

引用本文格式 崔玉祥, 康力峰, 郭玮, 等. 玉米精密播种机漏播监测器研制与试验[J]. 农业工程, 2024, 14(3): 85-90. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.03.016. CUI Yuxiang, KANG Lifeng, GUO Wei, et al. Development and experiment of missing sowing monitor for corn precision seeder[J]. Agricultural Engineering, 2024, 14(3): 85-90.

玉米精密播种机漏播监测器研制与试验

崔玉祥¹, 康力峰², 郭玮³, 杨志林²

(1. 山西农业大学继续教育学院, 山西 太原 030031; 2. 山西省农业机械化科学研究院, 山西 太原 030031;
3. 山西农业大学农业工程学院, 山西 晋中 030801)

摘要: 为有效监测玉米播种质量, 减少漏播、断行的发生, 设计了一套基于光电法原理的玉米漏播监测器。采用3 mm 红外发光管和硅 PIN 光电二极管作为感测元件, 利用光伏效应原理设计了传感器, 以检测种子是否通过。以 STM32F103 单片机为核心, 设计了主控制器。主控制器通过中断方式接收传感器的信号, 种子通过时即触动内部相应定时器工作或复位, 定时计数超过3 s时产生报警信号并在屏幕上显示。田间试验表明, 在播种机正常排种频率范围内, 计数准确率>97%、漏播监测率达到95%, 光照强度、机具振动对漏播监测器工作无影响。

关键词: 玉米; 精密播种机; 漏播; 监测器; 光电监测法

中图分类号: S223 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2024)03-0085-06

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.2024.03.016

Development and Experiment of Missing Sowing Monitor for Corn Precision Seeder

CUI Yuxiang¹, KANG Lifeng², GUO Wei³, YANG Zhilin²

(1. College of Continuing Education, Shanxi Agricultural University, Taiyuan Shanxi 030031, China; 2. Shanxi Province Institute of Agricultural Mechanization, Taiyuan Shanxi 030031, China; 3. College of Agricultural Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong Shanxi 030801, China)

Abstract: To effectively monitor quality of corn sowing and reduce occurrence of missed sowing and broken rows, a corn missing sowing monitor based on principle of photoelectric method was designed. Using a 3 mm infrared light emitting tube and a silicon PIN photodiode as sensing elements, a sensor was designed using principle of photovoltaic effect to detect whether seed has passed or not. Main controller was designed with STM32F103 microcontroller as the core. Main controller received signal from sensor through interruption, and when seed passed, it triggered corresponding internal timer to work or reset. When timer count exceeded 3 s, an alarm signal was generated and displayed on screen. Field experiments showed that within normal sowing frequency range of seeder, counting error was not less than 97%, and detection rate of missed seeding reached 95%. Light intensity and machine vibration have no impact on operation of missed seeding monitor.

Keywords: corn, precision seeder, missing sowing, monitor, photoelectric monitoring method

0 引言

玉米是我国种植面积和产量最大的粮食作物^[1]。玉米精密播种可以节省种子、保证出苗一致性、节约人工和提高产量^[2]。精密播种机在进行播种作业时, 因种箱排空、排种器故障等会引起漏播现象^[3]。从播种到出苗一般需要3~5 d, 此时再发现漏播, 补种已错过了最佳播种时间, 影响正常的生长周期, 进而影响总产量^[4]。针对玉米精密播种过程出现的漏播或断条

现象进行实时监测, 显得十分必要。

为了播种的同时对播种质量进行监测, 国内外研究人员对漏播监测技术和器件展开了深入研究, 取得了诸多技术成果^[5-8]。约翰迪尔公司开发的 SeedStar™2 监测系统可以实时监测小麦的播种行数、行距、行漏播量和平均播种总量, 并以直观的图表形式在屏幕上进行实时显示^[9]。丁幼春等^[10-11]、徐春保等^[12]利用薄面激光-硅光电池作为发射和接收器件, 基于光伏效应原理, 能够对油菜和小麦等小粒径种子的下落过程实

收稿日期: 2023-08-31 修回日期: 2024-01-31

基金项目: 山西省 2022 年专利转化专项计划项目(202202073); 2022 年度山西省高等学校科技创新项目(2022 L094)

作者简介: 崔玉祥, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业自动化装备研究 E-mail: cuiyuxiang1984@sxau.edu.cn

