

潘雪峰, 张文爱, 赵学观, 等. 果蔬类种子自动分选机控制系统的设计[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 185–188.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.048

# 果蔬类种子自动分选机控制系统的设计

潘雪峰<sup>1,2</sup>, 张文爱<sup>1</sup>, 赵学观<sup>2,3,4</sup>, 王 秀<sup>2,3,4</sup>, 蔡吉晨<sup>2</sup>

(1. 太原理工大学信息工程学院, 山西太原 030024; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097;

3. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097; 4. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

**摘要:**种子分级是提高种子质量的重要途径之一,而当前种子分级方法与装置不能够完全满足现代自动化、在线化育种产业的需求。为提高种子质量,满足现代农业生产用种需求,设计 1 种种子精选分级装置控制系统。以可编程逻辑控制器(programmable logic controller,简称 PLC)为控制核心,以 3 自由度的直角坐标机械臂为分级机构运行单元,控制分级吸管实现种子位置的精确定位,并通过控制电磁阀的通断达到控制真空吸种的目的。试验结果表明,在控制系统控制的 3 自由度直角坐标机械臂的精确定位下,种子分选系统的分选成功率和效率均较高,其中分选成功率 $\geq 94\%$ ,分选效率 $\geq 12$ 粒/s。

**关键词:**种子分级;精确定位;直角坐标机械臂;真空吸种;可编程逻辑控制器

**中图分类号:** S226.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0185-04

种子精选是农作物生产流程中不可缺少的重要环节。一直以来,种子是农业生产中重要的基本生产资料,国内外研究表明,在粮食增产中优质良种所起的作用占 1/3 以上<sup>[1-3]</sup>。随着精细农业的快速发展,种子精选分级系统逐渐向自动化、在线化的方向发展,既可以避免重播或补苗造成物力和人力上的消耗,又可以保证农作物产量。

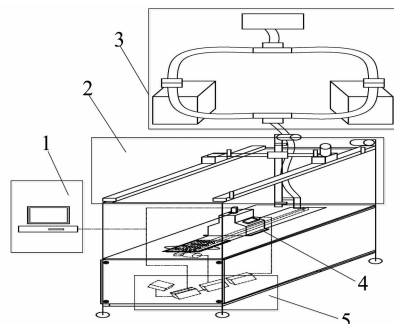
目前,国内外在种子质量检测算法方面有大量研究,但关于种子分级装置的研究比较少,如 Wan 研制了一套谷物动态分级系统,通过机器视觉获取谷物的数字化信息并发送给可编程逻辑控制器(programmable logic controller,简称 PLC),通过 PLC 控制对应电磁阀和高压气的通断,将谷物吹入对应的 6 级通道,系统的处理速度为 0.045 粒/s,合格率为 97%<sup>[4]</sup>。Pearson 开发了一套低成本的线扫描系统,该系统在赤霉病小麦的检测中从每粒谷物相对侧采集双色图像,并进行实时处理,正确率达 95%<sup>[5]</sup>。蔡卫国基于形态学信息并结合计算机视觉技术的精选种子实时分级装置可将种子分为 4 级,采用传感器对种子位置进行实时跟踪,并采用气动吹离的方式达到分级目的,准确率可达 90% 以上<sup>[6]</sup>。但以上分级装置的研究尚存在一些不足,比如启动吹离方式的准确性比较差等。

针对上述研究的不足,本研究设计 1 种应用于种子分选的 3 自由度机械臂控制系统,以直角坐标机械臂为运行单元进行精确定位,以 PLC 为整个装置的控制单元编写人机交互界面,达到自动化、在线化、精准化的种子分选效果。

## 1 种子分选机结构与工作原理

### 1.1 种子分选机结构

分级装置主要有三大组成部分:一是种子输送单元;二是图像采集和处理系统,包括光源、摄像头等,通过种子输送单元的运动将种子传送到图像采集位置,由图像采集装置采集种子图像,并将采集的数字图像传递到计算机中进行图像处理,得到种子数字化信息;三是种子分选控制系统,主要包括 PLC、直角坐标机械臂、电感式接近传感器、上位机、电磁阀、真空发生器、真空吸管、分离器等,主要作用是控制整个分级装置对种子的精确定位分选(图 1)。



