

基于机器视觉技术的化肥袋智能码垛系统

doi:10.20269/j.cnki.1674-7100.2025.0015

张 飞^{1,2} 邓海娜²
李庆山² 王 涵²

- 昆明理工大学
信息与自动化学院
昆明 云南 650000
- 枣庄职业学院
智能制造系
山东 枣庄 270000

摘 要: 在化肥袋的码垛过程中, 传统作业模式如人工搬运、用专用设备码垛存在垛型一致性难以保证、结构稳定性欠佳及作业效率低下等问题。为了解决这些问题, 设计了一套智能码垛系统。该系统的核心控制器为西门子的 S7-1215C DC/DC/DC PLC。工业机器人作为执行器, 其末端装备了专门设计的化肥袋夹持器, 负责抓取和码垛化肥袋。PLC 通过 Profinet 通信方式连接 M-410iB/140H 型发那科工业机器人和海康威视视觉单元。封口机对灌装完成的化肥袋进行封口处理后, 视觉单元负责智能识别传送带上的化肥袋种类, 并实时定位, 工业机器人根据视觉单元提供的坐标信息抓取化肥袋, 并按照上位机指令的垛型进行精确码垛。实践证明, 本系统成功实现了化肥袋的自动传送、视觉识别定位、自动抓取及按垛型码垛功能。该系统具有码垛速度快、码垛质量好及运行稳定等优点, 显著提升了设备自动化水平, 对化肥生产企业实现化肥袋包装的自动化生产具有重要的推动作用。

关键词: 化肥袋码垛; 工业机器人; 视觉识别; PLC

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2025)05-0068-05

引文格式: 张 飞, 邓海娜, 李庆山, 等. 基于机器视觉技术的化肥袋智能码垛系统 [J]. 包装学报, 2025, 17(5): 68-72.

在“中国制造 2025”国家战略引领下, 我国制造业正经历以机器人智能化为核心驱动力的深刻变革。随着数字化工厂建设加速推进, 智能制造技术已成为制造业转型升级的关键路径。工业机器人码垛技术是智能制造领域的重要组成部分。它是指运用工业机器人系统, 依据预设的堆叠模式, 将相同工件从指定位置进行有序堆垛的自动化作业过程^[1-2]。当前, 对于标准化程度较高、作业场景相对固定的单一品类工件码垛任务, 工业机器人码垛技术已形成较为成熟的技术体系, 并在物流仓储等行业实现规模化产业应用^[3]。

以化肥袋码垛作业场景为例, 传统作业模式主要依赖多人协同或专用码垛设备完成堆垛任务。但此类传统方式存在显著局限性, 如垛型一致性难以保证、

结构稳定性欠佳及作业效率低下等。工业机器人码垛技术的引入, 为化肥行业提供了智能化解决方案, 有效克服了传统作业模式的弊端。然而, 针对不同规格的化肥袋码垛作业, 现有技术仍需频繁停机调整, 以适配多样化的作业需求。为解决该问题, 本研究提出基于机器视觉技术的化肥袋智能码垛系统。

1 化肥袋智能码垛系统

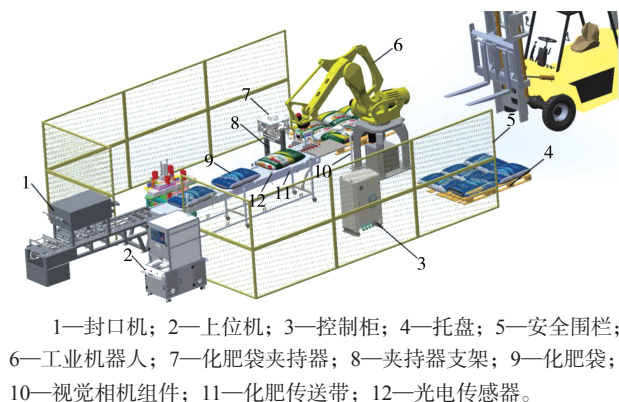
1.1 工艺流程

基于机器视觉技术的化肥袋智能码垛系统工艺流程(见图 1)如下: 首先, 在上位机界面设定码垛的垛型、层数及化肥传送带的速度等参数, 随后启动化肥袋码垛系统。在化肥自动化生产线上, 封口后的

