

基于 Android 系统的蔬菜智能耕作装置设计与试验

姬江涛^{1,2} 李明勇¹ 金鑫^{1,2} 赵凯旋¹ 吴霁玲¹ 孙经纬¹

(1. 河南科技大学农业装备工程学院, 洛阳 471003; 2. 机械装备先进制造河南省协同创新中心, 洛阳 471003)

摘要: 为了提高蔬菜生产智能化水平, 针对蔬菜生产集约化程度不高、自动化水平低及耕作耗时耗力等问题, 集机械设计、压力传感、无线传输、互联网通信及 Android 手机终端控制等技术, 设计了蔬菜智能耕作装置。该装置包括耕作机械部件与以 STM32 单片机为核心的控制系统, 并基于 Android 系统开发了移动客户端软件, 可实现耕作信息远程查看及操控功能。根据 Android 客户端的耕作指令, 选择不同功能的末端执行器以完成相应的动作: 通过电容式土壤水分检测功能, 实现土壤水分信息监测; 通过播种部件以及龙门架定位, 完成定位定量播种; 通过液态物料投放部件以及设置在液路管道接口处的 PVDF 压力传感器, 实现液态物料投放堵塞及流量监测, 完成液态物料精量投放; 通过 CCD 摄像头获取作物图像信息, 并基于 BP 神经网络开发了杂草识别算法, 实现杂草识别。试验结果表明: 该智能耕作装置可实现定位定量播种功能, 株距平均合格率达 95.13%, 平均误播率为 4.86%; 液态物料投放功能较为稳定, 且均匀性较好, 最大投放误差不超过 5.4 g。

关键词: 蔬菜; 耕作装置; Android 系统; STM32 单片机

中图分类号: S224.22; TP271 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)08-0033-09

Design and Experiment of Intelligent Farming Device for Vegetables Based on Android

Ji Jiangtao^{1,2} LI Mingyong¹ JIN Xin^{1,2} ZHAO Kaixuan¹ WU Ailing¹ SUN Jingwei¹

(1. Agricultural Engineering College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China

2. Collaborative Innovation Center of Machinery Equipment Advanced Manufacturing of Henan Province, Luoyang 471003, China)

Abstract: In order to promote the development of mechanization of vegetable production and increase the level of intelligent, an intelligent farming device for vegetables was designed based on mechanical design, pressure sensing, WiFi transmission, internet communications and Android mobile phone terminal control. The device included a farming mechanical component and a control system based on STM32 MCU, a mobile client software was developed based on Android, which can realize the remote viewing and manipulation functions. According to the farming instructions of the Android client, the end effector can select different functional heads to complete the corresponding farming action; through the capacitive soil moisture detection function head to monitor the soil moisture; positioning and quantitative sowing was performed through the sowing function head and gantry positioning; through the liquid material function head and PVDF pressure sensor installed at the liquid pipeline interface, to achieve liquid material delivery jam and flow monitoring, complete delivery of liquid material precision; the crop image information was acquired by CCD camera, and the weed identification algorithm was developed based on BP neural network to realize weed identification. The test results showed that the qualified rate of the plant spacing can reach 95.13%, and the rate of misuse was 4.86%; the liquid material delivery function was relatively stable and uniform, and the maximum error was no more than 5.4 g.

Key words: vegetables; farming device; Android system; STM32 MCU

收稿日期: 2018-05-06 修回日期: 2018-06-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(51505130)、国家重点研发计划项目(2016YFD0700103)和河南省科技创新杰出人才项目(184200510017)

作者简介: 姬江涛(1965—),男,教授,博士生导师,主要从事蔬菜智能化生产关键技术装备研究,E-mail: jjt0907@163.com

通信作者: 金鑫(1986—),男,副教授,博士,主要从事种苗高速栽插装备与蔬菜智能移栽技术研究,E-mail: jx.771@163.com

0 引言

蔬菜生产全程机械化是指以机械化装备代替人力劳作,并应用智能化、信息化技术参与蔬菜的种植、管理以及收获等过程^[1-5],相较于传统种植方式,具有农艺标准实现程度好、资源利用率高的优点,已成为蔬菜生产领域的研究热点。目前,蔬菜生产过程主要由农业机械、设施农业装备与人力劳作结合的生产方式进行,具有机械设备结构复杂、耕作方式粗犷、生产智能化程度低、耗费人力等缺点^[3,5]。因此,提高蔬菜生产全程机械化水平,研究蔬菜生产智能化、自动化技术及集成装置应用意义重大。

针对蔬菜生产全程机械化智能程度低、耗费人力等问题,相关人员开展了一些有益研究。如马浚诚等^[6]研发了一套叶类蔬菜病害识别的温室监控视频采集系统,满足了温室叶类蔬菜病害识别的视频数据需求。马正华等^[7]针对蔬菜工厂种植环境要求苛刻的问题,设计了一款基于无线传感网络的蔬菜工厂智能监控系统,可为蔬菜工厂智能化生产提供技术支撑。李鑫星等^[8]设计了面向移动视频获取的网络互通网关,最终实现蔬菜病虫害视频的移动获取。温皓杰等^[9]以蔬菜病害知识视频为对象,构建了面向语义挖掘的语义场景检测模型,实现蔬菜病害视频语义检测。付焕森等^[10]利用 PLC 的 PID 调节模块,引入模糊控制理论以及组态技术,设计智能专家蔬菜大棚种植系统,实现了蔬菜智能种植。孔国利等^[11]采用远距离无线串口透传技术设计了蔬菜大棚温湿度和土壤水分自动化智能管理系统,可节省蔬菜生产过程人工成本。高峰等^[12]设计了基于无线传感器网络的作物水分状况检测系统,可全面对作物环境因素进行监测与控制,自动管理作物所需的湿度、温度、肥料等信息。已有文献中,大多是对蔬菜生产装备的智能化检测与控制技术^[6,11,15]以及设施农业中蔬菜生长信息的获取技术的研究^[10-14],对于蔬菜耕作远程控制、智能化生产及自动化管理技术的集成与创新应用研究较少。

为实现蔬菜生产智能化、自动化的目标,本文集机械设计、压力传感、无线传输、互联网通信及 Android 终端控制等技术,设计蔬菜智能耕作装置,该装置可通过无线模块实现硬件联网功能,用户可通过 Android 客户端监测作物图像及耕作参数信息,通过指令远程操控耕作装置进行播种、浇水以及施肥操作,实现蔬菜远程耕种及管理生产过程,为蔬菜智能生产装备的设计提供参考。