1—上位机; 2—3 自由度直角坐标机械臂执行模块; 3—气动模块; 4—图像采集和处理系统; 5—PLC 和驱动器

图1 种子分级装置系统结构示意图

### 1.2 工作原理

将填满种子的种盘放在传送带的始端,等待系统启动,系统上电后,打开上位机,将种子输送到图像采集区域,传感器触发摄像头进行种子图像采集,采集到的图像由上位机进行图像处理,得到种子 2 个等级的坐标,分别保存至文档。由上位机读取第 1 级种子坐标,并转换成指令发送给 PLC,进而控制直角坐标机械臂的 X、Y 轴运行至待分级种子坐标的上方,种子吸取准确率的决定性过程就是 3 自由度机械臂能够移动至指定位置并完成精确定位,同时打开该等级对应的电磁阀

收稿日期:2016-09-08

基金项目:2016 年现代农业产业技术体系北京市创新团队项目;国家高技术研究发展计划(编号:2013AA102406)。

作者简介:潘雪峰(1990—),女,山西大同人,硕士研究生,主要从事智能信息处理研究。E-mail:panxuefeng\_jj@163.com。

通信作者:王 秀,博士,研究员,主要从事农业智能装备研究。

E-mail:wangx@nrcita.org.cn。

和真空发生器,真空吸管随 Z 轴滑块的下落覆盖种子,利用真空将种子吸入对应分离器,重复该过程直至完成第 1 级种子的分选;第 2 级的分选过程与第 1 级的相同。

## 2 种子分选控制系统设计

### 2.1 控制系统总方案设计

种子分选控制系统的核心处理器 PLC 选用西门子公司

生产的 S7-200 系列 CPU224XP 型,它具有 14 个 IO/10DO 接口,2 个 RS-485 通信口,可靠性高且易于扩展、使用,其硬件接线如图 2 所示。控制系统采用 PLC 控制 3 个步进电机驱动器,分别驱动 3 自由度的直角坐标机械臂 X、Y、Z 等 3 个方向的电机转动,进而控制机械臂运动,另外通过继电器控制电磁阀的通断。控制系统结构如图 3 所示。