收稿日期: 2024-04-02

作者简介: 张 飞, 男, 讲师, 主要研究方向为工业机器人路径规划及先进控制理论, E-mail: 453180282@qq.com

化肥袋通过传送带送至下一工位。经过光电传感器检测后,化肥袋到达视觉检测区,由工业相机进行拍照识别,并执行坐标转换。识别后的化肥袋实时坐标值被传送至工业机器人相应的寄存器中。接着,工业机器人根据预设的码垛参数抓取化肥袋,并进行码垛。完成一袋化肥袋的码垛后,工业机器人返回初始位置,重复作业,直至整个码垛任务顺利完成^[4]。



1—封口机; 2—上位机; 3—控制柜; 4—托盘; 5—安全围栏; 6—工业机器人; 7—化肥袋夹持器; 8—夹持器支架; 9—化肥袋; 10—视觉相机组件; 11—化肥传送带; 12—光电传感器。

图 1 化肥袋智能码垛系统的工艺流程

Fig. 1 Process flow of intelligent fertilizer stacking system

1.2 控制系统

基于机器视觉技术的化肥袋智能码垛系统主要由封口机、化肥传送带、视觉检测单元及工业机器人构成。为了使各个单元协同工作完成化肥袋的码垛任务,必须借助一个控制单元来协调各单元的动作。该控制单元的核心是西门子 S7-1215C DC/DC/DC PLC,其控制模式主要包括管理员模式和操作员模式。在管理员模式下,可以执行手动操作、参数设置、自动运行等任务;而在操作员模式下,则仅限于选择垛型和执行自动运行等操作。具体流程如图 2 所示。

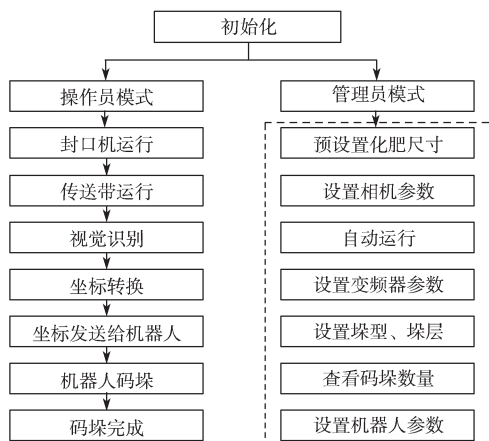


图 2 控制方案流程图

Fig. 2 Control plan flow chart

2 硬件配置

2.1 I/O 点分配

根据工艺需求,结合控制要求和设计系统结构,确定控制系统 I/O 点的配置。部分 I/O 点的分配情况如表 1 所示。

表 1 部分 I/O 点配置
Table 1 Partial I/O points

序号	地址	类型	功能
1	I0.0	Bool	码垛系统启动
2	I0.1	Bool	码垛系统停止
3	I0.2	Bool	码垛系统手/自动切换
4	I0.3	Bool	传送带电机 M1 手动正向转动
5	I0.4	Bool	传送带电机 M1 手动反向转动
6	I0.5	Bool	封口机运行状态反馈
7	I0.6	Bool	工业机器人运行状态反馈
8	Q0.0	Bool	封口机启动
9	Q0.1	Bool	传送带电机 M1 启动
10	Q0.2	Bool	视觉相机拍照
11	Q0.3	Bool	系统指示灯
12	Q0.5	Bool	托盘料仓启动

2.2 硬件选型

1) 控制系统选型: 西门子 S7-1215C DC/DC/DC PLC 稳定性强,适用于工业自动化领域的高要求场合,支持多种编程语言,如 Ladder Diagram、Function Block Diagram 等。它还支持网络通信。故本系统利用 Profinet 通信实现 PLC 与视觉相机、工业机器人、变频器等外围设备之间的数据交换^[5]。

2) 工业机器人选型: 机械手臂抓取的化肥袋最大质量为 70 kg。FANUC Robot M-410iB/140H 型发那科机器人具有较小的占地面积,其机械手臂不仅具备多自由度,还拥有高达 140 kg 的高负载能力。鉴于这些显著优势,本研究决定选用这款工业机器人。

