

基于机器视觉的阀口袋动态拾取系统设计

李雪梅, 朱召阳, 王剑, 陈燕明, 李喆

(桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要: **目的** 为了解决粉体包装领域自动化程度低且工作环境对人体有较大危害的问题, 设计一种阀口袋动态拾取系统。**方法** 首先分析阀口袋动态拾取系统软硬件设计和工作过程; 然后, 分析相机图像坐标到机器人世界坐标的转换关系、手眼标定过程, 以及对采集到的图像进行畸变校正、滤波等图像处理过程; 最后, 采用基于卡尔曼滤波算法对流水线上运动的阀口袋实现定位和拾取。**结果** 实验表明, 机器人能够对输送机上的阀口袋实现定位和动态拾取, 拾取误差小于 1 mm, 连续运行情况下可实现每分钟 5~7 袋的上袋速度。**结论** 该拾取系统运行稳定, 具有较高的运行效率和拾取精度。

关键词: 粉体包装; 阀口袋; 动态拾取; 图像处理; 卡尔曼算法

中图分类号: TB486+.3; TP249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)01-0103-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.016

Design of Dynamic Picking System for Valve Pocket Based on Machine Vision

LI Xue-mei, ZHU Zhao-yang, WANG Jian, CHEN Yan-ming, LI Zhe

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

ABSTRACT: The work aims to design a dynamic picking system of valve pocket, so as to solve the problem of low automation in powder packaging field and reduce the great harm to human body caused by working environment. Firstly, the software and hardware design and working process of the valve pocket dynamic picking system were analyzed; secondly, the conversion relationship between camera image coordinates and robot world coordinates, hand-eye calibration process, image processing processes such as distortion correction and filtering were analyzed; finally, the valve pocket moving on the assembly line was positioned and picked up by Kalman filter algorithm. The robot could locate and pick up the valve pockets on the conveyor dynamically, and the pickup error was less than 1 mm. Moreover, the bagging speed of 5-7 bags per minute could be realized under continuous operation condition. The picking system runs stably with high efficiency and accuracy.

KEY WORDS: powder packaging; valve pocket; dynamic pickup; image processing; Kalman algorithm

近年来,随着经济快速发展,国家对水泥、化肥、矿粉等粉体产品需求较大,然而生产水泥等粉体的企业,存在粉尘、噪声、高温、振动 4 种职业危害,尤其是粉尘浓度较高,职业危害最大^[1-2]。同时粉体企业面临着节能环保与可持续发展战略的严峻挑战,很

多企业对生产流水线进行改造实现自动化上袋,减少上袋粉尘与生产车间工人数量,提高包装效率,降低成本^[3]。在整个粉体包装中较难实现自动化的过程便是对软纸质阀口袋进行拾取—张袋—套袋的过程。随着科技的不断发展,机器视觉技术在各行各业中已经

收稿日期: 2019-06-03

基金项目: 广西科技攻关计划(2017AA24007); 广西研究生教育创新计划(YCSW2018135); 桂林科技开发项目(20160218-1)

作者简介: 李雪梅(1971—),女,教授,硕导,主要研究方向为机电控制与自动化、数字化设计与特种加工技术。

得到了普遍的使用^[4-5]。在批量化的生产中,机器视觉技术的应用,不仅提高了工业生产效率,而且也解决了特殊环境下不适合人类工作的情况^[6]。文献[7—13]利用机器视觉在药品、番茄裂果、印刷品缺陷、汽车保险丝盒多角度检测、甘蓝形状、肉品质鉴别及目标跟踪等方面取得了较好的效果。PLC 因具有编程简单、数据处理较快以及程序稳定,工业机器人自动化领域采用 PLC 为控制核心,取得了较好的应用效果^[14-16]。利用 PLC、视觉系统、工业机器人、实验室研发的末端执行器^[17],设计软硬件系统,在生产线上不停机的情况下,对传送带上阀口袋实现了动态定位与拾取,并完成了夹袋—张袋—套袋连续过程,取得了较好的实验效果。

1 系统总体方案

1.1 系统的硬件

系统包含 4 个子系统,分别是 PLC 控制系统、输送机构系统、机器视觉系统、埃夫特 ER10-C10 型机器人系统,实验室各设备的布置见图 1。



图 1 实验室设备布置

Fig.1 Layout of lab equipment

PLC 控制系统,由西门子 PLC S7-1200 系列(型号为 1215C DC/DC/DC)、IO 扩展模块、西门子触摸屏、PLC 控制系统控制柜及各类元器件(继电器、电磁阀等)组成。

