

基于视觉的工业机器人码垛系统设计与分析

权宁¹, 徐志鹏²

(1.徐州工业职业技术学院 机电工程学院, 江苏 徐州 221000;

2.江苏建筑职业技术学院 交通工程学院, 江苏 徐州 221000)

摘要: **目的** 为提高企业工件的码垛效率, 降低工人劳动强度, 搭建工业机器人视觉码垛实验系统。**方法** 在对工业机器人运动学模型分析的基础上, 通过相机坐标系和末端坐标系的坐标关系, 得到工业机器人末端执行器的位置和姿态信息。**结果** 提出了基于工件位置坐标的图像剔除算法, 实现了多余工件图像的剔除。通过旋转平移矩阵计算待码垛工件的实际位置, 并将此位置作为视觉校正后的工业机器人抓取工件位置。**结论** 实验结果显示改进后系统的重复性定位精度在 x , y 方向上均有显著提高, 验证了工业机器人视觉码垛系统模型的准确性。

关键词: 视觉; 机器人; 码垛

中图分类号: TB486; TP242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)15-0233-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.15.029

Design and Analysis of Industrial Robot Palletizing System Based on Vision

QUAN Ning¹, XU Zhi-peng²

(1.School of Mechatronic Engineering, Xuzhou College of Industrial Technology, Xuzhou 221000, China; 2.School of Transportation Engineering, Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: In order to improve the palletizing efficiency of enterprise workpieces and reduce the labor intensity of workers, an industrial robot visual palletizing experimental system is built. Based on the analysis of the kinematics model of the industrial robot, the position and posture information of the end effector of the industrial robot is obtained through the coordinate relationship between the camera coordinate system and the end coordinate system. An image removal algorithm based on workpiece position coordinates is proposed to eliminate redundant workpiece images; the actual position of the workpiece to be palletized is calculated by the rotation and translation matrix, and this position is used as the position of the industrial robot to grasp the workpiece after vision correction. The experimental results show that the repeatability positioning accuracy of the improved system is significantly improved in X and Y directions, which verifies the accuracy of the industrial robot visual palletizing system model.

KEY WORDS: vision; robot; palletizing

随着“工业 4.0”“中国制造 2025”的提出, 加快了智能制造系统在工业系统的应用, 作为智能制造系统中重要的一个环节——工业机器人与视觉的应用不断增长^[1-3]。传统型人工作业被工业机器人等智

能化设备所取代, 在自动化领域, 包括罐头、烟草、水泥等自动化生产线的仓储码垛中, 工业机器人发挥着重要作用。目前, 我国在仓储码垛系统中, 人工码垛还是比较普遍, 与国外工业发达国家相比还

收稿日期: 2020-12-17

基金项目: 江苏省高校自然科学研究面上项目 (16KJB460027); 江苏省社科基金 (2019SJA1010); 江苏省“青蓝工程”

作者简介: 权宁 (1986—), 男, 硕士, 徐州工业职业技术学院讲师, 主要研究方向为工业机器人与视觉应用。

存在一定差距^[4-7]。

仓储码垛生产线主要应用在罐头、烟草、水泥等行业的自动仓储中,实现仓储过程的自动化^[8-9]。工业机器人因智能化水平高、便于管理、生产效率高、安全性好等显著优点,在高危环境中得到广泛应用^[10-12]。

文中在对工业机器人运动学模型分析的基础上,得出工业机器人末端执行器的位置和姿态信息。通过图像剔除算法实现多余工件图像的剔除,通过该旋转平移矩阵计算工业机器人抓取工件位置,完成基于工业机器人视觉的码垛系统的设计。

1 系统结构与原理

1.1 实验系统组成

实验系统主要由 IRB-1200 六自由度工业机器人、机器人控制系统(IRC5 控制柜)、PC、视觉相机等组成,见图 1。其中工业机器人及其控制系统均为 ABB 品牌,控制柜可以接入数字量 I/O、模拟量、以太网、编码器等,内置机器人运动控制固件,具有正/逆运动学、轨迹插补等运算,可实现伺服闭环控制、加减速控制等;视觉相机采用 CCD 工业相机,其分辨率为 1920 像素×1080 像素,通过 USB 3.0 接口与 PC 连接,用于实验平台工件的实时拍摄。