在线投稿
www.d1ae.com

现精确监测。赵艳华等^[13]采用光电器件作为落种传感器,研制出以CPLD为控制核心的漏播检测装置,可以同时检测8路落种检测,适用于直径3 mm以上种子的漏播检测。孙永佳等^[14]利用红外光电管和阵列式硅光电二极管作为种子监测电路,研制了玉米精量施肥播种机监控系统,能够对精量播种和精量施肥进行在线监测。周利明等^[15]利用种子介电性质,研究了一种基于电容信号的玉米精量播种机性能监测方法,可以对漏播和重播进行判断。陈建国等^[16]基于电容传感器设计了一套高精度小麦种子粒数检测系统,研究了小麦种子以单粒形式和多粒形式通过电容传感器时,电容值与小麦种子数目之间的关系,实现了对播种机播种量的精准检测。

本研究在分析现有漏播监测技术的基础上,采用性价比和可靠性均较高的光电监测法设计种子通过传感器,通过合理安排监测器件位置,设计了一种玉米精密播种实时监测装置,并进行了试验。

1 光电法种子通过传感器

1.1 监测原理

光电法种子通过传感器采用红外发光二极管作为照射光源、硅PIN光电二极管作为接收器件,在排种管的一端布置光源板,另一端布置接收板。没有种子通过时,硅PIN光电二极管接收到红外光,由于光电效应原理,会产生一恒定的电压;种子通过时,由于挡光作用,电压会有一个下降后再恢复恒定值的过程。这一过程产生的电压变化经过调理电路形成方波信号,用于监测是否有种子通过传感器和对种子进行计数。光阻法种子通过传感器监测原理如图1所示。

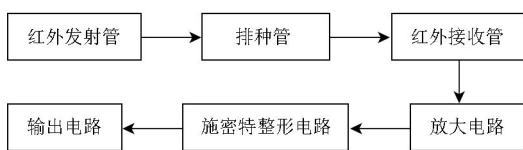


图1 监测原理
Fig. 1 Monitoring principle

1.2 红外发射端

发射光源采用直径3 mm的红外发光二极管,光波段波长880~1 040 nm,峰值波长940 nm。当通过电流20 mA时,波长主要集中在(940.0±22.5) nm范围内。光强主要分布于-17.5°~17.5°。为了减少盲区,采用5管紧密排列的方式,并且在发光前面放置一菲涅尔透镜,红外光经过菲涅尔透镜后形成均匀的平行光束。为了使每只管的发光强度一致,采用串联电路($D_{1\sim5}$ 表示5个红外发光二极管串联),设计成恒流驱动方式,使每个发光管均恒定流过20 mA的电流,光波长

稳定在940 nm左右。发射电路如图2所示。

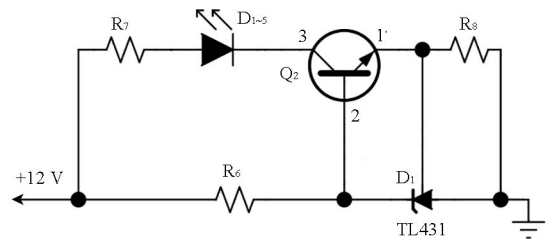


图2 传感器红外发射电路
Fig. 2 Sensor infrared emission circuit

1.3 红外接收端

红外接收端采用直径3 mm的硅PIN光电二极管,在光电二极管的基础上增加了一个本征层,扩大了耗尽区,因此提高了响应的光谱范围。选用的硅PIN光电二极管,红外光敏感波长840~1 100 nm,敏感峰值波长940 nm,敏感峰值与发射光源的峰值波长相同,敏感波段完全覆盖发射光源的波长范围,并且波长在可见光之外,不受可见光的干扰。

为了减少盲区,接收端也采用5管紧密排列的方式,与发射管相对应。5个硅PIN光电二极管并联连接,经过跨阻放大器电路将电流信号转换为电压信号,再通过一级反相施密特整形电路,形成波形整齐的方波信号,驱动输出三极管。没有种子通过时,跨阻放大器电路输出维持恒定的电压,施密特电路输出低电平,输出晶体管饱和导通,集电极电压0;有种子通过时,接收管受到的光照先减少再增加,跨阻放大器电路输出电压先下降再上升,施密特电路输出由低电平变为高电平再变为低电平,输出晶体管由饱和导通变为截止再饱和导通,集电极电压由低电平变为高电平再变为低电平。跨阻放大器电路输出的电压计算公式为 $V_{OUT}=R_f I_d$ ^[17]。接收板电路如图3所示。