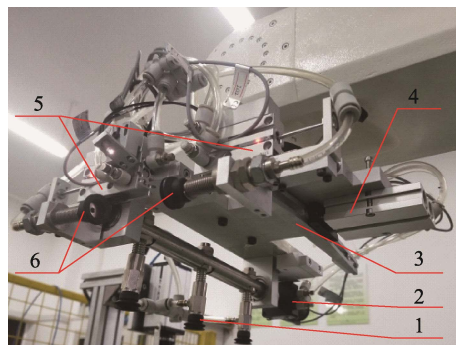
输送机构系统,由流水线机械装置、信捷变频器、配套三相电机、光电开关组成。

机器视觉系统,选用 30 万像素 SV4-30M 智能相机、H0514-MP2 镜头、LED 环形光源,固定在传送带上方。

埃夫特 ER10-C10 型机器人系统,由埃夫特 ER10-C10 型机器人、如图 2 所示的实验室自主研发的末端执行器(气体真空度检测装置、附加设计的气动系统)、机器人示教盒、机器人系统控制柜组成。

1.2 系统的整体工作流程

研究的阀口袋动态拾取系统是在送料机构将阀口袋吸附到输送机构之后进行工作。工作流程:输



1.拾取吸盘 2.旋转气缸 3.夹紧板 4.夹紧气缸
5.开袋气缸 6.开袋吸盘

图 2 末端执行器各部分的结构

Fig.2 Structure of each part of the end effector

送机构将阀口袋运行到光电传感器位置,光电传感器感应到阀口袋后,触发相机每隔 Δt 时间拍照 1 次;相机将每次处理后的特征点信息传送给 PLC,在西门子 TIA 博途软件开发平台中编写卡尔曼算法程序,进行多次的预估-修正迭代过程,卡尔曼算法将预估出 t 时刻后的位置,经过坐标转换程序,最后将抓取点坐标(x, y 坐标以及旋转角度)发送给机器人;结合设计的气动系统,机器人控制末端执行器对阀口袋实现动态拾取,之后按照既定路径实现阀口袋自动上袋。末端执行器的工作原理为从传送带上将阀口袋拾取后,旋转气缸旋转 90° ,夹紧气缸作用推动夹紧板将阀口袋夹紧,之后拾取气泵断开,旋转气缸复位,机器人按照既定路径到达指定点,开袋气缸作用,开袋成功后,进入套袋程序。

2 相机图像信息处理

2.1 镜头畸变校正

在畸变校正过程中,需要拍摄摆放角度较大的标定板图片,并且拍摄的图片不宜过少(20 张左右),这样可以使内参和畸变系数的计算更加准确。利用 Matlab 标定工具箱对拍摄的 22 张图片进行读取,之后进行角点提取,程序会通过提取到的角点进行内参和畸变系数的计算,将提取到的内参及镜头畸变系数输入到相机图像畸变校正中,对采集到的图像进行内参和畸变校正。由于人为选择每幅标定棋盘格图片的角点,不可避免地会引起误差,删除标定板棋盘格角点反投影到图像空间误差较大点所在的图片,提高内参和畸变系数计算的准确性,标定结果见图 3。

2.2 相机标定原理

相机标定在视觉系统设计中至关重要^[18],标定的精度直接影响机器人末端执行器吸附时的精度。景物通过相机光轴中心点投射到成像平面上的模型,称为小孔模型,其原理见图 4^[19]。

