

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.12.001

穴盘苗全自动移栽机运动协调控制系统设计与移栽试验

魏新华¹ 包盛¹ 刘晓凯¹ 刘成良² 毛罕平¹

(1. 江苏大学现代农业装备与技术教育部重点实验室, 镇江 212013; 2. 上海交通大学机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘要: 为实现穴盘苗全自动移栽机取苗、移盘和植苗动作驱动系统的分离, 简化移栽机机械传动系统结构, 以提高其可靠性和作业质量, 基于 PLC 设计了一套穴盘苗全自动移栽机运动协调控制系统, 并进行了实际移栽试验。试验结果表明: 在运动协调控制系统的控制下, 实现了步进电动机驱动苗盘横向进给运动、伺服电动机驱动取苗机械手纵向往复运动、取苗机械手气动垂直取/放苗动作和气动喂苗动作的控制及其与机械驱动植苗动作的同步配合, 穴盘苗全自动移栽机可以实现 40 株/(min·行)的取/放苗速度, 在整机单行移栽 39.9 株/min 的平均移栽速度下, 样机完成取/放苗过程并最终将钵苗成功喂入栽植器的喂苗成功率达到 96.9%。

关键词: 穴盘苗; 自动移栽; 多运动同步协调控制; 定位控制; PLC

中图分类号: TP272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)12-0001-07

Design and Experiment on Potted-seedling Automatic Transplanter Control System for Motion Coordinating

Wei Xinhua¹ Bao Sheng¹ Liu Xiaokai¹ Liu Chengliang² Mao Hanping¹

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to achieve the separation of three different motion driving systems, which are seedling fetching, plant moving and seedling planting on potted-seedling automatic transplanter, simplify the mechanical transmission system structure, and improve the reliability and quality of operations, a potted-seedling automatic transplanter control system for motion coordinating was designed based on PLC. This system accomplishes synchronous coordination of seedling disk lateral feeding motion driving by stepper motor, seedling fetching manipulator longitudinal reciprocating motion driving by servo motor, control of pneumatic perpendicular fetching/casting seedling motion of seedling fetching manipulator and pneumatic feeding seedling motion, and mechanical driving planting motion, which simplifies the mechanical transmission system, at the same time, further raises the positioning precision of the seedling fetching and the seedling moving flexibility, reduces the loss of the seedling matrix and improves the transplanting effect. The working principle of potted-seedling automatic transplanter is expounded, the design of hardware system and software system of the motion coordination control system is discussed in detail, and the actual transplanting test is carried out. Experimental results show that under the control of motion coordination control system, potted-seedling automatic transplanter can achieve 40 strains/(min·row) fetching/casting seedling rate, at the overall single row transplanting average rate of 39.9 strains/min, prototype completes fetching/casting seedling process, ultimately, the success rate of feeding seedlings

收稿日期: 2016-05-10 修回日期: 2016-07-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51475216)、国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2013AA10230704)和江苏省高校优势学科建设工程项目(苏财教(2014)37 号)

作者简介: 魏新华(1972—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业装备智能控制和精确变量高效施药研究,E-mail: wei_xh@126.com

通信作者: 毛罕平(1961—),男,教授,博士生导师,主要从事现代农业装备和设施农业环境控制技术研究,E-mail: maohp@ujs.edu.cn

into planting device is 96.9%.

Key words: potted seedling; automatic transplant; multiple motion synchronization and coordination control; positioning control; PLC

引言

育苗移栽可以提高种苗质量,延长作物生育期,优化茬口配合,已成为设施蔬菜花卉生产的主要种植方式^[1]。但移栽过程作业环节多、劳动强度大、人力投入大,随着农村劳动力向城市的大规模转移和劳动力成本的不断攀升,人工移栽已无法大面积实现。现有穴盘苗移栽机主要以半自动移栽机为主,在取苗、喂苗等环节仍需人工协助完成,限制了作业效率的进一步提高^[2]。因此,研制全自动移栽机是未来的趋势。日本研制的全自动移栽机采用纯机械方式实现取/喂苗、植苗和移盘动作的全自动作业,传动系统结构复杂,且其取/喂苗动作轨迹完全依靠槽形凸轮等机械部件的复杂曲面进行硬性限位来实现,实际取苗轨迹精度较难保证,对不同育苗质量穴盘苗的适应性较差^[3]。意大利 Ferrari 等公司研制的大田全自动移栽机采用气动或液压驱动方式进行取/喂苗和移盘,能够对钵苗进行成排高效取送^[4]。韩长杰等^[5]研制了穴盘苗移栽机自动取喂系统,其穴盘的横向和纵向移位以及取苗机械手在取放苗位置之间的往复摆动也由气缸驱动。以上系统实现了取/喂苗、移盘和植苗动作驱动动力源的分离,机械传动系统简单,但气动系统振动大、定位准确度差、钵苗基质损失较大^[6]。杨传华等^[7]设计了一种蔬菜钵苗移栽机自动输送装置,采用高速伺服电动缸驱动推杆顶出秧苗的方式取苗,步进电动机完成苗盘的输送,同步带及齿轮传动的同步投苗装置完成向栽植器的投苗,但其实际作业性能有待于进一步验证。

