

高速精量播种机带式高速导种装置导种性能 红外监测系统研究

王 淞¹ 衣淑娟¹ 赵 斌^{1,2} 李衣菲^{1,3} 王光宇¹ 孙文胜¹

(1. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319; 2. 黑龙江省农机智能装备重点实验室, 大庆 163319;

3. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 为解决带式高速导种装置导种过程中种带托片与种粒均经过监测点,无法区分脉冲变化特征,导种性能难以监测的问题,研究一种基于红外传感器的带式高速导种装置监测方法并设计了监测系统。利用其导种特性提出了双侧脉冲比较法,设计了带式高速导种装置监测模块硬件电路与软件程序。同时通过对监测系统采样试验结果分析,提出一种基于双侧脉冲值分析与能量掩码平滑算法(Bilateral pulse value analysis and energy masking smoothing algorithm, BPV-EMSA)的带式高速导种装置监测算法。仿真试验表明:该算法减少了原始脉冲的噪声和随机波动,使数据更加平滑稳定并突出了数据主要趋势和模式,同时抑制了瞬态脉冲干扰,提升了数据可解释性和分析准确性。监测系统精度试验结果表明:所设计的带式高速导种装置监测系统在不同作业速度下最高监测精度为97.65%,最低精度为95.99%,系统能够精确采集种粒经过监测点的脉冲变化。监测系统性能评价试验结果表明:播种合格率平均监测差值为2个百分点,播种漏播率平均监测差值为1.45个百分点,播种重播率平均监测差值为0.56个百分点。播种合格率相对差值不大于2.23个百分点,播种漏播率相对差值不大于1.78个百分点,播种重播率相对差值不大于1.00个百分点。该监测方法能够准确监测带式高速导种装置的导种性能。

关键词: 高速精量播种机; 带式高速导种装置; 导种性能监测; 红外传感器; 信号处理算法

中图分类号: S223.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)12-0160-09

OSID:



Infrared Performance Monitoring System of Belt-type High-speed Seed Guide Device for High-speed Precision Seeder

WANG Song¹ YI Shujuan¹ ZHAO Bin^{1,2} LI Yifei^{1,3} WANG Guangyu¹ SUN Wensheng¹

(1. College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China

2. Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Intelligent Agricultural Machinery Equipment, Daqing 163319, China

3. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to solve the problem that the existing seed performance monitoring method is not available for the belt-type high-speed seed guide device, and the seed belt carrier and seed particle cannot be distinguished during the seed casting process, making seed performance difficult to monitor, a monitoring method and system for a belt device based on infrared sensors was studied and designed. The two-sided pulse comparison method was proposed, and the hardware circuit and software process of the monitoring module for the belt-type high-speed guide device were independently designed. At the same time, a belt-speed device monitoring algorithm (bilateral pulse value analysis and energy masking smoothing algorithm, BPV-EMSA) was developed. It reduced the noise and random fluctuations of the original pulse, made the data smoother and more stable, and highlighted the main trends and patterns of the data, while suppressed transient pulse interference and improved the data interpretability and analysis accuracy. The accuracy test results of the monitoring system showed that the monitoring accuracy of the designed belt-type high-speed seed guide device monitoring system was above 95.9% at different operating speeds, with the highest accuracy of 97.65% and the lowest of 95.99%, proving that the

收稿日期: 2024-01-15 修回日期: 2024-02-20

基金项目: 北大荒农垦集团有限公司2023年农机研发制造推广应用一体化试点项目、国家自然科学基金项目(52275246)和黑龙江省重点研发计划重大项目(2022ZX05B02)

作者简介: 王淞(1998—),男,博士生,主要从事农机装备智能化研究,E-mail: 2941904409@qq.com

通信作者: 衣淑娟(1965—),女,教授,博士生导师,主要从事农机装备智能化研究,E-mail: yishujuan_2005@126.com

system can accurately collect the pulse changes of seed particles through the monitoring point. The results of performance evaluation test of monitoring system showed that the average monitoring error of seeding qualification rate was 2.00 percentage points, the average monitoring error of seeding missed seeding rate was 1.45 percentage points, and the average monitoring error of seeding reseeding rate was 0.56 percentage points. The relative error of seeding pass rate was not more than 2.23 percentage points, the relative error of seeding missed seeding rate was not more than 1.78 percentage points, and the relative error of seeding reseeding rate was not more than 1.00 percentage points. This monitoring method can accurately monitor the seed guide performance of the belt type high-speed seed guide device.

Key words: high-speed precision seeder; belt-type high-speed seed guide device; row performance monitoring; infrared sensor; signal processing algorithm

0 引言

高速精量播种机的导种过程是整个播种过程中最重要的环节,导种过程可以决定种粒的着床姿态与均匀度^[1-2]。带式导种利用导种带对种子进行全程约束,使其保持有序状态^[3-7]。这种方法可以通过全自由度约束或者仅具有局部自由度的全约束来实现。带式导种能够确保种子在播种时均匀分布,并有效避免高速作业条件下种子与导种管壁、种床土壤之间发生碰撞或弹跳的情况,因其特有的纳种机构,还可避免两粒种子在同一个种腔内发生重播。这种主动式导种方式可以避免因播种机振动或其他原因对种子位置的干扰,从而保证播种的准确性和效果。但带式导种管因其需要约束种子的特点,在投种区均会有约束机构,传统监测方式会受到约束机构的干扰,国内尚无相关配套监测系统。故急需研究一种适用于高速精量播种机带式高速导种装置的导种性能监测系统。