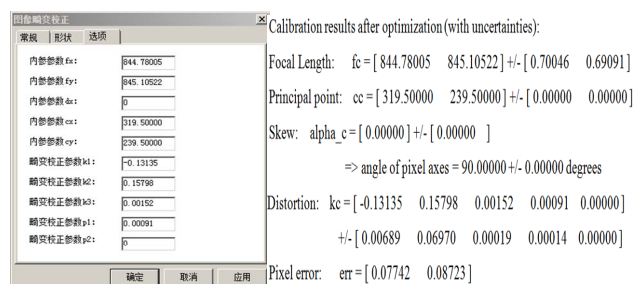


图 3 相机畸变标定结果

Fig.3 Camera distortion calibration results

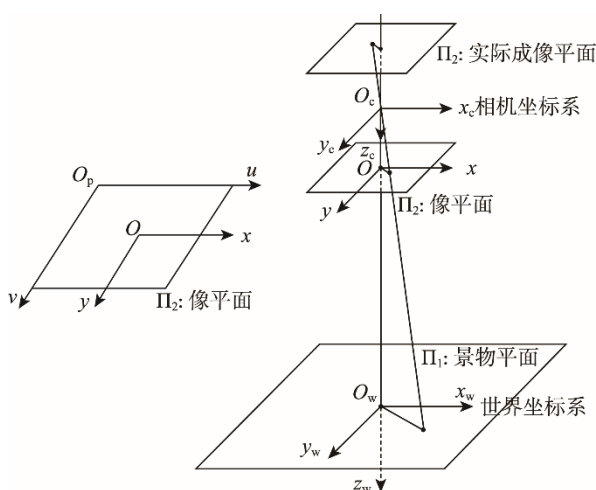


图 4 相机成像原理

Fig.4 Camera imaging principle

图 4 中 O_c 为相机光轴中心点, Π_2 是相机的实际成像平面, 将平面内的实像方向进行转换, 可以得到等效成像平面 Π_2 。在 O_c 光轴中心点建立相机坐标系, 在等效成像平面建立图像坐标系 (O_{xy}) 和像素坐标系 (O_puv), 在景物平面 Π_1 上建立世界坐标系 (O_wxWyWz_w), 相机内参数模型描述的是景物点与图像点之间的关系, 相机坐标系与世界坐标系之间的变换, 反映了景物坐标系在相机坐标系中的关系, 即相机外参数模型。景物通过相机光轴中心点投射到成像平面上的相机模型主要涉及像素坐标系、图像坐标系、相机坐标系和世界坐标系, 四者之间满足以下的转换关系:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} f_u & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_v & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \mathbf{M}_{in} \cdot {}^c\mathbf{M}_w \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $\mathbf{M}_{in}$ 为摄像机四参数内参矩阵; ${}^c\mathbf{M}_w$ 为摄像机外参矩阵; $\mathbf{M}$ 为摄像机投影矩阵。

2.3 手眼标定

手眼标定的目的是建立“像素坐标系”与“机器人坐标系”之间的关系, 让机器人能够根据“像素坐标系”提供的坐标信息使末端执行器准确移动到吸附位置。由式 (1) 可得:

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过相机图像处理识别自制标定板上 9 个位置, 利用相机 Modbus 输出监控功能读出在像素坐标系下的坐标 (u, v), 依次将机器人标定的工具坐标移动到相机识别的 9 个位置, 并分别作好记录。

由此构建超定方程组:

$$\begin{bmatrix} x_{w1} & x_{w2} & \cdots & x_{w9} \\ y_{w1} & y_{w2} & \cdots & y_{w9} \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}^{-1} \begin{bmatrix} u_1 & u_2 & \cdots & u_9 \\ v_1 & v_2 & \cdots & v_9 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

利用 Matlab 程序即可求得该超定方程组中投影矩阵 $\mathbf{M}^{-1}$, 带入对应的数据, 可得:

$$\mathbf{M}^{-1} = \begin{bmatrix} -0.005 & -0.606 & 1425.861 \\ 0.601 & 0 & -427.880 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.4 图像处理

图像处理的最终目的是要将获得的阀口袋位姿信息发送给 PLC, PLC 进行数据处理、坐标转换、卡尔曼算法之后将数据发送给机器人控制系统, 最终实现吸附。由于机器人抓取的是平面工件, 因此只需要确定阀口袋上吸附点的坐标和阀口袋偏转角度, 机器人末端执行器即可以按照指定的位姿实现吸附。图像处理的过程见图 5。

利用相机自带的图形编辑软件 X-SIGHT STUDIO, 对采集到的图像进行图像处理并对特征信息进行脚本程序编写, 阀口袋图像处理结果见图 6。图 6 中阀口袋前端边沿和阀口袋侧边是识别出的特征信息, 通过编写脚本程序最终相机可以输出交点 $P_0(x, y)$ 和阀口袋前端边沿所处的角度 θ 。图 6 中输出的数据 result_pointx, result_pointy, result_angle 分别表示阀口袋前端边沿与阀口袋侧边交点 P_0 的坐标值 (x, y) 以及阀口袋前端边沿所处角度 θ 。阀口袋的简化模型和在相机坐标系下不同时刻阀口袋运动的位置见图 7, 图 7 中 2 为相机可以识别区域, 3 为末端执行器拾取吸盘拾取阀口袋位置, 图 7 中 4 的阀套是末端执行器开袋吸盘吸附区域, 目的是打开阀口进行套袋, 6 为不同时刻传送带上阀口袋的运动位置。本实验室中使用的阀口袋型号已经确定, 因此在图 7 中 ϕ 和 l 的值是已知的, 因此根据几何关系, 可