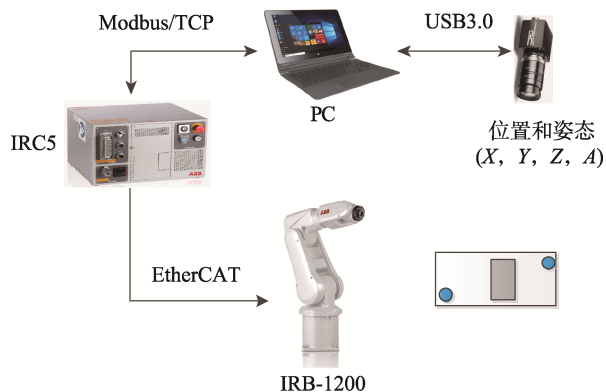


图1 工业机器人码垛系统架构
Fig.1 Architecture of industrial robot palletizing system

1.2 工作原理

实验系统中的 CCD 工业相机采用固定式安装,通过固定支架安装固定在待检测工件上方,视觉系统上位机 PC 通过以太网和机器人控制系统进行数据的交互,PC 对 CCD 工业相机捕捉的工件图像进行提取与运算,将待抓取工件的位置、姿态信息与工业机器人末端执行器的位置、姿态信息相匹配,得到待抓取工件在工业机器人世界坐标下的位置和姿态,最终实现工业机器人对目标工件的码垛。

2 码垛机器人数学模型

IRB-1200 是 ABB 公司推出的六轴紧凑型工业机器人,其最远作业距离为 0.58 m,有效载荷为 3 kg,重复定位精度为 0.01 mm。IRB-1200 工业机器人的运动范围和速度等参数见表 1。

表 1 IRB-1200 工业机器人运动参数
Tab.1 Motion parameters of IRB-1200 industrial robot

轴序号	动作范围	最大速度/($^{\circ}$ ·s $^{-1}$)
1 轴	回转: +165°至-165°	250
2 轴	立臂: +110°至-110°	250
3 轴	横臂: +70°至-90°	250
4 轴	腕: +160°至-160°	360
5 轴	腕摆: +120°至-120°	360
6 轴	腕传: +400°至-400°	420

IRB-1200 的任务空间有 6 个空间自由度,包括 3 个平动和 3 个转动。对工业机器人模型进行简化,得到简化关节型工业机器人,其连杆运动简图见图 2。

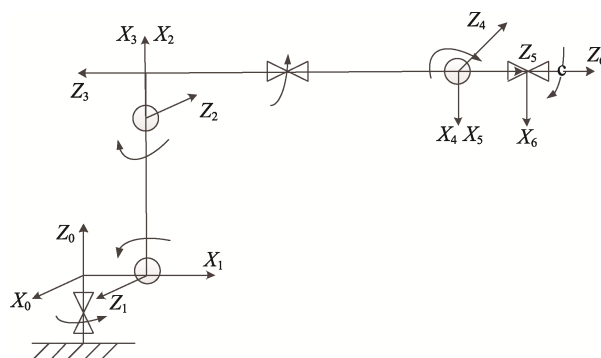


图2 机器人连杆运动简图
Fig.2 Motion diagram of robot connecting rod

图 2 中的坐标系均为右手坐标系,箭头表示轴 1 至轴 4 的 z 轴正方向;规定各关节角正的正方向为其逆时针旋转方向;末端执行器的夹紧装置在基坐标系中的位置为坐标[x y z],姿态角为 α ,那么连杆 j 坐标系相对连杆 j-1 坐标系的齐次坐标变换矩阵为^[13-14]:

$${}^{i-1}_iT = R_x(\alpha_{i-1}) \cdot T_x(a_{i-1}) \cdot R_z(\theta_i) \cdot T_z(d_i) \quad (1)$$