从传统导种装置监测机理来看,主要分为视觉式^[8-10]、电容式^[11-13]、压电式^[14-15]和光电式^[16-17]4类。视觉式监测利用视觉相机采集下落种粒图像信息,通过计算机对图像的处理、筛选,获得相邻种粒的位置信息^[18]。但带式高速播种时托片间隔小,籽粒下落快,视觉监测识别运算较慢,无法短时间内处理如此多的特征。电容式监测主要依靠种子通过电容极板产生的介电常数变化,通过转换电路将电容变化量以高低电平信号的形式传输给单片机实现采集^[19-20]。由于带式导种装置的种腔较小,所需电容极板尺寸较小,电容初始量及变化量非常小,难于检测和安装。压电式监测则是通过下落种粒拍打压电传感器产生压电值变化,经过信号处理电路转换成电压脉冲信号^[21]。由于带式导种装置是全约束导种装置,种粒是通过输种带输送至投种处,故无法利用种粒接触压电元件监测种粒位置。光电式监测利用发光管采集种子遮挡光源产生的脉冲信号变化^[22-23]。由于带式导种装置输种侧种粒与种带托

片均经过监测点,无法采用传统光电监测法的计量脉冲或电压变化方法,但光电传感器具有监测速度快、敏感性强等特点,可选用其作为基础传感元件进行监测方法的研究。

针对带式高速导种装置导种过程中种带托片与种粒均经过监测点的现象,上述传感结构在带式导种装置上难于安装和区分脉冲特征变化,致使导种性能难以监测,因此提出一种基于红外传感器以及双侧脉冲值分析与能量掩码平滑算法(Bilateral pulse value analysis and energy masking smoothing algorithm, BPV-EMSA)的高速精量播种机带式高速导种装置监测系统。通过比较导种带输种侧与回转侧光电管脉冲波动时间,精准监测出种子经过监测点的脉冲变化,从而监测导种带内的导种性能及导种带速度。

1 监测原理

研究的带式高速导种装置^[24-25]安装于精密排种器卸种口上端种盘型孔经过处,播种时去掉排种器原有的种刷,主副拨指轮在籽粒脱离种盘之前利用旋转夹取的方式将籽粒取下,随后将籽粒转运并排放至导种带种腔,籽粒在导种带转动下运移到投种口并将籽粒投放到种沟。带式高速导种装置整体结构如图1所示。

带式导种监测系统的监测原理为:利用带式导种的输种特点,在其排种过程中,装置分为左侧输种侧与右侧回转侧,两侧相较于种带中心呈轴对称;输种侧相较回转侧在种腔内除导种带稳定往复运动外,还有排出种粒通过。基于此区别,提出一种双侧脉冲比较监测方法。由于带式高速导种装置只有左侧是输种侧,右侧为排种后的回转侧。在两组光电对射管安装固定在如图2所示位置时,左右侧导种带托片总是同时遮挡左右两侧光束,且右侧非投种区部分始终无种子通过。故两组对射管同时发生等波动脉冲变化时,说明两侧导种带托片同时遮光,此时称为平衡波动;左侧对射管发生脉冲的时间大于

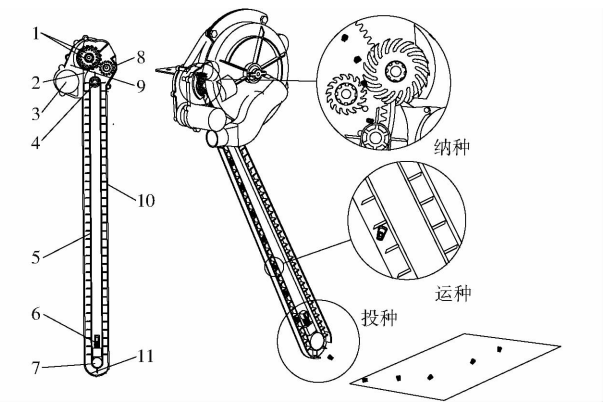


图 1 带式高速导种装置结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of belt-type high-speed seed guide device

1. 拨指轮 2. 清种爪 3. 电机 4. 主动带轮 5. 导种带 6. 预紧弹簧 7. 被动带轮 8. 齿轮箱 9. 护种罩壳 10. 导种带壳体 11. 投种板

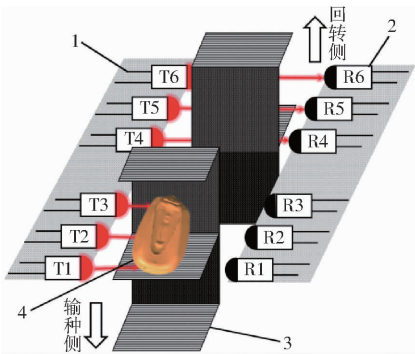


图 2 带式高速导种装置监测原理图

Fig. 2 Schematic of belt-type high-speed seed guide device

1. 光电发射管 2. 光电接收管 3. 种带托片 4. 玉米种子

式中 S ——两个相邻托片间距, m
 T_p ——回转侧托片相邻两次遮光时间间隔, s
故不用对带式导种装置驱动电机进行速度监测亦可计算出实际株距。则两粒相邻种子间距即株距 X 计算公式为

$$X = \frac{ST_F}{T_p} \quad (2)$$

式中 T_F ——两次脉冲偏差的时间间隔, s
监测系统自动储存每次的株距值。设目标作物理理论株距为 X_T , 播种株距数量为 P , 如果 $X \in [0, 0.5X_T]$, 则计为重播, 若重播次数为 P_{mult} , 则重播率 I_{mult} 计算公式为

$$I_{mult} = \frac{P_{mult}}{P} \times 100\% \quad (3)$$

如果 $X \in (1.5X_T, +\infty)$, 则计为漏播, 若漏播次数为 P_{miss} , 则漏播率 I_{miss} 计算公式为

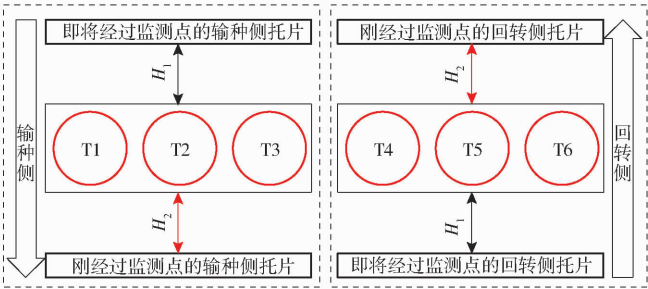
$$I_{miss} = \frac{P_{miss}}{P} \times 100\% \quad (4)$$