本文针对自主研发的穴盘苗全自动移栽机,设计运动协调控制系统,进行步进电动机驱动苗盘横向进给运动、伺服电动机驱动取苗机械手纵向往复运动、取苗机械手垂直取放苗动作、气动喂苗动作的控制及其与机械驱动植苗动作的同步配合,以期在简化机械传动系统的同时,进一步提高取苗定位精度和输苗柔性度,减少钵苗基质损失,改善移栽效果。

1 穴盘苗全自动移栽机

自主研发的穴盘苗全自动移栽机的总体结构如图1所示,其主要由取苗装置、移盘装置、投苗装置、植苗装置、运动协调控制系统和动力底盘等部分

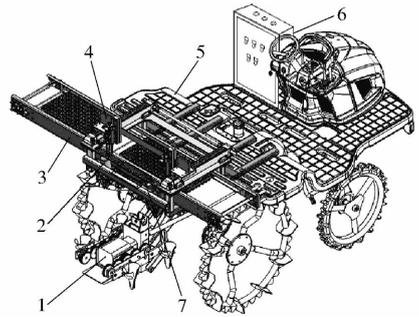


图1 穴盘苗全自动移栽机结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of potted-seedling automatic transplanter

1. 植苗装置 2. 投苗装置 3. 移盘装置 4. 取苗装置 5. 动力底盘 6. 运动协调控制系统 7. 图像采集与处理系统

组成^[8-10]。

其中,取苗装置主要由伺服电动机及减速机、直线模组、气动取苗机械手(以下简称机械手)和机械手到位传感器等部件组成。伺服电动机驱动直线模组,带动机械手在取、放苗位置之间做纵向往复运动,沿着穴盘的列向(纵向)由近及远依次取苗。到位传感器为机械手提供初始位置标记,每取完一列钵苗,都依据其到位信号对机械手位置进行重新定位,以避免误差积累,保证机械手在穴盘上的纵向定位精度。机械手采用四指夹钳式取苗爪,通过4个手指内的可伸缩式苗针实现钵苗的夹取,在气动部件的驱动下完成取放苗动作。取苗动作由机械手整体下行、出针、苗针夹紧和机械手整体上行4步完成。放苗动作由苗针张开和收针2步完成。2个机械手同步动作,各取一盘钵苗。

移盘装置主要由步进电动机及减速机、链条传动组和穴盘到位传感器等部件组成。搭载到链条附件上的穴盘在步进电动机的驱动下做间歇式横向进给运动。机械手每取完一列钵苗,穴盘横向进给一列;每取完一盘钵苗,横向进给一盘加一列。到位传感器为穴盘提供初始位置标记,每取完一整盘钵苗,都对新进给来的穴盘进行重新定位,以避免误差积累,保证机械手在穴盘上的横向定位精度。

投苗装置主要由导苗筒及其下方的气动开合机构组成,用于暂存钵苗和选择性分时机投苗。

植苗装置主要由鸭嘴型栽植器、行星轮架、变速箱、零位传感器和编码器等部件组成。底盘动力输出轴通过变速箱驱动行星轮架,带动栽植器做定姿旋转运动,并完成接苗、打穴和植苗动作。零位传感

器为行星轮架提供初始位置标记,编码器则实时检测行星轮架的转速和累计转角,从而为栽植器与投苗装置的相对定位以及植苗、取/放苗和移盘动作的协调与同步提供基准信号。行星轮架每旋转一周,都通过零位信号进行重新定位,以避免误差积累,保证投苗装置投苗时机的准确性。

图像采集与处理系统主要由钵苗到位检测传感器、摄像头和上位机等部件组成。钵苗到位检测传感器捕捉钵苗脱离机械手掉入导苗筒的瞬间,并触发摄像头采集钵苗图像。上位机处理钵苗图像,识别是否为健康苗,并通过通讯接口将识别结果发送给运动协调控制系统。若是健康苗,则当栽植器到达投苗装置下方时,PLC 控制气动开合机构张开投苗,钵苗靠重力作用由导苗筒掉落到栽植器中,并完成栽植;如果是劣质苗,则在栽植器转过去之后再投苗,将钵苗丢弃而不进行栽植。

运动协调控制系统检测编码器、零位传感器和各个到位传感器信号,控制伺服电动机、步进电动机以及各个气动部件,完成取/放苗、移盘和投苗动作,并依据编码器信号频率(与机组前进速度和植苗速度成正比)调整取/放苗速度、移盘速度和投苗时机,以实现各部件的协调同步运行。

动力底盘为各部件提供安装载体,通过动力输出轴驱动植苗装置工作,并为气泵和发电机提供动力。发电机和蓄电池组为伺服电动机、步进电动机和运动协调控制系统等电气部件提供电源。气泵则为各气动部件提供高压气体。

