

甘薯移栽机作业工况监测系统设计与试验

徐亚雷¹, 张 还¹, 杨然兵^{1,2}, 潘志国¹, 郭鑫雨¹

(1. 青岛农业大学 机电工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 海南大学 机电工程学院, 海口 570228)

摘 要: 针对目前我国甘薯裸苗移栽机存在作业状况难以实时监测分析的问题, 设计了一种融合多种传感器的甘薯裸苗移栽监测系统, 主要包括信息采集处理与远程监测两部分。以漫反射激光传感器、旋转编码器作为信息采集机构, 以 PLC 作为信息处理与逻辑控制器, 并结合 DTU 设备将移栽机作业工况实时发送至 OneNet 远程云平台, 基于 MIT APP Inventor 开发了手机 APP 软件, 通过手机访问 OneNet 云平台实现移栽信息远程查看与分析。对关键装置漏栽监测系统准确度进行了试验, 结果表明: 漏栽监测系统在 3 种移栽频率下, 最高监测精度为 98.45%, 平均监测精度为 98.15%, 可以较好地满足甘薯裸苗移栽精确监测方面的要求。

关键词: 甘薯; 裸苗移栽; 作业监测; 物联网; 传感器

中图分类号: S223.92

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2025)01-0067-05

DOI: 10.13427/j.issn.1003-188X.2025.01.011

0 引 言

随着科技的进步, 农机装备朝自动化和智能化方向发展成为趋势。裸苗移栽是甘薯生产的关键环节之一^[1-2], 对甘薯裸苗移栽机作业状况的实时监测, 无论是对于提高甘薯裸苗栽植质量, 还是控制栽植成本都具有十分重要的意义^[3]。

目前, 对农业机械作业状态的监测逐渐成为研究的热点。金鑫等利用射式红外传感器、变介电常数电容传感器分别对小麦播种和施肥状况进行监测。王金武等设计了一种基于压电冲击法的水稻穴直播监测系统, 并可通过手机 APP 监测作业信息^[4]。杨硕等利用车载计算机、排种监测 ECU 及相关传感器对玉米播种粒距与漏播进行在线监测与预警^[5]。目前, 研究多集中于玉米、小麦等传统农作物播种, 而甘薯秧苗茎秆细长、枝叶繁多, 移栽过程与传统播种作业存在本质区别。

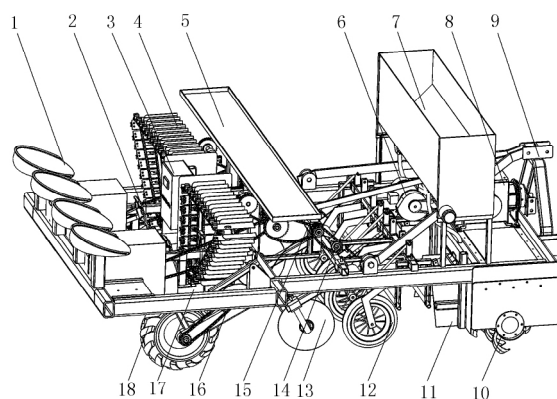
因此, 为解决目前甘薯裸苗移栽机存在作业状况难以监测分析、有线传输方式只能现场监测, 无法实现远程监测等问题, 设计了一种甘薯裸苗移栽作业信息监测装置, 并基于 MIT APP Inventor 开发了手机远程监

测软件, 实现了移栽作业状况实时显示、在线分析和批量存储。

1 结构组成及工作原理

1.1 移栽机工作原理

移栽机作业工况监测系统基于 2ZQX-2 钳夹式甘薯裸苗移栽机, 通过改变移栽驱动方式、加装监测系统进行研发, 主要由栽植机械部分、控制系统和作业监测系统 3 部分组成, 如图 1 所示。



1. 移栽座椅; 2. 移栽钳夹; 3. 控制箱; 4. 输苗带;
5. 放苗盘; 6. 发电机; 7. 肥箱; 8. 变速箱; 9. 悬挂装置;
10. 旋耕机构; 11. 起垄装置; 12. 覆膜机构;
13. 覆土装置; 14. 电机旋转编码器; 15. 直流无刷电机;
16. 地轮旋转编码器; 17. 监测装置; 18. 地轮。

图 1 钳夹式甘薯移栽机

Fig. 1 Clamp type sweet potato transplanter

作业时, 由人工将甘薯苗放在输苗带的柔性夹上, 当输苗带转动到移栽位置时, 由移栽钳夹夹持住

收稿日期: 2023-02-02

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019NJ009); 青岛农业大学高层次人才科研基金项目(1116002)

