

丁幼春, 陈礼源, 王登辉, 等. 油菜播种质量监测系统设计与试验 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(6): 43-51.
DING Youchun, CHEN Liyuan, WANG Denghui, et al. Design and test of monitoring system for rapeseed sowing quality [J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(6): 43-51.

油菜播种质量监测系统设计与试验

丁幼春, 陈礼源, 王登辉, 刘晓东, 徐春保, 王凯阳

(华中农业大学工学院/农业农村部长江中下游农业装备重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘要:【目的】为了获取油菜播种质量信息, 并实现信息的显示、远程传输与云存储, 提出了一套油菜播种质量监测系统。【方法】该监测系统由油菜籽传感检测装置、播种监测终端、播种质量信息云存储平台组成。采用多种形式小粒径种子传感检测装置实现对播种质量信息的实时获取, 基于射频通信模块实现与播种监测终端的数据交互; 监测终端完成信息显示, 并通过北斗定位单元对播种质量信息位置进行精确定位; 通过无线传输模块, 实现油菜播种质量信息数据的远程传输和云存储。搭建油菜播种质量监测系统试验台, 通过田间试验验证系统的稳定性和可靠性。【结果】设计的油菜播种质量监测系统能通过内嵌的北斗定位单元获取播种机经、纬度信息, 同时可利用 4G 无线传输模块将播种质量信息及定位信息传输至云存储平台。台架试验结果表明, 当排种器落种频率为 16.5~26.2 Hz 时, 检测准确率不低于 97.1%, 采集的油菜播种质量信息均能够传输至播种监测终端并进行显示; 播种质量信息均准确上传至云存储平台数据库, 传输时长不超过 2 s, 且与终端显示数据一致。田间试验验证结果表明, 排种频率为 17.4~25.5 Hz 时, 检测准确率不低于 96.6%, 且系统运行正常。【结论】该系统为油菜播种过程智能化提升、播种状态图生成及产量预测提供了技术支持。

关键词: 油菜; 播种监测; 智能化; 无线传输; 设计与试验

中图分类号: S224.21

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2021)06-0043-09

Design and test of monitoring system for rapeseed sowing quality

DING Youchun, CHEN Liyuan, WANG Denghui, LIU Xiaodong, XU Chunbao, WANG Kaiyang

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-lower Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China)

Abstract: 【Objective】 To obtain rapeseed sowing quality information and realize information display, remote transmission and cloud storage, a rape sowing quality monitoring system was proposed. 【Method】 This system consisted of rapeseed sensor detection device, seeding monitoring terminal and seeding quality information cloud storage platform. Various forms of small particle size seed sensor detection devices were used to achieve real-time acquisition of sowing quality information, and a radio frequency communication module was used to achieve data interaction with the sowing monitoring terminal. The monitoring terminal completed the information display and realized the accurate positioning of the sowing quality information position through the Beidou positioning unit. This system realized the remote transmission and cloud storage of rape sowing quality information through wireless transmission module. A bench test of the rape sowing quality information collection system was built and field performance tests were conducted to verify the stability and reliability of this system. 【Result】 The designed seed quality information acquisition system could obtain seeder longitude

收稿日期: 2021-07-19 网络首发时间: 2021-08-05 11:06:39

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20210804.1451.002.html>

作者简介: 丁幼春 (1978—), 男, 教授, 博士, E-mail: kingbug163@163.com

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0200600, 2016YFD0200606); 湖北省重点研发计划 (2020BAB097)

and latitude information through the embedded Beidou positioning unit, and transmitted the seed quality information and positioning information to the cloud storage platform by 4G wireless transmission module. The bench test results showed that the detection accuracy rate was not lower than 97.1% when the seed dropping frequency of seed platter was 16.5–26.2 Hz. The collected seed quality information of rapeseed could be transmitted to the seed monitoring terminal and displayed. The seed quality information was accurately uploaded to the database of cloud storage platform, the transmission time did not exceed 2 s, and the information was consistent with the terminal display data. The field test results showed that the detection accuracy was no less than 96.6% at the seed dropping frequency of 17.4–25.5 Hz, and the system operated normally.

【Conclusion】 This system provides the support for the intelligent improvement of seeding process, the generation of seeding state diagram, and yield prediction.

Key words: rapeseed; sowing monitoring; intellectualization; wireless transmission; design and test

播种过程智能化是提升油菜 *Brassica campestris* 产业智能化程度的关键一环。由于油菜籽粒较小,且整个播种过程不透明^[1-2],难以通过人为观测对油菜播种品质进行评估,当播种过程中出现导种管阻塞、种箱缺种等问题时,如果不能及时发现会造成大面积漏播,后期再进行人工补苗费时费力,增加了油菜种植成本,阻碍了油菜产业的发展^[3],因此对油菜播种数据进行采集、显示、远程传输及云存储势在必行。随着农机装备智能化水平的提升,播种监测系统已成为未来智能农机装备的重要组成部分。国外相关学者基于光电传感器、图像传感器、电容传感器等研制了针对甜菜 *Beta vulgaris*、小麦 *Triticum aestivum*、甘蔗 *Saccharum officinarum* 等作物的监测系统,实现了对作物播种过程的实时监测^[4-8]。为了真正解决农机播种过程中的播种监测问题,国外农机企业对播种监测系统进行了研发,美国 John Deere 公司研制的 SeedStar™ XP 系列精准农业作业系统,可实现对播种机播种信息的全方位采集,不仅可以根据不同播种作物人为设置播种参数,还能根据播种机实际田间作业状态做出决策,指导播种机进行变量作业。意大利 MC Electronic 公司针对精准农业推出的 ESD(Electronic seed driver) 播种监测系统,可实现小麦、玉米 *Zea mays* 等大、中粒径种子的监测,该播种监测系统可以根据作业地块的土壤肥料特性和有机物含量,结合 GPS 定位模块实现变量精准作业。国外监测系统针对的主要为大、中粒径作物种子,而油菜籽等小颗粒种子的监测系统鲜有报道。国内对播种监测系统探索较晚,基于相应种子传感检测装置创制了不同作物的播种监测系统^[9-14]。黄东岩等^[15-16]利用 PVDF 压电薄膜传感器,设计了一套玉米播种质量信息采集系统。车宇等^[17]利用红外检测技术,创制了一种对射式玉