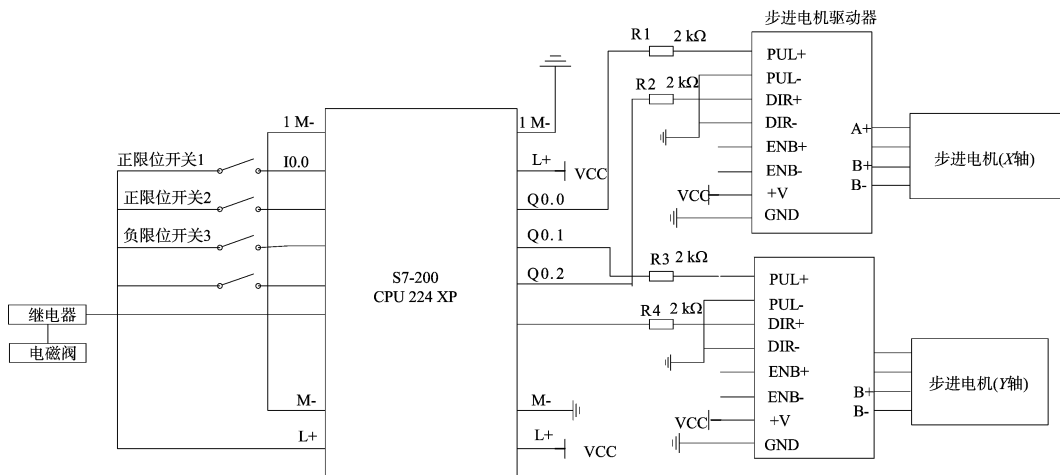


图2 控制系统硬件接线

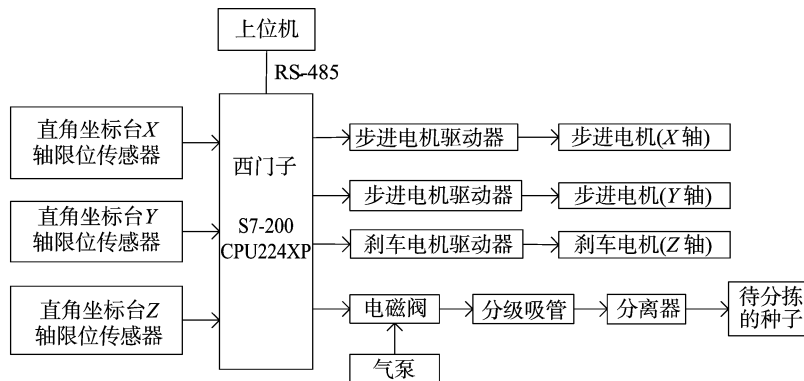


图3 控制系统结构

### 2.2 种子分选控制系统硬件设计

**2.2.1 步进电机驱动模块** 步进电机可以将电脉冲信号转变为角位移,脉冲数与位移量成正比,具有精度高、可靠性高等优点。通过设置脉冲数控制步进电机的步长,进而控制 3 自由度直角坐标机械臂的移动,对准待分选的种子,保证分选的准确率。本研究的 X、Y 轴步进电机选用 57HS21A 的两相混合式步进电机,步距角为  $1.8^\circ$ ,保持转矩为  $2.2 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,驱动电压为 24 V;配有型号为 2DM542 的细分驱动器,输出电流为  $1.0 \sim 4.2 \text{ A}$ ,输入电压为 24 V,本研究细分选择 1 600 步/转。Z 轴步进电机选用 57J1880—830 的两相步进电机,其步距角为  $1.8^\circ$ ,保持转矩为  $2.1 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,由于 Z 轴步进电机控制的是垂直方向的移动,所以要加刹车,驱动器选择 2DM556,输出电流为  $0.1 \sim 5.6 \text{ A}$ ,细分选择 1 600 步/转。

**2.2.2 3 自由度直角坐标机械臂执行模块** 3 自由度直角坐标机械臂主要由同步带直线模组和末端操作器组成<sup>[7-9]</sup>,具有运动控制简单且易于实现高精度定位等优点。由各个同步带直线模组搭建直角坐标机械臂的 X、Y、Z 轴,其中 X、Y 轴

在水平方向运行,Z 轴在垂直方向运行。带宽 15 mm,导程 75 mm,直线速度  $0 \sim 2 \text{ m/s}$ ,重复定位精度  $\leq 0.05 \text{ mm}$ ,适用扭矩  $< 3 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。3 自由度直角坐标机械臂通过上位机向 PLC 发送指令,控制步进电机驱动器驱动步进电机转动,使 X、Y 轴水平移动,Z 轴上下移动。在实际分选种子时,X、Y 轴先水平移动至待分选种子正上方,Z 轴再带动真空吸管下移吸取种子进入旋风分离器。

**2.2.3 气动控制模块** 由图 4 可知,气动模块主要包括真空泵、电磁阀、真空吸管和旋风分离器,该模块采用的是负压吸种技术,具有结构简单、成本低等特点,关键是气流在吸取的过程中不会对种子造成损伤。真空泵为负压吸种提供动力,通过控制电磁阀的通断来控制真空泵中气流的通断。旋风分离器采用立式圆筒结构,气体入口设计可分为上部进气、中部进气、下部进气等 3 种形式,其中干气常采用中部进气或上部进气的方式,本研究采用中部进气的方式,以降低设备高度和造价。真空吸管选用内径为 6 mm 的聚氨酯 (polyurethane tubing,简称 PU) 气管。最底部为便于吸附种子,在真空吸管