1 系统设计

蔬菜智能耕作装置的系统设计主要包括机械结构设计及控制系统设计,机械结构部分主要包括装置功能部件设计、机械结构安装,控制系统设计主要包括系统硬件通信设计、软件系统设计。

1.1 结构设计

蔬菜智能耕作装置机械结构部分包括龙门架定位机构、底架导轨、机械臂、末端执行器及土槽,末端执行器通过龙门架、机械臂及底架导轨实现在土槽耕作区域的 X 、 Y 、 Z 三轴定位操作,完成相应的耕作功能。为了使耕作装置便于安装及装置轻量化,装置结构体使用铝型材构建,底架导轨安装于土槽两侧,加固箱体同时引导龙门架机构对土槽内耕作区域进行株距定位(X 轴移动)操作;龙门架垂直安装于导轨上方,机械臂通过十字滑块机构安装于龙门横梁上,便于实现机械臂对耕作区域的行距定位(Y 轴移动)操作;机械臂由丝杠、铝型材组合而成,丝杠与滑块配合,步进电动机通过联轴器与丝杠连接,驱动安装于机械臂底部的末端执行器上下移动,实现末端执行器的栽深控制(Z 轴移动);为了便于实现耕作功能一体化,末端执行器采用公母头设计,由工具头(母头)安装在机械臂末端,配合功能部件(公头)使用,功能部件(公头)包括播种功能部件、液态物料投放功能部件以及土壤信息监测功能部件;土槽为耕作操作区域,为了降低装置质量便于搬运及更换,土槽箱体选用木制材料拼接而成;箱体内外表面都进行了防腐蚀及密封处理,防止箱体腐蚀损坏以及土壤营养成分流失。蔬菜智能耕作装置机械结构如图 1 所示。

1.2 控制系统工作原理

控制系统主要由数据通信模块、Android 手机控制终端、耕作执行模块及图像识别模块组成,图 2 为智能耕作装置控制系统原理图。

1.2.1 硬件系统通信原理

为使耕作操作更加智能与简便,该装置采用互联网通信方式实现 Android 端远程指令操作及工作状态监测功能。云端服务器创建一个 SeverSocket 通信实例,指定监听端口,实现智能耕作装置硬件与 Android 手机客户端的智能交互。Android 手机客户端与智能耕作装置硬件通过 Socket 与服务器建立长连接,服务器对手机客户端指令存储并转发至硬件系统,实现手机对硬件的控制;硬件系统可以实时发送状态信息给服务器,云端服务器存储并转发状态信息至手机,实现手机端对硬件系统的实时监测。

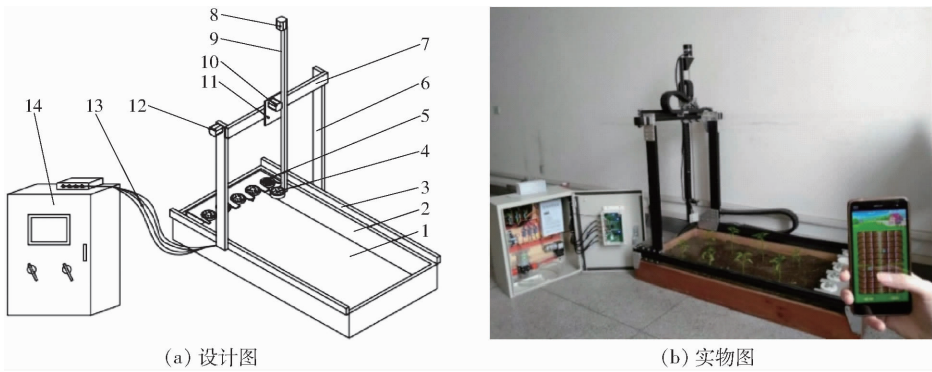


图 1 机械结构图
Fig. 1 Mechanical structure diagrams

1. 土槽 2. 箱体 3. 底座导轨 4. 工具头 5. 工具头托盘 6. 龙门柱 7. 龙门梁 8. Z 轴电动机
9. Z 轴型材 10. X 轴电动机 11. 十字滑块 12. Y 轴电动机 13. 信号电缆线 14. 控制柜