米、大豆 *Glycine max* 种子传感检测装置。Lu 等^[18]基于 CAN 总线技术,研发了一种小麦播种机质量信息实时监测系统。油菜籽粒径较小,约 2 mm,较难感知,检测难度较大,丁幼春等^[19-21]经过数年攻关,研制了基于压电薄膜和薄面激光-硅光电池的油菜籽传感检测装置,实现了对油菜籽的准确感知,但仅能实现实时监测,不能对播种质量信息进行展示和传输,不利于提升油菜产业智能化水平。

本文在前期研究的基础上,研制了一种油菜播种质量监测系统,以实现油菜播种质量信息采集并上传至监测终端进行展示,同时将播种质量信息与定位信息融合传输至云服务器,为油菜播种质量信息云存储平台获取播种作业信息提供技术支撑,进一步提升油菜播种过程的智能化水平。

1 系统设计

1.1 总体方案

1.1.1 播种质量监测需求分析 根据油菜播种过程中,对播种质量的监测需求以及提升油菜播种监测智能化水平的需要,油菜播种质量监测系统应满足以下要求:1) 系统能自动检测并显示高通量小粒径种子流,解决因农艺要求增大播种量以及高速播种产生的排种频率过高而导致油菜播种量检测精度不足的问题;2) 系统能实现播种质量信息的远距离传输,且传输效率高、抗干扰能力强;3) 为了后期对油菜播种信息数据库的高效访问,该系统能对油菜播种质量信息实现云存储功能,保证对多终端上传的油菜播种信息准确接收。

1.1.2 播种质量监测系统结构 油菜播种质量监测系统包括油菜籽传感检测装置、播种监测终端、云存储平台 3 个部分,具体结构如图 1 所示。

油菜籽传感检测装置:该装置为系统的核心,

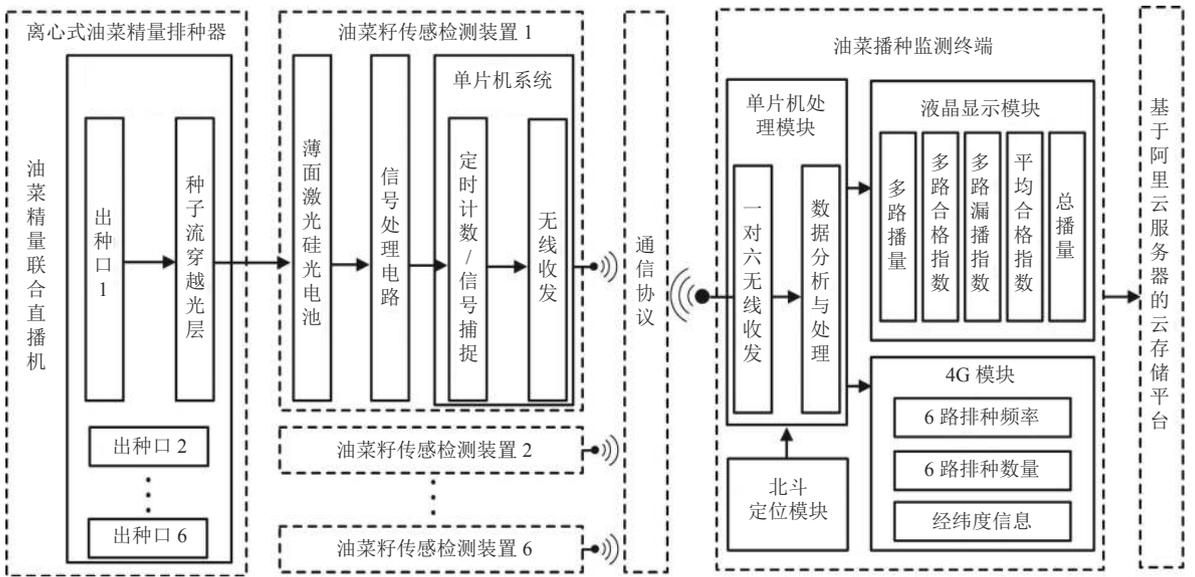


图 1 油菜播种质量监测系统框图

Fig. 1 The diagram of monitoring system for rapeseed sowing quality

实现对油菜播种质量信息的采集任务。

播种监测终端:主要由液晶显示屏、北斗定位单元、4G 无线传输模块、Msp430F149 微控制器和 nRF24L01 射频通信模块等组成,功能主要包括油菜籽播种质量信息获取及显示、北斗定位模块输出报文信息解析与采集、播种质量信息与定位信息融合及发送,实现油菜播种质量信息显示、播种质量和播种机位置信息上传至云端等功能,为实现油菜播种环节智能化,提供了硬件保证。