2 运动协调控制系统

2.1 控制系统硬件设计

运动协调控制系统主要由 PLC 控制器、取苗伺服电动机驱动器、移盘步进电动机驱动器、机械手到位传感器、穴盘到位传感器、编码器、零位传感器、机械手下行到位行程开关、机械手上行到位行程开关,以及机械手上/下行气缸电磁阀、收/出针气缸电磁阀、苗针夹紧/张开气缸电磁阀、投苗装置 1 气缸电磁阀、投苗装置 2 气缸电磁阀和蜂鸣器等组成,其电气连接关系如图 2 所示^[11-14]。

PLC 控制器采用西门子 S7-200 CPU224CN,取苗伺服电动机选用了 ACM604V60 型三相感应式伺服电动机(深圳,雷赛智能),配备 ACS806 型伺服电动机驱动器(深圳,雷赛智能)。移盘步进电动机选用 85BYGH450B 型两相混合式步进电动机(常州,博宏电器),配备 DP-504 型步进电动机驱动器(无锡,信捷电气)。编码器则采用 E6B2-CWZ6C 型增量式编码器(日本,欧姆龙)。PLC 控制器接收编码器输

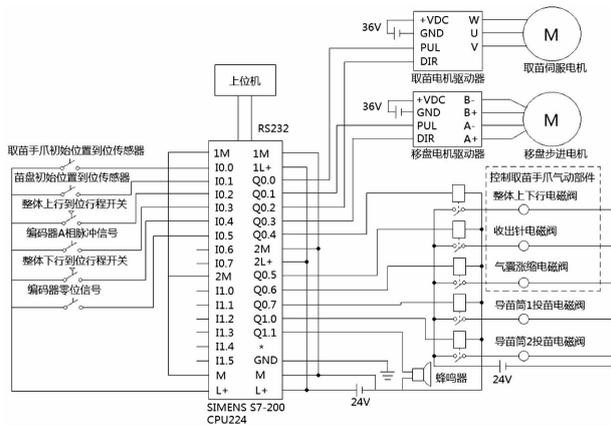


图 2 运动协调控制系统电气原理图

Fig. 2 Control system electrical schematic diagram for motion coordinating

入的高速脉冲计数信号、机械手到位传感器信号、机械手上/下行到位行程开关信号和零位传感器的开关信号(霍尔式),并输出高速脉冲控制取苗伺服电动机和移盘步进电动机运动协调控制。各个气动部件电磁阀则由 PLC 输出信号通过继电器进行控制。当 2 个机械手分别取到各自穴盘的最后 2 列钵苗时,PLC 控制蜂鸣器发出报警信号,提醒操作人员补放苗盘。

2.2 控制系统软件设计

运动协调控制系统软件采用 SIMENS S7-200 PLC 专用编程软件 STEP 7 开发而成。

2.2.1 运动协调控制系统工作流程

运动协调控制系统软件的主程序流程如图 3 所示。其中,运动参数行程 S 为伺服电动机驱动机械手从取/放苗位置移动到放/取苗位置所需要的控制脉冲数;运动参数速度 V 是伺服电动机控制脉冲的频率,决定了机械手的移动速度;行计数器用于计数一行钵苗中已经依次取得株数,列计数器则用于计数一盘钵苗中已经依次取的列数。本机适配 8×16 孔穴盘,有效行数为 $1 \sim 8$ 、有效列数为 $1 \sim 16$,各计数器的初始值均为零。对于每列钵苗,机械手都是由近及远依次取苗,所以行程 S 的初始值对应导苗筒到最近钵苗的直线距离。每取/送完一株钵苗,行程 S 都要进行修正,以将机械手定位到下一株钵苗。

系统开机之前,先由操作人员将机械手调整到投苗位置,并将 2 盘钵苗首尾相接压入移盘装置输送机构的前端。系统开机初始化之后,伺服电动机驱动机械手向取苗位置移动,并在触发机械手到位传感器之后再向前减速运行一定距离,正好停在最近一行钵苗的正上方。步进电动机驱动苗盘前进,并在触发穴盘到位传感器之后再向前减速运行一定距离,2 个苗盘的第一列钵苗正好分别停在 2 个机械手的正下方。