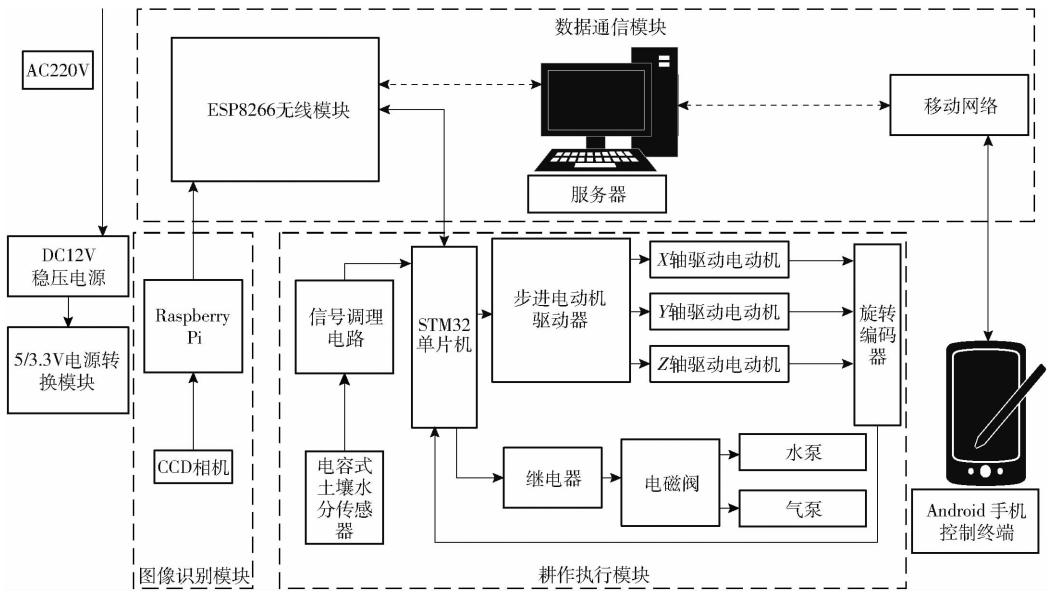


图 2 智能耕作装置控制系统原理图
Fig. 2 System schematic diagram

1. 2. 2 软件系统

Android 手机端将耕作指令通过互联网发送至服务器,服务器经过运算处理后将动作指令信息发送至无线模块,无线模块将耕作动作指令传输给耕作执行模块;耕作执行模块包括 X 轴驱动电动机(驱动龙门柱前后移动)、Y 轴驱动电动机(驱动机械臂在龙门梁上移动)和 Z 轴驱动电动机(驱动机械臂上下移动);电动机采用雷赛 42HS03 - JG - B 型步进电动机,保持转矩 $0.34\text{ N}\cdot\text{m}$,转动惯量 $0.082\text{ kg}\cdot\text{cm}^2$,经计算驱动耕作装置所需转矩大于 $0.28\text{ N}\cdot\text{m}$,该型号电动机参数完全满足装置运动部件驱动要求;利用光电旋转编码器对电动机驱动行程进行检测,并反馈至控制器,对龙门架机构及机械臂运动行程进行控制,提高机构运动的精确性;光电旋转编码器通过联轴器与步进电动机转轴连接,对步进电动机运转步数进行编码,并将步数信息反馈至控制器,实现对步进电动机的闭环控制,提高控制

精度及稳定性。图像识别模块包括 CCD 相机,焦距为 6.8 mm 。CCD 相机安装在末端执行器上方 5 cm 处,镜头与末端执行器平行安装,便于作物图像信息采集。处理器选用 Raspberry Pi,Raspberry Pi 包含片上 Soc,集成了 CPU 和 GPU 功能,支持 USB 接口、I/O 接口;CCD 相机通过 USB 与 Raspberry Pi 相连接,图像处理,将作物信息通过网络服务器传输到 Android 控制终端。

1. 3 电源及驱动设备

系统输入电源为交流 220 V 电源,电源电路包含控制器电路及执行器件电路。电源适配器选用顺祥 S - 400 - 12 型,输入: $100\sim110\text{ V}/6.5\text{ A}$ ($200\sim230\text{ V}/4\text{ A}$),输出: $12\text{ V}/33\text{ A}$ 最大,具有过压保护、过载保护及短路保护功能,通过电源适配器将 220 V 交流电转换为 12 V 稳压直流电输入到系统电源电路。通过系统电源电路分别输出 5 V 及 3.3 V 为控制器供电,控制器电路输入电压为 3.3 V ,主要

包含 STM32 单片机、ESP8266 无线模块以及相关外设电路元器件;执行器件电路输入电压为 12 V,执行器件电源电路主要包含电磁阀、继电器、气泵、水泵、步进电动机驱动器以及步进电动机。

1.4 控制硬件组成

控制硬件包括气泵、水泵、控制器模块以及互联网通信模块,系统控制柜结构图如图 3 所示。



图 3 控制柜结构图

Fig. 3 Diagram of control cabinet structure

1. 电动机驱动器 2. 继电器 3. 电磁阀 4. 液路 5. 水泵
6. 气路 7. 空气压缩泵 8. DC12 V 电源 9. ESP8266 无线模块
10. STM32 单片机 11. 通信电缆

为实现智能耕作装置中 X 、 Y 、 Z 轴电动机驱动的逻辑控制,并接收 X 、 Y 、 Z 轴步进电动机位移量反馈信号,控制器模块选用美国 ST 公司生产的 STM32F103ZET6 型单片机微控制器,ARM 32 位内核,最高工作频率 72 MHz,3 个 12 位 A/D 转换器,112 个快速 I/O 端口(包含双向 I/O 端口),具有支持 USART/SPI 通信协议接口。

耕作装置采集的耕作图像信息通过图像处理模块处理后传输至 Android 手机终端,图像处理模块采用 Raspberry Pi,64 位处理器,运算速度 1.2 GHz,包含 40 针 GPIO 口,4 个 USB 端口,BCM43143 WiFi 模块;工作时通过 WiFi 模块连接网络,实现图像数据传输,通过 I/O 口与控制器通信,并将识别信息的处理数据传输至控制器。

为实现智能耕作装置硬件接入互联网,选用乐鑫 ESP8266 型 WiFi 模块为互联网通信模块,无线标准:802.11b/g/n,PCB 板载天线,传输距离 80 m,最大发射功率 18.5 dBm,数据接口支持 UART。该模块外接单片机,使用 AT 命令操作,通过 USART 串口与单片机通信,完成现场控制系统与 Android 客户端网络通信相关任务。

水泵及气泵组成了耕作执行模块中的动力单元。水泵选用藤原直流水泵,工作电压 DC 12 V,额定功率 20 W,进出水口径最大流量 600 ~ 1 200 L/h;气泵选用 H12-85 型活塞泵,工作电压 DC 12 V,额定功率 23 W,真空度 -85 kPa;水泵与气泵工作时通过电源适配器提供 12 V 开关电源,由继电器与控制器控制启停状态。

2 功能设计与实现

2.1 末端执行部件设计

为实现末端执行器集播种、浇水、施肥等功能于一体,采用公母头耦合连接方式,利用 3D 打印技术设计了分离式末端执行部件。如图 4 所示,末端执行部件包括工具头和功能头,工具头为母头设计,功能头为公头设计,插接头前端均设置有强磁铁螺帽,强磁铁采用三角对称布置,便于实现母头与公头插接方向的选择,保证内部传输通路连接正确性;末端执行部件内部包含传感器接线端及电源接线端,实现传感器供电及检测的信号传输。