云存储平台:实现对油菜种子流播种质量信息的获取及对播种质量信息的分级存储,同时为 Android 或 Web 端访问油菜播种质量信息提供支撑。

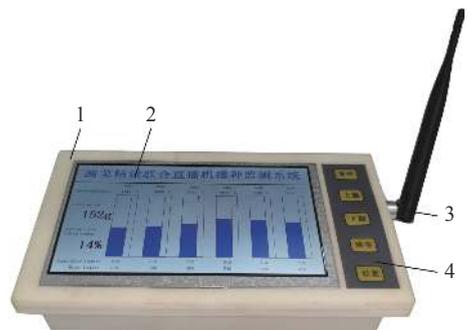
1.2 播种质量监测系统硬件设计

播种质量监测系统主要由油菜籽传感检测装置和播种监测终端等组成。工作时,油菜籽传感检测装置套接于直播机导种管,通过导种管落下的油菜籽穿过传感检测装置,传感检测装置对采集的油菜籽信号进行调理,形成可被单片机捕捉的脉冲信号,单片机对捕捉的脉冲进行计数并结合农艺要求进行相关计算,即可得到播种数量、排种频率、漏播、重播等播种质量参数。传感装置将得到的参数通过无线传输模块传输至播种监测终端,终端最多可对 6 路油菜籽传感检测装置传输的播种质量信息进行接收,同时,将接收的 6 路油菜播种质量信息进行显示。此外,播种监测终端内嵌北斗定位模块和 4G 无线传输模块,6 路播种质量信息融合北斗定位信息形成数据包,通过 4G 无线传输模块传输至搭建的油菜播种质量信息云存储平台。

油菜籽传感检测装置为丁幼春等^[19-21]前期设计的基于压电薄膜和薄面激光的油菜籽传感检测装

置、高通量小粒径种子流传感检测装置,均可直接与播种监测终端配套使用。

设计的油菜精量联合直播机播种监测终端由 Msp430f149 微控制器、北斗定位单元、4G 无线传输模块、nRF24L01 射频通信模块、液晶显示屏、锂电池等组成。该终端最多可实现 6 路油菜播种质量信息的展示,并将播种质量信息和播种机位置信息上传至云端,为实现油菜播种环节智能化,提供硬件保证,终端实物如图 2 所示。



1: Terminal shell; 2: Liquid crystal display; 3: 4G module antenna; 4: Membrane button

图 2 油菜精量联合直播机播种监测终端实物
Fig. 2 Physical view of the sowing monitoring terminal of rapeseed precision planter

为获取播种机田间作业位置信息,安装到播种机驾驶室的播种监测终端内集成了北斗定位单元模块。定位单元使用 GPS+北斗 ATGM332D 定位芯片,可有效满足播种机田间作业定位需求。为实现播种质量信息的远程无线传输,选用有人物联网公司的 4G 无线透传模块 WH-LTE-7S4 V2,该模块可实现 UART 串口转 4G 双向透传,信号传输频段丰

富、传输速率高、延迟低。利用 nRF24L01 射频通信模块实现油菜籽传感检测装置与播种监测终端之间的信息交互, 将油菜籽传感检测装置采集的播种质量信息传输至播种监测终端。为便于农机操作人员实时监测播种质量信息, 在播种监测终端集成液晶显示屏, 液晶显示屏最多可对 6 路播种质量信息进行展示, 驱动电路板原理如图 3 所示。

播种监测终端驱动电路板 (图 4) 整体尺寸为

88.0 mm×80.6 mm, 各个模块布局紧凑且均采用直插式封装, 便于后期模块更换; 同时, 该终端在满足功能要求的同时充分利用了 Msp430f149 微控制器的片上资源。通过 nRF24L01 射频通信模块采集油菜种子播种质量信息, 利用北斗定位单元获取播种机作业位置信息, 采用 4G 无线传输模块, 将油菜播种质量信息及定位信息远程无线传输至油菜播种质量信息云存储平台。