以确定 P, M 在像素坐标系中的位置。经过坐标系转换知识和投影矩阵转换可以确定机器人拾取阀口袋的坐标 (x, y) 和旋转角度 θ_0 。

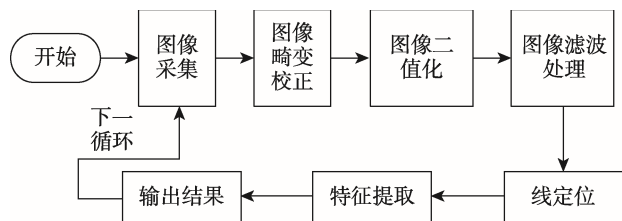


图 5 相机图像处理过程
Fig.5 Camera image processing

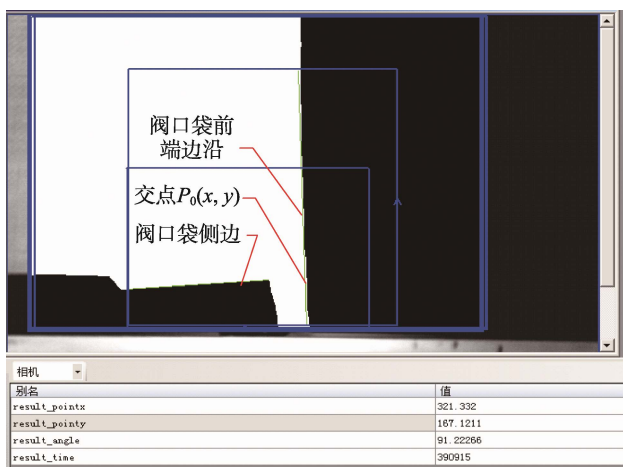


图 6 图像处理结果
Fig.6 Image processing results

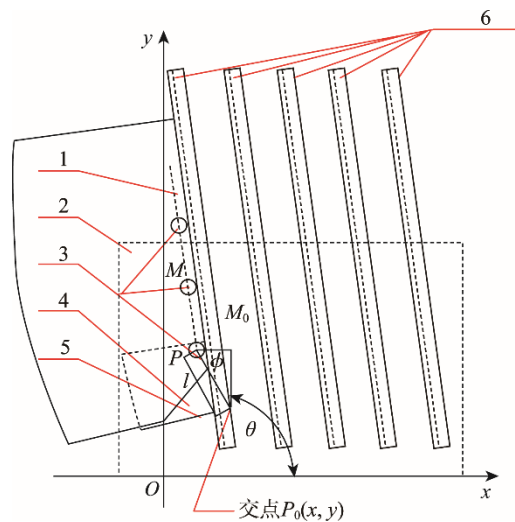


图 7 相机坐标系下阀口袋位置
Fig.7 Position of valve pocket in camera coordinate system

3 基于卡尔曼滤波的运动目标定位

阀口袋运动至光电开关处, 触发相机拍照, 就可以获得阀口袋的位姿信息, 根据这一时刻相机拍

照提供的阀口袋真实位姿信息和卡尔曼滤波器更新的预估信息, 去预估下一时刻的状态信息, 卡尔曼滤波算法可以在反复的预估-修正迭代中去提高预估的准确度。

3.1 卡尔曼滤波算法

卡尔曼滤波器是一个线性的滤波器, 算法主要包括时间更新方程和状态更新方程。卡尔曼滤波器时间更新方程^[20]:

$$\hat{X}_K = A\hat{X}_{K-1} + BU_{K-1} \quad (5)$$

$$P_K = AP_{K-1}A^T + Q \quad (6)$$

卡尔曼滤波器状态更新方程:

$$K_K = \frac{P_K H^T}{HP_K H^T + R} \quad (7)$$

$$\hat{X}_K = \hat{X}_K + K_K(Z_K - H\hat{X}_K) \quad (8)$$

$$P_K = (1 - K_K H)P_K \quad (9)$$

3.2 卡尔曼滤波状态方程的应用

考虑到实际的工作场景, 送料机构每隔固定时间将阀口袋吸附到传送带上, 传送带上的速度在相隔较短时间内可近似认为是匀速直线运动, 因此, 以理想的匀速直线运动模型建立系统模型。