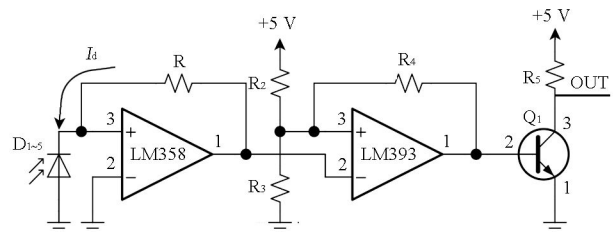


图3 传感器红外接收电路
Fig. 3 Sensor infrared receiving circuit

2 整体设计方案

漏播监测器整体设计方案如图4所示,包括以STM32为核心板的主控制器、触摸屏交互模块、4G无线收发模块、声光报警器驱动电路和4路种子通过传感器。主控制器作为控制单元,接收种子传感器的输

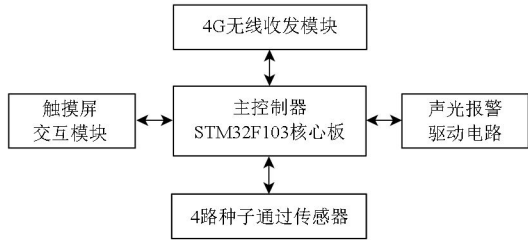


图4 漏播监测器整体设计方案
Fig. 4 Overall design scheme of the monitor

出信号，对通过传感器的种子进行计数和计时，决定其他模块的工作状态。触摸屏交互模块用于显示主控制器和种子通过传感器工作状态，并对主控制器的工作方式进行设置。4G无线收发模块用于将主控制器的工作状态传至远端服务器，实现工作状态的在线显示。声光报警器驱动电路在播种故障时提醒拖拉机操作人员停止播种、检查播种机的情况。

3 硬件设计

3.1 主控制器电路

主控制器以 STM32F103 系列微处理器为核心，设计了电源、时钟、调试接口和种子通过传感器隔离输入接口电路，电路如图 5 所示。种子通过传感器输入信号驱动 STM32F103 内部定时器，每一粒种子通过时，计数器加一并开始计时，在下一粒种子通过时，重新

开始计时。出现漏播时，定时器发出超时信号，STM32F103 给出报警指令，报警器电路工作发出声光报警信号。

3.2 声光报警器驱动电路

播种作业时，由于拖拉机振动噪声较大，采用高分贝的声光报警器作为漏播时的提示信号。声光报警器开启时输出功率较大，电流可以达到 300 mA，以继电器输出控制声光报警器的开启和关断，设计了晶体管驱动电路，如图 6 所示。

3.3 4G 无线收发模块

为了将漏播监测器的工作状态上传到远端服务器，选用 4G 无线收发模块将数据进行上传，模块采用 FS724，与 STM32F103 的通用串口进行连接。使用中 对 FS724 进行简单的配置，设置好数据收发格式，在阿里云平台能将漏播监测器的工作状态进行展示。

3.4 触摸屏交互模块

为了方便拖拉机操作人员掌握播种状态，选用触摸屏对播种机工作状态进行显示，显示屏主界面有 4 个按钮，如图 7 所示，触摸其中的一个按钮可以进入相应的显示界面。排种状态监测界面如图 8 所示，拖拉机操作人员可以查看每一路种子通过传感器的工作情况。通过切换按钮，拖拉机操作人员可以查看播种计数、排种器是否堵塞、播种面积和漏播监测器的网