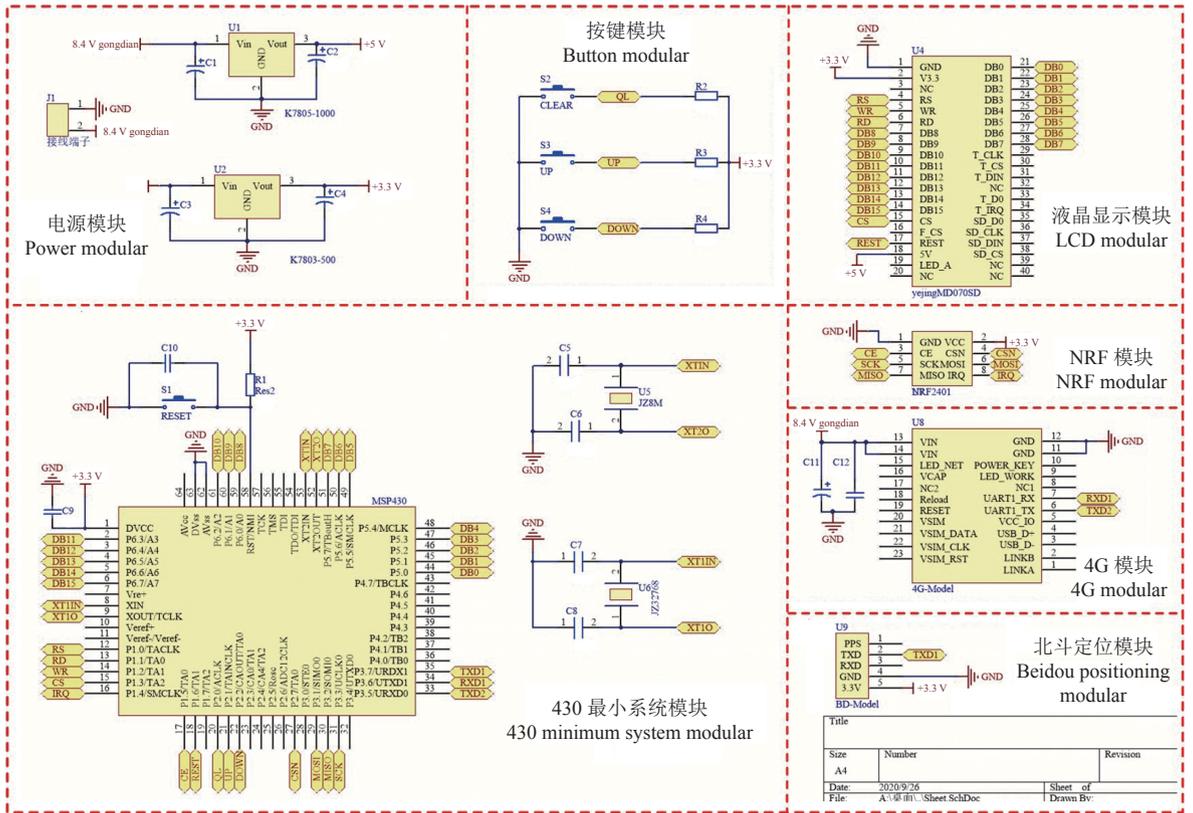


图 3 播种监测终端电路板原理图

Fig. 3 The circuit board schematic of sowing monitoring terminal

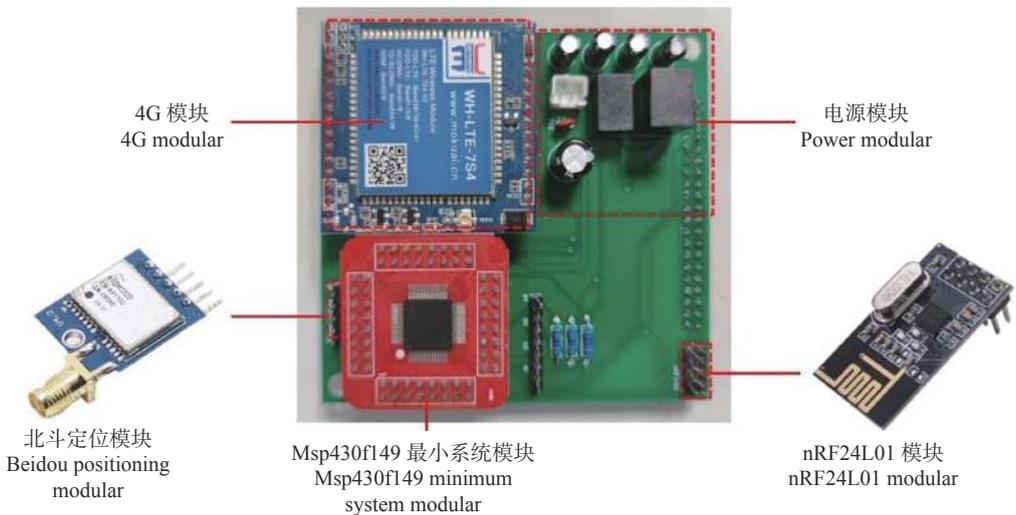


图 4 播种监测终端电路板实物图

Fig. 4 The circuit board physical diagram of sowing monitoring terminal

1.3 播种监测系统软件设计

1.3.1 终端功能整体设计 播种监测终端功能实现流程如图 5 所示。播种监测终端启动后, Msp430f149 微控制器首先进行看门狗中断、液晶显示模块驱动引脚、nRF24L01 射频通信模块引脚、微控制器时钟、串口等的初始化操作。初始化完成后, 进行液晶显示屏显示操作。然后, 对 Msp430f149 微控制器定时器时钟进行设置, 设置定时器 A0 定时时间 10 ms, 实现对油菜籽传感检测装置传输的 6 路播种质量信息的接收; 设置定时器 B0 定时时间

1 000 ms, 对应微控制器串口发送融合数据包的发送频率。此后, 打开单片机全局中断, 在播种监测终端上实时展示各路播种监测数据。

该程序使用 3 个微控制器中断, 分别为定时器 A0、B0 中断以及串口 1 中断。定时器 A0 中断实现的功能为利用 nRF24L01 射频通信模块接收 6 路播种质量信息; 串口 1 中断用于采集北斗定位模块上传的播种机定位信息; 定时器 B0 中断用于实现定时发送融合后的播种质量信息和播种机定位信息(图 5)。终端显示界面如图 6 所示。