作者简介: 徐亚雷(1996-), 男, 山东枣庄人, 硕士研究生, (E-mail) ya-lei0109@163.com。

通讯作者: 张 还(1974-), 男, 济南人, 副教授, 硕士生导师, (E-mail) huan0804@163.com。

薯苗扦插入土, 钳夹每移栽一次输苗带转动一格^[6-7]。作业工况监测系统通过多种传感设备对移栽作业数据进行采集与处理, 经处理后的作业信息通过 DTU、云平台最终传输到手机, 操作人员在手机 APP 页面可实时查看机具前进速度、移栽总数、漏栽数和作业面积等各种作业信息。

1.2 系统总体框架

移栽作业工况监测系统以钳夹式甘薯裸苗移栽机为主体, 底层以旋转编码器、激光传感器作为数据采集机构, 以 PLC 作为逻辑控制器, 对传感器采集的数据进行处理与判断。GPRS DTU 模块与 PLC 通过 RS485 接口采用串口通讯差分信号进行数据传输, 中间设备 DTU 与物联网云服务器、云服务器与手机终端之间利用 4G 信号进行数据无线传输。系统总体框架如图 2 所示。

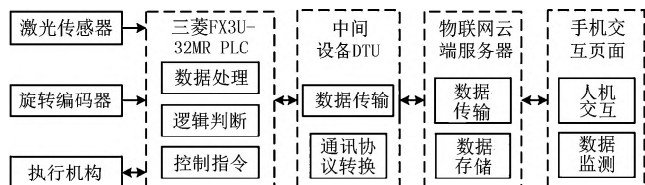


图 2 监测系统框架图

Fig. 2 Monitoring system framework

2 监测装置与工作原理

2.1 甘薯裸苗移栽漏栽监测

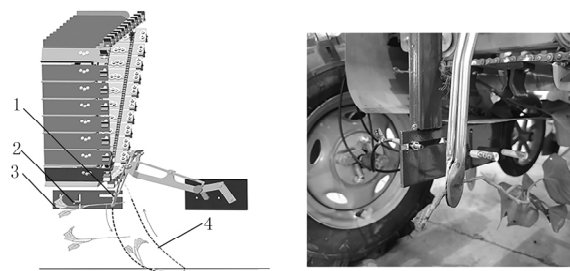
目前, 作业状态监测方法主要有光电监测法、压电监测法和高速摄影监测法等。压电监测法结构简单、成本低, 但不方便对移栽过程直接监测; 高速摄影监测法可视性好、检测精度高, 但对作业环境要求较高; 而光电监测法适用性好、灵敏度较高^[8-9]。因此, 本试验选用 NPN 型常开式漫反射激光传感器设计漏栽监测装置(见图 3), 传感器通过支架安装于距离钳夹约 5 cm 的单侧面; 为了防止由于监测不到甘薯秧苗而出现误判的情况, 采用两个激光传感器间隔 15 cm 上下布置同时监测甘薯秧苗; 为了提高光线的聚集效果, 增加监测精度, 在激光传感器外侧增加了一部分延长套筒。

检测原理: 甘薯裸苗每次移栽时传感器 3 会因钳夹的下落产生一次高频信号^[10], 从传感器 3 监测到一次信号开始到第二次信号的产生, 系统判断为一个栽植周期; 当周期内传感器 3 与传感器 1 或与传感器 2 同时产生信号构成逻辑与的关系时, 则判断为栽植正常; 如果移栽周期内仅监测到钳夹的下落, 则判断为

漏栽。

2.2 旋转编码器的安装与测速原理

地轮和移栽电机通过链传动的方式带动旋转编码器测速, 如图 4 所示。测速原理: 当旋转编码器轴带动光栅盘旋转时, 经发光元件发出的光被光栅盘狭缝切割成断续光线, 并被接收元件接收产生初始信号, 该信号经处理后输出脉冲信号^[11], PLC 通过接收脉冲信号进行速度计算。