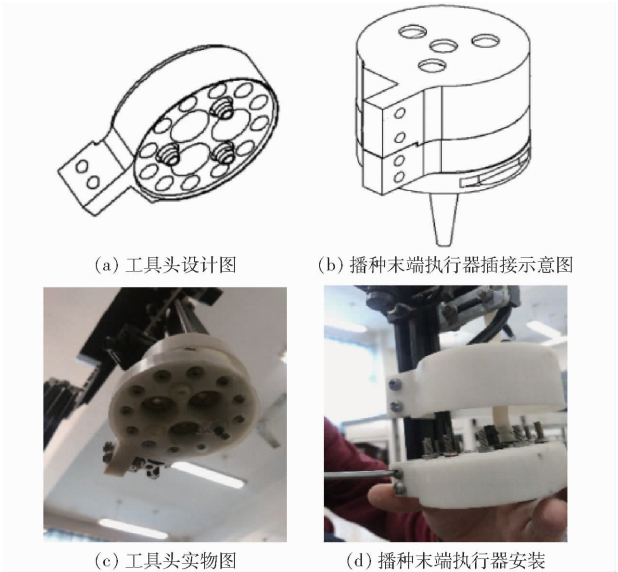


图 4 末端执行部件设计及安装

Fig. 4 Sketches of end-effector component design and installation

末端执行部件设计了气、液通道,可根据耕作过程完成相应的气、液传输功能。播种、浇水及施肥功能分别通过气泵与水泵提供动力完成,气、液通道采用弹性较好的软质橡胶管道,防止管道堵塞,保障气、液传输的稳定性;气、液管道接口选用锥形活塞接口设计,采用插接式连接方式,插接力由磁铁间吸合力提供,吸合方式简便,吸合力可使密封性好,保证气、液通道传输功能的可靠性。

末端执行部件通过工具头组合不同的功能头实现相应末端执行器的功能,工具头通过螺栓固接在 Z 轴机械臂上,通过不同功能头与工具头磁耦合连接,可形成执行相应功能的末端执行器,完成土壤水分监测、定量播种、液态物料精量投放等功能。

2.2 土壤水分监测

2.2.1 土壤水分监测功能头设计

为实现智能耕作系统对作业区域土壤水分信息的获取,辅助 Android 控制端作出耕作决策,设计了

土壤水分监测传感器功能头,如图 5 所示。功能头由圆形插接端、探针及 PCB 板载信号调理电路组成,其中探针为 2 个长条形印刷电路板,构成平行结构,两探针电极长 40 mm,宽 6 mm,厚 1.6 mm,探针间内侧距离为 5 mm;探针与圆形插接端构成一个整体,圆形插接端内部包含传感器电子电路,并预留 3 根接线,包括电源端、信号端、地线端,通过与末端执行器工具头插接实现线路通信;为便于探针插入土壤,其末端设计为三角形,表面涂敷铜层形成电接触区,以感知待测区域土壤水分信息。



图 5 土壤水分监测传感器功能头

Fig. 5 Soil moisture monitoring sensor functional head

2.2.2 土壤水分监测原理

土壤是由颗粒固体、空气和水组成的混合物,土壤的介电常数随土壤含水率的变化而变化,土壤水分监测是基于电容原理^[16]。根据土壤水分监测末端执行器的两探针插入含水率不同的土壤中,造成探针间电容变化并输出变化量电信号,经过信号调理电路进行滤波及采样保持后,通过测量电路检测探针间电容变化量,以电容变化量并根据测量电路特性通过反演计算间接测得含水率。电容变化原理为

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d} \quad (1)$$

式中 ϵ ——介电常数

S ——两电容极板间正对面积,mm²

k ——静电力常量,N·m²/C²

d ——两电容极板间距离,mm

2.3 定位控制及定量播种

针对智能耕作装置定量播种要求,采用 3D 打印技术设计了气吸式播种功能头,如图 6 所示。该播种功能头与机械臂端工具头插接形成末端执行器,通过龙门架机构移动实现播种区域定位,配合气吸压力监控,实现定位定量播种操作。

2.3.1 龙门架定位控制精度理论分析

龙门架定位移动控制系统采用带位置反馈的闭环步进定位控制方式^[17],由控制器设定的位置信息驱动步进电动机,并通过编码器对位置信息进行反馈,指示控制器控制电动机启停以达到闭环定位的

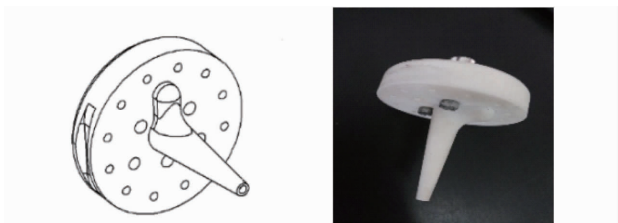


图 6 气吸式播种功能头

Fig. 6 Air suction sowing functional head

目的。步进控制系统主要由 STM32 控制器、电动机驱动器、步进电动机及光电旋转编码器组成,控制系统结构框图如图 7 所示。

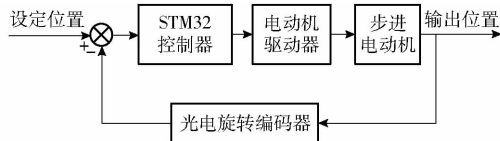


图 7 龙门架闭环控制系统框图

Fig. 7 Control system diagram

龙门架 X、Y、Z 轴由步进电动机驱动带轮带动传动带进行定位移动,通过欧姆龙 E6B2 - CWZ6C 型光电旋转编码器(启动转矩不大于 0.98 mN·m,最大分辨率 2 000 P/R)对移动位置进行反馈。龙门架移动时,按照控制端给定的位置坐标,设定电动机驱动移动距离为 X,则运转步距角数量 n 为

$$n = \frac{X}{r\alpha} \frac{360^\circ}{2\pi} \quad (2)$$

式中 r ——带轮半径,7 mm

α ——电动机步距角,1.8°

根据步进电动机的精度一般为步距角的 3% ~ 5%,得到步进电动机运转的最大角度误差为

$$\Delta\beta = (\Delta n + 0.05)\alpha \quad (3)$$

式中 Δn ——步距角数量计算取整误差

由 $\Delta\beta$ 可得最大相对角度误差 E_0 为

$$E_0 = \frac{\Delta\beta}{\beta} \times 100\% \quad (4)$$

其中

$$\beta = n\alpha$$

式中 β ——电动机转动角度

考虑到步进电动机等电气元件实际工作情况,在智能耕作装置设计中,允许龙门架定位移动误差 Δx 为 ± 0.05 cm,龙门架定位移动所允许的最大相对位置误差 E_1 为

$$E_1 = \frac{\Delta x}{X_{\max}} \times 100\% \quad (5)$$

式中 $X_{\max}$ ——耕作装置作业过程中龙门架移动最大距离,90 cm

代入式(5),得 E_1 为 0.055%。

由于龙门架移动距离与步进电动机转动角度为正比例关系,因此步进电动机转动所允许的最大相

对角度误差 E_2 与最大相对位置误差 E_1 相等。

根据智能耕作装置土壤箱体尺寸(长×宽×高为 120 cm×70 cm×18 cm)及播种农艺行株距要求设定的龙门架移动常用驱动距离,得到电动机控制精度结果如表 1 所示。由表 1 可知,在电动机驱动距离为 150~900 mm 范围内均满足 $E_2 > E_0$,即电动机控制中允许的最大相对角度误差大于最大相对角度误差,故采用位置反馈的闭环控制可满足耕作装置定位控制要求。