如果 $X \in [0.5X_T, 1.5X_T]$, 则计为合格, 若合格

右侧发生脉冲波动的时间时, 相当于此时左侧投种区有种子通过对射管, 此时称为失衡波动; 左侧脉冲时间减去右侧脉冲时间即为种子通过光电对射管的时间, 此时称为偏差波动。监测两次偏差波动产生的时间间隔, 即为监测相邻排出种粒的时间间隔; 同时监测回转侧的脉冲变化即可得到相邻种带托片的时间间隔, 进而计算出导种带运动线速度, 为求取种粒排出后的实际株距提供条件。

在能够精确捕捉偏差脉冲的前提下, 为确定两粒相邻种子的实际株距, 需要明确导种带的线速度, 本着简化监测系统复杂程度的原则, 不在电机处加装编码器, 通过监测种带托片通过的时间间隔可以推得导种带线速度 v 计算公式为

$$v = \frac{S}{T_p} \quad (1)$$



次数为 P_q , 则合格率 I_q 计算公式为

$$I_q = \frac{P_q}{P} \times 100\% \quad (5)$$

2 监测系统总体设计

2.1 监测模块结构设计

对带式排种监测模块的外部结构进行了总体设计, 将两组红外发射管电路封装在同一侧壳体内, 将两组与之相对的红外接收管封装在另一侧壳体内。对射管分别布置在带式导种管相较于作业前进方向的左右两侧, 在带式高速导种装置的输种侧与回转侧分别开出对射孔, 使种带托片以及种腔露出来。再将设计的监测模块发射侧与接收侧壳体分别固定在带式高速导种装置的左右侧。使对射探头完全进入对射孔内并与种带托片平行, 模块安装后种腔重新完成密闭使得种带托片在经过红外光线时 3 路光线同时被阻断产生光电脉冲变化, 精准识别出同侧托片经过监测点的时间间隔与不同侧的脉冲偏差。导种带壳体与监测模块的外壳体均为黑色, 避免了

自然光干扰。带式排种监测模块安装示意图如图 3 所示。

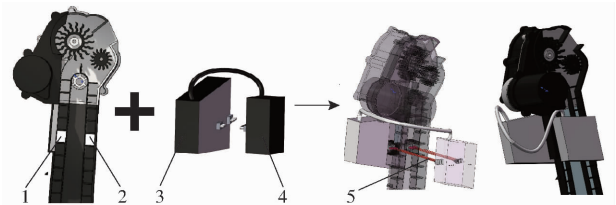


图 3 带式高速导种装置监测系统安装示意图
Fig. 3 Installation schematic of belt-type high-speed seed guide device monitoring system

1. 输种侧对射孔 2. 回转侧对射孔 3. 监测模块接收侧 4. 监测模块发射侧 5. 红外光线

2.2 监测电路设计

为进行实际应用效果的测试,设计了带式高速导种装置监测系统,其硬件电路组成包括:信号采集电路、主控制器电路、人机交互电路以及电源电路等。主要为红外发射管、红外接收管、运算放大器、核心处理器以及显示屏。带式高速导种装置监测系统主要硬件电路如图 4 所示。

带式高速导种装置监测系统的主控制器选用 STM32F103RBT6 型单片机,该控制器具有高性能、丰富的外设支持、低功耗特性与最高 72 MHz 运行频率等特点,充分保证系统二次开发能力与算法运行速度需求。监测系统的信号采集电路使用了 LM358 运算放大器,该运算放大器是一款可有效提升光电

信号幅度的双运算放大器;电路还通过 C13 ~ C16 电容组成滤波网络,去除信号噪声,提高信号质量;利用电阻 R10 ~ R15 构成反馈网络,可调整放大器的增益和频率响应。人机交互模块选用 DMT10600T070_01W 型工业串口屏,其稳定性好、性价比高、具有数据存储功能,操作界面可移植性强等特点。为考虑后续实际田间作业,电源采用 12 V 供电,设计电路中还有 5、3.3 V 的供电需求与 1 V 的基准电压,故设计了电源转换电路保证整个监测系统硬件电路的供电需求。

2.3 软件设计

依据硬件电路设计选型与带式高速导种装置监测原理,设计了带式高速导种装置监测系统软件系统,选用 Keil μ Vision5 作为开发环境,应用 C 语言进行编程,设计了其相应的软件流程,带式高速导种装置监测系统软件流程如图 5 所示。系统初始化参数后,启动定时器,一方面实时采集左右侧光电对射管的脉冲数据,同时系统通过定时器和中断服务程序,监测脉冲变化与脉冲偏差,以此来测定导种带的线速度 v 以及种子通过具体时刻,用于计算种子的下落时间间隔 T_r 和播种株距 X ,并自动储存每次的株距值。软件程序根据采集的数据,评估播种状态,统计重播率、漏播率和合格率,并且计算相应的播种性能指标。在持续监测的过程中,如果测得的株距 X 大于 1.5 倍的理论株距 X_r ,则认定为漏播;如果 X