1. 激光传感器 1; 2. 激光传感器 2;
3. 激光传感器 3; 4. 秧苗移栽轨迹。

图 3 甘薯移栽漏栽监测

Fig. 3 Monitoring of missed sweet potato transplanting

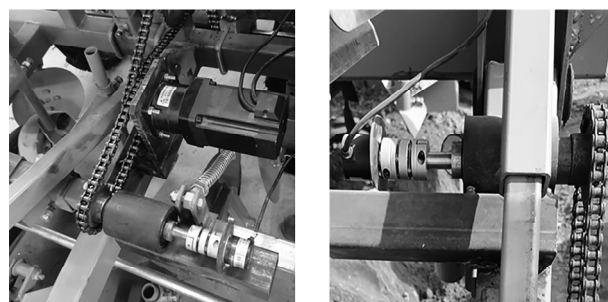


图 4 旋转编码器安装位置

Fig. 4 Installation position of rotary encoder

2.3 甘薯裸苗移栽作业信息计算

试验选用 M 法测速, 通过在一定的周期 Δt 内, 测量编码器输出的脉冲个数 M_1 来计算移栽作业速度, 即

$$v = \frac{\pi M_1 d}{P_1 \Delta t} \times 10^3 \quad (1)$$

式中 v —编码器测得的作业速度(m/s);

P_1 —地轮旋转编码器每转 1 圈发出的脉冲数;

M_1 —时间间隔内测得的脉冲总数;

Δt —选取的时间周期(ms);

d —地轮直径(m)。

移栽机前进速度 v 由地轮旋转编码器获得, 依据激光传感器 3 实时测得的两次移栽作业时间间隔 $\Delta t'$, 可计算获得理论移栽株距, 即

$$l = 100v\Delta t' \quad (2)$$

式中 l —移栽检测株距(cm);

$\Delta t'$ —两次移栽作业时间间隔(s)。

为了了解移栽机作业量,需要对移栽次数和移栽面积进行计算。由于带动移栽钳夹的齿轮每转 1 圈,完成一次移栽作业,通过移栽电机旋转编码器的脉冲数、编码器的分辨率 P_2 、移栽钳夹齿轮的传动比 u ,可得到单行移栽次数,即

$$Q = \frac{M_2}{P_2 u} \quad (3)$$

式中 Q —移栽机单行移栽次数(株);

M_2 —电机旋转编码器的计数值;

P_2 —电机旋转编码器的分辨率(p/r)。

根据单行移栽次数、设定的移栽株距和工作幅宽,计算移栽面积,即

$$A = 0.15 l' Q W \quad (4)$$

式中 W —移栽机工作幅宽(m);

A —作业面积(667 m^2);

l' —设定的移栽株距(cm)。

3 系统硬件设备与开发环境设计

由于农业机械作业环境复杂,要求控制器与传感器具有较强的稳定性和抗干扰能力,故选择的硬件设备如表 1 所示。

表 1 系统硬件设备表

Table 1 Table of system hardware equipment

类别	品牌型号	参数
PLC	三菱 FX3U 系列	有丰富的 X/Y 端口、支持 RS485 串口通讯
旋转编码器	欧姆龙 E6B2	200、400 分辨率,额定输入电压 DC5~12 V,最高响应频率 100 kHz
漫反射激光传感器	鑫社 NPN 型常开式	10~30 VDC、开关频率 100 Hz 和响应时间 5 ms
DTU	有人云 USR-G771	9~36 VDC、支持 RS132 和 485 通讯、波特率为 1 200 ~ 230 400 bit/s

云服务器 OneNet 对外提供两种接口,分别是设备接口与 API 接口。其中,API 接口对接手机、电脑等终端设备,实现软件之间相互通信,设备接口通过 4G 信号与 DTU 建立通信。控制器 PLC 作为从站与中间设备 DTU 通过 ModBus-RTU 协议建立连接^[12-13],手机用户端与云服务器建立数据通讯上传指令或接收作业参数,如图 5 所示。

MIT APP Inventor 是谷歌公司针对 Android 平台,

提出的以浏览器为基础的在线开发工具,具有支持在线开发、界面设计可视化、积木式编程的优势。软件包括“组件设计”和“逻辑设计”两项重要功能。在“组件设计”视图中,可以选择合适的组件设计应用的界面;在“逻辑设计”视图中,设计组件对应的事件逻辑。系统提供地图定位、物联网等丰富组件供 APP 开发调用,经调试完成后的程序通过打包下载传输至手机运行即可,监测系统部分程序块如图 6 所示。



图 5 甘薯移栽远程通讯

Fig. 5 Remote communication of sweet potato transplanting



图 6 监测系统部分程序块

Fig. 6 Some program blocks of monitoring system

Android 端人机交互界面由用户登录页面与远程测控页面组成,在测控页面中用户可以根据需要设置移栽的甘薯秧苗株距,同时页面实时接收 PLC 回传的机器行进速度、作业面积和漏栽率等各种作业状态参数,如图 7 所示。