即:

$${}^{i-1}_iT = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \sin \theta_i \sin \alpha_{i-1} & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\cos \theta_i \sin \alpha_{i-1} & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过将每个连杆的变换矩阵连乘可以得到工业

机器人末端执行器相对基坐标系的位姿变换矩阵：

$${}^0_N\mathbf{T} = {}^0_1\mathbf{T} \cdot {}^1_2\mathbf{T} \cdot {}^2_3\mathbf{T} \cdots {}^{N-1}_N\mathbf{T} \quad (3)$$

式中： N 为工业机器人中关节变量的数量。

使用 D-H(Denavit-Hartenberg)参数法来描述两相邻杆件的连杆长度 a 、连杆转角 α 、连杆偏距 d 、关节角 θ 等 4 个参数的机构运动关系^[15]，可得到 IRB-1200 工业机器人的 D-H 参数，见表 2。

表 2 机器人 D-H 参数
Tab.2 D-H parameters of robot

连杆 i	θ_i/rad	α_{i-1}/rad	a_i/mm	d_i/mm
1	θ_1	$\pi/2$	100	0
2	θ_2	0	500	0
3	θ_3	$\pi/2$	200	0
4	θ_4	$\pi/2$	0	-600
5	θ_5	$-\pi/2$	0	0
6	θ_6	0	0	120

通过式 (3) 得到工业机器人末端执行器的工具坐标系相对于基坐标系的位姿：

$${}^0_6\mathbf{T} = {}^0_1\mathbf{T} \cdot {}^1_2\mathbf{T} \cdot {}^2_3\mathbf{T} \cdot {}^3_4\mathbf{T} \cdot {}^4_5\mathbf{T} \cdot {}^5_6\mathbf{T} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中：

$$\begin{aligned} p_x &= \cos \theta_1 [a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos \theta_2 \cos \theta_3 - d_4 \sin \theta_2 \sin \theta_3] \\ p_y &= \sin \theta_1 [a_2 \cos \theta_2 + a_3 \cos \theta_2 \cos \theta_3 - d_4 \sin \theta_2 \sin \theta_3] \\ p_z &= -a_3 \sin \theta_2 \sin \theta_3 - a_2 \sin \theta_2 - d_4 \cos \theta_2 \cos \theta_3 \end{aligned}$$

3 视觉系统搭建

3.1 相机标定算法

相机的标定本质上是不同坐标系之间的转换，实验中的视觉系统涉及多个坐标系间的转换^[8]，包括像素坐标系 (u, v) 、相机坐标系 (X_c, Y_c, Z_c) 和世界坐标系 (X_w, Y_w, Z_w) ，各坐标系间的关系见图 3。

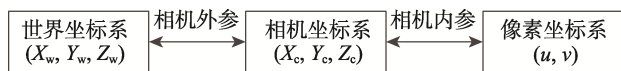


图 3 坐标系的关系转换
Fig.3 Relation transformation of coordinate system

实验室中的相机标定模型是基于小孔成像原理构建的几何成像模板，将目标点在世界坐标系的三维空间信息投影到二维空间中，以相机坐标系为纽带建立世界坐标系与图像像素坐标系之间的对应关系，可得：

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

通过该转换，可得相机坐标系和世界坐标系的坐标关系：

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中： (u, v) 为特征点的图像像素坐标； Z_c 为比例因子； (u_0, v_0) 为图像中心点坐标； f_x, f_y 为像素点

尺寸； $\begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ 为相机内参数矩阵； $\mathbf{R}, \mathbf{T}$ 分别