PLC 控制机械手上/下行气缸电磁阀导通,2 个

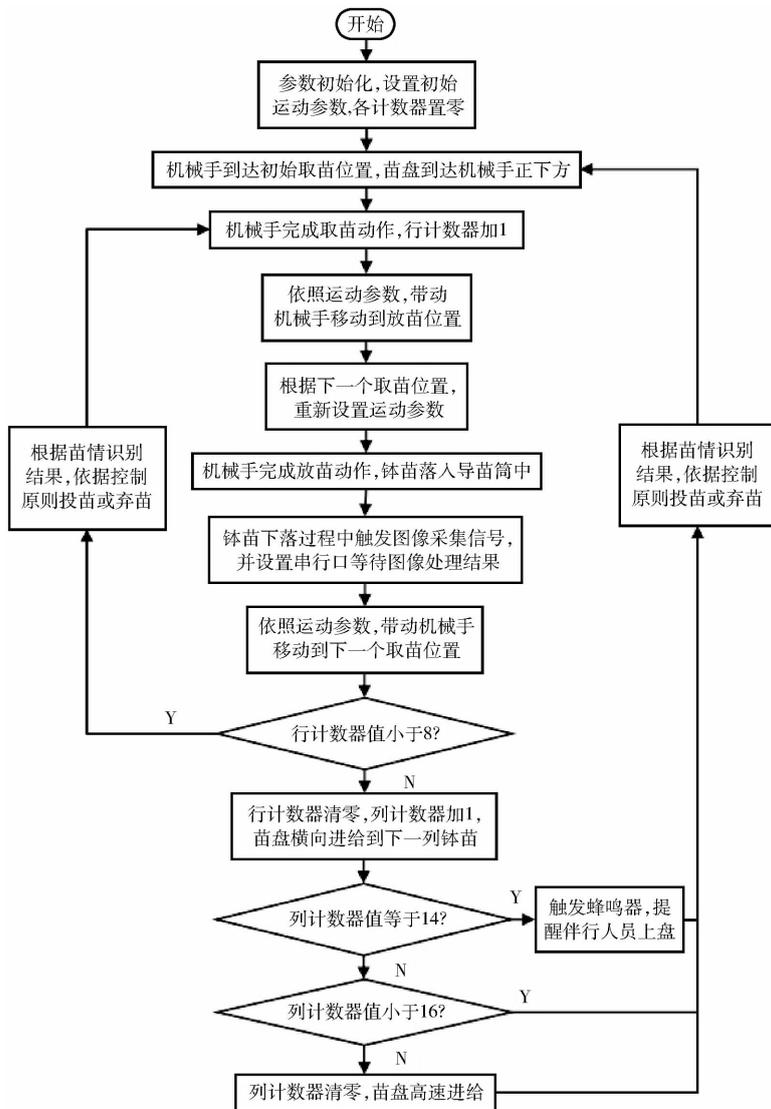


图3 控制系统主流程图

Fig. 3 Block diagram of control system

机械手整体下行。触发机械手下行到位行程开关后, PLC 控制收/出针气缸电磁阀导通, 取苗指中的苗针弹出并插入穴孔中。然后 PLC 控制苗针夹紧/张开气缸电磁阀导通, 4 个苗针夹紧钵苗。PLC 再控制机械手上/下行气缸电磁阀关闭, 2 个机械手整体上行。触发机械手上行到位行程开关后, PLC 控制伺服电动机按照行程 S 和速度 V 驱动 2 个机械手向放苗位置移动, 一次取苗动作完成。

机械手到达放苗位置后, PLC 控制苗针夹紧/张开气缸电磁阀关闭, 苗针张开。然后 PLC 再控制收/出针气缸电磁阀关闭, 苗针缩回取苗指中, 钵苗在重力作用下落入导苗筒中, 一次放苗动作完成。

钵苗下落过程中触发钵苗到位检测传感器, 到位信号启动图像采集和处理系统进行苗情识别, PLC 修改行程 S , 并控制伺服电动机驱动机械手返回下一个取苗位置。然后 PLC 检测栽植器是否已

到达导苗筒下方, 同时等待并接收上位机的苗情识别结果。

当栽植器到达导苗筒下方时, PLC 读取新接收到的苗情识别结果, 如果是健康苗, 则 PLC 控制投苗装置气缸电磁阀导通, 气动开合机构打开并完成投苗; 如果是劣质苗或者还没有接收到苗情识别结果, 则 PLC 控制投苗装置气缸电磁阀延时导通, 等栽植器转过去之后气动开合机构才打开并完成弃苗。当完成投苗或弃苗之后, PLC 控制投苗装置气缸电磁阀关闭, 气动开合机构闭合, 并开始下一个取/放苗周期。

每取出一株钵苗, 行计数器加 1。如果行计数器已加到 8, 则表明这列钵苗已全部取完, 行计数器清零, 列计数器加 1, PLC 控制步进电动机驱动穴盘进给到下一列钵苗。如果列计数器已加到 14, 则表示在取穴盘还有 2 列就将全部取完, PLC 控制蜂鸣器报警, 提醒伴行人员再向移盘装置输送机构压入

2 盘新的钵苗。如果列计数器已加到 16,则表示在取穴盘已全部取完,列计数器清零,PLC 控制步进电动机驱动穴盘高速进给,并在触发穴盘到位传感器之后再向前减速运行一定距离,从而完成 2 个新苗盘的限时补充和定位。

2.2.2 投苗时机控制

如图 1 所示,行星轮架带动其上的 2 个鸭嘴形栽植器连续旋转。行星轮架每次触发零位传感器并继续旋转 90°之后,一个栽植器正好到达导苗筒下方;再继续旋转 180°,则另一个栽植器到达导苗筒下方。考虑到气动开合机构动作和钵苗下落都需要一定时间,如果是健康苗,为使钵苗在不同的移栽速度下都能够成功落入栽植器中,需提前一个固定时间(0.3 s)换算的角度投苗,这保证了在不同的植苗频率下投苗的成功率;如果是劣质苗,则等栽植器多转过 10°之后再弃苗,与此同时,控制器触发蜂鸣器,提示伴行人员及时补苗。投苗时机控制流程如图 4 所示。