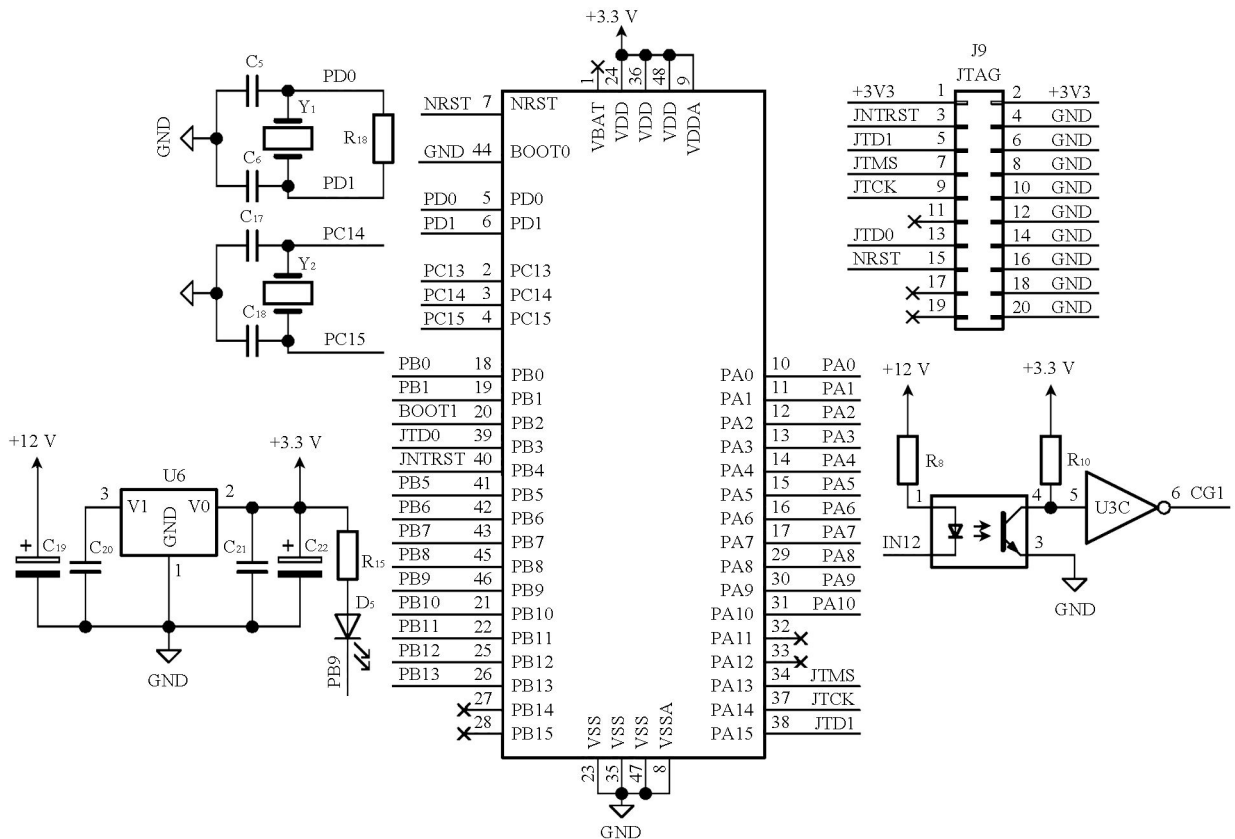


图5 主控制器电路
Fig. 5 Main controller circuit

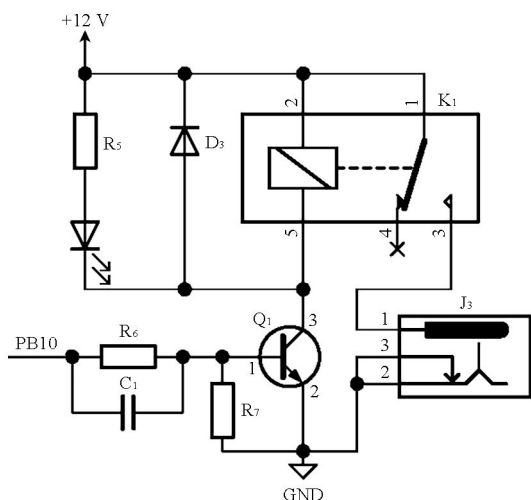


图6 声光报警器驱动器电路
Fig. 6 Alarm driver circuit



图7 控制器显示主界面
Fig. 7 Controller display interface



图8 排种状态监控主界面
Fig. 8 Main interface of seed planter monitoring

络通信情况。

4 软件设计

漏播监测器软件工作流程如图9和图10所示，主程序以循环查询工作，种子通过计数和漏播报警以中断服务程序进行工作。系统上电后，主程序启动，先进行初始化工作，接着根据本次播种需要设定漏播报警间隔，然后等待播种开始，播种开始后开启定时，