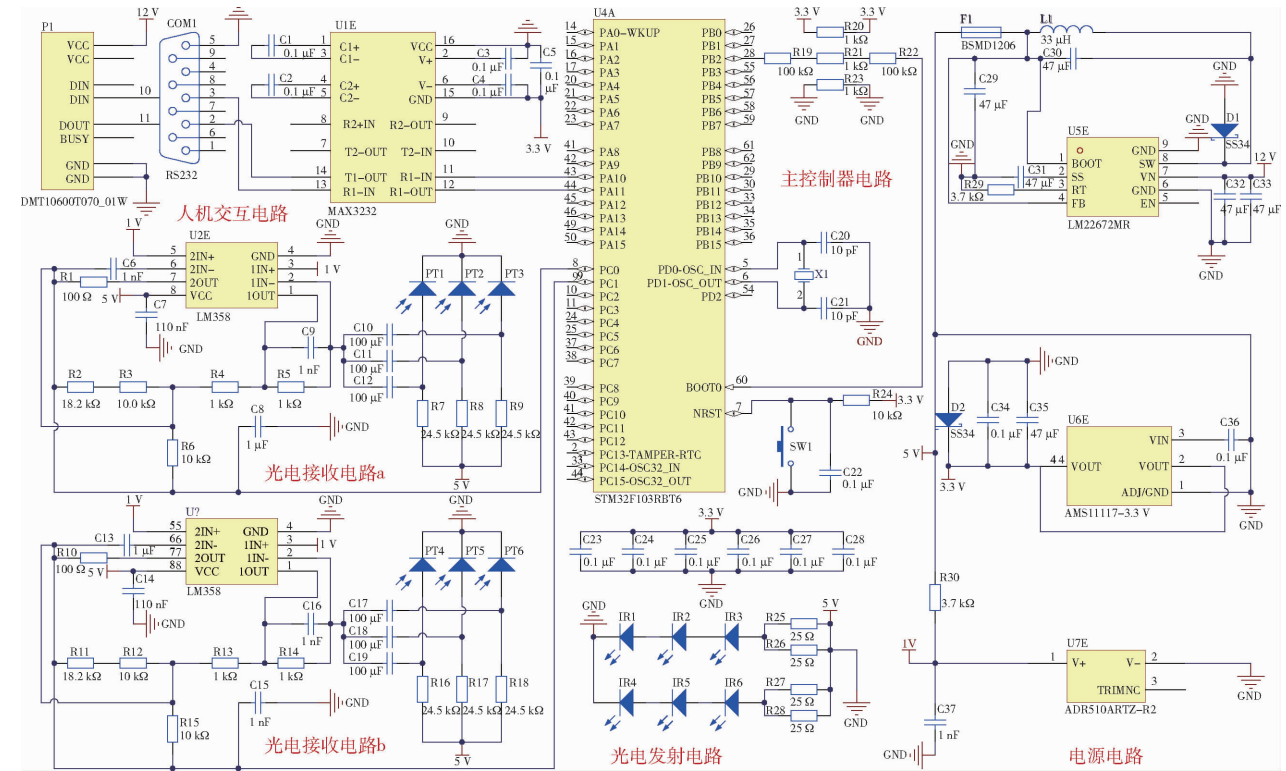


图 4 带式高速导种装置监测系统主要硬件电路
Fig. 4 Hardware circuit diagram of monitoring system of belt-type high-speed seed guide device

小于 0.5 倍的 X_r , 则认为是重播; 位于这两者之间视为合格播种。此外, 软件还将提供实时数据的可视化界面, 允许用户自定义理论株距与作业速度等作业参数, 实时显示播种合格率、重播率、漏播率、种带速度、播种量、平均株距等参数, 并且提供播种株距数据导出功能, 为后续进一步优化带式高速导种装置的结构从而提升高速精量播种机的作业性能提供设备支持。

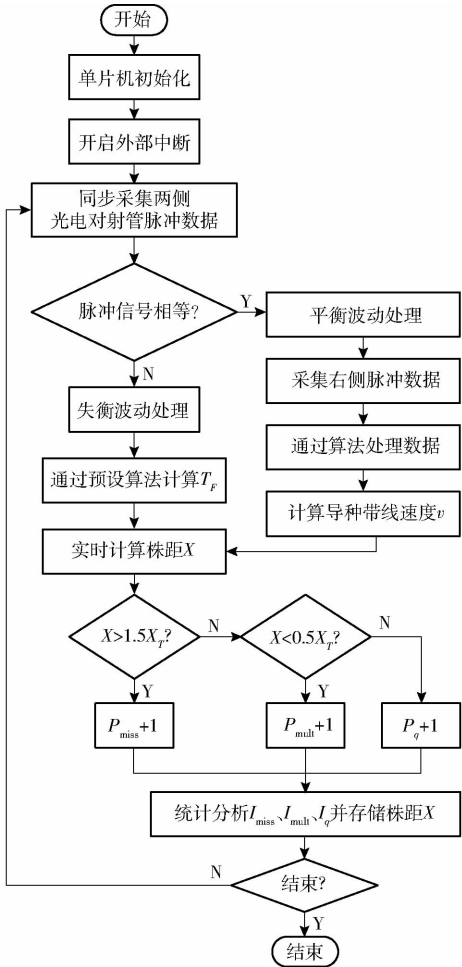


图 5 带式高速导种装置监测系统软件流程图
Fig. 5 Software flowchart of monitoring system of belt-type high-speed seed guide device

3 监测算法

3.1 采样试验

带式高速导种装置监测系统采样试验是为了确定系统脉冲信号实际采样情况, 需要明确系统运行时光电脉冲的实际变化情况以便进行算法设计。

带式高速导种装置监测系统采样试验于 2023 年 11 月 15 日在黑龙江八一农垦大学工程学院播种装备试验室开展, 将带式高速导种装置与 Precision Planting 公司生产的 vSet 型气吸式精量排种器连接使其有序取种, 并固定在 JPS-16 型计算机视觉排种性能检测试验台上。设计的红外监测模块按上述

的安装方案固定于带式高速导种装置上端左右侧。通过比较无物体通过红外监测点、种带托片通过红外监测点与种子通过红外监测点时左右两个红外监测点的脉冲变化验证监测系统的可行性。利用西安市乐拓精益信息科技有限公司生产的 LOTO-OSC482 型虚拟示波器监测导种带左右侧两路通道输入单片机 PC0 与 PC1 引脚的脉冲信号变化。同时利用数字示波器配备的数据记录软件保存脉冲数据。带式高速导种装置监测系统采样试验如图 6 所示。试验测得两通道部分脉冲变化如图 7 所示。