的端部设计有边长为 16 mm 的正方形吸头固定于直角坐标机械臂的 Z 轴上,随 Z 轴上下移动吸取种子。

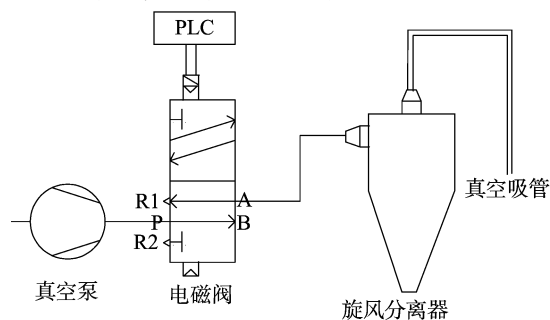


图4 气动控制模块

### 2.3 种子分选控制系统软件设计

本系统的控制程序分为上位机软件设计和 PLC 软件设计等 2 个部分。

**2.3.1 PLC 软件设计** PLC 软件使用西门子 S7-200 专用的编程软件 STEP 7-Micro/WIN V4.0 SP9 进行程序设计,该软件支持 3 种模式:梯形图 (ladder logic programming language,简称 LAD)、功能块图 (function block diagram,简称 FBD) 和语句表 (statement list,简称 STL),本研究使用 LAD 编写程序,将初始化、保存解读上位机指令、直角坐标机械臂控制指令、信息反馈指令及电磁阀控制指令模块化到子程序中,主程序根据上位机指令来调用这些子程序,从而达到控制整个系统精确、快速运转的目的,主程序流程如图 5 所示。

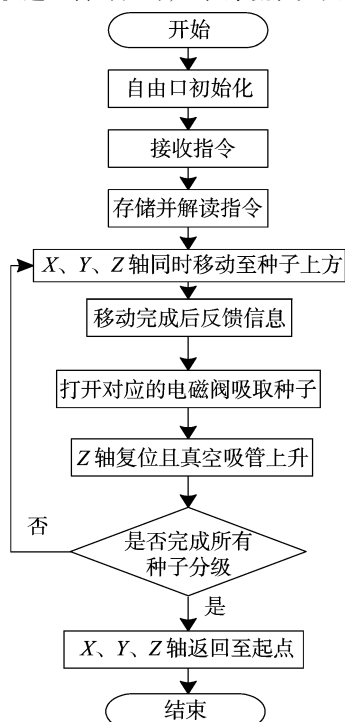


图5 PLC 主程序流程

分级系统在直线导轨起点处等待上位机指令,系统上电后,PLC 主程序首先调用初始化子程序,包括通信口参数设置、自由口通信格式设置、进入中断事件等,初始化完成后开始执行程序,PLC 将接收到的上位机指令中的数据和控制字节存储到 V 和 M 存储区,存储完成后电机通过控制字节、脉

冲数和脉冲周期来控制 X、Y、Z 轴同时运行,使真空吸管覆盖于种子下方,运行完成后,向上位机反馈信息,同时打开电磁阀。当 PLC 接收到上位机指令后,系统控制直角坐标机械臂启动并运行至种子位置,同时 Z 轴将真空吸管下降到预定义的高度覆盖种子,并打开对应的电磁阀,种子的位置坐标由上位机转换为 X、Y 轴电机对应的脉冲数后放入指令中发送给下位机 PLC,然后驱动电机转动,控制直角坐标机械臂运行至种子的位置处,吸取种子完成分选。

在系统运行过程中,下位机会实时将 X、Y、Z 轴的运动状态反馈至上位机中。另外,系统也具有一键复位的功能,在断电等意外情况下,重新上电后可通过人机交互界面对 PLC 发送复位指令,PLC 会按顺序将 X、Y、Z 轴复位至起点,准备下一次的动作。