3) 视觉检测系统选型: 鉴于环境亮度变化较大及化肥袋上彩色复杂图案的识别需求,LED 环形光源因其亮度可调节、光线发射角度和颜色可控制的特性,被选为照明设备。化肥袋智能码垛系统需要性能稳定、成像清晰、处理速度快的彩色相机。海康威视 MV-CA032-10GC 工业相机支持自动或手动调节曝光时间和增益,通过使用查找表进行 Gamma 校正。此外,该相机采用千兆网接口,在无中继情况下,最大传输距离可达 100 m。因此,选择海康威视工业相机。

硬件选型对于构建整体系统架构至关重要,需综

合考量成本与系统设备的维护便捷性。在计算 I/O 点时,本研究遵循了 20% 的裕量原则。主要硬件配置详见表 2。

表 2 硬件配置
Table 2 Hardware configuration

硬件	型号	数量/个
PLC	6ES7 215-1AG40-0XB0	1
电源模块	6ES7 288-0ED10-0AA0	1
数字量扩展模块	6ES7 223-1PHL32-0XB0	1
视觉相机	MV-CA032-10GC	1
工业机器人	FANUCRobotM-410iB/140H	1
变频器	6SL3246-0BA22-1FA0	1

3 控制系统设计

3.1 PLC 程序编写

PLC 程序主要分为主程序、复位程序块、手动模式程序块、自动模式程序块、PLC 与机器人通信程序块、指示灯程序块等^[6-7]。整个码垛系统程序是按照模块化编程,通过在主程序 Main 中调用相应程序块来实现对应功能。部分程序如图 3 所示。从启动

程序块的梯形图(见图 3b)可以看出,主程序先调用复位程序块。复位操作完成后,通过置位工序 1,记录当前的步数。当工序 1 的条件得到满足时,PLC 程序将执行相应的输出动作,使化肥袋进入传送带。随后,置位工序 2,以此类推,直到工业机器人将化肥袋抓起。此外,通过应用标准化、缩放等数学函数,可以准确控制变频器频率,从而精准配合机器人的码垛速度,控制码垛节拍。

3.2 上位机界面组态设计

本研究根据化肥生产的实际需求来设计登录界面,并设置两种用户(即管理员与操作员)。用户输入密码后,进入相应的操作模式。管理员与操作员的权限有所区别:管理员能通过上位机界面控制 PLC 变量,如设置垛型、调整化肥传送带速度、配置视觉相机参数等,还能实时监控工业机器人和视觉相机等设备的运行状态。而操作员则负责对化肥传送带、工业机器人等设备执行基本的手动操作,以及启动设备的自动运行模式,例如控制传送带的正/反转、开关相机光源、记录班组工作量等,具体如图 4 所示。