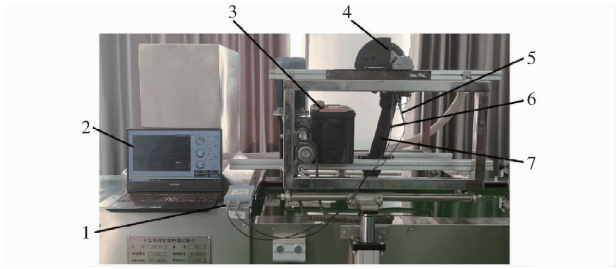


图 6 监测系统采样试验

Fig. 6 Sample rate test of monitoring system

1. 虚拟示波器 2. 数据记录软件界面 3. 12 V 蓄电池 4. vSet 型气吸式排种器 5. 回转侧脉冲采样通道 6. 输种侧脉冲采样通道 7. 带式导种装置

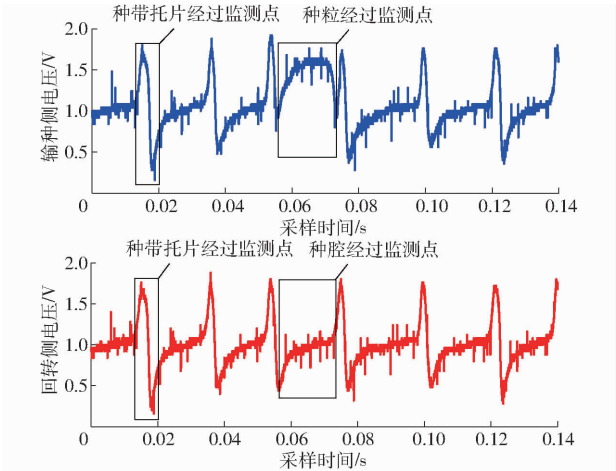


图 7 导种带两侧电压变化曲线

Fig. 7 Voltage change curve on both sides of guide seed band

如图 7 所示, 当图中的两侧脉冲曲线在同一时刻上升或下降, 且振幅相近时, 表明导种带两侧托片同时遮挡了红外光束, 并无种子通过。此情况下脉冲波形同步且幅频稳定, 即为平衡脉冲。输种侧在 0.06 s 时刻的振幅大于回转侧, 这表示输种侧有种子通过, 导致左侧光束被遮挡的时间更长。此时脉冲波形输种侧脉冲波动持续时间大于回转侧, 这种波形表现为非对称波动, 其中一侧振幅与持续时间不同于另一侧, 表明种子通过时的脉冲失衡状态。但在输种侧种粒经过后的首个导种带托片的脉冲波动处于强干扰状态, 且整个波形采集过程中波形干

扰较大,出现了许多“毛刺”,这对判断失衡脉冲会产生影响,故需要对采集到的信号进行滤波和算法处理,得以完成系统对种粒的精准监测。

3.2 信号处理算法

针对当前脉冲波形存在干扰以及无法准确识别种粒经过时产生偏差脉冲的问题,提出一种基于双侧脉冲值分析与能量掩码平滑算法(BPV-EMSA)的带式高速导种装置监测算法。首先需要对含有“毛刺”的脉冲进行平滑处理,此步骤的主要目的是减少原始脉冲的噪声和随机波动,使数据更加平滑稳定,突出数据的主要趋势和模式,同时期望抑制瞬态脉冲干扰,并提升数据的可解释性和分析准确性。BPV-EMSA 算法仿真试验均在 Matlab 2020b 仿真环境下进行。对两通道脉冲值平滑处理计算式为

$$B_{smooth,i} = \frac{1}{N} \sum_{j=i-\frac{N}{2}}^{i+\frac{N}{2}} B_j \quad (6)$$

$$C_{smooth,i} = \frac{1}{N} \sum_{j=i-\frac{N}{2}}^{i+\frac{N}{2}} C_j \quad (7)$$

式中 B_j ——第 j 个采样点输种侧脉冲值, V

C_j ——第 j 个采样点回转侧脉冲值, V

i, j ——采样点序号

$B_{smooth,i}$ ——第 i 个采样点输种侧平滑处理后脉冲值, V

$C_{smooth,i}$ ——第 i 个采样点回转侧平滑处理后脉冲值, V

N ——平滑处理窗口大小

新脉冲是基于原始脉冲的平滑脉冲。这是通过对数据点的一个窗口 N 内的所有值求平均实现的,其中 N 取 50,平滑后的脉冲均滤除了“毛刺”干扰。导种带两侧电压平滑处理后变化曲线如图 8 所示。

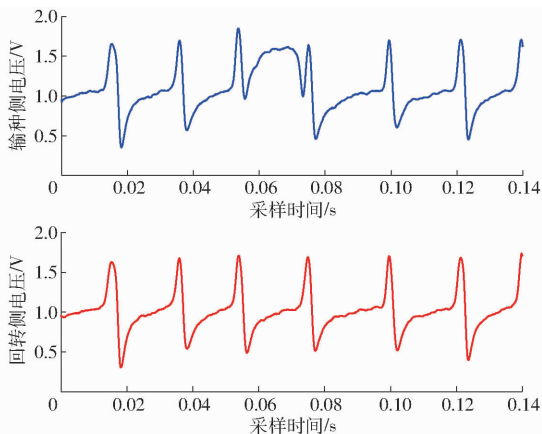


图 8 导种带两侧电压平滑处理后变化曲线

Fig. 8 Change curve after voltage smoothing on both sides of guide seed band

为准确提取种粒经过监测点时造成的失衡脉冲

的特征,将两通道平滑后的脉冲做差,得到了突出特征后的脉冲差值,计算过程公式为

$$D_{smooth,i} = B_{smooth,i} - C_{smooth,i} \quad (8)$$

式中 $D_{smooth,i}$ ——第 i 个采样点双侧脉冲平滑后差值, V

导种带两侧脉冲做差后脉冲偏差如图 9 所示。

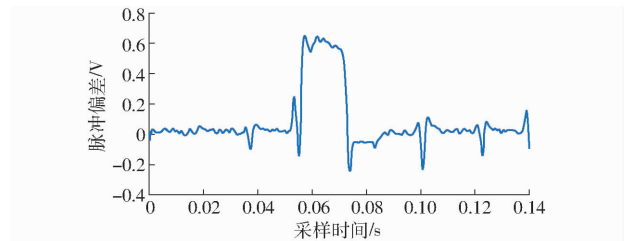


图 9 导种带两侧脉冲做差后脉冲偏差变化曲线

Fig. 9 Pulse deviation after pulse difference on both sides of guide seed band

由图 9 可知,处理后的脉冲由于两侧通道的测量误差依然无法确保突出种粒脉冲偏差信号特征,故提出了一种能量掩码平滑算法,通过设置能量阈值解决全部的干扰波形,只有当信号能量超过该阈值时,信号才会被平滑。这可突出强度大、包含重要信息的信号部分。种粒脉冲信号恰好符合此特征。其中,短时能量是指在一个短时间窗口内信号能量总和,它是衡量信号在该时间窗口内强度的指标。短时能量计算公式为

