

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.S1.014

蔬菜移栽钵苗检测与缺苗补偿系统设计与试验

文永双 张宇 田金元 袁挺 张俊雄 谭豫之

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要:为解决蔬菜穴盘苗全自动移栽机因穴盘缺苗、取投苗失败等因素导致的漏栽现象,设计了基于多传感器的钵苗检测及缺苗补偿系统(补苗系统)。补苗系统作为独立功能模块,包括补苗装置、钵苗检测单元和控制系统,使用反射型光纤传感器和激光传感器联合检测的方法,对分行苗杯定位和苗杯内钵苗进行识别。利用光纤传感器分别对辣椒、番茄、甘蓝钵苗进行多高度检测试验,以获取光纤传感器最佳检测高度和最佳缺苗判定阈值。设计了自动补苗装置,并对补苗过程进行运动学分析。使用触摸屏、PLC、EM253位置模块等控制元件设计了控制系统,实现整机及补苗系统的控制。对补苗系统进行不同移栽频率下的性能对比试验,试验结果表明:在单行栽植频率分别为60、70、80株/min时,补苗系统识别成功率分别为98.15%、98.15%、97.69%,移栽机平均漏栽率分别为1.85%、2.31%、2.31%,比未启用补苗系统时漏栽率分别降低了14.59%、14.36%、15.52个百分点,为进一步提高蔬菜移栽作业品质提供参考。

关键词:蔬菜穴盘苗;移栽;钵苗检测;补苗系统

中图分类号: S223.92 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)S1-0123-07

Design and Experiment of Detection and Supply System of Vegetable Plug Seedlings for Transplanting

WEN Yongshuang ZHANG Yu TIAN Jinyuan YUAN Ting ZHANG Junxiong TAN Yuzhi
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In the field transplanting process of vegetable plug seedlings, the lack of seedlings in the plug trays and the failure of picking and throwing seedlings lead to the leakage planting, resulting in waste of resources such as land, water and pesticides. In order to solve the problem of leakage planting, a plug seedling detection and seedling leakage supply system (seedling supply system) for a fully automatic transplanter of vegetable plug seedlings was designed. As an independent functional module, the seedling supply system specifically included a plug seedling detection unit and a seedling supply device. A reflective optical fiber sensor (OFS) and a laser sensor were used to detect the separation seedling cup and identify the plug seedling in the separation seedling cup. Pepper, tomato, cabbage plug seedlings were tested at a variety of detection height by OFS to obtain the best detection height and threshold setting parameters for OFS detection. With the height of the OFS probe was increased, the difference values was increased first and then decreased. When the feedback difference values were the largest, the corresponding plug seedling detection height was the best, and the optimal threshold parameter was set according to the feedback value and the feedback difference value. The automatic supply device was designed, and the movement analysis of the seedling supply process was carried out. The HMI-PLC control system was designed to realize the control of the transplanter and the seedling supply system. A field comparison experiment with different transplanting frequencies was carried out on the opening and closing of the seedling supply system. The experiment results showed that when the single row transplanting frequency was 60 plants/min, 70 plants/min, and 80 plants/min, the recognition success rate was 98.15%, 98.15% and 97.69%, the leakage planting rate was 1.85%, 2.31% and 2.31%, respectively. Compared with the transplanting when the seedling supply system was not enabled, the leakage planting rate was reduced by 14.59%, 14.36 and 15.52 percentage points, respectively.

Key words: vegetable plug seedlings; transplants; plug seedling detection; seedling supply system

收稿日期: 2020-08-25 修回日期: 2020-09-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0701300)

作者简介: 文永双(1987—),男,博士生,主要从事蔬菜穴盘苗自动移栽技术研究,E-mail: wysh66123@163.com

通信作者: 袁挺(1981—),男,副教授,主要从事农业智能装备、机器视觉技术研究,E-mail: yuanting122@hotmail.com

0 引言

全自动移栽机可提高移栽效率和移栽品质、降低工人劳动强度和生产成本,是蔬菜移栽的发展方向^[1-4]。全自动移栽存在缺苗漏栽现象,其主要原因有:在育苗阶段因种子品质、播种精度、苗期管理等因素造成缺苗;钵苗在包装运输阶段受机械外力损伤、钵苗脱落等因素形成缺苗;在大田移栽阶段,取投苗失败、伤苗等导致漏栽。漏栽率是移栽机的重要性能指标,如何降低漏栽率是全自动移栽机的关键技术^[5]。