表 1 电动机控制精度分析结果

Tab.1 Motor control accuracy analysis result

驱动 距离/ mm	运转步 距角 数量	运转步 距角取整 误差	转动 角度/ 角度/ (°)	转动角度 误差/ 误差/ (°)	最大相对 角度 误差/%
150	682	0.092 61	1 227.6	0.256 705	0.021
300	1 364	0.185 23	2 455.2	0.423 414	0.017
600	2 728	0.370 46	4 910.4	0.756 828	0.015
900	4 092	0.555 69	7 365.6	1.090 242	0.014

2.3.2 气吸式定量播种

为了实现单颗小粒种子定量播种,参考黄震宇等^[18]对常见蔬菜作物种粒尺寸参数信息的统计研究,设计的播种功能头吸嘴直径为 2 mm,与配置的 H12-85 型活塞泵配合使用时,可提供最大吸力为 0.68 N,能够满足种粒单粒质量在 0~50 g 范围内的种粒定量播种操作。

由 Android 控制端发送播种指令后,STM32 控制器根据接收的坐标位置信息规划龙门架机构移动路线,并控制气泵启动及电磁阀实现正负气压输出切换,完成吸种及落种操作。将土槽耕作区域的面积及播种作物类别等参数输入客户端,由客户端确定行株距等作物农艺信息并划分耕作区域,生成播种穴坑位置坐标;装置现场层控制器 STM32 接收到播种坐标信息后,指示 X、Y、Z 轴步进电动机联合驱动,将末端执行器定位到取种箱位置,控制器启动气泵输出负压进行吸种操作;取种完成后,由龙门架机构将末端执行器定位到播种位置,控制器通过指示电磁阀切换气压输出方向,完成落种。

2.4 液态物料精量投放

为实现浇水、施肥等液态物料精确投放,设计了液态物料投放功能头,如图 8 所示。液态物料投放功能头通过与机械臂末端工具头插接,形成液态物料投放末端执行器。系统可根据 Android 控制端指令,指示 STM32 控制活塞泵启动,完成液态物料输送。为实现液态物料精量投放,在末端执行器与橡胶管接口处设置有 PVDF 贴片式压力传感器用于采集水压及流量信息,并将水压信息传输至控制器,

由控制器子程序对水压信息进行运算并结合水泵运行时间获取流量信息,实现液态物料投放监测。

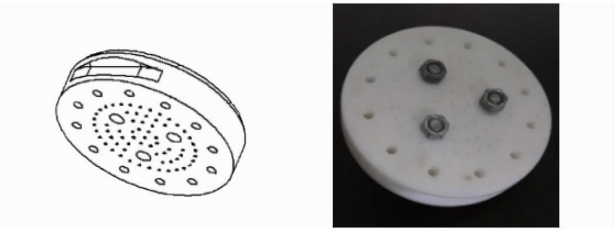


图 8 液态物料投放功能头
Fig.8 Liquid material delivery functional head

液态物料流量监测选用美国精量公司(MEMS)生产的 LDTM-028K 型 PVDF 压力传感器,精确度为 1.4~16 V/g,输出模拟量。为实现物料投放监测,分别测试了液态物料正常投放时的压力传感器检测输出信号,投放堵塞时压力传感器检测输出信号,确定了信号调理电路中的压力阈值;液态物料正常投放监测时,PVDF 传感器输出电压阈值为 4.7 V,液态物料投放堵塞时,输出电压阈值为 7.2 V;利用 AD 模块将电压信号转换为数字量并传输至水泵控制子程序,控制子程序对检测信号进行解算,判断堵塞信息,并控制水泵调节水压,排除堵塞物(液态物料中混合堵塞物通常为未完全溶解的固态小颗粒物料,通过加压喷出即可解除堵塞);通过对功能头喷洒水压监测,水泵启动采用定时器延时设计,通过对水压及水泵运行时间控制进行液态物料流量监测,实现液态物料精量投放。

2.5 图像识别算法设计

基于 BP 神经网络开发了杂草图像识别算法,耕作装置中种植图像信息经 CCD 相机采集后,通过 Raspberry Pi 处理器进行图像信息处理,判别杂草目标,并通过网络服务器将杂草目标位置信息传输给 Android 控制终端,便于控制端选择性投放除草剂,实现远程管理。

为开发基于 BP 神经网络的杂草识别算法,本文采集了 23 幅耕作装置中生长的蔬菜与杂草图像,图像中包含的蔬菜品种为紫叶白菜,杂草品种为苣荬菜。采集的图像中存在杂草与作物叶片残缺、交叉遮挡等情况,对图像特征进行人工分割,生成训练集和测试集样本。人工神经网络的输入特征共有 5 个,分别为每个像素点的 R 、 G 、 B 、 $G-R$ 、 $G-B$ 值,隐含层包含 10 个神经元,输出层为 2 个神经元,输出模式[0 1]表示非杂草,模式[1 0]表示为杂草。采用尺度共轭梯度反向传播模式训练神经网络,能够有效地降低训练过程中的内存占用。训练目标下降梯度为 10^{-6} ,最大训练步长为 1 000 次,验证次数为 6 次。分别采用不同的训练集、验证集和测试集

对模型进行训练和测试。模型训练完成后,将未知图像的每一个像素点输入模型,以得到杂草像素点识别结果,并对得到的十值图像进行形态学处理,去除噪声以及作物上的相似点,保留面积最大的连通区域,即为杂草识别与分割的最终结果,并将识别结果通过网络服务器反馈至 Android 控制端,实现杂草的定位识别。