为相机外参数矩阵的旋转矩阵和平移向量。

3.2 重复图像剔除

在码垛实验视觉拍照采集图像过程中易出现重复信息，即同一工件被多次采集到图像^[16]。为避免工业机器人重复抓取，需剔除多余图像信息，实验系统中 CCD 相机的拍照频率：

$$f = v \times N / D \quad (7)$$

式中： v 为传送带运行速度； N 为每个工件拍摄次数； D 为相机视场长度。

首先，分别定义 2 个坐标 A/B 集合，其中 A 集合表示 T 时刻相机场景中工件的坐标集合 $\mathbf{A} = \{(x_i, y_i, z_i)^T\}$ ， $i=1, 2, 3, \dots, N$ ； B 集合表示 $T+\Delta t$ 时刻相机场景中工件的坐标集合 $\mathbf{B} = \{(x_i, y_i, z_i)^T\}$ ， $i=1, 2, 3, \dots, N$ 。

其次，假设 $T+\Delta t$ 时刻相机拍摄的第 1 个工件对象的 x 坐标为 x_j ($j < N$)，依次寻找 T 时刻相机场景中工件对象的 X 坐标为 x_i ($i < N$)。如果 $x_j \neq x_i$ ，则 $T+\Delta t$ 时刻第 1 个对象为新增工件；如果 $x_j = x_i$ ，则对比 y 轴的坐标值，假设 $T+\Delta t$ 时刻相机拍摄的第 1 个工件对象的 Y 坐标为 y_j ($j < N$)，依次寻找 T 时刻相机场景中

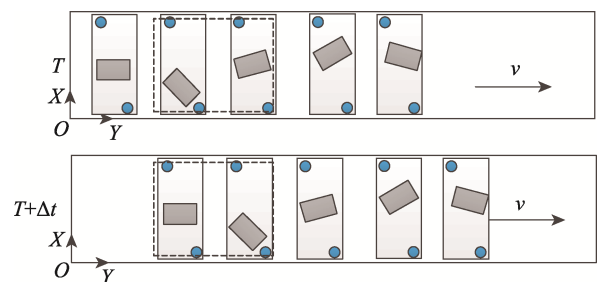


图 4 相机场景与工件位置
Fig.4 Camera scene and workpiece position

工件对象的 Y 坐标为 y_i ($i < N$), 如果 $y_j - v \cdot \Delta t \neq y_i$, 则为新增工件, 反之则为重复工件, 予以剔除。

3.3 工件位置校正

在该实验中, 为完成工件的有效抓取码垛, 需要完成定位孔在世界坐标系中的坐标推导。工件实际姿态和基准姿态见图 5, 其中实线部分表示当前工件到达工业机器人抓取工位的实际位置, 虚线部分表示工件在抓取工位的基准位置。

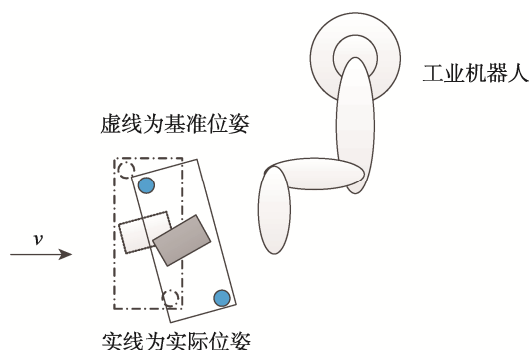


图 5 工件实际位置与基准位置

Fig.5 Actual position and reference position of workpiece

假设有 P_i 和 Q_i 2 个矩阵, 其中 P_i 为基准位置时的定位孔的坐标为 $[x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}]^T$, Q_i 为实际位置时的定位孔的坐标为 $[x_{qi}, y_{qi}, z_{qi}]^T$ 。因为每个托盘完全一致, 所以定位孔的相对位置是固定的, 因此 P_i 与 Q_i 属于刚性矩阵变化, 假设变化矩阵为 $M = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, 则有:

$$\begin{bmatrix} Q_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

对于所有匹配定位点则有:

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式 (14) 可简化为 $Q = MP$, 求解 $M = QP^{-1}$ 。其中矩阵 M 含有参数个数为 6, 通过视觉识别计算可得 2 个定位孔位置的 6 个已知量, 因此存在冗余, 可得多组可行解。将匹配点的欧氏距离作为误差目标函数, 通过 SVD 求解 R 和 T 。在得到 M 的最优预估值后, 通过该旋转平移矩阵计算待码垛工件的实际位置, 并将此位置作为视觉校正后的工业机器人抓取工件位置。

3.4 坐标融合

为实现工业机器人对目标物体的精准抓取, 需要将图像信息与机器人基坐标在视觉坐标下进行融合, 用以确定相机坐标系与工业机器人末端执行器的工具坐标系相对于机器人基标的位姿关系。

视觉坐标系与机器人坐标系转换关系:

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & p_x \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & p_y \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

将式 (10) 展开后得到:

$$\begin{cases} X_w = m_{11}X_c + m_{12}Y_c + m_{13}Z_c + p_x \\ Y_w = m_{21}X_c + m_{22}Y_c + m_{23}Z_c + p_y \\ Z_w = m_{31}X_c + m_{32}Y_c + m_{33}Z_c + p_z \end{cases} \quad (11)$$

对于 n 个在机器人基坐标系下的空间点, 根据式 (11) 可得线性方程组 (12):

$$\begin{bmatrix} X_{c1} & Y_{c1} & Z_{c1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_{c1} & Y_{c1} & Z_{c1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_{c1} & Y_{c1} & Z_{c1} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{cn} & Y_{cn} & Z_{cn} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_{cn} & Y_{cn} & Z_{cn} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_{cn} & Y_{cn} & Z_{cn} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} \\ m_{12} \\ m_{13} \\ p_x \\ m_{21} \\ m_{22} \\ m_{23} \\ p_y \\ m_{31} \\ m_{32} \\ m_{33} \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{w1} \\ Y_{w1} \\ Z_{w1} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ X_{wn} \\ Y_{wn} \\ Z_{wn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中: (X_{ci}, Y_{ci}, Z_{ci}) 为第 i 个点在视觉坐标系中的坐标; (X_{wi}, Y_{wi}, Z_{wi}) 为第 i 个点在机器人基坐标系的坐标。

式 (12) 可简化:

$$Am = B \quad (13)$$

式中: A 为 $3n \times 12$ 的矩阵; B 为 $3n \times 1$ 的矩阵。

通过最小二乘法求出式 (13) 的解, 即求得 m , 最终得到了相机坐标系到工业机器人基坐标系的转换矩阵。

4 实验验证

为验证基于视觉的工业机器人码垛系统的精准性, 实验搭建了实验平台, 见图 1, 其中工件尺寸为 $50 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 。CCD 工业相机镜头至工件托盘的垂直距离为 600 mm 。实验系统将工件对应的空间坐标和角度旋转通过 Modbus/TCP 协议实时发送给工业机器人控制器, 控制器接到实时数据后经过运算转换后实现目标工件的定位抓取任务, 并实现码垛任务。

通过图像剔除与工件位置校正得到的各个工件的图像坐标转换, 其在视觉空间坐标下的平面位置和工件旋转角度, 将处理结果绘制见表 3。

通过该实验系统测量后得到的位置与实际位置的偏差反映到同一张图中, 见图 6, 其中红色正方形表示普通标定的偏差, 蓝色菱形表示该系统标定的偏差。可得出直接标定后在 x 方向标准差为 0.714 mm ,

表 3 工件在视觉坐标下的位置姿态
Tab.3 Position and attitude of workpiece in visual coordinates

工件	X/mm	Y/mm	Z/mm	A/(°)
1	51.22	25.30	20	84.52
2	50.51	25.22	20	83.26
3	49.43	24.28	20	82.12
4	49.15	25.53	20	83.34
5	50.13	25.44	20	78.54
6	49.24	24.90	20	76.37
7	50.53	25.20	20	82.21
8	49.06	24.65	20	84.72
9	49.58	24.62	20	81.32
10	50.10	25.11	20	82.47