目前缺苗补偿方式主要有两种:①育苗阶段对整盘穴盘苗进行识别,机器视觉引导机械手对穴盘苗进行分选或移栽。②大田移栽阶段对钵苗进行识别,取苗机械手只取正常苗或由补苗装置进行补苗。茎叶是钵苗光合作用和蒸腾作用的重要器官,茎叶形态可反映钵苗生长状态,钵苗检测多以钵苗茎叶的生长情况进行判断^[6-7]。钵苗检测方式主要有机器视觉检测法和光电传感器检测法。机器视觉检测法利用图像处理技术,将钵苗从背景中分割出,提取钵苗茎叶、钵体的多种信息,但因田间环境复杂,光照、振动、钵苗个体差异等影响机器视觉检测效果^[8]。蔬菜穴盘苗自动补苗系统可实现穴孔定位与缺苗检测,通过采集穴盘苗图像并进行图像处理,获取穴盘和钵苗信息,为穴盘苗空穴补苗提供钵苗信息与穴孔位置信息^[9-12]。文献[13-14]开发了适用于穴盘钵苗健康状态信息检测和温室内钵苗移栽的软、硬件系统,利用机器视觉技术获取穴盘钵苗的健康信息。具有钵苗检测的温室移栽机在将钵苗从密集穴盘移栽至低密度穴盘过程中,利用机器视觉系统识别缺苗穴,减少了取苗次数,提高了移栽品质^[15-17]。文献[18]设计了西红柿钵苗叶片机器视觉测量系统,采用自适应 Otsu 阈值算法从背景和根系中分割出钵苗叶片。光电传感器检测法,检测原理简单、成本低,但该方法只能检测缺苗信息,受钵苗尺寸、生长位置、直立度、相邻穴孔幼苗等影响较大,且光电传感器检测精度不高、识别成功率较低。文献[19-21]使用光电传感器开发了自动识别取苗系统,对幼苗茎杆进行识别,可判断穴盘的穴格有无苗。文献[22]通过根部承根皮带、夹苗上下皮带和重力作用剔除无苗或弱苗纸筒,光电传感器检测到缺苗时,PLC 控制皮带加速,填补剔苗后纸筒间的空隙,实现补苗。

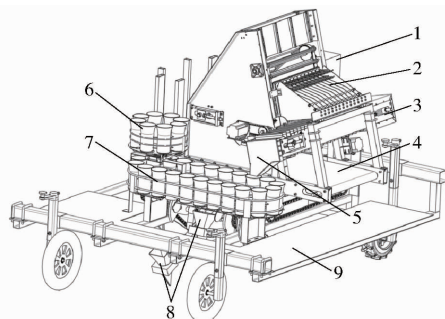
本文针对一种牵引式蔬菜穴盘苗全自动移栽机(专利申请号:CN202010125430.1),设计钵苗检测与缺苗补偿系统,以期实现对分行苗杯内钵苗的在

线监测和缺苗快速补偿,解决大田蔬菜钵苗自动移栽漏栽问题。

1 补苗系统设计

1.1 系统结构

蔬菜穴盘苗全自动移栽机由取苗机构、送苗机构、空盘回收机构、分行装置、栽植机构、PLC 控制系统、补苗系统等组成,如图 1a 所示。人工将穴盘苗放入取苗机构,取苗机构将钵苗逐排顶入送苗机构,送苗机构将钵苗通过投苗漏斗有序投入分行装置的苗杯中,分行装置将钵苗输送至两侧栽植机构,由栽植机构进行钵苗移栽。各机构由触摸屏-PLC 控制系统协同控制,共同完成自动移栽作业。



(a) 整机结构示意图



(b) 补苗装置

图 1 整体结构设计方案

Fig. 1 Schematics of overall structure design

1. 控制柜 2. 取苗机构 3. 送苗机构 4. 空盘回收机构 5. 投苗漏斗 6. 补苗装置 7. 分行装置 8. 栽植机构 9. 踏板 10. 光纤放大器 11. 光纤探头 12. 激光传感器