图 7 甘薯移栽远程测控 APP

Fig. 7 Sweet potato transplanting remote monitoring APP

4 系统软件设计

监测系统数据信息传递按其过程依次经过了 3 个功能单元,分别是:①数据采集单元。利用传感器分别对作业过程中的激光传感器开关量的数据状态及旋转编码器数据值进行采集。②控制调节单元。PLC 控制器结合内部程序算法,计算出甘薯裸苗移栽过程中的关键性数据,如是否发生漏栽、作业速度、作业面积和作业效率等。③OneNet 云端和人机交互单元。经 PLC 处理后的信息通过 DTU 上传至云端并被手机接收显示,实现了作业人员与移栽机之间信息的实时、无线、高速传递^[14]。

监测系统程序的设计通常较为复杂,故采用结构化、模块化的程序设计思想进行设计^[15]。依据甘薯移栽作业过程,并结合系统控制要求和运行机理,监测系统的程序流程图如图 8 所示。

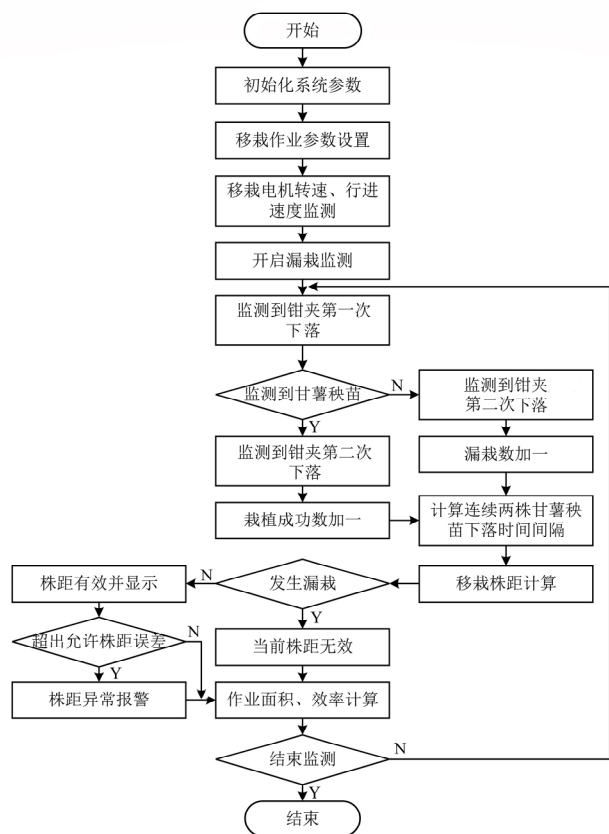


图 8 监测系统程序流程图

Fig. 8 Monitoring system program flow chart

5 漏栽监测准确性试验

为更好地控制钳夹的移栽频率,检测不同移栽频率下漏栽监测系统的准确性,通过控制器调节不同的甘薯秧苗移栽频率,进行了漏栽监测准确性试验。为

了排除甘薯秧苗形态大小对试验结果的影响,所用的 150 株甘薯秧苗在不同移栽频率下重复使用,得到漏栽监测系统监测到的漏栽数和实际漏栽数及监测精度,如表 2 所示。

表 2 漏栽监测试验数据

Table 2 Test data of missed planting detection

栽植频率 (株/min)	编 号	实测 基数	指标	漏栽数 /株	漏栽率 /%	平均监测 精度 /%
30	1	150	监测数据	10	6.67	98.45
		150	实测数据	8	5.33	
	2	150	监测数据	8	5.33	
		150	实测数据	6	4.00	
	3	150	监测数据	10	6.67	
		150	实测数据	7	4.67	
40	1	150	监测数据	11	7.33	98.22
		150	实测数据	8	5.33	
	2	150	监测数据	10	6.67	
		150	实测数据	8	5.33	
	3	150	监测数据	12	8.00	
		150	实测数据	9	6.00	
50	1	150	监测数据	20	13.33	97.78
		150	实测数据	17	11.33	
	2	150	监测数据	19	12.67	
		150	实测数据	15	10.00	
	3	150	监测数据	19	12.67	
		150	实测数据	16	10.67	