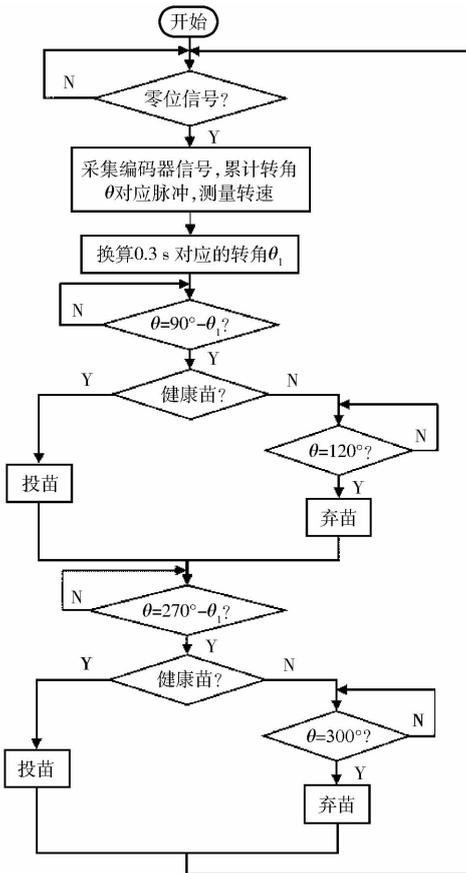


图 4 投苗时机控制流程图

Fig. 4 Flow chart of seedling dropping opportunity control

2.2.3 电动机控制函数及其参数整定

对取苗伺服电动机和移盘步进电动机,都采用西门子脉冲输出 MAP 库中的相应功能块进行伺服定位控制。主要涉及 Q0_x_CTRL、Q0_x_MoveRelative 和 Q0_x_Stop 3 个功能块。其中,Q0_x_

CTRL 通过设置启/停频率 Velocity_SS、最大频率 Velocity_Max 和最大加减速时间 accel_dec_time 等参数来对电动机的极限运动状态进行限定。Q0_x_MoveRelative 用于控制电动机按照 Direction 指定转向、Velocity 预置转速(简记 V),转动 Num_Pulses 步(简记 N)。Q0_x_Stop 则用于使电动机减速直至停止。

(1) 取苗伺服电动机控制参数整定

根据本系统对取/放苗速度的要求,并通过实际运行调试,确定 Velocity_SS = 50 Hz、Velocity_Max = 19 999 Hz、accel_dec_time = 0.075 s。

移栽机设计移栽速度为 40 株/(min·行),2 个机械手同步取苗,则平均取/放苗周期 T = 1.5 s。考虑到机械手整体下行、出针、苗针夹紧、机械手整体上行、苗针张开和收针 6 个气动动作都需要一定时间且不可重叠,为每个气动动作预留 0.1 s 的完成时间,则伺服电动机驱动机械手往复取/放苗的单程运动时间 T_{single} 仅为 0.45 s。所以

$$N_{\max} = \frac{L_{\max}}{\pi D_{mz}} N_l \quad (1)$$

式中 N_{max}——每秒钟发生的脉冲数

L_{max}——单程最大运行距离,取 386 mm

D_{mz}——直线模组同步带轮直径,取 31 mm

N_l——伺服电动机编码器线数,取 1 000

所以,N_{max} = 3 965。而

$$V \approx \frac{N_{\max}}{T_{\text{single}} - 0.075} \quad (2)$$

式中 V——频率

所以,V = 10 573 Hz。

(2) 移盘步进电动机控制参数整定

根据本系统对移盘速度的要求,并通过实际运行调试,确定 Velocity_SS = 50 Hz、Velocity_Max = 19 999 Hz、accel_dec_time = 0.2 s。步进电动机驱动穴盘横向进给一列的距离为 31.75 mm,横向进给一盘加一列的距离为 535 mm。则

$$N = \frac{L}{\frac{\varphi}{360} \pi D_l} \quad (3)$$

式中 L——进给距离,mm

φ——步进电动机步距角,取 0.18°

D_l——链轮节圆直径,取 70 mm

由于穴盘必须在机械手整体上行之后才能开始进给,且必须在机械手整体下行之前进给到位,所以

$$V \approx \frac{N}{T - 0.4 - 0.2} \quad (4)$$

所以,当步进电动机驱动穴盘进给一列时,N = 288、V = 320 Hz;驱动穴盘进给一盘加一列时,N =

4 868、 $V = 5\ 409\ \text{Hz}$ 。

3 移栽作业试验

3.1 试验材料

试验采用 8×16 孔穴盘,穴盘苗为育苗期 15 d 的黄瓜苗,秧苗平均高度约为 95.6 mm。

3.2 试验方案

为验证运动协调控制系统的有效性,即取苗机构和移盘机构配合取苗的成功率与导苗筒和栽植器配合喂苗的成功率,在江苏大学农业装备工程学院室外土槽内进行了实际移栽试验。土槽总长度约 53 m,试验前先对土槽内土壤进行了翻耕整理,并培出了 $48\ \text{m} \times 0.5\ \text{m} \times 0.2\ \text{m}$ (长 \times 宽 \times 高) 的栽培垄。将移栽株距设定为 400 mm,对应的移栽机最高作业行驶速度必须小于等于 $16\ \text{m}/\text{min}$ 。试验过程中,尽量将作业行驶速度保持在 $16\ \text{m}/\text{min}$ 左右。