补苗系统由补苗装置、钵苗检测单元和控制系统组成。补苗装置安装在分行装置左上方,补苗苗杯和分行苗杯对齐。钵苗检测单元由反射型光纤传感器和激光传感器联合检测钵苗,激光传感器和光纤传感器安装位置如图 1b 所示。激光传感器水平安装,检测分行装置的苗杯位置。光纤探头位于补苗装置底部,竖直向下安装,高于苗杯一定距离,位置可调。当激光传感器检测到苗杯信号上升沿时,光纤探头刚好位于待检测苗杯中心的正上方。

1.2 补苗系统工作原理

全自动移栽机工作过程如图 2 所示,补苗系统对分行装置中的钵苗进行实时检测,对空苗杯进行

补苗。激光传感器检测到苗杯时,其上升沿信号触发 PLC 采集光纤传感器信号,光纤传感器对相应苗杯进行实时检测,判断苗杯内有无钵苗。人工向补苗装置苗杯中投入多株钵苗,自动移栽过程中,当检测位置的分行苗杯内无苗,则补苗转盘转动一定角度,补苗苗杯底盖自动打开,苗杯内的钵苗从补苗漏斗落入分行装置的空苗杯内,完成一次补苗。

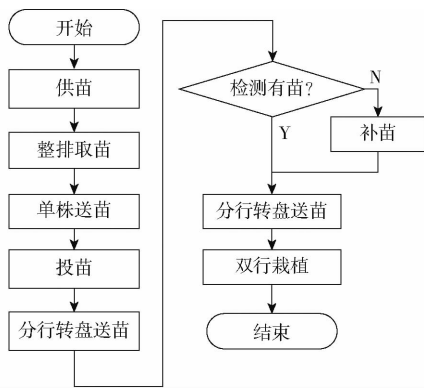


图 2 自动移栽作业流程图

Fig. 2 Automatic transplanting workflow

2 钵苗缺苗检测

2.1 传感器选择

钵苗检测应满足以下要求:①解决相邻钵苗交叉遮挡,相互干扰,造成识别正确率低的问题。②高响应速度和灵敏度,性能稳定可靠,反馈值显示和参数设置方便。③结构紧凑,便于调整安装。④抗干扰能力强,适合大田环境。⑤苗杯内钵苗茎叶随机分布,需采用一定区域面积检测的方式进行检测。

光纤传感器由光纤放大器和光纤探头组成,具有抗高频光、抗干扰能力强、检测精度高、显示反馈值、阈值设置方便、探头体积小、便于安装和调整等优点,增加防护罩可避免光照影响,适合大田复杂环境下使用。光纤传感器搭配漫反射探头可对一定区域光的反射量进行检测,实现区域检测。光纤放大器搭配矩阵探头或多探头可进行多位置或区域检测。选用 BOJKE 生产的 ER2-18ZWP 型光纤放大器,配 M6 型漫反射光纤探头,输出模式为 PNP 常开,工作电压直流 12~24 V,响应速度小于 80 μs,检测距离 300 mm。

激光传感器光斑小、精度高、抗干扰、应用广泛。选用激光传感器检测分行苗杯位置,触发 PLC 读取光纤传感器信息。选取 BFDQ 生产的 BF-M12JG-DS15B1 型激光漫反射型光电传感器,工作电压直流 6~36 V,输出模式为 PNP 常开,感应距离 0~150 mm 可调,红外激光光束直径 3 mm。