$$E_i = D_{smooth,i}^2 \quad (9)$$

式中 E_i ——第 i 个采样点的短时能量

能量阈值是预设界限,用来判断信号的短时能量是否够大,即有意义而非噪声的信号。能量阈值的设置对于后续信号处理步骤至关重要,因为其决定了数据的保留倾向。能量阈值计算公式为

$$\theta = \text{mean}(E)K \quad (10)$$

式中 θ ——能量阈值

K ——能量阈值预设系数

mean ——平均值运算函数

掩码信号是二值信号,表示原始信号中的短时能量超过了能量阈值的部分。如果信号短时能量超过阈值,掩码信号在相应的时间点上为 1,反之为 0,故掩码信号可以用来“过滤”原始信号,仅保留高能量部分,掩码信号计算公式为

$$M_i = \begin{cases} 1 & (E_i > \theta) \\ 0 & (E_i \leq \theta) \end{cases} \quad (11)$$

式中 M_i ——第 i 个采样点掩码信号

$$D_{masked,i} = D_{smooth,i} M_i \quad (12)$$

式中 $D_{masked,i}$ ——第 i 个采样点应用掩码后差值, V

$$D'_{smooth,i} = \frac{1}{N'} \sum_{j=i-\frac{N'}{2}}^{i+\frac{N'}{2}} D_{masked,j} \quad (13)$$

式中 $D'_{smooth,i}$ ——第 i 个采样点掩码数据经过再平滑处理后的值, V
 N' ——二次平滑处理窗口大小

在统计学中,常见的做法是使用标准差倍数设定阈值(如 2 倍标准差),这可以在保留大部分数据信号的同时过滤噪声,取值过小可能计算会增加,取值过大波形会失真。故在权衡计算时间与波形保真度后能量阈值的预设系数 K 取 2。从宏观角度讲平滑窗口的取值取决于波形中“毛刺”的数量,“毛刺”越多平滑窗口取值就应越大。故窗口大小的选择取决于数据的特性和所需的平滑程度。较大的窗口可以提供更平滑的结果,但会降低数据的灵敏度和时间分辨率。反之,较小的窗口可保持较高的灵敏度,但可能无法有效减少噪声。故通过初期试错法试验,权衡计算时间,二次平滑处理窗口大小 N' 设置为 25。能量掩码平滑处理后脉冲偏差如图 10 所示。

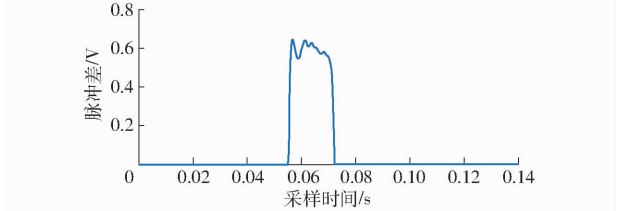


图 10 能量掩码平滑处理后脉冲偏差变化曲线
Fig. 10 Pulse difference after smoothing with energy mask

基于 BPV-EMSA 算法处理后的导种带两侧脉冲,减少了原始脉冲的噪声和随机波动,使数据更加平滑稳定,突出了偏差脉冲数据的主要趋势和模式,同时抑制瞬态脉冲干扰,可提升数据的可解释性和分析的准确性,可以得到完全突出种粒脉冲即失衡脉冲的特征,可以使监测系统准确捕捉种粒。

4 试验

为验证在带式高速导种装置作业时,监测系统捕捉到因种子通过产生的脉冲偏差的精确性,从而完成对播量、合格率、漏播率和重播率等参数的监测,开展了监测系统精度试验与监测系统性能评价试验,验证监测系统的可行性与先进性。

4.1 试验材料

试验材料选用德国 KWS 种子股份有限公司选育的“德美亚 1 号”玉米种子,经人工筛选,待试验种子净度达到 100%,其含水率为 $(12.1 \pm 0.11)\%$,千粒质量为 (295.55 ± 0.48) g,平均密度为 1.228 g/cm^3 。种子形状为“马齿”形,选取其中 300 粒玉米种子进行尺寸测量,平均长度为 9.33 mm,平均宽度为 7.41 mm,平均厚度为 4.11 mm。

4.2 监测系统精度试验

带式高速导种装置监测系统精度试验是为了评判系统监测精度与实际应用潜力,首先需要验证监测系统对排出种粒数量的监测精确性,从而得出其后续导种性能评价系统的开发价值。带式高速导种装置监测系统性能试验于 2023 年 12 月 4 日在黑龙江八一农垦大学工程学院播种装备试验室开展。在带式高速导种装置末端放置种粒收容箱,方便后续试验统计实际排出种粒数量并回收。试验通过采集理论作业速度 12、13、14、15、16 km/h 下系统的监测播量,将物料测量的 300 粒玉米种子作为试验材料,每组试验重复 3 次,结果取平均值,对比监测播量相较于实际播量的相对误差,判断监测系统的精确性与可靠性。播量监测精度试验结果如表 1 所示。每组播量监测具体参数指标如图 11 所示。