驾驶移栽机进入土槽,并调正方向,准备骑垄作业。任选 2 盘穴盘苗压入移盘装置输送机构的前端。开启运动协调控制系统,苗盘自动进给到位,机械手自动定位取出第一株钵苗并移到导苗筒上方等待投苗。接通动力输出轴动力输出,行星轮架带动栽植器转动,开始正常的投苗、取/放苗和移盘作业。驾驶移栽机以 $16\ \text{m}/\text{min}$ 的速度骑垄前进,开始移栽作业。从栽植器在栽培垄上打出第一个穴开始,记录作业时间,并分别记录 2 个机械手的取苗次数、取苗成功次数以及 2 个栽植器的成功接苗次数,直至栽植器驶打完最后一个穴。重新平整栽培垄,并重复进行下一组移栽试验。

主要试验指标测定

$$a = \frac{N_1}{N} \times 100\%$$

$$b = \frac{N_2}{N_1} \times 100\%$$

$$c = \frac{N_2}{N} \times 100\%$$

式中 a ——取苗成功率

b ——喂苗成功率

c ——综合成功率

N_1 ——机械手成功取苗株数

N_2 ——栽植器成功接苗株数

N ——应取钵苗数

3.3 试验结果与分析

于 2015 年 9 月 3 日在江苏大学农业装备工程学院室外土槽内进行了实际移栽试验,试验现场如图 5 所示。



图 5 栽培垄移栽试验

Fig. 5 Test of transplanting on cultivation ridge

试验过程显示,机械手在伺服电动机的驱动下运行平稳、定位准确;气动取苗、放苗和投苗动作时机准确、冲击较小、钵苗基质损失轻微;苗盘在步进电动机的驱动下进给动作迅速平稳、定位准确;取/放苗、投苗、移盘和植苗动作能够同步协调运行。试验结果如表 1 所示。

表 1 移栽试验结果

Tab. 1 Results of transplanting test

组号	穴盘号	平均移栽速度/ (株·(min·行) ⁻¹)	作业时间/ s	打穴数/应 取钵苗数	机械手成功 取苗株数	取苗成功 率/%	栽植器成功 接苗株数	喂苗成功 率/%	综合成功 率/%
1	a	39.3	91.49	120	118	98.33	115	97.46	95.83
	b	39.1	91.95	120	118	98.33	117	99.15	97.50
2	a	39.8	89.70	119	117	98.32	114	97.43	95.80
	b	40.1	89.03	119	118	99.16	116	98.31	97.48
3	a	40.6	88.78	120	117	97.50	112	95.73	93.33
	b	40.7	88.45	120	118	98.33	110	93.22	91.67
平均值		39.9	89.90			98.33		96.88	95.27

由表 1 可见,在 $39.9\ \text{株}/(\text{min} \cdot \text{行})$ 的平均移栽速度下,样机取苗成功率达到了 98.33%,喂苗成功率达到了 96.88%,基本实现了 $40\ \text{株}/(\text{min} \cdot \text{行})$ 的设计移栽速度。取苗成功率主要受育苗质量和苗钵

含水率的影响,12 株未能成功取苗的钵苗中,未出苗的 3 株、因苗弱而盘根状况较差的 6 株、因基质较少而导致苗钵含水率明显较低的 3 株。排除取苗不成功的缺苗因素,喂苗成功率主要受移栽作业速度

的影响,平均移栽速度低于 40 株/(min·行)的第 1 组的喂苗成功率明显高于平均移栽速度接近 40 株/(min·行)的第 2 组试验;而在平均移栽速度接近 41 株/(min·行)的第 3 组试验中,由于作业速度波动,当瞬时作业速度较快时,机械手取/放苗速度跟不上,气动开合机构打开投苗时钵苗尚未进入导苗筒,从而导致喂苗失败。

4 结论

(1)基于西门子 PLC 设计了穴盘苗全自动移栽机运动协调控制系统,实现了取苗伺服电动机和移盘步进电动机的高速驱动和定位控制,以及取/放

苗、投苗、移盘和植苗动作的同步协调控制。

(2)气动取苗机械手由伺服电动机驱动在取/放苗位置之间高速往复移动,并依靠气动部件驱动实现取/放苗动作,可以达到 40 株/(min·行)的取/放苗速度,在此速度以下,取苗成功率主要受育苗质量和钵苗含水率的影响。