3 Android 客户端设计

为了实现智能耕作装置远程操作,通过 ESP8266 WiFi 模块将智能耕作装置接入互联网, WiFi 模块与现场控制器 STM32 单片机串口连接,实现现场控制器与 WiFi 模块通信,采用 Smart Config 模式配置智能耕作装置硬件的网络连接,由上位机设置路由 SSID 和密码,并持续发送 UDP 广播包, WiFi 模块在 monitor 模式下,接收并解析数据,获取 SSID 及密码并连接上无线路由器,实现智能耕作装置与网络交互。

基于 Android 平台开发了移动客户端软件,软件功能包括用户登陆、种植参数选择、耕作功能选择,软件界面如图 9 所示。客户端应用 TCP/P 协议连接网络服务器,并通过服务器实现与智能耕作装置硬件之间交互,实现远程播种、浇水操作及耕作状态图像监测^[19-20],软件流程图如图 10 所示。

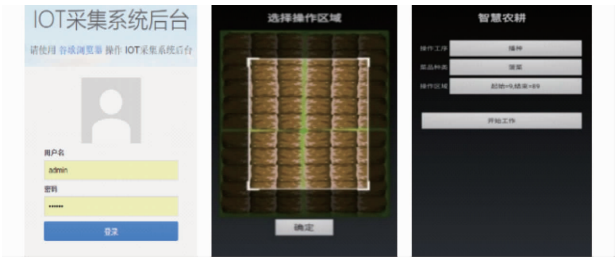


图 9 软件界面
Fig. 9 Software interface

4 试验与结果分析

为验证所设计的蔬菜智能耕作装置功能是否可靠,进行了室内播种试验及液态物料投放试验,室内试验场景如图 11 所示。

4.1 播种试验

播种试验旨在考察所设计的蔬菜智能耕作装置播种功能及龙门架定位控制系统的稳定性,验证装置播种定量与定位控制功能,以及播种末端执行器内气路通道传输的稳定性。

4.1.1 试验材料及方法

播种试验材料选用矮秆黄秋葵种子,外部形态呈颗粒状,具体参数为:颗粒平均直径 4.23 mm,单粒平均质量 0.01 g。播种株距为 14 ~ 18 cm,行距为

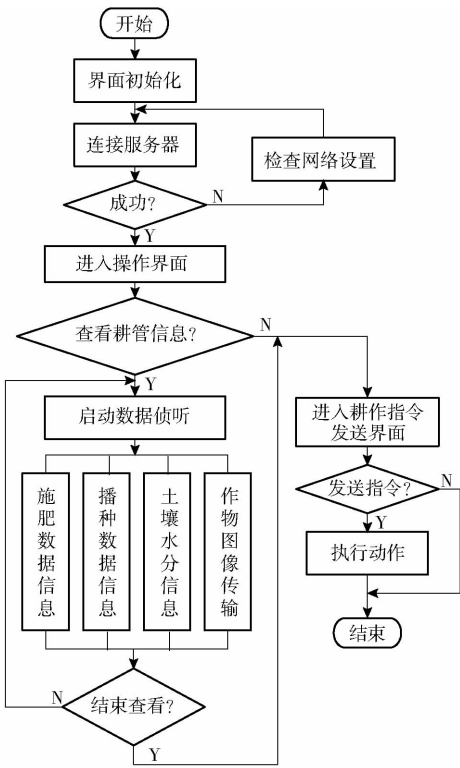


图 10 软件流程图
Fig. 10 Software flow chart

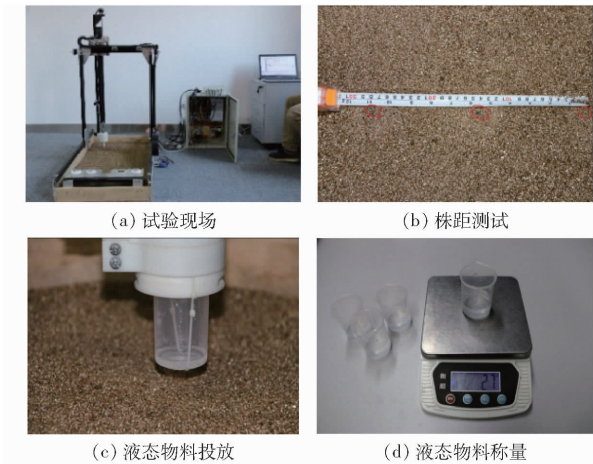


图 11 室内试验场景

Fig. 11 Scene of indoor test site

27 ~ 30 cm。

登陆 Android 客户端后,选择作物品种,由软件程序确定播种坐标信息,确定矮秆黄秋葵种子播种行距为 15 cm,株距为 30 cm,通过客户端选择播种指令后,记录软件端显示的标准播种行株距信息,播种动作执行完成后,人工测量并记录实际行株距以及穴坑中种粒数量。考虑实际播种过程存在偶然误差情况,株距评判以标准株距误差在 ± 5 mm 范围内为合格,设计 6 组试验,每组试验重复进行 2 次。

4.1.2 试验指标

以株距合格率为指标考察智能耕作装置定位播种的精确性,定义株距合格率为

$$P = \frac{H}{H_0} \times 100\% \tag{6}$$

式中 H ——合格株距种粒数
 H_0 ——总种粒数

以误播率为指标考察播种末端执行器工作的稳定性及可靠性,定义误播率为

$$W = \frac{N}{N_0} \times 100\% \tag{7}$$

式中 N ——误播穴坑数,包括漏播及多播穴坑
 N_0 ——总播种穴坑数

4.1.3 试验结果

播种试验结果如表 2 所示,株距合格数为满足标准株距的种粒个数,误播穴坑数包括穴坑漏播及穴坑内种粒数目大于 1 的穴坑数。

表 2 播种试验结果
Tab.2 Sowing test data

试验 序号	株距 合格数	误播穴 坑数	株距合格 率/%	误播率/ %
1	24	2	100	8.33
2	22	1	91.66	4.17
3	23	0	95.83	0
4	24	3	100	12.50
5	21	0	87.50	0
6	23	1	95.83	4.17

4.1.4 结果分析与讨论

由表 2 可知,该智能耕作装置可实现播种功能,且播种作业效果较好,株距平均合格率可达 95.13%,平均误播率为 4.86%,播种末端执行器气路通道插接密封性较好,提供的气吸力可完成取种,试验中观察发现未出现穴坑漏播现象,试验中误播均为单个穴坑种粒多播。