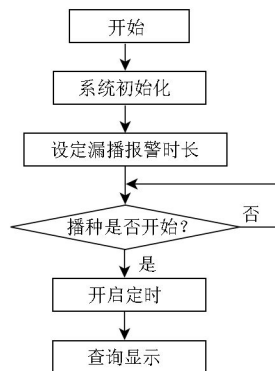


图9 漏播监测器软件主程序流程
Fig. 9 Main program flowchart of monitoring system software

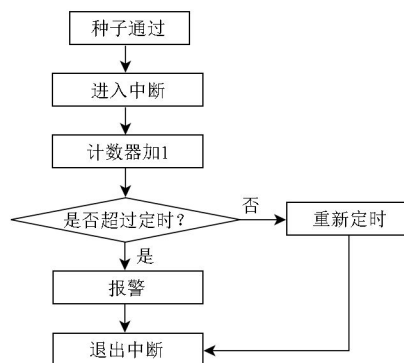


图10 漏播监测器软件中断程序流程
Fig. 10 Monitoring system software interrupt program flowchart

查询各模块的工作状态并显示。有种子通过传感器时，系统进入中断服务程序，计数值自动增加并检查定时是否超时，超时则开启声光报警，没有超时则重新开始定时。

5 田间试验

为了对播种量和漏播量指标及系统稳定性进行检测，2022年7月在山西河东雄风农机有限公司的试验田内进行了播种作业试验，将漏播监测器装配于河东雄风2BFM-4型玉米免耕施肥播种机上，种子通过传感器安装于排种器的下方，不影响种子下落，也不影响排种器播种性能。河东雄风2BFM-4型玉米免耕施肥播种机主要用于玉米、豆类等大粒种子穴播，适宜于留茬未耕地播种，一次可完成破茬、开沟、施肥、播种和覆盖等多道工序。试验种子为山西省大丰种业有限公司生产的大丰30，籽粒黄色、马齿型、千粒质量405g及籽粒直径3~8mm。试验时播种机行进速度5km/h。

5.1 播种量计数试验

为获得准确的播种数量，在传感器下方安装接种袋，保证下落的种子全部掉入接种袋。系统上电后，播种计数自动清零。开始播种后，系统自动记录播种量，待播种机行至地头时停止播种，记录系统播种数

量, 取下接种袋进行人工点数, 以人工计数为标准值, 试验结果如表 1 所示。试验结果表明, 播种量计数准确率>97%。

表 1 播种计数试验数据
Tab. 1 Experiment data of seeding count

传感器编号	人工计数/粒	系统计数/粒	绝对误差/粒	相对误差/%
传感器 1	3 675	3 713	38	1.03
传感器 2	3 729	3 698	-31	0.83
传感器 3	3 713	3 768	55	1.48
传感器 4	3 689	3 736	47	1.27

注: 拖拉机行进速度 5 km/h, 播种距离 800 m。

5.2 漏播监测试验

漏播监测试验采用固定制造漏播行为的方式进行, 每个排种器的种盘有种夹 12 个, 在第 1、2、3 和 4 个排种器上人为堵住 1、2、3 和 4 个种夹, 则第 1、2、3 和 4 个传感器的理论漏播计数平均为计数值/12、计数值/6、计数值/4 和计数值/3。在传感器下方安装接种袋, 保证下落的种子全部掉入接种袋。以人工计数为基准, 试验结果如表 2 所示。试验结果表明, 漏播监测准确率>95%。

表 2 漏播试验数据
Tab. 2 Experiment data of seeding count

传感器编号	人工计数/粒	堵塞种夹/个	理论漏播计数/粒	系统漏播计数/粒	绝对误差	相对误差/%
传感器 1	458	1	38	40	2	4.17
传感器 2	395	2	66	64	-2	3.03
传感器 3	350	3	88	85	-3	3.41
传感器 4	313	4	104	99	-5	4.81

注: 拖拉机行进速度 5 km/h, 播种距离 100 m。

6 结束语

利用红外光电技术设计了种子通过传感器, 以 STM32F 系列微控制器为控制核心开发了播种质量漏播监控器。田间试验表明, 计数准确率>97%、漏播监测率>95%, 实现了对玉米单粒精密播种机播种量和漏播率的有效监控。

参考文献

[1] 国家统计局. 农业年度数据 [DB/OL]. (2022-10-31). <https://data.stats.gov.cn/adv.htm?m=advquery&cn=C01>.