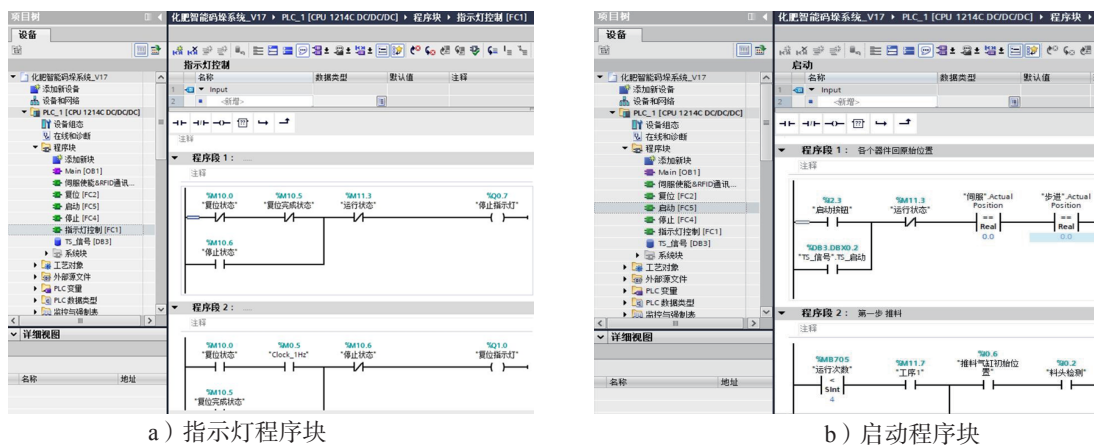


图 3 部分化肥袋智能码垛系统程序

Fig. 3 Part of the intelligent stacking system program for fertilizer bags

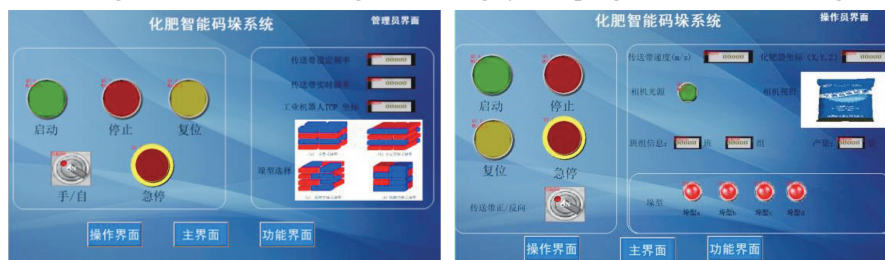


图 4 管理员/操作员模式部分上位机组态画面

Fig. 4 Configuration screen of upper computer in administrator/operator mode section

3.3 视觉程序编写

在机器视觉系统中,相机捕捉到的图像元素位置

是依据像素坐标系来确定的,而工业机器人在进行化肥袋码垛作业时则依赖于世界坐标系。因此,建立像

素坐标系与世界坐标系之间的对应关系至关重要^[8]。通过 VisionMaster 算法平台提供的视觉工具——N 点标定工具, 执行九点法手眼标定实现坐标转换, 如图 5 所示。当相机检测到化肥袋在图像中的像素位置后, 利用预先标定好的坐标转换矩阵, 将这些像素坐标转换为工

业机器人世界坐标系中的位置。随后, 根据世界坐标系的参数, 计算出各个电机的运动路径, 进而控制机械手精确到达目标位置^[9-10]。此外, 还可以运用其他视觉工具, 如图像采集、形状匹配、颜色识别、分支处理、数据转换等, 来编写视觉程序流程(见图 6)。



图 5 九点法手眼标定

Fig. 5 Nine-point hand-eye calibration

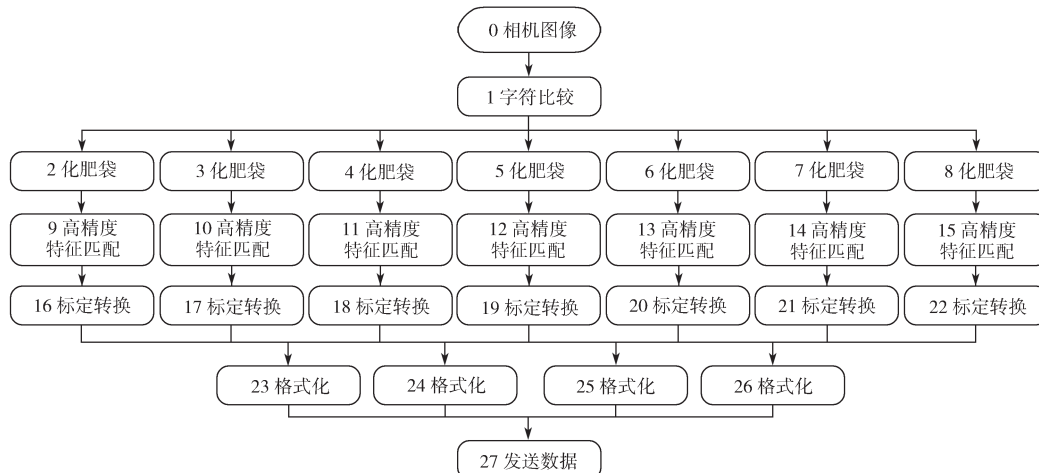


图 6 视觉程序方案流程

Fig. 6 Visual program scheme flow

3.4 工业机器人程序编写

采用 KAREL 语言编写的发那科工业机器人, 支持两种编程方法: 一种是通过示教器进行现场示教编程, 另一种是通过虚拟仿真软件 ROBOGUIDE 进行离线编程, 再将程序导入到实际的工业机器人中。在此, 选择后者作为本系统的编程方式。工业机器人搬运化肥袋的程序主要通过关节 (J)、直线 (Line)、循环 (FOR) 等指令实现。程序设计的难点在于如何将视觉系统获取的坐标信息实时且准确地传递给工业机器人。如图 7 所示, 当视觉相机拍摄到化肥袋并获取到 x 、 y 、 z 坐标值后, 程序使用位置寄存器 PR[2, 1: 视觉抓] 存储工业机器人待抓取位置的 x 坐标值, 用 PR[2, 2: 视觉抓] 存储 y 坐标值, 用 PR[3, 3: 取放全局变量] 存储 z 坐标值,