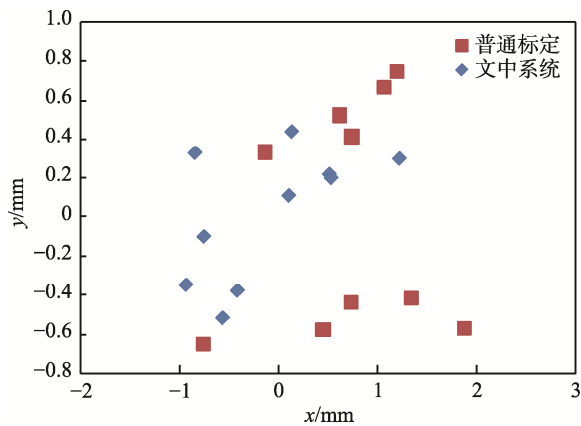


图 6 x 方向和 y 方向中心偏差
Fig.6 Center deviation in x and y directions

y 方向标准差为 0.546 mm; x 方向的重复性精度为 0.226 mm, y 方向上的重复性精度为 0.173 mm。通过该实验系统标定后,在 x 轴上的标准差为 0.680 mm, y 轴上的标准差为 0.322 mm; x 方向的重复性精度为 0.215 mm, y 方向上的重复性精度为 0.102 mm。从图 6 中可知,在 y 方向上偏差分布均匀,但是在 x 轴上出现多组数据出现较大偏差,其可能是因为相机坐标系与世界坐标系中两 z 轴的平行度存在偏差所致。

5 结语

通过对工业机器人运动学模型分析的基础上,针对视觉拍照采集图像过程中易出现重复信息,提出了基于工件位置坐标的图像剔除算法实现多余图像的剔除,实现了工件位置的校正和各个不同坐标的融合,最终建立了工业机器人视觉码垛控制系统模型。通过实验验证了图像剔除算法、工件位置校正消除误差的可行性,实验结果显示改进后系统的重复性定位

精度在 x 方向、 y 方向上均有显著提高,验证了工业机器人视觉码垛系统模型的准确性。

参考文献:

[1] 董晶,姜永增,郭艳宏.一种全自动化肥包装码垛机码垛控制单元的设计[J].农机化研究,2014,36(3):98—101.
DONG Jing, JIANG Yong-zeng, GUO Yan-hong. The Design of a Full Automatic Chemical Fertilizer Packaging Stacker Control Unit[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(3): 98—101.

[2] 倪鹤鹏,刘亚男,张承瑞,等.基于机器视觉的 Delta 机器人分拣系统算法机器人,2016,38(1):49—53.
NI He-peng, LIU Ya-nan, ZHANG Cheng-rui, et al. Sorting System Algorithms Based on Machine Vision for Delta Robot[J]. Robot, 2016, 38(1): 49—53.

[3] 谭伟,徐钦佳,李勇,等.基于单目视觉的机械手三维定位[J].微电子学与计算机,2011,28(2):129—132.
TAN Wei, XU Qin-jia, LI Yong, et al. 3D Locating of Robot Manipulator Based on Monocular Vision[J]. Microelectronics & Computer, 2011, 28(2): 129—132.

[4] 董靖川,张成君,王一成,等.面向机器人智能抓取任务的视觉定位实验[J].实验技术与管理,2020,3(3):56—59.
DONG Jing-chuan, ZHANG Cheng-jun, WANG Yi-cheng, et al. Experiment on Visual Localization for Robotic Intelligent Grasping Task[J]. Experimental Technology and Management, 2020, 3(3): 56—59.

[5] 闫九祥,赵永国,张艳芳,等.基于单目视觉的工业机器人拆垛系统设计与实验[J].机床与液压,2020,2(3):18—23.
YAN Jiu-xiang, ZHAO Yong-guo, ZHANG Yan-fang, et al. Design and Experiment of Industrial Robot Stacking System Based on Monocular Vision[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2020, 2(3): 18—23.