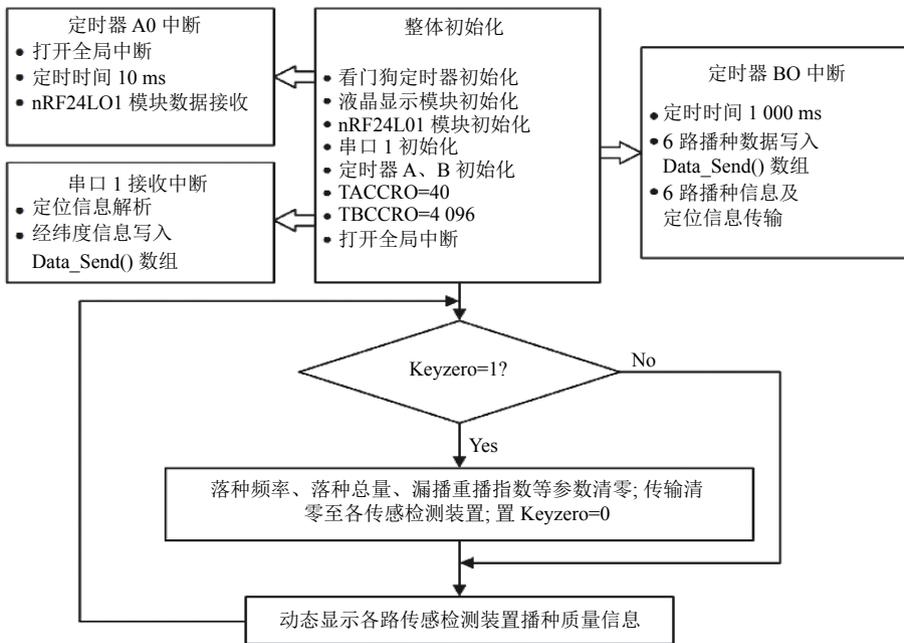


图 5 油菜播种监测终端功能实现流程图

Fig. 5 The flowchart of function realization of sowing monitoring terminal

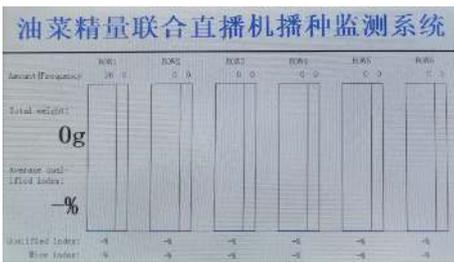


图 6 油菜精量联合直播机播种监测终端界面图

Fig. 6 The interface diagram of sowing monitoring terminal of rapeseed precision planter

1.3.2 播种质量信息获取 利用套接于油菜精量联合直播机排种管上的油菜籽传感检测装置 [基于压电薄膜和薄面激光的油菜籽传感检测装置(有线版、无线版)、高通量小粒径种子流传感检测装置] 采集油菜籽播种质量信息, 包括落种数量、落种频率等, 根据 GB/T6973—2005^[22] 计算出漏播等参数。将油菜籽传感检测装置采集的油菜播种质量信

息通过 nRF24L01 射频通信模块传输至播种监测终端。

所设计的基于 Msp430f149 微控制器的播种监测终端吸收融合本研究课题组前期设计的播种质量信息传输协议^[21] 进行编程, 利用应答响应轮询模式实现对播种质量信息的实时获取。基于压电薄膜和薄面激光的油菜籽传感检测装置(有线版、无线版)、高通量小粒径种子流传感检测装置等各类型油菜籽传感检测装置均能与本文所设计播种监测终端进行播种数据交互。

与丁幼春等^[21] 前期基于 51 单片机最小系统设计的播种监测终端相比, 该终端能通过其内嵌的北斗定位单元获取播种机经、纬度信息, 同时, 还可利用 4G 无线传输模块将播种质量信息及定位信息传输至油菜播种信息质量信息云存储平台。

1.3.3 播种机定位信息获取 本文所使用的北斗定位模块可输出 GNRMC、GPGGA、GPGSA 等多种报文信息。为方便后续报文信息解析获取播种机定

位经、纬度信息, 首先, 对北斗定位模块输出报文格式进行设置, 设置其只输出 GNRMC 报文格式, 波特率 9 600, 输出频率 1 Hz; 工作时, 将北斗定位模块 TXD 引脚与 Msp430f149 微控制器串口 1 接收引脚 (RXD_1) 相连, 设置微控制器串口 1 的波特率也为 9 600, 打开串口 1 接收中断, 单片机串口 1 接收到 GNRMC 报文时, 如果接收到的报文完整, 截取报文中的 20~29 和 33~43 位分别为播种机位置信息纬度信息和经度信息。

1.3.4 油菜播种质量信息与定位信息融合及远程传输 为实现油菜播种质量信息与定位信息融合, 使用 39 个字符长度的数组存储油菜播种质量信息和播种机定位信息。该数组前 18 位用于存储 6 路油菜种子流播种信息, 19~39 位用于存储北斗定位模块输出的经、纬度信息, 在 Msp430f149 微控制器定时器 B0 中断服务程序内为数据融合发送数组的 6 路油菜种子流播种信息赋值 (第 1~6 路的排种频率和排种数量), 在 Msp430f149 微控制器的串口 1 中断服务程序中为数据融合发送数组的经、纬度信息赋值, 数据融合发送数组各数据位含义见表 1。

融合后的信息进行无线传输时, 需要对 4G 无线传输模块进行配置。配置过程如下: 使用 USB 转 TTL 接口将 4G 无线传输模块与电脑进行交互, 通过电脑上的 WH-G405tf 软件对 4G 模块的工作模式及参数进行设置, 设置 4G 无线传输模块与 Msp430f149 微控制器串口 1(TXD_1) 之间数据通信波特率为 9 600, 4G 无线传输模块连接阿里云服务器, 端口为 8899, 连接类型为长连接, 工作模式为网络透传模式。经上述配置后, 4G 模块在接收到 Msp430f149 微控制器发送的融合数据包后, 便可将播种质量信息及播种机定位信息经网络透传传输至指定服务器端口, 实现了播种质量信息及农机定

表 1 数据融合发送数组各数据位含义

Table 1 The meaning of each data bit in the data fusion send array

字节编号 Byte number	定义 Definition	备注 Remarks
1	Sum_seed_1	第1路排种数量高8位
2	Sum_seed_1	第1路排种数量低8位
3	Frequency_1	第1路排种频率
4	Sum_seed_2	第2路排种数量高8位
5	Sum_seed_2	第2路排种数量低8位
6	Frequency_2	第2路排种频率
⋮	⋮	⋮
19~28	Latitude	播种机纬度信息
29~39	Longitude	播种机经度信息