根据对试验过程观察分析发现,造成播种效果不好的原因主要有:在播种过程中,末端执行器吸嘴孔径与种粒大小不匹配会导致单次取种过多,造成穴坑多播现象。在取种完成后,末端执行器移动至穴坑定位位置过程中,机械臂出现轻微抖动,尤其是移动距离较远时,龙门架驱动为先加速后减速驱动方式,整个移动过程平均速度增大,造成机械臂抖动加剧,导致投种时出现株距误差。

针对上述问题,可考虑结合种粒尺寸对播种功能头进行改进设计,根据农艺参数信息,定制播种功能头以适应相应的种粒,减少穴坑多播现象,避免后期间苗,造成种粒浪费;改进步进电动机驱动算法,采用“加速-匀速-减速”驱动方式,减少机械臂定位移动过程中末端执行器抖动,提高株距合格率。

4.2 液态物料投放试验

4.2.1 试验方法与结果

液态物料投放试验旨在考察耕作装置定量浇

水、施肥功能的可靠性,试验材料选用贝灵牌高钾型滴灌水溶肥(溶解前为固态颗粒状,水不溶物含量不大于 0.1%),试验时室内温度为 25℃,设定试验标准投放量为 30 g,进行 6 组试验,每组试验重复 12 次进行,试验投放位置随机选择。

以投放量准确率为指标考察物料投放功能的准确性,为了便于试验测量,采用扎带将大口径量杯固定在投放功能头的出料口,收集单次投放的液态物料并进行称量统计,试验结果如图 12 所示。

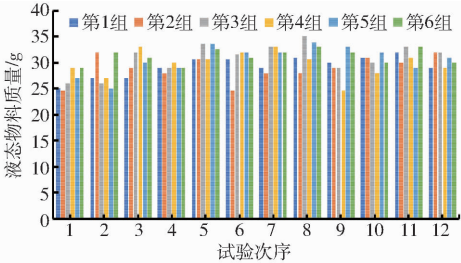


图 12 液态物料投放试验结果
Fig.12 Liquid material delivery test result

4.2.2 结果分析与讨论

由图 12 可看出,该装置可实现液态物料精量投放功能,液态物料投放量数据波动较小,投放量波动范围为 24.6 ~ 35.1 g,最大误差为 5.4 g。

在试验过程中发现,造成投放不均的原因主要为装置在每组试验的初次投放液态物料时,液路管道中混有空气造成实际投放量偏小。液态物料投放口堵塞造成液态物料投放不均,第 2 组试验中第 6 次投放和第 4 组试验中第 9 次投放出现堵塞现象,水压增加使液态物料投放功能头喷出堵塞物时造成流量监测误差,导致投放量偏少。

对于上述问题,可考虑改进控制水泵启动的定时器延时设计,并增加流量传感器对液态物料喷洒过程及流量进行监测,PVDF 压力传感器检测堵塞状态,根据堵塞传感信号及流量传感信号的融合设计水泵启动决策控制算法,提高液态物料投放量精度。

5 结论

(1)集机械设计、压力传感、无线传输、互联网通信及 Android 终端等技术,设计了蔬菜智能耕作装置。设计了公母头式耕作末端执行部件,可通过磁耦合方式快速更换功能头,进行气、液传输及土壤水分监测等的操作,基于 Android 平台开发了移动客户端软件,可实现作物图像监测及远程操控定量播种、液态物料精量投放等功能。

(2)试验结果表明:该智能耕作装置可实现定量播种功能,且播种作业效果较好,株距平均合格率可达 95.13%,平均误播率为 4.86%;液态物料投放

功能较为稳定,且均匀性较好,液态物料投放量数据波动较小,投放量波动范围为 24.6~35.1 g,最大误差为 5.4 g;可为蔬菜智能化种植装备设计提供参考。

参 考 文 献

1 王俊,杜冬冬,胡金冰,等. 蔬菜机械化收获技术及其发展[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 81–87. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140214&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.02.014.
WANG Jun, DU Dongdong, HU Jinbing, et al. Vegetable mechanized harvesting technology and its development [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 81–87. (in Chinese)

2 辜松,杨艳丽,张跃峰,等. 荷兰蔬菜种苗生产装备系统发展现状及对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 185–194.
GU Song, YANG Yanli, ZHANG Yuefeng, et al. Development status of automated equipment systems for greenhouse vegetable seedlings production in Netherlands and its inspiration for China [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(14): 185–194. (in Chinese)

3 肖体琼,何春霞,陈巧敏,等. 基于机械化生产视角的中国蔬菜成本收益分析[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 75–82. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150512&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.05.012.
XIAO Tiqiong, HE Chunxia, CHEN Qiaomin, et al. Cost-benefit analysis of vegetable production based on agricultural mechanized production[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5): 75–82. (in Chinese)

4 JIN Xin, DU Xinwu, JI Jiangtao, et al. Experiment on caterpillar track micro-rototiller and its parameter optimation[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2015, 24(3): 35–42.

5 糜南宏,赵映,秦广明,等. 蔬菜全程机械化研究现状与对策[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(3): 66–69.
MI Nanhong, ZHAO Ying, QIN Guangming, et al. Vegetables full-mechanization research present situation and the countermeasures[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(3): 66–69. (in Chinese)

6 马浚诚,李鑫星,温皓杰,等. 面向叶类蔬菜病害识别的温室监控视频采集系统[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 282–287. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150341&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.041.
MA Juncheng, LI Xinxing, WEN Haojie, et al. Monitoring video capture system for identification of greenhouse vegetable diseases [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 282–287. (in Chinese)

7 马正华,宋磊,焦竹青,等. 基于无线传感网的蔬菜工厂智能监控系统设计[J]. 自动化与仪表, 2013, 33(11): 20–24.
MA Zhenghua, SONG Lei, JIAO Zhuqing, et al. Design of smart monitoring and control system for vegetables factory based on wireless sensor network[J]. Automation & Instrumentation, 2013, 33(11): 20–24. (in Chinese)

8 李鑫星,李辉,马云飞,等. 面向蔬菜病虫害视频移动获取的网络互通网关设计[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(11): 309–315. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20151142&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.042.
LI Xinxing, LI Hui, MA Yunfei, et al. Network interworking gateway design for video of vegetables harmed by pests [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11): 309–315. (in Chinese)