阀口袋到达光电开关处, 触发相机每隔一定时间进行一次拍照, 相机将对特征信息实现快速提取, 经过实验研究发现, 在所有提取到的阀口袋位姿信息结果中只有 x 坐标数据成比例增加, y 坐标和旋转角度稳定不变或者由于传输过程中引起的不稳定导致发生些许变化, 为了提高 y 坐标和旋转角度的准确性以及满足卡尔曼滤波器对实时性的要求, 对 y 和 θ 进行如下处理:

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (10)$$

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i \quad (11)$$

式中: n 为触发相机拍照次数; y_i 和 θ_i 为第 i 次经过 PLC 数据格式处理之后输出的 y 坐标及旋转角度。

根据卡尔曼滤波算法 5 个核心公式可知, 只有给定目标物体这一时刻的位置、速度和系统初始协方差 P , 卡尔曼滤波算法才能够实现预测-修正的迭代过程。结合自己设定的相机坐标系, 其速度的大小为相机输出的相邻两帧图像特征信息坐标 x 差值与相隔时间的比值。用一个二维变量 (X_S, V_S) 定义系统状态, 建立运动目标的运动方程如下:

$$X_S = X_{S-1} + V_S \Delta t \quad (12)$$

式中: Δt 为相邻 2 帧图像间隔时间。其矩阵形式为:

$$\begin{pmatrix} X_s \\ V_s \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_{s-1} \\ V_{s-1} \end{pmatrix} \quad (13)$$

卡尔曼系统状态方程如下：

$$\hat{X}_{\bar{k}} = \hat{X}_{k-1} + V_k \Delta t \quad (14)$$

状态的观测模型 Z_k 数值为相机对应输出的 x 坐标数值，即：

$$Z_k = x_k \quad (15)$$

3.3 基于卡尔曼滤波目标定位算法的实现

西门子 S7-1200PLC 与相机、机器人均遵守 Modbus TCP 协议，支持 100 M 以太网通信。在西门子 TIA 博途软件平台编写相机数据格式转换程序，卡尔曼滤波算法程序、相机像素坐标系与机器人世界坐标系转换程序，输送机控制程序，机器人控制

程序，相机与 PLC 建立通信和 PLC 与机器人通信客户端程序，这些程序不是独立存在，而是按照逻辑顺序相互紧密联系在一起，使本系统能够实现如下功能。

1) 送料机构将阀口袋运送到光电开关处，触发相机每隔 Δt 时间拍照 1 次，将相机提取出的位姿信息经过数据格式转换和卡尔曼滤波算法的预测-修正过程，达到一定的迭代次数之后，将预测结果输出给机器人，实现阀口袋动态拾取。

2) PLC 与机器人建立通信，通过时刻反馈机器人运行状态，达到控制机器人按照一定的逻辑顺序实现对阀口袋的夹紧—张袋—套袋过程，最终使机器人退回到起始点，等待下一次接收到拾取阀口袋信息的全自动过程。整个作业过程的流程见图 8。