由试验数据可以看出:漏栽监测数与实际漏栽数误差范围不大,随着移栽频率的增加,监测精度开始降低。3 种移栽频率下的漏栽监测试验表明:最低监测精度为 97.78%,最高值为 98.45%,由于实际作业时甘薯移栽频率多集中于 40 株/min 左右,其平均监测精度为 98.22%,可满足甘薯移栽漏栽监测精度的要求。

6 结 论

1) 根据甘薯裸苗移栽机的工作原理,确定了移栽机作业信息监测系统的设计方案,并选择了合适的硬

件设备和软件开发环境。

2) 采用激光传感器设计一种甘薯秧苗漏栽监测系统,同时结合旋转编码器与控制器 PLC 对甘薯裸苗栽植机多种作业状况实时采集分析,并基于物联网将作业信息远程传输至 APP 终端,弥补了人工测量统计费时费力与近距离串口通讯的不足。

参考文献:

- [1] 赵海,刘新鑫,潘志国,等.甘薯种植农艺及机械化种植技术研究[J].中国农机化学报,2021,42(6):21-26.
- [2] 严伟,张文毅,胡敏娟,等.国内外甘薯种植机械化研究现状及展望[J].中国农机化学报,2018,39(2):12-16.
- [3] 范泽民,陈卫,刘新亮,等.压苗式甘薯移栽机研制探讨[J].中国农机化学报,2018,39(11):1-3.
- [4] 王金武,张翌,王菲,等.基于压电冲击法的水稻穴直播监测系统设计与试验[J].农业机械学报,2019,50(6):74-84,99.
- [5] 杨硕,王秀,高原源,等.玉米精密播种粒距在线监测与漏播预警系统研究[J].农业机械学报,2021,52(3):17-24,35.
- [6] 朱斌彬,吕钊钦.带夹式甘薯裸苗移栽机的设计[J].农

机化研究,2018,40(6):120-123,161.

- [7] 吴旋,申屠留芳,刘涵,等.甘薯盘夹式移栽机设计与试验[J].农机化研究,2022,44(11):107-112.
- [8] 邢帆,邱兆美,金鑫,等.马铃薯播种质量监测试验台设计与试验[J].农机化研究,2022,44(5):45-51.
- [9] 丁幼春,陈礼源,董万静,等.油菜宽幅播种作业监测系统设计与试验[J].农业工程学报,2021,37(13):38-45.
- [10] 赵晗,杨晓龙,杨然兵,等.基于 PLC 控制的马铃薯漏播检测装置设计[J].中国农机化学报,2019,40(7):141-145.
- [11] 崔财豪,曹卫彬,杨萌,等.基于作业速度的移栽机取苗送苗控制系统设计[J].农机化研究,2019,41(3):135-139,143.
- [12] 贾科进,陈卫科,杜太行,等.谷物(施肥)播种机智能监视系统[J].中国农机化学报,2016,37(1):186-190.
- [13] 李娜,王丽杰.基于 IoT 技术的智能播种机控制功能设计[J].农机化研究,2022,44(5):217-222.
- [14] 尹彦鑫,郑永军,成智华,等.少免耕播种机牵引阻力远程监测系统[J].农业工程学报,2014(6):1-8.
- [15] 韩长杰,韩鸿飞,尤佳,等.自动移栽机工况信息监测系统设计与试验[J].中国农机化学报,2022,43(4):60-65.

Design and Test of Monitoring System for Working Condition of Sweet Potato Transplanter

Xu Yalei¹, Zhang Huan¹, Yang Ranbing^{1,2}, Pan Zhiguo¹, Guo Xinyu¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;
2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Aiming at the problem that it is difficult to monitor and analyze the operation status of the naked seedling transplanter in China at present, a monitoring system for naked seedling transplanter of sweet potato is designed, which integrates multiple sensors. The system mainly includes two parts: information collection and processing, remote monitoring. The diffuse reflection laser sensor and rotary encoder are used as the information collection mechanism, the PLC is used as the information processing and logic controller, and the operating conditions of the transplanting machine are sent to the OneNet remote cloud platform in real time in combination with the DTU device. The mobile phone APP software is developed based on the MIT APP Inventor, and the mobile phone access to the OneNet cloud platform is used to realize the remote viewing and analysis of the transplanting information. The accuracy of the monitoring system for missed planting of the key device was tested. The test results showed that the maximum monitoring accuracy of the monitoring system for missed planting was 98.45% and the average monitoring accuracy was 98.15% under three transplanting frequencies, which could better meet the requirements for accurate monitoring of naked seedling transplanting of sweet potato.

Key words: sweet potato; bare seedling transplanting; operation monitoring; internet of things; sensor