**2.3.2 上位机软件设计** 上位机人机交互界面是基于 C#.NET 平台和 Visual Studio 2010 工具开发的,通过 RS-485 与 PLC 进行自由口通信,可实现串口控制、模式选择、参数设定、接收反馈数据等功能。软件界面如图 6 所示。图像处理后,可得到种子 2 个等级的位置坐标,并保存至 txt 文档,当选择自动控制模式下的自动采集时,上位机会读取 txt 文档中的坐标,分别将 X、Y 坐标转换为对应电机的脉冲数。3 个步进电机驱动器的细分均设为 1 600 步/转,即电机转 1 圈的脉冲数为 1 600 个,通过标定得知电机每转 1 圈,X 轴同步带行进 76 mm,Y 轴同步带行进 30 mm,Z 轴同步带行进 75 mm。设已知的种子坐标为 (x,y),固定于 Z 轴真空吸管的管口距离种子的高度为 h,则机械臂从原点运行并吸取种子时每个轴电机所需的脉冲数公式如下:

$$N_x = x \times \frac{1\ 600}{76}; N_y = y \times \frac{1\ 600}{30}; N_z = h \times \frac{1\ 600}{75}。$$

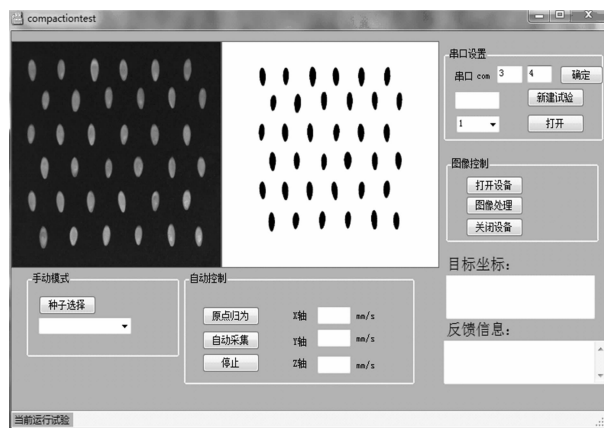


图6 上位机人机交互界面

### 3 种子分选系统试验及结果

为验证种子分选控制系统的分选效率和精度,根据控制原理搭建实际系统,并用黄瓜种子在分选机上进行试验。试验所选的真空吸管管口大小与形状对种子吸取的影响很大,管口太小,不适合大粒种子且容易堵塞,管口太大则需要更大的吸力。因此,管口选择正方形,边长为 16 mm,种盘大小为 6 cm × 6 cm。

#### 3.1 分选精度

通过试验测试整个控制系统直角坐标机械臂的 X、Y、Z

等 3 轴精确定点运行的精度以及真空吸管种子的覆盖率。将坐标纸置于搭建的平台上并将激光笔置于真空吸管内一起固定于 Z 轴滑块上,随滑块上下运行,以激光笔发射红外光斑的中心为中心,将种子撒在选定的坐标纸(25 cm×25 cm)单元上进行测量。直角坐标机械臂 X 轴调试速度分别为 19 mm/s( $v_1$ )和 95 mm/s( $v_2$ ),Y 轴调试速度分别为 10 mm/s( $v_1$ )和 100 mm/s( $v_2$ ),在这 2 种不同速度即不同的脉冲输出周期下进行不同坐标的定点运行,Z 轴根据种子分选控制系统设计要求,在每粒种子被吸取后都须要进行复位,调试 1 种速度即可。真空吸管最底部呈正方形,边长为 16 mm。

为检测直角坐标机械臂定点运行的重复性,选择 15 粒黄瓜种子进行多次测量。记录实际坐标值和每次测量中各个坐标点测量值的误差,并计算标准偏差,结果如表 1 所示。

由表 1 可知,误差整体上随移动距离的变大而增大,是由于测量过程中的连续定点移动会造成误差的累积,可通过系统复位的功能来减小误差。由结果可知,X 轴误差的标准偏差  $\leq 1.5$  mm,Y 轴误差的标准偏差  $\leq 1.0$  mm,Z 轴误差的标准偏差  $\leq 0.4$  mm。在不同电机转速下测得的坐标值相差不大,都在种子吸管的覆盖范围内,因此本控制系统的测量精度能够满足种子分选的要求。