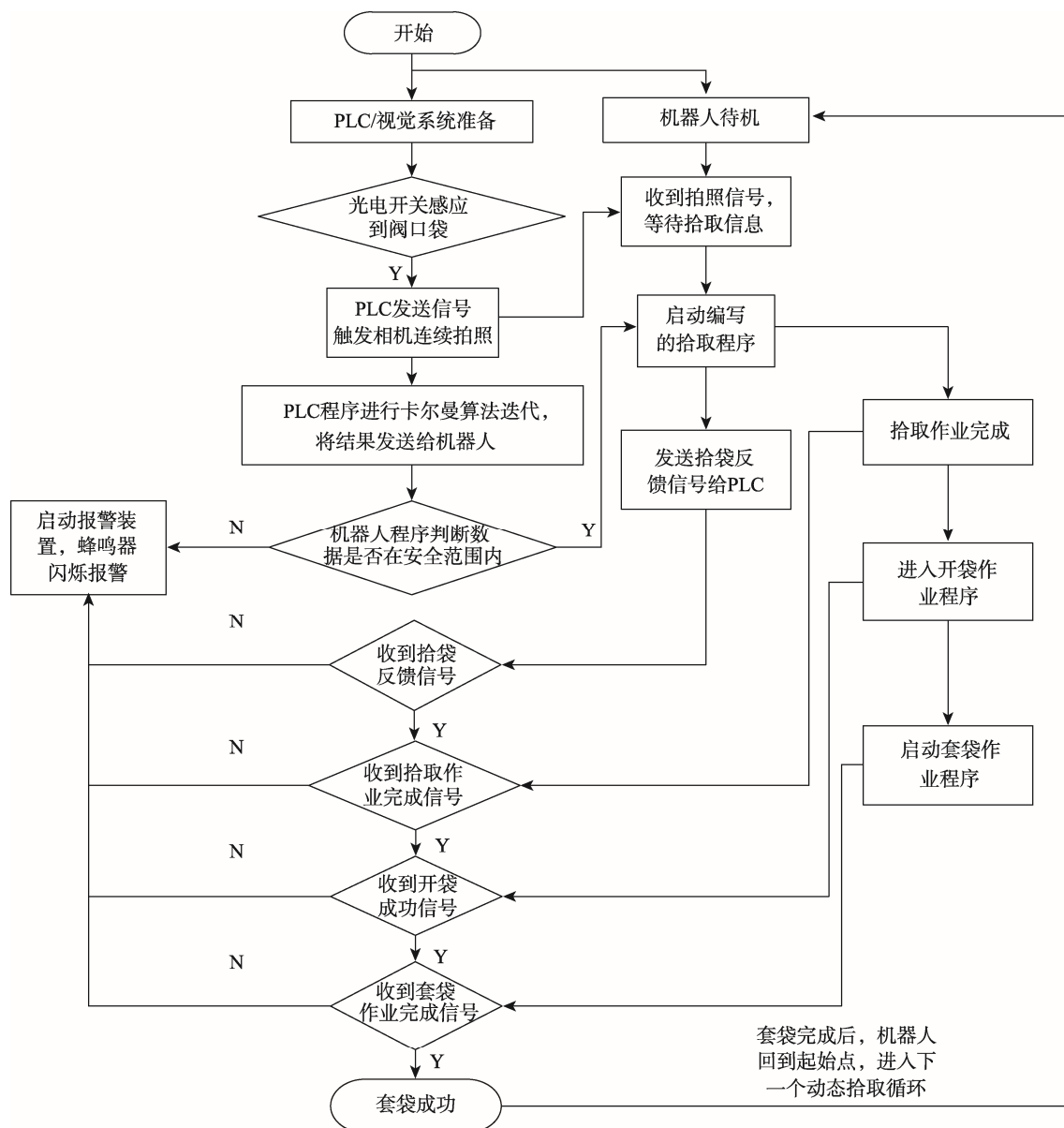


图 8 控制系统流程

Fig.8 Flow chart of control system

4 实验及分析

利用实验室的实验平台,对所编写的程序进行调试,相机连续拍照采集数据,机器人按照传输的数据对阀口袋进行动态拾取,机器人末端执行器实现对阀口袋张袋、套袋等功能的协调配合,运行正常。经过大量实

验研究,开发的自动上袋系统拾取效率高、拾取准确,可实现每分钟 5~7 袋的上袋速度。机器人理论拾取阀口袋的位姿坐标与机器人实际拾取阀口袋的位姿坐标见表 1。从表 1 可以看出所设计的阀口袋动态拾取系统定位准确,误差均在 1 mm 以内,完全满足夹紧—张袋—套袋后续工作对精度的要求。抓拍实验平台上机器人从定位拾取到自动上袋整个过程的部分图片见图 9。

表 1 机器人理论抓取位置与实际抓取位置对比
Tab.1 Comparison of theoretical and actual grasping positions of robots

mm

序号	理论拾取位置	机器人实际拾取位置
1	(1235.946, - 149.108, 543.336)	(1236.000, - 150.000, 543.385)
2	(1231.440, - 145.699, 543.633)	(1232.000, - 145.000, 543.644)
3	(1237.995, - 148.093, 543.418)	(1238.000, - 148.000, 543.395)
4	(1240.993, - 145.121, 543.370)	(1241.000, - 145.000, 543.369)
5	(1245.301, - 145.576, 543.417)	(1245.000, - 146.000, 543.372)
6	(1246.988, - 159.300, 543.424)	(1247.000, - 159.000, 543.466)
7	(1243.098, - 146.531, 543.456)	(1243.000, - 147.000, 543.440)
8	(1238.308, - 145.189, 543.490)	(1239.000, - 146.000, 543.376)