(3)采用育苗期 15 d 的黄瓜苗进行实际移栽试验,在 39.9 株/(min·行)的平均移栽速度下,样机完成取/放苗过程并最终将钵苗成功喂入栽植器的喂苗成功率为 96.88%。当作业速度高于 40 株/(min·行)的设计移栽速度时,由于机械手取/放苗速度跟不上,喂苗成功率明显降低。

参 考 文 献

- 冯青春,王秀. 穴盘钵苗智能移栽机关键技术研究现状[J]. 农机化研究,2013(11):250-252.
FENG Qingchun, WANG Xiu. Development of research on automatic transplanter for tray seedlings[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2013(11):250-252. (in Chinese)
- 吴俊敏,张小超,金鑫,等. 苗盘钵苗自动识别及控制装置的设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(1):47-52.
WU Jianmin, ZHANG Xiaochao, JIN Xin, et al. Design and experiment on transplanter pot seeding disk conveying and positioning control system[J]. Transactions of the CSAE,2015,31(1):47-52. (in Chinese)
- 于晓旭,赵匀,陈宝成,等. 移栽机械发展现状与展望[J]. 农业机械学报,2014,45(8):44-53
YU Xiaoxu, ZHAO Yun, CHEN Baocheng, et al. Current situation and prospect of transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(8):44-53. (in Chinese)
- 倪有亮,金诚谦,刘基. 全自动移栽机取送苗系统的设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(23):10-19.
NI Youliang, JIN Chengqian, LIU Ji. Design and experiment of system for picking up and delivering seedlings in automatic transplanter[J]. Transactions of the CSAE,2015,31(23):10-19. (in Chinese)
- 韩长杰,杨宛章,张学军,等. 穴盘苗移栽机自动取喂系统的设计与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(8):51-61.
HAN Changjie, YANG Wanzhang, ZHANG Xuejun, et al. Design and test of automatic feed system for tray seedlings transplanter[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(8):51-61. (in Chinese)
- 王侨,曹卫彬,张振国,等. 穴盘苗自动取苗机构的自适应模糊 PID 定位控制[J]. 农业工程学报,2013,29(12):32-39.
WANG Qiao, CAO Weibin, ZHANG Zhenguo, et al. Location control of automatic pick-up plug seedlings mechanism based on adaptive fuzzy-PID[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(12):32-39. (in Chinese)
- 杨传华,方宪法,杨学军,等. 基于 PLC 的蔬菜钵苗移栽机自动输送装置[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊 1):19-23.
YANG Chuanhua, FANG Xianfa, YANG Xuejun, et al. Automatic delivery mechanism of potted-seeding for vegetable transplanter based on PLC[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(Supp. 1):19-23. (in Chinese)
- 冯青春,王秀,姜凯,等. 花卉幼苗自动移栽机关键部件设计与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(6):21-27.
FENG Qingchun, WANG Xiu, JIANG Kai, et al. Design and test of key parts on automatic transplanter for flower seedling[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(6):21-27. (in Chinese)
- 万霖,汪春,车刚. 小型蔬菜移栽机的改进设计与试验[J]. 农业工程学报,2011,27(6):117-122.
WAN Lin, WANG Chun, CHE Gang. Improved design and experiments of small-size vegetable transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(6):117-122. (in Chinese)
- 陈建能,王伯鸿,张翔,等. 多杆式零速度钵苗移栽机植苗机构运动学模型与参数分析[J]. 农业工程学报,2011,27(9):7-12.
CHEN Jianneng, WANG Bohong, ZHANG Xiang, et al. Kinematics modeling and characteristic analysis of multi-linkage transplanting mechanism of pot seeding transplanter with zero speed[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9):7-12. (in Chinese)
- 韩绿化,毛罕平,严蕾,等. 穴盘育苗移栽机两指四针钳夹式取苗末端执行器[J]. 农业机械学报,2015,46(7):23-30.
HAN Lihua, MAO Hanping, YAN Lei, et al. Pincette-type end-effect using two fingers and four pins for picking up seedlings[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2015,46(7):23-30. (in Chinese)
- 崔崑,刘双喜,高丽娟,等. 2ZFS-1A 型多功能烟草移栽机的研制[J]. 农业工程学报,2012,28(增刊 2):36-41.
CUI Wei, LIU Shuangxi, GAO Lijuan, et al. Development of 2ZFS-1A multifunctional tobacco transplanting machine[J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(Supp. 2):36-41. (in Chinese)