2.2 光纤传感器阈值设定

以数控铣床为试验平台,进行光纤探头的多高

度和多作物检测试验,试验平台如图 3 所示。光纤探头与检测面板平齐,以梯度 2 mm 升高,随着光纤探头的升高,光斑(检测区域)直径呈线性增加,光斑直径与探头高度关系如图 4a 所示。分别以空苗杯、甘蓝钵苗、番茄钵苗、辣椒钵苗为探测对象,每种作物检测 5 株取平均值,光纤探头至苗杯口距离为 0~120 mm,探头升高梯度为 2 mm,光纤传感器反馈值如图 4b 所示。随着光纤探头逐渐提升,反馈值 U 均先快速降低再缓慢降低。甘蓝为叶菜类,芽位较低,探头与茎叶初始距离较大,初始反馈值较小;番茄和辣椒为茄果类,茎秆较直,探头与茎叶初始距离较小,初始反馈值较大。以空苗杯反馈值分别减去甘蓝、番茄、辣椒钵苗反馈值,获取反馈差值如图 4c 所示,随着光纤探头的提升,反馈差值 Z 先增大后减小。各钵苗反馈差值最大时,判定效果最佳。缺苗判定阈值为

$$U_0 = R + \frac{W}{2} \quad (1)$$

式中 W ——钵苗最大反馈差值

R ——最大反馈差值对应的钵苗反馈值

反馈值 $U > U_0$ 时判定为缺苗, $U < U_0$ 时判定为正常苗。

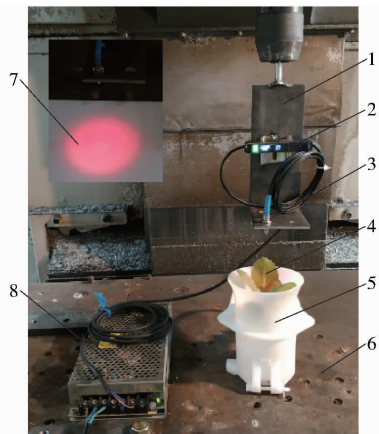


图 3 光纤传感器测量平台

Fig. 3 Optical fiber sensor measurement platform

1. 动平台 2. 光纤放大器 3. 光纤探头 4. 钵苗 5. 苗杯 6. 下平台 7. 光斑 8. 开关电源

3 补苗装置设计

补苗装置位于分行装置左上部,由步进电机、涡轮蜗杆减速器、驱动转盘、苗杯等组成,如图 5 所示, A 为投苗位, B 为检测位, C 补苗位, D 、 E 为左右栽植落苗位。分行装置苗杯和补苗装置苗杯尺寸相同,高度为 126 mm,内径为 65 mm,苗杯底盖与苗杯铰接,铰接处安装有扭转弹簧,苗杯到达投苗口处时,底盖自动弹开。补苗时,步进电机通过涡轮蜗杆减速器驱动补苗装置转动 45° (时间 t_0),投苗漏斗

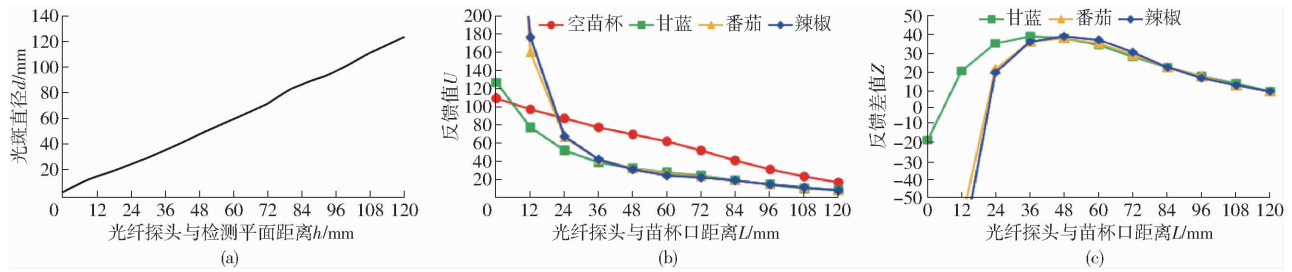


图4 光纤传感器不同高度检测试验结果

Fig. 4 Different height detection test of OFS

处苗杯底盖自动弹开,钵苗经补苗漏斗投入分行苗杯中(时间 t_1)。激光传感器实时检测分行装置速度,PLC 根据分行速度控制补苗装置转速,使分行空苗杯到达补苗位 C 处,钵苗刚好落入苗杯内。补苗计算公式为:

分行苗杯移动速度

$$v = \frac{kql}{60} \quad (2)$$

苗杯从检测位移动到补苗位所需时间

$$t = \frac{l}{v} \quad (3)$$

补苗装置转动时间

$$t_0 = \frac{60i}{mn} \quad (4)$$

补苗落苗时间

$$t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g}} \quad (5)$$

补苗应满足条件

$$t = t_0 + t_1 \quad (6)$$

式中 k ——移栽行数

q ——单行移栽频率,株/min

l ——分行苗杯间距,m

i ——涡轮蜗杆减速器减速比

m ——补苗苗杯个数

n ——补苗电机转速,r/min

H ——补苗苗杯与分行苗杯高度差,mm

g ——重力加速度, m/s^2

q 取最大值 80 株/min 时,由式(2)得 $v = 0.245$ m/s,由式(3)得 $t = 0.376$ s,由式(4)~(6)得步进电机最大转速为 579 r/min,满足步进电机最佳转速要求(≤ 600 r/min)。

4 控制系统设计

PLC 具有可靠性高,抗干扰能力强,功能完善,根据实际需求可搭载不同功能模块进行功能扩充,适合大田复杂环境作业。选取西门子 S7-200 系列的 224XP 型 PLC 作为全自动移栽机控制系统主控制器,PLC 采集各传感器信号,通过内部程序控

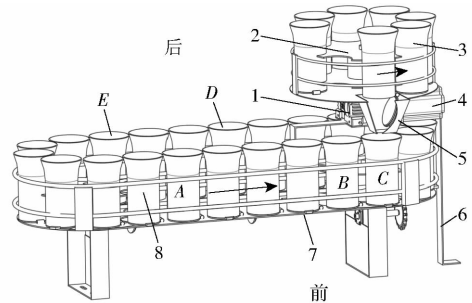


图5 补苗装置结构图

Fig. 5 Structure diagrams of replenishing device

1. 涡轮蜗杆减速器 2. 驱动转盘 3. 补苗苗杯 4. 步进电机
5. 补苗漏斗 6. 补苗装置支架 7. 分行装置 8. 分行苗杯

制各电机、气缸等执行元件,PLC 控制系统原理如图 6 所示。MCGS 触摸屏作为人机界面,包括主界面(图 7)、参数界面和手动界面,分别用来显示全自动移栽工作状态,设置控制系统内部参数,进行手动控制等。使用位置控制模块 EM253 控制补苗步进电机,EM253 模块可提供 0.012~200 kHz 高频脉冲信号,支持加、减速度 S 曲线,实现补苗装置平滑启停和高速转动。

5 试验与分析

5.1 试验条件

为测试补苗系统性能,于 2020 年 8 月 18 日在山东华龙农业装备有限公司试验基地(山东青州)对自动移栽机进行大田移栽对比试验(图 8)。选用 72 穴 30 d 辣椒苗进行试验,挑选后的试验苗长势均匀,壮苗率为 100%,株高约为 120 mm,展宽为 90~110 mm,育苗基质为丹麦品氏泥炭土和珍珠岩(体积比 3:1)。

5.2 试验方法

对 36 盘试验苗进行预处理,每盘苗随机设置 10 株缺苗,试验苗平均分为两组,每组在开启和关闭补苗系统条件下,分别对 60、70、80 株/min 单行栽植频率进行大田移栽对比试验,每次试验连续移栽两盘苗,试验重复 3 次,试验数据记录至表 1。通过分析对比识别成功率、漏栽率,判断该系统钵苗识别效果和补苗性能,同时验证补苗系统和整机移栽