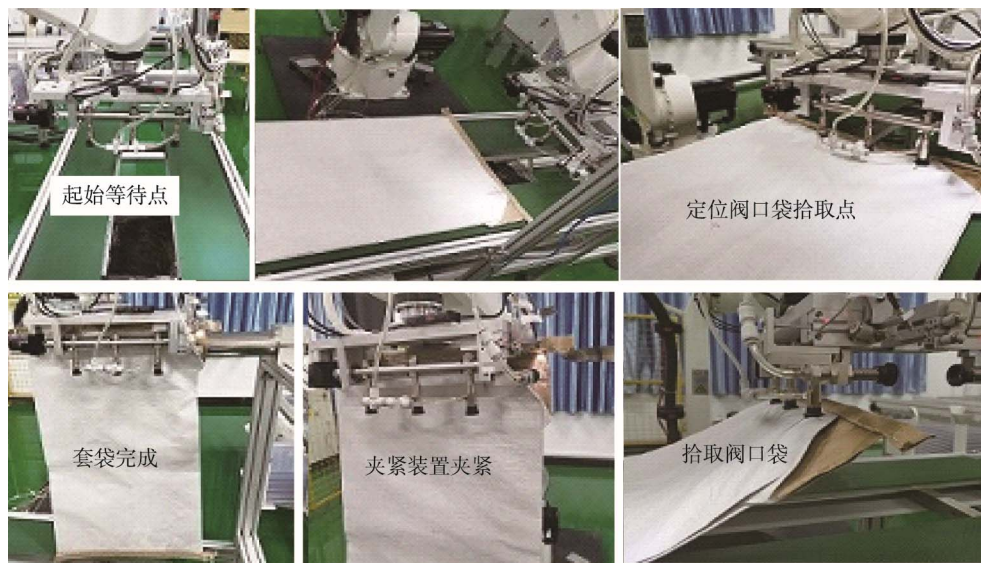


图 9 阀口袋自动上袋循环过程

Fig.9 Automatic bagging and circulation process of valve pocket

5 结语

详细介绍了动态拾取阀口袋、自动上袋拾取系统的整个流程。在大多数流水线生产中多采用编码器加伺服电机对流水线上的目标物体进行定位,文中采用基于卡尔曼滤波算法对传送带上运动物体进行定位,最终实现拾取。在满足拾取精度的情况下,大大降低了生产成本。

目前,国内在阀口袋动态拾取、自动上袋方面的自动化设备较落后,该拾取系统具有较高精度和效率,能够满足后续过程对精度的要求,在超精细粉体

包装领域具有较好的指导意义和推广价值。

参考文献:

- [1] 殷德山,袁春贤.降低水泥包装作业场所粉尘危害[J].劳动保护,2018(12):82—84.
YIN De-shan, YUAN Chun-xian. Reducing Dust Hazards in Cement Packaging Workplaces[J]. Labor Protection, 2018(12): 82—84.
- [2] 王勇,阚顺源.回顾与展望:国内化肥重包装材料的选择和应用(上)[J].塑料包装,2016,26(3):44—51.
WANG Yong, KAN Shun-yuan. Retrospect and Pro-