- 12 董亚娜. 半喂入式水稻联合收割机结构特点及存在问题[J]. 农机使用与维修, 2014(10):53.
- 13 杨磊, 肖丽萍, 耿兆奎, 等. 我国半喂入水稻联合收割机的现状与发展趋势分析[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(1):8-10.
YANG Lei, XIAO Liping, GENG Zhaokui, et al. Present situation and development trend analysis of head-feed rice combine in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(1):8-10. (in Chinese)
- 14 李玖祥, 刘仁鑫. 江西水稻联合收割机应用现状及发展趋势[J]. 湖南农机, 2014, 41(11):7-9.
LI Jiuxiang, LIU Renxin. Application status and development trend of Jiangxi rice combine harvester[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2014, 41(11):7-9. (in Chinese)
- 15 高东明, 王德成, 李杰, 等. 青饲圆捆机对数螺旋式成形装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7):118-122.
GAO Dongming, WANG Decheng, LI Jie, et al. Design and test of logarithmic spiral round baler chamber[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7):118-122. (in Chinese)
- 16 王春光, 马卫民, 马赛, 等. 钢辊预压式圆捆机设计[J]. 农业工程, 2011, 1(2):17-20.
WANG Chunguang, MA Weimin, MA Sai, et al. Design on round baler with prepressing device[J]. Agricultural Engineering, 2011, 1(2):17-20. (in Chinese)
- 17 华荣江, 唐遵峰, 叶宏艳, 等. 国内外圆捆机械研究与发展趋势[J]. 中国农机化, 2012, 33(3):23-26.
HUA Rongjiang, TANG Zunfeng, YE Hongyan, et al. Research and development tendency about baler in domestic and overseas [J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012, 33(3):23-26. (in Chinese)
- 18 GALANT J C, VAN DE L M. Baler and method of baling: EP 2012/004278[P]. 2012-10-12.
- 19 LEED H, KIM Y J, CHUNG S O, et al. Analysis of the PTO load of a 75 kW agricultural tractor during rotary tillage and baler operation in Korean upland fields[J]. Journal of Terramechanics, 2015, 60:75-83.
- 20 Tenbult H T H. Agricultural baler: EP 2015/063873[P]. 2015-06-19.
- 21 雷军乐, 王德福, 张全超, 等. 完整稻秆卷压过程应力松弛试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8):76-83.
LEI Junle, WANG Defu, ZHANG Quanchao, et al. Experiment on stress relaxation characteristics of intact rice straw during rotary compression[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(8):76-83. (in Chinese)
- 22 雷军乐, 王德福, 李东红, 等. 钢辊式圆捆机旋转草芯形成影响因素分析与优化[J]. 农业机械学报, 2015, 46(12):18-25.
LEI Junle, WANG Defu, LI Donghong, et al. Influence factors anlysis and optimization of forming rotary straw core by steel-roll round baler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12):18-25. (in Chinese)
- 23 杜韧, 张立志. 圆捆机成型室原理与发展趋势[J]. 农业机械, 2007(18):78-79.
- 24 张忠旭, 隋国民, 华泽田, 等. 中高秆弯曲穗型杂交粳稻抗倒伏能力分析[J]. 杂交水稻, 2008, 23(4):65-68.
ZHANG Zhongxu, SUI Guoming, HUA Zetian, et al. Analysis on lodging resistance of japonica hybrid rice with higher stems and drooping panicles[J]. Hybrid Rice, 2008, 23(4):65-68. (in Chinese)

(上接第7页)

- 13 王永维, 唐燕海, 王俊, 等. 蔬菜钵苗高速移栽机吊杯式栽植器参数优化[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1):91-100.
WANG Yongwei, TANG Yanhai, WANG Jun, et al. Parameter optimization for dibble-type planting apparatus of vegetable pot seedling transplanter in high-speed condition[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):91-100. (in Chinese)
- 14 金鑫, 杜新武, 杨传华, 等. 移栽机曲柄滑槽式栽植机构设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5):83-90.
Jin Xin, Du Xinwu, Yang Chuanhua, et al. Design and experiment on crank-chute planting mechanism of transplanting machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5):83-90. (in Chinese)
- 15 LAWRENCE M J, BUCKMASTER D R, LAMONT W J. A pneumatic dibbling machine for plastic mulch[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2007, 23(4):419-424.
- 16 PRASANNA K G V, RAHEMAN H. Development of a walk-behind type hand tractor powered vegetable transplanter for paper pot seedlings[J]. Biosystems Engineering, 2011, 110(2):189-197.
- 17 EDATHIPARAMBIL V T. Development of a mechanism for transplanting rice seedlings[J]. Mechanism and Machine Theory, 2002, 37(4):395-410.
- 18 孙国祥, 汪小昆, 何国敏, 等. 穴盘苗移栽机末端执行器设计与虚拟样机分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10):48-53.
SUN Guoxiang, WANG Xiaokun, HE Guomin, et al. Design of the end-effector for plug seedlings transplanter and analysis on virtual prototype[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10):48-53. (in Chinese)
- 19 蒋焕煜, 施经挥, 任焯, 等. 机器视觉在幼苗自动钵作业中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5):127-131.
JIANG Huanyu, SHI Jinghui, REN Ye, et al. Application of machine vision on automatic seedling transplanting[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(5):127-131. (in Chinese)
- 20 SATPATHY S K, GARG I K. Effect of selected parameters on the performance of a semi-automatic vegetable transplanter[J]. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2008, 39(2):47-51.
- 21 TSUGA K. Development of fully automatic vegetable transplanter[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 2000, 34(1):21-28.