表 1 播量监测精度试验结果
Tab. 1 Results of broadcast volume monitoring accuracy test

作业速度/ (km·h ⁻¹)	播种数量平均值/粒		监测精度/%
	实际播量	监测播量	
12	298.7	290.0	97.09
13	299.3	288.7	96.46
14	298.3	289.7	97.12
15	297.3	288.0	96.87
16	298.3	288.3	96.65

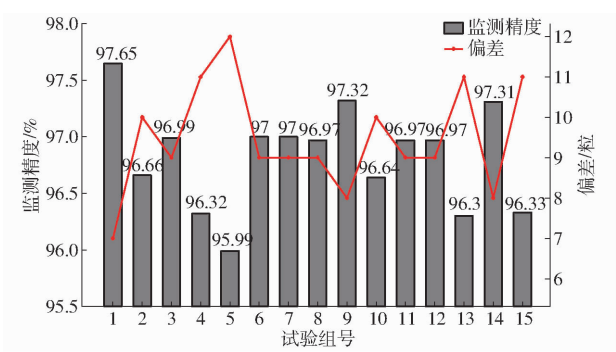


图 11 每组播量监测参数变化
Fig. 11 Monitored parameter index of each multicast volume

由表 1 和图 11 可知,两个对照项在 5 组作业速度下分别进行了 3 次试验,监测系统精度试验表明:不同作业速度下监测精度均不低于 95.99%,最高精度为 97.65%,且通过分析数据发现系统监测精度不受播种作业速度影响,且较高的监测精度可以证明系统能够精确且可靠地采集种粒经过监测点的脉冲变化。

4.3 监测系统性能评价试验

带式高速导种装置监测系统性能评价试验目的是评判系统的实际作业性能,研究需要评判监测系统输出的漏播率、重播率、合格率与实际排种性能参

数的误差范围,从而综合评判研究系统的排种性能评价能力。带式高速导种装置监测系统性能评价试验于 2023 年 12 月 15 日在黑龙江八一农垦大学工程学院播种装备试验室开展。设定理论株距为 25 cm,试验通过采集作业速度 12、13、14、15、16 km/h 监测系统合格率、漏播率、重播率与 JPS-16 型计算机视觉排种性能检测试验台输出的各评价指标对比,每组取中间连续的 300 组株距,各作业速度均重复 3 次试验,其结果取平均值。监测系统性能评价试验如图 12 所示。试验结果如表 2 所示。

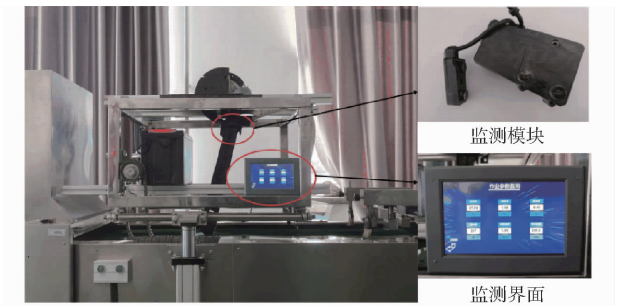


图 12 监测系统性能评价试验

Fig. 12 Performance evaluation test of monitoring system

表 2 监测系统性能评价试验结果

Tab.2 Performance test results of monitoring

system evaluation						%
作业速度/ (km·h ⁻¹)	合格率平均值		漏播率平均值		重播率平均值	
	JPS-16	本文	JPS-16	本文	JPS-16	本文
12	99.56	97.33	0.33	1.56	0.11	1.11
13	98.89	97.11	0.78	1.89	0.33	1.00
14	98.44	96.33	1.11	2.89	0.44	0.78
15	97.66	95.56	1.67	3.33	0.67	1.11
16	97.11	95.33	2.22	3.67	0.67	1.00

由表 2 可知,播种合格率平均监测差值为 2.00 个百分点,播种漏播率平均监测差值为 1.45 个百分点,播种重播率平均监测差值为 0.56 个百分点;播种合格率相对差值不大于 2.23 个百分点,播种漏播率相对差值不大于 1.78 个百分点,播种重播率相对差值不大于 1.00 个百分点。通过试验数据可以看

出,随着作业速度的增大监测系统重播率的判断并不受作业速度的影响,实际上监测过程中可能会偶然发生某些幅值较大的随机干扰,这会造成算法在掩码后仍出现种粒外的特征脉冲,会被误统计为重播;此外还可能发生种粒脉冲处理后特征不明显,被误统计为漏播。干扰幅度增加,波形毛刺幅值增加,都可能引起漏播、重播的统计误差。针对此现象需进一步深入的改进算法研究。

5 结论

(1)提出了一种带式高速导种装置监测方法,利用带式高速导种装置的输种特性,研究双侧脉冲比较方法,设计了带式高速导种装置监测模块硬件电路与软件流程,明确了监测模块的布置方式以及软硬件设计。解决了导种过程中导种带托片与种粒经过监测点无法区分脉冲变化,导致导种性能难以监测的问题。

(2)针对当前脉冲波形存在干扰以及无法准确识别种粒经过时产生偏差脉冲的问题,提出了一种基于 BPV-EMSA 的带式高速导种装置监测信号处理算法。减少了原始脉冲的噪声和随机波动,使数据更加平滑稳定,突出了偏差脉冲数据的主要趋势和模式,同时抑制瞬态脉冲干扰,可提升数据的可解释性和分析的准确性。

(3)通过试验结果表明:设计的带式高速导种装置监测系统在不同作业速度下监测精度不低于 95.99%,最高精度为 97.65%,且通过分析数据发现系统监测精度不受播种作业速度影响,证明系统能够精确采集种粒经过监测点的脉冲变化。播种合格率平均监测差值为 2.00 个百分点,播种漏播率平均监测差值为 1.45 个百分点,播种重播率平均监测差值为 0.56 个百分点。播种合格率相对差值不大于 2.23 个百分点,播种漏播率相对差值不大于 1.78 个百分点,播种重播率相对差值不大于 1.00 个百分点。

参 考 文 献

[1] 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. (in Chinese)