- spect: Selection and Application of Domestic Chemical Fertilizer Heavy Packaging Materials (Part I)[J]. Plastic Packaging, 2016, 26(3): 44—51.
- [3] 李支茂, 谌永祥, 李双跃, 等. 柔性水泥包装线控制系统的设计研究[J]. 机械设计与制造, 2016(1): 169—171.
LI Zhi-mao, CHEN Yong-xiang, LI Shuang-yue, et al. Design and Research of Flexible Cement Packaging Line Control System[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2016(1): 169—171.
- [4] 徐德, 谭民. 工业机器人发展[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
XU De, TAN Min. Industrial Robot Development[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.
- [5] 尹仕斌, 任永杰, 刘涛, 等. 机器视觉技术在现代汽车制造中的应用综述[J]. 光学学报, 2018, 38(8): 11—22.
YIN Shi-bin, REN Yong-jie, LIU Tao, et al. A Review of the Application of Machine Vision Technology in Modern Automobile Manufacturing[J]. Journal of Optics, 2018, 38(8): 11—22.
- [6] 陈琨. 基于机器视觉的在线 PE 瓶检测与分拣系统设计与实现[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
CHEN Kun. Design and Implementation of Online PE Bottle Detection and Sorting System Based on Machine Vision[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2016.
- [7] 李姿景. 基于机器视觉的药品包装生产线自动检测系统[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 165—169.
LI Zi-jing. Machine Vision-based Automatic Detection System for Pharmaceutical Packaging Production Line [J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 165—169.
- [8] 刘鸿飞, 黄敏敏, 赵旭东, 等. 基于机器视觉的温室番茄裂果检测[J]. 农业工程学报, 2018, 34(16): 170—176.
LIU Hong-fei, HUANG Min-min, ZHAO Xu-dong, et al. Cracking Detection of Greenhouse Tomatoes Based on Machine Vision[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2018, 34(16): 170—176.
- [9] 田敏, 刘全香. 分区域分等级的印刷品缺陷检测方法[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 122—127.
TIAN Min, LIU Quan-xiang. Sub Regional Graded Printing Defect Detection Method[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 122—127.
- [10] WANG Wei-qiang, LUO Yi, YANG Kun, et al. Multi-angle Automotive Fuse Box Detection and Assembly Method Based on Machine Vision[J]. Measurement, 2019, 145: 234—243.
- [11] 李鸿强, 孙红, 李民赞. 基于机器视觉的结球甘蓝形状鉴别方法[J]. 农业机械学报, 2015, 46(S1): 141—146.
LI Hong-qiang, SUN Hong, LI Min-zan. Machine Vision-based Shape Identification Method for Cabbage[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2015, 46(S1): 141—146.
- [12] TAHERI-GARAVAND A, FATAHI S, OMID M, et al. Meat Quality Evaluation Based on Computer Vision Technique: A Review[J]. Meat Science, 2019, 156: 183—195.
- [13] 余铎, 王耀南, 毛建旭, 等. 基于视觉的移动机器人目标跟踪方法[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(1): 227—235.
YU Duo, WANG Yao-nan, MAO Jian-xu, et al. Vision-based Target Tracking Method for Mobile Robots[J]. Journal of Instruments and Instruments, 2019, 40(1): 227—235.
- [14] LAN D C. The Application of Intelligent Industrial Robotic Control System Based on PLC in Mechanical Automation[J]. Advanced Materials Research, 2013, 738: 272—275.
- [15] 段礼才. 西门子 S7-1200PLC 编程及使用指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
DUAN Li-cai. Siemens S7-1200 PLC Programming and Use Guide[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2017.
- [16] 苏乾益, 赵雪, 吴薇. 电磁调节阀结构参数的确定[J]. 流体机械, 2017, 45(12): 45—49.
SU Qian-yi, ZHAO Xue, WU Wei. The Determination of the Structure Parameters of the Electromagnetic Regulating Valve[J]. Fluid Machinery, 2017, 45(12): 45—49.
- [17] 李雪梅, 陈燕明, 朱召阳, 等. 一种阀口袋自动上袋机器人的末端操作器: 中国, 208325778U[P]. 2019-01-04.
LI Xue-mei, CHEN Yan-ming, ZHU Zhao-yang, et al. End-effect or of a Valve Pocket Automatic Bagging Robot: China, 208325778U[P]. 2019-01-04.
- [18] FAN Fang, WANG Zhen-wei, LIU Shuang-yin, et al. 3D Reconstruction of Weak Texture Surface Based on Binocular Vision[C]//Proceedings of the 2016 3rd International Conference on Mechatronics and Information Technology. Shenzhen: Atlantis Press, 2016: 125—128.
- [19] 徐德, 谭民, 李原. 机器人视觉测量与控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.
XU De, TAN Min, LI Yuan. Robot Vision Measurement and Control[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2016.
- [20] 王学斌, 徐建宏, 张章, 等. 卡尔曼滤波器参数分析与应用方法研究[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(6): 212—215.
WANG Xue-bin, XU Jian-hong, ZHANG Zhang, et al. Kalman Filter Parameter Analysis and Application Methods[J]. Computer Application and Software, 2012, 29(6): 212—215.