位信息的远程传输。

1.3.5 油菜播种质量信息云存储平台构建 通过对服务器多端口进行监听, 可获取多终端上传的油菜播种质量信息。同时, 播种质量信息远程实时采集接口将采集的数据利用 JDBC 技术写入油菜播种质量信息数据库中, 对于写入的油菜播种质量信息进行分级, 通过 3 级表结构实现对不同终端 (对应不同油菜精量联合直播机) 上传的播种质量信息分级存储, 达到对油菜播种质量信息精细化管理的目的。整体功能框图如图 7 所示。

为实现油菜播种质量信息由播种监测终端上传至云存储平台, 利用 Java 语言编写相应数据接收脚本程序。采用 Java 多线程技术, 开启多个端口监听子线程, 实现对服务器多个端口的实时监听。播种监测终端 4G 模块在进行配置时, 只需配置服务

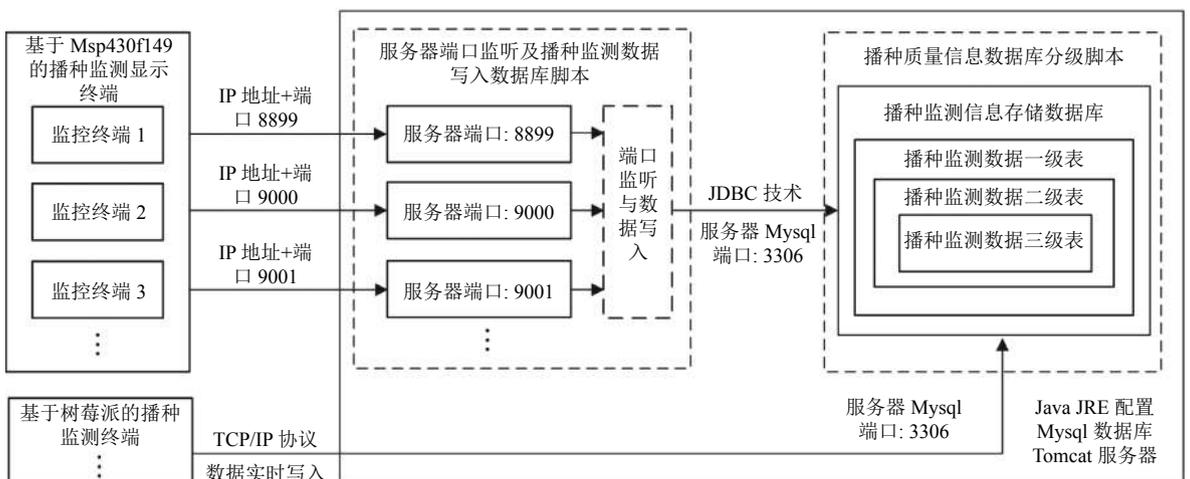


图 7 油菜播种质量信息云存储平台功能实现框图

Fig. 7 The functional implementation diagram of cloud storage platform for rapeseed sowing quality information

器正在进行监听的油菜播种质量信息传输端口, 即可实现向服务器指定端口发送播种质量信息数据。通过这种模式, 不同终端上传的播种质量信息数据通过服务器不同端口进行传输, 有效地保证了各终端上传的播种质量信息的准确性。采用 JDBC 技术, 将播种质量信息数据写入播种质量信息云存储平台数据库。

在 Mysql 数据库中, 各种信息保存在类似于 Excel 表格的数据表中。分析上传的油菜质量信息数据, 油菜播种质量信息数据主要包括第 1~6 路油菜排种频率、排种数量、播种机经纬度信息以及一些为实现特定功能增加的字段。油菜播种质量信息数据库结构和字段设计如表 2 所示。

表 2 数据库字段类型设计
Table 2 The design of database field type

字段名称 Field name	数据类型 Data type	备注 Remarks
Plat_form	Varchar	数据传输平台
Device_id	Int	终端编号
Id	Int	数据库主键
Time_stamp	Varchar	时间戳
Num_1	Int	第1路油菜排种数量
Fre_1	Double	第1路油菜排种频率
⋮	⋮	⋮
Num_6	Int	第6路油菜排种数量
Fre_6	Double	第6路油菜排种频率
Latitude	Double	播种机纬度信息
Longitude	Double	播种机经度信息

为更好地管理各终端上传的播种质量信息, 本文提出了一种三级表播种质量信息存储结构。将各终端上传的播种质量信息进行分类管理, 可有效地提高播种质量信息的索引效率。通过油菜播种质量信息存储数据库三级表的建立, 可对油菜播种质量信息进行详细划分和分类管理, 对于不同类型终端上传的播种质量信息、同种类型不同编号终端上传的播种质量信息均能进行分级存储, 为后期通过 Android 平台或 Web 平台对油菜播种质量信息数据库数据的访问提供了便利, 用户仅用表名即可查询所想要获取的目标数据, 极大地提高了油菜播种质量信息的索引效率。