[2] 杨丽, 颜丙新, 张东兴, 等. 玉米精密播种技术研究进展 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 38-48.
YANG Li, YAN Bingxin, ZHANG Dongxing, et al. Research progress on precision planting technology of maize [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 38-48.

[3] 车宇, 伟利国, 刘焯韬, 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.

- CHE Yu, WEI Ligu, LIU Xingtao, et al. Design and experiment of seeding quality infrared monitoring system for no-tillage seeder [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(S1): 11-16.
- [4] 陈刚, 孙宜田, 孙永佳, 等. 玉米免耕精密播种机漏播补偿系统的研究 [J]. 农机化研究, 2019, 41(7): 95-99.
CHEN Gang, SUN Yitian, SUN Yongjia, et al. Study on the miss seeding compensation system of maize no-tillage precision seeder [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(7): 95-99.
- [5] 帝基特罗有限公司. 种子计数传感器和用于检测种子输送管道的堵塞的方法: CN201680062318.X [P]. 2018-07-31.
- [6] JOHN D. Monitoring and documentation [EB/OL]. (2015-08-04). http://www.deere.com/en_US/parts/parts_by_industry/ag/seeding/monitoring/monitoring-page.
- [7] 解春季, 杨丽, 张东兴, 等. 基于激光传感器的播种参数监测方法 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(3): 140-146.
XIE Chunji, YANG Li, ZHANG Dongxing, et al. Seeding parameter monitoring method based on laser sensors [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(3): 140-146.
- [8] 汤允猛, 纪超, 付威, 等. 玉米精量播种机排种监测系统设计与试验 [J]. 农机化研究, 2020, 38(4): 77-80, 85.
TANG Yunmeng, JI Chao, FU Wei, et al. Design of seeding monitoring system for corn precision seeder [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 38(4): 77-80, 85.
- [9] 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.
YANG Shuo, WANG Xiu, GAO Yuanyuan, et al. Design of on-line seed spacing monitoring and miss seeding warning system for maize precision planting [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(3): 17-24, 35.
- [10] 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.
DING Youchun, ZHU Kai, WANG Kaiyang, et al. Development of monitoring device for medium and small size seed flow based on thin surface laser-silicon photocell [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(8): 12-20.
- [11] 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.
DING Youchun, WANG Kaiyang, DU Chaoqun, et al. Design and experiment of high-flux small-size seed flow detection device [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(13): 20-28.
- [12] 徐春保, 刘靖怡, 苏清茂, 等. 薄面光折射式小麦种子流多通道并行检测装置设计与试验 [J]. 农业工程学报, 2022, 38(18): 81-91.
XU Chunbao, LIU Jingyi, SU Qingmao, et al. Design and experiment of the wheat seed flow multi-channel parallel detection device with thin-surface light refraction [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(18): 81-91.
- [13] 赵艳华, 龚丽农, 尚书旗, 等. 基于 CPLD 的漏播检测装置的设计与测试 [J]. 农机化研究, 2015, 37(9): 126-130.

- ZHAO Yanhua, GONG Linong, SHANG Shuqi, et al. Design and test of a seeding absence monitor based on CPLD[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(9): 126-130.
- [14] 孙永佳, 孙宜田, 沈景新, 等. 免耕精量施肥播种机监控系统的研制[J]. 农机化研究, 2018, 40(1): 68-73.
- SUN Yongjia, SUN Yitian, SHEN Jingxin, et al. Development of no-tillage precise fertilization planter monitoring system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(1): 68-73.
- [15] 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.
- ZHOU Liming, WANG Shumao, ZHANG Xiaochao, et al. Seed monitoring system for corn planter based on capacitance signal[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(13): 16-21.
- [16] 陈建国, 李彦明, 覃程锦, 等. 小麦精量播种机排种高精度检测系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 71-74.
- CHEN Jianguo, LI Yanming, QIN Chengjin, et al. Design and experiment of precision detecting system for wheat-planter seeding quantity[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(2): 71-74.
- [17] OROZCO Luis. 精密光电二极管传感器电路优化设计[EB/OL]. (2021-12-01). <https://www.analog.com/en/technical-articles/optimizing-precision-photodiode-sensor-circuit-design.html>.