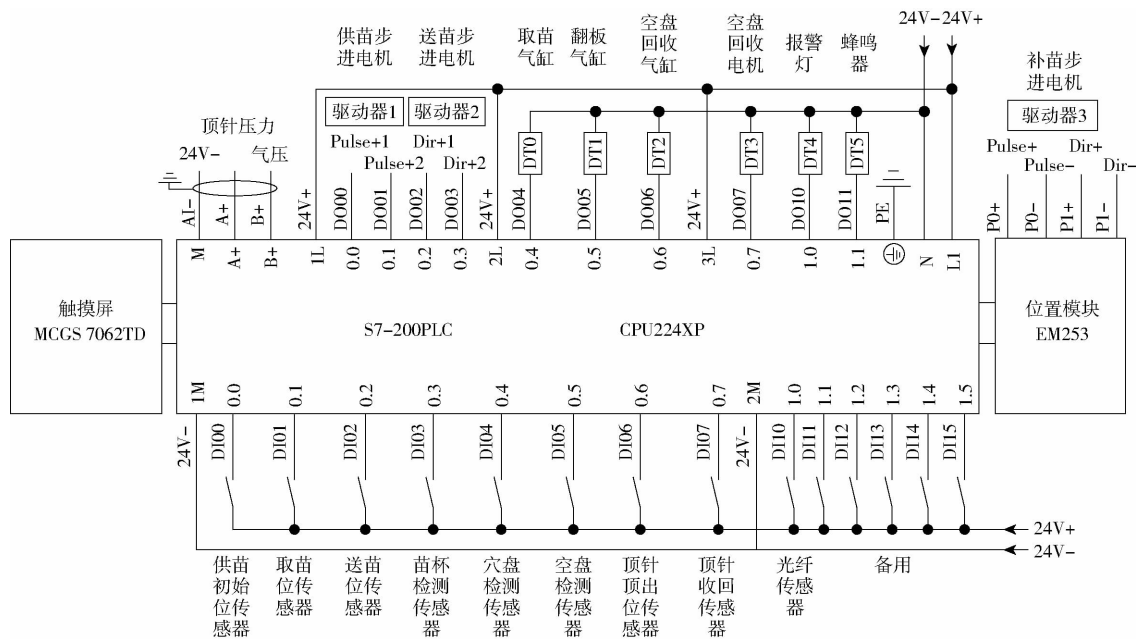


图 6 触摸屏-PLC 控制系统原理图

Fig.6 Principle of HMI-PLC control system

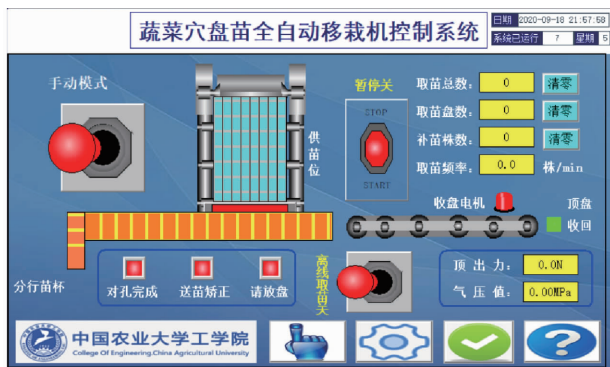


图 7 触摸屏主界面设计

Fig.7 Design of main interface of touch screen



(a) 试验样机

(b) 试验用苗

图 8 大田移栽对比试验

Fig.8 Field transplanting comparative experiment

时的协调性。

识别成功率计算公式为

$$S = \frac{T}{N} \times 100\% \quad (7)$$

漏栽率计算公式为

$$M = \frac{P}{N} \times 100\% \quad (8)$$

式中 P ——漏栽株数

T ——正确识别钵苗株数

N ——测定段内的设计株数

5.3 试验结果与分析

试验过程中补苗装置运行平稳,可与全自动移栽机高速协调运行,试验结果如表 1 所示。单行栽植频率为 60、70、80 株/min,关闭补苗系统时,平均漏栽率分别为 16.44%、16.67%、17.83%。开启补苗系统后,识别成功率分别为 98.15%、98.15%、97.69%,平均漏栽率分别为 1.85%、2.31%、2.31%,较关闭补苗系统,平均漏栽率分别降低了 14.59%、14.36%、15.52 个百分点,补苗效果明显。观察发现,开启补苗系统后,在 60~80 株/min 单行栽植频率范围内,识别成功率和漏栽率均未发生显著变化,说明该补苗系统的钵苗识别响应速度和补苗性能满足该全自动移栽机的补苗需求。