[2] 苑严伟,白慧娟,方宪法,等. 玉米播种与测控技术研究进展[J]. 农业机械学报,2018,49(9):1-18.
YUAN Yanwei,BAI Huijuan,FANG Xianfa,et al. Research progress on maize seeding and its measurement and control technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2018,49(9):1-18. (in Chinese)

[3] 廖宜涛,李成良,廖庆喜,等. 播种机导种技术与装置研究进展分析[J]. 农业机械学报,2020,51(12):1-14.
LIAO Yitao,LI Chengliang,LIAO Qingxi,et al. Research progress of seed guiding technology and device of planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2020,51(12):1-14. (in Chinese)

[4] 陈学庚,钟陆明. 气吸式排种器带式高速导种装置的设计与试验[J]. 农业工程学报,2012,28(22):8-15.
CHEN Xuegeng,ZHONG Luming. Design and test on belt-type seed delivery of air-suction metering device[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(22):8-15. (in Chinese)

- [5] 康建明,温浩军,王士国,等. 带式高速导种装置对排种均匀性影响的试验研究[J]. 中国农机化学报,2015,36(5):42-45.
KANG Jianming,WEN Haojun,WANG Shiguo,et al. Experimental study on impact of belt type conductor delivery on seeding uniformity[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization,2015,36(5):42-45. (in Chinese)
- [6] 陈晨. 精量播种机带式高速导种装置结构与性能试验研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
CHEN Chen. Structure design and performance test research of the belt seed guide device of precision planter[D]. Hohhot:Inner Mongolia Agricultural University,2016. (in Chinese)
- [7] 刘全威. 高速播种机种子精准投送机构设计与试验研究[D]. 北京:中国农业大学,2017.
LIU Quanwei. Design and experiment of seed precise delivery mechanism for high-speed planter[D]. Beijing:China Agricultural University,2017. (in Chinese)
- [8] 马焕菲. 基于 VC++ 排种种子流视觉检测软件的研发[D]. 太谷:山西农业大学,2015.
MA Huanfei. The software development of visual seed flow detection based on VC++ [D]. Taigu:Shanxi Agricultural University,2015. (in Chinese)
- [9] NAVID H, EBRAHIMIAN S, GASSEMZADEH H, et al. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method[J]. Australian Journal of Agricultural Engineering,2011,2(1):1-4.
- [10] MANGUS D L, SHARDA A, FLIPPO D, et al. Development of high-speed camera hardware and software package to evaluate real-time electric seed meter accuracy of a variable rate planter[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 142: 314-325.
- [11] TAGHINEZHAD J, ALIMARDANI R, JAFARY A. Design a capacitive sensor for rapid monitoring of seed rate of sugarcane planter[J]. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal, 2013,15(4):23-29.
- [12] 朱亮,王关平,孙伟,等. 基于空间电容传感器的马铃薯排种状态监测系统研制[J]. 农业工程学报,2021,37(20):34-43.
ZHU Liang,WANG Guanping,SUN Wei,et al. Development of potato seed-metering state monitoring system based on space capacitance sensors[J]. Transactions of the CSAE,2021,37(20):34-43. (in Chinese)
- [13] 刘坤. 玉米精量播种装置排种性能电容法检测机理与方法研究[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2020.
LIU Kun. Detection mechanism and methodology of seeding performance of corn precision seeding device based on capacitive method[D]. Daqing:Heilongjiang Bayi Agricultural University,2020. (in Chinese)
- [14] 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.
HUANG Dongyan,ZHU Longtu,JIA Honglei,et al. Remote monitoring system for corn seeding quality based on GPS and GPRS [J]. Transactions of the CSAE,2016,32(6):162-168. (in Chinese)
- [15] 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.
WANG Jinwu,ZHANG Zhao,WANG Fei,et al. Design and experiment of monitoring system for rice hill-direct-seeding based on piezoelectric impact method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2019,50(6):74-84,99. (in Chinese)
- [16] AL-MALLAHI A A, KATAOKA T. Application of fibre sensor in grain drill to estimate seed flow under field operational conditions[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 121: 412-419.
- [17] OKOPNIK D L, FALATE R. Usage of the DFRobot RB-DFR-49 infrared sensor to detect maize seed passage on a conveyor belt[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 102: 106-111.
- [18] LEEMANS V, DESTAIN M F. A computer-vision based precision seed drill guidance assistance [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 59(1-2): 1-12.
- [19] 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(1):66-74.
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(1):66-74. (in Chinese)
- [20] 周利明,张小超. 基于电容测量的精密播种机监测系统研究[J]. 农机化研究,2009,31(11):37-39.
ZHOU Liming,ZHANG Xiaochao. Monitor system of precision seeder based on capacitive sensors[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2009,31(11):37-39. (in Chinese)
- [21] 赵博,樊学谦,周利明,等. 气流输送播种机压电式流量传感器设计与试验[J]. 农业机械学报,2020,51(8):55-61.
ZHAO Bo,FAN Xueqian,ZHOU Liming,et al. Design and test of piezoelectric flow sensor for pneumatic seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2020,51(8):55-61. (in Chinese)
- [22] 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.
JI Chao,CHEN Xuegeng,CHEN Jincheng,et al. Monitoring system for working performance of no-tillage corn precision seeder [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(8):1-6. (in Chinese)
- [23] CAY A, KOCABIYIK H, KARAASLAN B, et al. Development of an opto-electronic measurement system for planter laboratory tests[J]. Measurement, 2017, 102: 90-95.
- [24] MA C,YI S,TAO G,et al. Research on receiving seeds performance of belt-type high-speed corn seed guiding device based on discrete element method[J]. Agriculture, 2023,13(5):1085.
- [25] 马成成,衣淑娟,陶桂香,等. 带式玉米高速导种装置旋夹纳种机理分析与参数优化[J]. 农业机械学报,2023,54(7):134-143.
MA Chengcheng,YI Shujuan,TAO Guixiang,et al. Mechanism analysis and parameter optimization of corn seeds receiving by rotating clamp of belt-type high-speed seed guiding device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023,54(7):134-143. (in Chinese)