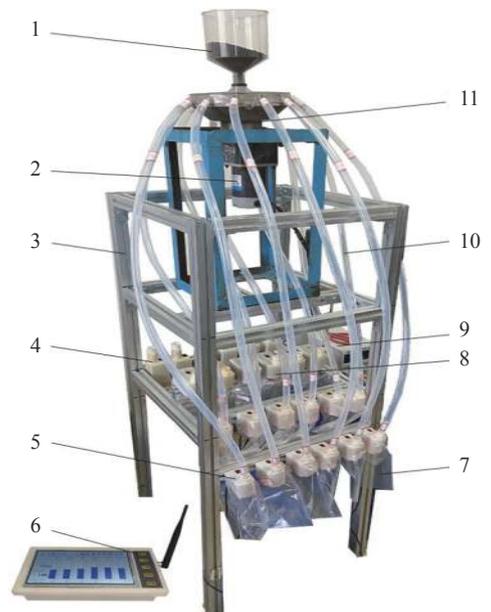
2 系统性能测试与结果

2.1 油菜播种质量监测系统台架试验

试验的目的主要在于测试基于 Msp430f149 微控制器的监测终端能否接收油菜籽传感检测采集

的播种质量信息, 能否将采集的油菜播种质量信息并行传输至油菜播种质量信息云存储平台数据库, 以及系统是否稳定、可靠。

选用 ‘华油杂 62’ 油菜种子作为试验材料, 油菜种子平均粒径 0.8~2.2 mm, 千粒质量 4.68 g, 通过台架测试挑选出破碎的油菜籽, 试验所用主要设备有离心集排式油菜精量排种器、基于 Msp430f149 微控制器的监测终端、导种软管、接种袋、油菜籽传感检测装置、直流电源 (兆信 KXN305D)、排种器台架、直流电机等, 台架如图 8 所示。



1: 种箱; 2: 直流电机; 3: 台架; 4: 基于压电薄膜的油菜籽传感检测装置; 5: 基于薄面激光的中小粒径种子传感检测装置 (有线版); 6: 基于 Msp430f149 微控制器的监测终端; 7: 接种袋; 8: 基于薄面激光的中小粒径种子传感检测装置 (无线版); 9: 直流电源 10: 导种软管; 11: 离心集排式油菜精量排种器

1: Seed box; 2: DC motor; 3: Bench; 4: Rapeseed seed sensing detection device based on PVDF; 5: Medium and small size rapeseeds sensing detection device based on thin surface laser(wired version); 6: Sowing monitoring terminal for rapeseed precision planter based Msp430f149 microcontroller; 7: Collecting seeds bag; 8: Medium and small size rapeseeds sensing detection device based on thin surface laser(wireless version); 9:DC power; 10:Seed guiding hose; 11:Centrifugal precision metering device for rapeseed

图 8 油菜播种质量监测系统台架试验

Fig. 8 Bench test of the monitoring system for rapeseed sowing quality

试验时, 调节输入直流电机电流大小, 调控电机转速, 进而调节集排式排种器落种频率, 控制落种频率为 15~25 Hz(该频率满足油菜正常播种频率需求), 每次落种 60 s, 试验重复 3 次。利用接种袋接收通过各传感检测装置的油菜籽, 每次试验结束后, 记录传感检测装置上的检测数据, 并通过人工计数接种袋中的油菜籽数量, 将传感装置检测结果与接种袋接收种子数量和显示终端显示数据进行对比, 计算检测准确率, 同时利用工控电脑 Navicat

软件查看数据库数据表, 检查播种质量信息是否写入数据库数据表。

将 6 路基于薄面激光的中小粒径种子传感检测装置采集的油菜籽数量与对应实际接种袋中的油菜籽数量进行对比, 得出各传感装置检测精度, 试验结果如表 3 所示。在排种器落种频率为 16.5~26.2 Hz 时, 基于薄面激光的中小粒径种子传感检测装置检测准确率不低于 97.1%。在试验过程中, 基于薄面激光的中小粒径种子传感检测装置无堵塞现象发生, 整套播种质量监测系统工作及功能正常; 传感检测装置均能将采集的油菜播种质量信息传输至播种监测终端并进行显示, 信息显示完整、准确; 利用工控电脑 Navicat 软件查看云服务器数据库, 传感检测装置采集的播种质量信息均准确上传至云服务器数据库数据表中, 存储信息完整, 且数据表中油菜播种质量信息与终端显示一致。

表 3 油菜播种质量监测系统台架试验结果

Table 3 Bench test result of the monitor system for rapeseed sowing quality

试验序号	行号	准确率/%	$t_{\text{传输}}/s$
No. of test	No. of row	Accuracy rate	Transmission duration
1	1	97.5	≤ 2
	2	98.9	
	3	97.1	
	4	98.7	
	5	99.1	
	6	99.0	
2	1	98.2	≤ 2
	2	99.0	
	3	98.4	
	4	98.2	
	5	98.3	
	6	98.8	
3	1	97.8	≤ 2
	2	98.3	
	3	98.1	
	4	98.7	
	5	98.3	
	6	98.0	

2.2 油菜播种质量监测系统田间试验

为进一步测试播种质量监测系统在田间实际播种状态下能否正常工作, 在湖北省荆州监利市试验田开展了田间试验。试验材料为‘华油杂 62’油菜种子, 试验设备主要包括东风井关 T954 拖拉机、离心集排式油菜精量播种机、导种管、接种袋、基于薄面激光的中小粒径种子传感检测装置、调速器、播种监测终端、米尺、秒表等。试验场景见图 9。



1: T954 拖拉机; 2: 油菜播种监测终端; 3: 导种软管; 4: 基于薄面激光的中小粒径种子传感检测装置; 5: 接种袋; 6: 调速器; 7: 离心集排式油菜精量排种器

1: T954 tractor; 2: Rapeseed sowing detection terminal; 3: Seed thought hose; 4: Medium and small size rapeseeds flow sensing device based on thin surface laser; 5: Collecting seeds bag; 6: Speed governor; 7: Centrifugal precision metering device for rapeseed

图 9 油菜播种质量监测系统田间试验场景

Fig. 9 Field test of the monitoring system for rapeseed sowing quality

试验时, 控制离心集排器排种频率为 15~25 Hz, 播种机前进速度约 0.5 m/s, 播种距离 120 m。利用工控电脑 Navicat 软件查看数据库数据表, 检查播种信息和定位信息是否写入数据库数据表。利用秒表记录传感检测装置采集播种信息时刻, 并利用 Navicat 软件查看播种质量信息写入数据库时刻, 将二者对比, 得到传感检测装置将播种信息传输至云存储平台数据库所用时间, 试验结果如表 4 所示。在排种器排种频率为 17.4~25.5 Hz 时, 基于薄面激