6 讨论

分行苗杯为塑料材质,在使用过程中会发生磨损,导致其表面光滑度下降,同时,残留的碎基质降低苗杯表面反光性,影响光纤传感器反馈值,从而影响缺苗检测精度。不同批次钵苗的形态、颜色不完全相同,钵苗对光纤信号的吸收和反射情况存在差异,影响光纤传感器的检测精度,如钵苗株高和展宽过大时,钵苗茎叶可能从该苗杯伸出至相邻苗杯,造成误判,故应限制钵苗苗龄。当钵苗不均匀时,钵苗检测单元可能将株高过大的钵苗判定为缺苗,导致重栽,造成一定浪费。建议采用标准化育苗,控制移栽时钵苗形态和一致性,根据钵苗种类、平均株高等调整光纤传感器的阈值和光纤探头检测高度,以提高补苗系统缺苗识别正确率。根据缺苗情况,可适

表1 关闭和开启补苗系统移栽试验结果统计

Tab.1 Transplanting test results with and without supply system

单行栽植频率/ (株·min ⁻¹)	试验编号	设计株数 N/株	关闭补苗系统		开启补苗系统			
			漏栽株数	漏栽率	识别成功株数	漏栽株数	识别成功率	漏栽率
			P/株	M/%	T/株	P/株	S/%	M/%
60	1	144	23	15.97	141	3	97.92	2.08
	2	144	25	17.36	141	3	97.92	2.08
	3	144	23	15.97	142	2	98.61	1.39
平均值		144	23.67	16.44	141.33	2.67	98.15	1.85
70	1	144	24	16.67	140	4	97.22	2.78
	2	144	22	15.28	141	4	97.92	2.78
	3	144	26	18.06	143	2	99.31	1.39
平均值		144	24.00	16.67	141.33	3.33	98.15	2.31
80	1	144	24	16.67	142	2	98.61	1.39
	2	144	27	18.75	139	5	96.53	3.47
	3	144	26	18.06	141	3	97.92	2.08
平均值		144	25.67	17.83	140.67	3.33	97.69	2.31

当增加补苗苗杯个数,以减少人工向补苗装置的补苗次数。

7 结论

(1)针对一种蔬菜穴盘苗全自动移栽机设计了自动补苗系统,采用激光传感器定位苗杯、光纤传感器检测钵苗,由补苗装置进行缺苗苗杯的快速补苗。

(2)使用光纤传感器分别对空苗杯和甘蓝、辣椒、番茄钵苗进行不同高度检测,通过光纤传感器反馈值和反馈差值特征,确定光纤探头的最优检测高度和最优设定阈值,实现缺苗的精确判定。

(3)设计了蔬菜穴盘苗全自动移栽机控制系统,触摸屏作为人机界面,PLC作为主控制器对自动移栽机及补苗系统进行逻辑控制,位置控制模块EM253驱动补苗电机进行快速补苗。

(4)单行栽植频率分别设置为60、70、80株/min,开启和关闭补苗系统分别对全自动移栽机进行大田移栽对比试验。试验结果表明,开启补苗系统后,补苗系统识别成功率分别为98.15%、98.15%、97.69%,平均漏栽率分别为1.85%、2.31%、2.31%,移栽机的漏栽率分别降低了14.59%、14.36%、15.52个百分点,满足蔬菜大田自动移栽补苗要求。

参 考 文 献

- [1] PRASANNA KUMAR G V, RAHEMAN H. Automatic feeding mechanism of a vegetable transplanter[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2012, 5(2): 20-27.
- [2] 薛向磊,王磊,许春林,等. 旱田钵苗移栽机纵向送苗机构优化设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2020, 51(2): 76-84.
XUE Xianglei, WANG Lei, XU Chunlin, et al. Optimal design and experiment of longitudinal feeding-seedling device of potted seedling transplanter for upland field[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(2): 76-84. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2002009&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2020.02.009. (in Chinese)
- [3] YANG Qizhi, HUANG Guanlong, SHI Xinyi, et al. Design of a control system for a mini-automatic transplanting machine of plug seedling[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 169: 105226.
- [4] RAHUL K, RAHEMAN H, PARADKAR V. Design and development of a 5R 2DOF parallel robot arm for handling paper pot seedlings in a vegetable transplanter[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 166: 105014.
- [5] 刘姣娣,曹卫彬,许洪振,等. 自动补苗装置精准定位自适应模糊PID控制[J]. 农业工程学报, 2017, 33(9): 37-44.
LIU Jiaodi, CAO Weibin, XU Hongzhen, et al. Adaptive fuzzy-PID control of accurate orientation for auto-detect seedling supply device[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(9): 37-44. (in Chinese)
- [6] LIN Kaiyuan, SI Huiping, CHEN Jie, et al. A new approach for measuring leaf projected area for potted plant based on computer vision[C]//Chinese Conference on Image and Graphics Technologies. Springer, Singapore, 2016.
- [7] TONG J H, LI J B, JIANG H Y. Machine vision techniques for the evaluation of seedling quality based on leaf area[J]. Biosystems Engineering, 2013, 115(3): 369-379.
- [8] 张勇. 全自动移栽机穴盘苗识别与控制系统的研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2019.
ZHANG Yong. Research on plug seedling recognition and control system of fully automatic transplanter[D]. Taian: Shandong

- Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [9] 王永维,肖玺泽,梁喜凤,等. 蔬菜穴盘苗自动补苗试验台穴孔定位与缺苗检测系统[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 35-41.
WANG Yongwei, XIAO Xize, LIANG Xifeng, et al. Plug hole positioning and seedling shortage detecting system on automatic seedling supplementing test-bed for vegetable plug seedlings[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(12): 35-41. (in Chinese)
- [10] TONG Junhua, SHI Hufeng, WU Chuanyu, et al. Skewness correction and quality evaluation of plug seedling images based on canny operator and hough transform[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 155: 461-472.
- [11] 冯青春,刘新南,姜凯,等. 基于线结构光视觉的穴盘苗外形参数在线测量系统研制及试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 143-149.
FENG Qingchun, LIU Xinnan, JIANG Kai, et al. Development and experiment on system for tray-seedling on-line measurement based on line structured-light vision[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(21): 143-149. (in Chinese)
- [12] TAI Y W, LING P P, TING K C. Machine vision assisted robotic seedling transplanting[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(2): 661-667.
- [13] 蒋焕煜,施经挥,任焯,等. 机器视觉在幼苗自动移钵作业中的应用[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)
- [14] 童俊华,蒋焕煜,武传宇. 基于贪心算法的温室钵苗稀植移栽路径优化[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 8-13.
TONG Junhua, JIANG Huanyu, WU Chuanyu. Optimization of seedlings lower density transplanting path based on greedy algorithm[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 8-13. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160302&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.002. (in Chinese)
- [15] 杨振宇,张文强,李伟,等. 利用单目视觉获取钵苗移栽适合度信息的方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 112-119.
YANG Zhenyu, ZHANG Wenqiang, LI Wei, et al. Information acquisition method of potted-seedling transplanting fitness using monocular vision[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(3): 112-119. (in Chinese)
- [16] RYU K H, KIM G, HAN J S. AE—automation and emerging technologies: development of a robotic transplanter for bedding plants[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 2001, 78(2): 141-146.
- [17] 贺磊盈,杨太玮,武传宇,等. 基于贪心遗传算法的穴盘苗补栽路径优化[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(5): 36-43.
HE Leiying, YANG Taiwei, WU Chuanyu, et al. Optimization of replugging tour planning based on greedy genetic algorithm[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5): 36-43. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170504&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.004. (in Chinese)
- [18] LING P P, RUZHITSKY V N. Machine vision techniques for measuring the canopy of tomato seedling[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 65(2): 85-95.
- [19] 金鑫. 蔬菜穴盘苗自动移栽技术与装置的研究[D]. 北京:中国农业大学, 2014.
JIN Xin. Research on automatic transplanting technology and device for vegetable plug seedling[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [20] 吴俭敏,张小超,金鑫,等. 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 seedling disk conveying and positioning control system[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(1): 47-52. (in Chinese)
- [21] 梅李爽,任玲,常晨哲,等. 穴盘苗移栽机漏苗检测及补苗控制系统的设计[J]. 新疆农机化, 2018(6): 18-21.
MEI Lishuang, REN Ling, CHANG Chenzhe, et al. Design of leaking seedling detection and seedling filling control system of pot hole seedling transplanter[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2018(6): 18-21. (in Chinese)
- [22] 石铁. 全自动玉米秧苗移栽机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 23-30.
SHI Tie. Development and test of automatic corn seedling transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(3): 23-30. (in Chinese)