表 1 直角坐标机械臂定位精度测试结果 mm

序号	X	Y	Z	误差( $v_1$ )		误差( $v_2$ )		Z 轴误差
				X	Y	X	Y	
1	20	30	10	0.1	0.1	0.1	0.1	0
2	32	47	22	0.2	0.1	0.2	1.1	0.1
3	48	63	36	0.1	0.1	0.1	0.1	0
4	50	70	49	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1
5	68	98	61	1.5	0.1	1.5	1.1	0.5
6	100	100	75	1.6	0.1	1.2	1.2	0.4
7	122	126	87	1.7	0.5	2.0	1.5	0.1
8	145	155	99	1.9	0.2	2.2	1.2	0.2
9	160	170	110	2.1	0.4	2.5	1.8	0.5
10	172	183	126	2.0	0.7	2.6	1.8	0.5
11	183	191	138	2.6	0.8	3.0	1.9	0.6
12	200	200	150	3.0	0.9	2.8	1.9	0.7
13	224	228	163	3.2	0.8	3.0	2.0	0.7
14	236	231	184	3.5	1.0	3.0	1.8	0.8
15	250	250	195	3.4	1.2	3.5	2.0	0.9
标准偏差				1.189	0.388	1.230	0.703	0.303

3.2 分选效率

对黄瓜种子的分选作业进行 3 组试验:每组 36 粒种子分别放入种盘,通过图像采集和处理系统,得到每粒种子的坐标及大小,大小阈值设定为 500 像素<sup>2</sup>,将种子分为大粒和小粒 2 类,将对应坐标分别保存在 2 个 txt 文档中,通过上位机读取并控制机械臂带动真空吸管依次分选。分选结果如表 2 所示。

表 2 分选成功率和效率

试验编号	分选成功率 (%)	分选效率 (粒/s)
1	94.7	12
2	94.4	13
3	95.7	12

由表 2 可以看出,在控制系统控制的 3 自由度直角坐标机械臂的精确定位下,种子分选系统的分选成功率和效率均较高,分选成功率 $\geq 94\%$ ,分选效率 $\geq 12$  粒/s。

4 结论

整个装置采用 3 自由度直角坐标机械臂和 PLC 设计种子分选控制系统,实现精确的位置控制。基于 C#. NET 平台和 Visual Studio2010 工具开发了人机交互界面,可以实时显示种子位置坐标值并控制装置的分级动作。直角坐标机械臂的末端操作器即真空吸管的最底部呈正方形,边长为 16 mm,根据试验数据可知,本控制系统的定位精度满足实际工作中

种子分选的要求,可获得较高的分选成功率和效率。

参考文献:

[1] 黄佩民. 选育推广农作物优良品种[J]. 种子世界,1983(4): 4-5.

[2] 汤其林. 良种繁育推广对粮食增产的作用[J]. 种业导刊,2009(1):5,8.

[3] 康 敏,余登苑,杨明毅,等. 复合式种子静电清选分级机[J]. 粮油加工与食品机械,1998(4):30-31.

[4] Wan Y N. Kernel handling performance of an automatic grain quality inspection system[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(2): 369-377.

[5] Pearson T C. Low-cost bi-chromatic image sorting device for grains [C]//ASABE Meeting Presentation. Portland; American Society of Agricultural and Biological Engineers,2006:63-85.

[6] 蔡卫国. 种子精选分级试验台机构与控制方法研究[D]. 北京: 中国农业大学,2005.

[7] 李 刚,周文宝. 直角坐标机器人简述及其应用介绍[J]. 伺服控制,2008(9):72-75.

[8] 张志远,李 琪,毕海深. 基于直角坐标机器人的软袋再包装自动上料系统[J]. 制造业自动化,2012,34(3):11-14.

[9] 李 博,林岳凌,谭振豪. 基于直角坐标机器人的计量封印自动化包装装置[J]. 轻工机械,2014,32(4):77-79.