表 4 油菜播种质量监测系统田间试验结果

Table 4 Field test results of the monitoring system for rapeseed sowing quality

试验序号	行号	准确率/%	$t_{\text{传输}}/s$
No. of test	No. of row	Accuracy rate	Transmission duration
1	1	98.3	≤ 2
	2	97.4	
	3	96.6	
	4	98.0	
	5	99.1	
	6	97.5	
2	1	96.6	≤ 2
	2	98.4	
	3	97.9	
	4	97.8	
	5	98.1	
	6	96.8	
3	1	97.7	≤ 2
	2	98.5	
	3	97.6	
	4	98.0	
	5	96.8	
	6	98.2	

光的中小粒径种子传感检测装置的检测准确率不低于96.6%。在试验过程中,基于薄面激光的中小粒径种子传感检测装置无堵塞现象发生,传感检测装置采集的油菜播种质量信息显示完整、准确;采集的信息传输至云存储平台数据库平均时长不超过2 s,且传输数据准确无误、存储信息完整,整套播种质量监测系统运行正常。

3 结论

本文设计了一种可同时检测6路排种性能、兼容不同传感检测装置的播种质量监测系统,开展了播种质量监测系统台架试验,并在离心集排式油菜精量播种机上开展了田间试验,验证了系统的稳定性。台架试验结果表明,在排种器落种频率为16.5~26.2 Hz时,传感检测装置检测准确率不低于97.1%,采集的油菜播种质量信息均能传输至播种监测终端并进行显示,播种质量信息均准确上传至云存储平台数据库,平均时长不超过2 s,且与终端显示数据一致。田间试验结果表明,在排种器排种频率为17.4~25.5 Hz时,传感检测装置检测准确率不低于96.6%,整套播种质量监测系统运行正常,数据完整无误。该系统为油菜播种过程智能化提升、播种状态图生成及产量预测提供了技术支撑。

参考文献:

- [1] 王振华,李文广,翟改霞,等.基于单片机控制的气力式免耕播种机监测系统[J].农业机械学报,2013,44(S1):56-60.
- [2] 丁幼春,王雪玲,廖庆喜,等.基于时变窗口的油菜精量排种器漏播实时检测方法[J].农业工程学报,2014,30(24):11-21.
- [3] 丁幼春,王凯阳,杜超群,等.高通量小粒径种子流检测装置设计与试验[J].农业工程学报,2020,36(13):20-28.
- [4] KOCHER M F, LAN Y, CHEN C, et al. Opto-electronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity[J]. *Transactions of the ASAE*, 1998, 41(1): 237-245.
- [5] LAN Y, KOCHER M F, SMITH J A. Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds[J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, 72(2): 119-127.
- [6] KARAYEL D, WIESEHOFF M, OZMERZI A, et al. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, 50(2): 89-96.
- [7] KUMHALA F, KVIZ Z, KMOCH J, et al. Dynamic laboratory measurement with dielectric sensor for forage mass flow determination[J]. *Research in Agricultural Engineering*, 2007, 53(4): 149-154.
- [8] KUMHALA F, PROSEK V, BLAHOVEC J. Capacitive throughput sensor for sugar beets and potatoes[J]. *Biosystems Engineering*, 2009, 102(1): 36-43.
- [9] 周利明,李树君,张小超,等.基于电容法的棉管籽棉质量流量检测[J].农业机械学报,2014,45(6):47-52.
- [10] 周利明,王书茂,张小超,等.基于电容信号的玉米播种机排种性能监测系统[J].农业工程学报,2012,28(13):16-21.
- [11] 纪超,陈学庚,陈金成,等.玉米免耕精量播种机排种质量监测系统[J].农业机械学报,2016,47(8):1-6.
- [12] 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.
- [13] MENG P X, GENG D Y, WANG J Z, et al. Based on the wireless transmission of pneumatic seeder seeding condition monitor[M]. India: Springer, 2016: 295-303.
- [14] 王在满,裴娟,何杰,等.水稻精量穴直播机播量监测系统研制[J].农业工程学报,2020,36(10):9-16.
- [15] 黄东岩,贾洪雷,祁悦,等.基于聚偏二氟乙烯压电薄膜的播种机排种监测系统[J].农业工程学报,2013,29(23):15-22.
- [16] 黄东岩,朱龙图,贾洪雷,等.基于GPS和GPRS的远程玉米排种质量监测系统[J].农业工程学报,2016,32(6):162-168.
- [17] 车宇,伟利国,刘姝韬,等.免耕播种机播种质量红外监测系统设计与试验[J].农业工程学报,2017,33(S1):11-16.
- [18] LU C Y, FU W Q, ZHAO C J, et al. Design and experiment on real-time monitoring system of wheat seeding[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(2): 32-40.
- [19] 丁幼春,杨军强,朱凯,等.油菜精量排种器种子流传感装置设计与试验[J].农业工程学报,2017,33(9):29-36.
- [20] 丁幼春,朱凯,王凯阳,等.薄面激光-硅光电池中小粒径种子流监测装置研制[J].农业工程学报,2019,35(8):12-20.
- [21] 丁幼春,张莉莉,杨军强,等.油菜精量直播机播种监测系统传感装置改进及通信设计[J].农业工程学报,2018,34(14):19-26.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.单粒(精密)播种机试验方法标准:GB/T 6973—2005[S].北京:中国标准出版社,2005.

【责任编辑 李晓卉】