以确保化肥袋位置坐标能够实时且准确地传送到工业机器人。



图 7 部分工业机器人程序

Fig. 7 Partial industrial robot program

4 结语

在物流行业中,工业机器人已获得普遍应用。特别是在化肥生产线的码垛作业中,工业机器人的运用显著提升了作业效率,同时降低了成本和潜在的安全风险。本研究综合运用工业机器人、视觉定位系统、PLC等,构建了一套化肥袋智能码垛系统。经过实际应用验证,该系统展现了稳定的运行性能、高度的安全保护、低故障率及精准可靠的作业能力。相较于传统人工码垛方式,本系统在处理同等数量的化肥袋时,可节省60%的时间,显著降低了码垛成本,减少了能源消耗。

工业机器人在码垛作业中所涉及的领域极为复杂多样,本研究仅限于单一码垛机器人的应用探讨。在实际操作中,通常需要多台工业机器人进行协同作业,这要求一个更为复杂和立体的控制系统。因此,未来的研究和改进工作亟需深入进行,以满足实际应用的需求。

参考文献:

- [1] 郝建豹,许焕彬,林炯南.基于RobotStudio的机器人码垛工作站虚拟仿真设计[J].自动化与信息工程,2017,38(2):26-29.
- [2] 庞党锋,崔世钢,田丽萍.包装生产线码垛机器人工作站虚拟仿真研究[J].包装与食品机械,2022,40(4):68-72.
- [3] 陆宁,洪荣晶,谢杰.小型齿轮加工单元自动上下料系统的设计与实现[J].组合机床与自动化加工技术,2018(5):14-17.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 王曦鸣.基于Robotstudio的巧克力装盒生产线仿真[J].包装与食品机械,2020,38(5):55-59.
- [7] 刘朝岸.基于工业机器人的纸卷自动包装系统设计与仿真[D].长沙:长沙理工大学,2020.
- [8] 王耀南,刘学兵,张辉,等.机器视觉技术在包装行业研究进展与应用综述[J].包装学报,2022,14(2):1-14.
- [9] 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[J].机器人,2016,38(1):49-55.
- [10] 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,2020,48(3):18-23.

(责任编辑:邓彬)

Intelligent Palletizing System for Fertilizer Bags Based on Industrial Robot and Vision

ZHANG Fei^{1,2}, DENG Haina², LI Qingshan², WANG Han²

(1. School of Information and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, China;

2. Intelligent Manufacturing Department, Zaozhuang Vocational College, Zaozhuang Shangdong 270000, China)

Abstract: During the palletizing process of fertilizer bags, traditional operation modes such as manual handling and the use of dedicated palletizing equipment have problems such as difficulty in ensuring the consistency of stack shapes, poor structural stability and low operation efficiency. To solve these problems, an intelligent stacking system for fertilizer bags was designed using Siemens' S7-1215C DC/DC/DC PLC as the core controller. As the actuator, the industrial robot is equipped with a specially designed fertilizer bag holders at its end, which is responsible for grasping and stacking the fertilizer bags. The PLC is connected to the Fanuc M-410iB/140H industrial robot and the Hikvision vision unit through the Profinet communication mode. After the sealing machine seals the filled fertilizer bags, the visual unit is responsible for intelligently identifying the types of fertilizer bags on the conveyor belt and positioning them in real time. The industrial robot grabs the fertilizer bags based on the coordinates sent by the visual unit and precisely stacks them according to the stack shape instructed by the upper computer. The results show that this system has successfully realized the functions of automatic transmission, visual recognition and positioning, automatic grasping and palletizing by stack type of fertilizer bags. The system has the advantages of fast stacking speed, good palletizing quality and stable operation, significantly improving the level of equipment automation. It plays an important role in promoting the realization of automated production of fertilizer bag packaging in fertilizer production enterprises.

Keywords: fertilizer bag palletizing; industrial robot; visual recognition; PLC