[6] 顾寄南,樊帆,关号兵,等.上下料机器人视觉控制系统研究[J].机械设计与制造,2013(8):149—151.
GU Ji-nan, FAN Fan, GUAN Hao-bin, et al. Research on Visual Control System of Up-Down Material Robot[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(8): 149—151.

[7] 张卫芬,汤文成.基于机器视觉的物料自动分拣系统研究[J].组合机床与自动化加工技术,2019(6):34—37.
ZHANG Wei-fen, TANG Wen-cheng. Research of the Material Automatic Sorting System Based on Machine Vision[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2019(6): 34—37.

[8] 张业鹏,张明.基于 PLC 与工业机器人的全自动化

- 码垛系统设计[J]. 制造业自动化, 2015, 11(37): 108—110.
- ZHANG Ye-peng, ZHANG Ming. The Design of Automatic Palletizing System and Industrial Robot Based on PLC[J]. Manufacturing Automation, 2015, 11(37): 108—110.
- [9] 朱代先. 基于双目视觉的工件定位与抓取研究[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(1): 92—94.
- ZHU Dai-xian. Research on Location and Crawling of Workpiece Based on Binocular Vision[J]. Computer Measurement & Control, 2011, 19(1): 92—94.
- [10] 刘毅, 丛明, 刘冬, 等. 基于改进遗传算法与机器视觉的工业机器人猪腹剖切轨迹规划[J]. 机器人, 2017, 39(3): 377—384.
- LIU Yi, CONG Ming, LIU Dong, et al. Sorting Trajectory Planning for Porcine Abdomen Cutting Based on an Improved Genetic Algorithm and Machine Vision for Industrial Robot[J]. Robot, 2017, 39(3): 377—384.
- [11] 杜巧连, 陈旭辉, 舒柏和. 自动化包装机械控制系统的设计方法研究[J]. 机械管理开发, 2015(6): 27—32.
- DU Qiao-lian, CHEN Xu-hui, SHU Bai-he. Study on the Design Method of Packaging Machinery Automation Control System[J]. Mechanical Management and Development, 2015(6): 27—32.
- [12] LI Y, WANG R, CUI Z, et al. Spatial Pyramid Covariance Based Compact Video Code for Robust Face Retrieval in TVseries[J]. IEEE Transactionson Image Processing, 2016, 25(12): 5905—5919.
- [13] 吴广雨, 张伟军, 杨保佳. 机器人视觉装配中的精确定位策略研究[J]. 机械与电子, 2020, 38(3): 75—80.
- WU Guang-yu, ZHANG Wei-jun, YANG Bao-jia. Research on Accurate Positioning Method in Robot Visual Assembly System[J]. Machinery & Electronics, 2020, 38(3): 75—80.
- [14] 张程, 张卓. 码垛机器人运动学分析及关节空间轨迹规划研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(2): 19—21.
- ZHANG Cheng, ZHANG Zhuo. Kinematics Analysis and Joint Space Trajectory Planning of Palletizing Robot[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2020(2): 19—21.
- [15] 杨前明, 闫九祥, 王世刚, 等. 基于 D—H 位移矩阵法的溢油回收系统扫油臂运动学建模[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2014, 33(1): 92—97.
- YANG Qian-ming, YAN Jiu-xiang, WANG Shi-gang, et al. Kinematic Modeling for Telescopic Jib Arm of Oil Spill Recorvery System Based on D-H Displacement[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2014, 33(1): 92—97.
- [16] 张代林, 陈文广, 谢经明, 等. 基于形状模板匹配的印刷品缺陷检测[J]. 机械与电子, 2013(12): 40—43.
- ZHANG Dai-lin, CHEN Wen-guang, XIE Jing-ming, et al. Printed Matter Defects Detection Based on a Shape Template Matching Algorithm[J]. Machinery & Electronics, 2013(12): 40—43.