9 温皓杰,周婧,傅泽田,等. 面向语义挖掘的蔬菜病害知识视频场景检测[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(增刊): 386–391. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s059&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.059.
WEN Haojie, ZHOU Jing, FU Zetian, et al. Semantic mining oriented scene detection of vegetable disease videos [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(Supp.): 386–391. (in Chinese)

10 付焕森,李元贵,张雪莲,等. 智能专家系统在蔬菜温室大棚种植中的应用[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(1): 240–244.
FU Huansen, LI Yuangui, ZHANG Xuelian, et al. Application of intelligent expert system in greenhouse vegetable planting[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(1): 240–244. (in Chinese)

11 孔国利,席红旗. 蔬菜大棚温湿度和土壤水分自动智能管理系统[J]. 农机化研究, 2015, 37(8): 184–188.
KONG Guoli, XI Hongqi. Automatic intelligent management system of the temperature and humidity and soil moisture for the vegetable greenhouse[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(8): 184–188. (in Chinese)

12 高峰,俞立,张文安,等. 基于无线传感器网络的作物水分状况监测系统研究与设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 107–112.
GAO Feng, YU Li, ZHANG Wenan, et al. Research and design of crop water status monitoring system based on wireless sensor networks[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2): 107–112. (in Chinese)

13 HAN L, MAO H, HU J, et al. Development of a doorframe-typed swinging seedling pick-up device for automatic field transplantation[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2015, 13(2): 1–14.

14 JIN Xin, DU Xinwu, JI Jiangtao, et al. Automatic detection and controlling system of pot seedlings for transplanters[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2015, 24(2): 143–151.

- 12 BRUCE D M, MCFARLANE N J B. Control of mixed-flow grain of the driers; testing of feedback-plus-feedforward algorithm[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1992, 52: 11 – 23.
- 13 雷广平, 王宝和. 薄层干燥技术的研究进展[J]. 干燥技术与装备, 2011(2): 45 – 53.
LEI Guangping, WANG Baohe. Research progress of thin-layer drying technology[J]. Drying Technology & Equipment, 2011(2): 45 – 53. (in Chinese)
- 14 郑先哲, 夏吉庆. 苜蓿干燥特性与品质的试验研究[J]. 干燥技术与设备, 2004, 3(1): 65 – 68.
ZHENG Xianzhe, XIA Jiqing. Study on the character and quality of the alfalfa in drying process[J]. Drying Technology & Equipment, 2004, 3(1): 65 – 68. (in Chinese)
- 15 裴彩霞, 董宽虎, 范华. 不同干燥方法对牧草 WSC 及降解率的影响[C] // 洪绂曾. 21 世纪草业科学展望—国际草业(草地)学术大会论文集. 北京, 2001: 467 – 470.
- 16 MUJUMDAR A S. Drying technology in agriculture and food sciences[M]. New York: Science Publishers, 2000: 191 – 211.
- 17 HARKEMA H, MENSINK M G J, SOMHORST D P M, et al. Reduction of *Botrytis cinerea* incidence in cut roses (*Rosa hybrida* L.) during long term transport in dry conditions[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 135 – 138.
- 18 NESLIHAN C, ARIF H. A review of heat pump drying: part 1—systems, models and studies[J]. Energy Conversion and Management, 2009(9): 116 – 123.
- 19 PAGEG E. Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers[D]. West Lafayette: Purdue University, 1949: 107 – 119.
- 20 MULLET A, BEREA A, ROSELLA C. Drying model of carrots[J]. Drying Technology, 1989, 7(3): 537 – 557.
- 21 SAEID M, ALI M, BARAT G, et al. An investigation of energy consumption, solar fraction and hybrid photovoltaic-thermal solar dryer parameters in drying of chamomile flower[J]. International Journal of Food Engineering, 2014(4): 132 – 143.
- 22 PAUL R T, SOKHANSANJ S. Thin layer of components of fresh alfalfa[J]. Canadian Agriculture Engineering, 1992, 13(4): 343 – 346.
- 23 PAUL R T, SOKHANSANJ S. Physical and nutrition changes in green alfalfa during high temperature drying [C] // ASAE 1995 Annual Meeting, 1995: 204 – 211.
- 24 钱旺, 杨世昆, 刘贵林, 等. 苜蓿草干燥试验与收获工艺优化[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(增刊): 231 – 234, 288. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2012S47&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.047.
QIAN Wang, YANG Shikun, LIU Guilin, et al. Optimization on harvesting technology and drying experiment of alfalfa[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 231 – 234, 288. (in Chinese)
- 25 何照范. 籽粒粮油品质及其分析技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1985: 144 – 150.

(上接第 41 页)

- 15 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/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 23 – 30. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150704&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.004.
HAN Lühua, MAO Hanping, YAN Lei, et al. Pincette-type end-effector using two fingers and four pins for picking up seedlings [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(7): 23 – 30. (in Chinese)
- 16 李加念, 洪添胜, 冯瑞钰, 等. 基于真有效值检测的高频电容式土壤水分传感器[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 216 – 221.
LI Jianian, HONG Tiansheng, FENG Ruiyu, et al. High-frequency capacitive soil water content sensor based on detecting of true root mean square[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 216 – 221. (in Chinese)
- 17 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)
- 18 黄震宇, 李腾, 喻志成, 等. 蔬菜种子风力筛选机分离室气固两相流模拟与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 70 – 76. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160510&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.010.
HUANG Zhenyu, LI Teng, YU Zhicheng, et al. Simulation and experiment of gas-solid two-phase flows in separation chamber of air screening machine for vegetable seeds[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 70 – 76. (in Chinese)
- 19 李慧, 刘星桥, 李景, 等. 基于物联网 Android 平台的水产养殖远程监控系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 175 – 181.
LI Hui, LIU Xingqiao, LI Jing, et al. Aquiculture remote monitoring system based on IOT Android platform[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(13): 175 – 181. (in Chinese)
- 20 戴建国, 赖军臣. 基于图像规则与 Android 手机的棉花病虫害诊断系统[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(1): 35 – 44. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150106&flag=1&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.01.006.
DAI Jianguo, LAI Junchen. Image-rule-based diagnostic expert system for cotton diseases and pests based on mobile terminal with Android system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1): 35 – 44. (in Chinese)