 80–83, 88. [doi: 10.3969/j.issn.1671-637X.2020.03.015]
 - 14 Du GG, Wang K, Lian SG. Vision-based robotic grasping from object localization, pose estimation, grasp detection to motion planning: A review. arXiv: 1905.06658, 2019.
 - 15 丁雅斌, 梅江平, 张文昌, 等. 基于单目视觉的并联机器人末端位姿检测. 机械工程学报, 2014, 50(21): 174–179.
 - 16 李星云, 李众立, 廖晓波. 基于单目视觉的工业机器人定位系统的设计. 机床与液压, 2015, 43(9): 35–38. [doi: 10.3969/j.issn.1001-3881.2015.09.010]
 - 17 李彬, 罗彪. 机器视觉在物体位姿检测中的应用. 传感器与微系统, 2016, 35(2): 150–153.
 - 18 谢宇坤, 吴青聪, 陈柏, 等. 基于单目视觉的移动机械臂抓取作业方法研究. 机电工程, 2019, 36(1): 71–76. [doi: 10.3969/j.issn.1001-4551.2019.01.015]
 - 19 陶丹丹, 赵迪. 机械手臂中心视觉自动校正方法研究. 机床与液压, 2019, 47(20): 55–59, 77. [doi: 10.3969/j.issn.1001-3881.2019.20.013]
 - 20 贾丙西, 刘山, 张凯祥, 等. 机器人视觉伺服研究进展: 视觉系统与控制策略. 自动化学报, 2015, 41(5): 861–873.